

JAERI-M  
93-246

モンテカルロ臨界計算プログラムKENOV  
のための微分アルベドの作成

1994年1月

小室 雄一・川崎 弘光\*・金子 俊幸\*\*

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, 1994

---

編集兼発行 日本原子力研究所  
印刷 日立高速印刷株式会社

モンテカルロ臨界計算プログラム KENO IV  
のための微分アルベドの作成

日本原子力研究所東海研究所燃料サイクル安全工学部

小室 雄一・川崎 弘光\*・金子 俊幸\*\*

(1993年11月29日受理)

反射体付き体系の臨界計算をモンテカルロプログラム KENO IV で実行する場合、反射体を微分アルベドで近似すると計算時間を短縮することができる。KENO IV には、1次元 Sn プログラム ANISN と Hansen - Roach 16 群断面積の組合せで作成した微分アルベドが数種類の反射体について用意されている。但しこのアルベドデータを利用できるのは、16 群断面積を KENO IV 計算に用いる場合に限定される。

日本原子力研究所で改良を進めている臨界安全性評価コードシステム JACS には、臨界計算のためのモンテカルロプログラムとして KENO IV 及び MULTI - KENO, 多群定数ライブラリーとして 26 群及び 137 群 MGCL - J3 が用意されている。今回、改良作業の1つとして、26 群 MGCL ライブラリーと KENO IV あるいは MULTI - KENO の組合せで行う臨界計算に利用できる厚さ 30cm の水の微分アルベドを 26 群 MGCL ライブラリーと ANISN (P<sub>3</sub>, S<sub>8</sub>, 固定中性子源問題) との組合せで作成した。

作成した微分アルベドを水反射体付き球、無限円柱及び無限平板状ウラン燃料体系の KENO IV 計算に利用して得られた  $\kappa_{\text{eff}}$  は、厳密な計算モデルを使って得られた KENO IV 計算結果と ± 1% 以内の範囲で一致するとともに、最大で 60% 以上の計算時間の短縮をはかることができた (無限平板の場合)。

---

東海研究所：〒319-11 茨城県那珂郡東海村白方字白根2-4

\* (株)CRC総合研究所

\*\* (株)日本総合研究所

A Differential Albedo for a Monte  
Carlo Criticality Program KENO IV

Yuichi KOMURO, Hiromitsu KAWASAKI\*  
and Toshiyuki KANEKO\*\*

Department of Fuel Cycle Safety Research  
Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received November 29, 1993)

To carry out numbers of survey-type criticality calculations, differential albedos of some reflector materials obtained from ANISN calculation with Hansen-Roach 16 group cross section data are incorporated in Monte Carlo criticality program KENO IV. Although the albedo option is a powerful tool that can save computer time, the above albedo data are not applicable to KENO IV calculation with the multigroup constants libraries MGCL's (26 group and 137 group) in criticality analysis code system JACS due to the difference of energy structure between MGCL libraries and the 16 group albedo data.

A new differential albedo of 30 cm-thick water reflector has been generated by ANISN ( $P_3$ ,  $S_8$ , fixed source problem) using 26 group MGCL-J3 for the users of the JACS system. Values of  $k_{eff}$  calculated by the rigorous method and those by the 26 group differential albedo were in good agreement for sphere and infinitely long systems with thick water reflector. For an infinitely long slab system, computer time of KENO IV calculation with the 26 group albedo was 60% shorter than that with the rigorous reflector treatment.

Keywords : Differential Albedo, 26-group MGCL-J3, KENO IV, ANISN,  
Criticality Calculation, JACS

---

\* CRC Research Institute, Inc.

\*\* The Japan Research Institute, Limited

## 目 次

1. 序	1
2. 微分アルベドの記録形成	2
3. 微分アルベドの作成	2
4. KENO IVの変更	3
4.1 上方散乱の取扱いに関わる変更	3
4.2 中性子取扱い方法の比較	3
4.2.1 KENO IVの中性子取扱い方法	3
4.2.2 KENO V.aの中性子取扱い方法	4
4.2.3 定性的比較	4
5. 検 証	5
6. まとめ	5
謝 辞	6
参考文献	7
付 録	13

## Contents

1. Introduction	1
2. Record Format of Differential Albedo	2
3. Generation of Differential Albedo of Water	2
4. Modification of KENO IV	3
4.1 Modification of Up-scattering Neutron Treatment	3
4.2 Comparison of Neutron Treatment	3
4.2.1 Neutron Treatment of KENO IV	3
4.2.2 Neutron Treatment of KENO V. a	4
4.2.3 Qualitative Comparison of Neutron Treatment between KENO IV and KENO V. a	4
5. Verification	5
6. Conclusion	5
Acknowledgement	6
References	7
Appendices	13

## 1. 序

臨界安全性を検討する体系の外周は、十分に厚い中性子反射体で囲まれていることが多い。反射体には吸収断面積が小さく、散乱断面積の大きい物質がよく使われる。このような体系の中性子実効増倍係数 ( $\kappa_{\text{eff}}$ ) をモンテカルロ臨界計算プログラムで求める場合、反射体を計算モデルの中に厳密に取入れると計算時間が長くなる。反射体内にひとたび入った中性子は吸収される確率が低くその追跡に長い時間を要する反面、深層部に達した中性子を執拗に追いつけても  $\kappa_{\text{eff}}$  への寄与は極めて小さい。計算時間を短くする方法として、①反射領域の中性子平均ウエイトを随伴中性子束の逆数に比例するように与える<sup>1)</sup>、②反射体領域の取扱いを微分アルベドで代用する<sup>2)</sup> ことがこれまでに提案されている。

微分アルベドとは反射体から戻ってくる中性子の角度及びエネルギー分布に関する情報である。これらを積分すると反射体の中性視反射率になるところから微分アルベドと呼ばれる。

後者の手法では反射体を計算モデルから除外し、代わりにその反射体と同じ組成と厚さを有する物質の微分アルベドを反射境界に設定する。この境界に中性子が入射した時には入射角度、入射エネルギー、微分アルベド及び乱数により反射中性子の振舞い（方向とエネルギー）を決定する。この近似法を用いれば、反射体内部の中性子を実際に追跡する必要はなくなり、計算時間の短縮をはかれる。

米国で開発されたモンテカルロ臨界計算プログラム KENO IV<sup>3)</sup> には微分アルベドが付属している。但しこのデータは Hansen - Roach 16 群断面積<sup>4)</sup> (熱群は第 16 群のみ) を基に作成されているため、KENO IV 計算にこの 16 群断面積を利用する場合に限って、付属の微分アルベドを利用できる。群構造の異なる他の断面積を利用して KENO IV 計算を行う場合には、このアルベドデータは全く利用できない。

KENO V ではこの問題が解決されているが、利用できる微分アルベドは依然として Hansen - Roach 16 群断面積に基づいて作られたものであるため、上方散乱を取扱うことはできない。

日本原子力研究所で改良を進めている臨界安全性評価コードシステム JACS<sup>5)</sup> の中には KENO IV が含まれており、断面積として多群定数ライブラリー MGCL (26 群, 137 群) が整備されている。改良作業の 1 つとして、26 群 MGCL - J3 (第 12 群以降を熱群としている) と KENO IV の組合せで臨界計算を行う時に利用できる水の微分アルベドを作成したので、その作成から検証までを以下に順を追って述べる。第 2 章では KENO IV が読込む微分アルベドファイルの記録形式を明らかにする。第 3 章では微分アルベドの作成法を述べる。第 4 章では KENO IV の変更内容を概説する。第 5 章では作成した微分アルベドを利用して実施した KENO IV 計算の結果を紹介し、第 6 章ではまとめを行うとともに今後の課題について触れる。

