

JAERI - M
88-105

臨界安全解析のための
多重層アルベド計算コード：ALBEDO

1988年6月

内藤 倣孝・酒井 友宏*・長田 和男

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。
入手の間合わせは、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, 1988

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 ㈱原子力資料サービス

臨界安全解析のための多重層アルベド計算コード：ALBEDO

日本原子力研究所東海研究所燃料安全工学部

内藤倣孝・酒井友宏*・長田和男

(1988年5月12日受理)

臨界安全解析に必要な反射体のアルベドを簡便に求める計算コードALBEDOを開発した。このコードでは、反射材毎の基準となる厚さに対する中性子の反射率及び透過率をアルベド定数ライブラーとして用いる。反射材としては、水、普通コンクリート及びSUS-304についてはアルベド定数を整備した。これらの反射材の組合せからなる多重層のアルベドがALBEDOコードにより容易に短い計算時間で求めることができる。このコードにより求めたアルベドの値は1次元輸送計算コードANISN-JRで求めた値と良好の一致を示した。この報告書は計算コードALBEDOの使用手引書である。

ALBEDO: A multi-layer albedo computer code
for nuclear criticality safety analysis

Yoshitaka NAITO, Tomohiro SAKAI* and Kazuo OSADA

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

(Received May 12, 1988)

A computer code ALBEDO has been developed to calculate albedo value of reflector which is necessary for criticality safety analysis. This computer code uses albedo constant library on neutron reflection and transmission rate of each reflector material of standard thickness. The albedo constants of water, ordinary concrete and SUS-304 have been prepared. Albedo of multi-layers composed of different materials is easily calculated with short computing time. The albedo values computed with this code show good agreement with those with one dimensional transport code ANISN-JR. This report is a user's manual for this code.

Keywords: ALBEDO, Computer Code, Criticality Safety, Multi-layer
Reflector

* Japan Information Service, Ltd.

目 次

1. 序	1
2. アルベド定数ライブラリーの作成方法	2
2.1 算出方法	2
2.2 算出結果	2
3. 応答関数法によるアルベド計算コードALBEDOの概説	2
3.1 応答行列式	2
3.2 エネルギー縮約	3
4. 入力データ作成手引	4
5. 検証計算	5
5.1 計算対象	5
5.2 計算結果及び検討	5
6. 結 論	6
謝 辞	6
参考文献	7
付 録	16

Contents

1. Introduction	1
2. Methods to produce the data library of albedo constant	2
2.1 Methods of calculation	2
2.2 Results of calculation	2
3. Explanation of the Albedo code with response function	2
3.1 Response matrix	2
3.2 Reduction of energy groups	3
4. Manual for input data	4
5. Test calculation	5
5.1 Sample problems	5
5.2 Results of calculation and consideration	5
6. Conclusion	6
Acknowledgment	6
References	7
Appendix	16

1. 序

核燃料物質が複数個存在する体系（以下複数ユニットという）の臨界安全性を評価する方法として、2つの方法が現在使用されている。1つの方法は、モンテカルロ法等の詳細計算手法で、複数ユニットの中性子増倍率を多群中性子輸送計算により直接求める方法である。他の1つは、立体角法とよばれる方法で、複数ユニットの臨界性が簡便に評価できる。ただし、後者の方法においては、複数ユニットを取り囲む壁からの中性子反射効果を考慮する方法について合理的表現方式が現状では示されていない。そこで、日本原子力研究所では、複数ユニットの臨界安全解析を、壁からの中性子反射効果を考慮して、簡便に行う計算コード MUTUAL¹⁾を開発した。MUTUALでは、反射体による中性子反射係数であるアルベドを用いることにより、壁からの中性子反射効果を合理的に組み込み複数ユニットの計算ができる。アルベドは、複数ユニットの臨界安全評価に用いられるのみならず、単一ユニットの臨界安全評価にも使用することができる。単一ユニットの臨界安全解析では、形状バックリングと材料バックリングの比較から臨界性を判定する場合があるが、形状バックリングの算出においては反射体による節約分を考慮する必要がある。この反射体節約はアルベドの関数として求めることができる。

以上述べたように、アルベドは臨界安全評価を簡便に行う上で有用な量であるが、いかに簡便にアルベド値を求めるかが重要な課題である。従来アルベド値は、多群輸送計算コードを用いて各計算対象毎に、その都度計算して求めていた。この方法だと、アルベド値を求めるだけで何回も中性子輸送計算を計算対象が変わる度毎に行わなければならない、多くの計算時間を要する。そこで、計算対象に依存しないアルベド定数ライブラリーをあらかじめ作成しておき、反射体へ入射する中性子エネルギー・スペクトルを入力することにより簡便にアルベド値が計算できるようにした。アルベド定数ライブラリーは基準厚さの反射体に対する中性子の反射率と透過率を各入射エネルギーに対して与えるもので、この量は基準反射体の材質のみに依存し、計算対象に依存しない量である。現在は水、普通コンクリート及びSUS-304の3つの材質に対するアルベド定数ライブラリーが用意されている。この定数ライブラリーを用いて上記3つの材質の任意の組合せからなる反射体のアルベド値を短時間で計算するコード ALBEDOを開発した。

