



**OPT-TWO : 2次元MOX燃料最適濃度分布計算コード**  
**OPT-TWO : Calculation Code for Two-dimensional MOX Fuel Models  
in the Optimum Concentration Distribution**

佐藤 庄平、酒井 友宏\*、奥野 浩  
Shohei SATO, Tomohiro SAKAI\* and Hiroshi OKUNO

安全研究センター  
核燃料サイクル施設安全評価研究グループ  
Fuel Cycle Facility Safety Research Group  
Nuclear Safety Research Center

August 2007

本レポートは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/index.shtml>)  
より発信されています。このほか財団法人原子力弘済会資料センター\*では実費による複写頒布を行っ  
ております。

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4  
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  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920

\* 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4 日本原子力研究開発機構内

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

© Japan Atomic Energy Agency, 2007

OPT-TWO : 2次元 MOX 燃料最適濃度分布計算コード

日本原子力研究開発機構安全研究センター  
原子力エネルギー関連施設安全評価研究ユニット  
佐藤 庄平\*・酒井 友宏\*・奥野 浩

(2007年6月28日受理)

OPT-TWO は、MOX（ウラン・プルトニウム混合酸化物）燃料の2次元体系において、臨界安全上で最も厳しい評価を与える濃度分布（最適濃度分布）を計算するコードである。OPT-TWO における最適濃度分布の算出は、燃料インポートランス量が一定になる時に燃料体系の反応度が最も大きくなることを示す原理である、燃料インポートランス平坦化原理を利用する。この原理に基づき、OPT-TWO では、①2次元 SN 法中性子輸送計算コード TWOTRAN を用いた中性子束、随伴中性子束及び中性子増倍率の算出、②燃料インポートランスの算出、③燃料移行量の算出、の繰り返し計算を実施して燃料インポートランス分布を徐々に平坦化していき、最終的に燃料体系の最適濃度分布を算出する。濃度分布を考慮する MOX 燃料の要素は、MOX 粉末、二酸化ウラン粉末及び添加剤である。

本報告書では、OPT-TWO の計算内容、計算方法及びインストール方法を示すとともに、OPT-TWO の臨界計算への適用方法について示す。

OPT-TWO: Calculation Code for Two-dimensional MOX Fuel Models  
in the Optimum Concentration Distribution

Shohei SATO<sup>※</sup>, Tomohiro SAKAI<sup>\*</sup> and Hiroshi OKUNO

Nuclear Facility Safety Research Unit  
Nuclear Safety Research Center  
Japan Atomic Energy Agency  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received June 28, 2007)

OPT-TWO is a calculation code which calculates the optimum concentration distribution, i.e., the most conservative concentration distribution in the aspect of nuclear criticality safety, of MOX (mixed uranium and plutonium oxide) fuels in the two-dimensional system. To achieve the optimum concentration distribution, we apply the principle of flattened fuel importance distribution with which the fuel system has the highest reactivity. Based on this principle, OPT-TWO takes the following 3 calculation steps iteratively to achieve the optimum concentration distribution with flattened fuel importance: ①the forward and adjoint neutron fluxes, and the neutron multiplication factor, with TWOTRAN code which is a two-dimensional neutron transport code based on the SN method, ②the fuel importance, and ③the quantity of the transferring fuel. In OPT-TWO, the components of MOX fuel are MOX powder, uranium dioxide powder and additive.

This report describes the content of the calculation, the computational method, and the installation method of the OPT-TWO, and also describes the application method of the criticality calculation of OPT-TWO.

Keywords: OPT-TWO, MOX Fuel, Uranium Dioxide Powder, Additive, Optimum Concentration Distribution, Fuel Importance, Principle of Flattened Fuel Importance Distribution, TWOTRAN

---

※ Research Staff on Loan (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.)  
\* The Japan Research Institute, Ltd.

目次

1. 緒言 .....	1
2. 定式化 .....	3
2.1 概要 .....	3
2.2 燃料インポートانس平坦化原理 .....	4
2.3 燃料インポートانسの算出 .....	5
2.4 燃料移行量の算出 .....	6
3. OPT-TWO の計算 .....	8
3.1 概要 .....	8
3.2 輸送計算 .....	8
3.3 燃料インポートانسの算出 .....	8
3.4 燃料移行量の算出 .....	9
3.5 収束判定 .....	9
3.6 燃料条件 .....	9
3.7 断面積ファイル .....	9
4. OPT-TWO 入力データ .....	10
4.1 OPT-TWO 入力データ .....	10
4.2 OPT-TWO サンプル入力データ .....	11
5. OPT-TWO 計算例 .....	13
5.1 概要 .....	13
5.2 計算条件の設定 .....	13
5.2.1 計算モデル .....	13
5.2.2 燃料条件 .....	14
5.3 断面積テーブルの作成 .....	15
5.4 OPT-TWO の設定 .....	15
5.5 計算結果 .....	16
謝辞 .....	21
参考文献 .....	22
付録1 OPT-TWO の臨界計算への適用 .....	23
付録2 OPT-TWO 入力ファイル及び出力ファイル .....	25
付録3 インストール .....	33

Contents

1. Introduction .....	1
2. Formulation .....	3
2.1 Outline .....	3
2.2 Principle of Flattened Fuel Importance Distribution .....	4
2.3 Calculation of Fuel Importance .....	5
2.4 Calculation of Transferring Fuel Quantity .....	6
3. Calculating of OPT-TWO .....	8
3.1 Outline .....	8
3.2 Neutron Transport Calculation .....	8
3.3 Calculation of Fuel Importance .....	8
3.4 Calculation of Transferring Fuel Quantity .....	9
3.5 Judgment of Calculation Convergence .....	9
3.6 Fuel Condition .....	9
3.7 Cross-Section File .....	9
4. Input Data for OPT-TWO .....	10
4.1 Input Specifications .....	10
4.2 Sample Input .....	11
5. Sample Run of OPT-TWO .....	13
5.1 Outline .....	13
5.2 Setting of Calculation Condition .....	13
5.2.1 Calculation Model .....	13
5.2.2 Fuel Condition .....	14
5.3 Cross-Section Table .....	15
5.4 Setting of OPT-TWO .....	15
5.5 Calculation Result .....	16
Acknowledgments .....	21
References .....	22
Appendix1 Application of OPT-TWO to Critical Calculation .....	23
Appendix2 Input and Output of OPT-TWO .....	25
Appendix3 Installation .....	33

## 1. 緒言

均質燃料の臨界安全評価では、燃料濃度の均一性が保証されない体系に対して、最も厳しい燃料濃度分布（以下、最適濃度分布）を仮定するか、あるいは濃度の不均一性の可能性・程度を考慮して十分な安全裕度を見越して評価する必要がある。このことは、「核燃料施設安全基本指針」<sup>1)</sup>の指針10「単一ユニットの臨界管理」において、「核燃料施設における単一ユニットは、技術的にみて想定されるいかなる場合でも臨界を防止する対策が講じられていること。」と示されている。

均質燃料には、溶液燃料及びスラリー燃料、粉末燃料などがある。溶液燃料に対して最適濃度分布を求める最初の臨界計算プログラムでは、燃料インポートانس平坦化原理に基づいた摂動理論及び拡散近似が適用されている<sup>2)</sup>。このプログラムでは、硝酸ウラニル水溶液及び硝酸プルトニウム水溶液の溶液燃料を計算対象としている。また、六ヶ所再処理施設の円環貯槽及びプルトニウム濃縮缶を対象機器として、硝酸プルトニウム水溶液の最適濃度分布を評価した文献がある<sup>3)</sup>。しかし、一般的にスラリー燃料の方が溶液燃料に比べて最大濃度が高いことから、燃料の不均一性による影響が大きくなる可能性があるとして「臨界安全ハンドブック第2版」<sup>4)</sup>に示されていて、同一濃度の燃料溶液を貯留する定常状態の槽中では溶液濃度は殆ど一様であることから、モデル化において不均一効果を考慮する必要がないことが書かれている。一方でスラリー燃料では混合過程でなくても燃料濃度の均一性を担保するのは難しいため、「臨界安全ハンドブック第2版」が出版された1999年以降、臨界安全評価の主な研究対象はスラリー燃料となった。文献5)において、二酸化ウランと水を混合したスラリー燃料の濃度不均一効果が検討されている。同文献では、ウラン濃度の汎関数で表した反応度に対してラグランジュ未定乗数法により質量保存を担保しながら変分をとり、極大となるスラリー燃料のウラン燃料の濃度分布を求め、SN近似に基づき中性子輸送計算を実施している。このため、反射体がない体系にも適用可能になっている。計算コードとしてOPT-SNを開発したことが言及されているが、同計算コードは公開されていない。

以上言及した計算コードはいずれも一次元体系のみに適用できるものであった。これに対して、2次元体系のスラリー燃料に適用できるように拡張された計算コードOPT-TWOが1999年に開発された<sup>7)</sup>。円柱形状の容器の底面と側面に水反射体が付いた体系に対して二酸化ウラン-水混合のスラリー燃料を対象として、中性子輸送計算に二次元SN法中性子輸送計算コードTWO TRAN<sup>6)</sup>を使用し、核データライブラリーには26群MGCL-J3<sup>8)</sup>を用いていた。

本報告書に述べるOPT-TWOコードは、MOX（ウラン・プルトニウム混合酸化物）燃料の2次元体系において、臨界安全上で最も厳しい評価を与える濃度分布（最適濃度分布）を計算するコードである。このコードでは旧版（1999年版）OPT-TWOに対して、以下の点で改訂を行った。

- (1) 旧版のOPT-TWOは、実効断面積をJACSコードシステムの26群MGCL-J3と実効断面積計算コードMAIL3.0<sup>8)</sup>によって計算していた。今回の改訂版ではANISN形式の断面積を読み込むようにしている。本書の付録として、SRACコードシステム<sup>9)</sup>より算出した

断面積データを ANISN 形式に変換する計算コードについて示している。

- (2) 旧版で対象としていたのは、円筒形状容器に入った二酸化ウランと水の均質混合体系であった。これはウラン脱硝工程を念頭に置いたものである。今回の改訂版では、デカルト座標系、円筒座標系のどちらでも使用でき、MOX 粉末、二酸化ウラン ( $\text{UO}_2$ ) 粉末と添加剤であるステアリン酸亜鉛 ( $\text{Zn}(\text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{O}_2)_2$ ) の 3 種類の物質の均質混合体系を計算対象燃料とした<sup>10)</sup>。これは、MOX の均一化混合装置を念頭に置いたものである。

改訂した OPT-TWO では、最適濃度分布の算出に際して、燃料インポート量が一定になる時に燃料体系の反応度が最も大きくなることを示す原理である、燃料インポート平坦化原理を利用している。この原理に基づき、OPT-TWO 内部で①2次元 SN 法中性子輸送計算コード TWOTRAN を用いた中性子束、随伴中性子束及び中性子増倍率の算出、②燃料インポート量の算出、③燃料移行量の算出、の繰り返し計算を実施して燃料インポート分布を徐々に平坦化していき、最終的に燃料体系の最適濃度分布を算出する。濃度分布を考慮する MOX 燃料の要素は、MOX 粉末、二酸化ウラン粉末及び添加剤である。また、OPT-TWO で算出した最適濃度分布における臨界計算は、本報告書付録 1 で示すように、OPT-TWO 以外の臨界計算コード MCNP-5 を使用する<sup>11)</sup>。

本報告書は、以下の構成で記述している。まず、第 2 章で OPT-TWO で採用している計算方法を記す。第 3 章には、OPT-TWO コードの計算内容についてまとめる。入力データの形式及び例を第 4 章に、OPT-TWO の実行例を第 5 章に示す。また、OPT-TWO の臨界計算への適用方法についてを付録 1 に、OPT-TWO の入出力ファイルについてを付録 2 に、OPT-TWO 及び臨界計算で使用する計算コードのインストール方法についてを付録 3 に示す。



## 2. 定式化

### 2.1 概要

OPT-TWO における最適濃度分布の算出は、燃料インポート量量が空間に対して一定になる時に燃料体系の反応度が最も大きくなることを示す原理である、燃料インポート平坦化原理を使用する。燃料インポートとは燃料体系中のある領域に存在する燃料の濃度変化に対する実効増倍率への影響度を表している。一般に燃料インポート量が空間全体で一定となる燃料分布を直接的に算出することは困難であるため、実際の計算では燃料分布を微少変化させて燃料インポート分布を徐々に平坦化させている。図 2-1 に OPT-TWO における最適濃度分布算出の模式図を表す。メッシュの色の濃さは、各メッシュの燃料インポート量および燃料濃度の大きさを表していて、燃料移行前には燃料濃度分布が均一に、燃料インポートが不均一に分布していた体系が、燃料インポートの高い領域へ燃料を移行させることにより、燃料インポートが均一となるとともに最適濃度分布へと変化させられる様子を模式的に表している。

