

図-1 周辺ジェットモデル

をもつ。

④ ポテンシャルコアの両側では、相似速度分布をもつ乱流境界層が発達する（アブラモビッチの式適用）。

主領域では、

⑤ ポテンシャルコアの終了と同時に、完全に発達した乱流ジェットが始まる。速度最大の位置を結ぶ曲線の曲率は一定で、ポテンシャルコアの終了点を通る。

⑥ 速度分布は平面ジェットの式（アブラモビッチの式）を用いる。

衝突領域では、

⑦ 完全に発達した乱流ジェットが地面と衝突する領域は、地面迄の距離が相当ジェットの幅の 1.65 倍になる所から始まり、衝突後大気およびクッション側の圧力が、各々、大気圧、クッション圧に等しくなるところで終る。

詳細は文献 4) を参照されたい。

2.5 計算の手順

計算の手順を、図-2 に示す。

2.6 プログラム用語および計算機種

FORTRAN, FACOM 270-20/30

2.7 入力

必要な入力データは次のとおりである。

- BETAD ジェットノズルの角度
- H ホバー高さ
- AK 衝突領域決定パラメータ (1.65)
- PC クッション圧力
- M 制御用数値

2.8 出力

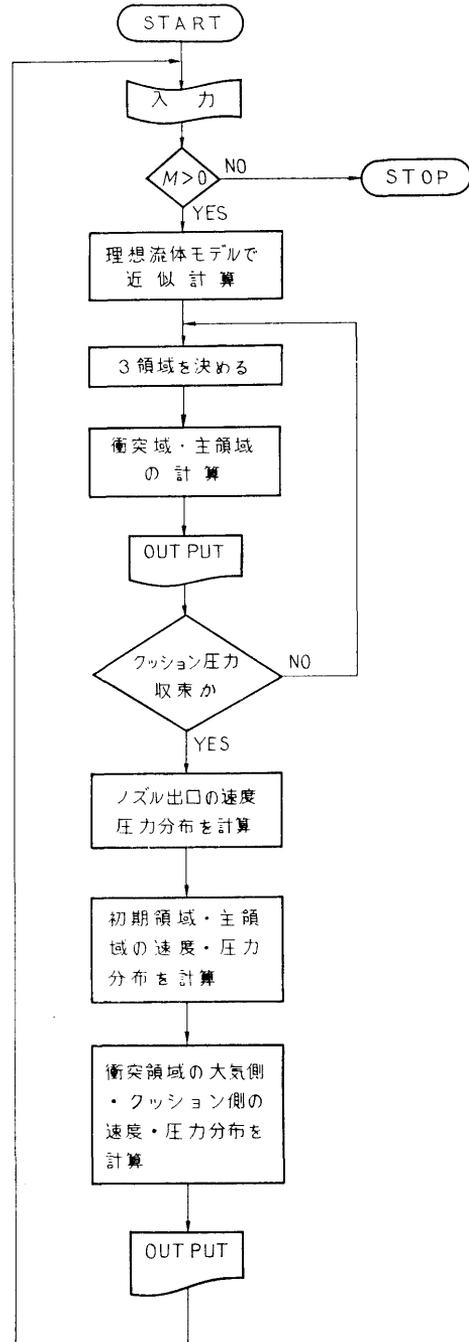


図-2 フローチャート

- ① 入力の全部
- ② クッション圧力収束までの反復計算（回数，クッション圧力，3領域の境界，ジェット幅他）

- ③ 速度・圧力分布 (位置 θ , r , 速度, 圧力, 全圧, 全流量, 運動量, ジェット幅)

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

1 データ当たり約5分 (コンパイルも含む)。

4. プログラムの使用方法について

4.1 オペレート

プログラムの実行は, ¥BATCH で PT より行なう。

4.2 プログラムの応用

ACV のクッション圧力と流量特性, 変化の大きくない場合の ACV の動特性, 流体素子の特性の計算と設計に応用できる。

5. あとがき

実験との比較によれば, ジェットの流出方向がノズ

ル出口において出口面と直角であるという本計算法の仮定が満足される場合に, 通常の ACV の作動範囲 [(地面とノズルとの距離/ノズル幅)=1~10] で計算値は実験結果とかなりよく一致することが確かめられた。

作動範囲を更に拡張するためには乱流混合層の発達における湾曲の影響を考慮する必要がある。またノズル出口におけるジェットの流出方向がノズル面に直角でない一般的な場合については, ジェットノズル上流の流れ場を含む解析が必要であるが今後解明の余地があると思われる。

参 考 文 献

- 1) R.A. Sawyer: J. Fluid Mech. 9-4 (1960)
- 2) R.A. Sawyer: J. Fluid Mech. 17-4 (1963)
- 3) G.N. Abramovich: The Theory of Turbulent Jets, MIT Press.
- 4) R. Murao, T. Sato, S. Nakamura: Proc. 19th Japan National Congress for Applied Mechanics (1969)

14. 圧縮性流体の管内非定常流の計算プログラム

機関性能部 塚原茂司・塩出敬二郎

1. プログラムの目的および概要

ディーゼル機関の吸排気管内の作動ガスの流れは, 吸排気弁などにより周期的に完全に遮断されるために脈動流となる。従来, 吸排気管内の状態量の計算法には, 排気管内の容積を完全に熱力学的に平衡と考えて場所的にある平均的な値を熱力学の関係式から求める方法と, 管内非定常流を図式的に特性曲線法で解く方法とがあった。しかしながら, 前者に関しては, 管内の位置に無関係な平均的なものしか求められず, また後者に関しては, 非定常流の解析に対しては適当な手段かと思われるが, 精度的にまた時間的に不利な点がある。特性曲線法を使用して非定常流を解析することは, 前記したごとく適当な方法と考えられるので, ここでは最近発達している電子計算機による数値解法¹⁾を参考にして, 特性曲線法により圧縮性流体の

管内非定常流の計算プログラムを作成したので, 以下これについて述べる。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称

46-038

Unsteady Flow Analysis by the Characteristic Method.

