

JENDL-3に基づく汎用群定数

(日本原子力研究所) 長谷川 明

1. はじめに

JENDL-3¹⁾が数次にわたるベンチマーク・テストを経て、1989年秋に公開されて以来かなり広い範囲で使われだしている。一般には、JENDL-3が出来て使えると言う事を知ってはいるが実際にこれを使って計算するにはどうしたら良いかと言うことが分からないと言う方々もかなりおられるときく。そこで今回の話を頼まれたわけであるが、ここでは、高速炉や核融合炉における核計算や遮蔽計算に使われる群定数について、その背景となる評価済み核データの特徴、その処理法、現在利用可能な群定数について簡単に概説し、最後に JNDC 炉定数専門部会の標準群定数検討ワーキンググループの協力の基に筆者の所で作成している汎用群定数 JSSTD²⁾及びその利用結果の例を示す。

2. 評価済み核データファイルの設計思想

その時点で得られる、利用できる形での最良の情報を利用したいのが常なる人の人情であろう。ところで、核物理の測定から得られた値は通常一致しないのが常であり、そこで次の様ないわゆる評価作業が入って来る。即ち、Compiled、Critically Compared、Re-normalized to Common Standard、Selected、Averaged、Error Bar Assigned、等諸々のプロセスをへて、“Best or Recommended Value”が出されるわけである。

原子炉はもちろんそれ以外の多目的利用を目指して評価済み核データライブラリーが作成されている。一部を除いて国際的に共通に使用できるようになっている。

本来の評価済み核データファイルの持つ基本理念は次の2つの特徴で言い表せる。それは完全性 (Completeness) と簡潔性 (Simpleness) であり、具体的には、MAT: All Nucleides、MF: All Data Categories、MT: All Reaction、ENERGY: No Energy Range Deficit に代表される完全性であり、評価者は完全なセットとしてのデータを出さなくてはならない。従って、実験値が無いようなデータについても、理論計算や系統性等を用いて完全なセットを出すことが要求される。またデータは一意で無くてはならない。中のデータはお互いにすべて無矛盾で無くてはならない。また次の理念として、与えるデータは実用上可能な限り簡潔に与えなくてはならないと言う簡潔性 (Simpleness) がもためられている。あえてこの様な事を述べるのは、この前提条件のもとで、処理プログラムは作動するように考えられているからである。最近のデータファイルでは、簡潔性の点に於て規約違反を犯している事が多いように感じる。例えば、等方に近いデータを非等方として細かく入れていたり、不必要に多くの非弾性散乱のレベルが定義されていたり等々。処理に多くの負担がかかってきているように感じる。

利用との関係では、原子力分野での利用は勿論であるが、最近では地層探査等非エネルギー分野での利用のリクエストが増えている。

3. 群定数ライブラリーについて（群定数処理の概要）

一般の核計算での利用者にとっては評価済み核データファイルその物よりも、群定数ライブラリーでの使用が多いと思われるが、評価済み核データファイルを処理して作成した群定数ライブラリーは、もはや元のファイルが持っていた汎用性はなくなり、応用する分野依存のライブラリーとなっているのが一般である。高速炉用、核融合炉用、さらには炉心計算用、遮蔽用とそれぞれの目的に応じて準備されている。さらに、それらは使用する計算コード用に編集されていなくてはならない。例えば、拡散コードでは拡散コード用に拡散係数が、S_nコードでは、P₁展開された群遷移係数が、Integral Transport Codeでは、群平均化されたP₁係数が必要となる。最近ではポイントモンテ・カルロ法のようにオリジナルのファイルに近いデータを必要とするものもある。このように、群定数ライブラリーは対象分野と計算コードとに完全に依存している。

群定数ライブラリーのための処理対象としては評価済み核データファイルの中の次のデータが関係して来る。

- FILE-1 ν
- FILE-2 共鳴パラメータ
- FILE-3 断面積
- FILE-4 角度分布
- FILE-5 エネルギー分布
- FILE-6 角度エネルギー相関分布
- FILE-12 2次 γ 線多重度
- FILE-13 2次 γ 線生成断面積
- FILE-14 2次 γ 線角度分布
- FILE-15 2次 γ 線エネルギー分布

処理手順は、どの応用分野のどのコード用のライブラリーを作るかによって使用処理プログラムは異なって来るが、手順としてはほぼ同一の処理手順を経ると考えられる。それらは、表 3.1 に見られる処理手順である。

一般には、まづ作成する応用分野に合わせた、群定数仕様を決定する。それらは、群構造（例えば VITAMIN-C、JSD-100、JFS-70、ABBN-25...）、荷重関数(1/E、Maxwell、fission、fusion、Approximate Core Flux...）、散乱の非等方性の取扱い（P₁近似、DDX 近似）、共鳴自己遮蔽因子テーブルのパラメータ（ σ_0 、grid、T grid）の決定である。次に処理する核種の選定を行い、表 3.1 の処理プロセスを実行する。