本章では、はじめに燃料インポート平坦化原理について示し、次に燃料インポート量の算出について、最後に燃料移行量の算出について示す。

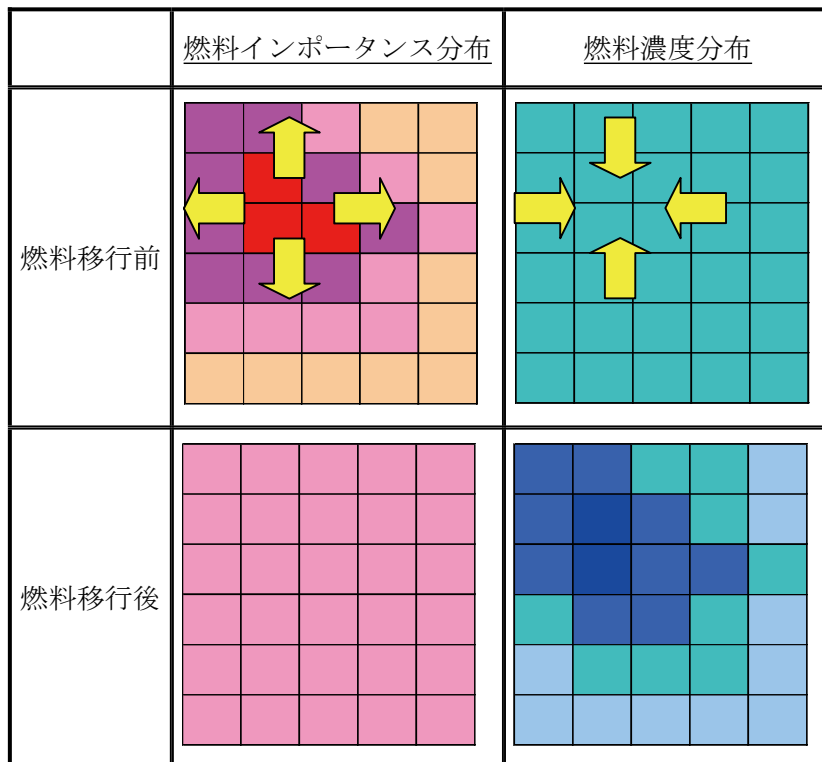


図 2-1 最適濃度分布算出の模式図

## 2.2 燃料インポートランス平坦化原理

燃料インポートランス平坦化原理は、ラグランジュ未定乗数法により反応度の極値を求める式から導出される。反応度  $\rho$  は、中性子増倍率  $k$  を用いて次式で定義される。

$$\rho = 1 - \frac{1}{k} \quad (2.1)$$

摂動論より、 $k$  には、

$$\frac{1}{k} = \frac{\langle \Phi^+ M \Phi \rangle}{\langle \Phi^+ F \Phi \rangle} \quad (2.2)$$

の関係があることから、(2.1) 式は次の式のように書き表すことができる。

$$\rho = 1 - \frac{\langle \Phi^+ M \Phi \rangle}{\langle \Phi^+ F \Phi \rangle} \quad (2.3)$$

ここで、 $M$  は消滅演算子、 $F$  は生成演算子、 $k$  は中性子増倍率、 $\Phi$  は中性子束、 $\Phi^+$  は随伴中性子束  $\langle \rangle = \iint dE dE' d\vec{r}$ 、 $E, E'$  はそれぞれ中性子束、随伴中性子束のエネルギー、 $\vec{r}$  は空間ベクトルである。また、体系の燃料質量  $m$  は、燃料濃度  $u$ 、及び空間ベクトル  $\vec{r}$  を用いて次式のように表すことができる。

$$m = \int u(\vec{r}) d\vec{r} \quad (2.4)$$

(2.4) 式は体系の燃料が保存される場合、常に成立する。ここでラグランジュ未定乗数法を導入し、(2.4) 式を束縛条件として反応度  $\rho$  の極値を求める。まず (2.3) 式、(2.4) 式、ラグランジュ未定乗数  $\lambda$  を用いて、関数  $R$  を以下で定義する。

$$R(u) = 1 - \frac{\langle \Phi^+ M \Phi \rangle}{\langle \Phi^+ F \Phi \rangle} - \sum_i \lambda_i \left( \int u_i(\vec{r}) d\vec{r} - m_i \right) \quad (2.5)$$

ここで、燃料は多成分の物質から成り立っているとしていて、 $i$  は物質番号を表している。

(2.4) 式の定義より、体系の質量が常に保存される場合、(2.5) 式の右辺第 3 項は常に 0 になるので、 $R$  の極値と  $\rho$  の極値は常に一致する。次に  $k$  が燃料濃度  $u$  の関数になっていることに注意して  $R$  の変分をとると、

$$\begin{aligned} \delta R &= \sum_i \frac{\partial R}{\partial u_i} \delta u_i \\ &= \sum_i \left[ \int (I_i(\vec{r}) - \lambda_i) d\vec{r} \right] \delta u_i \end{aligned} \quad (2.6)$$

となる。ただし、 $I_i(\vec{r})$  は燃料インポートランスで、次の式のように定義される。

$$I_i(\vec{r}) = \frac{\iint \Phi^+ \left( \frac{1}{k} \frac{\partial F}{\partial u_i} - \frac{\partial M}{\partial u_i} \right) \Phi dE dE'}{\int d\vec{r} \iint \Phi^+ F \Phi dE dE'} \quad (2.7)$$

(2.6) 式より、 $I_i(\vec{r}) = \lambda_i$ 、すなわち燃料インポートランスがラグランジュ未定乗数と等しく、空間全体で一定の時、燃料濃度変分量  $\delta u_i$  (燃料移行量) に関わらず常に  $\delta R = 0$ 、すなわち  $\rho$  の極値となることが分かる。このように、燃料インポートランスが空間に対して一定であるとき反応度が極大値となる事を、燃料インポートランス平坦化原理と呼ぶ。

### 2.3 燃料インポートランスの算出

(2.7) 式に示したとおり、燃料インポートランスは、中性子束、随伴中性子束、中性子増倍率、生成演算子及び消滅演算子の濃度微分、の5つのデータより算出される。中性子束、随伴中性子束、中性子増倍率の3データについては、TWOTRAN(SN法中性子輸送計算コード)により算出する。生成演算子及び消滅演算子の濃度微分の2データについては、断面積を数値微分することで求められる。以下に、OPT-TWOにおける燃料インポートランスの導出式を示す。

エネルギーをG群に分割した輸送方程式は、以下のように表される。

$$M_g \varphi_g(\Omega) = \frac{1}{k} F_g \varphi_g(\Omega) \quad (2.8)$$

$$\begin{aligned} M_g \varphi_g(\Omega) &= \Omega \cdot \nabla \varphi_g(\Omega) + \Sigma_t^g \varphi_g(\Omega) \\ &\quad - \sum_{h \neq g}^G \int d\Omega' \Sigma_s^{h \rightarrow g}(\Omega' \rightarrow \Omega) \varphi_h(\Omega') \\ &\quad - \int d\Omega' \Sigma_s^{g \rightarrow g}(\Omega' \rightarrow \Omega) \varphi_g(\Omega') \end{aligned} \quad (2.9)$$

$$F_g \varphi_g(\Omega) = \frac{\chi_g}{4\pi} \sum_{h=1}^G \int d\Omega' \nu_h \Sigma_f^h \varphi_h(\Omega') \quad (2.10)$$

ここで、 $\varphi_g$  は第g群の角中性子束、 $\Omega, \Omega'$  は中性子運動方向 ( $\Omega'$  は散乱前の中性子運動方向)、 $\chi_g$  は第g群の核分裂発生中性子スペクトル、 $\nu_g$  は第g群の発生中性子数、 $\Sigma_t^g$  は第g群の全反応断面積、 $\Sigma_s^{h \rightarrow g}$  は第h群から第g群への散乱断面積、 $\Sigma_f^g$  は第g群の核分裂断面積を表している。

(2.8) 式の右辺、左辺について、ともに一次摂動を考慮してエネルギー・角度で積分して、濃度で微分すると、

$$\int_{4\pi} d\Omega \iint dEdE' \varphi^+ \frac{\partial F}{\partial u} \varphi = \sum_{g=1}^G \frac{1}{4\pi} \sum_{h=1}^G (v_h \chi_h \phi_h^+) \frac{\partial \Sigma_f^h}{\partial u} \phi_h \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} \int_{4\pi} d\Omega \iint dEdE' \varphi^+ \frac{\partial M}{\partial u} \varphi &= \sum_{g=1}^G \frac{\partial \Sigma_t^g}{\partial u} \langle \varphi^+ \varphi \rangle_g \\ &\quad - \frac{1}{4\pi} \sum_{g=1}^G \phi_g^+ \sum_{h \neq g}^G \frac{\partial \Sigma_{s0}^{h \rightarrow g}}{\partial u} \phi_h \\ &\quad - \frac{1}{4\pi} \sum_{g=1}^G \phi_g^+ \frac{\partial \Sigma_{s0}^{g \rightarrow g}}{\partial u} \phi_g \end{aligned} \quad (2.12)$$

と表される。ただし、 $\phi_g^+ = \int d\Omega \varphi_g^+$ 、 $\phi_g = \int d\Omega \varphi_g$ 、 $\langle \varphi^+ \varphi \rangle_g = \int d\Omega \varphi_g^+ \varphi_g$  とし、さらに以下の式で表される実験系等方散乱の仮定をおいた。

$$\Sigma_s^{h \rightarrow g} (\Omega' \rightarrow \Omega) = \frac{1}{4\pi} \Sigma_{s0}^{h \rightarrow g} \quad (2.13)$$

また、(2.10) 式について、上記と同様の手順（濃度微分を除く）を実施すると、

$$\int dV \int_{4\pi} d\Omega \iint dEdE' \varphi_g^+ F_g \varphi = \sum_i \left( \sum_{g=1}^G \frac{1}{4\pi} \sum_{h=1}^G (v_h \chi_h \phi_h^+) \Sigma_f^h \phi_h \right)_i \Delta V_i \quad (2.14)$$

が算出される。ただし、i は空間要素番号である。

上記手順で算出された (2.11) 式、(2.12) 式、及び (2.14) 式を (2.7) 式へ代入することで燃料インポータンスが算出される。

#### 2.4 燃料移行量の算出

OPT-TWO では、2.2 節で示した原理に基づき、2.3 節で示した燃料インポータンス分布から燃料および添加剤を移行させる。しかし、燃料移行量を求める際、一般に 2.2 節で示した  $I_i(\vec{r}) = \lambda_i$  となる燃料インポータンス  $I_i(\vec{r})$  を直接求めることは困難であり、かつ濃度が負になるなどの物理的制限条件を満たさない場合がある。このため、OPT-TWO では以下に示す燃料移行量  $\delta u$  の式を使用して、①燃料インポータンス分布の算出、②燃料移行量  $\delta u$  の算出、③②で算出した  $\delta u$  に基づく燃料の移行、の繰り返し計算を実施し、徐々に燃料インポータンス分布を平坦化している。

$$\delta u_i(\vec{r}) = \Delta u \frac{I_i(\vec{r}) - \bar{I}_i}{\sum_j \bar{I}_j} \quad (2.15)$$

ここで、 $\delta u_i$  は燃料移行量、i は物質番号、 $\Delta u$  は任意の燃料濃度移行量 ( $\text{g/cm}^3$ )、 $\bar{I}_i(\vec{r})$

は $I_i(\vec{r})$ の空間平均を示す。(2.15)式は、燃料インポートランスの空間平均値からのずれの割合から燃料移行量を決定している。この繰り返し計算により体系の反応度が極値へ向かっていることは、(2.15)式を(2.6)式に代入することにより導出される、以下の式より確認できる。すなわち、

$$\delta R = \frac{\Delta u}{\sum_j \bar{I}_j} \sum_i \left[ \int (I_i(\vec{r}) - \bar{I}_i)^2 d\vec{r} \right] \geq 0 \quad (2.16)$$

なお、(2.15)式の繰り返し計算は、物理的制限条件から燃料の移行が制限されるため、燃料インポートランスが一定値とならずに最適濃度分布となる場合が多い。

### 3. OPT-TWO の計算

#### 3.1 概要

OPT-TWO は、2 章で示した燃料インポートانس平坦化原理に基づき、燃料インポートアンズ量が平坦化するように燃料濃度分布を繰り返し微小変化させて最適濃度分布へ近づけている。OPT-TWO の計算の流れについて、図 3-1 に示す。OPT-TWO 入力データの設定方法については 4 章に示す。以下の節では、図 3-1 に示す OPT-TWO を構成する各計算での実施内容について示すとともに、燃料条件や断面積についても示す。

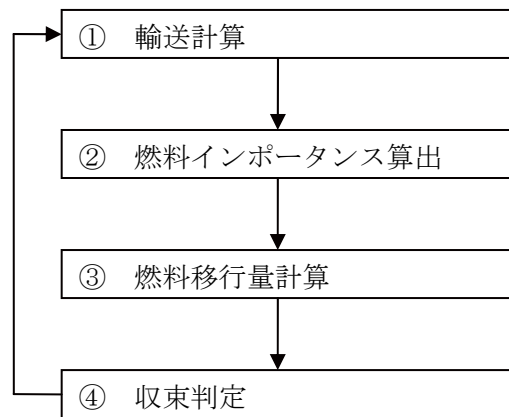


図 3-1 OPT-TWO の計算の流れ

#### 3.2 輸送計算

図 3-1 の①輸送計算では、2 次元 Sn 法中性子輸送計算コード TWOTRAN を使用し、中性子増倍率と中性子束および随伴中性子束を算出する。算出したこれらのデータは、次節で示す燃料インポートアンズの算出に使用される。なお、TWOTRAN では長方形メッシュのみでしか計算できないため、デカルト座標系、極座標系によらず長方形メッシュで表現できる形状にモデル化する必要がある。

#### 3.3 燃料インポートアンズの算出

図 3-1 の②燃料インポートアンズの計算では、3.2 節で算出した中性子増倍率、中性子束、随伴中性子束の読み込みを実施するとともに、中性子束計算に使用した各領域の断面積及び各領域の濃度を使用して、断面積の濃度微分値を数値的に算出する。これらの値を使用し各領域での燃料インポートアンズを算出して、燃料体系全体の分布を算出する。

### 3.4 燃料移行量の算出

図 3-1 の③燃料移行量の計算では、体系の反応度が極大となるよう、2 章の (2.15) 式を使用して、各メッシュの燃料移行量を算出する。

### 3.5 収束判定

図 3-1 の④収束判定では、3.4 節で算出した燃料移行量の大小から OPT-TWO の計算の継続の可否を判定する。OPT-TWO では、図 3-1 に示すとおり輸送計算、燃料インポート算出、燃料移行量の算出、の繰り返し計算を実施して少しずつ最適濃度分布へ近づけているため、燃料の移行量は計算毎に小さくなっていく。このため、この燃料移行量が判定値以下となった場合には最適濃度分布とみなして OPT-TWO を終了させる。収束した時点での濃度分布を最適濃度分布とみなす。