2.2 製作者

機関性能部 塚原茂司

” 塩出敬二郎

2.3 製作年月

昭和46年

2.4 計算の基礎となる理論の概要

管内の流れは一次元的で, 断熱状態に保たれていると仮定すると, 連続, 運動量の式等基礎式は次のとお

りとなる。

$$\rho \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} = 0 \quad \dots\dots(1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad \dots\dots(2)$$

但し、 ρ は密度、 p は圧力、 u は流速、 t は時間、 x は距離である。(1)、(2)式には従属変数として、 u, ρ, p があり、これを次の関係式により、 u と c に置き変える。すなわち、

$$c^2 = Kp/\rho \quad \dots\dots(3)$$

$$p\rho^{-K} = \text{const} \quad \dots\dots(4)$$

但し、 c は音速、 K は比熱比である。

従って (1)、(2) 式は次式になる。

$$c \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{2}{K-1} \left(\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} \right) = 0 \quad \dots\dots(5)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{2c}{K-1} \frac{\partial c}{\partial x} = 0 \quad \dots\dots(6)$$

いま (6) 式に定数 λ を乗じて得られる式と (5) 式を線形結合させると次式になる。

$$\left\{ \frac{\partial u}{\partial t} + (u + \lambda c) \frac{\partial u}{\partial x} \right\} + \frac{2}{K-1} \lambda \left\{ \left(\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\lambda u + c}{\lambda} \right) \times \frac{\partial c}{\partial x} \right\} = 0 \quad \dots\dots(7)$$

$u = u(x, t)$ 、 $c = c(x, t)$ が (5)、(6) 式の解とすると

$$du = \left(\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} \frac{dx}{dt} \right) dt \quad \dots\dots(8)$$

$$dc = \left(\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial c}{\partial x} \frac{dx}{dt} \right) dt \quad \dots\dots(9)$$

となる。(7)式の左辺第1項を(8)式と、同じく(7)式の左辺第2項と(9)式とをそれぞれ対応させると dx/dt に関し、次の関係が求まる。

$$dx/dt = u + \lambda c \quad \dots\dots(10)$$

$$dx/dt = (\lambda u + c)/\lambda \quad \dots\dots(11)$$

(10)、(11) 式から λ を求めると

$$\lambda^2 = 1 \text{ あるいは } \lambda = \pm 1 \quad \dots\dots(12)$$

従って、 dx/dt は 2 個の異なる値を持つ。

すなわち、

$$(dx/dt)_1 = u + c \quad \dots\dots(13)$$

$$(dx/dt)_2 = u - c \quad \dots\dots(14)$$

(13)、(14) 式は点 (x, t) における特性方向と呼ばれ、物理的には、流体素子が u なる速度で移動し、そこで発生したじょう乱の軌跡のその点における傾斜は流れ方向に $u+c$ 、逆方向に $u-c$ であることを示している。

(8)、(9) 式を (7) 式に代入する。

$$du + [2\lambda/(K-1)]dc = 0 \quad \dots\dots(15)$$

(15) 式に $\lambda = \pm 1$ を代入すると次式を得る。

$$du + [2/(K-1)]dc = 0 \quad \dots\dots(16)$$

$$du - [2/(K-1)]dc = 0 \quad \dots\dots(17)$$

(16)、(17) 式はそれぞれ (13)、(14) 式上で成立するから、これら 4 式を用いて点 (x, t) における u, c を求めることができる。特性曲線法による数値解法は参考文献を参照されたい。

2.5 計算の手順

図-1 にこの計算のフローチャートを示す。サブルーチンは管入口流速あるいは管出口流速を求めるためのもので、そのうち管入口流速を求めるサブルーチンにはロータリバルブの通過面積を求めるサブルーチンが附いている。

2.6 プログラム用語および計算機種

プログラム用語は Fortran IV で、計算機種は FACOM 270-20 である。

2.7 入力

初期流体密度 ρ_0 、断熱指数 K 、時間分割 Δt 、距離分割 Δx 、全分割数 N 、入口タンク条件 (P_R, T_R) 、

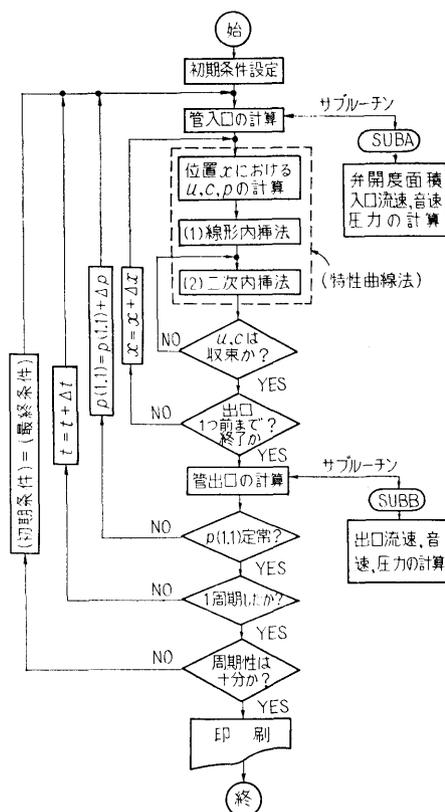


図-1 非定常流計算のフローチャート

大気条件 (P_a, T_a), ロータリバルブ回転数 n_R , 管内径 d_1 , 出口ノズル径 d_2 , ロータリバルブ形状決定のための定数

2.8 出力

計算条件 (上記 2.7 のうちロータリバルブ形状決定のための定数を除いて全部), 各回転角 ($0 \sim 270$ 度まで約 2 度おき) に対し, 分割場所ごとのガス流速 u , ガス音速 c , 圧力 p

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

この計算には収束計算がいくつかあり, そのいずれも 0.01 の精度内に入った時に次のステップに移行するようにしてある。

3.2 計算所要時間

$\Delta t, \Delta x$ の分割数によって異なる。現在 Δx を軸方向

51 に分割してあるが, この場合には最終的に収束するまで (印字時間も含めて) 45~60 分程度

4. プログラムの使用法について

4.1 オペレート

プログラムの実行は, ¥BATCH で PT より行なう。

4.2 プログラムの応用

管内非定常流は油圧工業, トンネル内の列車による空気流れ, 原子炉の事故解析, その他各方面でみられこれらの非定常現象の計算には若干の修正を加えれば応用可能である。