アルベド定数ライブラリーの整備とALBEDOコードの開発により、任意の計算対象に対するアルベド値が容易に求まるようになった。本報告は計算コードALBEDOの使用手引書である。

第2章ではアルベド定数ライブラリーの作成方法を、第3章では計算コードALBEDOについて概説し、第4章でALBEDOコードの入力データ作成の手引きをし、第5章でALBEDOコードを用いた場合と詳細計算コードANISN-JRコード²⁾を用いた場合のアルベド値を比較し、ALBEDOコードの有効性を示す。最後に第6章に結論を示す。

2. アルベド定数ライブラリーの作成方法

2.1 算出方法

アルベド定数は臨界安全性評価コードシステム JACS³⁾ に収納されている一次元輸送コード ANISN-JR, 巨視的断面積セット作成コード MAIL⁴⁾ を用いて, 次の手順で算出した。

はじめに多群定数ライブラリー MGCL⁴⁾ と体系を構成する各領域の原子個数密度から MAIL により, ANISN-JR 用の巨視的断面積セットを作成する。なお, 使用した MGCL の体系温度は 300 K でエネルギー群数は 26 群である。計算に用いた材料の組成及び原子個数密度を Table 1 から Table 3 に示す。次にこの断面積セットと基準厚さ及び入射中性子エネルギーを ANISN-JR に入力して各エネルギー群ごとの反射率と透過率を求める。本書で述べる基準厚さとは, 水では 1.0 cm, 普通コンクリートでは 5.0 cm, SUS-304 (ステンレス) では 0.2 cm とする。なお, ANISN-JR の計算は平板模型で計算条件は P_1, S_2 とし, 境界条件は反射なしとした。続いて入射中性子エネルギー群を変化させてアルベド定数ライブラリーを作成した。以上に述べた計算手順を Fig. 1 に示す。

2.2 算出結果

基準厚さの水, 普通コンクリート及び SUS-304 に対する反射率と透過率を Table 4 から Table 6 に示す。

3. 応答関数法によるアルベド計算コード ALBEDOの概説

3.1 応答行列式

基準厚さの反射率と透過率をこれまで述べてきた方法によって, 3種類の材質(水, 普通コンクリート, SUS-304)について求める。次に多重層における反射率と透過率を下記の応答行列式(3-1)を使って繰り返し法によって解き, 全群全領域での J^+ 及び J^- を定める。

$$J^-(i) = A_i J^+(i-1) + T_{i-1} J^-(i+1) \quad (3-1)$$

$$J^+(i) = T_i J^+(i-1) + A_{i-1} J^-(i+1)$$

ただし,

$J^+(i)$; i 層における入射中性子と同方向の流れ

2. アルベド定数ライブラリーの作成方法

2.1 算出方法

アルベド定数は臨界安全性評価コードシステム JACS³⁾ に収納されている一次元輸送コード ANISN-JR, 巨視的断面積セット作成コード MAIL⁴⁾ を用いて, 次の手順で算出した。

はじめに多群定数ライブラリー MGCL⁴⁾ と体系を構成する各領域の原子個数密度から MAIL により, ANISN-JR 用の巨視的断面積セットを作成する。なお, 使用した MGCL の体系温度は 300 K でエネルギー群数は 26 群である。計算に用いた材料の組成及び原子個数密度を Table 1 から Table 3 に示す。次にこの断面積セットと基準厚さ及び入射中性子エネルギーを ANISN-JR に入力して各エネルギー群ごとの反射率と透過率を求める。本書で述べる基準厚さとは, 水では 1.0 cm, 普通コンクリートでは 5.0 cm, SUS-304 (ステンレス) では 0.2 cm とする。なお, ANISN-JR の計算は平板模型で計算条件は P_1, S_2 とし, 境界条件は反射なしとした。続いて入射中性子エネルギー群を変化させてアルベド定数ライブラリーを作成した。以上に述べた計算手順を Fig. 1 に示す。

2.2 算出結果

基準厚さの水, 普通コンクリート及び SUS-304 に対する反射率と透過率を Table 4 から Table 6 に示す。

3. 応答関数法によるアルベド計算コード ALBEDOの概説

3.1 応答行列式

基準厚さの反射率と透過率をこれまで述べてきた方法によって, 3種類の材質(水, 普通コンクリート, SUS-304)について求める。次に多重層における反射率と透過率を下記の応答行列式(3-1)を使って繰り返し法によって解き, 全群全領域での J^+ 及び J^- を定める。

