



JAEA-Data/Code

2011-010

# JENDL-4.0に基づく連続エネルギーモンテカルロコード MVP用の中性子断面積ライブラリーの作成と ICSBEPハンドブックの臨界性ベンチマーク解析への適用

Production of Neutron Cross Section Library Based on JENDL-4.0 to  
Continuous-energy Monte Carlo Code MVP and Its Application to  
Criticality Analysis of Benchmark Problems in the ICSBEP Handbook

奥村 啓介 長家 康展

Keisuke OKUMURA and Yasunobu NAGAYA

原子力基礎工学研究部門  
核工学・炉工学ユニット

Division of Nuclear Data and Reactor Engineering  
Nuclear Science and Engineering Directorate

September 2011

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA  
Data/Code

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。  
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)  
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課  
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:[ird-support@jaea.go.jp](mailto:ird-support@jaea.go.jp)

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency  
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to  
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,  
Japan Atomic Energy Agency  
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:[ird-support@jaea.go.jp](mailto:ird-support@jaea.go.jp)

## JENDL-4.0に基づく連続エネルギーモンテカルロコード MVP 用の中性子断面積 ライブラリーの作成と ICSBEP ハンドブックの臨界性ベンチマーク解析への適用

日本原子力研究開発機構  
原子力基礎工学研究部門 核工学・炉工学ユニット  
奥村 啓介、長家 康展

(2011 年 7 月 28 日 受理)

2010 年 5 月に、最新の評価済み核データライブラリーである JENDL-4.0 が原子力機構から公開された。JENDL-4.0 のデータから、核データ処理システム LICEM を使用して、連続エネルギーモンテカルロコード MVP 用の任意温度中性子断面積ライブラリー MVP1ib\_nJ40 を作成した。このライブラリーは、JENDL-4.0 で評価された 406 核種に対する自由ガスモデルでの断面積の他、熱中性子散乱モデルによる断面積、燃焼計算用の疑似 FP 断面積等を含む。完成した JENDL-4.0 ライブラリーと MVP を使用し、国際臨界安全ベンチマーク評価プロジェクトのデータベース (ICSBEP ハンドブック) に収納される約 1,000 ケースの多種多様な臨界実験の解析を行った。得られた中性子増倍率を実験値と比較し、C/E 値を JENDL-4.0 による臨界性予測精度の検証用データとして報告する。

**Production of Neutron Cross Section Library Based on JENDL-4.0 to  
Continuous-energy Monte Carlo Code MVP and Its Application to Criticality Analysis  
of Benchmark Problems in the ICSBEP Handbook**

Keisuke OKUMURA and Yasunobu NAGAYA

Division of Nuclear Data and Reactor Engineering,  
Nuclear Science and Engineering Directorate,  
Japan Atomic Energy Agency  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received July 28, 2011)

In May 2010, JENDL-4.0 was released from Japan Atomic Energy Agency as the updated Japanese Nuclear Data Library. It was processed by the nuclear data processing system LICEM and an arbitrary-temperature neutron cross section library MVPlib\_nJ40 was produced for the neutron and photon transport calculation code MVP based on the continuous-energy Monte Carlo method. The library contains neutron cross sections for 406 nuclides on the free gas model, thermal scattering cross sections, and cross sections of pseudo fission products for burn-up calculations with MVP.

Criticality benchmark calculations were carried out with MVP and MVPlib\_nJ40 for about 1,000 cases of critical experiments stored in the hand book of International Criticality Safety Benchmark Evaluation Project (ICSBEP), which covers a wide variety of fuel materials, fuel forms, and neutron spectra. We report all comparison results (C/E values) of effective neutron multiplication factors between calculations and experiments to give a validation data for the prediction accuracy of JENDL-4.0 for criticalities.

**Keywords:** JENDL-4.0, Continuous-energy Monte Carlo Code, MVP Library, LICEM, Point-wise Neutron Cross Section, ICSBEP Handbook, Criticality Safety, Benchmark Calculation

## 目 次

1. はじめに -----	1
2. MVP 中性子断面積ライブラリー作成コードシステム-----	2
2.1 LICEM2010 の構成と概要-----	2
2.2 LICEM2010 における改良-----	3
3. MVP 中性子断面積ライブラリー作成のための入力データとシェルスクリプト -----	6
4. JENDL-4.0 に基づく MVP 中性子断面積ライブラリー -----	23
4.1 MVP 中性子断面積ライブラリーの概要と利用方法-----	23
4.2 JENDL-4.0 ライブラリーの一覧-----	26
5. JENDL-4.0 ライブラリーによる臨界性ベンチマーク解析 -----	37
5.1 ICSBEP ベンチマーク問題と MVP 計算条件-----	37
5.2 計算結果と実験値との比較 -----	44
6. まとめ -----	68
謝辞-----	69
参考文献 -----	69
付録 LICEM2010 の入力 -----	72
A.1 LINEAR モジュール-----	72
A.2 RECENT モジュール-----	73
A.3 SIGMA1 モジュール-----	75
A.4 HEATR モジュール-----	77
A.5 U3R-J モジュール-----	77
A.6 THERMJ-B6 モジュール-----	79
A.7 MVPLIBMK モジュール-----	79

## Contents

1. Introduction -----	1
2. Code System for Production of MVP Neutron Cross Section Library -----	2
2.1 Framework and Outline of LICEM2010 -----	2
2.1 Improvements in LICEM2010 -----	3
3. Input Data and Shell-scripts to Produce MVP Library -----	6
4. MVP Neutron Cross Section Library Based on JENDL-4.0 -----	23
4.1 Outline of MVP Library and Its Utilization Method -----	23
4.2 List of JENDL-4.0 Library -----	26
5. Criticality Benchmark Analysis with JENDL-4.0 Library -----	37
5.1 ICSBEP Benchmark Problems and MVP Calculation Conditions-----	37
5.2 Calculated Results and Comparison with Experimental values -----	44
6. Summary -----	68
Acknowledgment-----	69
References -----	69
Appendix Input Instructions for LICEM2010 -----	72
A.1 LINEAR module -----	72
A.2 RECENT module -----	73
A.3 SIGMA1 module -----	75
A.4 HEATR module -----	77
A.5 U3R-J module -----	77
A.6 THERMJ-B6 module -----	79
A.7 MVPLIBMK module -----	79

## 1. はじめに

原子力機構は日本の最新評価済み核データライブラリーである JENDL-4.0<sup>1)</sup>を完成し、2010 年 5 月にインターネット上に公開した<sup>2)</sup>。JENDL-4.0 は水素（原子番号 = 1）からフェルミウム（原子番号 = 100）までの 406 核種について、原子炉の開発に必要なほぼ全ての中性子入射エネルギー範囲 ( $10^{-5}$  eV～20 MeV) にわたって、中性子と原子核との反応確率等のデータを収納している。特に、従来の評価済み核データライブラリーに比べると、マイナーアクチノイドや核分裂生成核種に対するデータ精度が向上しており<sup>3)</sup>、これを使用すれば現行軽水炉の高燃焼度化・長寿命化や高速増殖炉サイクル開発に役立つものと期待されている。

優れた評価済み核データライブラリーも、そのままで一般のユーザーがその恩恵にあずかるることはできない。ユーザーの目的に見合った解析コードに適用できるデータ形式、すなわち、必要なデータの抽出やデータの加工など、解析コードに応じて必要な処理が施されたデータとして提供されることで、核データは広く利用可能なものとなる。そこで、特に核特性解析の分野で広く利用されている連続エネルギーモデルに基づく中性子および光子の輸送計算シミュレーションコード MVP<sup>4)</sup>用に、従来の MVP 用の断面積処理コードシステム LICEM-2<sup>5)</sup>を改訂した LICEM2010 を使用し、JENDL-4.0 に基づく中性子断面積ライブラリー (MVPlib\_nJ40) を作成した。本報告書の前半では、MVPlib\_nJ40 の作成方法と利用方法について報告する。

MVP は、JENDL-4.0 の開発当初から、さまざまな実験解析をとおして新しい核データ評価の妥当性の検討に使用してきた<sup>3,6,7)</sup>。特に、臨界性ベンチマークについては、世界各国で実施された臨界実験データを収集した ICSBEP ハンドブック (OECD/NEA より DVD 媒体で配布されている)<sup>8,9)</sup>を活用して行った。このハンドブックには、燃料組成（高濃縮ウラン、低濃縮ウラン、プルトニウム等）、燃料形態（金属、化合物、溶液等）、中性子エネルギースペクトル（熱中性子、中速中性子、高速中性子等）の観点で分類された 4,000 を超える臨界実験データ（実験体系と実効増倍率の評価値および誤差）が収納されている。MVP によるベンチマーク計算では、これらの中から主に核データの検証に適した実験体系を約 1,000 ケース選りすぐり、計算値と実験値との比較を行った。本報告書の後半では、これら全ケースに対する、JENDL-4.0 による MVP 計算結果 (C 値) を公表するとともに、ICSBEP ハンドブックで評価された実験値 (E 値) と比較して、今後の核データ評価の改善や臨界性予測精度の向上に資するものとする。

## 2. MVP 中性子断面積ライブラリー作成コードシステム

JENDL-4.0に基づく MVP ライブラリー MVPlib\_nJ40 の作成にあたっては、JENDL-3.3<sup>10)</sup> 等の MVP ライブラリー作成に使用していた第 2 版 LICEM (LICEM-2) を一部改訂した LICEM2010 を使用して行った。これにより、LICEM2010 の入力方法も従来とは一部変更されている。そこで、本章では、LICEM2010 の概要と LICEM-2 からの改訂内容、LICEM2010 によるライブラリー作成方法について説明する。

### 2.1 LICEM2010 の構成と概要

LICEM2010 の構成とデータの流れを、図 2.1 に示す。

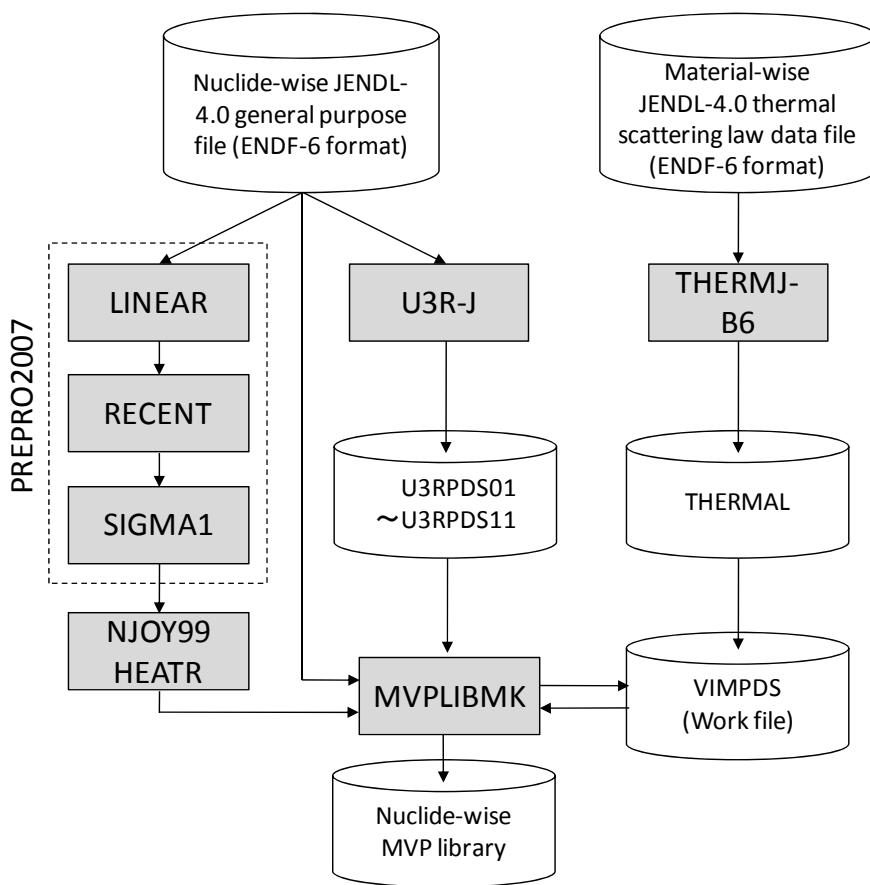


図 2.1 LICEM2010 の構成とデータの流れ

システムは、7つのモジュールで構成されている。これらのうち、LINEAR、RECENT、SIGMA1 は、IAEA から無償提供されている PREPRO2007<sup>11)</sup>のモジュールの一部であり、HEATR は、米国ロスアラモス国立研究所で開発された NJOY99<sup>12)</sup>のモジュールの一つである。これらのモジュールでは、ENDF-6 フォーマット<sup>13)</sup>で記述された核種毎の核データファイルを入力として、以下のような処理が行われる。

**(1) LINEAR**

ファイルに与えられている全ての反応に対して、ポイント断面積(PENDF)を、評価値と要求精度内で一致するように、線形内挿が可能なエネルギー一点に対して与える。

**(2) RECENT**

LINEAR で作成したポイント断面積に共鳴処理を行い、温度 0 K のポイント断面積を作成する。

**(3) SIGMA1**

RECENT で作成したポイント断面積に、ドップラーブロードニングの処理を加えて、指定した基準温度点（通常は 293.15K）でのポイント断面積を作成する。

**(4) HEATR**

エネルギーバランス法に基づき、中性子による核発熱定数（kerma factor）を計算し、その結果を MT=100 として PENDF ファイルに書きだす。

**(5) U3R-J**

非分離共鳴領域が定義された核種に対し、非分離共鳴断面積確率テーブルを作成する。任意温度ライブラリーに対応するため、計算結果は、11 の温度点ごとに区分された PDS ファイルに収納される。PDS ファイルとは、1 つのディレクトリ配下に、メンバーと呼ばれる複数のサブファイル（バイナリー形式データ）が存在する形式のデータセットである。

**(6) THERMJ-B6**

評価済み核データのファイル 7 に与えられる熱中性子散乱データを処理して、温度に依存する弾性散乱と非弾性散乱の断面積データを与える。

**(7) MVPLIBMK**

NJOY99 の Acer モジュール<sup>12)</sup>をベースに開発されたもので、1)基準となるエネルギー メッシュの作成、2)核データ評価のファイル 4 のデータから散乱角度分布確率テーブルの作成、3)核データ評価のファイル 5 のデータから散乱後のエネルギー分布データの処理、4)核データ評価のファイル 6 のデータから散乱の角度エネルギー分布データの処理、5)γ 線生成データの処理、6)ν 値などのその他のデータ処理を行う。また、他のモジュールからの出力データを使用して、最終的な MVP ライブラリーの編集作業を行う。

## 2.2 LICEM2010 における改良

LICEM2010 による核データ処理の内容は、基本的には LICEM-2 と同様であり、断面積の表現モデルなどについても従来<sup>5)</sup>と変わっていない。PREPRO2007 には、計 16 個のモジュールがあるが、LICEM は、(1)～(3)までの共鳴処理に、LINEAR、RECENT、SIGMA1 を使用している。JENDL-3.3 や ENDF/B-VI.8<sup>14)</sup>に基づく MVP ライブラリーの作成<sup>5)</sup>では、2004 年版の PREPRO をベースに使用していたが、LICEM2010 では、米国の最新評価済み核データである ENDF/B-VII.0 に対する処理が検証されている PREPRO2007 を新たに導入した。PREPRO2007 では、全ての ENDF フォーマットの読み込み対応、ENDF/B-VII.0 などの近年の評価済み核データ処理への対応、計算機プラットフォームの拡充などを特長としている。

HEATR については、NJOY99 の修正パッチを配布している米国の T-2 Nuclear Information

Service の Web サイト<sup>12)</sup>から修正パッチ up304 をダウンロードし、これを適用した NJOY99 の HEATR モジュールを使用した。その他には、以下の改訂を行った。

#### (1) SIGMA1 の修正

PREPRO2010 から導入した SIGMA1 モジュールにおいて、ファイル 3 データの出力において、ENDF-6 フォーマットであっても ENDF-5 フォーマットと同様に温度データを出力するようにした。これは、LICEM システムにおいて、ファイル 3 データから温度を定めるための便宜的な機能拡張であり、従来の LICEM でも同様な変更を行っている。

なお、2002 年度版の SIGMA1 には、非分離共鳴データが存在する核種で非分離共鳴領域下限エネルギーが 20 eV 程度と低い場合に、下限エネルギー直下の断面積計算値に異常なピークが現れるという不具合があり、従来の LICEM ではこれに対応するための独自修正を行っていた<sup>5)</sup>。この不具合は 2004 年版以降の PREPRO システムで解消されたが、新しく非分離共鳴断面積を Doppler broadening するかしないかのオプションが追加された。また、SIGMA1 コードで負の断面積が計算された場合、ゼロに置換する計算オプションが追加された。このため、LICEM2010 における SIGMA1 の入力データは、旧 LICEM のものと互換性がなくなった。新しい SIGMA1 の入力方法については、付録(A.3)で述べる。

#### (2) 単精度データと倍精度データの扱い

LICEM 構成モジュール間での単精度データと倍精度データの受け渡しに起因するエラーを排除した。

#### (3) 固定配列宣言の拡張

JENDL-4.0、JEFF-3.1<sup>15)</sup>、ENDF/B-VII.0 のような新しい核データ評価の処理では、ルジャンドル展開次数の最大値、ファイル 6 で評価される反応数の増加などにより、LICEM-2 の固定配列サイズを超えて処理ができない核種が多くみられた。また、STOP 文のみでプログラム停止するため、原因の調査と対応に時間を要した。そこで、JENDL-4.0、ENDF/B-VII.0、JEFF-3.1 の全核種処理で問題が発生しない程度に配列サイズを拡張するとともに、これを超える場合には適切なエラーメッセージを出力してプログラムを停止するようにした。また、配列宣言の数値をインクルードファイルによるパラメータ文で定義して、配列サイズの変更を容易にした。

#### (4) U3R の改良

核データ評価によっては、数値誤差に起因して非分離共鳴の上限エネルギーに対する確率テーブルが全てゼロになる問題が発生した。これに対応するため、確率テーブルを計算するエネルギーの定義を NJOY99 の UNRESR や PURR モジュールの方法に変更した。

#### (5) THERMRJ-B6 の改良

分子動力学に基づいて新たに作成された軽水の熱中性子散乱データ<sup>16)</sup>に対応するため、LLN=1 ( $\ln(S(\alpha, \beta))$  形式) で評価されたデータを処理できるように修正した。

#### (6) 例外処理オプション等の追加

LICEM や MVP の制限により処理できない核データ評価や、評価自体が不適切な内容を含み全体の処理が止まってしまうなどの場合に対する例外処理オプションを設定した。例えば、以下のような例外処理を行う。

- ENDF/B-VII.0 または JEFF-3.1 の  $^{19}\text{F}$  処理 : ( $n,2n$ )反応において、MF6 のサブセクションが 2 つ評価されているため従来の LICEM-2 では処理できない。そこで、MVPLIBMK の入力で MATNO を負値として与えた場合に、MT=16 反応を MT=6 と MT=46 に分解して処理するようにした。
- ENDF/B-VII.0 の W-nat. 処理 : 構成同位体の非分離共鳴エネルギー範囲の不一致により処理できない。この場合、MVPLIBMK の入力で NUNR (非分離共鳴領域の断面積確率テーブルの長さ) を負値として与えた場合に、非分離共鳴領域では断面積確率テーブルを用いないで無限希釈断面積として扱うようにした。
- ENDF/B-VII.0 の Th-232 処理 : MT5 ( $n,\text{anything}$ ) の評価が存在するが、そのファイル 6 データで LAW=0 であり、2 次中性子のエネルギー分布と角度分布が存在しない(収率のみ)。このため、MT5 データを処理できないで計算がストップする。また、60MeV での MT5 断面積は 6.2711 barn であるが、全断面積は 4.91192 barn であり、MT5 反応は無視するのが適当と考えられる。そこで、MVPLIBMK の入力に MT5 反応を考慮しないオプション(JSWMT5=1)を新設した。デフォルト値はゼロであり、入力なしでコメント挿入記述「/」をすれば、従来どおりの入力でデフォルト値が有効となる(NJOY 入力方式と同じ)。

### 3. MVP 中性子断面積ライブラリー作成のための入力データとシェルスクリプト

MVP 中性子断面積ライブラリーは、第 2.1 節の図 2.1 に示したとおり、大きく次の 3 ステップの処理で作成される。

- ① U3R-J の実行（非分離共鳴断面積確率テーブルの作成）
- ② THERMJ-B6 の実行（熱中性子散乱データの処理）
- ③ LINEAR, RECENT, SIGMA1, U3R-J, MVPLIBMK の実行（ENDF-6 汎用ファイルの処理による MVP ライブラリーの編集）

以下では、これらの処理を UNIX 系 OS の計算機で実行するためのシェルスクリプトの例を示す。各モジュールの入力データは、シェルスクリプト中に記述してある。また、LICEM2010 の入力方法については付録に記述した。

#### 1) U-238 に対する U3R-J の実行シェルスクリプト

U3R-J 実行用シェルスクリプトの例 (U02380J40.u3rj) を以下に示す。計算条件の記録と多数核種に対する処理の効率化の観点から、変更する入力データはシェル変数で与え、最終的に cat コマンドでシェルスクリプトに入力データを埋め込んで実行するようにしている。下の例では、cat コマンドの直下から「END\_DATA」の上のラインまでが U3R-J の標準入力である。

```
#!/bin/csh
#
# Shellscrip to execute U3RJ
#
#~~ u3rj01.txt ~~~~~
#
# DATE      : Current date and time to be used for comment input data
#               which is preferable in English. (e.g. Jan01.01.01.01)
#
# MVPXS_DIR : Name of the top directory on which nuclear data files and
#               I/O directories are stored in predetermined format.
# ENDF_DIR   : Full path name of the directory in which nuclide-wise
#               evaluated nuclear data files are stored.
# LICEM_BIN  : Full path name of the directory in which LICEM executables
#               are installed.
# DATA       : File name of nuclide-wise Evaluated Nuclear Data File
# NUCNAM    : Nuclide and Library index to be used for file name
#               Set standard name (zzmmmnlll) of MVP library
#
#-----
#----- setenv LANG C
#----- set DATE      = `date +%b%d.%H.%M.%S`
#
#~~ u3rj_mksh.sh ~~~~~
#
#----- set MVPXS_DIR = /home/MVP_XS/J40_XS
#----- set ENDF_DIR  = $MVPXS_DIR/endf
#----- set LICEM_BIN = /home/code/LICEM2010/bin
#----- set DATA      = U238.dat
#----- set NUCNAM   = U02380J40
```

```

#
#~~~ u3rjshell.f ~~~~~
#
set MATNO    = 9237
set NUCID   = U8
#
#~~~ u3rj03.txt ~~~~~
#
set TITL    = "$NUCID $NUCNAM $DATE"
set ERR     = 1.00
set LIMCPU  = 36000
=====
alias mkdir mkdir
alias rm   rm
alias cd   cd
alias cat  cat
alias echo echo
-----
# Set output directory & file name
-----
set WORK_DIR = $MVPXS_DIR/outp/U3RJ_pds/$NUCNAM
if (-e $WORK_DIR) then
  rm -r $WORK_DIR
endif
mkdir $WORK_DIR
cd   $WORK_DIR
#
set LmU3rj = $LICEM_BIN/u3rj
set OUTP   = $MVPXS_DIR/outp/U3RJ_log/$NUCNAM.ft06
#
set PDS01  = T0293
set PDS02  = T0300
set PDS03  = T0393
set PDS04  = T0600
set PDS05  = T0900
set PDS06  = T1200
set PDS07  = T1500
set PDS08  = T1800
set PDS09  = T2100
set PDS10  = T2500
set PDS11  = T3000
#
foreach pds ($PDS01 $PDS02 $PDS03 $PDS04 $PDS05 \
             $PDS06 $PDS07 $PDS08 $PDS09 $PDS10 $PDS11)
  if ( ! -e $pds ) then
    mkdir $pds
  else
    echo "==== Message : PDS ($NUCNAM) for U3RJ already existing ==="
  endif
end
-----
setenv ENDF0001 $ENDF_DIR/$DATA
#
setenv U3RPDS01 $PDS01
setenv U3RPDS02 $PDS02
setenv U3RPDS03 $PDS03

```

```

setenv U3RPDS04 $PDS04
setenv U3RPDS05 $PDS05
setenv U3RPDS06 $PDS06
setenv U3RPDS07 $PDS07
setenv U3RPDS08 $PDS08
setenv U3RPDS09 $PDS09
setenv U3RPDS10 $PDS10
setenv U3RPDS11 $PDS11
#
#*****-----
# U3RJ STEP      *
#*****-----
#
echo 'Running U3RJ'
cat - << END_DATA | $LmU3rj >& $OUTP
0 $LIMCPU / IOPT LIMCPU
$MATNO 11 1 0 1 / MATD,NTEMP,KENDF,IPRINT,IPDS
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 /default temp.
$TITL
0 99 50 1 999 / LD,NPROB,NAC,ISTART,LAST
123456789 $ERR / IRAND,SDC
0 0 0 0 0 / MADT=0 ==> STOP
END_DATA
echo 'End of U3RJ job'
#
#=====

```

U3R-J の実行は、核データで非分離共鳴の評価がある核種に対してのみ実行すればよいが、非分離共鳴のデータが定義されていなければ、処理は自動的にスキップされる。そこで、形式的には、非分離共鳴データの有無にかかわらず、全核種に対して、U3R-J を実行している。

## 2) H<sub>2</sub>O の H-1 に対する THERMJ-B6 の実行シェルスクリプト

以下は、軽水の熱中性子散乱データを THERMJ-B6 で処理するシェルスクリプトの例(H0001HJ40.thrm)である。THERMJ-B6 の実行は、熱中性子散乱データを使用する核種のMVP ライブラリーを作成する前に実行しておく必要がある。自由ガスモデルに基づく大部分の MVP ライブラリー作成には、これを実行する必要はない。

```

#!/bin/csh
#
# Shellscript to execute THERMJ-B6
#
#~~~ thrm01.txt ~~~~~
#
# DATE      : Current date and time to be used for working directory name
#               which is preferable in English. (e.g. Jan01.01.01.01)
# MVPXS_DIR : Name of the top directory on which nuclear data files and
#               I/O directories are stored in predetermined format
# LICEM_BIN  : Full path name of the directory in which LICEM executables
#               are installed
# TENDF_DIR  : Full path name of the directory in which thermal scattering
#               law data files are stored

```

```

# DATA      : File name of the thermal scattering law data file
#           (both of individual or tape files are allowed)
# NUCNAM    : Nuclide and Library index to be used for file name
#           Set standard name (zzmmmc11...) of MVP library
# SMAT      : Material number in thermal scattering law data
# THMDT     : Index(A3) for PDS of THERMJ to identify material and its pair
#
#-----
#----- setenv LANG C
#----- set DATE      = `date +%b%d.%H.%M.%S`
#
#~~~ thrm_mksh.sh ~~~~~
#
#----- set MVPXS_DIR = /home/MVP_XS/J40_XS
#----- set LICEM_BIN = /home/code/LICEM2010/bin
#----- set TENDF_DIR = $MVPXS_DIR/endft
#----- set NUCNAM   = H0001HJ40
#----- set DATA      = tsl-HinH2O.dat
#----- set SMAT      = 1
#----- set THMDT     = H2O
#
#----- #~~~ thrm03.txt ~~~~~
#----- alias mkdir mkdir
#----- alias echo echo
#----- alias cp cp
#----- alias cd cd
#----- alias cat cat
#----- alias rm rm
#
#----- # Check SMAT and DATA
#
#----- if( $SMAT == '0' ) then
#-----   echo "==== THERMJ skipped because SMAT=0 is given"
#-----   echo "==== Thermal scattering law data file : $DATA"
#-----   exit
#----- endif
#----- if ( ! -e $TENDF_DIR/$DATA ) then
#-----   echo "XXX ERROR : following thermal scattering law data is not found"
#-----   echo "XXX $TENDF_DIR/$DATA"
#-----   exit
#----- endif
#
#----- # Set output directory & file name
#
#----- set LmThrm   = $LICEM_BIN/thermr
#----- set ODR      = $MVPXS_DIR/outp/THRM_log
#----- set WKDR     = $MVPXS_DIR/tmp/$NUCNAM.Thrm.$DATE
#----- set THMJ_PDS = $MVPXS_DIR/outp/THRM_pds/$NUCNAM
#----- if ( ! -e $THMJ_PDS) then
#-----   mkdir $THMJ_PDS
#----- endif
#
#----- mkdir $WKDR
#----- setenv ENDFTH $TENDF_DIR/$DATA
#----- setenv PDSOUT $THMJ_PDS

```

```

set OUTnjyT = $ODR/$NUCNAM.thrm.list
set OUTlogT = $ODR/$NUCNAM.thrm.log
set OUTplot = $ODR/$NUCNAM.plot.dat
#
#*****-----#
# THERMJ-B6 STEP *
#*****-----#
#
cd $WKDR
echo "$NUCNAM is processing (THERMJ)"
cp $ENDFTH TAPE21
echo 'Running THERMJ'
cat - << END_DATA | $LmThrm >& $OUTlogT
$SMAT 8 0 0.01 / matid nbin iprint tol
$THMDT / mempds(A3)
END_DATA
#
#----- Remove scratch files
cp OUTPUT $OUTnjyT
cp TAPE31 $OUTplot
cd $MVPXS_DIR
echo 'End of THERMJ job'
rm -r $WKDR
#=====
```

### 3) U-238 の MVP ライブラリー編集用実行シェルスクリプト

以下は、LINEAR から MVPLIBMK までの一連の処理を行い、U-238 の MVP ライブラリーを作成するシェルスクリプトの例である。NJOY99 の HEATR や U3R-J の実行もこのシェルスクリプトの中に組み込んである。U3R-J が既に実行されており、必要なデータが PDS ファイルに存在している場合には、U3R-J の処理はスキップされ、MVP ライブラリー編集作業が行われる。

```

#!/bin/csh
#
# Shellscript to execute (U3RJ), LINEAR, RECENT, SIGMA1, NJOY(heatr), MVPLIBMK
#
echo This job was submitted to $HOST by $HOME
#
#~~~ lbnmk01.txt ~~~~~
#
# DATE : Current date and time to be used for working directory name
#        which is preferable in English. (e.g. Jan01.01.01)
# MVPXS_DIR : Name of the top directory on which nuclear data files and
#              I/O directories are stored in predetermined format.
# ENDF_DIR : Full path name of the directory in which nuclide-wise
#              evaluated nuclear data files are stored.
# LICEM_BIN : Full path name of the directory in which LICEM executables
#              are installed.
# XNJOY_EXE : Full path name of the NJOY executable
# DATA : File name of nuclide-wise Evaluated Nuclear Data File
# NUCNAM : Nuclide and Library index to be used for file name
#          Set standard name (zzmmmnlll) of MVP library
# TEMP : Standard (=lowest) temperature (K) for MVP library
```

```

# INPTEMP      : Input line for SIGMA1 (Change in accordance with TEMP)
# IDTMP        : Temperature index to be used for output file name
# ITHERM       : Input data for MVPLIBMK (See manual of LICEM)
# THMDT        : Index(A3) for thermal scattering PDS (not effective for
#                  free gas model (ITHERM=0)
# IGOPT        : Control integer for gamma production data, however, you can
#                  set zero even when the data is not in the ENDF.
# NUNR         : Length of cross section probability table (=0: default:20)
#-----
#----- setenv LANG C
#----- set DATE      = `date +%b%d.%H.%M.%S`
#
#~~~ lbmk_mksh.sh ~~~~~
#
#----- set MVPXS_DIR = /home/MVP_XS/J40_XS
#----- set ENDF_DIR   = $MVPXS_DIR/endf
#----- set LICEM_BIN  = /home/code/LICEM2010/bin
#----- set XNJOY_EXE  = /home/code/NJOY99V304/bin/xnjoy
#----- set DATA       = U238.dat
#
#~~~ lbmkshell.f ~~~~~
#
#----- set IDENDF    = JENDL-40
#----- set NUCNAM    = U02380J40
#----- set MATNO     = 9237
#----- set INPMAT    = ' 9237 0 0 923799999 '
#----- set NUCID     = U8
#
#~~~ lbmk03.txt ~~~~~
#----- set TEMP       = 293.15
#----- set INPTEMP    = '          0          0 2.9315E+02 1.0000E-10          1          0 '
#----- set IDTMP      = t0293
#----- ----- change when itherm is not zero
#----- set ITHERM     = 0
#----- set THMDT      = dmy
#----- ----- not have to change
#----- set IGOPT      = 0
#----- set NUNR       = 20
#
#~~~ lbmk04.txt ~~~~~
#----- alias mkdir mkdir
#----- alias echo echo
#----- alias cp cp
#----- alias cd cd
#----- alias cat cat
#----- alias rm rm
#----- alias mv mv
#
#----- Set output directory & file name
#
#----- set INENDF     = $ENDF_DIR/$DATA
#----- set U3RJ_PDS   = $MVPXS_DIR/outp/U3RJ_pds/$NUCNAM
#----- set THRM_PDS   = $MVPXS_DIR/outp/THRM_pds/$NUCNAM
#----- set ODR1        = $MVPXS_DIR/outp/LBMK_log
#----- set ODR2        = $MVPXS_DIR/outp/work
#

```

```

set OUTLIB      = $MVPXS_DIR/ART_lib/MVplibV3.$NUCNAM.dat
set OPENDF     = $MVPXS_DIR/pendf/$NUCNAM.$IDTMP.dat
#
set LmLine     = $LICEM_BIN/linear
set LmRecn     = $LICEM_BIN/recent
set LmSigm     = $LICEM_BIN/sigmal
set LmLbmk     = $LICEM_BIN/mvplibmk
#
set PDS01      = $U3RJ_PDS/T0293
set PDS02      = $U3RJ_PDS/T0300
set PDS03      = $U3RJ_PDS/T0393
set PDS04      = $U3RJ_PDS/T0600
set PDS05      = $U3RJ_PDS/T0900
set PDS06      = $U3RJ_PDS/T1200
set PDS07      = $U3RJ_PDS/T1500
set PDS08      = $U3RJ_PDS/T1800
set PDS09      = $U3RJ_PDS/T2100
set PDS10      = $U3RJ_PDS/T2500
set PDS11      = $U3RJ_PDS/T3000
#
set OUTLST1    = $ODR2/$NUCNAM.lin.list
set OUTLST2    = $ODR2/$NUCNAM.rec.list
set OUTLST3    = $ODR2/$NUCNAM.sig.list
#
set OUTnfy     = $ODR2/$NUCNAM.heatr.list
set OUTlog     = $ODR2/$NUCNAM.heatr.log
#
set LIST1       = $ODR1/$NUCNAM.acer.list
set LIST2       = $ODR1/$NUCNAM.libmk.list
#
set OMSG1      = $ODR1/$NUCNAM.mvplibmk.ft06
set OCHK1      = $ODR1/$NUCNAM.mvplibmk.ft99
set OMSG        = $NUCNAM.mvplibmk.ft06
set OCHK        = $NUCNAM.mvplibmk.ft99
#
set INPLIN     = $NUCNAM.lininp
set OUTLIN     = $NUCNAM.linout
set OUTREC     = $NUCNAM.recout
set OUTSIG     = $NUCNAM.sigout
#
# set PHEAT     = $MVPXS_DIR/outp/pendf/$NUCNAM.$IDTMP.heatr.dat
# set PACER     = $MVPXS_DIR/outp/pendf/$NUCNAM.$IDTMP.acer.dat
  set PHEAT     = $NUCNAM.$IDTMP.heatr.dat
  set PACER     = $NUCNAM.$IDTMP.acer.dat
#
# Date & time to avoid interaction among jobs using the same i/o file names
set WKDR      = $MVPXS_DIR/tmp/$NUCNAM.MlibMk.$DATE
mkdir $WKDR
cd $WKDR
echo "$NUCNAM is processing" on `hostname`
#
#*****-----*
# U3RJ STEP      *
#*****-----*
#
set GOU3RJ = Yes