### 3.6 燃料条件

OPT-TWO の計算にあたり、混合する燃料の組成、混合する燃料の質量及び混合中の燃料濃度変動範囲の 3 つの燃料条件を設定する。これらの条件の OPT-TWO への入力方法については、4 章参照。燃料濃度変動範囲を設定するのは、3.4 節の燃料移行量の計算中、理論密度を上回る濃度や負の濃度のような、物理的制限条件を満たさない値を出力する場合に備えるためである。この制限を設定することにより、OPT-TWO ではある領域の燃料濃度が上限値を上回るまたは下限値を下回る場合に、その領域の濃度を上限値または下限値で固定してこれ以降の繰り返し計算による燃料移行の対象領域から除外させることができるようになる。なお、OPT-TWO の特性上、燃料条件の設定には、次の 3 つの仮定を適用する必要がある。

- ①混合する燃料は MOX 粉末、UO<sub>2</sub> 粉末、添加剤の 3 種類
- ②MOX 粉末、UO<sub>2</sub> 粉末の合計濃度は常に一定
- ③添加剤の濃度は MOX 粉末、UO<sub>2</sub> 粉末と独立して変動する

### 3.7 断面積ファイル

OPT-TWO では、ANISN 形式の断面積ファイルを読み込む。燃料濃度が変動するため、その変動範囲から選んだ数点の濃度についての断面積データをあらかじめ作成しておいてそれらを内挿して使用されるが、メモリの負荷軽減のため、OPT-TWO では燃料変動範囲について複数作成された断面積データをテーブル形式にまとめた断面積ファイルを読み込むよう設定されている。5 章の計算例における断面積テーブルの作成で使用した計算コードについて、付録 1 に示す。

## 4.OPT - TWO 入力データ

## 4.1 OPT - TWO 入力データ

OPT - TWO の入力データは固定長フォーマットで与えられる。

以下に、入力データについて説明する。

- カード 1 (A80)
  - TITL        タイトルカード
  
- カード 2 (315)    OPT-TWO コードでの基本的計算条件指定 (その 1)
  - IGM        エネルギー群数 (SRAC で作成した縮約群ライブラリの群数)
  - IPLOPT     PL 次数
  - ISN        SN 次数
  
- カード 3 (615)    OPT-TWO コードでの基本的計算条件指定 (その 2)
  - IGEOM     幾何形状 (1/2/3=X-Y/R-Z/R- $\theta$ )    円柱体系のみ指定可能
  - IBL        左側境界条件 (0/1=真空/完全反射)
  - IBR        右側境界条件 (0/1=真空/完全反射)
  - IBB        下側境界条件 (0/1=真空/完全反射)
  - IBT        上側境界条件 (0/1=真空/完全反射)
  - IOUT      濃度反復繰り返し計算回数
  
- カード 4 (615)    OPT-TWO コードでのメッシュ分割指定
  - IM1        径方向ゾーン分割数 (燃料部の分割数を指定)
  - JM1        軸方向ゾーン分割数 (燃料部の分割数を指定)
  - IEX        径方向反射体ゾーン数
  - JEX        軸方向反射体ゾーン数
  - IMO        反射体物質数
  
- カード 5 (7F10.0)    濃度条件指定
  - Ave\_MOX   MOX 平均濃度 (gMOX/cm<sup>3</sup>)
  - Ave\_ZnSt   添加剤平均濃度 (g/cm<sup>3</sup>)
  - FMX\_MOX   MOX 最大濃度 (gMOX/cm<sup>3</sup>)
  - FMN\_MOX   MOX 最小濃度 (gMOX/cm<sup>3</sup>)
  - SMX\_ZNS   添加剤最大濃度 (g/cm<sup>3</sup>)
  - SMN\_ZNS   添加剤最小濃度 (g/cm<sup>3</sup>)



ACC\* 濃度繰り返し計算に用いる加速因子

\*OPT-TWO コードでは、一回の濃度反復計算で最大 20%までの変化を許容するように設定しているが、ACC の値を調節することでこの変化幅を変えることができる。ACC の値を大きくすると反復回数を減らすことが可能であるが、あまり大きな値を設定すると解の振動が発生する場合がある。

- カード 6 (6(I3,F9.0)) 幾何形状指定 (径方向メッシュ分割数)

IM(I) 径方向ゾーン I のメッシュ分割数

RR(I) 径方向ゾーン I の幅(cm)

IM と RR を組として、カード 5 で入力した IM1+IEX 組のデータを指定する。

- カード 7 (6(I3,F9.0)) 幾何形状指定 (軸方向メッシュ分割数)

JM(I) 軸方向ゾーン I のメッシュ分割数

ZZ(I) 軸方向ゾーン I の幅(cm)

JM と ZZ を組として、カード 5 で入力した JM1+JEX 組のデータを指定する。

- カード 8 (14I5) ゾーンマップの指定

MAP(I,J) 物質マップを上から下の順に並べる。

径方向に IM1+IEX 組、軸方向に JM1+JEX 組、合計 (IM1+IEX) × (JM1+JEX) 個入力する。但し、燃料の物質番号は 1 とし、構造材の物質番号は SRAC で作成されたライブラリの番号を指定すること。

#### 4.2 OPT-TWO サンプル入力データ

以下に、OPT-TWO のサンプル入力データとその入力説明を示す。

MOX Fuel with Zn-St Pu Enri=18wt% Zn-St Conc. 0.10	タイトルカード
24 1 8	/IGM,IPLOPT,ISN,JENDL 24 群、P1、S8
2 1 0 0 0 100	/IGEOM,IBL,IBR,IBB,IBT,IOUT
幾何形状 (円柱)、反射条件 (反射、真空、真空、真空)、外側反復最大回数	
7 10 1 1 1	/IM1,JM1,IEX,JEX,IMO
ゾーン数 (径、軸)、反射体ゾーン (径、軸)、反射体物質数	
2.182 0.10 4.0 0.0 0.7 0.0 1.0	
平均 MOX 濃度、平均添加剤濃度、最大 MOX 濃度、最小 MOX 濃度、最大添加剤濃度、最小添加剤濃度、加速因子	
1 4.759 1 4.759 1 4.759 1 4.427 1 4.433 1 4.435	
1 4.437 15 30.0	
径方向メッシュ分割数、及びゾーン幅	
15 30.0 2 9.691 2 9.691 2 9.691 2 9.691 2 9.691	
2 9.691 2 9.691 2 9.691 2 9.691 2 9.691	

軸方向メッシュ分割数、及びゾーン幅

1	1	1	1	1	1	1	2
1	1	1	1	1	1	1	2
1	1	1	1	1	1	2	2
1	1	1	1	1	1	2	2
1	1	1	1	1	2	2	2
1	1	1	1	1	2	2	2
1	1	1	1	2	2	2	2
1	1	1	2	2	2	2	2
1	1	1	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2

R-Z 体系マップ

## 5. OPT-TWO 計算例

### 5.1 概要

本章では、OPT-TWO の計算例として、MOX 燃料加工施設で使用する均一化混合装置を模擬した容器内における MOX 粉末と UO<sub>2</sub> 粉末、添加剤の混合状態について最適濃度分布を算出する。最適濃度分布は、燃料物質の流動を加味した実現性を考慮して決定される分布ではなく、燃料の組成のみにより決定される濃度分布である点に注意が必要である。OPT-TWO の実施にあたり、最初に計算モデルや燃料条件などの計算条件を設定し、次に設定した計算条件を反映した断面積テーブルを作成する。図 5-1 に OPT-TWO の計算の実施に必要な作業を示す。なお、OPT-TWO の計算結果は臨界安全評価に使用できるが、その方法について付録 1 に示した。

計算に使用したパソコンは、OS:Vine Linux 4.0、CPU: 1.60GHz (デュアルコア インテル(R) Xeon(R) プロセッサ)、メモリ: 4GB で、計算時間は約 4.5 時間であった。なお、OPT-TWO の入力ファイル及び出力ファイルを付録 1 に示す。

以下の節では、計算条件の設定、断面積テーブルの作成、OPT-TWO の実施の順に示していき、最後に計算結果を示す。

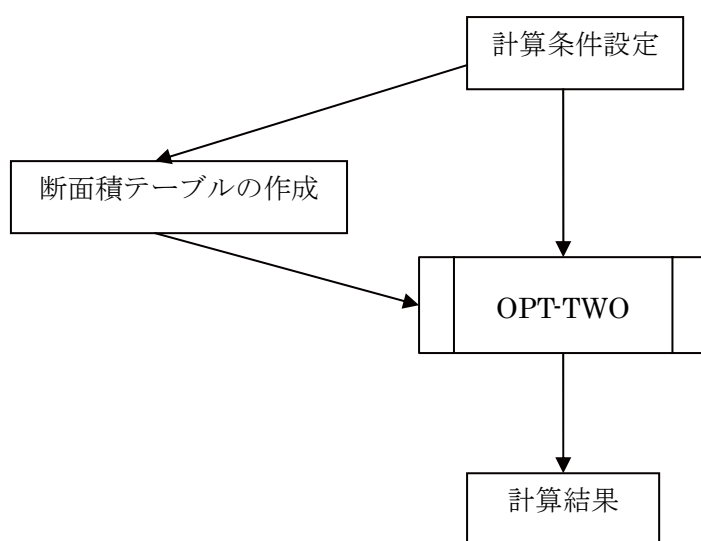


図 5-1 OPT-TWO 実施の流れ

### 5.2 計算条件の設定

#### 5.2.1 計算モデル

MOX 燃料を混合するための容器を、内径最大 120.7cm、最小 24 cm、高さ 211 cm、厚さ 30 cm の逆円錐台形状のポリエチレン製容器でモデル化した。容器のモデルを図

5-2A に示す。OPT-TWO で実施する中性子輸送計算は、メッシュ角度が全て  $90^\circ$  の長方形メッシュでしか計算できない (3.2 節参照) ため、図 5-2A にいくつかの仮定をおいて変換した図 5-2B-2 に示すモデルを使用した。1 つ目の仮定は図 5-2A に対して体積等価な円柱の積み重ね形状に変換するという仮定であり、2 つ目は容器壁が燃料高さと同じ高さとする仮定である。OPT-TWO の計算メッシュとして、図 5-2B-2 に示すような、2 次元軸対象モデルを使用し、燃料領域を半径方向に 7 分割、軸方向に 10 分割した。

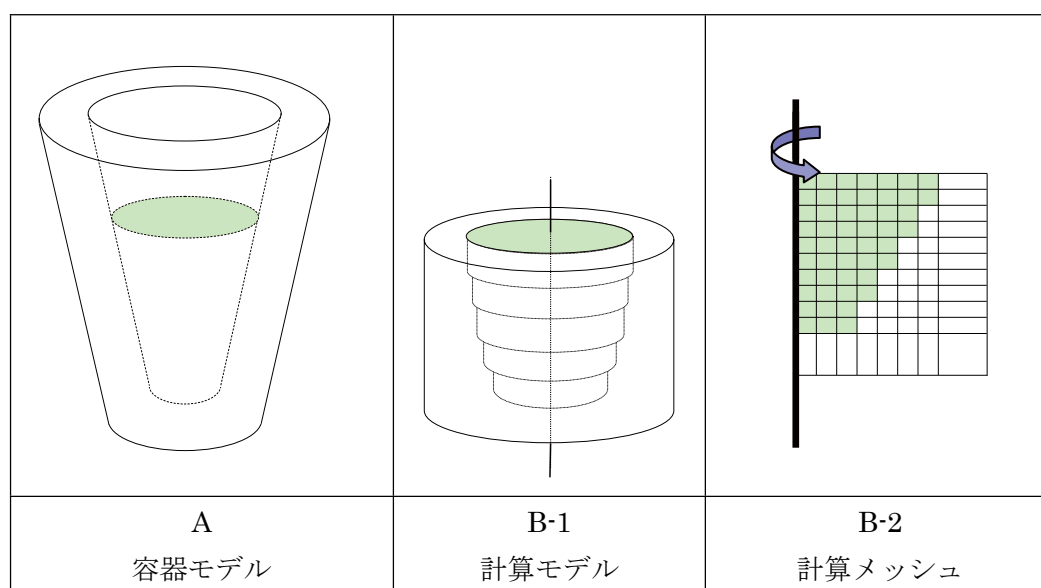


図 5-2 計算モデル

### 5.2.2 燃料条件

OPT-TWO の計算にあたり、混合する燃料の組成、混合する燃料の質量及び混合中の燃料濃度変動範囲の 3 つの燃料条件を設定する。燃料混合中の濃度変動範囲の設定は、濃度束縛条件を設定していて、ある燃料の濃度が混合前の状態よりも異常に濃くなったり逆に薄くなりすぎたりすることや濃度が負の値になるなど、物理的に不可能な状態での計算が行われることを未然に防ぐ意義がある (3.6 節参照)。今回の計算では MOX 粉末の  $\text{PuO}_2$  富化度が 33wt% であるので、富化度が 33wt% 以上とならないよう、濃度束縛条件を 0~33wt% (濃度換算値 0~4.0g/cm<sup>3</sup>) とした。

表 5-1 に燃料の組成及び混合量を、表 5-2 に燃料濃度変動範囲を示す。MOX 粉末、 $\text{UO}_2$  粉末の合計濃度は 4.0g/cm<sup>3</sup> で一定、添加剤は MOX 粉末と  $\text{UO}_2$  粉末の隙間に入り込み、最大で 0.7g/cm<sup>3</sup> まで変動すると仮定した。

表 5-1 MOX 粉末、UO<sub>2</sub> 粉末、添加剤の組成及び混合量

燃料名	物性値または物性名	組成	混合量
MOX 粉末	PuO <sub>2</sub> 富化度	33 wt%	381.82kg
	Pu 同位体組成	239Pu:240Pu:241Pu= 71:17:12	
UO <sub>2</sub> 粉末	濃縮度	0.3 wt%	318.18kg
添加剤	物性名	ステアリン酸亜鉛 (CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>16</sub> COO) <sub>2</sub> Zn)	17.5kg

表 5-2 燃料濃度変動範囲

	MOX 粉末+UO <sub>2</sub> 粉末		添加剤
	富化度 (wt%)	濃度 (g/cm <sup>3</sup> )	濃度 (g/cm <sup>3</sup> )
計算中の変動範囲	0~33	4.0	0~0.7
均一状態	18	4.0	0.1

