



JAEA-Data/Code

2008-029

# JMTR照射場解析のためのJENDL/ACに基づく MCNP用連続エネルギー断面積ライブラリ JAC08T1

Continuous Energy Cross Section Library JAC08T1

Based on JENDL/AC for MCNP Calculation of Irradiation Field in JMTR

竹本 紀之 奥村 啓介 片倉 純一  
長尾 美春 河村 弘

Noriyuki TAKEMOTO, Keisuke OKUMURA, Junichi KATAKURA,  
Yoshiharu NAGAO and Hiroshi KAWAMURA

大洗研究開発センター  
照射試験炉センター

Neutron Irradiation and Testing Reactor Center  
Oarai Research and Development Center

February 2009

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

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

**JMTR 照射場解析のための JENDL/AC に基づく  
MCNP 用連続エネルギー断面積ライブラリ JAC08T1**

日本原子力研究開発機構大洗研究開発センター  
照射試験炉センター

竹本 紀之・奥村 啓介<sup>†</sup>・片倉 純一<sup>†</sup>・長尾 美春・河村 弘

(2008 年 12 月 10 日受理)

2008 年 3 月に公開された最新の日本の評価済み核データファイルである JENDL/AC に基づいた、モンテカルロ輸送計算コード MCNP 用の連続エネルギー断面積ライブラリ JAC08T1 を編集した。本ライブラリの作成にあたっては、最新版核データ処理コード NJOY (NJOY99.259) に、JENDL/AC を処理するために必要な修正を行ったものを使用した。今回、整備した JAC08T1 は JMTR の照射場解析に使用するために整備したものであるが、その他の試験研究炉の炉心解析、加速器等の原子力分野においても幅広い利用が期待される。

---

大洗研究開発センター : 〒311-1393 茨城県東茨城郡大洗町成田町 4002

† 原子力基礎工学研究部門 核工学・炉工学ユニット

**Continuous Energy Cross Section Library JAC08T1  
Based on JENDL/AC for MCNP Calculation of Irradiation Field in JMTR**

Noriyuki TAKEMOTO, Keisuke OKUMURA<sup>†</sup>, Junichi KATAKURA<sup>†</sup>,  
Yoshiharu NAGAO and Hiroshi KAWAMURA

Neutron Irradiation and Testing Reactor Center  
Oarai Research and Development Center  
Japan Atomic Energy Agency  
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received December 10, 2008)

The continuous energy cross section library for the Monte Carlo transport code MCNP, JAC08T1, has been generated from the latest version of Japanese evaluated nuclear data library JENDL/AC released in March, 2008. The latest version of NJOY (NJOY99.259), the evaluated nuclear data processing system, has been employed to produce the library after necessary modifications in order to process JENDL/AC.

The prepared JAC08T1 library is to be used for evaluation of irradiation field in JMTR, and furthermore, wide utilization in other fields of nuclear energy is expected.

---

Keywords : JMTR, Neutron Flux, Irradiation Field, Nuclear Data Library, MCNP

---

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

## 目 次

1.はじめに .....	1
2. JAC08T1 ライブライリの作成 .....	1
2.1 JENDL/AC 処理のための NJOY の修正 .....	1
2.2 JENDL/AC に基づく MCNP ライブライリ作成 .....	5
3. JMTR 照射場解析への適用 .....	7
3.1 ライブライリの検証計算 .....	7
3.2 JMTR 炉心の試解析 .....	8
4.まとめ .....	8
謝辞 .....	9
参考文献 .....	9
附録 ENDF/B-VI.8, ENDF/B-VII.0, JEFF-3.1 に基づく $S(\alpha, \beta)$ データライブ ライリの編集 .....	19

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Production of JAC08T1 .....	1
2.1 Modification of NJOY for processing of JENDL/AC .....	1
2.2 Production of MCNP library based on JENDL/AC .....	5
3. Application to MCNP calculation for irradiation field in JMTR .....	7
3.1 Verification of JAC08T1 .....	7
3.2 Test calculation of JMTR core .....	8
4. Summary .....	8
Acknowledgement .....	9
References .....	9
Appendix Thermal scattering law data file $S(\alpha, \beta)$ based on ENDF/B-VI.8, ENDF/B-VII.0 and JEFF-3.1 .....	19

This is a blank page

## 1. はじめに

JMTR (Japan Materials Testing Reactor、熱出力 50MW) は、世界で現在稼働中の試験研究炉の中でも有数の高中性子束を有する軽水減速冷却タンク型の原子炉である (Fig. 1.1 参照)。

1968 年 3 月に初臨界を達成してから、原子炉の燃料・材料の耐久性、健全性の試験や基礎研究、ラジオアイソotope (RI) の製造等に利用されてきたが、第 165 サイクルの運転をもって一旦停止 (2006 年 8 月) し、2007 年度から 2011 年度の再稼動に向けた原子炉施設の改修を実施している。現在、再稼動に向けて、技術的価値の高い照射データを提供するための新技術の開発等<sup>1)~4)</sup>も進めているところである。

これまで、JMTR の照射場評価においては、モンテカルロ輸送計算コード MCNP (Version 4B<sup>5)</sup>) 及び日本の評価済み核データライブラリ JENDL-3.2 に基づく MCNP 用連続エネルギー断面積ライブラリ FSXLIB-J3R2<sup>6)</sup>により、高速及び熱中性子照射量の解析評価を実施してきた。再稼動後には、JMTR の照射場評価への最新の評価済み核データライブラリの適用を検討している。

そのため、2008 年 3 月に公開された日本の評価済み核データライブラリとしては最新の JENDL-4(現在、作成中)のアクチノイド核種の先行評価ファイルである JENDL アクチノイドファイル (JENDL/AC<sup>7)</sup>) を JMTR の照射場評価に適用するため、MCNP 用の連続エネルギー中性子断面積ライブラリを作成した。

## 2. JAC08T1 ライブラリの作成

### 2.1 JENDL/AC 処理のための NJOY の修正

JENDL/AC から MCNP 用の連続エネルギー断面積ライブラリを編集するにあたっては、核データ処理コード NJOY の最新版である NJOY99.259<sup>8)</sup>に、JENDL/AC を処理するために必要な修正及び改良を施したものを使用した。なお、NJOY99.259 は、2007 年 11 月に WWW の LANL/T2 Nuclear Information Service 上で up259 の最新パッチとして公開されている。

本作業にあたっては、PC-Linux 環境 (OS は SuSE Linux 10.0: kernel 2.6.13 系) にて、ソースプログラム (FORTRAN 言語) のコンパイルには、g77 を使用した。

最新パッチ up259 における up161 以降の主な改良・修正点を次に示す (【】内は対象となる NJOY99 モジュール名である)。

- 配列宣言の欠落のバグ修正、unit base 内挿の計算方法を改良 【GROUPR】
- 主配列サイズの拡大

common/enddat/e(8000)

【CCCCR】

common/mstore/a(200000)	【MATXSR】
dimension ia(200000),ha(100000)	【MATXSR】
dimension b(8000)	【MATXSR】
dimension a(2000000)	【BROADR】

- 非分離共鳴領域において、MT=153 の最終発熱値を直接項だけでなく補正項でも正しく計算するように修正 【PURR】
- MF=5/LF=1 の表形式エネルギー分布において、複数のゼロ確率ビンが存在する場合の処置を内挿モードに応じて追加 【ACER】
- 遷移確率形式の光子生成収率において、20 MeV の上限エネルギーの制約を解除 【ACER】
- 非分離共鳴領域との重複によって、ドップラー拡張の対象となる非弾性散乱反応の上限数を 10 から 40 に拡大 【BROADR】
- 自由ガスの熱中性子散乱におけるエネルギー格子点の計算を 10 eV まで対応できるように改良 【THERMR】
- NJOY 内におけるエネルギーの数値精度の整合性を取るため、7 から 8 桁に変更 【NJOY, RECONR, BROADR】
- MF=5/LAW=1 において、遅発中性子のように複数のサブセクションから成る場合に対応 【ACER】
- 正の Q 値の反応による離散光子の最小エネルギーの計算を修正 【ACER】；遷移確率形式から変換されるゼロでない断面積の閾値を下限とするために、光子収率の上限境界を修正 【GROUPR】
- 正の Q 値と 20 MeV 以上のエネルギーを許容するため、遷移確率形式 (LO=2) からの光子収率を表すエネルギー境界を修正 【HEATR】
- 数値精度表現の修正（倍精度と単精度実数） 【全体】
- ルジャンドル係数の最大次数の誤った修正を再修正 【GROUPR】；ルジャンドル最大次数に対応するように配列宣言を修正 【HEATR】
- ENDF/B-VII の H-1 の中性子入射評価において、相対論的離散ガンマ線の取り扱いを追加 【HEATR】； 放射捕獲反応 (MF=6/MT=102) で与えられる相対論的離散ガンマ線を適切に処理するように修正 【GROUPR】
- MF=6/LAW=4 表記における反跳発熱の二重計数を修正 ( ${}^6\text{Li}(n,t)\alpha$ ) 【ACER】
- ENDF/B-VII の H-2 で使用された MF=6/LAW=6 の位相空間計算でのバグを修正 【HEATR】
- 光核反応ファイル処理におけるバグを修正 【RECONR, ACER】
- 二次エネルギー分布用の平滑化オプションを追加（低エネルギー中性子分布が主対象の組み込みオプションで、is smooth=1 で有効になるが暗黙値は 0 の無効である） 【ACER】； 10 MeV 以上の核分裂スペクトルの形状がほぼ指数関数である時に、表形式核分裂スペクトルが不十分な粗いエネルギー格子の線形内挿で記述される恐れがあるため、平滑化オプションを追加 (ENDF/B-VII の

U-235 と Pu-239 が主対象の組み込みオプションで、issmooth=1 で有効になる  
が暗黙値は 0 の無効である)、また対数内挿の低放出エネルギーにおけるより精  
密な近似をするためにも平滑化オプションを追加 【GROUPR】

- 作成するプロット図に関する修正 【PLOTR, VIEWR, ACER】
- 遅発中性子群数を可変構造にして、最大で JEFF の 8 群まで対応 【CCCCR】
- 荷電粒子生成部分反応 (MT=600~849) の取り扱いを適正化し、MT=103~107  
の断面積との重複による二重計数を回避 【RECONR, BROADR, ACER,  
GASPR】
- 液体水素と重水素の熱中性子散乱データ則評価は、LASYM=1 と LAT=1 の形  
式で格納されているが、この時の  $\beta$  を適正にスケーリング 【THERMR】
- $S(\alpha, \beta)$  データが対数形式で与えられる時の処理を追加 【THERMR】
- エネルギー依存の Watt 核分裂スペクトルの計算で、非常に大きな放出エネル  
ギーが与えられる問題を 2 の係数で小さくすることで回避 (ENDF/B-VII の  
U-233 の 15 MeV 以上で顕在化) 【GROUPR】
- ERRORR モジュールを ERRORJ コードで置換 【ERRORR】
- MF=6 の核分裂スペクトルデータを処理する時に、中性子増倍係数として即発  
 $\gamma$  平均値を使用するように修正 【GROUPR】