参考文献

- 1) Fox, L.: Numerical Sol. of Ordinary and Partial Dif. Eqs., ADIVES International Series in Enging Sciences, Pergamon, Addison-Wesley, London

15. 一体型船用炉二次蒸気系における放射性窒素発生量の計算プログラム

原子力船部 山越寿夫・植木紘太郎

1. プログラムの目的および概要

一体型船用炉の小形化のための一策として蒸気発生器を炉心に近づけることが考えられる。この場合, 炉心からの高速中性子の影響で蒸気発生器二次水中に放射性窒素が発生する。これは, 二次蒸気系機器が放射性窒素から生ずる γ 線の線源となり, 好ましくない事態である。そこで放射性窒素の発生量の低減化をはかった蒸気発生器の設計を検討する必要がある。このような事情から, 与えられた蒸気発生器に対し放射性窒素の発生量を計算するべく, 本計算プログラムを作成した。計算においては, 蒸気発生器の形状, 構造, 材質, 炉心に相対的な蒸気発生器の位置, 蒸気発生器二次水の流速および密度の空間分布, 炉出力の空間分布, 炉心と蒸気発生器との間の物質の種類と物質層の大きさや配置に対する設計条件が考慮の対象となる。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称

ACTIV

(34)

2.2 製作者

原子力船部 山越寿夫, 植木紘太郎

2.3 製作年月

昭和46年12月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

船研報告第9巻第1号参照

2.5 計算の手順

図-1 のフローチャートに計算手順を示す。

2.6 プログラム用語および機種

用語 FORTRAN IV

機種 UNIVAC 1108

CDC 6600

NEAC-2200-MODEL 400

2.7 入力

NCR (I3) 炉心出力分点数 (半径方向)

NCZ (I3) 炉心出力分点数 (高さ方向)

NN (I3) 炉心, 蒸気発生器間領域数

AVSS(j), $j=1 \sim 8$ (8E12.4)

エネルギー別中性子源強度

RWEIT(j), $j=1 \sim 20$ (5E12.4)

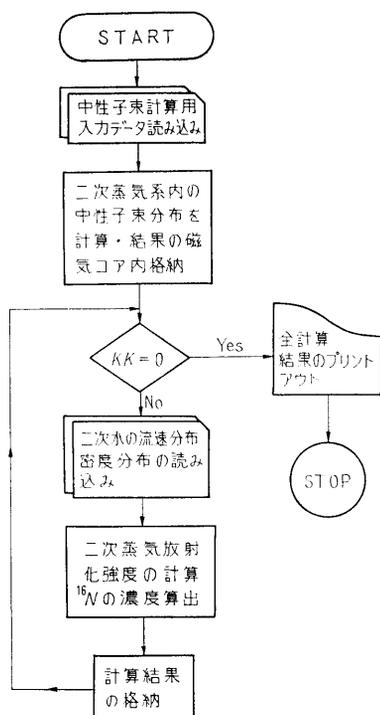


図-1 フローチャート

規格化された半径方向出力分布比
 HH(1), E12.4
 炉心高さ (cm 単位)
 REMVAL(j, k) $j=1\sim NN, k=1\sim 8$ (5E12.4)
 各領域の除去断面積
 SIGACT(j), $j=1\sim 8$ (5E12.4)
 エネルギー別の ^{16}O 放射化断面積
 RCOMP(j), $j=1\sim 5$ (5E12.4)
 放射化強度計算位置の半径方向座標
 ZCOMP(j), $j=1\sim 60$ (5E12.4)
 放射化強度計算位置の高さ方向座標
 VELOCI(j), $j=1\sim 60$ (5E12.4)
 二次水の高さ方向流速分布
 DENSTY(j), $j=1\sim 60$ (5E12.4)
 二次水の高さ方向密度分布
 SGLOW(1) (E12.4)
 蒸気発生器下端位置
 SGHEI(1) (E12.4)
 蒸気発生器上端位置
 KK(I3) 入力データ終了の場合ブランクカー

ド。それ以外は RCOMP の j の数を用いる。

2.8 出力

FLUX(j, k) $j=1\sim 5, k=1\sim 150$ (0E12.4)

二次水放射化の際の中性子束分布

ACTDIS(j), $j=1\sim 5$ (5E12.4)

蒸気発生器上部における ^{16}N の半径方向濃度分布

ACTIV(1), (E12.4)

二次系出口における ^{16}N の平均濃度 (個/cm³)

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

炉心内出力分布の分点数のうち、角度方向はガウスの7点法を用いて積分している。9点法を用いても誤差は1%程度である。高さ方向は10等分し、半径方向は5等分をしているがこれら分点数を2倍にすると計算結果に5%程度の誤差を生ずる。

3.2 計算所要時間

放射化のための中性子束分布の計算にほとんどの計算時間を費やす。NCR=5, NCZ=10, ZCOMPを3点 ZCOMPを60点とした場合の計算時間は、NEAC-2200—MODEL 400で4時間、UNIVAC-1108またはCDC 6600で約3分かかる。

3.3 適用範囲, 制限事項

計算時間の点から高速電算機を用いた方が有利である。

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

二次系機器類への蒸気到達時間と機器類の含水量が与えられれば、二次系機器周辺の γ 線線量率分布が推算可能である。また、 ^{16}N の発生量を小さくした一体型炉の蒸気発生器の設計に利用することができる。