### 5.3 断面積テーブルの作成

今回の計算例では、SRAC を使用して実効断面積の算出及び縮約を実施して MACRO 形式の断面積を算出し、その断面積データについてテーブル化及びデータ形式の変換を実施した。断面積データのテーブル化では、縮約した数点の断面積データを1つのファイルにテーブル形式で集約させる。なお、計算例と同様の計算体系及び計算条件に対して使用できる、断面積テーブルを作成させるコードを OPT-TWO インストール CD に収録している。このコードについては、付録 3 参照。

断面積の縮約の実施範囲として、MOX 粉末と UO<sub>2</sub> 粉末の混合物については濃度 0.0 ~ 4.0g/cm<sup>3</sup> の範囲で 7 点、添加剤については 0.0~0.7 g/cm<sup>3</sup> の範囲で 9 点とった。SRAC では固定源計算と固有値計算を順に実施し、固定源計算では、PEACO を使用して超詳細共鳴領域について 1 次元円筒モデルの衝突計算を実施し 107 群の実行断面積を算出、固有値計算では、固定源計算で算出した実行断面積を使用して円筒モデルで計算を実施し、24 群への縮約を実施した。ライブラリとして、亜鉛を除く物性に SRACLIB-JDL33 を使用し、亜鉛に対しては SRACLIB-JEF30 を使用した。

### 5.4 OPT-TWO の設定

OPT-TWO では、以下に示す計算の制御の設定を行っている。3.2 節に示す中性子輸送計算の条件として、表 5-3 に示す条件を設定した。3.3 節に示す燃料移行量の計算については、(2.15) 式中の  $\Delta u$  をメッシュにおける濃度の 20%、繰り返し計算回数は 100 回を設定した。

表 5-3 輸送計算条件

エネルギー群数	24 群
PL 次数	1
Sn 次数	8

## 5.5 計算結果

5.4 節までで設定した条件により OPT-TWO を実施し、最適濃度分布を算出した。MOX 粉末の最適濃度分布については表 5-4 に、添加剤の最適濃度分布については表 5-5 に示す。また、図 5-3、5-4 には、MOX 粉末、添加剤それぞれの最適濃度分布を、濃度を色で表した図に示す。図より、MOX 粉末および添加剤の最適濃度分布は、体系の中心付近に集中することが分かる。なお、MOX 粉末の濃度と UO<sub>2</sub> 粉末濃度の合計が常に一定値であると仮定していることから、UO<sub>2</sub> 粉末は体系境界付近に集中するときに最適濃度分布になっていることもわかる。

繰り返し計算による keff の変化を確認するために、図 5-5 に計算回数と keff の関係を示す。計算回数が 15 回くらいまで keff は単調に増加しているが、60 回を越えた頃からほとんど変動がなくなっていることが分かる。また、図 5-6～5-9 に、MOX 粉末（または UO<sub>2</sub> 粉末）と添加剤についての繰り返し計算中の燃料インポートランスと燃料濃度分布の変化を示す。図 5-6 の MOX 粉末および UO<sub>2</sub> 粉末の燃料インポートランス分布を見ると、計算回数が増えるにつれて、体系の中心付近の燃料インポートランスが大きくなり、分布に偏りが発生していることがわかる。これは、添加剤濃度はさらに変動していることに対し、MOX 粉末濃度は 5.2.2 節で設定した燃料束縛条件により計算回数が増えても MOX 粉末濃度の変動が抑えられていることによる。一方、図 5-7 の添加剤燃料インポートランス分布の変動をみると、計算回数が増えるにつれて、燃料インポートランスの分布が徐々に平坦化されていることがわかる。図 5-8、5-9 に示す燃料濃度分布の変動では、徐々に最適濃度へと変動していく様子が分かる。

表 5-4 MOX 粉末の最適濃度分布

0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
4.00E+00	4.00E+00	4.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.97E-01
4.00E+00	4.00E+00	4.00E+00	4.00E+00	4.00E+00	2.09E+00	
4.00E+00	4.00E+00	4.00E+00	4.00E+00	4.00E+00	4.00E+00	
4.00E+00	4.00E+00	4.00E+00	4.00E+00	4.00E+00		
4.00E+00	4.00E+00	4.00E+00	4.00E+00	4.00E+00		
4.00E+00	4.00E+00	4.00E+00	4.00E+00			
4.00E+00	7.12E-01	0.00E+00	5.58E-01			
0.00E+00	0.00E+00	5.80E-01				
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00				

単位 : g/cm<sup>3</sup>

表 5-5 添加剤の最適濃度分布

0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
3.20E-01	2.24E-01	2.27E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
7.00E-01	7.00E-01	6.31E-01	1.60E-01	0.00E+00	0.00E+00	
0.00E+00	0.00E+00	5.77E-01	7.00E-01	2.54E-02		
7.00E-01	7.00E-01	7.00E-01	1.00E-01	0.00E+00		
2.63E-01	3.72E-01	6.66E-02	0.00E+00			
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00			
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00				
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00				