```

```

if ($GOU3RJ == "Yes") then
    if ( ! -e $MVPXS_DIR/shell/U3RJ_sh/$NUCNAM.u3rj ) then
        echo "XXX ERROR : U3RJ shellscript for $NUCNAM is not found."
        exit
    endif
    $MVPXS_DIR/shell/U3RJ_sh/$NUCNAM.u3rj
endif
#
#*****-----#
#  LINEAR STEP      *
#*****-----#
#
echo 'Running LINEAR'
cp $INENDF $INPLIN
cat > input << EOF
    0          0 0.0
$INPLIN
$OUTLIN
$INPMAT (Blank card terminates MAT request list)

0.00000-00 1.00000-03 (Blank card terminates FILE 3 error law)

EOF
#
cp input LINEAR.INP
$LmLine >& $NUCNAM.lin.outlist
echo 'End of LIENAR job'
cp LINEAR.LST $OUTLST1
# rm fort.*
rm input
rm $INPLIN
#
#*****-----#
#  RECENT STEP      *
#*****-----#
#
echo 'Running RECENT'
cat > input << EOF
    0 1.00000-10      0          1          0          0
$OUTLIN
$OUTREC
    1      9999
                (Blank card terminates MAT request list)
0.00000-00 1.00000-03
                (Blank card terminates FILE 3 error law)

EOF
#
cp input RECENT.INP
$LmRecn >& $NUCNAM.recent.outlist
echo 'End of RECENT job'
cp RECENT.LST $OUTLST2
# rm fort.*
rm input
#

```

```

#*****-----#
# SIGMA1 STEP      *
#*****-----#
#
echo 'Running SIGMA1'
#
cat > input << EOF
$INPTTEMP
$OUTREC
$OUTSIG
0      9999
0.00000+ 0 1.00000- 3

EOF
#
cp input SIGMA1.INP
$LmSigm >& $NUCNAM.sigmal.outlist
echo 'End of SIGMA1 job'
#
cp SIGMA1.LST $OUTLST3
# cp $OUTSIG    $OPENDF
# rm fort.*
rm input
rm $OUTREC
#
cp $OUTLIN tape31
cp $OUTSIG tape32
#
#*****-----#
# NJOY/HEATR STEP      *
#*****-----#
#
set GOHEATR = Yes
if($GOHEATR == "Yes") then
#-----heatr
echo 'running NJOY'
#
cat - << END_DATA | $XNJOY_EXE >& $OUTlog
moder
32 -21
reconr
-21 -22
' 0.1% pendf $IDENDF  ' /
$MATNO 0 0
0.0010 $TEMP /
0 /
broadr
31 -22 -23
$MATNO 1 0 1 $TEMP
0.00100 0.10000E+07 /
$TEMP
0 /
heatr
31 -23 -24 0
$MATNO 0 0 0 0 0.0 / matd npk nqa ntemp local iprint break

```

```

moder
-24 25
stop
END_DATA
#
cp tape25 $PHEAT
cp output $OUTnfy
rm tape*
echo 'End of NJOY/HEATR job'
else
echo 'skip Heatr'
# pendf from sigma1 output instead of heatr output
cp $OUTSIG $PHEAT
endif
#
#*****-----#
# MVPLIBMK STEP *
#*****-----#
#
set PDSWRK = $MVPXS_DIR/tmp/$NUCNAM.PDSWORK
mkdir $PDSWRK
#
setenv ENDF      $OUTLIN
setenv PENDF     $PHEAT
setenv OENDF     $PACER
#
setenv U3RPDS01  $PDS01
setenv U3RPDS02  $PDS02
setenv U3RPDS03  $PDS03
setenv U3RPDS04  $PDS04
setenv U3RPDS05  $PDS05
setenv U3RPDS06  $PDS06
setenv U3RPDS07  $PDS07
setenv U3RPDS08  $PDS08
setenv U3RPDS09  $PDS09
setenv U3RPDS10  $PDS10
setenv U3RPDS11  $PDS11
#
setenv VIMPDS   $PDSWRK
setenv THERMAL   $THMJ_PDS
setenv MVPLIB    $OUTLIB
#-----
echo 'Running MVPLIBMK'
cat - << END_DATA | $LmLbm >& $OMSG
MVPlib for $NUCNAM based on $IDENDF
$NUCID $THMDT
$MATNO $ITHERM 0 $IGOPT / matd,itherm,iprint,igopt : line#3
0.001 32 0          / error,nbina,nbinp : line#4
0 1 $NUNR 0.0 0 1 0  / libtyp,idump,nunr,crsmin,idbg,itfree,ntu3r : line#5
$NUCNAM           / MATT(A16) for MVP library name : line#7
VERSION 3 : $NUCNAM MATNO=$MATNO Temp=$TEMP kelvin
PENDF Created by LINEAR-RECENT-SIGMA1 with 0.1% error
0.0 0.0          / ehi,elow for dump energy range : line#9
0 0 0 0 0 0       / iprf1 iprf3 iprf4 iprf5 iprunr : line#10
END_DATA
#

```

```

mv Acer.list $LIST1
mv Libmk.list $LIST2
cp fort.99 $OCHK1
cp $OMSG      $OMSG1
rm fort./*
#
echo 'End of MVPLIBMK job'
cd $MVPXS_DIR
# rm -r $WKDR
# rm -r $PDSWRK
=====

```

4) 熱中性子散乱データを用いた H-1 の MVP ライブラリー編集用実行シェルスクリプト

以下は、熱中性子散乱データ ( $H_2O$ ) を用いた H-1 の MVP ライブラリーを作成するシェルスクリプトの例である。3)で示した U-238 の処理と同様な流れであるが、最初に THERMJ-B6 による処理を「(\$NUCNAM.thrm = H0001HJ40.thrm」という名前のシェルスクリプトで実行している。「H0001HJ40.thrm」の内容は 2)で示したものである。

```

#!/bin/csh
#
# Shellscrip to execute (U3RJ),LINEAR,RECENT,SIGMA1,NJOY(heatr),MVPLIBMK
# Note : Jobs with the same NUCNAM should not be executed at the same time !
#
echo This job was submitted to $HOST by $HOME
#
#~~~ lbmk01.txt ~~~~~
# DATE      : Current date and time to be used for working directory name
#             which is preferable in English. (e.g. Jan01.01.01.01)
# MVPXS_DIR : Name of the top directory on which nuclear data files and
#             I/O directories are stored in predetermined format.
# ENDF_DIR   : Full path name of the directory in which nuclide-wise
#             evaluated nuclear data files are stored.
# LICEM_BIN  : Full path name of the directory in which LICEM executables
#             are installed.
# XNJOY_EXE  : Full path name of the NJOY executable
# DATA       : File name of nuclide-wise Evaluated Nuclear Data File
# NUCNAM    : Nuclide and Library index to be used for file name
#             Set standard name (zzmmmnlll) of MVP library
# TEMP       : Standard (=lowest) temperature (K) for MVP library
# INPTEMP   : Input line for SIGMA1 (Change in accordance with TEMP)
# IDTMP     : Temperature index to be used for output file name
# ITHERM    : Input data for MVPLIBMK (See manual of LICEM)
# THMDT     : Index(A3) for thermal scattering PDS (not effective for
#             free gas model (ITHERM=0)
# IGOPT     : Control integer for gamma production data, however, you can
#             set zero even when the data is not in the ENDF.
# NUNR      : Length of cross section probability table (=0: default:20)
#-----
setenv LANG C
set DATE      = `date +%b%d.%H.%M.%S`
```

```

#~~~ Tlbnmk_mksh.sh ~~~~~
#
set MVPXS_DIR = /home/MVP_XS/J40_XS
set ENDF_DIR = $MVPXS_DIR/endf
set LICEEM_BIN = /home/code/LICEM2010/bin
set XNJOY_EXE = /home/code/NJOY99V304/bin/xnjoy
#
set IDENDF = JENDL-40
set NUCNAM = H0001HJ40
set DATA = H001.dat
set MATNO = 125
set INPMAT = ' 125 0 0 12599999 '
set NUCID = H1
set TEMP = 296.00
set INPTEMP = '          0          0 2.9600e+02 1.0000e-10'
set IDTMP = t0296
set ITHERM = 1
set THMDT = H2O
set IGOPT = 0
set NUNR = 20
#~~~ lbmk04.txt ~~~~~
alias mkdir mkdir
alias echo echo
alias cp cp
alias cd cd
alias cat cat
alias rm rm
alias mv mv
#-----
# Set output directory & file name
#-----
set INENDF = $ENDF_DIR/$DATA
set U3RJ_PDS = $MVPXS_DIR/outp/U3RJ_pds/$NUCNAM
set THMJ_PDS = $MVPXS_DIR/outp/THRM_pds/$NUCNAM
set ODR1 = $MVPXS_DIR/outp/LBMK_log
set ODR2 = $MVPXS_DIR/outp/work
#
set OUTLIB = $MVPXS_DIR/ART_libT/MVplibV3.$NUCNAM.dat
set OPENDF = $MVPXS_DIR/pendf/$NUCNAM.$IDTMP.dat
#
set LmLine = $LICEEM_BIN/linear
set LmRecn = $LICEEM_BIN/recent
set LmSigm = $LICEEM_BIN/sigma1
set LmLbmk = $LICEEM_BIN/mvplibmk
#
set PDS01 = $U3RJ_PDS/T0293
set PDS02 = $U3RJ_PDS/T0300
set PDS03 = $U3RJ_PDS/T0393
set PDS04 = $U3RJ_PDS/T0600
set PDS05 = $U3RJ_PDS/T0900
set PDS06 = $U3RJ_PDS/T1200
set PDS07 = $U3RJ_PDS/T1500
set PDS08 = $U3RJ_PDS/T1800
set PDS09 = $U3RJ_PDS/T2100
set PDS10 = $U3RJ_PDS/T2500
set PDS11 = $U3RJ_PDS/T3000

```

```

#
set OUTLST1 = $ODR2/$NUCNAM.lin.list
set OUTLST2 = $ODR2/$NUCNAM.rec.list
set OUTLST3 = $ODR2/$NUCNAM.sig.list
#
set OUTnfy = $ODR2/$NUCNAM.heatr.list
set OUTlog = $ODR2/$NUCNAM.heatr.log
#
set LIST1 = $ODR1/$NUCNAM.acer.list
set LIST2 = $ODR1/$NUCNAM.libmk.list
#
set OMSG1 = $ODR1/$NUCNAM.mvplibmk.ft06
set OCHK1 = $ODR1/$NUCNAM.mvplibmk.ft99
set OMSG = $NUCNAM.mvplibmk.ft06
set OCHK = $NUCNAM.mvplibmk.ft99
#
set INPLIN = $NUCNAM.lininp
set OUTLIN = $NUCNAM.linout
set OUTREC = $NUCNAM.recout
set OUTSIG = $NUCNAM.sigout
#
# set PHEAT = $MVPXS_DIR/outp/pendf/$NUCNAM.$IDTMP.heatr.dat
# set PACER = $MVPXS_DIR/outp/pendf/$NUCNAM.$IDTMP.acer.dat
set PHEAT = $NUCNAM.$IDTMP.heatr.dat
set PACER = $NUCNAM.$IDTMP.acer.dat
#
# Date & time to avoid interaction among jobs using the same i/o file names
set WKDR = $MVPXS_DIR/tmp/$NUCNAM.MlibMk.$DATE
mkdir $WKDR
cd $WKDR
echo "$NUCNAM is processing"
#
#*****THERMJ STEP *****
#*****U3RJ STEP *****
#
if ( ! -e $MVPXS_DIR/shell/THRJ_sh/$NUCNAM.thrm ) then
  echo " XXX ERROR : THERMJ shellscript for $NUCNAM is not found."
  exit
endif
$MVPXS_DIR/shell/THRJ_sh/$NUCNAM.thrm
#
#*****U3RJ STEP *****
#
set GOU3RJ = Yes
if($GOU3RJ == "Yes") then
  if ( ! -e $MVPXS_DIR/shell/U3RJ_sh/$NUCNAM.u3rj ) then
    echo " XXX ERROR : U3RJ shellscript for $NUCNAM is not found."
    exit
  endif
  $MVPXS_DIR/shell/U3RJ_sh/$NUCNAM.u3rj
endif
#
#*****

```

```

# LINEAR STEP      *
#***** *****
#
echo 'Running LINEAR'
cp $INENDF $INPLIN
cat > input << EOF
    0          0 0.0           1
$INPLIN
$OUTLIN
$INPMAT (Blank card terminates MAT request list)

0.00000-00 1.00000-03 (Blank card terminates FILE 3 error law)

EOF
#
cp input LINEAR.INP
$LmLine >& $NUCNAM.lin.outlist
echo 'End of LIENAR job'
cp LINEAR.LST $OUTLST1
# rm fort.*
rm input
rm $INPLIN
#
#***** -----
# RECENT STEP      *
#***** *****
#
echo 'Running RECENT'
cat > input << EOF
    0 1.00000-10          0          1          0          0
$OUTLIN
$OUTREC
    1      9999
(Blank card terminates MAT request list)
0.00000-00 1.00000-03
(Blank card terminates FILE 3 error law)

EOF
#
cp input RECENT.INP
$LmRecn >& $NUCNAM.recent.outlist
echo 'End of RECENT job'
cp RECENT.LST $OUTLST2
# rm fort.*
rm input
#
#***** -----
# SIGMA1 STEP      *
#***** *****
#
echo 'Running SIGMA1'
#
cat > input << EOF
$INPTEMP
$OUTREC

```

```

$OUTSIG
      0      9999

0.00000+ 0 1.00000- 3

EOF
#
  cp input SIGMA1.INP
  $LmSigm >& $NUCNAM.sigmal.outlist
  echo 'End of SIGMA1 job'
#
  cp SIGMA1.LST  $OUTLST3
#  cp $OUTSIG      $OPENDF
#  rm fort.*
  rm input
  rm $OUTREC
#
  cp $OUTLIN  tape31
  cp $OUTSIG  tape32
#
#*****-----
# NJOY/HEATR STEP *
#*****-----
#
set GOHEATR = Yes
if($GOHEATR == "Yes") then
#-----heatr
  echo 'running NJOY'
#
cat - << END_DATA | $XNJOY_EXE >& $OUTlog
  moder
    32 -21
  reconr
    -21 -22
    ' 0.1% pendf $IDENDF  ' /
    $MATNO  0      0
      0.0010  $TEMP      /
  0 /
  broadr
    31 -22 -23
    $MATNO  1      0      1      $TEMP
      0.00100 0.10000E+07  /
      $TEMP
  0 /
  heatr
    31 -23 -24 0
  $MATNO 0 0 0 0 0 0.0 / matd npk nqa ntemp local iprint break
  moder
    -24 25
  stop
END_DATA
#
  cp tape25  $PHEAT
  cp output  $OUTnfy
  rm tape*
  echo 'End of NJOY/HEATR job'

```

```

#-----heatr
else
    echo 'skip Heatr'
# pendf from sigma1 output instead of heatr output
    cp $OUTSIG $PHEAT
endif
#
#*****MVPLIBMK STEP ****
#*****
#
set PDSWRK = $MVPXS_DIR/tmp/$NUCNAM.PDSWORK
mkdir $PDSWRK
#
setenv ENDF      $OUTLIN
setenv PENDF     $PHEAT
setenv OENDF     $PACER
#
setenv U3RPDS01  $PDS01
setenv U3RPDS02  $PDS02
setenv U3RPDS03  $PDS03
setenv U3RPDS04  $PDS04
setenv U3RPDS05  $PDS05
setenv U3RPDS06  $PDS06
setenv U3RPDS07  $PDS07
setenv U3RPDS08  $PDS08
setenv U3RPDS09  $PDS09
setenv U3RPDS10  $PDS10
setenv U3RPDS11  $PDS11
#
setenv VIMPDS   $PDSWRK
setenv THERMAL   $THMJ_PDS
setenv MVPLIB    $OUTLIB
#-----
echo 'Running MVPLIBMK'
cat - << END_DATA | $LmLmk >& $OMSG
MVPlib for $NUCNAM based on $IDENDF
$NUCID $THMDT
$MATNO $ITHERM 0 $IGOPT / matd,itherm,iprint,igopt : line#3
0.001 32 0          / error,nbina,nbinp : line#4
0 1 $NUNR 0.0 0 1 0  / libtyp,idump,nunr,crsmin,idbg,itfree,ntu3r : line#5
$NUCNAM           / MATT(A16) for MVP library name : line#7
VERSION 3 : $NUCNAM MATNO=$MATNO Temp=$TEMP kelvin
PENDF Created by LINEAR-RECENT-SIGMA1 with 0.1% error
    0.0 0.0          / ehi,elow for dump energy range : line#9
    0 0 0 0 0 0       / iprf1 iprf3 iprf4 iprf5 iprunr : line#10
END_DATA
#
mv Acer.list $LIST1
mv Libmk.list $LIST2
cp fort.99   $OCHK1
cp $OMSG     $OMSG1
rm fort./*
#
echo 'End of MVPLIBMK job'
cd $MVPXS_DIR

```

```
rm -r $WKDR
rm -r $PDSWRK
#=====
```

## 4. JENDL-4.0に基づく MVP 中性子断面積ライブラリー

本章では、JENDL-4.0に基づき作成した MVP ライブラリー (MVPlib\_nJ40) の概要と利用方法について説明する。

### 4.1 MVP 中性子断面積ライブラリーの概要と利用方法

#### (1) 固定温度中性子断面積ライブラリーと任意温度中性子断面積ライブラリー

MVP 中性子断面積ライブラリーには、固定温度中性子断面積ライブラリーと任意温度中性子断面積ライブラリー<sup>17)</sup>の 2 種類がある。前者は、1 つの温度点のみの断面積情報しか持たないのに対し、後者は MVP の入力でユーザーが指定する任意温度点に対する断面積情報を与えることができる。固定温度中性子断面積ライブラリーは、MVP-BURN<sup>18)</sup>による燃焼計算のように、同じ温度点での断面積ライブラリーを使用して、MVP 計算を繰り返し行う場合に有効である。固定温度中性子断面積ライブラリーは、MVP/GMVP システムに付属の ART ユーティリティを使用することにより、ユーザーが希望する温度点に対し、任意温度中性子断面積ライブラリーから生成することができる。このため、MVP の中性子断面積ライブラリーとしては、任意温度中性子断面積ライブラリーのみを提供しており、固定温度中性子断面積ライブラリーは、必要に応じてユーザーが各自で作成する。

固定温度中性子断面積ライブラリーを使用する場合には、MVP の入力データで指定する核種 ID と実際の断面積ファイルとを対応づけるインデックスファイルを、通常「neutron.index」の名前で、機番 25 から与える。一方、MVP や ART ユーティリティにより、任意温度中性子断面積ライブラリーを使用する場合には、通常「neutron.art.index」の名前のインデックスファイルを機番 24 から与える。

任意温度中性子断面積ライブラリーのインデックスファイルの中は、例えば、以下のような記述となっている。

```

PATH /home/MVPlib/
*****
* JENDL-4.0
*****
AC2250J40      neutron/n293J40/MVPlibV3.AC2250J40.dat
AC2260J40      neutron/n293J40/MVPlibV3.AC2260J40.dat
AC2270J40      neutron/n293J40/MVPlibV3.AC2270J40.dat
AG1070J40      neutron/n293J40/MVPlibV3.AG1070J40.dat
AG1090J40      neutron/n293J40/MVPlibV3.AG1090J40.dat
:
:
*****
* JENDL-3.3
*****
AC2250J33      neutron/n293J33/MVPlibV3.AC2250J33.dat
AC2260J33      neutron/n293J33/MVPlibV3.AC2260J33.dat
AC2270J33      neutron/n293J33/MVPlibV3.AC2270J33.dat
AG1070J33      neutron/n293J33/MVPlibV3.AG1070J33.dat

```

ここで、1カラム目が「\*」の行はコメント行として無視される。「PATH」から始まる行は、以降に記述する断面積ファイルのパス名を指定する。例えば、MVP の標準入力で、核種名として「AC2250J40」を指定した場合、「/home/MVPlib/neutron/n293J40/MVPlibV3.AC2250J40.dat」のファイルが参照される。

## (2) 核種 ID の一般則

インデックスファイルにおける MVP の核種 ID（例えば AC2250J40）は、表 4.1 に示すように 9 文字で指定する。（特に必要がある場合には最大 12 文字まで可能）

表 4.1 MVP 中性子断面積ライブラリーの核種 ID の一般則

ZZmmmCLLL	一般的には核種 ID を下記のルールで 9 文字により指定する。 (特に必要がある場合には最大 12 文字まで可)
ZZ	元素記号（2 文字、全て大文字） 元素記号が 1 文字の場合は 2 番目を 0（ゼロ）とする。例 H→H0
mmm	質量数（3 文字） 3 衔未満の場合は前に 0（ゼロ）を加える。例 1→001 天然組成の場合は 000 とする。
C	基底状態と励起状態の区別あるいは分子の化学結合（熱中性子散乱データ）を示す（1 文字） 0 : 基底状態 1 : 励起状態（メタステーブル） 例 : Am-242m ZZmmmC=AM2421 化学結合 H : H-1 in H <sub>2</sub> O C : グラファイト (数字の場合は Free gas model) など
LLL	核データの識別（3 文字） J?? : JENDL(日本) 例 J40 : JENDL-4.0, J33 : JENDL-3.3 B?? : ENDF/B(米国) 例 B70 : ENDF/B-VII.0 F?? : JEFF または JEFF(欧州) 例 F31 : JEFF-3.1 C?? : CENDL(中国) 例 C31 : CENDL-3.1

なお、MVP-BURN による燃焼計算に使用する擬似 FP 核種など、特別な中性子断面積ライブラリーには”ZZ”から始まる核種 ID を与える。

熱中性子散乱データを与える核種には、代表的なものとして以下のものが挙げられる。

- H または D : 軽水(H<sub>2</sub>O)、重水(D<sub>2</sub>O)、ポリエチレン(CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>、ベンゼン(C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)、ジルコニウムハイドライド(ZrH)
- Be : 金属ベリリウム(Be)、酸化ベリリウム(BeO)
- C : 黒鉛(Graphite)、ベンゼン(C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)
- O : BeO(酸化ベリリウム)

MVP の入力データにおいて、JENDL-4.0 ライブラリーの H<sub>2</sub>O を指定する場合には、H0001HJ40 と O00160J40(free gas model)を組み合わせて使用するが、BeO のように、

BE009EJ40 と O0016EJ40 をセットで使用するものもある。これらの組み合わせは核データ評価に依存する。なお、JENDL-3.3 までは熱中性子散乱データが評価されていなかったため、JENDL 用の MVP ライブライリーを作成する際には、便宜的に ENDF/B の熱中性子散乱データを使用してきたが、JENDL-4.0 ではその評価が正式に与えられたため、JENDL-4.0 のデータを使用した。ただし、JENDL-4.0 の評価は、冷中性子用のデータを除き、ENDF/B-VI.8 の評価と同等なものであり、それは JENDL-3.3 の MVP ライブライリー作成<sup>5)</sup>に使用した熱中性子散乱データと同じである。

実際に MVP の入力データで任意温度中性子断面積ライブライリーを使用する場合の例を以下に示す。

```
***** LIBRARY : JENDL-4.0 : (J40) *****
* UO2 Fuel
& IDMAT(1)
TEMPMT(900) /* Temperature in Kelvin
U02350J40 ( 1.5122E-03 )
U02380J40 ( 2.1477E-02 )
O00160J40 ( 4.5945E-02 )
* Zr Cladding
& IDMAT(2)
TEMPMT(600) /* Temperature in Kelvin
% ZRN=4.3107E-02 /* Zr-nat.
% ZR90=51.45, ZR91=11.22, ZR92=17.15, ZR94=17.38, ZR96=2.80 /* abundance (atm.%)
ZR0900J40( <ZR90*ZRN/100> ) /* Zr-90
ZR0910J40( <ZR91*ZRN/100> ) /* Zr-91
ZR0920J40( <ZR92*ZRN/100> ) /* Zr-92
ZR0940J40( <ZR94*ZRN/100> ) /* Zr-94
ZR0960J40( <ZR96*ZRN/100> ) /* Zr-96
* H2O moderator
& IDMAT(3)
TEMPMT(600) /* Temperature in Kelvin
H0001HJ40( 4.4148E-02 )
O00160J40( 2.2074E-02 )
```

この入力例では、UO<sub>2</sub>燃料(900K)、Zr 被覆管(600K)、H<sub>2</sub>O 減速材(600K)の 3 物質を使用しており、JENDL-4.0 に基づく断面積データを、任意温度中性子断面積ライブライリーのインデックスファイルに定義される核種 ID(例えば U02350J40 など)で指定している。

### (3) 中性子断面積ライブライリーの作成条件

MVP 中性子ライブライリー作成の条件は、原則として以下のとおりである。

Point-wise 断面積内挿精度	: 0.1 %
非分離共鳴	: 断面積確率テーブル+point-wise 断面積評価済み核データに従う
熱中性子散乱 (S( $\alpha, \beta$ ))	: 評価済み核データの熱中性子散乱データを用いる。
散乱の角度分布	: 32 の等確率余弦ビン
エネルギー分布	: 値済み核データの表現に従う

$\gamma$ 線生成断面積	: 評価済み核データに与えられている核種は処理
基準温度点	: Free gas model によるものは 293.15K、熱中性子散乱データを使用する場合には、そのデータ評価値の下限温度

## 4.2 JENDL-4.0 ライブラリーの一覧

LICEM2010 により、JENDL-4.0 に基づき、以下に示す①～③の任意温度中性子断面積ライブラリー (MVPlib\_nJ40)を作成した。

- ① Free gas model によるライブラリー : 406 核種 (JENDL-4.0 の全評価核種)

JENDL-4.0 では、H-1 の MT=102 のガンマ線生成データが File6 の LAW=2 で評価されているが、LICEM2010 システムではこれを処理できない。そこで H-1 に対する MVP ライブラリーの作成では IGOPT=1 ( $\gamma$  線生成データを処理しない) のオプションを使用した。

- ② JENDL-4.0 の熱中性子散乱データを使用したライブラリー(熱中性子散乱データ以外は①と同じデータを使用) : 25 核種

Free gas model の H-1 と同様に、熱中性子散乱データを使用する H-1 の断面積 (H0001HJ40、H0001PJ40、H0001QJ40、H0001ZJ40 など) についても、 $\gamma$  線生成データを処理していない。

- ③ MVP-BURN に使用する擬似 FP 等の断面積ライブラリー : 4 核種

ZZ0500 : 50 核種を扱う FP チェーンモデル用の擬似 FP 核種

ZZ9900 : 104 核種を扱う FP チェーンモデル用の擬似 FP 核種

ZZ1110 : 119 核種を扱う FP チェーンモデル<sup>19)</sup>用の擬似 FP 核種

ZZ0000 : 核データ評価がない短寿命核種に便宜的に与える断面積

擬似 FP 核種 (ZZ0500, ZZ9900, ZZ1110) の断面積は、MOSRA-SRAC コード<sup>20)</sup>とその JENDL-4.0 ライブラリーにより、198 の FP 核種を扱う燃焼計算の結果に基づき得られた 200 群構造の多群断面積を ENDF-5 フォーマットに変換後、LICEM2010 により作成したものである。参考までに、擬似 FP 核種 ZZ1110 の断面積データを図 4.1 に示す。

ZZ000 の断面積は、弾性散乱と捕獲断面積を  $10^{-9}$ barn、原子質量 300、弾性散乱は重心系等方として作成したものである。MVP-BURN では、組成評価を行う核種は必ず中性子断面積ライブラリーの読み込みを行う設計としてある。このため、断面積に感度が無く核データ評価も無いような核種については、ZZ000 をダミーの断面積ライブラリーとして与えて対応することができる。

ZZ から始まる以上の断面積ライブラリーについては、MVP や ART で温度を指定しても、ドップラーブローディング等の処理はスキップされ、断面積の値は変わらない。

JENDL-4.0 では同位体毎の評価が原則とされているが、98.89 atm.% の C-12 と 1.11 atm.%

の C-13 で構成される天然組成 C については、例外的に天然組成核種としての評価がなされている。JENDL-4.0 には C-12 と C-13 の評価はないため、例えば MVP で自由ガスモデルの炭素を指定する場合には、核種 ID として C00000J40 を指定する。一方、V-51(99.75 atm.%)と V50(0.25 atm.%)で構成される天然組成 V (バナジウム) は、JENDL-3.3 では天然組成核種として評価されており、これを MVP では V00000J33 により指定していたが、JENDL-4.0 では、V00500J40 と V00510J40 で指定することになる。

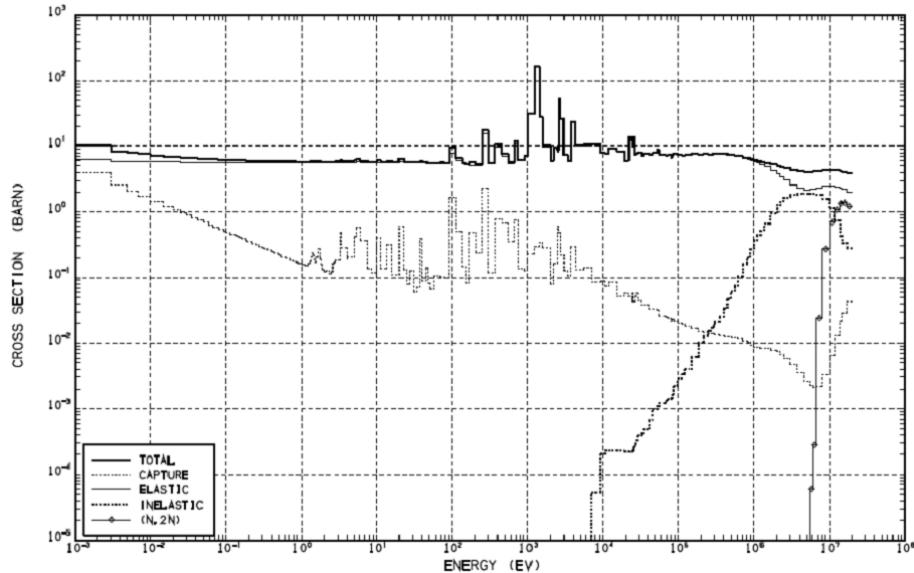


図 4.1 擬似 FP 核種(ZZ1110)の断面積

JENDL-4.0 ライブライバーの一覧と情報を表 4.2 と表 4.3 にまとめた。これらの表に使用されている記号の意味は以下のとおりである。

- Z : 元素番号
- Nuclide : 同位体核種の名前
- “Nat.”は天然組成核種、”psd”と dmy”は燃焼計算用の断面積ライブラリー
- MAT# : 核データ評価における MAT ナンバー
- C.S.P. : 非分離共鳴エネルギー領域における Cross Section Probability table の有無
- Gamma-p :  $\gamma$  線生成データの有無
- KERMA : Kerma Factor の有無
- ELOW : ライブライバーのエネルギー下限値(eV)
- EHI : ライブライバーのエネルギー上限値(eV)
- Temp. (K) : ライブライバーの基準温度点(K)
- 任意温度中性子断面積ライブラリーは、MVP の入力で温度を指定しない限り、基準温度点のものとして使用される。MVP や ART ユーティリティの入力で基

準温度点より低い温度を指定した場合も、基準温度点のデータが採用される。

Max-T (K) : ライブラリーの上限温度 (K)

非分離共鳴エネルギーで断面積確率テーブルを与える核種(C.S.P.=Yes)に対しては温度上限が存在する。MVP や ART ユーティリティの入力で、Max.T を超える値を入力した場合、この上限温度におけるデータが採用される。記載がない核種に対しては上限値はない。

Size (kB) : 32bit コンピュータにおけるバイナリーデータのサイズ(Kbytes)  
(サイズは使用する計算機や OS によって異なることがある)

SMAT : 热中性子散乱データの MAT ナンバー

Pair : 当該ライブラリーとセットで使用すべきライブラリーの核種 ID

表 4.2 JENDL-4.0 ライブライ (Free gas model)

Z	Nuclide Name	Nuclide ID in MVP	MAT#	*C.S.P. Table	Gamma-p Data	KERMA factor	ELOW (eV)	EHI (eV)	Temp. (K)	Max-T (K)	Size (kB)
1	H - 1	H00010J40	125	No	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		33
1	H - 2	H00020J40	128	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		316
2	HE- 3	HE0030J40	225	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		28
2	HE- 4	HE0040J40	228	No	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		72
3	LI- 6	LI0060J40	325	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		92
3	LI- 7	LI0070J40	328	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		97
4	BE- 9	BE0090J40	425	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		997
5	B - 10	B00100J40	525	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		156
5	B - 11	B00110J40	528	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		276
6	C -Nat.	C00000J40	600	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		179
7	N - 14	N00140J40	725	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		356
7	N - 15	N00150J40	728	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		183
8	O - 16	O00160J40	825	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		379
9	F - 19	F00190J40	925	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		1208
11	NA- 23	NA0230J40	1125	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		1395
12	MG- 24	MG0240J40	1225	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		323
12	MG- 25	MG0250J40	1228	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		359
12	MG- 26	MG0260J40	1231	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		273
13	AL- 27	AL0270J40	1325	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		934
14	SI- 28	SI0280J40	1425	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		1949
14	SI- 29	SI0290J40	1428	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		2440
14	SI- 30	SI0300J40	1431	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		2123
15	P - 31	P00310J40	1525	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		316
16	S - 32	S00320J40	1625	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		823
16	S - 33	S00330J40	1628	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		413
16	S - 34	S00340J40	1631	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		320
16	S - 36	S00360J40	1637	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		234
17	CL- 35	CL0350J40	1725	No	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		658
17	CL- 37	CL0370J40	1731	No	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		334
18	AR- 40	AR0400J40	1837	No	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		1319
19	K - 39	K00390J40	1925	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		538
19	K - 40	K00400J40	1928	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		356
19	K - 41	K00410J40	1931	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		448
20	CA- 40	CA0400J40	2025	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		2945
20	CA- 42	CA0420J40	2031	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		3262
20	CA- 43	CA0430J40	2034	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		3945
20	CA- 44	CA0440J40	2037	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		2884
20	CA- 46	CA0460J40	2043	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		2254
20	CA- 48	CA0480J40	2049	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		1990
21	SC- 45	SC0450J40	2125	No	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		1302
22	TI- 46	TI0460J40	2225	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		1806
22	TI- 47	TI0470J40	2228	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		1635
22	TI- 48	TI0480J40	2231	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		1593
22	TI- 49	TI0490J40	2234	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		1616
22	TI- 50	TI0500J40	2237	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		1289
23	V - 50	V00500J40	2325	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		2761
23	V - 51	V00510J40	2328	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4234
24	CR- 50	CR0500J40	2425	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		3483
24	CR- 52	CR0520J40	2431	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4454
24	CR- 53	CR0530J40	2434	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4285
24	CR- 54	CR0540J40	2437	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		2807
25	MN- 55	MN0550J40	2525	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3890
26	FE- 54	FE0540J40	2625	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		3010
26	FE- 56	FE0560J40	2631	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4483
26	FE- 57	FE0570J40	2634	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		2845
26	FE- 58	FE0580J40	2637	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		2717
26	FE- 59	FE0590J40	2640	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	387
27	CO- 59	CO0590J40	2725	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		2683

(continued on the next page)

表 4.2 (continued) JENDL-4.0 ライブライバー (Free gas model)