表 3.1 に見られるように、処理は3段階に分かれるが、第1の前処理では、評価済み核データファイルから、媒質温度依存のポイントワイズ断面積の作成を行う。

3.1 断面積の線形化

断面積の線形化では、区間分割された一般内挿法に基づく断面積をすべて、内挿公式2（線形内挿公式）でのみ表現される断面積におきかえる。この段階ではまだ共鳴部分の断面積は復元されていない。これにより一般内挿公式データについての積分の数値不安定性は完全に回避される。その代わりに、多大なポイントデータが生成されると言う副作用が生まれる。

3.2 共鳴断面積の作成

次いで、共鳴処理に入る。この処理は、軽核では不要だが、構造材や重核では必須となる。File2 の共鳴パラメータとFile3 のスムーズ断面積を足し合わせてポイントワイズ断面積を作成する。この部分は分離共鳴処理と非分離共鳴処理とに分かれる。分離共鳴処理では、表 3.2 の共鳴公式が使用され、JENDL-3 では、ENDF-5 format でキャンセルされた Reich-Moor のパラメータが復活されて使用されている（Pu-239のみ）。自己共鳴遮蔽因子の計算では、共鳴の形を正確に再現する事が極めて重要であり、通常我々は 0.1% の誤差以内に再現するようにしている。また p-wave 以上の細かい共鳴の形を精度良く表現するにはエネルギーの表現に7桁の数値による表現が最低限要求される。一般に使われる6桁の表現ではかなりの桁落ちが生じ、平均断面積にかなりの誤差をもたらす事がある。分離共鳴域では、共鳴の形が一義的に決まるが、非分離共鳴域では本質的に共鳴の形は不可知で統計的にエネルギー平均された断面積が表示されているに過ぎない。従ってこの部分の断面積はスムーズな形となる。そのため自己共鳴遮蔽因子の計算ではこの部分はかなりの問題となる。またこの領域で許されている共鳴公式は SLBW のみである。またこの領域では、共鳴パラメータの内挿は許されていない事に注意する必要がある。

評価済み核データライブラリーの初期の頃には1の単準位公式がもっぱら使われていたが現実の断面積のフィッティングでは極めて誤差が多くなる（負の断面積等）事もあり再現性の良い2の多準位公式が現在では標準的に使われる様になったがその代わりに、計算時間は極めてかかるようになってしまった。JENDL-3 の処理では（U-238 の様に）FACOM-M/780 で1時間近くかかる事も希ではない。また出力されるデータ点数もきわめて多くなっており、計算機資源を喰い尽くす程になってきている。

3.3 媒質温度依存断面積の作成

以上までで0度K（kelvin）の断面積の処理が終了している。今度は、標的核の原子核の熱運動から起こって来る反応断面積の変化を考慮した断面積が必要となってくる。通常

我々が扱う媒質は特殊なものを除いて室温（約300K）以上であり、炉心内では室温以上事故時までの数千度Kまで考えられる。このような場合、中性子断面積にたいする Doppler 効果は無視できず、0K の断面積に見られる共鳴の山の鋭いピークは鈍ってしまい、その結果自己共鳴遮蔽因子にたいして大きな効果を及ぼす事が予見される。

この計算は分離域については任意の反応にたいして、任意の温度から任意の温度まであげられる Kernel Broadening 法が使われ、非分離域では $\mu-\chi$ 法が使われる。ここまでの、媒質温度依存のポイントワイズ断面積が作成された事になる。（非分離域での温度依存断面積は次の処理の本体部分で実際には処理される。）

3.4 群定数処理

表 3.1 に見られる第2の処理の本体部分では、群平均断面積及び自己共鳴遮蔽因子と群遷移マトリックスの計算がその主目的である。

3.4.1 共鳴自己遮蔽因子処理

吸収の強い媒質ではフラックスは歪を受け、実効的な断面積は減少する事となる。特に共鳴の有るところではこの効果は著しく、そのためこの効果は共鳴自己遮蔽効果と呼ばれる。衝突密度一定の仮定の基では、フラックスは total cross-section (σ_t)とは反比例する事になる。エネルギー的に shield された実効断面積としては対象とする核種それ自身の σ_r とそれ以外の組成を構成する核種全てを代表する back ground cross section (σ_0)の和にフラックスが反比例するとして、それを重みにして群平均化したもので定義する。これとフラックスの歪の無いもの（無限希釈断面積）との比を f-factor と呼んでおり、back ground cross-section をパラメータとして整理したのが f-table と呼ばれているものである。これは Bondarenko の ABBN 型炉定数にその源を発している。即ち：