NJOY の整備作業の最初は、NJOY99.0 のソースプログラムに 'up259 + uplinux' の  
更新パッチを当てた NJOY99.259 のモジュール別ソースファイルを UPD ユーティリテ  
ィプログラムにより作成する (これが通常の NJOY99 の使用方法である。)。

JENDL-3.3<sup>9)</sup>等の汎用ファイルを処理するために NJOY99.259 に施された修正や改良  
は、UPD 用の更新パッチファイル (upn) の中に、パッチ指標 (ident) が "kk1" と "kk2"  
として組み入れた。

kk1 と kk2 の主要な改良・修正点を以下に示す (【】内は対象となる NJOY99 モジ  
ュール名である ; これらは主に FSXLIB-J33<sup>10)</sup>ライブラリ作成時に施されたパッチであ  
る)。

- ガンマ線生成データの MT 番号の不連続  
ガンマ線生成データの MT 番号が不連続な核種は、JENDL-3.3 の Nb-93, Hg-199,  
Pb-207 の 3 核種である。これらの核種では、欠落 MT のエネルギーレベルを追加  
して与えるように改良した。【HEATR, ACER, GROUPR】
- 非分離共鳴処理のエネルギー下限値  
処理可能な非分離共鳴のエネルギー下限値を 10 eV から 0.1 eV に修正した。これ  
は、Pm-148m の下限値が 0.6 eV であるためである。【RECONR, UNRESR,  
PURR】
- KERMA 係数の選択  
エネルギーバランスが保たれていない核種では、エネルギーバランス法により計

算される KERMA 係数(MT=301)が負または極端に大きな値になることがある。Kinematics 法により計算される KERMA (MT=443) は、その最大値を与えるものであり、負になることはない。そのため、エネルギーバランス法による KERMA に問題がある場合には、設計の安全側に立つ意味で Kinematics 法による KERMA を採用することにした。のために、両者を選択できる入力機能を入力カード 2 の 8 番目に kkerma として追加し、それにより KERMA を選択するように改良した。【HEATR】

- PENDF の非分離共鳴データの内挿モード

PURR で PENDF ファイルに出力される非分離共鳴データ (MF=2/MT=152) は、内挿モードが欠落しており、INT=0 となっている。この内挿モードは MATXSR で適切に処理できない。INT=2 または JENDL-3.3 の評価値で出力されるように修正した。【PURR】

NJOY99. 259 改良版に対して、JENDL/AC を MCNP 用連続エネルギーライブラリに編集するために施した修正を以下に示す。

- ENDF/B-VI.8 の Ir-191 と Ir-193 におけるガンマ線生成データの MT 番号不連続を修正 【HEATR, ACER, GROUPR】
- ドップラー拡張で許容する反応数を 50 個まで増加 【BROADR】
- MF=4 の表形式分布を変換するために使用する作業配列のサイズを増加 (aco, cprob, cumm のサイズを 4999) 【ACER】
- 遅発中性子スペクトルの再規格化における数値精度のバグを修正 【ACER】
- 非分離共鳴断面積 (LRU=2/LRF=2) の内挿モードが線形に固定されていたのを解除 【RECONR】
- 主要な配列サイズの変更  
common/astore/a(200000) 【ACER】  
common/xsst/xss(7000000) 【ACER】
- 非分離共鳴パラメータのエネルギー格子のエネルギー幅の比率を 3 倍から 2 倍に変更 【RECONR】
- MF=6/LAW=6 における平均エネルギーと損傷計算の取り扱いを追加  
【HEATR】
- 核分裂エネルギー分布 (MF=5/MT=18/LF=1) における非線形内挿モードに対して、エネルギーを 4 点追加して線形内挿で対応できるように修正 (JENDL-3.3 の U-235, 238 など、JENDL/AC の Pu-239, U-235 など; JENDL/AC は内挿モード INT=2 の線形-線形に統一される方向のようである) 【ACER】
- 自発核分裂の遅発中性子で多項式展開形 (MT=455/LNU=1) の処理を追加 (JENDL-3.2 の Pa-233 と U-232) 【ACER】
- 熱中性子散乱則データの処理温度数を 10 から 30 に増加 (JEFF-3.1 の H(H<sub>2</sub>O)

と黒鉛)     【BROADR, THERMR】

- MF=6/LAW=1において、ガンマ線生成エネルギーを離散エネルギーで与える場合 (ND>0) に、その反応の閾エネルギー近傍では離散エネルギー点数が 0 または少ないものがある。MCNP は、ある反応の離散エネルギー点数は全ての入射エネルギーで同一であることを要求している。そのため、反応毎に最大の離散エネルギー点数でガンマ線のエネルギー分布を定義するように修正した。

(JENDL/AC の U-235, 238 など)     【ACER】

## 2.2 JENDL/AC に基づく MCNP ライブライアリ作成

第 2.1 節で述べた NJOY99.259 の改良版を用いて 2008 年 3 月 1 日までに公開された JENDL/AC 事前テストファイルの全 79 核種を処理し、MCNP5 と MCNP-4C 用の中性子に対する連続エネルギー断面積ライブライアリを作成した。

MCNP 用ライブライアリは、核データ評価と処理の進展及びライブライアリ形式の拡張（輸送計算精度と要求の向上）により、下位互換性が保障されなくなっている状況である。

これらの主な理由は次のとおりである。

- (1) 非分離共鳴領域の断面積データとして、確率分布テーブル (ptable) を内包している。
- (2) newfor=1 オプションによる新書式の累積角度分布テーブル (MF=6/LAW =1/LANG=1) である。
- (3) MCNP のバグ修正と遅発中性子の取り扱いについて、これらの形式や別対応を必要とする核種が存在する。

そのため、MCNP 4 B 以前のバージョンでは、本作業で作成されるライブライアリを取り扱えない可能性がある。

2008 年 3 月 1 日版の JENDL/AC に格納されている全 79 核種の核種名、MAT 番号、 $\nu$  値、分離共鳴と非分離共鳴領域のエネルギー範囲を Table 2.1 に示す。Table 中の  $\nu$  値の項は、核分裂当たりの中性子数が存在する項目を表し、全中性子数が  $t$ 、即発中性子数が  $p$ 、遅発中性子数が  $d$  であり、'tpd' は 3 種類の全てが存在することを意味する。

なお、JENDL/AC の処理においては、Es-254 と Es-254m が同じ MAT 番号の 9914 であるため、ENDF/B-VI における MAT 番号再定義の観点から注意が必要である。

JENDL/AC の Am-242m (MAT=9547) を処理する NJOY99.259 改良版への入力データを Fig. 2.1 に示す。非分離共鳴パラメータを有する場合の NJOY99 処理モジュールの流れは、MODER→RECONR→BROADR→HEATR→THERMR→PURR→ACER である。ここでは、JENDL/AC の Am-242m ファイルを tape20 (論理装置番号 20) にコピーし、それを順次処理して最終的に tape26 のディレクトリファイルと tape27 の ACE

ファイルが作成されることになる。非分離共鳴パラメータのない核種の場合は、PURR モジュールの処理は不要であるため、入力データから削除する。

JENDL/AC の全 79 核種の中性子入射ファイルから MCNP 用ライブラリを作成するための NJOY99 処理の基本条件を以下に示す。

- pointwise 断面積の精度 0.1 %
- 断面積の処理温度 300 K ( $2.585 \times 10^{-8}$  MeV)  
45 °C = 328.15 K ( $2.742 \times 10^{-8}$  MeV)
- 熱エネルギー領域の上限 4.6 eV
- 熱エネルギー領域の非弾性散乱 自由ガスモデル
- 光子生成データ 詳細形式
- 非分離共鳴確率テーブル ptable あり ( $\sigma_0=1010, 104, 103, 100, 30, 10, 3, 1, 0.1, 10^{-5}$ ) ; テーブル長 = 20 (共鳴ラダー数 = 1000)
- newfor オプション 1 (law61 の新書式)
- KERMA 係数計算法 エネルギーバランス法

現在は、KERMA 係数計算法はエネルギーバランス法のみを使用しているが、発熱データを詳細に検討して必要があれば Kinematics 法も適用する。温度は、常温の 300 K を標準とする。JMTR の運転条件である炉心平均温度 45°C も比較対象温度として採用する。

上記の処理条件を用いて、2 つの温度で MCNP 用ライブラリを作成した。処理温度の違いによる問題等は、NJOY99 の計算時間が少し長くなること以外、特になかった。以下に作成したライブラリの基本データを示す。

名称	核種数	温度	suffix 番号	サイズ
jac08t11	79	300 K	44c, 45c	550 MB
jac08t21	79	328.15 K	46c, 47c	550 MB

名称の末尾の数字は、ライブラリのファイルタイプを表し、1 がテキスト、2 と 4 がバイナリ形式 (2 は 4 bytes 型、4 は 8 bytes 型) である。上記のファイルサイズはテキスト型の概算である。MCNP5 以降は、標準が 64 bits の 8 bytes 型になっている (CPU と数値精度向上の観点から)。2 つの suffix 番号が与えられているが、最初のものが基底状態の核種、2 番目のものが準安定状態 (meta-stable) の核種に対するものである。準安定状態の核種は、Am-242m, Am-244m, Es-254m である。

Table 2.1 で非分離共鳴領域が与えられている核種は、非分離共鳴確率テーブル (ptable) を含む。 $\nu$  値は全 79 核種に対して与えられている。ガンマ線生成データ (GPD) は、Cm-249 以外の 78 核種で与えられている。

### 3. JMTR 照射場解析への適用

第2章で作成したJENDL/ACに基づくMCNP用断面積ライブラリjac08t1について、まず、簡単なベンチマークテストによる検証計算を行い、使用上問題がないかどうかの確認を行い、次に、このライブラリを使用したJMTR炉心の試解析を行った。

#### 3.1 ライブラリの検証計算

ICSBEPハンドブック<sup>11)</sup>に記載されているベンチマーク問題から、体系温度が約300KでMCNP入力データが存在するものとして、LEU-COMP-THERM-006を選定した。この問題のタイトルは、”Critical Arrays of Low-Enriched UO<sub>2</sub> Fuel Rods with Water-to-Fuel Volume Ratios Ranging from 1.5 to 3.0”であり、格子ピッチとロッド数により18ケースの問題が含まれている、TCA/JAERIのベンチマーク問題である。その中からケース3のLEU-COMP-THERM-006-003(LCT006-003)を選定した(格子ピッチ1.849cm、ロッド数21、炉心温度は14.1~21.0°C、冷却水温度は20°C)。