28	NI- 58	NI0580J40	2825	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4266
28	NI- 59	NI0590J40	2828	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	407
28	NI- 60	NI0600J40	2831	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		3086
28	NI- 61	NI0610J40	2834	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		1091
28	NI- 62	NI0620J40	2837	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		948
28	NI- 64	NI0640J40	2843	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		832
29	CU- 63	CU0630J40	2925	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4280
29	CU- 65	CU0650J40	2931	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		3825
30	ZN- 64	ZN0640J40	3025	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4386
30	ZN- 65	ZN0650J40	3028	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2730
30	ZN- 66	ZN0660J40	3031	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3541
30	ZN- 67	ZN0670J40	3034	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4115
30	ZN- 68	ZN0680J40	3037	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2890
30	ZN- 70	ZN0700J40	3043	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2839
31	GA- 69	GA0690J40	3125	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	534
31	GA- 71	GA0710J40	3131	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	543
32	GE- 70	GE0700J40	3225	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1963
32	GE- 72	GE0720J40	3231	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1944
32	GE- 73	GE0730J40	3234	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2414
32	GE- 74	GE0740J40	3237	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1824
32	GE- 76	GE0760J40	3243	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1832
33	AS- 75	AS0750J40	3325	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1289
34	SE- 74	SE0740J40	3425	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	462
34	SE- 76	SE0760J40	3431	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	577
34	SE- 77	SE0770J40	3434	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	696
34	SE- 78	SE0780J40	3437	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	544
34	SE- 79	SE0790J40	3440	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	435
34	SE- 80	SE0800J40	3443	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	455
34	SE- 82	SE0820J40	3449	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	371
35	BR- 79	BR0790J40	3525	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1291
35	BR- 81	BR0810J40	3531	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1435
36	KR- 78	KR0780J40	3625	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	395
36	KR- 80	KR0800J40	3631	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	430
36	KR- 82	KR0820J40	3637	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	424
36	KR- 83	KR0830J40	3640	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	470
36	KR- 84	KR0840J40	3643	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	448
36	KR- 85	KR0850J40	3646	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	453
36	KR- 86	KR0860J40	3649	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		706
37	RB- 85	RB0850J40	3725	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	911
37	RB- 86	RB0860J40	3728	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	470
37	RB- 87	RB0870J40	3731	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	403
38	SR- 84	SR0840J40	3825	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	479
38	SR- 86	SR0860J40	3831	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	895
38	SR- 87	SR0870J40	3834	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1095
38	SR- 88	SR0880J40	3837	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	957
38	SR- 89	SR0890J40	3840	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	405
38	SR- 90	SR0900J40	3843	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	341
39	Y - 89	Y00890J40	3925	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	996
39	Y - 90	Y00900J40	3928	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	627
39	Y - 91	Y00910J40	3931	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	536
40	ZR- 90	ZR0900J40	4025	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1938
40	ZR- 91	ZR0910J40	4028	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2168
40	ZR- 92	ZR0920J40	4031	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2165
40	ZR- 93	ZR0930J40	4034	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	667
40	ZR- 94	ZR0940J40	4037	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2325
40	ZR- 95	ZR0950J40	4040	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	554
40	ZR- 96	ZR0960J40	4043	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2020
41	NB- 93	NB0930J40	4125	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1378
41	NB- 94	NB0940J40	4128	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	673
41	NB- 95	NB0950J40	4131	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	597

(continued on the next page)

表 4.2 (continued) JENDL-4.0 ライブライバー (Free gas model)

42	MO- 92	MO0920J40	4225	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	900
42	MO- 94	MO0940J40	4231	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	757
42	MO- 95	MO0950J40	4234	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	800
42	MO- 96	MO0960J40	4237	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	937
42	MO- 97	MO0970J40	4240	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	783
42	MO- 98	MO0980J40	4243	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1282
42	MO- 99	MO0990J40	4246	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	528
42	MO-100	MO1000J40	4249	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1279
43	TC- 99	TC0990J40	4331	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2259
44	RU- 96	RU0960J40	4425	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	658
44	RU- 98	RU0980J40	4431	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	686
44	RU- 99	RU0990J40	4434	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	842
44	RU-100	RU1000J40	4437	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1224
44	RU-101	RU1010J40	4440	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1032
44	RU-102	RU1020J40	4443	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1345
44	RU-103	RU1030J40	4446	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	644
44	RU-104	RU1040J40	4449	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1105
44	RU-105	RU1050J40	4452	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	573
44	RU-106	RU1060J40	4455	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	487
45	RH-103	RH1030J40	4525	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1559
45	RH-105	RH1050J40	4531	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	765
46	PD-102	PD1020J40	4625	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2771
46	PD-104	PD1040J40	4631	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3234
46	PD-105	PD1050J40	4634	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4202
46	PD-106	PD1060J40	4637	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2705
46	PD-107	PD1070J40	4640	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2958
46	PD-108	PD1080J40	4643	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3179
46	PD-110	PD1100J40	4649	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2968
47	AG-107	AG1070J40	4725	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4738
47	AG-109	AG1090J40	4731	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4589
47	AG-110m	AG1101J40	4735	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3852
47	AG-111	AG1110J40	4737	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2665
48	CD-106	CD1060J40	4825	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	647
48	CD-108	CD1080J40	4831	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	650
48	CD-110	CD1100J40	4837	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1175
48	CD-111	CD1110J40	4840	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1418
48	CD-112	CD1120J40	4843	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1271
48	CD-113	CD1130J40	4846	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1074
48	CD-114	CD1140J40	4849	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1217
48	CD-116	CD1160J40	4855	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	889
49	IN-113	IN1130J40	4925	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	853
49	IN-115	IN1150J40	4931	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1538
50	SN-112	SN1120J40	5025	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3113
50	SN-114	SN1140J40	5031	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3145
50	SN-115	SN1150J40	5034	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3479
50	SN-116	SN1160J40	5037	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4252
50	SN-117	SN1170J40	5040	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3383
50	SN-118	SN1180J40	5043	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3323
50	SN-119	SN1190J40	5046	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2862
50	SN-120	SN1200J40	5049	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3803
50	SN-122	SN1220J40	5055	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2914
50	SN-123	SN1230J40	5058	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2475
50	SN-124	SN1240J40	5061	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2550
50	SN-126	SN1260J40	5067	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2018
51	SB-121	SB1210J40	5125	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2514
51	SB-123	SB1230J40	5131	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2457
51	SB-124	SB1240J40	5134	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	636
51	SB-125	SB1250J40	5137	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	879
51	SB-126	SB1260J40	5140	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	419
52	TE-120	TE1200J40	5225	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	661

(continued on the next page)

表 4.2 (continued) JENDL-4.0 ライブライバー (Free gas model)

52	TE-122	TE1220J40	5231	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1619
52	TE-123	TE1230J40	5234	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	918
52	TE-124	TE1240J40	5237	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2360
52	TE-125	TE1250J40	5240	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1735
52	TE-126	TE1260J40	5243	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1576
52	TE-127m	TE1271J40	5247	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	723
52	TE-128	TE1280J40	5249	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	618
52	TE-129m	TE1291J40	5253	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	753
52	TE-130	TE1300J40	5255	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	639
52	TE-132	TE1320J40	5261	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	349
53	I -127	I01270J40	5325	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2280
53	I -129	I01290J40	5331	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1805
53	I -130	I01300J40	5334	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	645
53	I -131	I01310J40	5337	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	723
53	I -135	I01350J40	5349	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	253
54	XE-124	XE1240J40	5425	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	653
54	XE-126	XE1260J40	5431	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	614
54	XE-128	XE1280J40	5437	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	730
54	XE-129	XE1290J40	5440	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1075
54	XE-130	XE1300J40	5443	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	809
54	XE-131	XE1310J40	5446	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	854
54	XE-132	XE1320J40	5449	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	628
54	XE-133	XE1330J40	5452	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	654
54	XE-134	XE1340J40	5455	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	554
54	XE-135	XE1350J40	5458	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	637
54	XE-136	XE1360J40	5461	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		724
55	CS-133	CS1330J40	5525	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	9853
55	CS-134	CS1340J40	5528	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	8891
55	CS-135	CS1350J40	5531	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	7026
55	CS-136	CS1360J40	5534	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	7368
55	CS-137	CS1370J40	5537	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	6789
56	BA-130	BA1300J40	5625	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	929
56	BA-132	BA1320J40	5631	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	603
56	BA-134	BA1340J40	5637	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1080
56	BA-135	BA1350J40	5640	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1585
56	BA-136	BA1360J40	5643	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1123
56	BA-137	BA1370J40	5646	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1052
56	BA-138	BA1380J40	5649	No	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		808
56	BA-140	BA1400J40	5655	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	654
57	LA-138	LA1380J40	5725	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	828
57	LA-139	LA1390J40	5728	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1395
57	LA-140	LA1400J40	5731	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	597
58	CE-140	CE1400J40	5837	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		1130
58	CE-141	CE1410J40	5840	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	466
58	CE-142	CE1420J40	5843	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	543
58	CE-143	CE1430J40	5846	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	501
58	CE-144	CE1440J40	5849	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	414
59	PR-141	PR1410J40	5925	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1766
59	PR-143	PR1430J40	5931	Yes	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	835
60	ND-142	ND1420J40	6025	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3477
60	ND-143	ND1430J40	6028	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4630
60	ND-144	ND1440J40	6031	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4025
60	ND-145	ND1450J40	6034	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	5247
60	ND-146	ND1460J40	6037	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4891
60	ND-147	ND1470J40	6040	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4073
60	ND-148	ND1480J40	6043	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4084
60	ND-150	ND1500J40	6049	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3601
61	PM-147	PM1470J40	6149	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3869
61	PM-148	PM1480J40	6152	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4476
61	PM-148m	PM1481J40	6153	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4653

(continued on the next page)

表 4.2 (continued) JENDL-4.0 ライブライバー (Free gas model)

61	PM-149	PM1490J40	6155	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3632
61	PM-151	PM1510J40	6161	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3387
62	SM-144	SM1440J40	6225	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3757
62	SM-147	SM1470J40	6234	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	5511
62	SM-148	SM1480J40	6237	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4441
62	SM-149	SM1490J40	6240	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	5105
62	SM-150	SM1500J40	6243	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4362
62	SM-151	SM1510J40	6246	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4820
62	SM-152	SM1520J40	6249	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4360
62	SM-153	SM1530J40	6252	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3806
62	SM-154	SM1540J40	6255	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2895
63	EU-151	EU1510J40	6325	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4774
63	EU-152	EU1520J40	6328	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4844
63	EU-153	EU1530J40	6331	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4401
63	EU-154	EU1540J40	6334	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3943
63	EU-155	EU1550J40	6337	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2955
63	EU-156	EU1560J40	6340	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3346
63	EU-157	EU1570J40	6343	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2617
64	GD-152	GD1520J40	6425	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	5487
64	GD-153	GD1530J40	6428	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4265
64	GD-154	GD1540J40	6431	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4539
64	GD-155	GD1550J40	6434	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4508
64	GD-156	GD1560J40	6437	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3991
64	GD-157	GD1570J40	6440	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3753
64	GD-158	GD1580J40	6443	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3680
64	GD-160	GD1600J40	6449	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3118
65	TB-159	TB1590J40	6525	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3961
65	TB-160	TB1600J40	6528	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3468
66	DY-154	DY1540J40	6619	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4806
66	DY-156	DY1560J40	6625	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4498
66	DY-158	DY1580J40	6631	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3193
66	DY-159	DY1590J40	6634	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3870
66	DY-160	DY1600J40	6637	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4117
66	DY-161	DY1610J40	6640	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4705
66	DY-162	DY1620J40	6643	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4365
66	DY-163	DY1630J40	6646	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4169
66	DY-164	DY1640J40	6649	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3348
68	ER-162	ER1620J40	6825	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	660
68	ER-164	ER1640J40	6831	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	664
68	ER-166	ER1660J40	6837	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1063
68	ER-167	ER1670J40	6840	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1136
68	ER-168	ER1680J40	6843	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	955
68	ER-170	ER1700J40	6849	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	805
69	TM-169	TM1690J40	6925	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4540
70	YB-168	YB1680J40	7025	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	469
70	YB-170	YB1700J40	7031	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	568
70	YB-171	YB1710J40	7034	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1363
70	YB-172	YB1720J40	7037	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	880
70	YB-173	YB1730J40	7040	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1188
70	YB-174	YB1740J40	7043	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	619
70	YB-176	YB1760J40	7049	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	583
72	HF-174	HF1740J40	7225	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	538
72	HF-176	HF1760J40	7231	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	606
72	HF-177	HF1770J40	7234	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	720
72	HF-178	HF1780J40	7237	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	677
72	HF-179	HF1790J40	7240	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	676
72	HF-180	HF1800J40	7243	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	596
72	HF-181	HF1810J40	7246	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	414
72	HF-182	HF1820J40	7249	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	383
73	TA-181	TA1810J40	7328	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	1750

(continued on the next page)

表 4.2 (continued) JENDL-4.0 ライブライバー (Free gas model)

74	W -180	W01800J40	7425	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4276
74	W -182	W01820J40	7431	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4872
74	W -183	W01830J40	7434	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4706
74	W -184	W01840J40	7437	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4180
74	W -186	W01860J40	7443	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3628
76	OS-184	OS1840J40	7625	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4011
76	OS-186	OS1860J40	7631	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	5517
76	OS-187	OS1870J40	7634	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	6047
76	OS-188	OS1880J40	7637	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	5225
76	OS-189	OS1890J40	7640	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4784
76	OS-190	OS1900J40	7643	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4241
76	OS-192	OS1920J40	7649	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3526
79	AU-197	AU1970J40	7925	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4264
80	HG-196	HG1960J40	8025	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	331
80	HG-198	HG1980J40	8031	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	361
80	HG-199	HG1990J40	8034	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	339
80	HG-200	HG2000J40	8037	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	391
80	HG-201	HG2010J40	8040	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	330
80	HG-202	HG2020J40	8043	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	291
80	HG-204	HG2040J40	8049	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	256
82	PB-204	PB2040J40	8225	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		8682
82	PB-206	PB2060J40	8231	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		9935
82	PB-207	PB2070J40	8234	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		7807
82	PB-208	PB2080J40	8237	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		6886
83	BI-209	BI2090J40	8325	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		2680
88	RA-223	RA2230J40	8825	No	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		103
88	RA-224	RA2240J40	8828	No	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		79
88	RA-225	RA2250J40	8831	No	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		70
88	RA-226	RA2260J40	8834	No	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		410
89	AC-225	AC2250J40	8925	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4354
89	AC-226	AC2260J40	8928	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4708
89	AC-227	AC2270J40	8931	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4498
90	TH-227	TH2270J40	9025	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4987
90	TH-228	TH2280J40	9028	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	5064
90	TH-229	TH2290J40	9031	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	5246
90	TH-230	TH2300J40	9034	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4807
90	TH-231	TH2310J40	9037	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		5149
90	TH-232	TH2320J40	9040	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	7159
90	TH-233	TH2330J40	9043	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4908
90	TH-234	TH2340J40	9046	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4280
91	PA-229	PA2290J40	9125	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4020
91	PA-230	PA2300J40	9128	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4537
91	PA-231	PA2310J40	9131	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	5137
91	PA-232	PA2320J40	9134	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4689
91	PA-233	PA2330J40	9137	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4868
92	U -230	U02300J40	9213	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		3903
92	U -231	U02310J40	9216	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4368
92	U -232	U02320J40	9219	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4835
92	U -233	U02330J40	9222	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	5991
92	U -234	U02340J40	9225	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	6185
92	U -235	U02350J40	9228	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	7393
92	U -236	U02360J40	9231	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	6667
92	U -237	U02370J40	9234	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	5697
92	U -238	U02380J40	9237	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	12597
93	NP-234	NP2340J40	9337	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4140
93	NP-235	NP2350J40	9340	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4050
93	NP-236	NP2360J40	9343	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4579
93	NP-237	NP2370J40	9346	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	6071
93	NP-238	NP2380J40	9349	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	5385
93	NP-239	NP2390J40	9352	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4500

(continued on the next page)

表 4.2 (continued) JENDL-4.0 ライブライ (Free gas model)

94	PU-236	PU2360J40	9428	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2630
94	PU-237	PU2370J40	9431	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		3504
94	PU-238	PU2380J40	9434	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3527
94	PU-239	PU2390J40	9437	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	5774
94	PU-240	PU2400J40	9440	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	5168
94	PU-241	PU2410J40	9443	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4045
94	PU-242	PU2420J40	9446	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3727
94	PU-244	PU2440J40	9452	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2699
94	PU-246	PU2460J40	9458	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		2652
95	AM-240	AM2400J40	9540	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		3089
95	AM-241	AM2410J40	9543	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3717
95	AM-242	AM2420J40	9546	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3571
95	AM-242m	AM2421J40	9547	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3590
95	AM-243	AM2430J40	9549	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3712
95	AM-244	AM2440J40	9552	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		3568
95	AM-244m	AM2441J40	9553	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		3651
96	CM-240	CM2400J40	9625	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		2540
96	CM-241	CM2410J40	9628	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		2505
96	CM-242	CM2420J40	9631	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2648
96	CM-243	CM2430J40	9634	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2729
96	CM-244	CM2440J40	9637	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3047
96	CM-245	CM2450J40	9640	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3241
96	CM-246	CM2460J40	9643	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3235
96	CM-247	CM2470J40	9646	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3314
96	CM-248	CM2480J40	9649	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	3018
96	CM-249	CM2490J40	9652	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		2952
96	CM-250	CM2500J40	9655	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	2637
97	BK-245	BK2450J40	9740	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4001
97	BK-246	BK2460J40	9743	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4219
97	BK-247	BK2470J40	9746	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4205
97	BK-248	BK2480J40	9749	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4484
97	BK-249	BK2490J40	9752	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4749
97	BK-250	BK2500J40	9755	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4774
98	CF-246	CF2460J40	9843	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		3912
98	CF-248	CF2480J40	9849	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4221
98	CF-249	CF2490J40	9852	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4870
98	CF-250	CF2500J40	9855	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4372
98	CF-251	CF2510J40	9858	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4860
98	CF-252	CF2520J40	9861	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15	3000	4820
98	CF-253	CF2530J40	9864	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4654
98	CF-254	CF2540J40	9867	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4310
99	ES-251	ES2510J40	9911	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4077
99	ES-252	ES2520J40	9912	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4412
99	ES-253	ES2530J40	9913	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4286
99	ES-254	ES2540J40	9914	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4573
99	ES-254	ES2541J40	9915	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4664
99	ES-255	ES2550J40	9916	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4260
100	FM-255	FM2550J40	9936	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		4739
psd	ZZ0500	ZZ0500J40	500	No	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		558
psd	ZZ0900	ZZ0990J40	1040	No	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		506
psd	ZZ1110	ZZ1110J40	1110	No	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	293.15		500
dmy	ZZ0000	ZZ0000DMY	4534	No	No	No	1.00E-05	2.00E+07	293.15		13

psd : pseudo fission products for burn-up calculation

dmy: FP nuclides with short half-lives and no cross section data for burn-up calculation

表 4.3 JENDL-4.0 ライブライ — (Thermal scattering model)

Z	Nuclide name	Nuclide in MVP	ID	MAT#	SMAT	C.S.P. table	Gamma-p data	KERMA factor	ELOW (eV)	EHI (eV)	Temp. (K)	Max-T (K)	Size (kB)	Pair Nuclides
1 H - 1	in H2O	H0001HJ40		125	1	No	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	296.00	1000	2527	000160J40 (free)
1 H - 1	in CH2	H0001PJ40		125	37	No	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	296.00	350	1102	000160J40 (free)
1 H - 1	in C6H6	H0001QJ40		125	40	No	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	296.00	1000	2180	C0000QJ40
1 H - 1	in ZrH	H0001ZJ40		125	7	No	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	296.00	1200	2732	ZR09 [1-6] ZJ40
1 H - 1	in LCH4	H0001LJ40CH4		125	2	No	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	100.00		475	C0000LJ40CH4
1 H - 1	in SCH4	H0001SJ40CH4		125	3	No	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	22.00		651	C0000SJ40CH4
1 Ortho H - 1		H0001TJ40ORT		125	33	No	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	20.00		782	
1 Para H - 1		H0001TJ40PAR		125	34	No	No	Yes	1.00E-05	2.00E+07	20.00		782	
1 H - 2	in D2O	H0002DJ40		128	11	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	296.00	1000	2350	000160J40 (free)
1 Ortho H - 2		H0002TJ40ORT		128	12	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	19.00		1064	
1 Para H - 2		H0002TJ40PAR		128	13	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	19.00		1064	
4 Be- 9	Metal	BE009BJ40		425	26	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	296.00	1200	3809	
4 Be- 9	in BeO	BE009EJ40		425	27	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	296.00	1200	3974	00016EJ40
6 Graphite		C0000CJ40		600	31	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	296.00	2000	3851	
6 C -Nat. in C6H6		C0000QJ40		600	SCT	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	296.00	1000	184	H0001QJ40
6 C -Nat. in LCH4		C0000LJ40CH4		600	FG	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	100.00		178	H0001LJ40CH4
6 C -Nat. in SCH4		C0000SJ40CH4		600	FG	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	22.00		178	H0001SJ40CH4
8 O - 16	in BeO	O00016EJ40		825	SCT	No	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	296.00	1200	398	BE009EJ40
40 Zr- 90	in ZrH	ZR090ZJ40		4025	58	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	296.00	1200	4696	H0001ZJ40
40 Zr- 91	in ZrH	ZR091ZJ40		4028	58	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	296.00	1200	4954	H0001ZJ40
40 Zr- 92	in ZrH	ZR092ZJ40		4031	58	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	296.00	1200	4901	H0001ZJ40
40 Zr- 93	in ZrH	ZR093ZJ40		4034	58	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	296.00	1200	3342	H0001ZJ40
40 Zr- 94	in ZrH	ZR094ZJ40		4037	58	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	296.00	1200	5040	H0001ZJ40
40 Zr- 95	in ZrH	ZR095ZJ40		4040	58	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	296.00	1200	3217	H0001ZJ40
40 Zr- 96	in ZrH	ZR096ZJ40		4043	58	Yes	Yes	Yes	1.00E-05	2.00E+07	296.00	1200	4714	H0001ZJ40

SCT : short collision time approximation  
 RG: free gas model

## 5. JENDL-4.0 ライブラリーによる臨界性ベンチマーク解析

MVP と JENDL-4.0 から作成した MVP ライブラリーを使用して、公開されている世界の多様な臨界実験体系に対するベンチマーク計算を実施した。以下では、その計算条件、計算結果、実験値との比較を示す。

### 5.1 ICSBEP ベンチマーク問題と MVP 計算条件

#### (1) ICSBEP ハンドブックの概要

臨界実験データをまとめた文献としては、ENDF-202<sup>21)</sup>がある。これは、米国の核データ開発の中心的会合の 1 つである CSEWG (Cross Section Evaluation Working Group)がまとめたベンチマーク問題集であり、古くから JENDL をはじめとする評価済み核データの検証に広く利用されてきた。1992 年には、米国エネルギー省(DOE)が、臨界実験データの鑑定、評価および編集を行うプロジェクトを Idaho National Engineering and Environmental Laboratory (INEEL)に委託した。このプロジェクトは、1994 年には、OECD/NEA の下での国際的な活動に発展し、" International Criticality Safety Benchmark Evaluation Project (ICSBEP)" と呼ばれている<sup>22)</sup>。このプロジェクトには、現在、米国、英国、日本、ロシア、フランス、英國、ハンガリー、韓国など、20 カ国が参加しており、これらの国で行われた実験データが ICSBEP ハンドブック<sup>8)</sup>に集約されている。ICSBEP ハンドブックは、実際には、DVD で配布されている他、インターネット版<sup>9)</sup>によるアクセスも可能である。

ICSBEP ハンドブックは、毎年 9 月頃に更新される。表 5.1 には、2001 年版から現在（2010 年版）までに収納されたデータ数の推移を示す。

表 5.1 ICSBEP ハンドブックに収納されたデータ数の推移

Edition	Number of evaluations	Number of configurations*
Ed.2001	307	2642
Ed.2002	330	2881
Ed.2003	350	3070
Ed.2004	379	3331
Ed.2006	442	3955
Ed.2007	464	4092
Ed.2008	485	4207
Ed.2009	501	4283
Ed.2010	516	4405

\*critical, near critical or subcritical configurations

ここで、「evaluation」は、1 セットの臨界実験データのドキュメント(アクロバット文書で与えられる)に相当している。1 セットの実験内では、燃料棒ピッチや臨界水位などを変更した複数ケースの炉心構成に対する実験が含まれている。これが「configuration」に対応している。

「evaluation」の名が示すように、各実験データの記述は、複数の評価者により精査・評価さ

れており、内容の信頼性は高い。ENDF-202 に含まれる実験データも、より洗練されたものとして仕上げられ、徐々に ICSBEP ハンドブックに取り込まれている。

1 つの実験ドキュメント(evaluation)の中には、以下の項目が ICSBEP の定めるガイドラインに沿って記述されている。

- ① Detailed Description
- ② Evaluation of Experimental Data
- ③ Benchmark Specifications
- ④ Results of Sample Calculation
- ⑤ References
- ⑥ Appendix (if any)

①には生の実験データの詳細が記述されている。②には記述された実験結果や誤差の根拠などが示されている。③では、①および②の内容に基づき、実験データのベンチマーク問題化が行われている。計算で使用すべき体系の幾何形状や物質組成などが明記されており、解析者により計算条件が曖昧にならないように配慮されている点が ICSBEP ベンチマーク問題の大きな特長である。

## (2) 実験データの分類

ICSBEP ハンドブックに収納される臨界実験データは、図 5.1 に示すように、燃料物質、燃料形態、中性子スペクトルにより階層的に区分されている。

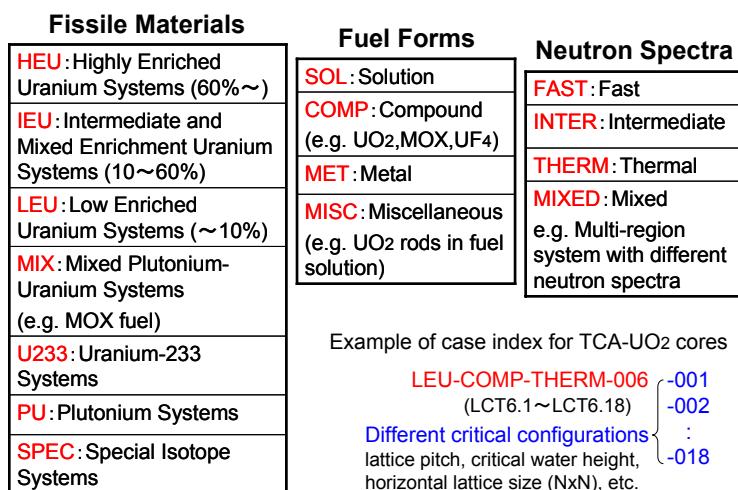


図 5.1 ICSBEP ハンドブックにおける実験データの分類

燃料物質区分の「SPEC」には、Cm や Np 同位体核種を使用した置換反応度などの実験が僅かであるが収納されている。燃料形態区分では、溶液(SOL)、混合物(COMP)、金属(MET)の他、「その他(MISC)」の区分が存在するが、これには、溶液燃料中に燃料棒格子が存在する場合のような複合体系のデータが収納されている。また、中性子スペクトル区分では、多領域体系の

実験などで、中性子スペクトルを必ずしも高速中性子・中速中性子・熱中性子に区分できない実験のデータが「MIXED」区分に収納されている。

ICSBEP ハンドブックでは、個々の実験データを一定のルールで区別できるようにするために、上記の区分記号(HEU など)と併せて、ドキュメント(evaluation)を表す 3 桁の番号と更に同一実験内の枝実験を示す 3 桁の番号を組み合わせた ID を使用している。例えば、原子力機構の臨界実験装置 TCA で実施された 2.6%濃縮 UO<sub>2</sub> 燃料棒格子の水減速実験については、LEU-COMP-THERM-006 の番号が与えられている。この実験では、燃料棒格子ピッチや格子配列および臨界水位が異なる 18 の実験データが収納されており、これらの個々のデータには LEU-COMP-THERM-006-001 から LEU-COMP-THERM-006-018 の番号が与えられている。なお、これらの ID は、しばしば LCT6.1 や LCT6.18 などと省略して表されることがある。これは、ICSBEP ハンドブックに収納されるドキュメントのファイル名に倣ったもので、ICSBEP ベンチマークの計算結果を記述する文献などでも、特に断りなく略称の ID が使われていることがある。

### (3) データベース検索ソフト DICE

ICSBEP ハンドブックには DICE<sup>23)</sup>と呼ばれるデータベース検索ソフトが付属されており、Windows または UNIX を OS とする計算機の画面で操作することができる。図 5.2 にその検索画面の例を示す。

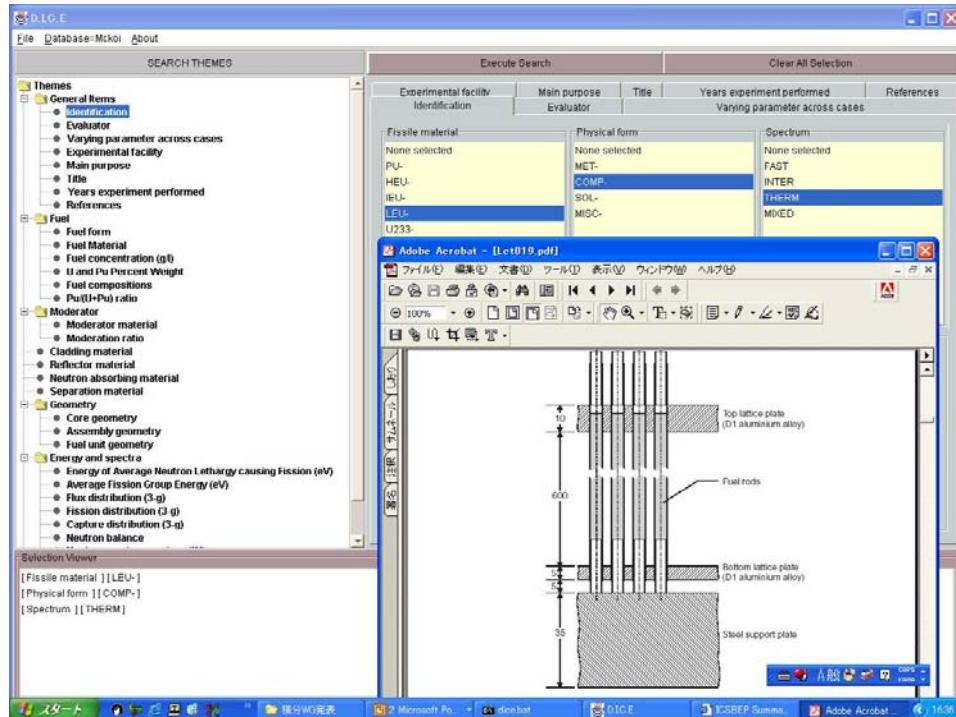


図 5.2 DICE による臨界実験データ検索画面の一例

図 5.2 は、実験区分 ID から LEU-COM-THERM に属するデータを検索し、そのなかから LCT019 のドキュメントを選択して表示したものであるが、このような検索方法以外に、実験施設、燃料濃縮度の範囲、減速材材料などを指定して絞り込み検索をすることが可能である。また、検索した複数の実験データの主要なデータ項目(燃料タイプ、燃料組成、反応率、Vm/Vf 比など)の一覧を作表したり、実験データの中性子スペクトルや反応率を図示して比較したりすることができる。この他、多群断面積感度係数なども表示できる機能を有するが、現在の ICSBEP ハンドブックにはまだ感度データは多くは収納されていない。

#### (4) ベンチマーク問題と実効中性子増倍率

ICSBEP ハンドブックは、主として臨界安全研究での用途を目的として作成された実験データベースであるため、多様な実験を対象としているが、最終的に実験データとして収納されているのは原則として実効中性子増倍率 ( $k_{eff}$ ) のみであり、出力分布、反応率比、反応度係数などについては、たとえ測定されていても、一部の例外を除き、ハンドブックに詳しい記述はない。しかしながら、同じ燃料を使用して、格子ピッチ、体系温度、吸収材本数または濃度などを系統的に変化させた実験は多く存在する。なお、出力分布などまで含めた炉物理実験データベースは、OECD/NEA において、IRPhE プロジェクト (International Reactor Physics Experiment Evaluation Project)<sup>24)</sup>として進められている。

ICSBEP ハンドブックでは、収納された生の実験データをベースに、解析がし易いようにベンチマーク問題化が行われている。ベンチマーク問題では、実験結果には本質的ではない幾何形状の簡素化や不純物組成の丸めなどが行われるが、感度解析などを実施し、その根拠や影響評価がなされている。ベンチマーク問題で与えられる  $k_{eff}$  評価値は、実験に基づくものであるが、このようなモデル化によるバイアスの補正がより詳細な計算によりなされている。このような補正された  $k_{eff}$  の値を、ICSBEP ハンドブックでは、ベンチマークモデル  $k_{eff}$  と呼んでいる。また、ベンチマークモデル  $k_{eff}$  の誤差には、測定に起因する誤差だけでなく、組成や幾何形状の寸法公差に起因する誤差、モデル化に起因する誤差などが加味されて評価されている。本報告書の範囲では、このように評価されたベンチマークモデル  $k_{eff}$  とその誤差を、便宜的に  $k_{eff}$  実験値(E 値)とその誤差として、モンテカルロ計算値(C 値)と比較し、C/E 値として整理した。また、モンテカルロ計算値の統計誤差は、ほとんどの計算ケースについてベンチマークモデル  $k_{eff}$  の誤差に比べると十分に小さいため、ベンチマークモデル  $k_{eff}$  の相対誤差を C/E 値の相対誤差とみなしても問題はない。

#### (5) ベンチマーク問題の選定

ICSBEP ハンドブックに収納される実験データ (configurations) は、既に 4000 ケースを越えているため、これらを網羅的に計算することは困難である。このため、JENDL-4.0 のベンチマーク目的に適合する実験データを、約 1000 ケースを目標として選定した。その基準は以下の通りである。

- ① 高燃焼度化や再処理など今後の軽水炉利用の高度化に重要な実験データ
- ② 炉物理パラメータ(濃縮度やスペクトルインデックス)に関する内外挿に利用できる実験
- ③ 同じ施設で系統的なパラメータ変更を行っている実験
- ④ モンテカルロ計算におけるソース分布収束が困難な問題を除く

④について補足しておく。モンテカルロ法による固有値計算では、核分裂源分布を初期推定値として与え、以降の世代計算(バッチ)で徐々に実際の分布に近づく。このため、不正確な初期推定値の影響が現れる最初の幾らかのバッチ(捨てバッチ)の計算結果は最終的な統計処理から排除する必要がある。現在のモンテカルロ法の課題として、核分裂源分布の収束性の問題がある。これは、結合が弱い体系、例えばボロン水で分離された複数の燃料ユニットで構成されるような体系では、正しい核分裂源分布を得るまでに、多くの捨てバッチが必要となり、その判断には細心の注意が必要となる<sup>25)</sup>。収束性の判断を個別に行うとベンチマーク作業全体の効率が低下することと、モンテカルロ法では、原理的には単一ユニットに対する  $k_{eff}$  予測精度が良ければ、複数ユニットの精度も良いことが期待できることから、敢えて困難な複数ユニット体系のベンチマーク問題を選択しないこととした。

ベンチマーク問題の選定は、主に 2006 年版までのハンドブックに収納されているデータから選択した。表 5.2 に、2006 年版 ICSBEP ハンドブックに収納されている各ベンチマーク区分でのケース数と、それらのうち MVP と JENDL-4.0 で実施したベンチマーク解析のケース内訳を示す。燃料物質、燃料形態、中性子スペクトルについて、過去の JENDL ベンチマーク<sup>10,26)</sup>では類を見ない多種多様で膨大な数のベンチマーク問題を採用している。特に、これまであまり重視されなかった高エネルギー領域での P1 断面積の検証に適した反射体が異なる小型高速炉を含む HEU/PU-MET-FAST 体系、現行軽水炉格子を模擬した実験が多く含まれる LEU-COMP-THERM 体系、フル MOX 軽水炉を模擬した実験を含む MIX-COMP-THERM 体系、再処理工場の燃料溶解液を模擬した LEU/HEU/PU-SOL-THERM については、重点的にベンチマーク解析を行っている。