$$\text{self shielding factor} \equiv \frac{\langle \sigma_{\text{eff}} \rangle_g^r}{\langle \sigma_{\infty} \rangle_g^r}$$

$$\langle \sigma_x \rangle_g^r = \frac{\int_{E_g}^{E_{g-1}} \sigma^r(E) \phi_x(E) dE}{\int_{E_g}^{E_{g-1}} \phi_x(E) dE}$$

$$\phi_x(E) = \frac{\phi_0(E)}{(\sigma_t(E) + \sigma_0)^k}$$

where

k = 0 : no self-shielding (for $\langle \sigma_{\infty} \rangle$)

k = 1 : self-shielded scalar flux

k = 2 : self-shielded current

r : reaction

g : group

$\phi_0(E)$: Energy dependent weighting spectrum

f-table の表が媒質温度 T、back ground cross-section (σ_0) について整理してあれば、任意の組成依存の実効断面積は f-table からの内挿によって求めることが出来る。

3.4.2 群遷移マトリックスの作成

中性子を放出する反応全てについて群遷移マトリックスを計算する必要がある。ここでの処理には、評価済み核データの File4:角度分布、File5:エネルギー分布、File6:角度エネルギー相関分布が関係する。2体の相互作用の場合には、すべて相関分布で与えられ、角度とエネルギー分布とは独立では有り得ない。弾性散乱、非弾性散乱の励起準位散乱の場合には、角度分布のみが使用されエネルギー分布は角度分布から導出される。また軽い核の多体ブレイクアップにより放出される中性子には、角度エネルギー相関が有るものもあり、File6 を使用しなければ正確な表示が出来ないものもある。この部分の処理では、通常数値積分が使われるが、Higher PI component の群遷移マトリックスの計算では数値不安定性がかなり見いだされ、計算機の bit 長によってもかなりの差が現れてしまい問題点は多い。またこの部分の処理は、使用する核計算コードに強く依存しておりそれに合わせた群平均化処理が求められる。

3.5 群定数ライブラリーの編集

表 3.1 での第3の post processing の部分は、処理した核種毎の群定数を使用するコード用に編集する作業であり、この部分は全く使用システムにより異なって来る。

4. JENDL-3 に基づく群定数

JENDL-3 が出て、約1年が経つがその間かなりの群定数が JENDL-3 から作成されている。ここでは、JENDL-3 のベンチマーク・テストに際して使用された分野別の群定数と使われた処理コードを表 4.1 に示す。

5. JENDL-3 に基づく汎用群定数 JSSTD-295n-104 γ ライブラリーについて

5.1 JSSTDライブラリーシステムの概要

本システムの開発の発端は、1986年11月に出された JENDL-3 以後の計画検討小委員会（中沢委員会）からの答申³⁾にある。そこでは、JENDL-3 の公開と同時に利用者に共通的に使用できる群定数の提供を速やかに行うべきであると言うことが述べられている。その後、この答申作成にあたって前もって行った標準群定数についてのアンケート結果をもとに、アウトラインが作成され、JNDC 炉定数専門部会の中に標準群定数検討SWGが設立され、そこでの議論の基にライブラリーの作成が開始された。

本ライブラリーシステムは、JENDL の評価済み核データファイルと共に提供する標準的

な群定数ライブラリーとして、高速炉や核融合炉における核計算や遮蔽計算を目標としたため、中性子とガンマ線の結合した炉定数システムとなっている。また同時に一般利用者が共通に利用できる事を目標としたため、我が国で幅広く利用されているS_n計算コード(DOT、ANISN)用とし、かつ、群構造も国内で標準的に使用されている殆ど全ての群構造をカバーするべく考えられたため、中性子295群ガンマ線104群の群構造となった。また、ライブラリーは温度依存(T)、組成依存(σ_c)の自己共鳴遮蔽因子を内臓しており、燃料や構造材等の共鳴構造を有している核種に対してはより正確な取扱いを可能としている。

また295群のライブラリーから出発して、利用者の必要とする少数群へ f-table も含めてライブラリー自身を縮約するコード、及び295群ライブラリーもしくはそれから作られた少数群ライブラリーからS_n計算で必要となる領域依存のマクロ断面積を作成するコードも併せて公開しており、断面積セットとユーティリティコードとがカップルしたライブラリーシステムである。断面積ライブラリーとそのユーティリティコードとはソースコードレベルでの公開(原研核データセンターを通じて)しており、他機種への移植性は良い様配慮している。