4.3 他機種への移行

5. あとがき

本プログラムに二次系機器周辺の線量率分布計算コードを結合させ、プロッターを用いて機関室内線量率分布を図示する機能を付加する予定である。

16. 三次元不規則形状の遮蔽体を透過する γ 線の線量率を 計算する (モンテカルロ) プログラム

原子力船部 伊藤 泰 義

1. プログラムの目的および概要

不規則な形状をもつ遮蔽体を透過する γ 線のエネルギースペクトルを計算するには三次の次元が必要になる。しかし三次元の計算は一般には非常に困難でその方法はほぼモンテカルロ法に限られる。しかもモンテカルロ法でも計算時間は膨大だという難点がある。それで遮蔽体を格子点に分割し、その格子点上のみ γ 線が移動するとしてやれば計算時間に大きな節約が得られるがしかし精度は悪くなる。こうした計算時間と精度の兼ねあいで、こうした格子点のモンテカルロ法も実用性が出てくる。このプログラムは Hungerford と Razani の格子点の考え (Lattice Model) を用いて三次元の不規則形状 (例としてダクトの問題) のモンテカルロプログラムを作成して、透過、漏洩 γ 線のエネルギースペクトルを計算するものである。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称

TDGRT-1

2.2 製作者

原子力船部 伊藤 泰 義

2.3 製作年月

昭和47年12月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

一般に定常のボルツマン輸送方程式は次のように書き表わされる。

$$\begin{aligned} \Omega \nabla I(\mathbf{r}, \Omega, \lambda) + \mu(\mathbf{r}, \Omega, \lambda) I(\mathbf{r}, \Omega, \lambda) \\ = \int_0^c d\lambda' \int_0^{4\pi} K(\lambda', \lambda) I(\mathbf{r}', \Omega', \lambda') d\Omega' + S(\mathbf{r}, \Omega, \lambda) \end{aligned}$$

ここで $I(\mathbf{r}, \Omega, \lambda)$: 光子の角度エネルギー束

$\mu(\mathbf{r}, \Omega, \lambda)$: 線吸収係数

$K(\lambda', \lambda)$: Klein-Nishina の散乱関数

$S(\mathbf{r}, \Omega, \lambda)$: 純線源

上記の式からある格子点の γ 線束 $\phi(\mathbf{r}_{ijk}, \Omega_m, \lambda)$ は

$$\phi(\mathbf{r}_{ijk}, \Omega_m, \lambda) = \sum_{n=0}^{\infty} dm \left\{ \left[\sum_{m'} \int_{\lambda'} \phi(\mathbf{r}_{ijk} \right. \right.$$

$$\left. \left. - Md_m \Omega_m, \Omega_{m'}, \lambda' \right) \times K(\mathbf{r}_{ijk} - Md_m \Omega_m, \Omega_{m'} \rightarrow \Omega_m, \lambda' \rightarrow \lambda) \times d\lambda' d\Omega_{m'} + S(\mathbf{r}_{ijk} - Md_m \Omega_m, \Omega_m, \lambda) \right\} \exp \left[- \sum_{q=0}^M \mu(\mathbf{r}_{ijk} - q' d_m \Omega_m, \lambda) d_m \right]$$

上式の m は $m=26$ に固定される。これはある格子点での γ 線の散乱が 4π ステラジアンで26方向のみしか許されない事を意味している。また各格子点間隔は大体物質の線源エネルギーの平均自由行程の $1/3 \sim 1/6$ がとられる。

2.5 プログラム用語および計算機種

FORTRAN IV 機種 CDC-6600

2.6 入力

(1) PROBLEM NAME	6文字
(2) ジェオメトリの指定	I 10
(3) 領域数	I 10
(4) エネルギー放出の型	I 10
(5) 最大エネルギー	E 12.5
(6) エネルギーグループ群	20E 12.5
(7) エネルギーの割合	20E 12.5
(8) 線源強度	E 12.5
(9) 線源放出比	E 12.5
(10) 1MFP の長さ	F 10.4
(11) 物質の配列	A 6
(12) 元素の数	F 10.3
(13) 測定位置	F 10.3

2.7 出力

各位置でのエネルギースペクトル、線量率等が得られる。

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

この理論の仮定からして計算誤差が一番注目される所であるが、対象とする問題によってだいぶ誤差は異なるが、再生係数を求める問題では通常のモンテカルロ計算と比較して5千個で7% ぐらいである。また一回屈曲ダクトの実験ではやはり5千個で30% 以内で計算と実験は一致している。

3.2 計算所要時間

問題の対象によって時間は異なるが、ダクトの材質を1種類とした時、5千個で約2分ぐらいであった。

3.3 適用範囲, 制限事項

理論の仮定上, 対象とするジオメトリーは大きいほど, 精度はよくなるが, すべての場合について計算は行っていないのははっきりとは明言できない。

4. プログラムの用法について

4.1 オペレート

カードまたは磁気テープからもロードできる。

4.2 プログラムの応用

プログラムのオプションとして, ジョメトリーで4種類, エネルギータイプで7種類, 放出方向で5種類等の異なった問題が計算できるようになっている。

5. あとがき

理論はそのまま, 中性子の透過問題にも応用できるので, 中性子用のプログラムも開発したいと思う。

参 考 文 献

- 1) A. Razani & H.E. Hungerford. NSE 46, 1-11, (1971).

17. 一回屈曲ダクトの γ 線ストリーミング計算プログラム

原子力船部 伊藤泰義

1. プログラムの目的および概要

遮蔽体中には大小のダクトが貫通している。これらのダクトからもれでる放射線の量は遮蔽体を透過してくる放射線の量よりも大きい事がある。そのためダクトを遮蔽体中で一回屈曲させて出てくる放射線量を小さくする事が一般に行なわれている。このプログラムは LeDoux-Chilton のアルベド法を用いてこうしたダクトの出口の線量率を計算するものである。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称

DUCT-RD (ダクトの断面が円筒のもの)

DUCT-RT (ダクトの断面が矩形のもの)

2.2 製作者

原子力船部 伊藤泰義

2.3 製作年月

昭和46年

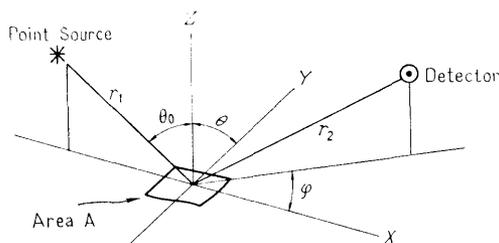
2.4 計算の基礎となる理論の概要

線源から出た放射線はある点で散乱して測定器に入るとする。測定点での線量率 D は

$$D = \frac{D_0 \alpha(E_0, \theta_0, \theta, \varphi) A \cos \theta_0}{r_1^2 r_2^2}$$