表 5.2 MVP による ICSBEP ベンチマーク解析ケース数

燃料物質	燃料形態	中性子スペクトル	ICSBEP2006収納数	MVPベンチマーク計算数
HEU	SOL	INTER	3	2
		THERM	463	55
	COMP	FAST	8	0
		INTER	14	5
		THERM	216	21
	MET	MIXED	45	0
		FAST	304	82
		INTER	14	10
		THERM	127	3
	MISC	MIXED	32	12
		THERM	7	0
IEU	SOL	THERM	5	0
	COMP	FAST	2	1
		INTER	14	2
		THERM	41	1
	MET	MIXED	3	0
		FAST	20	11
LEU	SOL	THERM	104	77
	COMP	THERM	1066	194
	MET	THERM	65	13
	MISC	THERM	11	0
MIX	SOL	THERM	72	9
	COMP	FAST	1	0
		INTER	3	1
		THERM	255	63
	MET	MIXED	17	0
		FAST	45	9
		INTER	2	0
	MISC	MIXED	1	0
		FAST	8	0
		THERM	56	53
U233	SOL	MIXED	8	0
		THERM	5	0
		INTER	29	29
	MET	MIXED	192	44
	MET	FAST	8	3
		THERM	10	10
PU	COMP	THERM	1	0
		FAST	529	208
		INTER	6	0
		THERM	1	0
		MIXED	21	0
	MET	FAST	7	0
		INTER	87	37
		THERM	4	4
		MIXED	2	2
		FAST	1	1
SPEC	MET	FAST	20	20
	Total		3955	982

## (6) 計算機および計算条件

一連のベンチマーク計算は、JAEA 内に構築した PC クラスターで行った。サーバーの OS は「Ubuntu 10.4 desktop」で、MVP 実行モジュールの作成には、32 ビット富士通 FORTRAN コンパイラ(frt)と C コンパイラ(fcc)を使用した。コンパイルオプションは、「FOPT = -Kauto,fast」、「FFLAGS= -A R2」、「LDFLAGS=-static-flib」、および「CFLAGS = -DPOSIX\_C」である。なお、静的リンクオプション (-static-flib) は、クラスターの各ノードで実行するために必要である。ノード計算機は、フェイス製 Seed i78600XN84/DVR (CPU:インテル Corei7 860) で、OS は「Ubuntu 10.4 server」である。

統計精度に関しては、ベンチマーク問題に関係なく、以下の条件で 2 千万粒子の追跡を行った。

バッチサイズ(NHIST) : 10000  
 捨てバッチ数 (NSKIP) : 100  
 バッチ数(NPART) : 2000 (捨てバッチ数を含まない)

この条件では、ほとんどの場合、 $k_{eff}$  の統計誤差は  $\delta k < 0.00025$  ( $1\sigma$ ) であり、ベンチマークモデル  $k_{eff}$  の誤差に比べて十分に小さく、C/E 値に対する統計誤差の影響は無視できる。

初期線源分布は、原則として燃料が存在する体系に一様に与えるものとした。また、線源スペクトルは入射エネルギーを、熱中性子炉体系の場合には 0.0253 eV、高速炉体系の場合には 30 keV と仮定して、体系中に含まれる主要核分裂燃料核種（例えば U-235 または Pu-239）の核分裂スペクトルで与えた。

MOX 燃料熱中性子炉の初期線源分布の表現例：

```
$SOURCE
&
NEUTRON
RATIO( 1.0 )
@E = #FISSION(PU239* 2.53E-02) ;
@X = #UNIFORM( <-XSIZE/2.> <XSIZE/2.> ) ;
@Y = #UNIFORM( <-YSIZE/2.> <YSIZE/2.> ) ;
@Z = #UNIFORM( <-ZSIZE/2.> <ZSIZE/2.> ) ;
$END SOURCE
```

MVP による幾何形状モデルは、ICSBEP のベンチマーク問題の仕様に忠実に従うものとした。また、全ベンチマーク問題について、MVP 付随の CGVIEW ユーティリティ<sup>4)</sup>により、図 5.3 に示すような体系図を描画して幾何形状が正しく表現できていることを確認した。

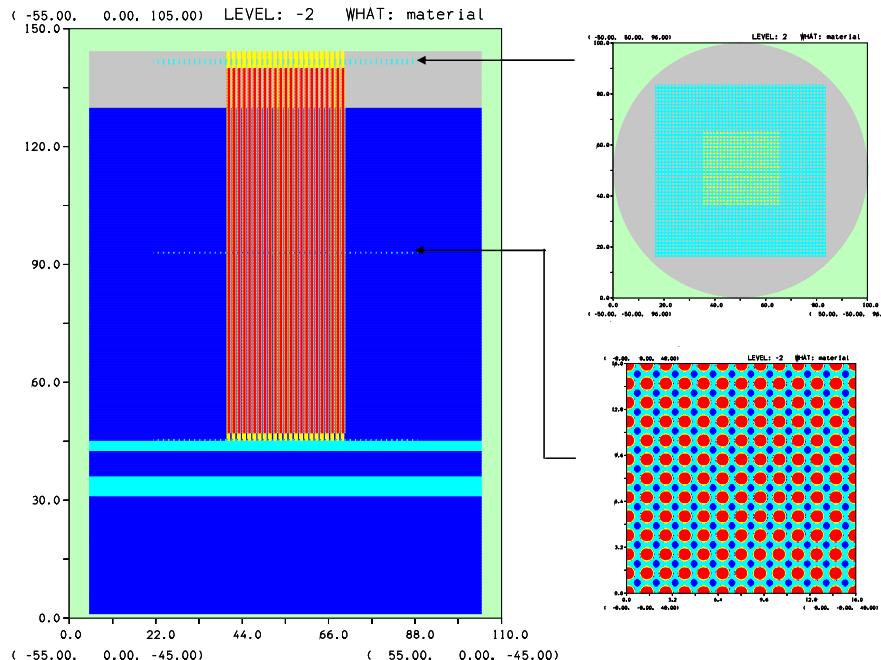


図 5.3 CGVIEW によるベンチマーク幾何形状モデルの描画例

## 5.2 計算結果と実験値との比較

表 5.2 で示した 982 ケースについて、MVP による計算結果 (C 値)、計算の統計誤差 (相対標準偏差  $1\sigma$ )、実験値 (E 値 : ベンチマーク  $k_{eff}$ )、ベンチマーク誤差、C/E 値を、表 5.3 から表 5.9 に示す。これらの表において、ベンチマーク問題のケース名 (例 : LEU-COMP-THERM-001-001) は、ICSBEP ハンドブックの命名に従ったものであるが、最後の枝番号は、ベンチマークドキュメント (各 PDF ファイル) によって表現がまちまちであるため、図 5.4 に示す検索システム DICE の番号に統一した。

Case identification	Case label
LEU-COMP-THERM-001	
LEU-COMP-THERM-002	
LEU-COMP-THERM-003	
LEU-COMP-THERM-004	
LEU-COMP-THERM-005	
LEU-COMP-THERM-006	
LEU-COMP-THERM-007	
LEU-COMP-THERM-008	
LEU-COMP-THERM-009	
LEU-COMP-THERM-010	
LEU-COMP-THERM-011	
LEU-COMP-THERM-012	
LEU-COMP-THERM-013	
LEU-COMP-THERM-014	
LEU-COMP-THERM-015	
LEU-COMP-THERM-016	
LEU-COMP-THERM-017	
LEU-COMP-THERM-018	
LEU-COMP-THERM-019	

図 5.4 DICE のベンチマークケース名

ベンチマーク問題に関するデータは膨大であるため、本報告書では、計算値と C/E 値のみを掲載するが、これらのデータをウラン濃縮度や H/U 比などの物理パラメータについて整理すると、臨界固有値のバイアス傾向や予測精度を確認することができる。各ベンチマーク問題の物理パラメータ (反応率寄与など) については、DICE の機能により表示させることができる。

JENDL-4.0 のベンチマーク解析結果の例を図 5.5～図 5.7 に示す。その他の JENDL-4.0 の詳しいベンチマーク解析結果については、文献 3 にまとめられている。それらのうち、ICSBEP ベンチマーク問題に関するものは、本報告書の計算結果を使用したものである。

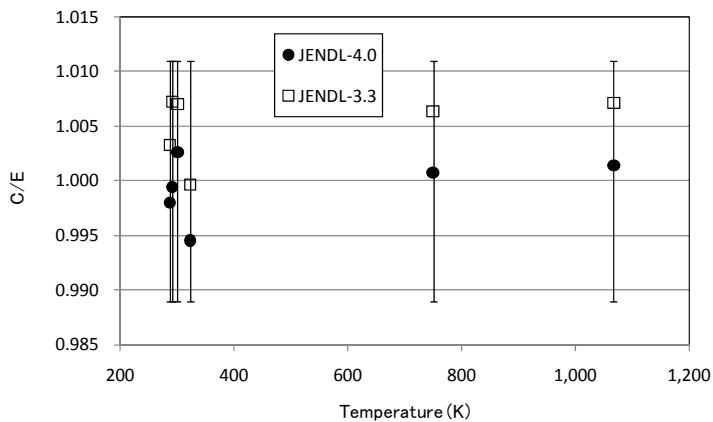


図 5.5 JENDL-4.0 ベンチマーク解析結果の一例<sup>3)</sup>  
(臨界固有値の体系温度依存性 : HEU-COMP-THERM-016)

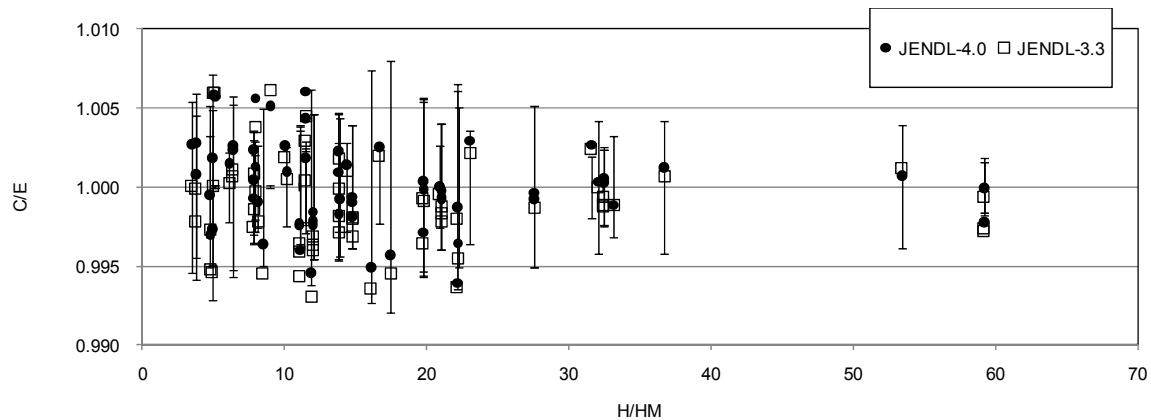


図 5.6 JENDL-4.0 ベンチマーク解析結果の一例<sup>3)</sup>  
(フル MOX 軽水炉体系の臨界固有値 : MIX-COMP-THERM)

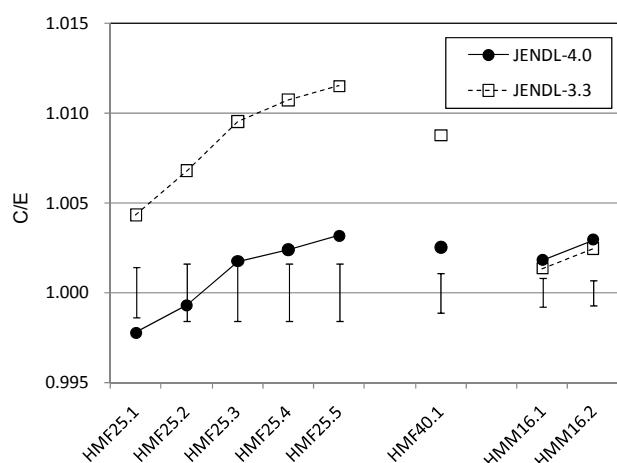


図 5.7 JENDL-4.0 ベンチマーク解析結果の一例<sup>3)</sup>  
(バナジウム装荷高速炉体系の臨界固有値)

表 5.3 (continued) ICSBEP ベンチマーク解析結果 (LEU/IEU/HEU-COMP 系)

Case ID	C/E	keff (Cal.)	fsd (1σ) (%)	Benchmark keff (Exp.)	Benchmark uncertainty	Title
LEU-COMP-THERM-001-001	1.0004	1.000180	0.0167	0.9998	0.0030	WATER-MODERATED U(2.35)O FUEL RODS IN 2.032-CM SQUARE-PITCHED ARRAYS
LEU-COMP-THERM-002-001	0.9980	0.997723	0.0190	0.9997	0.0020	WATER-MODERATED U(4.31)O FUEL RODS IN 2.54-CM SQUARE-PITCHED ARRAYS
LEU-COMP-THERM-002-002	0.9995	0.999250	0.0189	0.9997	0.0020	
LEU-COMP-THERM-002-003	0.9985	0.998240	0.0187	0.9997	0.0020	
LEU-COMP-THERM-005-001	1.0020	1.001980	0.0195	1.0000	0.0023	CRITICAL EXPERIMENTS WITH LOW-ENRICHED URANIUM DIOXIDE FUEL RODS IN WATER CONTAINING DISSOLVED GADOLINIUM
LEU-COMP-THERM-005-002	0.9998	0.999787	0.0190	1.0000	0.0021	
LEU-COMP-THERM-005-003	1.0012	1.001210	0.0164	1.0000	0.0029	
LEU-COMP-THERM-005-004	1.0001	1.000130	0.0160	1.0000	0.0025	
LEU-COMP-THERM-005-005	1.0048	1.004760	0.0180	1.0000	0.0047	
LEU-COMP-THERM-005-006	1.0059	1.005850	0.0178	1.0000	0.0042	
LEU-COMP-THERM-005-007	1.0027	1.002720	0.0174	1.0000	0.0043	
LEU-COMP-THERM-005-008	1.0045	1.004470	0.0164	1.0000	0.0021	
LEU-COMP-THERM-005-009	1.0054	1.005400	0.0154	1.0000	0.0040	
LEU-COMP-THERM-005-010	1.0050	1.004970	0.0150	1.0000	0.0028	
LEU-COMP-THERM-005-011	1.0056	1.005570	0.0150	1.0000	0.0043	
LEU-COMP-THERM-005-012	1.0071	1.007110	0.0166	1.0000	0.0066	
LEU-COMP-THERM-005-013	1.0137	1.013690	0.0161	1.0000	0.0064	
LEU-COMP-THERM-005-014	0.9982	0.998181	0.0170	1.0000	0.0020	
LEU-COMP-THERM-005-015	1.0182	1.018160	0.0150	1.0000	0.0020	
LEU-COMP-THERM-005-016	1.0125	1.012510	0.0162	1.0000	0.0032	
LEU-COMP-THERM-006-001	0.9993	0.999344	0.0170	1.0000	0.0020	CRITICAL ARRAYS OF LOW-ENRICHED UO <sub>2</sub> FUEL RODS WITH WATER-TO-FUEL VOLUME RATIOS RANGING FROM 1.5 TO 3.0
LEU-COMP-THERM-006-002	1.0002	1.000150	0.0174	1.0000	0.0020	
LEU-COMP-THERM-006-003	1.0001	1.000090	0.0171	1.0000	0.0020	
LEU-COMP-THERM-006-004	0.9995	0.999453	0.0177	1.0000	0.0020	
LEU-COMP-THERM-006-005	0.9994	0.999378	0.0176	1.0000	0.0020	
LEU-COMP-THERM-006-006	0.9997	0.999728	0.0179	1.0000	0.0020	
LEU-COMP-THERM-006-007	0.9998	0.999820	0.0177	1.0000	0.0020	
LEU-COMP-THERM-006-008	0.9998	0.999801	0.0173	1.0000	0.0020	
LEU-COMP-THERM-006-009	0.9997	0.999673	0.0175	1.0000	0.0020	
LEU-COMP-THERM-006-010	0.9995	0.999454	0.0179	1.0000	0.0020	
LEU-COMP-THERM-006-011	0.9996	0.999597	0.0173	1.0000	0.0020	
LEU-COMP-THERM-006-012	0.9998	0.999757	0.0178	1.0000	0.0020	
LEU-COMP-THERM-006-013	0.9997	0.999710	0.0178	1.0000	0.0020	
LEU-COMP-THERM-006-014	0.9996	0.999559	0.0173	1.0000	0.0020	
LEU-COMP-THERM-006-015	0.9996	0.999643	0.0175	1.0000	0.0020	
LEU-COMP-THERM-006-016	0.9998	0.999825	0.0172	1.0000	0.0020	
LEU-COMP-THERM-006-017	0.9993	0.999310	0.0170	1.0000	0.0020	
LEU-COMP-THERM-006-018	0.9998	0.999773	0.0174	1.0000	0.0020	
LEU-COMP-THERM-007-001	0.9963	0.996262	0.0185	1.0000	0.0014	WATER-REFLECTED 4.738-WT.%-ENRICHED URANIUM DIOXIDE FUEL ROD ARRAYS
LEU-COMP-THERM-007-002	0.9972	0.997185	0.0186	1.0000	0.0008	
LEU-COMP-THERM-007-003	0.9962	0.996227	0.0179	1.0000	0.0007	
LEU-COMP-THERM-007-004	0.9967	0.996661	0.0166	1.0000	0.0008	
LEU-COMP-THERM-007-005	0.9935	0.993532	0.0193	1.0000	0.0014	
LEU-COMP-THERM-007-006	0.9972	0.997169	0.0188	1.0000	0.0008	
LEU-COMP-THERM-007-007	0.9974	0.997419	0.0178	1.0000	0.0007	
LEU-COMP-THERM-007-008	0.9964	0.996420	0.0189	1.0000	0.0014	
LEU-COMP-THERM-007-009	0.9957	0.995668	0.0195	1.0000	0.0008	
LEU-COMP-THERM-007-010	0.9968	0.996837	0.0185	1.0000	0.0007	
LEU-COMP-THERM-008-001	0.9980	0.998698	0.0109	1.0007	0.0012	CRITICAL LATTICES OF UO <sub>2</sub> FUEL RODS AND PERTURBING RODS IN BORATED WATER
LEU-COMP-THERM-008-002	0.9983	0.999036	0.0113	1.0007	0.0012	
LEU-COMP-THERM-008-003	0.9989	0.999590	0.0113	1.0007	0.0012	
LEU-COMP-THERM-008-004	0.9982	0.998910	0.0119	1.0007	0.0012	
LEU-COMP-THERM-008-005	0.9978	0.998521	0.0119	1.0007	0.0012	
LEU-COMP-THERM-008-006	0.9986	0.999254	0.0123	1.0007	0.0012	
LEU-COMP-THERM-008-007	0.9980	0.998663	0.0126	1.0007	0.0012	
LEU-COMP-THERM-008-008	0.9977	0.998440	0.0132	1.0007	0.0012	
LEU-COMP-THERM-008-009	0.9980	0.998669	0.0134	1.0007	0.0012	
LEU-COMP-THERM-008-010	0.9980	0.998742	0.0117	1.0007	0.0012	
LEU-COMP-THERM-008-011	0.9988	0.999500	0.0109	1.0007	0.0012	
LEU-COMP-THERM-008-012	0.9981	0.998845	0.0114	1.0007	0.0012	
LEU-COMP-THERM-008-013	0.9982	0.998890	0.0112	1.0007	0.0012	
LEU-COMP-THERM-008-014	0.9982	0.998867	0.0112	1.0007	0.0012	
LEU-COMP-THERM-008-015	0.9981	0.998843	0.0115	1.0007	0.0012	
LEU-COMP-THERM-008-016	0.9972	0.997919	0.0117	1.0007	0.0012	
LEU-COMP-THERM-008-017	0.9961	0.996799	0.0126	1.0007	0.0012	

(continued on the next page)

表 5.3 (continued) ICSBEP ベンチマーク解析結果 (LEU/IEU/HEU-COMP 系)

Case ID	C/E	$k_{\text{eff}}$ (Cal.)	$f_{\text{sd}}(1\sigma)$ (%)	Benchmark $k_{\text{eff}}$ (Exp.)	Benchmark uncertainty	Title
LEU-COMP-THERM-018-001	1.0026	1.002640	0.0196	1.0000	0.0020	LIGHT WATER MODERATED AND REFLECTED LOW ENRICHED URANIUM DIOXIDE (7 wt.%) ROD LATTICE
LEU-COMP-THERM-019-001	1.0151	1.015110	0.0171	1.0000	0.0063	WATER-MODERATED HEXAGONALLY PITCHED LATTICES OF U(5%)O <sub>2</sub> STAINLESS STEEL CLAD FUEL RODS
LEU-COMP-THERM-019-002	1.0092	1.009200	0.0178	1.0000	0.0058	
LEU-COMP-THERM-019-003	1.0062	1.006230	0.0151	1.0000	0.0061	
LEU-COMP-THERM-020-001	0.9957	0.995678	0.0184	1.0000	0.0061	WATER-MODERATED HEXAGONALLY PITCHED PARTIALLY FLOODED LATTICES OF U(5%)O <sub>2</sub> ZIRCONIUM CLAD FUEL RODS, 1.3-CM PITCH
LEU-COMP-THERM-020-002	1.0013	1.001260	0.0182	1.0000	0.0061	
LEU-COMP-THERM-020-003	1.0034	1.003350	0.0182	1.0000	0.0061	
LEU-COMP-THERM-020-004	1.0034	1.003380	0.0180	1.0000	0.0061	
LEU-COMP-THERM-020-005	1.0039	1.003850	0.0185	1.0000	0.0061	
LEU-COMP-THERM-020-006	1.0049	1.004850	0.0190	1.0000	0.0061	
LEU-COMP-THERM-020-007	1.0039	1.003930	0.0183	1.0000	0.0061	
LEU-COMP-THERM-021-001	1.0127	1.012740	0.0175	1.0000	0.0072	HEXA GONALLY PITCHED PARTIALLY FLOODED LATTICES OF U(5%)O <sub>2</sub> ZIRCONIUM CLAD FUEL RODS MODERATED BY WATER WITH BORIC ACID
LEU-COMP-THERM-021-002	1.0128	1.012780	0.0176	1.0000	0.0072	
LEU-COMP-THERM-021-003	1.0132	1.013220	0.0175	1.0000	0.0072	
LEU-COMP-THERM-021-004	1.0125	1.012530	0.0152	1.0000	0.0050	
LEU-COMP-THERM-021-005	1.0125	1.012530	0.0149	1.0000	0.0050	
LEU-COMP-THERM-021-006	1.0120	1.012040	0.0153	1.0000	0.0050	
LEU-COMP-THERM-022-001	1.0022	1.002220	0.0178	1.0000	0.0046	UNIFORM WATER-MODERATED HEXAGONALLY PITCHED LATTICES OF RODS WITH U(10%)O <sub>2</sub> FUEL
LEU-COMP-THERM-022-002	1.0060	1.006030	0.0190	1.0000	0.0046	
LEU-COMP-THERM-022-003	1.0065	1.006450	0.0192	1.0000	0.0036	
LEU-COMP-THERM-022-004	1.0074	1.007410	0.0186	1.0000	0.0037	
LEU-COMP-THERM-022-005	1.0030	1.002960	0.0186	1.0000	0.0038	
LEU-COMP-THERM-022-006	1.0002	1.000180	0.0165	1.0000	0.0046	
LEU-COMP-THERM-022-007	1.0032	1.003240	0.0168	1.0000	0.0046	
LEU-COMP-THERM-026-001	1.0033	1.003250	0.0194	1.0000	0.0034	WATER-MODERATED U(4.92)O <sub>2</sub> FUEL RODS IN 1.29, 1.09, AND 1.01 CM PITCH HEXAGONAL LATTICES AT DIFFERENT TEMPERATURES
LEU-COMP-THERM-026-002	1.0032	1.002830	0.0186	0.9996	0.0034	
LEU-COMP-THERM-026-003	1.0044	1.006200	0.0175	1.0018	0.0062	
LEU-COMP-THERM-026-004	1.0045	1.002330	0.0167	0.9978	0.0062	
LEU-COMP-THERM-026-005	1.0039	1.004640	0.0185	1.0007	0.0041	
LEU-COMP-THERM-026-006	1.0050	1.003320	0.0178	0.9983	0.0041	
LEU-COMP-THERM-031-001	0.9903	0.990259	0.0184	1.0000	0.0045	WATER-MODERATED HEXAGONALLY PITCHED PARTIALLY FLOODED LATTICES OF U(5%)O <sub>2</sub> ZIRCONIUM-CLAD FUEL RODS, 0.8-CM PITCH
LEU-COMP-THERM-031-002	0.9952	0.995184	0.0184	1.0000	0.0045	
LEU-COMP-THERM-031-003	0.9961	0.996053	0.0187	1.0000	0.0045	
LEU-COMP-THERM-031-004	0.9910	0.990990	0.0190	1.0000	0.0045	
LEU-COMP-THERM-031-005	0.9918	0.991820	0.0187	1.0000	0.0045	
LEU-COMP-THERM-031-006	0.9927	0.992706	0.0186	1.0000	0.0045	
LEU-COMP-THERM-032-001	1.0009	1.000900	0.0179	1.0000	0.0045	UNIFORM WATER-MODERATED LATTICES OF RODS WITH U(10%)O <sub>2</sub> FUEL IN RANGE FROM 20°C TO 274°C
LEU-COMP-THERM-032-002	1.0012	1.001160	0.0181	1.0000	0.0041	
LEU-COMP-THERM-032-003	1.0007	1.000670	0.0169	1.0000	0.0042	
LEU-COMP-THERM-032-004	1.0009	1.000930	0.0181	1.0000	0.0037	
LEU-COMP-THERM-032-005	0.9980	0.998021	0.0182	1.0000	0.0032	
LEU-COMP-THERM-032-006	0.9959	0.995866	0.0182	1.0000	0.0033	
LEU-COMP-THERM-032-007	1.0015	1.001460	0.0162	1.0000	0.0045	
LEU-COMP-THERM-032-008	1.0038	1.003760	0.0160	1.0000	0.0038	
LEU-COMP-THERM-032-009	1.0026	1.002600	0.0167	1.0000	0.0037	
LEU-COMP-THERM-035-001	1.0000	0.999962	0.0175	1.0000	0.0018	CRITICAL ARRAYS OF LOW-ENRICHED UO <sub>2</sub> FUEL RODS IN WATER WITH SOLUBLE GADOLINIUM OR BORON POISON
LEU-COMP-THERM-035-002	0.9989	0.998928	0.0176	1.0000	0.0019	
LEU-COMP-THERM-035-003	0.9955	0.995521	0.0173	1.0000	0.0022	
LEU-COMP-THERM-048-001	1.0015	1.001480	0.0164	1.0000	0.0025	LIGHT WATER MODERATED AND REFLECTED LOW-ENRICHED (3 WT.% 235U) URANIUM DIOXIDE ROD LATTICES
LEU-COMP-THERM-048-002	1.0010	1.000960	0.0162	1.0000	0.0025	
LEU-COMP-THERM-048-003	1.0014	1.001350	0.0161	1.0000	0.0025	
LEU-COMP-THERM-048-004	1.0012	1.001180	0.0165	1.0000	0.0025	
LEU-COMP-THERM-048-005	1.0015	1.001480	0.0160	1.0000	0.0025	

(continued on the next page)

表 5.3 (continued) ICSBEP ベンチマーク解析結果 (LEU/IEU/HEU-COMP 系)

Case ID	C/E	keff (Cal.)	f <sub>d</sub> (1σ) (%)	Benchmark keff(Exp.)	Benchmark uncertainty	Title
LEU-COMP-THERM-050-001	0.9976	0.998015	0.0190	1.0004	0.0010	149Sm SOLUTION TANK IN THE MIDDLE OF WATER-MODERATED 4.738-WT.%-ENRICHED URANIUM DIOXIDE ROD ARRAYS
LEU-COMP-THERM-050-002	0.9975	0.997851	0.0190	1.0004	0.0010	
LEU-COMP-THERM-050-003	0.9982	0.998569	0.0191	1.0004	0.0010	
LEU-COMP-THERM-050-004	0.9978	0.998157	0.0189	1.0004	0.0010	
LEU-COMP-THERM-050-005	0.9997	1.000140	0.0193	1.0004	0.0010	
LEU-COMP-THERM-050-006	0.9994	0.999770	0.0193	1.0004	0.0010	
LEU-COMP-THERM-050-007	0.9994	0.999754	0.0188	1.0004	0.0010	
LEU-COMP-THERM-050-008	0.9960	0.996378	0.0189	1.0004	0.0010	
LEU-COMP-THERM-050-009	0.9962	0.996578	0.0189	1.0004	0.0010	
LEU-COMP-THERM-050-010	0.9959	0.996331	0.0189	1.0004	0.0010	
LEU-COMP-THERM-050-011	0.9970	0.997369	0.0189	1.0004	0.0010	
LEU-COMP-THERM-050-012	0.9976	0.997956	0.0193	1.0004	0.0010	
LEU-COMP-THERM-050-013	0.9979	0.998341	0.0186	1.0004	0.0010	
LEU-COMP-THERM-050-014	0.9978	0.998238	0.0188	1.0004	0.0010	
LEU-COMP-THERM-050-015	0.9981	0.998484	0.0191	1.0004	0.0010	
LEU-COMP-THERM-050-016	0.9998	1.000190	0.0191	1.0004	0.0010	
LEU-COMP-THERM-050-017	0.9994	0.999807	0.0188	1.0004	0.0010	
LEU-COMP-THERM-050-018	0.9994	0.999759	0.0188	1.0004	0.0010	
LEU-COMP-THERM-052-001	0.9952	0.995494	0.0169	1.0003	0.0023	URANIUM DIOXIDE (4.738-WT.-%-ENRICHED) FUEL ROD ARRAYS MODERATED AND REFLECTED BY GADOLINIUM NITRATE SOLUTION
LEU-COMP-THERM-052-002	0.9946	0.994853	0.0149	1.0003	0.0036	
LEU-COMP-THERM-052-003	1.0013	1.001620	0.0141	1.0003	0.0034	
LEU-COMP-THERM-052-004	0.9987	0.999024	0.0166	1.0003	0.0023	
LEU-COMP-THERM-052-005	0.9938	0.994133	0.0149	1.0003	0.0036	
LEU-COMP-THERM-052-006	0.9908	0.991058	0.0142	1.0003	0.0034	
LEU-COMP-THERM-033-001	1.0039	1.003890	0.0149	1.0000	0.0038	REFLECTED AND UNREFLECTED ASSEMBLIES OF 2 AND 3%-ENRICHED URANIUM FLUORIDE IN PARAFFIN
LEU-COMP-THERM-033-002	1.0044	1.004370	0.0146	1.0000	0.0038	
LEU-COMP-THERM-033-003	1.0055	1.005520	0.0147	1.0000	0.0038	
LEU-COMP-THERM-033-004	1.0045	1.004470	0.0150	1.0000	0.0038	
LEU-COMP-THERM-033-005	1.0060	1.005980	0.0151	1.0000	0.0039	
LEU-COMP-THERM-033-006	1.0061	1.006140	0.0150	1.0000	0.0039	
LEU-COMP-THERM-033-007	1.0056	1.005630	0.0148	1.0000	0.0039	
LEU-COMP-THERM-033-008	1.0029	1.002860	0.0143	1.0000	0.0040	
LEU-COMP-THERM-033-009	1.0035	1.003510	0.0146	1.0000	0.0040	
LEU-COMP-THERM-033-010	1.0011	1.001080	0.0142	1.0000	0.0039	
LEU-COMP-THERM-033-011	1.0010	1.001040	0.0144	1.0000	0.0039	
LEU-COMP-THERM-033-012	1.0012	1.001160	0.0143	1.0000	0.0039	
LEU-COMP-THERM-033-013	1.0006	1.000590	0.0137	1.0000	0.0041	
LEU-COMP-THERM-033-014	0.9932	0.993229	0.0110	1.0000	0.0051	
LEU-COMP-THERM-033-015	0.9933	0.993306	0.0109	1.0000	0.0051	
LEU-COMP-THERM-033-016	0.9930	0.992984	0.0114	1.0000	0.0051	
LEU-COMP-THERM-033-017	1.0151	1.015100	0.0164	1.0000	0.0038	
LEU-COMP-THERM-033-018	1.0152	1.015220	0.0163	1.0000	0.0038	
LEU-COMP-THERM-033-019	1.0157	1.015650	0.0158	1.0000	0.0038	
LEU-COMP-THERM-033-020	1.0154	1.015390	0.0166	1.0000	0.0038	
LEU-COMP-THERM-033-021	1.0153	1.015320	0.0159	1.0000	0.0038	
LEU-COMP-THERM-033-022	1.0146	1.014640	0.0163	1.0000	0.0038	
LEU-COMP-THERM-033-023	1.0045	1.004470	0.0133	1.0000	0.0040	
LEU-COMP-THERM-033-024	1.0042	1.004210	0.0139	1.0000	0.0040	
LEU-COMP-THERM-033-025	1.0037	1.003680	0.0136	1.0000	0.0040	
LEU-COMP-THERM-033-026	1.0061	1.006070	0.0140	1.0000	0.0039	
LEU-COMP-THERM-033-027	1.0065	1.006490	0.0135	1.0000	0.0039	
LEU-COMP-THERM-033-028	1.0068	1.006760	0.0134	1.0000	0.0039	
LEU-COMP-THERM-033-029	1.0060	1.005970	0.0133	1.0000	0.0039	
LEU-COMP-THERM-033-030	1.0039	1.003880	0.0138	1.0000	0.0039	
LEU-COMP-THERM-033-031	1.0033	1.003270	0.0134	1.0000	0.0039	
LEU-COMP-THERM-033-032	1.0030	1.002950	0.0134	1.0000	0.0039	
LEU-COMP-THERM-033-033	1.0034	1.003430	0.0134	1.0000	0.0039	
LEU-COMP-THERM-033-034	1.0032	1.003240	0.0133	1.0000	0.0039	
LEU-COMP-THERM-033-035	1.0019	1.001860	0.0129	1.0000	0.0040	
LEU-COMP-THERM-033-036	1.0018	1.001750	0.0126	1.0000	0.0040	
LEU-COMP-THERM-033-037	1.0015	1.001500	0.0130	1.0000	0.0040	
LEU-COMP-THERM-033-038	1.0011	1.001080	0.0133	1.0000	0.0040	
LEU-COMP-THERM-033-039	1.0012	1.001160	0.0133	1.0000	0.0040	
LEU-COMP-THERM-033-040	1.0006	1.000620	0.0133	1.0000	0.0040	
LEU-COMP-THERM-033-041	1.0011	1.001050	0.0120	1.0000	0.0041	
LEU-COMP-THERM-033-042	0.9998	0.999802	0.0122	1.0000	0.0041	
LEU-COMP-THERM-033-043	0.9992	0.999179	0.0124	1.0000	0.0041	
LEU-COMP-THERM-033-044	0.9934	0.993374	0.0099	1.0000	0.0050	
LEU-COMP-THERM-033-045	0.9929	0.992945	0.0099	1.0000	0.0050	
LEU-COMP-THERM-033-046	0.9922	0.992237	0.0100	1.0000	0.0050	
LEU-COMP-THERM-033-047	1.0195	1.019460	0.0145	1.0000	0.0042	
LEU-COMP-THERM-033-048	1.0182	1.018220	0.0152	1.0000	0.0042	
LEU-COMP-THERM-033-049	1.0185	1.018480	0.0153	1.0000	0.0042	
LEU-COMP-THERM-033-050	1.0182	1.018170	0.0150	1.0000	0.0041	
LEU-COMP-THERM-033-051	1.0190	1.019000	0.0157	1.0000	0.0041	
LEU-COMP-THERM-033-052	1.0147	1.014690	0.0151	1.0000	0.0041	

(continued on the next page)

表 5.3 (continued) ICSBEP ベンチマーク解析結果 (LEU/IEU/HEU-COMP 系)