5.2 ライブラリー仕様

表 5.1 に作成に当たったのライブラリー仕様を示す。群構造については、アンケート結果から、利用者は現在自分の使用している群構造を維持したいという希望が強く、そのため表 5.2 に示す様に現在日本で使われているほぼ全ての群構造をカバーするべく、共通群構造として中性子295群、ガンマ線104群が決められた。従ってこのライブラリーシステムは、中性子295群で使っても精粗バラバラで余り意味がなく、表中の利用者の望む群構造で使う所に意味がある。ライブラリー処理での weighting function は 0.3224 eV 以下では Maxwellian、それ以上では 1/E としている。あえて、fission spectrum を取らなかったのは、fusion group からの要請による。非等方性は P5 までとっている。また P1 scattering matrices は弾性散乱 σ_c (elastic) と弾性散乱以外 $\sigma_{non-elastic}$ の2種類に分けて収容している。これは、自己共鳴遮蔽因子を弾性散乱断面積に対して反映させる為である。共鳴自己遮蔽因子については 媒質温度4点 (300K、600K、900K、2100K)、 σ_c back ground cross section 9点 (barn: 0.、0.17783、1.0、10.、100.、1000.、1.0E+4、1.0E+5、1.0E+6)、考慮する核反応断面積としては、4反応 (σ_t (total)、 σ_f (fission)、 σ_c (capture:(n, γ) only)、 σ_c (elastic)) である。2次ガンマ線生成断面積としては、収容されている reaction は total、capture(MT:102)、fission(MT:18) 及び other than capture and fission((n,n'), (n,p), (n, α), ...) であり、

total gamma = capture + fission + other than capture and fission

である。こうした reaction 毎のデータの収容は中性子断面積に対する f-table データと

の関係から収容されている。またガンマ線輸送断面積は、GAMLEG-JR から作成している。

現在63核種のデータが処理を終わり利用可となっている(表 5.3 参照)。これはガンマ線生成断面積の与えられている核種のほぼ全てであり、汎用ファイル(general purpose file)の約60%、軽核についてみれば約90%となっている。

現在作成されて配布されている utility codes を表 5.4 に示す。それぞれ中性子ライブラリー用とガンマ線ライブラリー用があり、中性子の例のみあげると、CONVJSS は JSS TDL Library (binary data file) と BCD file (portable library) との相互変換コードであり、ライブラリーの移植の際に必要なコードである。CONDNSJ は、JSSTDL Library をそれと equivalent な少数群ライブラリーへ縮約するコードであり、利用者が必要とする少数群ライブラリーを作成する。MACROJ は JSSTDL Library を用いて、領域依存の DOT、ANISN 用マクロ断面積ファイルを作成するコードである。領域毎の核種 ID (コードナンバー) と組成の入力により、媒質温度、 σ 。についての自己共鳴遮蔽因子の内挿 (f-table search) を行い組成依存のマクロ断面積を作成する。f-table search には cubic spline をもちいている。出力データは、DOT の入力ファイルとなる。

5.3 使用例

JENDL-3のベンチマーク・テストで使用されたケースの内から2例ほどを示す。

5.3.1 遮蔽計算での計算例 (f-tableデータの重要性)

まず ASPIS 深層透過実験解析の例であるが、本実験は、UK の AEE Winfrith の Shielding Facility ASPIS を用いて行われた鉄の深層透過実験⁴⁾である。NESTOR 原子炉からの十分減速された中性子を薄い天然 U コンバーターへ導き、そこでの核分裂を線源として、その後ろに鉄遮蔽体(軟鋼、約120cm厚)を置いての透過実験であり、4透過距離における7keV ~ 5MeV までの flux spectra 及び数種の activation detector による軸方向減衰特性が測定されている。この実験は the DATAM Experiment と称せられ、Data & Method の benchmark quality での検証を目的としている。

この体系では、構造材核種の鋭い共鳴散乱断面積の山谷の連続による自己共鳴遮蔽効果による影響が極めて大きくなる事が予想される。現在では自己遮蔽因子 (f-table) の使用はかなり一般的になっているが、それでもなおf-tableを装備していない炉定数もあり、現在の炉定数の問題点を明らかにする意味からも、無限希釈断面積を使用した場合 (case-3)、f-table を用いて実効断面積を計算した場合 (case-2)、より exact な $1/\Sigma_a$ の weight で群定数を散乱マトリックスを含めて計算した場合 (case-1) の3ケースについての比較を行った。計算は DOT3.5 を使い、R-Z 52 X 93 メッシュ、S-48、P-5、ENERGY Group BERMUDA-121 群で行った。図 5.1 に約 114cm 透過後のスペクトルムの比較を、又図 5.2 に Rh-103(n,n') の反応の軸方向減衰特性を示すが、いずれも case-3 (x印) の無限希釈断面積のみによる結果は実験から大幅にずれてしまい、それ以外の case とは全く異なっ