単位 : g/cm<sup>3</sup>

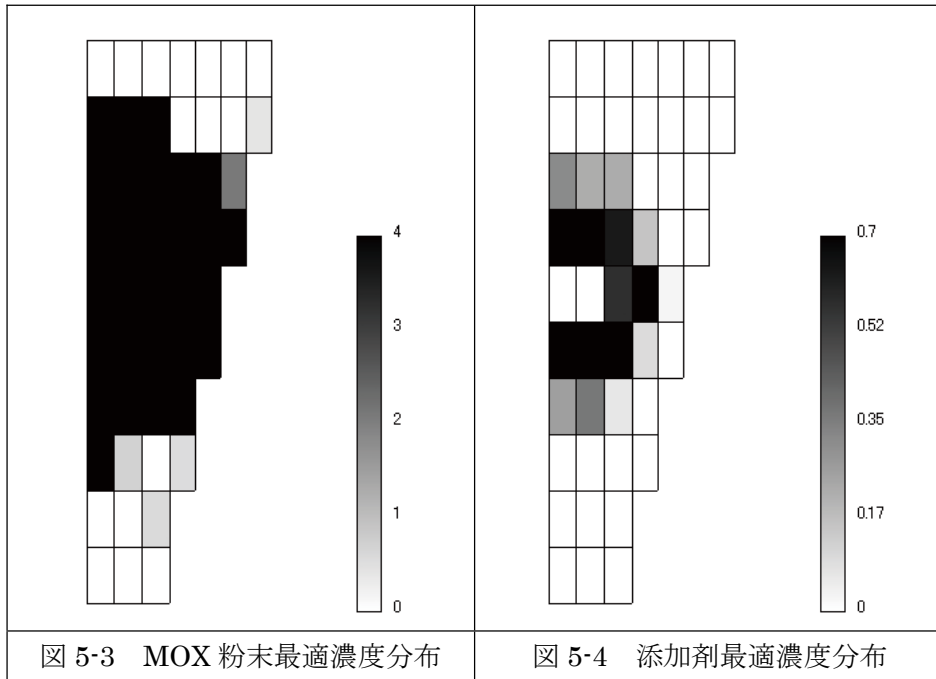


図 5-3 MOX 粉末最適濃度分布

図 5-4 添加剤最適濃度分布

単位 : g/cm<sup>3</sup>

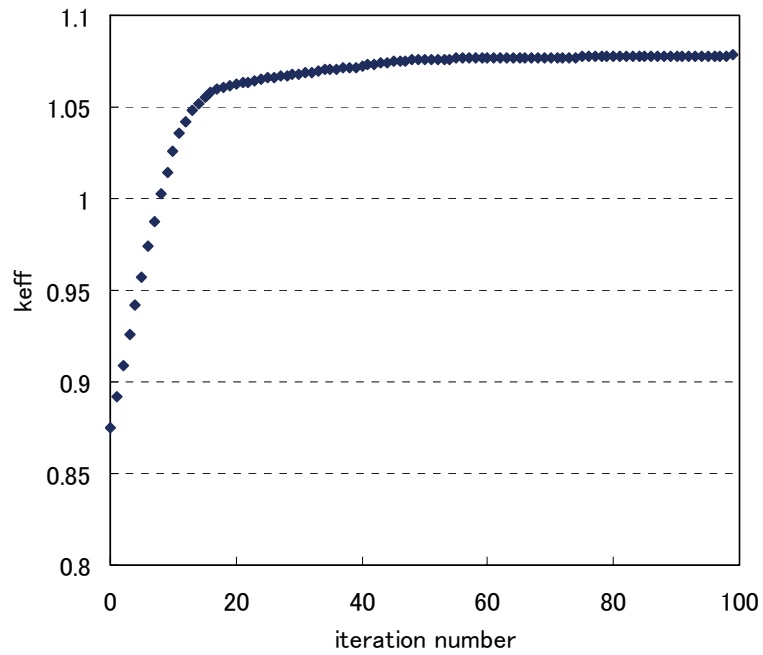


図 5-5 計算回数と  $k_{eff}$  の関係



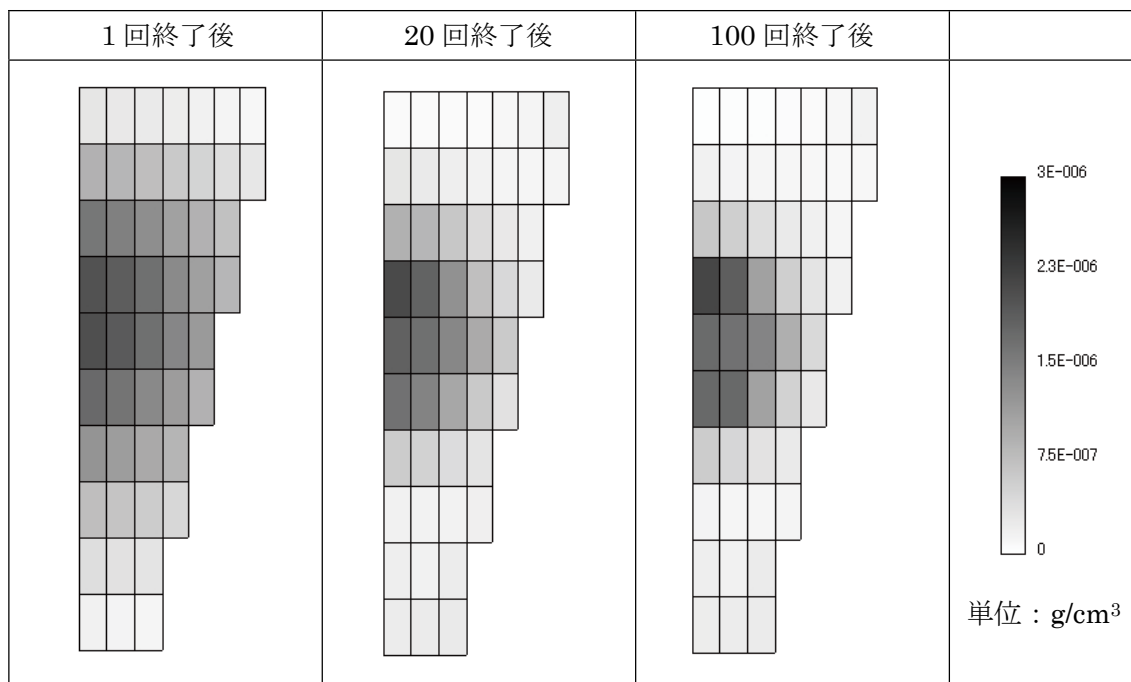


図 5-6 MOX 粉末及び UO<sub>2</sub> 粉末の燃料インポートランス分布の変化

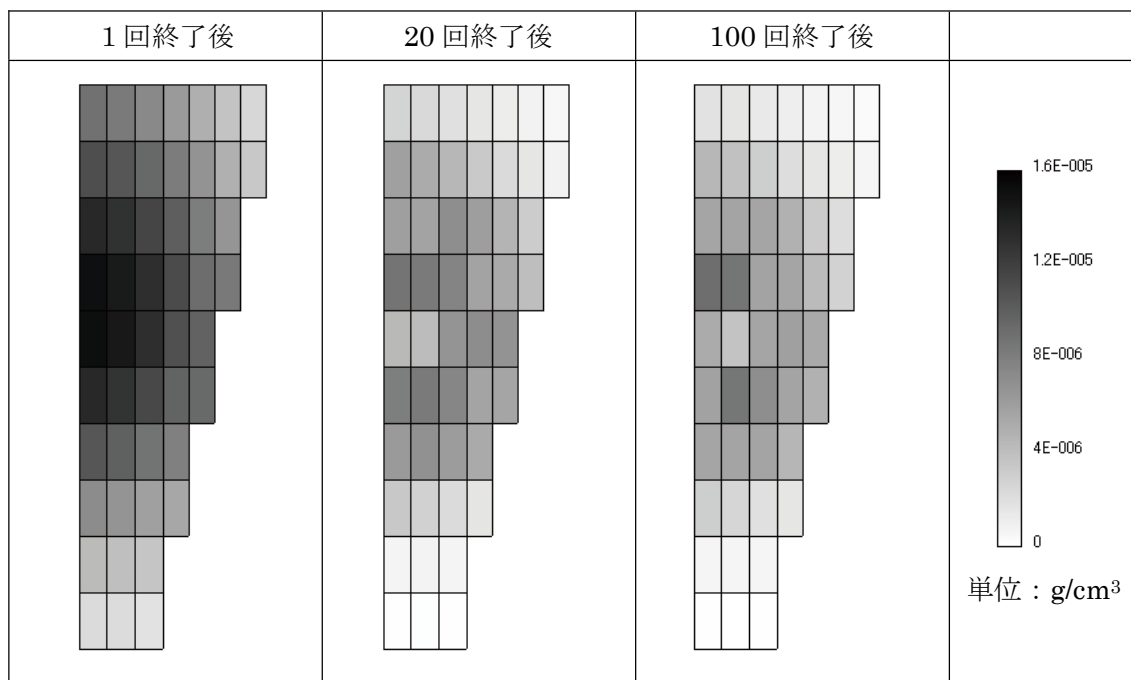


図 5-7 添加剤の燃料インポートランス分布の変化

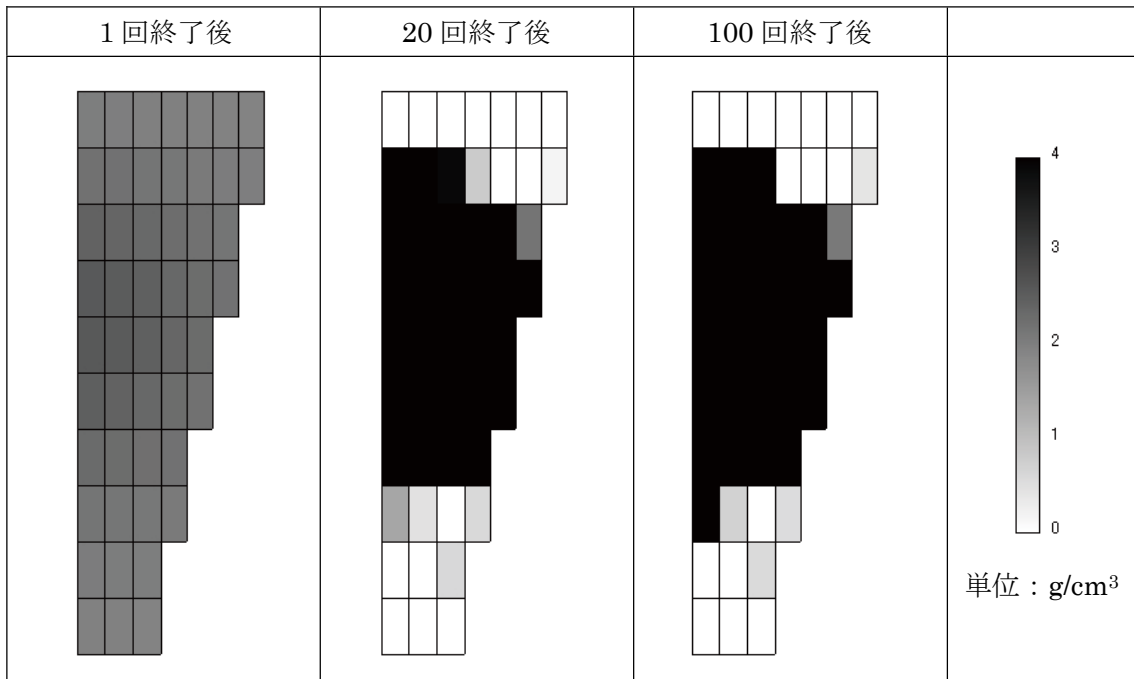


図 5-8 MOX 粉末及び UO<sub>2</sub> 粉末の最適濃度分布の変化

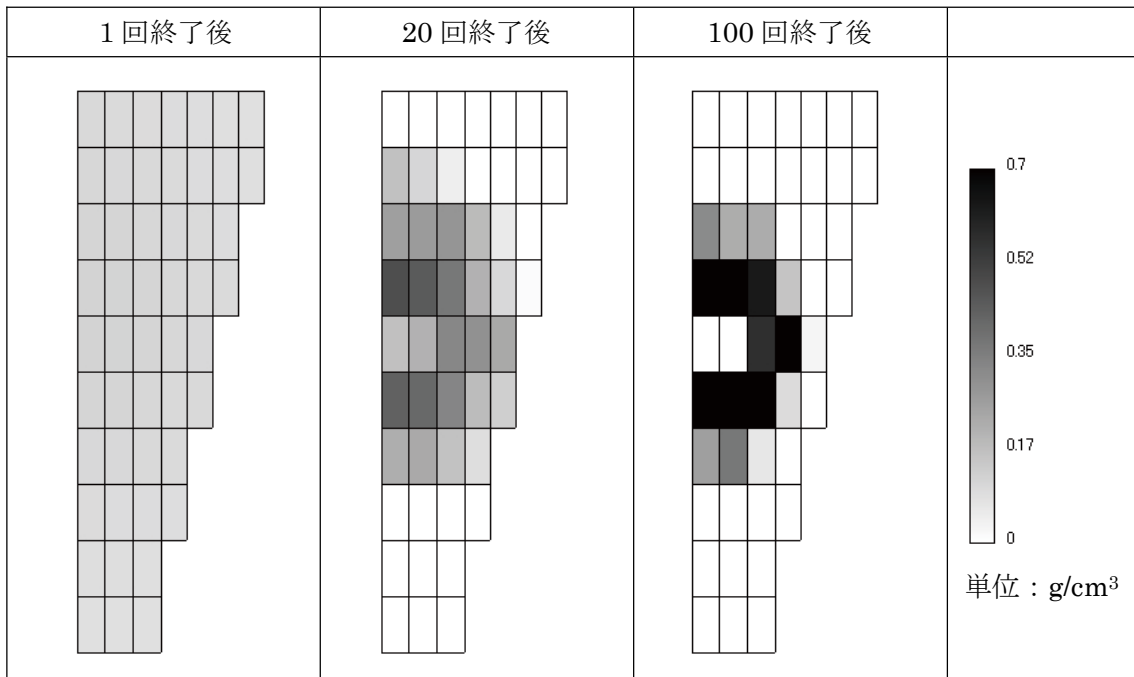


図 5-9 添加剤の最適濃度分布の変化

謝辞

本 OPT-TWO コードは、MOX 燃料体系の最適濃度分布を算出する計算コードであるが、その作成にあたり、多くの方々からご指導をいただいた。また、OPT-TWO コードの計算内容及び使用方法について示した本資料を作成するにあたり、内山軍蔵ユニット長には様々な事項を指摘していただいた。また、原子力基礎工学研究部門の片倉純一研究主席には、本報告書の原稿を閲読いただき有益なコメントをいただいた。ここに感謝の意を示したい。

参考文献

- 1) 原子力安全委員会、「核燃料施設安全審査基本指針」(2001年改訂版)、  
<http://www.nsc.go.jp/anken/sisin/sisin025/si025.html> より入手可 (2007-02-20 アクセス) .
- 2) Y. Hirano, Y. Yamane, K. Nishina, "Reactivity effect of non-uniformly distributed fuel in fuel solution systems," J. Nucl. Sci. Technol., **28**, 595-607 (1991).
- 3) “核燃料物質溶液における濃度の不均一効果について,” (株) 東芝、TLR-R005 (2001).
- 4) 臨界安全性専門部会臨界安全性実験データ検討ワーキンググループ, “臨界安全ハンドブック第2版,” JAERI 1303 (1999).
- 5) H. Okuno, T. Sakai, “Nonuniformity Effect on Reactivity of Fuel in Slurry,” Nucl. Technol., **122**, 265-275 (1998).
- 6) K.D. Lathrop, “TWOTRAN, A Fortran Program for Two-Dimensional Transport,” GA-8747 (1968).
- 7) 酒井友宏, 奥野浩, “2次元最適燃料分布臨界計算プログラムの開発,” 日本原子力学会 1999年秋の大会、E33 (1999).
- 8) 小室雄一, 奥野浩, 内藤俣孝, 酒井友宏, 塩田雅之, 奥田泰久, “断面積セット作成プログラム MAIL3.0 の使用手引書,” JAERI-M 90-126 (1990).
- 9) 奥村啓介, 金子邦男, 土橋敬一郎, “SRAC95;汎用核計算コードシステム,” JAERI-Data/Code 96-0152(1996).
- 10) 三好慶典, 山本俊弘, 中島健, “MOX 粉末燃料の臨界事故の簡易評価,” JAERI-Research 2002-002 (2003).
- 11) X-5 Monte Carlo Team, "MCNP — A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, Volume 1 ~Volume 3" LA-UR-03-1987, LA-CP-03-0245, LA-CP-03-0284, (2003).

## 付録 1 OPT-TWO の臨界計算への適用

臨界安全評価上重要となるのは最適濃度分布での中性子増倍率であるが、OPT-TWO の計算結果にポスト処理を加えることで、計算対象とした燃料体系の中性子増倍率の計算を実施することができる。OPT-TWO を使用した臨界計算の流れを図に示す。図で示す臨界計算では、断面積の算出に SRAC コードを、中性子増倍率の計算に MCNP コードを使用している。SRAC により算出した断面積は、FIT という計算コードにより OPT-TWO で使用できる形式 (ANISN 形式) に変換され、OPT-TWO へ読み込まれる (5.3 節参照)。また、OPT-TWO で算出した最適濃度分布は、MCNPMAKE という計算コードにより MCNP の入力ファイルへと変換される。今回示した 5 章の計算例のように、OPT-TWO の計算に際して特殊なモデル化を実施した場合 (3.2 節参照) は、MCNP 用にモデルを作りなおしてから計算を実施する必要がある。MCNPMAKE、FIT の適用範囲は、5 章で示す計算条件と類似の条件のみであり、例えば形状が逆円錐形状でない場合や、臨界計算コードに MCNP を使用しない場合、断面積の縮約に SRAC を使用しない場合などには拡張が必要である点に注意が必要である。また、MCNPMAKE、FIT は適用できないが、SRAC、MCNP 以外の計算コードを使用しても臨界計算を実施することは可能である。付録 3 インストールでは、OPT-TWO のインストール方法に加え、MCNPMAKE 及び FIT のインストール方法についても示す。

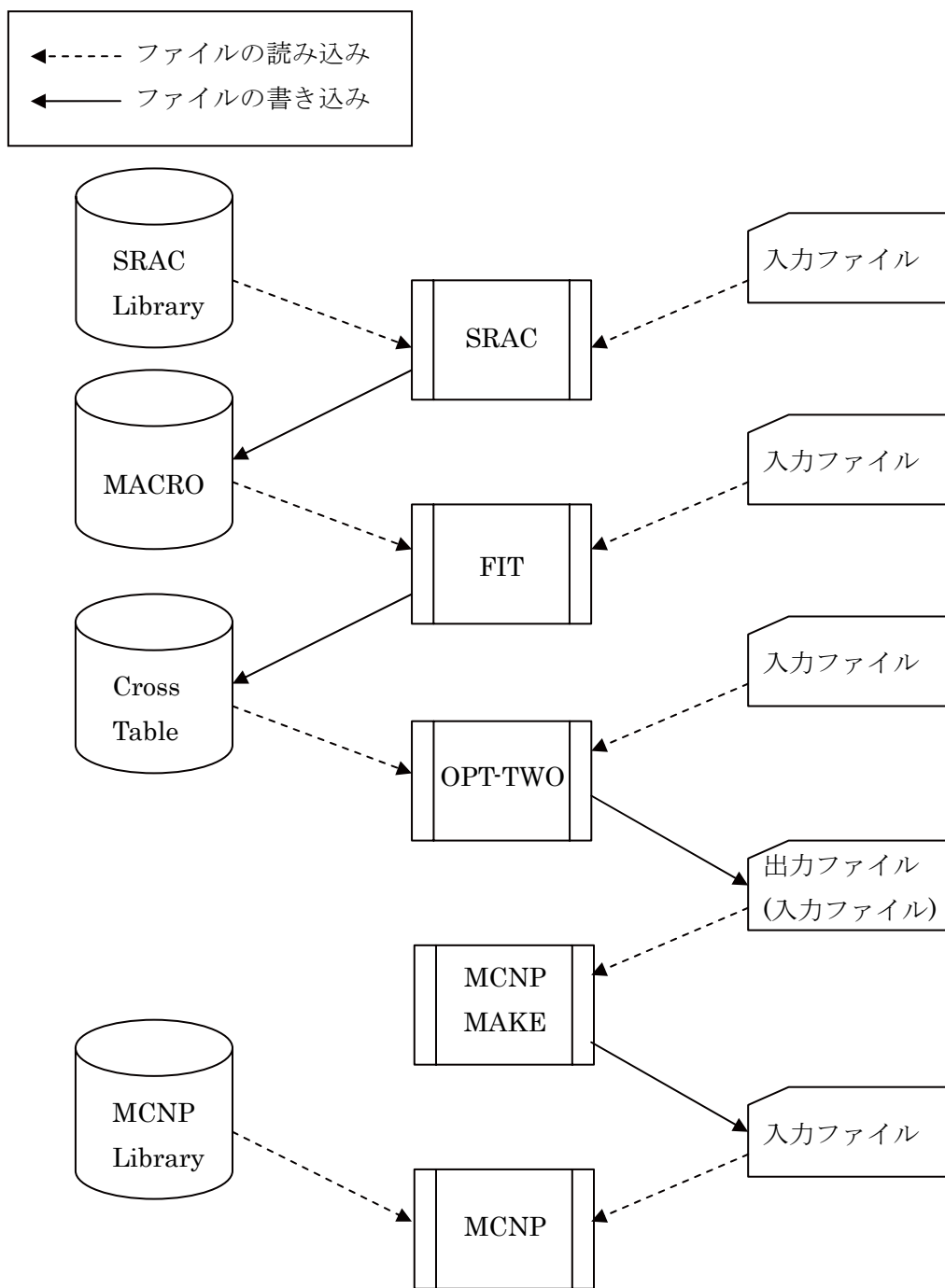


図 OPT-TWO を使用した臨界計算の流れ

付録2 OPT-TWO 入力ファイル及び出力ファイル

1. 入力ファイル

MOX Fuel with Zn-St Pu Enri=18wt% Zn-St Conc. 0.10

```

24 1 8 /IGM,IPLOPT,ISN,JENDL
2 1 0 0 0 100 /IGEOM,IBL,IBR,IBB,IBT,IOUT
7 10 1 1 1 /IM1,JM1,IEX,JEX,IMO
2.182 0.10 4.0 0.0 0.7 0.0 1.0
1 4.759 1 4.759 1 4.759 1 4.427 1 4.433 1 4.435
1 4.437 15 30.0
15 30.0 2 9.691 2 9.691 2 9.691 2 9.691
2 9.691 2 9.691 2 9.691 2 9.691
1 1 1 1 1 1 1 2
1 1 1 1 1 1 1 2
1 1 1 1 1 1 2 2
1 1 1 1 1 1 2 2
1 1 1 1 1 2 2 2
1 1 1 1 1 2 2 2
1 1 1 1 2 2 2 2
1 1 1 1 2 2 2 2
1 1 1 2 2 2 2 2
1 1 1 2 2 2 2 2
2 2 2 2 2 2 2 2
    
```

