

船用炉の3次元核熱水力計算コード：STEADY-SHIP

1988年1月

日本原子力研究所

Japan Atomic Energy Research Institute

日本原子力研究所研究成果編集委員会

委員長 更田 豊治郎 (理事)

委 員

赤石 準 (保健物理部)	鹿園 直基 (物理部)
井川 勝市 (燃料工学部)	鈴木 康夫 (臨界プラズマ研究部)
石黒 幸雄 (原子炉工学部)	竹田 辰興 (核融合研究部)
岩田 忠夫 (物理部)	立川 圓造 (化学部)
江連 秀夫 (動力試験炉部)	田村 和行 (原子力船技術部)
海老沼幸夫 (技術情報部)	萩原 幸 (開発部)
奥 達雄 (高温工学部)	藤野 威男 (化学部)
金子 義彦 (原子炉工学部)	二村 嘉明 (研究炉管理部)
川崎 了 (燃料安全工学部)	幕内 恵三 (開発部)
河村 洋 (企画室)	村尾 良夫 (原子炉安全工学部)
工藤 博司 (アイソトープ部)	村岡 進 (環境安全研究部)
齊藤 伸三 (動力炉開発・安全性研究管理部)	山本 章 (材料試験炉部)

Japan Atomic Energy Research Institute

Board of Editors

Toyojiro Fuketa (Chief Editor)

Jun Akaishi	Yukio Ebinuma	Takeo Fujino
Yoshiaki Futamura	Hideo Ezure	Tadao Iwata
Katsuichi Ikawa	Miyuki Hagiwara	Yoshihiko Kaneko
Hiroshi Kawamura	Yukio Ishiguro	Hiroshi Kudo
Keizo Makuuchi	Satoru Kawasaki	Susumu Muraoka
Naomoto Shikazono	Yoshio Murao	Shinzo Saito
Enzo Tachikawa	Tatsuo Oku	Yasuo Suzuki
Akira Yamamoto	Tatsuoki Takeda	Kazuyuki Tamura

JAERI レポートは、日本原子力研究所が研究成果編集委員会の審査を経て不定期に公開している研究報告書です。

入手の問合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課 (〒319-11茨城県那珂郡東海村) であて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター (〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内) で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI reports are reviewed by the Board of Editors and issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1988

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 いばらき印刷機

船用炉の3次元核熱水力計算コード：STEADY-SHIP

日本原子力研究所むつ事業所原子力船技術部

板垣正文・内藤倣孝⁺・徳野幸男^{*}・松井 泰^{*}

(1987年6月16日受理)

STEADY-SHIPコードは、原子力第1船「むつ」炉心を対象として、中性子束、熱出力及び冷却水温度の3次元分布を計算する。本コードは、少数群3次元計算コードDIFFUSION-SHIPと熱水力計算コードHYDRO-SHIPの2つの部分から構成されている。DIFFUSION-SHIPでは、3次元中性子拡散方程式を限られた計算機容量下で迅速に解くために中性子漏洩繰返し法を用いている。HYDRO-SHIPでは熱水力計算を実行し、DIFFUSION-SHIPにおける核的計算で必要となるフィードバック量を求める。実効断面積フィッティング・ルーチンCROSS-SHIPでは、キセノン毒物効果、燃料温度、減速材温度、減速材密度などの関数としてのマクロ断面積を求める。任意の炉内ノードを取り出し、その部分だけを燃料棒単位に詳細に再計算するルーチンLOCAL-FINEが用意されており、ノード表面に対して必要な境界条件は、STEADY-SHIPコードによる全炉心計算の結果から与えられる。

計算結果を「むつ」炉心陸上臨界試験及び実際の「むつ」船上で実施された温態零出力試験における実測データと比較した結果、本コードが船用炉の炉心特性解析に有効に適用できることが確認できた。

⁺ 燃料安全工学部

^{*} 日本情報サービス株式会社

STEADY-SHIP : A Computer Code for Three-Dimensional Nuclear and Thermal-Hydraulic Analyses of Marine Reactors

Masafumi ITAGAKI, Yoshitaka NAITO⁺, Yukio TOKUNO* and Yasushi MATSUI*

Department of Nuclear Ship Engineering
Mutsu Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Toranomon, Minato-ku, Tokyo

(Received June 16, 1987)

A code STEADY-SHIP has been developed to calculate three-dimensional distributions of neutron flux, power and coolant temperature in the reactor core of the nuclear ship MUTSU. The code consists of two parts, that is, a few-group three-dimensional neutron diffusion module DIFFUSION-SHIP and a thermal-hydraulic module HYDRO-SHIP. In the DIFFUSION-SHIP the leakage iteration method is used for solving the three-dimensional neutron diffusion equation with small computer core memory and short computing time; The HYDRO-SHIP performs the general thermal-hydraulic calculation for evaluating feedbacks required in the neutronic calculation by the DIFFUSION-SHIP. The macroscopic nuclear constants are generated by a module CROSS-SHIP as functions of xenon poison, fuel temperature, moderator temperature and moderator density. A module LOCAL-FINE has the capability of computing a detailed rod power distribution for each local node in the core, using the boundary conditions on the surface of the node which were supplied by the STEADY-SHIP whole-core calculation.

The applicability of this code to marine reactors has been demonstrated by comparing the computed results with the data measured during the MUTSU land-loaded core critical experiments and with the data obtained during the hot-zero-power tests performed for the actual MUTSU plant.

Keywords: STEADY-SHIP, DIFFUSION-SHIP, HYDRO-SHIP, CROSS-SHIP, LOCAL-FINE, Marine Reactor, Three-dimensional Neutron Diffusion Equation, Feedback, Local Power Peaking, Leakage Iteration Method

⁺ Department of Fuel Safety Research

* Japan Information Service, Ltd.

目 次

1. 序 言	1
2. 3次元炉心特性計算方法	3
2.1 核熱水力計算の流れ	3
2.2 3次元中性子拡散方程式の解法	4
2.2.1 中性子漏洩繰返し法	4
2.2.2 燃料集合体内の非均質性の取扱い	7
2.2.3 局所中性子束分布計算	8
2.2.4 反射体内中性子束分布の解析表示	9
2.2.5 随伴中性子束分布計算	10
2.3 熱水力計算	11
2.3.1 圧力損失と流量再配分	11
2.3.2 熱バランス計算と温度分布	13
2.3.3 DNBR 計算	14
2.4 フィードバック効果の取扱	15
3. 「むつ」炉心に対する計算結果	17
3.1 「むつ」炉心の概要	17
3.2 冷態時中性子束分布	20
3.3 温態零出力時の制御棒等反応度曲線	25
3.3.1 制御棒対数微分条件の決定	25
3.3.2 制御棒等反応度曲線の実測値との比較	26
3.4 出力運転時特性計算	27
3.4.1 フィッティング係数の決定	27
3.4.2 核熱水力特性の表示	32
3.4.3 LOCAL-FINEによる集合体内詳細出力分布	36
3.5 STEADY-SHIPによる必要計算機容量と計算時間	38
4. 結 言	39
謝 辞	39
参考文献	40
附録A 入力形式	41
附録B サンプル入力	60
附録C サンプル出力	70

Contents

1. Introduction	1
2. Methodology of Three-Dimensional Reactor Analysis	3
2.1 Calculational Flow Structure for the STEADY-SHIP	3
2.2 Techniques for Solving the Three-Dimensional Neutron Diffusion Equation	4
2.2.1 Neutron Leakage Iteration Method	4
2.2.2 Heterogeneous Treatment of Zones in a Fuel Assembly	7
2.2.3 Local Flux Peaking Calculation	8
2.2.4 Analytic Representation of Flux Distribution in a Reflector	9
2.2.5 Adjoint Flux Calculation	10
2.3 Thermal and Hydraulic Calculation	11
2.3.1 Pressure Drop and Flow Redistribution	11
2.3.2 Heat Balance and Temperature Distribution	13
2.3.3 DNBR Calculation	14
2.4 Feedback Calculation	15
3. Calculated Results for the N.S. MUTSU Reactor	17
3.1 Description of the MUTSU Core	17
3.2 Neutron Flux Distribution at Cold Water Condition	20
3.3 Iso-Reactivity Curve As a Function of Control-Rods Withdrawal at Hot Zero- Power Condition	25
3.3.1 Determination of Control-Rod Boundary Condition	25
3.3.2 Comparison Between Measured and Calculated Iso-Reactivity Curves	26
3.4 Core Characteristic Simulation for Hot Full-Power Condition	27
3.4.1 Determination of Fitting Coefficients	27
3.4.2 Output Edit from Neutronic and Thermal-Hydraulic Calculation	32
3.4.3 Detailed Power Distribution in a Fuel Assembly Calculated by LOCAL-FINE	36
3.5 Required Computer Memory and Execution Time for STEADY-SHIP Calculations	38
4. Conclusion	39
Acknowledgment	39
References	40
Appendix. A Input Data Format	41
Appendix. B Sample Input	60
Appendix. C Sample Output	70