た傾向を示していることがわかる。スペクトルでは、一桁過小評価となり、軸方向減衰特性でも大きく減衰を過大評価している。やはり一番実験（○印）に近いのは case-1（△印）でついで case-2（+印）となっている。この様な鉄単体からなる体系では、f-table の無いライブラリーでは解析できない事は明かである。

5.3.2 小型高速炉での臨界計算例

ここでは、我々のグループが JENDL-3 の主要重核データの validation のために行った高速炉 1 次元単純体系でのベンチマーク・テストでの支援計算の一例を示す。選ばれた炉心を図 5.3 に示すが、いずれも単一核分裂核種からなる高濃縮且つ超小型の炉心であり核データのチェックの為には最良の炉心である。JENDL-3 の適用性は、別の報告⁵⁾ でなされているのでそちらを見て頂きたいが、いずれも極めてよい実験値の再現性を見せている。

ここではそれらの支援計算として行った、群数効果並びに P 1 打ち切り誤差について示す。group number effect として、次の 4 case の群構造を持つライブラリーを JSSTD-295 から作成した。1) VITAMENE-J 175 群、2) JSD-100 100 群、c) JFS-70 70 群、d) ABBN-25。それぞれのライブラリーについて 1 次元臨界計算を ANISN を用いて行い群数効果を調べた。結果を表 5.5 に示す。100 群以上では K_{eff} 及び $U-238\sigma_f/U-235\sigma_f$ とともに安定しているが、25 群のライブラリーでは K_{eff} では最大 0.3% の差がある事が分かる。又 P 1 有限打ち切りに対する効果を GODIVA 炉心について調べたものを表 5.6 に示す。これから炉心計算に対して P2 で十分であることが分かる。

5.4 今後の予定

現状では、JENDL-3 のデータが主体であるが、今後他のデータソースによるデータも増やして行く（例えば JEF、ENDF、ENDL）。特に、ガンマ線生成断面積については、JENDL-3 のみによるデータでは不足核種がかなりあるため他の source からのデータによる整備を行う予定である。しかしながら、ガンマ線生成断面積については中性子データと極めて couple しているため、JENDL-3 データと他のデータソースとの間の consistency check が必要であり作業は簡単では無い。しかしながら、設計等の利用者にとってはデータの欠如は大きな問題となるため、出来る限り抜けのないライブラリーとして行く考えである。

ガンマ線部分についてはこれからベンチマーク・テストが本格化する状況にあり、ライブラリーの validation check もかねてベンチマーク・テストを実施する予定である。

6. まとめ

評価済みファイルを基にした群定数処理の概要及び JENDL-3 に基づく群定数ライブラリーの現状と標準的使用を目的とした JSSTD ライブラリーシステムについて概論した。今後 JENDL-3 と共に、JSSTD ライブラリーシステムがはば広く使われる事を願っている。

参考文献

- 1)K.Shibata, T.Nakagawa, T.Asami et al. :”Japanese Evaluated Nuclear Data Library, Version-3 JENDL-3”,JAERI-1319(1990).
- 2)A.Hasegawa :”JSSTD-295n-104 γ ; a Common Nuclear Group Cross-Section Library Based on JENDL-3 Nuclear Data File,” JAERI-M 91-062 pp15 (1991).
- 3)M.Nakazawa :”Proposal on Post-JENDL-3 Activity Programme for Japanese Nuclear Data Committee”,JAERI-M 87-025 pp9 (1987).
- 4)M.D.Carter, A.K.McCracken and A.Packwood:”The Winfrith Iron Benchmark Experiment, A Compilation of Previously Published Results for Use in the International Comparison of Shielding Data Sets Sponsored by NEA,” AEE Winfrith(1982).
- 5)D.Tian, A.Hasegawa, T.Nakagawa and Y.Kikuchi:”One Dimensional Benchmark Test of Principal Fissile Nuclides in JENDL-3,”JAERI-M 91-032 pp148 (1991).