$$J^-(i) = A_i J^+(i-1) + T_{i-1} J^-(i+1) \quad (3-1)$$

$$J^+(i) = T_i J^+(i-1) + A_{i-1} J^-(i+1)$$

ただし,

$J^+(i)$; i 層における入射中性子と同方向の流れ

$J^-(i)$; i 層における入射中性子と反対方向の流れ

A_i ; i 層における反射率

T_i ; i 層における透過率

求める反射率, 透過率を T, A とすれば,

$$J^-(1) = A \$ \quad (3-2)$$

$$J^+(N) = T \$$$

ただし, $\$$ は入射中性子のエネルギースペクトルである。

この際, 初期条件として次の式を用いる。

$$J^-(1) = A_1 \$ \quad (3-3)$$

$$J^+(1) = T_1 \$$$

また,

$$J^-(N+1) = 0$$

と考える。

応答関数法による計算の流れを Fig. 2 に示す。

3.2 エネルギー縮約

これまで求めてきた反射率, 透過率を一群に縮約する方法を述べる。

縮約の際のインポートانسを W とすると反射率 A は,

$$W \cdot J^-(1) = W \cdot A \cdot \$ \quad (3-4)$$

の関係を満たす。また, 縮約した反射率を \bar{A} と定義すると, \bar{A} は下記の関係を満たす。

$$W \cdot A \cdot \$ = \bar{A} W \cdot \$ \quad (3-5)$$

ゆえに, (3-4), (3-5) より,

$$\bar{A} = \frac{W \cdot J^-(1)}{W \cdot \$} \quad (3-6)$$

ここで, W は反射してくる中性子のインポートانسとすべきであるが, $W = (1, 1, \dots, 1)$ とした。

1群縮約のアルベド \bar{A} は, 式 (3-6) より入射中性子のエネルギースペクトル $\$$ に依存する。本コードでは $\$$ は使用者が任意に入力する方法の他に, LWR の標準スペクトルあるいは ^{235}U , ^{239}Pu のフィッシュンスペクトルを選択して入力できる。また使用者が縮約群数を指定することによって任意の群数に縮約した反射率を算出することができる。透過率についても同様の方法で算出することができる。

4. 入力データ作成手引

本コードを用いて、水、普通コンクリート及びSUS-304からなる材質の反射率及び透過率を算出することができる。本コードの入力データの作成方法を以下に示す。

カード1

1 TITLE (A72) タイトルカード

カード2

1 NMAT (I5) 使用する材料の数

($NMAT \leq 3$)

2 IOPT (I5) 入射中性子源のエネルギースペクトル選択オプション

=0 26群入射中性子エネルギースペクトルを入力する。(カード4を入力する。)

=1 中性子源のエネルギースペクトルとしてLWRの標準スペクトルを用いる。

=2 中性子源のエネルギースペクトルとして ^{235}U のフィッションスペクトルを用いる。

=3 中性子源のエネルギースペクトルとして ^{239}Pu のフィッションスペクトルを用いる。

3 ICOL (I5) 反射率及び透過率の群縮約オプション

=0 縮約を行わない。この場合にも1群縮約反射率及び透過率は計算する。

$\neq 0$ ICOL群に縮約する。(カード5を入力する。)

カード3

1 MATALI (A10) "WATER", "CONCRETE", "SUS304"のいずれかのカードを入力する。材料が複数ある場合には中性子の入射方向から順に入力する。

2 NLAYS (I5) 材料の層の数

$NLAYS = (\text{材料の厚さ}) / (\text{基準厚さ})$ ただし基準厚さとは水で1.0 cm, 普通コンクリートで5.0 cm, SUS-304で0.2 cmである。

カード3をNMAT枚だけ繰り返す。

カード4 (IOPT=0のときのみ必要)

1 (FISSX (I), I=1, 26) (7F10.0)

入射中性子エネルギースペクトル

カード5 (ICOL $\neq 0$ のときのみ必要)

1 (IGST (I), I=1, ICOL+1) (14I5)

縮約エネルギー群構造の指定

5. 検 証 計 算

5.1 計算対象

アルベド簡易計算コードの精度を検討するために一次元輸送コード ANISN-JR との比較計算を行った。

計算対象は以下のものとし、反射率及び透過率を求めた。

- (1) 材質が水で厚さ20 cmの反射体に対する1群目の単色エネルギースペクトルの場合
- (2) 材質が水で厚さ20 cmの反射体に対する26群目の単色エネルギースペクトルの場合
- (3) 材質が普通コンクリートで厚さ50 cmの反射体に対する1群目の単色エネルギースペクトルの場合
- (4) 材質が普通コンクリートで厚さ50 cmの反射体に対する26群目の単色エネルギースペクトルの場合
- (5) 材質がSUS-304で厚さ2 cmの反射体に対する1群目の単色エネルギースペクトルの場合
- (6) 材質がSUS-304で厚さ2 cmの反射体に対する26群目の単色エネルギースペクトルの場合
- (7) 材質が普通コンクリートで厚さ50 cmの反射体に対する ^{235}U のフィッションスペクトルの場合
- (8) 入射中性子の方向から見て、水の厚さ1 cm, SUS-304の厚さ0.4 cm, 普通コンクリートの厚さ30 cmの反射体に対する1群目の単色エネルギースペクトルの場合

5.2 計算結果及び検討

計算結果をTable 7に示す。これを見ると、入射エネルギースペクトル及び反射体の材質によらず、ALBEDOコードを使った場合とANISN-JRコードを使った場合とでは、反射率と透過率についておのおのの誤差は1%未満である。またALBEDOコードの方がANISN-JRコードに比べてかなり計算時間が短縮されていることがわかる。ケース(8)のように複数の材質からなる反射体のアルベドについても高精度で短い計算時間で求めることもできる。

