

JAERI - M
92-185

FCAにおける高温ドップラー効果測定(3)
—超微細群によるセル計算コード(PEACO-X)の開発—

1992年11月

岡嶋 成晃・大井川宏之・向山 武彦

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1992

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 ㈱原子力資料サービス

FCAにおける高温ドップラー効果測定(3)
— 超微細群によるセル計算コード(PEACO-X)の開発 —

日本原子力研究所東海研究所原子炉工学部
岡嶋 成晃・大井川宏之・向山 武彦

(1992年10月28日受理)

FCAでは、サンプル加熱・反応度測定法と箔加熱・反応度測定法を組み合わせ、2000°Cまでのドップラー効果を測定する装置を開発した。これらの測定装置では、耐熱材料として比較的少量のタングステンを使用しているため、実験解析にあたっては、ドップラーサンプルを取り囲む構造材核種および炉心燃料中の ^{238}U とサンプル中の ^{238}U との共鳴干渉効果を評価することが重要である。

共鳴干渉効果が顕著なエネルギー領域での実効断面積を得るために、衝突確率法に基づく超微細群構造計算コードPEACO-Xを作成した。また、共鳴干渉効果の詳細解析に必要な超微細群群定数セット(MCROSSライブラリー)をJENDL-3からTIMS-1及びPROFGROUCH-Gを用いて作成した。

PEACO-Xでは、超微細群構造($\Delta u = 0.25 \sim 4.0 \times 10^{-4}$)で非均質セル内の中性子束を計算することができる。中性子スペクトルの計算方法はRABBLEの方法と同様である。PEACO-Xは、均質体系及び球、円筒、平板、四角格子、六角格子体系の計算ができ、20核種、25組成、50領域まで取り扱うことができる。さらに、PEACO-Xで得た中性子束とMCROSSライブラリーを用いてJFS-3タイプの群構造の実効断面積を求めるために、PEACO-X-EDITを作成した。

PEACO-Xの使用により、高速炉体系でのドップラー効果実験解析においてサンプルの実効断面積の詳細計算が可能となり、ドップラーサンプル中の ^{238}U と測定装置構造材のWとの共鳴干渉効果や炉心中の ^{238}U によるドップラーサンプルへの共鳴遮蔽効果の評価が可能となった。

Measurement of Doppler Effect up to 2000°C at FCA (3)

- Development of a Cell Code, PEACO-X,
with Ultra-fine Group Structure -

Shigeaki OKAJIMA, Hiroyuki OIGAWA and Takehiko MUKAIYAMA

Department of Reactor Engineering
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received October 28, 1992)

At FCA, the Doppler effect is measured up to 2000°C by using the combination of measurement methods; one method is a sample reactivity measurement and the other is a foil activation measurement with laser heating. In these measuring devices, relatively large amount of tungsten is used as the high temperature structural material. For analyzing the experimental data, it is important to evaluate the resonance interaction effect between ^{238}U of the Doppler sample and tungsten structural material of the sample capsule and between ^{238}U in fuel and ^{238}U of heated sample.

A new cell code, PEACO-X, was developed to obtain effective cross sections in the resonance energy range where the effects of overlapping between resonances is significant. The ultra-fine group constants (MCROSS library) required for the detailed analysis of resonance overlapping were generated from the JENDL-3 data by using both the processing codes, TIMS-1 for heavy nuclei and PROF GROUCH-G for light and intermediate nuclei.

The PEACO-X code calculates the regional neutron flux in a heterogeneous cell with ultra-fine group structure ($\Delta u = 0.25 \sim 4 \times 10^{-4}$). For the calculation of the neutron spectrum, the RABBLE method was adopted. The PEACO-X code can handle 20 nuclides, all of which can be resonant absorbers, 25 compositions and 50 regions. The PEACOX-EDIT code was

also developed to calculate regional reaction rates by using both the neutron fluxes obtained from the PEACO-X and the cross section data in MCROSS library, and generate effective cross sections with the JFS-3 type group structure.

By using the PEACO-X code for the analysis of Doppler effect measurement in a fast reactor core, the detail cell calculation of the effective cross section of Doppler sample and the precise evaluation of resonance interaction effects are obtained.

Keywords: Doppler Effect, Cell Code, Resonance Interaction Effect, Effective Cross Section, Collision Probability Method, Ultra-fine Group Structure, U-238, Tungsten, FCA, JENDL-3

目 次

1. はじめに	1
1.1 FCAにおける高温ドップラー効果測定	1
1.2 現行ドップラー実験解析手法の問題点	1
1.3 微細群による衝突確率計算	2
1.4 微細群断面積と衝突確率法による計算コードの開発	2
2. PEACO-Xの計算アルゴリズムと群構造	4
2.1 衝突確率法による中性子バランス方程式	4
2.2 超微細群構造	6
3. 群定数 (MCROSSライブラリー) の作成	9
4. PEACO-Xの構造と計算例	12
4.1 入力データの説明 (入力のマニュアル)	12
4.2 計算結果の出力	14
4.3 PEACO-Xコードの構成	15
4.4 計算例	16
5. 検 討	26
5.1 エネルギーメッシュ幅の効果	26
5.2 核分裂中性子及び非弾性散乱反応による中性子スペクトルへの影響	27
6. ま と め	30
謝 辞	30
参考文献	31
付録1 PEACO-X用MCROSSライブラリー作成の実行制御文	32
付録2 PEACO-Xの入力データと実行制御文の例	34
付録3 微細群中性子スペクトルプロット用入力マニュアル	38
付録4 PEACO-XとPEACO-IIの比較	40
付録5 均質体系での計算結果とTIMS-1による計算結果との比較	41

Contents

1. Introduction	1
1.1 Doppler Effect Measurement up to 2000°C at FCA	1
1.2 Problems of Conventional Analysis Method for Doppler Measurement	1
1.3 Collision Probability Method with Fine Group Structure	2
1.4 Development of New Code Based on Collision Probability Method with Ultra-fine Group Structure	2
2. Algorithm in PEACO-X and Group Structure	4
2.1 Neutron Balance Equation Based on Collision Probability Method	4
2.2 Ultra-fine Group Structure	6
3. Generation of MCROSS Library	9
4. Program Structure of PEACO-X and Sample Calculation	12
4.1 Input Manual	12
4.2 Output of Calculation	14
4.3 Program Structure	15
4.4 Sample Calculation	16
5. Discussion	26
5.1 Energy Mesh Effect on Group Constants in Ultra-fine Group Structure	26
5.2 Influence of Fission Neutron and of Inelastic Scattering on Calculated Neutron Spectrum	27
6. Summary	30
Acknowledgment	30
References	31
Appendix 1 Job Control Card to Produce MCROSS Library	32
Appendix 2 Sample Input	34
Appendix 3 Input Manual for Drawing Neutron Spectrum	38
Appendix 4 Comparison between PEACO-X and PEACO-II	40
Appendix 5 Calculation Result in Homogeneous Medium	41

1. はじめに

1.1 FCAにおける高温ドップラー効果測定

高温における ^{238}U のドップラー効果の予測精度の向上を図るために、原研の高速炉臨界実験装置FCAにおいて、従来より高い温度領域(1500℃~2000℃)でのドップラー効果測定が可能な装置を開発し、これを用いた実験を開始した。測定は、比較的大きな UO_2 サンプル(20mm ϕ ×150mmL、約400g)を加熱してその温度変化による反応度値変化を測定する方法(サンプル加熱反応度値測定法)と、 UO_2 箔(12.5mm ϕ ×0.5mmth、約600mg)をレーザーで加熱して中性子捕獲反応率の温度変化を測定する方法(箔加熱反応率測定法)を組み合わせる(1,2)。

両測定方法による実験装置では、 UO_2 サンプル及び UO_2 箔の保持や、サンプルから炉心への熱漏洩の遮蔽等に高融点金属のタングステン(W)を使用し、サンプル格納容器内でドップラーサンプルを包込むようにWを配置する。Wは中重核であるため、中性子反応断面積は共鳴構造を有する。その一例として、900eVから1keVのエネルギー範囲でのWの中性子捕獲断面積を ^{238}U のそれと併せてFig.1.1に示す。図より、両者の共鳴ピーク値はほぼ等しく、共鳴ピークの一部が重なっていることが分かる。このオーバーラップしているWの共鳴ピークは、ドップラーサンプル中の ^{238}U の共鳴ピークを遮蔽すると考えられる。すなわち、ドップラーサンプルを包込むWによって、ドップラーサンプル中の ^{238}U の中性子捕獲反応率が減少したり、共鳴ピークの重なりによって ^{238}U の自己遮蔽効果がWによって増大して、測定対象であるサンプル内での ^{238}U ドップラー効果に影響を与えたと考えられる。このことから、実験データ解析に際しては、Wによる ^{238}U ドップラー効果への共鳴干渉効果を考慮する必要がある。

1.2 現行ドップラー実験解析手法の問題点

これまでドップラー効果実験解析で使用してきた70群群定数セットJFS-3-J2³⁾とセル計算コードSLAROM⁴⁾では、レサジー幅も大きく($\Delta u=0.25$)、円筒セルモデルの場合孤立円柱近似によるセル計算を行なうので、前述のWによるドップラーサンプル中の ^{238}U への共鳴干渉効果や炉心燃料中の ^{238}U によるドップラーサンプルの ^{238}U への遮蔽効果を適切に評価することはできない。例えば、炉心中の ^{238}U による遮蔽効果を適切に評価していないために、これまでの計算はドップラー効果を過小に評価する傾向にあった^{5,6,7)}。共鳴領域でのこれらの効果の適切な評価には、連続エネルギーによるモンテカルロ法や、微細群で記述した断面積と衝突確率法を用いてセルの非均質効果を考慮する方法がある。連続エネルギーによるモンテカルロ法の場合、ドップラー効果実験解析のように高精度でサンプル領域の実効断面積を得るには膨大なヒストリー数を必要とし、現実的ではない。一方、微細群群定数を用いて衝突確率法でセル計算を行う方法は、群毎にセル内領域間の中性子バランスを計算するので共鳴による干渉効果や遮蔽効果を厳密に取り扱うことができ、モンテカルロ法に比べて計算時間が短く現実的であるといえる。

1.3 微細群による衝突確率計算

微細群による衝突確率計算の方法は、1960年代末から1970年代前半に研究され、RABBLE⁸⁾や PEACO⁹⁾等の計算コードが開発された。SRACシステムのPEACルーチン¹⁰⁾は、この方法に基づくものである。

RABBLE は1967年に作成され、均質、1次元円筒、1次元平板体系でのセル計算を行う。セルモデルとして5組成、20領域、12核種まで取り扱うことができる。計算に使用する共鳴断面積は、入力データとして与えた共鳴エネルギーと共鳴パラメータから、Breit-Wigner の一準位公式 (SLBW)によって計算コード内で算出する。RABBLE では共鳴ピーク総数として800ピークまで取り扱うことができる。一方、近年の評価済み核データライブラリーでは、分離共鳴領域のエネルギー上限値が高くなり、共鳴ピーク数が非常に多い。例えば、JENDL-3.1¹¹⁾では²³⁸Uの分離共鳴領域エネルギーの上限値が9.5keVであり、s波で356個、p波で485個の分離共鳴ピークが存在する。また、ENDF/B-VI¹²⁾では分離共鳴領域エネルギーの上限値が10keVであり、s波で801個、p波で1112個の分離共鳴ピークが存在する。これらのピーク総数は、RABBLE 作成当時に想定していた共鳴ピーク数を上回っている。また、近年の評価済み核データライブラリーでは、SLBWの他に Breit-Wigner の多準位公式 (MLBW)や Reich-Moore の評価式で共鳴断面積を記述するように共鳴パラメータを与える。以上の点から、RABBLE を使用するには、大幅な改造が必要である。

PEACO は、非均質系における共鳴領域の実効断面積を計算するコードとして1971年に開発され、共鳴パラメータを入力データとする微細群群定数計算と衝突確率法に基づく中性子束計算の2つの部分から成る。中性子減速はRABBLEと同様に回帰法で順次解く。セルモデルとして、均質、1次元平板、1次元円筒、正方格子、六方格子の5つの体系を取り扱うことができる。その後、1973年に、計算時間の短縮化を目的として、群定数計算部分を削除して代わりに微細群群定数を入力データとし、衝突確率計算の内挿法を改良したPEACO-II¹³⁾が開発された。PEACO-II では、30領域、10核種、3共鳴核種、10組成を取り扱うことができる。PEACO およびPEACO-II では、衝突確率計算を内挿法で行うために、セル内での共鳴核種を含む異なる組成が2領域(例えば、組成の異なる燃料領域が2領域)までしか取扱えない。一方、Wの共鳴干渉効果を評価するための高温ドップラー効果の実験解析では、ドップラーサンプル、Wを含むサンプル格納容器領域、測定体系の炉心領域と共鳴核種を含む異なる組成が3領域となる。また、炉心領域は、十数核種から成る。さらに、PEACO-II での解析対象エネルギー範囲は23.25keV以下であり、高速炉のドップラー効果の主たるエネルギー範囲(100eV~数十keV)を十分にカバーしていない。これらの点から、PEACO-II を使用する場合でも、大幅な改造を必要とする。

1.4 微細群断面積と衝突確率法による計算コードの開発

前節で述べたように、微細群断面積と衝突確率法を用いてWによるサンプル中の²³⁸Uへの共鳴干渉効果や炉心燃料中の²³⁸Uによるサンプル中の²³⁸Uへの共鳴遮蔽効果を評価するには、既存の計算コードを大幅に改造するか新たに計算コードを作成する必要がある。

そこで、PEACO-IIを大幅に改造して、超微細群構造での衝突確率法によりセルの非均質効果を考慮する計算コード(PEACO-X)を作成した。PEACO-Xの作成に際して、①群定数作成は既存の計算コードを利用できること、②今後の適用を考慮して既存コードへの取り込みが容易なこと、に留意した。したがって、PEACO-XはSRACシステムのPEACOルーチンに対応する高速炉用版と位置付けることができる。また、領域数や組成数の観点から、PEACO-Xは一連のPEACOルーチンのバージョンアップと言える。

ここでは、PEACO-Xで用いた計算アルゴリズムと超微細群構造を第2章で述べ、群定数作成を第3章で、PEACO-Xの構造および計算例について第4章で述べる。さらに、PEACO-X作成時に導入した仮定等の妥当性について第5章で検討する。また、超微細群群定数(MCROSSライブラリ)作成に関する入力例およびPEACO-Xの入力例、PEACO-XとPEACO-IIの比較等を付録に示す。