表 3.1 Processing Out-Line

process	CODE used	Process comments
pre-processing	LINAER RECENT-J SIGMA1	linearized data generation resonance reconstruction for 0. K Doppler broadened cross-section
Processing	Prof. GROUCH-G/B	group averaging process self-shielding factor cal. group transfer matrices cal.
post-processing	GLIBMK	group library compilation

表 3.2 Resonance Formulae

- 1 Breit-Wigner single-level parameter
- 2 Breit-Wigner multi-level parameter
- 3 Reich-Moor parameters
- 4 Adler-Adler parameters

表 4.1 Group Constants Library Used in JENDL-3 Benchmark test

Test item	Group Constants	Processing System
FBR	JFS-3J3	TIMS-PGG
LWR	SRAC-LIB	SRAC,TIMS-PGG
	WIMS-LIB	NJOY
	MGCL	MGCL-ACE
Shielding	JSSTD-295	PROF/GROUCH-G/B(MACSN)
	SSL-90J3	RADHEAT-V4
	FSXLIB	NJOY
Fusion Neutronics	FSXLIB	NJOY
	FUSION-J3	PROF/GROUCH-G/B(MACSN)
	DDXLIB3.J3	PROF-DD

表 5.1 Group Constant Specification

Group structure	neutron:295 20 MeV -- 1.0E-5 eV gamma:104 50 MeV -- 1 keV
Weighting spectrum	Maxwellian from 1.0E-5 to 0.3224 eV the rest is 1/E.
Resonance reconstruction tolerance	0.1%
Self-shielding factor	
Temperature grid	300 600 900 2100 Kelvin
σ_0 grid	0 0.1778 1 10 10 ² 10 ³ 10 ⁴ 10 ⁵ 10 ⁶ barn
f-tab reactions	total, elastic, capture, fission.
Anisotropic P_l order	5
Photon production data	total= fission + capture + + otherthan fission and capture

表 5.2 Covered Group Boundaries

Neutron group boundaries
considered in JSSTD system

Library name	groups
JSD-100	100
JSD-1000	100
BERMUDA-121	121
FNS-125	125
VITAMIN-C	171
VITAMIN-J(E+C)	175
GICX-42	42
ABBN-25	25
JFS-New	70
GAM-123*	92
MGCL-137*	91
WIMS-69*	28

Gamma group
boundaries considered
in JSSTD system

Library name	groups
CSEWG-94	94
LANL-12	12
STEINER-21	21
STRAKER-22	22
LANL-48	48
LANL-24	24
BERMUDA-36	36
HONEYCOMB -15	15

n.b. *: fast group only

表 5.3 Processed Nuclides from JENDL-3

order	gamma	Z	ch	A	MAT	NCODE	comment
1	G	1	H	1	3011	117	
2		1	H	2	3012	127	
3		2	He	3	3021	237	
4		2	He	4	3022	247	
5	G	3	Li	6	3031	367	
6	G	3	Li	7	3032	377	
7	G	4	Be	9	3041	497	
8	G	5	B	10	3051	507	
9	G	5	B	11	3052	517	
10	G	6	C	12	3061	607	
11	G	7	N	14	3072	707	
12	G	8	O	16	3081	807	
13		9	F	19	3091	907	
14	G	11	Na	23	3111	1107	
15	G	12	Mg	0	3120	1207	
16	G	13	Al	27	3131	1307	
17	G	14	Si	0	3140	1407	
18		15	P	31	3151	1507	
19		16	S	0	3160	1607	
20		19	K	0	3190	1907	
21	G	20	Ca	0	3200	2007	
22	G	22	Ti	0	3220	2207	
23		23	V	51	3231	2307	
24	G	24	Cr	0	3240	2407	
25	G	25	Mn	55	3251	2557	
26	G	26	Fe	0	3260	2607	
27	G	28	Ni	0	3280	2807	
28	G	29	Cu	0	3290	2907	
29		31	Ga	0	3100	3108	ENDF/B-VI
30	G	40	Zr	0	3400	4007	
31	G	41	Nb	93	3411	4137	
32	G	42	Mo	0	3420	4207	
33		48	Cd	0	3480	4807	
34	G	63	Eu	0	3630	6307	
35	G	72	Hf	0	3720	7207	
36	G	73	Ta	81	3731	7307	
37	G	74	W	0	3740	7407	
38	G	82	Pb	0	3820	8207	
39	G	83	Bi	209	3831	8397	

order	gamma	Z	ch	A	MAT	NCODE	comment
40		90	Th	232	3905	9027	
41		92	U	233	3922	9237	
42		92	U	234	3923	9247	
43	G	92	U	235	3294	9257	
44		92	U	236	3925	9267	
45	G	92	U	238	3926	9287	
46		93	Np	237	3931	9377	
47		93	Np	239	3932	9397	
48		94	Pu	236	3941	9467	
49		94	Pu	238	3942	9487	
50	G	94	Pu	239	3934	9497	
51		94	Pu	240	3944	9407	
52		94	Pu	241	3945	9417	
53		94	Pu	242	3946	9427	
54		95	Am	241	3951	9517	
55		95	Am	242m	3953	9597	
56		95	Am	243	3954	9537	
57		96	Cm	242	3962	9627	
58		96	Cm	243	3963	9637	
59		96	Cm	244	3964	9647	
60		96	Cm	245	3965	9657	
61		96	Cm	246	3966	9667	
62		96	Cm	247	3967	9677	
63		96	Cm	248	3968	9687	

n.b.

gamma: G means data given

Z : atomic number

ch : chemical symbol

A : mass number

MAT : MAT number of JENDL-3

CODE : code number in JSSTD lib.

