

2.6 入力

入力データは始めに物性値を入れ、次に幾何学的条件、さらに熱流束と流量、最後に壁温をそれぞれE 12.5 の FORMAT を用いて読み込んでいる。

2.7 出力

出力は流速 u_1, u_2 , 温度 T_1 を y に対し計算したものを E-TYPE であらわし、さらに $h, G, \tau_{w1}, \tau_{w2}, R_{max}, R_r, P_r, N_u, N_u/P_r^{0.4}$ を E-TYPE で打ち出している。

3. プログラムの検討

上記計算で最大誤差は判断機構にあり、それは0.01以下である。計算時間は壁温1条件に対し、印刷時間を除いて30~60秒である。

4. プログラムの使用法と応用

使用法で注意するところは収束係数 A_2, A_3 の取り方で、これを適切にしなければならぬ。応用面に

は、管内乱流伝達等が考えられる。

5. あとがき

この計算結果は実験結果と良い一致をみた。

参考文献

- 1) Knudsen and Katz "Fluid Dynamics and Heat Transfer" McGRAW-HILL, PP. 185~200.
- 2) 田中「超臨界圧流体の乱流熱伝達に関する研究」東京大学学位論文(昭42.12)
- 3) 加藤「熱伝達におよぼす物性値の影響」東京大学学位論文(昭40.12)
- 4) J.G.Knudsen et al "Heat Transfer and Pressure Drop in Annuli" CEP Oct ('50), PP. 490~500

16. 回転円板の過渡弾塑性応力解析プログラム

機関開発部第2部 天田重庚・町田明正

1. プログラムの目的および概要

ガスタービンディスクをモデル化した等厚中空円板に過渡的熱負荷が加わる場合(即ちガスタービンの発停状態に担当する)、円板内に発生する弾塑性熱応力を解析する。得られた結果は回転円板の熱疲労や強度の推定に必要なデータを提供するものと思われる。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称

45-041

Elasto-Plastic Stress Analysis of Discs Subjected to Transient Thermal Loading

2.2 製作者

機関開発部第2部 天田重庚, 町田明正

2.3 製作年月

昭和45年5月

2.4 プログラムの大きさ

- 構成…①メインプログラム+8×サブプログラム
 ステートメント数…… 305 (応力系)
 ②メインプログラム+4×サブプログラム
 ステートメント数…… 237 (温度系)
 ③メインプログラム+4×サブプログラム

ステートメント数… 185 (温度系固有値)

2.5 計算の基礎となる理論の概要

一定速度で回転している等厚中空円板の外周が温度 T_f の高温流体に接触し熱伝達加熱される場合を考える。円板の外径を b , 円径を a , 温度伝導率を κ とすれば温度分布は次式ようになる。

$$T = T_0 + \frac{T_f - T_0}{\log(b/a) + \lambda/bh} \log(r/a) + \frac{T_f - T_0}{\log(b/a) + \lambda/bh} \sum_{n=1}^{\infty} C_n \times \exp(-\kappa \alpha_n^2 t) U_0(\alpha_n r) \left\{ -Y_0(\alpha_n a) \left[\frac{b}{\alpha_n} J_1(\alpha_n b) \log\left(\frac{b}{a}\right) + \frac{1}{\alpha_n^2} J_0(\alpha_n b) \right] + J_0(\alpha_n a) \left[\frac{b}{\alpha_n} Y_1(\alpha_n b) \log\left(\frac{b}{a}\right) + \frac{1}{\alpha_n^2} Y_0(\alpha_n b) \right] \right\} \dots\dots\dots(1)$$

ただし、 T_0 は円板の初期温度、 J_0, J_1, Y_0, Y_1 は Bessel, Neuman の 0 次と 1 次の関数である。 C_n は初期条件から求まる系数。また α_n は

$$\frac{J_0(\alpha_n a)}{Y_0(\alpha_n a)} = \frac{\alpha_n J_1(\alpha_n b) - h/\lambda J_0(\alpha_n b)}{\alpha_n Y_1(\alpha_n b) - h/\lambda Y_0(\alpha_n b)} \dots\dots\dots(2)$$

を満足する α の中で小さい順に数えて n 番目の正根であり、この α_n を求めるプログラムが 2.4 に述べた②の固有値を求めるものに相当する。

応力系については若干の仮定の下で半径方向のつり合い式は次式のようになる。

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} + \rho \omega^2 r = 0 \dots\dots\dots(3)$$

適合条件式は

$$\frac{\partial \epsilon_\theta}{\partial r} + \frac{\epsilon_\theta - \epsilon_r}{r} = 0 \dots\dots\dots(4)$$

降伏条件として Mises の式を用いる。

$$\sigma_r^2 - \sigma_r \sigma_\theta + \sigma_\theta^2 = \sigma_s^2 \dots\dots\dots(5)$$

応力-ひずみ関係式はひずみ増分理論を用いた Prandtl-Reuss の式を用いる。

$$\frac{\partial \epsilon_r}{\partial t} = \alpha \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{1}{E} \left(\frac{\partial \sigma_r}{\partial t} - \nu \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial t} \right) + \frac{\partial \epsilon_r^p}{\partial t}$$

$$\frac{\partial \epsilon_\theta}{\partial t} = \alpha \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{1}{E} \left(\frac{\partial \sigma_\theta}{\partial t} - \nu \frac{\partial \sigma_r}{\partial t} \right) + \frac{\partial \epsilon_\theta^p}{\partial t} \dots\dots\dots(6)$$

2.6 計算手順

時間軸と半径軸を採りこれを適当な間隔に分割し、それに基づいて(3)~(6)式を差分方程式に変換する。

(1)式から時間間隔における温度増分を求めこれと回転数から負荷を決定する。これにより応力、ひずみを

求める場合、(6)式中の塑性ひずみ成分 ϵ_r^p と ϵ_θ^p 、それに(5)式を含まない方程式の系にて求め、得られた応力成分で(5)式を計算し $\sigma_r > \sigma_y$ ならば、あらためて塑性成分を考慮した解析をする。図-1 にフローチャートを示す。(詳しい点については文献^{1),2)}を参照されたい。)

2.7 入力

- 円板の大きさ
- 温度の条件
- Biot 数
- 材料の機械的性質

2.8 出力

- 各々の時間における応力、ひずみ

3. プログラムの検定

3.1 精度

温度系では倍精度計算を用いた。

3.2 演算時間

半径軸は40等分、時間軸は25~40等分にて45~90分を要した。

4. プログラムの使用法と応用

4.1 オペレート

実行は ¥BATCH にて行ない、計算機容量が少なかったので MT を用いた。温度はすべて予め MT に格納しておき必要時に取出す方法によった。

5. あとがき

非定常温度分布を求め、これを円板に加えた。得られた応力-ひずみ挙動は Loading と Unloading の織りなす複雑な様相を提した。

記号

λ : 熱伝導率, h : 熱伝達率

参考文献

- 1) 天田, 町田 “非定常な熱負荷を受ける回転円板の弾塑性応力” 日本機械学会講演論文集 No. 700-13 (45-10)
- 2) S. Amada “Elasto-Plastic Stress Analysis of Rotating Discs Subjected to Transient Thermal and Centrifugal Loadings” Proceedings of the 14th Japan Congress on Material Research. (1971)

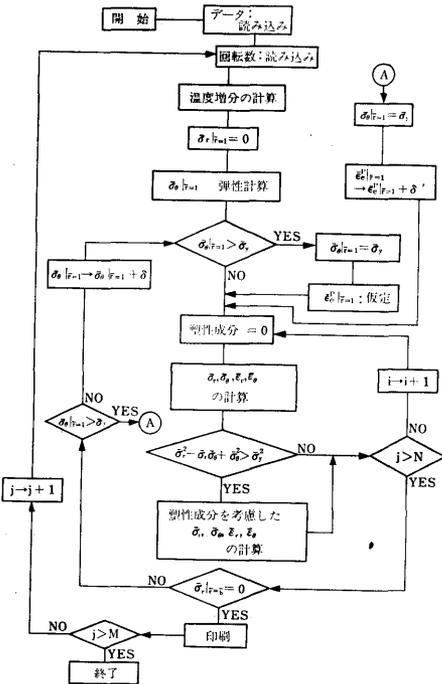


図-1

17. 燃料噴射系のシミュレーション

機関性能部 塩出敬二郎

1. プログラムの目的および概要

このプログラムは、ディーゼル機関の燃料噴射系の特性を解析するために作ったものである。ディーゼル機関の燃焼と非常に密接な関係を持つ燃料噴射率は、噴射系の設計条件、例えば燃料カム回転速度、噴射管の長さ、断面積、噴口径などにより大きく左右される。これらと燃料噴射率との関連性をこのシミュレータによって解明することができる。

計算の方法は、燃料噴射系を構成している各部について、圧力、流量、変位などの式を作りこれを連立して時間に対して解くものである。

噴射管内の流れは1次元非定常流を仮定して特性曲線法により解いている。

燃料噴射系のモデルとしては、現在広く利用されているボッシュ型ポンプと自動弁を細長い噴射管で結合した構造のものを用いた。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称

SOFIS-001

2.2 製作者

機関性能部 塩出敬二郎

2.3 製作年月

昭和44年3月

2.4 計算の基礎となる理論

記号の説明

F_k	プランジャー断面積
C_k	// 速度
V_k	// 室容積
P_k	// 室圧力
E	燃料油の体積弾性率
t	時間
μ_0	燃料吸込口における流量係数
C_0	// における流速
F_0	// の開口面積
μ_d	吐出弁における流量係数
C_d	// 流速
F_d	吐出弁の開口面積

A_d	吐出弁の断面積
\dot{h}_v	// 速度
h_v	// 揚程
V_d	// 室容積
P_d	// 室圧力
C_r	噴射管入口流速
F_r	// 断面積
W_d	吐出弁質量
R	// の摩擦係数
K	// バネのバネ定数
δ_0	// バネの初期変位量
C_r'	噴射管出口流速
V_n	ノズル室容積
P_n	// 室圧力
A_n	// 針弁断面積
\dot{h}_n	// 針弁速度
h_n	// 針弁揚程
μ_n	// 針弁における流量係数
C_n	// 針弁における流速
F_n	// 針弁の開口面積
W_n	// 針弁の質量
R_n	// 針弁の摩擦係数
K_n	// 針弁バネのバネ定数
δ_{n0}	// 針弁バネの初期変位量
A_s	// 針弁座下の断面積

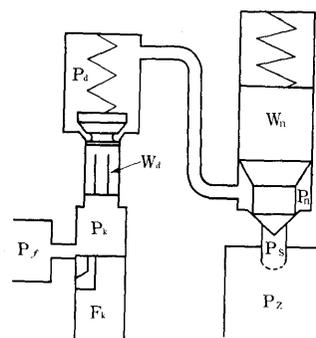


図-1

P_1 ノズル針弁座下の圧力
 P_2 シリンダ圧力

燃料噴射系モデルの概略図を 図-1 に示す。プランジャー室の圧力は、燃料吸込口からの流入量と吐出弁を通して流出する量およびプランジャー室容積により決まる。これを数式化したのが(1)式である。

$$F_k \cdot C_k = \frac{V_p}{E} \frac{dP_k}{dt} + \mu_0 C_0 F_0 + A_d \dot{h}_v + \mu_d \cdot C_d \cdot F_d \quad \dots\dots\dots(1)$$