## 2. 微分アルベドの記録形式

KENO IVは2通りの方法で微分アルベドを読み込むことができる。1つはKENO IVの入力データのカード12から読み込む方法、もう1つは論理機番42に割当てたファイルから読み込む方法である。前者は膨大な量の微分アルベドをカードから読み込むので実用的でない。後者は参照したい微分アルベドの識別子だけを入力データのカード4で指定して、微分アルベドはファイルから読み込むので、利用者には便利である。そこで後者の方法で利用できる微分アルベドを作成することにした。

KENO IVの使用手引書に記載されているカード12に関わる説明と、ファイルから微分アルベドを読み込むKENO IVのサブルーチンALBINの内容から、微分アルベドの記録形式は表1の通りであることが分った。その内容の詳細は付録で解説する。

## 3. 微分アルベドの作成

微分アルベドの主要部分は角中性子束で、それはANISN<sup>6)</sup>で固定中性子源問題を解いて得られる。特定の材質と厚さの無限平板状の反射体を設定して、そこにエネルギーと角度を変数とする単色エネルギーの中性子を入射したときに反射体から戻って来る中性子のエネルギー及び角度に関する分布(角中性子束)をANISNで計算する。この計算を、使用する多群定数ライブラリーのエネルギー群数と入射角度群数のすべての組合せについて実行すれば、KENO IV用の微分アルベドを編集するのに必要なデータがすべて揃う。

微分アルベドの作成と利用に必要なプログラム、ライブラリー等をJACSコードシステムの中から選択して表2に示す。微分アルベド作成のための計算の流れを図1に示す。26群MGCL-J3は我が国の最新の核データライブラリーJENDL-3<sup>7)</sup>をもとに作成した多群定数ライブラリーである。処理プログラムMAIL3.0<sup>8)</sup>は水の原子個数密度と26群MGCL-J3を読み込み、ANISN用の断面積セットを作成する。ANISNには角中性子束を外部ファイルに書込む機能を追加した。入射エネルギー(26種類)と入射角(4種類)をそれぞれ変えて104通りのANISN計算を実行する。ANISN-JRの計算条件を表3に示す。この条件のうち、入射角を4種類とした理由は付録Aに詳しい。得られた角中性子束(表1のレコード4)とその他の諸情報(表1のレコード1~3)を小プログラムDALBLINKで結合編集してKENO IV用の微分アルベドが出来上がる。

この手法を使って、厚さ30.48 [cm]、温度20℃の水の微分アルベド(識別子:1112)を作成した。ここで設定した水の厚さは、KENO IVに付属している水の微分アルベドの反射体厚さに等しい。

## 2. 微分アルベドの記録形式

KENO IVは2通りの方法で微分アルベドを読み込むことができる。1つはKENO IVの入力データのカード12から読み込む方法、もう1つは論理機番42に割当てたファイルから読み込む方法である。前者は膨大な量の微分アルベドをカードから読み込むので実用的でない。後者は参照したい微分アルベドの識別子だけを入力データのカード4で指定して、微分アルベドはファイルから読み込むので、利用者には便利である。そこで後者の方法で利用できる微分アルベドを作成することにした。

KENO IVの使用手引書に記載されているカード12に関わる説明と、ファイルから微分アルベドを読み込むKENO IVのサブルーチンALBINの内容から、微分アルベドの記録形式は表1の通りであることが分った。その内容の詳細は付録で解説する。

## 3. 微分アルベドの作成

微分アルベドの主要部分は角中性子束で、それはANISN<sup>6)</sup>で固定中性子源問題を解いて得られる。特定の材質と厚さの無限平板状の反射体を設定して、そこにエネルギーと角度を変数とする単色エネルギーの中性子を入射したときに反射体から戻って来る中性子のエネルギー及び角度に関する分布(角中性子束)をANISNで計算する。この計算を、使用する多群定数ライブラリーのエネルギー群数と入射角度群数のすべての組合せについて実行すれば、KENO IV用の微分アルベドを編集するのに必要なデータがすべて揃う。

微分アルベドの作成と利用に必要なプログラム、ライブラリー等をJACSコードシステムの中から選択して表2に示す。微分アルベド作成のための計算の流れを図1に示す。26群MGCL-J3は我が国の最新の核データライブラリーJENDL-3<sup>7)</sup>をもとに作成した多群定数ライブラリーである。処理プログラムMAIL3.0<sup>8)</sup>は水の原子個数密度と26群MGCL-J3を読み込み、ANISN用の断面積セットを作成する。ANISNには角中性子束を外部ファイルに書込む機能を追加した。入射エネルギー(26種類)と入射角(4種類)をそれぞれ変えて104通りのANISN計算を実行する。ANISN-JRの計算条件を表3に示す。この条件のうち、入射角を4種類とした理由は付録Aに詳しい。得られた角中性子束(表1のレコード4)とその他の諸情報(表1のレコード1~3)を小プログラムDALBLINKで結合編集してKENO IV用の微分アルベドが出来上がる。

この手法を使って、厚さ30.48 [cm]、温度20℃の水の微分アルベド(識別子:1112)を作成した。ここで設定した水の厚さは、KENO IVに付属している水の微分アルベドの反射体厚さに等しい。



## 4. KENO IVの変更

### 4.1 上方散乱の取扱いに関わる変更

KENO IVは、最終の第16群だけを熱群としているHansen - Roach断面積から作成する微分アルベドのみ読込むようにコーディングされている。具体的には、表1のレコード4の制御変数Jの初期値が、KENO IVのサブルーチンALBINの微分アルベドのREAD文では1ではなくIになっている。一方の26群MGCL - J3は第12群以降を熱群としているので、このライブラリーから作成する微分アルベドには上方散乱が含まれている。そのため、上方散乱を含む微分アルベドも正しく読込めるように先に述べた初期値をIから1に変更した。

### 4.2 中性子取扱い方法の比較

KENO IVとKENO V.aとでは微分アルベド設定面に入射した中性子の取扱い方が異なる。本節では両者の取扱い方法を述べるとともに、定性的比較検討を行う。最終的には定量的検討の準備として、KENO V.aの取扱い方法を一時的にKENO IVの中に共存させた。

#### 4.2.1 KENO IVの中性子取扱い方法

KENO IVは微分アルベドを設定した面に入射した中性子が入射すると、微分アルベドに基づいて次に述べる処理を行う。まず初めに、入射した中性子の方向とエネルギーを確認する。次にその中性子をアルベド境界の内側に戻すかそれとも殺すかの判断を行う。もし殺すことが決まればその中性子の追跡は終了となる。境界の内側に戻す場合には、アルベドデータに基づいてエネルギーと方向を新たに与え（但し中性子の統計ウェイトは変えない。反射中性子発生点は入射点と同じ。）、追跡を続行する。以上の手続きを微分アルベドを使って以下に具体的に解説する。

##### ①入射した中性子の生死の判断

微分アルベドから中性子反射確率を算出し、この値と乱数から微分アルベド境界に入射した中性子の生死を決定する。エネルギー群I, 角度群Kで入射した中性子が反射される確率Pr(I, K)は次のように表すことができる。

$$\text{Pr}(I, K) = \sum_{J=1}^{\text{NGP}} \sum_{L=1}^{\text{NANG}} A(I, J, K, L) \cdot \text{WTCOS}(L) \leq 1.0 \quad (1)$$