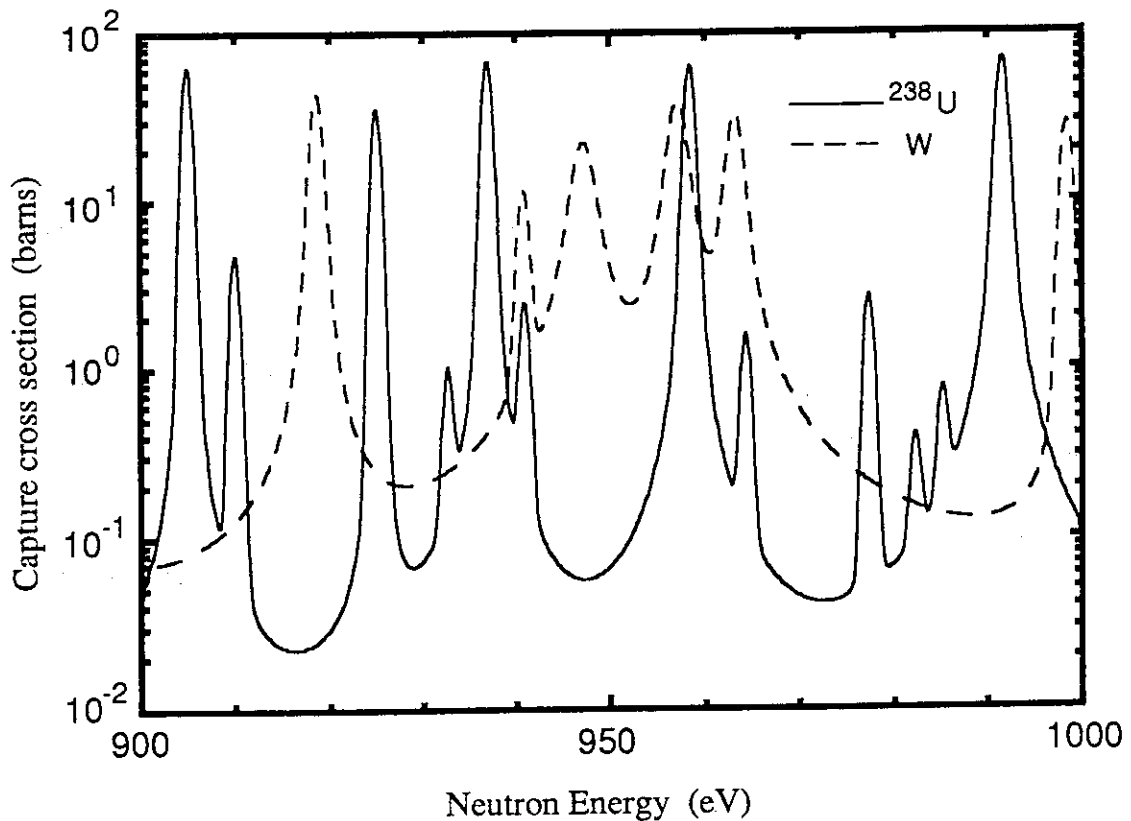


Fig. 1.1 Capture cross sections of ^{238}U and tungsten (W) at $T=300\text{K}$

2. PEACO-Xの計算アルゴリズムと群構造

2.1 衝突確率法による中性子バランス方程式

計算対象である非均質セル内の空間領域*i*内で、中性子束分布は平坦であり、散乱反応等による2次中性子の角度分布は等方であると仮定する。今、領域*j*の中性子が領域*i*で最初に衝突をする確率 (First-Flight Collision Probability) を P_{ij} とすると、領域*i*での全反応率は、レサジー u を用いて(2.1)式で表せる。

$$\Sigma_{t,i}(u, T_i) \phi_i(u) V_i = \sum_j P_{ij}(u) V_j Q_j(u) \quad (2.1)$$

ここで、 $\Sigma_{t,i}(u, T_i)$: 領域*i*での温度*T*の全断面積
 $\phi_i(u)$: 領域*i*の中性子束
 V_i : 領域*i*の体積
 $P_{ij}(u)$: 領域*j*を出た中性子が領域*i*で最初に衝突をする確率
 $Q_j(u)$: 領域*j*での中性子源

(2.1)式において、衝突確率 (P_{ij}) と領域*j*での中性子源 (Q_j) を得ると、領域*i*における中性子束 (ϕ_i) が求まる。

衝突確率の計算

衝突確率の計算手法はこれまでに種々の形状について研究され、参考文献(14)等にまとめられている。PEACO-Xは、セル内の領域*i*中の中性子束分布を平坦と仮定して、球、円筒、平板、四角格子、六角格子形状に関する衝突確率計算を行なう。さらに、中性子束平坦分布の仮定による計算誤差を小さくするために、領域*i*内をサブ領域に分割可能とした。

減速中性子源の計算

中性子源 (Q_j) の計算は、PEACO-Xが共鳴エネルギー領域を計算対象とすることから、等方弾性散乱による減速中性子を中性子源として、RABBLE⁸⁾で行なった計算手法と同様の手法で行なう。

今、 Q_j は、領域*j*内の核種毎の散乱反応率 ($S_{j,m}$) の核種*m*に関する総和として表すことができるとする。

$$Q_j(u) \equiv \sum_m S_{j,m}(u) \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} S_{j,m}(u) &\equiv \int \Sigma_{s,j,m}(u' \rightarrow u) \phi_j(u') du' \\ &= \frac{1}{(1-\alpha_m)} \int_{u-\xi_m}^u \Sigma_{s,j,m}(u') \phi_j(u') e^{-(u-u')} du' \end{aligned} \quad (2.3)$$

$\Sigma_{s,j,m}(u' \rightarrow u)$: 領域 j で u' から u へ中性子を散乱する核種 m の散乱断面積

$$\alpha_m = \left(\frac{A_m - 1}{A_m + 1} \right)^2$$

$$\xi_m = -\ln \alpha_m$$

A_m : 核種 m の質量

ここで、 $V_i \phi_i(u) e^u = \varphi_i(u)$ とすると、(2.1)および(2.2)式は、

$$\Sigma_{t,i}(u, T_i) \varphi_i(u) = \sum_j P_{ij}(u) \sum_m S_{j,m}^0(u) \quad (2.4)$$

$$S_{j,m}^0(u) = \frac{1}{(1-\alpha_m)} \int_{u-\xi_m}^u \Sigma_{s,j,m}(u') \varphi_j(u') du' \quad (2.5)$$

と表せる。さらに、両式を多群近似で表すと、

$$\Sigma_{t,g,i}(T_i) \varphi_{g,i} = \sum_j P_{ij,g} \sum_m S_{g,j,m}^0 \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} S_{g,j,m}^0 &= \frac{1}{(1-\alpha_m)} \int_{u_g}^{u_{g+1}} S_{j,m}^0(u) du \\ &= \frac{1}{(1-\alpha_m)} \int_{u_g}^{u_{g+1}} du \int_{u-\xi_m}^u \Sigma_{s,j,m}(u') \varphi_j(u') du' \\ &\equiv \frac{\Delta u_g}{(1-\alpha_m)} \int_{u_g-\xi_m}^{u_g} F_{j,m}(u) du \end{aligned} \quad (2.7)$$

となる。ここで、

$$\varphi_{g,j} = \int_{u_g}^{u_{g+1}} \phi_j(u) du = \int_{u_g}^{u_{g+1}} \phi_j(u) e^u du$$

であり、 $F_{j,m}$ は、領域 j 中の核種 m による衝突密度を表す。

今、レサジー幅が、中性子が領域 j 内の最重核種と1回の散乱で得られる最大レサジー (ξ) よりも十分に狭い場合、 g 群内での中性子衝突回数は1回と仮定でき、中性子は g 群内で吸収されるか、他の群へ移動 (散乱) すると考えることができる。この仮定のもとで、 g 群での領域 j 中の核種 m による減速中性子源は、(2.8)式に示す回帰方程式で得ることができる。

$$S_{g,j,m}^0 = \frac{\Delta u_g}{\Delta u_{g-1}} S_{g-1,j,m}^0 + \frac{\Delta u_g}{(1-\alpha_m)} (F_{g-1,j,m} - F_{g-L_m,j,m}) \quad (2.8)$$

$$F_{g,j,m} = \int_{u_g}^{u_{g+1}} \Sigma_{s,j,m}(u) \varphi_j(u) du = \Sigma_{s,g,j,m} \varphi_{g,j}$$

$$F_{g-L_m,j,m} = \int_{u_{g-1}-\xi_m}^{u_g-\xi_m} F_{j,m}(u) du$$

2.2. 超微細群構造

群構造の決定に際して、以下の2つの条件を考慮した。

① 中性子束計算に起因する条件

前節で述べたように、中性子束計算では、等方弾性散乱による減速中性子を中性子源とし、 g 群のレサジー幅がセル内の最重核と中性子との1回の弾性散乱で得られる最大レサジー (ξ) に比べて充分小さいので、 g 群内の中性子衝突回数は1回であると仮定した。高速炉内での最重核種は ^{238}U や ^{239}Pu 等の燃料核種であり、中性子がこれらの核種と1回の弾性散乱で得る最大レサジーは0.016~0.017 (たとえば、 ^{239}Pu の場合、 $\xi=0.0167$) である。したがって、微細群構造でのレサジー幅 (すなわち、エネルギー幅) は、この最大レサジーより充分に小さい必要がある。

また、等方弾性散乱による減速中性子のみを源としているため、計算対象エネルギー範囲は、核分裂中性子の効果や非弾性散乱の効果が無視できる範囲でなければならない。

② 断面積に起因する条件

1つの孤立した共鳴断面積をBethe-Placzekの近似式で表すと、共鳴断面積をエネルギー積分した共鳴ピーク面積は温度に依らず一定である。このことから、共鳴ピーク面積を計算する積分区間に比べて等しいか大きいエネルギー幅において、中性子束が一定の場合、そのエネルギー幅内の反応率および群定数は温度依存を示さない。そこで、共鳴ピーク面積の積分区間を数メッシュに分割することにより、温度上昇による共鳴断面積の変化を群定数で詳細に表し、その結果中性子束の温度変化が表せるようにする必要がある。よって、エネルギーメッシュ幅は、温度上昇に伴う共鳴ピークのドップラー幅の変化と同程度またはそれ以下が適当であると考えられる。ドップラー幅は、核種の質量の平方根に反比例するので、重核種について検討すれば十分である。ここでは、ドップラー効果解析の観点から、種々の温度に対する ^{238}U のドップラー幅をTable.2.1に示す。たとえば、温度が300Kから1100Kに上昇した場合、 ^{238}U のドップラー幅は、100keV近傍では6eV ($\Delta u=6 \times 10^{-5}$)、10keV近傍では1.9eV ($\Delta u=2 \times 10^{-4}$)、1keV付近では0.6eV ($\Delta u=6 \times 10^{-4}$)、そして、100eV付近では0.19eV ($\Delta u=2 \times 10^{-3}$)の変化をする。したがって、超微細群構造のエネルギーメッシュ幅は、これらの値より小さいことが必要条件である。

超微細群群定数の作成では、PROF GROUCH-G¹⁵⁾、NJOY¹⁶⁾、TIMS-1¹⁷⁾等の断面積処理コードの利用が考えられる。PROF GROUCH-GやNJOYを用いた場合、非分離領域の群定数は核データライブラリーの共鳴パラメータを用いて共鳴パラメータを与えるエネルギー近傍でのスムーズ断面積とNarrow Resonance近似に基づく自己遮蔽因子 ($f(T, \sigma_0)$) から成り、他のエネルギー点での断面積は内挿法で求める。一方、分離領域では、共鳴パラメータからpointwise断面積を作成し、Kernal Broadning法によりドップラー拡がりを考慮したpointwise断面積を計算する。その後、両共鳴領域について任意の群構造へ断面積を縮約して、群定数を作成する。その結果、群定数は非分離領域の断面積と自己遮蔽因子のセットと分離領域の断面積から構成される。

TIMS-1を用いた場合、非分離領域ではモンテカルロ法に基づくladder発生による疑似共鳴断面積を、分離領域ではBreit-Wigner公式に基づいて超微細群断面積を作成するので、群定数は分離・非分離の区別ない超微細群断面積セット (MCROSSライブラリー) を得る。したがって、TIMS-1を用いた場合の方が非分離共鳴領域からの超微細群解析が容易となる。ここで、MCROSSライブラリーの群構造をTable.2.2に示す。この群構造は、前述の条件①および②を満足する。

以上から、PEACO-Xでの超微細群群構造はMCROSSライブラリーと同一とした。すなわち、エネルギー範囲は0.2eV~100keVであり、総群数は151,700群である。

Table 2.1 Doppler width of ^{238}U

Energy	Doppler width			
	T=300K	T=1100K	T=1800K	T=2300K
1 eV	0.02eV	0.04eV	0.05eV	0.06eV
10 eV	0.07eV	0.13eV	0.16eV	0.18eV
100 eV	0.21eV	0.40eV	0.51eV	0.57eV
1keV	0.66eV	1.26eV	1.62eV	1.83eV
10keV	2.09eV	3.99eV	5.11eV	5.78eV
100keV	6.60eV	12.6 eV	16.2 eV	18.3 eV

Table 2.2 Ultra-fine group structure in MCROSS library

Energy boundary	Energy width	Number of group
0.2 eV ~ 46 eV	4.0×10^{-4}	13,630
46 eV ~ 1.0keV	2.0×10^{-4}	15,330
1.0keV ~ 4.6keV	1.0×10^{-4}	15,370
4.6keV ~ 10 keV	5.0×10^{-5}	15,300
10 keV ~ 100 keV	2.5×10^{-5}	92,070

3. 群定数 (MCROSS ライブラリー) の作成

群定数の作成で使用する評価済み核データライブラリーは、JENDL-3とした。これは、JENDL-3が、JENDL-2やENDF/B-IVに比べて、 ^{238}U の共鳴構造が微細であり、Wの断面積を有していること、断面積処理計算コードがENDF/B-VIを処理できないことに因る。