LCT006-003ベンチマーク問題のMCNP5計算で使用した入力データをFig. 3.1に示す。中性子断面積ライブラリは、JENDL/ACに基づくjac08t1を主として使用し、不足核種をJENDL-3.3に基づくFSXLIB-J33にNJOY99.259改良版で新たに処理を行い作成したfsx33t1から充当する。熱中性子散乱則データは、H(H<sub>2</sub>O)の293~300Kのものを使用する。それらは、LANLからの公開ライブラリであるsab2002中のlwtr.60t(293.6K; ENDF/B-VI.5準拠)、附録に示すENDF/B-VI.8に基づくsabb68中のlwtr.20t(296K)、ENDF/B-VII.0に基づくsabb70中のlwtr.10t(293.6K)である。なお、熱中性子散乱則データに関してはENDF/B-VI.5とVI.8は同一の評価データである。MVP2<sup>12)</sup>計算で使用された熱中性子散乱則データはENDF/B-VI.8に基づくものである。MVP2計算で使用される断面積ライブラリは、MVP2仕様の独自のライブラリであり、MCNP用ライブラリとの互換性はない。

Table 3.1にLCT006-003問題を計算して得られた実効増倍係数( $k_{\text{eff}}$ )を示す。MCNP4B計算の結果は、ICSBEPハンドブックの資料中に解析結果として示されているものである。MCNP5による臨界計算は合計8ケース行った。最初のJENDL-3.2を用いた計算は、使用した入力データの妥当性を確認するために行った。JENDL-3.3単独の計算は、公開ライブラリとNJOY99.259改良版で作成したライブラリfsx33t1を比較検討するために行った。このベンチマーク問題の $k_{\text{eff}}$ 計算結果に関しては、NJOY99で公開後に適用されたパッチは重要な差を生じないことが確認できた。JENDL/ACとJENDL-3.3の組み合わせによる計算では、4つの熱中性子散乱則データを使用し比較も行った。公開ライブラリのsab2002のENDF/B-VI.5と今回作成したsabb68のENDF/B-VI.8はほぼ同様な結果が得られることが確認された(出典の核データファイル、及び非弾性散乱の角度とエネルギーのBIN数は同じであるが、処理温度(293.6と296K)とpointwiseエネルギー点数が異なっている)。ENDF/B-VII.0の熱中性子散乱則データ

による計算は少し高めに  $k_{\text{eff}}$  が出て、JEFF-3.1 はわずかに高めとなることがわかった。その結果、従来の核データよりも JENDL/AC による  $k_{\text{eff}}$  は良くなっている。なお、参考までに、今回の計算における MCNP5 と MVP2 計算による  $k_{\text{eff}}$  の整合性は非常に良いと言える。

### 3.2 JMTR 炉心の試解析

JENDL/AC から作成した MCNP 用ライブラリを用いて、MCNP による JMTR 炉心の試解析を行った。本解析においても第 3.1 節の場合と同様に、中性子断面積ライブラリは、JENDL/AC に基づく jac08t1 を主として使用し、その他の核種については JENDL-3.3 に基づく fsx33t1 を使用した。熱中性子散乱則データは、ENDF/B-VII.0 に基づく sabb70 をライブラリ検証の一環として使用することとした。

JMTR 炉心は、77.2mm 角の燃料要素及び反射体要素が  $5 \times 7$  格子配列に並べられた燃料領域とその周辺のベリリウム (Be) 及びアルミニウム (Al) 反射体要素が配置された反射体領域から構成されている。JMTR の炉心配置の例を Fig. 3.2 に示す。各反射体要素には照射試料を挿入できる照射孔があり、照射試料が挿入されない場合には、反射体と同材質のプラグを挿入して使用する。また、炉心内に設置された照射設備として水カラビット照射装置 (HR) 及びシュラウド照射装置 (OSF-1) が固定された位置にある。

解析に使用した MCNP 用入力データは、従来の照射場解析で使用している、改良 LEU 炉心体系<sup>13)</sup>において、キャップセルが全く装荷されていない炉心を仮定した（ただし、HR については、反射体要素のようにプラグが装荷されるのとは異なり、ラビットが挿入されない場合にはその領域は水となるため、アルミニウム製ラビットが 3 本装荷されているものとした）。

本入力データに対し、ZAID の核種を jac08t1 と fsx33t1 に対応させた上で、MCNP5 による計算を実施した。その結果、 $k_{\text{eff}}$ 、熱中性子束及び高速中性子束は、Table 3.2、Table 3.3 に示すとおり、従来の MCNP4B、JENDL-3.2、ENDF/B-III の  $S(\alpha, \beta)$  による計算結果と同程度の結果を示した。

## 4.まとめ

現在の JMTR の解析評価に関して、その解析精度を向上させることを目的として、核データの観点から、現在よりも精度の高い解析評価を実施するための検討として、JENDL アクチノイドファイル (JENDL/AC) に基づいて連続エネルギーモンテカルロコード MCNP 用の中性子断面積ライブラリを作成した。また、作成したライブラリを使用して、MCNP による JMTR 炉心体系の試解析を行い、JMTR の照射場解析に適用できることを確認した。

今回、編集した断面積ライブラリは、JMTR の解析のみならず、他の原子炉体系等にも十分使用可能なものであり、今後、広く利用されることが望まれる。

## 謝辞

本報告書の作成に際し、内容について貴重なご意見を頂きました那珂通裕・技術副主幹に深く感謝致します。

## 参考文献

- 1) 長尾美春, 佐藤政四、新見素二：“JMTR における核加熱率の評価”, JAEA- Technology 2007-051 (2007).
- 2) 長尾美春：“JMTR の炉心計算 -MCNP による全炉心計算-” , JAERI-Review 97-003(1997), pp.74-95
- 3) 長尾美晴：“JMTR の炉心計算” , JAERI-Review 98-010(1998), pp.128-165
- 4) 長尾美晴：“MCNP による JMTR 炉心計算” , JAERI-Conf 2000-018 (2000), pp.156-167.
- 5) J.F.BRIESMEISTER,(Ed), : “MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4B” , LA-12625-M (1997).
- 6) K. Kosako, F. Maekawa, Y. Oyama, Y. Uno and H. Maekawa : “FSXLIB-J3R2 : A Continuous Energy Cross Section Library for MCNP Based on JENDL-3.2” , JAERI-Data/Code 94-020 (1994).
- 7) 岩本修, 中川庸雄, 大塚直彦, 他, “Development of JENDL actinoid file, PHYSOR'08 (2008).
- 8) MacFarlane R.E., Muir D. W. and Boicourt R. M. : “The NJOY Nuclear Data Processing System”, LA-9303-M (ENDF-324) (1982).
- 9) K. Shibata, T. Kawano, T. Nakagawa, et al., “Evaluated Nuclear Data Library Version 3 Revision-3: JENDL-3.3,” Journal of Nuclear Science and technology Vol.39, No.11, (2002), pp.1125-1136.
- 10) 小迫和明, 山野直樹, 深堀智生, 他, “The Libraries FSXLIB and MATXSLIB based on JENDL-3.3,” JAERI-Data/Code 2003-011(2003).
- 11) Organization of Economic Cooperation and Development/Nuclear Energy Agency “International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments”, NEA/NSC/DOC(95)03(September 2007 Edition).
- 12) Y.Nagaya, K. Okumura, T. Mori, et al., “MVP/GMVP II : General Purpose Monte Carlo Codes for Neutron and Photon Transport Calculations based on Continuous Energy and Multigroup Methods”, JAERI 1348.
- 13) 長尾美春, 竹本紀之, 武田卓士：“JMTR 改良 LEU 炉心の核的な照射場特性の評価 –炉心中性子束分布及び中性子スペクトルの LEU 炉心との比較–”, JAERI-Tech 2001-069 (2001) .

Table 2.1 The energy range of resonance region for preliminary JENDL/AC.

nuclide	Z	A	resolved range [eV]				unresolved range [eV]				nuclide				resolved range [eV]				unresolved range [eV]			
			MAT	v	lower	upper	LRF	Z	A	MAT	v	lower	upper	LRF	lower	upper	LRF	lower	upper	LRF		
<b>Ac</b>	89	225	8925	tpd						240	9540	tpd										
	226	8928	tpd							241	9543	tpd	1.00E-05	1.50E+02	2	1.50E+02	4.00E+04	2				
	227	8931	tpd							242	9546	tpd	1.00E-05	1.00E+02	2	1.00E+02	3.00E+04	2				
	228	9025	tpd	1.00E-05	1.30E+01	2	1.30E+01	7.00E+04	2	242m	9547	tpd	1.00E-05	4.30E+01	2	4.30E+01	2.00E+04	2				
	229	9031	tpd	1.00E-05	8.00E+00	2	8.00E+00	2.00E+04	2	243	9549	tpd	1.00E-05	2.50E+02	2	2.50E+02	4.00E+04	2				
<b>Th</b>	230	9034	tpd	1.00E-05	5.00E+02	2	5.00E+02	7.00E+04	2	244m	9553	tpd										
	231	9037	tpd							240	9625	tpd										
	232	9040	tpd	1.00E-05	4.00E+03	3	4.00E+03	1.00E+05	2	241	9628	tpd										
	233	9043	tpd							242	9631	tpd	1.00E-05	2.75E+02	2	2.75E+02	1.00E+05	2				
	234	9046	tpd							243	9634	tpd	1.00E-05	1.00E+02	2	1.00E+02	4.00E+04	2				
<b>Pa</b>	91	9125	tpd							244	9637	tpd	1.00E-05	1.00E+03	2	1.00E+03	1.00E+05	2				
	230	9128	tpd							245	9640	tpd	1.00E-05	1.00E+02	2	1.00E+02	4.00E+04	2				
	231	9131	tpd	1.00E-05	1.15E+02	2	1.15E+02	1.00E+04	2	246	9643	tpd	1.00E-05	4.00E+02	2	4.00E+02	1.40E+05	2				
	232	9134	tpd	1.00E-05	2.10E+01	2	2.10E+01	1.00E+04	2	247	9646	tpd	1.00E-05	6.00E+01	2	6.00E+01	4.00E+04	2				
	233	9137	tpd	1.00E-05	1.00E+02	2	1.00E+02	1.00E+04	2	248	9649	tpd	1.00E-05	1.50E+03	2	1.50E+03	2.00E+05	2				
<b>U</b>	92	9213	tpd							249	9652	tpd										
	231	9216	tpd	1.00E-05	2.00E+02	2	2.00E+02	4.00E+04	2	250	9655	tpd	1.00E-05	1.50E+02	2	1.50E+02	2.00E+05	2				
	232	9219	tpd	1.00E-05	3*	6.00E+02	3*	3.00E+04	2	246	9743	tpd										
	233	9222	tpd	1.00E-05	1.50E+03	2	1.50E+03	8.00E+04	2	247	9746	tpd										
	234	9225	tpd	1.00E-05	5.00E+02	3*	5.00E+02	3.00E+04	2	248	9749	tpd										
<b>Np</b>	93	9228	tpd	1.00E-05	4.00E+03	2	4.00E+03	1.00E+05	2	249	9752	tpd	1.00E-05	6.00E+01	2	6.00E+01	3.00E+04	2				
	235	9231	tpd	1.00E-05	2.00E+02	2	2.00E+02	4.00E+04	2	250	9755	tpd										
	236	9234	tpd	1.00E-05	2.00E+02	2	2.00E+02	4.00E+04	2	246	9843	tpd										
	237	9237	tpd	1.00E-05	2.00E+04	3*	2.00E+04	1.50E+05	2	248	9849	tpd										
	238	9337	tpd	1.00E-05	2.00E+04	3*	2.00E+04	1.50E+05	2	249	9852	tpd	1.00E-05	7.00E+01	2	7.00E+01	3.00E+04	2				
<b>Pu</b>	94	9428	tpd	1.00E-05	1.00E+01	2	1.00E+01	4.00E+04	2	98	9855	tpd	1.00E-05	1.00E+01	2	1.00E+01	1.00E+05	2				
	237	9431	tpd	1.00E-05	5.00E+02	2	5.00E+02	6.00E+04	2	250	9858	tpd	1.00E-05	5.00E+00	2	5.00E+00	3.00E+04	2				
	238	9434	tpd	1.00E-05	2.50E+03	3*	2.50E+03	3.00E+04	2	251	9861	tpd	1.00E-05	1.00E+03	2	1.00E+03	1.50E+05	2				
	239	9437	tpd	1.00E-05	6.65E+00	2	6.65E+00	1.00E+04	2	252	9864	tpd										
	240	9440	tpd	1.00E-05	2.70E+03	3*	2.70E+03	3.00E+04	2	253	9867	tpd										
<b>Cf</b>	241	9443	tpd	1.00E-05	3.00E+02	3*	3.00E+02	3.00E+04	2	99	9911	tpd										
	242	9446	tpd	1.00E-05	1.00E+03	2	1.00E+03	1.00E+05	2	254m	9912	tpd										
	244	9452	tpd	1.00E-05	2.90E+02	2	2.90E+02	1.00E+05	2	255	9913	tpd										
	246	9458	tpd							255	9914	tpd										
										255	9915	tpd										
* : 分離共鳴ノーマータ形式と Reich-Moore(LRF=3)形式を採用																						