List of Tables

- Table 1 Main Core Parameters of Nuclear Ship MUTSU Reactor
- Table 2 Experimental Conditions for MUTSU Land-Loaded Core Critical Experiments (Run No.452~454)
- Table 3 Calculated Results of Control-Rod Boundary Conditions
- Table 4 Effect of Boundary Conditions on the Multiplication Factor K_{eff} Calculated by LOCAL-FINE
- Table 5 Comparison of Computer Memory and Execution Time Between CITATION and STEADY-SHIP

List of Figures

- Fig. 1 Calculation Flow of the STEADY-SHIP computer Code
- Fig. 2 Definition of Channels, Layers and Blocks
- Fig. 3 Schematic Diagram of the Leakage Iteration Method
- Fig. 4 Horizontal Section of the MUTSU Core
- Fig. 5 Geometrical Model for LOCAL-FINE Calculation
- Fig. 6 Logic Flow for Calculating Pressure Drop and Flow Redistribution
- Fig. 7 Core Configuration (1) Horizontal Section
- Fig. 8 Core Configuration (2) Vertical Section
- Fig. 9 Core Configuration (3) Fuel Assemblies
- Fig. 10 Geometrical Arrangements of Fuel Assemblies and Control-Rods of the MUTSU Core
- Fig. 11 Comparison of Horizontal Power Distribution for MUTSU Land-Loaded Experiment Between Calculated and Measured Values at 320mm from the Core Bottom
- Fig. 12 Comparison of Horizontal Power Distribution for MUTSU Land-Loaded Experiment Between Calculated and Measured Values at 740mm from the Core Bottom
- Fig. 13 Comparison of Horizontal Power Distribution for MUTSU Land-Loaded Experiment Between Calculated and Measured Values at 440mm from the Core Bottom
- Fig. 14 Comparison of Axial Power Distribution for MUTSU Land-Loaded Experiment Between Calculated and Measured Values (1) No.1 Assembly
- Fig. 15 Comparison of Axial Power Distribution for MUTSU Land-Loaded Experiment Between Calculated and Measured Values (2) No.5 Assembly
- Fig. 16 Comparison of Calculated Z-Directional Fluxes Between STEADY-SHIP and CITATION
- Fig. 17 One-Dimensional Slab Model for S_N Transport Calculation (The log-derivative values for the STEADY-SHIP calculations are estimated at the position A.)
- Fig. 18 Iso-Reactivity Curves as a Function of G1 and G2 Control-Rods Withdrawal
- Fig. 19 Effective Fuel Temperature as a Function of Reactor Power
- Fig. 20 Absorption Cross Section vs. Moderator Temperature
- Fig. 21 Fission Cross Section vs. Moderator Temperature
- Fig. 22 Diffusion Constants vs. Water Number Density
- Fig. 23 Removal Cross Section vs. Water Number Density
- Fig. 24 Doppler Effect
- Fig. 25 Xenon Effect
- Fig. 26 Calculated Results of Core Characteristics of the MUTSU
- Fig. 27 Axial Power and Temperature Distributions for No.1 Assembly
- Fig. 28 Axial Power and Temperature Distributions for No.5 Assembly
- Fig. 29 DNB Calculated Results for No.1 Assembly
- Fig. 30 Map of Zone Identification Numbers in the MUTSU Fuel Assembly for Heterogeneous LOCAL-FINE Calculations
- Fig. 31 Detailed Pin Power Distribution in the MUTSU Fuel Assembly (Average power within the assembly is normalized to unity.)

1. 序 言

船舶搭載用原子炉、いわゆる船用炉では、沈没時の海水希釈によって反応度が添加されるのを避けるために、通常の発電用加圧水型原子炉（以下、PWRと略す）が採用している化学シム制御は用いられない。この結果、船用炉の反応度は制御棒のみによって制御される。一方で船舶特有の負荷追従性の要求から制御棒微分ワースを、ある値以上に確保する必要があり、制御棒挿入深さを炉心中央高さ近傍とする結果、炉内中性子束分布は強い3次元特性を示す（即ち、中性子束分布の変数分離 $\Phi(x, y, z) = \psi(x, y)Z(z)$ ができ難い性質を有する）。このようにマクロにみた非均質性は船用炉一般に共通である。

これに加えて、我が国の原子力第1船「むつ」のように、船体運動に対する剛性を確保する目的で十字型制御棒を採用した場合には、さらにマイクロな非均質性も顕著となる。十字型制御棒の吸収効果は本来、中性子拡散近似で取り扱えないものである。輸送近似で求めた対数微分条件をもとに拡散理論に等価な核定数に変換する¹⁾等の手法があるが、満足すべき精度が得られ難い。マイクロな非均質性の要因としては、十字型制御のほかに炉内の種々の構造材、即ち、燃料集合体側板、充填材、支持格子板、さらには炉心と反射体の間に置かれるステンレス鋼製の炉心隔板などがある。さらに「むつ」の場合、制御棒とフォロワーを結合するステンレス鋼製の連結板が無視できない反応度効果を有していることが指摘されている²⁾。

このように複雑な非均質性を含んだ3次元炉物理問題を正確に取り扱うには3次元計算が必要である。「むつ」設計当時には、3次元計算はほとんどなされていなかった。当時の設計計算手法は、中性子束分布の変数分離を仮定していた。即ち、炉心を軸方向にいくつかの層に分割し、各層で2次元計算を行ない、別途行なわれる軸方向1次元計算とから中性子束分布を合成するものであった³⁾。3次元特性の強い「むつ」炉心にこの解析手法を適用すると、反応度や出力ピーキングの計算値に誤差が生じることが予想される。昭和49年に実施された「むつ」温態零出力試験で測定された種々の臨界制御棒位置（等反応度曲線）は、設計計算によるものと系統的な差異を示している²⁾。上述の方法で合成された出力分布は、出力ピーキング係数を過大評価していると考えられる。出力ピーキング係数を正しく評価するためには、3次元拡散方程式を解かなければならない。

3次元拡散方程式の解法としてはCITATIONコード⁴⁾等に使われている7点階差法が最も信頼性の高いものと考えられる。7点階差法以外の3次元計算手法としては、有限要素法、粗メッシュ法及びノード法などが良く知られている。これらのうち、7点階差法や有限要素法は、現在の電子計算機の性能では小型船用炉でも計算機容量や計算時間の面で拘束が大きい。粗メッシュ法やノード法は、必要な計算機容量が少なく計算時間が短い長所があるが、粗メッシュ内の解析解または移動カーネルを用意する必要があり、汎用性のあるコードを作成するのが困難である。

従来の汎用中性子拡散コードの大きな欠点は、動力炉固有の熱水力フィードバック効果が取り入れられていないことである。この熱水力フィードバック効果としての減速材温度、燃料温度などは、炉内で3次元的に分布しており、かつ、その分布は出力レベルのみならず出力分布の変動によって変化する。また同様にキセノンの炉内蓄積も3次元分布をしている。船用炉の場合、中性子束分布に関する上述の強い3次元特性を考慮して、これら一連のフィードバック効果も3次元量として正確に評価する必要がある。

このような観点から、3次元炉心特性の特殊性を正確に記述することを目的として、船用炉の為の3次元核熱水力結合計算コードSTEADY-SHIPを開発した。

STEADY-SHIPコードが実用に供されたのは、昭和52年当時、「むつ」遮蔽改修を目的として、輸送コード

TWOTRAN⁵⁾による遮蔽解析の入力条件として、炉内中性子源分布を計算したのが最初である。このときSTEADY-SHIP Version-1が完成したばかりであった。その後旧日本原子力船開発事業団では、安全性総点検に関わる原子炉設置変更許可を申請し、安全審査過程で成された一連の事故解析でも多くの炉心特性値が入力条件として必要とされ、その大部分の算出にSTEADY-SHIPコードが使われた。主なものとして、

- ① 事故解析に必要な核的熱水路係数の評価
- ② 反応度事故解析に用いるフィードバックインポートランス分布の評価
- ③ 停止冷却水ループ誤起動による冷却水不均一入口温度分布に伴う炉内出力分布評価