D : 散乱後の線量率 (R/hr)

D_0 : 線源からの単位距離での線量率 (R/hr)



$\alpha(E_0, \theta_0, \theta, \varphi)$: 微分アルベド

A : 散乱面積 (cm²)

r_1 : 線源と散乱点との距離 (cm)

r_2 : 散乱点と測定点との距離 (cm)

E_0 : 入射エネルギー

θ_0 : 入射角, θ : 反射角, φ : 方位角

で与えられる。

また

$$\alpha(E_0, \theta_0, \theta, \varphi) = \frac{C(E_0)K(\theta_s)10^{26} + C'(E_0)}{1 + \frac{\cos \theta_0}{\cos \theta}}$$

$$\cos \theta_s = \sin \theta_0 \sin \theta \cos \varphi - \cos \theta_0 \cos \theta$$

C, C' は E に依存する係数

この式を用いて三回散乱まで計算し, さらにコーナ部分の効果 (Lip effect) も考慮している。

プログラムは4つの部分に分けられている。

(1) 一回散乱のコーナ効果のプログラム

- (2) Lip effect のプログラム
- (3) 多重散乱のコーナ効果のプログラム
- (4) 壁による多重散乱の効果のプログラム

2.5 プログラム用語および計算機種

FORTRAN IV CDC-6600

2.6 入 力

E0: 初期エネルギー D0: 線源からの単位距離での線量率
EL1, EL2: ダクトの第一脚, 第二脚の長さ
矩形ダクトならば W_1, W_2, H ダクトの縦, 横, 高さ

円筒ダクトならば R: 内径

以上すべて F8.4 で入力

2.7 出 力

ダクトの出口での線量率およびその線量率に寄与する効果の量と割合が出る。

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

微分アルベドの値は大体数パーセントの誤差を含んでいるが, 全体として計算値と実験値を比較すると 30% 以内の誤差で一致している。

3.2 計算所要時間

測定点 1 点に対して大体 0.1 分程度である。

3.3 適用範囲, 制限事項

微分アルベドの数値を出す半経験式の適用範囲がエネルギーで 0.1 MeV から 10.0 MeV までである。

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

4.3 他機種への移行

このプログラムは NEAC-2206 用にかかれたものを CDC-6600 用にか換えた。

5. あとがき

このプログラムは微分アルベドの項を中性子用になれば中性子のダクトにも応用できる。ただしダクトの材質としてはコンクリートを用いて, かつ一回屈曲ダクトである事が条件になっている。

参 考 文 献

- 1) J.M. Chapman: USNCEL-R-264

18. 原子炉遮蔽の最適設計計算プログラム

原子力船部 金 井 康 二

1. プログラムの目的および概要

近年, 特に条件の厳しい船用炉あるいは宇宙船用原子炉の遮蔽設計において, むだをはぶいた**効率の良い**遮蔽体を考えることが重要な課題となってきた。

このような要求に対して, 一般には多重層で遮蔽体を構成することが有理であることから問題をしばって多重層の各物質・配列順序を固定して, 遮蔽体外周で与えられた設計基準線量を満足し, 遮蔽重量を最小にするような多重層の各厚さを電子計算機により, 手短かに求める計算コードが多数開発されている。¹⁾

しかしながら, 最適な遮蔽体を設計する場合には, 厚さのほかに遮蔽形状・遮蔽材の選定, 多重層の層状数・配列順序の決定による影響も考慮しなければならない。また評価の対象となる指標も, 重量のみでなく, 遮蔽体設置に伴うコスト・遮蔽体がしめる空間容積お

び遮蔽体の目的によっては放射線束に関係する量として評価しなければならない。

特に船用炉の場合には, 船種によって上記の各評価量に対するウエイトは異なり, 実際に則した物理的モデルを構成するには各評価量の関数関係を求めて, その関数のもとで最適な遮蔽体を考慮すべきである。

ここに紹介する原子炉遮蔽の最適化計算プログラム SOLA シリーズでは, 従来のプログラムとは異なり上述に指摘した点を考慮して, 幅広い問題に対処できるように物理的モデルを数種類(現況では 3 種類)設定し以下のように SOLA-I, II, …… とした。

(1) SOLA-I

遮蔽体全長が変化するものとし, 遮蔽体外周での線量条件を満足しかつ空間容積, 重量, コストの線形結合であらわされた評価値を最小にする各位置での物質を求める。

(2) SOLA-II

遮蔽体全長を固定し、重量、コストおよび遮蔽体外周での放射線束の線形結合であらわされた評価値を最小にする各位置での物質を求める。

(3) SOLA-III

遮蔽体全長を固定し、遮蔽体外周での線量条件を満足しかつ重量およびコストの線形結合であらわされた評価値を最小にする各位置での物質を定める。

SOLA シリーズでは現在、一次元化された平板、円筒および球形状が取扱い可能であり、最適化の手法としては、微分ダイナミック・プログラミング法を適用した。本プログラムは大型電子計算機 IBM 360 モデル 195 および CDC 6600 用に開発されている。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称

SOLA-I

SOLA-II

SOLA-III

2.2 製作者

原子力船部 金井康二

2.3 製作年月

昭和47年

2.4 計算の基礎となる理論の概要

参考文献 2) を参照されたい。

2.5 計算の手順

細部は異なるが簡単なブロックチャートを 図-1 に示す。図-1 中条件の検討は最適解としての条件のほかに SOLA-I および SOLA-III では放射線線量の終端条件の検討も含められている。