Table 3.1 Comparison of k effective with cross section libraries  
for LCT006-003 problem.

code	neutron	tsl	k effective	error	cycles
MCNP4B	JENDL-3.2[1]	ENDF/B-VI.0	<b>1.0017</b>	0.0008	200
MCNP5	JENDL-3.2[1]	ENDF/B-VI.0	<b>1.00094</b>	0.00037	400
	JENDL-3.3[2]	ENDF/B-VI.0	<b>0.99685</b>	0.00036	400
	JENDL-3.3[2]	ENDF/B-VI.5	<b>0.99670</b>	0.00036	400
	JENDL-3.3	ENDF/B-VI.8	<b>0.99717</b>	0.00026	800
	JENDL/AC + JENDL-3.3	ENDF/B-VI.5	<b>0.99979</b>	0.00025	800
	JENDL/AC + JENDL-3.3	ENDF/B-VI.8	<b>0.99988</b>	0.00026	800
	JENDL/AC + JENDL-3.3	ENDF/B-VII.0	<b>1.00129</b>	0.00026	800
	JENDL/AC + JENDL-3.3	JEFF-3.1	<b>1.00046</b>	0.00026	800
MVP2	JENDL-3.3	ENDF/B-VI.8	<b>0.996813</b>	0.000175	
	JENDL/AC + JENDL-3.3	ENDF/B-VI.8	<b>0.999756</b>	0.000178	

Reference libraries: [1] FSXLIB-J3R2, [2] FSXLIB-J33

Table 3.2 Comparison of k effective with cross section libraries  
for JMTR core calculation.

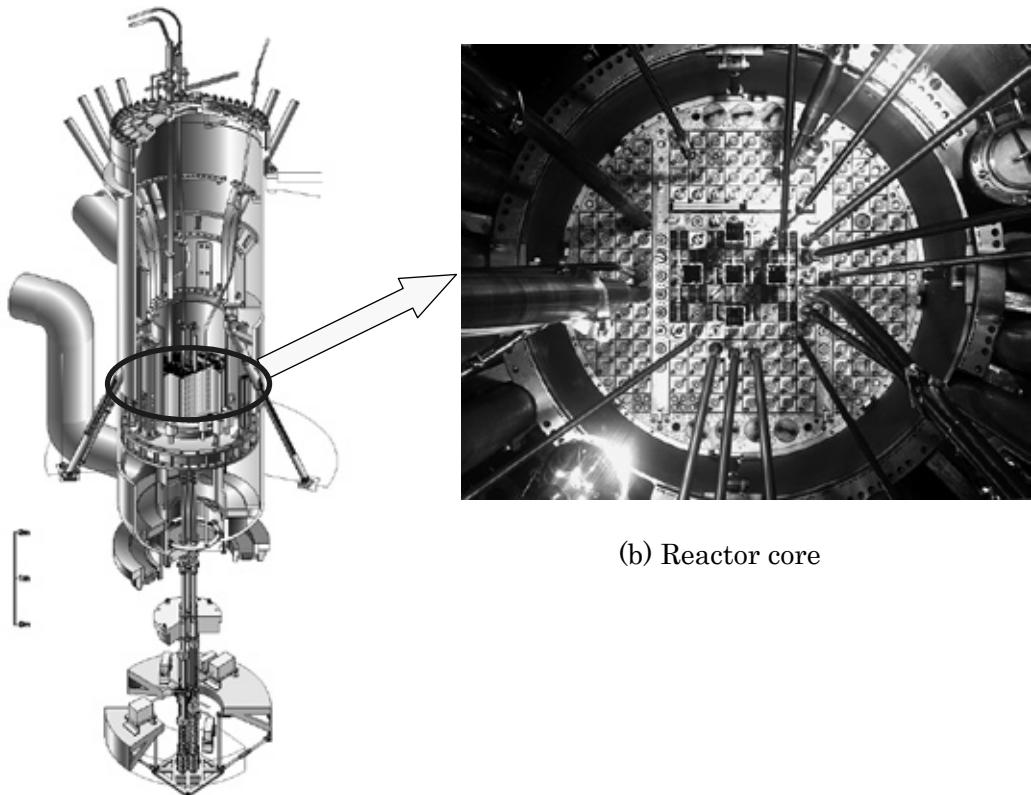
code	neutron tsl	tsl	k effective	error
MCNP4B	JENDL-3.2[1]	ENDF/B-III	<b>1.12307</b>	<b>0.00143</b>
MCNP5	JENDL/AC + JENDL-3.3[2]	ENDF/B-VII	<b>1.12350</b>	<b>0.00215</b>
	JENDL/AC + JENDL-3.3	ENDF/B-VI.8	<b>1.11525</b>	<b>0.00249</b>

Reference libraries: [1] FSXLIB-J3R2, [2] FSXLIB-J33

Table 3.3 Comparison of thermal / fast neutron flux with cross section libraries  
for JMTR core calculation

code neutron tsl		MCNP4B JENDL-3.2[1] ENDF/B-III		MCNP5 JENDL/AC + JENDL-3.3[2] ENDF/B-VII	
Irradiation hole		$\phi f(>1\text{MeV})$ [cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ]	$\phi th(<0.683\text{eV})$ [cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ]	$\phi f(>1\text{MeV})$ [cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ]	$\phi th(<0.683\text{eV})$ [cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ]
Fuel	H-7	1.552E+14	1.424E+14	1.567E+14	1.460E+14
	J-9	1.655E+14	1.503E+14	1.575E+14	1.413E+14
	K-10	1.952E+14	1.096E+14	1.877E+14	1.048E+14
	G-6	1.670E+14	1.008E+14	1.737E+14	1.042E+14
Be-1	M-8	3.592E+14	5.667E+13	3.467E+14	5.420E+13
	I-11	3.442E+14	4.505E+13	3.458E+14	4.365E+13
	I-5	2.811E+14	4.289E+13	2.794E+14	4.215E+13
	E-8	3.888E+14	5.515E+13	3.970E+14	5.728E+13
Be-2	N-8	2.448E+14	1.219E+13	2.416E+14	1.172E+13
	I-12	2.324E+14	1.043E+13	2.341E+14	1.001E+13
	D-8	3.396E+14	1.207E+13	3.592E+14	1.313E+13
	I-4	1.584E+14	6.358E+12	1.532E+14	6.182E+12
Al-1	I-3	5.092E+13	2.627E+12	5.243E+13	2.478E+12
	O-8	7.551E+13	4.362E+12	7.459E+13	4.190E+12
	I-13	7.932E+13	3.900E+12	7.950E+13	4.135E+12
	C-8	1.530E+14	2.811E+12	1.626E+14	2.562E+12

Reference libraries: [1] FSXLIB-J3R2, [2] FSXLIB-J33



(a) Reactor pressure vessel

(b) Reactor core

(c) Main specification of JMTR

Reactor type	Light water moderated and cooled tank type	
Thermal power	50MW	
Fuel element	<sup>235</sup> U enrichment	20wt%
	Fuel meat	U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
	Cladding material	Aluminum
Reflector	Beryllium, Aluminum	
Power density	425 MW/m <sup>3</sup>	
Primary coolant	Core inlet temperature(Max.)	49°C
	Core outlet temperature	56°C
	Flow rate	6,000m <sup>3</sup> /h
	Operating pressure	1.5MPa
Irradiation facilities	Capsules (Irradiation positions)	200
	Shroud facility	1
	Hydraulic rabbit	1

Fig. 1.1 Outline of JMTR

```

moder
 20 -21
reconr
 -21 -22
'pendf tape (in autonj system) /
9547 0 /
1.000E-03 /
 0 /
broadr
 -21 -22 -23
9547 1 0 0 0 /
1.000E-03 -2.000E+04 /
300.00 /
 0 /
heatr
 -21 -23 -24 /
9547 5 0 0 0 2 0 0 /
 302 318 402 443 444 /
thermr
 0 -24 -23 /
 0 9547 8 1 1 0 1 221 /
300.00 /
1.000E-03 4.600E+00 /
purr
 -21 -23 -25 /
9547 1 10 20 1000 1 /
300.00 /
1.0e10 1.0e4 1000. 300. 100. 30. 10. 1. 0.1 1.0e-5 /
 0 /
acer
 -21 -25 0 91 92 /
 1 1 1 0.45 0 /
' 95-Am-242m jendl-ac with njoy99.259' /
9547 300.00 /
 1 1 /
/
stop