表 5.4 Developed Utility Code

code		
neutron-lib.	gamma-lib.	comment
CONVJSS	CONVJGG	format conversion code Binary <==> EBCDIC
CONDNSJ	CONDNSJG	collapsing code to any broad group 295 <==> User specified group (JSD100, BERMUDA-125, etc)
NACROJ	MACROJG	region dependent macro-scopic cross section creation for ANISN,DOT,MORSE code.

表 5.5 Group Number Effect on Keff

assembly	group	Keff	spectral indices at core center (cal. , C/E)		
			$\sigma_f(U8) / \sigma_f(U5)$	$\sigma_f(Pu9) / \sigma_f(U5)$	$\sigma_f(U3) / \sigma_f(U5)$
JEZEBEL	175	1.0010	0.2121 , 0.9925	1.4138 , 0.9764	1.6216 , 1.0276
	100	1.0011	0.2121 , 0.9925	1.4133 , 0.9760	1.6213 , 1.0274
	70	1.0004	0.2115 , 0.9897	1.4133 , 0.9760	1.6220 , 1.0279
	25	1.0026	0.2108 , 0.9864	1.4083 , 0.9691	1.6161 , 1.0241
JEZEBEL-Pu	175	0.9961	0.2075 , 1.0073		
	100	0.9961	0.2074 , 1.0068		
	70	0.9953	0.2069 , 1.0044		
	25	0.9973	0.2062 , 1.0010		
FLATTOP-Pu	175	0.9982	0.1818 , 1.0100		
	100	0.9982	0.1818 , 1.0100		
	70	0.9977	0.1813 , 1.0072		
	25	1.0011	0.1807 , 1.0039		
THOR			$\sigma_f(U8) / \sigma_f(U5)$	$\sigma_e(U8) / \sigma_f(U5)$	$\sigma_f(Th2) / \sigma_f(U8)$
	175	1.0005	0.1957 , 1.0036	0.0651 , 0.7843	0.2565 , 0.9865
	100	1.0006	0.1957 , 1.0036	0.0651 , 0.7843	0.2566 , 0.9869
	70	0.9946	0.1952 , 1.0010	0.0653 , 0.7867	0.2567 , 0.9873
	25	1.0022	0.1946 , 0.9979	0.0659 , 0.7940	0.2566 , 0.9869

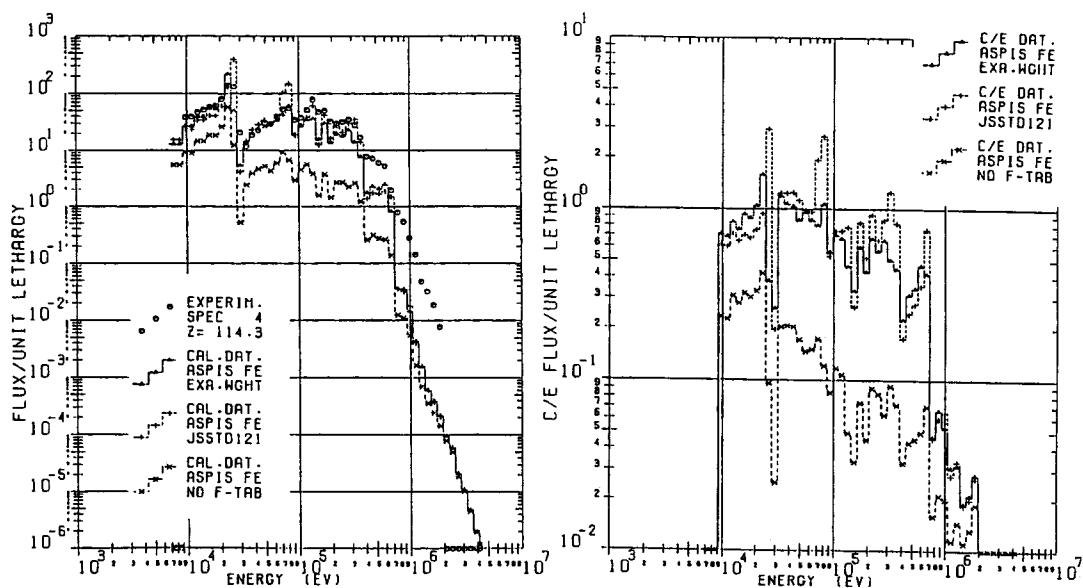
n.b.