断面積処理に関しては、前章で述べたように分離および非分離共鳴断面積を有する共鳴核種 (重核種) に対してTIMS-1¹⁷⁾を用いる。一方、共鳴断面積や非分離共鳴断面積を有しない核種 (軽核種および中重核種) に対してはPROF GROUCH-G¹⁵⁾を用いた。これは、軽核では大部分の核種が共鳴構造を有さず、中重核では共鳴構造を有しても非分離領域を有さないかその範囲が非常に狭いためにTIMS-1による処理が適さないためである。このTIMS-1およびPROF GROUCH-G計算コードによる断面積処理過程は、高速炉解析に用いられる70群群定数JFS-3の作成やSRAC内蔵の高エネルギー領域群定数の作成時の断面積処理過程¹⁸⁾と同じである。

群定数作成の計算のフローをFig.3.1に示す。TIMS-1では、核データライブラリーからMCROSSルーチンまでを使用して、MCROSSライブラリーを作成する。一方、PROF GROUCH-Gでは、核データライブラリーから温度T(K)でのドップラー拡がりを考慮した pointwise 断面積 (PENDF) を0.1%の精度で作成する。次に、TIMSINFを用いて、100keV以下のエネルギー領域に対して PENDF から 1/E スペクトルで重み付けた無限希釈断面積を、MCROSSライブラリーの群構造で作成する。その後、MAKEMCRSで MCROSSライブラリーフォーマットへ変換する。TIMSINFおよびMAKEMCRSの入力については、付録1に示す。

群定数作成の対象核種は、高速炉解析に必要な21核種とした (Table.3.1参照)。これらの核種に対して、T=300Kでの超微細群群定数を作成した。さらに、ドップラー実験解析に必要な ^{16}O 、W(nat.) 及び ^{238}U に対して、T=300Kに加えて、573K、823K、1100K、1400K、1800K、2000K、2300Kの7温度点の群定数を作成した。

Table 3.1 Nuclide list in MCROSS library

Nuclide	NUCLID(i) ^{*)}	NCODE(i) ^{*)}
H-1	H	3011
B-10	B10	3051
B-11	B11	3052
C-12	C	3061
O-16	O	3081
Na-23	NA	3111
Al-27	AL	3131
Cr(nat.)	CR	3240
Mn-55	MN	3251
Fe(nat.)	FE	3260
Ni(nat.)	NI	3280
Zr(nat.)	ZR	3400
W(nat)	W	3740
U-235	U235	3924
U-238	U238	3926
Np-237	N237	3931
Pu-238	P238	3942
Pu-239	P239	3943
Pu-240	P240	3944
Pu-241	P241	3945
Am-241	A241	3951

*) These parameters are used for input data in PEACO-X (see Chapter 4)

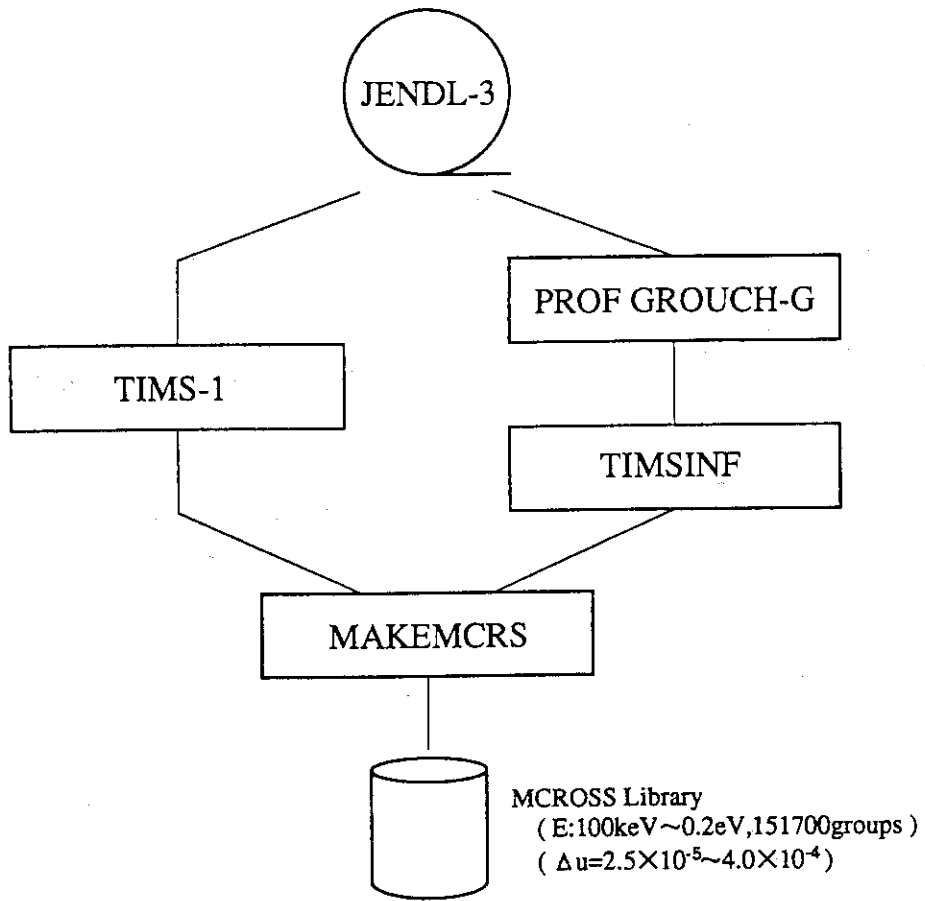


Fig. 3.1 Calculation flow for generation of MCROSS library

4. PEACO-Xの構成と計算例

4.1 入力データの説明 (入力のマニュアル)

Card #00 で計算に必要なMCROSSライブラリー中の核種を論理機番 (FT50～) へ核種毎に割付け、Card #01 ～ #08 でセル計算に必要な諸条件を指定する。

Card #00-1 (free format)

NLIB : MCROSSライブラリーから読み込む群定数ファイルの数

Card #00-2 (free format)

(LIBMAT(i), : 論理機番 (FT50～) から読み込む群定数の核種コード (MATNO)

LIBTMP(i), : 論理機番 (FT50～) から読み込む群定数の核温度 (K)

i=1, NLIB)

(注) LIBMAT と LIBTMP の入力データは、論理機番 (FT50～) から読む MCROSSライブラリー中に記述されたデータと一致するように入力する。

Card #00-2 は、NLIB(Card #00-1) 回繰り返して入力する。

Card #01 (18A4)

TIL(i) : タイトル (72文字)

Card #02 (12I6)

KREG : 領域数 (≤ 50)

KMAT : セル計算で用いる核種数 (≤ 20)

dummy : (未使用)

KCOMP : 物質数 (≤ 25)

dummy : (未使用)

dummy : (未使用)

KBG : MCROSSライブラリーでの Broad group の群数
(=11(fixed))

Card #03 (12I6)

ISH : 体系の指定

-2: 均質

-1: 平板

0: 円筒

- 1: 四角格子
 2: 六角格子
 3: 球
- NSYM : セルの対称性オプション (平板の場合)
 0: 対称性無し
 1: 対称性有り
- NCELL : P_{ij} を計算する上で考慮すべきセルの数
- IBOUND : 境界条件
 0: 境界で等方反射
 1: 境界で完全反射
 2: Fixed reflection boundary condition.
- NGA : ガウス積分のオーダー
 ("0" の場合、デフォルト値 "8" を採る)

Card #04 (12I6)

- NPLOT(≠0) : 微細群 (超微細群の10倍のレサジー幅の群構造) のプロットファイルの作成
- LISTR(≠0) : 各領域の中性子束 (微細群) のプリント
- LISTS(≠0) : 各サブ領域の中性子 (微細群) のプリント

ISH = -2 (Card #03) の場合、Card #05 は不要

Card #05 (2I6,E12.5)

- (NCOMP(i), : 領域 i の物質番号
 NSUBR(i), : 領域 i 中で、領域 (i + 1) と接するサブ領域の番号
 RMAX(i), : 中心から領域 i の外側境界までの距離
 i=1, KREG)

Card #06 (6E12.5)

- (EN(i), : MCROSSライブラリーでの Broad group のエネルギー境界 (eV)
 i=1, KBG+1)

Card #07~#08 は、KMAT(Card #02) 回繰り返して入力する。

Card #07 (A4, 2X, 2I6)

- NUCLID(i) : 核種名
 NCODE(i) : 核種コード
 IDUMMY(i) : 温度 (K)

Card #08 (6E12.5)

(DEN(i,j), : j 番目の物質の原子数密度 (atoms/(barns-cm))
j=1,KCOMP)

以下に、PEACO-Xで取り扱える物質数等の制限値をまとめる。

①核種数 (KMAT)

最大核種数は、20である。ただし、同一核種であっても、温度が異なる場合は異核種とする。

②組成数 (KCOMP)

取り扱う最大組成数は、25である。PEACO-Xでは衝突確率計算において内挿法を用いないので、組成に対して燃料・非燃料組成の区別は行わない。したがって、セル内の全ての領域において共鳴核種が存在しても構わない。ただし、温度の異なる同一核種は異核種として取扱うので、組成が同じでも温度が異なる場合は、異組成と見做す。

③領域数 (KREG)

最大領域数は、50領域である。なお、衝突確率計算において、領域内の中性子束平坦近似による計算誤差を減少するために、領域をサブ領域に分割することができる。この場合、サブ領域および領域の総数は50を超えてはならない。

④形状

均質、球、円筒、平板四角格子、六角格子

⑤入力データ (核データライブラリー)

すべての核種に対して、MCROSSライブラリーから読む。

4.2 計算結果の出力

PEACO-Xの計算結果は、印字出力とファイル出力からなる。印字出力は、入力データの確認、減速源の計算に関するデータ、超微細群のエネルギー構造、微細群構造 (レサジー幅: $10 \times \Delta u$ (超微細群)) での中性子束分布 (単位レサジー幅・単位体積当り) である。一方、ファイル出力は、超微細群構造での中性子束分布 (単位レサジー幅・単位体積当り) と、超微細群構造での ϕ_{ij} (領域 j から領域 i へ飛行する中性子束) から成る。

PEACO-Xによる計算結果は、MCROSSライブラリーでの非分離領域共鳴断面積が疑似的共鳴断面積であるために、超微細群での結果を統計的に十分な群数に平均 (縮約) する必要がある。そこで、超微細群の結果からJFS-3タイプの群構造へ縮約する計算コードPEACO-X-EDITを作成した。PEACO-X-EDITは、PEACO-Xのファイル出力結果とMCROSSライブラリーを用いて、領域及び核種毎の実効断面積 (σ_{eff})、領域毎のセル内各領域からの反応率の寄与 (R_{ij})、領域毎のセル内各領域からの中性子束の寄与 (ϕ_{ij}) を計算する。MCROSSライブラリーからJFSタイプの実効断面積までの計算の流れをFig.4.1に示す。

4.3 PEACO-Xコードの構成

PEACO-Xコード全体のプログラムの流れをFig.4.2に、減速散乱源及び衝突確率の計算部分の流れをFig.4.3に示し、PEACO-Xのツリー構造をFig.4.4に示す。また、各サブルーチンの機能を以下にまとめる。

サブルーチンの機能

1. ABCD1
衝突確率計算 (球、円筒、四角格子、六角格子体系) 制御ルーチン
2. ABCD2
衝突確率計算 (平板体系) 制御ルーチン
3. AV2
超微細群中性子スペクトル計算 制御ルーチン
4. BLOCK0(block data)
Default 値データ
5. BLOCK1(block data)
Bickley function 計算用データ
6. CYL
球体系でのパスの長さの計算
7. DATA
入力データの編集
8. DATA2
巨視的断面積 (Σ) の作成
9. E(function)
 $E_i(x)$ 関数 ($i = 1 \sim 5$)
10. EISUM
平板体系での衝突確率の計算に必要な $E_i(x)$ 関数の計算
11. ELIM
中性子の飛跡に沿う領域と optical path length の設定 (円筒、平板、四角格子、六角格子体系)
12. ELIM2
中性子の飛跡に沿う領域と optical path length の設定 (球体系)
13. HEX
optical path length の計算 (六角格子体系)
14. INPUT
入力データの読み込み
15. INSERT
中性子の飛跡と領域境界との交点の決定 (円筒、平板、四角格子、六角格子体系)
16. INSER2
中性子の飛跡と領域境界との交点の決定 (球体系)

- 17. ISO
中性子の飛跡と領域境界との交点の決定 制御ルーチン (円筒、平板、四角格子、六角格子体系)
- 18. MAIN
メイン制御ルーチン
- 19. MAKEPT
球体系での optical path length 計算 制御ルーチン
- 20. MINIM
最小重量核種の検索
- 21. ONE
球体系での衝突確率計算に必要な指数関数 ($\exp(x)$) の計算
- 22. OUTPUT1
入力データ等のプリント
- 23. OUTPUT2
微細群中性束等のプリント
- 24. PSAVE
プロット用データファイルの作成
- 25. SPHERE
衝突確率の計算 (球体系)
- 26. SQUARE
optical path length 計算 (四角格子体系)
- 27. TWO
球体系での衝突確率計算に必要な指数関数 ($\exp(x)$) の計算
- 28. XFREAD
ファイルからMCROSSライブラリーの読み込み
- 29. XSCHK
中性子捕獲、弾性散乱、核分裂断面積のチェック
- 30. XSCOPY
スペクトル計算に使用する微細群断面積の準備
- 31. XSECTT
衝突確率計算 制御ルーチン

4.4 計算例

PEACO-Xによる計算例として、球モデルおよび円筒モデルでの計算を実施した。その結果を以下に記す。計算に使用したセルモデルと各領域の原子個数密度をFig.4.5及びTable.4.1にそれぞれ示す。このセルモデルは、高温ドップラー効果実験解析に使用する一部であり、炉心領域の組成は金属燃料高速炉を模擬した組成である。

① 球モデルによる計算例

球モデルによる計算例として、箔加熱・反応率測定法による高温ドップラー効果実験の解

析モデルに関する計算を行った。セルは、Fig.4.5に示すように4領域から成る。計算実行のための入力データ及び制御文を付録2に示す。計算に必要なCPU時間は、ベクトル計算機FACOM VP-2600/10で約4分、スカラー計算機FACOM M-780/20で約6分であった。計算結果として、領域1 (UO_2 箔領域)での微細群中性子スペクトルをFig.4.6に示す。

