

ま え が き

工学研究において電子計算機の果している役割の重大さは今更こと新しく述べるまでもない。このことは今日種々の技術分野で設計技術者が駆使している手法のうち、計算機の発達なくしては全く生まれなかったか、または生まれたとしても、実用にならなかったものが如何に多いかを考えれば十分であろう。

船舶技術研究所においても昭和 36 年原子力船の遮蔽研究の目的をもって当時の中級計算機、日本電気製 NEAC 2206 型が原子力船部に導入された。引きつづいて大型試験水槽の測定値オンライン処理用として TOSBAC 3300 B が推進性能部に、また造波機制御計算用として小型計算機 FACOM 230-10 が運動性能部に導入され、以来活用されてきた。

しかしながら、これらの各計算機はそれぞれ本来の使用目的を持っており、所内の研究者が自由に一般科学技術計算に使用するわけにはいかなかった。一方このような計算の必要は時とともに高まっていた。そこで昭和 44 年偶々運動性能部が短期導入していた富士通製 FACOM 270-20 を取敢えず所内の共用電子計算機に定め、共用電子計算機委員会を発足させてその管理運用に当ることになった。後に示されるようにこの計算設備はその記憶容量、機能、構成のいずれにおいても今日の時代の趨勢からいえば決して十分なものではない。しかしそれでも所内の一般研究者がかなり自由に使用できる共用計算機としてこれが設けられた意義はきわめて大きく、その後の研究の推進に大いに役立っている。

今日のいわゆる技術革新、情報の時代にあっては、このような研究所独自の研究を進めるのみでなく、船舶や海洋技術についての計算機ソフトウェアの開発もまた国立研究所としての船舶技術研究所の使命の一つと考えざるを得ない。したがってまたその成果は立前として当然公開されるべきものであろう。そこでこの計算機によって開発されたプログラムの内容を集めてここに船舶技術研究所報告の一卷として公表することにした。

初めて設置された共用電子計算機であり、ここに示される計算プログラムはその質的レベル規模、内容、いずれの点からいってもきわめて不揃いであり中にはかなり初歩的な簡単なものも含まれている。しかしながら上記の趣旨からいって、敢えてこれらを公表することとした。また前述したように原子力船部に導入された NEAC 2206 は専ら、原子力船の遮蔽研究に用いられたので、これによって開発された比較的大型の遮蔽計算プログラムはそれぞれ適当な場所で公表されている。しかしながら比較的簡単なプログラムでまだどこにも公表されてないものも多少あるので、これらをも取まとめ、併せて後半に示すこととした。

今後、計算設備の増強を図るとともに次第に内容的にも向上したプログラムが開発されることを期しているのので、また適当な間隔を置いてこのようなものを刊行してゆきたいと願っている。これらが多少なりともわが国の関連技術の進歩に役立ち得れば幸である。

昭和 45 年 4 月

次 長 山 内 保 文

船舶技術研究所で開発された電子計算機 プログラムの概要——第1集——

目 次

	プログラム開発に使用された電子計算機の概要	菅井和夫	1
S-1	プロペラ揚力面理論に関する計算プログラム	菅井和夫	3
S-2	定常造波理論に基づく波動関数の数値計算プログラム	安藤定雄	5
S-3	細長体理論による船体まわりの流れの計算プログラム	菅信	6
S-4	ストリップ法による規則波中の船の縦運動計算プログラム	安藤定雄・小山鴻一	8
S-5	不規則振動の統計解析用プログラム	安藤定雄	11
S-6	風と流れの中の船の操縦運動の計算プログラム	小川陽弘	13
S-7	軸力を受ける梁の塑性モーメントに関する計算プログラム	有田喜久雄	18
S-8	荷役フックの強度計算プログラム	翁長一彦・福井正洋	20
S-9	Newman-Sharma 法による造波抵抗計算プログラム	足達宏之	21
S-10	任意翼型の圧力分布の計算プログラム	荒井能	23
E-1	差分法による回転円板の熱弾塑性応力解析プログラム	天田重庚	25
E-2	円筒の非定常温度分布および熱応力の計算プログラム	塚田悠治	27
E-3	曲円管内熱伝達実験データ整理用プログラム	塚原茂司	28
E-4	ディーゼル機関の噴射率と熱発生率のデータ処理システムによる解析プログラム	井ノ内一雄・塩出敬二郎・水谷洋一	30
N-1	数値解法 (EOS法) による平板遮蔽体透過中性子線計算プログラム	竹内清	32
N-2	数値解法 (EOS法) による平板遮蔽体透過ガンマ線計算プログラム	"	33
N-3	数値解法 (SELENE法) による平板遮蔽体透過ガンマ線計算プログラム	"	34
N-4	数値解法 (MENE法) による平板遮蔽体透過中性子線計算プログラム	"	35
N-5	有限円柱形状遮蔽体に対する中性子透過計算プログラム	"	36
N-6	直円筒ダクトに対する中性子ストリーミング計算プログラム	"	38
N-7	板状格子系輸送問題の固有関数展開による解法 (連立特異積分方程式数値解)	吉村富雄・桂木学・鈴木友雄	39
N-8	NaI シンチレーターの応答のシミュレーション	中田正也	40
N-9	原子力船の運転時および事故時における直接線量率分布の計算	吉村富雄・菅和子・片岡巖	42
N-10	有限遮蔽板によるガンマ線再生係数の計算	山越寿夫	44
N-11	ガンマ線のデータファイルシステム	"	45
N-12	NaI シンチレーターの応答関数の計算プログラム	"	49
N-13	区画構造を持つ遮蔽体からの散乱および透過したガンマ線を計算 (モンテカルロ) するプログラム	"	51
N-14	Pb コリメーターを透過してくる γ 線量を計算するプログラム	伊藤泰義	54
N-15	平板線源からの γ 線の一回散乱線の垂直成分を計算するコード	"	55
N-16	汚染雲からの吸収線量を計算するプログラム	"	56
N-17	γ 線ビルドアップ係数フィティングプログラム	金井康二	57
N-18	運転時および事故時の原子力船の直接線量率分布	金井康二・片岡巖	60

An Outline of Programs Compiled in Ship Research Institute

Contents

An Outline about the Computers in Ship Research Institute	By Kazuo SUGAI.....	1
S- 1. A Program for Calculating the Propeller Lifting Surface Theory.....	By Kazuo SUGAI.....	3
S- 2. Numerical Calculation of the Wave Function by the Wave Resistance Theory	By Sadao ANDO.....	5
S- 3. A Program for the Calculation of Potential Flow about a Ship Hull by Slender Body Theory	By Makoto KAN.....	6
S- 4. A Calculating Method of the Longitudinal Motions of Ship in Regular Waves by the Strip Method	By Sadao ANDO and Koichi KOYAMA.....	8
S- 5. Programs on the Statistical Analysis of Irregular Oscillation	By Sadao ANDO.....	11
S- 6. Programs on the Steered Motion of a Ship in Wind and Flow	By Akihiro OGAWA.....	13
S- 7. A Program for Plastic Moment of Beams under Combined Bending and Axial Force.....	By Kikuo ARITA.....	18
S- 8. A Program for Culculating the Strength of Cargo Hook	By Kazuhiko OHNAGA and Masahiro FUKUI.....	20
S- 9. Calculation of Wave Resistance by Newman-Sharma's Method.....	By Hiroyuki ADACHI.....	21
S-10. A Program for Calculating Pressure Distribution Over an Arbitrary Wing Section.....	By Chikara ARAI.....	23
E- 1. A Program of Thermal Elasto-Plastic Stress Analysis of Rotating Disks Using Finite Difference Method	By Shigeyasu AMADA.....	25
E- 2. A Program for Analysis of Transient Temperature and Thermal Stresses in Cylinder	By Yuji TSUKADA.....	27
E- 3. A Program for Data Evaluation of the Experiments of Heat Transfer to the Liquid Flowing in Curved Pipes	By Shigeji TSUKAHARA.....	28
E- 4. A Program of the Rate of Injection and Rate of Heat Release in Diesel Engine by the Data Processing System	By Kazuo INOUCHI, Keijiro SHIODE and Yoichi MIZUTANI.....	30
N- 1. EOS 2-A Program for the Numerical Integration of the Neutron Transport Equation in Slab Geometry	By Kiyoshi TAKEUCHI.....	32
N- 2. EOS 1-A Program for the Numerical Integration of the Gamma-Ray Transport Equation in Slab Geometry	By Kiyoshi TAKEUCHI.....	33
N- 3. SELENE-A Program to Compute Gamma-Ray Transport for Plane Isotropic, Monodirectional and Slant Source	By Kiyoshi TAKEUCHI.....	34
N- 4. MENE 1-A Program for the Direct Numerical Integration of the Neutron Transport Equation in Slab Geometry	By Kiyoshi TAKEUCHI.....	35
N- 5. A Program to Compute Neutron Transport by Solving the Integral Transport Equation in Finite Cylindrical Geometry	By Kiyoshi TAKEUCHI.....	36

N- 6.	A Program to Compute Neutron Streaming for Straight Cylindrical Duct by Solving the Integral Transport Equation	By Kiyoshi TAKEUCHI.....	38
N- 7.	A Program for the Transport Solutions of Multi-layer Slab Cell Systems (Numerical Solution for Simultaneous Singular Integral Equations)	By Tomio YOSHIMURA, Manabu KATSURAGI and Tomoo SUZUKI.....	39
N- 8.	Simulation of the NaI-Scintillators' Response to the Gamma Ray	By Masaya NAKATA.....	40
N- 9.	Computation of Direct Dose Rate Distribution for Nuclear Ships (MARINE-1)	By Tomio YOSHIMURA, Yoriko KAN and Iwao KATAOKA.....	42
N-10.	A Computer Code for the Calculation of Build-up Factors for Gamma-Rays Scattered from Rectangular Solids	By Hisao YAMAKOSHI.....	44
N-11.	A Gamma-Ray Data File System	By Hisao YAMAKOSHI.....	45
N-12.	A Computer Code for the Calculation of Response Function of NaI Scintillator.....	By Hisao YAMAKOSHI.....	49
N-13.	A Monte Carlo Code for the Estimation of Gamma-Ray Field in and outside Shielding Structures	By Hisao YAMAKOSHI.....	51
N-14.	A Program for Computing Gamma-Rays Penetrating through a Collimator	By Yasuyoshi ITO.....	54
N-15.	A Program for Computing the Normally Penetrating Component in Single Scattered Gamma-Rays from Plane Isotropic Source	By Yasuyoshi ITO.....	55
N-16.	A Program for Computing External Exposure Rate from a Radiative Cloud (O 6 CLOUD)	By Yasuyoshi ITO.....	56
N-17.	A Program for Determination of Parameters in a Empirical Function for Gamma-Ray Build-up Factors	By Yasuji KANAI.....	57
N-18.	A Program for Computation of Direct Dose Rate Distribution for Nuclear Ships (MARINE-2).....	By Yasuji KANAI and Iwao KATAOKA.....	60

プログラム開発に使用された電子計算機の概要

菅 井 和 夫

現在、船舶技術研究所において共通言語を使用しプログラム開発に利用されている電子計算機組織は次の3組織である。

- (1) 共用電子計算機組織 FACOM 270-20
- (2) 原子力船の安全対策研究用電子計算機組織 NEAC-2206
- (3) 三鷹第二船舶試験水槽データ処理用電子計算機組織 TOSBAC-3300

本号に集録された電子計算機プログラムは、すべて上記の3組織によって開発されたものである。これらのプログラムを一般の利用に供する場合の一助として、ここでは上記各組織の概要について説明することにする。

共用電子計算機組織は、船舶技術研究所の各部の研究員が共通してその科学演算およびデータ処理に利用するために設置されたものである。FACOM 270-20

を主体とし、これに FACOM 230-10 およびその周辺機器を有機的に配置している。導入が昭和 43 年と比較的新しく、コアメモリ 16 kW という小型機ながら、演算速度が速く周辺機器も最低限ながら一応完備しているので、プログラム開発にはきわめて便利で活発に利用されている。機器構成は表-1 に示すごとくである。ここで一語長は 17 ビット、サイクルタイムは $2\mu\text{s}$ である。使用される共通言語は FACOM FORTRAN で、これは JIS FORTRAN 5000 のレベルを超えている。

原子力船の安全対策研究用電子計算機組織は、昭和 36年に導入されたもので、船舶技術研究所では最も歴史が古く、周辺機器や外部メモリーなども豊富である。しかしながら、現在ではやや旧式化している。機器構成は表-2 に示すごとくである。ここで一語長は符号 +12 桁、アクセスタイムは $5\mu\text{s}$ である。使用される

表-1 共用電子計算機機器構成表

機 器 名	型 名	台 数	備 考
FACOM 270-20			
中央処理装置	F 7200A	1	ドラム 131 kW
記憶装置	F 7220A	4	4 kW
浮動小数点演算機構	F 7211A	1	
データチャンネル装置	F 7232B ₁	1	MTC×1
磁気テープ装置	F 603B	1	42 KC
紙テープ読取装置	F 749A	1	400/200 字/秒
紙テープせん孔装置	F 767A	1	100 字/秒
ラインプリンタ装置	F 643C	1	240 行/分 50 種 136 桁
ファコムライタ	F 801A	1	15 字/秒
FACOM 230-10			
中央処理装置	F 2100A	1	4KB ドラム 65 KB
記憶装置	F 2120A	1	4KB
紙テープ読取装置	F 749A	1	400/200 字/秒
ファコムライタ	F 801A	1	15 字/秒
データライタ	F 516A	1	
自動電圧調整装置	F 964B	2	1φ 1KVA

表-2 原子力船の安全対策研究用電子計算機機器構成表

機 器 名	型 名	台 数	備 考
中央処理装置	NEAC-2206	1	コア 10kW
外部磁気ドラム装置	522	1	10kW
磁気テープ制御装置	6403A	1	1チャンネル/台 max 10台接続
磁気テープ装置	543B	5	45000桁/秒
入出力制御装置	6601	1	
高速制表装置	402-1	1	350行/分 48文字 120桁
テープさん孔タイプライタ	304	3	500字/秒
光電式テープ読取機	104	2	100/200字/秒
高速テープさん孔機	381	1	50字/秒

表-3 三鷹第二船舶試験水槽データ処理用電子計算機機器構成表

機 器 名	型 名	台 数	備 考
本 体	TOSBAC-3300 (DK-1856 B)		コア 8kW 命令数 60 Cycle time 10 μ s 1W=24+1 (P)
磁気ドラム装置	D P-1044 B		14kW
紙テープさん孔器	東芝 4B-16		100字/秒
万能入出力装置	Friden: model SPD F S-9790 C		読: 571字/秒, 印字 588字/分 さん孔 1000字/分
紙テープ読取器			200/400字/分
磁気テープ装置	D P-1195 A		1インチ 14トラック
X-Y プロッタ	D P-1196 A		5プロット/秒 X, Yとも 1024 pos. 0.2mm/Pulse

共通言語は 06 NARC で、これは JIS FORTRAN 5000 のレベルを超えている。またチエンオペレーションができるのが特徴となっている。

三鷹第二船舶試験水槽データ処理用電子計算機組織は、試験水槽の曳船台車よりデータ伝送を受け、これをオンライン処理するために設置されたものである。

しかし、上記の業務に使用する時間以外は、一般の科学演算にも使用できる。昭和 41 年に導入されたもので、小型で演算速度もおそいため、プログラム開発の主役ではない。機器構成を表-3 に示す。ここで一語長は 24 ビット+1 パリティで、サイクルタイムは 10 μ s である。使用される共通言語は ALPS で、これは ALGOL 60 を基礎として作られたものである。

上述のごとく、船舶技術研究所においてプログラム開発に使用されている電子計算機組織は、いずれもコアメモリの少ない小型機に属するものである。したがって、本号に特集されたプログラムが一般に利用される場合を考えると、少なくとも上述の計算機よりは

上級機が使用されることになろう。そこで、こうした上級機に移行することを前提として、プログラム利用上の一般的注意を述べてみたいと思う。使用言語は、FACOM 270-20 ならびに NEAC 2206 の場合には JIS FORTRAN 規格であるため、ほとんど変更なくそのままプログラムをかけることができる。また、組まれたプログラムが小型機を対象としているから、大型機に移行しても容量的にあふれる心配は全くない。むしろ、大型機では、それなりに計算規模を大型化することが考えられるから、演算能率の面で大型機に向けたプログラムに若干手直しをすることが望ましい場合が生じるであろう。

本特集号のプログラム開発に利用された計算機は、S1~8 が FACOM 270-20, S9~S10 が TOSBAC-3300, N1~18 が NEAC-2206 である。

なお、本号に特集された電子計算機プログラムの個々についての詳細は、船舶技術研究所調査室まで照会されたい。

S-1 プロペラ揚力面理論に関する計算プログラム

運動性能部 菅 井 和 夫

1. プログラムの目的および概要

近年、電子計算機を利用した船用プロペラの揚力面理論の計算が盛んに行なわれるようになってきた。しかしながら、そのほとんどがあらかじめ翼面上の揚力分布が設計状態に対し与えられた場合、キャンバーやピッチの分布をどう決めたらよいかを求めるいわゆる最適プロペラの設計に対象が置かれており、逆にプロペラの幾何学的形状が与えられた場合、ある作動状態に対し翼面上の揚力分布を求めるという問題は、積分方程式を解かねばならないという難しさもあって、ほとんど手がつけられていないのが現状である。本プログラムは、プロペラの幾何学的形状をすべて与えると、いろいろの作動状態に対し、積分方程式を解くことにより推力常数、トルク常数、効率等はもとより翼面上の揚力分布、圧力分布等の流力的諸量をすべて面として求めるものである。これにより、プロペラの幾何学的形状とキャビテーションも含めた流力的諸性能との間の関係が適確に求められるようになり、プロペラの設計に資するところが多いと考えられる。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号、名称

44-051

An Application of Collocation Method to Propeller Lifting Surface Theory

2.2 製作者

運動性能部 菅井和夫

2.3 製作年月

昭和 44 年 11 月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

プロペラ揚力面理論の積分方程式は次のように表わされる¹⁾。

$$u(\zeta, \xi) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{\xi_B}^1 \int_{-1}^1 \bar{\theta}(\xi') g(\zeta', \xi') K(\theta_0; \mu, \mu') d\zeta' d\xi' \quad \dots(1)$$

ここで

$$K(\theta_0; \mu, \mu') = \sum_{M=0}^{N-1} \int_{\theta_0}^{\infty} \{ \mu\mu' + \cos(\theta'' + 2\pi M/N) \} / R^3 - 3\{ \mu\theta'' - \mu' \sin(\theta'' + 2\pi M/N) \} \{ \mu'\theta''$$

$$- \mu \sin(\theta'' + 2\pi M/N) \} / R^3 d\theta'' \quad \dots(2)$$

$$R = \sqrt{\theta''^2 + \mu^2 + \mu'^2 - 2\mu\mu' \cos(\theta'' + 2\pi M/N)} \quad \dots(3)$$

記号はすべて無次元量を用いており、 u は翼面に対し法線方向の速度、 $\bar{\theta}$ は翼の半幅、 g は循環分布、 K は核関数をあらわす。また、 ζ' 、 ξ' はそれぞれ翼弦方向および半径方向の座標、 θ_0 は標点間の距離の角度表示、 N は翼数、 μ はピッチで無次元化した半径方向の座標である。

(1)の積分方程式を解くことにより、循環分布が求められ、これからプロペラの流力的諸性能が求められる。積分方程式の解き方としては、まず循環分布の形を Birnbaum の級数で表わすことにし、標点をコロケーション法にしたがってとり代数方程式の形に変換して数値的に解いた。

本プログラムの特徴とするところは次のごとくである。

- (1) コロケーション法にしたがって標点をきめた。
- (2) 対数特異点を完全に処理した。
- (3) 定ピッチ非線型境界条件を採用した。
- (4) 翼の厚みを考慮に入れた。
- (5) 粘性流体としての影響を実験値から適当に取り入れた。

2.5 計算の手順

計算の手順は、図-1 フローチャートに示すごとくである。

2.6 入 力

必要な入力データは次のごとくである。整数は I 3, 実数は F 8.5 とする。

- (1) 分割数
 - N……半径方向分割数
 - MM……翼弦方向分割数
- (2) プロペラの幾何学的形状と作動状態
 - NP……翼 数
 - BR……ボス比
 - PR……ピッチ比

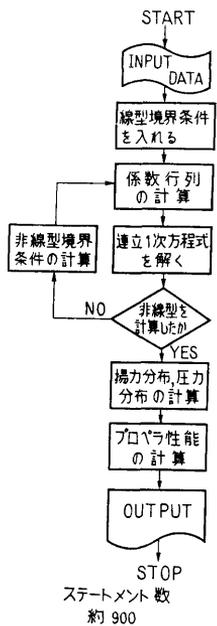


図-1 フローチャート

- KR……レーキ角
- AJ……前進常数
- I 番目の翼断面位置で
 - BC(I)………ハーフォード
 - BM(I)………ミッドコード
 - PRD(I)………ピッチ比分布
- 翼断面形について
 - BL……前縁のオージネイト
 - SFU(I R)……バックのオージネイト
 - SFL(I R)……フェースのオージネイト
- BT………後縁のオージネイト
- (3) 2次元翼の実験値より
 - I 番目の翼断面位置で
 - CK(I)………循環減少係数
 - CDV(I)………抵抗係数

2.7 出力

- (1) 各翼断面位置につき
 - G………半径方向無次元循環分布
 - CL………断面揚力係数
 - HC………空力中心
 - AL………迎角
 - A(I)………Birnbaum 級数の第 I 項
- (2) 各断面形につき
 - CD………循環密度分布
 - CC………相当キャンパー
 - PU………ハックの圧力
 - PL………フェースの圧力
- (3) プロペラの性能
 - KT………推力常数

- KQ………トルク常数
- ET………効率

3. プログラムの検定

3.1 計算誤差, 精度

計算精度は, 最終結果が有効数字 4 桁まで得られることを目標とした。このため, 一般の演算は約 7 桁, 連立方程式を解くときだけ倍長精度とした。

3.2 演算時間

分割数を $N=11$, $MM=7$ とした場合, 実行を ¥MPXEQ として約 100 分である。

3.3 適用範囲, 制限事項

分割数は, ある程度以下だと正確な答が得られない。少なくとも $N=9$, $MM=5$ 以上は必要である。適用範囲は, 最適作動状態を中心とし前進常数で ±20% の範囲である。この範囲では実験点に対し ±3% 以内の相違しか生じない。

4. プログラムの使用について

4.1 オペレート

プログラムの実行は, ¥ BATCH で PT よりでも, また ¥ MPXEQ_MTO (44051 PROP. GL) で MT よりでも実行できる。

4.2 プログラムの応用

サブルーチンの中に倍長精度, ドラム使用で 100 元まで解ける連立一次方程式の解法 (ガウス-ヨルダン法) が含まれており汎用できる。

4.3 他機種への移行

コア 32kW 以上の計算機を使用するときは, DRUM DIMENSION をコア上の DIMENSION に変えると演算は非常に速くなる。

5. あとがき

プロペラ揚力面理論の積分方程式を解くことにより, プロペラの幾何学的形状および作動状態と流力的諸性能との関係を求めた最初のプログラムである。プロペラの実設計にかなり役立てることができであろう。

参考文献

1) 菅井和夫「プロペラ揚力面理論の新展開」(第 1 報) 造船協会論文集第 119 号 (1966)。

S-2 定常造波理論に基づく波動関数の数値計算プログラム

運動性能部 安藤定雄

1. プログラムの目的および概要

本プログラムは波動関数の数値表を作成するものである。したがって、どのプログラムも数値積分が主体となっている。

しかし、数値表は1回作成して、MTに格納してしまえば、あとは利用する場合に、内挿によって必要な値を得ればよいのである。

では、波動関数を用いて、計算できるものは、船側流速、船側波形、復原力と強制力などが求められるのである。一方、この関数が計算可能になったということは、現在ほとんど計算されていない、非定常造波理論に基づく3次元流場の波動関数が可能になり、3次元理論での船体運動などの計算が簡単化されるものである。したがって、今後の発展には最も重要な基礎プログラムである。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称

Uniform Theory Wave Function

[W₁₁(P, Q), W₃(P, Q), W₄(P, Q)]

2.2 製作者

運動性能部 安藤定雄

2.3 製作年月

昭和44年12月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

船長および喫水が L , T である船が x 軸の負の方向に一定速度 V で直進している場合の理想流場について考えるとときの Michell 型の速度ポテンシャル¹⁾に、船体はその中心線面に吹出し分布を持って、その分布が x 軸方向に閉じたものと考えるなどを導入すると、 x , z 軸方向の流速 Φ_x , Φ_z は

$$\begin{aligned}\Phi_x &= \lambda \kappa^3 \int_{-1}^1 d\xi' \int_{-1}^0 M(\xi', \zeta') d\zeta' [W_1(p, q) \\ &\quad + W_2(p, q) + W_3(p, q) + W_4(p, q)] \\ \Phi_z &= \lambda \kappa^3 \int_{-1}^1 d\xi' \int_{-1}^0 \sigma(\xi', \zeta') d\zeta' [W_{1z}(p, q) \\ &\quad + W_{2z}(p, q) - W_3(p, q) - W_4(p, q)]\end{aligned}$$

のように表わされる。

ここで、 $W_1(p, q)$, $W_2(p, q)$, $W_3(p, q)$, $W_4(p,$

$q)$, $W_{1z}(p, q)$, $W_{2z}(p, q)$ を波動関数と呼び、その関数は次のように表示される。

$$W_1(p, q) = \frac{1}{\pi^2} \int_0^\infty d\mu \int_0^\infty \frac{\mu^2 \cos(q\chi + 2\varepsilon) \cos p\mu}{\sqrt{\mu^2 + \chi^2}} d\chi$$

$$W_2(p, q) = \frac{1}{\pi^2} \int_0^\infty d\mu \int_0^\infty \frac{\mu^2 \cos q\chi \cos p\mu}{\sqrt{\mu^2 + \chi^2}} d\chi$$

$$W_3(p, q) = \frac{2}{\pi} \int_0^1 \frac{\mu^3 \cos p\mu e^{q\mu^2}}{\sqrt{1-\mu^2}} d\mu$$

$$W_4(p, q) = \frac{2}{\pi} \int_1^\infty \frac{\mu^3 \sin p\mu e^{q\mu^2}}{\sqrt{\mu^2-1}} d\mu$$

$$W_{1z}(p, q) = \frac{1}{\pi^2} \int_0^\infty d\mu \int_0^\infty \frac{\chi \sin(q\chi + 2\varepsilon) \cos p\mu}{\sqrt{\mu^2 + \chi^2}} d\chi$$

$$W_{2z}(p, q) = \frac{1}{\pi^2} \int_0^\infty d\mu \int_0^\infty \frac{\chi \sin q\chi \cos p\mu}{\sqrt{\mu^2 + \chi^2}} d\chi$$

上記の関数はそのままで数値積分は不可能であるので、変形して、総ての p と q について計算できるプログラムである。

2.5 計算の手順

すべてのプログラムは、GAUSS の 10 点法の係数の SUBROUTINE に行き、次に分割数を自動的に決めて、波動関数の倍長演算で積分を行なうものである。

2.6 入力

各プログラムとも入力データは不必要である。

2.7 出力

p と q と波動関数名を LP に出力し、次に、計算された波動関数を一点の p について q が 11 点につき LP と MT に出力する。

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

各プログラムとも自動的に有効数字が 5 桁以上あるようになっている。

3.2 計算所要時間

1 点の p で、 q が 11 点計算するに 3 秒から 20 分の間である。

3.3 適用範囲と制限事項

$W_4(p, q)$ は q が -0.05 以上なればよい。 $W_4(p, q)$ と $W_{1z}(p, q)$ とは q が零の場合は別の計算である。

本プログラムでは p が 0~10.0 までを 0.1 間隔について、 q が 0~-0.5 までを 0.05 間隔について、計算することができる。

また、このプログラムに付加すれば、非定常の波動関数に適用できる。

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 処理による。SUBROUTINE は MT に RB で入っているものを使用する。