があった。

本報告書ではSTEADY-SHIPコードの核的、熱水力的部分の計算機能、及び両者の結合計算のあらましについて記述するとともに、原子力第1船「むつ」に対して行なった実証計算について報告する。第2章第1節では核熱水力計算の流れについて概説する。第2章第2節では、3次元中性子拡散方程式を解く際に用いている中性子漏洩繰返し法⁶⁾、燃料集合体非均質性の取扱、反射体中性子束分布の解析表示、及び随伴中性子束計算について記述する。さらにグローバルな3次元全炉心計算の後、炉内の特定のノードのみを取り出してその内部の詳細出力分布計算を行なうLOCAL-FINEルーチンの機能について述べる。この場合、このノードにおける拡散計算に必要な境界条件は、全炉心計算の結果から与えられる。第2章第3節では、熱水力計算について記述する。圧力損失と流量再配分、熱バランス計算と炉内温度分布の計算、さらにDNBR計算のあらましが示される。熱水力特性、キセノン濃度分布などに基づく、核特性へのフィードバック効果の取扱は第2章第4節で述べる。

第3章では、「むつ」炉心に対する計算例を示す。既に実測値が得られているものとして、昭和46年に成された「むつ」炉心陸上臨界試験、昭和49年に実施された出力上昇試験Phase0(温態零出力試験)を取り上げる。さらに、本コードのもつ核熱水力結合計算機能の有効性を実証するため、「むつ」定格運転時の炉心特性計算について記述する。

計算コード利用者の便を図るため、附録にSTEADY-SHIP及びLOCAL-FINEの入力形式、サンプル入出力を掲げた。

2. 3次元炉心特性計算方法

2.1 核熱水力計算の流れ

STEADY-SHIP コードの計算流れ図を Fig. 1 に示す。最初、出力分布の初期推定値を入力し、これによって炉内のエンタルピー分布及び冷却材温度分布を HYDRO-SHIP で計算し、これらによって決まるドップラー効果や減速材温度効果、出力分布で決まるキセノン効果等を考慮に入れた実効断面積を CROSS-SHIP で求める。当然ながら、これらの実効断面積は 3 次元量である。実効断面積決定の為に種々のフィッティング係数は、あらかじめ外部入力で指定されている。このようにして得られた実効断面積に基づいて、DIFFUSION-SHIP では中性子漏洩繰返し法 (Leakage Iteration Method)⁶⁾ を用いて 3 次元 3 群中性子束分布及び反応度を計算し、また出力分布の結果を用いて再び核熱水力結合計算を行なう。

炉心内冷却材の流量分布は、各水路出入口間の圧力損失が炉心内のどの水路をとっても等しくなるように定められ (semi-open channel model)、核計算と熱水力計算との繰返しは出力分布が十分収束したとみなされる時に終了する。その後、出力ピーキングの発生するとみなされる炉内の着目ブロックを取り出し、より詳細な出力分布計算を LOCAL-FINE ルーチンで行なう。この詳細計算のために必要な、当該ブロックの境界条件はグロス 3 次元計算の結果から与えられる。

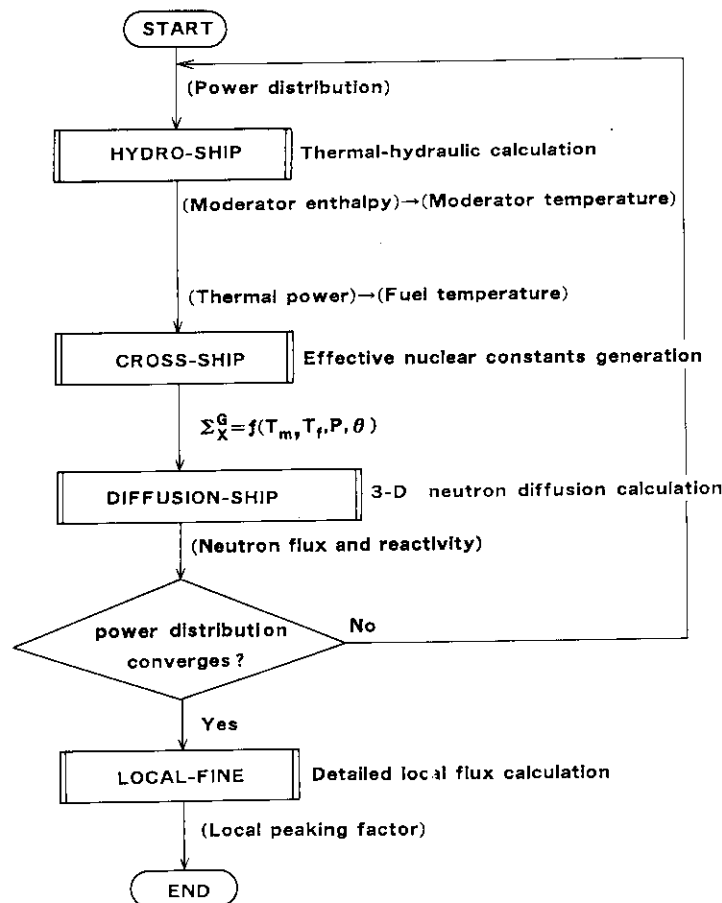


Fig. 1 Calculation Flow of the STEADY-SHIP computer Code.

2.2 3次元中性子拡散方程式の解法

2.2.1 中性子漏洩繰返し法⁶⁾

DIFFUSION-SHIP コードは、1次元拡散コードと2次元拡散コードを併用して、Z軸方向の中性子漏洩断面積 L_z 、 L_{xy} をそれぞれ求め、これらを用いて3次元中性子バランスを求める。計算体系を Fig. 2 に示すように、X、Y、Z方向に分割する。X-Y断面を直角格子状に分割したものを Channel と呼ぶ。また、Z軸に直交する2つの水平面に挟まれた層を Layer と呼ぶ。Channel と Layer の交わりである直方体のユニットを Block と呼び、ひとつの Block 内の核定数は一定であるとする。ひとつの Block の幅 Δx 、 Δy 、 Δz は、 Δx 、 Δy を Channel の幅、 Δz を Layer の厚さと定義する。

一般に、任意群の3次元中性子拡散方程式は次式で表わされる。

$$D\nabla^2\Phi - \sum_{\tau} \Phi + S = 0, \tag{1}$$

ここで、 D ：拡散係数、 S ：中性子源、 \sum_{τ} ：全断面積 = $\sum_a + \sum_r$ 、 \sum_a ：吸収断面積、 \sum_r ：除去断面積である。

(1)式を Block 内の材質が均一であるとして積分すると、

$$D \int_{\Delta x} \int_{\Delta y} \int_{\Delta z} dx dy dz \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + D \int_{\Delta x} \int_{\Delta y} \int_{\Delta z} dx dy dz \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + D \int_{\Delta x} \int_{\Delta y} \int_{\Delta z} dx dy dz \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} - \sum_{\tau} \int_{\Delta x} \int_{\Delta y} \int_{\Delta z} dx dy dz \cdot \Phi + \int_{\Delta x} \int_{\Delta y} \int_{\Delta z} dx dy dz \cdot S = 0 \tag{2}$$

のように書ける。ここで中性子漏洩断面積 L_{xy} 、 L_z を次のように定義する。

$$-L_{xy} \equiv \frac{D \int_{\Delta x} \int_{\Delta y} \int_{\Delta z} \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} \right) dx dy dz}{\int_{\Delta x} \int_{\Delta y} \int_{\Delta z} \Phi \cdot dx dy dz},$$

$$-L_z \equiv \frac{D \int_{\Delta x} \int_{\Delta y} \int_{\Delta z} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} dx dy dz}{\int_{\Delta x} \int_{\Delta y} \int_{\Delta z} \Phi \cdot dx dy dz}, \tag{3}$$

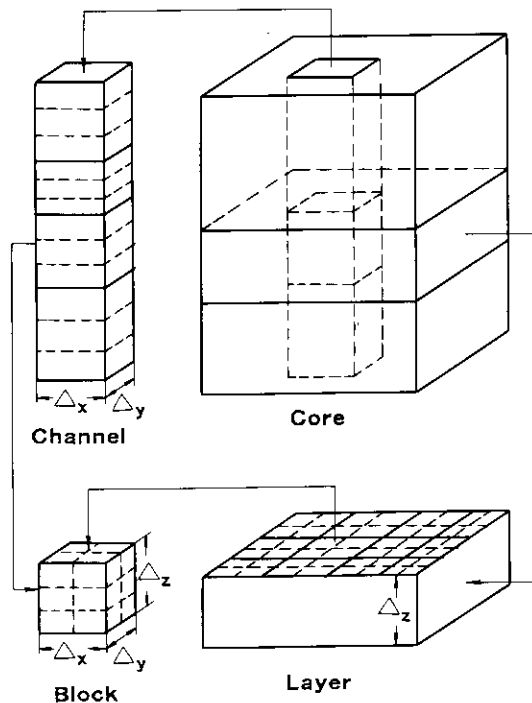


Fig. 2 Definition of Channels, Layers and Blocks.