2. 出力ファイル

```

MOX Fuel with Zn-St Pu Enri=18wt% Zn-St Conc. 0.10
NUMBER OF ENERGY GROUPS — 24( )
REQUIRED PL ORDER — 1(0/1/3 )
ORDER OF ANGULAR QUADRATURE — 8(DEFAULT 8)

GEOMETRY TYPE — 2 (1/2/3)=(x-y/r-z/r-theta)
LEFT BOUNDARY CONDITION — 1 (0/1)=VACUUM/REFLECTIVE)
RIGHT BOUNDARY CONDITION — 0 (0/1/3/4)=VACUUM/REFLECTIVE/WHITE/WHI-REF) 0
BOTTOM BOUNDARY CONDITION — 0 (0/1/2/3)=VACUUM/REFLECTIVE/WHITE/PERIODIC)
TOP BOUNDARY CONDITION — 0 (0/1/2/3)=VACUUM/REFLECTIVE/WHITE/PERIODIC)
NUMBER OF ZONE( I-REGION) — 7
NUMBER OF ZONE( J-REGION) — 10
NUMBER OF I-DIRECT EXTRA REGION) — 1
NUMBER OF J-DIRECT EXTRA REGION) — 1
OUTER ITERATION MAXIUM — 100
    
```

```

AVERAGE MOX CONC — 2.182E+00
AVERAGE ZST CONC — 1.000E-01
MAXIMUM VALUE — 0.000E+00
MINIMUM VALUE — 0.000E+00
RELAX FACTOR — 1.00

1 MOX Fuel with Zn-St Pu Enri=18wt% Zn-St Conc. 0.10

1*****REBALANCE
MAP*****
0 Z MATERIALS BY BROAD ZONE, ORIGIN AT LOWER LEFT.
ROW M M IS NUMBER OF FINE INTERVALS/BROAD ROW(COLUMN).
126.9100 1000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000
    
```

```

      I   *   *   *   *   *   *   *   *   U
11  2  1 -87 * -89 * -91 * -93 * -95 * -97 * -99 * -101 0
      1   *   *   *   *   *   *   *   *   0
117.2190 1*****0
      1   *   *   *   *   *   *   *   *   0
10  2  1 -73 * -75 * -77 * -79 * -81 * -83 * -85 * -101 0
      1   *   *   *   *   *   *   *   *   0
107.5280 1*****0
      1   *   *   *   *   *   *   *   *   0
9  2  1 -61 * -63 * -65 * -67 * -69 * -71 * -101 * -101 0
      1   *   *   *   *   *   *   *   *   0
97.8370 1*****0
      1   *   *   *   *   *   *   *   *   0
8  2  1 -49 * -51 * -53 * -55 * -57 * -59 * -101 * -101 0
      1   *   *   *   *   *   *   *   *   0
88.1460 1*****0
      1   *   *   *   *   *   *   *   *   0
7  2  1 -39 * -41 * -43 * -45 * -47 * -101 * -101 * -101 0
      1   *   *   *   *   *   *   *   *   0
78.4550 1*****0
      1   *   *   *   *   *   *   *   *   0
6  2  1 -29 * -31 * -33 * -35 * -37 * -101 * -101 * -101 0
      1   *   *   *   *   *   *   *   *   0
68.7640 1*****0
      1   *   *   *   *   *   *   *   *   0
5  2  1 -21 * -23 * -25 * -27 * -101 * -101 * -101 * -101 0
      1   *   *   *   *   *   *   *   *   0
59.0730 1*****0
      1   *   *   *   *   *   *   *   *   0
4  2  1 -13 * -15 * -17 * -19 * -101 * -101 * -101 * -101 0
      1   *   *   *   *   *   *   *   *   0
49.3820 1*****0
      1   *   *   *   *   *   *   *   *   0
3  2  1 -7 * -9 * -11 * -101 * -101 * -101 * -101 * -101 0
      1   *   *   *   *   *   *   *   *   0
39.6910 1*****0
      1   *   *   *   *   *   *   *   *   0
2  2  1 -1 * -3 * -5 * -101 * -101 * -101 * -101 * -101 0
      1   *   *   *   *   *   *   *   *   0
30.0000 1*****0
      1   *   *   *   *   *   *   *   *   0
1  15 1 -101 * -101 * -101 * -101 * -101 * -101 * -101 * -101 0
      1   *   *   *   *   *   *   *   *   0
0.0000 10000000000000000000000000000000000000000000000000000
R      0.  4.  9. 14. 18. 23. 27. 32. 62.
      0 7589 5179 2770 7040 1369 5720 89 89
0  M      1  1  1  1  1  1  1  1  15
COLUMN   1  2  3  4  5  6  7  8
0
00000002
00000002
00000022
00000022
00000222
00000222
00002222
00002222
00022222
00022222
00022222
00022222
00022222

```



```

0 0 0 2 2 2 2 2
2 2 2 2 2 2 2 2
AVE CONC = MOX, Zn-St
0.2182E+01 0.1000E+00 0.1750E+06
AVERAGE Fuel IMP
7.860E-07
AVERAGE Zn-St IMP
7.792E-06
Fuel IMP RELATIVE ERR
0.16383E+01
Zn-St IMP RELATIVE ERR
0.94435E+00
2.61839986 3.57476711 0.122077875
FUEL IMPORTANCE 1
2.925E-07 2.752E-07 2.446E-07 2.062E-07 1.631E-07 1.242E-07 9.128E-08
9.090E-07 8.561E-07 7.596E-07 6.403E-07 5.094E-07 3.895E-07 2.800E-07
1.597E-06 1.497E-06 1.328E-06 1.107E-06 9.003E-07 7.237E-07 0.000E+00
2.039E-06 1.905E-06 1.680E-06 1.392E-06 1.124E-06 8.560E-07 0.000E+00
2.074E-06 1.935E-06 1.682E-06 1.419E-06 1.185E-06 0.000E+00 0.000E+00
1.755E-06 1.627E-06 1.402E-06 1.169E-06 9.090E-07 0.000E+00 0.000E+00
1.256E-06 1.150E-06 1.010E-06 8.690E-07 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
7.586E-07 6.890E-07 5.990E-07 4.738E-07 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
3.828E-07 3.551E-07 3.181E-07 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
1.620E-07 1.448E-07 1.135E-07 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
FUEL IMPORTANCE 2
8.818E-06 8.342E-06 7.442E-06 6.332E-06 5.011E-06 3.775E-06 2.531E-06
1.107E-05 1.056E-05 9.521E-06 8.199E-06 6.769E-06 4.942E-06 3.432E-06
1.351E-05 1.286E-05 1.169E-05 1.006E-05 8.131E-06 6.662E-06 0.000E+00
1.511E-05 1.442E-05 1.306E-05 1.134E-05 9.135E-06 8.389E-06 0.000E+00
1.515E-05 1.446E-05 1.305E-05 1.100E-05 9.868E-06 0.000E+00 0.000E+00
1.346E-05 1.280E-05 1.145E-05 9.786E-06 9.454E-06 0.000E+00 0.000E+00
1.057E-05 9.983E-06 8.773E-06 7.980E-06 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
7.233E-06 6.728E-06 5.989E-06 5.551E-06 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
4.321E-06 4.022E-06 3.628E-06 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
2.235E-06 2.171E-06 1.836E-06 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
MOX Concentration
2.015E+00 2.009E+00 1.999E+00 1.985E+00 1.971E+00 1.958E+00 1.947E+00
2.224E+00 2.206E+00 2.173E+00 2.133E+00 2.088E+00 2.048E+00 2.011E+00
2.457E+00 2.423E+00 2.366E+00 2.291E+00 2.221E+00 2.161E+00 0.000E+00
2.606E+00 2.561E+00 2.485E+00 2.387E+00 2.297E+00 2.206E+00 0.000E+00
2.618E+00 2.571E+00 2.486E+00 2.396E+00 2.317E+00 0.000E+00 0.000E+00
2.510E+00 2.467E+00 2.391E+00 2.312E+00 2.224E+00 0.000E+00 0.000E+00
2.341E+00 2.305E+00 2.258E+00 2.210E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
2.173E+00 2.149E+00 2.119E+00 2.076E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
2.045E+00 2.036E+00 2.023E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
1.971E+00 1.965E+00 1.954E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
Ave MOX = 2.18199992
Zn-St Concentration
1.028E-01 1.015E-01 9.905E-02 9.603E-02 9.244E-02 8.908E-02 8.570E-02
1.089E-01 1.075E-01 1.047E-01 1.011E-01 9.722E-02 9.226E-02 8.815E-02
1.155E-01 1.138E-01 1.106E-01 1.062E-01 1.009E-01 9.693E-02 0.000E+00
1.199E-01 1.180E-01 1.143E-01 1.096E-01 1.037E-01 1.016E-01 0.000E+00
1.200E-01 1.181E-01 1.143E-01 1.087E-01 1.056E-01 0.000E+00 0.000E+00
1.154E-01 1.136E-01 1.099E-01 1.054E-01 1.045E-01 0.000E+00 0.000E+00
1.076E-01 1.060E-01 1.027E-01 1.005E-01 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
9.848E-02 9.711E-02 9.510E-02 9.391E-02 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
9.057E-02 8.975E-02 8.868E-02 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
8.490E-02 8.472E-02 8.381E-02 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00

```

Ave Zn-St = 0.10000039

ITERATION NO.	K-EFFECTIVE	MAX ERROR	REAL ITER.	ADJ. ITER.
1	0.87503	2.000E-01	115	164

0

00000002  
 00000002  
 00000022  
 00000022  
 00000222  
 00000222  
 00002222  
 00002222  
 00022222  
 00022222  
 22222222

AVE CONC = MOX, Zn-St  
 0.2182E+01 0.1000E+00 0.1750E+06

AVERAGE Fuel IMP  
 7.420E-07

AVERAGE Zn-St IMP  
 7.552E-06

Fuel IMP RELATIVE ERR  
 0.19115E+01

Zn-St IMP RELATIVE ERR  
 0.11777E+01

3.0547998 4.17095232 0.104628384

FUEL IMPORTANCE 1

2.619E-07	2.443E-07	2.142E-07	1.772E-07	1.378E-07	1.035E-07	7.602E-08
8.523E-07	7.949E-07	6.935E-07	5.721E-07	4.449E-07	3.335E-07	2.381E-07
1.588E-06	1.473E-06	1.281E-06	1.041E-06	8.246E-07	6.472E-07	0.000E+00
2.115E-06	1.954E-06	1.688E-06	1.361E-06	1.069E-06	7.949E-07	0.000E+00
2.160E-06	2.001E-06	1.705E-06	1.402E-06	1.137E-06	0.000E+00	0.000E+00
1.767E-06	1.625E-06	1.377E-06	1.126E-06	8.588E-07	0.000E+00	0.000E+00
1.177E-06	1.071E-06	9.308E-07	7.911E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.472E-07	5.863E-07	5.087E-07	4.018E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.984E-07	2.777E-07	2.510E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.183E-07	1.064E-07	8.434E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

FUEL IMPORTANCE 2

7.893E-06	7.410E-06	6.558E-06	5.522E-06	4.316E-06	3.209E-06	2.143E-06
1.062E-05	1.005E-05	8.928E-06	7.594E-06	6.168E-06	4.426E-06	2.981E-06
1.385E-05	1.308E-05	1.177E-05	9.944E-06	7.840E-06	6.250E-06	0.000E+00
1.645E-05	1.547E-05	1.367E-05	1.155E-05	8.973E-06	7.933E-06	0.000E+00
1.612E-05	1.550E-05	1.377E-05	1.146E-05	1.009E-05	0.000E+00	0.000E+00
1.444E-05	1.356E-05	1.184E-05	9.912E-06	9.265E-06	0.000E+00	0.000E+00
1.047E-05	9.886E-06	8.666E-06	7.821E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.648E-06	6.131E-06	5.380E-06	4.850E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.637E-06	3.379E-06	3.047E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.686E-06	1.657E-06	1.410E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

MOX Concentration

1.867E+00	1.856E+00	1.836E+00	1.812E+00	1.785E+00	1.761E+00	1.742E+00
2.258E+00	2.222E+00	2.158E+00	2.080E+00	1.997E+00	1.922E+00	1.855E+00
2.717E+00	2.648E+00	2.531E+00	2.383E+00	2.246E+00	2.132E+00	0.000E+00
3.029E+00	2.934E+00	2.776E+00	2.578E+00	2.397E+00	2.222E+00	0.000E+00
3.055E+00	2.959E+00	2.782E+00	2.599E+00	2.439E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.826E+00	2.739E+00	2.586E+00	2.430E+00	2.260E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.475E+00	2.406E+00	2.316E+00	2.225E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.144E+00	2.101E+00	2.047E+00	1.971E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

1.909E+00	1.893E+00	1.872E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.779E+00	1.769E+00	1.752E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Ave MOX = 2.18199992						
Zn-St Concentration						
1.036E-01	1.012E-01	9.681E-02	9.147E-02	8.516E-02	7.932E-02	7.354E-02
1.158E-01	1.132E-01	1.078E-01	1.012E-01	9.411E-02	8.523E-02	7.787E-02
1.297E-01	1.262E-01	1.201E-01	1.115E-01	1.016E-01	9.400E-02	0.000E+00
1.399E-01	1.358E-01	1.281E-01	1.186E-01	1.068E-01	1.025E-01	0.000E+00
1.393E-01	1.360E-01	1.283E-01	1.175E-01	1.113E-01	0.000E+00	0.000E+00
1.309E-01	1.271E-01	1.196E-01	1.107E-01	1.084E-01	0.000E+00	0.000E+00
1.141E-01	1.112E-01	1.052E-01	1.011E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
9.645E-02	9.391E-02	9.022E-02	8.783E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
8.176E-02	8.037E-02	7.855E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
7.170E-02	7.147E-02	7.000E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Ave Zn-St = 0.100000039						
2	0.89207	2.000E-01	29	176		

(中略)