6. 結 論

今回開発した計算コードALBEDOを用いることにより、複数の材質からなる多重層のアルベド値が高精度で、短い計算時間で得られるようになった。現在基準厚さを水では1.0 cm、普通コンクリートでは5.0 cm、SUS-304では0.2 cmとしているため、実際の施設においてアルベド値を求める際には、通常基準厚さの5~10倍の厚さの計算が要求される。本計算コードを用いれば、この程度の厚さのアルベド値は数秒で算出できる。以上の結果、単一ユニットの幾何学的バックリング算出に必要な反射体節約及び複数ユニットの中性子増倍率の算出に必要な反射体アルベドが容易に求まるようになり、臨界安全性評価を簡便に行う手法を大幅に改良することができた。また、このコードにより求めた多重層のアルベドの値は1次元輸送計算コードANISN-JRで求めた値と良好の一致を示した。

現在用意したアルベド定数は平板反射体に関するもので、曲率の大きな反射体を対象とする場合には再検討する必要がある。また、計算コードALBEDOでは基準厚さの整数倍の反射材を組合せた反射体の計算は可能であるが、それ以外のものについては新たにアルベド定数を計算する必要がある。ただし、反射体を厚く想定することは、臨界安全性評価にとって安全側の評価となるので、多くの場合、現状の定数ライブラリーで十分安全評価ができるものとする。

謝 辞

アルベド定数ライブラリー算出の際に協力いただいた日本原子力研究所燃料安全工学部プラント安全解析研究室の小室雄一氏に深く感謝いたします。

6. 結 論

今回開発した計算コードALBEDOを用いることにより、複数の材質からなる多重層のアルベド値が高精度で、短い計算時間で得られるようになった。現在基準厚さを水では1.0 cm、普通コンクリートでは5.0 cm、SUS-304では0.2 cmとしているため、実際の施設においてアルベド値を求める際には、通常基準厚さの5~10倍の厚さの計算が要求される。本計算コードを用いれば、この程度の厚さのアルベド値は数秒で算出できる。以上の結果、単一ユニットの幾何学的バックリング算出に必要な反射体節約及び複数ユニットの中性子増倍率の算出に必要な反射体アルベドが容易に求まるようになり、臨界安全性評価を簡便に行う手法を大幅に改良することができた。また、このコードにより求めた多重層のアルベドの値は1次元輸送計算コードANISN-JRで求めた値と良好の一致を示した。

現在用意したアルベド定数は平板反射体に関するもので、曲率の大きな反射体を対象とする場合には再検討する必要がある。また、計算コードALBEDOでは基準厚さの整数倍の反射材を組合せた反射体の計算は可能であるが、それ以外のものについては新たにアルベド定数を計算する必要がある。ただし、反射体を厚く想定することは、臨界安全性評価にとって安全側の評価となるので、多くの場合、現状の定数ライブラリーで十分安全評価ができるものとする。

謝 辞

アルベド定数ライブラリー算出の際に協力いただいた日本原子力研究所燃料安全工学部プラント安全解析研究室の小室雄一氏に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Y. NAITO et al., "MUTUAL: A Computer Code for Analysing Nuclear Criticality Safety on Array System" (JAERI-M, 86-140, 1986)
- 2) K. KOYAMA et al., "ANISN-JR, A One-Dimensional Discrete Ordinates Code for Neutron and Gamma-Ray Transport Calculations", JAERI-M 6954, Japan Atomic Energy Research Institute (1977)
- 3) Y. NOMURA et al., "JACS (MGCL, KENO-IV), Benchmark Calculations by the Nuclear Criticality Safety Analysis Code System" (JAERI, 1303, 1986)
- 4) Y. NAITOH et al., "MGCL-PROCESSOR: A Computer Code System for Processing Multigroup Constants Library MGCL", JAERI-M 9369, Japan Atomic Energy Research Institute (1981)

Table 1 Atomic number density of Water

	Atomic Number Density [1/barn·cm]
H	6.6735E-2
O	3.3368E-2

Table 2 Atomic number density of Concrete

	Density [g/cm ³]	Atomic Number Density [1/barn·cm]
H	0.023	1.3742E-2
O	1.220	4.5919E-2
C	0.0023	1.1532E-4
Na	0.0368	9.6395E-4
Mg	0.005	1.2388E-4
Al	0.078	1.7409E-3
Si	0.775	1.6617E-2
K	0.0299	4.6052E-4
Ca	0.100	1.5025E-3
Fe ^{*)}	0.032	3.4492E-4

*) Fe is substituted for Ni.

Table 3 Atomic number density of SUS-304

	Density [g/cm ³]	Atomic Number Density [1/barn·cm]
C	0.063	3.1807E-4
Si	0.0793	1.7003E-3
⁵⁵ Mn	0.159	1.7385E-3
S	0.024	4.4682E-5
Ni	0.734	7.5246E-3
Cr	1.507	1.7450E-2
Fe	5.4396	5.8633E-2