更に、 $\psi_z, \Theta_z, \psi_{xy}, \Theta_{xy}$ を次のように定義する。

$$\begin{aligned} \psi_z &\equiv \int_{dx} \int_{dy} \Phi \, dx \, dy, & \psi_{xy} &\equiv \int_{dz} \Phi \, dz, \\ \Theta_z &\equiv \int_{dx} \int_{dy} S \cdot dx \, dy, & \Theta_{xy} &\equiv \int_{dz} S \cdot dz. \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4)$$

こうすると、(2)式は以下の1次元及び2次元拡散方程式に変換することができる。

$$D \frac{\partial^2 \psi_z}{\partial z^2} - (\Sigma_T + L_{xy}) \psi_z + \Theta_z = 0, \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$D \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \psi_{xy} - (L_z + \Sigma_T) \psi_{xy} + \Theta_{xy} = 0. \quad \dots\dots\dots (6)$$

上記の方程式を解いて得られる ψ_z 及び ψ_{xy} から L_z 及び L_{xy} が以下のように求められる。

$$L_z = \frac{\int_{dz} \Theta_z \, dz}{\int_{dz} \psi_z \, dz} - (\Sigma_T + L_{xy}), \quad L_{xy} = \frac{\int_{dx} \int_{dy} \Theta_{xy} \, dx \, dy}{\int_{dx} \int_{dy} \psi_{xy} \, dx \, dy} - (\Sigma_T + L_z) \quad \dots\dots\dots (7)$$

炉内の中性子束分布は L_z, L_{xy} を媒介として(5)式と(6)式を交互に解くことによって得られる。収束判定値を E (例えば、 $E=10^{-3}$)とするとき、中性子束の収束判定条件を、

$$\left| \frac{\int_{dz} \psi_z \, dz - \int_{dx} \int_{dy} \psi_{xy} \, dx \, dy}{\int_{dz} \psi_z \, dz} \right| < E \quad \dots\dots\dots (8)$$

で与える。中性子束分布が上記条件を満足すると、 L_{xy} と L_z が収束することは以下により明らかである。中性子源の項は

$$\int_{dz} \Theta_z \, dz = \int_{dx} \int_{dy} \Theta_{xy} \, dx \, dy$$

であるから、繰り返し計算ステップの前後の L_{xy} の値を old, new の添字で示せば

$$\left| L_{xy}^{old} - L_{xy}^{new} \right| = \frac{\int_{dx} \int_{dy} \Theta_{xy} \, dx \, dy}{\int_{dx} \int_{dy} \psi_{xy} \, dx \, dy} \left| \frac{\int_{dx} \psi_z \, dz - \int_{dx} \int_{dy} \psi_{xy} \, dx \, dy}{\int_{dz} \psi_z \, dz} \right| < \frac{\int_{dx} \int_{dy} \Theta_{xy} \, dx \, dy}{\int_{dx} \int_{dy} \psi_{xy} \, dx \, dy} \cdot E \quad \dots\dots (9)$$

となり、 L_{xy} に関する繰り返し計算は中性子束と同程度の収束条件で収束したことになる。

STEADY-SHIPコードでは、エネルギー3群の中性子拡散方程式を解くので、(1)式で第 g 群の中性子源 S^g は、次のように与えられる。

$$S^g(x, y, z) = (1/K_{eff}) \sum_g \{ \nu \Sigma_f^g(x, y, z) \phi^{g'}(x, y, z) \}, \quad (g=1)$$

$$S^g(x, y, z) = \Sigma_f^{g-1}(x, y, z) \phi^{g-1}(x, y, z), \quad (g \neq 1) \quad \dots\dots\dots (10)$$

ここで、 K_{eff} は実効増倍率、 ν は核分裂当たりの平均中性子放出数、 Σ_f^g 及び Σ_f^g は各々第 g 群の核分裂断面積及び除去断面積を示す。中性子源反復の手続きは、他の拡散コードと同じであり、加速法としては直線外挿を用いている。

固有値の判定に至る計算全体の流れを Fig. 3 に示す。3次元拡散方程式を解く上記の手法は、“中性子漏洩繰り返し法 (Leakage Iteration Method)” とよばれ⁶⁾、限られた計算機容量下でもメッシュ幅を細かくとれる。