吐出弁室の圧力は、吐出弁を通して流入する量と噴射管に出て行く量および吐出弁室の容積によって決まる。

$$\mu_d \cdot C_d \cdot F_d + A_d \dot{h}_v = \frac{V_d}{E} \frac{dP_d}{dt} + C_r \cdot F_r \quad \dots\dots\dots(2)$$

また吐出弁の動きは、吐出弁の質量とプランジャー室圧力と吐出弁室圧力との差およびバネ力、吐出弁の摩擦係数により、次式のように表わすことができる。

$$W_d \frac{d\dot{h}_v}{dt} + R \dot{h}_v + K(\delta_0 + h_v) = A_d(P_k - P_d) \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\frac{ph_v}{dt} = \dot{h}_v \quad \dots\dots\dots(4)$$

ノズル室においてもプランジャー室と同様に次式が成り立つ。

$$F_r \cdot C_r' = \frac{V_n}{E} \frac{dP_n}{dt} + \mu_n \cdot C_n \cdot F_n + A_n \dot{h}_n \quad \dots\dots\dots(5)$$

ノズル針弁の動きについても、吐出弁と同様に次式が成立する。

$$W_n \frac{d\dot{h}_n}{dt} + R_n \dot{h}_n + K_n(\delta_{n0} + h_n) = (A_n - A_2) P_n + P_2 A_2 \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\frac{dh_n}{dt} = \dot{h}_n \quad \dots\dots\dots(7)$$

また噴射管内の流れは、1次元非定常流を仮定すれば、次の二つの基礎方程式で表わされる。

$$\frac{\partial P}{\partial x} + \rho \frac{\partial C}{\partial t} + 2\rho kc = 0 \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$\frac{\partial C}{\partial x} + \frac{1}{a^2 l} \frac{\partial P}{\partial t} = 0 \quad \dots\dots\dots(9)$$

ただし、 P ：流体圧力 C ：流体の速度 ρ ：流体の密度 x ：導管の長さ方向の座標 t ：時間 a ：流体中の音速 k ：流体抵抗係数である。この両式において、(8)式を t で偏微分し、(9)式を x で偏微分し、 $\frac{\partial^2 P}{\partial x \partial t}$ を消去すればつぎの電信方程式を得る。

$$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \frac{1}{a^2} \frac{\partial^2 C}{\partial t^2} - \frac{2k}{a^2} \frac{\partial C}{\partial t} = 0 \quad \dots\dots\dots(10)$$

この電信方程式は2次の偏微分方程式であるが、完(380)

全微分の系によって置換すれば解くことができる。そのため次の関係式

$$\frac{\partial C}{\partial x} = v, \quad \frac{\partial C}{\partial t} = q, \quad \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = r, \quad \frac{\partial^2 C}{\partial x \partial t} = S, \quad \frac{\partial^2 C}{\partial t^2} = m$$

を用いると、(10)式と等価な二つの方程式を得る。

$$\left. \begin{aligned} dt - \lambda_1 dx &= 0 \\ dc - v dx - q dt &= 0 \\ dv + \lambda_2 dq - \frac{2k}{a^2} q dx &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} dt - \lambda_2 dx &= 0 \\ dc - v dx - q dt &= 0 \\ dv + \lambda_1 dq - \frac{2k}{a^2} q dx &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ただし} \quad \lambda_1 &= \frac{1}{a} = \frac{dt}{dx} \\ \lambda_2 &= -\frac{1}{a} = \frac{dt}{dx} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

(13)式は(10)式の特性曲線といわれるものである。この特性曲線は $x-t$ 面で表わせば 図-2 のようになる。

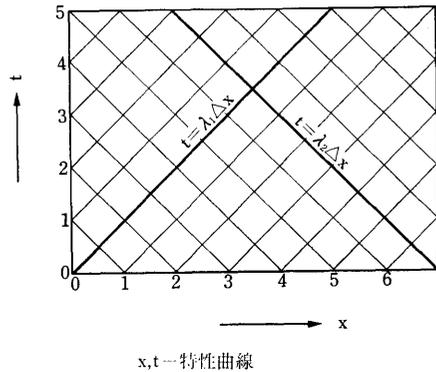


図-2

流体速度 C はこの両特性曲線の結び目で決定される。(11)、(12)式を階差法を用いて流体速度 C について解けば

$$C_{x+1, t+2} = b_1 C_{x, t} + b_2 C_{x+1, t+1} - b_3 C_{x+1, t} + b_2 C_{x+1, t+1} + b_3 C_{x, t+1} \quad \dots\dots\dots(13)$$

$$\begin{aligned} \text{ただし} \quad b_1 &= \frac{k\Delta t}{1+k\Delta t} \\ b_2 &= \frac{1}{1+k\Delta t} \\ b_3 &= \frac{1-k\Delta t}{1+k\Delta t} \end{aligned}$$

である。

(13)式の内容を具体的に示したものが次の 図-3 である。それ故、噴射管両端の流体速度が与えられれば、

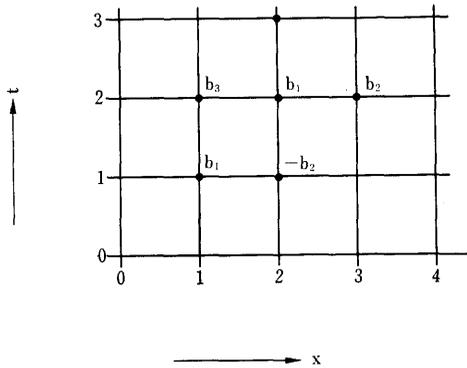


図-3

噴射管内の速度を(13)式によって決めることができる。
(9)式を階差法を用いて、 $x=0$ の位置について書けば、

$$C_{0,t+1} = C_{1,t+1} + \frac{1}{a\rho} (Pd' - Pd) \dots \dots \dots (14)$$

ただし、 Pd' は $t+dt$ における吐出弁室の圧力を表わす。これが噴射管入口の速度を表わす。同様に出口側でも求めることができる。

(1)~(7)式の微分方程式を連立して解き、噴射管入口、出口の境界条件を与えて、噴射管内の速度を漸次決定していくと、燃料噴射系全体の挙動を解析することができる。

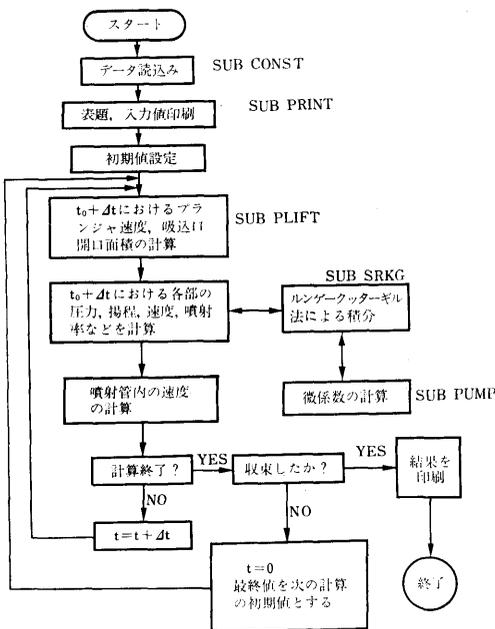


図-4

2.5 計算の手順

フローチャートを 図-4 に示す

2.6 プログラム用語および計算機種

FORTRAN IV, FACOM 270-20

2.7 入力

入力は紙テープリーダーから次のものを入れている。

- RPM 燃料カム回転数 (rpm)
- DT 計算1ステップの時間間隔 (sec)
- RACK 燃料ラック位置 (cm)
- PRES 残留圧力 (kg/cm²)
- Lpipe 燃料管分割数
- ACV 燃料中の音速 (cm/sec)
- GAM 燃料の比重量
- DP プランジャー直径 (cm)
- DD 吐出弁座直径 (cm)
- DN ノズル針弁直径 (cm)
- DC // 座直径 (cm)
- DR 噴射管内径 (cm)
- PF 燃料供給圧力 (kg/cm²)
- PZ シリンダ内圧力 (kg/cm²)
- WD 吐出弁質量 + 1/3 バネ質量 (kg sec²/cm)
- DELD 吐出弁バネのバネ定数 (kg/cm)
- DELO // の初期変位量 (cm)
- WN ノズル針弁質量 + 1/3 バネ質量 (kg sec²/cm)

- DELN ノズル針弁バネのバネ定数 (kg/cm)
- DELNO // の初期変位量 (cm)
- HSD カラー高さ (cm)
- ANU 燃料の摩擦係数
- AFN ノズル噴口面積 (cm²)
- VMO プランジャー室初期容積 (cm³)
- VDO 吐出弁室初期容積 (cm³)
- VNO ノズル室初期容積 (cm³)

この他、燃料カムの形状および燃料吸込口面積とラック位置の関係をサブプログラムにして与える。

2.8 出力

ラインプリンタに次のものが出力される。

- T 時間またはカム角度 (sec or deg)
- PP プランジャー室圧力 (kg/cm²)
- HD 吐出弁揚程 (cm)
- SD // 速度 (cm/sec)
- PD // 室圧力 (kg/cm²)
- PN ノズル室圧力 (kg/cm²)

HN	ノズル針弁揚程 (cm)
SN	// 速度 (cm/sec)
AA	燃料吸込口における流量 (cm ³ /sec)
AB	吐出弁における流量 (cm ³ /sec)
AC	噴射管入口における流量 (cm ³ /sec)
AD	噴射管出口における流量 (cm ³ /sec)
AE	ノズル針弁における流量 (cm ³ /sec)
AF	噴射率 (cm ³ /deg)
PL	プランジャー揚程 (cm)
CP	// 速度 (cm/sec)
QINJ	噴射量 (cm ³)

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

この計算は多くの仮定をおいているので、実験との比較なしには評価できない。

3.2 計算所要時間

エンジンの種類、噴射管の分割数、回転数などにより大幅に変化するが、平均1サイクル20分程度である。

3.3 適用範囲, 制限事項

特になし

4. プログラムの使用法について

4.1 オプレート

BATCH処理による。オルタレーションスイッチ 0番 ON で噴射期間のデータだけを出力。

4.2 プログラムの応用

各種噴射系のシミュレーションに応用できる。また、特性曲線法の手法を用いて1次元非定常流を解析することができる。

4.3 他機種への移行

5. あとがき

今後はキャビテーションによる音速の変化、蒸発、燃料の物性値の変化なども考慮したプログラムを開発したい。

参考文献

- (1) György Sitkei: Kraftstoffaufbereitung und Uerbrennung bei Dieselmotoren

18. 二つのベクトルの合成とその結果の作図に関するプログラム

海洋開発工学部 丹羽 新・安藤 定雄

1. プログラムの目的および概要

この計算プログラムは、振動している重力式擁壁の一つの力学モデルを考えるに際して、実験的にえられた壁体の水平変位と回転変位から、モデルに対する振動入力を求めることを目的としている。

この入力ベクトル **A** は、実測した二つのベクトル **B** と **C**、および求めようとするスカラー **c** との間に、 $\mathbf{A} = \mathbf{B} - c\mathbf{C}$ なる関係があり、**A** が各実験ブロック(後述)に共通な振動数特性を持つように、**c** の値を各ブロックごとに定めたい。そのため与えられた **B** および **C** を用い、**c** を数多くかえて計算した結果が、一見して求めるものであるか否かを判断できるように、作図するプログラムである。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称