ANISN calculation
175 group
S16
P5
JENDL-3 Rev0 (JSSTD L library)

表 5.6 P1 Truncation Effects for U-235 Core (GODIVA)

assembly		GODIVA			
PL order		L=1	L=2	L=3	L=5
C/E	Keff	1.0013	1.0066	1.0066	1.0066
	$\sigma_f(U8) / \sigma_f(U5)$	0.9930	1.0012	1.0004	1.0004
	$\sigma_f(Np7) / \sigma_f(U5)$	0.9951	0.9992	0.9989	0.9989

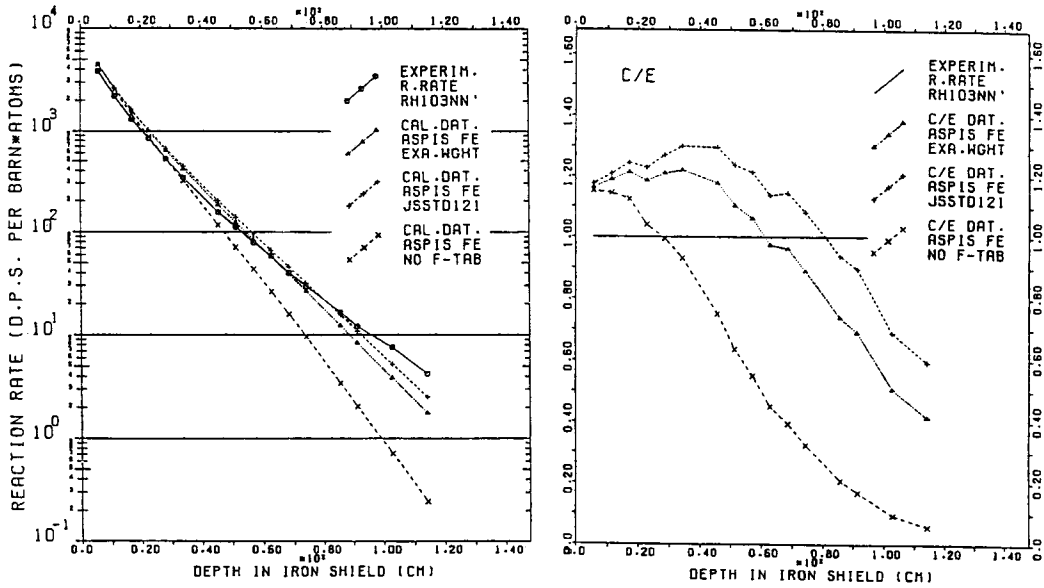
ANISN calculation
 175 group
 S16
 P5
 JENDL-3 Rev1
 (JSSTD library)



Spectrum at 114 cm position

C/E value at 114 cm position

图 5.1 Transmitted Spectrum at 114 cm Position



Attenuation profile : Rh-103(n,n') reaction rate C/E value

Fig 5.2 Attenuation Profile for Rh-103 (n, n')

Benchmark
Core
Spec.

fuel	assembly	enrichment %	core radius (cm)	blanket material & radius (cm)	core volume /
Pu-239	JEZEBEL	91	6.4	-	1.098
	JEZEBEL-Pu	74	6.6	-	1.204
	FLATTOP-Pu	91	4.5	U-8 24.1	0.3817
	THOR	91	5.3	Th 29.9	0.6236
U-235	GODIVA	93	8.7	-	2.758
	FLATTOP-25	93	6.1	U-8 24.1	0.9508
	BIG TEN	10	30.5	U-8 45.7	118.85

n.b.

Profile.

JEZEBEL-Pu : Pu-239/240/241 (74/20/3%) contained.

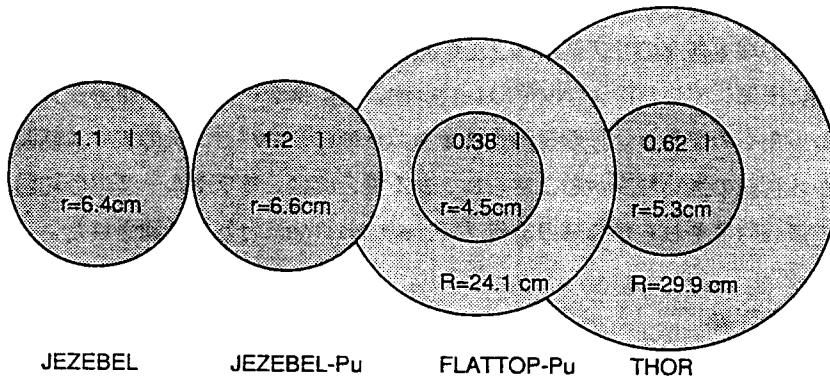


Fig 5.3 An Example of Criticality Calculation