ここで、A(I, J, K, L)は角中性子束で、添字Jは反射中性子のエネルギー群、添字Lは反射中性子の角度群を表わす。WTCOS(L)は立体角分率と天頂角の余弦との積である。NGPはエネルギー群数、NANGは入射及び反射中性子の角度群数である。(詳細は表1及び付録A参照。)式(1)で与えられる確率と一様乱数から、入射した中性子の生死を決定する。ここで死(吸収)の判定を下された中性子については、その追跡を終える。生きながらえることが決まった中性

子については、適当なエネルギーと角度を与えて、入射点と同じ位置から反射境界の内側に戻し、追跡を続行する。このエネルギーと角度の決定法を次に述べる。

#### ②反射中性子のエネルギーの決定

エネルギー群I, 角度群Kの中性子が微分アルベドを設定した面に到達し、それが①で述べた手続きの結果反射されると判定された場合には、次のようにして反射中性子のエネルギーを決定する。エネルギー群I, 角度群Kでアルベド面に入射した中性子が「反射される」と判断され、かつ反射中性子のエネルギーが(1~m)群の間に属する確率 $Pe(I, m, K)$ は次式で表現できる。

$$Pe(I, m, k) = \sum_{J=1}^m \sum_{L=1}^{NANG} A(I, J, K, L) \cdot WTCOS(L) \quad (2)$$

この式から $m(=1 \sim NGP)$ に対する $Pe(I, m, K)$ の確率分布表を作り、この表と一様乱数から反射中性子のエネルギー群を決定する。

#### ③反射中性子の角度の決定

エネルギー群I, 角度群Kでアルベド面に入射した中性子がエネルギー群Jを与えられて反射される時、その中性子の方向が角度群(1~n)の間に属する確率 $Pa(I, J, K, n)$ は次式で表現できる。

$$Pa(I, J, K, n) = \frac{\sum_{L=1}^n A(I, J, K, L) \cdot WTCOS(L)}{\sum_{L=1}^{NANG} A(I, J, K, L) \cdot WTCOS(L)} \quad (3)$$

この式から $n(=1 \sim NANG)$ に対する確率分布表を作り、この表の一様乱数から反射中性子の角度群を決定する。

### 4.2.2 KENOV.a<sup>9)</sup>の中性子取扱い方法

3種類の確率表を算出する過程はKENO IVと同じである。KENO IVでは微分アルベド境界に入射した中性子の生死を反射確率 $Pr(I, K)$ に基づいて決定するのに対して、KENOV.aでは入射した中性子をすべて境界の内側に戻す。しかしこれでは正しいシミュレーションにはならないので、入射中性子が持っていた統計ウェイトに $Pr(I, K)$ を乗じた値を反射中性子に新しい統計ウェイトとして与えてバランスを保つ。

### 4.2.3 定性的比較

4.2.1項及び4.2.2項で得られた知見を総合して表4に示す。この表よりKENO IVとKENOV.aとでは、入射中性子を燃料領域内に反射する確率 $Pr$ と反射中性子に与えるウェイトの値が異なることが分る。KENO IVは $1 - Pr$ の確率で入射中性子を殺してしまうので、計算時間を大幅に短縮できる反面、計算結果( $\kappa_{eff}$ )が持つ標準偏差( $\sigma$ )が大きくなると予想される。KENOV.aは入射中性子を全て内側に反射させるので、KENO IVほどの計算時間の短縮ははかれないが、 $\sigma$ の増加は抑えられるであろう。

以上2つのプログラムの微分アルベドの取扱い方の定性的比較を行ったが、これだけではどちらの方法が優れているのか明確でない。明確にするためには、微分アルベドを利用した同一の例題を2つのプログラムで解いて得られる $\kappa_{\text{eff}}$ 、 $\sigma$ 及びCPU時間を比較する必要がある。そのための準備として、KENOV.aの微分アルベド取扱い方法を一時的にKENO IVの中に共存させ、入力データにより両者のいずれかを選択できるようにした。

## 5. 検 証

作成した水の微分アルベドの性能の把握、及びKENO IVとKENOV.aの微分アルベド取扱い方法の検討を目的として実施したKENO IV計算の結果( $\kappa_{\text{eff}}$ )をまとめて表5に示す。計算機はFACOM M780を使用した。表中左側の結果は水反射体部分を厳密に水と定義した標準的計算モデル(モデル1)を使った場合の $\kappa_{\text{eff}}$ である。その右隣2つはいずれも水反射体部分を微分アルベドで置換した近似モデル(モデル2、モデル3)を用いて得られた $\kappa_{\text{eff}}$ である。モデル2とモデル3で用いた微分アルベドは同一であるが、微分アルベド境界に達した中性子の取扱いは表4に示したように異なる。モデル2はKENO IV方式、モデル3はKENOV.a方式をそれぞれ使った。

モデル2及びモデル3の結果がモデル1の結果に近いほど、モデル2及びモデル3の計算に要したCPU時間がモデル1のそれに比べて短いほど微分アルベドの性能が高いといえる。このような視点から表5を見ると、モデル2及びモデル3の $\kappa_{\text{eff}}$ のいずれもモデル1の $\kappa_{\text{eff}} \pm 3\sigma$ の中に収まり、作成した微分アルベドが計算精度の点で十分満足できる水準にあることが分かる。CPU時間は少なくとも40%以上節約することができた。

微分アルベドを利用する場合には、その情報をKENO IVの配列の中に記憶させるため、記憶場所の数が26群微分アルベドを利用しない場合に較べて約2倍に増えるが、絶対量は問題になるほどではない。モデル2とモデル3の結果を比較すると、 $\kappa_{\text{eff}}$ 及び $\sigma$ の点でモデル3の方が優れていることが分かる。但しモデル3はモデル2よりも約13%長いCPU時間を必要としたが、モデル1に比べれば40%(球状燃料)から60%(無限平板燃料)のCPU時間の短縮がはかられている。

## 6. ま と め

26群MGCL-J3とANISN-JRの組合せで厚さ30.48 [cm]の水の微分アルベドを作成した。KENO IVのサブルーチンALBINを変更して、上方散乱を含む微分アルベドの読み込みと処理が正しく行われるようにした。さらに微分アルベドを設定した境界に達した中性子の取扱い方法はKENO IVの中にKENOV.a方式を追加導入して、KENO IV方式とKENOV.a方式を試験的に共存させた。

作成した水の微分アルベドの性能を把握するために、これを水反射体付きウラン燃料体系球、

以上2つのプログラムの微分アルベドの取扱い方の定性的比較を行ったが、これだけではどちらの方法が優れているのか明確でない。明確にするためには、微分アルベドを利用した同一の例題を2つのプログラムで解いて得られる $\kappa_{\text{eff}}$ 、 $\sigma$ 及びCPU時間を比較する必要がある。そのための準備として、KENOV.aの微分アルベド取扱い方法を一時的にKENO IVの中に共存させ、入力データにより両者のいずれかを選択できるようにした。

## 5. 検 証

作成した水の微分アルベドの性能の把握、及びKENO IVとKENOV.aの微分アルベド取扱い方法の検討を目的として実施したKENO IV計算の結果( $\kappa_{\text{eff}}$ )をまとめて表5に示す。計算機はFACOM M780を使用した。表中左側の結果は水反射体部分を厳密に水と定義した標準的計算モデル(モデル1)を使った場合の $\kappa_{\text{eff}}$ である。その右隣2つはいずれも水反射体部分を微分アルベドで置換した近似モデル(モデル2、モデル3)を用いて得られた $\kappa_{\text{eff}}$ である。モデル2とモデル3で用いた微分アルベドは同一であるが、微分アルベド境界に達した中性子の取扱いは表4に示したように異なる。モデル2はKENO IV方式、モデル3はKENOV.a方式をそれぞれ使った。