45-030

Calculation of Exciting Displacement when Using the Earthquake Generator

(382)

2.2 製作者

海洋開発工学部 安藤定雄

// 丹羽 新

2.3 製作年月

昭和45年9月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

人工地震発生装置によって自然地震盤に定常地震動を起し、このとき重力式擁壁の背面と底面に作用する振動土圧と壁体の変位を実測した。裏込めの状態は、i) 載荷重を加える前の裏込めのみの場合、ii) 高さ2mの載荷重を裏込め上に載せた場合、iii) 上記の載荷重の高さを1mにした場合、iv) 載荷重を取り除いた場合、v) 裏込めの砂を掘り取って代りに水を満した場合、vi) 裏込めがからの場合、について実験を行なった。この六つを実験のブロックと言うことにする。

これらの実測値から重力式擁壁の力学モデルを組み立てるのであるが、その一つとして、図-1 に示すよ

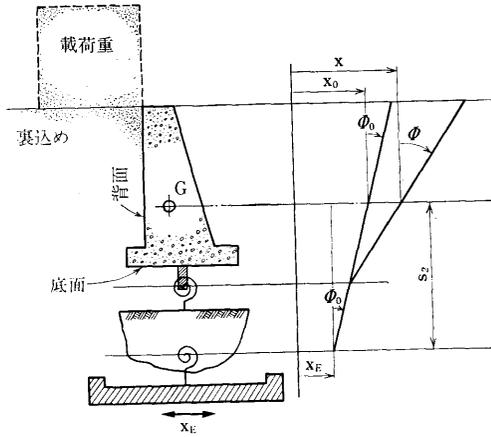


図-1 重力式擁壁と基礎地盤の力学モデル

うに壁体と基礎地盤がともに回転変位のみをなす系が考えられる¹⁾。

この図で x_0 , ϕ_0 実測値を用いて計算によって求めることができるが、この振動系への入力となる地動 x_E は直接観測することができず、 s_2 とともに計算によって求めなければならない。それらの関係式は図より明らかのように

$$x_E = x_0 - s_2 \phi_0$$

となり、 x_0 と ϕ_0 を既知として、 s_2 の値を順次変えて計算を行ない、すべてのブロックの実験を通じて x_E の振幅と位相角が共通の振動数特性を持つように、実験のブロックごとに s_2 を求め、そのときえられる地動 x_E を求める。

2.5 計算手順

計算手順を 図-2 のフローチャートに示す。

2.6 プログラム用語および計算機種

FACOM FORTRAN, FACOM 270-20

2.7 入力

必要な入力データは次に示すものである。

- NA ブロックの数
- NB 全体のデータの数
- NN(I) 各ブロックの中のデータの数
- MM(I) s_2 を変える第1定数
- HH(I) s_2 を変える第2定数
- NO(I) 実験番号
- FA(I) 実験の振動数
- AX(I) x_0 の振幅
- AL(I) x_0 の位相角
- PA(I) ϕ_0 の振幅
- BE(I) ϕ_0 の位相角

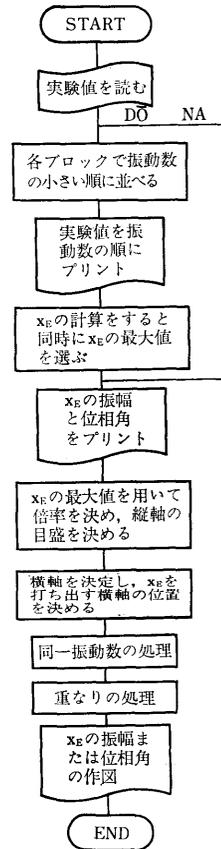


図-2 フローチャート

2.8 出力

- (イ) 実験番号、実測値を各ブロックごとに振動数の小さい順に入れ換えたものをプリントする。
- (ロ) s_2 , 全体の通し番号、実験番号、振動数および計算した x_E の振幅および位相角をプリントする。
- (ハ) LP による作図で、振動数、 x_E の重なりを示す表示、および x_E の振幅または位相角を s_2 の値に応じた記号でプリントする。作図した例を 図-3 に示す。

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

入力データは実験値であるので有効数字 2~4 桁である。また、第1段階の s_2 の値は大略を求めればよいので、計算は有効数字 4 桁がえられることを目標にして、単語長 (整数は 5 桁で、実数は 8 桁である。) で行なった。

3.2 計算所要時間

演算だけに必要な時間は約60秒であるが、作図には

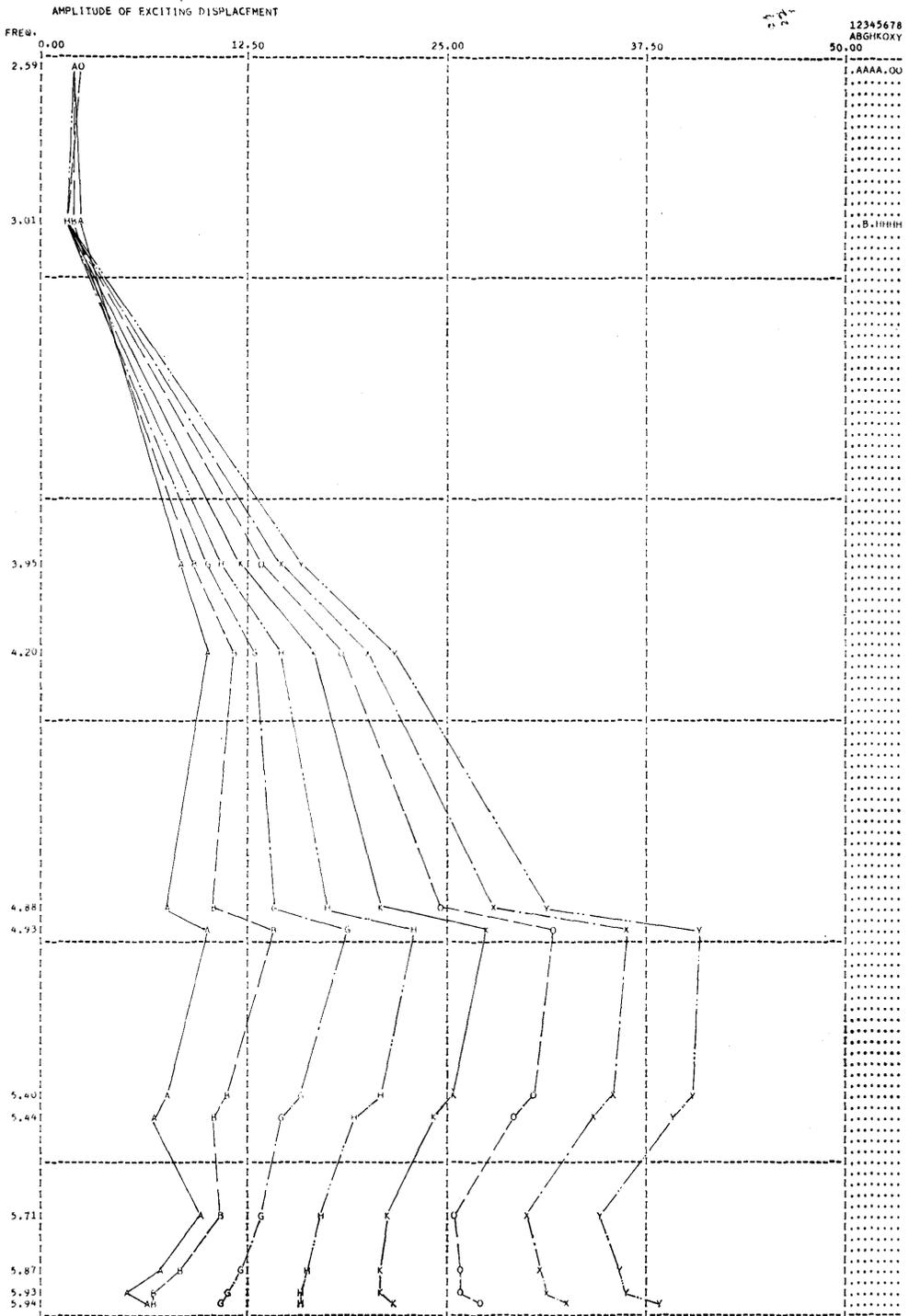


図-3 結果の一例ブロック ii) の振幅

LP の印刷速度から受ける制限があり、全体の計算機の使用時間は約3分である。

3.3 適用範囲, 制限事項

作図には、同時に八つの s_2 について計算した x_E を出力させることができる。縦軸は120分割してあり、その時の目盛はプログラムの中で決めることになっている。横軸は無限の長さまで続けられる。また、同一振動数の点があれば次の行に打ち出すようになっている。

このプログラムを用いて解析できる最大容量はブロック数が12までで、一つのブロックの中は12点（振動数の種類）まで、全体のデータ数が最大72点までである。

4. プログラムの用法について

4.1 オペレート

実行は BATCH 処理で行なう。

4.2 プログラムの応用

プログラムの中で作図のための個所は XY プロッタほどの精度を要求しなければ、計算結果がどのようになっているかがすぐ見られる便利さがある。この場合、縦軸はプログラムの中で、いかなる値がきても常

に紙面の半分以上を使用するように処理している。また、重なり、同一振動数の処理もなされている。

横軸にも縦軸と同じ手法を用いれば、これも適当な目盛にすることができる。

4.3 他機種への移行

上記プログラムはほとんどがコア上で演算されているので、使用可能なコアが 8 kw 以上ある計算機ならば移行できる。しかし、すべての演算を終了してから作図にかかるため DRUM DIMENSION があるので注意する必要がある。

5. あとがき

本プログラムは計算処理自体については簡単なものであるが、XY プロッタを用いずに、任意の縦・横軸の置点、点の重なり、および同一振動数の処理などに工夫がこらされているので、今後、この手法は種々の方面で応用できると思われる。

参考文献

- 1) 丹羽 新・“重力式擁壁に作用する振動土圧について”，船舶技術研究所報告，第8巻第5号 昭和46年9月

19. 強磁性多結晶体の磁気ひずみ効果の計算プログラム

共通工学部 滝沢千嘉子

1. プログラムの目的および概要

強磁性体の磁気的な性質が応力により大きく変化することは、磁気ひずみ効果として知られている。

これを利用して、鋼材の応力を非破壊的に測定する基礎研究をおこなっているが、応力による磁束密度の変化のみでなく、透磁率の変化を理論的に求める必要が生じた。

このプログラムは、強磁性体に与えられた磁界と同じ方向の1軸応力が加えられた場合、この強磁性体の磁気ひずみ効果を、任意の方向の単結晶、および多結晶体について、広い磁界範囲にわたって計算するものである。