0

```

1 1 1 1 1 1 1 2
1 1 1 1 1 1 1 2
0 0 0 1 1 1 2 2
0 0 0 0 1 1 2 2
1 1 0 0 0 2 2 2
0 0 0 0 1 2 2 2
0 0 0 1 2 2 2 2
1 1 1 1 2 2 2 2
1 1 1 2 2 2 2 2
1 1 1 2 2 2 2 2
2 2 2 2 2 2 2 2
AVE CONC = MOX, Zn-St
0.2182E+01 0.1000E+00 0.1750E+06
AVERAGE Fuel IMP
1.201E-07
AVERAGE Zn-St IMP
5.634E-06
Fuel IMP RELATIVE ERR
0.38109E+00
Zn-St IMP RELATIVE ERR
0.38681E-01
FUEL IMPORTANCE 1
4.050E-08 4.364E-08 4.878E-08 6.124E-08 7.462E-08 1.046E-07 1.577E-07
1.583E-07 1.446E-07 1.211E-07 1.143E-07 1.164E-07 1.073E-07 1.362E-07
6.577E-07 5.593E-07 3.869E-07 2.466E-07 1.712E-07 1.217E-07 0.000E+00
2.170E-06 1.878E-06 1.106E-06 5.567E-07 3.085E-07 1.685E-07 0.000E+00
1.754E-06 1.663E-06 1.450E-06 9.461E-07 4.448E-07 0.000E+00 0.000E+00
1.789E-06 1.786E-06 1.100E-06 5.351E-07 2.723E-07 0.000E+00 0.000E+00
6.002E-07 4.887E-07 3.479E-07 2.510E-07 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
1.445E-07 1.252E-07 1.163E-07 1.214E-07 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
1.029E-07 5.964E-08 7.431E-08 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
1.582E-07 1.669E-07 1.854E-07 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
FUEL IMPORTANCE 2
1.809E-06 1.635E-06 1.342E-06 1.053E-06 7.715E-07 5.861E-07 3.709E-07
4.461E-06 3.870E-06 3.031E-06 2.092E-06 1.549E-06 1.136E-06 6.094E-07
5.661E-06 5.671E-06 5.637E-06 4.814E-06 3.256E-06 2.141E-06 0.000E+00
9.097E-06 8.642E-06 5.790E-06 5.630E-06 4.319E-06 2.790E-06 0.000E+00
5.256E-06 3.774E-06 5.663E-06 5.979E-06 5.416E-06 0.000E+00 0.000E+00

```

5.836E-06	8.575E-06	7.130E-06	5.676E-06	4.855E-06	0.000E+00	0.000E+00
5.655E-06	5.691E-06	5.691E-06	4.599E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.037E-06	2.588E-06	1.969E-06	1.536E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.771E-07	7.459E-07	7.682E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
7.866E-08	7.474E-08	1.028E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

MOX Concentration

0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.513E-01
4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	2.117E+00	0.000E+00
4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	0.000E+00
4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
4.000E+00	7.368E-01	0.000E+00	5.696E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	1.433E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Ave MOX = 2.18200946

Zn-St Concentration

0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.196E-01	2.227E-01	2.272E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
7.000E-01	7.000E-01	6.284E-01	1.606E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	5.760E-01	7.000E-01	2.931E-02	0.000E+00	0.000E+00
7.000E-01	7.000E-01	7.000E-01	9.921E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.624E-01	3.712E-01	6.562E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Ave Zn-St = 0.0999998152

99	1.07820	2.000E-01	35	124
----	---------	-----------	----	-----

0

1 1 1 1 1 1 1 2  
 1 1 1 1 1 1 1 2  
 0 0 0 1 1 1 2 2  
 0 0 0 0 1 1 2 2  
 1 1 0 0 0 2 2 2  
 0 0 0 0 1 2 2 2  
 0 0 0 1 2 2 2 2  
 1 1 1 1 2 2 2 2  
 1 1 1 2 2 2 2 2  
 1 1 1 2 2 2 2 2  
 2 2 2 2 2 2 2 2

AVE CONC = MOX, Zn-St

0.2182E+01 0.1000E+00 0.1750E+06

AVERAGE Fuel IMP

1.279E-07

AVERAGE Zn-St IMP

5.634E-06

Fuel IMP RELATIVE ERR

0.75910E+00

Zn-St IMP RELATIVE ERR

0.39171E-01

FUEL IMPORTANCE 1

3.987E-08	4.267E-08	4.626E-08	5.507E-08	6.756E-08	9.850E-08	1.525E-07
1.593E-07	1.455E-07	1.219E-07	1.088E-07	9.856E-08	8.011E-08	9.366E-08
6.608E-07	5.619E-07	3.888E-07	2.478E-07	1.722E-07	1.227E-07	0.000E+00
2.174E-06	1.883E-06	1.109E-06	5.578E-07	3.158E-07	1.690E-07	0.000E+00
1.754E-06	1.664E-06	1.450E-06	9.450E-07	4.438E-07	0.000E+00	0.000E+00

1.785E-06	1.781E-06	1.097E-06	5.333E-07	2.714E-07	0.000E+00	0.000E+00
5.959E-07	4.853E-07	3.454E-07	2.490E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.423E-07	1.225E-07	1.153E-07	1.252E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.931E-07	1.556E-07	2.250E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.116E-07	2.244E-07	2.333E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
FUEL IMPORTANCE 2						
1.822E-06	1.646E-06	1.352E-06	1.057E-06	7.759E-07	5.910E-07	3.738E-07
4.481E-06	3.888E-06	3.045E-06	2.114E-06	1.574E-06	1.139E-06	6.369E-07
5.666E-06	5.676E-06	5.648E-06	4.820E-06	3.253E-06	2.135E-06	0.000E+00
9.104E-06	8.648E-06	5.788E-06	5.622E-06	4.282E-06	2.792E-06	0.000E+00
5.253E-06	3.766E-06	5.662E-06	5.983E-06	5.413E-06	0.000E+00	0.000E+00
5.837E-06	8.568E-06	7.125E-06	5.680E-06	4.845E-06	0.000E+00	0.000E+00
5.667E-06	5.686E-06	5.686E-06	4.596E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.055E-06	2.594E-06	1.941E-06	1.570E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.387E-07	6.449E-07	6.132E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
9.877E-08	9.078E-08	1.249E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
MOX Concentration						
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	3.973E-01
4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	2.093E+00	0.000E+00
4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	0.000E+00
4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	4.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
4.000E+00	7.124E-01	0.000E+00	5.576E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	5.797E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Ave MOX = 2.18200946						
Zn-St Concentration						
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.202E-01	2.235E-01	2.274E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
7.000E-01	7.000E-01	6.312E-01	1.604E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	5.765E-01	7.000E-01	2.539E-02	0.000E+00	0.000E+00
7.000E-01	7.000E-01	7.000E-01	1.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.629E-01	3.721E-01	6.655E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
Ave Zn-St = 0.0999998003						
100	1.07825	2.000E-01	37	113		
1	MOX Fuel with Zn-St Pu Enri=18wt% Zn-St Conc. 0.10					
9.877E-08	9.078E-08	1.249E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.387E-07	6.449E-07	6.132E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.055E-06	2.594E-06	1.941E-06	1.570E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
5.667E-06	5.686E-06	5.686E-06	4.596E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
5.837E-06	8.568E-06	7.125E-06	5.680E-06	4.845E-06	0.000E+00	0.000E+00
5.253E-06	3.766E-06	5.662E-06	5.983E-06	5.413E-06	0.000E+00	0.000E+00
9.104E-06	8.648E-06	5.788E-06	5.622E-06	4.282E-06	2.792E-06	0.000E+00
5.666E-06	5.676E-06	5.648E-06	4.820E-06	3.253E-06	2.135E-06	0.000E+00
4.481E-06	3.888E-06	3.045E-06	2.114E-06	1.574E-06	1.139E-06	6.369E-07
1.822E-06	1.646E-06	1.352E-06	1.057E-06	7.759E-07	5.910E-07	3.738E-07
0	FUEL CONCENTLATION					
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.629E-01	3.721E-01	6.655E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

7.000E-01	7.000E-01	7.000E-01	1.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	5.765E-01	7.000E-01	2.539E-02	0.000E+00	0.000E+00
7.000E-01	7.000E-01	6.312E-01	1.604E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.202E-01	2.235E-01	2.274E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

0

FUEL CONCENTRATION AT NEXT ITERATION

0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.629E-01	3.721E-01	6.655E-02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
7.000E-01	7.000E-01	7.000E-01	1.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	5.765E-01	7.000E-01	2.539E-02	0.000E+00	0.000E+00
7.000E-01	7.000E-01	6.312E-01	1.604E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.202E-01	2.235E-01	2.274E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

## 付録3 インストール

## 1 概要

本付録では、OPT-TWO のインストール方法に加え、付録 2 に示す MCNPMAKE 及び FIT のインストール方法についても示す。MCNPMAKE コードは、OPT-TWO 算出結果について形状の変換を実施すると共に、MCNP で使用できる形式に変換する計算コードであり、FIT は SRAC で縮約した断面積について OPT-TWO で使用できる形式に変換する計算コードである。

OPT-TWO インストール CD には、付録 2 に示す臨界安全評価実施の計算コードのインストールおよび実施に関するファイル、及びそのフォルダが収納されている。インストール CD 内のファイルについて表 1 に、OPT-TWO、MCNPMAKE、FIT のフォルダの構造について図 2～図 4 に示す。インストールを実施するには、OPT-TWO インストール CD からデータをコピーし、必要な手順を実施する必要がある。実行シェルや入力ファイルで指定するパスは、CD 内のフォルダ構造やフォルダ名及びファイル名に基づいているので、これらを変更した際は、注意が必要となる。

OPT-TWO、FIT、MCNPMAKE を実施するために必要なファイルは、基本的に表 2 に示す 4 種類に分類できる。表 2①計算コード本体は、計算コードのソースファイルを MAKE することにより作成される。表 2②入力ファイルは、計算コードの実施条件や計算コード読み込みファイルのパス等が記載されたファイルである。表 2③実行シェルファイルは、入力ファイルと計算コード本体をリンクさせて計算を実行させるプログラムが記載されている。表 2④フォーマットファイルは、出力ファイルのフォーマットが記載されたファイルで、MCNPMAKE の実行時にのみ必要となる。

以下の節では、OPT-TWO、FIT、MCNPMAKE の 3 種類の計算コードについて、実行に必要なファイル及びそのフォルダ構造を示すとともに、実行手順を示す。なお、ファイルの説明には表 2 に示すファイルの種類を使用し、ファイル名については ( ) で示す。

表1 OPT-TWO、FIT、MCNPMAKEのファイル

フォルダ名	ファイル名	種類	説明	
OPT-TWO	inp	実行シエール	test.libから断面積データを読み込み、入力ファイルの条件でOPT-TWOを実行させる。	
		入力ファイル	OPT-TWOの計算条件が書かれている。ファイル名は任意。	
		出力ファイル	OPT-TWOの計算結果が書かれている。	
	src	計算コード本体	OPT-TWOの本体。Makeの実行により作成される。	
SRAC		makefile	TWOTRANのMAKE実行用ファイル。	
		ソースファイル群	TWOTRANソースファイル群。101個のフォートランファイルからなる。	
	CROSS	SRAC output	SRAC出力データ群。New01.inpファイルから読み込まれる。	
	FIT	inp	実行シエール	SRAC outputから断面積データを読み込み、入力ファイルの条件でFITを実行させる。
			入力ファイル	FITへ読み込ませるすべての断面積データのパスを指定している。
		出力ファイル	FITで作成した断面積テーブル。TWOTRAN及びOPT-TWOに読み込まれる。	
		src	計算コード本体	FITコード本体。MAKEの実行により作成される。
		makefile	FITのMAKE実行用ファイル。	
		ソースファイル群	FITソースファイル群。3個のfortranファイルからなる。	
	MCNPMAKE	inp	実行シエール	入力ファイルの条件でMAIL3を実行させ、フォーマットファイルの形式で出力させる。
		入力ファイル	MAIL3へ読み込ませるOPT-TWOの出力データ(最適濃度分布)が書かれている。	
		case name.ndsum	MAIL3の計算結果が書かれている。MCNPセルデータ。	
		case name.out	MAIL3の計算結果が書かれている。MCNPマテリアルデータ。	
		opt:50	出力ファイル①、②のフォーマットファイル。	
src		MAIL3	計算コード本体	MCNPMAKE本体。MAKEの実行により作成される。
		makefile	makefile	MAIL3のMAKE実行用ファイル。
			ソースファイル群	MAIL3ソースファイル群。54個のfortranファイルからなる。



表 2 計算の実施に必要なファイルの種類

①	計算コード本体
②	入力ファイル
③	実行シェルフファイル
④	フォーマットファイル

## 2 OPT-TWO

図 2 に OPT-TWO の実行に必要なファイル及びそのフォルダ構造を示す。OPT-TWO フォルダは、inp フォルダと src フォルダから構成されている。inp フォルダには、実行シェルフファイル (go\_opt)、入力ファイル (casename) がある。出力ファイル (casename.out) は、計算コードの実行により inp フォルダに出力される。参考までに出力ファイルの例をインストール CD に入れている。src フォルダには、MAKEFILE (makefile)、ソースファイル群 (abeta.f、clear.f・・・) がある。

OPT-TWO を実施するためには、最初にインストール CD 内の OPT-TWO フォルダをコピーして図 2 に示すフォルダ構造を構築する。次に計算コード本体 (TWOTRAN) をインストールし、その後入力ファイル (casename) 及び実行シェル (go\_opt) を作成して、最後に下記実行コマンドを打ち込むと計算が実行される。

実行コマンド : ./go\_opt casename

計算コード本体のインストールは、src フォルダ内の MAKEFILE を実行することで実施される。入力ファイルは 4 章に示した形式で作成する。実行シェルには、断面積テーブルと計算コード本体それぞれへのパスが記載されているので、ファイル名やフォルダ構造に変更があった場合は修正する必要がある。

## 3 MCNPMAKE

図 3 に MCNPMAKE の実行に必要なファイル及びそのフォルダ構造を示す。MCNPMAKE フォルダは、inp フォルダと src フォルダから構成されている。inp フォルダには、MCNPMAKE 実行シェル (go\_MAIL)、入力ファイル (casename)、フォーマットファイル (opt50) がある。MCNPMAKE の出力ファイルは 2 ファイルあり、計算コードの実行により inp フォルダに出力される。出力ファイル①には MCNP のセルデータが、出力ファイル②には MCNP のマテリアルデータが書かれている。参考までに出力例をインストール CD に収納している。src フォルダには、MCNPMAKE インストール用 MAKEFILE (makefile)、ソースファイル群 (adu.f、and.f・・・) がある。