② 円筒モデルによる計算例

円筒モデルによる計算例として、サンプル加熱・反応度変化測定法による高温ドップラー効果測定の解析モデルに関する計算を行った。ここでは、3領域モデルとし、共鳴干渉効果のドップラー反応度に対する影響を調べるために、一次摂動計算で使用するドップラーサンプルの実効断面積の差に対して、Wの影響あるいは、炉心中の ^{238}U の影響を検討した。このモデルでのCPU時間は、FACOM VP-2600/10で約20分である。

②-1 Wによる ^{238}U ドップラー効果への共鳴干渉効果

ここでは、次の2つのケースについてセル計算を行い、両者の結果を比較した。

ケース1：領域2（構造材領域）において、Wが存在する場合

ケース2：領域2（構造材領域）において、Wが存在しない場合

計算結果の一例として、ケース2の場合の各領域の中性子スペクトル（900eV～1keV）をFig.4.7に示す。図より明らかなように、Wによる ^{238}U ドップラー効果への共鳴干渉効果としてドップラーサンプル領域では917eV、945eV、960eV付近で、Wによる共鳴捕獲反応による中性子束の凹みが見られる。

さらに、両ケースについて領域1（ドップラーサンプル領域）の温度が1800Kと300Kでの ^{238}U の実効断面積を求め、その差（ $\Delta\sigma_c(300K \rightarrow 1800K)$ ）を両ケースについて比較した（Fig.4.8）。また、 $\Delta\sigma_c(300K \rightarrow 1800K)$ を用いて実施した一次摂動法によるドップラー反応度のエネルギーブレイクダウンをあわせて示す。図から明らかなように、1keV以下のエネルギー範囲でWによる共鳴干渉効果により両ケース間で $\Delta\sigma_c(300K \rightarrow 1800K)$ に相違があることがわかる。ドップラー反応度で見ると、700eVから2keVの範囲でWによる影響が顕著に現れていることが分かる。

②-2 炉心燃料中の ^{238}U による ^{238}U ドップラー効果への共鳴遮蔽効果

上記②-1と同様のセルモデルで、次の2つのケースについてそれぞれセル計算を行ない、ドップラーサンプルでの ^{238}U の $\Delta\sigma_c(300K \rightarrow 1800K)$ を求めた。

ケース1：領域3（炉心領域）において、 ^{238}U が存在する場合

ケース2：領域3（炉心領域）において、 ^{238}U が存在しない場合

ここで、ケース2は孤立円筒モデルであり、これは従来の解析手法であるSLAROMを用いた場合に相当する。計算結果を、Fig.4.7と同様に、 $\Delta\sigma_c(300K \rightarrow 1800K)$ を用いた反応度計算結果によるドップラー反応度のエネルギーブレイクダウンと併せてFig.4.9に示す。図から、炉心燃料中の ^{238}U による共鳴遮蔽効果により、ドップラー反応度に大きく寄与する1keV以上のエネルギー領域での $\Delta\sigma_c(300K \rightarrow 1800K)$ では、ケース2よりケース1の結果の方が全般にやや大きい。ドップラー反応度で見ると、ケース1とケース2の相違が顕著に現われている。このことから、炉心燃料中の ^{238}U による共鳴遮蔽を考慮することによりドップラー反応度の計算値が大きくなることがわかる。

Table 4.1 Atomic number density used in sample calculation

Spherical cell model

Nuclide	Region 1 UO ₂ foil	Region 2 (W)	Region 3 (SUS+W)	Region 4 Core
U-235	1.128-5			7.0716-5
U-238	4.193-3			9.7536-3
Pu-239				1.0455-3
Pu-240				9.2158-5
Pu-241				3.6807-6
Am-241				4.9706-6
H				1.0277-4
O	8.406-3			8.6087-6
Na				9.5705-3
Al				1.4997-4
Cr			8.5259-3	3.6741-3
Fe			3.1432-2	1.3373-2
Ni			3.5175-3	1.6860-3
Mn			4.4275-4	1.9442-4
Zr				2.1722-3
W		6.917-2	4.2442-3	

Cylindrical cell model

Nuclide	Region 1 Doppler sample	Region 2 (SUS+W)	Region 3 Core
U-235	5.701-5		7.0716-5
U-238	2.127-3		9.7536-3
Pu-239			1.0455-3
Pu-240			9.2158-5
Pu-241			3.6807-6
Am-241			4.9706-6
H			1.0277-4
O	4.265-2		8.6087-6
Na			9.5705-3
Al			1.4997-4
Cr		8.5259-3	3.6741-3
Fe		3.1432-2	1.3373-2
Ni		3.5175-3	1.6860-3
Mn		4.4275-4	1.9442-4
Zr			2.1722-3
W		4.2442-3	

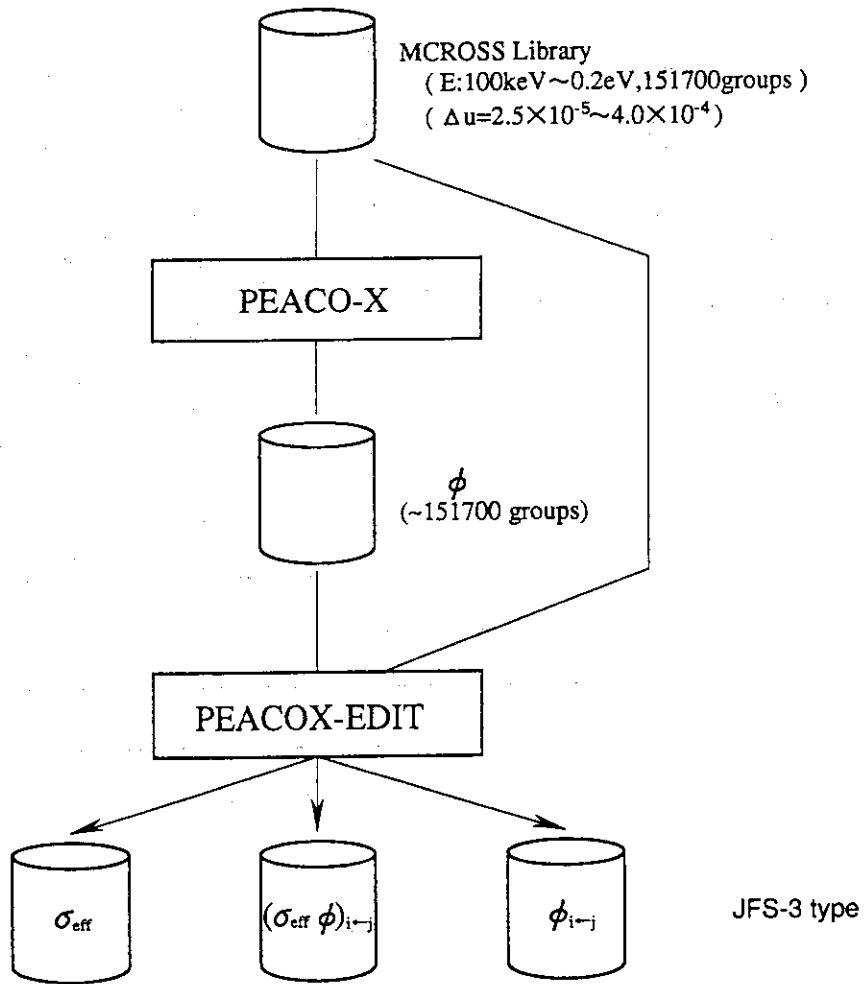


Fig. 4.1 Calculation flow to produce effective cross section with JFS-3 type group structure from MCROSS library

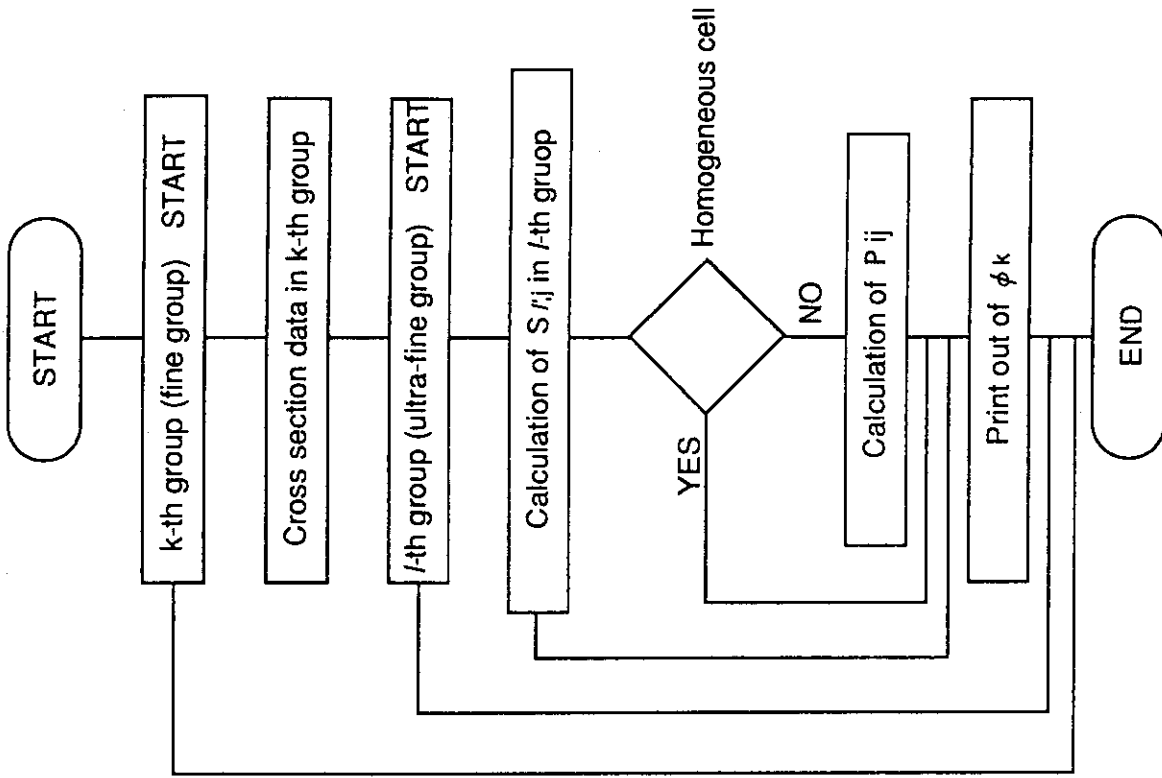


Fig. 4.3 Calculation flow of slowing down source (S_{ij}) and collision probability (P_{ij}) in PEACO-X