Case ID	C/E	keff (Cal.)	f <sub>d</sub> (1 $\sigma$ ) (%)	Benchmark keff (Exp.)	Benchmark uncertainty	Title
IEU-COMP-FAST-002-001	1.0036	0.972441	0.0037	0.9690	0.0050	K-INFINITY MEASUREMENTS WITH ENRICHED URANIUM MIXED WITH THORIUM AND POLYETHYLENE (KBR-18, KBR-19, KBR-20, AND KBR-21 ASSEMBLIES)
IEU-COMP-INTER-001-002	1.0011	0.981067	0.0054	0.9800	0.0030	
IEU-COMP-INTER-001-003	1.0090	1.023150	0.0087	1.0140	0.0060	
IEU-COMP-THERM-005-004	0.9735	0.938437	0.0121	0.9640	0.0120	
HEU-COMP-THERM-010-001	0.9997	0.999742	0.0205	1.0000	0.0050	EBOR FUEL PINS IN WATER, BORATED WATER, OR URANYL NITRATE
HEU-COMP-THERM-010-005	0.9977	0.997725	0.0208	1.0000	0.0050	
HEU-COMP-THERM-010-007	0.9989	0.998935	0.0208	1.0000	0.0050	
HEU-COMP-THERM-010-010	0.9989	0.998853	0.0210	1.0000	0.0050	
HEU-COMP-THERM-011-001	0.9890	0.987804	0.0181	0.9988	0.0042	EXPERIMENTS WITH FOUR CLUSTERS OF SQUARE-PITCHED 21x21 LATTICES OF HIGHLY ENRICHED (~80% U235) STAINLESS-STEEL-CLAD FUEL RODS
HEU-COMP-THERM-014-001	0.9978	0.996449	0.0185	0.9986	0.0048	EXPERIMENTS WITH NINE CLUSTERS OF SQUARE-PITCHED 10x10 LATTICES OF HIGHLY ENRICHED (~80% U235) STAINLESS-STEELCLAD FUEL RODS
HEU-COMP-THERM-016-001	0.9994	0.999384	0.0424	1.0000	0.0110	IGR REACTOR – URANIUM-GRAPHITE BLOCKS REFLECTED BY GRAPHITE
HEU-COMP-THERM-016-002	0.9978	0.997841	0.0201	1.0000	0.0110	
HEU-COMP-THERM-016-003	0.9945	0.994540	0.0195	1.0000	0.0110	
HEU-COMP-THERM-016-004	1.0021	1.002140	0.0195	1.0000	0.0110	
HEU-COMP-THERM-016-005	1.0011	1.001130	0.0187	1.0000	0.0110	
HEU-COMP-THERM-016-006	1.0018	1.001790	0.0194	1.0000	0.0110	
HEU-COMP-THERM-017-001	1.0046	1.005120	0.0209	1.0000	0.0069	RB REACTOR: LATTICES OF 80%-ENRICHED URANIUM ELEMENTS IN HEAVY WATER
HEU-COMP-THERM-017-002	0.9934	0.992490	0.0207	1.0000	0.0069	
HEU-COMP-THERM-017-003	1.0007	1.000640	0.0201	1.0000	0.0069	
HEU-COMP-THERM-017-004	1.0039	1.003380	0.0193	1.0000	0.0069	
HEU-COMP-THERM-017-005	1.0062	1.006340	0.0192	1.0000	0.0069	
HEU-COMP-THERM-017-006	1.0028	1.002140	0.0202	1.0000	0.0069	
HEU-COMP-THERM-017-007	0.9982	0.997458	0.0201	1.0000	0.0069	
HEU-COMP-THERM-017-008	1.0105	1.010500	0.0190	1.0000	0.0069	
HEU-COMP-THERM-017-009	1.0035	1.003720	0.0206	1.0000	0.0069	
HEU-COMP-INTER-005-001	0.9733	1.004430	0.0049	1.0320	0.0040	K-INFINITY EXPERIMENTS IN INTERMEDIATE NEUTRON SPECTRA FOR VARIOUS STRUCTURAL MATERIALS
HEU-COMP-INTER-005-002	1.0453	1.097520	0.0044	1.0500	0.0080	
HEU-COMP-INTER-005-003	1.0995	1.132470	0.0040	1.0300	0.0060	
HEU-COMP-INTER-005-004	1.1084	1.179360	0.0041	1.0640	0.0180	
HEU-COMP-INTER-005-005	0.9972	0.994161	0.0049	0.9970	0.0130	

表 5.4 ICSBEP ベンチマーク解析結果 (HEU/IEU/LEU-MET 体系)

Case ID	C/E	keff (Cal.)	fsd (1s) (%)	Benchmark keff (Exp.)	Benchmark uncertainty	Title
HEU-MET-FAST-001-001	0.9979	0.997882	0.0127	1.0000	0.0010	BARE, HIGHLY ENRICHED URANIUM SPHERE (GODIVA)
HEU-MET-FAST-003-001	0.9907	0.990650	0.0132	1.0000	0.0050	REFLECTED ORALLOY SPHERICAL ASSEMBLIES
HEU-MET-FAST-003-002	0.9894	0.989417	0.0134	1.0000	0.0050	
HEU-MET-FAST-003-003	0.9940	0.993980	0.0134	1.0000	0.0050	
HEU-MET-FAST-003-004	0.9925	0.992498	0.0139	1.0000	0.0050	
HEU-MET-FAST-003-005	0.9970	0.997019	0.0143	1.0000	0.0050	
HEU-MET-FAST-003-006	0.9973	0.997292	0.0145	1.0000	0.0050	
HEU-MET-FAST-003-007	0.9982	0.998204	0.0143	1.0000	0.0050	
HEU-MET-FAST-003-008	0.9980	0.998012	0.0135	1.0000	0.0050	
HEU-MET-FAST-003-009	0.9979	0.997934	0.0138	1.0000	0.0050	
HEU-MET-FAST-003-010	1.0018	1.001750	0.0135	1.0000	0.0050	
HEU-MET-FAST-003-011	1.0071	1.007140	0.0142	1.0000	0.0050	
HEU-MET-FAST-003-012	1.0018	1.001830	0.0138	1.0000	0.0050	
HEU-MET-FAST-004-001	1.0011	0.999642	0.0172	0.9985	0.0011	WATER-REFLECTED, HIGHLY ENRICHED URANIUM SPHERE
HEU-MET-FAST-005-001	0.9925	0.992539	0.0142	1.0000	0.0036	BERYLLIUM- AND MOLYBDENUM-REFLECTED CYLINDERS OF HIGHLY ENRICHED URANIUM
HEU-MET-FAST-005-002	0.9949	0.995594	0.0142	1.0007	0.0036	
HEU-MET-FAST-005-003	0.9985	0.998136	0.0148	0.9996	0.0036	
HEU-MET-FAST-005-004	0.9929	0.991766	0.0158	0.9989	0.0036	
HEU-MET-FAST-005-005	0.9988	0.996823	0.0150	0.9980	0.0036	
HEU-MET-FAST-005-006	0.9968	0.995518	0.0146	0.9987	0.0036	
HEU-MET-FAST-007-001	0.9939	0.991038	0.0137	0.9971	0.0001	URANIUM METAL SLABS MODERATED WITH POLYETHYLENE, PLEXIGLAS, AND TEFLON
HEU-MET-FAST-007-002	0.9979	0.996501	0.0143	0.9986	0.0001	
HEU-MET-FAST-007-003	0.9973	0.998469	0.0142	1.0012	0.0001	
HEU-MET-FAST-007-004	0.9994	0.996412	0.0145	0.9970	0.0001	
HEU-MET-FAST-007-005	0.9989	0.998879	0.0150	1.0000	0.0001	
HEU-MET-FAST-007-006	1.0016	1.004450	0.0148	1.0028	0.0001	
HEU-MET-FAST-007-007	1.0008	1.000440	0.0154	0.9996	0.0001	
HEU-MET-FAST-007-008	0.9990	0.998171	0.0149	0.9992	0.0001	
HEU-MET-FAST-007-009	1.0008	1.002490	0.0152	1.0017	0.0008	
HEU-MET-FAST-007-010	0.9997	0.999690	0.0165	1.0000	0.0001	
HEU-MET-FAST-018-001	0.9979	0.997927	0.0128	1.0000	0.0016	BARE SPHERICAL ASSEMBLY OF 235U(90%)
HEU-MET-FAST-019-001	1.0018	1.001840	0.0135	1.0000	0.0030	GRAPHITE-REFLECTED SPHERICAL ASSEMBLY OF 235U(90%)
HEU-MET-FAST-020-001	0.9980	0.997983	0.0142	1.0000	0.0030	POLYETHYLENE-REFLECTED SPHERICAL ASSEMBLY OF 235U(90%)
HEU-MET-FAST-021-001	0.9938	0.993779	0.0136	1.0000	0.0026	STEEL-REFLECTED SPHERICAL ASSEMBLY OF 235U(90%)
HEU-MET-FAST-022-001	0.9945	0.994505	0.0135	1.0000	0.0021	DURALUMIN-REFLECTED SPHERICAL ASSEMBLY OF 235U(90%)
HEU-MET-FAST-025-001	0.9977	0.996449	0.0148	0.9987	0.0014	FIVE VANADIUM-REFLECTED HEU CYLINDERS
HEU-MET-FAST-025-002	0.9993	0.998298	0.0151	0.9990	0.0016	
HEU-MET-FAST-025-003	1.0018	1.000850	0.0147	0.9991	0.0016	
HEU-MET-FAST-025-004	1.0024	1.001880	0.0151	0.9995	0.0016	
HEU-MET-FAST-025-005	1.0032	1.002260	0.0150	0.9991	0.0016	
HEU-MET-FAST-027-001	1.0019	1.001930	0.0138	1.0000	0.0025	SPHERICAL ASSEMBLY OF 235U(90%) WITH A 3.25-CM LEAD REFLECTOR
HEU-MET-FAST-028-001	0.9986	0.998601	0.0144	1.0000	0.0030	URANIUM-235 SPHERE REFLECTED BY NORMAL URANIUM USING FLATTOP
HEU-MET-FAST-029-001	1.0010	1.000990	0.0134	1.0000	0.0020	SPHERICAL ASSEMBLY OF 235U(90%) WITH 4.7-CM DEPLETED- URANIUM REFLECTOR
HEU-MET-FAST-030-001	0.9998	0.999773	0.0156	1.0000	0.0009	HETEROGENEOUS CYLINDER OF HIGHLY ENRICHED URANIUM WITH BERYLLIUM MODERATOR AND DEPLETED- URANIUM REFLECTOR
HEU-MET-FAST-031-001	1.0026	1.002580	0.0179	1.0000	0.0059	SPHERICAL ASSEMBLY OF 235U(90%) WITH CENTRAL AREA OF POLYETHYLENE AND 17.45-CM POLYETHYLENE REFLECTOR

(continued on the next page)

表 5.4 (continued) ICSBEP ベンチマーク解析結果 (HEU/IEU/LEU-MET 体系)

Case ID	C/E	k <sub>eff</sub> (Cal.)	fsd (1s) (%)	Benchmark k <sub>eff</sub> (Exp.)	Benchmark uncertainty	Title
HEU-MET-FAST-032-001	0.9989	0.998949	0.0135	1.0000	0.0016	235U(94%) SPHERES SURROUNDED BY NATURAL-URANIUM REFLECTORS
HEU-MET-FAST-032-002	1.0000	0.999959	0.0140	1.0000	0.0027	
HEU-MET-FAST-032-003	0.9959	0.995929	0.0130	1.0000	0.0017	
HEU-MET-FAST-032-004	0.9979	0.997851	0.0131	1.0000	0.0017	
HEU-MET-FAST-034-001	0.9991	0.998149	0.0179	0.9990	0.0012	THREE HETEROGENEOUS CYLINDERS OF HIGHLY ENRICHED URANIUM WITH POLYETHYLENE AND TITANIUM, ALUMINIUM, OR STEEL
HEU-MET-FAST-038-001	1.0006	1.000450	0.0155	0.9999	0.0007	TWO HETEROGENEOUS CYLINDERS OF HIGHLY ENRICHED URANIUM WITH BERYLLIUM AND BERYLLIUM OXIDE MODERATORS AND DEPLETED-URANIUM REFLECTOR
HEU-MET-FAST-038-002	1.0002	1.000140	0.0152	0.9999	0.0009	TWO HETEROGENEOUS CYLINDERS OF HIGHLY ENRICHED URANIUM WITH BERYLLIUM AND BERYLLIUM OXIDE MODERATORS AND DEPLETED-URANIUM REFLECTOR
HEU-MET-FAST-040-001	1.0025	1.001630	0.0156	0.9991	0.0011	HETEROGENEOUS VANADIUM-DILUTED HEU CYLINDER
HEU-MET-FAST-041-001	1.0020	1.003300	0.0141	1.0013	0.0030	235U(94%) SPHERES SURROUNDED BY BERYLLIUM OR GRAPHITE REFLECTORS
HEU-MET-FAST-041-002	1.0005	1.002690	0.0160	1.0022	0.0043	
HEU-MET-FAST-041-003	0.9960	0.996615	0.0141	1.0006	0.0029	
HEU-MET-FAST-041-004	1.0001	1.000670	0.0137	1.0006	0.0025	
HEU-MET-FAST-041-005	0.9954	0.996030	0.0138	1.0006	0.0031	
HEU-MET-FAST-041-006	0.9968	0.997372	0.0147	1.0006	0.0045	
HEU-MET-FAST-055-001	0.9992	0.994747	0.0135	0.9955	0.0028	ZPR-3 ASSEMBLY 23: A CYLINDRICAL ASSEMBLY OF U METAL (93% 235U) AND ALUMINUM REFLECTED BY DEPLETED-URANIUM
HEU-MET-FAST-058-001	1.0022	1.002160	0.0168	1.0000	0.0026	HIGHLY ENRICHED URANIUM METAL SPHERES WITH BERYLLIUM REFLECTORS
HEU-MET-FAST-058-002	1.0020	1.001950	0.0151	1.0000	0.0035	
HEU-MET-FAST-058-003	0.9993	0.999311	0.0146	1.0000	0.0027	
HEU-MET-FAST-058-004	0.9988	0.998757	0.0139	1.0000	0.0021	
HEU-MET-FAST-058-005	0.9977	0.997686	0.0137	1.0000	0.0033	
HEU-MET-FAST-060-001	1.0129	1.008720	0.0108	0.9959	0.0023	ZPR-9 ASSEMBLY 4: A CYLINDRICAL ASSEMBLY OF U METAL (93% 235U) AND TUNGSTEN WITH ALUMINUM REFLECTORS
HEU-MET-FAST-061-001	0.9971	0.996913	0.0146	0.9998	0.0025	ZPPR-21 PHASE F: A CYLINDRICAL ASSEMBLY OF U METAL REFLECTED BY GRAPHITE
HEU-MET-FAST-066-001	0.9977	1.000690	0.0152	1.0030	0.0033	METAL SPHERICAL SHELLS OF HIGHLY ENRICHED URANIUM MODERATED AND REFLECTED BY BERYLLIUM
HEU-MET-FAST-066-002	0.9961	0.998393	0.0141	1.0023	0.0029	
HEU-MET-FAST-066-003	0.9987	1.001000	0.0146	1.0023	0.0026	
HEU-MET-FAST-066-004	0.9988	1.003100	0.0162	1.0043	0.0043	
HEU-MET-FAST-066-005	0.9981	1.001070	0.0156	1.0030	0.0033	
HEU-MET-FAST-066-006	0.9974	1.000210	0.0144	1.0028	0.0030	
HEU-MET-FAST-066-007	0.9979	1.002660	0.0151	1.0048	0.0039	
HEU-MET-FAST-066-008	0.9984	1.002260	0.0168	1.0039	0.0040	
HEU-MET-FAST-066-009	0.9975	1.000160	0.0155	1.0027	0.0036	
HEU-MET-FAST-068-001	0.9910	0.991077	0.0111	1.0001	0.0041	HIGHLY ENRICHED URANIUM, THORIUM, AND POLYETHYLENE ASSEMBLIES (KBR-22 AND KBR-23)
HEU-MET-FAST-079-001	0.9989	0.998487	0.0145	0.9996	0.0015	FIVE TITANIUM-REFLECTED HEU CYLINDERS
HEU-MET-FAST-079-002	0.9985	0.998094	0.0146	0.9996	0.0014	
HEU-MET-FAST-079-003	1.0006	1.000210	0.0147	0.9996	0.0015	
HEU-MET-FAST-079-004	1.0010	1.000610	0.0143	0.9996	0.0014	
HEU-MET-FAST-079-005	1.0010	1.000640	0.0148	0.9996	0.0015	
HEU-MET-INTER-005-004	1.0075	1.009120	0.0212	1.0016	0.0030	CRITICAL EXPERIMENTS WITH HETEROGENEOUS COMPOSITIONS OF HIGHLY ENRICHED URANIUM, SILICON DIOXIDE, AND POLYETHYLENE
HEU-MET-INTER-005-005	1.0014	1.001940	0.0165	1.0005	0.0040	CRITICAL EXPERIMENTS WITH HETEROGENEOUS COMPOSITIONS OF HIGHLY ENRICHED URANIUM, SILICON DIOXIDE, AND POLYETHYLENE

(continued on the next page)

表 5.4 (continued) ICSBEP ベンチマーク解析結果 (HEU/IEU/LEU-MET 体系)

Case ID	C/E	keff (Cal.)	fsd (1s) (%)	Benchmark keff (Exp.)	Benchmark uncertainty	Title
HEU-MET-INTER-006-001	0.9954	0.993097	0.0165	0.9977	0.0008	ZEUS: INTERMEDIATE-SPECTRUM CRITICAL ASSEMBLIES WITH A GRAPHITE - HEU CORE SURROUNDED BY A COPPER REFLECTOR
HEU-MET-INTER-006-002	0.9946	0.994706	0.0163	1.0001	0.0008	
HEU-MET-INTER-006-003	0.9938	0.995290	0.0159	1.0015	0.0009	
HEU-MET-INTER-006-004	0.9977	0.999287	0.0155	1.0016	0.0008	
HEU-MET-INTER-007-011	1.0009	0.999100	0.0180	0.9982	0.0001	URANIUM METAL SLABS MODERATED WITH POLYETHYLENE, PLEXIGLAS, AND TEFLO
HEU-MET-INTER-007-012	0.9991	0.994247	0.0177	0.9951	0.0001	
HEU-MET-INTER-007-014	1.0003	0.998596	0.0177	0.9983	0.0001	
HEU-MET-INTER-008-002	1.0085	1.009300	0.0121	1.0008	0.0036	HIGHLY ENRICHED URANIUM, THORIUM, AND POLYETHYLENE ASSEMBLIES (KBR-22 AND KBR-23)
HEU-MET-THERM-005-003	1.0145	1.015730	0.0210	1.0012	0.0029	CRITICAL EXPERIMENTS WITH HETEROGENEOUS COMPOSITIONS OF HIGHLY ENRICHED URANIUM, SILICON DIOXIDE, AND POLYETHYLENE
HEU-MET-THERM-007-003	0.9925	0.992492	0.0181	1.0000	0.0081	SPERT III STAINLESS-STEEL-CLAD PLATE-TYPE FUEL IN WATER
HEU-MET-THERM-007-011	0.9927	0.992654	0.0180	1.0000	0.0081	
HEU-MET-MIXED-001-001	1.0023	1.001810	0.0196	0.9995	0.0013	HETEROGENEOUS CYLINDER OF HIGHLY ENRICHED URANIUM, POLYETHYLENE, AND TITANIUM WITH POLYETHYLENE REFLECTOR
HEU-MET-MIXED-003-001	1.0063	1.006320	0.0178	1.0000	0.0038	Spherical Assembly of 235U(90%) with central area of polyethylene and 15.85-cm polyethylene reflector
HEU-MET-MIXED-005-001	1.0054	1.006060	0.0238	1.0007	0.0027	CRITICAL EXPERIMENTS WITH HETEROGENEOUS COMPOSITIONS OF HIGHLY ENRICHED URANIUM, SILICON DIOXIDE, AND POLYETHYLENE
HEU-MET-MIXED-005-002	1.0163	1.016650	0.0231	1.0003	0.0028	
HEU-MET-MIXED-009-013	1.0004	1.001280	0.0177	1.0009	0.0001	URANIUM METAL SLABS MODERATED WITH POLYETHYLENE, PLEXIGLAS, AND TEFLO
HEU-MET-MIXED-009-015	0.9996	0.997368	0.0175	0.9978	0.0001	
HEU-MET-MIXED-009-016	0.9995	0.998283	0.0179	0.9988	0.0001	
HEU-MET-MIXED-009-017	0.9996	0.996814	0.0193	0.9972	0.0001	
HEU-MET-MIXED-009-018	1.0002	0.999268	0.0190	0.9991	0.0001	
HEU-MET-MIXED-015-001	0.9973	0.996909	0.0208	0.9996	0.0008	HETEROGENEOUS CYLINDER OF HIGHLY ENRICHED URANIUM, POLYETHYLENE, AND TITANIUM WITH POLYETHYLENE REFLECTOR
HEU-MET-MIXED-016-001	1.0018	1.001310	0.0207	0.9995	0.0008	TWO HETEROGENEOUS CYLINDERS OF HIGHLY ENRICHED URANIUM, POLYETHYLENE, AND VANADIUM WITH
HEU-MET-MIXED-016-002	1.0030	1.002450	0.0210	0.9995	0.0007	
IEU-MET-FAST-003-001	0.9952	0.995188	0.0135	1.0000	0.0019	BARE SPHERICAL ASSEMBLY OF 235U(36%)
IEU-MET-FAST-004-001	0.9988	0.998839	0.0131	1.0000	0.0032	GRAPHITE-REFLECTED SPHERICAL ASSEMBLY OF 235U(36%)
IEU-MET-FAST-005-001	0.9948	0.994750	0.0133	1.0000	0.0023	STEEL-REFLECTED SPHERICAL ASSEMBLY OF 235U(36%)
IEU-MET-FAST-006-001	0.9910	0.991010	0.0138	1.0000	0.0025	DURALUMIN-REFLECTED SPHERICAL ASSEMBLY OF 235U(36%)
IEU-MET-FAST-007-001	0.9937	0.998145	0.0110	1.0045	0.0007	BIG TEN: A LARGE, MIXED-URANIUM-METAL CYLINDRICAL CORE WITH 10% AVERAGE 235U ENRICHMENT, SURROUNDED BY A THICK 238U REFLECTOR
IEU-MET-FAST-008-001	0.9976	0.997577	0.0126	1.0000	0.0018	DEPLETED-URANIUM-REFLECTED SPHERICAL ASSEMBLY OF 235U(36%)
IEU-MET-FAST-009-001	1.0050	1.004950	0.0167	1.0000	0.0053	SPHERICAL ASSEMBLY OF 235U(36%) WITH A 5.75-CM POLYETHYLENE REFLECTOR
IEU-MET-FAST-010-001	0.9957	0.991109	0.0099	0.9954	0.0024	THE U9 BENCHMARK ASSEMBLY: A CYLINDRICAL ASSEMBLY OF U METAL (9% 235U) WITH A THICK DEPLETED-URANIUM REFLECTOR
IEU-MET-FAST-012-001	0.9971	0.997786	0.0109	1.0007	0.0027	ZPR-3 ASSEMBLY 41: A CYLINDRICAL ASSEMBLY OF U METAL (16% 235U), ALUMINUM, AND STEEL, REFLECTED BY DEPLETED-URANIUM

(continued on the next page)

表 5.4 (continued) ICSBEP ベンチマーク解析結果 (HEU/IEU/LEU-MET 体系)

Case ID	C/E	keff (Cal.)	fsd (1s) (%)	Benchmark keff (Exp.)	Benchmark uncertainty	Title
IEU-MET-FAST-014-001	1.0012	0.997000	0.0103	0.9958	0.0022	ZPR-9 ASSEMBLIES 2 AND 3: CYLINDRICAL ASSEMBLIES OF U
IEU-MET-FAST-014-002	1.0041	0.996770	0.0092	0.9927	0.0022	METAL AND TUNGSTEN WITH ALUMINUM REFLECTORS
LEU-MET-THERM-001-001	1.0003	0.999292	0.0131	0.9990	0.0057	RB REACTOR: NATURAL-URANIUM RODS IN HEAVY WATER
LEU-MET-THERM-002-001	1.0087	1.008680	0.0171	1.0000	0.0141	RB REACTOR: LATTICES OF 2%-ENRICHED URANIUM ELEMENTS IN HEAVY WATER
LEU-MET-THERM-002-002	1.0033	1.003250	0.0176	1.0000	0.0141	
LEU-MET-THERM-002-003	1.0093	1.009250	0.0175	1.0000	0.0141	
LEU-MET-THERM-002-004	0.9976	0.997559	0.0173	1.0000	0.0141	
LEU-MET-THERM-002-005	1.0116	1.011560	0.0165	1.0000	0.0141	
LEU-MET-THERM-002-006	0.9926	0.992616	0.0162	1.0000	0.0146	
LEU-MET-THERM-002-007	1.0030	1.003020	0.0167	1.0000	0.0141	
LEU-MET-THERM-002-008	0.9974	0.997355	0.0170	1.0000	0.0141	
LEU-MET-THERM-002-009	1.0002	1.000200	0.0173	1.0000	0.0141	
LEU-MET-THERM-002-010	1.0006	1.000600	0.0166	1.0000	0.0141	
LEU-MET-THERM-002-011	0.9979	0.997940	0.0163	1.0000	0.0141	
LEU-MET-THERM-002-012	1.0054	1.005390	0.0160	1.0000	0.0141	

表 5.5 ICSBEP ベンチマーク解析結果 (LEU/HEU-SOL 体系)

Case ID	C/E	keff (Cal.)	fsd (1σ) (%)	Benchmark keff(Exp.)	Benchmark uncertainty	Title
LEU-SOL-THERM-001-001	1.0142	1.013330	0.0166	0.9991	0.0029	UNREFLECTED UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> O CYLINDRICAL ASSEMBLY SHEBA-II
LEU-SOL-THERM-002-001	0.9966	1.000360	0.0127	1.0038	0.0040	174-LITER SPHERES OF LOW ENRICHED (4.9%) URANIUM OXYFLUORIDE SOLUTIONS
LEU-SOL-THERM-002-002	0.9944	0.996756	0.0128	1.0024	0.0037	
LEU-SOL-THERM-002-003	0.9990	1.001400	0.0139	1.0024	0.0044	
LEU-SOL-THERM-003-001	0.9949	0.994646	0.0138	0.9997	0.0039	FULL AND TRUNCATED BARE SPHERES OF 10% ENRICHED URANYL NITRATE WATER SOLUTIONS
LEU-SOL-THERM-003-002	0.9942	0.993504	0.0135	0.9993	0.0042	
LEU-SOL-THERM-003-003	0.9983	0.997845	0.0131	0.9995	0.0042	
LEU-SOL-THERM-003-004	0.9922	0.991697	0.0134	0.9995	0.0042	
LEU-SOL-THERM-003-005	0.9959	0.995592	0.0108	0.9997	0.0048	
LEU-SOL-THERM-003-006	0.9961	0.996011	0.0104	0.9999	0.0049	
LEU-SOL-THERM-003-007	0.9949	0.994352	0.0101	0.9994	0.0049	
LEU-SOL-THERM-003-008	0.9983	0.997637	0.0082	0.9993	0.0052	
LEU-SOL-THERM-003-009	0.9954	0.995051	0.0083	0.9996	0.0052	
LEU-SOL-THERM-004-001	0.9982	0.997593	0.0157	0.9994	0.0008	STACY: WATER-REFLECTED 10%-ENRICHED URANYL NITRATE SOLUTION IN A 60-CM-DIAMETER CYLINDRICAL TANK
LEU-SOL-THERM-004-002	0.9987	0.998649	0.0152	0.9999	0.0009	
LEU-SOL-THERM-004-003	0.9965	0.996357	0.0145	0.9999	0.0009	
LEU-SOL-THERM-004-004	0.9988	0.998720	0.0139	0.9999	0.0010	
LEU-SOL-THERM-004-005	0.9987	0.998617	0.0137	0.9999	0.0010	
LEU-SOL-THERM-004-006	0.9984	0.997789	0.0127	0.9994	0.0011	
LEU-SOL-THERM-004-007	0.9983	0.997877	0.0127	0.9996	0.0011	
LEU-SOL-THERM-005-001	0.9941	0.994144	0.0112	1.0000	0.0042	BORON CARBIDE ABSORBER RODS IN URANIUM (5.64% 235U) NITRATE SOLUTION
LEU-SOL-THERM-005-002	0.9948	0.994769	0.0117	1.0000	0.0051	
LEU-SOL-THERM-005-003	0.9949	0.994925	0.0109	1.0000	0.0064	
LEU-SOL-THERM-006-001	0.9975	0.997461	0.0174	1.0000	0.0037	BORON CARBIDE ABSORBER RODS IN URANIUM (10% 235U) NITRATE SOLUTION
LEU-SOL-THERM-006-002	1.0038	1.003750	0.0175	1.0000	0.0038	
LEU-SOL-THERM-006-003	0.9977	0.997717	0.0177	1.0000	0.0041	
LEU-SOL-THERM-006-004	0.9989	0.998942	0.0175	1.0000	0.0041	
LEU-SOL-THERM-006-005	1.0012	1.001230	0.0164	1.0000	0.0047	
LEU-SOL-THERM-007-001	0.9965	0.992598	0.0142	0.9961	0.0009	STACY: UNREFLECTED 10%-ENRICHED URANYL NITRATE SOLUTION IN A 60-CM-DIA METER CYLINDRICAL TANK
LEU-SOL-THERM-007-002	0.9973	0.994577	0.0139	0.9973	0.0009	
LEU-SOL-THERM-007-003	0.9949	0.993393	0.0126	0.9985	0.0010	
LEU-SOL-THERM-007-004	0.9969	0.995733	0.0126	0.9988	0.0011	
LEU-SOL-THERM-007-005	0.9961	0.994411	0.0125	0.9983	0.0011	
LEU-SOL-THERM-008-001	0.9977	0.997918	0.0116	1.0002	0.0015	STACY: 60-CM-DIAMETER CYLINDERS OF 10%-ENRICHED URANYL NITRATE SOLUTIONS REFLECTED WITH CONCRETE
LEU-SOL-THERM-008-002	0.9991	0.998963	0.0124	0.9999	0.0014	
LEU-SOL-THERM-008-003	0.9998	0.999749	0.0128	0.9999	0.0014	
LEU-SOL-THERM-008-004	0.9999	0.999850	0.0131	0.9999	0.0014	
LEU-SOL-THERM-009-001	0.9974	0.997199	0.0126	0.9998	0.0014	STACY: 60-CM-DIAMETER CYLINDERS OF 10%-ENRICHED URANYL NITRATE SOLUTIONS REFLECTED WITH BORATED CONCRETE
LEU-SOL-THERM-009-002	0.9979	0.997842	0.0127	0.9999	0.0014	
LEU-SOL-THERM-009-003	0.9983	0.998171	0.0127	0.9999	0.0014	
LEU-SOL-THERM-010-001	0.9977	0.997571	0.0124	0.9999	0.0015	STACY: 60-CM-DIAMETER CYLINDERS OF 10%-ENRICHED URANYL NITRATE SOLUTIONS REFLECTED WITH POLYETHYLENE
LEU-SOL-THERM-010-002	0.9981	0.998001	0.0132	0.9999	0.0014	
LEU-SOL-THERM-010-003	0.9980	0.997971	0.0133	1.0000	0.0014	
LEU-SOL-THERM-010-004	0.9982	0.998335	0.0139	1.0001	0.0014	
LEU-SOL-THERM-016-001	1.0038	1.003400	0.0181	0.9996	0.0013	STACY: 28-CM-THICK SLABS OF 10%-ENRICHED URANYL NITRATE SOLUTIONS, WATER-REFLECTED
LEU-SOL-THERM-016-002	1.0039	1.003840	0.0172	0.9999	0.0013	
LEU-SOL-THERM-016-003	1.0037	1.003140	0.0171	0.9994	0.0014	
LEU-SOL-THERM-016-004	1.0030	1.002580	0.0165	0.9996	0.0014	
LEU-SOL-THERM-016-005	1.0024	1.001920	0.0161	0.9995	0.0014	
LEU-SOL-THERM-016-006	1.0011	1.000300	0.0160	0.9992	0.0015	
LEU-SOL-THERM-016-007	1.0020	1.001410	0.0158	0.9994	0.0015	
LEU-SOL-THERM-017-001	1.0032	1.001270	0.0163	0.9981	0.0013	STACY: 28-CM-THICK SLABS OF 10%-ENRICHED URANYL NITRATE SOLUTIONS, UNREFLECTED
LEU-SOL-THERM-017-002	1.0025	1.001060	0.0163	0.9986	0.0013	
LEU-SOL-THERM-017-003	1.0008	0.999688	0.0158	0.9989	0.0014	
LEU-SOL-THERM-017-004	1.0013	1.000470	0.0153	0.9992	0.0014	
LEU-SOL-THERM-017-005	1.0011	0.999822	0.0147	0.9987	0.0015	
LEU-SOL-THERM-017-006	0.9998	0.999377	0.0143	0.9996	0.0015	

(continued on the next page)

表 5.5 (continued) ICSBEP ベンチマーク解析結果 (LEU/HEU-SOL 体系)