4.2 応用

MT に RB で格納してある SUBROUTINE

44-CONST GAUSS の係数 (10 点法) と π

44-NEUMAN Neumann 関数の $Y_0(z)$, $Y_1(z)$ を計算する

44-STRUVE Struve's 関数の $H_0(z)$, $H_1(z)$ を計算する

があり、これらは一般に利用可能なプログラムである。

4.3 他機種への移行

上記プログラムは総てコア上で演算されているので、使用可能なコアが 8kW 以上ある計算機なれば移行は可能である。

参考文献

- 1) 花岡達郎 “定常造波抵抗理論の基礎問題”，第 90 号，造船協会論文集。

S-3 細長体理論による船体まわりの流れの計算プログラム

運動性能部 菅 信

1. プログラムの目的および概要

任意の 3 次元物体のまわりの非揚力ポテンシャル流を数値的に解くには、1000 元程度の連立 1 次方程式を解ける大型の計算機が必要である。あるいはこの連立方程式は係数行列の対角元が大きいので行列をいくつかに分けて部分的に解く方法を使えるとしてもやはり数 100 元までは解けなくてはならず当所の計算機の能力を超える。そこで船体が細長い物体であることを考慮し、いわゆる細長体理論を使うと 3 次元の問題を 2 次元の平面問題として扱えばよいことになり、問題はきわめて簡単になる。連立方程式も 20 元程度が解ければよいので、中小型計算機で十分まに合う。ここに述べるプログラムは、この細長体理論により、直進、斜航を含めた定常旋回中の船体表面上の速度分布を求めるものである。ただし造波現象は考えない。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号、名称

44-041

Potential Flow about a Ship Hull (Arbitrary Sectional Shape)

2.2 製作者

運動性能部 菅 信

2.3 製作年月

昭和 44 年 9 月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

細長体理論では、船体表面上の吹出し分布 q を求める積分方程式は次のように表わされる。

$$p(x, \theta) = -2\bar{V}_{ON}(x, \theta) + \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi p(x, \theta') \cdot K_0(x; \theta, \theta') d\theta' \quad \dots\dots(1)$$

ここで

$$K_0(x; \theta, \theta') = 2R^* \{ \{ R^* \cos(\theta - \theta') - R + R^* R_\theta \cdot \sin(\theta - \theta') / R \} / R_M + \{ R^* \cos(\theta + \theta') - R + R^* R_\theta \sin(\theta + \theta') / R \} / R_p \} \quad \dots\dots(2)$$

$$R_M = R^2 + R^{*2} - 2RR^* \cos(\theta - \theta'), \quad R_p = R^2 + R^{*2} - 2RR^* \cos(\theta + \theta') \quad \dots\dots(3)$$

$$\bar{V}_{ON}(x, \theta) = V_{ON} F = V_0 \{ -R_x \cos \alpha + R_x R \Omega \cos \theta + (\cos \theta + R_\theta \sin \theta / R) \times (\sin \alpha + \Omega x) \} \quad \dots\dots(4)$$

$$F = \sqrt{1 + R_x^2 + (R_\theta / R)^2} \quad \dots\dots(5)$$

$$p(x, \theta) = F \cdot q(x, \theta) \quad \dots\dots(6)$$

であり、 V_{ON} は一般流の法線速度成分である。

次に攪乱流の各速度成分は船体表面上で次のように表わされる。

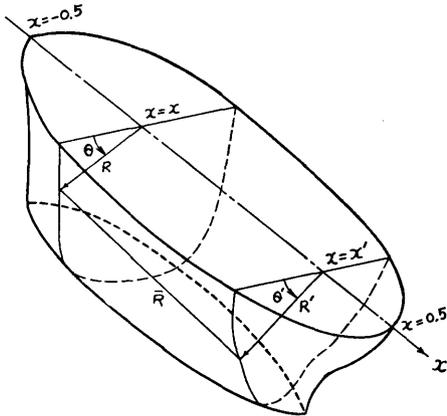


図-2 座標系

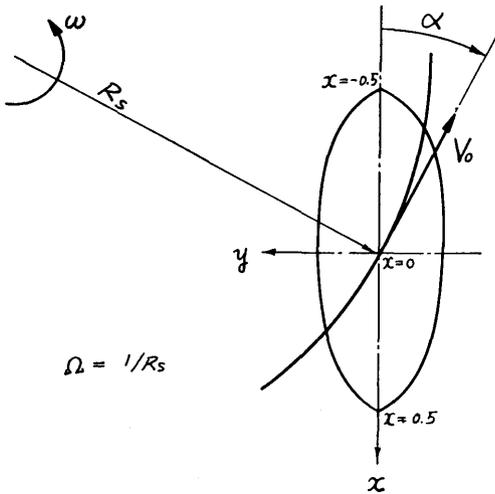


図-3 定常旋回

$$v_x = -\frac{\dot{p}}{2} \cdot \frac{R_x}{F^2} - \frac{1}{\pi} \cdot \frac{x}{x^2 - 0.25} \int_0^\pi p^* R^* d\theta' + \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi p^* R^* R_x^* K_3 d\theta' + \frac{1}{2\pi} \{2 - \ln(1 - 4x^2)\} \int_0^\pi (p^* R^*)_x d\theta' + \frac{1}{4\pi} \int_0^\pi (p^* R^*)_x K_5 d\theta' \quad \dots(7)$$

$$v_r = \frac{\dot{p}}{2} \cdot \frac{1}{F^2} + \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi p^* R^* K_7 d\theta' \quad \dots(8)$$

$$v_\theta = -\frac{\dot{p}}{2} \cdot \frac{R_\theta}{R} \cdot \frac{1}{F^2} - \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi p^* R^* K_8 d\theta' \quad \dots(9)$$

ここで $p^* = p(x, \theta')$, $R^* = R(x, \theta')$ 等である。
また

$$K_3 = \{R^* - R \cos(\theta - \theta')\} / R_M + \{R^* - R \cos(\theta + \theta')\} / R_p \quad \dots(10)$$

$$K_5 = \ln(R_M \cdot R_p) \quad \dots(11)$$

$$K_7 = \{R - R^* \cos(\theta - \theta')\} / R_M + \{R - R^* \cos(\theta + \theta')\} / R_p \quad \dots(12)$$

$$K_8 = \sin(\theta - \theta') / R_M + \sin(\theta + \theta') / R_p \quad \dots(13)$$

である。(7)の p_x^* は次の積分方程式を解いて求める。

$$p_x(x, \theta) = -2\bar{V}_{ONx}(x, \theta) + \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi p(x, \theta') \cdot K_{0x}(x; \theta, \theta') d\theta' + \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi p_x(x, \theta') \cdot K_0(x; \theta, \theta') d\theta' \quad \dots(14)$$

積分方程式(1)および(14)は、核関数に特異性がないのでそのまま $M+1$ 元の代数方程式に直して解く。数値積分公式としては梯形則を使った。また特異積分については Cauchy の主値または Hadamard の主値を取ればよいことは明らかなのでプログラム上もそのように処理してある。

2.5 計算の手順

計算の手順は、図-4 フローチャートに示すごとくである。

2.6 入力

必要な入力データは次のごとくである。

- (1) 旋回角速度, 偏角……Key

Board より

OM = Ω …無次元旋回角速度

F 6.3

AL = α …偏角 (度)

F 7.2

- (2) 分割数, 断面の位置……PTR

より

考えている船体横断面で

M … θ が 0 から 180° までの円

周方向の分割数 I 3

X … その断面の x 座標

F 7.4

- (3) 船体表面の幾何学的形状および勾配…PTR より

考えている船体横断面で

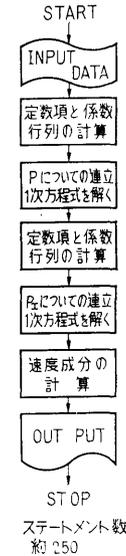


図-4 フローチャート

$$R(I) = R \quad I = 1 \text{ から } M+1 \text{ まで} \quad F 8.5$$

$$RX(I) = \partial R / \partial x \quad \text{"} \quad F 6.3$$

$$RXX(I) = \partial^2 R / \partial x^2 \quad \text{"} \quad F 6.2$$

$$RT(I) = \partial R / \partial \theta \quad \text{"} \quad F 8.5$$

$$RTX(I) = \partial^2 R / \partial \theta \partial x \quad \text{"} \quad F 6.3$$

$$RTT(I) = \partial^2 R / \partial \theta^2 \quad \text{"} \quad F 6.3$$

$$RTTX(I) = \partial^3 R / \partial \theta^2 \partial x \quad \text{"} \quad F 6.2$$

添字 I は $\theta = (I-1)\pi/M$ の値であることを示

す。

2.7 出力

考えている横断面位置の各 $\theta = (I-1)\pi/M$ で

VX…軸方向速度成分 $(V_x + v_x)/V_0$

VR…半径方向速度成分 $(V_r + v_r)/V_0$

VT…円周方向速度成分 $(V_\theta + v_\theta)/V_0$

$V = \sqrt{(V_x + v_x)^2 + (V_r + v_r)^2 + (V_\theta + v_\theta)^2}/V_0$

VON…一般流法線速度成分 V_{ON}/V_0

SVN…攪乱流法線速度成分 v_n/V_0

Q…吹出しの強さ q/V_0

ここで V_x, V_r, V_θ は一般流の各速度成分で次のように表わされる。

$$\left. \begin{aligned} V_x &= V_0 \cdot (\cos \alpha - \Omega R \cos \theta) \\ V_r &= V_0 \cdot (\sin \alpha + \Omega x) \cos \theta \\ V_\theta &= -V_0 \cdot (\sin \alpha + \Omega x) \sin \theta \end{aligned} \right\} \dots\dots(15)$$

3. プログラムの検定

3.1 計算誤差, 精度

計算精度は, 入力データがせいぜい3桁しかないので, v_x, v_r, v_θ, q がそれぞれ有効数字3桁まで得られることを目標とした。演算は連立方程式を含めすべて単語長(約7桁)で行なった。

3.2 演算時間

分割数 $M=18$ とした場合, ひとつの断面位置について約2分。あるひとつの運動状態で船体表面全体を計算するのは, 20の断面位置で計算するとして約40分かかる。直進の場合は約20分でできる。

3.3 適用範囲, 制限事項

分割数はある程度細かくなくてはならないが, あまり細かくしても入力データをつくる労力が大変なだけでむしろ精度が落ちる危険もあり, $M=18$ ぐらいが適当と思われる。

3次元計算との差は, 軸長比が実際の船と同程度の楕円体の場合, 局所的な圧力で最大数%しか違わないのに, 実際の普通船型の場合にはこれが数10%にもなることがある。これは主に v_x によるのであって v_r, v_θ の方はあまり問題はない。また圧力の方も船体表面全体の平均値は3次元計算とあまり変わらないから船体沈下等の計算には十分使える。比較的単純な形の3次元的数式船型の場合には, 実際の船型よりはずっとよい結果が得られるはずである。

4. プログラムの使用について

4.1 オペレート

プログラムの実行は, ¥ BATCH で PT より行なう。

4.2 プログラムの応用

浅水影響, 側壁影響を計算できるプログラムに発展させることは近い将来に可能である。そのときに船体沈下, トリム等を計算するプログラムを同時に組み込みたい。

5. あとがき

当所の計算機能力の制限から, 船体まわりの流れを計算するのに細長体理論を用いたプログラムをつくったが, 実際の船型については3次元計算との一致は十分満足すべきものとはいえず, 局所的な圧力の計算にはさらに工夫を要する。一方, 流れの方向をみたり, 船体沈下を計算したりするには十分実用性がある。

参考文献

菅 信「船体まわりの流れの計算」(その2, 任意断面形)第14回船研研究発表会講演概要, 1969. 11.

S-4 ストリップ法による規則波中の船の縦運動計算プログラム

運動性能部 安 藤 定 雄
推進性能部 小 山 鴻 一

1. プログラムの目的および概要

最近, 電子計算機の発達にともない船体運動の計算が盛んに行なわれるようになってきた。それらは2次元物体に働く流体力から船体運動を計算する。一般に

いわれるストリップ法に基づくものである。この理論によって計算された結果と水槽試験結果が非常によく一致することが得られているので^{1),2)}, 最近では, ストリップ法で縦運動の推定を行なうし, 実験をある程

度省略できるので、船の運動を求める重要な一つの手法として普通よく用いられている。そこで、FACOM 230-10 で計算していたプログラムを FACOM 270-20 用に改良したプログラムである。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号, 名称

44-060

Ship Motion In Regular Wave By Strip Method
(pitch, heave, relative bow motion)

2.2 製作者

運動性能部 安藤定雄

推進性能部 小山鴻一

2.3 製作年月

昭和 44 年 12 月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

船をいくつかの Strip に分けて、その水面下の図形を等角写像で単位円に写像する場合の写像関数の二つの係数 a_1, a_3 を求める。(Lewis form)

そして、Laplace の方程式を満足し、自由表面条件を満足させ、速度ポテンシャルとこれに共軛な流れ関数から付加質量および減衰係数を求める。

そこで、固定座標系に関する船体の縦運動方程式は次のように表わされる。

$$\left. \begin{aligned} (m+a)\ddot{z} + b\dot{z} + cz - d\ddot{\theta} - e\dot{\theta} - g\theta \\ = F_c \cos \omega_e t - F_s \sin \omega_e t \\ (J_0 + A)\ddot{\theta} + B\dot{\theta} + C\theta - D\ddot{z} - E\dot{z} - Gz \\ = M_s \sin \omega_e t - M_c \cos \omega_e t \end{aligned} \right\} \dots\dots(1)$$

(1)の連立方程式の各係数は船の主要目と各 Strip の付加質量および減衰係数を船の艀から艫まで積分して求める。そして、連立方程式を解けば縦揺と上下揺と位相が得られる。それから相対水位、縦揺と上下揺の周期も得られる。

本プログラムの特徴としては次のとおりである。

- 1) 船のオフセットを入れると船体運動まで計算される。
- 2) 波との出会う角度は $0^\circ \sim 180^\circ$ までを 30° 間隔で計算し、速度は $F_n = 0 \sim 0.3$ まで 0.1 間隔を自動的に計算する。
- 3) 付加質量と減衰係数はMTに入っているの、あとは必要な箇所における値を内外挿で求めるから、演算速度が非常に速くなっている。

2.5 計算の手順

計算の手順は、図-5 のフローチャートに示すごとくである。

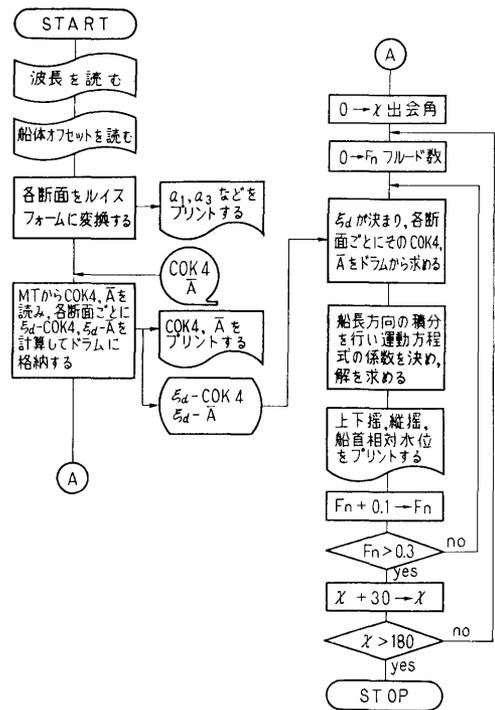


図-5 フローチャート

2.6 入 力

必要な入力データは次のごとくである。

- NW (I 4) ……波の種類の数
 - RBL (F5.2) …… $\sqrt{L/\lambda}$ 船長—波長比
 - NOS (I 4) ……船の番号
 - SL (E14.7) ……船の垂線間長
 - SWL (E14.7) ……船の喫水線の全長
 - TMO (E14.7) ……喫 水
 - BMO (E14.7) ……船 幅
 - SKI (E13.6) ……環動半径
 - DSR (E13.6) ……A. P 以後の分割した長さ
 - DSH (E13.6) ……Base Line 部の Keel 幅
 - DHH (E13.6) ……raise of flower
 - TN (F6.3) ……各断面の喫水
 - BI (F6.3) ……各断面の各喫水での船幅
 - NS (I 2) ……各断面の番号
 - NCO (I 2) ……各断面の条件
- (-1 は Base Line まで喫水がない場合、1 は Keel 幅が DSH を小さい場合、その他は 0)

2.7 出 力

入力データの総てと、

ALF (F10.3)……船幅一喫水比
 BET (F8.3)……断面積係数
 AS (F10.3)……断面積
 AA (F10.3)……Lewis form 変換の a_1
 BB (F9.3)……… ” a_3
 CB (F7.4)……… C_b
 CP (F7.4)……… C_p
 DIS (F10.3)…… Δ
 CW (F7.4)……… C_w
 XLB (F13.4)……… l_{cb}
 Y (F13.4)………各断面の付加質量と減衰係数

船体運動については、

CWI………波との出会角
 FN ……速 度
 WLB ……波 長
 FAIO ……pitch の無次元値
 BETA …… ” の波との位相差
 TETAO ……heave の無次元値
 ALPHA …… ” の波との位相差
 TEFA ……pitch と heave との位相差
 ZRO ……Relative bow motion の無次元値
 GAM ……Relative bow motion の波との位相差
 VB ……pitching の固有周期
 VA ……heaving の ”

3. プログラムの検定

3.1 計算精度

計算精度は、最終結果が有効数字で 3~4 桁以上あることを倍長演算や他機種との比較で検討してある。

3.2 演算時間

SUBROUTINE LEWIS が 35 秒であり、SUBROUTINE INTOA が 3 分である。したがって、初期の演算に 3 分 35 秒を必要とし、以後は方向、速度と波長が決まった、1 点につき約 4 秒であるので 1 隻について考えれば方向を 7 種類、速度を 4 種類で波長を 15 点とした場合はコンパイル時間を除外すれば、総計演算時間は、10 分 35 秒である。

3.3 適用範囲、制限事項

計算は方向を $0^\circ \sim 180^\circ$ まで 30° 間隔であり、速度は F_n で $0 \sim 0.3$ までを 0.1 間隔であり、波長は最大 20 点までとなっているので、これ以外で計算したい場合はメインを簡単に改良すればよい。また、船の各位置での相対水位、上下加速度、Bending モーメントもこれにほんの少しの SUBROUTINE を増加すれば得ることも可能になる。

4. プログラムの使用法と応用

4.1 オペレート

実行は BATCH 処理による。

4.2 応 用

このプログラムと類似な方法によって、船体の横運動計算のプログラムを作ることができる。

4.3 他機種への移行

本プログラムはメインと小さな SUBROUTINE 3 つが COMMON であり、他の主要な SUBROUTINE は SEGMENT で、普通ドラム上にあり、他に DRUM DIMENSION も使用しているので、大型計算機には少々の修正で可能であるが、小型には一度に計算できるプログラムには、不可能である。

5. あとがき

本プログラムを用いて、当部で行なった波浪中の試験船については皆計算することにした。また、今後、実験を行なう前に計算をすることにする。

一方、横運動の計算用プログラムも作成する予定であり、2次元理論で終らずに3次元理論についても考えている。

参考文献

- 1) Y. Yamanouchi and S. Ando; "Experiments on a Series 60, $C_b=0.70$ ship Model in Oblique Regular Waves", No. 26, Papers of Ship Reserch Institute.
- 2) Y. Yamanouchi and S. Ando; Comparison of Computer program results for ship behaviour in Oblique Regular waves", No. 26, Papers of Ship Reserch Institute.
- 3) 福田淳一: "規則波中の船の縦曲げモーメント" 第 110 号, 第 111 号, 造船協会論文集.

S-5 不規則振動の統計解析用プログラム

運動性能部 安藤定雄

1. プログラムの目的および概要

時間とともに、そのとる値が変動していく現象の研究は、電気通信工学で入出力としての電圧とか電流の取り扱いに、経済学では経済量の変動に、あるいは船舶とか飛行機とか自動車の振動の問題に、その他非常に多くの部門において必要である。この問題の数学的取り扱いについては、数多くの文献があるので、ここでは省略しプログラム自体について述べる。

プログラムは自己相関および相互相関の場合の応答とその評価等が得られるものである。また、実験から解析まで、ON-LINE で解析可能になっている。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称

44-018-1

Auto Spectrum

44-053

Auto Spectrum (作図用)

44-018-2

Cross Correlogram

44-018-3

The Response Function of A System
Having Multiple Input

2.2 製作者

運動性能部 安藤定雄

2.3 製作年月

昭和 44 年 10 月

2.4 計算の基礎となる理論と概要

ここで、基礎となる理論を述べることは省略する。そこで、多入力の場合についての実際の計算順を赤池氏¹⁾の方法にしたがって述べる。

データは $\{x_0(n\Delta t), x_1(n\Delta t), \dots, x_k(n\Delta t); n=1, 2, \dots, M\}$ で与えられている。

1) コレログラム $C_{jl}(m)$

$(m=0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm h; j, l=0, 1, 2, \dots, k)$

$$C_{jl}(m) = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^{M-m} x_j(m+n) \tilde{x}_l(n) \quad (h > m > 0)$$

$$= \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M \tilde{x}_j(m+n) \tilde{x}_l(n) \quad (-h < m < 0)$$

ここで、 $\tilde{x}_j(n) = x_j(n\Delta t) - \bar{x}_j$

$$\bar{x}_j = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M x_j(n\Delta t)$$

である。

2) $C_{jl}(m)$ のスペクトラム $\bar{p}_{jl}(r)$
 $(r=0, 1, 2, \dots, h)$

$$\bar{p}_{jl}(r) = \sum_{m=-h}^h \exp\left(-i2\pi \frac{r}{2h} m\right) C_{jl}(m)$$

3) $\bar{p}_{jl}(r)$ のスムーズド スペクトラム $\hat{p}_{jl}(r)$

$$\hat{p}_{jl}(r) = \sum_{n=-a}^a a_n \bar{p}_{jl}(r-n)$$

ここで、 a_n は適当なウエイト関数である。

4) $\hat{p}_{jl}(r)$ で次のマトリックスを作る

$$\begin{pmatrix} \hat{p}_{11}(r), \hat{p}_{12}(r), \dots, \hat{p}_{1k}(r), \hat{p}_{10}(r) & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \hat{p}_{21}(r), \hat{p}_{22}(r), \dots, \hat{p}_{2k}(r), \hat{p}_{20}(r) & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{p}_{k1}(r), \hat{p}_{k2}(r), \dots, \hat{p}_{kk}(r), \hat{p}_{k0}(r) & 0 & 0 & \dots & 1 \\ \hat{p}_{01}(r), \hat{p}_{02}(r), \dots, \hat{p}_{0k}(r), \hat{p}_{00}(r) & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

ここで、 $\hat{p}_{jl}(r)$ と $\hat{p}_{lj}(r)$ は Complex Conjugate である。

このマトリックスを逆行列の解法に従って計算し、

$$\begin{pmatrix} 1, 0, \dots, 0, \alpha_1, \gamma_{11}, \gamma_{12}, \dots, \gamma_{1k} \\ 0, 1, \dots, 0, \alpha_2, \gamma_{21}, \gamma_{22}, \dots, \gamma_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0, 0, \dots, 1, \alpha_k, \gamma_{k1}, \gamma_{k2}, \dots, \gamma_{kk} \\ 0, 0, \dots, 0, \varepsilon, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k \end{pmatrix}$$

とする。

5) Gain

$$A_j \left(\frac{r}{2h\Delta t} \right) = \hat{A}_j(r) = -\beta_j = \bar{\alpha}_j$$

Multiple Coherence

$$\hat{\gamma}_{0^2, 12 \dots k}(r) = 1 - \frac{|\varepsilon|}{\hat{p}_{00}(r)}$$

Partial Coherence

$$\hat{r}_{0j}^2, 12 \dots j \dots k(r) = \frac{|\alpha_j|^2}{|\epsilon \gamma_{jj} + |\alpha_j|^2|}$$

Relative Error

$$R_j, \delta(r) = \left(\frac{1}{N-k} \frac{\epsilon \gamma_{jj}}{|\alpha_j|^2} F(2, 2(N-k), \delta) \right)^{1/2}$$

以上を計算する。

本プログラムの特長

1) 当部の A-D 変換器より ON-LINE で、計測されたデータが計算機のドラムに転送することが可能である。したがって、必要な入力データ (計測項目, サンプル時間々隔, キリプレーション定数など) を A-D 変換器の最後の部分に入れて置くと、自動的に計算される。

2) 各プログラムの最大解析容量

44-018-1 と 44-053

チャンネル数	8 項目
データ数	1,000 個 (各項目)
ラグ数	120 個

44-018-2

チャンネル数	8 項目
データ数	1,000 個 (各項目)
ラグ数	100 個
シフト数	±10 個

このプログラムでは、任意のチャンネル間の相互相関を計算できるように、毎回キーからチャンネルを指定する。これを何回でも可能になっている。

44-018-3

チャンネル数	6 項目
データ数	1,000 個 (各項目)
ラグ数	100 個

2.5 計算の手順

入力は決まっているが、出力はセンススイッチで如何にも変化する。また、初期値も毎回入れる必要なし、また、A-D 変換器と ON-LINE の場合のプログラムもあれば、OFF-LINE のもあるので、フローチャートは省略する。

2.6 入力 (OFF-LINE の場合)

チャンネル数	ICH	I 4
模型番号	IMNO	I 4
ラグ数	LAG	I 4
サンプル時間間隔	DELT	F 5.3
項目名	AITEM, BITEM	

A8 (16 字まで)

キャリプレーション定数

	ACAL	E 11.4
テスト番号	ITEST	I 4
データ	IX	I 4

以上は共通である。

IN PUT	チャンネル数	ICHA	I 1
OUT PUT	"	ICHB	I 1

以上は相互相関の場合に必要なである。

OUT PUT	チャンネル数	IOUT	I 4
---------	--------	------	-----

これは、多入力の場合に必要なである。

2.7 出 力

入力データのすべてを出力するほか、データ数、コログラム、スペクトラム、分散、スペクトラムの面積積分と分散の比、位相と 2.4 で述べたものすべてが、ラインプリンターに出力させることもできる。

3. プログラムの検定

3.1 計算誤差, 精度

計算精度は、最終結果では伊藤忠の CDC と比較した範囲では 4~5 桁であったが、すべてを 16 桁で計算したものは 3~4 桁であったことから、精度は有効数字 3 桁以上であるといえる。計算はシングルである。

3.2 演算時間

オートスペクトラムの場合には 15 秒から 1 分の間であり、作図は一つのスペクトラムにつき 30 秒である。一例を図-6 に示す。2 入力の場合は 20 秒から 1 分で 1 つの相互相関が得られる。多入力では 2 分から 10 分である。これらはコンパイル時間を含まない。

3.3 適用範囲, 制限事項

このプログラムを使用すれば、不規則的に変動している現象の応答などは如何なる場合でも得られるが、統計解析を行なった場合の意義については、利用者の方の思慮によるものである。

プログラムの解析可能な容量はで述べてあるとおりでである。

4. プログラムの使用について

4.1 オペレート

実行は BATCH 処理による。

4.2 応 用

多入力までの解析を行なえば、統計論的には完了したと思われるが、超大型の計算機があれば、高次スペクトラム、ベクトルのスペクトラムや条件つきスペクトラムに進展することは可能である。

4.3 他機種への移行

相当詳しいデータが入手できるようになってきている。本報告ではこれらのデータを活用して、船の操縦運動、針路安定性等の計算を行なったもののうち、一様な風と流れの中で直進状態から操舵した後の船体運動を計算するプログラムを示し、他の応用プログラムについても解説する。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号, 名称

44-007-4

Steered Motion in Wind and Flow

2.2 製作者

運動性能部 小川陽弘

2.3 製作年月

昭和 44 年 7 月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

固定座標系に関する船体運動方程式は次の(1)式のように表わされる¹⁾。

$$\left. \begin{aligned} (m+m_x)\dot{u}_x &= E_H + E_W + E_T(1-t) \\ &+ [(m+m_y)v_y \\ &- (m+m_x)U_F \sin \\ &(\Psi_F - \phi)]r \\ (m+m_y)\dot{u}_y - F\dot{r} &= F_H + F_W \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} -[(m+m_x)v_x \\ - (m+m_y)U_F \cos \\ (\Psi_F - \phi)]r \\ (I_z + I_{zx})\dot{r} - G\dot{u}_y &= G_H + G_W \\ -G\dot{u}_y U_F \cos(\Psi_F - \phi)r \end{aligned} \right\} \dots\dots(1)$$

ただし座標系および記号は図-7, 表-4 に示すものである。

船体運動は(1)式から加速度および角加速度を求め、これを順次数値積分することにより速度および角速度、位置および方位角、偏角および転心等を計算して得られる。

船体に働らく流体力のうち、船体抵抗成分 E_H はフルード数の関数として、風の力とモーメント E_W , F_W , G_W は風向角の関数として数値で与えて内挿により求め、他は微係数を用いて数式的に計算する。

これらに関しては 1) に詳細に記述されている。

数値積分の方法としては、船の操縦運動のように加速度が小さい場合には逐次積分法で十分であり、計算機の容量、計算速度等を考慮すれば、むしろこの方がルンゲ・クッタ等の方法によるよりもすぐれていることが知られている^{2),3)}。

2.5 計算の手順

表-4 記号

$O-X, Y$	Coordinate system fixed in space
X_O, Y_O	Position of C. G. of ship referred to $O-X, Y$
o_o-x, y	Coordinate system fixed in ship, origin at C. G.
U_F, Ψ_F	Absolute speed and direction of uniform flow
U_B, Ψ_B	Absolute speed and direction of uniform wind
U, β	Apparent speed and drift angle of ship
u_x, u_y	x -and y -components of U ($=U \cos \beta, -U \sin \beta$)
r	Turning rate of ship ($=\dot{\phi}$)
ϕ	Heading angle
V, β_V	Relative ship speed and drift angle to water
v_x, v_y	x -and y -components of V ($=V \cos \beta_V, -V \sin \beta_V$)
W, β_W	Relative ship speed and angle to air
Ψ	Course angle ($=\phi - \beta$)
σ	Rudder angle
m, I_z	Ship's mass and mass moment of inertia
m_x, m_y, I_{zx}	Added mass components and added moment of inertia
E, F, G	x -and y -components of force and moment on ship
E_H, F_H, G_H	Hydrodynamic forces and moment below waterline
E_W, F_W, G_W	Aerodynamic forces and moment above waterline
E_T, t	Propeller thrust and thrust deduction coefficient
p	Distance of pivoting point before C. G.