2.6 プログラムの用語および計算機種

FORTRAN IV IBM 360-195 CDC 6600

2.7 入力

- (1) PROB 計算のタイトル (72文字)
- (2) DATE 実行年月日 (月, 日, 年の順に各 2桁) I 2
- (3) IGEOM 形状
 - 1: 平板 I 2
 - 2: 円筒
 - 3: 球
- (4) MEDIUM 取扱う遮蔽材の数 ≤ 10 I 2
- (5) NGPN 中性子グループ数 ≤ 10 I 2
- (6) NGPG ガンマ線グループ数 ≤ 10 I 2
- (7) RIN 遮蔽体内径 (cm) E 14.6
- (8) RFL 遮蔽体外径 (cm) E 14.6

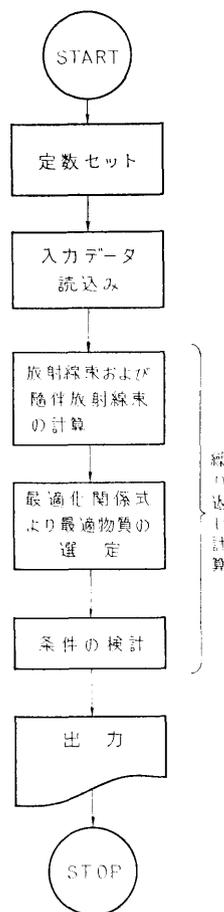


図-1 SOLA シリーズのブロックチャート

- (9) DELTA 空間メッシュ幅 E 14.6
- (10) MESH 微分実行時のメッシュ幅
但し DELTA/MESH は正整数値 E 14.6
- (11) DOSO 基準線量率 (mr/hr) E 14.6
- (12) JCON 評価関数の係数 E 14.6
- (13) WIDTH } 遮蔽形状の係数 (cm) E 14.6
- (14) HIGHT } E 14.6
- (15) MEDK(1) I=1, MEDIUM
物質番号 I 2
- (16) RHOK (1, I) 物質密度 (g/cm³) E 14.6
- (17) RHOK (2, I) コスト密度 (\$/ton) E 14.6
- (18) CRS 速中性子の除去断面積 (cm⁻¹) E 14.6
- (19) DIF 拡散係数
- (20) SIG 実効断面積

(21)	BET	スローイングダウン	
(22)	CRS	ガンマ線の吸収係数	
(23)	SDG	二次ガンマ線の発生量	E 14.6
(24)	CONV(K)	中性子およびガンマ線束の線量 変換係数 (mr/hr/MeV)	E 14.6
(25)	PIIL(K, 1)	放射線束の初期値 (MeV)	E 14.6
(26)	NREG	初期遮蔽構成の層状数	I 2
(27)	MATK(J)	J 層目の物質番号	I 2
(28)	REGK(J)	J 層目の外径 (cm)	E 14.6
(29)	NPFIX	固定される層の層状数	I 2
(30)	PFIX(L)	固定層の内径 (cm)	E 14.6
(31)	TFIX(L)	固定層の厚さ (cm)	E 14.6

2.8 出力

最適化する各段階で (繰り返し毎に) 次の 2 通り。

- ① 空間メッシュ幅の整数倍 (MESR) 毎に
エネルギー別中性子束, ガンマ線束ならびに各線
量率が得られる。
- ② 評価関数値, 遮蔽重量, 遮蔽コストおよび中性
子線量, ガンマ線量および全線量, 更に各層の領
域および対応する物質名 (4 文字) が得られる。

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

放射線減衰計算における計算精度は設計計算用として良く使用される除去-拡散 (中性子)・ビルドアップ係数を組込んだ点状核 (ガンマ線) 計算コード MAC-RAD と比較して SOLA コードで使用されている微分方程式近似は特にガンマ線量に相異があらわれるが, 計算時間を考慮すれば充分利用できる。

3.2 計算所要時間

遮蔽体全長を 100 cm, 空間メッシュ幅 1 cm の鉄-水多重量に対して中性子 7 群, ガンマ線 7 群のケースでは CDC 6600 電子計算機システムによれば約 5 分

で結果が得られた。

3.3 適用範囲, 制限事項

放射線遮蔽設計の初期段階, ただし放射線減衰計算を他の精度良い計算コードによって評価すれば詳細設計まで有効である。

4. プログラムの使用法について

4.1 オペレート

本プログラムはすべて標準的な FORTRAN IV 言語のカードとして保存してあるので, データと共に利用システムのコントロールカードをつけ加えて簡単にランすることができる。

4.2 他機種への移行

本プログラムが要求するコアメモリは 50 kW なので, それ以上の規模を有するシステムには簡単に移行できる。なお計算時間を犠牲にすれば補助記憶装置 (例えば磁気ディスク) を使用することによって, 同程度の精度を有し, 30 kW 程度のプログラムに縮小することは可能である。

5. あとがき

本 SOLA シリーズは現在 3 種類であるが必要に応じて, 実用に則した幅広い問題が取り扱えるように, 順次追加していく予定である。また放射線減衰の計算をより厳密に計算するため, 輸送コード PALLAS シリーズ (中性子用・ガンマ線用) との結合を図り遮蔽設計への適用範囲を拡大する目的で作業を進めている。

参考文献

- 1) 金井康二, 伊藤泰義: 原子炉遮蔽体の最適化問題 その 1 最適化の数学的手法と物理的モデル 船研報告, 第10巻第5号, (1973)
- 2) 本プログラムに使われた理論を船研報告に提出の予定である。

19. ^3He 比例計数管応答関数計算プログラム

東海支所 三 浦 俊 正

1. プログラムの目的および概要

中性子スペクトル測定用 ^3He 比例計数管の応答関

数をモンテカルロ法で計算する。対称とする ^3He 比例計数管は円筒形状のもので, 有効体積外に存在する ^3He ガスによる効果も含めて計算する。最終的に得ら

れる応答関数は実際の測定で現れる統計的な広がりも考慮したものである。本コードで得られた応答関数は ${}^3\text{He}$ 比例計数管で測定した被高分布から中性子スペクトルを求める際使用する。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称