2. プログラムの内容

2.1 プログラム番号

45-005

2.2 製作者

共通工学部 滝沢千嘉子

共通工学部 岩柳 順二

2.3 製作年月

昭和45年10月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

強磁性体多結晶内の磁化の方向は自由エネルギー F の極小条件から求める。

$$F = F_K + F_G + F_H \dots \dots \dots (1)$$

磁界および応力が小さい時は磁化の方向は、磁化容易軸方向 $\langle 100 \rangle$ を向いていると考え、(1) 式の極小値問題より磁化の方向が定まれば、磁化は次式で求まる。

$$I = I_S \sum_{i=1}^3 \alpha_i \beta_i \quad (i=1, 2, 3)$$

(1)式はラグランジュの未定係数法を用いると、未定

係数 L と α_i に関する 4 元 3 次連立方程式となる。

無次元化するため次のようにおく、

$$Q = \frac{HI_s}{2K}, \quad q = \frac{hI_s}{2K}, \quad l = \frac{L}{K},$$

$$p = \frac{3\lambda_{111}\sigma}{2K}, \quad D = \frac{\lambda_{100} - \lambda_{111}}{\lambda_{111}}$$

$$\text{式は } \begin{cases} \alpha_i^3 - l\alpha_i + \beta_i Q + \beta_i q + \beta_i (\sum_j \alpha_j \beta_j + P\alpha_i \beta_i) p = 0 \\ \sum_j \alpha_j^2 - 1 = 0 \quad (j=1, 2, 3) \end{cases}$$

となり、これを p, q について級数に展開して、解を 2 次の項まで求める。

記号は

- F_K 磁気異方性エネルギー
- F_H 磁界のエネルギー
- $\lambda_{100}, \lambda_{111}$ 磁気ひずみ定数
- σ 応力
- I_s 自発磁化
- h 微小(交番)磁界
- F_o 磁気ひずみエネルギー
- α_i 磁化の方向余弦
- β_i 磁界, 応力の方向余弦
- K 磁気異方性定数
- H バイアス磁界

磁化 I は次式となる。

$$I = A_0 + A_1 q + A_2 p + A_3 q^2 + A_4 p q + A_5 p^2 \dots \dots \dots (2)$$

A_0 は逐次近似により求められ、 $A_1 \sim A_5$ は連立 1 次方程式で求める。

A_0 は応力がなげときの磁化曲線

A_1 は応力 0 のときの可逆透磁率

A_2 は磁界の変化に対する磁気ひずみ効果

A_4 は可逆透磁率についての磁気ひずみ感度

A_5 は磁束密度変化の磁気ひずみ効果の非直線項

多結晶体の磁化を求めるには、単位球面の $\frac{1}{48}$ である図 (a) に示す斜線の範囲内で (2) 式を平均する。実際には、図 (b) のように三角領域を正方形領域 (ψ, ϕ) に交換し、シンプソンの $\frac{1}{3}$ 則を用いて 2 重

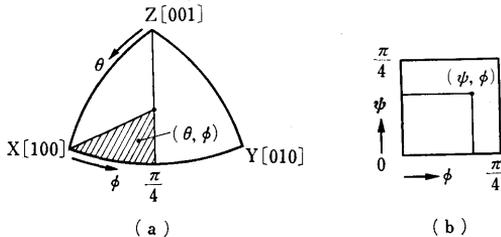


図-1

(386)

積分をおこなった。

2.5 計算の手順

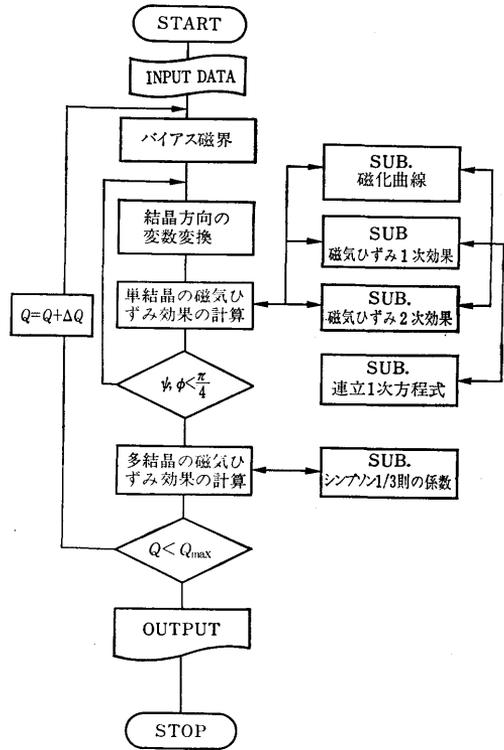


図-2

2.6 入力

1. 磁界範囲の上限値と下限値
2. 磁界範囲の分割数
3. 結晶方位の分割数
4. 磁気ひずみ異方性 $\frac{\lambda_{100} - \lambda_{111}}{\lambda_{111}}$

2.7 出力

1. 磁界
2. 単結晶の結晶方向
3. 単結晶の磁化, 磁気ひずみ効果をあらわす(2)式の, 6個の係数 A_0, A_1, \dots, A_5
4. 多結晶体の磁化, および磁気ひずみ効果 $\bar{A}_0, \bar{A}_1, \bar{A}_2, \bar{A}_4, \bar{A}_5$

近似の回数も出力する。

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

A_0 の逐次近似は 10^{-5} の精度でうちきり。

最終結果は有効数字 5 桁。

3.2 計算時間

1つの磁界について、結晶方向の分割数

10×10のときの計算時間が1分。

3.3 適用範囲, 制限事項

結晶方向<110>, <111>は、特定の磁界に対して、ある種の特異点となる。

多結晶体について平均するときは取除いた。

その影響は無視できる。

4. プログラムの使用法と応用

4.1 プログラムのオペレート

実行は BATCH 処理でおこなう。

4.2 プログラムの応用

磁気異方性定数 $K > 0$ (鉄型) のものは、このプログラムが適用される。 $K < 0$ (ニッケル型) に対しては、 α_i の初期値を $(\frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{1}{\sqrt{3}})$ とすれば適用できる。

5. あとがき

この計算結果は実験値と比べ、定性的にも定量的にも、かなりよい一致を示している。

20. 球状放射線遮蔽体の重量最小化計算プログラム

原子力船部 金 井 康 二

1. プログラムの目的および概要

原子力船が、遮蔽を必要としない従来船と競合する場合、遮蔽体設置による重量の増加、資本費の増大および空間損失は原子力船の経済性あるいは性能に著しい影響を与える。特に軽量・小形化をめざす船用炉の設計段階で、コマーシャルベースにあった計算時間で、安全性を保持しつつ経済性を向上させる遮蔽の「最適化」の手法と計算プログラムが要望される。本プログラムは最適遮蔽の一連の研究中、最初に電子計算機 NEAC 2206 用にプログラミングされたもので、放射線透過の本質をそこなわない範囲の単純化を計り、最適化の手法に「ダイナミック・プログラミング法」を適用して、特に遮蔽重量に対する最適な物質配列を求める。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

SOP-DP

2.2 製作者

原子力船部 金井康二

2.3 製作年月

昭和45年3月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

球状遮蔽体中で、放射線(速中性子, 熱中性子, γ 線の3種の粒子を考える)が(1)式であらわされる線形1次の減衰過程をとるものとする。

$$(1) \quad d\phi_j(r)/dr = -\phi_j(r)[\mu_j - d(\ln G(r_0, r))/dr]$$

$$+ \sum_{k=1}^3 A_{kj} \phi_k(r) \quad j=1, 2, 3$$

ただし $\phi_j(r)$: 半径 r での j 粒子のフラックス

μ_j : j 粒子の減衰係数

$G(r_0, r)$: 形状係数 (球の場合 $= (r_0/r)^2$)

A_{kj} : k 粒子から j 粒子への減速または2次生成の係数

r_0 : 遮蔽体内半径

(1)式をマトリックス表示すると

$$(1') \quad d\Phi(r)/dr = M(m, r) \cdot \Phi(r)$$

ただし $\Phi(r) = (\phi_1(r), \phi_2(r), \phi_3(r))^T$

$$M = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{pmatrix}$$

m_{ij} は(1)式に対応した物質定数

また遮蔽体の外径 r_N での線量は人員, 機器類の安全性の観点から定められた設計基準線量 D_0 を満足する。今線量変換係数のベクトルを F であらわせば

$$(2) \quad \langle F \cdot \Phi(r_N) \rangle \leq D_0$$

となる。ここで $\langle \rangle$ は内積を示す。

最適化の問題は、数個の物質を与えて、(1), (2)の条件の下で遮蔽重量 $W = C \int_{r_0}^{r_N} \rho(r) r^2 dr$ ($\rho(r)$ は半径 r での密度) を最小にするような各半径 r での物質を選択することである。

今半径 r でフラックスが $\Phi(r)$ のとき r より r_N まで最適な物質 $m(r)$ で構成されたときの重量関数一ベル

マンの関数— $W^0(\phi, r) = \min_{m(r)} \int_r^{r_N} C \cdot \rho(r') r'^2 dr'$ を導入して r を微小変化 Δ だけ変化しときフラックスの変化は $\delta\phi$ とすると

$$(3) \quad W^0(\phi + \delta\phi, r + \Delta) = \min_{m(r)} \int_{r+\Delta}^{r_N} C \cdot \rho(r') r'^2 dr'$$

これより

$$(4) \quad W^0(\phi, r) = \min_{m(r)} \left[\int_r^{r+\Delta} C \cdot \rho(r') r'^2 dr' + W^0(\phi + \delta\phi, r + \Delta) \right]$$

ここでメッシュ幅 Δ の範囲内では物質は一定であると仮定すると

$$(5) \quad W^0(\phi, r) = \min_{m(r)} [4\pi\rho(r)/3 \cdot \{(r+\Delta)^3 - r^3\} + W^0(\phi + \delta\phi, r + \Delta)]$$

(5)式より r_N から逆方向に r_0 までのくり返し計算により遮蔽重量を最小にする物質 $m(r)$ がメッシュ幅 Δ 毎に順次選びだすことができる。

ただし $\delta\phi/\delta r = M(m, r)\phi$,
 $\langle F \cdot \phi(r_N) \rangle \geq D_0$

を満足しなければならない。

2.5 計算の手順

図-1 参照

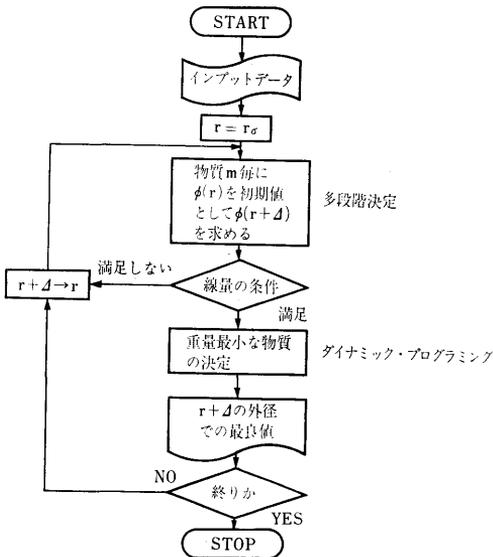


図-1

2.6 入力

- COV(I) : 線量変換係数
- DO : 設計基準線量

(388)

- RO : 遮蔽体内径
- MAXMAT : 遮蔽材総数
- MATNM(K) : 遮蔽物質名
- COEF(K, t) : 物質定数
- SMESH : メッシュ幅
- PHIO(I) : フラックス初期値