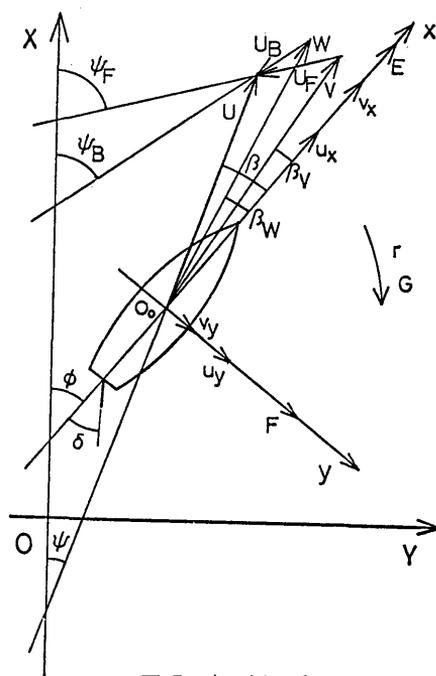


図-7 座標系

計算の手順の概略を図-8 の流れ図に示す。多くのサブプログラムは他の同種のプログラムと共用する目的で作ってあるので、一見無用と思われるような部分もある。データの配列についても同様である。

2.6 入 力

入力データは紙テープおよびキーボードから与えられる。紙テープには次のデータを与える。

- 1) 風の力の成分およびモーメント(無次元値)。ただし風の力を考慮しない時は0とすることもできる。
- 2) 水の力の y 成分およびモーメントの微係数(無次元値)。舵角, 横速度成分, 回頭角速度の3次までの組合わせの関数として定めたもの。
- 3) 付加質量係数, 付加環動半径, 船の長さ, 船体の環動半径, 排水量等。
- 4) 船体抵抗係数。
- 5) 初速等。
- 6) 操舵速度, 最大舵角。
- 7) 位置, 方位等の計算終了条件, 限界舵角および偏角, 計算時間間隔, 出力時間間隔等。
- 8) 標示用文字。

キー入力は流速, 流向, 風速, 風向の初期値を与える。

2.7 出 力

出力はラインプリンターに打出される。実船の運動について指定時間々隔ごとの時刻(分), 舵角(度), 見かけの偏角(度), 対水偏角(度), 回頭角速度(無次元), 見かけの転心(無次元), 速度(初速に対する比), 時刻(秒), 縦距(船長比), 横距(船長比), 船首方位角(度)が印刷され, 最後に計算終了条件を打出して1状態を終る。終了条件とはあらかじめ与えた位置, 方位, 時間等を過ぎたとき, あるいは速度が抵抗曲線の範囲から外れた場合, 偏角が極端に大きくなってしまう場合等を文字によって標示するものである。

3. プログラムの検定

3.1 計算精度

このプログラムの場合, 誤差の大半は計算時間々隔に依存する。運動が非定常な範囲ではこれは短かいほど良いが, 巨大船で1秒位にとれば十分である。定常状態に入ると(一様に流される場合も含めて)5秒でも実用上差は出ない。入力データの精度を考慮すれば, これ以上計算精度を上げて意味がないと思われる。なお計算はすべて単語長で行なっている。

3.2 演算時間

入力条件, 終了条件によって全く異なるが, 1状態につき最大3分程度である。

3.3 制限事項

計算は無次元値を入力として, 実船の実時間で行なっているから, 船の種類によってはプログラムを一部変更する必要がある。また風や流れの条件についてもプログラムで変更する必要がある部分もある。

4. プログラムの使用について

4.1 オペレート

実行は BATCH 処理による。サブルーチンは MT に RB で入っているものを使用する。

4.2 応 用

このプログラムと類似の方法で, 船の操縦運動に関する他のプログラムを作ることができる。現在までに次の3種が一応完成している。サブルーチンはいずれも共通のものを多く使用するので, 同一MTを用いている。

- (a) 44-007-1 初期外乱を受けた船の運動
- (b) 44-007-2 風と流れの中で直進可能な速度範囲およびその最低速度における針路安定性
- (c) 44-007-3 Z操舵による風と流れの中の操縦性指数の計算

(a), (c)の中には, 運動の各要素をLPで図化して直視できるようにするためのサブルーチンも使用して

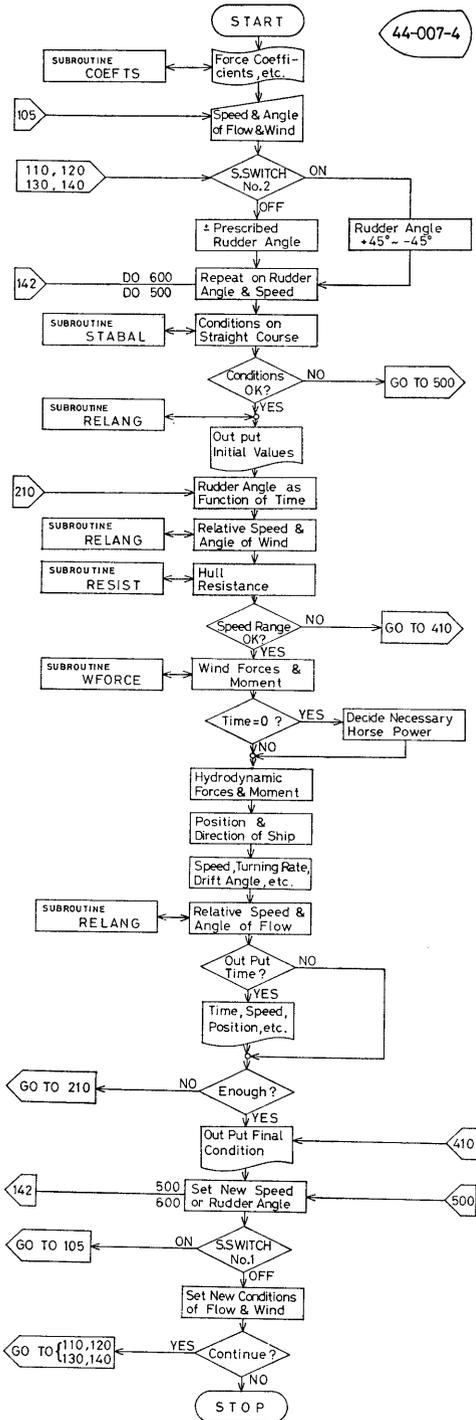


図-8 (a) メインプログラムのフローチャート

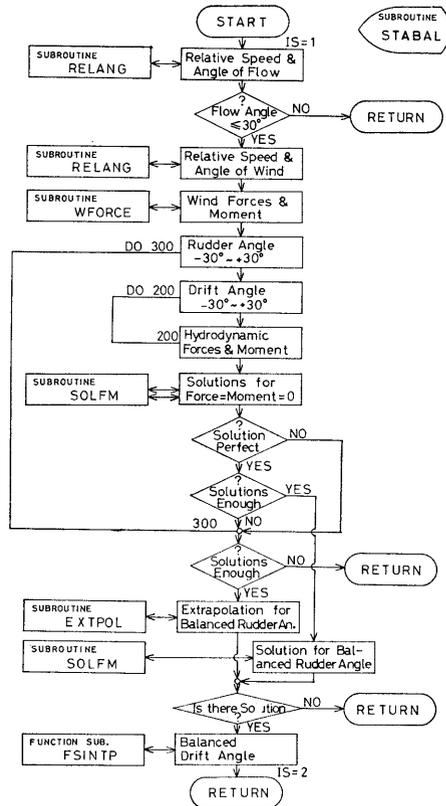


図-8 (b) サブプログラムのフローチャート

り、これはXYプロッターほどの精度を要求しない場合には、そのまま結果のグラフとして用いることもできるので、一般に利用可能である。Z操舵の例を図-9に示す。

4.3 他機種への移行

上記各プログラムとも、現在コア 16kW をフルに使用しているので (ドラムには多少余裕があるが)、さらに進んだ計算を行なうためにはコア容量を増大させることが望ましい。

5. 結 言

操舵にともなう船の運動をある程度正確に Simulate できることがわかった。現在はまだプログラム開発を始めて間もないので不備な点も多く、しばしば書き直しながら使っているような実状である。

さらに多くのデータが得られれば、細かい点の計算法を改良して精度を向上させることもできるし、外力についても風や流れの他に波の力、曳船による力、オートパイロットの動作などを計算に入れることも可能である。これらについては電子計算機による数値計算

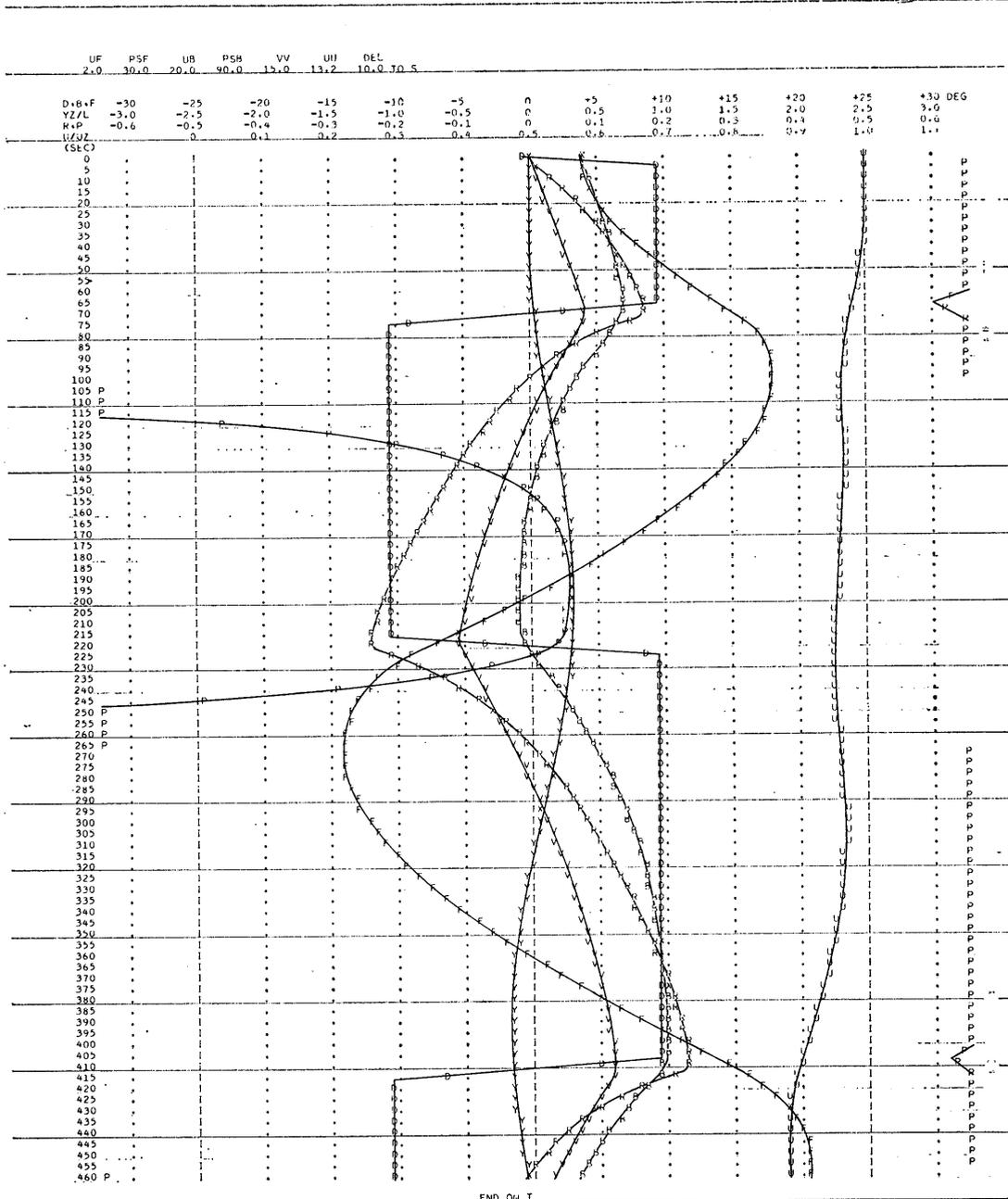


図-9 Z 操舵の計算例

法の利点を活かしてさらに多くのプログラムを作る予定である。

参考文献

1) 小川陽弘：外力を受ける船の操縦運動の計算(その1)，日本造船学会論文集，第126号，

1969.

2) J. Strom-Tejsen: A Digital Computer Technique for Prediction of Standard Maneuvers of Surface Ships, DTMB Report 2130, 1965.
3) Hsao-Hsin Chen: Some Aspects of Ship Maneuverability, JSR, Vol. 13, No. 2, 1969.

S-7 軸力をうける梁の塑性モーメントに関する計算プログラム

船体構造部 有田喜久雄

1. プログラムの目的および概要

船の甲板や船底の構造要素である縦通部材は，船体縦曲げによる軸力と同時に甲板荷重あるいは水圧等による横荷重をうける。このような板つき防撓材の塑性強度を求めるには，軸力と塑性モーメントの関係を計算する必要がある。

軸力-塑性モーメントの相関曲線については，板付き形鋼を含めた各種の形鋼について図表であらわされたものがある¹⁾。しかし，高張力鋼を使用した場合の混用梁あるいは組立て桁については実際に計算する必要があるので，任意のI形梁の相関曲線を求める電子計算機用プログラムを作成した。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号，名称

44-008

Calculation of Plastic Moment

2.2 製作者

船体構造部 有田喜久雄

2.3 製作年月

昭和44年3月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

最も簡単な例として，図-10に示すような対称混用梁については，全断面積を A ，ウェブの面積を A_3 と

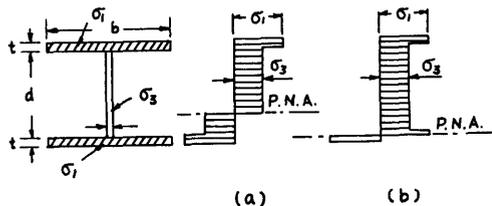


図-10 対称混用梁の応力分布

し，全断面が降伏するときの軸力を N_p とすると，軸力 N があるときの梁の断面の図心まわりの塑性モーメント M と軸力がない場合の塑性モーメント M_p との比 M/M_p は次式により求められる。

(a) $0 \leq \frac{N}{N_p} \leq \frac{A_3}{A'}$ の場合

$$\frac{M}{M_p} = 1 - \frac{\sigma_3 A'^2}{4\omega M_p} \left(\frac{N}{N_p} \right)^2 \quad \dots\dots(1)$$

(b) $\frac{A_3}{A'} \leq \frac{N}{N_p} \leq 1$ の場合

$$\frac{M}{M_p} = \frac{\sigma_3}{4b\eta M_p} \left[2d(b\eta - \omega)A' \left(1 - \frac{N}{N_p} \right) + A'^2 \left\{ 1 - \left(\frac{N}{N_p} \right)^2 \right\} \right] \quad \dots\dots(2)$$

となる。

ここで， σ_1 ， σ_3 はそれぞれフランジおよびウェブ部材の降伏応力で

$$\eta = \sigma_1 / \sigma_3$$

$$A' = 2bt\eta + A_3$$

$$M_p = \sigma_3 \left\{ bt(d+t)\eta + \frac{1}{4}\omega d^2 \right\}$$

任意のI形梁については，断面の図心の位置が動くことを考慮して(1)，(2)式を拡張することにより求められる。

2.5 計算の手順

図-11のフローチャートに計算の手順を示す。ステップメントの数は約80である。

2.6 入力

すべて実数形式としF7.1とする。

図-12において

B1, B2……フランジの幅 (mm)

W ……ウェブの幅 (mm)

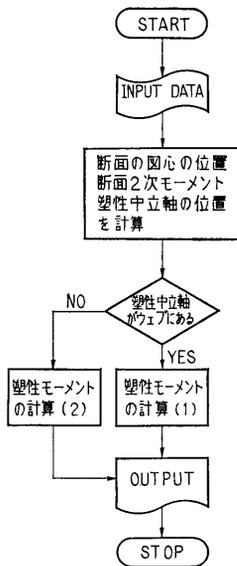


図-11 フローチャート

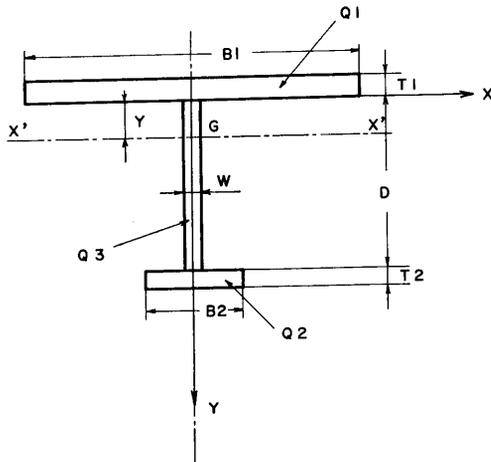


図-12 I形梁の断面図

T1, T2……フランジの板厚 (mm)

D ……ウェブの深さ (mm)

Q1, Q2, Q3……降伏応力 (kg/mm²)

2.7 出力

Y……断面の図心の位置 (mm)

IX……X' 軸のまわりの断面2次モーメント (mm⁴)

IY……Y 軸のまわりの断面2次モーメント (mm⁴)

M……塑性モーメント (kg・mm)

M/M_p……軸力がある場合の塑性モーメントと軸力がない場合の塑性モーメントとの比

PNA……塑性中立軸の位置 (mm)

3. プログラムの検定

3.1 計算誤差, 精度

計算精度は, IX, IY, M および M/M_p については有効数字4桁, Y および PNA については小数点以下2位までとする。

3.2 演算時間

計算時間は秒以下の order なので, LINE PRINTER の速さで済む。

3.3 適用範囲, 制限事項

本プログラムは I 形梁について適用される。I 形梁以外の梁に使用すると, IY は不正確となる。

4. プログラムの使用について

4.1 オペレート

プログラムの実行は ¥ BATCH で PT よりできる。

4.2 プログラムの応用

I 形梁の塑性モーメントだけでなく, 断面2次モーメント等の断面の性質を計算できるプログラムが含まれている。

5. あとがき

本プログラムによって, 断面の図心の位置, 断面2次モーメントの値および塑性中立軸の位置もあわせて求められるので, 設計の基礎資料を得るのに役立つと思われる。

参考文献

- 1) 日本溶接協会塑性設計研究委員会, 軸力小委員会編: 塑性設計資料集 (その1) 「形鋼および板付形鋼の塑性断面係数」(1962).

S-8 荷役フックの強度計算プログラム

艦装部 翁長一彦・福井正洋

1. プログラムの目的および概要

艦装品に限らず荷重を受ける鋼構造部材に対して合理的な安全使用荷重を定めることは、一般に困難な問題である。荷役フックのように曲りの大きい金具の場合には、局部的に塑性域が生じても、部材全体として、何ら使用上支障はないので、弾性理論に基づく材料力学的計算による最大応力を許容応力以内におさえるという通常の方法で部材の寸法を定めると、その強度は過大となる。また一方、これら艦装金具に対する諸規則は Proof test を要求しているものが多く、試験荷重の下で、大きな永久変形、亀裂、破壊等の異常のないことを条件としている。このように部材に異常を生ぜしめる荷重を基準として安全係数を定めることは実際的にはあるが、この基準となる荷重を決定するには弾性的強度計算では不可能であり、一般には実験を行なうか、弾塑性的検討を行なわねばならない。

荷役フックの強度に対する弾塑性理論からの検討の例は1, 2あるが、断面形状の種々の変化を考えると、実用上不十分であると思われる。本プログラムは梁の断面形状を3つの連続する2次曲線に近似することに始まり、弾性域、片側塑性域、両側塑性域の3段階に渡って、荷重、断面各部の応力、歪、中性軸の位置、塑性域の範囲等を算出するものである。

この計算は部材の合理的な安全使用荷重の決定に対して重要な指針を与えるものと思われる。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号、名称

44-024

荷役フックの強度計算について

2.2 製作者

艦装部 福井正洋

2.3 製作年月

昭和44年3月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

計算は完全弾性範囲内にある状態、内側に塑性域が生じた状態、さらに外側にも塑性域が生じた状態の3段階に分けて行なった。

両側に塑性域が生じた状態では、釣合いの方程式は

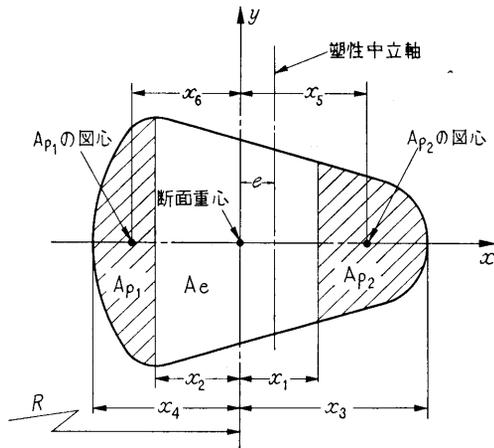


図-13 フック断面

少々の変形の後

$$\left. \begin{aligned} & \int_{Ae} (x-e)(x+r)/(R+x) dA \\ & + \{ Ap_1(x_6-r) \\ & + Ap_2(x_5+r) \} \\ & \times (x_2+e)/(R-x_2) = 0 \\ & e = (2x_1x_2 + x_2R - x_1R) / \\ & (x_2 - x_1 - 2R) \end{aligned} \right\}$$

となる。

ここで x_2 を定めると、 Ap_1 , x_6 が決まり、 Ap_2 , x_5 , Ae が x_1 の関数となるので、上2式を e と x_1 について“はさみうち法”を使って解いた。求められた e および x_1 により荷重、断面各部の応力、歪等が算出される。

2.5 計算の手順

計算の手順は、図-14 フローチャートに示すごとくである。

2.6 入力

主に必要な入力データは次のごとくである。整数はI2, 実数はF8.3とする。

(1) フックの幾何学的形状

XX (I), YY (I)……断面形状を表す座標

TH……………断面の傾斜

R……………曲率半径

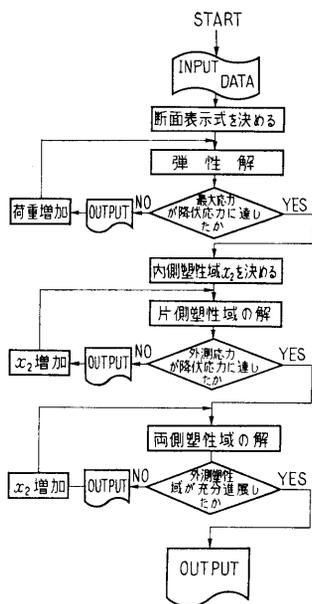


図-14 フローチャート

- RR断面図心と荷重方向との垂直距離
- (2) 材料の機械的性質
 - CY降伏応力
 - Yヤング係数
- (3) その他
 - H積分のきざみ
 - HO“はさみうち法”のきざみ
 - XO“はさみうち法”における初期値
 - DE“はさみうち法”の精度
 - X2L X_2 の増加打ち切り指令数
- 2.7 出力
 - EX断面各部の歪
 - CX断面各部の応力
 - P荷重

- E図心と中性軸との距離
- A断面の面積
- XG断面の図心位置
- $A p_1, x_6$ 内側塑性域の面積とその図心
- $A p_2, x_5$ 外側塑性域の面積とその図心
- A_e 弾性域の面積

3. プログラムの検定

3.1 計算誤差, 精度

計算精度は, 最終結果が有効数字3桁まで得られることを目標とした。

3.2 演算時間

$H=0.01$ とし “はさみうち法” に対して適切な初期値を入れた場合, 実行を ¥ BATCH として, 1断面に対して約15分である。

3.3 適用範囲, 制限事項

積分のきざみは $H=0.01$ を要する。また “はさみうち法” に使用する e と x_1 の初期値をできるだけ正確に予測しておくことが必要である。

4.1 プログラムの応用

他のサブルーチンを引数とする “はさみうち法” のサブルーチンが含まれており汎用できる。

4.2 他機種への移行

5. あとがき

本プログラムを使用して荷重とフック断面の最大歪との関係を調べることにより, 適切な安全使用荷重の推定ができる。これはフックに限らず曲り梁とみなされるような種々の断面形状を持つ部材についても応用でき, それらの合理的な安全使用荷重ならびに安全率の決定に役立つものと思われる。

参考文献

荷役フックの疲れ強さについて, 金山正博: 日立造船技報 44年1月。

S-9 Newman-Sharma 法による造波抵抗計算プログラム

推進性能部 足 達 宏 之

1. プログラムの目的および概要

船の造る波から直接造波抵抗を計算しようとする方

法がいくつか考えられている。Newman-Sharma 法は, 船の進行方向に平行な線上での波形記録を Fou-

rier 変換し, Energy Spectrum を求めるといふ法により, 船の造波抵抗を求めるものである。本プログラムは試験水槽で, 船型試験を行なう際に波形を計測し, Newman-Sharma 法により造波抵抗を求め, 船型試験解析に役立たせる目的で作られた。なお, 本プログラムは TOSBAC 3300 を使用した波形解析システムの一部をなすもので, 波形の記録, サンプリング, 平滑化, また他機種の計算機用入出力としてのデータを求める等の一連のプログラムの内の一部である。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

Fourier Transform of Wave Pattern and Calculation of P-Q Functions (FWPQ)

2.2 製作者

推進性能部 足達宏之

2.3 製作年月

昭和 43 年 6 月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

造波抵抗理論によると, 一定速度で進む波源の造波特性を表わす P - Q 関数と, 進行軸より一定な距離 Y だけ離れた線上の波の Fourier 変換との間には次のような関係があることが Newman によって示されている。

$$P(\theta) + iQ(\theta) \cong -c \sin \theta \cdot \cos \theta \cdot e^{ik_0 Y \sec^2 \theta} \cdot \sin \theta \int_{-\infty}^{\infty} \zeta(X, Y) e^{ik_0 X \sec \theta} dX \quad \dots\dots(1)$$

ここで $k_0 = \frac{g}{c^2}$, c は波源の速度, g は重力加速度, θ は素成波の角度, $\zeta(X, Y)$ は波高を表わす。

造波抵抗 R は P - Q を使って次のように表わすことができる。

$$R = \frac{16\rho k_0^2}{\pi} \int_0^{\pi/2} \sec^3 \theta [P^2(\theta) + Q^2(\theta)] d\theta \quad \dots\dots(2)$$

$$= \frac{\rho g k_0}{\pi} \int_0^{\pi/2} \sin^2 \theta \cdot \sec \theta \left| \int_{-\infty}^{\infty} \zeta(X, Y) e^{ik_0 X \sec \theta} dX \right|^2 d\theta \quad \dots\dots(3)$$

(3)式を計算すれば良いのであるが, 計測される波は有限なので波高 $\zeta(X, Y)$ を次のように分けて考える。船の前方では波高はゼロ, 船の後方では波の漸近的な性質を利用する。

$$\left. \begin{aligned} \zeta(X, Y) &= 0 & X \leq N \\ &= \zeta(X, Y) \text{ measured} & N \leq X \leq M \\ &= \frac{\zeta_0 \cos(k_0 X - \epsilon)}{\sqrt{k_0 X}} & M \leq X \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots(4)$$

(4) 式の ζ_0, ϵ は実験データから求める。(4) 式の ζ を使うと(3)式が計算される。

2.5 計算の手順

省略

2.6 入力データ

MNO	I	模型船番号
TNO	I	実験番号
QLL		船の長さ
VM		船の速度
Y		計測位置
DX		データのサンプリング間隔
NF	$N \leq X \leq 0$	I $X=0$ を中心としたデータ
NA	$0 \leq X \leq M$	I 数 ($X=0$ は船体のどこに定めても良い)
$F(I)$	$I=1 \sim NF+NA$	波形データ
$DT1, DT2$		θ について計算間隔
HXM, EPS		打ち切り点定数 ((4) 式の, ζ_0, ϵ)

I と書いてあるデータは整数型データ, 他は全て実数型のデータである。

2.7 出力

素成波の角度 θ について 0° から 80° まで, 計測波形の Fourier spectrum, P - Q 関数, 振幅関数を出力する, 造波抵抗 R は振幅関数の積分として出力される。

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

計算精度は入力波形記録, 定数 ζ_0, ϵ の計測精度によるが, 演算は約 10 桁精度で行なっている。抵抗の値について, 他で求めたものとの比較では 3 桁位の精度は十分あると考えられる。

3.2 計算所要時間

波形記録データ数 400 で約 100 分位である。

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

推進部 TOSBAC-3300 ALPS のオペレートに従って行なう。

4.2 プログラムの応用 (メインの発展, サブルーチンの応用)

水面および水中を一定速度で航走する物体の作る波の Fourier Spectrum の計算であるから, 船の波に限らず, 他の物にも応用できる。

サブルーチンに有限フーリエ変換の計算法 (Filon

の方法) とフレネル積分を含んでいる。

4.3 他機種への移行

Facom 270-30 用プログラム, CDC-3600 用プログラムがある。CDC 用プログラムでは(3)式をさらに変形した

$$R = -\frac{\rho g k_0}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \zeta(X, Y) \int_{-\infty}^{\infty} \zeta(\xi, Y) K(K_0 X - K_0 \xi) d\xi dX$$

$$K(Z) = \int_0^{\pi/2} \sin^2 \theta \cdot \sec \theta \cdot \cos(Z \sec \theta) d\theta$$

の形でも造波抵抗 R を計算できるようにしてある。

波形データは TOSBAC 用のデータから直接 FACOM 用のデータに変換できるようになっている。

5. あとがき

抵抗分離計測の一手段として、船型試験解析に十分役立つものと考えられる。

参考文献

- 1) J. N. Newman "The Determination of Wave Resistance from Wave Measurements along a Parallel Cut", International Seminar on Theoretical Wave Resistance Ann Arbor (1963).