MCR 1

2.2 製作者

東海支所 三浦俊正

2.3 製作月日

昭和46年7月

2.4 計算の基礎となる理論と概要

中性子と ${}^3\text{He}$ 原子核の反応は次の5種類である。

1) 全てのエネルギーの中性子に対し

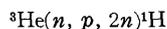


2) 全てのエネルギーの中性子に対し ${}^3\text{He}(n, p){}^3\text{T}$

3) 4.36 MeV 以上の中性子に対し ${}^3\text{He}(n, d){}^2\text{D}$

4) 7.32 MeV 以上の中性子に対し ${}^3\text{He}(n, p, n){}^2\text{D}$

5) 10.3 MeV 以上の中性子に対し



このうち 4), 5) の反応は原子炉からの中性子に対称とする場合無視できるので本コードでは取り扱わない。各反応で生じる荷電粒子の方向分布は 1) の反応では BNL-400 (3rd Edition Vol. I) の微分断面積に基づいて、また 2), 3) の反応では重心系で等方的であるとして決定した。乱数は次式に基づく 05R コード¹⁾の乱数発生用サブルーチンを用いて決定した。

$$X_n \equiv \lambda^n \pmod{p}$$

ただし $\lambda = 5^{15}$, $p = 2^{45}$

各荷電粒子の飛程は次に示す Bethe の式から計算で求めたものを用いた。

$$-\frac{dE}{dX} = \frac{4\pi e^4 z^2 ZN}{mv^2} \left[\log \left(\frac{2mv^2}{I(1-\beta^2)} \right) - \beta^2 \right]$$

実際の測定においては応答関数は統計的現象による広がりをもつ。この広がりを再現するため最終的に得られる応答関数には ${}^3\text{He}(n, p)\text{T}$ 反応によるピークが $\Gamma_0(\sqrt{(E_n+Q)/Q})$ なる半値幅を持つガウス分布をする様にスミアを行う。ただし Γ_0 は熱中性子による ${}^3\text{He}(n, p)\text{T}$ 反応のピークの半値幅, E_n は入射中性子エネルギー, そして Q は ${}^3\text{He}(n, p)\text{T}$ 反応の Q 値 (764 keV) である。

2.5 計算の手順

計算の手順は、図-1 のフローチャートに示すとおりである。

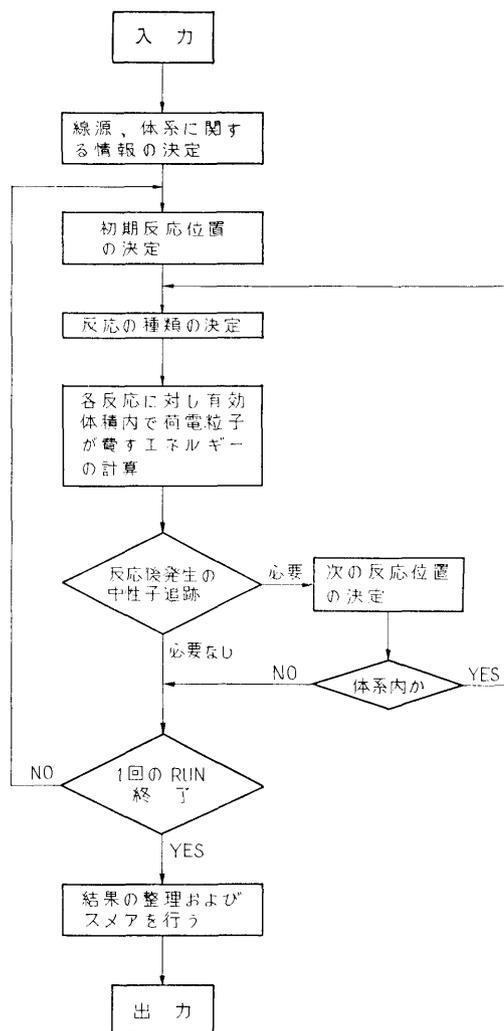


図-1 フローチャート

りである。

2.6 プログラム用語および計算機種

用語 FORTRAN IV 機種 FACOM 230-60

2.7 入力

- (1) TITLE (20A4)
- (2) ITEST ヒストリーの数 (I 10)
- (3) ESOUR 入射中性子エネルギー (eV)
UINP, VINP, WINP 入射中性子の方向余弦
WSTRT 入射中性子のウェイト (5E10.3)
- (4) RANDM3, RANDM2, RANDM1
初期乱数 (3 I 20)
- (5) GTYPE 中性子の入射方向をきめる

	正または 0 軸に垂直入射
	負 軸に平行入射
RADIUS	計数管の半径
HEIGHT	有効領域の長さ
RADIN	中性子入射領域の半径
PGAS	ガス圧
C1, C2	有効領域外のガス領域の長さ

(I 10, 6E10.3)

2.8 出力

- (1) 各反応の起こった数
- (2) 有効体積から逃れた荷電粒子の数
- (3) 有効体積外で発生して有効体積内に入ってきた荷電粒子の数
- (4) 応答関数

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

統計的精度はヒストリーの数および入射中性子エネルギーに依存するが、入射中性子は全て反応を起こす様に取り扱っていること、およびスマアを行っているので比較的容易に精度を上げることができる。例えば入射中性子エネルギー 2 MeV, ヒストリーの数 50000 でエネルギーメッシュを 70 とすると、スマアを行う前で統計的精度は最も悪いところで約 3%, スマアを行った後では 1~2% 程度である。実験値との比較では入射中性子エネルギー 2.08 MeV で良い一致が得ら

れた。

3.2 計算所要時間

10000 ヒストリーで約 5 分。

4. プログラムの使用法について

4.1 オペレート

本コードを使用する際は、05R コードの入力データ作成コード XSECT を用いて ^3He 原子核の反応断面積に関するデータを準備する必要がある。磁気テープ 1 本使用。

4.2 他機種への移行

本コードは FORTRAN IV で書かれているので他機種への移行は比較的容易であるが、FACOM 230-60 とビット数の異なる機種へ移行する場合乱数発生サブルーチンを書き換える必要がある。

5. あとがき

本コードは ^3He 比例計数管用に使われたものであるが本質的な部分は他の中性子検出器、例えば水素比例計数管、 ^3He 半導体検出器の応答関数を計算するコードを作成する場合応用できる。

参考文献

- 1) Irving, D. C. et al., 05R, A General-Purpose Monte Carlo Neutron Transport Code, Report ORNL-3622, Oak Ridge National Laboratory, February, (1965).