Table 4 Reflection and Transmission Rate
by Water of 1.0 cm thick

Energy Group	Upper Boundary [eV]	Reflection Rate	Transmission Rate
1	1.6487×10^7	4.34667×10^{-2}	9.47859×10^{-1}
2	4.7237×10^6	9.86714×10^{-2}	9.00944×10^{-1}
3	1.0540×10^6	1.94410×10^{-1}	8.05541×10^{-1}
4	1.8316×10^5	2.66926×10^{-1}	7.32921×10^{-1}
5	5.2475×10^4	3.07949×10^{-1}	6.91738×10^{-1}
6	1.5034×10^4	3.23981×10^{-1}	6.75480×10^{-1}
7	5.5308×10^3	3.29738×10^{-1}	6.69290×10^{-1}
8	5.8295×10^2	3.31154×10^{-1}	6.66804×10^{-1}
9	1.3007×10^2	3.31838×10^{-1}	6.64557×10^{-1}
10	2.9023×10	3.35399×10^{-1}	6.58355×10^{-1}
11	6.4740	3.49274×10^{-1}	6.40557×10^{-1}
12	1.8554	3.83135×10^{-1}	6.04143×10^{-1}
13	1.2752	4.00812×10^{-1}	5.84788×10^{-1}
14	8.7642×10^{-1}	4.18380×10^{-1}	5.65715×10^{-1}
15	6.0236×10^{-1}	4.43313×10^{-1}	5.38967×10^{-1}
16	4.1399×10^{-1}	4.71311×10^{-1}	5.08827×10^{-1}
17	3.4206×10^{-1}	4.87993×10^{-1}	4.90864×10^{-1}
18	2.7699×10^{-1}	5.06130×10^{-1}	4.71311×10^{-1}
19	2.1878×10^{-1}	5.26244×10^{-1}	4.49644×10^{-1}
20	1.6743×10^{-1}	5.49598×10^{-1}	4.24499×10^{-1}
21	1.2293×10^{-1}	5.76078×10^{-1}	3.96090×10^{-1}
22	8.5295×10^{-2}	6.00182×10^{-1}	3.69965×10^{-1}
23	5.4518×10^{-2}	6.36668×10^{-1}	3.31790×10^{-1}
24	3.0600×10^{-2}	6.98092×10^{-1}	2.68128×10^{-1}
25	1.3541×10^{-2}	6.94811×10^{-1}	2.65833×10^{-1}
26	3.3414×10^{-3}	6.88150×10^{-1}	2.68471×10^{-1}
END	3.3066×10^{-5}		

Table 5 Reflection and Transmission Rate
by Concrete of 5.0 cm thick

Energy Group	Upper Boundary [eV]	Reflection Rate	Transmission Rate
1	1.6487×10^7	2.08904×10^{-1}	6.93715×10^{-1}
2	4.7237×10^6	3.61304×10^{-1}	6.30350×10^{-1}
3	1.0540×10^6	5.43504×10^{-1}	4.55543×10^{-1}
4	1.8316×10^5	5.43240×10^{-1}	4.55425×10^{-1}
5	5.2475×10^4	5.58120×10^{-1}	4.39525×10^{-1}
6	1.5034×10^4	5.70123×10^{-1}	4.26989×10^{-1}
7	5.5308×10^3	5.84723×10^{-1}	4.10859×10^{-1}
8	5.8295×10^2	5.67896×10^{-1}	4.24722×10^{-1}
9	1.3007×10^2	5.66692×10^{-1}	4.21445×10^{-1}
10	2.9023×10	5.65739×10^{-1}	4.15451×10^{-1}
11	6.4760	5.68027×10^{-1}	4.03625×10^{-1}
12	1.8554	5.80858×10^{-1}	3.84506×10^{-1}
13	1.2752	5.87457×10^{-1}	3.74107×10^{-1}
14	8.7642×10^{-1}	5.94388×10^{-1}	3.63682×10^{-1}
15	6.0236×10^{-1}	6.04719×10^{-1}	3.49633×10^{-1}
16	4.1399×10^{-1}	6.16385×10^{-1}	3.33361×10^{-1}
17	3.4206×10^{-1}	6.23565×10^{-1}	3.23511×10^{-1}
18	2.7699×10^{-1}	6.31488×10^{-1}	3.12771×10^{-1}
19	2.1878×10^{-1}	6.40482×10^{-1}	3.00714×10^{-1}
20	1.6743×10^{-1}	6.51204×10^{-1}	2.86596×10^{-1}
21	1.2293×10^{-1}	6.63720×10^{-1}	2.70603×10^{-1}
22	8.5295×10^{-2}	6.75321×10^{-1}	2.55298×10^{-1}
23	5.4518×10^{-2}	6.94471×10^{-1}	2.32977×10^{-1}
24	3.0600×10^{-2}	7.29388×10^{-1}	1.94947×10^{-1}
25	1.3541×10^{-2}	7.57731×10^{-1}	1.62828×10^{-1}
26	3.3414×10^{-3}	7.10720×10^{-1}	1.92589×10^{-1}
END	3.3066×10^{-5}		