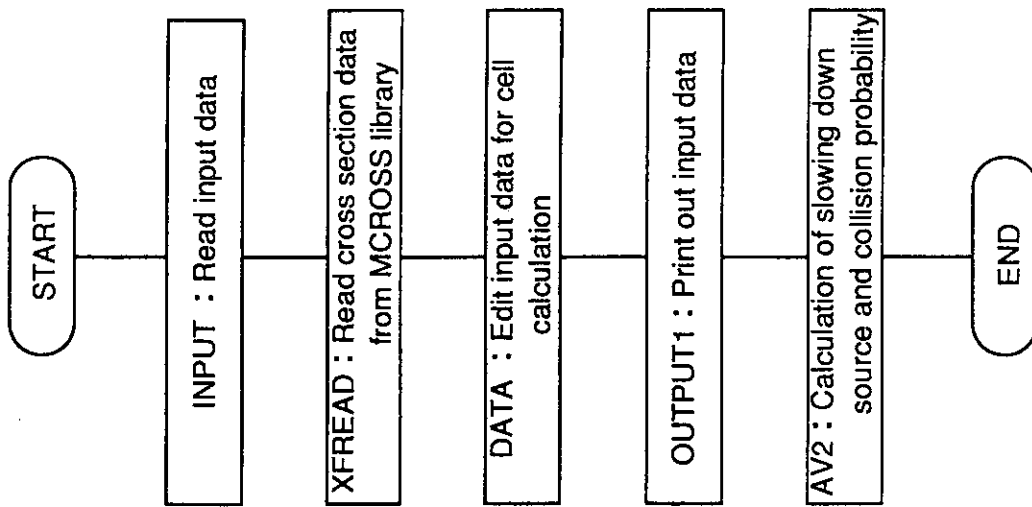


Fig. 4.2 Calculation flow in PEACO-X

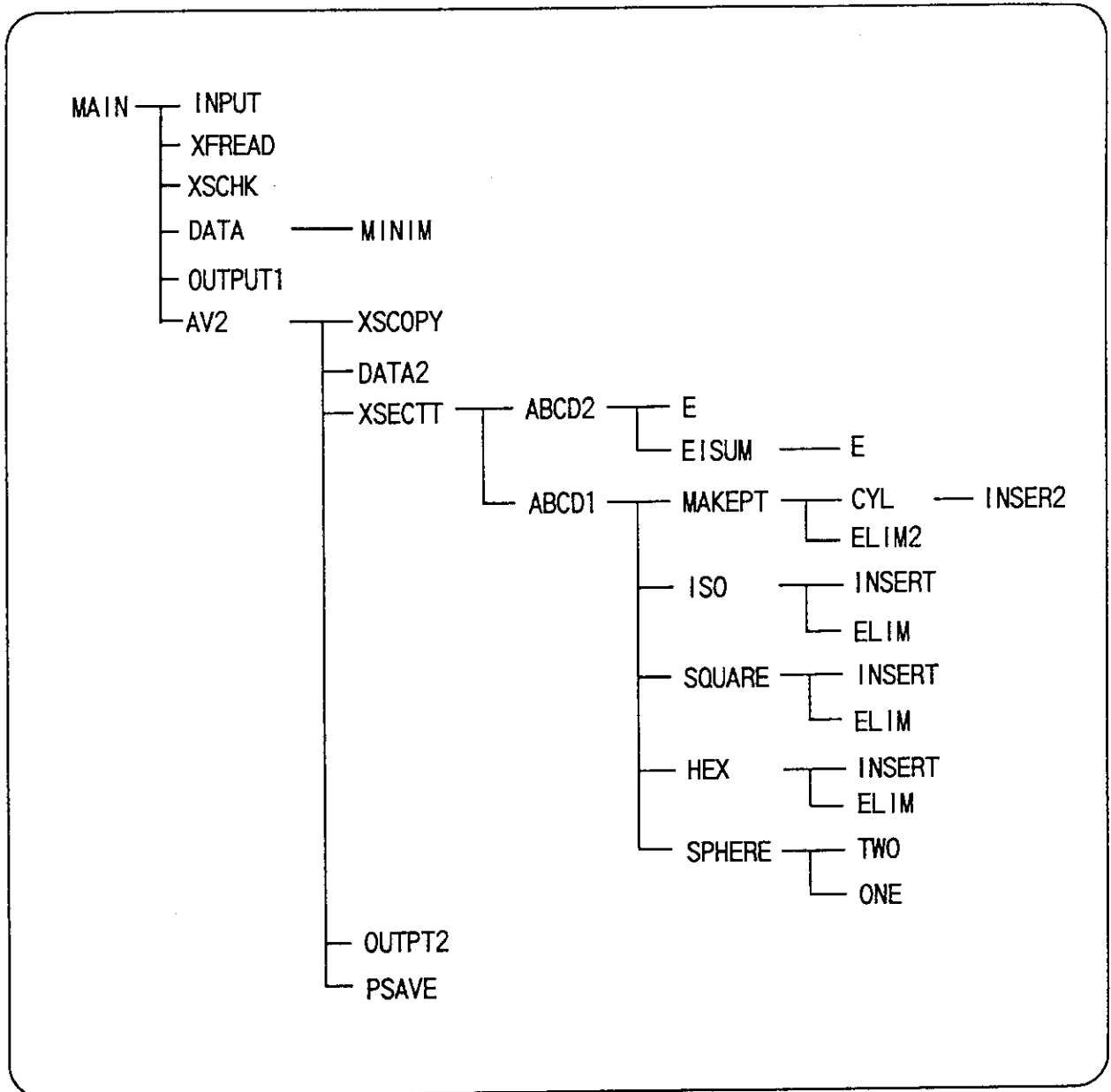
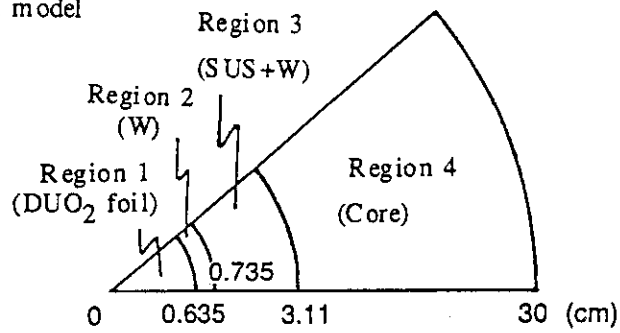


Fig. 4.4 Program tree of PEACO-X

Spherical model



Cylindrical model

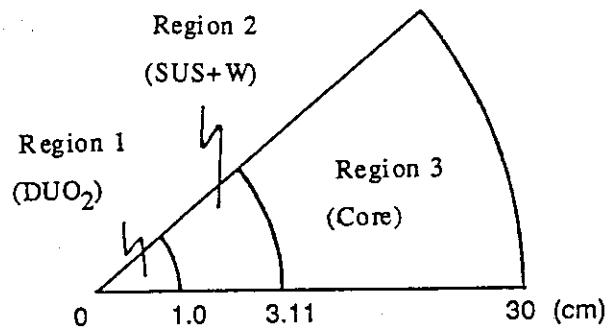


Fig. 4.5 Cell model for sample calculation

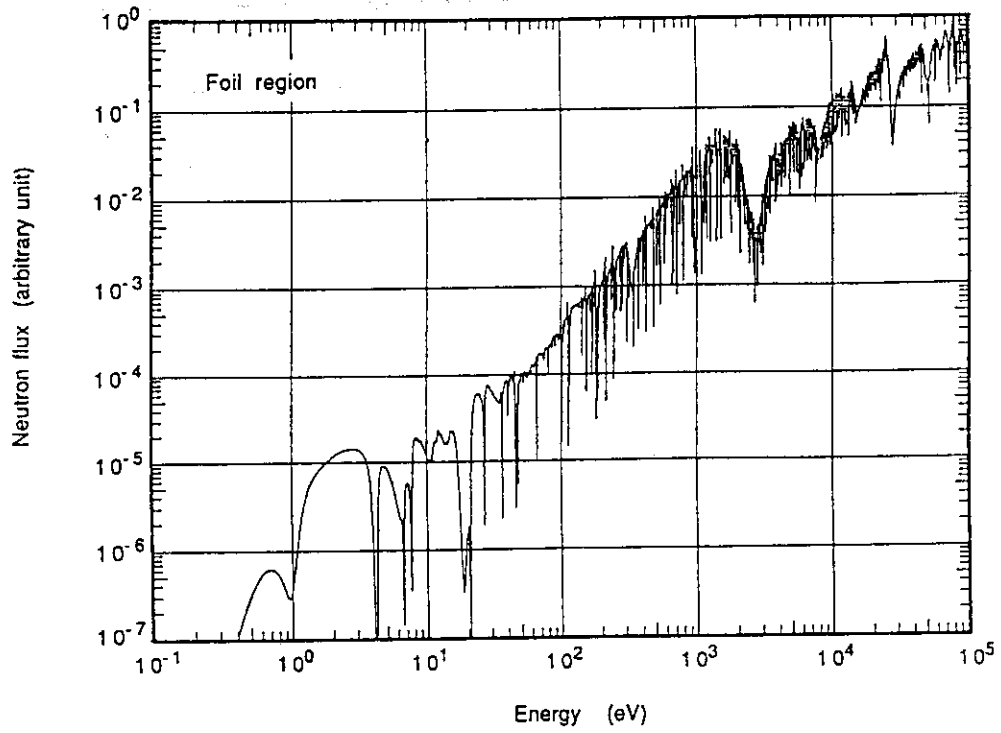


Fig. 4.6 Calculated neutron spectra with fine group structure

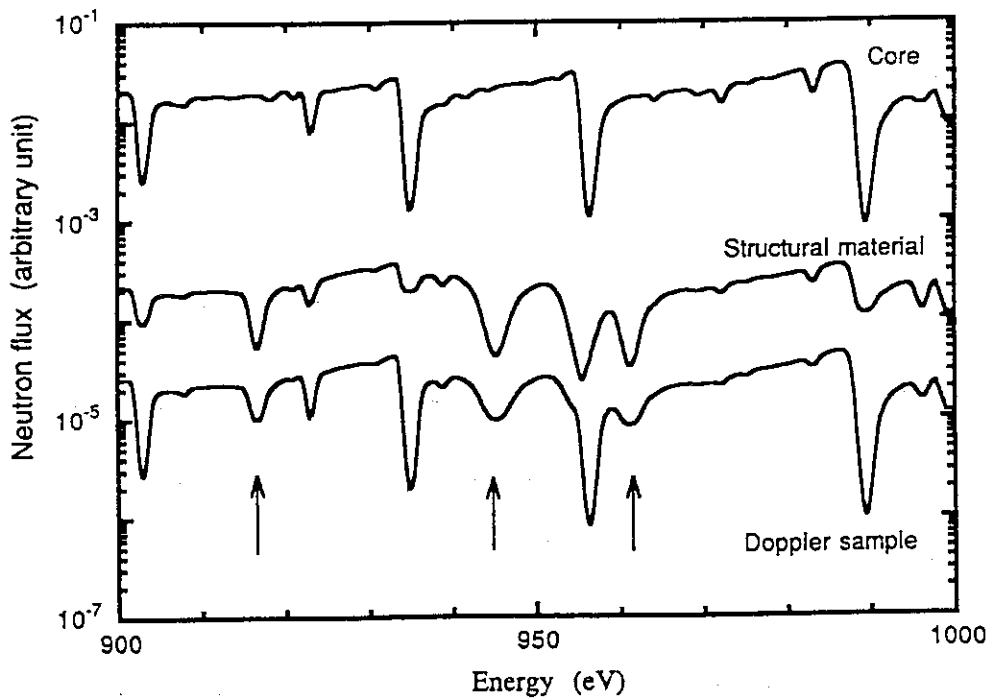


Fig. 4.7 Neutron spectrum in cylindrical cell model from 900eV to 1keV

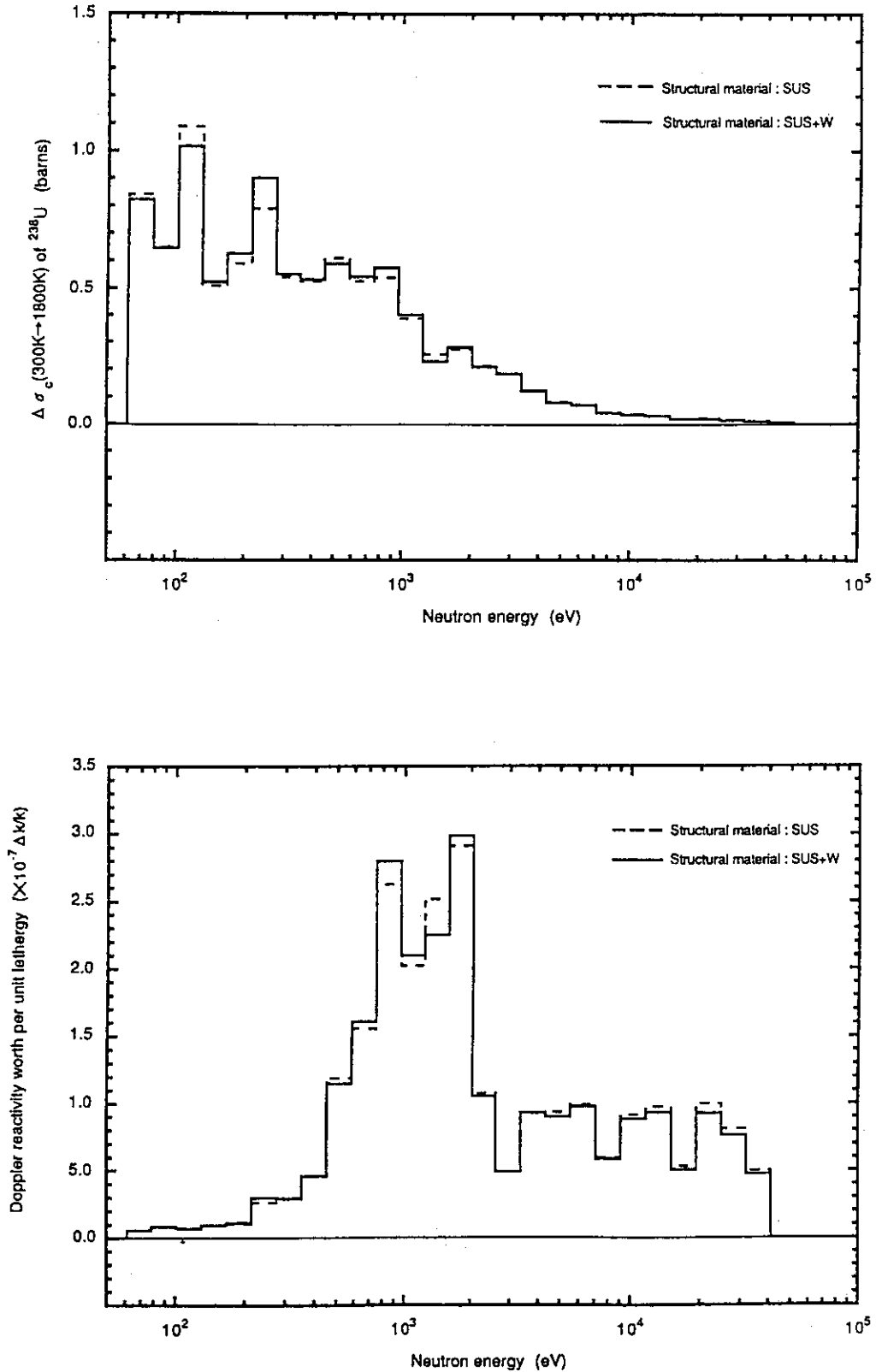


Fig. 4.8 Resonance interaction effect between ²³⁸U in Doppler sample and W in structural material (Upper: $\Delta \sigma_c(300K \rightarrow 1800K)$ of ²³⁸U in Doppler sample, Lower: Doppler reactivity worth)

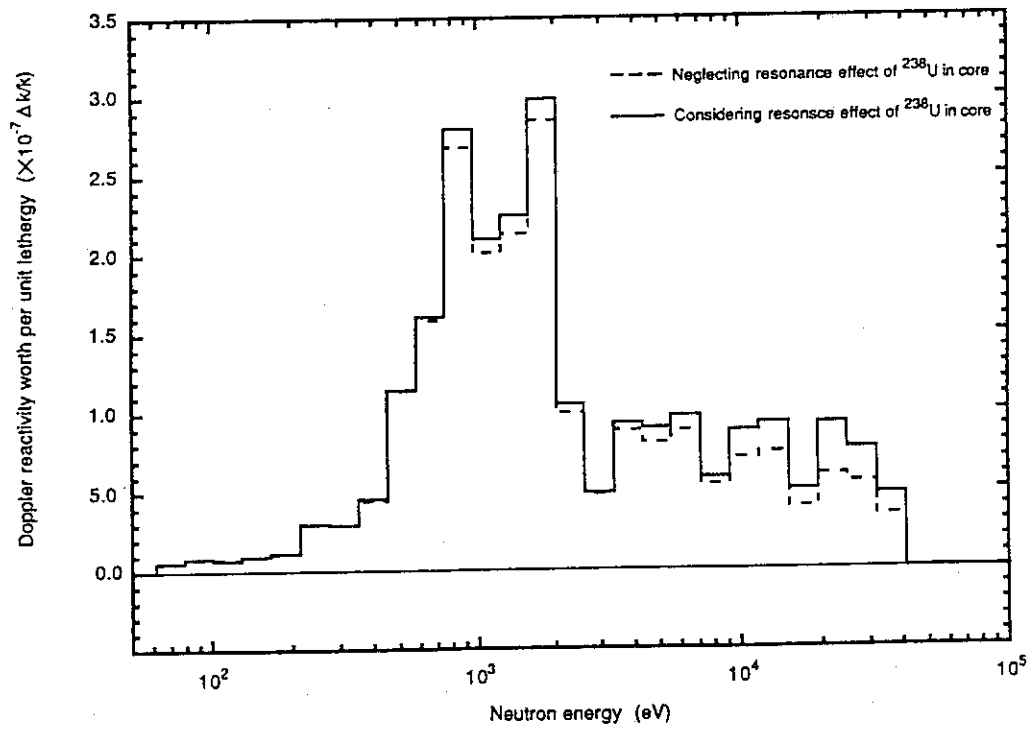
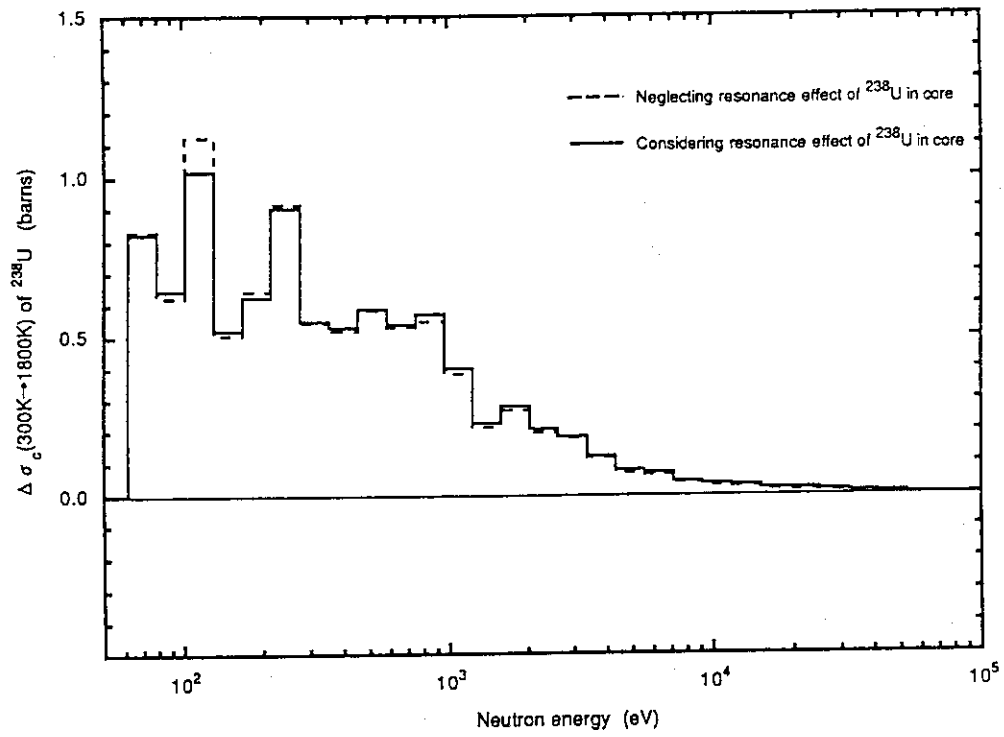