Case ID	C/E	keff (Cal.)	fsd (1σ) (%)	Benchmark keff(Exp.)	Benchmark uncertainty	Title
LEU-SOL-THERM-018-001	1.0009	1.000060	0.0150	0.9992	0.0010	STACY: 28-CM-THICK SLABS OF 10%-ENRICHED URANYL NITRATE SOLUTIONS REFLECTED WITH CONCRETE
LEU-SOL-THERM-018-002	1.0006	1.000230	0.0137	0.9996	0.0010	
LEU-SOL-THERM-018-003	1.0009	1.000510	0.0146	0.9996	0.0010	
LEU-SOL-THERM-018-004	1.0005	1.000220	0.0143	0.9997	0.0010	
LEU-SOL-THERM-018-005	1.0010	1.000150	0.0148	0.9992	0.0010	
LEU-SOL-THERM-018-006	1.0002	0.999798	0.0150	0.9996	0.0010	
LEU-SOL-THERM-019-001	1.0005	0.999851	0.0143	0.9994	0.0009	STACY: 28-CM-THICK SLABS OF 10%-ENRICHED URANYL NITRATE SOLUTIONS REFLECTED WITH POLYETHYLENE
LEU-SOL-THERM-019-002	1.0011	1.000830	0.0143	0.9997	0.0009	
LEU-SOL-THERM-019-003	1.0017	1.001230	0.0153	0.9995	0.0009	
LEU-SOL-THERM-019-004	1.0016	1.001500	0.0154	0.9999	0.0009	
LEU-SOL-THERM-019-005	1.0018	1.001350	0.0151	0.9996	0.0009	
LEU-SOL-THERM-019-006	1.0016	1.001440	0.0152	0.9998	0.0009	
LEU-SOL-THERM-020-001	0.9984	0.997868	0.0144	0.9995	0.0010	STACY: 80-CM-DIAMETER CYLINDRICAL TANK OF 10%-ENRICHED URANYL NITRATE SOLUTIONS, WATER-REFLECTED
LEU-SOL-THERM-020-002	0.9979	0.997543	0.0133	0.9996	0.0010	
LEU-SOL-THERM-020-003	0.9967	0.996445	0.0121	0.9997	0.0012	
LEU-SOL-THERM-020-004	0.9977	0.997455	0.0110	0.9998	0.0012	
LEU-SOL-THERM-021-001	0.9973	0.995632	0.0121	0.9983	0.0009	STACY: 80-CM-DIAMETER CYLINDRICAL TANK OF 10%-ENRICHED URANYL NITRATE SOLUTIONS, UNREFLECTED
LEU-SOL-THERM-021-002	0.9978	0.996267	0.0120	0.9985	0.0010	
LEU-SOL-THERM-021-003	0.9963	0.995234	0.0108	0.9989	0.0011	
LEU-SOL-THERM-021-004	0.9977	0.996960	0.0105	0.9993	0.0012	
HEU-SOL-THERM-001-001	0.9994	0.999810	0.0215	1.0004	0.0060	MINIMALLY REFLECTED CYLINDERS OF HIGHLY ENRICHED SOLUTIONS OF URANYL NITRATE
HEU-SOL-THERM-001-002	0.9952	0.997316	0.0213	1.0021	0.0072	
HEU-SOL-THERM-001-003	1.0031	1.003430	0.0216	1.0003	0.0035	
HEU-SOL-THERM-001-004	0.9991	0.999892	0.0217	1.0008	0.0053	
HEU-SOL-THERM-001-005	1.0006	1.000660	0.0191	1.0001	0.0049	
HEU-SOL-THERM-001-006	1.0037	1.003860	0.0198	1.0002	0.0046	
HEU-SOL-THERM-001-007	0.9985	0.999348	0.0222	1.0008	0.0040	
HEU-SOL-THERM-001-008	0.9997	0.999512	0.0211	0.9998	0.0038	
HEU-SOL-THERM-001-009	0.9952	0.995591	0.0214	1.0008	0.0054	
HEU-SOL-THERM-001-010	0.9950	0.994263	0.0196	0.9993	0.0054	
HEU-SOL-THERM-004-003	0.9965	0.996475	0.0198	1.0000	0.0078	REFLECTED URANYL-FLUORIDE SOLUTIONS IN HEAVY WATER
HEU-SOL-THERM-004-004	0.9981	0.998089	0.0206	1.0000	0.0091	
HEU-SOL-THERM-004-005	0.9957	0.995746	0.0215	1.0000	0.0104	
HEU-SOL-THERM-004-006	0.9921	0.992050	0.0221	1.0000	0.0117	
HEU-SOL-THERM-009-001	1.0043	1.003330	0.0213	0.9990	0.0043	WATER-REFLECTED 6.4-LITER SPHERES OF ENRICHED URANIUM OXYFLUORIDE SOLUTIONS
HEU-SOL-THERM-009-002	1.0035	1.003500	0.0212	1.0000	0.0039	
HEU-SOL-THERM-009-003	1.0027	1.002720	0.0218	1.0000	0.0036	
HEU-SOL-THERM-009-004	0.9988	0.997419	0.0216	0.9986	0.0035	
HEU-SOL-THERM-010-001	1.0022	1.002200	0.0217	1.0000	0.0029	WATER-REFLECTED 9.7-LITER SPHERES OF ENRICHED URANIUM OXYFLUORIDE SOLUTIONS
HEU-SOL-THERM-010-002	1.0034	1.003430	0.0213	1.0000	0.0029	
HEU-SOL-THERM-010-003	1.0025	1.002520	0.0211	1.0000	0.0029	
HEU-SOL-THERM-010-004	1.0015	1.000710	0.0214	0.9992	0.0029	
HEU-SOL-THERM-011-001	1.0058	1.005830	0.0194	1.0000	0.0023	WATER-REFLECTED 17-LITER SPHERES OF ENRICHED URANIUM OXYFLUORIDE SOLUTIONS
HEU-SOL-THERM-011-002	1.0025	1.002490	0.0206	1.0000	0.0023	
HEU-SOL-THERM-012-001	1.0024	1.002260	0.0143	0.9999	0.0058	WATER-REFLECTED 91-LITER SPHERE OF ENRICHED URANIUM OXYFLUORIDE SOLUTION
HEU-SOL-THERM-013-001	0.9978	0.998976	0.0121	1.0012	0.0026	UNREFLECTED 174-LITER SPHERES OF ENRICHED URANIUM NITRATE SOLUTIONS
HEU-SOL-THERM-013-002	0.9975	0.998223	0.0121	1.0007	0.0036	
HEU-SOL-THERM-013-003	0.9938	0.994683	0.0120	1.0009	0.0036	
HEU-SOL-THERM-013-004	0.9959	0.996173	0.0119	1.0003	0.0036	
HEU-SOL-THERM-020-001	1.0040	1.000540	0.0211	0.9966	0.0116	UNREFLECTED CYLINDERS OF URANYL-FLUORIDE SOLUTIONS IN HEAVY WATER
HEU-SOL-THERM-020-002	1.0096	1.005170	0.0226	0.9956	0.0093	
HEU-SOL-THERM-020-003	1.0179	1.013530	0.0231	0.9957	0.0079	
HEU-SOL-THERM-020-004	1.0155	1.010910	0.0235	0.9955	0.0078	
HEU-SOL-THERM-020-005	1.0211	1.016900	0.0235	0.9959	0.0077	

(continued on the next page)

表 5.5 (continued) ICSBEP ベンチマーク解析結果 (LEU/HEU-SOL 体系)

Case ID	C/E	keff (Cal.)	fsd (1 $\sigma$ ) (%)	Benchmark keff(Exp.)	Benchmark uncertainty	Title
HEU-SOL-THERM-032-001	0.9981	0.999640	0.0074	1.0015	0.0026	A 48-INCH-DIAMETER UNREFLECTED SPHERE OF URANYL NITRATE (93.2 wt.% 235U) SOLUTION
HEU-SOL-THERM-035-001	0.9996	0.999621	0.0170	1.0000	0.0031	BORON CARBIDE ABSORBER RODS IN URANIUM (89% 235U) NITRATE SOLUTIONS
HEU-SOL-THERM-035-002	1.0046	1.004570	0.0174	1.0000	0.0032	
HEU-SOL-THERM-035-003	1.0057	1.005710	0.0171	1.0000	0.0030	
HEU-SOL-THERM-035-004	1.0057	1.005680	0.0178	1.0000	0.0030	
HEU-SOL-THERM-035-005	0.9992	0.999181	0.0206	1.0000	0.0033	
HEU-SOL-THERM-035-006	1.0051	1.005080	0.0201	1.0000	0.0029	
HEU-SOL-THERM-035-007	1.0056	1.005550	0.0214	1.0000	0.0035	
HEU-SOL-THERM-035-008	0.9997	0.999665	0.0212	1.0000	0.0038	
HEU-SOL-THERM-035-009	1.0006	1.000630	0.0217	1.0000	0.0041	
HEU-SOL-THERM-042-001	1.0016	0.997286	0.0099	0.9957	0.0039	UNREFLECTED LARGE-DIAMETER CYLINDERS OF ENRICHED URANIUM NITRATE SOLUTIONS
HEU-SOL-THERM-042-002	1.0000	0.996467	0.0095	0.9965	0.0036	
HEU-SOL-THERM-042-003	1.0011	1.000470	0.0076	0.9994	0.0028	
HEU-SOL-THERM-042-004	1.0018	1.001750	0.0064	1.0000	0.0034	
HEU-SOL-THERM-042-005	0.9995	0.999545	0.0055	1.0000	0.0034	
HEU-SOL-THERM-042-006	0.9997	0.999678	0.0060	1.0000	0.0037	
HEU-SOL-THERM-042-007	1.0006	1.000550	0.0050	1.0000	0.0036	
HEU-SOL-THERM-042-008	1.0011	1.001120	0.0037	1.0000	0.0035	
HEU-SOL-THERM-043-001	0.9979	0.996504	0.0216	0.9986	0.0031	LARGE UNREFLECTED SPHERES OF URANIUM OXYFLUORIDE SOLUTIONS
HEU-SOL-THERM-043-002	1.0072	1.006720	0.0140	0.9995	0.0026	
HEU-SOL-THERM-043-003	1.0031	1.002120	0.0118	0.9990	0.0025	
HEU-SOL-INTER-001-001	0.9951	0.995106	0.0198	1.0000	0.0065	REFLECTED URANYL-FLUORIDE SOLUTIONS IN HEAVY WATER
HEU-SOL-INTER-001-002	0.9895	0.989451	0.0194	1.0000	0.0071	

表 5.6 ICSBEP ベンチマーク解析結果 (MIX 体系)

Case ID	C/E	keff (Cal.)	fsd (1σ) (%)	Benchmark keff (Exp.)	Benchmark uncertainty	Title
MIX-COMP-THERM-001-001	1.0007	1.000660	0.0188	1.00000	0.0025	WATER-REFLECTED MIXED PLUTONIUM-URANIUM OXIDE (20 wt.% Pu) PINS
MIX-COMP-THERM-001-002	1.0000	1.000020	0.0198	1.00000	0.0026	
MIX-COMP-THERM-001-003	0.9989	0.998851	0.0199	1.00000	0.0032	
MIX-COMP-THERM-001-004	1.0007	1.000700	0.0196	1.00000	0.0039	
MIX-COMP-THERM-002-001	1.0008	1.001800	0.0171	1.00100	0.0059	RECTANGULAR ARRAYS OF WATER-MODERATED UO2-2 Wt.% PuO2 (8% 240Pu) FUEL RODS
MIX-COMP-THERM-002-002	1.0028	1.003690	0.0165	1.00090	0.0045	
MIX-COMP-THERM-002-003	1.0011	1.003540	0.0179	1.00240	0.0029	
MIX-COMP-THERM-002-004	1.0056	1.008020	0.0148	1.00240	0.0021	
MIX-COMP-THERM-002-005	1.0019	1.005670	0.0177	1.00380	0.0022	
MIX-COMP-THERM-002-006	1.0044	1.007270	0.0144	1.00290	0.0024	
MIX-COMP-THERM-003-001	1.0019	1.001850	0.0183	1.00000	0.0071	RECTANGULAR ARRAYS OF WATER-MODERATED UO2-6.6 Wt.% PuO2 FUEL RODS
MIX-COMP-THERM-003-002	1.0024	1.002350	0.0188	1.00000	0.0057	
MIX-COMP-THERM-003-003	1.0026	1.002600	0.0186	1.00000	0.0052	
MIX-COMP-THERM-003-004	1.0021	1.002070	0.0190	1.00000	0.0028	
MIX-COMP-THERM-003-005	1.0025	1.002520	0.0190	1.00000	0.0024	
MIX-COMP-THERM-003-006	1.0027	1.002660	0.0191	1.00000	0.0020	
MIX-COMP-THERM-004-001	0.9976	0.997622	0.0174	1.00000	0.0046	CRITICAL ARRAYS OF MIXED PLUTONIUM-URANIUM FUEL RODS WITH WATER-TO-FUEL VOLUME RATIOS RANGING FROM 2.4 TO 5.6
MIX-COMP-THERM-004-002	0.9981	0.998112	0.0169	1.00000	0.0046	
MIX-COMP-THERM-004-003	0.9984	0.998411	0.0172	1.00000	0.0046	
MIX-COMP-THERM-004-004	0.9981	0.998120	0.0177	1.00000	0.0039	
MIX-COMP-THERM-004-005	0.9990	0.999020	0.0172	1.00000	0.0039	
MIX-COMP-THERM-004-006	0.9994	0.999386	0.0172	1.00000	0.0039	
MIX-COMP-THERM-004-007	0.9992	0.999231	0.0171	1.00000	0.0040	
MIX-COMP-THERM-004-008	0.9993	0.999322	0.0164	1.00000	0.0040	
MIX-COMP-THERM-004-009	0.9998	0.999773	0.0164	1.00000	0.0040	
MIX-COMP-THERM-004-010	0.9994	0.999377	0.0157	1.00000	0.0051	
MIX-COMP-THERM-004-011	0.9993	0.999272	0.0155	1.00000	0.0051	
MIX-COMP-THERM-005-001	1.0015	1.002320	0.0175	1.00080	0.0022	WATER-MODERATED MIXED PLUTONIUM-URANIUM OXIDE PINS, 4.0 WT.% PuO2, 18% 240Pu, NATURAL URANIUM
MIX-COMP-THERM-005-002	0.9990	1.000120	0.0182	1.00110	0.0026	
MIX-COMP-THERM-005-003	1.0057	1.007290	0.0174	1.00160	0.0029	
MIX-COMP-THERM-005-004	1.0014	1.003510	0.0174	1.00210	0.0028	
MIX-COMP-THERM-005-005	1.0028	1.005360	0.0169	1.00260	0.0036	
MIX-COMP-THERM-005-006	1.0003	1.003640	0.0156	1.00330	0.0042	
MIX-COMP-THERM-005-007	1.0012	1.004750	0.0153	1.00350	0.0042	
MIX-COMP-THERM-006-001	0.9970	0.998598	0.0179	1.00160	0.0051	WATER-MODERATED MIXED OXIDE HEXAGONAL LATTICES - 2.0 WT.% PuO2, 8% 240Pu, NATURAL URANIUM
MIX-COMP-THERM-006-002	1.0004	1.002140	0.0181	1.00170	0.0036	
MIX-COMP-THERM-006-003	0.9960	0.998584	0.0176	1.00260	0.0036	
MIX-COMP-THERM-006-004	0.9993	1.004360	0.0177	1.00510	0.0044	
MIX-COMP-THERM-006-005	0.9998	1.003840	0.0168	1.00400	0.0054	
MIX-COMP-THERM-006-006	0.9964	1.001900	0.0163	1.00550	0.0051	
MIX-COMP-THERM-007-001	1.0024	1.004750	0.0169	1.00230	0.0035	HEXAGONAL LATTICES OF MIXED OXIDE FUEL PINS UO2-2 Wt.% PuO2 (16% 240Pu), NATURAL URANIUM
MIX-COMP-THERM-007-002	0.9975	0.999858	0.0165	1.00240	0.0039	
MIX-COMP-THERM-007-003	0.9982	1.001780	0.0167	1.00360	0.0046	
MIX-COMP-THERM-007-004	0.9971	1.000810	0.0154	1.00370	0.0057	
MIX-COMP-THERM-007-005	0.9946	0.998948	0.0150	1.00440	0.0061	
MIX-COMP-THERM-008-001	0.9995	0.999227	0.0165	0.99970	0.0032	HEXAGONAL LATTICES OF MIXED OXIDE FUEL PINS UO2-2 2.0 WT.% PuO2, 24% 240Pu, NATURAL URANIUM
MIX-COMP-THERM-008-002	0.9997	1.000470	0.0165	1.00080	0.0030	
MIX-COMP-THERM-008-003	0.9976	0.999861	0.0161	1.00230	0.0038	
MIX-COMP-THERM-008-004	1.0009	1.002430	0.0154	1.00150	0.0047	
MIX-COMP-THERM-008-005	1.0003	1.002550	0.0149	1.00220	0.0056	
MIX-COMP-THERM-008-006	0.9987	1.001510	0.0143	1.00280	0.0065	
MIX-COMP-THERM-009-001	1.0027	1.002980	0.0155	1.00030	0.0054	MIXED-OXIDE FUEL-PIN LATTICE - 1.5 WT.% PuO2, 8% 240Pu, DEPLETED URANIUM
MIX-COMP-THERM-009-002	0.9974	0.999362	0.0158	1.00200	0.0049	
MIX-COMP-THERM-009-003	0.9964	0.999882	0.0163	1.00350	0.0050	
MIX-COMP-THERM-009-004	0.9946	0.999154	0.0159	1.00460	0.0062	
MIX-COMP-THERM-009-005	0.9950	1.000860	0.0149	1.00590	0.0074	
MIX-COMP-THERM-009-006	0.9958	1.002510	0.0142	1.00670	0.0080	
MIX-COMP-THERM-011-001	1.0003	1.000260	0.0202	1.00000	0.0024	MIXED OXIDE RAPSODIE FUEL-PIN ARRAYS MODERATED AND REFLECTED BY WATER
MIX-COMP-THERM-011-002	1.0003	1.000260	0.0204	1.00000	0.0024	
MIX-COMP-THERM-011-003	1.0006	1.000550	0.0209	1.00000	0.0025	
MIX-COMP-THERM-011-004	0.9999	0.999929	0.0199	1.00000	0.0018	
MIX-COMP-THERM-011-005	0.9973	0.997331	0.0204	1.00000	0.0016	
MIX-COMP-THERM-011-006	0.9977	0.997713	0.0200	1.00000	0.0016	

(continued on the next page)

表 5.6 (continued) ICSBEP ベンチマーク解析結果 (MIX 体系)

Case ID	C/E	k <sub>eff</sub> (Cal.)	f <sub>sd</sub> (1 $\sigma$ ) (%)	Benchmark k <sub>eff</sub> (Exp.)	Benchmark uncertainty	Title
MIX-COMP-INTER-005-001	1.0111	1.165360	0.0097	1.15260	0.0056	UNDERMODERATED MOX (11 wt.% PuO <sub>2</sub> ) LATTICE IN THE EOLE REACTOR
MIX-SOL-THERM-002-001	1.0039	1.003900	0.0117	1.00000	0.0024	CRITICALITY EXPERIMENTS WITH MIXED PLUTONIUM AND
MIX-SOL-THERM-002-002	1.0040	1.004030	0.0112	1.00000	0.0024	URANIUM NITRATE SOLUTION AT A PLUTONIUM
MIX-SOL-THERM-002-003	1.0033	1.003310	0.0116	1.00000	0.0024	FRACTION OF 0.2 AND 0.5 IN LARGE CYLINDRICAL GEOMETRY
MIX-SOL-THERM-006-001	0.9969	0.996940	0.0169	1.00000	0.0011	MIXED URANIUM (70%) PLUTONIUM (30%) NITRATE SOLUTION POISONED WITH GADOLINIUM
MIX-SOL-THERM-006-002	1.0012	1.001240	0.0155	1.00000	0.0010	
MIX-SOL-THERM-006-003	1.0027	1.002710	0.0149	1.00000	0.0012	
MIX-SOL-THERM-006-004	1.0052	1.005240	0.0130	1.00000	0.0016	
MIX-SOL-THERM-006-005	1.0051	1.005120	0.0124	1.00000	0.0011	
MIX-SOL-THERM-006-006	1.0048	1.004800	0.0122	1.00000	0.0014	
MIX-MISC-THERM-001-001	0.9930	0.992980	0.0197	1.00000	0.0044	MIXED OXIDE FUEL-PIN LATTICE IN PLUTONIUM-URANIUM NITRATE SOLUTION
MIX-MISC-THERM-001-002	1.0012	1.001200	0.0181	1.00000	0.0044	
MIX-MISC-THERM-001-003	1.0012	1.001190	0.0184	1.00000	0.0044	
MIX-MISC-THERM-001-004	0.9961	0.996089	0.0189	1.00000	0.0044	
MIX-MISC-THERM-001-005	1.0050	1.005040	0.0178	1.00000	0.0044	
MIX-MISC-THERM-001-006	1.0068	1.006830	0.0172	1.00000	0.0032	
MIX-MISC-THERM-001-007	1.0076	1.007620	0.0158	1.00000	0.0032	
MIX-MISC-THERM-001-008	1.0080	1.008040	0.0151	1.00000	0.0032	
MIX-MISC-THERM-001-009	1.0086	1.008560	0.0147	1.00000	0.0066	
MIX-MISC-THERM-001-010	1.0098	1.009830	0.0143	1.00000	0.0066	
MIX-MISC-THERM-001-011	1.0113	1.011320	0.0179	1.00000	0.0025	
MIX-MISC-THERM-002-001	0.9993	0.999282	0.0199	1.00000	0.0011	MIXED OXIDE RAPSODIE FUEL PIN ARRAYS MODERATED BY DILUTE PLUTONIUM NITRATE SOLUTION (9.89, 10.07, OR 19.6 g Pu/l) AND REFLECTED BY WATER
MIX-MISC-THERM-002-002	1.0011	1.001070	0.0193	1.00000	0.0011	
MIX-MISC-THERM-002-003	1.0023	1.002340	0.0193	1.00000	0.0009	
MIX-MISC-THERM-002-004	1.0033	1.003340	0.0185	1.00000	0.0008	
MIX-MISC-THERM-002-005	1.0059	1.005910	0.0176	1.00000	0.0008	
MIX-MISC-THERM-002-006	1.0064	1.006430	0.0173	1.00000	0.0008	
MIX-MISC-THERM-002-007	1.0043	1.004260	0.0179	1.00000	0.0008	
MIX-MISC-THERM-002-008	1.0026	1.002620	0.0187	1.00000	0.0009	
MIX-MISC-THERM-002-009	1.0014	1.001410	0.0187	1.00000	0.0010	
MIX-MISC-THERM-002-010	1.0067	1.006700	0.0181	1.00000	0.0011	
MIX-MISC-THERM-002-011	1.0005	1.000450	0.0196	1.00000	0.0011	
MIX-MISC-THERM-002-012	1.0000	0.999985	0.0197	1.00000	0.0012	
MIX-MISC-THERM-003-008	1.0069	1.006860	0.0194	1.00000	0.0015	MIXED-OXIDE RAPSODIE FUEL-PIN ARRAYS MODERATED BY CONCENTRATED PLUTONIUM NITRATE SOLUTION (19.7 TO 194 g Pu/l) AND REFLECTED BY WATER
MIX-MISC-THERM-003-010	1.0088	1.008820	0.0197	1.00000	0.0012	
MIX-MISC-THERM-003-011	1.0088	1.008780	0.0191	1.00000	0.0015	
MIX-MISC-THERM-003-012	1.0094	1.009360	0.0193	1.00000	0.0011	
MIX-MISC-THERM-003-013	1.0088	1.008790	0.0193	1.00000	0.0014	
MIX-MISC-THERM-003-015	1.0069	1.006870	0.0197	1.00000	0.0011	
MIX-MISC-THERM-003-016	1.0068	1.006810	0.0192	1.00000	0.0015	
MIX-MISC-THERM-003-017	1.0067	1.006720	0.0202	1.00000	0.0009	
MIX-MISC-THERM-003-018	1.0066	1.006550	0.0201	1.00000	0.0011	
MIX-MISC-THERM-003-020	1.0055	1.005530	0.0201	1.00000	0.0011	
MIX-MISC-THERM-003-021	1.0057	1.005720	0.0195	1.00000	0.0015	
MIX-MISC-THERM-003-022	1.0069	1.006850	0.0194	1.00000	0.0011	
MIX-MISC-THERM-003-024	1.0062	1.006240	0.0194	1.00000	0.0011	
MIX-MISC-THERM-003-025	1.0060	1.006000	0.0186	1.00000	0.0015	
MIX-MISC-THERM-003-026	1.0056	1.005550	0.0199	1.00000	0.0011	
MIX-MISC-THERM-003-027	1.0054	1.005350	0.0196	1.00000	0.0014	
MIX-MISC-THERM-003-028	1.0064	1.006360	0.0191	1.00000	0.0016	
MIX-MISC-THERM-003-029	1.0051	1.005100	0.0195	1.00000	0.0012	
MIX-MISC-THERM-004-001	0.9951	0.995090	0.0195	1.00000	0.0030	WATER-REFLECTED TRIANGULAR-PITCHED LATTICE OF MIXED OXIDE FUEL RODS IMMERSSED IN PLUTONIUM / URANYL NITRATE SOLUTION CONTAINING GADOLINIUM
MIX-MISC-THERM-004-002	0.9952	0.995222	0.0174	1.00000	0.0027	
MIX-MISC-THERM-004-003	0.9945	0.994527	0.0163	1.00000	0.0030	
MIX-MISC-THERM-004-004	0.9926	0.992643	0.0145	1.00000	0.0035	
MIX-MISC-THERM-004-005	0.9949	0.994941	0.0137	1.00000	0.0036	
MIX-MISC-THERM-004-006	0.9924	0.992398	0.0135	1.00000	0.0036	

(continued on the next page)

表 5.6 (continued) ICSBEP ベンチマーク解析結果 (MIX 体系)

Case ID	C/E	keff (Cal.)	f <sub>d</sub> (1 $\sigma$ ) (%)	Benchmark keff(Exp.)	Benchmark uncertainty	Title
MIX-MET-FAST-001-001	0.9981	0.998054	0.0132	1.00000	0.0016	BENCHMARK CRITICAL EXPERIMENT OF A PLUTONIUM SPHERE SURROUNDED BY HIGHLY ENRICHED URANIUM
MIX-MET-FAST-002-001	1.0019	1.001860	0.0153	1.00000	0.0042	SPHERICAL COMPOSITE CORES COMPOSED OF PLUTONIUM AND HIGHLY ENRICHED URANIUM REFLECTED BY NORMAL URANIUM
MIX-MET-FAST-002-002	1.0020	1.001980	0.0154	1.00000	0.0044	
MIX-MET-FAST-002-003	1.0023	1.002290	0.0150	1.00000	0.0048	
MIX-MET-FAST-009-001	0.9988	0.998838	0.0131	1.00000	0.0010	SPHERICAL ASSEMBLY OF 239PU(delta, 98%) WITH A 0.75-CM EXTERNAL SHELL OF 235U(90%)
MIX-MET-FAST-011-001	0.9982	0.987936	0.0154	0.98970	0.0023	ZPPR-21 PHASES B THROUGH E: CYLINDRICAL ASSEMBLIES OF MIXED FISSILE PU AND U METAL REFLECTED BY GRAPHITE
MIX-MET-FAST-011-002	0.9930	0.992762	0.0146	0.99980	0.0023	
MIX-MET-FAST-011-003	0.9942	0.996034	0.0153	1.00180	0.0024	
MIX-MET-FAST-011-004	0.9953	0.996480	0.0150	1.00120	0.0024	

表 5.7 ICSBEP ベンチマーク解析結果 (PU 体系)

Case ID	C/E	keff (Cal.)	f <sub>d</sub> (1σ) (%)	Benchmark keff (Exp.)	Benchmark uncertainty	Title
PU-MET-FAST-001-001	0.9985	0.998506	0.0134	1.00000	0.0020	BARE SPHERE OF PLUTONIUM-239 METAL (4.5 at.%, 240Pu, 1.02 wt.% Ga)
PU-MET-FAST-002-001	0.9985	0.998503	0.0130	1.00000	0.0020	240Pu JEZEBEL: BARE SPHERE OF PLUTONIUM-239 METAL (20.1 at.% 240Pu, 1.01 wt.% Ga)
PU-MET-FAST-005-001	1.0023	1.002270	0.0138	1.00000	0.0013	BENCHMARK CRITICAL EXPERIMENT OF A PLUTONIUM SPHERE REFLECTED BY TUNGSTEN
PU-MET-FAST-006-001	0.9991	0.999125	0.0154	1.00000	0.0030	PLUTONIUM SPHERE REFLECTED BY NORMAL URANIUM USING FLATTOP
PU-MET-FAST-008-001	0.9974	0.997398	0.0140	1.00000	0.0006	BENCHMARK CRITICAL EXPERIMENT OF A THORIUM REFLECTED PLUTONIUM SPHERE
PU-MET-FAST-009-001	1.0020	1.002040	0.0137	1.00000	0.0027	BENCHMARK CRITICAL EXPERIMENT OF A PLUTONIUM SPHERE REFLECTED BY ALUMINUM
PU-MET-FAST-010-001	0.9973	0.997308	0.0137	1.00000	0.0018	BENCHMARK CRITICAL EXPERIMENT OF A DELTA-PHASE PLUTONIUM SPHERE REFLECTED BY NORMAL URANIUM
PU-MET-FAST-011-001	1.0007	1.000670	0.0164	1.00000	0.0010	BENCHMARK CRITICAL EXPERIMENT OF A WATER REFLECTED ALPHA-PHASE PLUTONIUM SPHERE
PU-MET-FAST-012-001	1.0013	1.002180	0.0152	1.00090	0.0021	URANIUM-REFLECTED ARRAY OF PLUTONIUM FUEL RODS
PU-MET-FAST-013-001	1.0046	1.008020	0.0144	1.00340	0.0023	COPPER-REFLECTED ARRAY OF PLUTONIUM FUEL RODS
PU-MET-FAST-014-001	0.9991	1.002830	0.0149	1.00370	0.0031	NICKEL-REFLECTED ARRAY OF PLUTONIUM FUEL RODS
PU-MET-FAST-015-001	0.9944	0.998514	0.0141	1.00410	0.0026	IRON-REFLECTED ARRAY OF PLUTONIUM FUEL RODS
PU-MET-FAST-018-001	0.9989	0.998851	0.0143	1.00000	0.0030	BENCHMARK CRITICAL EXPERIMENT OF A DELTA-PHASE PLUTONIUM SPHERE REFLECTED BY BERYLLIUM
PU-MET-FAST-022-001	0.9972	0.997185	0.0129	1.00000	0.0021	BARE SPHERICAL ASSEMBLY OF 239PU(delta, 98%)
PU-MET-FAST-023-001	0.9966	0.996552	0.0137	1.00000	0.0020	GRAPHITE REFLECTED SPHERICAL ASSEMBLY OF 239PU(delta, 98%)
PU-MET-FAST-024-001	1.0003	1.000320	0.0144	1.00000	0.0020	POLYETHYLENE-REFLECTED SPHERICAL ASSEMBLY OF 239PU(delta, 98%)
PU-MET-FAST-025-001	0.9964	0.996434	0.0135	1.00000	0.0020	SPHERICAL ASSEMBLY OF 239PU(delta, 98%) WITH 1.55-CM STEEL REFLECTOR
PU-MET-FAST-026-001	0.9950	0.995033	0.0144	1.00000	0.0024	SPHERICAL ASSEMBLY OF 239PU(delta, 98%) WITH 11.9-CM STEEL REFLECTOR
PU-MET-FAST-027-001	1.0009	1.000890	0.0164	1.00000	0.0022	POLYETHYLENE-REFLECTED SPHERICAL ASSEMBLY OF 239PU(delta, 89%)
PU-MET-FAST-028-001	0.9956	0.995606	0.0143	1.00000	0.0022	STEEL-REFLECTED SPHERICAL ASSEMBLY OF 239PU(delta, 89%)
PU-MET-FAST-029-001	0.9945	0.994516	0.0127	1.00000	0.0020	BARE SPHERICAL ASSEMBLY OF 239PU(alpha, 88%)
PU-MET-FAST-030-001	0.9995	0.999518	0.0138	1.00000	0.0021	GRAPHITE-REFLECTED SPHERICAL ASSEMBLY OF 239PU(alpha, 88%)
PU-MET-FAST-031-001	1.0023	1.002340	0.0159	1.00000	0.0021	POLYETHYLENE-REFLECTED SPHERICAL ASSEMBLY OF 239PU(alpha, 88%)
PU-MET-FAST-032-001	0.9950	0.994956	0.0134	1.00000	0.0020	STEEL-REFLECTED SPHERICAL ASSEMBLY OF 239PU(alpha, 88%)
PU-MET-FAST-033-001	0.9978	0.994498	0.0152	0.99670	0.0026	ZPPR-21 PHASE A: A CYLINDRICAL ASSEMBLY OF PU METAL REFLECTED BY GRAPHITE
PU-MET-FAST-035-001	1.0015	1.001510	0.0139	1.00000	0.0016	SPHERICAL ASSEMBLY OF 239PU(delta, 98%) WITH 3.15-CM LEAD REFLECTOR
PU-MET-FAST-036-001	1.0056	1.005550	0.0146	1.00000	0.0031	SPHERICAL ASSEMBLY OF 239PU(delta, 98%) WITH COMPOUND REFLECTOR OF 0.05-CM CADMIUM AND 2.3-CM POLYETHYLENE
PU-MET-FAST-039-001	0.9893	0.989261	0.0139	1.00000	0.0022	SPHERICAL ASSEMBLY OF 239PU(delta, 98%) WITH A 4.25-CM DURALUMIN REFLECTOR
PU-MET-FAST-040-001	0.9960	0.996004	0.0137	1.00000	0.0038	SPHERICAL ASSEMBLY OF 239PU(delta, 98%) WITH A 1.6-CM COPPER REFLECTOR
PU-MET-FAST-041-001	1.0040	1.003980	0.0153	1.00000	0.0016	SPHERICAL ASSEMBLY OF 239PU(alpha, 88%) WITH A 20.98-CM DEPLETED-URANIUM REFLECTOR

(continued on the next page)

表 5.7 (continued) ICSBEP ベンチマーク解析結果 (PU 体系)

Case ID	C/E	keff (Cal.)	fsd (1σ) (%)	Benchmark keff (Exp.)	Benchmark uncertainty	Title
PU-MET-FAST-045-001	1.0058	1.005750	0.0147	1.00000	0.0047	CRITICAL EXPERIMENTS PERFORMED FOR LAMPRE, THE LOS ALAMOS MOLTEN PLUTONIUM REACTOR
PU-MET-FAST-045-002	1.0120	1.012040	0.0151	1.00000	0.0046	
PU-MET-FAST-045-003	1.0094	1.009390	0.0146	1.00000	0.0044	
PU-MET-FAST-045-004	1.0085	1.008450	0.0145	1.00000	0.0046	
PU-MET-FAST-045-005	1.0115	1.011490	0.0144	1.00000	0.0045	
PU-MET-FAST-045-006	1.0104	1.010350	0.0147	1.00000	0.0049	
PU-MET-FAST-045-007	1.0113	1.011280	0.0146	1.00000	0.0050	
PU-MET-MIXED-001-004	1.0100	1.010020	0.0195	1.00000	0.0025	CRITICAL EXPERIMENTS WITH HETEROGENEOUS COMPOSITIONS OF PLUTONIUM, SILICON DIOXIDE, AND POLYETHYLENE
PU-MET-INTER-001-001	1.0167	1.016870	0.0173	1.00020	0.0037	
PU-MET-INTER-001-002	1.0096	1.009810	0.0175	1.00020	0.0032	
PU-MET-INTER-001-003	1.0093	1.009790	0.0187	1.00050	0.0025	
PU-MET-INTER-002-001	1.0343	1.020730	0.0147	0.98690	0.0026	ZPR-6 ASSEMBLY 10: A CYLINDRICAL PLUTONIUM/CARBON/STAINLESS STEEL ASSEMBLY WITH STAINLESS STEEL AND IRON REFLECTORS
PU-MET-THERM-001-005	1.0111	1.011160	0.0186	1.00010	0.0025	CRITICAL EXPERIMENTS WITH HETEROGENEOUS COMPOSITIONS OF PLUTONIUM, SILICON DIOXIDE, AND POLYETHYLENE
PU-MET-THERM-001-006	1.0101	1.010410	0.0193	1.00030	0.0025	
PU-SOL-THERM-001-001	1.0066	1.006620	0.0200	1.00000	0.0050	WATER-REFLECTED 11.5-INCH DIAMETER SPHERES OF PLUTONIUM NITRATE SOLUTIONS
PU-SOL-THERM-001-002	1.0075	1.007540	0.0200	1.00000	0.0050	
PU-SOL-THERM-001-003	1.0103	1.010330	0.0199	1.00000	0.0050	
PU-SOL-THERM-001-004	1.0045	1.004520	0.0197	1.00000	0.0050	
PU-SOL-THERM-001-005	1.0082	1.008160	0.0193	1.00000	0.0050	
PU-SOL-THERM-001-006	1.0098	1.009790	0.0192	1.00000	0.0050	
PU-SOL-THERM-002-001	1.0048	1.004820	0.0198	1.00000	0.0047	WATER-REFLECTED 12-INCH DIAMETER SPHERES OF PLUTONIUM NITRATE SOLUTIONS
PU-SOL-THERM-002-002	1.0054	1.005370	0.0199	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-002-003	1.0043	1.004290	0.0205	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-002-004	1.0069	1.006880	0.0196	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-002-005	1.0098	1.009820	0.0193	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-002-006	1.0055	1.005520	0.0204	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-002-007	1.0076	1.007640	0.0199	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-003-001	1.0044	1.004370	0.0194	1.00000	0.0047	WATER-REFLECTED 13-INCH DIAMETER SPHERES OF PLUTONIUM NITRATE SOLUTIONS
PU-SOL-THERM-003-002	1.0040	1.003990	0.0194	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-003-003	1.0060	1.006040	0.0191	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-003-004	1.0053	1.005340	0.0202	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-003-005	1.0067	1.006660	0.0192	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-003-006	1.0066	1.006570	0.0192	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-003-007	1.0085	1.008460	0.0194	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-003-008	1.0069	1.006860	0.0194	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-004-001	1.0065	1.006540	0.0184	1.00000	0.0047	WATER-REFLECTED 14-INCH DIAMETER SPHERES OF PLUTONIUM NITRATE SOLUTIONS 0.54% TO 3.43% 240Pu
PU-SOL-THERM-004-002	1.0008	1.000750	0.0187	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-004-003	1.0028	1.002750	0.0190	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-004-004	0.9998	0.999805	0.0186	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-004-005	1.0017	1.001700	0.0190	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-004-006	1.0033	1.003270	0.0190	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-004-007	1.0073	1.007300	0.0186	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-004-008	1.0027	1.002740	0.0189	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-004-009	1.0018	1.001810	0.0192	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-004-010	1.0026	1.002590	0.0188	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-004-011	1.0002	1.000180	0.0193	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-004-012	1.0048	1.004790	0.0188	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-004-013	1.0019	1.001940	0.0190	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-005-001	1.0042	1.004150	0.0187	1.00000	0.0047	WATER-REFLECTED 14-INCH DIAMETER SPHERES OF PLUTONIUM NITRATE SOLUTIONS 4.05% AND 4.40% 240Pu
PU-SOL-THERM-005-002	1.0044	1.004440	0.0185	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-005-003	1.0050	1.005010	0.0190	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-005-004	1.0060	1.005960	0.0188	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-005-005	1.0069	1.006930	0.0184	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-005-006	1.0060	1.006040	0.0192	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-005-007	1.0041	1.004090	0.0188	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-005-008	1.0009	1.000870	0.0187	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-005-009	1.0035	1.003480	0.0192	1.00000	0.0047	