Table 6 Reflection and Transmission Rate
by SUS-304 of 0.2 cm thick

Energy Group	Upper Boundary [eV]	Reflection Rate	Transmission Rate
1	1.6487×10^7	2.56885×10^{-2}	9.72491×10^{-1}
2	4.7237×10^6	3.31676×10^{-2}	9.67224×10^{-1}
3	1.0540×10^6	3.55346×10^{-2}	9.64256×10^{-1}
4	1.8316×10^5	5.80658×10^{-2}	9.41648×10^{-1}
5	5.2475×10^4	6.98104×10^{-2}	9.29745×10^{-1}
6	1.5034×10^4	1.23170×10^{-1}	8.76036×10^{-1}
7	5.5308×10^3	1.31788×10^{-1}	8.66850×10^{-1}
8	5.8295×10^2	1.49474×10^{-1}	8.48318×10^{-1}
9	1.3007×10^2	1.32763×10^{-1}	8.65273×10^{-1}
10	2.9023×10	1.32290×10^{-1}	8.63700×10^{-1}
11	6.4760	1.31777×10^{-1}	8.60371×10^{-1}
12	1.8554	1.31301×10^{-1}	8.57060×10^{-1}
13	1.2752	1.30993×10^{-1}	8.54983×10^{-1}
14	8.7642×10^{-1}	1.30659×10^{-1}	8.52936×10^{-1}
15	6.0236×10^{-1}	1.30265×10^{-1}	8.50023×10^{-1}
16	4.1399×10^{-1}	1.29808×10^{-1}	8.46855×10^{-1}
17	3.4206×10^{-1}	1.29489×10^{-1}	8.44716×10^{-1}
18	2.7699×10^{-1}	1.29105×10^{-1}	8.42090×10^{-1}
19	2.1878×10^{-1}	1.28614×10^{-1}	8.38714×10^{-1}
20	1.6743×10^{-1}	1.27983×10^{-1}	8.34343×10^{-1}
21	1.2293×10^{-1}	1.27151×10^{-1}	8.28552×10^{-1}
22	8.5295×10^{-2}	1.25984×10^{-1}	8.20358×10^{-1}
23	5.4518×10^{-2}	1.24236×10^{-1}	8.07895×10^{-1}
24	3.0600×10^{-2}	1.21365×10^{-1}	7.86775×10^{-1}
25	1.3541×10^{-2}	1.16113×10^{-1}	7.44844×10^{-1}
26	3.3414×10^{-3}	1.05474×10^{-1}	6.35481×10^{-1}
END	3.3066×10^{-5}		

Table 7 Comparison of calculational results of reflection and transmission rates with the ANISN code and the ALBEDO code

Case	Reflector	ANISN code			ALBEDO code		
		Reflection Rate	Transmission Rate	CPU Time [S]	Reflection Rate	Transmission Rate	CPU Time [S]
1	Water ¹⁾	0.3221	0.2133	17.7	0.3209	0.2141	1.7
2	"	0.8386	0.0001	52.4	0.8451	0.0002	2.3
3	Concrete	0.4773	0.0346	11.9	0.4766	0.0352	0.5
4	"	0.7811	0.0003	26.2	0.7891	0.0004	0.6
5	SUS-304	0.2061	0.7794	1.3	0.2076	0.7772	0.5
6	"	0.2117	0.0316	3.8	0.2055	0.0291	0.9
7	Concrete	0.7104	0.0140	14.2	0.7096	0.0147	0.5
8	— ²⁾	0.4706	0.1412	9.5	0.4707	0.1414	0.4

1) Water thickness is 20 cm.

Concrete thickness is 50 cm.

SUS-304 thickness is 2 cm.

2) This is the reflector of water, SUS-304 and concrete.