S-10 任意翼型の圧力分布の計算プログラム

推進性能部 荒井 能

1. プログラムの目的および概要

与えられた任意翼型が2次元流中にあるとき、その迎角を与えて翼表面上の任意の点の圧力分布と、翼に働く揚力を守屋教授の第1近似式により計算する。なお、このプログラムは推進性能部 TOSBAC-3300 用 ALPS (ALGOL 60 相当) で書いてある。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

任意翼型の圧力分布の計算プログラム

2.2 製作者

推進性能部 荒井 能

2.3 製作年月

昭和 43 年 4 月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

守屋富次郎著 空気力学序論¹⁾ p. 109, 第2章, 翼型理論 §22, 翼型の特性, (22・28) 式および (22・29) 式によって翼表面の圧力分布を計算する。

$$\frac{p-p_0}{\frac{1}{2}\rho V^2} = 1 - \left[\sin \alpha \left\{ -\frac{1}{2} - \sum_1^k n B_n + \frac{1}{2} \cos \theta - \sum_1^k n A_n \sin n\theta + \sum_1^k n B_n \cos n\theta \right\} + \cos \alpha \left\{ \sum_1^k n A_n - \frac{1}{2} \sin \theta - \sum_1^k n A_n \cos n\theta - \sum_1^k n B_n \sin n\theta \right\} \right]^2$$

$$\div \left[\frac{1}{4} \sin^2 \theta + \left\{ -\sum_1^k n A_n \sin n\theta \right. \right.$$

$$\left. + \sum_1^k n B_n \cos n\theta \right\}^2 \Big]$$

また揚力は同著 p. 104, (22・5) 式で計算する。

$$C_L = 4\pi \left\{ \sin \alpha \left(\frac{1}{2} + \sum_1^k n B_n \right) - \cos \alpha \sum_1^k n A_n \right\}$$

ここに

α ……迎角

A_n, B_n ……翼型によって定まるフーリエ係数

θ ……翼表面に与えられた点によって定まる

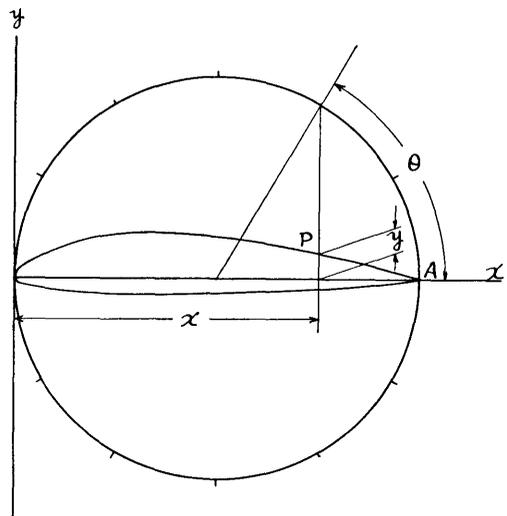


図-15 入力の方法

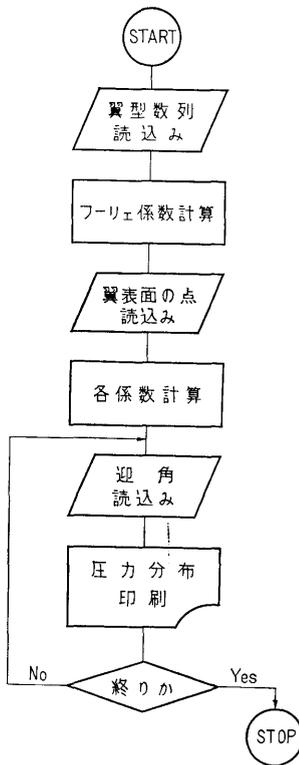


図-16 フローチャート
角

k ……守屋教授の式では ∞ であるがこのプログラムでは翼型の分割数の1/4にとっている。

2.5 計算の手順

図-15 に示すように、翼型の最長点を結ぶ直線の長さを1.0としこの弦を x 軸にとる。この弦を直径とする円周を4の倍数等分し、点 A から始めて反時計方向に、円周上の等分点より x 軸に下した垂線と翼型との交点の y 座標の数列を作る。 A から始めてひとまわりして再び A にもどるまで続け、この数列をフーリエ係数に変換すると前述の A_n, B_n を得る。また翼表面の任意の点 P は、図-15 の円を y 軸に接するようにとり、このときの x 座標を与えると前述の θ を計算する。迎角の種類は任意の個数計算する。

なお、計算のフローチャートを図-16 に示す。

2.6 入力

最初に翼型の分割数を整数で示し、続いて前項の数列を実数で示す。なお数列は必ず図-15 の始点 A の値 (=0.0) を両端に含み、その数は4の倍数+1個でなければならない。つぎに計算する翼表面の点の

```
alpha= .1999999998x 1 degree
xn      (p/q)b      (p/q)f
1      -.9871691229x 0      -.9871690099x 0
2      -.6498561306x 0      -.5407832853x 0
3      -.5857372992x 0      -.3762875138x 0
4      -.5388253478x 0      -.2578889065x 0
5      -.4670978207x 0      -.2171734960x 0
6      -.4812887667x 0      -.1831813282x 0
7      -.4999731299x 0      -.1888487546x 0
8      -.4895201055x 0      -.1910177456x 0
9      -.4759452583x 0      -.1685870254x 0
10     -.4653745571x 0      -.1506746660x 0
11     -.4193887040x 0      -.1376998218x 0
12     -.3159342187x 0      -.1174729076x 0
13     -.1535523839x 0      -.1111945608x 0
14     .8825276745x -3      .135510612x 0
15     .7354150724x -1      .1297371651x 0
16     .9999948772x 0      .9999948727x 0

c1= .6037881304x 0
```

図-17 出力の一例

個数を整数で示し、点の x 座標を実数で示す。つぎに計算する迎角の種類を整数で示し、ついでそれぞれの迎角の度数を示す。以上の入力の FORMAT は ALPS の標準型式である。

2.7 出力

図-17 の例に示す FORMAT で出力する。ここに記号を以下に示す。

- alpha……迎角
- xn……翼表面の点を入力した順の番号
- (p/q)b……back 面の圧力 (無次元値)
- (p/q)f……face 面の圧力 (無次元値)
- c1……揚力 (無次元値)

なお、出力数値の FORMAT は ALPS の標準型式である。

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

実数の演算はすべて2進33桁+指数2進12桁(約10進10桁)の浮動小数点で行なっている。また風洞による翼型の圧力分布の計測値と本プログラムによる計算値はかなりよく一致した(文献2)参照。

3.2 計算所要時間

compile : 3'30''
object run : 3'30''(翼型数列97点表面圧力16点)
out put : 2'30''(同上の条件で1つの揚力につき)

3.3 適用範囲, 制限事項

翼の分割数は400分割まで、翼表面の点の数は100点までであれば現在のプログラム処理できる。迎角の種類はほとんど任意である。翼の分割数が1,500点、翼表面の点が375点程度まではプログラムを改定すれば可能である。しかし式の性質上これ以上に拡張しても無意味と考えられる。

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ション

TOSBAC 3300 ALPS I, Is または II でプログラムテープを コンパイル I, Phase L: に AS テープと外部プログラム foco を入力し, ついでデータテープを入力すれば flexowriter に出力する。

4.2 プログラムの応用

このプログラムは外部プログラムとしてアセンブラ語で書かれたフーリエ変換サブルーチン foco を使用している。このサブルーチンは $4n+1$ 個のデータよ

り n 次までのフーリエ級数を計算するもので, 他にも応用できる。

参考文献

- 1) 守屋富次郎: 空気力学序論, 初版, 培風館, 1659, pp. 95~111.
- 2) 伊藤達郎他: MAUプロペラ翼断面の圧力測定, 第14回船舶技術研究所研究発表会講演概要, 1969.

E-1 差分法による回転円板の熱弾塑性応力解析プログラム

機関開発部第2部 天 田 重 庚

1. プログラムの目的および概要

高出力化の著しいガスタービンではそれともなつて回転数の増大, ガス入口温度の上昇が見られる。ガスタービンの重要な構成要素であるディスクでは大きな遠心力と熱負荷を受けることになり, この結果材料の弾性限を越えた応力状態になることが考えられる。塑性域では材料の応力-ひずみ曲線が非線形となり, 系を支配する方程式が非線形となって解析的に解くことが困難であり, そのため次の方法がとられる。

- 1) 実際の材料の応力-ひずみ曲線を用いて数値計算により弾性領域と塑性領域の境界で応力成分が等しいという条件で解く方法。
- 2) 非線形な応力-ひずみ曲線を近似式, すなわち, Ramberg-Osgood [1] 則, n 乗則 ($\sigma=f(\epsilon^n)$) を用いて数値計算による方法。
- 3) 上記の近似式を用いて Perturbation Method による方法。
- 4) 材料を完全塑性体として迂り線場を解く方法。

回転円板の熱弾塑性応力解析には若干の理論的研究^{2,3)}があるが, 複雑さと得られる精度の点で問題があり, 温度分布が応力ひずみ成分に与える影響もあまり明瞭でない。このため白鳥によって導入された等温問題における方法⁴⁾を温度場に適用できるように変形し, 上記の方法 1) に基づく手順を確立する。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号, 名称

44-003

Elasto-Plastic Stress Analysis of Rotating Disc

2.2 製作者

機関開発部第2部 天田重庚

2.3 製作年月

昭和44年5月

2.4 プログラムの大きさ

構成…メインプログラム+6×サブプログラム
ステートメント数……528

2.5 計算の基礎となる理論の概要

降伏条件として Von Mises の条件, 塑性域では Deformation Theory が使用できると仮定して, 外径 b , 内径 a なる円板を考える。加えられる温度分布は

$$T = T_0 \frac{\ln(r/a)}{\ln(b/a)} \quad \dots(1)$$

円板が ω なる角速度で回転している場合, 弾塑性境界が C なる位置に発生したとすると次の式が得られる⁵⁾。

i) 弾性式 ($c \leq r \leq b$)

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \frac{3+\nu}{8} \rho \omega^2 (b^2 - r^2) + B \left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{b^2} \right) \\ &\quad + E\alpha \left[\frac{1}{b^2} \int_a^b (rT) dr - \frac{1}{r^2} \int_a^r (rT) dr \right] \\ \sigma_\theta &= \frac{\rho \omega^2}{8} \left[(3+\nu)b^2 - (1+3\nu)r^2 \right] \\ &\quad - B \left(\frac{1}{r^2} + \frac{1}{b^2} \right) \\ &\quad + E\alpha \left[\frac{1}{r^2} \int_a^r (rT) dr \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{b^2} \int_a^b (rT) dr \right] - E\alpha T \end{aligned} \right\} \dots(2)$$

ただし B は境界条件より求まる定数である。

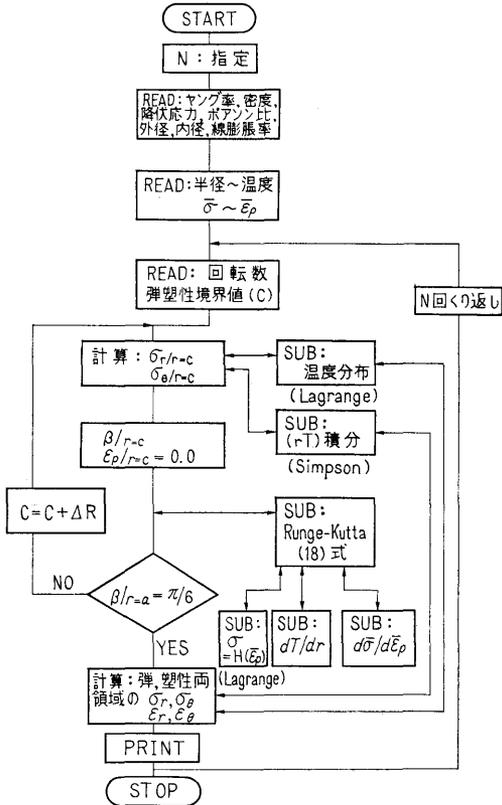


図-18 フローチャート

ii) 塑性域 ($c \geq r \geq a$)

$$\frac{d\beta}{dr} = \frac{F_1}{F_3}, \quad \frac{d\bar{\epsilon}_p}{dr} = \frac{F_2}{F_3} \quad \dots\dots(3)$$

$\bar{\epsilon}_p, \beta$ と応力成分との関係は

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= H(\bar{\epsilon}_p) \left(\sin \beta - \frac{1}{\sqrt{3}} \cos \beta \right) \\ \sigma_\theta &= H(\bar{\epsilon}_p) \left(\sin \beta + \frac{1}{\sqrt{3}} \cos \beta \right) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots(4)$$

境界条件

$$\left. \begin{aligned} \beta &= \pi/6 \quad (r=a) \\ \sigma_r |_{\text{弾性}} &= \sigma_r |_{\text{塑性}} \quad \sigma_\theta |_{\text{弾性}} = \sigma_\theta |_{\text{塑性}} \quad (r=c) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots(5)$$

2.6 計算手順

計算手順のフローチャートを図-18 に示す。入力データを読み込みの後、弾塑性境界値, c を仮定して c 上の応力成分を弾性式で求める。ディスクを同心の環に分割し (本計算では 40 等分) て(3)式を差分形に変換してルンゲクッタ法を用いる。 c 上で求めた σ_r, σ_θ より β を求め、これと $\bar{\epsilon}_p=0$ を初期値として c から内部境界に向かって計算を行ない、 $r=a$ 上で $\beta=\pi/6$ になるまで反復計算がなされる。

2.7 入力

必要な入力データは次のごとくである。

- A~TA半径のきざみ~温度: 温度分布
- ST~EP応力~ひずみの値: 塑性域の応力—ひずみ曲線
- V.....ポアソン比
- E.....ヤング率
- ROW材料の密度
- RO円板の外径
- RI円板の内径
- SY降伏応力
- W円板の角速度
- COF..... c の値を変える収束係数
- TOLL.....収束条件: $\pi/6 - \beta \leq TOLL$

2.8 出力

分割した各半径上での

- T.....温度
- SIGMAR ...半径方向応力
- SIGMAT ...周方向応力
- SIGPT主応力
- EPRR.....半径方向ひずみ
- EPRT.....周方向ひずみ
- PEP主ひずみ

2.9 本プログラムの特徴

- i) 任意の温度分布が与えられるように 4 次の Lagrange 補間公式を用いて温度分布を近似している。
- ii) 異なる応力—ひずみ曲線についても計算できるようにまたこれも 4 次の Lagrange 補間公式にて近似している。
- iii) 等温問題に適用可能。
- iv) 収束係数を可変にして真の値との差に比例するように定めた。

3. プログラムの検定

3.1 精度

β の値で小数点以下 5 桁まで正しく得られるようにした。

3.2 演算時間

半径の分割数は弾性域 20, 塑性域 20, 計 40 で、1 サイクルの計算時間は約 85 秒である。収束までのくり返し数は c の初期仮定値により異なるが約 10~20 回であり、またコンパイルの時間は約 8 分を要した。

4. プログラムの使用について

4.1 オペレート

プログラムの実行は ¥ BATCH で PT より行なう。

4.2 プログラムの応用

サブプログラムとして4次の Lagrange の補間公式による関数近似, 積分範囲の大きさによってきざみ数を変えられるシンプソン積分, Runge-Kutta 法による微分方程式の数値解法が含まれている。

5. あとがき

温度分布が応力, ひずみ成分に与える影響, 温度分布の増加に対する塑性域の成長の割合, 周方向応力の塑性域における弾性分布と異なる分布が得られた。

6. 記号

T : 温度, T_0 : 外周温度, r : 半径, a : 内径, b : 外径, c : 弾塑性境界値, ρ : 材料の密度, ω : 角速度, ν : ポアソン比, E : ヤング率, α : 線膨張係数, σ_r : 半径方向応力, σ_θ : 周方向応力, $\bar{\epsilon}_p$: 相当塑性ひずみ,

β : σ_r と σ_θ より得られる値, F_i : $\bar{\epsilon}_p$, β と材料の機械的性質の関数, H : 材料の塑性域における応力-ひずみ曲線を示す関数。

参考文献

- 1) Walter Ramberg et al. [Description of Stress-Strain by Three Parameters] NACA T. N. NO-902 (1943).
- 2) A. Mendelson et al. [Practical Solution of Plastic Deformation Problems in Elastic-Plastic Range] NASA T. R. R-28 (1959).
- 3) S. Manson et al. [Determination of Stresses in Gas-Turbine Discs subjected to Plastic Flow and Creep] NACA TR-906 (1948).
- 4) 白鳥「回転円板の塑性計算とその応用」日本機械学会誌, Vol. 65, No. 519 (1962).
- 5) 天田「回転円板の弾塑性熱応力」第 19 回応用力学連合講演会論文抄録集 (1969).

E-2 円筒の非定常温度分布および熱応力の計算プログラム

機関開発部第2部 塚田 悠 治

1. プログラムの目的および概要

光弾性法による熱応力の測定の精度を確かめるための基本的な実験として, 中空円筒の熱応力の測定を行ない, 理論値との比較を行なった。このプログラムは比較のための理論値を計算するために作られた単能プログラムであり, 主要諸元は実験条件に合わせて与え, 変更することはできない。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号, 名称

44-028

ENTŌ NETSUŌRYOKU

2.2 製作者

機関開発部第2部 塚田悠治

2.3 製作年月

昭和 44 年 7 月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

円筒の軸対称温度分布は次式で与えられる。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad \dots\dots(1)$$

境界条件は周囲流体温度または供給熱量の条件によりそれぞれ次式で与えられる。

$$k \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)_i = h (T_f - T_i) \quad \dots\dots(2)$$

$$k \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)_i = q_i \quad \dots\dots(3)$$

応力成分は次式により, 求められる。

$$\sigma_r = \frac{\alpha E}{1-\nu} \frac{1}{r^2} \left(\frac{r^2 - r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \int_{r_1}^{r_2} T \cdot r \cdot dr - \int_{r_1}^r T \cdot r \cdot dr \right) \quad \dots\dots(4)$$

$$\sigma_\theta = \frac{\alpha E}{1-\nu} \frac{1}{r^2} \left(\frac{r_2 + r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \int_{r_1}^{r_2} T \cdot r \cdot dr + \int_{r_1}^r T \cdot r \cdot dr - T \cdot r^2 \right) \quad \dots\dots(5)$$

ただし, T : 温度, a : 温度伝導率, k : 熱伝導率, h : 熱伝達率, q : 熱量, r : 中心からの距離, α : 熱膨張係数, E : 縦弾性係数, ν : ポアソン比, σ : 応力, t : 時間

添字, 1; 内周, 2; 外周, r : 半径方向, θ : 接線方向, f : 周囲流体

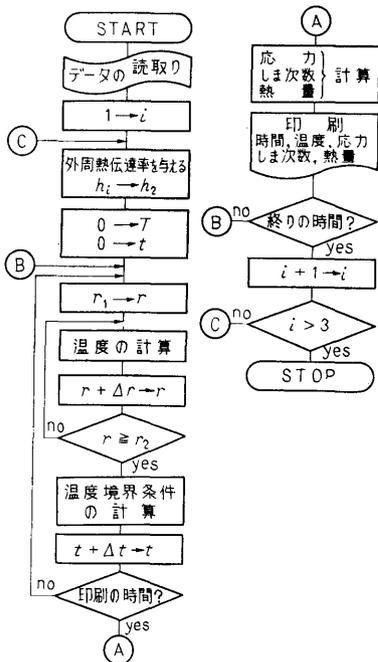


図-19 フローチャート

温度分布は、(1)の偏微分方程式を差分方程式に変換して解いた。分割数は 20 とし、境界条件は、実験条件により、(2)または(3)を選んだ。応力分布は、(4)、(5)を数値積分することにより求めた。

また、次式により、光弾性しりま次数を求めた。

$$N = \frac{b}{f} (\sigma_r - \sigma_\theta) \quad \dots\dots(6)$$

E-3 曲円管内熱伝達実験データ整理用プログラム

機関開発部第2部 塚原茂司

1. プログラムの目的および概要

このプログラムは曲円管内熱伝達の実験値から各部の熱伝達率を計算し、また各パラメータを算出して整理するのに用いられる。このプログラムの適用条件は内半径 r_1 、外半径 r_2 をもつ曲率半径 R のテストセクションで、流体への熱流束はテストセクションの電気抵抗を利用した電氣的直接発熱方式で与えられている。測定される量（計算機入力）は電圧 V 、電流 I 、

b ; モデルの厚さ, $1/f$; 光弾性感度

2.5 計算の手順

図-16 のフローチャートに示す。

2.6 入力

入力データは、すべて $E10 \cdot 3$ で与え、単位は kg, mm, sec, °C, kcal を用いる。

E ; 縦弾性係数, AT ; モデル厚さ×光弾性感度, B ; 熱膨張係数, AK ; 熱伝導率, A ; 温度伝導率, TH ; 周囲流体温度, $H1$; 内周の熱伝達率, $H2(I)$; 外周の熱伝達率 (3種類), なお円筒の外径 $r_2=40\text{mm}$, 内径 $r_1=20\text{mm}$ など、実験中で固定した条件はプログラム内で与えてある。

2.7 出力

時間 1 min おきに、温度、応力成分、しりま次数および外周より与えられる熱量を印刷する。

3. プログラムの検定

実験の性格上、計算値に要求される精度は低いので、計算精度の検討は行なっていない。演算時間は 10 分以内である。

4. あとがき

中空円板の非定常熱応力の厳密解はすでに求められているが、このプログラムにより、実験条件に合わせた任意の境界条件を簡単に与えて、計算することができ、所期の目的を達することができた。なおプログラム作製につき当部高田部長に御指導頂いたことを付記し、謝意を表する次第です。

Data of Boiling Heat Transfer with No. X
Type Curved Pipes.

2.2 製作者

機関開発部第2部 塚原茂司

2.3 製作年月

昭和44年8月

2.4 計算の基礎式

データ整理に使用した計算の基礎式は次の諸式であるが、モデルはすべて仮定をおいて一次の問題として取り扱っている¹⁾。

1) 熱流束 q''_{ϕ} (ϕ は管断面の円周方向の位置をあらわすもので 0° =内まわり側, 90° =上側, 180° =外まわり側, 270° =下側である。)

$$q''_{\phi} = \frac{q''_s}{(1-b \cos \phi)^2} \quad \dots\dots(1)$$

$$q''_s = \frac{0.215}{\pi r_1 (l + \pi R)} \cdot V \cdot I \quad \dots\dots(2)$$

ただし $b = (r_1 + r_2)/2R$, l = 曲管両端の直管部長さ

2) 管内壁温度 $T_{1\phi}$ 管内壁温度は次の1次元微分方程式を解いて得られる。

$$\frac{d^2 T}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dT}{dr} + \frac{q'''_{\phi}}{\lambda} = 0 \quad \dots\dots(3)$$

境界条件は $r=r_2$ で $T=T_{2\phi}$

$$r=r_2 \text{ で } dT/dr = 0$$

この境界条件を用いて(3)式を解くと次式が得られる。

$$T_{1\phi} = T_{2\phi} - \Delta T = T_{2\phi} - F(r) \frac{q''_{\phi}}{\lambda_T} \quad \dots\dots(4)$$

$$F(r) = \frac{r_1}{1 - \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2} \left[l_n \left(\frac{r_2}{r_1} \right) - \frac{1 - \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2}{2} \right] \quad \dots\dots(5)$$

$$\lambda_T = 0.01105 T + 13.115^2 \quad \dots\dots(6)$$

3) 流体温度 T_{Bx} , 加熱開始位置から距離 x の位置の流体温度 T_{Bx} は

$$T_{Bx} = T_{in} + 0.01433 \frac{V \cdot I \cdot x}{G \cdot l} \quad \dots\dots(7)$$

ただし l は試験部発熱長さ

4) 流体飽和温度 T_{satx}

$$T_{satx} = f(p_x) \quad \dots\dots(8)$$

$f(p_x)$ は $p-T_{sat}$ 曲線に適した式を作り, 入口圧力 p_{in} と流速 v の関数として求められるようにプログラムに入っている。

5) 各部の熱伝達率 $h_{\phi x}$

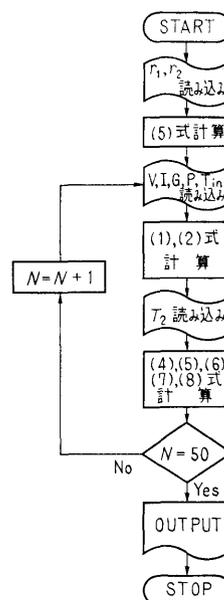


図-20 フローチャート

$$h_{\phi x} = \frac{q''_{\phi}}{(T_{1\phi} - T_{Bx})} \quad \dots\dots(9)$$

2.5 計算の手順

計算の手順は図-20 フローチャートに示すとおりである。

2.6 入力

必要な入力データは次のとおり

RI ……管内半径 (mm)	} (F7.3)
RO ……管外半径 (mm)	
VX ……電圧 (volts)	} (F7.2)
A ……電流 (amps)	
G ……流量 (km/min)	
P ……入口圧力 (kg/cm ² abs)	
TIN ……入口温度 (°C)	
$T2$ ……管外壁温度 (°C)	

$T2$ は管外壁4個所の測定値を $\phi=90, 180, 270, 0$ および $x=1, 2, \dots\dots$ (管軸方向測定位置) の順に入れた。

2.7 出力

$TT2$ ……管外壁温度 (°C)
$DELTW$ ……(4)式の ΔT (deg)
TWI ……管内壁温度 (°C)
TB ……流体温度 (°C)
$DELTTB$ ……= $TWI - TB$ (deg)
$TSAT$ ……流体飽和温度 (°C)
$DELTSU$ ……= $TSAT - TB$ (deg)

$DEL TSA \dots\dots = TWI - TSAT$ (deg)

$H \dots\dots\dots$ 熱伝達率(9)式 (K cal/m² hr deg)

3. あとがき

このプログラムに使用した計算には多くの仮定が導入されているので、これをそのまま他の場合へ一般的に適用するのは危険がある。ただし計算の流れは同様なデータ整理をする場合には参考になり得ると思う。

参考文献

- 1) 塚原茂司, 一色尚次: 「曲円管内の沸騰熱伝達の実験研究」(サブクール沸騰熱伝達とバーンアウト熱流束) 船研報告第7巻第2号.
- 2) G. W. C. Kaye, and T. H. Laby; Tables of Physical and Chemical Constants, John Wiley.