モデル2及びモデル3の結果がモデル1の結果に近いほど、モデル2及びモデル3の計算に要したCPU時間がモデル1のそれに比べて短いほど微分アルベドの性能が高いといえる。このような視点から表5を見ると、モデル2及びモデル3の $\kappa_{\text{eff}}$ のいずれもモデル1の $\kappa_{\text{eff}} \pm 3\sigma$ の中に収まり、作成した微分アルベドが計算精度の点で十分満足できる水準にあることが分かる。CPU時間は少なくとも40%以上節約することができた。

微分アルベドを利用する場合には、その情報をKENO IVの配列の中に記憶させるため、記憶場所の数が26群微分アルベドを利用しない場合に較べて約2倍に増えるが、絶対量は問題になるほどではない。モデル2とモデル3の結果を比較すると、 $\kappa_{\text{eff}}$ 及び $\sigma$ の点でモデル3の方が優れていることが分かる。但しモデル3はモデル2よりも約13%長いCPU時間を必要としたが、モデル1に比べれば40%(球状燃料)から60%(無限平板燃料)のCPU時間の短縮がはかられている。

## 6. ま と め

26群MGCL-J3とANISN-JRの組合せで厚さ30.48 [cm]の水の微分アルベドを作成した。KENO IVのサブルーチンALBINを変更して、上方散乱を含む微分アルベドの読み込みと処理が正しく行われるようにした。さらに微分アルベドを設定した境界に達した中性子の取扱い方法はKENO IVの中にKENOV.a方式を追加導入して、KENO IV方式とKENOV.a方式を試験的に共存させた。

作成した水の微分アルベドの性能を把握するために、これを水反射体付きウラン燃料体系球、

以上2つのプログラムの微分アルベドの取扱い方の定性的比較を行ったが、これだけではどちらの方法が優れているのか明確でない。明確にするためには、微分アルベドを利用した同一の例題を2つのプログラムで解いて得られる $\kappa_{\text{eff}}$ 、 $\sigma$ 及びCPU時間を比較する必要がある。そのための準備として、KENOV.aの微分アルベド取扱い方法を一時的にKENO IVの中に共存させ、入力データにより両者のいずれかを選択できるようにした。

## 5. 検 証

作成した水の微分アルベドの性能の把握、及びKENO IVとKENOV.aの微分アルベド取扱い方法の検討を目的として実施したKENO IV計算の結果( $\kappa_{\text{eff}}$ )をまとめて表5に示す。計算機はFACOM M780を使用した。表中左側の結果は水反射体部分を厳密に水と定義した標準的計算モデル(モデル1)を使った場合の $\kappa_{\text{eff}}$ である。その右隣2つはいずれも水反射体部分を微分アルベドで置換した近似モデル(モデル2、モデル3)を用いて得られた $\kappa_{\text{eff}}$ である。モデル2とモデル3で用いた微分アルベドは同一であるが、微分アルベド境界に達した中性子の取扱いは表4に示したように異なる。モデル2はKENO IV方式、モデル3はKENOV.a方式をそれぞれ使った。

モデル2及びモデル3の結果がモデル1の結果に近いほど、モデル2及びモデル3の計算に要したCPU時間がモデル1のそれに比べて短いほど微分アルベドの性能が高いといえる。このような視点から表5を見ると、モデル2及びモデル3の $\kappa_{\text{eff}}$ のいずれもモデル1の $\kappa_{\text{eff}} \pm 3\sigma$ の中に収まり、作成した微分アルベドが計算精度の点で十分満足できる水準にあることが分かる。CPU時間は少なくとも40%以上節約することができた。

微分アルベドを利用する場合には、その情報をKENO IVの配列の中に記憶させるため、記憶場所の数が26群微分アルベドを利用しない場合に較べて約2倍に増えるが、絶対量は問題になるほどではない。モデル2とモデル3の結果を比較すると、 $\kappa_{\text{eff}}$ 及び $\sigma$ の点でモデル3の方が優れていることが分かる。但しモデル3はモデル2よりも約13%長いCPU時間を必要としたが、モデル1に比べれば40%(球状燃料)から60%(無限平板燃料)のCPU時間の短縮がはかられている。

## 6. ま と め

26群MGCL-J3とANISN-JRの組合せで厚さ30.48 [cm]の水の微分アルベドを作成した。KENO IVのサブルーチンALBINを変更して、上方散乱を含む微分アルベドの読み込みと処理が正しく行われるようにした。さらに微分アルベドを設定した境界に達した中性子の取扱い方法はKENO IVの中にKENOV.a方式を追加導入して、KENO IV方式とKENOV.a方式を試験的に共存させた。

作成した水の微分アルベドの性能を把握するために、これを水反射体付きウラン燃料体系球、

無限平板，無限円柱) のKENO IV計算に試用した。反射体を微分アルベドで近似して得られた $\kappa_{\text{eff}}$ と反射体を厳密に計算モデルに入力して得られた $\kappa_{\text{eff}}$ とは $\pm 1\%$ の範囲内で一致した。CPU時間については40%以上の短縮を実現できた。微分アルベド設定面に達した中性子の取扱方法は，算出される $\kappa_{\text{eff}}$ の精度と $\sigma$ の大きさの点からみて，KENOV.a方式がKENO IV方式より優れていることが分った。

最後に26群MGCL-J3に基づく微分アルベドに関わる今後の課題を以下に列記して本報告を終える。

- (1) 微分アルベド設定面に達した中性子の扱いはKENO IV方式よりもKENOV.a方式が優れているので，JACSシステムのKENO IV及びMULTI-KENO<sup>10)</sup>の当該部分をKENOV.a方式で置換える。
- (2) 反射体の長さ(厚さではない)が短くなると微分アルベドを使って得られる $\kappa_{\text{eff}}$ の精度が悪くなるという報告<sup>2), 11)</sup>があるので，この点も含めて作成した微分アルベドの検証をさらに進める。
- (3) 水と同様に利用頻度が高いと考えられるコンクリート，プレキシグラス等の微分アルベドを順次作成する。
- (4) 26群以外の断面積セットを用いたKENO IV計算に26群の微分アルベドを活用する手法を探る。

## 謝 辞

微分アルベドに関する古い資料を送ってくれたMartin Marietta Energy Systems, Inc. のG.E. Whitesides氏，1次元SnプログラムANISNでShellSource問題を解くための入力データについて助言をいただいた(株)日本総研の佐々木誠氏，本レポートの閲読をしてくださった日本原子力研究所燃料サイクル安全評価研究室の野村靖研究室長に感謝いたします。

無限平板，無限円柱) のKENO IV計算に試用した。反射体を微分アルベドで近似して得られた $\kappa_{\text{eff}}$ と反射体を厳密に計算モデルに取り入れて得られた $\kappa_{\text{eff}}$ とは $\pm 1\%$ の範囲内で一致した。CPU時間については40%以上の短縮を実現できた。微分アルベド設定面に達した中性子の取扱方法は，算出される $\kappa_{\text{eff}}$ の精度と $\sigma$ の大きさの点からみて，KENOV.a方式がKENO IV方式より優れていることが分った。