```

Fig. 2.1 Input data of the modified NJOY99.259 code  
for processing Am-242m in JENDL/AC.

file name=case3 : LEU-COMP-THERM-006-003

c single 21\* 21  
c critical water level 60.810(cm)  
c lattice pitch 1.849(cm);u(2.6)o2  
c water reflector 30.000(cm)  
c [k] JENDL/AC-2008pre + JENDL-3.3 (300K), nsrck=10000,(kct-ikz)=800  
c tsl: ENDF/B-VII.0 (tslb70)

c  
c cellcards

c  
1 1 7.035819e-2 -7 6 -5 imp:n=1 u=1  
2 2 5.513700e-2 7 -8 6 -5 imp:n=1 u=1  
3 3 1.001030e-1 8 6 -11 imp:n=1 u=1  
4 0 8 11 -5 imp:n=1 u=1  
5 0 -1 2 -3 4 -5 6 imp:n=1 u=2 lat=1  
fill=0: 20 0: 20 0: 0 1 440r

6 0 -21 22 -23 24 -25 26 imp:n=1 fill=2  
7 3 1.001030e-1 #6 (-31 32 -33 34 -35 36) imp:n=1  
8 0 #6 #7 -9 imp:n=1  
9 0 9 imp:n=0

c  
c surface cards (origin x=0.9245 y=0.9245 z=0.0)  
c parallelepiped

1 px 1.84900  
2 px 0.00000  
3 py 1.84900  
4 py 0.00000  
5 pz 144.15000  
6 pz 0.00000

c  
c cylinder

7 c/z 0.9245 0.9245 0.6250  
8 c/z 0.9245 0.9245 0.7085

c  
c outer world

9 s 19.414 19.414 72.075 150.0

c  
c critical water level= 60.810(cm)  
c -->6 10 pz 0.0  
11 pz 60.810  
c -->5 12 pz 144.15  
c pitch\* 21=38.829(cm)  
c (38.829\*38.829\*144.15)  
c parallelepiped

21 px 38.82899  
22 px 0.00001  
23 py 38.82899  
24 py 0.00001  
25 pz 144.14999  
26 pz 0.00001

c  
c water reflector= 30.000(cm)  
c parallelepiped

31 px 68.82899  
32 px -29.99999  
33 py 68.82899  
34 py -29.99999  
35 pz 60.80999  
36 pz -29.99999c

c  
c data cards

c mode n \$ transfort neutrons only

c  
c material cards

c U(2.6)O2 pellet

m1 92235.44c 6.0830e-4 \$ U-235  
92238.44c 2.2531e-2 \$ U-238  
92234.44c 4.8872e-6 \$ U-234  
8016.42c 4.7214e-2 \$ H

c  
c al cladding (with an air gap)

m2 13027.42c 5.513700e-2 \$ Al

c  
c water(300k)

m3 1001.42c 6.6735e-2 \$ H  
8016.42c 3.3368e-2 \$ O

mt3 lwtr.10t

c  
c criticality cards

c  
kcode 10000 1.0 5 18  
sdef cel=d1 erg=d2 rad=d3 ext=d4 pos=0.9245 0.9245 0 axs=0 0 1

si1	1										
6:5(	0	20	0):1	6:5(	1	20	0):1	6:5(	2	20	0):1
6:5(	0	19	0):1	6:5(	1	19	0):1	6:5(	2	19	0):1
6:5(	0	18	0):1	6:5(	1	18	0):1	6:5(	2	18	0):1
6:5(	0	17	0):1	6:5(	1	17	0):1	6:5(	2	17	0):1
6:5(	0	16	0):1	6:5(	1	16	0):1	6:5(	2	16	0):1
6:5(	0	15	0):1	6:5(	1	15	0):1	6:5(	2	15	0):1
6:5(	0	14	0):1	6:5(	1	14	0):1	6:5(	2	14	0):1
6:5(	0	13	0):1	6:5(	1	13	0):1	6:5(	2	13	0):1
6:5(	0	12	0):1	6:5(	1	12	0):1	6:5(	2	12	0):1
6:5(	0	11	0):1	6:5(	1	11	0):1	6:5(	2	11	0):1
6:5(	0	10	0):1	6:5(	1	10	0):1	6:5(	2	10	0):1
6:5(	0	9	0):1	6:5(	1	9	0):1	6:5(	2	9	0):1
6:5(	0	8	0):1	6:5(	1	8	0):1	6:5(	2	8	0):1
6:5(	0	7	0):1	6:5(	1	7	0):1	6:5(	2	7	0):1
6:5(	0	6	0):1	6:5(	1	6	0):1	6:5(	2	6	0):1
6:5(	0	5	0):1	6:5(	1	5	0):1	6:5(	2	5	0):1
6:5(	0	4	0):1	6:5(	1	4	0):1	6:5(	2	4	0):1
6:5(	0	3	0):1	6:5(	1	3	0):1	6:5(	2	3	0):1
6:5(	0	2	0):1	6:5(	1	2	0):1	6:5(	2	2	0):1
6:5(	0	1	0):1	6:5(	1	1	0):1	6:5(	2	1	0):1
6:5(	0	0	0):1	6:5(	1	0	0):1	6:5(	2	0	0):1
6:5(	3	20	0):1	6:5(	4	20	0):1	6:5(	5	20	0):1
6:5(	3	19	0):1	6:5(	4	19	0):1	6:5(	5	19	0):1
6:5(	3	18	0):1	6:5(	4	18	0):1	6:5(	5	18	0):1
6:5(	3	17	0):1	6:5(	4	17	0):1	6:5(	5	17	0):1
6:5(	3	16	0):1	6:5(	4	16	0):1	6:5(	5	16	0):1
6:5(	3	15	0):1	6:5(	4	15	0):1	6:5(	5	15	0):1
6:5(	3	14	0):1	6:5(	4	14	0):1	6:5(	5	14	0):1
6:5(	3	13	0):1	6:5(	4	13	0):1	6:5(	5	13	0):1
6:5(	3	12	0):1	6:5(	4	12	0):1	6:5(	5	12	0):1
6:5(	3	11	0):1	6:5(	4	11	0):1	6:5(	5	11	0):1
6:5(	3	10	0):1	6:5(	4	10	0):1	6:5(	5	10	0):1
6:5(	3	9	0):1	6:5(	4	9	0):1	6:5(	5	9	0):1
6:5(	3	8	0):1	6:5(	4	8	0):1	6:5(	5	8	0):1
6:5(	3	7	0):1	6:5(	4	7	0):1	6:5(	5	7	0):1
6:5(	3	6	0):1	6:5(	4	6	0):1	6:5(	5	6	0):1
6:5(	3	5	0):1	6:5(	4	5	0):1	6:5(	5	5	0):1
6:5(	3	4	0):1	6:5(	4	4	0):1	6:5(	5	4	0):1
6:5(	3	3	0):1	6:5(	4	3	0):1	6:5(	5	3	0):1
6:5(	3	2	0):1	6:5(	4	2	0):1	6:5(	5	2	0):1
6:5(	3	1	0):1	6:5(	4	1	0):1	6:5(	5	1	0):1
6:5(	3	0	0):1	6:5(	4	0	0):1	6:5(	5	0	0):1
6:5(	6	20	0):1	6:5(	7	20	0):1	6:5(	8	20	0):1
6:5(	6	19	0):1	6:5(	7	19	0):1	6:5(	8	19	0):1
6:5(	6	18	0):1	6:5(	7	18	0):1	6:5(	8	18	0):1
6:5(	6	17	0):1	6:5(	7	17	0):1	6:5(	8	17	0):1
6:5(	6	16	0):1	6:5(	7	16	0):1	6:5(	8	16	0):1
6:5(	6	15	0):1	6:5(	7	15	0):1	6:5(	8	15	0):1
6:5(	6	14	0):1	6:5(	7	14	0):1	6:5(	8	14	0):1
6:5(	6	13	0):1	6:5(	7	13	0):1	6:5(	8	13	0):1
6:5(	6	12	0):1	6:5(	7	12	0):1	6:5(	8	12	0):1
6:5(	6	11	0):1	6:5(	7	11	0):1	6:5(	8	11	0):1
6:5(	6	10	0):1	6:5(	7	10	0):1	6:5(	8	10	0):1
6:5(	6	9	0):1	6:5(	7	9	0):1	6:5(	8	9	0):1
6:5(	6	8	0):1	6:5(	7	8	0):1	6:5(	8	8	0):1
6:5(	6	7	0):1	6:5(	7	7	0):1	6:5(	8	7	0):1
6:5(	6	6	0):1	6:5(	7	6	0):1	6:5(	8	6	0):1
6:5(	6	5	0):1	6:5(	7	5	0):1	6:5(	8	5	0):1
6:5(	6	4	0):1	6:5(	7	4	0):1	6:5(	8	4	0):1
6:5(	6	3	0):1	6:5(	7	3	0):1	6:5(	8	3	0):1
6:5(	6	2	0):1	6:5(	7	2	0):1	6:5(	8	2	0):1
6:5(	6	1	0):1	6:5(	7	1	0):1	6:5(	8	1	0):1
6:5(	6	0	0):1	6:5(	7	0	0):1	6:5(	8	0	0):1
6:5(	9	20	0):1	6:5(	10	20	0):1	6:5(	11	20	0):1
6:5(	9	19	0):1	6:5(	10	19	0):1	6:5(	11	19	0):1
6:5(	9	18	0):1	6:5(	10	18	0):1	6:5(	11	18	0):1
6:5(	9	17	0):1	6:5(	10	17	0):1	6:5(	11	17	0):1
6:5(	9	16	0):1	6:5(	10	16	0):1	6:5(	11	16	0):1
6:5(	9	15	0):1	6:5(	10	15	0):1	6:5(	11	15	0):1
6:5(	9	14	0):1	6:5(	10	14	0):1	6:5(	11	14	0):1
6:5(	9	13	0):1	6:5(	10	13	0):1	6:5(	11	13	0):1
6:5(	9	12	0):1	6:5(	10	12	0):1	6:5(	11	12	0):1
6:5(	9	11	0):1	6:5(	10	11	0):1	6:5(	11	11	0):1
6:5(	9	10	0):1	6:5(	10	10	0):1	6:5(	11	10	0):1
6:5(	9	9	0):1	6:5(	10	9	0):1	6:5(	11	9	0):1
6:5(	9	8	0):1	6:5(	10	8	0):1	6:5(	11	8	0):1
6:5(	9	7	0):1	6:5(	10	7	0):1	6:5(	11	7	0):1
6:5(	9	6	0):1	6:5(	10	6	0):1	6:5(	11	6	0):1
6:5(	9	5	0):1	6:5(	10	5	0):1	6:5(	11	5	0):1
6:5(	9	4	0):1	6:5(	10	4	0):1	6:5(	11	4	0):1
6:5(	9	3	0):1	6:5(	10	3	0):1	6:5(	11	3	0):1
6:5(	9	2	0):1	6:5(	10	2	0):1	6:5(	11	2	0):1
6:5(	9	1	0):1	6:5(	10	1	0):1	6:5(	11	1	0):1
6:5(	9	0	0):1	6:5(	10	0	0):1	6:5(	11	0	0):1
6:5(	12	20	0):1	6:5(	13	20	0):1	6:5(	14	20	0):1
6:5(	12	19	0):1	6:5(	13	19	0):1	6:5(	14	19	0):1
6:5(	12	18	0):1	6:5(	13	18	0):1	6:5(	14	18	0):1
6:5(	12	17	0):1	6:5(	13	17	0):1	6:5(	14	17	0):1

```

6:5( 12 16 0):1 6:5( 13 16 0):1 6:5( 14 16 0):1
6:5( 12 15 0):1 6:5( 13 15 0):1 6:5( 14 15 0):1
6:5( 12 14 0):1 6:5( 13 14 0):1 6:5( 14 14 0):1
6:5( 12 13 0):1 6:5( 13 13 0):1 6:5( 14 13 0):1
6:5( 12 12 0):1 6:5( 13 12 0):1 6:5( 14 12 0):1
6:5( 12 11 0):1 6:5( 13 11 0):1 6:5( 14 11 0):1
6:5( 12 10 0):1 6:5( 13 10 0):1 6:5( 14 10 0):1
6:5( 12 9 0):1 6:5( 13 9 0):1 6:5( 14 9 0):1
6:5( 12 8 0):1 6:5( 13 8 0):1 6:5( 14 8 0):1
6:5( 12 7 0):1 6:5( 13 7 0):1 6:5( 14 7 0):1
6:5( 12 6 0):1 6:5( 13 6 0):1 6:5( 14 6 0):1
6:5( 12 5 0):1 6:5( 13 5 0):1 6:5( 14 5 0):1
6:5( 12 4 0):1 6:5( 13 4 0):1 6:5( 14 4 0):1
6:5( 12 3 0):1 6:5( 13 3 0):1 6:5( 14 3 0):1
6:5( 12 2 0):1 6:5( 13 2 0):1 6:5( 14 2 0):1
6:5( 12 1 0):1 6:5( 13 1 0):1 6:5( 14 1 0):1
6:5( 12 0 0):1 6:5( 13 0 0):1 6:5( 14 0 0):1
6:5( 15 20 0):1 6:5( 16 20 0):1 6:5( 17 20 0):1
6:5( 15 19 0):1 6:5( 16 19 0):1 6:5( 17 19 0):1
6:5( 15 18 0):1 6:5( 16 18 0):1 6:5( 17 18 0):1
6:5( 15 17 0):1 6:5( 16 17 0):1 6:5( 17 17 0):1
6:5( 15 16 0):1 6:5( 16 16 0):1 6:5( 17 16 0):1
6:5( 15 15 0):1 6:5( 16 15 0):1 6:5( 17 15 0):1
6:5( 15 14 0):1 6:5( 16 14 0):1 6:5( 17 14 0):1
6:5( 15 13 0):1 6:5( 16 13 0):1 6:5( 17 13 0):1
6:5( 15 12 0):1 6:5( 16 12 0):1 6:5( 17 12 0):1
6:5( 15 11 0):1 6:5( 16 11 0):1 6:5( 17 11 0):1
6:5( 15 10 0):1 6:5( 16 10 0):1 6:5( 17 10 0):1
6:5( 15 9 0):1 6:5( 16 9 0):1 6:5( 17 9 0):1
6:5( 15 8 0):1 6:5( 16 8 0):1 6:5( 17 8 0):1
6:5( 15 7 0):1 6:5( 16 7 0):1 6:5( 17 7 0):1
6:5( 15 6 0):1 6:5( 16 6 0):1 6:5( 17 6 0):1
6:5( 15 5 0):1 6:5( 16 5 0):1 6:5( 17 5 0):1
6:5( 15 4 0):1 6:5( 16 4 0):1 6:5( 17 4 0):1
6:5( 15 3 0):1 6:5( 16 3 0):1 6:5( 17 3 0):1
6:5( 15 2 0):1 6:5( 16 2 0):1 6:5( 17 2 0):1
6:5( 15 1 0):1 6:5( 16 1 0):1 6:5( 17 1 0):1
6:5( 15 0 0):1 6:5( 16 0 0):1 6:5( 17 0 0):1
6:5( 18 20 0):1 6:5( 19 20 0):1 6:5( 20 20 0):1
6:5( 18 19 0):1 6:5( 19 19 0):1 6:5( 20 19 0):1
6:5( 18 18 0):1 6:5( 19 18 0):1 6:5( 20 18 0):1
6:5( 18 17 0):1 6:5( 19 17 0):1 6:5( 20 17 0):1
6:5( 18 16 0):1 6:5( 19 16 0):1 6:5( 20 16 0):1
6:5( 18 15 0):1 6:5( 19 15 0):1 6:5( 20 15 0):1
6:5( 18 14 0):1 6:5( 19 14 0):1 6:5( 20 14 0):1
6:5( 18 13 0):1 6:5( 19 13 0):1 6:5( 20 13 0):1
6:5( 18 12 0):1 6:5( 19 12 0):1 6:5( 20 12 0):1
6:5( 18 11 0):1 6:5( 19 11 0):1 6:5( 20 11 0):1
6:5( 18 10 0):1 6:5( 19 10 0):1 6:5( 20 10 0):1
6:5( 18 9 0):1 6:5( 19 9 0):1 6:5( 20 9 0):1
6:5( 18 8 0):1 6:5( 19 8 0):1 6:5( 20 8 0):1
6:5( 18 7 0):1 6:5( 19 7 0):1 6:5( 20 7 0):1
6:5( 18 6 0):1 6:5( 19 6 0):1 6:5( 20 6 0):1
6:5( 18 5 0):1 6:5( 19 5 0):1 6:5( 20 5 0):1
6:5( 18 4 0):1 6:5( 19 4 0):1 6:5( 20 4 0):1
6:5( 18 3 0):1 6:5( 19 3 0):1 6:5( 20 3 0):1
6:5( 18 2 0):1 6:5( 19 2 0):1 6:5( 20 2 0):1
6:5( 18 1 0):1 6:5( 19 1 0):1 6:5( 20 1 0):1
6:5( 18 0 0):1 6:5( 19 0 0):1 6:5( 20 0 0):1

sp1   1 440r
sp2   -3
si3   h  0.0  0.6250
sp3   -21 1
si4   0.0  144.15
sp4   -21 0
prdmp_j 10000 0 3
print -175