E-4 ディーゼル機関の噴射率と熱発生率のデータ処理システムによる解析プログラム

機関性能部 井ノ内一雄・塩出敬二郎・水谷 洋一

1. プログラムの目的および概要

ディーゼル機関の熱発生率および噴射率など機関性能におよぼす影響の過大な項目の解析には、従来、人力による計算を行ってきたがデータの読み取り精度が悪く、±2% 程度の誤差をまぬかれない。また計算結果が迅速に処理できないので、ある任意の少数のサイクルの解析にとどまり、多数サイクルの解析値ではないのでサイクルごとの変動が十分に考慮されていなかった。

この他、サイクル内の分割数もクランク角 2° ごとが限度であり、解析に必要な物性値(内部エネルギー、ガス定数)の変化が考慮されておらず、満足できるものではなかった。さらにシリンダ内の熱平衡の計算過程においても熱損失の影響を考慮することが困難な状態であった。

今回、内燃機関のデータ処理システムとして、R-500 データレコーダおよび DP-300 データ処理装置その他が完備されたので、上述の問題点を解決し、正確にかつ迅速に大量のデータを処理できるようになった。

このプログラムはデータ処理装置からの紙テープ出力に合わせて、R-124 2 サイクルディーゼル機関の噴射率および熱発生率その他の値を求めるデータ処理プログラムである。噴射率は圧力・リフト法により、また熱発生率はシリンダ内の熱平衡の計算により解析した。なお熱平衡の計算には、シリンダ壁への熱損失および作動ガスの空燃比、圧力、温度などによる物性値の変化も考慮されている。

2. プログラムの内容

(164)

2.1 プログラムの番号、名称

44-010

The Calculation of Injection Rate and Heat Release Rate

2.2 製作者

機関性能部 水谷洋一

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

熱発生率の解析には、熱力学第一法則のエネルギー保存の式により、噴射率は圧力・リフト法により逐次計算する。

使用した計算式は次式である。

$$\frac{dQ}{d\theta} = -\frac{dU}{d\theta} + AP_0 \frac{dV}{d\theta} + \frac{dQ_L}{d\theta} \dots\dots(1)$$

$$\frac{dG}{d\theta} = \mu \cdot f(\theta) \cdot \sqrt{2g(P_0 - P_c)} / 6 \times N \dots\dots(2)$$

ここに、

Q : シリンダ内熱発生量 K cal

U : シリンダ内のガスの内部エネルギー K cal

P_0 : シリンダ内のガスの圧力 kg/cm² gage

V_0 : シリンダ容積 m³

Q_L : シリンダ壁への熱損失量 K cal

G : 燃料噴射量 g

A : 熱の仕事当量 K cal/kgm

μ : 噴射孔の流量係数

$f(\theta)$: 噴射孔面積 cm²

P_c : 燃料噴射圧力 kg/cm²

N : 機関回転数 rpm

表-5 入力データ

記号	説明	単位	FORMAT
PCKK	シリンダ内圧力倍率	kg/cm ² /1000 μ A	F5.1
PIKK	噴射圧力倍率	kg/cm ² / 300 μ A	F6.1
YLKK	ノズルリフト倍率		F7.3
TB	給気温度	°C	F5.1
PB	給気圧力	kg/cm ²	F5.1
RPM	回転数	rpm	F6.1
KK	サイクル数		I3
LL	ポート閉ジ時期クランク角	deg	I3
PCCC	基準値 (シリンダ圧力)	kg/cm ²	F5.1
PIII	基準値 (噴射圧力)	kg/cm ²	F6.1
YLLL	基準値 (ノズルリフト)	mm	F5.1
DD	ノズル孔面積	mm ²	F6.2
TPS	ピストン温度	°C	F6.1
THD	ピストン・ヘッド温度	°C	F6.1
TLN	ピストン・ライナ温度	°C	F6.1
NOO	実験番号 (零レベル)		I3
NOCAL	実験番号 (CAL. レベル)		I3
NOP	実験番号		I3
XP	プロット用倍率 (シリンダ圧力)		F6.1
XPI	" (噴射圧力)		F6.1
XYL	" (ノズルリフト)		F6.1
XQ	" (熱発生率)		F6.1
XRJ	" (噴射率)		F6.1
NP	プロット用零シフト (シリンダ圧力)		I3
NPI	" (噴射圧力)		I3
NYL	" (ノズルリフト)		I3
NQ	" (熱発生率)		I3
NRJ	" (噴射率)		I3
IPCO	零レベル値 (シリンダ圧力)		I5
IPIO	零レベル値 (噴射圧力)		I5
IYIO	零レベル値 (ノズルリフト)		I5
IPCCA	CAL. レベル値 (シリンダ圧力)		I5
IPICA	CAL. レベル値 (噴射圧力)		I5
IYLCA	CAL. レベル値 (ノズルリフト)		I5
IPC(I)	実験値 (シリンダ圧力)		I5
IPI(I)	実験値 (噴射圧力)		I5
IYL(I)	実験値 (ノズルリフト)		I5

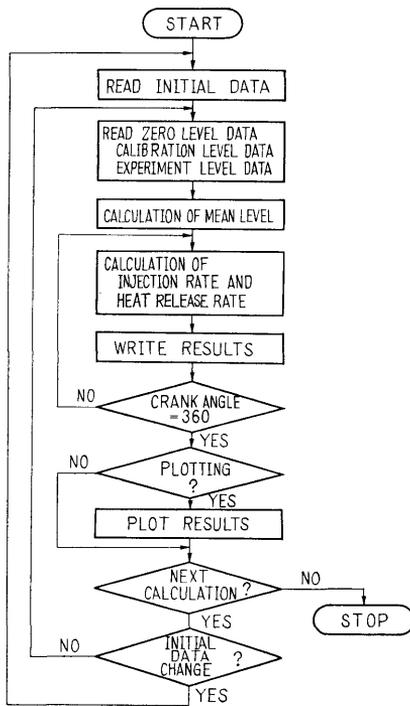


図-21 フローチャート

θ : クランク角 deg

添字 d はクランク角 θ あたりの量を示す。

2.5 計算の手順

計算の手順は図-21 フローチャートに示す。

2.6 入力

計算に必要な入力データとその入力形式 (FORMA

T) を表-5 に示す。

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

測定器による誤差は $\pm 2\%$ から $\pm 1\%$ にまで上昇した。入力データは符号+4桁, 演算は5桁で行なう。したがって結果は4桁まで有効である。なおプロットの結果は実数型変数を整数型変数に変換しているため小数部を切り捨てた形のものである。

3.2 演算時間

データの読み込みは1サイクルあたり0.5分, 演算時間は3.0分, 結果のプロットには1.0分を要する。

3.3 制限事項

データを整数型で読み込んで平均値を求めるために総和をとっているが, 総和が32767を越えた時オーバーフローになる。

4. プログラムの使用について

4.1 オペレート

プログラムの実行は, ¥ BATCH で PT により行なう。入力データも PT である。

4.2 プログラムの応用

サブプログラムとして作動ガスの物性値のガス定数, 内部エネルギーが含まれており, 数表としてあるので他の用途に使用できる。

5. あとがき

データ処理システムを使用したディーゼル機関における噴射率および熱発生率の解析例を示した。ここで的手法は他の機関に関しても応用でき, 機関性能の改善に寄与するところが大であると思われる。

N-1 数値解法 (EOS 法) による平板遮蔽体 透過中性子線計算プログラム

原子力船部 竹 内 清

1. プログラムの目的および概要

平板形状遮蔽体に対し定常のボルツマン輸送方程式を数値積分法で解いて, 中性子線の角度束密度を遮蔽体内および背面位置で求め, 遮蔽体内および背面での中性子角度分布, エネルギースペクトルを求めることを目的とする。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

EOS-2

2.2 製作者

原子力船部 竹内 清

2.3 製作年月

昭和 40 年

2.4 理論の概要

定常の中性子ボルツマン輸送方程式は次式のように書き表わせる。

$$\begin{aligned} & \nabla \cdot \Omega N(x, \Omega, E) + \mu_T(x, E) N(x, \Omega, E) \\ &= \sum_i \iint N(x, \Omega', E') n_i(x) \sigma_i(x; \Omega' \rightarrow \Omega, \\ & \quad E' \rightarrow E) dE' d\Omega' + S(x, \Omega, E) \quad \dots\dots(1) \end{aligned}$$

ここで $N(x, \Omega, E)$ は中性子角度束密度であり、 $\mu_T(x, E)$ は巨視的全断面積、 $\sigma_i(x; \Omega' \rightarrow \Omega, E' \rightarrow E)$ は微分散乱角度分布関数であり、 $S(x, \Omega, E)$ は純線源である。なお右辺の i についての和は遮蔽体の各領域に含まれる核種についてとられる。散乱現象は非等方取り扱いの弾性散乱現象と実験室系での等方散乱扱いとする非弾性散乱現象を考慮に入れる。すなわち弾性散乱積分項と非弾性散乱積分項は次式のように書き現わされる。

$$\begin{aligned} \text{弾性散乱積分項} &= \sum_i \int_0^{2\pi} \int_{-1}^1 n_i(x) \sigma_{el, i}(u') f_i(u', \mu) \\ & \quad \times \exp(u' - u) N(x, \omega', u') d\mu d\phi \quad \dots\dots(2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{非弾性散乱積分項} &= 2\pi \sum_i \int_u^{\infty} \int_{-1}^1 n_i(x) \sigma_{in, i}(u') \\ & \quad \frac{g_i(u', u)}{4\pi} \times N(x, \omega', u') \\ & \quad E_0 \exp(u') d\omega' du' \quad \dots\dots(3) \end{aligned}$$

上式で中性子束密度 $N(x, \omega, u)$ および散乱角度分布関数 $f(u, \mu)$ をルジャンドル展開近似し、減速関数 $g(u', u)$ を適当な簡単な関数で近似して計算を

すすめるのが EOS 法である。理論式の詳細は文献 1) を参照されたい。

2.5 計算の手順

文献 2) のフローチャートを参照されたい。

2.6 プログラム用語および計算機種

機械語 NEAC 2206

2.7 入力および出力

文献 2) を参照

3. プログラムの検定

計算誤差、精度、演算時間、適用範囲および制限事項は文献 2) を参照されたい。

4. プログラムの使用について

文献 2) を参照

5. あとがき

実際の遮蔽計算結果等は文献 1) および 3) を参照されたい。

参考文献

- 1) 竹内 清, 片岡 巖: ボルツマン輸送方程式の数値積分による中性子平板問題の解析, 船研報告, 第 3 巻第 5 号 (1965).
- 2) 竹内 清: EOS-2 コード使用法, 船研報告, 第 3 巻第 2 号 (1965).
- 3) Kiyoshi TAKEUDHI and Iwao KATAOKA: A Method for the Numerical Integration of the Neutron Transport Equation in Slab Geometry, J. Nucl. Sci. Technol. Vol 3, No. 5 (1966).

N-2 数値解法 (EOS 法) による平板遮蔽体 透過ガンマ線計算プログラム

原子力船部 竹 内 清

1. プログラムの目的および概要

平板形状遮蔽体に対し定常のボルツマン輸送方程式を数値積分法で解いて、ガンマ線の遮蔽体内および背面における角度エネルギー束密度を求め、遮蔽体内および背面でのガンマ線角度分布、エネルギースペクトルを求めることを目的とする。

2. プログラムの内容

- 2.1 プログラムの名称
EOS-1

2.2 製作者

原子力船部 竹内 清

2.3 製作年月

昭和 39 年

2.4 理論の概要

定常のガンマ線ボルツマン輸送方程式は次のように書き表わせる。

$$\omega \frac{\partial}{\partial x} I(x, \omega, \lambda) + \mu(x, \lambda) I(x, \omega, \lambda)$$

$$= \frac{n(x)}{\pi} \int_{-1}^1 K(\lambda', \lambda) d\beta \int_0^\pi d\varphi I(x, \omega', \lambda') + S(x, \omega, \lambda) \quad \dots(1)$$



図-22 フローチャート

ここで $I(x, \omega, \lambda)$ はガンマ線角度エネルギー密度であり, $\mu(x, \lambda)$ は巨視的全断面積, $K(\lambda', \lambda)$ はクライン仁科の式から求められる散乱核で, $S(x, \omega, \lambda)$ は純線源である。
 $I(x, \omega, \lambda)$ および $K(\lambda', \lambda)$ をともにもルジャンドル展開近似して計算をすすめるのが EOS 法であり, 詳細は文献 1) を参照されたい。

2.5 計算の手順

図-22 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

機械語 NEAC 2206

2.7 入力および出力

文献 1) を参照

3. プログラムの検定

計算誤差, 精度, 演算時間, 適用範囲および制限事項は文献 1) を参照されたい。

4. プログラムの使用について

文献 1) を参照

5. あとがき

実際の遮蔽計算結果等は文献 1) および 2) を参照されたい。

参考文献

- 1) Iwao KATAOKA and Kiyoshi TAKEUCHI : A Code and Some Results of a Numerical Integration Method of the Photon Transport Equation in Slab Geometry, Papers of Ship Research Institute No. 6 (1965).
- 2) Iwao KATAOKA and Kiyoshi TAKEUCHI : A Method for the Numerical Integration of the Photon Transport Equation in Slab Geometry, J. Nucl. Sci. Technol. Vol. 2, No. 1 (1965).

N-3 数値解法 (SELENE 法) による平板遮蔽体透過ガンマ線計算プログラム

原子力船部 竹 内 清

1. プログラムの目的および概要

定常のボルツマン輸送方程式を SELENE 数値解法で解いて平板形状遮蔽体に対するガンマ線角度エネルギー束密度を求め, 遮蔽体内および背面におけるガンマ線の角度分布, エネルギースペクトルおよび線量を計算することを目的とする。対象とする線源は平板単一エネルギー単一方向線源および平板単一エネルギー分布角度線源であり, 対象となる問題は平板単一エネルギー垂直入射線源問題, 平板単一エネルギー斜入射線源問題, 平板単一エネルギー各方向角度分布線源問題および平板単一エネルギー任意角度分布線源問題である。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

SELENE-1 (単一方向線源用)

SELENE-2 (分布角度線源用)

2.2 製作者

原子力船部 竹内 清

2.3 製作年月

昭和 41 年

2.4 理論の概要

定常のガンマ線ボルツマン輸送方程式は EOS 法による計算コード EOS-1 に同じであり, 線源の与え方および輸送方程式の数値解法が EOS 法と異なる。線源は次のようである。

$$I^{(0)}(x, \omega, \lambda) = \frac{\lambda_0}{2\pi} \exp(-\mu_0 x) \delta(\omega - 1) \delta(\lambda - \lambda_0) :$$

垂直入射線源

$$I^{(0)}(x, \omega, \lambda) = \frac{\lambda_0}{2\pi |\omega_0|} \exp\left(-\frac{\mu_0 x}{|\omega_0|}\right)$$

$\delta(\omega - \omega_0) \delta(\lambda - \lambda_0)$: 斜入射線源

$$I^{(0)}(x, \omega, \lambda) = \frac{\lambda_0}{4\pi|\omega|} f_\omega \exp\left(-\frac{\mu_0 x}{|\omega|}\right)$$

$\delta(\lambda - \lambda_0)$: 平板分布角度線源

方程式の数値積分法は SELENE 法により, 詳細は参考文献 1) を参照されたい。

2.5 計算の手順

文献 2) のフローチャートを参照されたい。

2.6 プログラム用語および計算機種

機械語 NEAC 2206

2.7 入出力

文献 2) を参照

3. プログラムの検定

計算誤差, 精度, 演算時間, 適用範囲および制限事項等は文献 2) を参照されたい。

4. プログラムの使用について

文献 2) を参照

5. あとがき

実際の遮蔽計算結果の一部は文献 3) に載せてある。

参考文献

- 1) 片岡 巖 : γ 線平板多重層遮蔽の解析法の研究, 船研報告, 第3巻第4号 (1966).
- 2) 竹内 清 : SELENE コード使用法, 船研報告, 第4巻第3号 (1967).
- 3) Iwao KATAOKA and Kiyoshi TAKEUCHI : Discrete Ordinates-Numerical Integration Method for Bulk Shielding Calculations, UKAEA Report, AERE-R 5773 (1968).
- 4) Iwao KATAOKA : A Study of the Method for Analyzing Multilayer Gamma-Ray Shields, US AEC Report, ORNL-tr-1671 (1967).

N-4 数値解法 (MENE 法) による平板遮蔽体 透過中性子線計算プログラム

原子力船部 竹 内 清

1. プログラムの目的および概要

定常のボルツマン輸送方程式を MENE 数値解法で解いて平板形状遮蔽体に対する中性子の角度束密度を求め, 遮蔽体内および背面における中性子の角度分布, エネルギースペクトルを計算することを目的とする。対象とする線源は平板分布エネルギー任意角度分布線源であり, これは境界条件として取り扱われる。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

MENE-1

2.2 製作者

原子力船部 竹内 清

2.3 製作年月

昭和 42 年

2.4 理論の概要

定常の中性子ボルツマン輸送方程式は EOS 法による計算コード EOS-2 に同じであるが, 線源の与え方が境界条件として与えられる点と輸送方程式の数値解法が EOS 法と異なり MENE 法によっている点異なる。MENE 法の詳細は文献 1) を参照されたい。

2.5 計算の手順

文献 2) の全プログラムを参照されたい。

2.6 プログラム用語および計算機種

FORTRAN-II NEAC 2206

2.7 入出力

文献 2) を参照

3. プログラムの検定

計算誤差, 精度, 演算時間, 適用範囲および制限事項等は文献 2) を参照されたい。

4. プログラムの使用について

文献 2) を参照

5. あとがき

実際の遮蔽計算結果例は文献 1) および 3) に載せてある。

参考文献

- 1) 竹内 清, 片岡 巖 : Discrete Ordinates 直接数値積分法による中性子平板問題の解析, 船研報告, 第6巻第2号 (1969).
- 2) Kiyoshi TAKEUCHI : The MENE Neutron Transport Code, Papers of Ship Research Ins-

titute No. 29 (1968).
 3) Kiyoshi TAKEUCHI and Iwao KATAOKA :
 Discrete Ordinates Numerical Integration Method for Neutron Transport Equation in Slab Geometry, J. Nucl. Sci. Technol. Vol. 5, No.

7 (1968).
 4) Iwao KATAOKA and Kiyoshi TAKEUCHI :
 Discrete Ordinates-Numerical Integration Method for Bulk Shielding Calculations, UKAEA Report, AERE-R 5773 (1968).

N-5 有限円柱形状遮蔽体に対する中性子透過計算プログラム

原子力船部 竹 内 清

1. プログラムの目的および概要

定常の積分型輸送方程式を数値積分法で解いて、2次元 (r, z) 円柱座標形状遮蔽体に対する中性子の角度束密度を求め、遮蔽体内および背面における中性子の角度分布、エネルギースペクトルを計算することを目的とする。対象とする線源は円柱形状体積線源であり、これで実際の原子炉の炉心を仮定することが可能となったわけである。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

PALLAS-CY-1

2.2 製作者

原子力船部 竹内 清

2.3 製作年月

昭和 44 年

2.4 理論の概要

定常の積分型輸送方程式は一般に次のように書き表わせる。

$$\begin{aligned} \Phi(\bar{r}, \bar{\Omega}, E) = & \Phi(\bar{r}-R\bar{\Omega}, \bar{\Omega}, E) \\ & \times \exp\left[-\int_0^R \Sigma_t(\bar{r}-R'\bar{\Omega}, E) dR'\right] \\ & + \int_0^R dR' \cdot S(\bar{r}-R'\bar{\Omega}, \bar{\Omega}, E) \\ & \times \exp\left[-\int_0^{R'} \Sigma_t(\bar{r}-R''\bar{\Omega}, E) dR''\right] \\ & + \int_0^R dR' \left\{ \int_0^{4\pi} d\bar{\Omega}' \int_E^\infty dE' \cdot \Sigma_{si} \right. \\ & (\bar{r}-R'\bar{\Omega}; E' \rightarrow E, \bar{\Omega}' \rightarrow \bar{\Omega}) \\ & \times \Phi(\bar{r}-R'\bar{\Omega}, \bar{\Omega}', E') \\ & \left. \exp\left[-\int_0^{R'} \Sigma_t(\bar{r}-R''\bar{\Omega}, E) dR''\right] \right\} \\ & \dots\dots(1) \end{aligned}$$

ここで $\Phi(\bar{r}, \bar{\Omega}, E)$ は中性子束密度を表わし、 $\Sigma_t(\bar{r}, E)$ は巨視的全断面積を、 $S(\bar{r}, \bar{\Omega}, E)$ は純線源

を、 $\Sigma_{si}(\bar{r}, E' \rightarrow E, \bar{\Omega}' \rightarrow \bar{\Omega})$ は巨視的散乱分布関数を表わし、 i についての和は遮蔽体の各領域における核種についてとられる。上式の積分はガウス求積法やニュートンコーツ求積法などの数値積分法によって計算し、方程式は Discrete Ordinates 角度分点法を基にして数値解法で解かれる。一般座標系で解かれた式を2次元 (r, z) 座標で変数を表わしてやれば2次元 (r, z) 形状に対する最終式は求まる。

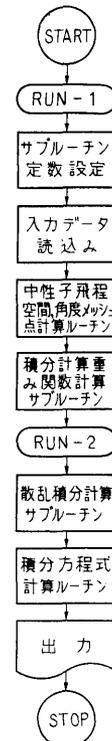


図-23 フローチャート

2.5 計算の手順

図-23 のフローチャートに示してある。

2.6 プログラム用語および計算機種

FORTTRAN-II NEAC 2206

2.7 入力

- (1) *PROBLEM NAME* 6文字
- (2) *EMAX* 最大エネルギー (*MeV*) E12.5
- (3) *JJ* ≤ 5 エネルギーグループ数 I 4
- (4) *HH* レサジ幅 E12.5
- (5) *II* (1), *II* (2) *z* 方向 1 および 2 領域に対する *r* 方向の領域数 2 I 2
- (6) *MER*(1, 1), *MER*(1, 2) 領域 (1, 1) および (1, 2) に対する *r* 方向メッシュ数
MER(1, 1) + *MER*(1, 2) ≤ 9 2 I 4
- (7) *MEZ* (1) 領域 (1, 1) に対する *Z* 方向メッシュ数 I 4
MEZ(1) + *MEZ*(2) ≤ 9
- (8) *RR*(1, 1), *RR*(1, 2) 領域 (1, 1) および (1, 2) に対する *r* 方向に測った領域の幅 (cm) 2 E12.5
- (9) *ZZ*(1) 領域 (1, 1) に対する *Z* 方向に測った領域の幅 (cm) E12.5
- (10) *MER*(2, 1), *MER*(2, 2) (6)と同様である
MER(2, 1) + *MER*(2, 2) ≤ 9 2 I 4
- (11) *MEZ*(2) (7)と同様である I 4
- (12) *RR*(2, 1), *RR*(2, 2) (8)と同様である 2 E12.5
- (13) *ZZ*(2) (9)と同様 E12.5
- (14) *CRT*(1, 1), *CRT*(1, 2), *CRT*(2, 1), *CRT*(2, 2) 各領域における巨視的全断面積 5 E12.5
- (15) *SZ*(1), ..., *SZ*(9) 体積線源を $S(r, z, E) = S(r)S(z)S(E)$ と仮定した時の $S(z)$ の値 5 E12.5
- (16) *SR*(1), ..., *SR*(9) $S(r)$ の値 5 E12.5
- (17) *SE*(1), ..., *SE*(5) $S(E)$ の値 5 E12.5
- (18) *NE*(1, 1), *NE*(1, 2), *NE*(2, 1), *NE*(2, 2) 各領域における入力核種の数 4 I 3
- (19) *NEK*(1, 1), *NEK*(1, 2), *NEK*(2, 1), *NEK*(2, 2) 各領域に対する Identification 4 I 3
- (20) *MATERIAL* 領域の物質名 6文字
- (21) *NUCLIDE* 核の名前 6文字
- (22) *RO*(*NUC*) 核の質量の逆数 E12.5

- (23) *AN*(*NUC*) 原子密度 × 10⁻²⁴ E12.5
- (24) *SIG*(1, *NUC*), ..., *SIG*(5, *NUC*) 微視的散乱断面積 (バーン) 5 E12.5
- (25) *LL* 散乱分布関数のルジャンドル展開項数 I 4

ただし、水素原子の場合(25)以下は入力不要

- (26) *FNU*(1, 1), ..., *FMU*(*LL*, 1)
FMU(1, 2), ..., *FMU*(*LL*, 2)

FMU(1, *JJ*), ..., *FMU*(*LL*, *JJ*)
 散乱分布関数のルジャンドル展開係数 10 F 7.4

2.8 出力

中性子角度束密度 $\Phi(r, z, \omega, \varphi, E)$ が各エネルギーグループごとに、また中性子束密度 $\Phi_0(r, z, E)$ が各エネルギーグループごとに印字される。

3. プログラムの検定

3.1 計算誤差, 精度

解析解は非常に簡単な問題に限り与えられる。これと計算結果の比較は最大 6.0% の誤差で良く一致している。

3.2 演算時間

3 エネルギーグループ 1 領域の簡単な計算では約 30 分であった。

3.3 適用範囲

簡単なチェック計算用である。

4. プログラムの使用について

4.1 オペレート

本プログラムは 2 つの *RUN* より成っており、*RU N1* と *RUN2* は *CALL CHAIN* で結ばれている。

4.2 他機種への移行

本プログラムは大型計算機 IBM 360 モデル 75 を目標として作られたテスト用プログラムである。現在 IBM 360-75 に対して書き換え中であり、最終プログラムは当然実際の遮蔽計算が可能な程度に大きくなる予定である。

5. あとがき

本プログラムは NEAC 2206 計算機に対し命令語だけでコアメモリ 10K 語を必要とし、磁気テープ装置 4 台を使用する。

本プログラムの他に 2 次元 (*r, z*) 円柱形状遮蔽体中性子透過計算プログラムとして MENE-2 が IBM 360-67 計算機に対して作られている。これは中性子のボルツマン輸送方程式を MENE 数値積分法で解

いて遮蔽体内および背面における中性子角度束密度を求めるプログラムである。詳細は参考文献 1) をまた計算結果は 2) および 3) を参照されたい。

参考文献

- 1) Kiyoshi TAKEUCHI : MENE-2, An R-Z Discrete Ordinate Neutron Transport Code, Penn.

State Univ. Report NucE 35 (1968).

- 2) 竹内 清 : 円柱形状遮蔽体に対する中性子輸送方程式の数値解法, 船研報告, 第 6 巻第 3 号 (1969).
- 3) Kiyoshi TAKEUCHI : A Numerical Method for Solving the Neutron Transport Equation in Finite Cylindrical Geometry, J. Nucl. Sci. Technol. Vol. 6, No. 8 (1969).