最後に26群MGCL-J3に基づく微分アルベドに関わる今後の課題を以下に列記して本報告を終える。

- (1) 微分アルベド設定面に達した中性子の扱いはKENO IV方式よりもKENOV.a方式が優れているので，JACSシステムのKENO IV及びMULTI-KENO<sup>10)</sup>の当該部分をKENOV.a方式で置換える。
- (2) 反射体の長さ(厚さではない)が短くなると微分アルベドを使って得られる $\kappa_{\text{eff}}$ の精度が悪くなるという報告<sup>2), 11)</sup>があるので，この点も含めて作成した微分アルベドの検証をさらに進める。
- (3) 水と同様に利用頻度が高いと考えられるコンクリート，プレキシグラス等の微分アルベドを順次作成する。
- (4) 26群以外の断面積セットを用いたKENO IV計算に26群の微分アルベドを活用する手法を探る。

## 謝 辞

微分アルベドに関する古い資料を送ってくれたMartin Marietta Energy Systems, Inc.のG.E. Whitesides氏，1次元SnプログラムANISNでShellSource問題を解くための入力データについて助言をいただいた(株)日本総研の佐々木誠氏，本レポートの閲読をしてくださった日本原子力研究所燃料サイクル安全評価研究室の野村靖研究室長に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) G.E.Whitesides, "Adjoint Biasing in Monte Carlo Criticality Calculations," Trans.Am.Nucl.Soc.,11,159 (1968)
- 2) G.E.Whitesides and J.T.Thomas, "The Use of Differential Current Albedos," Trans.Am.Nucl.Soc.,12 889 (1969)
- 3) G.E.Whitesides and N.F.Cross, "KENO IV An Improved Monte Carlo Criticality Program," ORNL - 4938 (1975)
- 4) G.E.Hansen and W.H.Roach, "Six and Sixteen Group Cross Sections for Fast and Intermideate Critical Assmblies," LAMS - 2543 (1961)
- 5) J.Katakura, et al., "Development of the Computer Code System JACS for Criticality Safety," Trans.Am.Nucl.Soc.,41,329 (1982)
- 6) K.Koyama, et al., "A code System for Generating Coupled Neutron and Gamma - Ray Group Constants and Analyzing Radiation Transport," JAERI - M7155 (1977)
- 7) K.Shibata, et al., "Japanese Evaluated Nuclear Data Library, Version - 3 - JENDL - 3 -," JAERI 1319 (1990)
- 8) 小室雄一, 他, "断面積セット作成プログラムMAIL3.0 使用手引書" JAERI - M 90 - 126 (1990)
- 9) L.M.Petrie and N.F.Landers, "KENOV.a An Improved Monte Carlo Criticality Program with Supergrouping," Section F11, NUREG/CR - 0200, Vol.2, U.S.Nuclear Regulatory Commission (1986)
- 10) Y.Naito, et al., "MULTI - KENO : A Monte Carlo Code for Criticality Safety Analysis," JAERI - M 83 - 049 (1983)
- 11) J.K.Long, "Shortcomings of the Albedo Approximation in KENO Calculations," Trans.Am.Nucl.Soc.,17,267 (1973)



表1 26群MGCLから作成する微分アルベドの記録形式  
(KENO IV準拠, フォーマットなし, バイナリ形式)

変数名、配列名	内 容	備 考
<b>レコード 1</b>		
NLOOP	微分アルベドの数	
<b>レコード 2</b>		
(ATIT(I), I=1, 18),	微分アルベドの標題	
IDENT	微分アルベドの識別子	KENO IV入力データのカード4 に対応する
<b>レコード 3</b>		
(KIND, I=1, 18),	反射体の名称	
(WTCOS(I),	$WTCOS(1)=CPOL(1)\{PLIM(4)-PLIM(3)\}/2,$ $WTCOS(2)=CPOL(2)\{PLIM(3)-PLIM(2)\}/2, \dots$	
PLIM(I),	$PLIM(1)=\cos\alpha_1, PLIM(2)=\cos\alpha_2, \dots$	
CPOL(I),	$CPOL(1)=\cos\beta_1, CPOL(2)=\cos\beta_2, \dots$	
SPOL(I),	$SPOL(1)=\sin\beta_1, SPOL(2)=\sin\beta_2, \dots$	
I=1, NANG)		NANG: 入反射中性子の 角度の群数(=4)
<b>レコード 4</b>		
((A(I, J, K, L),	微分アルベド(角中性子束)	
L=1, NANG),		L: 反射中性子の角度群
J=1, NGP),		J: 反射中性子のI補キ'-群
K=1, NANG),		K: 入射中性子の角度群
I=1, NGP)		I: 入射中性子のI補キ'-群 NGP: 中性子のI補キ'-群数 (=26)

以下**レコード 2**から**レコード 4**をNLOOP回繰り返す。**レコード 3**の詳細は付録参照。

表2 微分アルベドの作成と利用に必要なプログラム、ライブラリー

---

★多群定数ライブラリー	26群MGCL-J3
★多群定数ライブラリー処理プログラム	MAIL3.0
★1次元輸送計算プログラム	ANISN-JR(一部変更)
★微分アルベド編集プログラム	DALBLINK(新規作成)
★モンテカルロ臨界計算プログラム	KENO IV(一部変更)

---

表3 ANISN - JR 計算条件

---

• 反射体の形状	無限平板
• 反射体の種類	水(20℃)
• 反射体の厚さ	30.48[cm](12in.)
• 計算の種類	Shell中性子源問題* <sup>(1)</sup>
• 角度分点数	8(S <sub>8</sub> )
• ルジャンドル展開次数	3(P <sub>3</sub> )
• 入射、反射エネルギーの群数	26
• 入射、反射角の種類	4

---

\*<sup>(1)</sup> 一定のエネルギー及び角度の規格化中性子を反射体に入射させる。

表4 微分アルベド設定面に達した中性子の取扱いの比較

	KENO IV	KENO V.a
中性子反射確率( $P_r$ )	$\leq 1.0$	$= 1.0$
反射中性子のウェイト( $WT_{out}$ )	$= WT_{in}$	$= WT_{in} \cdot P_r$
反射中性子のエネルギー	$P_e$ より決定	同左
反射中性子の角度	$P_a$ より決定	同左
反射中性子の発生点	入射点と同じ	同左

$WT_{in}$  : 入射中性子のウェイト、

$P_r$ 、 $P_e$ 、 $P_a$  : 第4章参照。

表5 微分アルベドの検証結果

燃料外周の反射条件	水反射体付き* <sup>(1)</sup> (モデル1)	水の微分アルベド* <sup>(2)</sup> (モデル2)	水の微分アルベド* <sup>(3)</sup> (モデル3)
★ <u>直径42[cm]の球状燃料</u> * <sup>(4)</sup>			
$k_{eff} \pm \sigma$ * <sup>(5)</sup>	0.99174 ± 0.00347	0.99451 ± 0.00371	0.99244 ± 0.00311
CPU時間[sec]	181	92	104
記憶場所の数[word]	12930	26209	26209
★ <u>直径30[cm]の無限円柱燃料</u> * <sup>(4)</sup>			
$k_{eff} \pm \sigma$	1.00229 ± 0.00313	1.01164 ± 0.00294	1.01112 ± 0.00282
CPU時間[sec]	186	74	84
記憶場所の数[word]	12930	26209	26209
★ <u>厚さ15[cm]の無限平板燃料</u> * <sup>(4)</sup>			
$k_{eff} \pm \sigma$	1.00096 ± 0.00301	0.99189 ± 0.00326	0.99797 ± 0.00259
CPU時間[sec]	190	56	63
記憶場所の数[word]	12930	26209	26209