```

Fig. 3.1 An input data of MCNP for calculating the LEU-COMP-THERM-006-003.

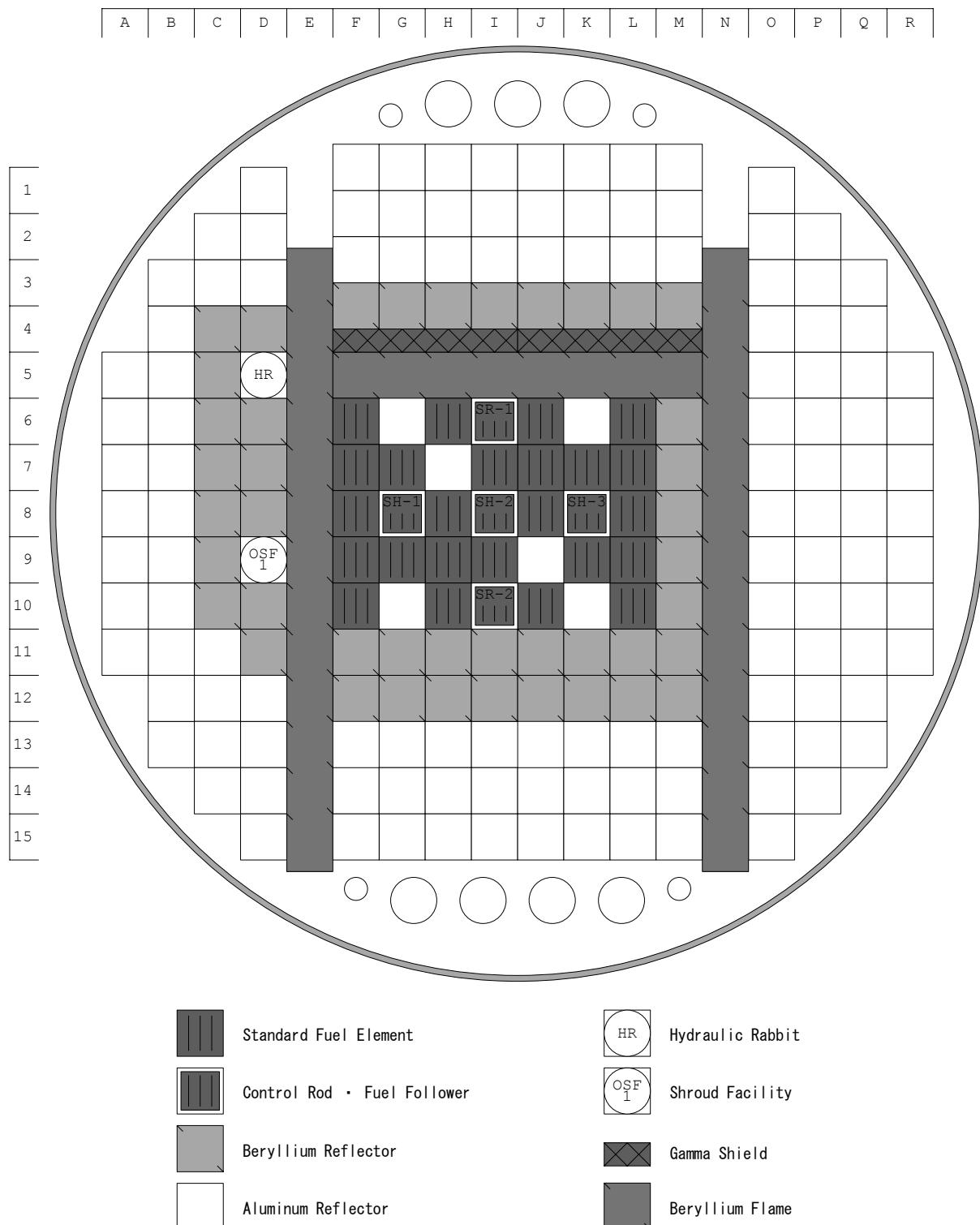


Fig. 3.2 Example of JMTR core arrangement.