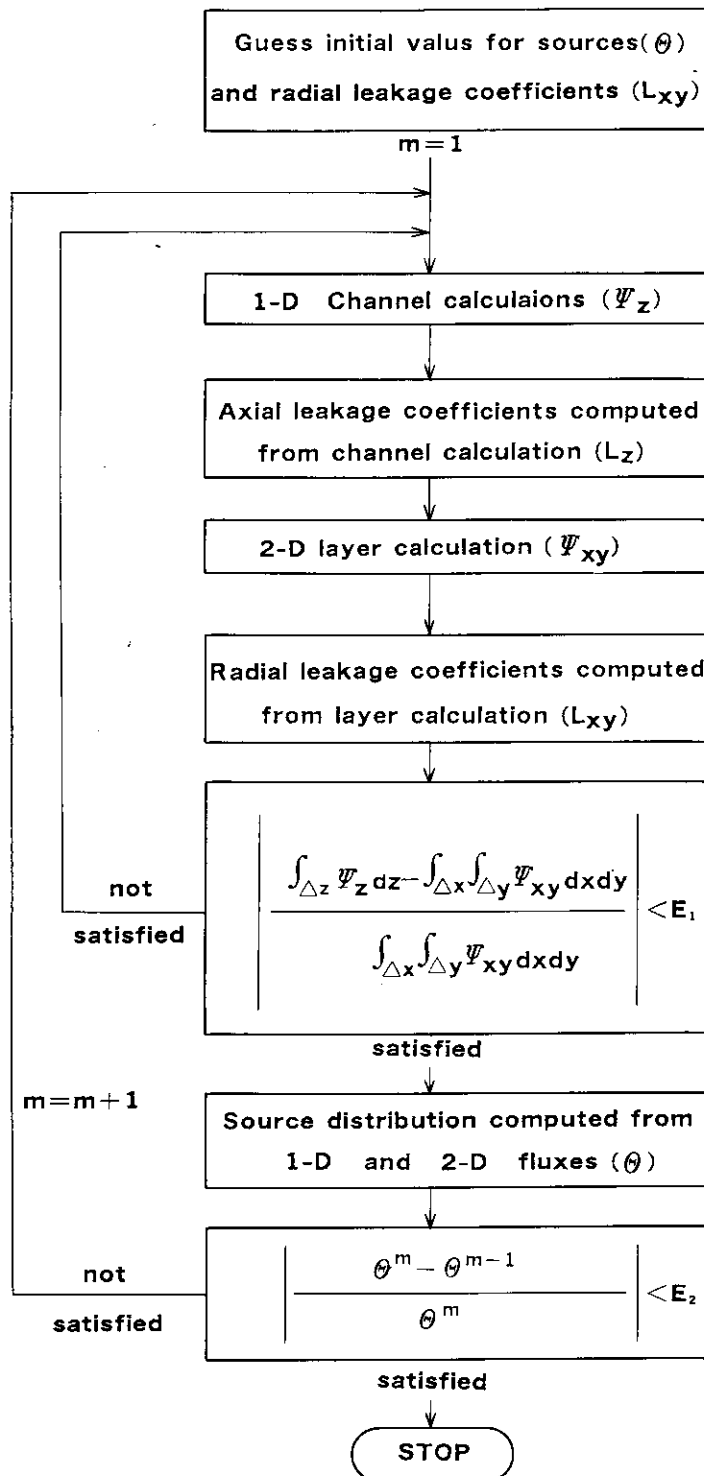


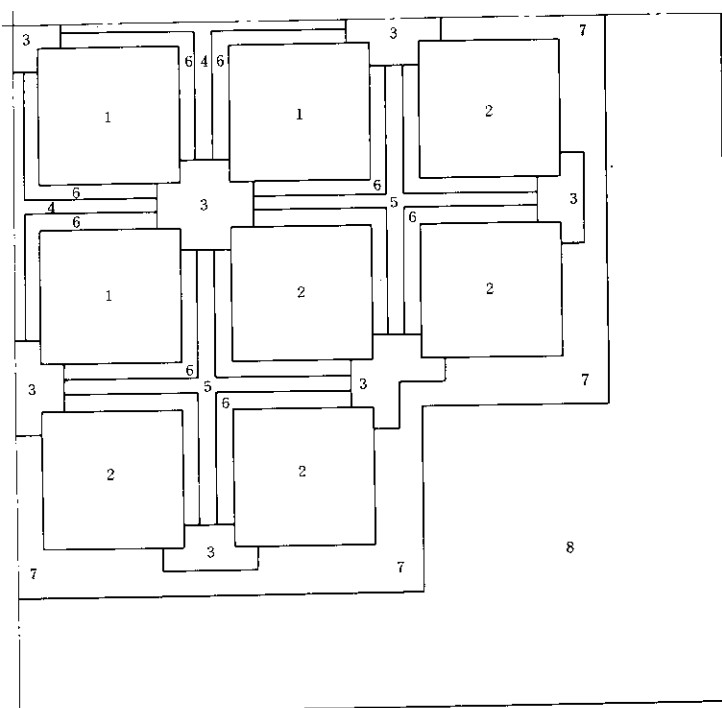
Fig. 3 Schematic Diagram of the Leakage Iteration Method.

2.2.2 燃料集合体内の非均質性の取扱

前節で示した中性子漏洩繰返し法の過程では、xy平面上で燃料集合体内は均質組成と考えた。即ち、燃料棒、可燃性毒物棒、制御棒、フォロワー、水、側板及びその他の構造材の核定数は空間縮約され“Block”の中に一括して均質化されるとした。

STEADY-SHIPコードでは、更に燃料集合体内が非均質に領域区分されている場合にも中性子漏洩繰返し法を適用できるようにした。Fig. 4は後述する「むつ」炉心のxy水平断面をいくつかの領域に区分したものである。以下、Fig. 4に基づいて述べる。前節で述べた中性子漏洩繰返し法のアルゴリズムは図中、領域番号1と2の燃料棒・可燃性毒物棒均質化領域にのみ適用する。2次元xy平面計算は、領域番号1から8までの、構造材領域等、全ての領域を含めて行なう。しかし軸方向1次元計算は、番号1と2の領域についてのみ行ない、その時の水平方向漏洩断面積 L_{xy} は2次元計算での中性子束分布を番号1または2の領域範囲で積分して得たものを用いる。一方、2次元平面計算の際の軸方向漏洩断面積 L_z は番号1または2の軸方向中性子束分布に基づいて計算される。この L_z を2次元平面における他の領域(番号3~8)にも適用する。このような燃料集合体の非均質化と、それに対する中性子漏洩繰返し法の適用により次のような利点が得られる。

- i 群定数を、燃焼度に依存するものと依存しないものとに分けて作成できる。即ち、燃焼度に依存する群定数はFig. 4で番号1,2の領域についてのみ用意すればよい。他の領域の群定数は燃焼度にほとんど依存しないから、ただ1回のセル計算を行えばよい。
- ii 制御棒領域が実寸法に応じて独立に確保できるから、対数微分条件の設定が容易である。



1. 3.24w/o fuel rod, burnable poison rod and water
2. 4.44w/o fuel rod, burnable poison rod and water
3. Zry-2 filler, canning-box and water
4. Control rods (G1 & G2), or Zry-2 follower
5. Control rods (G3 & G4), or Zry-2 follower
6. Canning-box, water and control-rod cladding
7. Stainless steel baffle plate
8. Reflector

Fig. 4 Horizontal Section of the MUTSU Core.

2.2.3 局所中性子束分布計算

STEADY-SHIPコードによるグロス3次元核計算では、ブロック単位の出力分布が算出される。このブロックの内部における局所的な出力分布を計算するために、LOCAL-FINEが用意されている。LOCAL-FINEルーチンの計算アルゴリズムは、DIFFUSION-SHIPそのものを原型として、以下の修正をほどこしたものである。計算モデルを Fig. 5 に示す。

グロス3次元計算でピーキングの生じているブロックを取り出す。このブロックの周辺の幅は、 Δx 、 Δy 及び Δz であるとする。このブロックに対して、Fig. 5のモデルで3次元計算を実行する。このときの境界条件として、グロス3次元計算から得られた着目ブロック近傍の軸方向及び水平方向の中性子束分布 $\psi(z)$ 及び $\psi(x, y)$ から

$$\frac{1}{r_z} = - \frac{D \nabla \psi(z)}{\psi(z)}, \quad \dots \dots \dots (11)$$

$$\frac{1}{r_{xy}} = - \frac{D \nabla \psi(x, y)}{\psi(x, y)}, \quad \dots \dots \dots (12)$$

なる量を計算し、制御棒対数微分条件と同様にして適用させる。なおここで、

$$\psi(z) = \int_{\Delta x} \int_{\Delta y} \Phi(x, y, z) dx dy, \quad \dots \dots \dots (13)$$

$$\psi(x, y) = \int_{\Delta z} \Phi(x, y, z) dz, \quad \dots \dots \dots (14)$$

であり、各々、3次元中性子束分布 $\Phi(x, y, z)$ をxy方向、z方向に積分したものである。

DIFFUSION-SHIPに使用される中性子漏洩繰返し法では、核分裂中性子源の存在しない領域をChannelとみなすことができなかつたので、以下のように改良した。

核分裂中性子源の存在しない領域で第g群の1次元中性子バランスは、

$$D^g \frac{d^2 \psi^g(z)}{dz^2} - (\sum_a^g + L_{xy}^g) \psi^g(z) = 0 \quad \dots \dots \dots (15)$$

である。これを、

$$D^g \frac{d^2 \psi_z^g}{dz^2} - (\sum_a^g + \sum_r^g) \psi_z^g - L_{xy}^g \psi_z^g = 0, \quad (g=1) \quad \dots \dots \dots (16)$$

$$D^g \frac{d^2 \psi_z^g}{dz^2} - (\sum_a^g - \sum_r^g) \psi_z^g + (\sum_r^{g-1} \psi_z^{g-1} - L_{xy}^g \psi_z^g) = 0. \quad (g \neq 1) \quad \dots \dots \dots (17)$$

ただし、

$$L_{xy}^g = \frac{\iint S^g(x, y) dx dy - \iint \sum_r^g \Phi^g(x, y) dx dy}{\iint \Phi^g(x, y) dx dy}, \quad S^g(x, y) = 0, \quad \dots \dots \dots (18)$$

とおきかえてLeakageによる中性子源の項を作り3次元計算が可能となるようにした。群定数は、グロス計算の際に得られたブロックに対する熱出力及び減速材温度などをもとに燃料棒のセル定数をフィッティングして求める。

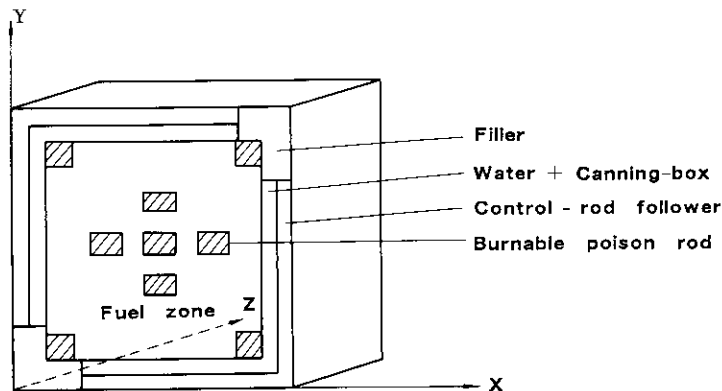


Fig. 5 Geometrical Model for LOCAL-FINE Calculation.