\*<sup>(1)</sup> 反射体厚さ30.48[cm]。H:6.6734E-2[a/barn cm], O:3.3367E-2。

\*<sup>(2)</sup> アルベド境界に入射した中性子は、微分アルベドから得られる反射確率に従って再び内側に戻る。反射中性子のエネルギーと方向は微分アルベドから決める。中性子のウェイトは変えない。反射されずに吸収されたと判断された中性子は、ウェイトがゼロに設定されて追跡を終える。(KENO IV 方式)

\*<sup>(3)</sup> アルベド境界に入射した中性子をすべて再び内側に戻る。入射中性子のウェイトに反射確率を乗じた値を反射中性子のウェイトとする。反射中性子のエネルギーと方向は微分アルベドから決める。(KENO V.a 方式)

\*<sup>(4)</sup> UO<sub>2</sub>粉末-H<sub>2</sub>O, 5[wt%] <sup>235</sup>U, 1.0[gU/cm<sup>3</sup>], H/U=24,  
H:5.9822E-2[a/barn cm], O:3.4974E-2, <sup>235</sup>U:1.2810E-4, <sup>238</sup>U:2.4032E-3。

\*<sup>(5)</sup> 1世代あたりの中性子数:500, 世代数:110, スキップ世代数:10。

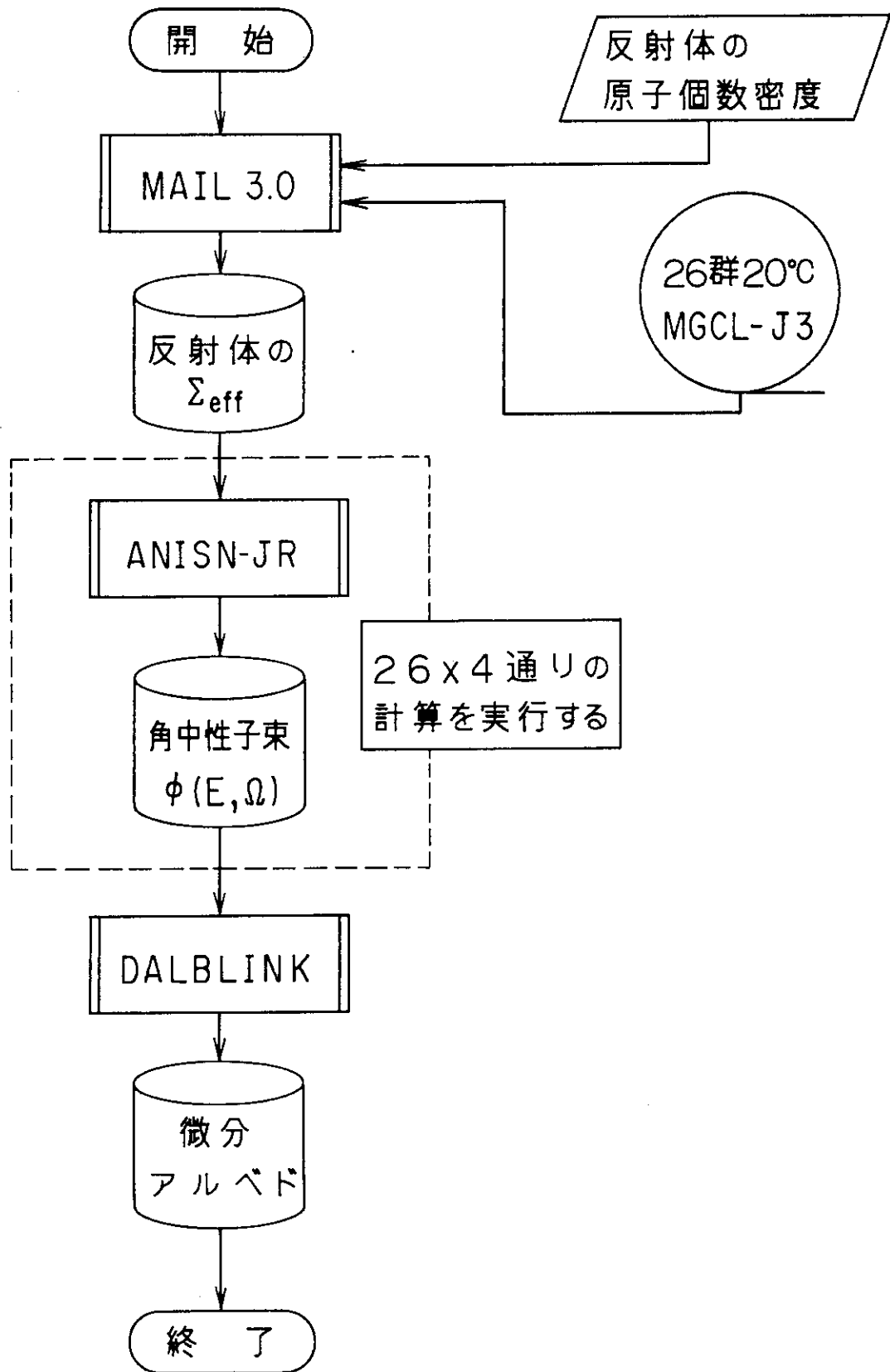


図1 微分アルベド作成の流れ図

## 付 録

## A. 微分アルベドの内容

微分アルベドの記録形式は本文の表1に詳しい。本章ではその内容とレコードの大きさを決定する各制御変数の意味について説明する。

レコード1には収納されている微分アルベド数(種類)が書込まれている。たとえば水、コンクリート及びプレキングラスの微分アルベドが用意されている場合には、NLOOPは3になる。レコード2のIDENTは微分アルベドの識別子で、どのような物質(たとえば水、コンクリート)の微分アルベドがレコード4に記録されているかを整数型の番号で表示する。この番号はKENO IV入力データのカード4で指定する番号と対応している。

レコード3のNANGの値はKENO IV側で既に4に固定されている。この値はANISNで角中性子束(angular flux)を計算する時の条件の1つである。Snの値と対応しており、S<sub>8</sub>の場合にはNANG = 4になる。Snの値をより大きくして、たとえばS<sub>16</sub>でANISNの計算を実行すればより精度の高い微分アルベドが得られるが、計算回数が倍増するため(26群MGCLから微分アルベドを作成する場合のANISNの計算回数はS<sub>8</sub>で104回、S<sub>16</sub>で208回)、S<sub>8</sub>を採用することにした。したがってNANG = 4になり、NANGに関してKENO IVのプログラムを変更する必要はなくなった。

レコード3のWTCOS(I), PLIM(I), CPOL(I), SPOL(I)については、ANISNの計算モデル図A.1を用いて説明する。図の斜線部分は反射体である。角度 $\alpha$ 及び $\beta$ はANISNの計算で想定する幾何形状とS<sub>8</sub>の値から決定付けられる。角度 $\alpha$ は図A.1に示すように、離散化した4つ(この値はS<sub>8</sub>と対応している)の角度群の境界を表す。角度 $\beta$ は角度分点(angular quadrature)の方向と反射体から内側(炉心側)に向かう法線とがつくる天頂角である。KENO IVのマニュアルに記載されている入力データのカード12の解説によればWTCOS(I), PLIM(I), CPOL(I), SPOL(I)は次のように定義されている。

$$\text{PLIM}(I) = \cos \alpha_i \quad (\text{A.1})$$

$$\text{CPOL}(I) = \cos \beta_i \quad (\text{A.2})$$

$$\text{SPOL}(I) = \sin \beta_i \quad (\text{A.3})$$

$$\text{WTCOS}(I) = \text{FSA}(I) \cdot \text{CPOL}(I) \quad (\text{A.4})$$

ここで、FSAは各角度境界間の立体角分率(Fractional Solid Angle)で、次のように定義されている。

$$\text{FSA}(I) = \frac{\Omega(\alpha_3) - \Omega(\alpha_4)}{4\pi}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{2\pi(1 - \cos \alpha_3) - 2\pi(1 - \cos \alpha_4)}{4\pi} \\
 &= \frac{\cos \alpha_4 - \cos \alpha_3}{2} = \frac{\text{PLIM}(4) - \text{PLIM}(3)}{2} \quad (\text{A.5.1})
 \end{aligned}$$