N-6 直円筒ダクトに対する中性子ストリーミング計算プログラム

原子力船部 竹 内 清

1. プログラムの目的および概要

定常の積分型輸送方程式を数値積分法で解いて, 2 次元 (r, z) 円柱座標形状遮蔽体の z 軸を中心とした直円筒ダクトに対する中性子ストリーミングを計算することを目的とする。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

PALLAS-CY-2

2.2 製作者

原子力船部 竹内 清

2.3 製作年月

昭和 44 年

2.4 理論の概要

基礎になる方程式は PALLAS-CY-1 コードと同じであり, 異なる点は線源が円柱体積線源の代りにディスク線源として与えられる点と Discrete Ordinates 角度分点の取り方に特別な技法を採用している点である。

2.5 計算の手順

PALLAS-CY-1 と同じである。

2.6 プログラム用語および計算機種

FORTRAN II NEAC 2206

2.7 入力

次の入力を除いて PALLAS-CY-1 と同じでよい。すなわち PALLAS-CY-1 の入力の (15), (16), (17) の代わりに次の境界条件

- (15) BC (1, 1), BC (1, 2), ..., BC (1, 6)
 BC (2, 1), BC (2, 2), ..., BC (2, 6)

 BC (9, 1), BC (9, 2), ..., BC (9, 6),

(172)

を入力とすればよい。

2.8 出力

PALLAS-CY-1 と同じである。

3. プログラムの検定

3.1 計算誤差, 精度

解析解としては非常に簡単な Line of sight 成分と Ray analysis 成分きり与えられていない。これと計算結果との比較は最大 20% の誤差がある。この原因は計算機のコアメモリの制限から角度方向メッシュを細かくとれなかったことによる。大型計算機ではメッシュをより細かくとることができるからこの誤差を減少させることができよう。

3.2 演算時間

簡単な問題すなわち 1 エネルギグループ 2 領域問題では約 15 分であった。

3.3 適用範囲

ごく簡単なチェック計算のみ

4. プログラムの使用について

4.1 オペレート

PALLAS-CY-1 と同様である。

4.2 他機種への移行

45 年度中には大型計算機 IBM 360-75 に対し作り換える予定である。

5. あとがき

ダクト問題のような比較的複雑な形状の問題を厳密な計算法で行なうには大型計算機でないとは不可能である。しかし計算法の有用性やプログラムの有効性をチェックするためには中型の計算機でも十分に役に立つことがわかった。

N-7 板状格子系輸送問題の固有関数展開による解法 (連立特異積分方程式の数値解)

原子力船部 吉 村 富 雄

原子力研究所 桂 木 学・鈴木 友 雄

1. プログラムの目的および概要

中性子に関する Boltzmann の輸送方程式を解析的に解く方法として最近注目されているものに、固有関数展開法¹⁾がある。輸送方程式が線型であることから、一般解を、その中に超関数も含んだ固有関数の重畳で表わし、展開係数は境界条件から特異積分方程式理論によって求めるという方法である。この方法では、これまで問題であった transient solution の求め方に対する任意性がなく、解が唯一かつ物理的に納得のいく形に求まるので、従来用いられてきた近似法の精度を調べるための基準としても有用となると思われる。

本プログラムは、板状多領域格子系の一郡中性子輸送問題を固有関数展開法で解き、臨界調整を行なって中性子束角分布、中性子流および損失因子を求めるものである^{2),3)}。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

TSMR-3, TSMR-4

2.2 製 作 者

原子力船部 吉村富雄, 原研 鈴木友雄

2.3 製作年月

昭和 40 年 11 月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

n 層の板状媒質が周期的に並んでいる 1 次元無限体系を考える。単一速度・等方散乱を仮定すると、定常状態における各領域の中性子束角分布 $\Psi_i(x, \mu)$ は次式をみたす。

$$\begin{aligned} \mu \frac{\partial}{\partial x} \Psi_i(x, \mu) + \Psi_i(x, \mu) \\ = -\frac{c_i}{2} \int_{-1}^1 \Psi_i(x, \mu') d\mu' + q_i \end{aligned} \quad \dots\dots(1)$$

この方程式の一般解は、離散固有値に属する 2 つの固有関数と連続固有値に属する 1 つの固有関数の重畳によって表わされる。

$$\begin{aligned} \Psi_i(x, \mu) = & e^{-x/\nu_0 i} \varphi_{+i}(\mu) a_{+i} \\ & + e^{x/\nu_0 i} \varphi_{-i}(\mu) a_{-i} \\ & + \int_{-1}^1 e^{-x/\nu} \varphi_{\nu i}(\mu) A_i(\nu) d\nu + \frac{q_i}{1-c_i} \end{aligned} \quad \dots\dots(2)$$

ここで

$$\begin{aligned} \varphi_{\pm i}(\mu) = & \frac{c_i}{2} \frac{\nu_0 i}{\nu_0 i \mp \mu} \quad \dots\dots(3) \\ \varphi_{\nu i}(\mu) = & -\frac{c_i}{2} \rho \frac{\nu}{\nu - \mu} + \lambda_i(\nu) \delta(\mu - \nu) \end{aligned} \quad \dots\dots(4)$$

境界条件 i) 各領域の境界における連続性: $\Psi_i(t_i, \mu) = \Psi_{i+1}(-t_{i+1}, \mu)$, ii) Cell 両端における周期性: $\Psi_1(-t_1, \mu) = \Psi_n(t_n, \mu)$ をみたすべき展開係数の間に次の連立特異積分方程式を得る。

$$\begin{aligned} \mathbf{B}(\mu) \mathbf{A}(\mu) \vec{\mathbf{A}}'(\mu) + \rho \int_{-1}^1 \frac{\nu}{2(\nu - \mu)} \\ [\mathbf{B}(\nu) \mathbf{C} \vec{\mathbf{A}}'(\nu)] d\nu \\ = -[\mathbf{B}_+ \vec{\Phi}_+(\mu) \vec{a}_+ + \mathbf{B}_- \vec{\Phi}_-(\mu) \vec{a}_- \\ + \vec{\mathbf{S}} \vec{\mathbf{Q}}] \end{aligned} \quad \dots\dots(5)$$

ここで、 $\vec{\Phi}_{\pm}$ は 2 つの discrete な固有関数の対角行列、 \mathbf{B}_{\pm} および $\mathbf{B}(\mu)$ は夫々 discrete および continuous な固有関数に対する境界条件より決まる行列、 \vec{a}_{\pm} および $\vec{\mathbf{A}}'(\mu)$ は求めようとしている展開係数のベクトル表示である。

連立特異積分方程式(5)を次の 2 つの方法で解く。

イ) べき級数展開法 (TSMR-3)

特異積分方程式をヒルベルト問題に変換し、斉次ヒルベルト問題を Coupling Parameter のべき級数に展開した形で解く。この方法にもとづくプログラムを TSMR-3 とする。

ロ) 第 II 種 Fredholm 型積分方程式への変換

(5)式を次のように変換する。

$$\mathbf{A}(\mu) \vec{\mathbf{A}}'(\mu) + \rho \int_{-1}^1 \frac{\nu}{2(\nu - \mu)} \mathbf{C} \vec{\mathbf{A}}'(\nu) d\nu$$

$$=B^{-1}(\mu)\vec{\Phi}_1(\mu) \quad \dots\dots(6)$$

この式をヒルベルト問題におきかえる。この場合は、齊次ヒルベルト問題の解は explicit に求まるので、展開係数は第Ⅱ種 Fredholm 型積分方程式で表わされる。この数値計算を行なうプログラムが TSMS-4 である。

2.5 計算の手順

参考文献 3) 参照

2.6 用語および計算機

FORTRAN IV, IBM 7044

2.7 入出力

参考文献 3) 参照

3. プログラムの検定

3.1 計算誤差, 精度

問題の性質上, 極めて高精度を必要とする計算であるが, 結果は TSMA-3, 4 どちらの場合も相対誤差 0.1% 以下で, 十分に要求をみたしている。

3.2 計算所要時間

二領域系の場合, 1例につき TSMR-3 (20 回繰返

し), TSMR-4 ($\mu: 102$ 点, $\epsilon=10^{-3}$) どちらも 5 分程度かかる。 μ の区分数を少なくすれば計算時間もほとんど比例して減少するが, その場合は $\mu=\pm 1.0$ 近くでの積分に誤差を生じ易いから注意を要する。

4. プログラムの使用について

本プログラムは, IBM 7044 (原子力研究所) 用 FÖ RTRAN-IV を用いている。

5. あとがき

連立特異積分方程式の 2 つの解き方は, 内容的にかなり異なる要素を含んでいるが, 数値計算の結果は, 両者非常に近い値を示した。さらに対称性の検討等からも, 本プログラムは十分に精度の良いものであるといえる。

参考文献

- 1) K. M. Case and P. F. Zweifel, Linear Transport Theory, A-W Publ. Comp., 1967.
- 2) 第 6 回船研発表会講演概要, 1966, p. 51.
- 3) 吉村富雄他, JAERI memo 第 2133 号, 輸送理論による板状多領域系の取扱, 原研, 1965.

N-8 NaI シンチレータの応答のシミレーション

原子力船部 中 田 正 也

1. プログラムの目的および概要

ガンマ線検出体として使用する NaI シンチレータの応答関数行列を, シンチレータの寸法やガンマ線のエネルギー範囲各種にわたって多様に求めたいのが, 実験的に求めるには多大の費用時間人手を要するので電子計算機によるシミレーションで応答結果を求めるプログラムである。

シンチレータ内部で生起する次の各種物理現象それぞれに単純モンテカルロ法をあて総合したものである。

光電効果・コンプトン散乱・電子対生成・制動放射・可干渉散乱, これに必然的に発生する電子走行による発光陽電子消滅による新ガンマ線の発生を加えたものが取り扱った物理現象である。

ガンマ線投射条件の標準的なものとして, 細く絞った光線をシンチレータ端面に垂直に投射した場合と,

平行に端面全体に均一に分布して垂直に投射した場合とを用意したが, 若干のプログラム変更で斜めに, あるいは端面や側面の指定した範囲に投射した場合にも応用できるので実際に投射条件の異なる場合の応答の比較にも使用した。

このプログラムによる応答関数行列はすでに各種条件の行列が求められ実用に供され, また応用として投射条件の相異による応答の比較もなされたので, 別に船研報告に結果を発表する。

2. プログラムの内容

2.1 プログラム名称

MC 0211

2.2 製作者

原子力船部 中田正也

2.3 製作年月

昭和 41 年

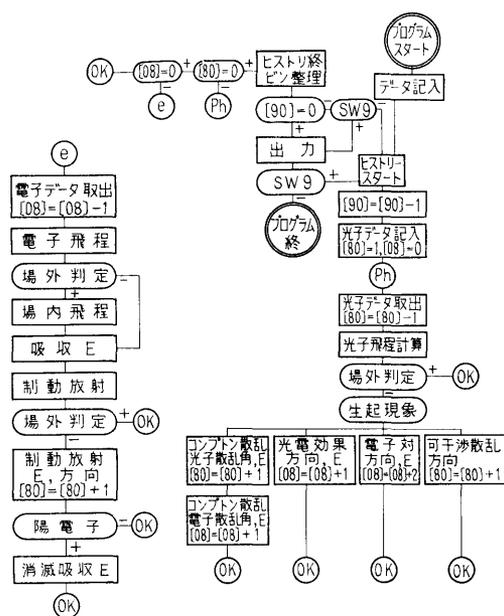


図-24 フローチャート

2.4 計算の基礎となる理論の概要

モンテカルロ法によるシミュレーションである。各物理現象をあてはめるに際して、近似方法その他の技術は細部まで説明しきれないので別に船研報告に概略を報告する。

2.5 計算の手順

図-24 はマクロチャートである。

2.6 用語および計算機

機械語 NEAC 2206

2.7 入力

2.7.1 センススイッチ

SW 2 ON: $\Delta E = E_0/n$ 自動的挿入

SW 3 ON: 電子飛程を常に 0 とし計算時間を短縮

SW 5 ON: E_0 の単一エネルギー投射

OFF: $E_0 - R * \Delta E$ と乱数分布

SW 6 ON: 端面全面分布投射

OFF: 中心軸上のみ投射

SW 8 ON: 投射 E 変化して連続 9 回以内

OFF: 毎回指定 (MC 0111)

2.7.2 データテープ (スタート前に読込ませる)

H : 結晶高さ, cm (FL)

r_2 : 結晶半径 r の 2 乗, cm^2 (FL)

r : 結晶半径, cm (FL)

ΔE : 1 ピン当りのエネルギー幅, mc^2 (FL)

E_e : 打ち切りエネルギー, mc^2 (FL)

n : ピン数 (区画数) (FX)

2.7.3 キーボード打ち込み

E 第 1 回分の投射光子エネルギー $M_e V$ (6)

N 計算を要求するヒストリ各回共通 (4)

R 第 1 回スタートの際の疑似乱数 (8)

a 繰返すステップ段数, 9 以下 (1)

e ステップ毎の増加または減少すべきエネルギーステップ差 $M_e V$ (6)

カッコ内は桁数で E と e は浮動小数点法, 他は固定小数点法。SWITCH 8 OFF の際は a, e は不要。

2.8 出力

タイプライタで、投射エネルギー、計算したヒストリ数、bin 毎に分類された光子数をステップ毎に出力し最後に次回に使用すべき疑似乱数を打出す。

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

3.1.1 統計誤差を考慮した全体の精度は結果を各 bin 100~1000 個の光子を検出する—これは 1 ステップ 40 bin について 10^4 ヒストリ程度が実用計算の程度とみたと予想して部分プログラムを用意した。

3.1.2 部分プログラムの精度。sin, cos, log, exp 等のサブプログラムも特に高速を目標に作った。その精度は 1/5000 である。重要なコンプトン散乱計算は角度で 1° 以内。あまり重要性をもたぬ電子飛程、制動放射発生等は最大誤差 30% 位から 100% 位であろう。

3.2 計算所要時間

(NEAC 2206) 10 MeV のステップで 10 分/1000 ヒストリ, 1 MeV でその半分程

3.3 適用範囲

投射光子エネルギー最高 10 MeV

ピンの数 99 ピン以内 (1 ステップのみの時 100 ピン以内)

シンチレータ寸法は実用範囲内で無制限の大きさ

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

SENSE SW 8 OFF で使用するならば 4K メモリの NEAC 2206 基礎装置でよい。ON で連続の時は 5K 必要である。

SENSE SW をセットして、データテープを読込ませた後 500 番地からスタートする、段落毎に PAUSE が入るが構わず再スタートせしめればよい。モンテカルロ計算中はタイプライタを休止せしめてよい。終了

すれば計算不能（オーバフロー）のブザーが鳴るから再スタートすれば出力する。

途中で打ち切りたい時は S. SW 9 を ON にして出力する。この際計算したヒストリ数の出力数値は実計算より 1 個大きいから注意を要する。

4.2 プログラムの応用

機械語で作られているので、途中でジャンプ命令を重ねることで容易に投射条件を変えられる。この性質を利用して、斜めに投射したり、極く部分的に絞って投射したり種々の実験が可能であった。

4.3 他機種への移行

4.3.1 FORTRAN での操作、この機械語プログラムを一連の数表とみなして磁気テープに格納したものを取出して使用する FOTRAN 語の MC 0311 が

作られている。

4.3.2 物理現象の大事な部分プログラムは FORTRAN II のサブプログラムに書換えられた。これを組合わせて他の γ 線に関するモンテカルロ計算プログラムに利用されている。

5. あとがき

NEAC 2206 は乗除算が遅いので極力乗除算を排した。この為に関数類は出来るだけ数表内挿法にたよった。この特殊な注文と、4K の基礎装置のメモリでこの大きなプログラムを納めるため機械語で書かれたが FORTRAN で書くとおよそ命令語（2500 語位）が 3 倍位、計算時間で 2 倍位になるのではないかと思われる。

N-9 原子力船の運転時および事故時における 直接線量率分布の計算

原子力船部 吉村 富雄・菅 和子・片岡 巖

1. プログラムの目的および概要

原子力船においては、高度の安全性と遮蔽体の軽量小型化のために、特に精度の高い放射線安全評価および遮蔽設計法の確立が要求される。その場合の 1 つの問題点は船体構造物・タンク・各種プラント機器等の遮蔽効果の計算法である。

放射線源や構造物を単純化し、計算点の数が少なければ RAS 法等による手計算も可能であるが、エネルギースペクトルや角度分布をもった線源に対して、複雑な船体構造物等を扱おうとすると電子計算機による迅速な処理が必要になる。本計算コード、MARINE-1 は、原子力船の船体（または他の構造物）の構造が与えられたとき、運転時および事故時の実際に近い線源分布に対して、船体内外の各点に到達する直接線量率を計算するコードで、NEAC-2206 用にプログラミングされている^{1),2)}。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

MARINE-1

2.2 製作者

原子力船部 吉村富雄、菅 和子、片岡 巖

2.3 製作年月

昭和 39 年 3 月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

遮蔽体としては、通常の 2 次遮蔽体および格納容器のほかに、船体構造・タンク・各種プラント機器を考える。これらを任意の点を原点とした XYZ 座標で次のように表わす。

イ．格納容器：円筒形 1 個、ただし円筒の中心軸は 3 主軸の何れかに平行とする。円筒面上を 99 個までの領域に分割し、その各々を任意厚さの 3 層までの物質層として指定できる。

ロ．船体構造：各辺が 3 主軸の何れかに平行な矩形平板で表わし、200 個までとれる。構成物質は 4 層までとする。

ハ．タンク類：船体構造と同じ条件の矩形平板 4 枚で囲まれた部分として扱い、内容物質を指定する。

ニ．プラント機器：3 主軸の何れかに平行な軸をもつ 2 個の同軸円筒として表わし、材質は円筒の中間および内部で任意に指定できる。

ホ．2 次遮蔽体：上述遮蔽要素の組合せとみなす。

放射線源は、単一エネルギーの速中性子および γ 線

の点線源または面線源とする。面線源としての角度分布は、任意方向を主軸として、一様分布および3乗までの余弦分布の和として表わす。この場合各線源の放出面が両面であるか片面のみであるかも指定できる。線源番号を i とすると各線源は次式のように表わされる。

$$\text{点線源: } S_i = S_i^i$$

$$\text{面線源: } S_i = S_0^i + \sum_{k=1}^3 S_k^i \cos^k \theta_i$$

ここで θ_i は、各線源について任意に指定した主軸と、線源と計算点を結ぶ線とのなす角である。

速中性子の減衰は除去理論によって計算し、 γ 線の減衰は非衝突線と再生係数によって計算する。ある点での速中性子束または γ 線エネルギー束は次式のようにになる。

$$\phi = \sum_i S_i K_i(t_i)$$

ここで $K_i(t_i)$ は減衰核を表わし、速中性子および γ 線に対して夫々次のように計算する。

$$\text{速中性子: } K_i(t_i) = \exp(-\sum_j \sum_{remj} \mu_j t_{ij}) / 4\pi t_i^2$$

$$\gamma \text{ 線: } K_i(t_i) = B_i(t_i) \exp(-\sum_j \mu_j t_{ij}) / 4\pi t_i^2$$

ここで、 \sum_{remj} = 第 j 層の速中性子除去断面積

μ_j = 第 j 層の γ 線吸収係数

t_i = 第 i 線源から計算点至る距離

$B_i(t_i) = t_i$ に沿う物質配置・厚さ・入射角
に關係する γ 線エネルギー再生係数

を表わす。中間の計算は全てエネルギー束で行ない、最後に線量率に換算する。

散乱 γ 線の効果を表わす再生係数 $B_i(t_i)$ には多くの要素が含まれている。本コードでは、モーメント法によって求めた Peebles の値を物質の種類・透過距離・有限厚さである効果および入射角の関数として整理して用いる。多重層効果は乗積法で考慮する。

事故後の積分線量は次のようにして求める。事故後の γ 線源の強さに関する Perkins & King の値を、エネルギー区分および時間区分を適当に選んで近似式 $S(t) = A(t+B)^\alpha$ で表わす。このような変化を仮定して時間積分を行ない、積分線量を計算する。

2.5 計算の手順

RUN-1: 遮蔽体および線源に関するデーターを磁気ドラムに計録する。計算点をよみこみ各線源ととの遮蔽体を計算して、その遮蔽体番号・交点の位置・交角を印字し、同時に紙テープに穿孔する。

RUN-2: RUN-1 の出力テープをよみこみ、その

指定にしたがって各物質の γ 線吸収係数および再生係数を磁気ドラムからよみだす。各線源から計算点至る放射線の線量率を計算し、それらの総和をとる。

2.6 用語および計算機

機械語 NEAC 2206

2.7 入力

2.7.1 遮蔽体に関する入力

イ. 格納容器: 番号, 円筒軸の方向, 位置, 大きさ, 領域数, 各領域毎の位置・大きさ・材質および厚さ。

ロ. 船体構造: 番号, 平板の方向, 位置, 大きさ, 材質および厚さ。

ハ. タンク: 番号, 位置, 大きさおよび内物質。

ニ. プラント機器: 番号, 軸方向, 位置, 大きさおよび材質。

2.7.2 線源に関する入力

種類, 番号, 位置, 射出方向主軸, 片面・両面の別および放射線の強さ。

2.7.3 計算点に関する入力

計算点番号および位置。

2.7 出力

計算点番号

線源番号, γ 線エネルギー束, 線量率

速中性子線量率

γ 線全線量率および速中性子全線量率

3. プログラムの検定

3.1 計算誤差, 精度

計算例の主なるものは、原船協試設計船の安全評価³⁾、原船団第1船の予備設計⁴⁾、航海訓練所進徳丸について⁵⁾等であるが、これらのうち実験との比較がなされているのは第3例の進徳丸の場合だけである。比較の結果、計算値は多くの場所で実験値の1~5倍の値を示し、本コードは設計のための計算として十分安全側の値を与えることがわかった。

3.2 計算所用時間

計算時間は RUN-1 が毎秒 100 点, RUN-2 が毎秒 1 点程度であるが、このほかに入出力のための時間がかかる。

4. プログラムの使用について

本コードは、拡張前の NEAC 2206 用にプログラミングされたものであるから、オペレーションには特に注意を要する。

5. あとがき

このようなコードの場合、計算精度は試算と経験およびその段階で得られるデーターの質と量に大きく

依存する。本コードは MARINE シリーズの第1次試案として、多くの成果と貴重な経験をもたらした。それにもとづいて改良したのが MARINE-2 である。

参考文献

- 1) 船研第1回研究発表会講演概要, 1963, p. 49.
- 2) 原子力学会 38 年年会要旨集, 1963, p. 192.
- 3) 運輸省造船原船安全部会, 原船安全基準(案), 1964, p. 225.
- 4) Engng. Compendium on Radiation Shielding, Vol. II, C. 10, Springer-Verlag, Berlin, New York (in the press).
- 5) AERE-R 5773, Vol. 4, 1968, p. 989.

N-10 有限遮蔽板によるガンマ線再生係数の計算

原子力船部 山越 寿夫

1. プログラムの目的および概要

有限遮蔽板によるガンマ線の散乱場を再生係数の表現でまとめ、その量の板の有限さへの依存性、入射線のエネルギー、入射方向、空間依存性等を調べるためのコードである。計算される量は2回散乱までの散乱ガンマ線エネルギースペクトル、エネルギーフラックスの積分値としての再生係数および遮蔽板の立体角である。有限板による散乱線の場の計算は境界値問題としてのボルツマン輸送方程式を解く事が、境界条件の複雑さのゆえに、困難であるので、ある物理的モデルに基づいて計算をする事にしてある。モデルの妥当性は対象とした問題の範囲では確かめられている。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号、名称

C B F

2.2 製作者

原子力船部 山越寿夫

2.3 製作年月

昭和 44 年 8 月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

入射線各々と観測点を含む特性平面という概念を導入し、本来は最高4重積分までの多重積分で表わされる量を特性平面近傍で展開しその結果として4個の因子による単純な表現に帰着せしめた。仮定として遮蔽板の厚さが遮蔽板と観測点との間の距離に比較して十分小さいとしている。また散乱線の場は2回までの遮蔽体内コンプトン散乱を考慮している。

2.5 計算の手順

図-25 に計算手順のフローチャートを示す。

基礎物質定数はガンマ線データファイルシステムの磁気テープより受け渡され紙テープから読まれたガンマ線エネルギーや計算中におけるエネルギーに対応した物質定数を決定すべく、ガウスの内挿法により1000エネルギーメッシュにおける物質定数のテーブルを計算機の中に作製し格納する。次に読込まれた観測点の位置に対するエネルギースペクトルを計算しプリントアウトする(ジャンプスイッチ1をオンの場合)。ジャンプスイッチが何らオンになっていない場合は観測点における散乱された全エネルギーフラックスを求め、もし再生係数が定義できる場合は再生係数も次いで求める。さらに観測点に対して遮蔽板が張る立体角を計算する。最後に得られたこれらの量をプリントアウトする。

2.6 用語

FORTRAN II 機種 NEAC 2206

2.7 入力

磁気テープからの入力は省略する。

以下の量は E12.4 で読み

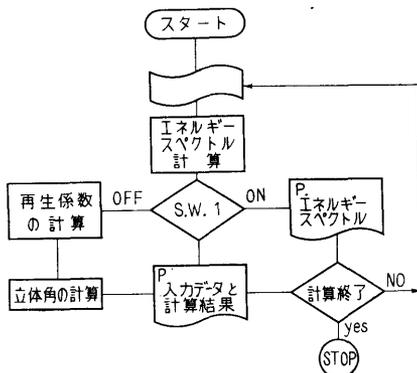


図-25 フローチャート

XNSH……遮蔽体X方向の負側境界
XPSH……遮蔽体X方向の正側境界
YNSH … “ Y ” 負 “
YPSH…… “ Y ” 正 “
ZNSH…… “ Z ” 負 “
ZPSH…… “ Z ” 正 “

GAMMA…遮蔽体への入射エネルギー

THETA…入射線の入射角

XDTP……観測点のX座標

YDTP…… “ Y ”

ZDTP…… “ Z ”

2.8 出力

以下の量は E12.4 である。

XDTP……観測点のX座標

YDTP…… “ Y ”

ZDTP…… “ Z ”

EFLXSP…エネルギースペクトル

EFL……エネルギーフラックス

BF ……ビルドアップ係数

ϕ *MEGA*…立体角

3. プログラムの検定

3.1 計算精度

まず計算精度として使用した物理的モデル全体の妥当性が問題となるがこれは銃身型ナロービームについての計算値と実験値、モンテカルロ計算との比較から妥当な事が判る。計算における近似の各段階での精度は遮蔽体の厚みと遮蔽体観測点間の距離の比の2乗のオーダーの程度である事がチェックにより判明する。

3.2 計算時間

観測点1点についての計算時間は約2分である。

4. プログラムの使用について

4.1 オペレート

ジャンプスイッチ1使用

4.2 プログラムの応用

サブルーチンとして使用されている内挿法はガウスの内挿法をプログラムしたものでありカーバチャーとして高次の曲率も入力データで考慮する事ができ、またこまかい表を一担作成してしまうので内挿のための時間も短い。これは今の計算によらず他の計算の際にも利用できる有用なサブルーチンである。また積分のサブルーチンは7点法、10点法、20点法等のガウスの分点法に対する積分のサブルーチンであり、他の計算に利用できる。

4.3 他機種への移行

必要ならば考慮する。

5. あとがき

この計算プログラムによる計算は有限遮蔽板による散乱ガンマ線の再生係数の性質を研究するためには有用なものである。これらの性質を知る事はさらにより複雑な遮蔽体によるガンマ線の散乱場の解析の手がかりを与えるものと期待される。

参考文献

ORNL-TM-2520

On Examination of Several Calculational Models for Use in Computing Gamma-Ray Penetration of Structures.