## 附録 ENDF/B-VI.8, ENDF/B-VII.0, JEFF-3.1に基づく $S(\alpha, \beta)$ データライブラリの編集

JMTR の照射場評価には、熱中性子散乱則データが必要であるが、JENDL には、熱中性子散乱則データの評価ファイルが存在しないため、ENDF/B-VI.8、ENDF/B-VII.0、JEFF-3.1 などの熱中性子散乱則データを使用することになる。そこで、これら 3 評価ファイルにおける評価温度などのデータを調査した。評価温度点を ENDF/B-VI.8 は Table A.1、ENDF/B-VII.0 は Table A.2、JEFF-3.1 は Table A.3 に示す。表中に ‘y’ の記号が付けられている温度点での評価が存在する。Table A.1 の ENDF/B-VI.8 のファイル名は、ENDF/B-VII.0 のファイル名に準拠して仮に付けたものである。これらの Table 中で、評価者は第一評価者のみ記し、複数の評価者がいる場合には省略し “+” 記号を付与した。“date” は、評価された年月を表す。

温度点の数は、ENDF/B-VII.0 の最大数が 10 個であるが、JEFF-3.1 の最大数は 11 個である ( $H(H_2O)$  と graphite)。NJOY99 における処理温度点の最大数は 10 個であるため、JEFF-3.1 の 11 個を全て同時に処理することができない。そのため、本文第 2.1 で述べたように、熱中性子散乱則データの処理温度数の上限を増やした。

熱中性子散乱則の弾性散乱データは、coherent 弹性散乱 (LTHR=1) と incoherent 弹性散乱 (LTHR=2) の 2 種類がある。以下に弾性散乱データを含む物質が、いずれの形式かを示す。

### ENDF/B-VI.8

- |              |  |
|--------------|--|
| coherent :   | Be metal, BeO, graphite                      |
| incoherent : | $H(ZrH)$ , s- $CH_4$ , $H(CH_2)$ , $Zr(ZrH)$ |

### ENDF/B-VII.0

- |              |  |
|--------------|--|
| coherent :   | Be metal, Be(BeO), O(BeO), graphite,<br>Al-27, Fe-56, O( $UO_2$ ), U( $UO_2$ ) |
| incoherent : | $H(ZrH)$ , s- $CH_4$ , $H(CH_2)$ , $Zr(ZrH)$                                   |

### JEFF-3.1

- |              |   |
|--------------|---|
| coherent :   | Be metal, graphite, Mg-24                       |
| incoherent : | $H(ZrH)$ , $H(CaH_2)$ , $H(CH_2)$ , $Ca(CaH_2)$ |

JMTR の照射場解析に必要とされる  $H(H_2O)$  と Be metal は、3 評価ファイル共存している。これらの物質の処理を行い、MCNP 用の熱中性子散乱則データライブラリを作成した。作成した  $H(H_2O)$  と Be metal の ZAID 番号中の suffix 番号と処理した評価温度の対応を Table A.4 に、これらを含む MCNP 用の熱中性子散乱則データライブラリのインデックスデータを Table A.5 にまとめた。非弹性散乱の角度ビン数は 16、エネルギー ビン数は 64、散乱則データのエネルギー上限値は 4.6 eV とした。

Table A.1 Materials and temperatures in the thermal scattering law data file of ENDF/B-VI.8.

file name	MAT	date	evaluator	material	temperature [K]												
					19	20	22	100	296	350	400	450	500	600	700	800	1000
tsl-HinH2O.b68	1	1993, 4	R.MacFarlane	H in H <sub>2</sub> O					y	y	y	y	y	y	y	y	y
tsl-para-H.b68*	2	1993, 4	R.MacFarlane	para-H	y*												
tsl-ortho-H.b68*	3	1993, 4	R.MacFarlane	ortho-H	y*												
tsl-HinZrH.b68	7**	1993, 4	R.MacFarlane	H in ZrH				y		y	y	y	y	y	y	y	y
tsl-DinD2O.b68	11	1969, 12	Koppel +	D in D <sub>2</sub> O				y	y	y	y	y	y	y	y	y	y
tsl-para-D.b68*	12	1993, 4	R.MacFarlane	para-D	y*												
tsl-ortho-D.b68*	13	1993, 4	R.MacFarlane	orth-D	y*												
tsl-Be-metal.b68	26**	1993, 4	R.MacFarlane	Be metal				y		y	y	y	y	y	y	y	y
tsl-BeO.b68	27**	1993, 4	R.MacFarlane	BeO				y		y	y	y	y	y	y	y	y
tsl-graphite.b68	31**	1993, 4	R.MacFarlane	graphite				y		y	y	y	y	y	y	y	y
tsl-l-CH4.b68*	33	1993, 4	R.MacFarlane	l-CH <sub>4</sub>	y*												
tsl-s-CH4.b68*	34**	1993, 4	R.MacFarlane	s-CH <sub>4</sub>	y*												
tsl-HinCH2.b68	37**	1969, 12	J.Koppel +	H in CH <sub>2</sub>				y		y	y	y	y	y	y	y	y
tsl-benzine.b68	40	1969, 12	J.Koppel +	benzine				y		y	y	y	y	y	y	y	y
tsl-ZrinZrH.b68	58**	1993, 4	R.MacFarlane	Zr in ZrH				y		y	y	y	y	y	y	y	y

\* : 冷中性子用のデータ含む、  
 \*\* : MT=2用の弾性散乱の評価データ含む

Table A.2 Materials and temperatures in the thermal scattering law data file of ENDF/B-VII.0.

file name	MAT	date	evaluator	material	19	20	22	80	100	293.6	350	400	450	500	550	600	650	700	800	1000	1200	1600	2000	temperature [K]
ts-HinH2O.endf	1	2006, 3	R.MacFarlane +	H in H <sub>2</sub> O				y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	
tsI-para-H.endf*	2	1993, 4	R.MacFarlane	para-H	y*																			
tsI-ortho-H.endf*	3	1993, 4	R.MacFarlane	ortho-H	y*																			
tsI-HinZrH.endf	7**	1993, 4	R.MacFarlane	H in ZrH																				
tsI-DinD2O.endf	11	2006, 3	R.MacFarlane +	D in D <sub>2</sub> O				y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	
tsI-para-D.endf*	12	1993, 4	R.MacFarlane	para-D	y*																			
tsI-ortho-D.endf*	13	1993, 4	R.MacFarlane	ortho-D	y*																			
tsI-Be-metal.endf	26**	1993, 4	R.MacFarlane	Be metal				y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	
tsI-BeinBeO.endf	27**	2005, 7	R.MacFarlane	Be in BeO				y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	
tsI-OinBeO.endf	28**	2005, 7	R.MacFarlane	O in BeO				y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	
tsI-graphite.endf	31**	1993, 4	R.MacFarlane	graphite				y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	
tsI-l-CH4.endf*	33	1993, 4	R.MacFarlane	l-CH4	y*																			
tsI-s-CH4.endf*	34**	1993, 4	R.MacFarlane	s-CH4	y*																			
tsI-HinCH2.endf	37**	1969, 12	J.Koppel +	H in CH <sub>2</sub>				y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	
tsI-benzine.endf	40	1969, 12	J.Koppel +	benzine				y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	
tsI-013_Al_027.endf*	45**	2005, 10	R.MacFarlane	13-Al-27	y*			y*	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	
tsI-026_Fe_056.endf*	56**	2005, 10	R.MacFarlane	26-Fe-56	y*			y*	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	
tsI-ZrInZrH.endf	58**	1993, 4	R.MacFarlane	Zr in ZrH				y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	
tsI-OinUO2.endf	75**	2005, 2	R.MacFarlane	O in UO <sub>2</sub>				y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	
tsI-UinUO2.endf	76**	2005, 2	R.MacFarlane	U in UO <sub>2</sub>				y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	

\* : 冷中性子用のデータ含む  
\*\* : MT=2用の弹性散乱の評価データ含む

Table A.3 Materials and temperatures in the thermal scattering law data file of JEFFR-3.1.

file name	MAT	date	evaluator	material	20	100	293.6	296	323.6	350	373.6	400	423.6	473.6	500	523.6	573.6	600	623.6	643.9	647.2	700	773	800	1000	1200	1600	2000	3000
JEFF31TS0001_0.ASC	1	2004, 1	J.Keinert +	H in H <sub>2</sub> O		y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y			
JEFF31TS0007_0.ASC	7**	2005, 1	J.Keinert	H in ZrH					y		y		y		y		y		y		y		y		y				
JEFF31TS0008_0.ASC	8**	2004, 10	O.Serot	H in CaH <sub>2</sub>			y			y		y		y		y		y		y		y		y		y			
JEFF31TS0011_0.ASC	11	2004, 2	J.Keinert +	D in D <sub>2</sub> O		y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y			
JEFF31TS0026_0.ASC	26**	1989, 12	J.Keinert +	Be metal				y		y		y		y		y		y		y		y		y		y			
JEFF31TS0031_0.ASC	31**	2005, 1	J.Keinert +	graphite					y		y		y		y		y		y		y		y		y				
JEFF31TS0037_0.ASC	37**	1981, 9	J.Keinert +	H in CH <sub>2</sub>		y		y																					
JEFF31TS0052_0.ASC*	52**	2003, 9	C.Mounier	12-Mg-24	y*	y																							
JEFF31TS0059_0.ASC	59**	2004, 10	O.Serot	Ca in CaI <sub>2</sub>		y		y		y		y		y		y		y		y		y		y		y			

\* : 冷中性子用のデータ含む  
\*\* : MT=2用の弾性散乱の評価データ含む

Table A.4 Suffix number of ZAID depending to temperature  
for thermal scattering law data.

temperature [K]	H(H <sub>2</sub> O) : <b>lwtr</b>			Be metal : <b>be</b>		
	ENDF/B VI.8	ENDF/B VII.0	JEFF 3.1	ENDF/B VI.8	ENDF/B VII.0	JEFF 3.1
293.6		10	30			30
296.0	20			20	10	
323.6			31			
350.0	21	11				
373.6			32			
400.0	22	12		21	11	31
423.6			33			
450.0	23	13				
473.6			34			
500.0	24	14		22	12	32
523.6			35			
550.0		15				
573.6			36			
600.0	25	16		23	13	33
623.6			37			
650.0		17				
647.2			38			
700.0				24	14	34
800.0	26	18	39	25	15	35
1000.0	27		40	26	16	36
1200.0				27	17	37

Table A.5 Index of ZAID for thermal scattering law data.