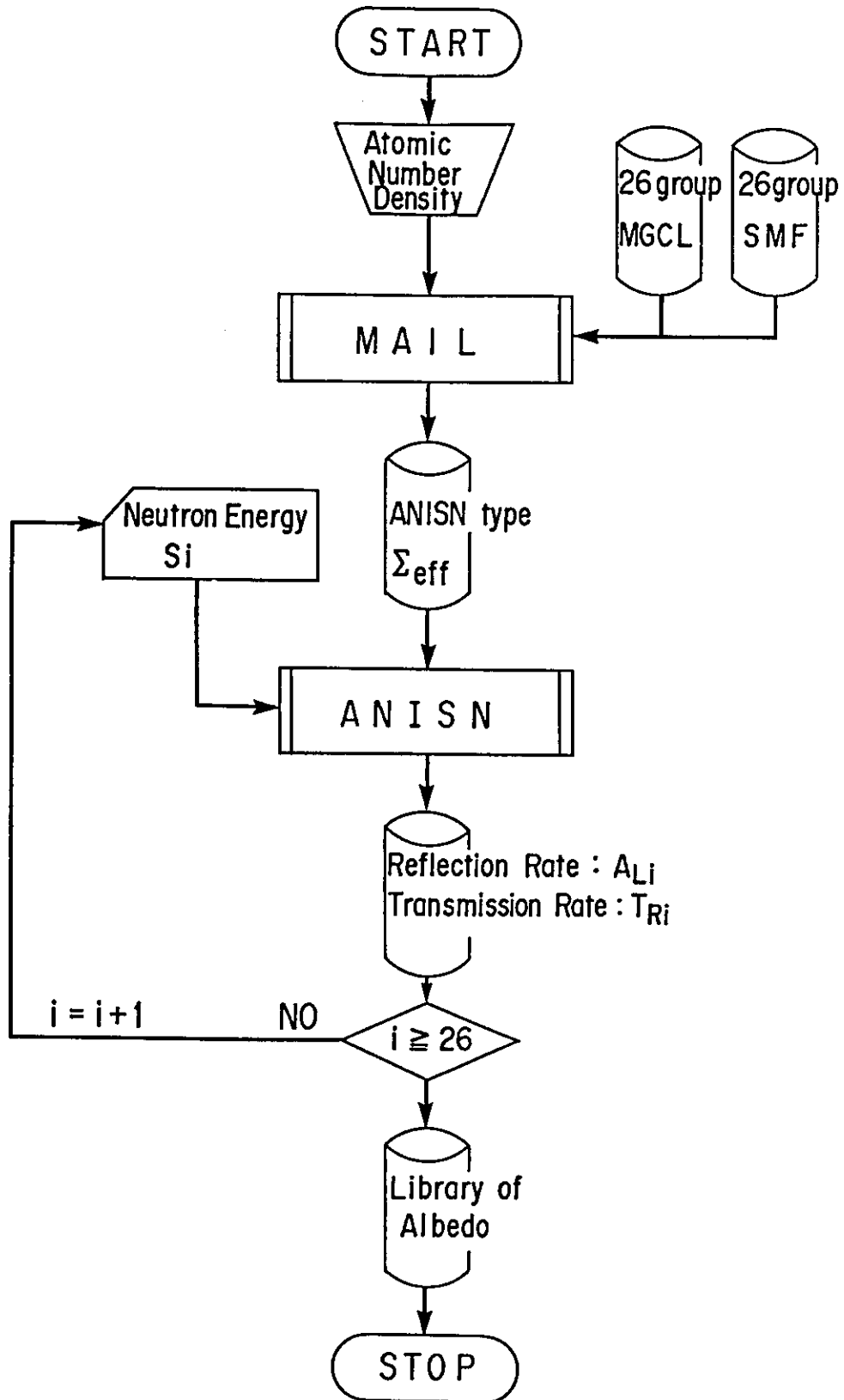


Fig. 1 Flow diagram for calculating Albedo constants

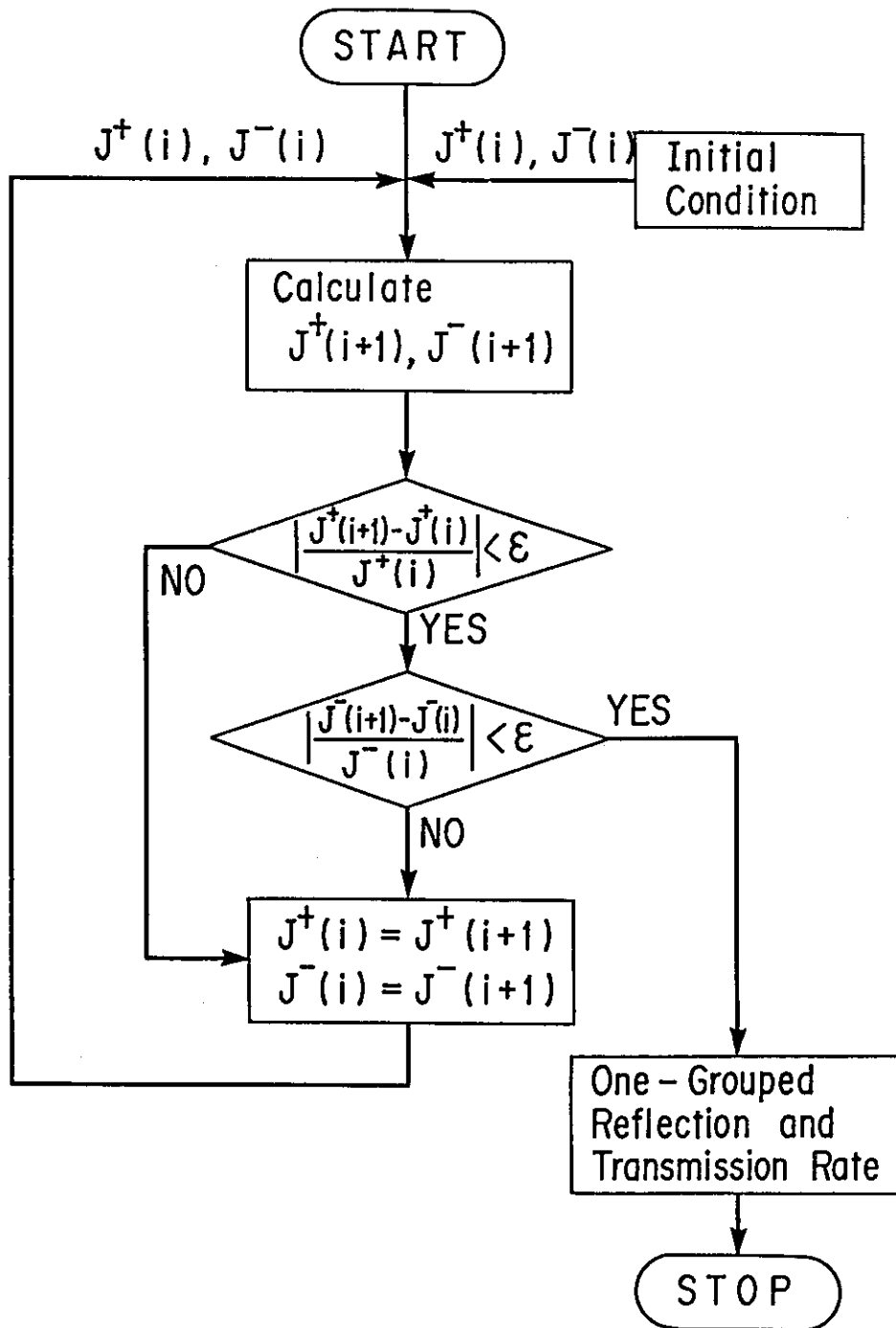


Fig. 2 Flow diagram to calculate Albedo constants using Response Function Method

付 録

本コードのJCLをFig. A.1に, 入力例をFig. A.2に, 出力例をFig. A.3に示す。

32 CARDS READ

155 SYSOUT PRINT RECORDS

0 SYSOUT PUNCH RECORDS

0.08 MINUTES EXECUTION TIME

```

E20 V10L20 <<< JCL STATEMENTS LIST >>> DATE 03/28/88 TIME 15:08
1 //F9218311 JOB ('208092180943.01 ' JOB 3371
// 'T.03W.00C.02I.03E.00','OPN
// 'KA.OSADA ',CLASS=B,PRTY=05,TIME=(0001,00),
// MSGCLASS=G,MSGLEVEL=(2,0,1),
// NOTIFY=J9218,
// USER=J9218,GROUP=G0943,PASSWORD=
***JOBPARM S=ANY,R=9218,L=0002,C=0000000
*****
*** LIST OF PRIVATE PROC *****
*****
***** LIST OF USER JCL *****
*****
//ALBEDO PROC
// EXEC PGM=ALBED
//STEPLIB DD DSN=J9218.WORK.LOAD,DISP=SHR
//SUBSYS DD SUBSYS=(VPCS,'SIZE=(00000K,00M)')
//FT05F001 DD DDNAME=SYSIN
//FT06F001 DD SYSOUT=*
//*T06F001 DD SYSOUT=*,
//* DCB=(RECFM=FBA,BLKSIZE=137)
//FT60F001 DD DSN=J1446.ALBEDO.LIB,DISP=SHR,LABEL=(,IN)
//SYSIN DD DSN=&DATA,DISP=SHR
// PEND
// EXEC ALBEDO,
// DATA='J9218.ALBED.DATA(CASE41)'
//
2

```

Fig. A.1 Sample JCL for the Albedo code


```

EDIT --- J9218.ALBED.DATA(CASE41) - 01.01 ----- COLUMNS 001 072
COMMAND ==>
*****
000001 CASE41 SUS304 ***** TOP OF DATA *****V10L30*****
000002 1 0
000003 SUS304 10
000004 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
000005 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
000006 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
000007 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
***** ***** BOTTOM OF DATA *****

```