20. 放射化法で測定した反応率から中性子スペクトルを求めるプログラム

東海支所 三浦俊正

1. プログラムの目的および概要

放射化法で実験的に求めた反応率 $\int_0^\infty \sigma(E)\phi(E)dE$ ($\sigma(E)$: 反応断面積, $\phi(E)$: 中性子スペクトル) から中性子スペクトルを導出することを目的としており、初期推定スペクトルを繰り返し法によって真のスペクトルに近づける。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称

(42)

SAND-II-S

2.2 製作者

東海支所 三浦俊正

2.3 製作年月

昭和47年3月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

繰り返し k 回目における中性子スペクトルを $\phi^{(k)}(E)$ とし i 番目の検出器の反応率のうち j 番目のエネルギーグループによるものを $A_j^{(i)}$ とすると

$$A_{ij}^{(k)} = \int_{E_j}^{E_{j+1}} \sigma_i(E) \phi^{(k)}(E) dE \quad \dots\dots(1)$$

各エネルギーグループ内で $\phi^{(k)}(E)$ が一定とすると
(1)は

$$A_{ij} = \sigma_{ij} \times \phi_j^{(k)} \quad \dots\dots(2)$$

$$\text{ここで } \sigma_{ij} \equiv \int_{E_j}^{E_{j+1}} \sigma_i(E) dE \Big/ \int_{E_j}^{E_{j+1}} dE$$

$$\phi_j^{(k)} \equiv \int_{E_j}^{E_{j+1}} \phi^{(k)}(E) dE$$

次に重み関数を定義する。

$$W_{ij}^{(k)} \equiv \frac{1}{2} (A_{ij}^{(k)} + A_{i,j-1}^{(k)}) / A_i^{(k)} \quad \dots\dots(3)$$

$$\text{ここで } A_i^{(k)} \equiv \sum_{j=1}^m A_{ij}^{(k)}$$

一方測定で得た i 番目の反応率を A_i とすると k 番目の中性子スペクトルと修正する係数として次のものをとる。

$$c_j^{(k)} = \exp \left[\frac{\sum_{i=1}^n W_{ij}^{(k)} \ln(A_i / A_i^{(k)})}{\sum_{i=1}^n W_{ij}^{(k)}} \right] \quad \dots\dots(4)$$

(4)式を用いて ($k+1$) 回目のスペクトルは次の様に計算される。

$$\phi_j^{(k+1)} = \phi_j^{(k)} \times c_j^{(k)} \quad \dots\dots(5)$$

したがって最初に $\{\phi_j^{(0)}\}$ を適当に仮定すれば上記の計算を繰り返すことにより最初のスペクトルを真のスペクトルに近づけることができる。

21. 中性子直円筒ダクトストリーミング計算プログラム

東海支所 竹 内 清

1. プログラムの目的および概要

直円筒ダクト形状遮蔽体をストリーミングする中性子束を計算するため、定常の中性子輸送方程式を数値積分法で解き、直円筒ダクト内外における中性子束を角度分布、エネルギースペクトル、積分量等の各種の变量で算出する。本プログラムは、二次元円柱形状遮蔽体透過中性子計算プログラム PALLAS-2D-CY をダクト計算用に作り変えたものである。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称

2.5 計算の手順

2.4 で示したとおりである。

2.6 プログラム用語および計算機種

用語 FORTRAN IV 機種 FACOM 230-60

2.7 入 力

初期スペクトル, 実験で求めた反応率

2.8 出 力

繰り返しごとにスペクトルおよびそのスペクトルを用いて計算した反応率が出力される。

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

文献 1) 参照

3.2 計算所要時間

繰り返し回数によるが、繰り返し1回当たり約6秒で20~30回の繰り返しで充分である。

4. あとがき

本コードは W.N. McElroy らが開発 SAND-II コード²⁾の理論に基づいて作成したものである。

参 考 文 献

- 1) 日本原子力学会炉物理・炉工学分科会予稿集 E31 (1972)
- 2) Nuclear Science and Engineering 27, 533-541 (1967)

PALLAS-DUCT

2.2 製 作 者

東海支所 竹 内 清

2.3 製 作 年 月

昭和47年4月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

参考文献 1) および 2) を参照されたい。

2.5 計算の手順

2.6 入 力

2.7 出 力

以上の 2.5 から 2.7 は参考文献 3) を参照されたい。

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

日本原子力研究所の4号炉を使用して、この炉の水中にアクリル製の真円筒中空ダクトを設置して放射化法により、中空ダクト内および周囲の水における中性子反応率をダクト中心軸上および軸に垂直な方向の二次元空間分布として測定した。この測定値を本プログラムの計算精度検証のための標準値とした。この問題により本プログラムの精度を検証した結果、ダクト中心軸上では誤差 30% 以内で計算値は実験値に一致し、またダクト外の水中ではダクト入口から 80 cm の距離でダクト壁から 35 cm 離れた位置で最大の誤差を示し、その最大誤差は 50% であった。

3.2 計算所要時間

4 群, 23×45 空間メッシュ点, 28 角度分点の計算の場合, IBM 360—195 計算機で 1.47 分 (内訳 CPU が 0.468 分, channel 使用時間が 1 分) である。

4. 計算機種およびプログラム用語

IBM 360 モデル 195

CDC 6600

FORTRAN IV

計算機のコア容量をおよそ 90K 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 900K 語必要とする。

5. あとがき

中性子ダクトストリーミング計算プログラムで精度の高い信頼できるプログラムは現在のところ本プログラムのみである。設計計算用のより簡単な方法に基づくプログラムが将来作製されるものと思われるが、その際本プログラムはそれらの設計計算用プログラムの精度検証の標準としても役に立つことが期待される。

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; 中性子遮蔽解析に用いる輸送方程式の数値解法の研究, 船研報告 第9巻 第6号 (1972)
- 3) 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。