$$\text{FSA}(2) = \frac{\text{PLIM}(3) - \text{PLIM}(2)}{2} \quad (\text{A.5.2})$$

$$\text{FSA}(3) = \frac{\text{PLIM}(2) - \text{PLIM}(1)}{2} \quad (\text{A.5.3})$$

$$\text{FSA}(4) = \frac{\text{PLIM}(1)}{2} \quad (\text{A.5.4})$$

CPOLは図A.1に示す角度 $\beta$ の余弦に等しく、次のように表現できる。

$$\left\{ \begin{aligned}
 \beta_1 &= 180^\circ - \gamma_1 = 180^\circ - \cos^{-1} \mu_2 & (\text{A.6.1}) \\
 \beta_2 &= 180^\circ - \gamma_2 = 180^\circ - \cos^{-1} \mu_3 & (\text{A.6.2}) \\
 \beta_3 &= 180^\circ - \gamma_3 = 180^\circ - \cos^{-1} \mu_4 & (\text{A.6.3}) \\
 \beta_4 &= 180^\circ - \gamma_4 = 180^\circ - \cos^{-1} \mu_5 & (\text{A.6.4})
 \end{aligned} \right.$$

ここで、 $\mu$ は角度分点の方向余弦 ( $\mu_{i+1} = \cos \gamma_i$ )、 $\mu$ の添字は角度分点の番号を表す。 $\mu_2 \sim \mu_5$ は、無限平板と $S_8$ の組合せの場合、表A.1 (ANISNのマニュアルより抜粋)に示すように、

$$\left\{ \begin{aligned}
 \mu_2 &= -0.9511897 \\
 \mu_3 &= -0.7867958 \\
 \mu_4 &= -0.5773503 \\
 \mu_5 &= -0.2182179
 \end{aligned} \right.$$

である。これらを式 (A.6.1) ~ (A.6.4) に代入して、

$$\left\{ \begin{aligned}
 \beta_1 &= 17.975^\circ & (\text{A.7.1}) \\
 \beta_2 &= 38.113^\circ & (\text{A.7.2}) \\
 \beta_3 &= 54.736^\circ & (\text{A.7.3}) \\
 \beta_4 &= 77.396^\circ & (\text{A.7.4})
 \end{aligned} \right.$$

を得る。 $\beta_1 \sim \beta_4$ を式 (A.2) 及び式 (A.3) に代入して、CPOL及びSPOLが次のように求まる。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{CPOL}(1) = 0.951190 \\ \text{CPOL}(2) = 0.786796 \\ \text{CPOL}(3) = 0.577350 \\ \text{CPOL}(4) = 0.218218 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{(A.8.1)} \\ \text{(A.8.2)} \\ \text{(A.8.3)} \\ \text{(A.8.4)} \end{array}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{SPOL}(1) = 0.308607 \\ \text{SPOL}(2) = 0.617213 \\ \text{SPOL}(3) = 0.816497 \\ \text{SPOL}(4) = 0.975900 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{(A.9.1)} \\ \text{(A.9.2)} \\ \text{(A.9.3)} \\ \text{(A.9.4)} \end{array}$$

以上で角度 $\beta$ , CPOL及びSPOLの具体的な数値が分った。続いて角度 $\alpha$ , PLIM, FSA及びWTCOSの値を求める。FSAはANISN計算で用いるウェイト $W$ に相当する。無限平板,  $S_0$ の組合せに対応する $W$ は表A.1に与えられている。FSAが分れば式(A.5.1)～(A.5.4)よりPLIMの値が求まる。はじめに式(A.5.4)より,

$$\begin{aligned} \text{PLIM}(1) &= 2 \times \text{FSA}(4) = 2 \times W_5 \\ &= 2 \times 0.2117284 = 0.423457 \end{aligned} \quad \text{(A.10.1)}$$

を得る。以下同様に,

$$\begin{aligned} \text{PLIM}(2) &= 2 \times \text{FSA}(3) + \text{PLIM}(1) \\ &= 2 \times W_4 + \text{PLIM}(1) \\ &= 2 \times 0.1370371 + 0.423457 \\ &= 0.697531 \end{aligned} \quad \text{(A.10.2)}$$

$$\begin{aligned} \text{PLIM}(3) &= 2 \times \text{FSA}(2) + \text{PLIM}(2) \\ &= 2 \times W_3 + \text{PLIM}(2) \\ &= 2 \times 0.0907407 + 0.697531 \\ &= 0.879013 \end{aligned} \quad \text{(A.10.3)}$$

$$\begin{aligned} \text{PLIM}(4) &= 2 \times \text{FSA}(1) + \text{PLIM}(3) \\ &= 2 \times W_2 + \text{PLIM}(3) \\ &= 2 \times 0.0604938 + 0.879013 \\ &= 1.00000 \end{aligned} \quad \text{(A.10.4)}$$

となる。次に式(A.4),  $\text{FSA}(i) = W_{i+1}$ なる関係, 及び式(A.8.1)～(A.8.4)で明らかになったCPOLの値を用いてWTCOSを求める。



$$\begin{aligned}
 \text{WTCOS}(1) &= \text{FSA}(1) \cdot \text{CPOL}(1) = W_2 \cdot \text{CPOL}(1) \\
 &= 0.0604938 \times 0.951190 \\
 &= 0.0575411 \qquad \qquad \qquad (\text{A.11.1})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{WTCOS}(2) &= \text{FSA}(2) \cdot \text{CPOL}(2) = W_3 \cdot \text{CPOL}(2) \\
 &= 0.0907407 \times 0.786796 \\
 &= 0.0713944 \qquad \qquad \qquad (\text{A.11.2})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{WTCOS}(3) &= \text{FSA}(3) \cdot \text{CPOL}(3) = W_4 \cdot \text{CPOL}(3) \\
 &= 0.1370371 \times 0.577350 \\
 &= 0.0791184 \qquad \qquad \qquad (\text{A.11.3})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{WTCOS}(4) &= \text{FSA}(4) \cdot \text{CPOL}(4) = W_5 \cdot \text{CPOL}(4) \\
 &= 0.2117284 \times 0.218218 \\
 &= 0.0462029 \qquad \qquad \qquad (\text{A.11.4})
 \end{aligned}$$

式 (A.10.1) ~ (A.10.4) で明らかになった PLIM(i) を式 (A.1) に代入して  $\alpha_i$  を得る。

$$\begin{cases}
 \alpha_1 = 64.947^\circ & (\text{A.12.1}) \\
 \alpha_2 = 45.771^\circ & (\text{A.12.2}) \\
 \alpha_3 = 28.476^\circ & (\text{A.12.3}) \\
 \alpha_4 = 0^\circ & (\text{A.12.4})
 \end{cases}$$

以上でレコード3の内容がすべて明らかになった。

微分アルベドの主要部分であるレコード4には、ANISNを実行して得られる角中性子束が記録されている。そのデータの並びは表1にまとめた通りであるが、2つの制御変数L及びKは中性子の入(反)射角度群を表している。無限平板体系のANISN計算をS<sub>0</sub>で実行する場合、角度群の境界は前出の $\alpha$ で決定付けられる。反射面と角度境界1の間の角度領域を角度群1、角度境界1と2の間の領域を角度群2、角度境界2と3との間の領域を角度群3、角度境界3と4の間の領域を角度群4としている。