SA * ALPHA ~~~~~

Fig. A.2 Sample Input Data for the Albedo code

```

*****
*
* INPUT DATA LIST *
*
*****
1 .....1.....*.....2.....*.....3.....*.....4.....*.....5.....*.....6.....*.....7.....*.....8
2 CASE41 SUS304
3 1 0 10
4 SUS304
5 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
6 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
7 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
.....1.....*.....2.....*.....3.....*.....4.....*.....5.....*.....6.....*.....7.....*.....8
*** INPUT DATA END ***

INPUT MATERIAL AND THICKNESS

SUS304
NUMBER OF LAYERS 10 0 0 0
THICKNESS OF LAYERS 0.2 X 10 CM 0.3 X 0 CM 0.3 X 0 CM 0.3 X 0 CM
TOTAL THICKNESS 2.0 CM

**** INPUT NEWTRON SOURCE ****
1.00000E+00 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

```

Fig. A.3 Sample Output Data for the Albedo code

*** RESULTS ***

IG	ALBEDO	TRANSFER
1	5.56374E-02	6.31921E-01
2	9.83205E-02	9.40465E-02
3	3.53144E-02	3.40140E-02
4	1.30276E-02	1.22579E-02
5	3.82200E-03	3.57901E-03
6	8.76748E-04	7.96440E-04
7	5.55829E-04	5.11130E-04
8	6.69291E-05	6.22861E-05
9	1.25515E-05	1.16150E-05
10	2.48970E-06	2.28439E-06
11	4.39734E-07	4.02768E-07
12	5.58941E-08	5.11928E-08
13	3.22774E-08	2.92140E-08
14	5.25840E-09	5.08027E-09
15	1.68155E-08	1.48975E-08
16	1.77344E-09	1.69362E-09
17	5.79264E-10	5.67853E-10
18	1.83433E-10	1.81883E-10
19	5.56198E-11	5.54118E-11
20	1.59120E-11	1.58856E-11
21	4.14352E-12	4.14048E-12
22	9.36536E-13	9.36222E-13
23	1.72403E-13	1.72376E-13
24	2.31652E-14	2.31633E-14
25	1.79291E-15	1.79282E-15
26	3.80040E-17	3.80026E-17
TOTAL ALBEDO		2.07637E-01
TOTAL TRANSFER		7.77202E-01

Fig. A.3 (Continued)