(continued on the next page)

表 5.7 (continued) ICSBEP ベンチマーク解析結果 (PU 体系)

Case ID	C/E	keff (Cal.)	fsd (1 $\sigma$ ) (%)	Benchmark keff(Exp.)	Benchmark uncertainty	Title
PU-SOL-THERM-006-001	1.0030	1.002970	0.0178	1.00000	0.0035	WATER-REFLECTED 15-INCH DIAMETER SPHERES OF PLUTONIUM NITRATE SOLUTIONS
PU-SOL-THERM-006-002	1.0037	1.003680	0.0179	1.00000	0.0035	
PU-SOL-THERM-006-003	1.0024	1.002390	0.0186	1.00000	0.0035	
PU-SOL-THERM-009-001	1.0171	1.017050	0.0090	1.00000	0.0033	UNREFLECTED 48-INCH-DIAMETER SPHERE OF PLUTONIUM NITRATE SOLUTION
PU-SOL-THERM-009-002	1.0217	1.021690	0.0077	1.00000	0.0033	
PU-SOL-THERM-009-003	1.0208	1.020760	0.0075	1.00000	0.0033	
PU-SOL-THERM-010-001	1.0187	1.018660	0.0193	1.00000	0.0048	WATER-REFLECTED 9-, 10-, 11-, AND 12-INCH-DIAMETER CYLINDERS OF PLUTONIUM NITRATE SOLUTIONS
PU-SOL-THERM-010-002	1.0150	1.015010	0.0198	1.00000	0.0048	
PU-SOL-THERM-010-003	1.0088	1.008780	0.0202	1.00000	0.0048	
PU-SOL-THERM-010-004	1.0137	1.013650	0.0203	1.00000	0.0048	
PU-SOL-THERM-010-005	1.0114	1.011420	0.0200	1.00000	0.0048	
PU-SOL-THERM-010-006	1.0106	1.010560	0.0201	1.00000	0.0048	
PU-SOL-THERM-010-007	1.0033	1.003340	0.0190	1.00000	0.0048	
PU-SOL-THERM-010-008	1.0041	1.004110	0.0191	1.00000	0.0048	
PU-SOL-THERM-010-009	1.0158	1.015760	0.0201	1.00000	0.0048	
PU-SOL-THERM-010-010	1.0039	1.003930	0.0196	1.00000	0.0048	
PU-SOL-THERM-010-011	1.0109	1.010900	0.0197	1.00000	0.0048	
PU-SOL-THERM-010-012	1.0110	1.010950	0.0192	1.00000	0.0048	
PU-SOL-THERM-010-013	1.0176	1.017590	0.0195	1.00000	0.0048	
PU-SOL-THERM-010-014	1.0111	1.011050	0.0188	1.00000	0.0048	
PU-SOL-THERM-011-001	1.0121	1.012090	0.0183	1.00000	0.0052	BARE 16- AND 18-INCH-DIAMETER SPHERES OF PLUTONIUM NITRATE SOLUTIONS
PU-SOL-THERM-011-002	1.0169	1.016900	0.0186	1.00000	0.0052	
PU-SOL-THERM-011-003	1.0188	1.018780	0.0182	1.00000	0.0052	
PU-SOL-THERM-011-004	1.0109	1.010860	0.0184	1.00000	0.0052	
PU-SOL-THERM-011-005	1.0075	1.007520	0.0187	1.00000	0.0052	
PU-SOL-THERM-011-006	0.9970	0.996984	0.0168	1.00000	0.0052	
PU-SOL-THERM-011-007	1.0025	1.002540	0.0176	1.00000	0.0052	
PU-SOL-THERM-011-008	0.9996	0.999551	0.0167	1.00000	0.0052	
PU-SOL-THERM-011-009	0.9960	0.995958	0.0165	1.00000	0.0052	
PU-SOL-THERM-011-010	1.0052	1.005170	0.0169	1.00000	0.0052	
PU-SOL-THERM-011-011	1.0015	1.001500	0.0172	1.00000	0.0052	
PU-SOL-THERM-011-012	1.0020	1.002000	0.0171	1.00000	0.0052	
PU-SOL-THERM-012-001	1.0057	1.005730	0.0139	1.00000	0.0043	CRITICALITY OF PLUTONIUM NITRATE SOLUTION IN A LARGE WATER-REFLECTED CUBIC TANK (130 x 130 x 100 cm) (19% 240Pu)
PU-SOL-THERM-012-002	1.0066	1.006640	0.0134	1.00000	0.0043	
PU-SOL-THERM-012-003	1.0079	1.007910	0.0127	1.00000	0.0058	
PU-SOL-THERM-012-004	1.0082	1.008230	0.0110	1.00000	0.0058	
PU-SOL-THERM-012-005	1.0107	1.010650	0.0094	1.00000	0.0058	
PU-SOL-THERM-012-006	1.0063	1.006290	0.0186	1.00000	0.0007	
PU-SOL-THERM-012-007	1.0060	1.005970	0.0182	1.00000	0.0013	
PU-SOL-THERM-012-008	1.0049	1.004870	0.0179	1.00000	0.0013	
PU-SOL-THERM-012-009	1.0114	1.011360	0.0168	1.00000	0.0043	
PU-SOL-THERM-012-010	1.0055	1.005520	0.0159	1.00000	0.0043	
PU-SOL-THERM-012-011	1.0079	1.007910	0.0143	1.00000	0.0043	
PU-SOL-THERM-012-012	1.0080	1.007990	0.0137	1.00000	0.0043	
PU-SOL-THERM-012-013	1.0110	1.010970	0.0089	1.00000	0.0058	
PU-SOL-THERM-012-014	1.0032	1.003150	0.0201	1.00000	0.0013	
PU-SOL-THERM-012-015	1.0094	1.009360	0.0186	1.00000	0.0043	
PU-SOL-THERM-012-016	1.0040	1.004020	0.0172	1.00000	0.0043	
PU-SOL-THERM-012-017	1.0079	1.007860	0.0155	1.00000	0.0043	
PU-SOL-THERM-012-018	1.0078	1.007820	0.0147	1.00000	0.0043	
PU-SOL-THERM-012-019	1.0090	1.009040	0.0136	1.00000	0.0043	
PU-SOL-THERM-012-020	1.0092	1.009210	0.0133	1.00000	0.0058	
PU-SOL-THERM-012-021	1.0096	1.009560	0.0114	1.00000	0.0058	
PU-SOL-THERM-012-022	1.0105	1.010470	0.0096	1.00000	0.0058	
PU-SOL-THERM-012-023	1.0104	1.010390	0.0097	1.00000	0.0058	
PU-SOL-THERM-021-001	1.0079	1.007920	0.0192	1.00000	0.0032	WATER-REFLECTED AND BARE 15.2-INCH-DIAMETER SPHERES OF PLUTONIUM NITRATE SOLUTIONS
PU-SOL-THERM-021-002	1.0081	1.008110	0.0183	1.00000	0.0032	
PU-SOL-THERM-021-003	1.0054	1.005400	0.0199	1.00000	0.0065	
PU-SOL-THERM-021-004	1.0052	1.005200	0.0185	1.00000	0.0025	
PU-SOL-THERM-021-005	1.0063	1.006340	0.0182	1.00000	0.0025	
PU-SOL-THERM-021-006	1.0052	1.005210	0.0189	1.00000	0.0044	

(continued on the next page)

表 5.7 (continued) ICSBEP ベンチマーク解析結果 (PU 体系)

Case ID	C/E	$k_{eff}$ (Cal.)	$f_{sd} (1\sigma)$ (%)	Benchmark $k_{eff}$ (Exp.)	Benchmark uncertainty	Title
PU-SOL-THERM-023-001	0.9958	0.995820	0.0197	1.00000	0.0038	PLUTONIUM (33.89% and 4.23% $^{240}\text{Pu}$ ) NITRATE SOLUTIONS IN TWO WATER-REFLECTED CYLINDRIC CONCENTRIC TANKS
PU-SOL-THERM-023-002	0.9967	0.996707	0.0193	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-003	0.9981	0.998060	0.0187	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-004	0.9978	0.997812	0.0193	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-005	1.0012	1.001180	0.0195	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-006	1.0016	1.001560	0.0194	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-007	0.9969	0.996943	0.0201	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-008	0.9971	0.997058	0.0197	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-009	0.9964	0.996397	0.0193	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-010	0.9964	0.996395	0.0190	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-011	0.9957	0.995661	0.0197	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-012	0.9960	0.995976	0.0197	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-013	0.9967	0.996663	0.0203	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-014	0.9953	0.995327	0.0197	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-015	0.9996	0.999611	0.0190	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-016	1.0001	1.000110	0.0202	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-017	0.9948	0.994782	0.0197	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-018	0.9995	0.999504	0.0199	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-019	0.9971	0.997134	0.0205	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-020	0.9991	0.999065	0.0202	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-021	0.9992	0.999165	0.0189	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-022	1.0011	1.001080	0.0195	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-023	1.0020	1.001970	0.0196	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-024	0.9966	0.996550	0.0202	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-025	0.9971	0.997075	0.0201	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-026	0.9955	0.995474	0.0207	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-027	0.9958	0.995792	0.0196	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-028	0.9992	0.999232	0.0199	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-029	0.9971	0.997132	0.0203	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-030	0.9972	0.997247	0.0205	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-031	0.9971	0.997064	0.0199	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-032	1.0006	1.000620	0.0198	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-033	0.9996	0.999553	0.0200	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-023-034	0.9953	0.995283	0.0204	1.00000	0.0038	

(continued on the next page)

表 5.7 (continued) ICSBEP ベンチマーク解析結果 (PU 体系)

Case ID	C/E	keff (Cal.)	fsd (1σ) (%)	Benchmark keff(Exp.)	Benchmark uncertainty	Title
PU-SOL-THERM-025-001	1.0130	1.013010	0.0192	1.00000	0.0039	WATER-REFLECTED SLABS OF PLUTONIUM NITRATE SOLUTIONS
PU-SOL-THERM-025-002	1.0131	1.013110	0.0187	1.00000	0.0039	
PU-SOL-THERM-025-003	1.0133	1.013250	0.0188	1.00000	0.0039	
PU-SOL-THERM-025-004	1.0128	1.012790	0.0194	1.00000	0.0039	
PU-SOL-THERM-025-005	1.0098	1.009770	0.0194	1.00000	0.0039	
PU-SOL-THERM-025-006	1.0067	1.006690	0.0201	1.00000	0.0039	
PU-SOL-THERM-025-007	1.0013	1.001270	0.0178	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-025-008	1.0020	1.002010	0.0180	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-025-009	1.0023	1.002250	0.0190	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-025-010	1.0024	1.002410	0.0188	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-025-011	1.0031	1.003060	0.0182	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-025-012	1.0030	1.002950	0.0186	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-025-013	1.0008	1.000750	0.0185	1.00000	0.0038	
PU-SOL-THERM-025-014	1.0009	1.000940	0.0187	1.00000	0.0040	
PU-SOL-THERM-025-015	1.0009	1.000930	0.0186	1.00000	0.0040	
PU-SOL-THERM-025-016	1.0007	1.000710	0.0182	1.00000	0.0040	
PU-SOL-THERM-025-017	1.0011	1.001060	0.0179	1.00000	0.0040	
PU-SOL-THERM-025-018	1.0006	1.000570	0.0187	1.00000	0.0040	
PU-SOL-THERM-025-019	1.0002	1.000150	0.0189	1.00000	0.0040	
PU-SOL-THERM-025-020	0.9988	0.998843	0.0188	1.00000	0.0040	
PU-SOL-THERM-025-021	0.9989	0.998853	0.0182	1.00000	0.0044	
PU-SOL-THERM-025-022	0.9989	0.998926	0.0179	1.00000	0.0044	
PU-SOL-THERM-025-023	0.9992	0.999195	0.0183	1.00000	0.0044	
PU-SOL-THERM-025-024	0.9986	0.998615	0.0174	1.00000	0.0044	
PU-SOL-THERM-025-025	0.9973	0.997324	0.0183	1.00000	0.0044	
PU-SOL-THERM-025-026	0.9939	0.993883	0.0189	1.00000	0.0044	
PU-SOL-THERM-025-027	0.9945	0.994463	0.0178	1.00000	0.0044	
PU-SOL-THERM-025-028	0.9962	0.996214	0.0182	1.00000	0.0048	
PU-SOL-THERM-025-029	0.9959	0.995880	0.0181	1.00000	0.0048	
PU-SOL-THERM-025-030	0.9957	0.995680	0.0181	1.00000	0.0048	
PU-SOL-THERM-025-031	0.9960	0.995998	0.0186	1.00000	0.0048	
PU-SOL-THERM-025-032	0.9956	0.995583	0.0181	1.00000	0.0048	
PU-SOL-THERM-025-033	0.9950	0.995012	0.0184	1.00000	0.0048	
PU-SOL-THERM-025-034	0.9986	0.998591	0.0181	1.00000	0.0049	
PU-SOL-THERM-025-035	0.9978	0.997766	0.0180	1.00000	0.0049	
PU-SOL-THERM-025-036	0.9966	0.996566	0.0180	1.00000	0.0049	
PU-SOL-THERM-025-037	0.9943	0.994270	0.0182	1.00000	0.0049	
PU-SOL-THERM-025-038	0.9936	0.993600	0.0179	1.00000	0.0049	
PU-SOL-THERM-025-039	0.9965	0.996504	0.0179	1.00000	0.0060	
PU-SOL-THERM-025-040	0.9960	0.995962	0.0182	1.00000	0.0060	
PU-SOL-THERM-025-041	0.9954	0.995427	0.0180	1.00000	0.0060	
PU-SOL-THERM-025-042	0.9943	0.994336	0.0178	1.00000	0.0060	
PU-SOL-THERM-025-043	0.9930	0.992970	0.0183	1.00000	0.0060	
PU-SOL-THERM-025-044	0.9918	0.991836	0.0186	1.00000	0.0060	
PU-SOL-THERM-026-001	0.9948	0.994776	0.0216	1.00000	0.0052	UNREFLECTED SLABS OF PLUTONIUM NITRATE SOLUTIONS
PU-SOL-THERM-026-002	0.9939	0.993862	0.0210	1.00000	0.0052	
PU-SOL-THERM-026-003	0.9940	0.993984	0.0208	1.00000	0.0051	
PU-SOL-THERM-026-004	0.9944	0.994444	0.0198	1.00000	0.0045	
PU-SOL-THERM-026-005	0.9950	0.995021	0.0200	1.00000	0.0044	
PU-SOL-THERM-026-006	0.9968	0.996764	0.0198	1.00000	0.0043	
PU-SOL-THERM-026-007	0.9984	0.998423	0.0201	1.00000	0.0041	
PU-SOL-THERM-026-008	1.0000	1.000020	0.0196	1.00000	0.0039	
PU-SOL-THERM-026-009	0.9975	0.997537	0.0197	1.00000	0.0049	
PU-SOL-THERM-026-010	0.9981	0.998064	0.0193	1.00000	0.0048	
PU-SOL-THERM-026-011	0.9991	0.999073	0.0199	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-026-012	0.9998	0.999834	0.0193	1.00000	0.0047	
PU-SOL-THERM-026-013	1.0017	1.001740	0.0193	1.00000	0.0045	
PU-SOL-THERM-026-014	1.0032	1.003200	0.0196	1.00000	0.0044	
PU-SOL-THERM-026-015	0.9893	0.989284	0.0194	1.00000	0.0046	
PU-SOL-THERM-026-016	0.9956	0.995564	0.0193	1.00000	0.0044	
PU-SOL-THERM-026-017	0.9938	0.993758	0.0198	1.00000	0.0050	
PU-SOL-THERM-026-018	0.9939	0.993945	0.0192	1.00000	0.0049	
PU-SOL-THERM-026-019	0.9954	0.995446	0.0200	1.00000	0.0049	
PU-SOL-THERM-026-020	0.9955	0.995538	0.0199	1.00000	0.0049	
PU-SOL-THERM-026-021	0.9958	0.995755	0.0196	1.00000	0.0049	
PU-SOL-THERM-027-001	1.0066	1.006570	0.0199	1.00000	0.0010	MIXED-OXIDE RAPSODIE FUEL-PIN ARRAYS MODERATED BY CONCENTRATED PLUTONIUM NITRATE SOLUTION (19.7 TO 194 g Pu/l) AND REFLECTED BY WATER
PU-SOL-THERM-027-009	0.9915	0.991517	0.0202	1.00000	0.0008	
PU-SOL-THERM-027-014	1.0066	1.006620	0.0203	1.00000	0.0008	
PU-SOL-THERM-027-019	1.0060	1.005950	0.0203	1.00000	0.0008	
PU-SOL-THERM-027-023	1.0070	1.006960	0.0199	1.00000	0.0008	

表 5.8 ICSBEP ベンチマーク解析結果 (U233 体系)

Case ID	C/E	keff (Cal.)	fsd (1s) (%)	Benchmark keff (Exp.)	Benchmark uncertainty	Title
U233-MET-FAST-001-001	0.9993	0.999342	0.0125	1.0000	0.0010	233U JEZEBEL: A BARE SPHERE OF URANIUM-233 METAL
U233-MET-FAST-002-001	0.9988	0.998815	0.0132	1.0000	0.0010	BENCHMARK CRITICAL EXPERIMENTS OF URANIUM-233 SPHERES SURROUNDED BY URANIUM-235
U233-MET-FAST-003-001	0.9986	0.998647	0.0128	1.0000	0.0010	BENCHMARK CRITICAL EXPERIMENTS OF HIGHLY ENRICHED URANIUM-233 SPHERES REFLECTED BY NORMAL URANIUM
U233-MET-FAST-003-002	0.9990	0.998987	0.0138	1.0000	0.0010	
U233-MET-FAST-004-001	1.0001	1.000070	0.0137	1.0000	0.0007	BENCHMARK CRITICAL EXPERIMENTS OF HIGHLY ENRICHED URANIUM-233 SPHERES REFLECTED BY TUNGSTEN
U233-MET-FAST-004-002	0.9977	0.997687	0.0141	1.0000	0.0008	
U233-MET-FAST-005-001	0.9966	0.996578	0.0139	1.0000	0.0030	BENCHMARK CRITICAL EXPERIMENT OF HIGHLY ENRICHED URANIUM-233 SPHERES REFLECTED BY BERYLLIUM
U233-MET-FAST-005-002	0.9962	0.996244	0.0139	1.0000	0.0030	
U233-MET-FAST-006-001	0.9987	0.998731	0.0145	1.0000	0.0014	BENCHMARK CRITICAL EXPERIMENT OF A URANIUM-233 SPHERE REFLECTED BY NORMAL URANIUM WITH FLATTOP
U233-SOL-THERM-001-001	0.9983	0.998307	0.0125	1.0000	0.0031	UNREFLECTED SPHERES OF 233U NITRATE SOLUTIONS
U233-SOL-THERM-001-002	0.9977	0.998207	0.0127	1.0005	0.0033	
U233-SOL-THERM-001-003	0.9974	0.998016	0.0117	1.0006	0.0033	
U233-SOL-THERM-001-004	0.9978	0.997582	0.0127	0.9998	0.0033	
U233-SOL-THERM-001-005	0.9974	0.997324	0.0119	0.9999	0.0033	
U233-SOL-THERM-002-001	0.9993	1.003300	0.0241	1.0040	0.0087	PARAFFIN-REFLECTED 8-, 8.5-, 9-, 10-, AND 12-INCH-DIAMETER CYLINDERS OF 233U URANYL NITRATE SOLUTIONS
U233-SOL-THERM-002-002	0.9874	0.991365	0.0241	1.0040	0.0087	
U233-SOL-THERM-002-003	1.0024	1.006360	0.0235	1.0040	0.0087	
U233-SOL-THERM-002-004	0.9984	1.002440	0.0237	1.0040	0.0087	
U233-SOL-THERM-002-005	1.0035	1.007560	0.0223	1.0040	0.0087	
U233-SOL-THERM-002-006	0.9900	0.993933	0.0227	1.0040	0.0087	
U233-SOL-THERM-002-007	0.9795	0.983424	0.0230	1.0040	0.0087	
U233-SOL-THERM-002-008	0.9936	0.997568	0.0222	1.0040	0.0087	
U233-SOL-THERM-002-009	0.9824	0.986363	0.0214	1.0040	0.0087	
U233-SOL-THERM-002-010	0.9950	0.999003	0.0208	1.0040	0.0087	
U233-SOL-THERM-002-011	1.0039	1.007880	0.0190	1.0040	0.0087	
U233-SOL-THERM-002-012	0.9878	0.991743	0.0240	1.0040	0.0087	
U233-SOL-THERM-002-013	0.9891	0.993039	0.0240	1.0040	0.0087	
U233-SOL-THERM-002-014	0.9953	0.999248	0.0242	1.0040	0.0087	
U233-SOL-THERM-002-015	1.0006	1.004600	0.0232	1.0040	0.0087	
U233-SOL-THERM-002-016	1.0027	1.006720	0.0222	1.0040	0.0087	
U233-SOL-THERM-002-017	1.0017	1.005750	0.0212	1.0040	0.0087	
U233-SOL-THERM-003-001	1.0023	1.002300	0.0239	1.0000	0.0087	PARAFFIN-REFLECTED 5-, 5.4-, 6-, 6.6-, 7.5-, 8-, 8.5-, 9-, AND 12-INCH-DIAMETER CYLINDERS OF 233U URANYL FLUORIDE SOLUTIONS
U233-SOL-THERM-003-002	1.0191	1.019140	0.0238	1.0000	0.0151	
U233-SOL-THERM-003-003	0.9993	0.999264	0.0242	1.0000	0.0087	
U233-SOL-THERM-003-004	1.0072	1.007190	0.0239	1.0000	0.0126	
U233-SOL-THERM-003-005	1.0146	1.014640	0.0232	1.0000	0.0122	
U233-SOL-THERM-003-006	1.0195	1.019480	0.0241	1.0000	0.0087	
U233-SOL-THERM-003-007	1.0126	1.012570	0.0242	1.0000	0.0087	
U233-SOL-THERM-003-008	1.0080	1.008010	0.0234	1.0000	0.0087	
U233-SOL-THERM-003-009	1.0076	1.007580	0.0222	1.0000	0.0087	
U233-SOL-THERM-003-010	1.0043	1.004300	0.0197	1.0000	0.0087	
U233-SOL-THERM-004-001	0.9989	0.998941	0.0242	1.0000	0.0088	PARAFFIN-REFLECTED 5-, 6-, AND 7.5-INCH-DIAMETER CYLINDER OF 233-U URANYL NITRATE SOLUTIONS
U233-SOL-THERM-004-002	1.0012	1.001210	0.0236	1.0000	0.0086	
U233-SOL-THERM-004-003	0.9932	0.993229	0.0239	1.0000	0.0089	
U233-SOL-THERM-004-004	0.9850	0.984986	0.0237	1.0000	0.0089	
U233-SOL-THERM-004-005	1.0028	1.002770	0.0240	1.0000	0.0090	
U233-SOL-THERM-004-006	0.9987	0.998749	0.0246	1.0000	0.0103	
U233-SOL-THERM-004-007	0.9898	0.989792	0.0245	1.0000	0.0102	
U233-SOL-THERM-004-008	1.0021	1.002080	0.0243	1.0000	0.0100	

(continued on the next page)

表 5.8 (continued) ICSBEP ベンチマーク解析結果 (U233 体系)

Case ID	C/E	keff (Cal.)	f <sub>s</sub> d (1s) (%)	Benchmark keff(Exp.)	Benchmark uncertainty	Title
U233-SOL-THERM-005-001	0.9982	0.998179	0.0220	1.0000	0.0040	WATER-REFLECTED 233U URANYL NITRATE SOLUTIONS IN SIMPLE GEOMETRY
U233-SOL-THERM-005-002	1.0023	1.002250	0.0222	1.0000	0.0049	
U233-SOL-THERM-008-001	0.9969	0.997535	0.0075	1.0006	0.0029	A 48-INCH-DIAMETER UNREFLECTED SPHERE OF 233U NITRATE SOLUTION
U233-SOL-THERM-011-028	0.9811	0.981087	0.0252	1.0000	0.0061	URANYL-FLUORIDE (233U) SOLUTIONS IN SPHERICAL STAINLESS STEEL VESSELS WITH REFLECTORS OF Be, CH <sub>2</sub> AND Be-CH <sub>2</sub> COMPOSITES - PART I
U233-SOL-INTER-001-001	0.9830	0.982979	0.0235	1.0000	0.0083	URANYL-FLUORIDE (233U) SOLUTIONS IN SPHERICAL STAINLESS STEEL VESSELS WITH REFLECTORS OF Be, CH <sub>2</sub> AND Be-CH <sub>2</sub> COMPOSITES - PART I
U233-SOL-INTER-001-002	0.9792	0.979222	0.0240	1.0000	0.0085	
U233-SOL-INTER-001-003	0.9806	0.980620	0.0233	1.0000	0.0066	
U233-SOL-INTER-001-004	0.9909	0.990945	0.0235	1.0000	0.0061	
U233-SOL-INTER-001-005	0.9840	0.983957	0.0232	1.0000	0.0082	
U233-SOL-INTER-001-006	0.9846	0.984555	0.0241	1.0000	0.0061	
U233-SOL-INTER-001-007	0.9817	0.981650	0.0242	1.0000	0.0059	
U233-SOL-INTER-001-008	0.9790	0.979015	0.0238	1.0000	0.0056	
U233-SOL-INTER-001-009	0.9786	0.978616	0.0246	1.0000	0.0068	
U233-SOL-INTER-001-010	0.9787	0.978703	0.0239	1.0000	0.0053	
U233-SOL-INTER-001-011	0.9794	0.979422	0.0246	1.0000	0.0057	
U233-SOL-INTER-001-012	0.9795	0.979502	0.0238	1.0000	0.0091	
U233-SOL-INTER-001-013	0.9805	0.980503	0.0240	1.0000	0.0071	
U233-SOL-INTER-001-015	0.9789	0.978858	0.0237	1.0000	0.0075	
U233-SOL-INTER-001-017	0.9867	0.986704	0.0233	1.0000	0.0055	
U233-SOL-INTER-001-018	0.9774	0.977413	0.0242	1.0000	0.0057	
U233-SOL-INTER-001-019	0.9749	0.974905	0.0239	1.0000	0.0083	
U233-SOL-INTER-001-020	0.9779	0.977922	0.0248	1.0000	0.0056	
U233-SOL-INTER-001-021	0.9726	0.972630	0.0244	1.0000	0.0050	
U233-SOL-INTER-001-022	0.9780	0.978039	0.0241	1.0000	0.0049	
U233-SOL-INTER-001-023	0.9893	0.989276	0.0237	1.0000	0.0047	
U233-SOL-INTER-001-024	0.9895	0.989490	0.0235	1.0000	0.0081	
U233-SOL-INTER-001-025	0.9829	0.982923	0.0241	1.0000	0.0081	
U233-SOL-INTER-001-026	0.9870	0.987020	0.0243	1.0000	0.0065	
U233-SOL-INTER-001-027	0.9877	0.987683	0.0238	1.0000	0.0051	
U233-SOL-INTER-001-029	0.9759	0.975882	0.0248	1.0000	0.0098	
U233-SOL-INTER-001-031	0.9896	0.989598	0.0242	1.0000	0.0071	
U233-SOL-INTER-001-032	0.9746	0.974579	0.0245	1.0000	0.0053	
U233-SOL-INTER-001-033	0.9920	0.992015	0.0239	1.0000	0.0046	
U233-SOL-MIXED-001-014	0.9886	0.988574	0.0239	1.0000	0.0052	URANYL-FLUORIDE (233U) SOLUTIONS IN SPHERICAL STAINLESS STEEL VESSELS WITH REFLECTORS OF Be, CH <sub>2</sub> AND Be-CH <sub>2</sub> COMPOSITES - PART I
U233-SOL-MIXED-001-016	0.9770	0.976963	0.0239	1.0000	0.0028	
U233-SOL-MIXED-001-030	0.9751	0.975098	0.0246	1.0000	0.0053	

表 5.9 ICSBEP ベンチマーク解析結果 (SPEC 体系)

Case ID	C/E	$\rho / \kappa_{eff}$ (Cal.)	$f_{sd}(1s)$ (%)	Benchmark $\rho / \kappa_{eff}$ (Exp.)	Benchmark uncertainty	Experiment Type	Condition for $\kappa_{eff}$ Cal. (Worth problems)	$\kappa_{eff}$ (Cal.)	$f_{sd}(1s)$ (%)	Title
SPEC-MET-FAST-001-000	-	-	-	-	-	Standard case	Central void	0.998300	0.0021	REPLACEMENT MEASUREMENTS PERFORMED WITH CURIUM-244, PLUTONIUM-239, AND HEU USING JEZEBEL
SPEC-MET-FAST-001-001	1.0549	5.517	11.4046	5.23	0.26	Cm244 sample worth (cent/g)	CmO2 in center	0.998560	0.0021	CURRIUM-244, PLUTONIUM-239, AND HEU USING JEZEBEL
SPEC-MET-FAST-001-002	1.2183	7.103	8.3530	5.83	0.17	Pu239 sample worth (cent/g)	PuO2 in center	0.998655	0.0021	
SPEC-MET-FAST-001-003	0.8507	2.535	20.5904	2.98	0.06	U-235 sample worth (cent/g)	UO2 in center	0.998444	0.0021	
SPEC-MET-FAST-002-000	-	-	-	-	-	Standard case	Central void	0.996816	0.0021	PLUTONIUM-238 AND PLUTONIUM-239 REPLACEMENT
SPEC-MET-FAST-002-001	0.9433	5.443	2.1498	5.77	0.30	Pu238 sample worth (cent/g)	Pu238 in center	0.998194	0.0021	MEASUREMENTS PERFORMED USING JEZEBEL
SPEC-MET-FAST-002-002	0.9294	5.316	2.4747	5.72	0.20	Pu239 sample worth (cent/g)	Pu239 in center	0.998013	0.0021	
SPEC-MET-FAST-003-001	-	-	-	-	-	Standard case	Sample: Np237	0.997352	0.0024	NEPTUNIUM-237 AND HIGHLY ENRICHED URANIUM
SPEC-MET-FAST-003-002	1.2066	7.68	16.38	6.40	0.40	$\Delta(HEU)-\Delta(Np237)$ in Flatop/Pu	Sample: HEU	0.997563	0.0025	REPLACEMENT MEASUREMENTS PERFORMED USING FLATTOP
SPEC-MET-FAST-003-003	1.2463	4.26	11.51	3.42	0.39	$\Delta(HEU)-\Delta(Np237)$ in Flatop/HEU	Sample: Np237	0.998061	0.0023	
SPEC-MET-FAST-003-004	0.9900	18.77	2.62	18.96	0.32	$\Delta(Np237)-\Delta(AI)$ in Flatop/HEU	Sample: HEU	0.998343	0.0023	
SPEC-MET-FAST-003-005	1.0264	23.03	2.13	22.44	0.22	$\Delta(HEU)-\Delta(AI)$ in Flatop/HEU	Sample: Al-can	0.996821	0.0023	
SPEC-MET-FAST-004-001	1.0083	1.008290	0.0136	1.0000	0.0067	Criticality	CRITICAL EXPERIMENTS PERFORMED USING PLATES OF NEPTUNIUM-237 SPHERE SURROUNDED BY HEMISPHERICAL			
SPEC-MET-FAST-004-002	1.0194	1.019390	0.0139	1.0000	0.0074	Criticality	PLUTONIUM-242, HEU, AND PLUTONIUM-239			
SPEC-MET-FAST-004-003	1.0115	1.011530	0.0136	1.0000	0.0054	Criticality				
SPEC-MET-FAST-004-004	1.0057	1.005730	0.0141	1.0000	0.0089	Criticality				
SPEC-MET-FAST-004-005	1.0295	1.029490	0.0139	1.0000	0.0113	Criticality				
SPEC-MET-FAST-004-006	1.0018	1.001780	0.0141	1.0000	0.0121	Criticality				
SPEC-MET-FAST-004-007	1.0026	1.000690	0.0141	0.9981	0.0059	Criticality				
SPEC-MET-FAST-008-001	0.9940	0.996268	0.0129	1.0026	0.0034	Criticality	NEPTUNIUM-237 SPHERE SURROUNDED BY HEMISPHERICAL SHELLS OF HIGHLY ENRICHED URANIUM			
SPEC-MET-FAST-011-001	0.9963	0.999156	0.0171	1.0029	0.0029	Criticality				
SPEC-MET-FAST-014-001	0.9904	0.990468	0.0136	1.0001	0.0039	Criticality	NEPTUNIUM-237 SPHERE SURROUNDED BY HIGHLY ENRICHED URANIUM AND REFLECTED BY POLYETHYLENE			
							STEEL			NEPTUNIUM-237 SPHERE SURROUNDED BY HIGHLY ENRICHED URANIUM AND REFLECTED BY LOW-CARBON

## 6. まとめ

日本の最新評価済み核データライブラリーである JENDL-4.0 に対応できるよう、MVP 用断面積ライブラリー作成システム LICEM の改良を行った。これを使用し、JENDL-4.0 で評価された 406 核種に対する自由ガスモデルでの断面積の他、熱中性子散乱モデルによる断面積、燃焼計算用の疑似 FP 断面積等を含む、任意温度対応の MVP コード用の中性子断面積ライブラリー—MVPlib\_nJ40 を作成した。

本報告書には、新しい LICEM の利用方法と典型的なサンプルデータを記載した。また、MVP と完成した JENDL-4.0 ライブラリーを使用し、国際臨界安全ベンチマーク評価プロジェクトのデータベース（ICSBEP ハンドブック）に収納されている約 1,000 ケースの多種多様な臨界実験の解析を行った。得られた中性子増倍率と実験値を比較し、C/E 値を JENDL-4.0 による臨界性予測精度の検証用データとして掲載した。

MVPlib\_nJ40 は、現在、（財）高度情報科学技術研究機構をとおして入手・利用することができる。これらのデータが今後の原子力の発展のため広く利用されることを期待する。

## 謝 辞

MVP ライブラーの作成と多数のベンチマーク計算には、研究室に構築した PC クラスター計算機システムを使用した。この計算機システムを安価に構築し、数年間にわたって保守をしていただいた原子力標準ソフトウェア開発グループの小嶋健介氏に深く感謝します。

## 参考文献

- 1) K. Shibata, O. Iwamoto, T. Nakagawa, N. Iwamoto, A. Ichihara, S. Kunieda, S. Chiba, K. Furutaka, N. Otuka, T. Ohsawa, T. Murata, H. Matsunobu, A. Zukeran, S. Kamada and J. Katakura : “JENDL-4.0: A New Library for Nuclear Science and Engineering”, J. Nucl. Sci. Technol. 48[1], pp.1-30 (2011).
- 2) Nuclear Data Center, Japan Atomic Energy Agency : “JENDL-4.0”, available from <http://wwwndc.jaea.go.jp/jendl/j40/j40.html> (accessed 2011-05-09).
- 3) G. Chiba, K. Okumura, K. Sugino, Y. Nagaya, K. Yokoyama, T. Kugo, M. Ishikawa and S. OkajimaK. Sugino, G. Chiba, Y. Nagaya, K. Yokoyama, T. Kugo, M. Ishikawa and S. Okajima : “JENDL-4.0 Benchmarking for Fission Reactor Applications”, J. Nucl. Sci. Technol. 48[2], pp.172-187 (2011).
- 4) Y. Nagaya, K. Okumura, T. Mori and M. Nakagawa : “MVP/GMVP II: General Purpose Monte Carlo Codes for Neutron and Photon Transport Calculations based on Continuous Energy and Multigroup Methods”, JAERI 1348 (2005).
- 5) 森貴正、長家康展、奥村啓介、金子邦男：“最新の評価済み核データに基づく MVP 中性子断面積ライブラリーの作成”, JAERI-Data/Code 2004-011 (2004).
- 6) 千葉豪、奥村啓介, "JENDL-4 開発のための評価済み核データファイルのベンチマークテスト", JAEA-Research 2008-089 (2008).
- 7) O. Iwamoto, T. Nakagawa, N. Otuka, S. Chiba, K. Okumura, G. Chiba, T. Ohsawa and K. Furutaka : “JENDL Actinoid File 2008”, J. Nucl. Sci. Technol. 46, 510 (2009).
- 8) NEA Nuclear Science Committee, “International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments”, NEA/NSC/DOC (95) 03.
- 9) OECD/NEA, “International Criticality Safety Benchmark Evaluation Project”, available from <http://icsbep.inel.gov/> (accessed 2011-05-09).
- 10) K. Shibata, T. Kawano, T. Nakagawa, O. Iwamoto, J. Katakura, T. Fukahori, S. Chiba, A. Hasegawa, T. Murata,H. Matsunobu, T. Ohsawa, Y. Nakajima, T. Yoshida, A. Zukeran, M. Kawai, M. Baba, M. Ishikawa, T. Asami, T. Watanabe, Y. Watanabe, M. Igashira, N. Yamamuro, H. Kitazawa, N. Yamano and H. Takano : “Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version 3 Revision-3: JENDL-3.3”, J. Nucl. Sci. Technol. 39, p.1125 (2002).