N-11 ガンマ線のデータファイルシステム

原子力船部 山 越 寿 夫

1. プログラムの目的および概要

遮蔽計算に用いるガンマ線の諸種の物質定数を磁気テープに格納、更新し、他の機会における計算の基礎データを供する事を目的とする。このコードのはたらきは5つある。すなわち、欲するデータに関する検索リストアップ、データの磁気テープへの追加格納、新データによる一部訂正、必要に応じたデータの製表、モンテカルロ計算への入力データの作成並びに他の磁

気テープへの格納等である。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号、名称

GOF system

2.2 製作者

原子力船部 山越寿夫

2.3 製作年月

昭和43年5月

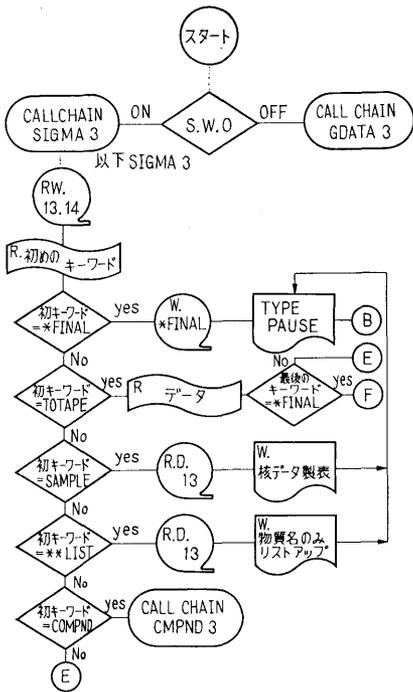


図-26 フローチャート

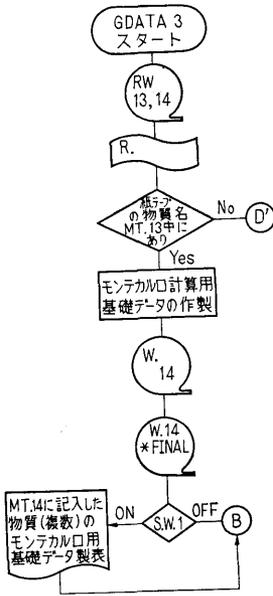


図-27 フローチャート

2.4 計算の基礎となった理論の概要

2.5 計算の手順

図-26~図-29 にフローチャートとして示すごとくこのシステムは機能上3つのサブシステムより成り、

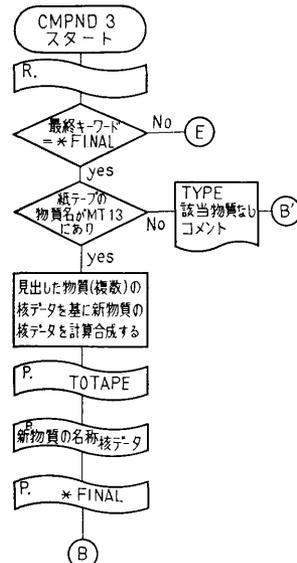


図-28 フローチャート

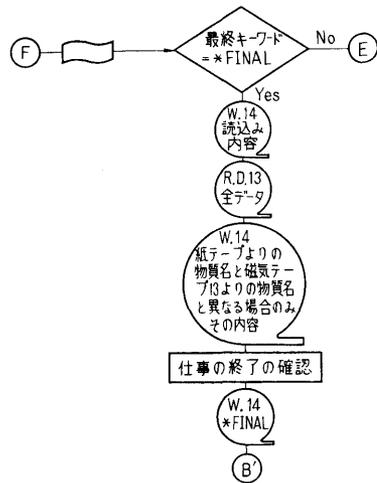
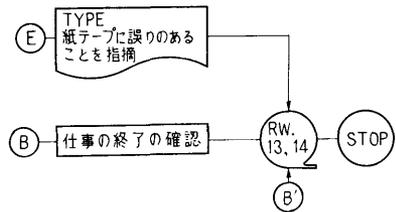


図-29 フローチャート

互いはコールチェーンで結ばれている。それぞれは固有の使命を持ち、ジャンプスイッチと外からの紙テープにより指示された目的とにより使われられる。まずサブシステム SIGMA 3 は、欲しい物質のデータに

関する検索リストアップ、新データによる旧データの一部改訂、新物質のデータの追加、欲するデータの製表等がその役割である。使用される磁気テープはチャンネルナンバー13と14にある。13に旧データ、14には新データが格納される。上記作業をさせるためにはジャンプスイッチ0がオンとなっている必要がある。次に CMPND 3 は上記の状態にて紙テープ上に新物質（これは化合物または混合物である）のデータが欲しい旨パンチがしてあればコールチェーンで呼び出されて来る。13のデータに基づく合成計算が紙テープの指示にしたがって行なわれ、結果は紙テープにパンチアウトされる。もしジャンプスイッチ0がオフになっており代わりにジャンプスイッチ1がオンになっている場合は、モンテカルロ計算用基礎データを計算するサブシステム GDATA 3 が呼び出される。紙テープによる指示にしたがって13の磁気テープを用いた計算が実行され、結果は14に格納されるとともに表としてプリントアウトもされる。もしここでジャンプスイッチ1もオフになっていたものとすれば（即ち、スイッチが全てオフの場合）プリントアウトは省略される。

2.6 用語

F ϕ RTRAN II 機種 NEAC 2206

2.7 入力

(1) 磁気テープ 13 が全く新しい場合

*FINAL……データの尾部を意味するキーワード (A6)

(2) 旧データの改訂、新データの追加

T ϕ TAPE……(2)の作業を意味するキーワード (A6)

J ϕ BN ϕ M……以下対象とする物質数を意味する。(I3)

以下の、NMAT から ***END までのデータは J ϕ BN ϕ M 回各物質毎にくり返される。そして全ての入力データの終末を意味するキーワード *FINAL が最後に来る。

NMAT……物質名 (A6)

単原子分子を成す元素は ****FE の如く、また化合物や二元子分子等の場合は HYDR ϕ G 等の如く表現するものとする。

NMAT 以下7個の量は (A9, 2I2, 4E13.3) で読み込まれる。

N ϕ ENT……データの与えられているエネルギー点の数

NABN ϕ M……ガンマデータのエッジの数

DENS……物質密度

C ϕ NV……吸収係数の単位を [gr/cm³]

から [cm⁻¹] に変換するための係数

AWEIT ……原子量

AM ϕ LWE…分子量

二原子分子である H₂ 等は原子量と分子量のそれぞれ対応する値を入れる。

以下のデータでは、I は 1~N ϕ ENT まで変化し且つ (7E11.3) として読込まれる。

WC ϕ (I) ……コヒーレント散乱を含む散乱に対応した吸収係数

W ϕ C(I) ……インコヒーレント散乱に対応したもの

PH ϕ (I) ……光電効果による吸収係数

PAI(I) ……電子対創生の成分

T ϕ TC(I) ……コヒーレント散乱が含まれた全吸収係数

T ϕ T(I) ……コヒーレント散乱を含みぬ全吸収係数

***END……該物質の入力データの終末を意味するキーワード (A6)

*FINAL……(A6)

(3) データの製表

SAMPLE…(3)の作業を意味するキーワード(A6)

MAT, KEND…製表すべき物質名、キーワードで読み込みは (2A6) である。

例えば、鉄、水素、酸素の全データを表にプリントアウトしたい場合は

****FE****END

HYDR ϕ G****END

ϕ XYGEN****END

*FINAL

と紙テープにパンチする。

(4) 磁気テープにある物質名のリストアップをする。

**LIST……(4)の作業を意味する。

(5) 新化合物、混合物の計算

C ϕ MPND……(5)の作業を意味するキーワード (A6)

J ϕ BN ϕ M……計算すべき物質数 (I3)

以下の MATERI より ***END までのデータは J ϕ BN ϕ M 回、各物質毎にくり返され最後に *FINAL で結ぶ。

以下の四個の量は (A6, I2, 2F10.5) で読込まれる。

MATERI ……計算すべき化合物 (混合) 物名

NSφSEI.....該物質の組成数

DENSITY " 密度

CφNVFC吸収係数の次元変換係数

以下の量は (A6, F10.5) で *NSφSEI* 回くり返される。

NBSHTS該物質構成元素 (分子) 名

RATIφ " の比,

例えば, 水を酸素と水素のデータから合成計算する場合は以下の如く紙テープにパンチする。

CφMPND

*WATER*2, 1.0, .03344*

HYDRφG 2.0,

φXYGEN 1.0,

****END*

**FINAL*

(6) モンテカルロ計算用基礎データ計算

NMT...モンテカルロ計算に用いる物質数 (I 2)

以下の *MATERI*, *NEND* は (2A6) で読込まれ, *NMT* 個がそのようにテープにパンチされている。

MATERI, *NEND* モンテカルロ計算に用いられる物質名並びにキーワード ****END*

2.8 出力

(1) 磁気テープ 13 が全く新しい場合

PAUSE...(1)の作業の終了を意味するキーワード...がタイプアウトされ, 磁気テープ 13 の頭に **FINAL* の文字が書きこまれている。

(2) 旧データの改訂, 新データの追加

PAUSE...(2)の作業の終了を意味するキーワード...のタイプアウトとともに磁気テープ 14 には(2)の作業の結果としての新しいデータが格納されている。

(3) データの製表

(2)の読み込み (入力) データと同一のものがリクエストされた物質の順に表としてプリントアウトされる。

PAUSEタイプアウト

(4) 磁気テープにある物質のリストアップをする。

PAUSEタイプアウト

(5) 新化合物, 混合物の計算

化合物, 混合物についての(3)と同等な表をパンチアウトする。

PAUSEタイプアウト

以上(1)~(5)までの出力のうちで, 入力の形式にあやまりがある場合, 例えば, あるべき所に ****END* とか **FINAL* とかのコメントが紙テープにパンチされていない場合は, 出力として *ILLEGAL DATA* と云うコメントがタイプアウトされる。又特に(5)において

磁気テープに無い物質をリクエストした場合の出力は *MATERIAL NφT FφUND* が物質名とともに出る。

(6) モンテカルロ用基ソデータ計算

ジャンプスイッチ 1 がオンの場合は

MATERI (A6)

EGY (I) ...エネルギー点の対数値

OC (I)全吸収係数に対するコヒーレントなしの吸収係数の比

Cφ (I)全吸収係数に対するコヒーレントを含む散乱の吸収係数の比

OH (I)全吸収係数に対するコヒーレント散乱と光電効果を含む吸収係数の比

TT (I)全吸収係数

が I 行 E11.3 でプリントアウトされるとともに磁気テープに格納される。これが各物質毎に物質名とともにくり返される。

PAUSEタイプアウト

もし(6)において入力データにあやまりがあればコメントとして *ILLEGAL DATA* がタイプアウトされる。

3. プログラムの検定

3.1 計算誤差, 精度

まず考えられる事は, 化合物又は混合物に対する計算誤差であろう。例を水の計算で示せば有効数字10桁目まで(最高の有効数字において)正しい結果を与える。またデータの入出力の比較において誤りはみとめられない。

3.2 演算時間

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おいて *MT-13*, *14* および *PTR*, *HTP*, ジャンプスイッチ 0, 1 を使用する。

4.2 プログラムの応用

このシステムは何らガンマ線のデータ処理格納に限定される必要はなく, 分野の異なる場合にも役立つのである。又遮蔽の計算に話を限定しても入れものの中味の項目を少し変換すればガンマ線以外の放射線の基礎データの格納処理にも有効である。

4.3 他機種への移行

必要とあれば他機種への移行を考えても良い。

5. あとがき

何によらず基礎データの格納, 処理の必要性が今後も増大するであろうがその意味でもシステムの一例を成すものであり広く参考意見が開かれれば幸いである。

参考文献

OGRE-G 用データシステム.

N-12 NaI シンチレータの応答関数の計算プログラム

原子力船部 山 越 寿 夫

1. プログラムの目的および概要

NaI シンチレータにガンマ線が入射した結果シンチレータ中の電子に与えられるガンマ線エネルギーについてのエネルギースペクトルを知る事により、逆に実験の入射線のエネルギースペクトルの様子を知る事ができる。

コードに組まれた計算の物理的モデルは以下のようなものである。シンチレータは円筒状で有限の高さを持っている。入射するガンマ線は単色な細いビーム状で円筒の中心軸にそって垂直に入射する。入射したガンマ線はシンチレータ内部でたかだか2回のコンプトン散乱を受け、その際電子にエネルギーが付与される。計算の結果は Berger 等によるビームをしぼった場合のモンテカルロ計算と比較して良い一致を示している。従って2回コンプトン散乱のモデルは可成り良く現実の現象を模擬している。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号, 名称

NAI RESP

2.2 製作者

原子力船部 山越寿夫

2.3 製作年月

昭和 41 年 8 月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

シンチレータの中心軸上に入射したガンマ線束は指数関数 $e^{-\mu x}$ で減衰して行くため1回目の散乱が生ずる源も軸上でこれに比例した分布をしていると考える。他方中心軸上の各点では、中心軸を柄とする傘状に1回散乱をしたガンマ線は広がって行きその軸からの広き角(即ち散乱角) θ' は電子に与えられるエネルギー ϵ と以下の如く結びつく。

$$\epsilon = \frac{E_0^2(1 - \cos \theta')}{1 + E_0(1 - \cos \theta')}, \quad 0 < \epsilon \leq \frac{2E_0^2}{1 + 2E_0}$$

今述べた傘の母線上の各点で同様な傘を考える事ができ、それが2回目の散乱の結果という事になる。あるガンマ線に着目した場合、それがシンチレータの内部で2回の散乱を行なったとするとガンマ線が電子に

与えたエネルギー ϵ は

$$\epsilon = \frac{E_0^2(2 - \cos \theta' - \cos \theta'')}{1 + E_0(2 - \cos \theta' - \cos \theta'')}, \quad 0 < \epsilon \leq \frac{4E_0^2}{H4E_0}$$

で与えられる。

ϵ が $2E_0^2/(1+2E_0)$ 以下であれば当然同じエネルギー量が1回散乱だけで与えられる場合と2回散乱を通じて与えられる場合とがある。他方、シンチレータの大きさは有限であるから、1回目や2回目の散乱の後にシンチレータの外へぬけ出してしまうエネルギーや又 NAI の中で光電効果により吸収されてしまうものもある。従って上記の1回並びに2回散乱により電子に与えられるエネルギーを計算する為には、散乱の生じた位置、散乱後のガンマ線の飛跡の長さに関連した方向等のチェオメトリー因子を重みとする空間積分を行なう必要がある。2回目の散乱の後の散乱線が、つくる円錐に付いてその母線の散乱方位角に関する分布が長短2つの母線の長さの間を直線的に変化すると仮定する事により、此の空間積分は解析的に実行が可能となる。この仮定は散乱線のシンチレータへの逃れる確率を大き目に評価する事になる。此の積分自身は比較的簡単なものであるが積分の領域がシンチレータのチェオメトリーと1回目の散乱角、散乱位置、2回目の散乱の方向等に依存して複雑多岐にわかれており非常に込み入っている為、結果の詳細は割愛する事にするが理論の概要は尽しているはずである。なお此等の積分の結果として、シンチレータの外へガンマ線として逃れ出たエネルギーと1回および2回散乱により電子に与えられた全エネルギー並びにエネルギースペクトルが計算される。入射ガンマ線によりもたらされた全エネルギーと此等のエネルギーとの差は光電効果によりシンチレータに吸収され(電子に与えられ)たエネルギーである。

2.5 計算の手順

図-30 にフローチャートとして示す如くである。

2.6 用語

F ϕ RTRAN II 機種 NEAC 2206

2.7 入力

I核データのエネルギー点数 (I 3)

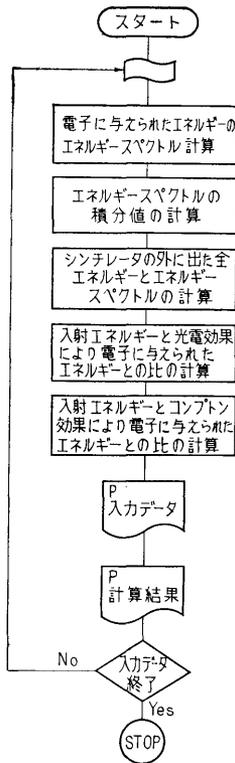


図-30 フローチャート

- $EE(I)$ ……核データのエネルギー (E12.4)
 $FMYU(I)$ …… $EE(I)$ に対応する全吸収係数 (E12.4)
 $GAMMA$ ……入射エネルギー (E12.4)
 EL ……シンチレータの長さ (E12.4)
 RR ……シンチレータの半径 (E12.4)
 $ENEMSH$ ……エネルギースペクトル用のエネルギーピンの幅 (E12.4)
 J ……エネルギースペクトルメッシュ数 (I3)

2.8 出力

- $E\phi UT$ ……シンチレータ外に出た全エネルギー (E12.4)
 $E(J)$ ……エネルギー
 $ENE(J)$ ……電子に与えられたエネルギーのうちでエネルギーが $E(J) \sim E(J+1)$

の間の値 (E12.4)

$ENES\phi T$ ……全電子への付与エネルギー (E12.4)

$EPH\phi T$ ……光電効果により電子に与えられたエネルギー

$RATI\phi 1$ ……入射エネルギーと $EPH\phi T$ との比 (E12.4)

$RATI\phi 2$ ……入射エネルギーとコンプトン散乱により電子に与えられた $ENET\phi T$ との比

$RATI\phi 3$ …… $RATI\phi 2 + RATI\phi 1$

$GAMMA$ ……既出 (E12.4)

EL ……既出 (E12.4)

RR ……既出 (E12.4)

3. プログラムの検定

計算精度は用いた物理的モデルの妥当性と計算自身に伴う精度に分けられるが、計算自身の精度は有効数字8桁まで正しい事が確かめられている。コンプトン散乱による電子の得たエネルギーのエネルギースペクトルに関するモンテカルロ計算との比較では有効数字3~4桁まで正しい事が示され、モデルの妥当性は確かめられる。

3.1 計算時間

エネルギーメッシュ40点で1ケースが10秒以内である。

3.2 適用範囲, 制限事項

用いた物理的モデルは2回散乱迄を考慮している事に注意。又ブロードビームや斜め入射のビームに対しては別に計算をしなければならない。

4. プログラムの使用について

4.1 オペレート

4.2 プログラムの応用

4.3 他機種への応用

5. あとがき

モンテカルロ計算のチェックの意味で又、モンテカルロ法よりも迅速な計算によりおおよその予想と見通しを与える為に、シンチレータ中心軸上に入射する細い単色ビームの応答関数の計算コードを作成した。

N-13 区画構造を持つ遮蔽体からの散乱および透過したガンマ線を計算 (モンテカルロ) するプログラム

原子力船部 山 越 寿 夫

1. プログラムの目的および概要

船体等に見られる区画構造を持つ遮蔽体により、外部からの、又は内部の湧源からの、ガンマ線が散乱された場合の放射線線量率等遮蔽研究の上で必要な積分量の空間分布を確率的手法を用いたモンテカルロ法で求める事が目的である。遮蔽体の構成要素、例えば船体のバルクヘッドは、有限な大きさの板として紙テープによる入力で指定される。遮蔽体全体はそれら有限板の空間的組合せとして算機に記憶される。ガンマ線のデテクターの位置並びに大きさは紙テープから入力データとして指定される。その際、デテクターの分布としては、それらは何枚かの仮想的な薄い板上に網目状に分布する様に配慮されるべきである。これはプログラミング上の複雑さが計算機の容量の無駄使いを惹き起す事を避ける為と計算の効率を高めると云う主旨からその様にプログラムが行なわれている為である。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号, 名称

MφNTE-1

2.2 製作者

原子力船部 山越寿夫

2.3 製作年月

昭和 44 年 5 月

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.

モンテカルロ法はある積分量を統計確率的手法で計算する方法である。例えば重み関数 $f(x)$ でウェイトをかけた関数 $g(x)$ を $[a, b]$ 区間で積分した値を J とし、 J の値をモンテカルロ法で求める事で例を示そう。

$$J = \int_a^b f(x)g(x)dx$$

重み関数 $f(x)$ を規格化された確率密度関数とすると以下の表現となる。

$$\int_a^b f(x)dx = 1$$

$f(x)$ からランダム変数 x のある値をサンプリングして決定したとすると (即ち乱数 R に対して

$$R = \int_a^x f(x')dx' = F(x)$$

とおき $x = F^{-1}(R)$ より x をきめると) 最初の積分は

$$J = \int_a^b g(x)dF(x)$$

と変形される。 $F(x)$ は累積分布関数である。この変換を行えば、区間 $[0, 1]$ で一様な確率で $F(x)$ の値を選ぶという事が区間 $[a, b]$ で x の値を $f(x)$ に従って選ぶ事になり、従ってモンテカルロ法により求めた J の値 \bar{J} は、任意のサンプル数 N を用いて以下の如く求まる。

$$\bar{J} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g(x_i)$$

実際の計算では、ガンマ線の粒子の一つ一つにつきその誕生から体系外への消滅 (もれ, 吸収等による) までの種々の経歴を位相空間 (位置, 角度, エネルギー等が座標軸を形成している空間) で計算機により追跡し、該デテクターにまで達した粒子のもたらす物理量 (上の議論の $g(x)$ に相当) を蓄積する事になる。その際大切な事は、ある粒子の振舞は、その粒子の過去の経歴には独立でありただ位相空間で如何なる位置に現在居るかという事のみ依存するという事である。

モンテカルロ法は統計的手法であるから計算で得られた量の精度の統計的評価ができる。その際精度の評価に用いられるのがサンプルバリエーション σ^2 で以下の如く表わされる。

$$VAR(\bar{A}) = \sigma^2 = \frac{S^2}{N}$$

A は或るサンプルされた量であり N はサンプル数である。 S^2 は以下の関係から求まる。

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum A_i^2 - \frac{(\sum A_i)^2}{N} \right]$$

σ は、普通正規分布をしたサンプリングに対して標準偏差と呼ばれている量にあたり、求めた平均値が真

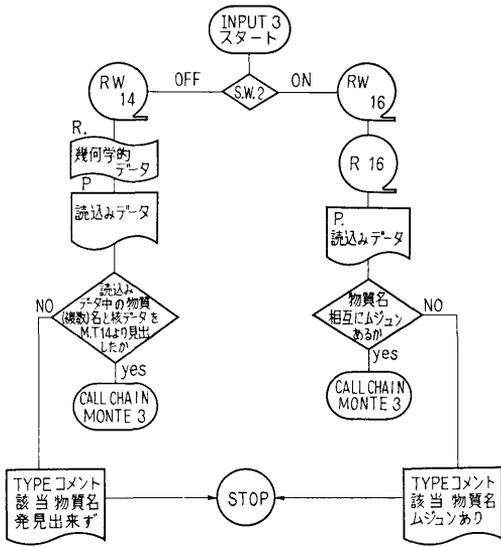


図-31 フローチャート

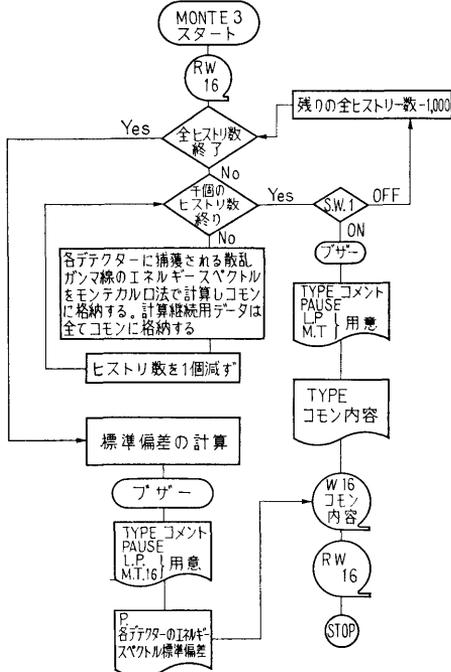


図-32 フローチャート

の平均値から一標準偏差以内にいる確率が約 67% である事を意味している。

2.5 計算の手順

図-31, 32 にフローチャートとして示す如く, 計算

の基礎となる物質定数はガンマ線データファイルシステムからの磁気テープ 14 を通してデータチェックルチーン INPUT 3 に引き渡される。そこではある問題を計算するのが始めてである場合にジャンプスイッチ 2 をオフとする事で, 問題の幾何学的データが紙テープの PTR からの読み込みにより入力される。そしてすべての入力されたデータを必ずプリントアウトする事にしてある。モンテカルロ計算のメインルチーンとデータチェックルチーンとはコールチェーンで結ばれて居り, すべての計算の為の基礎データはコモンを通じてメインルチーン MONTE 3 へ受渡される。メインルチーンでは, 種々の理由から計算の中断をしなければならぬ事態の際は, ジャンプスイッチ 1 をオンにする事により計算の切目の良い処で計算の打ち切りとなりスタートに必要な全てのデータの磁気テープ16への格納並びにプリントアウトを行なうようにしてある。計算中は周辺装置, 例えば PTR やラインプリンター, オンラインのタイプライター等はすべて停止させてあるので, 計算の終了又は中断の為の手続きの後にはブザーが鳴り更にオンラインタイプライターをオンにする事で必要な周辺装置の始動の指示が得られるようにしてある。又, 計算のリスタートの際は PTR による入力は必要がないのでジャンプスイッチ 2 はオンにして置き磁気テープ16に格納されたデータは INPUT 3 に入力されかつプリントアウトされて前にプリントアウトされた結果との照合が行なえるようにしてある。又読み込まれた物質名が前の物質名のリストの中にない場合はその物質名とともにコメントとして THIS MATERIAL CAN NOT BE FOUND がタイプアウトされるようにしてある。

2.6 用語

FφRTRAN II 機種 NEAC 2206

2.7 入力

(1) 初めの場合

NφMED.....物質数 (I 3)

MML(K) ...物質名 (5A6) ($K=1 \sim MφMED$)

磁気テープ 14 からの入力は省略する。

GAMMA ...入射ガンマ線のエネルギー (mc²)

R初期ランダムナンバー

ECTカットオフエネルギー

XDIREC ...入射線の *x* 軸に対する方向余弦

$$(E12.4)$$

YDIREC..... " *y* "

$$(E12.4)$$

ZDIREC……入射線の *z* 軸に対する方向余弦
(E12.4)

XPφSIS …… " *x* " 位置

YPφSTS …… " *y* "

ZPφSTS …… " *z* "

NHIST ……モンテカルロ計算のヒストリ数
(I7)

NφREG ……計算対象の領域数 (I7)

NXBND……*x* 方向の境界の数 (I7)

NYBND……*y* " "

NZBND……*z* " "

以下の量は *ZP* まで *NφREG* 回の全体のくり返しとなる。

LRGNX……該領域の *X* 方向の番号 (I3)

LRGNY…… " *Y* "

LRGNZ…… " *Z* "

LMED …… " に割当てられた物質名 (A6)

XN ……該領域の *X* 方向負側境界 (F10.3)

XP …… " *X* 正側境界 " "

YN …… " *Y* 負 " "

YP …… " *Y* 正 " "

ZN …… " *Z* 負 " "

ZP …… " *Z* 正 " "

NDTCT……デテクター総数 (I3)

NXDT……*X* 方向のデテクターナンバー (I3)

NYDT ……*Y* " "

NZDT……*Z* " "

XDTN ……*X* 方向負側の該デテクター境界
(F10.3)

YDTN ……*Y* " "

ZDTN……*Z* " "

XDTP……*X* " 正 " "

YDTP……*Y* 方向正側該デテクター境界

ZDTP……*Z* " "

(2) 磁気テープから入力後リスタートする場合は省略。

2.8 出力

(1) 初めて計算する場合

INPUT 3 に入る入力すべてはコメントとともにプリントアウトされる。

(2) 計算中断の場合

INPUT 3 からメインルーチンに受渡された入力およびメインの中で得られた量例えば、

NHIS ……計算は *NHIST* から千個単位で処理

されるので *NHIS* が残されたヒストリ数を表わす。(I7)

NUMB (*I*, *J*), *I* 番目のデテクターで *J* 番目のエネルギービンの中にある (蓄積された) ガンマー線粒子数 (I7)

NABSφ ……遮蔽体中で吸収された個数 (I7)

NφUT ……もれ又はエネルギーカットオフにより考慮からはずされた粒子数 (I7)

NATDT……デテクター全体につかまった数
(I7)

NPP ……ペアプロダクションによるものの数
(I7)

NVRRRI ……ヴァリアンス (I7)

等は磁気テープ 16 に格納される。

なお中断の際にオンラインタイプライターから出るコメントは省略する。

(3) 計算終了の場合

プザーの後ラインプリンターをオンにすると(2)と同様なものがラインプリンターで得られる。

3. プログラムの検定

3.1 計算誤差, 精度

ヴァリアンス等の値から単純なチェオメトリーの場合に付いては, 5 万個で誤差が数パーセントにおさまる。まだ複雑な問題はこれから扱う事になるので何ヒストリーでどの程度の複雑さに対してどの程度の誤差におさまるかは明確には言及できない。

3.2 計算時間

対象とする物質の密度, チェオメトリー (板の場合その厚み) によっても大きく計算時間は変化する。2 種の厚さの鉄板の場合で千個のヒストリーにつき約平均 9 分である。

3.3 適用範囲, 制限事項

対象とするチェオメトリーが四角形の板の組み合わせである場合は適用出来る。又デテクターの空間的配列もある任意の平面上に配列されている限り適用可能である。

4. プログラムの使用について

4.1 オペレート

NEAC 2206 用

4.2 プログラムの応用

このプログラムは中性子や他の放射線のモンテカルロ計算にも多少の内容の訂正を含めて応用可能である。

4.3 他機種への移行

必要があれば移行を考えても良い。

5. あとがき

原子力船等の如き区画構造を持つ遮蔽体の遮蔽効果の研究に有力な手段となるものと見て居る。

N-14 Pb コリメーターを透過してくる γ 線の量を計算するプログラム

原子力船部 伊 藤 泰 義

1. プログラムの目的および概要

放射線の実験の場合、目的によってはコリメーターを使用する場合がしばしばある。その時、このコリメーターの端部を透過する γ 線が実験値を過大に評価させる原因になっている、そのためこの透過 γ 線量を計算して、実験値を補正するためのプログラムである。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

PBCOL 4

2.2 製作者

原子力船部 伊藤泰義

2.3 製作年月

昭和 43 年 8 月

2.4 計算の基礎となる理論の研究

NaI クリスタルに入射する γ 線はコリメーターの孔を透過するものと鉛コリメーターを透過してくるものとの 2 つにわけられる、孔の γ 線の効果を幾何学形状効果 Ω_G と端部効果 $\Delta\Omega$ とする、実効効果 Ω_{eff} は

$$\Omega_{eff} = \Omega_G + \Delta\Omega \quad \dots(1)$$

で表わされる。

$$\Omega_G = 2\pi \int_{\omega_0}^1 d\omega \quad \dots(2)$$

$$\Delta\Omega = 2\pi \int_0^{\omega_0} e^{-\mu\rho} d\omega \quad \dots(3)$$

$$\omega_0 = \cos \theta_0 = \frac{L}{\sqrt{L^2 + R_0^2}} \quad \dots(4)$$

$$\rho = \frac{L}{\omega} - \frac{R_0}{\sqrt{1-\omega^2}} \quad \dots(5)$$

$$\omega = \cos \theta$$

ここで

R_0 : コリメーターの半径

L : コリメーターの厚さ

μ : コリメーターの全減衰係数

(3)式におなける積分の下限は、1 回散乱の最大角度とした、積分は Simpson の 1/3 公式によった。この

(188)

被積分関数は急激な減少函数であるため、(3)式の積分は 2 つにわけ第一項は 1 と 0.997 を 100 等分し、第二項は 0.997 から 1 回散乱最大角までを等分している。

2.5 フローチャート

略

2.6 用語および計算機

2.7 入 力

i) コリメーターの半径 F 10.5

ii) コリメーターの厚さ F 10.5

iii) 積分分割点 F 10.5

iv) 積分範囲の下限

この値はサブルーチンによって計算される。

v) 鉛の全減衰係数 F 10.6

2.8 出 力

実効効果 Ω_{eff} と端部効果 $\Delta\Omega$ および実効効果と幾何学的効果との比が求められる。

3. プログラムの検定

3.1 計算の精度および誤差

有効数字 3 桁

3.2 計算時間

14 秒

3.3 適用範囲、制限

別になし

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

コアへ MT1 より PBCOL 4 をロードし実行する。

4.2 プログラムの応用

別になし

参 考 文 献

第 12 回船舶技研研究発表会、講演概要 (1968. 11).