ここで I : 粒子数 1~3

K : 物質番号 1~10

L : 物質定数 1~7

2.7 出力

- DOP : 遮蔽体外径での線量
- WOP : 遮蔽重量
- MATOP(J) : J番目の最適な物質名
- PHIOP(I, J) : J番目のフラックス

3. プログラムの検定

3.1 計算誤差, 精度

既存の最適遮蔽のプログラムのうち大部分は放射線の減衰を簡単な指数関数近似で取扱っている。その点本プログラムは減速および2次発生の方も含めてあるのでデータさえそろえれば概念設計の資料としては十分であると思われる。また粒子数の増加, 例えば中性子, γ 線を更に細かいエネルギーグループに分けて取扱うこともプログラムの簡単な改良で行なわれる。

ただしこの場合計算時間との調和も考慮しなければならない。更に精度を決定する要因としてメッシュ幅が上げられるが, 試計算では2物質の配列を定めるのに5cmが磁気テープの限度であった。

3.2 演算時間

2物質の層状配列を求めるのにメッシュ幅40cmの場合約8分, 20cmの場合約40分である。

3.3 適用範囲, 制限事項

物質数はプログラム上10種類まで取扱えるが実際には3種類が限度である。またメッシュ幅は10cm以上が計算時間の点から適当と思われる。

4. プログラムの使用について

4.1 オペレート

プログラムの実行に際し次の付属機種を onにする

- 磁気テープ番号 5, 6, 7
- ラインプリンタ
- タイプライタ
- テープ読取機

センススイッチ SWO が OFF を確認してスタート

5. あとがき

本プログラムで用いられた手法を改良，発展した，微分ダイナミック・プログラミング法を応用して球・円筒・平板形状遮蔽体の資本費・重量の最適化計算をおこなうプログラムを IBM 360 モデル 75 の大型電子計算機用に作成中である。

参考文献

- 金井，片岡；船研発表会（第14回）（1969.11）
 // ；船研発表会（第16回）（1971.11）
 // ；原子力学会炉物理分科会D5（1969）
 // ；原子力学会昭和45年年会（1970）
 // ；原子力学会昭和46年年会（1971）

21. 線源コリメータの端部で発生する散乱ガンマ線の 評価プログラム

原子力船部 植木 紘太郎

1. プログラムの目的および概要

放射性同位元素は 4π 方向に一律に放射線を放射している。放射性同位元素を用いて遮蔽実験をするとき，細くしぼった線束を取出すために一般にコリメータを使用する。

コリメータを通し細くしぼった線束を遮蔽体に投射し，透過ガンマ線のエネルギースペクトルを測定する場合，検出器にはコリメータによって細くしぼられたガンマ線束からの透過ガンマ線とコリメータの端部で不可避免的に発生する散乱ガンマ線が遮蔽体中を透過したものが同時に入射することになる。そこで実験の目的である遮蔽体中を透過したガンマ線の正味のエネルギースペクトルを得るにはコリメータ端部で発生した散乱線の影響を評価し，検出器によって得られたエネルギースペクトルからコリメータ端部で発生した散乱線の寄与している部分を差引かなければならない。

このプログラムは線源コリメータを用いて細くしぼった線束を平板に垂直あるいは斜め投射した場合についてコリメータ端部で発生した散乱線からの寄与を計算し，遮蔽体を透過した正味のエネルギースペクトルを計算するものである。

この計算方法によって得られたエネルギースペクトルはモンテカルロ法で計算したスペクトルとよい一致を見ている。これについてはすでに船研講演会，原子力学会講演会で発表している。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称

JPTR 13

2.2 製作者

原子力船部 植木紘太郎

2.3 製作年月

昭和42年

2.4 計算の基礎となる理論の概要

光子は遮蔽体と種々多様な相互作用をするが，ここでは ^{60}Co の 1.33MeV，あるいはそれ以下のエネルギーの放射線を放出する放射性同位元素を対称とするものとし，次の三つの過程を考慮する。

- (1) 光電効果
- (2) Compton 散乱
- (3) 電子対創性

本計算方法を適応する実験配置では検出部にもコリメータを使用しているので，ここで問題にしているコリメータ端部で発生した散乱線が遮蔽体中で上記の相互作用を行っても検出部には入射しないものとみなしうる。

以上のような仮定が成立つものとするれば，コリメータ端部で発生した散乱ガンマ線は， $e^{-\mu x}$ のように減衰する。

物質の線吸収係数を $\mu(E)\text{cm}^{-1}$ とすれば，

$$\mu(E) = \tau(E) + \sigma(E) + \kappa(E) \dots \dots \dots (1)$$

ここで τ , σ , κ , はそれぞれ(1), (2), (3)の過程に対する線吸収係数である。

線源コリメータ端部の中心と検出器の中心とを結ぶ直線が遮蔽体を横切る部分の線分を \bar{x} とし，この長さをコリメータ端部で発生した散乱ガンマ線の遮蔽体透過平均距離とする。

遮蔽体を \bar{x} だけ透過したガンマ線の角度エネルギー
 スペクトル $N^s_3(\vec{r}, \vec{\Omega}, E)$ は、投射光子の角度エ
 ネルギースペクトルを $N^s_2(\vec{r}, \vec{\Omega}, E)$ とすれば、

$$N^s_3(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) = N^s_2(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) e^{-\mu(E)\bar{x}} \dots(2)$$

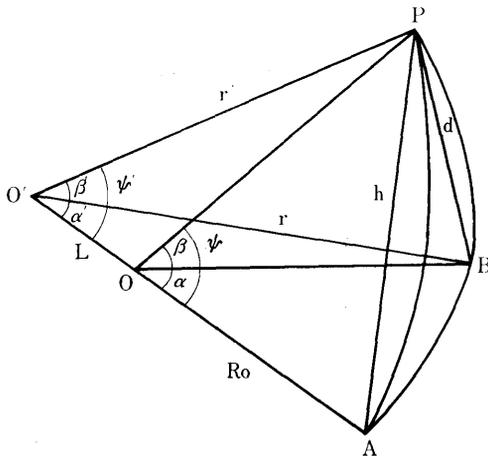
コリメータ端部で発生した散乱ガンマ線が(2)式
 のように減衰し、正味の遮蔽体透過ガンマ線と同時
 に検出器に入射する。そこで正味の遮蔽体透過
 ガンマ線の角度エネルギースペクトル $N^s(\vec{r}, \vec{\Omega}, E)$
 は次のように計算される。

$$N^s(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) = N^s_1(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) - N^s_2(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) e^{-\mu(E)\bar{x}} \dots(3)$$

ここで $N^s_1(\vec{r}, \vec{\Omega}, E)$ は線源コリメータの前方
 に遮蔽体を設置して測定した角度エネルギー
 スペクトルである。同様に $N^s_2(\vec{r}, \vec{\Omega}, E)$ は線
 源コリメータの前方に遮蔽体が置かれていない
 場合の測定値である。

次に(3)式の \bar{x} を計算する。

図-1 において点 P, A, B は O を中心とする
 半径 R_0 の同一球面上にある。 θ, ϕ はそれ
 ぞれ極角、方位角である。



- O slab center
- O' collimator center
- ψ, ψ' scattered angle
- α, α' azimuthal angle
- β, β' latitudinal angle

図-1

球面三角形 $OPBA$ において $\angle B = \angle R$
 $\cos \Psi = \cos \theta \cos \phi + \sin \theta \sin \phi \cos \pi/2$
 $= \cos \theta \cos \phi$

(390)

$$\Psi = \cos^{-1}(\cos \theta \cos \phi) \dots\dots\dots(4)$$

$\triangle OPA$ において

$$h^2 = 2R_0^2 - 2R_0^2 \cos \Psi$$

$$h = \sqrt{2} \cdot R_0 \sqrt{1 - \cos \Psi} \dots\dots\dots(5)$$

$\triangle O'PA$ において

$$\angle O'AP = \pi/2 - \Psi/2$$

$$r'^2 = (R_0 + L)^2 + h^2 - 2(R_0 + L) \cdot h \cos\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\Psi}{2}\right)$$

$$r' = \sqrt{(R_0 + L)^2 + h^2 - 2(R_0 + L) \cdot h \cos(\pi/2 - \Psi/2)} \dots\dots\dots(6)$$

一方

$$h^2 = r'^2 + (R_0 + L)^2 - 2r'(R_0 + L) \cos \Psi'$$

$$\cos \Psi' = \frac{r'^2 + (R_0 + L)^2 - h^2}{2r'(R_0 + L)}$$

$$\Psi' = \cos^{-1}\left(\frac{r'^2 + (R_0 + L)^2 - h^2}{2r'(R_0 + L)}\right) \dots\dots\dots(7)$$

遮蔽体の厚さ X_0 と \bar{x}, Ψ' との関係は

$$\bar{x} = X_0 / \cos \Psi' \dots\dots\dots(8)$$

(7)式で $\cos \Psi'$ が求まっているので(8)式で得られた
 \bar{x} を(3)式に代入すれば求める正味の遮蔽体透過
 ガンマ線の角度エネルギースペクトル $N^s(\vec{r}, \vec{\Omega}, E)$ が
 得られる。

2.5 計算の手順

図-2 のフローチャートに手順を示す。

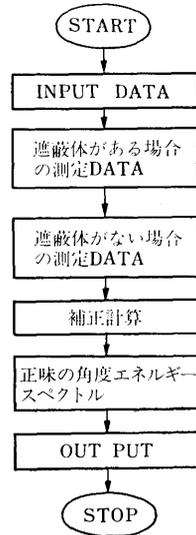


図-2

2.6 入力

- X(I) : エネルギー 5 F10.5
- F(I) : 線吸収係数 5 F10.5

ALPHA	:	α	F10.5
BETA	:	β	F10.5
GZAI	:	ξ	F10.5
R	:	R_0	F10.5
XLENGT	:	L	F10.5
THICK	:	X_0	F10.5
ON(I)	:	遮蔽体がない場合の測定 DATA 5F10.0	
OM(I)	:	遮蔽体がある場合の測定 DATA 5F10.0	

2.7 出力

IONN(I) : 正味の角度エネルギースペクトル
10 I 8

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

モデルの妥当性からみて光子のエネルギーが 1MeV

程度で数%以下である。

3.2 計算時間

測定点一点につきエネルギーメッシュ40点で5秒以下である。

4. プログラムの使用法について

4.1 オペレート

4.2 プログラムの応用

このプログラムは、線源側にコリメータを使用し検出器側にもコリメータを使用する実験配置であれば、ガンマ線に限らず中性子線や電子線に対しても核データを変えれば応用できる。

5. あとがき

比較的簡単な方法でしかも短い計算時間で正味の角度エネルギースペクトルを実験データから補正計算して求められる。

22. 薄い平板遮蔽体用透過ガンマ線計算プログラム

原子力船部 植木 紘太郎

1. プログラムの目的および概要

比較的薄い鋼板に細くしぼったガンマ線束を垂直および斜め投射し、鋼板の背面で透過ガンマ線の角度エネルギースペクトルを測定する実験を行ない、この実験結果からエネルギー再生係数を求めた。

このプログラムは実験と同一の幾何学的条件の下に、遮蔽体の透過ガンマ線角度エネルギースペクトルをモンテカルロ法で計算するものである。

一般に光子と物質との相互作用は種々多様であるが、ここでは線源として放射性同位元素の ^{60}Co , ^{137}Cs 程度を考えているので次の三つの現象だけを考慮すれば十分である。

- (1) 光電効果
- (2) Compton 散乱
- (3) 電子対創生

上記の過程と乱数を組合わせて遮蔽体中での光子のふるまいを追跡し、透過した光子の位置、方向、エネルギーをそれぞれ記録し出力として取り出す。

このプログラムを用いて得られた角度エネルギースペクトルをもとに、幾何学的条件を変換して計算した広い平行線束に対するエネルギー再生係数の値は実験

値および Peebles の計算値と比較して $\pm 10\%$ 以内にある。これについては船研講演会および原子力学会で報告している。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

SPM

2.2 製作者

原子力船部 植木紘太郎

2.3 製作年月

昭和44年

2.4 計算の基礎となる理論の概要

下記の文献に手法と原理の解説がある。

A Practical Manual on the Monte Carlo Method for Random Walk Problems by E. D. Cashwell and C. J. Everett 1959 Pergamon Press.