## B. 微分アルベドの利用法

厚さ30cmの水反射体が付いた半径15cmの無限円柱燃料を例に、KENO IVの入力データ例を紹介する。表A.2.1は微分アルベドを使わない厳密モデルの入力データ例、表A.2.2は微分アルベドを使った近似モデルの入力データ例である。後者のデータの上から3行目(カード4)の4R1112が微分アルベドを設定している部分で+X, -X, +Y及び-Yの4つの境界面に対して1112という反射定数(reflector constant)が与えられている。この数字は本文第3章で名前付けした水の微分アルベドの識別子に等しい。微分アルベドが記録されたファイルを論理機番42に当てることはいうまでもない。

表 A.1 ANISN 角度分点セット (平板)  
(WANL - TMI - 1967 より抜粋)

## PLANE GEOMETRY

Completely Symmetric Quadrature Sets Satisfying Even Moment Conditions, for Plane  
Geometry (Slab, Sphere)

	<u>Direction Cosines (<math>\mu_m</math>)</u>	<u><math>S_n</math></u>		<u>Weights (<math>W_n</math>)</u>
1	-1.00	$S_2$	1	0.0
2	-.57735		2	0.500
3	+.57735		3	0.500
1	-.9367418	$S_4$	1	0.0
2	-.8688903		2	.1666667
3	-.3500212		3	.3333333
4	+.3500212		4	.3333333
5	+.8688903		5	.1666667
1	-.9637974	$S_6$	1	0.0
2	-.9261808		2	.0880631
3	-.6815076		3	.1572071
4	-.2666355		4	.2547298
5	+.2666355		5	.2547298
6	+.6815076		6	.1572071
7	+.9261808		7	.0880631
1	-.9759000	$S_8$	1	0.0
2	-.9511897		2	.0604938
3	-.7867958		3	.0907407
4	-.5773503		4	.1370371
5	-.2182179		5	.2117284
6	+.2182179		6	.2117284
7	+.5773503		7	.1370371
8	+.7867958		8	.0907407
9	+.9511897		9	.0604938
1	-.9859208	$S_{12}$	1	0.0
2	-.9716377		2	.0353813
3	-.8722706		3	.0558811

表 A.2.1 KENO IV入力データ例  
(微分アルベドを使わない厳密モデル)

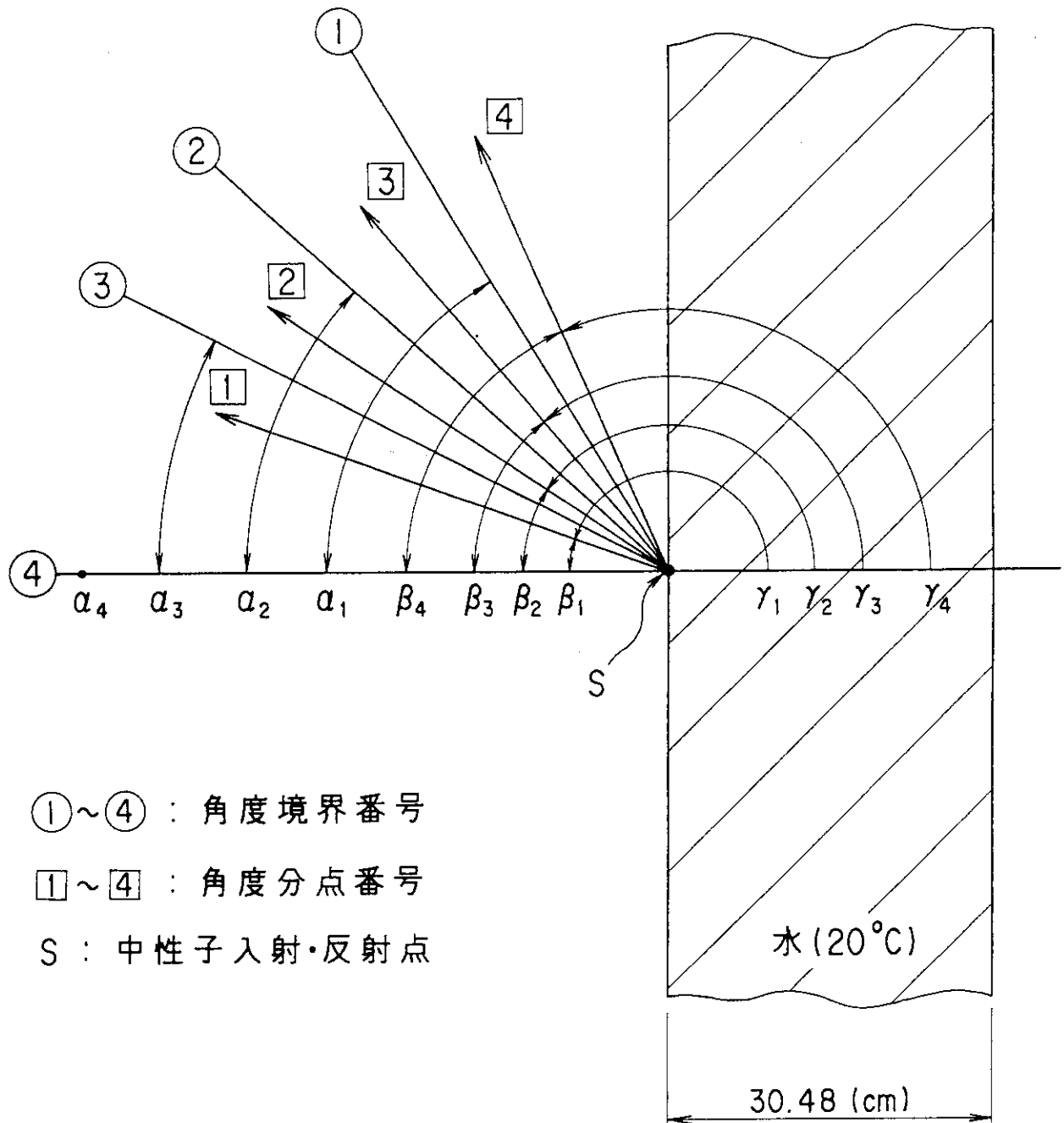
```

WATER REFLECTED 30 CM DIA. U(5.0)02 CYLINDER / 10.96 GU/CM**3
12.0 110 500 10 26 26 3 3 3 2 4R1 3 1 0 2000 10R0
4R-0.0 2R-1.0
1 -1 1.0
2 -2 1.0
3 3 1.0
BOX TYPE 1
CYLINDER 1 15.0 5.0 -5.0 26R0.5
CUBOID 3 45.0 -45.0 45.0 -45.0 5.0 -5.0 26R0.5
END KENO
    
```

表 A 2.2 KENO IV入力データ例  
(微分アルベドを使った近似モデル)

```

WITH D-ALBEDO WATER REFLECTED 30 CM DIA. U(5.0)02 CYLINDE / 10.96GU/CM**3
12.0 110 500 10 26 26 3 3 3 2 4R1 3 2 0 2000 10R0
4R1112 2R-1.0
1 -1 1.0
2 -2 1.0
3 3 1.0
BOX TYPE 1
CYLINDER 1 15.0 5.0 -5.0 26R0.5
CUBOID 3 15.0 -15.0 15.0 -15.0 5.0 -5.0 26R0.5
END KENO
    
```



図A.1 ANISN計算モデル (無限平板,  $S_0$ )