2.2.4 反射体内中性子束分布の解析表示

一般に軽水炉の炉心に対して中性子拡散計算を行なう場合、熱中性子束が反射体領域にピークをもつため、反射体領域中に多数のメッシュをとらねばならない。特に3次元計算では全メッシュ点の半分近くを反射体領域にとられる場合がある。計算容量・計算時間を削減する目的で、炉心部分のみを差分方程式で解き、反射体部分の中性子束を解析的に表示して、境界において両者をつなげるという方法を採用した。

反射体内で1次元3群拡散方程式は、炉心-反射体境界に対して法線方向の座標 ℓ として、次のように表わされる。

$$\begin{aligned} \frac{d^2}{d\ell^2} \phi_k^1 - K_1^2 \phi_k^1 &= 0, & (\text{第1群}) \\ \frac{d^2}{d\ell^2} \phi_R^2 - K_2^2 \phi_R^2 + \lambda_1 \phi_k^1 &= 0, & (\text{第2群}) \\ \frac{d^2}{d\ell^2} \phi_R^3 - K_3^2 \phi_R^3 + \lambda_2 \phi_R^2 &= 0. & (\text{第3群}) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (19)$$

但し、

$$\begin{aligned} K_1^2 &= (\sum_{aR}^1 + \sum_{rR}^{1-2} + D_R^1 B_R^1) / D_R^1, \\ K_2^2 &= (\sum_{aR}^2 + \sum_{rR}^{2-3} + D_R^2 B_R^2) / D_R^2, \\ K_3^2 &= (\sum_{aR}^3 + D_R^3 B_R^3) / D_R^3, \\ \lambda_1 &= \sum_{rR}^{1-2} / D_R^2, \quad \lambda_2 = \sum_{rR}^{2-3} / D_R^3. \end{aligned}$$

ここで添字 R は反射体を示す。また、以下での添字 B は炉心-反射体境界を示す。

ここに B_R^g は第 g 群の反射体領域バックリングで、ここでの式では二乗を示す添字を省略している。

微分方程式 (19) を次の境界条件で解く。

$$\begin{aligned} \ell=0 \text{ で } \phi_k^1 &= \phi_B^1, \quad \phi_R^2 = \phi_B^2, \quad \phi_R^3 = \phi_B^3, \\ \ell=\infty \text{ で } \phi_k^1 &= \phi_R^2 = \phi_R^3 = 0. \end{aligned}$$

微分方程式の解は

$$\begin{aligned} \phi_k^1 &= A e^{-\kappa_1 \ell}, \\ \phi_R^2 &= B e^{-\kappa_2 \ell} + C e^{-\kappa_1 \ell}, \\ \phi_R^3 &= D e^{-\kappa_3 \ell} + E e^{-\kappa_2 \ell} + F e^{-\kappa_1 \ell}, \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (20)$$

となる。定数 A, B, C, D, E, F は境界条件から次式で求められる。

$$\begin{aligned} A &= \phi_B^1, \\ B &= \phi_B^2 - \frac{\lambda_1}{K_2^2 - K_1^2} \phi_B^1, \\ C &= \frac{\lambda_1}{K_2^2 - K_1^2} \phi_B^1, \\ D &= \phi_B^3 - \frac{\lambda_2}{K_3^2 - K_2^2} \phi_B^2 + \frac{\lambda_1 \lambda_2}{(K_3^2 - K_2^2)(K_3^2 - K_1^2)} \phi_B^1, \\ E &= \frac{\lambda_2}{K_3^2 - K_2^2} \phi_B^2 + \frac{\lambda_1 \lambda_2}{(K_3^2 - K_2^2)(K_2^2 - K_1^2)} \phi_B^1, \\ F &= \frac{\lambda_1 \lambda_2}{(K_3^2 - K_1^2)(K_2^2 - K_1^2)} \phi_B^1. \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (21)$$

ここで $\ell=0$ において、中性子束流の連続条件を使って反射体部の解析解と炉心部の差分式を結びつけている。

$$-D_1^g \frac{\phi_1^g - \phi_{B1}^g}{\frac{dr_1}{2}} = - \left(-D_R^g \left(\frac{d\phi_R^g}{d\ell} \right)_{\ell=0} \right), \quad \dots\dots\dots (22)$$

[1群]

$$D_R^1 \left(\frac{d\phi_R^1}{d\ell} \right)_{\ell=0} = -D_R^1 k_1 \phi_{B1}^1 \text{ より}$$

$$\therefore \phi_{B1}^1 = \alpha_B \phi_1^1, \quad \alpha_B = \frac{2D_1^1}{D_R^1 k_1 \Delta r_1 + 2D_1^1} \quad \dots\dots\dots (23)$$

[2群]

$$D_R^2 \left(\frac{d\phi_R^2}{d\ell} \right)_{\ell=0} = -D_R^2 (-K_2 B - K_1 C) \text{ より}$$

$$\therefore \phi_{B1}^2 = \frac{\phi_1^2 + \beta_B \phi_{B1}^1}{\tau_B},$$

$$\text{ここに } \beta_B = \frac{D_R^2 \Delta r_1 (\lambda_1 K_2 - \lambda_1 K_1)}{2D_1^2 (K_2^2 - K_1^2)}, \quad \tau_B = 1 + \frac{K_2 \Delta r_1 D_R^2}{2D_1^2} \quad \dots\dots\dots (24)$$

[3群]

$$D_R^3 \left(\frac{d\phi_R^3}{d\ell} \right)_{\ell=0} = -D_R^3 (-K_3 D - K_2 E - K_1 F) \text{ より}$$

$$\therefore \phi_{B1}^3 = \frac{\phi_1^3 + \tau_B \phi_{B1}^2 + \epsilon_B \phi_{B1}^1}{\phi_B},$$

$$\text{ここに } \tau_B = \frac{D_R^3 \Delta r_1 (\lambda_2 K_3 - \lambda_2 K_2)}{2D_1^3 (K_3^2 - K_2^2)}, \quad \phi_B = 1 + \frac{K_3 \Delta r_1 D_R^3}{2D_1^3}$$

$$\epsilon_B = \frac{D_R^3 \Delta r_1 \lambda_1 \lambda_2}{2D_1^3} \cdot \frac{K_3 (K_2^2 - K_1^2) + K_2 (K_1^2 - K_3^2) + K_1 (K_3^2 - K_2^2)}{(K_3^2 - K_2^2)(K_3^2 - K_1^2)(K_2^2 - K_1^2)}, \quad \dots\dots\dots (25)$$

2.2.5 随伴中性子束分布計算

3群拡散方程式は以下のように行列表示できる。

$$\begin{bmatrix} -\mathcal{F} \cdot D_1 \mathcal{F} + \sum T_1 & 0 & 0 \\ -\sum R_1 & -\mathcal{F} \cdot D_2 \mathcal{F} + \sum T_2 & 0 \\ 0 & -\sum R_2 & -\mathcal{F} \cdot D_3 \mathcal{F} + \sum T_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{K_{\text{eff}}} \begin{bmatrix} \chi_1 (\nu \sum f)_1 & \chi_1 (\nu \sum f)_2 & \chi_1 (\nu \sum f)_3 \\ \chi_2 (\nu \sum f)_1 & \chi_2 (\nu \sum f)_2 & \chi_2 (\nu \sum f)_3 \\ \chi_3 (\nu \sum f)_1 & \chi_3 (\nu \sum f)_2 & \chi_3 (\nu \sum f)_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{bmatrix}, \quad \dots\dots\dots (26)$$

ここに K_{eff} は実効増倍率であり、

$$\sum T_g = \sum a_g + \sum R_g + D_g B_g^2$$

である。(26)式中の行列を転置させて、随伴中性子束 ϕ_g^+ に関する随伴方程式を作ると、

$$\begin{bmatrix} -\mathcal{F} \cdot D_1 \mathcal{F} + \sum T_1 & -\sum R_1 & 0 \\ 0 & -\mathcal{F} \cdot D_2 \mathcal{F} + \sum T_2 & -\sum R_2 \\ 0 & 0 & -\mathcal{F} \cdot D_3 \mathcal{F} + \sum T_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_1^+ \\ \phi_2^+ \\ \phi_3^+ \end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{K_{\text{eff}}} \begin{bmatrix} \chi_1 (\nu \sum f)_1 & \chi_2 (\nu \sum f)_1 & \chi_3 (\nu \sum f)_1 \\ \chi_1 (\nu \sum f)_2 & \chi_2 (\nu \sum f)_2 & \chi_3 (\nu \sum f)_2 \\ \chi_1 (\nu \sum f)_3 & \chi_2 (\nu \sum f)_3 & \chi_3 (\nu \sum f)_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_1^+ \\ \phi_2^+ \\ \phi_3^+ \end{bmatrix}, \quad \dots\dots\dots (27)$$