特に光子の Compton 散乱角の決定には Kahn の Rejection Technique を採用した。

このモンテカルロ法はいわゆる“貧乏人のモンテカルロ”といわれるもので Importance Sampling を行なっておらず、したがって光子の持つウエイトは終始 1 でありルシアンルーレットによるスプレットは行

なわない。

各物理現象については細部まで説明しきれないので別の機会に報告する。

2.5 計算の手順

図-1 に手順をフローチャートで示す。

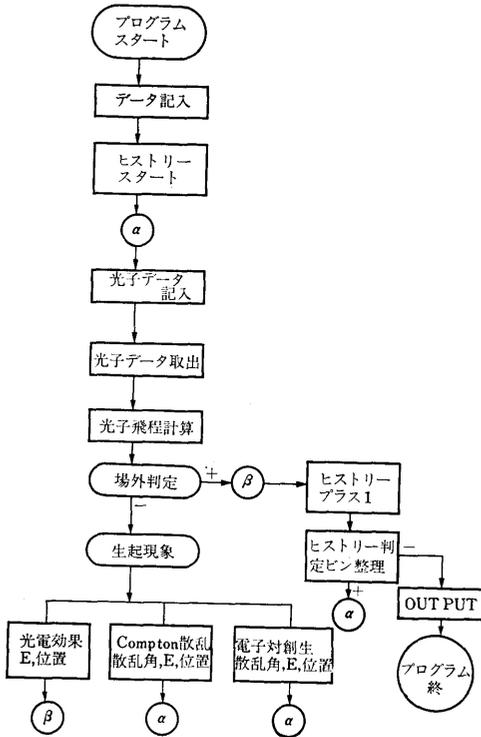


図-1

2.6 用語および計算機機種

FORTRAN II

NEAC 2206

2.7 入力

2.7.1 センス・スイッチ

SW 0 ON : MTよりエネルギースペクトルを読む

SW 1 ON : MTにエネルギースペクトルを書込む

SW 3 ON : 光子の線吸収係数をPTRより読む

SW 5 ON : 計算し終ったヒストリー数を打出す

2.7.2 入力データ

N : 今回計算するヒストリー数 I 8

NO : これまでに計算終了したヒストリーの和 I 8

R	: 疑似乱数	I 8
θ_0	: ガンマ線束の入射角	F10.6
u, v, w	: 入射光子の方向余弦	3F10.6
x, y, z	: 入射光子の入射位置	3F10.6
X	: 平板のx方向の広がり	F15.5
Y	: 平板のy方向の広がり	F15.5
Z	: 平板の厚さ	F15.5
DATA	: 光子の線吸収係数	5F12.5
ENERGY	: 光子のエネルギー	5F12.5
E_c	: 入射光子のエネルギー	F12.5
E_{cut}	: Cut off エネルギー	F12.5
θ	: エネルギーメッシュ幅	F12.5
α_j	: 方位角メッシュ	F12.5
β_j	: 極角メッシュ	F12.5
r	: 測定球面半径	F12.5

2.8 出力

N_{rh}	: 非散乱光子数	I 10
N_{DIE}	: 遮蔽体中で吸収された光子数	I 10
N_{BC}	: 後方散乱光子数	I 10
N_{DET}	: 測定に係わった光子数	I 10
NSPECT(I, J, K)	: 透過光子角度エネルギースペクトル	10 I 10
NDOSE(I, J, K)	: 角度光子数	I 10
EDOSE(I, J, K)	: エネルギー線量	F15.5
NBACK(I, J, K)	: 後方散乱エネルギースペクトル	10 I 10

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

透過光子角度エネルギースペクトルについては計算位置によってそこに入射する光子数およびエネルギー範囲が異なるのでいちがいにヴァリアンスは計算できないが、計算で得た角度エネルギースペクトルをもとに幾何学的条件を変換して求めたエネルギー再生係数は実験値および Peebles の値と比較して±10%以内にある。

3.2 計算所要時間

線源が ^{60}Co で鋼板の厚さ 1 mfp の平板に細くしぼった線束を垂直入射させた場合、1万ヒストリーで約1時間、70° 投射にすると2時間30分程度かかる。

4. プログラムの使用法について

4.1 オペレート

目的に応じてシャンプ・スイッチをONにする。

4.2 プログラムの応用

このプログラムはこれまで単一層平板について計算

を行ってきたがプログラムの一部改訂によって多重層平板問題も計算できる。また点等方線源や他の幾何学的形状についてもプログラムの一部改訂によって応用可能である。

5. あとがき

ここで用いた手法はいわゆる“貧乏人のモンテカルロ”といわれるもので計算効率を向上する手法が使われていないため、遮蔽体が厚くなるにつれヴァリヤンスが大きくなり計算効率が低下する。NEAC 2206 計算機では4~5 mfp 程度まで実行可能である。

23. 厚い平板遮蔽体用透過ガンマ線計算プログラム

原子力船部 植木 紘太郎

1. プログラムの目的および概要

点等方線源からのガンマ線で有限の広がりをもった平板に入射する場合の透過光子角度エネルギースペクトルを計算し、ガンマ線再生係数の空間分布を求めるプログラムである。

モンテカルロ法を用いた計算である点、薄い平板遮蔽体用透過ガンマ線計算プログラム -SPM と変りないが、このプログラムは厚い遮蔽体を透過する光子の追跡が計算効率よく計算できるようにARMSTRONGらの Importance Functions を採用した。各光子にウエイトを持たセルシアンルーレットによるスプリットを行なっている。

遮蔽体が厚くなると電子対創生で発生する 0.51MeV の光子は吸収係数が大きいので遮蔽体中で吸収される確率が大きくなり、この過程を吸収過程として取扱えるものとする。このプログラム中では光電効果と電子対創生を吸収過程とし、Compton 散乱と二つの過程だけを考慮して計算した。

このプログラムで計算したエネルギー再生係数の空間分布は実験結果と傾向がよく合い、実験値より10%程度小さい値を示している。無限の広がりを持った鋼板に対するエネルギー再生係数を Peebles の値と比較すると±10%以内にあると推定できる。これについては原子力学会講演会で報告している。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

DPM

2.2 製作者

原子力船部 植木紘太郎

2.3 製作年月

昭和45年

2.4 計算の基礎となる理論の概要

下記の文献に手法と原理の解説がある。

A Practical Manual on the Monte Carlo Method for Randon Walk Problems by E. D. Cashwell and C. J. Everett. 1959 Pergamon Press.

Importance Function は ARMSTRONG の文献より一部修正し引用した。

A V⁰ Importance Function for the Monte Carlo Calculation of the Deep Penetration of Gamma Rays. by T. W. Armstrong and P. N. Stevens. Journal of Nuclear Energy Vol. 23, PP. 331. 1969.

各光子のウエイトを計算セルシアンルーレットによってスプリットを行なっている。

各物理現象および Importance Function の詳細な説明については別の機会に報告する。

2.5 計算の手順

図-1 に計算手順をフローチャートで示す。

2.6 用語および計算機機種

FORTRAN II

NEAC 2206

2.7 入力

2.7.1 センス・スイッチ

SW 1 ON: 光子の線吸収係数を読込む

SW 2 ON: SPCTL(I, J, K)=0

PRIM(J, K)=0, SPCWGT=0, DIEWGT=0

ELENG : 線源の位置 F12.6

ENERG(K) : エネルギー 5 F12.6

DATA(I, J) : 光子の線吸収係数 5 F12.6

EDELT : エネルギーメッシュ幅 F12.6

XT : x 方向の広がり F10.3

YT : y 方向の広がり F10.3

ZT : 平板の厚さ F10.3

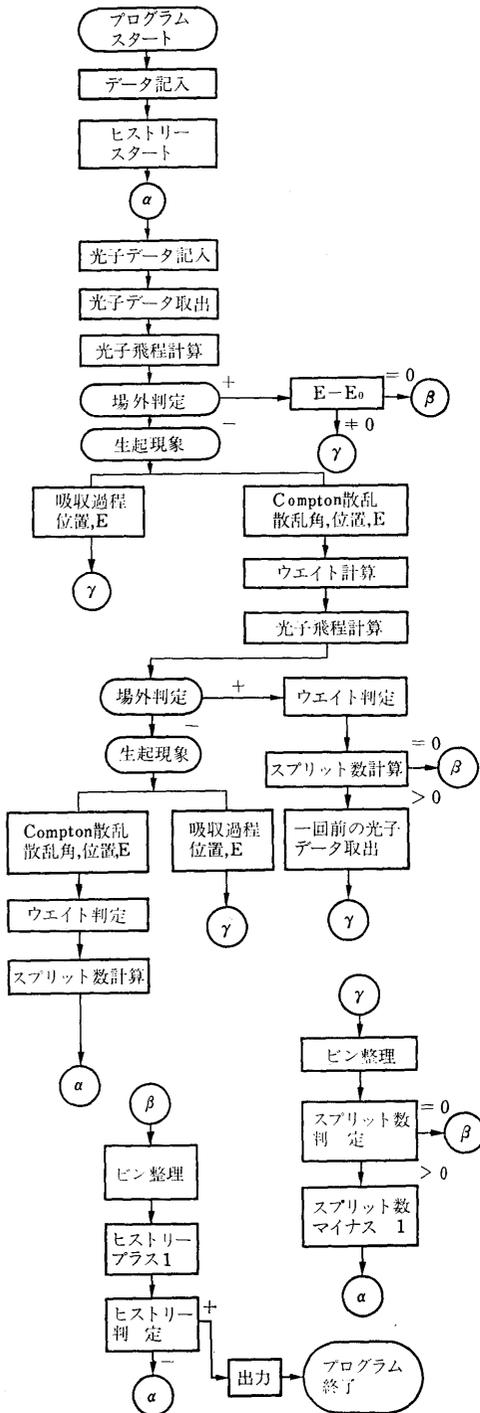


図-1

ZPLANE(I) : z 方向の測定面の位置 3 F10.3
 RPLANE(J) : 測定面の z 軸からの半径 3 F10.3

2.8 出力

NTHR : 非散乱光子数 I 10
 NDIE : 遮蔽体中で吸収された光子数 I 10
 NBACK : 後方散乱光子数 I 10
 NSPECT : 測定に係わった光子数 I 10
 SPECT(I, J, K) : 透過光子角度エネルギースペクトル 10 F 9.2
 PRIM(J, K) : 非散乱光子角度フラックス F15.5
 WDOSE : 散乱光子ナンバーフラックス F13.3