ENDF/B VI.8		ENDF/B VII.0			JEFF 3.1	
be.20t	h zr.24t	al27.10t	lwtr.10t	u o.15t	lwtr.30t	be.33t
be.21t	h zr.25t	al27.11t	lwtr.11t	u o.16t	lwtr.31t	be.34t
be.22t	h zr.26t	al27.12t	lwtr.12t	u o.17t	lwtr.32t	be.35t
be.23t	h zr.27t	al27.13t	lwtr.13t	zr h.10t	lwtr.33t	be.36t
be.24t	zr h.20t	al27.14t	lwtr.14t	zr h.11t	lwtr.34t	be.37t
be.25t	zr h.21t	al27.15t	lwtr.15t	zr h.12t	lwtr.35t	grph.30t
be.26t	zr h.22t	fe56.10t	lwtr.16t	zr h.13t	lwtr.36t	grph.31t
be.27t	zr h.23t	fe56.11t	lwtr.17t	zr h.14t	lwtr.37t	grph.32t
beo.20t	zr h.24t	fe56.12t	lwtr.18t	zr h.15t	lwtr.38t	grph.33t
beo.21t	zr h.25t	fe56.13t	h zr.10t	zr h.16t	lwtr.39t	grph.34t
beo.22t	zr h.26t	fe56.14t	h zr.11t	zr h.17t	lwtr.40t	grph.35t
beo.23t	zr h.27t	fe56.15t	h zr.12t	benz.10t	h zr.30t	grph.36t
beo.24t	benz.20t	be.10t	h zr.13t	benz.11t	h zr.31t	grph.37t
beo.25t	benz.21t	be.11t	h zr.14t	benz.12t	h zr.32t	grph.38t
beo.26t	benz.22t	be.12t	h zr.15t	benz.13t	h zr.33t	grph.39t
beo.27t	benz.23t	be.13t	h zr.16t	benz.14t	h zr.34t	grph.40t
hwtr.20t	benz.24t	be.14t	h zr.17t	benz.15t	h zr.35t	poly.30t
hwtr.21t	benz.25t	be.15t	o be.10t	benz.16t	h zr.36t	poly.31t
hwtr.22t	benz.26t	be.16t	o be.11t	benz.17t	h zr.37t	mg24.30t
hwtr.23t	benz.27t	be.17t	o be.12t	grph.10t	h ca.30t	mg24.31t
hwtr.24t	grph.20t	be o.10t	o be.13t	grph.11t	h ca.31t	mg24.32t
hwtr.25t	grph.21t	be o.11t	o be.14t	grph.12t	h ca.32t	mg24.33t
hwtr.26t	grph.22t	be o.12t	o be.15t	grph.13t	h ca.33t	ca h.30t
hwtr.27t	grph.23t	be o.13t	o be.16t	grph.14t	h ca.34t	ca h.31t
poly.20t	grph.24t	be o.14t	o be.17t	grph.15t	h ca.35t	ca h.32t
poly.21t	grph.25t	be o.15t	o u.10t	grph.16t	h ca.36t	ca h.33t
lwtr.20t	grph.26t	be o.16t	o u.11t	grph.17t	h ca.37t	ca h.34t
lwtr.21t	grph.27t	be o.17t	o u.12t	grph.18t	hwtr.30t	ca h.35t
lwtr.22t	grph.28t	hwtr.10t	o u.13t	grph.19t	hwtr.31t	ca h.36t
lwtr.23t	grph.29t	hwtr.11t	o u.14t	lmeth.10t	hwtr.32t	ca h.37t
lwtr.24t	lmeth.20t	hwtr.12t	o u.15t	dortho.10t	hwtr.33t	
lwtr.25t	dortho.20t	hwtr.13t	o u.16t	hortho.10t	hwtr.34t	
lwtr.26t	hortho.20t	hwtr.14t	o u.17t	dpara.10t	hwtr.35t	
lwtr.27t	dpara.20t	hwtr.15t	u o.10t	hpara.10t	hwtr.36t	
h zr.20t	hpara.20t	hwtr.16t	u o.11t	smeth.10t	hwtr.37t	
h zr.21t	smeth.20t	hwtr.17t	u o.12t	smeth.11t	be.30t	
h zr.22t	smeth.21t	poly.10t	u o.13t		be.31t	
h zr.23t		poly.11t	u o.14t		be.32t	

# 国際単位系 (SI)

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

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	$\text{m}^2$
体積	立方メートル	$\text{m}^3$
速さ, 速度	メートル毎秒	$\text{m}/\text{s}$
加速速度	メートル毎秒毎秒	$\text{m}/\text{s}^2$
波数	毎メートル	$\text{m}^{-1}$
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	$\text{kg}/\text{m}^3$
面積密度	キログラム毎平方メートル	$\text{kg}/\text{m}^2$
比體積	立方メートル毎キログラム	$\text{m}^3/\text{kg}$
電流密度	アンペア毎平方メートル	$\text{A}/\text{m}^2$
磁界の強さ	アンペア毎メートル	$\text{A}/\text{m}$
量濃度 <sup>(a)</sup> , 濃度	モル毎立方メートル	$\text{mol}/\text{m}^3$
質量濃度 <sup>(a)</sup> , 濃度	キログラム毎立方メートル	$\text{kg}/\text{m}^3$
輝度	カンデラ毎平方メートル	$\text{cd}/\text{m}^2$
輝度率 <sup>(b)</sup>	(数字の) 1	1
屈折率 <sup>(b)</sup>	(数字の) 1	1
比透磁率 <sup>(b)</sup>	(数字の) 1	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 1 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	$1^{(b)}$
立体角	ステラジアン <sup>(b)</sup>	$\text{sr}^{(c)}$	$1^{(b)}$
周波数	ヘルツ <sup>(d)</sup>	Hz	$\text{m}^2/\text{m}^2$
力	ニュートン	N	$\text{m kg s}^{-2}$
圧力, 応力	パスカル	Pa	$\text{N}/\text{m}^2$
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	$\text{J}/\text{s}$
電荷, 電気量	クーロン	C	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-3}$
電位差(電圧), 起電力	ボルト	V	$\text{W}/\text{A}$
静電容量	ファラード	F	$\text{C}/\text{V}$
電気抵抗	オーム	$\Omega$	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-3} \text{A}^{-2}$
コンダクタンス	シーメンス	S	$\text{A}/\text{V}$
磁束密度	ウェーバ	Wb	$\text{Vs}$
磁束密度	テスラ	T	$\text{Wb}/\text{m}^2$
インダクタンス	ヘンリー	H	$\text{Wb}/\text{A}$
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(e)</sup>	°C	K
光束	ルーメン	lm	$\text{cd sr}^{(c)}$
照度	ルクス	lx	$\text{lm}/\text{m}^2$
放射性核種の放射能 <sup>(f)</sup>	ベクレル <sup>(d)</sup>	Bq	$\text{m}^{-2} \text{cd}$
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	$\text{J}/\text{kg}$
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	$\text{J}/\text{kg}$
酸素活性	カタール	kat	$\text{s}^{-1} \text{mol}$

(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やはヨーロピアンではない。

(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 は表示されない。

(c) 測光学ではステラジアンという名称と記号 sr を単位の表し方の中に、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一である。したがって、温度差や温度範囲を表す数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)においては 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	バスカル秒	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	ニュートン每メートル	N/m	$\text{kg s}^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$\text{m}^{-1} \text{s}^{-1}$
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s <sup>2</sup>	$\text{m}^{-1} \text{s}^{-2}$
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, エントロピー	ジュール每ケルビン	J/K	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{K}^{-1}$
比熱容量, 比エントロピー	ジュール每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	ジュール每キログラム	J/kg	$\text{m}^3 \text{s}^{-2}$
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	ジュール每立方メートル	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>	$\text{m}^{-3} \text{sA}$
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	フアラード毎メートル	F/m	$\text{m}^{-3} \text{kg}^{-1} \text{s}^{-1} \text{A}^2$
透磁率	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	ジュール每モル	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	ジュール每モル毎ケルビン	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	$\text{kg}^{-1} \text{sA}$
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$\text{m}^2 \text{s}^{-3}$
放射強度	ワット每ステラジアン	W/sr	$\text{m}^4 \text{m}^2 \text{kg s}^{-3} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-3}$
放射輝度	ワット每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	カタール每立方メートル	kat/m <sup>3</sup>	$\text{m}^{-3} \text{s}^{-1} \text{mol}$

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

表5. SI接頭語

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

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=60 s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	$1^\circ=(\pi/180) \text{ rad}$
分	'	$1'=(1/60)^\circ=(\pi/10800) \text{ rad}$
秒	"	$1''=(1/60)'=(\pi/648000) \text{ rad}$
ヘクタール	ha	$1 \text{ ha}=1 \text{ hm}^2=10^4 \text{ m}^2$
リットル	L	$1 \text{ L}=1 \text{ dm}^3=10^3 \text{ cm}^3=10^{-3} \text{ m}^3$
トン	t	$1 \text{ t}=10^3 \text{ kg}$

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で表される数値

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

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	$1 \text{ bar}=0.1 \text{ MPa}=100 \text{ kPa}=10^5 \text{ Pa}$
水銀柱ミリメートル	mmHg	$1 \text{ mmHg}=133.322 \text{ Pa}$
オングストローム	Å	$1 \text{ Å}=0.1 \text{ nm}=100 \text{ pm}=10^{-10} \text{ m}$
海里	M	$1 \text{ M}=1852 \text{ m}$
バーン	b	$1 \text{ b}=100 \text{ fm}^2=(10^{-12} \text{ m})^2=10^{-24} \text{ m}^2$
ノット	kn	$1 \text{ kn}=1852/3600 \text{ m/s}$
ネーベル	Np	SI 単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
デジベル	dB	

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	$1 \text{ erg}=10^{-7} \text{ J}$
ダイナ	dyn	$1 \text{ dyn}=10^{-5} \text{ N}$
ボアズ	P	$1 \text{ P}=1 \text{ dyn s cm}^{-2}=0.1 \text{ Pa s}$
ストークス	St	$1 \text{ St}=1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}=10^3 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$
スチール	sb	$1 \text{ sb}=1 \text{ cd cm}^{-2}=10^4 \text{ cd m}^{-2}$
フォト	ph	$1 \text{ ph}=1 \text{ cd sr cm}^{-2} 10^4 \text{ lx}$
ガル	Gal	$1 \text{ Gal}=1 \text{ cm s}^{-2}=10^{-2} \text{ ms}^{-2}$
マクスウェル	Mx	$1 \text{ Mx}=1 \text{ G cm}^{-2}=10^{-8} \text{ Wb}$
ガウス	G	$1 \text{ G}=1 \text{ Mx cm}^{-2}=10^{-9} \text{ T}$
エルステッド	Oe	$1 \text{ Oe} \approx (10^3/4\pi) \text{ A m}^{-1}$

(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	Ci	$1 \text{ Ci}=3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$
レントゲン	R	$1 \text{ R}=2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$
ラド	rad	$1 \text{ rad}=1 \text{ eGy}=10^{-2} \text{ Gy}$
レム	rem	$1 \text{ rem}=1 \text{ eSv}=10^{-2} \text{ Sv}$
ガンマ	γ	$1 \gamma=1 \text{ nT}=10^{-9} \text{ T}$
フェルミ	fm	$1 \text{ fermi}=1 \text{ fm}=10^{-15} \text{ m}$
メートル系カラット	Torr	$1 \text{ Torr}=(101.325/760) \text{ Pa}$
標準大気		