MCNPMAKE を実施するためには、最初にインストール CD 内の MCNPMAKE フォルダをコピーして図 3 に示すフォルダ構造を構築する。次に計算コード本体 (MAIL3)

をインストールし、その後入力ファイル (casename) 及び実行シェル (go\_MAIL) を作成して、最後に下記実行コマンドを打ち込むと計算が実行される。

実行コマンド : `./go_MAIL casename`

計算コード本体のインストールは、src フォルダ内の **MAKEFILE** を実行することで実施される。入力ファイル (casename) には、OPT-TWO で算出した MOX 及び添加剤の最適濃度が計算メッシュごとに記入されている。入力ファイル全行 (4.1 節のカード 6 及び 7 で指定) の前半分の行に MOX 濃度、残り半分の行に添加剤濃度が示されている。入力形式は OPT-TWO の出力形式と上下逆なので注意が必要である。フォーマットファイル (opt50) は、inp フォルダ内に出力される 2 つの計算結果の出力ファイル① (casename.ndsum) 及び出力ファイル② (casename.out) のフォーマットになっている。実行シェルには、計算コード本体のパスが記載されているので、ファイル名やフォルダ構造に変更があった場合は修正する必要がある。

#### 4 FIT

図 4 に FIT の実行に必要なファイル及びそのフォルダ構造を示す。FIT は、SRAC の計算結果である断面積データを読み込んで計算を実施している。データの取り扱いが簡単になるよう、断面積データの入った CROSS フォルダと FIT コードの入った FIT フォルダを一緒に入れている。FIT フォルダには inp フォルダと src フォルダがある。inp フォルダには、FIT 実行シェル (go\_fit)、入力ファイル (new01.inp) がある。出力ファイル (test.lib) は、計算の実行により inp フォルダに出力される。出力ファイル (test.lib) は、SRAC 出力データである断面積データから OPT-TWO 用にフォーマットを整えた断面積テーブルである。src フォルダには、FIT インストール用 **MAKEFILE** (makefile)、ソースファイル群 (abeta.f、clear.f・・・) がある。

CROSS フォルダには、SRAC の出力データである断面積データが入れられたフォルダ群がある。この断面積データは FIT コードから読み込まれるため、デフォルトの断面積データのフォルダ構造から変更があった場合、パスを指定し直さなければならない。

FIT を実施するためには、最初にインストール CD 内の SRAC フォルダをコピーして図 4 に示すフォルダ構造を構築する。次に計算コード本体 (fit.lm) をインストールし、その後入力ファイル (new01.inp) 及び実行シェル (go\_fit) を作成して、最後に下記実行コマンドを打ち込むと計算が実行される。

実行コマンド : `./go_fit new01.inp`

計算コード本体のインストールは、src フォルダ内の **MAKEFILE** を実行することで実

施される。入力ファイル (`new01.inp`) には、断面積テーブルの作成に必要な `SRAC` の計算結果へのパスが記載されている。実行シェル (`go_fit`) には、計算コード本体のパスが記載されているので、ファイル名やフォルダ構造に変更があった場合は修正する必要がある。

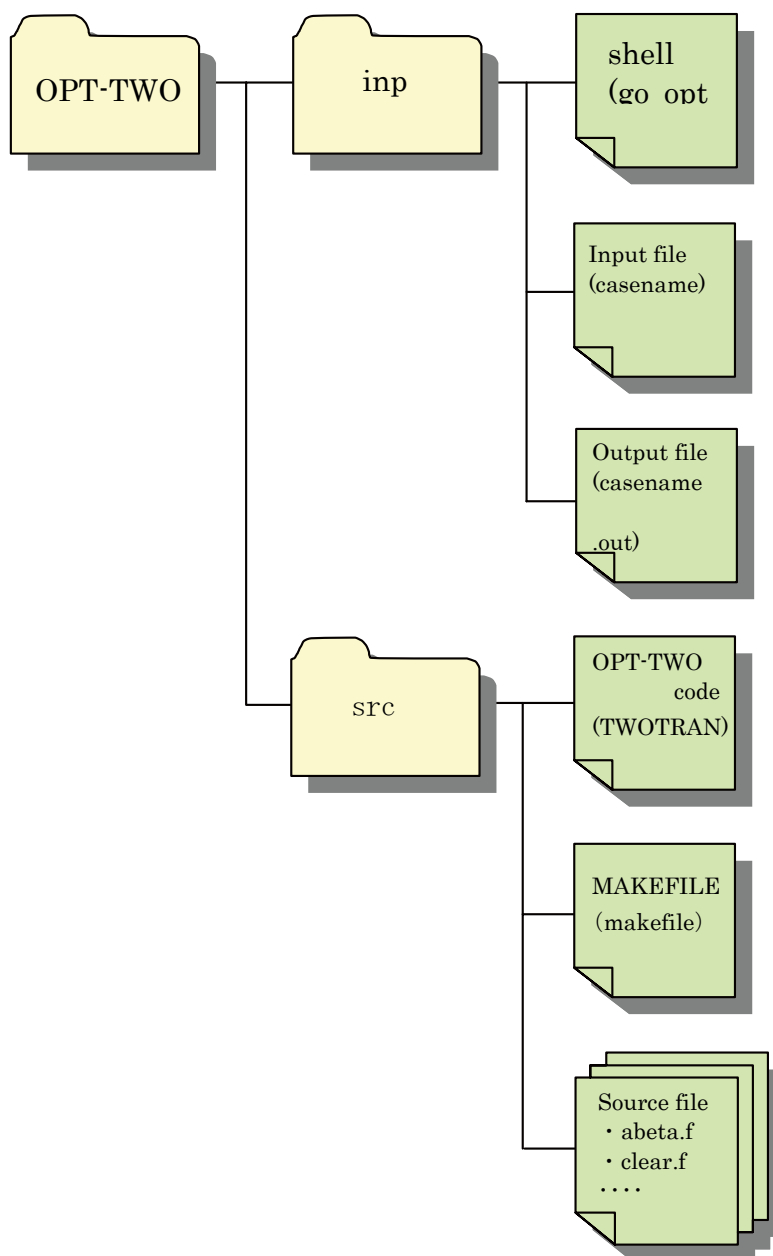


図2 OPT-TWOフォルダ構造

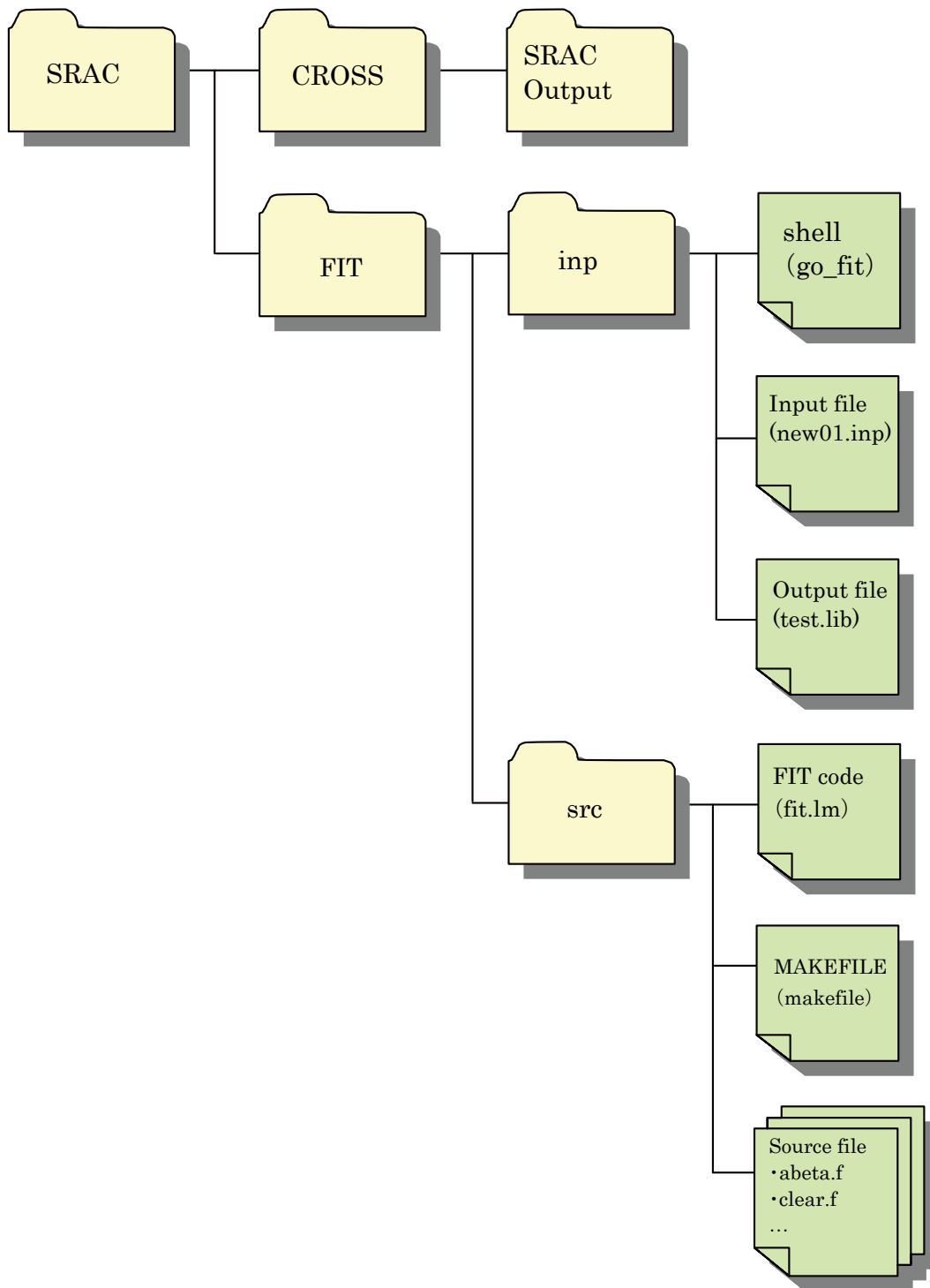


図3 FITフォルダ構造

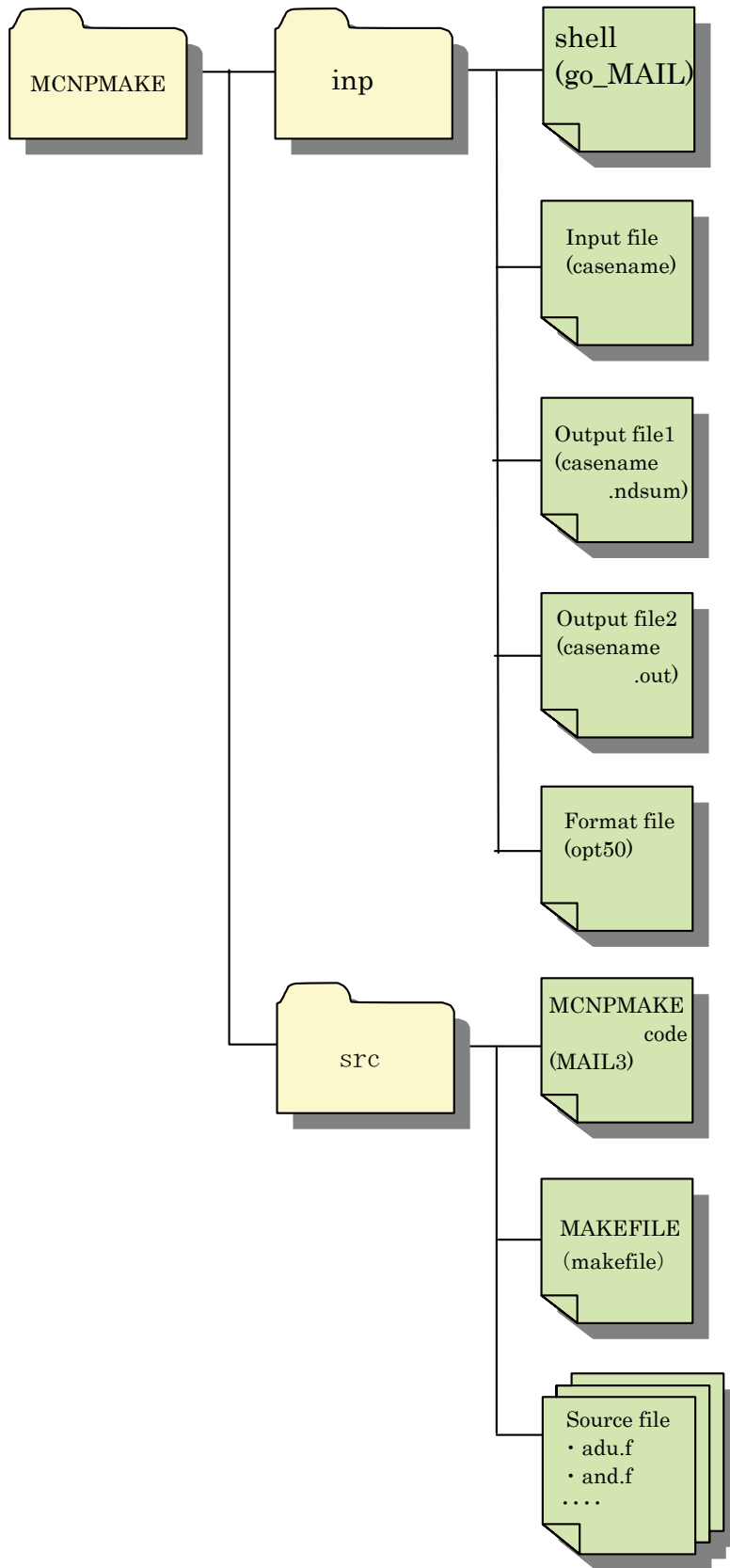


図4 MCNPMAKEフォルダ構造