- 11) D.E. Cullen : "PREPRO 2007: 2007 ENDF/B Pre-processing Codes", IAEA-NDS-39, Rev. 13, March 17, Nuclear Data Services, IAEA (2007), available from <http://www-nds.iaea.org/ndspub/endf/prepro/> (accessed 2010-07-06).
- 12) R.E. MacFarlane, D.W. Muir, R.M. Boicourt : "The NJOY Nuclear Data Processing System", LA-9303-M (ENDF-324) (1982), available from <http://t2.lanl.gov/codes/njoy99/> (accessed 2010-07-06).
- 13) (Ed.) M.Herman and A.Trkov, "ENDF-6 Formats Manual, Data Formats and Procedures for the Evaluated Nuclear Data File, ENDF/B-VI and ENDF/B-VII", CSEWG Document ENDF-102, BNL-90365-2009 (June 2009).
- 14) (Comp. and Ed.) P.F. Rose : "ENDF-201, ENDF/B-VI Summary Documentation", BNL-NCS-17541, 4th Edition (1991), available from <http://www.nndc.bnl.gov/csewg/> (accessed 2010-07-06).
- 15) (Ed) A.Koning, R.Forrest, M.Kellett, R.Mills, H.Henriksson and Y.Rugama: "The JEFF-3.1 Nuclear Data Library", JEFF Report 21 (2006).
- 16) 坪井亨、安部豊、田崎誠司 :"分子動力学法による軽水の熱中性子散乱の核データ化", 日本原子力学会「2009年秋の大会」予稿集 I48, 2009年9月16~18日, 東北大学 (2009).
- 17) T. Mori, K. Okumura, Y. Nagaya and M. Nakagawa: "Application of Continuous Energy Monte Carlo Code MVP to Burn-up and Whole Core Calculations Using Cross Sections at Arbitrary Temperatures", Proc. of Int. Conf. on Mathematics and Computation, Reactor Physics and Environmental Analysis in Nuclear Application (M&C'99), 27-30, Sept., 1999, Madrid, Spain 2, pp.987-996 (1999).
- 18) K. Okumura, T. Mori, N. Nakagawa and K. Kaneko: "Validation of a Continuous-energy Monte Carlo Burn-up Code MVP-BURN and Its Application to Analysis of Post Irradiation Experiment," J. Nucl. Sci. Technol., 37[2], pp.128-138 (2000).
- 19) K. Okumura, S. Asai, Y. Hanzawa, H. Suzuki, M. Toshimitsu, J. Inagawa, T. Okamoto, N. Shinohara, S. Kaneko and K. Suzuki, "Analyses of Assey Data of LWR Spent Nuclear Fuels with a Continuous-Energy Monte Carlo Code MVP and JENDL-4.0 for Inventory Estimation of  $^{79}\text{Se}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{126}\text{Sn}$  and  $^{135}\text{Cs}$ ", to be published in Progress in Nuclear Science and Technology (2011).
- 20) 奥村啓介, 久語輝彦, 中野佳洋, 他 : "モジュラー型炉心解析コードシステム MOSRA の開発", 日本原子力学会 2008 年春の年会, L46, 2008 年 3 月 26~28 日, 大阪大学 (2008).
- 21) Cross Section Evaluation Working Group: "Cross Section Evaluation Working Group Benchmark Specifications", BNL-19302 (ENDF-202), Brookhaven National Laboratory (1974).
- 22) J. Blair Briggs, Lori Scott and Ali Nouri, "The International Criticality Safety Benchmark Evaluation Project", Nucl. Sci. Eng., 145, p.1 (2003).
- 23) Ali Nouri, Pierre Nagel, J. Blair Briggs and Tatiana Ivanova, "DICE: Database for the International Criticality Safety Benchmark Evaluation Program Handbook", Nucl. Sci.

- Eng., 145, p.11 (2003).
- 24) NEA Nuclear Science Committee : “International Handbook of Evaluated Reactor Physics Benchmark Experiments”, NEA/NSC/DOC(2006)1.
  - 25) Y. Naito and J. Yang : ”The Sandwich Method for Determining Source Convergence in Monte Carlo Calculation”, J. Nucl. Sci. Technol., 41[5], p.559 (May 2004).
  - 26) T. Nakagawa, K. Shibata, S. Chiba, T. Fukahori, Y. Nakajima, Y. Kikuchi, T. Kawano, Y. Kanda, T. Ohsawa, H. Matsunobu, M. Kawai, A. Zukeran, T. Watanabe, S. Igarashi, K. Kosako and T. Asami : “Japanese evaluated nuclear data library, version 3 revision-2; JENDL-3.2”, J. Nucl. Sci. Technol., 32, p.1259 (1995).

## 付録 LICEM2010 の入力

LICEM2010 システムを構成する各モジュールの入力データ（標準入力）は以下のとおりである。[ ]内には U-238 の処理を想定した入力例を太字で示した。

### A.1 LINEAR モジュール

行	カラム	データ
1	1-11	Selection criteria (0= MAT, 1= ZA) [0]
	12-22	Monitor mode selector [0] = 0 Normal operation = 1 Monitor progress of linearizing of the data  Each time a page of data points is written to the scratch file print out the total number of points on scratch and the lower and upper energy limits of the page (this option may be used in order to monitor the execution speed of long running jobs).
	23-33	Minimum cross section of interest ( barns). [0.0] (If 0.0 or less is input the program will use 1.0E-10.) Energy intervals will not be subdivided if the absolute value of the cross section within the interval is less than this value. An exception to this rule is near thresholds energy intervals will be subdivided until convergence regardless of the magnitude of the cross section.
	34-44	Keep original evaluated data points. [1] = 0 No. = 1 Yes. Additional points may be added on order to linearize data, but all original data points will be included in the results.
2	1-60	ENDF/B input data file name (standard option = ENDFB.IN) [U0238J40.lininp]
3	1-60	ENDF/B output data file name (standard option = ENDFB.OUT) [U02380J40.linout]
4-N	1-6	Lower MAT or ZA limit [9237]
	7-8	Lower MF limit [0]
	9-11	Lower MT limit [0]
	12-17	Upper MAT or ZA limit [9237]
	18-19	Upper MF limit [99]
	20-22	Upper MT limit [999]  Up to 100 ranges may be specified, only one range per line. The list of ranges is terminated by a blank line. If the upper MAT limit of any request is less than the lower limit, it will be set equal to the

lower limit. If the upper limit is still zero, it will be set equal to 999999. If the upper MF or MT limit is zero, it will be set to 99 or 999, respectively.

VARY	1-11	Energy for error law [0.00000-00]
	12-22	Allowable fractional error for error law [1.00000-03]
<p>The acceptable linearizing error may be specified to be either energy independent (defined by a single error), or energy dependent (defined by up to 20 energy, error pairs). For the energy dependent case linear interpolation will be used to define the error at energies between those at which it is tabulated. In all cases the error law is terminated by a <b>blank line</b>. If only one energy-error pairs is given, the law will be considered to be energy independent. If more than one pair is given it will be considered to be energy dependent (Note, energy independent form will run faster than the equivalent energy dependent form). For an energy dependent error law all energies must be ascending energy order. For convergence of the linearizing algorithm all error must be positive. If an allowable error is not positive it will be set equal to the standard option (currently 0.001, corresponding to 0.1 percent). If the first error card is blank it will terminate the error law and the error will be treated as energy independent, equal to the standard option (currently 0.1 percent).</p>		

## A.2 RECENT モジュール

### 行 カラム フォーマット データ

---

1	1-11	I11	Retrieval criteria (0= MAT, 1= ZA) [0] This option defined whether column 11-22 of subsequent input lines should be interpreted to be MAT or ZA ranges.
	12-22	E11.4	File 2 minimum absolute cross section [1.00000-10] (If 1.0E-10 or less is input, the program will use 1.0E-10.)
	23-33	I11	Treatment of reactions for which background cross section is not given. [0] = 0 Ignore (i.e. no output). = 1 Output resonance contribution. This option is useful with partial evaluation (e.g. ENDF/B-V dosimetry library) where only one or more reactions are of actual interest. [注] 従来の MVP ライブライアリーアクセスでは、ファイル 3 データが存在しなくても本オプションの設定に 1 を与えて、共鳴評価から計算される反応データを新

たにファイル 3 に出力することで対応してきた。しかしながら、ENDF/B-VII β 版の Xe-134 では、分離共鳴パラメータに正の  $\Gamma$ -fission width が定義されているため、ファイル 3 データに核分裂断面積が出力され、ライブラリー作成ができなくなるという問題があった。そこで、同様なケースを回避するため、JENDL-4.0 を含め、今後の MVP ライブラリー作成では、本オプションを常にゼロに設定することとした。

34-44	I11	Operating mode. [1]	
		= 0 Calculate. Minimum output listing.	
		= 1 Calculate. List all resonance parameters.	
		= 2 Edit mode. No calculation. List all resonance parameters.	
		Note, the edit mode (=2) is the suggested mode to first test the consistency of the evaluated data before reconstructing cross section.	
45-55	I11	Negative cross section treatment. [0]	
		= 0 O.K. No change.	
		= 1 Set = 0	
		[注] 本項は、LICEM-2 の RECENT では使用されていなかった入力データである。	
56-66	I11	Monitor mode selector	
		= 0 Normal operation.	
		= 1 Monitor progress of reconstruction of file 2 data and combining file 2 and file 3 data. Each time a page of data points is written to the scratch file print out the total number of points on scratch and the lower and upper energy limits of the page (This option may be used in order to monitor the execution speed of long running jobs).	
2	1-60	A60	ENDF/B input data file name (standard option = ENDFB.IN) [U02380J40.linout]
3	1-60	A60	ENDF/B output data file name (standard option = ENDFB.OUT) [U02380J40.recout]
4-N	1-11	I11	Minimum MAT or ZA (see cols. 1-11, line 1) [1]
	12-22	I11	Maximum MAT or ZA (see cols. 1-11, line 1) [9999]
			Up to 100 MAT or ZA ranges may be specified, one range per line. The list is terminated by a blank line. If the upper limit of any request is less than the lower limit the upper limit will be set equal to the lower limit. If the first request line is blank it will terminate the request list and cause all data to be retrieved.
23-33	E11.4	Lower energy limit for processing. [0.00000-00]	

34-44 E11.4 Upper energy limit for processing. [0.00000-00]

The lower and upper energy limits must be zero, or blank, unless you wish to only process a portion of resonance regions. These energy limits are only read from the first MAT/ZA request line. If both are zero (or blank), the entire resonance region for each material will be processed. If limits are input only that portion of the resonance region for each material which lies between these limits will be processed. See above instructions above before using this option.

VARY 1-11 E11.4 Energy for file 2 error law [0.00000-00]

12-22 E11.4 Error for file 2 error law [1.00000-03]

Note. This version of the program does not thin the combined file 2 +3 data. As such, the error law for combining file 2 + 3 which was requested in early version of this code are no longer required.

The file 2 error law may be energy independent (defined by a single error) or energy dependent (defined by up to 20 energy, error pairs). For the energy dependent case, linear interpolation will be used to define the error at energies between those at which the error is tabulated. The error law is terminated by a **blank line**. If only one energy, error pair is given, the law will be considered to be energy independent. If more than one pair is given, it will be considered to be energy dependent (note, that for a constant error the energy dependent form will run faster. However, for specific applications an energy dependent error may be used to make the program run considerable faster).

All energies must be in ascending order. For convergence of the file 2 reconstruction algorithm, all the errors must be positive. If error is not positive, it will be set equal to the standard option (currently 0.001, corresponding to 0.1 percent). If the first line of the error law is blank, it will terminate the error law and the error will be treated as energy independent, equal to the standard option (currently 0.001, corresponding to 0.1 percent).

### A.3 SIGMA1 モジュール

行	カラム	データ
1	1-11	Selection criteria (0= MAT, l= ZA) [0]
12-22		Monitor mode selector [0] = 0 Normal operation.

	= 1	Monitor progress of Doppler broadening of data.
		Each time a page of data points is written to the scratch file print out the total number of points on scratch and the lower and upper energy limits of the page (this option may be used in order to monitor the execution speed of long running jobs).
23-33		Kelvin temperature [2.9315E+02]
34-44		Minimum cross section of interest [1.0000E-10] (default value = 1.0E-10 barns)
45-55		Negative cross section treatment [1] = 0 O.K. No change. = 1 Set = 0 [注] 本項は、LICEM-2 の SIGMA1 では使用されていなかった入力データである。(PREPRO2004 より新設)
56-66		Unresolved resonance region treatment [0] = 0 Copy. (No broadening) = 1 Ignore (Broaden) [注] 本項は、LICEM-2 の SIGMA1 では使用されていなかった入力データである。(PREPRO2004 より新設)
2	1-60	ENDF/B input data file name (standard option = ENDFB.IN) [U02380J40.recout]
3	1-60	ENDF/B output data file name (standard option = ENDFB.OUT) [U02380J40.sigout]
4-N	1-11	Lower MAT or ZA limit [0]
	12-22	Upper MAT or ZA limit [9999] Up to 100 MAT or ZA ranges may be specified, one range per line. The list of ranges is terminated by a blank line. If the upper limit is less than the lower limit, the upper limit will be set equal to the lower limit. If the first request line is blank, it will terminate the list of requests and cause all data to be retrieved.
VARY	1-11	Energy for error law [0.00000+ 0]
	12-22	Error for error law [1.00000- 3] The acceptable linearizing error can be given as an energy dependent function specified by up to 20 (energy, error) pairs and linear interpolation tabulate points. Energies must be in ascending order. The error law is terminated by a blank line. If the first error law line is blank, it will terminate the error law and the error will be treated as energy independent, equal to zero, which indicates that the broadened data should not be thinned.

## A.4 HEATR モジュール

本モジュールは NJOY99 のモジュールであり、SIGMA1 の出力ファイル（例えば U02380J40.sigout）を入力とし、NJOY99 の MODER、RECONR、BROADER モジュールで前処理を行っておく必要がある。

CARD#1 (free format)

nendf	unit for endf/b tape	[31]	output endf of sigma1
nin	unit for input pendf tape	[-23]	output of reconr+broader
nout	unit for output pendf tape	[-24]	
nplot	unit for graphical check output	[0]	

CARD#2 (free format)

matd	material to be processed	[9237]
npk	number of partial kermas desired (default=0)	[0]
nqa	number of user q values (default=0)	[0]
ntemp	number of temperatures to process (default=0, meaning all on pendf)	[0]
local	0/1=gamma rays transported/deposited locally (default=0)	[0]
iprint	print (0 min, 1 max, 2 check) (default=0)	[0]
ed	displacement energy for damage (default from built-in table)	[0.0]

CARD#3～(not used in LICEEM2010)

## A.5 U3R-J モジュール

LINE#1 (free format)

IOPT	:データ入力のオプション [0] =0:カード入力 =1:端末から入力
LIMCPU	:CPU 時間の上限(秒) [36000] LIMCPU $\leq$ 0なら LIMCPU=60 となる。

LINE#2 (free format)

MATD	:処理する核種の物質番号(MAT number) [9237] MATD=0 なら実行を終了する。
NTEMP	:断面積確率テーブルを計算する温度点の数(NTEMP $\leq$ 11) [11]
NENDF	:評価済核データファイルの入力基番(何でもよい、コードが機番1とする) [1]
IPRINT	:プリント出力のオプション [0] =0:簡略 =1:詳細

=2: 詳細

IPDS : PDS ファイルへの出力オプション [1]  
 =0:PDS ファイルへ出力しない  
 =1:PDS ファイルへ出力する

LINE#3 (free format)

(TEMP(I),I=1,NTEMP): 確率テーブルを計算する温度(K)

各温度の結果は、PDS ファイルへの保存が指示された場合(IPDS=1)は、ここで入力した温度の順に環境変数 U3RPDSnn で定義されたディレクトリの配下に収納される。すべての値が 0.0 の場合は省略値が用いられる。省略値は、293.15、300、393、600、900、1200、1500、1800、2100、2500、3000K の 11 温度。

[0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0]

LINE#4 (A2, A70)

ID : PDS ファイル中での ID 名(A2) [U8]

この ID を用いて、MVPLIBMK は PDS ファイルから特定核種のデータを取り出す。

TITLE : タイトル(A70) [U02380J40 Apr. 01 2010]

LINE#5 (free format)

LD : 収束判定のオプション [0]

=0: LINE#6 の SDC を用いて平均断面積の標準偏差 < SDC を収束判定条件とする。

=N:N 個のラダーを用いる

NPROB : 確率テーブルの長さ(NPROB ≤ 999)。省略値=99。 [99]

NAC : NAC ラダー毎にそれまでの結果をプリント出力する。 [50]  
 NAC < 1 の時は NAC=20 となる。

ISTART : そのランで確率テーブルを計算する最初の準位 [1]  
 (低エネルギー側より数えた順番)

LAST : 確率テーブルを計算する最後のレベル(入射中性子エネルギー) [999]  
 LAST < 0 なら LAST=9999 とされる。

LINE#6 (free format)

IRAND : 初期乱数(正または 0 の整数) [123456789]

SDC : 収束条件(%) (実数) [1.00]

この値は LD > 0 の時は使用されない。デフォルト値 = 10.0.

LINE#2 へ戻る。 [0 0 0 0 0]

リスタート計算では入力データの変更は必要ない。U3R-J が PDS ファイルの内容を検索して、次のレベル以降の確率テーブルを自動的に作成する。

## A. 6 THERMJ-B6 モジュール

本モジュールは、熱中性子散乱データを使用する物質の場合に計算する。[ ]内には H<sub>2</sub>O の H-1 の処理を想定した入力例を太字で示した。

### LINE#1 (free format)

MATID : material number [1]

NBIN : 非弾性散乱の散乱角のビン数 [8]

NBIN 個の角度分布データは、非弾性散乱断面積データが線形化されているかの判断で使用される。すなわち、角度分布も断面積も線形化されるような断面積エネルギー・メッシュが作成される。NBIN の最大値は 12。

IPRINT : プリント出力オプション (0/1/2=brief/detail/debug) [0]

TOL : 線形化の許容誤差 [0.01]

### LINE#2 (A3)

MEMPDS : 計算結果の PDS ファイル出力のメンバー名を定める核種 ID。[H<sub>2</sub>O]  
ブランクなら PDS ファイルへの出力を行わない。

## A. 7 MVPLIBMK モジュール

### LINE#1 (A72)

TITLE : タイトル [MVPlib for U02380J40 based on JENDL-40]

TITLE(1:7)="MVPDUMP"、あるいは TITLE(1:4)="DUMP"のときは、MVP ライブラリーのプリント出力を行う MVPDUMP オプションのみが実行される。この場合には、LINE#11～14 の入力データのみが必要である。それ以外の場合、すなわち、TITLE(1:7)≠"MVPDUMP"、TITLE(1:4)≠"DUMP"として、MVP ライブラリーを作成する場合には、LINE#2～10 の入力データが必要である。

### LINE#2 (free format)

NUCID : 作業用 PDS ファイルで使用する核種 ID (2 文字) [U8]

THMDT : 热中性子散乱データの PDS ファイル中での ID (3 文字) [dmy]

ITHERM=0 のときは、任意の 3 文字でよい。

### LINE#3 (free format)

MATD : 処理する核種の物質番号 (MAT number) [9237]

ITHERM : 热中性子散乱データの処理オプション [0]

= 0 free gas model を使用

= 1 評価済み核データの熱中性子散乱データを使用する

= 2 热領域の散乱断面積をゼロとする

= 3 ITHERM=1 と同じであるが、LINE#6 で分子中の注目核種の個数を入力する。(LICEM 初版のシステムで処理した ENDF/B-III のデータの処理に必要なオプション、THERMJ-B6 コードの結果を使用す

る場合にはこのオプションは必要ない。)

- IPRINT : ACER-J モジュール（角度分布等の処理）プリント出力オプション [0]  
 IGOPT :  $\gamma$  線生成データの処理オプション [0]  
     = 0 処理する  
     = 1 処理しない

## LINE#4 (free format)

- ERROR : ポイント断面積の内挿精度 [0.001]  
 NBINA : 角度ビンの数。NBINA $\leq 0$  なら NBINA=32 に設定される。 [32]  
 NBINP : 2 次中性子のエネルギー-bin 数。[0]  
     = 0 線形内挿可能なエネルギー分布のテーブルを作成する。(ENDF-6 形式のファイルを処理するときは NBINP=0 にセットされる)  
     > 0 等確率エネルギー-bin を作成する (NBINP $\leq 300$ )。

## LINE#5 (free format)

- LIBTYP : MVP 中性子断面積ライブラリーの VERSION 指定 [0]  
     = 0 VERSION 3。MATT は 16 文字となる。  
     = 1 VERSION 2。MATT は 8 文字となる。
- IDUMP : MVPDUMP モジュールのコールオプション [1]  
 IDUMP=ITHPRT×100+IGPRT×10+NDPRT  
 ITHPRT : 中性子断面積のプリント制御オプション  
     (0 / 1 = no print / print)  
 IGPRT :  $\gamma$  線生成データのプリント制御オプション  
     (0 / 1 = no print / print)  
 NDPRT : 熱中性子散乱と非分離共鳴断面積確率テーブルの温度依存データのプリント制御オプション  
     (0 / 1 = no print / print)  
 IDUMP>0 の場合には、LINE#9～10 の入力データが必要。
- NUNR : 非分離共鳴領域の断面積確率テーブルの長さ [20]  
     > 0 断面積確率テーブルの長さ  
     = 0 MVP ライブラリーにおける標準値 20 とする  
     < 0 断面積確率テーブルを用いない  
 オリジナル ENDF 形式ファイルに非分離共鳴領域があるが、U3R-J コードで断面積確率テーブルの作成を行っていない時は、NUNR<0 としなければならない。この場合には、非分離共鳴領域の断面積は無限希釈断面積となる。尚、非分離共鳴が無い場合にはこの入力データは何でもよい。
- CRSMIN : point-wise 断面積の最小値 (barn) [0.0]  
 >IDBG : デバッグオプション (0/1=no/yes) [0]  
 ITFREE : 温度内外挿できるかを示すフラッグ [0]  
     = 0 温度内外挿不可能。Pseudo FP 等の特殊な場合に使用する。

= 1 温度内外挿可能。ただし、熱中性子散乱データ及び非分離共鳴データの外挿は不可。ポイント断面積は基準温度以上が可。H(solid CH4)等、熱中性子散乱データが 1 温度点のみで与えられている場合は ITFREE=1 は無視される。 [1]

NTU3R : 非分離共鳴領域の断面積確率テーブルが与えられている温度点数 [0]  
NTUNR=0 なら省略値の 11 温度にセットされる。

LINE#6 (free format) <ITHERM=3 の時必要>

NATOM : 热中性子散乱データでの分子中の注目している原子数

LINE#7 (A16)

MATT : MVP ライブラリー核種 ID 名 [U02380J40]  
LIBTYPE オプションにより 8 文字または 16 文字の名前。何でも良いが、MVP ライブラリーの規則に従うのが望ましい。これは MVP ライブラリーのツールを使用してテキストファイル→バイナリーファイル変換を行う場合に、バイナリーファイル名の一部に使用されるからである。

LINE#8 (A60,A60)

PCOMMMT : コメント (120 characters)、MVP ライブラリーに出力される。LIBTYP=0 の時は、コードが自動的に最初の 9 文字を"VERSION 3"に変える、  
[VERSION 3 : U02380J40 MATNO=9237 Temp=293.15 kelvin]  
[PENDF Created by LINEAR-RECENT-SIGMA1 with 0.1% error]

LINE#9～10 の入力データは LINE#5 の IDUMP≠0 の場合にのみ必要である。

LINE#9 (free format) <IDUMP>0 の時必要>

EHI : ポイント断面積をプリント出力する最大エネルギー (eV) [0.0]  
EHI=0 の時は、ライブラリーの最大エネルギーとなる。  
ELOW : 最小エネルギー (eV)  
ELOW=0 の時は、ライブラリーの最小エネルギーとなる。 [0.0]

LINE#10 (free format)

IPRF1 :  $\nu$  値データのプリント制御オプション (0 / 1 = no print / print)  
IPRF4 : 2 次粒子角度分布のプリント制御オプション (0 / 1 = no print / print)  
IPRF5 : 2 次粒子エネルギー分布のプリント制御オプション  
(0 / 1 = no print / print)  
IPRUNR : 非分離共鳴断面積確率テーブルのプリント制御オプション  
(0 / 1 = no print / print)

LINE#11～14 の入力データは LINE#1 の TITLE(1:7)="MVPDUMP"、TITLE(1:4)="DUMP"  
(MVP ライブラリーのプリント出力のみ) の場合に必要である。

## LINE#11 (A72)

FILNAM : プリント出力する MVP 中性子断面積ライブラリーのファイル名  
 ブランクは処理の終了を示す。なお、ディレクトリ名はシェルにおいて  
 環境変数 MVPPDir で定義する。

[MVPlibV3.U0238J40.dat]

## LINE#12 (free format)

IDUMP : IDUMP=ITHPRT×100+IGPRT×10+NDPRT [001]  
 ITHPRT : 中性子断面積のプリント制御オプション  
 (0 / 1 = no print / print)  
 IGPRT :  $\gamma$  線生成データのプリント制御オプション  
 (0 / 1 = no print / print)  
 NDPRT : 热中性子散乱と非分離共鳴断面積確率テーブルの温度依存データのプリント制御オプション  
 (0 / 1 = no print / print)

## LINE#13 (free format)

EHI : ポイント断面積をプリント出力する最大エネルギー (eV) [2.0E7]  
 EHI=0 の時は、ライブラリーの最大エネルギーとなる。  
 ELOW : 最小エネルギー (eV) [1.0E5]  
 ELOW=0 の時は、ライブラリーの最小エネルギーとなる。

## LINE#14 (free format)

IPRF1 :  $\nu$  値データのプリント制御オプション (0 / 1 = no print / print)  
 IPRF3 : 断面積/ $\gamma$  線生成 yield のプリント制御オプション (0 / 1 = no print / print)  
 IPRF4 : 2 次粒子角度分布のプリント制御オプション (0 / 1 = no print / print)  
 IPRF5 : 2 次粒子エネルギー分布のプリント制御オプション  
 (0 / 1 = no print / print)  
 IPRUNR : 非分離共鳴断面積確率テーブルのプリント制御オプション  
 (0 / 1 = no print / print)

# 国際単位系 (SI)

表 1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位
名称	記号
長さ	メートル
質量	キログラム
時間	秒
電流	アンペア
熱力学温度	ケルビン
物質量	モル
光度	カンデラ

表 2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位
名称	記号
面積	平方メートル
物体	立方メートル
速度	メートル毎秒
加速度	メートル毎秒毎秒
波数	毎メートル
密度、質量密度	キログラム毎立方メートル
面積密度	キログラム毎平方メートル
比體積	立方メートル毎キログラム
電流密度	アンペア毎平方メートル
磁界の強さ	アンペア毎メートル
量濃度 <sup>(a)</sup> 、濃度	モル每立方メートル
質量濃度	キログラム毎立方メートル
輝度	カンデラ毎平方メートル
屈折率 <sup>(b)</sup>	(数字の) 1
比透磁率 <sup>(b)</sup>	(数字の) 1

(a) 量濃度(amount concentration)は臨床化学の分野では物質濃度(substance concentration)ともよばれる。  
(b) これらは無次元量あるいは次元<sup>1</sup>をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表 3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	他のSI単位による表し方
平面角	ラジアン <sup>(b)</sup>	rad	$\frac{1}{\text{m}/\text{m}}$
立体角	ステラジアン <sup>(b)</sup>	sr <sup>(c)</sup>	$\frac{1}{\text{m}^2/\text{m}^2}$
周波数	ヘルツ <sup>(d)</sup>	Hz	$\text{s}^{-1}$
力	ニュートン	N	$\text{m kg s}^{-2}$
圧力、応力	パスカル	Pa	$\text{N/m}^2$
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	$\text{N m}$
仕事率、工率、放射束	ワット	W	$\text{J/s}$
電荷、電気量	クーロン	C	$\text{A s}$
電位差(電圧)、起電力	ボルト	V	$\text{W/A}$
静電容量	ファラード	F	$\text{C/V}$
電気抵抗	オーム	$\Omega$	$\text{V/A}$
コンダクタンス	ジーメンス	S	$\text{A/V}$
磁束密度	ウェーバ	Wb	$\text{Vs}$
インダクタンス	テスラ	T	$\text{Wb/m}^2$
セルシウス温度	度	$\text{H}$	$\text{kg s}^{-2}\text{A}^2$
光照度	ルーメン	lm	$\text{cd sr}^{(e)}$
放射性核種の放射能 <sup>(f)</sup>	ベクレル <sup>(d)</sup>	Bq	$\text{lm/m}^2$
吸収線量、比エネルギー分与、カーマ	グレイ	Gy	$\text{J/kg}$
線量当量、周辺線量当量、方向性線量当量、個人線量当量	シーベルト <sup>(g)</sup>	Sv	$\text{J/kg}$
酸素活性	カタル	kat	$\text{m}^2\text{s}^{-2}$

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。  
(b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。  
(c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを表し方の中の、そのまま維持している。  
(d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。  
(e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同じである。したがって、温度差や温度間隔を表す數値はどちらの単位で表しても同じである。  
(f) 放射性核種の放射能(activity referred to a radionuclide)は、しばしば誤った用語で“radioactivity”と記される。  
(g) 単位シーベルト(PV,2002,70,205)についてはCIPM勧告2(CI-2002)を参照。

表 4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	$\text{m}^{-1}\text{kg s}^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	$\text{m}^2\text{kg s}^2$
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	$\text{kg s}^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$\text{m}^{-1}\text{s}^{-1}=s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s <sup>2</sup>	$\text{m}^{-1}\text{s}^{-2}=s^{-2}$
熱流密度、放射照度	ワット毎平方メートル	W/m <sup>2</sup>	$\text{kg s}^{-3}$
熱容量、エンントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$\text{m}^2\text{kg s}^2\text{K}^{-1}$
比熱容量、比エンントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$\text{m}^2\text{s}^{-2}\text{K}^{-1}$
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	$\text{m}^2\text{s}^{-2}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	$\text{m kg s}^{-3}\text{K}^{-1}$
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m <sup>3</sup>	$\text{m}^{-1}\text{kg s}^{-2}$
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	$\text{m kg s}^{-3}\text{A}^{-1}$
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m <sup>3</sup>	$\text{m}^{-3}\text{sA}$
表面電荷密度	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	$\text{m}^{-2}\text{sA}$
電束密度、電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	$\text{m}^{-2}\text{sA}$
誘電率	ファラード毎メートル	F/m	$\text{m}^3\text{kg s}^{-4}\text{A}^2$
透過磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	$\text{m kg s}^{-2}\text{A}^2$
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$\text{m}^2\text{kg s}^{-2}\text{mol}^{-1}$
モルエントロピー、モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$\text{m}^2\text{kg s}^{-2}\text{K}^{-1}\text{mol}^{-1}$
照射線量(X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	$\text{kg}^{-1}\text{sA}$
吸収線量	グレイ毎秒	Gy/s	$\text{m}^{-1}\text{s}^{-1}$
放射強度	ワット毎メートル每ステラジアン	W/sr	$\text{m}^3\text{kg s}^{-3}=\text{m}^2\text{kg s}^{-3}$
放射輝度	ワット毎平方メートル每ステラジアン	W/(m <sup>2</sup> sr)	$\text{m}^2\text{m}^{-2}\text{kg s}^{-3}=\text{kg s}^3$
酵素活性濃度	カタル毎立方メートル	kat/m <sup>3</sup>	$\text{m}^{-3}\text{s}^{-1}\text{mol}$

表 5. SI接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 <sup>24</sup>	ヨタ	Y	10 <sup>-1</sup>	デシ	d
10 <sup>21</sup>	ゼタ	Z	10 <sup>-2</sup>	センチ	c
10 <sup>18</sup>	エクサ	E	10 <sup>-3</sup>	ミリ	m
10 <sup>15</sup>	ペタ	P	10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>12</sup>	テラ	T	10 <sup>-9</sup>	ナノ	n
10 <sup>9</sup>	ギガ	G	10 <sup>-12</sup>	ピコ	p
10 <sup>6</sup>	メガ	M	10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>3</sup>	キロ	k	10 <sup>-18</sup>	アト	a
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h	10 <sup>-21</sup>	ゼット	z
10 <sup>1</sup>	デカ	da	10 <sup>-24</sup>	ヨクト	y

表 6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1ha=1hm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
リットル	L	1L=1dm <sup>3</sup> =10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
トン	t	1t=10 <sup>3</sup> kg

表 7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	1eV=1.602 176 53(14)×10 <sup>-19</sup> J
ダルトン	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 <sup>-27</sup> kg
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	1ua=1.495 978 706 91(6)×10 <sup>11</sup> m

表 8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=10 <sup>5</sup> Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 <sup>-10</sup> m
海里	M	1 M=1852m
ノット	b	1 b=100fm <sup>2</sup> =(10 <sup>-12</sup> cm) <sup>2</sup> =10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパー	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベル	B	1 dB=1ed sr cm <sup>2</sup> 10 <sup>4</sup> lx
デジベル	dB	1 dB=1 Oe△ (10 <sup>3</sup> /4n) A m <sup>-1</sup>

表 9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 <sup>-7</sup> J
ダイニン	dyn	1 dyn=10 <sup>-5</sup> N
ボアズ	P	1 P=1 dyn s cm <sup>-2</sup> =0.1Pa s
ストーカス	St	1 St=1cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
スクーブ	sb	1 sb=1cd cm <sup>-2</sup> =10 <sup>4</sup> cd m <sup>-2</sup>
フォート	ph	1 ph=1ed sr cm <sup>2</sup> 10 <sup>4</sup> lx
ガル	Gal	1 Gal=1em s <sup>-2</sup> =10 <sup>-2</sup> ms <sup>-2</sup>
マクスウェル	Mx	1 Mx=1G cm <sup>-2</sup> =10 <sup>-8</sup> Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm <sup>-2</sup> =10 <sup>-4</sup> T
エルステッド	Oe	1 Oe△ (10 <sup>3</sup> /4n) A m <sup>-1</sup>

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「△」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 <sup>10</sup> Bq
レントゲン	R	1 R = 2.58×10 <sup>4</sup> C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 <sup>2</sup> Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 <sup>-2</sup> Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 <sup>-9</sup> T
フェルミ	fm	1フェルミ=1 fm=10 <sup>-15</sup> m
メートル系カラット	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
トール	atm	1 atm = 101 325 Pa
標準大気圧	cal	1cal=4.1858J (『15°C』カロリー), 4.1868J (『IT』カロリー) 4.184J (『熱化学』カロリー)
カロリ	cal	1 μ=1μm=10 <sup>-6</sup> m