のようになる。

(26)式と(27)式を比較すれば、(26)式中の諸量を次のように置換すれば(27)式に等しくなることがわかる。

$$\begin{array}{ccccccc}
 \left. \begin{array}{l} \phi_1 \rightarrow \phi_3^+ \\ \phi_2 \rightarrow \phi_2^+ \\ \phi_3 \rightarrow \phi_1^+ \end{array} \right\} & \left. \begin{array}{l} D_1 \rightarrow D_3 \\ D_2 \rightarrow D_2 \\ D_3 \rightarrow D_1 \end{array} \right\} & \left. \begin{array}{l} \Sigma_{T1} \rightarrow \Sigma_{T3} \\ \Sigma_{T2} \rightarrow \Sigma_{T2} \\ \Sigma_{T3} \rightarrow \Sigma_{T1} \end{array} \right\} & \left. \begin{array}{l} \Sigma_{R1} \rightarrow \Sigma_{R2} \\ \Sigma_{R2} \rightarrow \Sigma_{R1} \end{array} \right\} & \left. \begin{array}{l} \chi_1 \rightarrow (\nu \Sigma f)_1 \\ \chi_2 \rightarrow (\nu \Sigma f)_2 \\ \chi_3 \rightarrow (\nu \Sigma f)_3 \end{array} \right\} & \left. \begin{array}{l} (\nu \Sigma f)_1 \rightarrow \chi_3 \\ (\nu \Sigma f)_2 \rightarrow \chi_2 \\ (\nu \Sigma f)_3 \rightarrow \chi_1 \end{array} \right\} & \dots \dots \dots (28)
 \end{array}$$

したがって、(28)式の置換をあらかじめ実行しておけば既存の拡散コードのアルゴリズムを何ら修正することなく利用できる。漏洩断面積 (L_{xy} , L_z) は自己随伴であるから、中性子漏洩反復法による3次元計算に対しても上述の置換が直接適用できる。通常の3群中性子束計算は、1群→2群→3群の順序で行なわれるが、随伴中性子束計算では、3群→2群→1群と逆の順序で行なわれる。

2.3 熱水力計算

HYDRO-SHIPでは、軸方向出力分布をもとに各流路の流量、エンタルピ分布が計算される。ここで計算される温度分布はDIFFUSION-SHIPで計算される核特性に対して熱水力フィードバックを与える。

2.3.1 圧力損失と流量再配分

各燃料集合体流路の流量は、全ての燃料集合体流路の出入口の圧力損失が等しくなるように決められる。最初に流量分布を仮定して各流路の出入口の圧力損失及びその平均値を求める。次に、ある流路の圧力損失が平均値に比べて大きければ、その流路の流量を減らし、平均値に比べて小さければ流量を増やすという、流量再配分を行なう。その後、再び各流路について圧力損失を求めるという繰返し計算を行ない、各流路の圧力損失と平均値の差が入力で指定した値よりも小さくなった時に繰返し計算を終了する。バイパス流路については、入力で指定したバイパス流量率にしたがって圧力損失の計算を行なう。

圧力損失として考慮するのは、(i)静水圧損失、(ii)摩擦損失、(iii)E/C損失(流路断面積の変化による損失)、(iv)スぺーサ損失、及び(v)加速損失である。Fig. 6に圧力損失及び流量再配分の計算フローを示す。

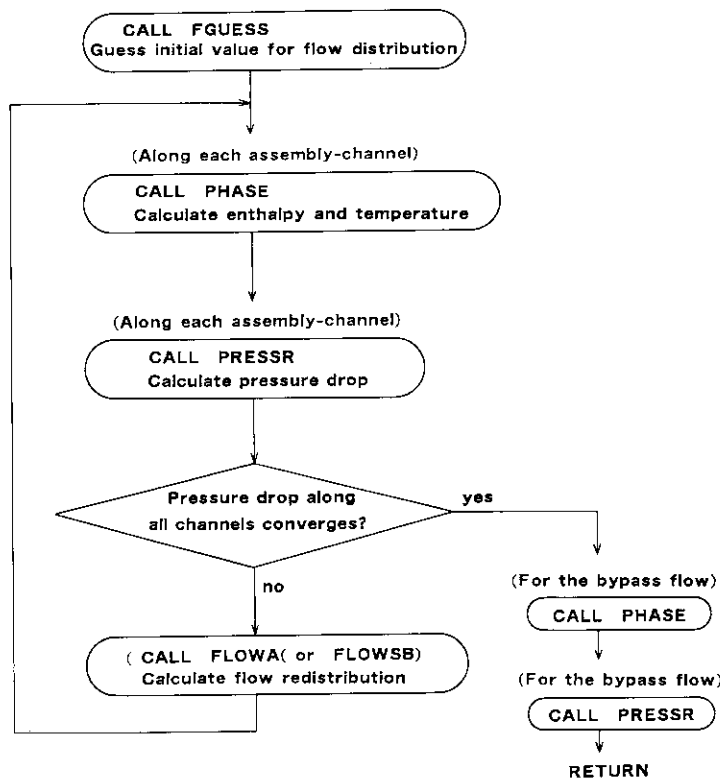


Fig. 6 Logic Flow for Calculating Pressure Drop and Flow Redistribution.

(i) 静水圧損失

静水圧損失は多岐管部においては、流路を炉心発熱部と非発熱部(冷却材案内管等)に分けて次のように計算する。ここで、炉心発熱部K個のブロックに分割し、最下端ブロックを第1番ブロックとする。

$$\begin{aligned} \Delta P_H &= \int_{z_{in}}^{z_{out}} \rho dz \\ &= \int_{z_{in}}^{z_L} \rho dz + \int_{z_L}^{z_U} \rho dz + \int_{z_U}^{z_{out}} \rho dz \\ &= \rho_{in}(Z_L - Z_{in}) - \sum_{k=1}^K \rho_k \Delta Z_k - \rho_{K+1}(Z_{out} - Z_U), \end{aligned} \quad (29)$$

ここに Z_{in} : 多岐管部入口高さ (m),

Z_{out} : 多岐管部出口高さ (m),

Z_L : 発熱部下端高さ (m),

Z_U : 発熱部上端高さ (m),

ρ_{in} : 入口部の水密度 (kg/m^3),

ρ_k : 第k番ブロックの水密度 (kg/m^3),

ρ_{K+1} : 発熱部上端の水密度 (kg/m^3),

ΔZ_k : 第k番ブロックの長さ (m),

K : 最大ブロック数,

ΔP_H : 出入口間の静水圧損失 (kgf/m^2).

(ii) 摩擦損失

「むつ」炉心内の冷却水は常にサブクールに保たれていることから、次のように单相流に対する摩擦損失の式⁷⁾を用いる。

$$\Delta P_{FR} = f \cdot \frac{\rho}{2g} \cdot V^2 \cdot \frac{d_z}{De} = f \cdot \frac{W^2}{2g\rho A^2} \cdot \frac{d_z}{De} \quad (30)$$

ここに ΔP_{FR} : 单相摩擦損失 (kgf/m^2),

ρ : 密度 (kg/m^3),

g : 重力加速度 ($9.8 \text{ m}/\text{s}^2$),

V : 流体の速度 (m/s),

De : 等価直径 (m),

d_z : 流路の軸方向長さ (m),

A : 流路面積 (m^2),

W : 流量 (kg/s) = $V \times A \times \rho$,

fは無次元の摩擦係数であり、レイノルズ数Reの大小によって次のいずれかの式で計算される⁷⁾。

$$\text{Re} < 2000 \text{ の時} \quad f = 64/\text{Re}, \quad (31)$$

$$2000 < \text{Re} < 10^4 \text{ の時} \quad f = 0.3164 \text{Re}^{-0.25}, \text{ (Blasius の式)} \quad (32)$$

$$10^4 < \text{Re} < 1.9 \times 10^6 \text{ の時} \quad f = 0.00540 + 0.397 \text{Re}^{-0.3}, \text{ (Hermann の式)} \quad (33)$$

ここでレイノルズ数は次式で与えられる。

$$\text{Re} = \frac{De \cdot W}{\rho \cdot A \cdot \nu}, \quad (34)$$

但し、 ν : 動粘性係数 (m^2/s) である。

(iii) E/C損失

流路断面積の変化による圧力損失をE/C損失と呼び次のように表わす。

$$\text{拡大流の場合 } \Delta P_{E/C} = K_{E/C} \cdot \frac{\rho}{2g} \cdot V_1^2, \quad \dots\dots\dots (35)$$

$$\text{縮小流の場合 } \Delta P_{E/C} = K_{E/C} \cdot \frac{\rho}{2g} \cdot V_2^2, \quad \dots\dots\dots (36)$$

ここに $\Delta P_{E/C}$: E/C損失 (kgf/m²),

$K_{E/C}$: E/C損失係数,

ρ : 断面積の変化している位置の平均密度 (kg/m³),

V_1 : 断面積変化前の流速 (m/s),

V_2 : 断面積変化後の流速 (m/s),

ここで用いているE/C損失係数は、Weisbachの方法⁷⁾を用いて計算する。拡大流の場合にはA1, A2を断面積変化前後の流路断面積として

$$K_{E/C} = (1 - A1/A2)^2 \quad \dots\dots\dots (37)$$

で計算される。また、縮小流の場合はWeisbachによって提唱されたデータ⁷⁾をもとに内挿して求められる。

(iv) スペーサ損失

スペーサ圧力損失は次式で計算される。

$$\Delta P_{SP} = K_{SP} \cdot \frac{\rho}{2g} \cdot V^2, \quad \dots\dots\dots (38)$$

ここに ΔP_{SP} : スペーサによる圧力損失 (kgf/m²)

K_{SP} : スペーサ損失係数,

ρ : スペーサが置かれている位置の平均密度 (kg/m³),

V : 平均流速 (m/s).