Fig. 4.9 Resonance interaction effect between ^{238}U in Doppler sample and that in core region (Upper: $\Delta \sigma_c(300\text{K} \rightarrow 1800\text{K})$ of ^{238}U in Doppler sample, Lower: Doppler reactivity worth)

5. 検 討

ここでは、ドップラー効果実験解析における超微細群構造の妥当性と、減速中性子源の計算において無視した核分裂中性子や非弾性散乱中性子による中性子スペクトル計算結果への影響について検討する。

5.1 エネルギーメッシュ幅の効果

超微細群構造は、第3章で述べたようにTIMS-1が作成するMCROSSライブラリーと同一とした。この群構造のエネルギーメッシュ幅が、超微細群定数でのドップラー拡がりの様子を記述するのに適当であるか、即ち、群構造がドップラー効果の解析に適している否かを確認するために、エネルギーメッシュ幅が断面積のドップラー拡がりの計算に与える影響について調べた。

ここでは、超微細群でのエネルギーメッシュ幅がTable.3.2に示したMCROSSライブラリーの場合を基準として、2倍のメッシュ幅（ケース：2FG）、5倍のメッシュ幅（ケース：5FG）、10倍のメッシュ幅（ケース：10FG）のそれぞれの場合に対して、温度が300Kから1800Kに変化した場合の ^{238}U の捕獲断面積変化（ $\Delta\sigma$ (300K→1800K)：以下 $\Delta\sigma$ と表す）を求め、基準の場合（ケース：1FG）の結果と比較した。 ^{238}U の捕獲断面積計算に用いたセルモデルは、前章で実施した円筒モデルとした。

それぞれのメッシュ幅でのドップラーサンプルでの ^{238}U 捕獲断面積変化を、JFS-3タイプの群構造のエネルギー群毎にFig.5.1に示す。図では、比較が容易なようにケース1FGの結果で群毎に規格化した。図より、30eV以下の低エネルギー領域では、エネルギーメッシュ幅によらず $\Delta\sigma$ はほぼ一致する。これは、低エネルギー領域の共鳴断面積では、共鳴幅がエネルギーメッシュ幅よりも大きいことによる。但し、ケース10FGの場合、ケース1FGの $\Delta\sigma$ に比べて6eVや20eVの共鳴付近で10~20%の相違がある。一方、100eV以上のエネルギー領域では、 $\Delta\sigma$ はエネルギーメッシュ幅に依存する。ケース2FGではケース1FGに比べて全体に2~3%小さい $\Delta\sigma$ であり、ケース5FGでは10~15%小さな $\Delta\sigma$ である。ケース10FGではケース1FGに比べて全体に20~50%小さく、特に600eVから1keV(38及び39群)や3keV近傍(32群)では、70%程度小さくなる。

さらに、各ケースでの $\Delta\sigma$ を用いてドップラー反応度を計算して、エネルギーメッシュ幅がドップラー反応度へ与える影響について調べた。その結果をFig.5.2に示す。図より、ドップラー反応度は、ケース1FGを基準として、ケース2FGでは0.9%、ケース5FGでは6.2%、ケース10FGでは26%小さな値となる。

以上から、100eV以上のエネルギー領域の $\Delta\sigma$ はエネルギーメッシュ幅に強く依存し、高速炉のドップラー効果実験解析に強く影響を与えることが分かる。一方、Fig.5.2の結果から、エネルギーメッシュ幅がケース1FGの場合ドップラー反応度の計算値は飽和するので、ドップラー実験解析のためのエネルギーメッシュ幅はケース1FG（即ちMCROSSライブラリーの群構造）で

十分であろう。なお、このエネルギーメッシュ幅の $\Delta\sigma$ への効果は、共鳴の数、共鳴幅等に依存するので、核データライブラリーが異なる場合は、同様の検討が必要であろう。

5.2 核分裂中性子及び非弾性散乱反応による中性子スペクトルへの影響

PEACO-Xでは、中性子源は減速中性子だけを考慮し、その減速過程では弾性散乱反応を仮定したために、計算において核分裂中性子や非弾性散乱を考慮していない。実際には、核分裂中性子や数10keV~10MeVのエネルギー範囲での非弾性散乱反応や(n,2n)反応等による100keV以下のエネルギー範囲の中性子源への寄与が考えられる。そこで、これらの核分裂中性子や非弾性散乱が、100keV以下の中性子スペクトル形成に与える影響について調べた。

ここでは、前章の計算例で使用したセルモデルを用いて、セルモデル中の炉心領域での中性子スペクトル計算結果について調べた。この核分裂中性子および非弾性散乱の影響の検討は、PEACO-Xではできないので、JFS-3-J3とSLAROMを用いてセル計算を行い、セル計算で得た中性子スペクトルおよび体系のマクロ断面積等を用いた。その結果は、以下の通りである。

①核分裂中性子による影響

SLAROMによる70群セル計算結果から、核分裂による中性子総数(単位体積当り)を計算し、炉心領域の核分裂スペクトルを用いて中性子を各エネルギー群へ分配した。その後、100keV以下のエネルギー群(19群以下)の中性子数に対する分配された核分裂中性子数の割合を求めた。その結果をTable.5.1に示す。表より、19群では、核分裂中性子を考慮すると高々0.08%しか中性子数が増加しないことが分かる。それ以下のエネルギー領域では増加する割合がさらに小さい。このことから、核分裂中性子によるPEACO-Xでの中性子スペクトルへの影響はほとんど無いといえる。

②非弾性散乱による影響

非弾性散乱による影響として、(1)100keV~10MeVのエネルギー範囲で非弾性散乱反応を起こし、その結果100keV以下のエネルギー範囲へ減速される中性子による寄与と、(2)100keV以下のエネルギー範囲での非弾性散乱による減速過程とについて考えた。ここでは、炉心セル内で非弾性散乱反応率の最も大きい ^{238}U について考慮した。

非弾性散乱の影響評価には、70群群定数セットJFS-3-J3中の ^{238}U の非弾性散乱マトリックスとSLAROM計算で得る中性子束を用いて、上位のエネルギーから100keV以下へ非弾性散乱により減速する中性子数を計算し、当該群の中性子数に対する割合を求めた。また、100keV以下のエネルギー範囲での非弾性散乱反応による中性子数の増加割合を求めた。

計算結果をTable.5.1に示す。表より明らかなように、100keV以上のエネルギー範囲(1群~18群)での非弾性散乱中性子による100keV以下の中性子の増加割合は、19群(86.5keV~111.1keV)において約1%、19群以下のエネルギー範囲では1%以下であり、エネルギーが低くなるにつれて増加割合は概ね小さくなっていく。また、100keV以下のエネルギー範囲での非弾性散乱による

影響では、 ^{238}U の非弾性散乱反応が21群 (67.4keV~52.5keV) まで存在し、このエネルギー領域での非弾性散乱反応による中性子数の増加割合は高々0.6% (20群→23群の場合) しかない。

以上から、PEACO-Xにおいて減速過程で無視した非弾性散乱反応による100keV以下のエネルギー範囲での中性子束スペクトルへの影響は非常に小さいといえる。

Table 5.1 Increase in j-th group neutron flux caused by fission or inelastic scattering reaction

j group	E_L^*	fission (%)	inelastic scattering(i→j) (%)				
			1-18group	19group	20group	21group	22group
19	(86.5)	0.079	1.14				
20	(67.4)	0.045	0.830				
21	(52.5)	0.057	0.307	0.561			
22	(40.9)	0.035	0.101	0.446	0.015		
23	(31.8)	0.033	0.093	0.001	0.583		
24	(24.8)	0.024	0.062		0.459		
25	(19.3)	0.013	0.031		0.135	0.076	
26	(15.0)	0.023	0.053			0.265	
27	(11.7)	0.015	0.027			0.173	

* E_L : Lower energy boundary in keV unit

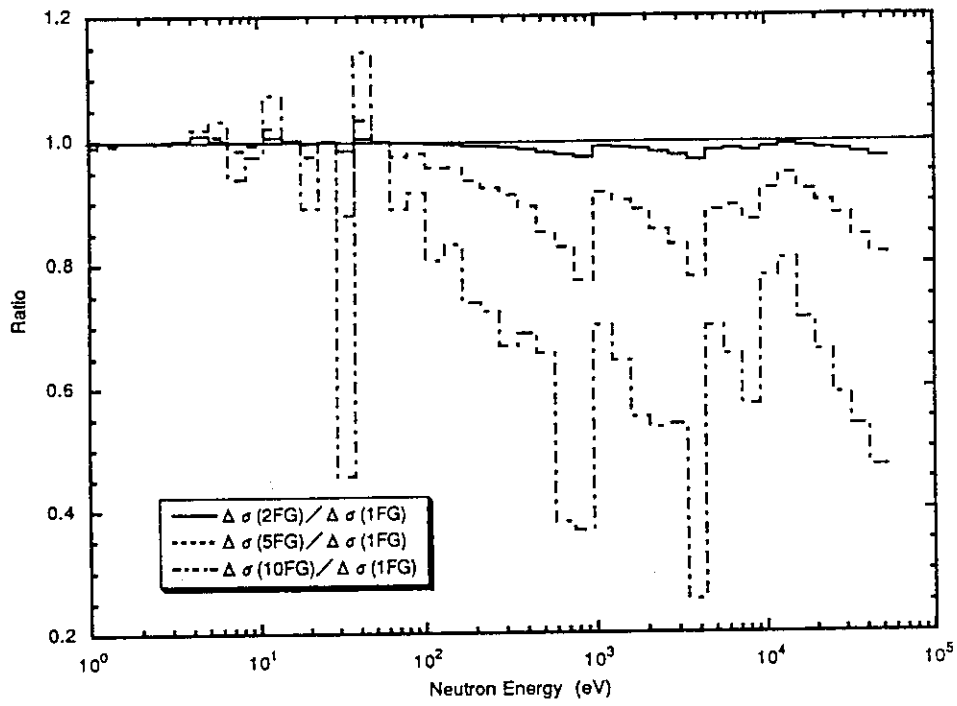


Fig. 5.1 Energy mesh effect for $\Delta \sigma_c(300K \rightarrow 1800K)$ of ^{238}U in Doppler sample

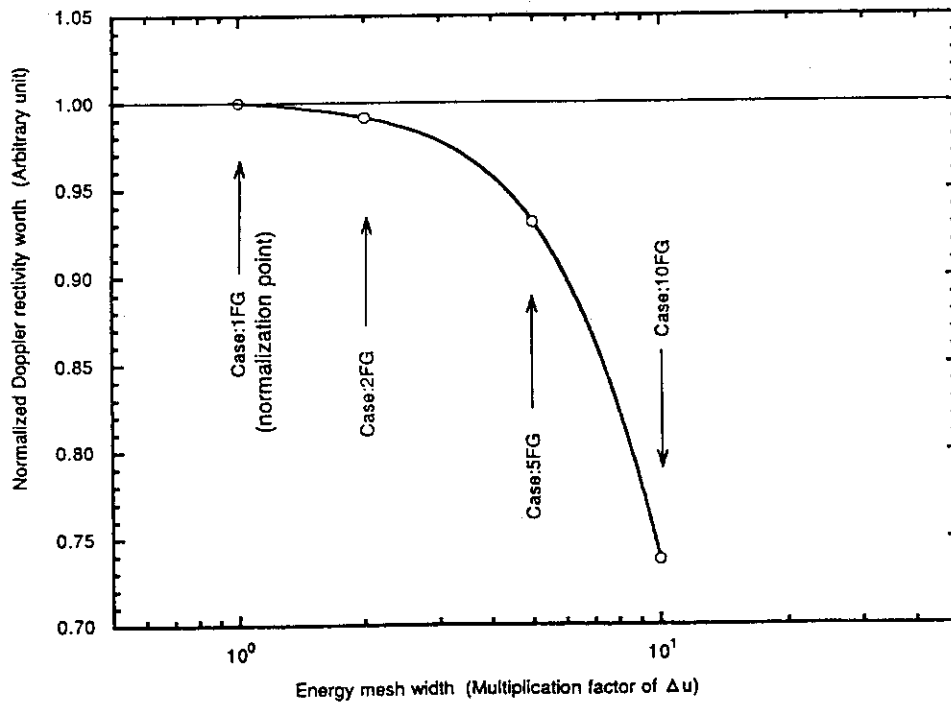


Fig. 5.2 Influence of energy mesh in ultra-fine group structure on Doppler reactivity worth