N-15 平板線源からの γ 線の一回散乱線の 垂直成分を計算するコード

原子力船 伊 藤 泰 義

1. プログラムの目的および概要

媒質中で1回散乱をして出てくる γ 線は Fano, Spencer 等によって, 色々な形状の線源について解析解が得られているがこの平板形状線からの1回散乱線の垂直成分のみは特異解であるため, その解が得られていない, それでこの垂直成分のみの解を求めそれをコードにした。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

FTST 04

2.2 製 作 者

原子力船部 伊藤泰義

2.3 製作年月

昭和 44 年 4 月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

1 回散乱垂直成分の式は

$$\phi = \frac{1}{4\pi \cos \theta} \left(\frac{\lambda}{\lambda_0} \right) N_e \cdot K(\lambda, \lambda_0)$$

$$\int_0^z e^{-(\mu_0 \sec \theta - \mu)x} dx$$

θ : 入射角

λ_0 : 線源放射線のコンプトン波長

λ : 散乱後の放射線のコンプトン波長

N_e : 媒質の電子密度 [e/cm²]

μ_0 : 線源放射線に対する全減衰係数

μ : 散乱後の放射線の全減衰係数

z : 媒質の厚さ

$$K(\lambda, \lambda_0) = -\frac{3}{8} \sigma_T \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} \right) \left[\frac{\lambda}{\lambda_0} + \frac{\lambda_0}{\lambda} \right.$$

$$\left. + 2(\lambda_0 - \lambda) + (\lambda_0 - \lambda)^2 \right] \\ \sigma_T : \text{Thomson 単位} = \frac{8\pi}{3} \left(\frac{e^2}{mc^2} \right)^2 \approx 0.665 \\ \times 10^{-24} \text{cm}^2$$

である。

2.5 計算の手順

2.6 入 力

必要な入力データは

整数: I 3, 実数: F 10.5

i) 入射エネルギーの個数

ii) 媒質の個数

iii) 媒質の厚さ

iv) 入射エネルギー

v) 各エネルギーに対する全減衰係数

2.7 出 力

各入射エネルギーに対する, 個数束およびエネルギー束が得られる。

3. プログラムの検定

3.1 精度は有効数字 3 桁

3.2 演算時間

数 秒

4. プログラムの使用について

4.1 オペレート

コアに FTST 04 をロードして行なう。

4.2 プログラムの応用

な し

N-16 汚染雲からの吸収線量を計算するプログラム

原子力船部 伊 藤 泰 義

1. プログラムの目的および概要

汚染雲による外部被曝線量を計算するための計算コードを 06 NARC 語で書いた。大気拡散の基本方程式は一般化したガウス分布とし、煙突と逆層層の効果も計算できるようになっている。数値計算例として原子力船の事故を考え、船の近くにいる人の安全に重点を置くことにした。こうして従来の計算法に含まれていない大きな安全係数を容易に評価しうるようにした。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

KUMO 01

A Program for Computing External Dose Rate from a Radioactive Cloud.

2.2 製 作 者

原子力船 伊藤泰義, 山路昭雄

2.3 製作年月

昭和 42 年 6 月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

大きなひろがりをもつ雲からの被曝の場合には γ 線の被曝が大部分である。エネルギー $E(\text{MeV})$ なる γ 線束からの組織の線量率 $D_A(\text{rad/hr})$ は組織の質量エネルギー吸収係数を $(\mu_a/\rho)_{\text{tissue}}(\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1})$ とすると

$$D_A = \frac{1.6 \times 10^{-6}}{100} \times 3600 \times \left(\frac{\mu_a}{\rho} \right)_{\text{tissue}} \times \phi \times E \quad \dots\dots(1)$$

又照射線量率 $D_B(\text{r/hr})$ は

$$D_B = \frac{1.6 \times 10^{-6}}{87.7} \times \left(\frac{\mu_a}{\rho} \right)_{\text{air}} \times \phi \times E \quad \dots\dots(2)$$

ある地点 (X, Y, Z) での濃度を $C(\text{curie/m}^3)$ とすると観測点 (x, y, z) での γ 線束 $\phi(x, y, z)$ は

$$\phi = 3.7 \times 10^{10} \cdot \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{e^{-\mu r}}{4\pi r^2} B(\mu r) \cdot C(X, Y, Z) dXdYdZ \quad \dots\dots(3)$$

ここで

$$B(\mu r) = 1 + \mu r + \frac{(\mu r)^2}{7E^{2.4}}, \quad 0.5 \leq E \leq 2.0$$

$$r = \sqrt{(x-X)^2 + (y-Y)^2 + (z-Z)^2}$$

μ : 空気の吸収係数

(190)

$$C(X, Y, Z) = \frac{4.65 \times 10^{-2}}{\mu \cdot \theta \cdot h \cdot X} \exp \left\{ - \left(\frac{Y}{y_0} \right)^2 \ln 10 - \left(\frac{z}{h} \right)^2 \ln 10 \right\} Q \quad \dots\dots(4)$$

u : 平均風速 m/sec

h : 拡散高度における濃度 $C(X, 0, 0)$ の $\frac{1}{10}$ の濃度になる高さ

θ : 拡散角における濃度 $C(X, 0, 0)$ の $\frac{1}{10}$ の濃度をもつ Y 軸上の点 y_0 に対して原点から張る角度の 2 倍

$$y_0 = X \cdot \tan \left(\frac{\theta}{2} \times \frac{\pi}{180} \right)$$

(3)式の空間積分を行なう時、極座標型式に変換して等濃度楕円を考えると、空間積分が 1 つへって 2 次元積分になる、積分はルジャンドルガウスの数値積分 10 点法を使用した。

2.5 フローチャート

略

2.6 入 力

i) 気象安定度 A, B, C, D, E, F をそれぞれ 1, 2, 3, 4, 5, 6 として与える I 4

ii) 観測点個数 20 点まで取り扱える I 4

iii) 煙突の高さ F 12.7 (m)

放出点は地上、煙突のいずれでも与える事ができる (計算式が異なっている)

iv) 放出量 F 12.5 (curie/hr)

v) 放出エネルギー F 12.5 (MeV)

線源の平均エネルギー

vi) 風速 F 12.5 (m/sec)

vii) 逆転層の高さ F 12.5 (m)

viii) 観測点 (X, Y) 5 F 15.10

2.7 出 力

入力で与えられた観測点における吸収線量と照射線量が取り出せる。

3.1 プログラムの検定

積分は無限積分を有限積分で近似しているがその誤差は 1% 以下になっている。

3.2 演算時間

X 方向の分割数を 4 ケ, y 軸方向の分割数を風上, 風下の区域でそれぞれ 2 ケづつとった時, 計算時間は 42 分である。

4.1 オペレート

MT 1 より KUMO 01 をロードして行なう

4.2 プログラムの応用

サブルーチンの中に濃度計算を行なう, プログラム, およびラグランジェ内挿法を用いた吸収係数のプログラムがあり, 独立に使用できる。

5. あとがき

原子力船が人口稠密地帯により接近するためには雲による直接被爆を正確に計算されねばならない, これによって原子力船の事故の場合に, 周辺環境の安全を確保する距離を算定する時, この計算値の表, グラフでもあればこの算定が容易になるものと思う。

参考文献

汚染雲からの吸収線量を計算するためのコード及び原子力船のための数値計算例, 船研報告, 第 5 巻第 2 号。

N-17 γ 線ビルドアップ係数フィッティングプログラム

原子力船部 金 井 康 二

1. プログラムの目的および概要

本プログラムは運転時および事故時の原子力船の直接線量率分布計算プログラム MARINE-2 のライブラリーデータの一部分である“ γ 線のビルドアップ係数”を整備するために作成されたものである。今迄多数の研究者によって γ 線のビルドアップ係数の近似表示式およびそのパラメータが求められた。しかし精度, 計算法の適用範囲という点で難点があった。代表的な近似表示式は Taylor 型, Berger 型, Capo 型がある。従来 Taylor 型に対してパラメータを求める際

- (1) 物理的に等価な関数を使用して推定する手法
- (2) 仮定した初期値により線形化方程式のくり返し演算による方法

のいずれかの手法であったがともに難点があった。

本プログラムは Cornell によって開発された手法によってプログラム化した。この手法は物理的条件によらず, くり返し計算でもないので短時間で解が出る。一方 Berger 型, Capo 型に対しては従来適用されていた最小二乗法の代りに「ミニマックス法」により精度良いパラメータを得ることができる。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

AP 305……(Berger 型) } minimax 法
AP 405……(Capo 型) }
AP 705……(Taylor 型) Cornell 法

2.2 製作者

原子力船部 金井康二

2.3 製作年月

昭和 44 年 8 月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

(I) Cornell 法¹⁾

Taylor 型のような指数関数の線形結合で表現される近似式はそのパラメータを求めようとするには非線型関数を解かなければならない。Cornell は測定点が同一間隔で与えられるデータを指数関数の線形結合で近似する問題として次のような手法を開発した¹⁾。同一測定点 x_i で m 個のデータ $y_j(x_i)$ ($j=1, 2, \dots, m$) が与えられた場合 $y(x)$ の近似式 $\bar{y}(x)$

$$= \sum_{k=1}^p a_k e^{-\lambda_k x}$$

とすると $x_i = K_i$ ($K: \text{const}$) ならば

$$(1) y_j(x_i) - \sum_{k=1}^p a_k e^{-\lambda_k x_i} = \varepsilon_j(x_i)$$

$$i=1, 2, \dots, 2pm$$

$$j=1, 2, \dots, m$$

ここで誤差 $\varepsilon_j(x_i)$ が任意の点 x_i での平均値

$$\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \varepsilon_j(x_i) = 0$$

と仮定すると, $y_j(x_i)$ の平均値 μ

$$(y_j(x_i)) \text{ は } \sum_{k=1}^p \alpha_k e^{-\lambda_k x_i} = \sum_{k=1}^p \alpha_k A_k^i,$$

($A_k = \exp(1 - \lambda_k K)$) に等しい。

さて $2pn$ 個の点を $2p$ 個のグループに分け

$$S_q = \sum_{i=n(q-1)+1}^{qn} \sum_{j=1}^m y_j(x_i), \quad q=1, 2, \dots, 2p$$

とすれば

$$(2) S_q = m \sum_{k=1}^p \alpha_k \bar{A}_k^{n(q-1)+1} \frac{1 - \bar{A}_k^n}{1 - \bar{A}_k}$$

$$q=1, 2, \dots, 2p$$

によって α_k, A_k の推定値 $\bar{\alpha}_k, \bar{A}_k$ の関係式が求まる。今 \bar{A}_k^n を根とする X の p 次方程式

$$(3) X^p - E_1 X^{p-1} + E_2 X^{p-2} + \dots + (-1)^{p-1} E_{p-1} X + (-1)^p E_p = 0$$

を考えれば

$$(4) E_p S_{r+1} - E_{p-1} S_{r+2} + \dots + [-1]^{p-1} E_1 S_{r+p} = (-1)^p S_{r+p+1}$$

の関係式が求まる。(4)式を $E_j (j=1, 2, \dots, p)$ の連立方程式と考えて解き(3)式の係数が求まり、従って(3)式の p 次方程式を解けば $\bar{A}_k^n (k=1, 2, \dots, p)$ が求まり

$$(5) \bar{\lambda}_k = -(1/kn) \ln \bar{A}_k^n \quad k=1, 2, \dots, p$$

により $\bar{\lambda}_k$ が求められる。また(2)式より $\bar{\alpha}_k$ が求まる。なお、データが等間隔でないときは内挿法により補充する。

(II) ミニマックス法

線形化できる Capo 型, Berger 型の方程式は次のような数学モデルによつて各パラメータが求められる。ある点 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$ に対して、その点に対応する関数値 $B(x_i)$ が与えられた場合 $B(x)$ の近似式 $\bar{B}(x)$ を $\bar{B}(x) = \sum_{k=1}^m \lambda_k \bar{B}_k(x)$ (ここで λ_k : パラメータ, $\bar{B}_k(x)$ は線形独立な関数) とするとき

(1) $B(x_i) - \sum_{k=1}^m \lambda_k \bar{B}_k(x_i) = \epsilon_i B(x_i), i=1, 2, \dots, n$ で最大相対誤差 $\eta = \max_{i=1,2,\dots,n} |\epsilon_i|$ を最小にするのが目的である。ここで λ_k がミニマックス近似のパラメータであれば,

$$(2) B(x) - \sum_{k=1}^m \lambda_k \bar{B}_k(x) = \epsilon(x) B(x), a \leq x \leq b$$

なる方程式は $m+1$ 個の点 $x_j (a \leq x_j \leq b; j=1, 2, \dots, m+1)$ で $\eta = \max_{a \leq x \leq b} |\epsilon(x)| = |\epsilon(x_1)| = |\epsilon(x_2)| = \dots = |\epsilon(x_{m+1})|$ となることは知られている²⁾。この性質を(1)のような点が離散的に与えられるような場合に拡張する。

(1)の n 個の方程式より適当に $m+1$ 個の方程式を選び出し最大相対誤差 η を未知数とし、 $\epsilon_j = S_j \eta (j=1, 2, \dots, m+1)$ により S_j を誤差の符号とすれば,

$$(3) \begin{pmatrix} \bar{B}_1(\xi_1) & \dots & \bar{B}_m(\xi_1) & S_1 B(\xi_1) \\ \bar{B}_1(\xi_2) & & \bar{B}_m(\xi_2) & S_2 B(\xi_2) \\ \vdots & & \vdots & \vdots \\ \bar{B}_1(\xi_m) & \dots & \bar{B}_m(\xi_m) & S_m B(\xi_m) \\ \bar{B}_1(\xi_{m+1}) & \dots & \bar{B}_m(\xi_{m+1}) & S_{m+1} B(\xi_{m+1}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_m \\ \eta \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} B(\xi_1) \\ B(\xi_2) \\ \vdots \\ B(\xi_m) \\ B(\xi_{m+1}) \end{pmatrix}$$

なる連立一次方程式を解くことによってパラメータ $\lambda_k (k=1, 2, \dots, m)$ が求まり、 $\eta \geq |\epsilon_j| (j=1, 2, \dots, n)$ とすることが可能である。但し S_j は次式(4)で求まる σ_j の符号である。

$$(4) \sigma_j = (-1)^j$$

$$\begin{pmatrix} B_1(\xi_1) & B_2(\xi_1) & \dots & B_m(\xi_1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \bar{B}_1(\xi_{j-1}) & \bar{B}_2(\xi_{j-1}) & & \bar{B}_m(\xi_{j-1}) \\ \bar{B}_1(\xi_{m+1}) & \bar{B}_2(\xi_{m+1}) & & \bar{B}_m(\xi_{m+1}) \end{pmatrix}$$

なお各近似式は次の通りである。

i) Taylor 型 $\bar{B}(x) = \sum_{k=1}^2 \alpha_k \exp(-\lambda_k x), \alpha_1 + \alpha_2 = 1$

ii) Capo 型 $\bar{B}(x) = \sum_{k=0}^3 \lambda_k x^k$

iii) Berger 型 $\bar{B}(x) = 1 + \lambda_1 x \exp(\lambda_2 x)$

2.5 計算の手順

計算の手順は図-33, 34 のフローチャート参照

2.6 入力

(1) Cornell 法の入力

MFP最大 mfp (I 2)

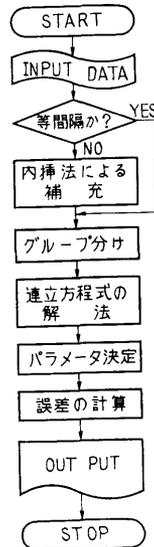


図33 Cornell 法フローチャート

「最小二乗法」は理論的に扱いやすく、直交系を使えば「つぎたし」が容易にできるという長所があるが「ミニマックス法」を離散的な場合に拡張した本手法は扱いやすく高精度な結果が期待できる。また Cornell 法もデータ数が多く等間隔に与えられた場合には有用である。

参考文献

- 1) R. G. Cornell, ORNL-2120 (Sep., 1956).
- 2) J. Todd, Survey of Numerical Analysis (1962).
- 3) H. Goldstein & J. E. Wilkins, Jr., NYO-3075 (1954).

N-18 運転時および事故時の原子力船の直接線線量率分布

原子力船部 金井康二・片岡巖

1. プログラムの目的および概要

原子力船等の不規則形状の遮蔽効果を考慮して、放射線の線量率を計算するプログラムはすでに当所原子力船部の電子計算機 NEAC 2206 用に「MARINE-1」として作成されている。この種の計算プログラムにともなう問題は、計算時間と計算精度をいかに調和するかにあると思われる。特殊な形状の場合、厳密な結果が得られる計算法は多数開発されているが、いずれも不規則形状の場合に拡張し応用するには時間的、経済的に無理である。それ故 MARINE-1 のような近似計算が有用になるとと思われる。

MARINE-1 の精度は「進徳丸による実船実験」の結果ある程度知ることができた。また昭和 41 年同電子計算機システムが増設拡張されたので MARINE-1 を改良した計算法 MARINE-2 をプログラム化した。MARINE-2 の主な改良点は次の通りである。

- (a) 紙テープによるインプットデータのミスパンチに対する処理方法を簡単な訂正でよいように工夫した。
- (b) 遮蔽体は二次曲面の集合であらわし座標変換も可能にした。このことによって不規則形状の幾何学的問題はほぼ解決した。また遮蔽効果の補正として、仮想遮蔽体の概念を導入した。
- (c) γ 線ビルドアップ係数の多重層に対する処理方法は、乗積法、Broder 法、NIGHTMARE 法の 3 種類のいずれかを選択できるようにした。
- (d) 多量のデータも取り扱えるようにしたので、途中で計算を止めて、その計算がむだにならずその時点から再計算できるようにした。

2. プログラムの内容

(194)

2.1 プログラムの名称

MARINE-2

2.2 製作者

原子力船部 金井康二

2.3 製作年月

昭和 43 年 8 月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

線源は速中性子と γ 線として、いずれも点状線源の集合であらわす。放射線の角度分布は等方あるいは n (< 10) 乗の余弦分布に従うものとして取り扱おう。減衰計算は、 γ 線については減衰係数により非散乱線束を算出し、ビルドアップ係数により散乱線の影響を考慮している。(現在ビルドアップ係数は Peebles の斜入射のデータ¹⁾を使用しているが漸次 SELENE 法²⁾等により整備していく予定である。) また速中性子については除去断面積を用いて計算する。MARINE-2 では多重層ビルドアップ係数を次の 3 種類が組込んである。

(1) 乗積法 (MARINE-1 でも使用)

$$B = B_1(\mu_1 t_1) \times B_2(\mu_2 t_2) \times \cdots \times B_n(\mu_n t_n)$$

ここで $B_i(\mu_i t_i)$: i 番目の物質による dose build up factor

μ_i : i 番目の物質の吸収係数

t_i : i 番目の物質の厚さ

(2) Broder 法

$$B = \sum_{j=1}^n B_j \left(\sum_{k=1}^j \mu_k t_k \right) - \sum_{j=2}^n B_j \left(\sum_{k=1}^{j-1} \mu_k t_k \right)$$

(3) NIGHTMARE 法

$$B = \{ (B_1(\mu t)^{a_2} \times (B_2(\mu t))^{1-a_2})^{a_3} \times \{ B_3(\mu t) \}^{1-a_3} \}^{a_4} [B_4(\mu t)]^{1-a_4}$$

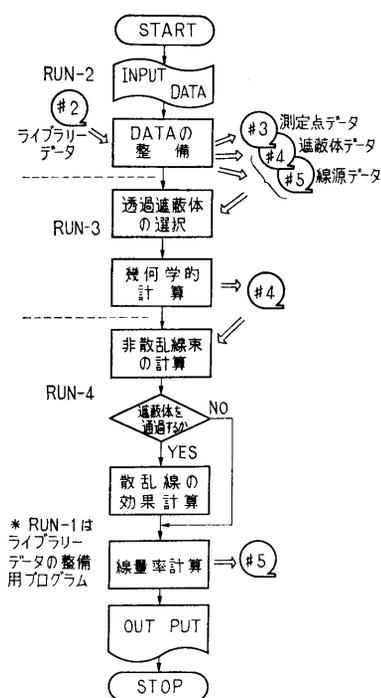


図-35 フローチャート

テスト計算³⁾では(3)の NIGHTMARE 法が一番良いことがわかった。

実船実験で MARINE-1 の評価をおこなったところ、いずれの測定点でも計算値は安全側を示し実測値と計算値の比が5倍以上になるものもあった。このことから個々の遮蔽体として評価でき難い遮蔽効果の影響があるものと思われるので、MARINE-2 では仮想遮蔽体の概念を導入した。即ち、ある空間内には評価できる遮蔽体の他に吸収物質が存在するものと考え、その遮蔽効果を純粋の遮蔽体と同様に算出する。

2.5 計算の手順

計算を始める前に使用するライブラリーデータを整備しておく必要がある。ライブラリーデータの整備は附属プログラムによっておこなう。計算手順は、図-35 フローチャートに示すごとく4つの RUN に分れている。

2.6 入力

- IPB** 問題番号
- IBF** { 1 乗積法
2 NIGHTMARE 法
3 Broder 法

(1) 線源に対して

- IOT** 線源番号 (速中性子 10000 以後)
- NFS** { 1 等方線源
2 余弦分布
- MED** 線源物質 (体積線源の場合)
- MSR (1)** エネルギー数
- MSR (2)** 最大次数 ($NFS=2$ の場合)
- XSO** 線源座標 ($I=1, 3$)
- EYS (I)** 線源エネルギー ($I=1, MSR (1)$)
- SST (I)** 線源強度 ($I=1, MSR (1)$)
- ***NDE (J)** 余弦分布の次数 ($J=1, MSR (2)$)
- ***UNI (J, I)** 基準座標 ($J=1, MSR (2); I=1, 3$)

* は $NFS=2$ のみ必要

(2) 遮蔽体に対して

- KAP** 遮蔽体番号 (仮想遮蔽体 10000 以後)
- MFS** { 1 多重層表現
2 単一の遮蔽体
- MSR (1)** 外側の要素数又は層状数
- MSR (2)** 内側の要素数
- MSY** { 1 一次元表現の平板
2 二次元表現の平板
3 円柱
4 円錐
5 球
6 回転楕円体
7 回転双曲面
8 回転放物体
- ITR** { 1 座標変換要
0 座標変換不要
- RAD**
- IAX**
- HGT** } $MSY=1\sim5$ のデータ

- JAX (I, J)** } $MSY=6\sim8$ のデータ
- XXI (J)** } $I=1, 2; J=1, 3$

- KAX (I)** } $ITR=1$ の場合のみ
- ANG (I)** }

- XSL (I)** 遮蔽体座標 ($I=1, 3$)
- EXT** 遮蔽体の厚さ ($MFS=1$ の場合)
- MED** 遮蔽物質

(3) 測定点に対して

- LAM** 測定点番号
- XD0 (I)** 測定点座標 ($I=1, 3$)
- ### 2.7 出力
- MDP** 測定点番号
- MS0** 線源点番号

$\bar{D}\bar{O}S\bar{I}$ (1)	γ 線源による線量率
$\bar{D}\bar{O}S\bar{I}$ (2)	速中性子による線量率
$\bar{D}\bar{O}S$ (1)	γ 線の全線量率
$\bar{D}\bar{O}S$ (2)	速中性子の全線量率
$L3(I)$	透過遮蔽体番号
$\bar{O}M\bar{G}(I)$	入射角

3. プログラムの検定

3.1 計算誤差, 精度

MARINE プログラムは, 複雑な関数に対しては厳密な計算法による数値を数表にしておき, 補間法によって計算する方式をとっている。

Atkin 法による補間は現在得られている数表の誤差に比較して, 充分満足するものである。また多重層に対する γ 線ビルドアップ係数の精度については文献 3) 参照。

3.2 演算時間

線源を速中性子 3 点, γ 線 2 点, 遮蔽体を 5 層の球 1 個, 2 層の平板 4 個, 測定点 5 点に対して約 40 分である。実質上の計算は数分であるが磁気テープへの書うつし, 読み取りの時間が大部分をしめている。

3.3 適用範囲, 制限事項

γ 線のエネルギー 0.25 MeV—10 MeV

速中性子のエネルギー 0.1 MeV—18 MeV

遮蔽体の層数は 10 層まで

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

プログラムの実行に際し次の附属機種を on にする。

MT #1	システム用
#2	ライブラリーデータ用
#3	測定点データ用
#4	遮蔽体データ用
#5	線源データ及び線量率用

LP 結果作表用

TW Message 用

PTR 入力データ読み込み用

プログラム名が要求されたら TW より「M2M 105」と入れる。各 RUN は Call chain によっているので, プログラム名を打った後

LDS とすれば連続的に計算

LDH とすれば各 RUN 終了後に一時停止

MARINE-2 で使用している Switch の機能は次のごとくである。

SW #1	誤り処理
2	小項目 TW に印字

3 大項目 TW に印字

4 特殊機能

5 データの確認

6 データの LP 印字

7 データ作表 (LP)

8 一時停止

9 中途停止

0 中途開始

ミスパンチした場合には

(1) 訂正が長時間になりそうな時には, その部分を無視してデータの読み込み終了後に, 訂正サブルーチンにより, その部分だけ訂正する。

(2) 訂正が短時間で終る場合には, ただちに訂正テープを作成してそれを読む。

(3) データ作成中に誤りがわかった場合には, その部分を続けて正しくパンチしなおせばよい。

の 3 通りが可能である。なおインプットデータの誤りは 30 個の Error message により判別できる。

4.2 プログラムの応用

応用可能と思われるサブルーチンは

(1) n 次元連立方程式の解法 (Crout 法)

(2) 補間法 (Atkin 法)

(3) 3 次元空間の座標変換

等がある。

4.3 他機種への移行

MARINE-2 は NEAC 2206 電子計算機用 (コア 10 K; MT 5 台 (システム用 1 台を含む); LP, TW, P TR 各 1 台) に 06 NARC (FORTRAN II に相当) で書かれているので, それ以上の機能をそろえてある場合には若干の訂正で移行できるものと思われる。

5. あとがき

不規則形状による遮蔽効果の計算は現在, 遮蔽研究の重大な課題である。遮蔽設計用プログラムとして要求される条件は精度と時間の問題である。

両者を満足するプログラムは現状では得られていない。MARINE-2 は複雑な形状の遮蔽体を扱うのに適しており第 1 次設計には充分使用できるものと思われる。

参考文献

- 1) G. H. Peebles. Rand-R-240 (1952).
- 2) I. Kataoka and K. Takeuchi, Papers of Ship Research Inst., No. 6 (1965).
- 3) M. Nakata, I. Kataoka, Y. Kanai, Comparison of Calculated Values with Actual Gamma Dose through Ship Structures (The British Nuclear Energy Society, 1967).