EDOSE : 散乱光子エネルギーフラックス F13.3
 PRMWGT : 非散乱光子のウエイトの和 F14.0
 BCKWGT=0, PRMWGT=0, TOTWGT=0 の

計算を行ないそれぞれの値を MT に書込む。

SW 3 ON : 入射光子の方向余弦を打出す
 SW 4 ON : 光子の Compton 散乱点の z 座標を打出す
 SW 5 ON : くりかえし回数を打出す
 SW 6 ON : 散乱光子のエネルギーとウエイトを打出す
 SW 9 ON : スプリットの回数を打出す
 SW 0 ON : 印字の途中でできりあげ計算値を MT に書込む

2.7.2 入力データ

NUMB 0 : くりかえし数 I 10
 NUMB 1 : これまでに計算したくりかえし数の和 I 10
 NUMB 2 : これまでに計算したヒストリー数 I 10
 NSTART : 疑似乱数 I 10
 EEOO : 入射光子のエネルギー F12.6
 ECUT : cut off エネルギー F12.6
 EDIV : 平板みこみ角の分割数 F12.6
 DIEWGT : 吸収光子のウエイトの和 F14.0
 BCKWGT : 後方散乱光子のウエイトの和 F14.0
 SPCWGT : 測定に係わった光子のウエイトの和 F14.0
 TOTWGT : 投射光子のウエイトの和 F14.0

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

透過光子角度エネルギースペクトルについては計算

点によってそこに入射する光子数およびエネルギー範囲が異なるのでいちがいにヴァリانسは計算できないルギが、計算で得たエネルギースペクトルにエネルギーのウエイトを乗じて求めたエネルギー再生係数の空間分布は実験値より10%程度小さく、傾向は良い一致を見ている。無限の広がりを持った鋼板に対するエネルギー再生係数は Peebles の値と比較し ±10%以内にある。

3.2 計算所要時間

線源が ^{60}Co で鋼板の厚さが1 mfp の平板の場合1万ヒストリーで約100分を要する。

4. プログラムの使用法について

4.1 オペレート

目的に応じてジャンプ・スイッチをONにする。

4.2 プログラムの応用

このプログラムはこれまで点等方線源、単一層平板問題の計算を行ってきたが、プログラムの一部改訂によって平行線束や多重層問題あるいは他の幾何学的形状についても応用可能である。

5. あとがき

計算効率を向上するために Importance Function を採用し各光子のウエイトを計算しシアンルーレットによってスプリットングをする手用を用いた。NEAC 2206 計算機は計算速度が遅いので数 mfp 以上厚い遮蔽体のガンマ線透過問題を計算できないのでヴァリانسの変動減少効果を立証できないが ARM-STRONG らの報告によると非常によい方法であるように述べられている。

24. 軽水炉1次冷却水喪失事故時船外に放出される放射能計算プログラム

原子力船部 野 間 口 道 義

1. プログラムの目的および概要

原子力第1船「むつ」の原子炉と同型の軽水炉について、1次冷却水喪失事故を想定して事故発生後の燃料棒温度上昇または内圧上昇による燃料棒溶融、被覆破損等のために炉心から放出される放射能の挙動を記述する、そして最終的には船外に放出される放射エネルギーを安全側に求めるプログラムを作製した。

原子力船の放射能放出事故発生後の経過を記述するには多くの不明確な因子があるので、3つのモデルを設定した(表-1)。いずれも安全側であって、3つの内ではモデルIが最も安全側であり、モデルIIIが最も実際に近い。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

表-1 計算モデルの条件

条件 モデル	出力履歴	燃料破損	コンテナ F.P. への出る割合	コンテナ に付着する割合	コンテナ からの漏洩率	スプレー Wash out 効果	炉室 換気率	フィルタ 効果	崩壊
I	階段状入力により可変	瞬時100%溶融	希ガス100% ハロゲン50% 固体1% 入力により可変	経時変化入力により可変	経時変化入力により可変	なし	無限大	なし	135核種親一娘系近似
II	同上	同上	同上	同上	同上	経時変化入力により可変	経時変化入力により可変	有入力により可変	同上
III	同上	燃料からの放射能放出の時間おくれ	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上

LOC (A Simulation of Radioactive Fission Product Release from a Nuclear Ship in the Loss of Coolant Accident)

2.2 製作者

原子力船部 野間口道義・佐藤健一郎

2.3 製作年月

昭和43年3月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

モデルIおよびIIはモデルIIIの特殊な場合なので、モデルIIIについて述べる。U-235の核分裂生成物のうち、次の4つのグループの挙動を記述する(図-1)。

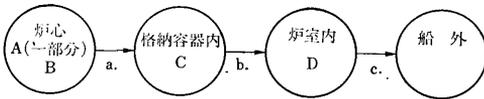


図-1 放射能の船外放出

A: 放射性のもの全体, B: 燃料棒内圧に関するもの(放射性でないものも含む), C: 格納容器内の放射性のもの, D: 炉室内の放射性のもの。この計算の基礎は安全側に結果を求めることなので、図-1の過程aでは(i)被覆破損, (ii)被覆溶融, (iii)燃料グレングロス, (iv)燃料溶融を考え、これらが起ると判定されたときは、一刻み前の時刻に瞬時にグループAの一部が格納容器内に放出されて完全混合とする。過程bは格納容器内と炉室内との圧力差による洩れとする。過程cでは(i)炉室換気率(ii)フィルタ効率を考えに記述する。

燃料棒温度上昇については、燃料棒外面を断熱状態として、出力ピーキング係数が f_s の点の、事故発生後 t 秒での温度 $T(^{\circ}\text{C})$ を次式で計算する。

$$T = T_0 + \frac{f_s}{C_c + C_u} \int_0^t Q(t') dt'$$

$$T_0 = \frac{1}{C_c + C_u} (C_c \bar{T}_{c0} + C_u \bar{T}_{u0})$$

ここに、 $Q(t)$: 炉停止後 t 秒、 $f_s=1.0$ での燃料棒単位長さ当りの崩壊熱発生量, $\text{cal/sec} \cdot \text{cm}$, C_u : 燃料単位長さ当りの熱容量, $\text{cal}/^{\circ}\text{C} \cdot \text{cm}$, C_c : 被覆単位長さ当りの熱容量, $\text{cal}/^{\circ}\text{C} \cdot \text{cm}$, \bar{T}_{u0} : $f_s=1.0$ の燃料初期平均温度, $^{\circ}\text{C}$, \bar{T}_{c0} : $f_s=1.0$ の点の被覆初期平均温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

燃料棒内圧上昇については、燃料棒内圧 P , kg/cm^2 を次式で計算する¹⁾。

$$P = \frac{85.0 \cdot \Gamma \cdot N \cdot \bar{T}}{V}$$

$$V = \pi (b^2 - a^2) L + \frac{0.07 \cdot M_u}{\rho_u \cdot \rho_l}$$

ここに、 Γ : 圧縮係数, \bar{T} : 燃料棒1本の平均温度, $^{\circ}\text{K}$, V : 燃料棒1本のプレナム体積, cm^3 , N : プレナム内の気体モル数, moles, a : 燃料ペレット半径, cm , b : 被覆内半径, cm , L : 燃料棒長さ, cm , M_u : 燃料棒1本の UO_2 ペレット質量, gm , ρ_u : UO_2 ペレット密度, gm/cm^3 , ρ_l : UO_2 の理論密度, gm/cm^3 。

2.5 計算の手順

事故発生前については、出力履歴を任意の階段状に与えれば、事故発生時のグループ、A、B、CおよびDに属する核種の個数の初期値がえられる。事故発生後については、定常運転時の出力ピーキング係数および燃料の比燃焼度を考慮して適当に炉心を半径方向および軸方向に分割する。このプログラムでは、分割数は半径方向、軸方向共に ≤ 15 である。このように分割した各部に定常運転時の出力ピーキング係数、燃料棒の比燃焼度を対応させる。これによって炉心の各所の温度上昇および燃料棒内圧上昇が計算される。また燃料棒の状態を示す指標を対応させて記述してゆく。

2.6 プログラム用語および計算機種

FORTRAN II, NEAC 2206

2.7 入力

(1) 紙テープ No. 1 1. 最大熱出力, Mwt 2. 最大平均熱中性子束, $\text{n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ 3. 装荷燃料 UO_2 質量, gm 4. 燃料棒本数 5. 燃料棒長さ, cm 6. ペレット半径, cm 7. 燃料棒被覆内半径, cm 8. 同外半径, cm 9. 燃料比熱, $\text{cal/gm} \cdot ^{\circ}\text{C}$ 10. 被覆比熱, $\text{cal/gm} \cdot ^{\circ}\text{C}$ 11. ペレット密度, gm/cm^3 12. 被覆密度, gm/cm^3 13. 燃料理論密度, gm/cm^3 14. 燃料熱伝導率, $\text{cal/sec} \cdot \text{cm} \cdot ^{\circ}\text{C}$ 15. 被覆熱伝導率, $\text{cal/sec} \cdot \text{cm} \cdot ^{\circ}\text{C}$ 16. 燃料-被覆熱伝達率, $\text{cal/sec} \cdot \text{cm}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ 17. 被覆-冷却水熱伝達率, $\text{cal/sec} \cdot \text{cm}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ 18. 運転時冷却水最高温度, $^{\circ}\text{C}$ 19. 被覆溶融点, $^{\circ}\text{C}$ 20. 燃料グレングロス温度, $^{\circ}\text{C}$ 21. 燃料溶融点, $^{\circ}\text{C}$ 22. 燃料棒内の H_s のモル数, moles 23. 事故発生後変化を追跡する時間刻み H , sec 24. 出力の時間間隔 HH , sec ($HH=nH$, $n=1, 2, \dots$)。以上, A 6, E 14.5。

(2) 紙テープ No. 2 1. MI ; 炉心軸方向分割数 ≤ 15 , I 3 2. $AL(I)$; 軸方向I番目の長さ, cm , 5E 12.0 3. MJ ; 半径方向分割数 ≤ 15 , I 3 4. $RN(J)$; 半径方向J番目の燃料棒本数, 5E 12.0 5. $FS(I,$

J) ; 軸方向 I, 半径方向 J 番目の出力ピーキング係数, 5E12.0 6. QPA(J) ; 半径方向 J 番目の燃料表面最大熱流束, cal/cm²·sec, 5E12.0 7. SB(J) ; 半径方向 J 番目の燃料棒比燃焼度, 5E12.0。

(3) 紙テープ No. 3 1. NH ; 出力履歴の段階数, I 3 2. PCP(K) ; 出力履歴 K 番目の出力(%), TO (K) ; K 番目の継続時間(sec)。K=1, 2, …, NH ; 2E12.0。

(4) 紙テープ No. 4 グループ A, C, D を親娘系近似により記述するためのデータ 1. P1 (N) ; 親核崩壊常数, dis/sec 2. P2(N) ; 娘核崩壊常数, dis/sec 3. Y1(N) ; 娘核独立生成率, % 4. Y2(N) ; 娘核累積生成率, % 5. EE(N) ; エネルギー放出率, Mev/dis 以上, N=1, 2, …, 135 ; 5E12.0

(5) 紙テープ No. 5 1. SS 1(N, K) ; 親核の核納容器内への放出率, % 2. SS2(N, K) ; 娘核の放出率, % 以上, N=1, 2, …, 135 ; K=1 (燃料溶融以外), 2 (燃料溶融) ; 5E12.0。