6. ま と め

FCAにおける高温ドップラー効果測定データを解析するために、 UO_2 ドップラーサンプルと測定装置の構造材核種であるWとの共鳴干渉効果を評価する必要があり、超微細群によるセル計算コードPEACO-Xを開発した。さらに、PEACO-Xで使用する超微細群群定数（MCROSSライブラリー）をJENDL-3から作成した。PEACO-Xは、均質体系および球、円筒、平板、四角格子、六角格子の非均質系でセル計算ができ、20核種、25組成、50領域まで取り扱うことができる。

PEACO-Xの使用により、高速炉体系でのドップラー効果実験解析においてサンプルの実効断面積の詳細計算が可能となり、ドップラーサンプル中の ^{238}U と測定装置構造材のWとの共鳴干渉効果や炉心燃料中の ^{238}U によるドップラーサンプルへの共鳴遮蔽効果の評価が可能となった。

謝 辞

本計算コードを作成するに当たり、原子炉システム研究室前室長石黒幸雄氏にはPEACO-IIについて御教示して頂いた。また、群定数作成では、TIMS-1の使用に関して原子炉システム研究室高野秀機氏、PROF GROUCH-Gの使用に関して遮蔽研究室長谷川明氏に御指導して頂き、MCROSSライブラリーの作成には日本総研(株)金子邦男氏の御協力を得た。これらの方々に深く謝意を表します。また、本研究を遂行するに当たり、激励と有益なコメントを頂いた高速炉物理研究室前室長中野正文氏に感謝致します。

6. ま と め

FCAにおける高温ドップラー効果測定データを解析するために、 UO_2 ドップラーサンプルと測定装置の構造材核種であるWとの共鳴干渉効果を評価する必要があり、超微細群によるセル計算コードPEACO-Xを開発した。さらに、PEACO-Xで使用する超微細群群定数(MCROSSライブラリー)をJENDL-3から作成した。PEACO-Xは、均質体系および球、円筒、平板、四角格子、六角格子の非均質系でセル計算ができ、20核種、25組成、50領域まで取り扱うことができる。

PEACO-Xの使用により、高速炉体系でのドップラー効果実験解析においてサンプルの実効断面積の詳細計算が可能となり、ドップラーサンプル中の ^{238}U と測定装置構造材のWとの共鳴干渉効果や炉心燃料中の ^{238}U によるドップラーサンプルへの共鳴遮蔽効果の評価が可能となった。

謝 辞

本計算コードを作成するに当たり、原子炉システム研究室前室長石黒幸雄氏にはPEACO-IIについて御教示して頂いた。また、群定数作成では、TIMS-1の使用に関して原子炉システム研究室高野秀機氏、PROF GROUCH-Gの使用に関して遮蔽研究室長谷川明氏に御指導して頂き、MCROSSライブラリーの作成には日本総研(株)金子邦男氏の御協力を得た。これらの方々に深く謝意を表します。また、本研究を遂行するに当たり、激励と有益なコメントを頂いた高速炉物理研究室前室長中野正文氏に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 大井川宏之、岡嶋成晃、向山武彦；" F C Aにおける高温ドップラー効果測定 (1) - サンプル加熱・反応度測定法測定装置の開発 -" (to be published)
- 2) 岡嶋成晃、大井川宏之、向山武彦；" F C Aにおける高温ドップラー効果測定 (2) - 箔加熱・反応率測定法測定装置の開発 -" (to be published)
- 3) H.Takano and Y.Ishiguro；" Production and Benchmark Tests of Fast Reactor Group Constant Set JFS-3-J2" , JAERI-M 82-135 (1982)
- 4) M.Nakagawa and K.Tsuchihashi；" SLAROM : A Code for Cell Homogenization Calculation of Fast Reactor" , JAERI 1294 (1984)
- 5) 岡嶋成晃、向山武彦；" F C A X-3 および X I-1 集合体におけるドップラー効果の測定" , JAERI-M 84-086 (1984)
- 6) 岡嶋成晃、向山武彦；" F C A X II-1 集合体におけるドップラー効果の測定" , JAERI-M 85-218 (1986)
- 7) 大井川宏之、岡嶋成晃、向山武彦、佐藤邦男；" F C A X VI-1 及び X VI-2 炉心における ^{238}U ドップラー反応度値の測定と解析" , JAERI-M 92-113 (1992)
- 8) P.H.Kier and A.A.Robba；" RABBLE, A program for Computation of Resonance Absorption in Multiregion Reactor Cells" , ANL-7326 (1967)
- 9) Y.Ishiguro；" PEACO : A Code for Calculation of Group Constant of Resonance Energy Region in Heterogeneous Systems" , JAERI 1219(1974)
- 10) K.Tsuchihashi et al.；" Revised SRAC Code System" , JAERI 1302 (1986)
- 11) K.Shibata et al.；" Japan Evaluated Nuclear Data Library, Version-3 -JENDL-3-" , JAERI 1319 (1990)
- 12) P.F.Rose and C.L.Dunford (Ed)；" Evaluated Nuclear Data File, -ENDF/B-VI-" , BNL (1990)
- 13) Y.Ishiguro；" PEACO-II : A Code for Calculation of Effective Cross Sections in Heterogeneous Systems" , JAERI-M 5527 (1974)
- 14) K.Tsuchihashi；" Collision Probability in Two-Dimensional Lattice by Ray-Trace Method and Its Applications to Cell Calculations" , JAERI-M 85-034 (1985)
- 15) T.Tone and S.Katsuragi；" PROF GROUCH-G A processing code for group constants for a fast reactor" , JAERI 1192 (1970)
- 16) R.E.MacFarlane, D.W.Muir and R.M.Boicourt；" The NJOY Nuclear Data Processing System" , LA-9303-M (1982)
- 17) H.Takano, Y.Ishiguro and Y.Matsui；" TMS-1:A Processing Code for Production of Group Constants of Heavy Resonant Nuclei" , JAERI 1267 (1980)
- 18) 高野秀機、長谷川明、金子邦男；" 速中性子エネルギー領域群定数作成コード・システム : TMS-PGG" , JAERI-M 82-072 (1982)

付録1 PEACO-X用MCROSSライブラリー作成の実行制御文

ここでは、100keV以下のエネルギー領域についてPENDFから1/Eスペクトルで重み付けた無限希釈断面積をMCROSSライブラリーの群構造で作成する計算コード「TIMSINF」の実行用制御文および、MCROSSライブラリーのフォーマットへ変換する計算コード「MAKEMCRS」の実行用制御文を以下に示す。TIMS-1及びPROF GROUCH-Gについては、それぞれ参考文献17)及び15)にそれぞれ詳述されているのでここでは省略する。

TIMSINF 実行用 JCL

```

T(04) C(08) W(03) I(05) E(01) NOTIFY(3622)
// EXEC FORT77,SO='J3622.TIMSINF',A='ELM(*)',SOURCE,AE',LCT=62
//FORT77.SYSPRINT DD DUMMY
// EXEC LKED77
// EXEC GO,RGN=15M
//***** PENDF LIBRARY *****
//FT11F001 DD DSN=J3622.U238J3.T300.PENDF,
//    DISP=SHR,LABEL=(.,,IN)
//***** INFORMATION OF PROCESSING *****
//FT21F001 DD DSN=J3622.TIMSINF.CHECK,
//    DISP=(NEW,CATLG,KEEP),
//    UNIT=TSSWK,SPACE=(TRK,(10,3)),
//    DCB=(RECFM=FB,LRECL=80,BLKSIZE=3200)
//***** OUTPUT OF MCROSS FORMAT ON FT50 *****
//FT50F001 DD DSN=J3622.U238J3.T300.TIMSINF,
//    DISP=(NEW,CATLG,DELETE),
//    UNIT=TSSWK,SPACE=(CYL,(7,3),RLSE)
//SYSIN DD *
11 3926 1 / LIN MATNO IXOUT
1.0D+5 0 0 21 / EHI LOUT1 LOUT2 LOUT3
U238-J3 (T=300) INF DILUTE X-SECTION FROM PENDF
0 0 0 / STOP
//

```


MAKEMCRS 実行用 JCL

```
T(03) C(08) W(03) I(05) E(01) NOTIFY(3622)
// EXEC FORT77, SO='J3622.MAKEMCRS', A='ELM(*)', SOURCE, AE', LCT=62
//FORT77.SYSPRINT DD DUMMY
// EXEC LKED77
// EXEC GO, RGN=15M
//RUN.FT10F001 DD DSN=J1615.JENDL305.DATA,
//          DISP=SHR, LABEL=(, , IN)
//RUN.FT20F001 DD DSN=J3622.U238J3.T300.TIMS,
//          DISP=SHR, LABEL=(, , IN)
//RUN.FT30F001 DD DSN=J3622.U238J3.T300.TIMSINF,
//          DISP=SHR, LABEL=(, , IN)
//***** OUTPUT OF MCROSS FORMAT ON FT50 *****
//RUN.FT50F001 DD DSN=J3622.U238J3.T300.MCRS,
//          DISP=(NEW, CATLG, DELETE),
//          UNIT=TSSWK2, SPACE=(CYL, (7, 3), RLSE)          , DISP=SHR
//SYSIN DD *
3926 300. / MATNO TEMP
//
```

付録2 PEACO-Xの入力データと実行制御文の例

第4章の計算例で示した球モデルの場合の入力データ文と実行制御文を以下に示す。

PEACO-X 入力データ例

```

16 / LIB CASE= F1 -----
3924 300 / NUC =U235
3926 300 / NUC =U238
3943 300 / NUC =P239
3944 300 / NUC =P240
3945 300 / NUC =P241
3951 300 / NUC =A241
3011 300 / NUC =H
3081 300 / NUC =O
3111 300 / NUC =NA
3131 300 / NUC =AL
3240 300 / NUC =CR
3260 300 / NUC =FE
3280 300 / NUC =NI
3251 300 / NUC =MN
3400 300 / NUC =ZR
3740 300 / NUC =W

F1 -----
4 16 0 4 0 0 11
3 0 1 0 8
1 1 1
1 1 0.635
2 2 0.735
3 3 3.115
4 4 30.0
9.99749E+04 4.65012E+04 2.14942E+04 1.00000E+04 4.65246E+03 1.00001E+03
4.65714E+02 1.00001E+02 4.65717E+01 1.00202E+01 4.66652E+00 1.99412E-01
U235 3924 300 ----- F1 -----
1.12800E-05 0.0 0.0 7.07160E-05
U238 3926 300 ----- F1 -----
4.19300E-03 0.0 0.0 9.75360E-03
P239 3943 300 ----- F1 -----

```

0.0	0.0	0.0	1.04550E-03
P240	3944	300	----- F1 -----
0.0	0.0	0.0	9.21580E-05
P241	3945	300	----- F1 -----
0.0	0.0	0.0	3.68070E-06
A241	3951	300	----- F1 -----
0.0	0.0	0.0	4.97060E-06
H	3011	300	----- F1 -----
0.0	0.0	0.0	1.02770E-04
O	3081	300	----- F1 -----
8.40600E-03	2.00000E-04	0.0	8.60870E-06
NA	3111	300	----- F1 -----
0.0	0.0	0.0	9.57050E-03
AL	3131	300	----- F1 -----
0.0	0.0	0.0	1.49970E-04
CR	3240	300	----- F1 -----
0.0	0.0	8.52590E-03	3.67410E-03
FE	3260	300	----- F1 -----
0.0	0.0	3.14320E-02	1.33730E-02
NI	3280	300	----- F1 -----
0.0	0.0	3.51750E-03	1.68600E-03
MN	3251	300	----- F1 -----
0.0	0.0	4.42750E-04	1.94420E-04
ZR	3400	300	----- F1 -----
0.0	0.0	0.0	2.17220E-03
W	3740	300	----- F1 -----
0.0	6.91700E-02	4.24420E-03	0.0

1

PEACO-X 実行用 JCL

```

T(05) C(03) W(00) I(05) E(06) CLASS(1) NOTIFY(J3622)
/*-----
// EXEC LMG0,LM=' J3622.PEACOX.VPEX20F',PNM=TEMPNAME,REGION=60000K
//FT05F001 DD DSN=J3622.PEACOX.EXP.DATA(F1),DISP=SHR
/*-----
//FT06F001 DD DSN=J3622.F1.FT06,UNIT=TDS,
// DISP=(NEW,CATLG,CATLG),
// DCB=(RECFM=FBA,LRECL=137,BLKSIZE=13700),SPACE=(TRK,(50,30),RLSE)
//FT20F001 DD DSN=J3622.F1.FT20,UNIT=TSSWK,
// DISP=(NEW,CATLG,CATLG),
// DCB=(RECFM=VBS,LRECL=X,BLKSIZE=32760),SPACE=(TRK,(10,3),RLSE)
//FT30F001 DD DSN=J3622.F1.FT30,UNIT=TSSWK,
// DISP=(NEW,CATLG,CATLG),
// DCB=(RECFM=VBS,LRECL=X,BLKSIZE=32760),SPACE=(TRK,(100,30),RLSE)
//FT40F001 DD DSN=J3622.F1.FT40,UNIT=TSSWK,
// DISP=(,CATLG,CATLG),
// DCB=(RECFM=VBS,LRECL=X,BLKSIZE=22000),SPACE=(TRK,(300,50),RLSE)
//FT31F001 DD DSN=J3622.F1.FT31,UNIT=TSSWK,DISP=(NEW,PASS),
// DCB=(RECFM=VBS,LRECL=X,BLKSIZE=32760),SPACE=(TRK,(90,20),RLSE)
//FT41F001 DD DSN=J3622.F1.FT41,UNIT=TSSWK,DISP=(NEW,PASS),
// DCB=(RECFM=VBS,LRECL=X,BLKSIZE=32760),SPACE=(TRK,(400,30),RLSE)
/** NUC 16 CASE= F1 -----
//FT50F001 DD DSN=J1804.JRI.TIMSLIB1(U235T300),DISP=SHR
//FT51F001 DD DSN=J1804.JRI.U238T300,DISP=SHR
//FT52F001 DD DSN=J1804.JRI.TIMSLIB1(P239T300),DISP=SHR
//FT53F001 DD DSN=J1804.JRI.TIMSLIB1(P240T300),DISP=SHR
//FT54F001 DD DSN=J1804.JRI.TIMSLIB1(P241T300),DISP=SHR
//FT55F001 DD DSN=J1804.JRI.TIMSLIB1(A241T300),DISP=SHR
//FT56F001 DD DSN=J1804.JRI.TIMSLIB2(H01T300),DISP=SHR
//FT57F001 DD DSN=J1804.JRI.TIMSLIB2(0T300),DISP=SHR
//FT58F001 DD DSN=J1804.JRI.TIMSLIB2(NAT300),DISP=SHR
//FT59F001 DD DSN=J1804.JRI.TIMSLIB2(ALT300),DISP=SHR
//FT60F001 DD DSN=J1804.JRI.TIMSLIB2(CRT300),DISP=SHR
//FT61F001 DD DSN=J1804.JRI.TIMSLIB2(FET300),DISP=SHR
//FT62F001 DD DSN=J1804.JRI.TIMSLIB2(NIT300),DISP=SHR
//FT63F001 DD DSN=J1804.JRI.TIMSLIB2(MNT300),DISP=SHR