(6) 紙テープ No. 6 グループ B を親娘系近似で記述するためのデータ 1. GP1 (N) ; 親核崩壊常数, dis/sec 2. GP2(N) ; 娘核崩壊常数, dis/sec 3. GY1(N) ; 親核累積生成率, % 4. 娘核累積生成率, % 以上, N=1, 2, …, 47 ; 5E15.0。

(7) 紙テープ No. 7 燃料棒平均温度 \bar{T} , °C のとき, グループ B から内圧, kg/cm² を求めるためのデータ 1. CB(N, K) ; 核種 N が K 条件のもとで気体状である割合, N=1, 2, …, 47 ; K=1 ($\bar{T} < 672$), 2. ($672 \leq \bar{T} < 700$), 3. ($700 \leq \bar{T}$) ; 5E15.0。

(8) 紙テープ No. 8 核分裂生成ガスが燃料棒内プレナムに出る割合 κ を求めるデータ 1. MC ; 実験データの数²⁾ ≤ 10 , I 3 2. HF(K) ; 燃料棒表面最大熱流束, cal/cm²·sec, D1(K) ; 燃焼度 1000 MWD/ton のときの κ , D²(K) ; 同じく 7000 MWD/ton のとき以上, K=1, 2, …, MC ; 3E12.0。

(9) 紙テープ No. 9 燃料棒半径方向の平均温度 TP(K), °C のときの被覆破損内圧を求めるためのデータ 1. MS ; K の最大値 ≤ 20 , I 3 2. TP (K), ST (K) ; 引張り強さ, kg/cm², K=1, 2, …, MS ; 2E12.0。

(10) 紙テープ No. 10 1. ML ; K の最大値 ≤ 20 , I 3 2. TL (K) ; 時刻(sec), PL (K) ; 格納容器内圧 (kg/cm²), λ_s (K) ; スプレー wash out 効果による減衰率 (sec⁻¹), λ_l (K) ; 漏洩率 (sec⁻¹), λ_o (K) ; 炉室換気率 (sec⁻¹), K=1, 2, …, ML ; 5E12.0 3.

FF(N) ; 娘核のフィルタ効率, %, N=1, 2, …, 135 ; 5E12.0。

2.8 出力

このプログラムは各々のモデルにおいて安全側で、放射性の 135 核種につき、次のものを求めることができる。(1) 事故発生後任意の時刻までに船外に放出された放射能, Curies (2) その時刻までに船外に放出された核種ごとの放射能, Curies (3) その時刻に船外に放出される核種ごとの放射能, Curies/sec また任意の時刻で、燃料および被覆の状態を観察できるように指標 S を打ち出す。

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

事故時の放射能の挙動を記述する時間刻みを大きくしても計算結果は振動しない。それは格納容器からの洩れを濃度差ではなくて圧力差によるものとしているからである。刻みを大きくすると計算精度はおちる。しかし、その際の誤差は 2.4 で述べたことによって、かならず安全側である。

3.2 計算所要時間

一刻みの事故時の経過を追跡するのに要する計算時間は、約 1 秒である。

4. プログラムの使用法および応用

4.1 オペレート

(1) 計算を開始するとき a) 入力のための紙テープを用意する。 b) 磁気テープ 14 をセットする。これは計算中断のときに状態等が記録されるためのものである。 c) プログラム LOCA14 を実行する。 d) あとは、304 タイプライタの指示に従う。 e) 出力はラインプリンタに出る。

(2) 計算終了または中断のとき a) JSW, No. 9 を ON にする。 b) あとは、304 タイプライタの指示に従う。 c) 中断の時は磁気テープ 14 を保管しておく。

(3) 計算再開のとき a) 前項 c) の磁気テープを 14 にセットする。 b) プログラム ALOC14 を実行する。 c) 304 タイプライタの指示に従う。 d) 出力はラインプリンタに出る。

(4) 燃料棒の状態を観察するとき a) 計算実行中に JSW, No. 0 を ON にする。 b) 指標 S がラインプリンタに打ち出される。

4.2 応用

燃料棒被覆にジルカロイを用いる場合の原子力船の安全性評価にこのプログラムを応用できる。しかし、

その際は水一金反応による発熱を考えにいれるためにこのプログラムの一部を改造しなければならない。

5. あとがき

JPDR についての計算結果は JAERI-1054⁹⁾ の結果と十分な一致をしめした⁴⁾。

崩壊熱発生量 Q (t) のためのデータについて、パークィンスおよびキングのデータに対する補足が文献

- 4) にある。燃料棒内核分裂生成ガスのデータについて、親娘系近似計算のできる47核種のデータが文献
- 5) に編集してある。

参考文献

- 1) T. D. Anderson, et al. : "Activity Release

from the N. S. Savannah in the Maximum Credible Accident", USAEC ORNL-3361

- 2) F. A. Brandt, et al. : "Irradiation Results, N. S. Savannah Core II Prototype Fuel Assemblies", USAEC GEAP-3559 (1960)
- 3) 都甲泰正: 軽水型動力炉の安全性評価, JAERI-1054 (1963)
- 4) 野間口道義, 伊従功: 原子力船の環境安全評価用の計算コード LOC, 第12回船研研究発表会講演概要 (1968)
- 5) 野間口道義, 伊従功: 船用炉の核分裂生成気体の内蔵量, 第12回船研研究発表会講演概要(1968)

25. 2次元 (r, z) 円柱形状遮蔽体透過中性子計算プログラム

原子力船部 竹 内 清

1. プログラムの目的および概要

2次元 (r, z) 円柱形状遮蔽体を透過する中性子を計算するため、定常の中性子積分型輸送方程式を数値解法で解き、多重層の円柱形状遮蔽体の任意の位置および遮蔽体背面における中性子角度分布を算出する。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

PALLAS-2D-CY

2.2 製作者

原子力船部 竹内 清

2.3 製作年月

昭和45年4月

2.4 計算理論

定常の積分型輸送方程式は次の(1)式のように表わせる。

$$\begin{aligned} \phi(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) = & \phi(\vec{r}', \vec{\Omega}, E) \exp \\ & \left[- \int_0^R \Sigma_t(\vec{r}-R'\vec{\Omega}, E) dR' \right] \\ & + \int_0^R dR' \cdot S(\vec{r}-R'\vec{\Omega}, \vec{\Omega}, E) \exp \\ & \left[- \int_0^{R'} \Sigma_t(\vec{r}-R''\vec{\Omega}, E) dR'' \right] \\ & + \int_0^R dR' \left\{ \int_0^{4\pi} d\vec{\Omega}' \int_E^\infty dE' \right. \\ & \cdot \Sigma_s(\vec{r}-R'\vec{\Omega}; E' \rightarrow E, \vec{\Omega}' \rightarrow \vec{\Omega}) \end{aligned}$$

$$\phi(\vec{r}-R'\vec{\Omega}, \vec{\Omega}, E) \}$$

$$\times \exp \left[- \int_0^{R'} \Sigma_t(\vec{r}-R''\vec{\Omega}, E) dR'' \right] \dots (1)$$

上式を数値解法で解くと次の(2)式のように差分形式が得られる。

$$\begin{aligned} \phi(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) = & \phi(\vec{r}', \vec{\Omega}, E) \exp \left[- \Sigma_t(\vec{r}', E) R \right] \\ & \times K_2(\vec{r}, \vec{r}', R, E) \\ & + \left\{ G'(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) \left[\Sigma_t(\vec{r}', E) R \right. \right. \\ & \left. \left. + \exp \left[- \Sigma_t(\vec{r}', E) R \right] - 1 \right] \right. \\ & \left. + G'(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) \left[1 - \left[1 + \Sigma_t(\vec{r}', E) R \right] \right. \right. \\ & \left. \left. \exp \left[- \Sigma_t(\vec{r}', E) R \right] \right] \right\} \\ & \times K_1(\vec{r}, \vec{r}', R, E) \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

(1)式から(2)式の導出の詳細は参考文献(1)を参照されたい。

2.5 フローチャート

参考文献(2)を参照されたい。

2.6 入力

参考文献(2)を参照されたい。

2.7 出力

参考文献(2)を参照されたい。

3. プログラムの検定

この項は参考文献(1)および(2)を参照されたい。

なお最初の PALLAS-2D-CY プログラムは次の制

限条件であったが、下記のように変更した。

- エネルギーグループ数 ≤ 50
 物質領域数 $\leq 16(4 \times 4)$
 空間メッシュ数 $\leq 1,200(24 \times 50)$
 角度方向メッシュ数 = 24(半球面上)

この条件を計算機システムのコア容量の拡大により次のように制限緩和をした。

- エネルギーグループ数 ≤ 50
 物質領域数 $\leq 36(4 \times 9)$
 空間メッシュ数 $\leq 1,800(60 \times 30)$
 角度方向メッシュ数 = 24

4. 計算機機種およびプログラム用語

IBM 360 モデル 75

FORTRAN-IV

5. あとがき

本プログラムは原子炉の炉心や原子炉さらに遮蔽体を有限円柱形状で表わし、中性子の透過計算をすすめる

る極めて精確な計算プログラムである。しかしその反面、大量の計算時間を必要とする。したがって現時点では遮蔽の実用計算には適さない。他のより簡単な計算技法にもとづく計算プログラムに対する標準プログラムとして使用することになろう。なお本プログラムは UNIVAC 1108 計算機に対しても使用できるようにする予定である。

参考文献

- (1) K. Takeuchi; Numerical Solution to Space-Angle Energy-Dependent Neutron Integral Transport Equation, J. Nucl. Sci. Technol. Vol. 8 [3] (1971)
- (2) 竹内 清; 有限円柱形状遮蔽体に対する中性子計算コード PALLAS, 船研報告 第7巻第5号 (1970)

26. 1次元平板および球対称形状遮蔽体透過中性子計算プログラム

原子力船部 竹 内 清

1. プログラムの目的および概要

1次元平板および1次元球対称形状遮蔽体を透過する中性子を求めるため、定常の中性子積分型輸送方程式を数値解法で解き、多重層の平板あるいは球対称形状遮蔽体の任意の位置および遮蔽体背面における中性子角度分布を算出する。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

PALLAS-PL, SP

2.2 製作者

原子力船部 竹内 清

2.3 製作年月

昭和46年1月

2.4 計算理論

PALLAS-2D-CY プログラムの計算理論と同様である。詳細は PALLAS-2D-CY プログラムの参考文献(1)を参照されたい。

2.5 フローチャート

2.6 入力

2.7 出力

以上の2.5から2.7は参考文献(1)を参照されたい。

3. プログラムの検定

PALLAS-2D-CY プログラムの参考文献(1)を参照されたい。

4. 計算機機種およびプログラム用語

IBM 360 モデル 75

FORTRAN-IV

計算機のコア容量を約70K語必要とし、外部記憶容量(磁気ディスクあるいは磁気ドラム)を約 7.5×10^6 語必要とする。本プログラムは近日中に UNIVAC 1108計算機も使用できるようにする予定である。

5. あとがき

1次元形状用計算プログラムは計算時間が少なくてすむので実用の中性子遮蔽計算に適している。

参考文献

- (1) 本プログラムの使用マニュアルを船研報告に提出の予定である。