```

```

//FT64F001 DD DSN=J1804.JRI.TIMSLIB2(ZRT300),DISP=SHR
//FT65F001 DD DSN=J1804.JRI.TIMSLIB1(WT300),DISP=SHR
//* -----
//GO PROC CASE=,LMS='J3622.PEACOX.UTIL.LOAD'
//SLAROM EXEC PGM=CLPFINE
//SUBSYS DD SUBSYS=(VPCS,'SIZE=(00000K,00M)')
//STEPLIB DD DSN=&LMS,DISP=SHR
//FT06F001 DD DUMMY
//* <<< CROSS SECTION DATA IN JFS-3 TYPE >>>
//FT07F001 DD DSN=J3622.PEACOX.CLPFINE.FT07(&CASE),DISP=SHR
//* <<< FLUX, FIJ DATA IN JFS-3 TYPE >>>
//FT08F001 DD DSN=J3622.PEACOX.CLPFINE.FT08(&CASE),DISP=SHR
//* <<< REACTION RATE (BY FLUX, FIJ) IN JFS-3 TYPE >>>
//FT09F001 DD DSN=J3622.PEACOX.CLPFINE.FT09(&CASE),DISP=SHR
//FT31F001 DD DSN=J3622.F1.FT31,DISP=SHR
//FT41F001 DD DSN=J3622.F1.FT41,DISP=SHR
//*-----
// PEND
// EXEC GO,CASE=F1 ,FT31='FT31',FT41='FT41'
//FT05F001 DD *
===== TESTF1 =====
/*-LIB--FT01 REG1(SAMPLE) --- FT12 REG4(CORE)
//FT11F001 DD DSN=J3622.JRI.U238T300,DISP=SHR
//FT12F001 DD DSN=J3622.JRI.U238T300,DISP=SHR
//

```

付録3 微細群中性子スペクトルプロット用入力マニュアル

PEACO-Xで得た微細群の中性子スペクトルをグラフ化する際に使用するプログラムの入力データについて、以下に示す。

Card #01 (free format)

IPLANE プロットするグラフの数

Card #02 ~ #05 は、IPLANE 回、繰り返し入力する。

Card #02 (free format)

IPREG Plot したい領域番号

Card #03 (10I4)

XTITLE グラフのX軸のタイトル (英小文字使用不可)

Card #04 (10I4)

YTITLE グラフのY軸のタイトル (英小文字使用不可)

Card #05 (10A4)

MAINTITLE グラフのメインタイトル (英小文字使用不可)

PLOT 実行用 JCL

```

T(01) W(00) C(03) I(03) E(01) NOTIFY(J3622)
/* -----
//GO EXEC LMG0,LM='J3622.PLOTFLX'
//FT05F001 DD *
1 / PLOT REGION NUMBER
NEUTRON ENERGY (EV)
FLUX
CASE F1 REGION 1 (SAMPLE)
/*
//FT06F001 DD SYSOUT=*
/* --- INPUT DATA (BY PEACOX)
//FT20F001 DD DSN=J3622.F1.FT20,DISP=SHR
//FT25F001 DD DSN=J3622.F1.FT30,DISP=SHR
/* --- PLOT FILE
//FT30F001 DD SYSOUT=*,OUTLIM=60000 /* PLOT FILE FOR NEDAC TOKYO */
/* -----
//GO EXEC LMG0,LM='J3622.PLOTFLX'
//FT05F001 DD *
4 / PLOT REGION NUMBER
NEUTRON ENERGY (EV)
FLUX
CASE F1 REGION 4 (CORE)
/*
//FT06F001 DD SYSOUT=*
/* --- INPUT DATA (BY PEACOX)
//FT20F001 DD DSN=J3622.F1.FT20,DISP=SHR
//FT25F001 DD DSN=J3622.F1.FT30,DISP=SHR
/* --- PLOT FILE
//FT30F001 DD SYSOUT=*,OUTLIM=60000 /* PLOT FILE FOR NEDAC TOKYO */
/*
//LPSEP EXEC LPSEP,MSG='SOUKEN'
//

```

付録4 PEACO-XとPEACO-IIの比較

PEACO-Xとその作成においてベースとしたPEACO-IIとの機能等の相違点に関する比較一覧表を、以下に示す。

	PEACO-X	PEACO-II
核種数(KMAT)	最大20核種	最大10核種
組成数(KCOMP)	最大25組成 セル内の全ての領域 において共鳴核種が存 在と仮定	最大10組成 セル内の燃料と非燃 料領域を区別し、燃料 領域にのみ共鳴核種が 存在と仮定
領域数(KREG)	最大50領域	最大30領域
衝突確率計算(Pij)	内挿法を使用しない 共鳴核種を含む全て の領域に対して、計算 可能	内挿法を使用 共鳴核種を含む2つ の異組成領域まで計算 可能
計算対象形状(ISH)	均質、球、平板、円筒、 四角柱、六角柱	均質、平板、円筒、四 角柱、六角柱

その他に、PEACO-Xは以下の機能を備えている。

①核データライブラリーの取り扱い

すべての核種に対して、MCROSSライブラリー（TIMS型の断面積ライブラリー）から読むようにする。

②出力ファイル

出力ファイルとして ϕ 、レサジー巾、エネルギー(eV)を含むものを新たに追加し実効断面積の編集が可能な様にする。さらに ϕ については領域*i*から*j*へ散乱して飛んで行く中性子 ϕ_{ij} も出力し、*j*領域に対する*i*領域からの中性子束の寄与の値を編集できるようにする。

③プロット図出力ファイルの追加

詳細群の中性子スペクトルをプロットする為のファイルを作成する。

付録5 均質体系での計算結果とTIMS-1による計算結果との比較

PEACO-Xによる均質体系の計算は、衝突確率計算を行わず、減速方程式による中性子スペクトル計算を実施する。この場合、PEACO-XはTIMS-1のPEACOルーチンと同じ計算アルゴリズムとなる。そこで、PEACO-Xの中性子スペクトル計算アルゴリズムの確認を目的として、PEACO-Xによる均質体系の計算結果とTIMS-1のPEACOルーチンによる計算結果を比較した。ここでは、 $T=300\text{K}$ での ^{238}U の吸収反応に関する自己遮蔽因子（JFS-3タイプの群構造）について、軽水炉用群定数で $\sigma_0=10\text{barns}$ の場合（ケース1）、高速炉用群定数で $\sigma_0=10\text{barns}$ の場合（ケース2）、高速炉用群定数で $\sigma_0=100\text{barns}$ の場合（ケース3）の3ケースで比較した。計算に際して、TIMS-1のPEACOルーチンでは中性子を減速する散乱体の質量（A）として、軽水炉用群定数では $A=1$ を、高速炉用群定数作成では $A=30$ を入力した。一方、PEACO-Xでは、任意の組成を扱うことができ、散乱体の散乱断面積および散乱体の質量は組成に依存するので、以下に示す核種とその個数密度を入力データとした。なお、軽水炉用群定数の場合には、プログラム中で散乱体の質量を1に変更して計算した。

- ①ケース1 （軽水炉用群定数で $\sigma_0=10\text{barns}$ の場合）
 燃料核種： ^{238}U $N_A=1.00\times 10^{-3}\text{ \#/cm-barn}$
 散乱核種： C $N_A=2.18\times 10^{-3}\text{ \#/cm-barn}$
 （ただし、散乱体の質量=1）
- ②ケース2 （高速炉用群定数で $\sigma_0=10\text{barns}$ の場合）
 燃料核種： ^{238}U $N_A=1.00\times 10^{-3}\text{ \#/cm-barn}$
 散乱核種： C $N_A=2.18\times 10^{-3}\text{ \#/cm-barn}$
- ③ケース3 （高速炉用群定数で $\sigma_0=100\text{barns}$ の場合）
 燃料核種： ^{238}U $N_A=1.00\times 10^{-3}\text{ \#/cm-barn}$
 散乱核種： C $N_A=2.18\times 10^{-2}\text{ \#/cm-barn}$

各ケースでのPEACO-XとTIMS-1のJFS-3タイプの群構造での $T=300\text{K}$ での捕獲反応の自己遮蔽因子の比較を両者の比としてFig.A.5.1に示す。図より、両者の自己遮蔽因子は概ね2%以内で一致する。なお、21.0eV、36.7eVの共鳴ピークを含むエネルギー群で両者の自己遮蔽因子の比の1.0からの隔たりが大きいのは、自己遮蔽因子の値が0.1以下と小さいために、僅かの差が大きな比となって現れたためである。一方、6.67eVの共鳴ピークを含むエネルギー群では、ケース2（ $\sigma_0=10\text{barns}$ 、 $A=30$ ）の場合、PEACO-XとTIMS-1のPEACOルーチンによる自己遮蔽因子の比が0.48であり、TIMS-1による自己遮蔽因子は1.55をとる。ケース1（ $\sigma_0=10\text{barns}$ 、 $A=1$ ）の場合、PEACO-XとTIMS-1の結果は良い一致を示す。また、 $\sigma_0=1\text{barns}$ 、 $A=30$ の場合でのTIMS-1による自己遮蔽因子は、0.386をとることから、TIMS-1のPEACOルーチンでは孤立した巨大共鳴の自己遮蔽因子計算に一部誤りがあると考えられる。

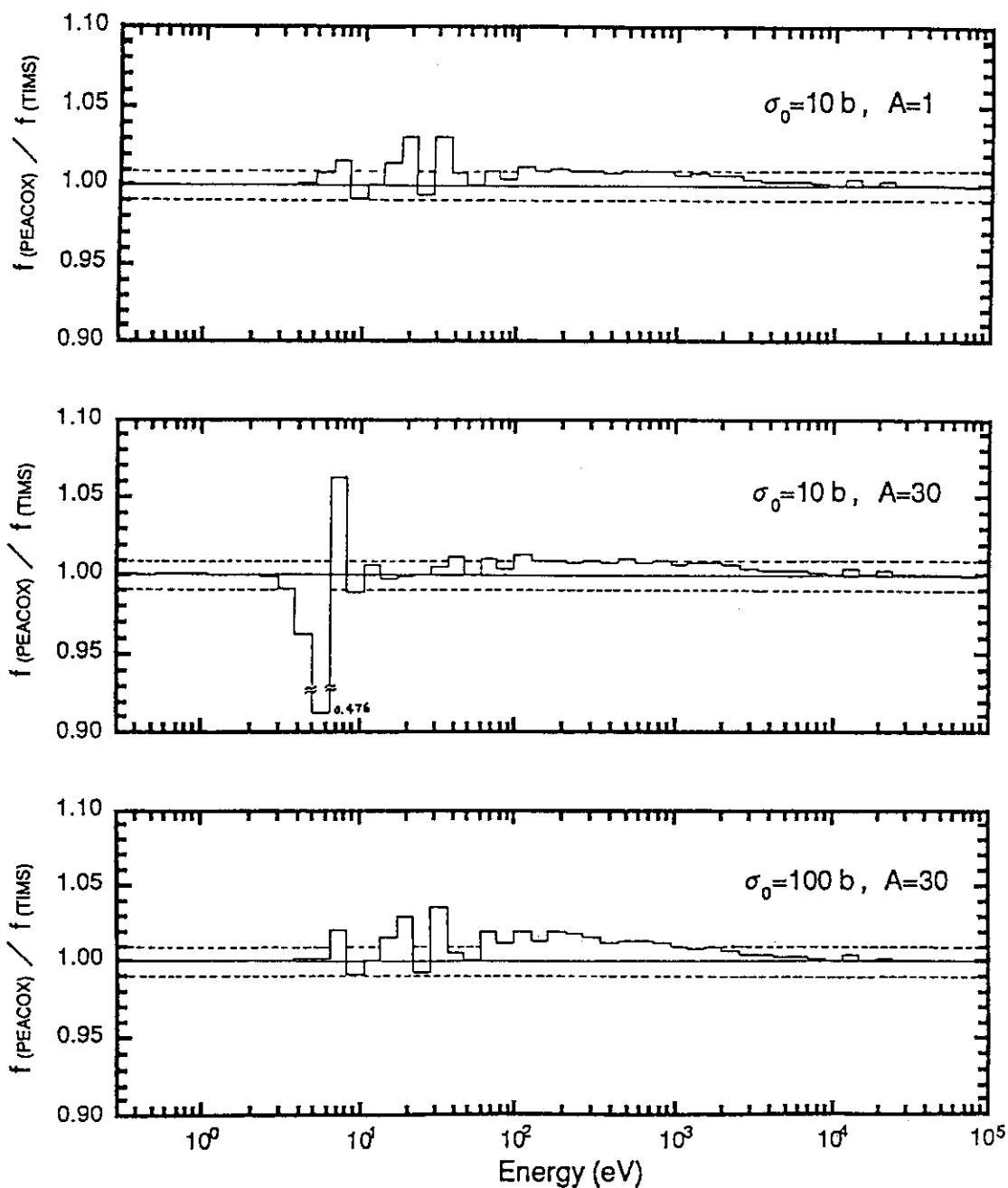


Fig. A.5.1 Comparison of self shielding factor computed for capture process in ^{238}U with the codes between PEACO-X and TIMS-1