(v) 加速損失

加速損失は次式で計算される。

$$\Delta P_{acc} = \frac{W}{g} (V_{out} - V_{in}), \quad \dots\dots\dots (39)$$

ここに ΔP_{acc} : 加速損失 (kgf/m²),

W : 質量流量 (kg/s),

V_{in} : 流路の入口流速 (m/s),

V_{out} : 流路の出口流速 (m/s).

2.3.2 熱バランス計算と温度分布

「むつ」原子炉では、32本の冷却材案内管が全て同一の機械的構造を有しており、通常運転時には炉心入口温度は全ての燃料集合体で同一で圧力容器入口温度に等しいと考えてよい。圧力容器入口温度に対応する入口エンタルピ H_{in} を出発値として軸方向エンタルピ分布を計算する。ある水路でノード i 下端のエンタルピは、

$$H_i = H_{i-1} + Q_{i-1} / W \quad \dots\dots\dots (40)$$

で与えられる。 W は注目水路の質量流量、 Q_i は軸方向ノード i の発熱である。

圧力一定であれば、軸方向温度分布はこのエンタルピ分布から一義的に定まる。温度分布は以下のようにエンタルピの2次式でフィッティングされる。

$$T_i = c_0 + c_1 H_i + c_2 H_i^2 \quad (41)$$

フィッティング係数 c_0 , c_1 , c_2 を決めるために必要なエンタルピと温度の相関データは日本機械学会蒸気表⁸⁾か

ら引用される。

DNB計算等で必要なクォリティは、エンタルピから次式で算出する。

$$X_i = \frac{H_i - h'}{h'' - h'} \quad \dots\dots\dots (42)$$

ここで h' 、 h'' は各々、飽和水、飽和蒸気のエンタルピ ($H < h' < h''$) である。PWR 炉心ではサブクール度が大きい為、クォリティが形式上負になることに注意する。

2.3.3 DNBR 計算

中性子漏洩繰返し法では3次元出力分布の他に、Channel 毎の軸方向出力分布が得られる。HYDRO-SHIP ルーチンでは、これをもとに DNBR (Departure from Nucleate Boiling Ratio) が算出される。未飽和加圧水に対しては DNB 熱流束及び DNBR は以下に示す W-3 相関式⁹⁾を用いて計算される。

[W-3 相関式]

$$q''_{B-EU}/10^6 = [(2.022 - 0.0004302 p) + (0.1722 - 0.0000984 p) \cdot \exp(18.177 - 0.004129 p) X] [(0.1484 - 1.596 X + 0.1729 X | X |) \cdot G/10^6 + 1.037] (1.157 - 0.869 X) [0.2664 + 0.8357 \cdot \exp(-3.151 De)] [0.8258 + 0.000794 (H_{sat} - H_{in})] \quad \dots\dots\dots (43)$$

$$q''_{B-N} = q''_{B-EU}/F \quad \dots\dots\dots (44)$$

$$F = \frac{C}{q''(\ell) [1 - \exp(-c\ell)]} \int_0^\ell q''_i(z) \cdot \exp\{-c(\ell-z)\} dz \quad \dots\dots\dots (45)$$

$$C = 0.44 \frac{(1-X)^{7.9}}{(G/10^6)^{1.72}} \quad (\text{in}^{-1}) \quad \dots\dots\dots (46)$$

ここに、 p : 圧力 psia (1000 ~ 2300 psia)

G : 質量速度 lb/hr-ft² ($1.0 \times 10^5 \sim 5 \times 10^6$ lb/ft²-h)

De : 水力直径 in (0.2 ~ 0.7 in)

X : 局所クォリティ (-0.15 ~ +0.15)

H_{sat} : 飽和水エンタルピ Btu/lb

H_{in} : 入口エンタルピ Btu/lb

L : 流路長 in (10 ~ 144 in)

$$\frac{\text{heated perimeter}}{\text{wetted perimeter}} = 0.88 \sim 1.00$$

q''_{B-EU} : 均一発熱の場合のバーンアウト熱流束 Btu/h-ft²

q''_{B-N} : 不均一発熱の場合のバーンアウト熱流束 Btu/h-ft²

また、1 (in) = 0.0254000 (m), 1 (psia) = 0.070307 (kgf/cm²a),

1 (lb/ft²-h) = 4.88243 (kg/m²-h), 1 (Btu/lb) = 5/9 (kcal/kg),

1 (Btu/h-ft²) = 2.71246 (kcal/m²-h),

である。

このとき、DNBR は次式で定義される。

$$\text{DNBR} = q''_{B-N}/q''_{loc} = q''_{B-EU}/F \cdot q''_{loc} \quad \dots\dots\dots (47)$$

ここに、 q''_{loc} は、局所熱流束 (Btu/h-ft²) である。

局所的 DNB 熱流束は以下の手順で計算される。

(i) 局所的な冷却材条件に対し等価一様 DNB 相関式を用いて q''_{B-EU} を計算する。

(ii) 発熱分布と(46)式で定義されるCに含まれる冷却材条件に対してF-因子を求め、これで $q_{B,N}^*$ を求める。

DNB計算に必要な軸方向の発熱分布および熱流束分布は以下のように計算される。まずDIFFUSION-SHIPにより得られた注目水路の軸方向出力分布をもとに

$$\int_0^L \dot{Q}(Z) dZ = Q \quad \dots\dots\dots (48)$$

の関係を満たすように発熱分布 $\dot{Q}(Z)$ を規格化する。Qは水路の総発熱量、Lは有効発熱長である。上式は数値計算上、次のように離散化される。

$$\sum \dot{Q}(Z_i) \Delta Z_i = Q \quad \dots\dots\dots (49)$$

また熱流束分布 $q(Z_i)$ は、Aを伝熱面積として

$$q(Z_i) = \dot{Q}(Z) / \left(A \cdot \frac{\Delta Z_i}{L} \right) \quad \dots\dots\dots (50)$$

で与えられる。

F-因子を求める式(45)は指数関数を含む複雑な積分になっており、熱流束分布形状が詳細に与えられていないと台形公式を用いた数値積分の精度が上げられない。他方、中性子拡散計算部分DIFFUSION-SHIPから与えられる出力分布は離散的であり、F-因子計算には必ずしも適さない。このため、隣り合う出力分布離散値3点からCramerの公式を用いて順次2次式にフィッティングする。こうすると熱流束分布は解析関数として与えられるので、数値積分のメッシュ幅を細かくとって精度を上げることができる。

2.4 フィードバック効果の取扱

CROSS-SHIPでは、炉内の実効断面積の分布を減速材温度分布、熱出力分布、燃料実効温度分布などの関数として、フィッティングしている。

ドップラー効果に関わる燃料実効温度 T_f は、Yankee, Saxton, BR-3, Selni等、「むつ」と同様にステンレス鋼被覆燃料を用いたPWRの実測データに基づく「Shaの温度式」¹⁰⁾にしたがって定めるのが便利である。Shaの温度式は、ペレット最高温度 T_{max} とペレット表面温度 T_s より、ドップラー効果を規定する燃料実効温度が

$$\text{全炉心ベース} \quad : \quad T_f = 0.55(T_{max} - T_s) + T_s, \quad \dots\dots\dots (51)$$

$$\text{単位セルベース} \quad : \quad T_f = 0.35(T_{max} - T_s) + T_s, \quad \dots\dots\dots (52)$$

と表示できることを見出したものである。 T_{max} 、 T_s の値は、文献¹⁰⁾に記載されているグラフから必要な入力データ(減速材温度、熱流束、被覆管厚み等)をもとに読み取れるようになっている。このグラフを用いると熱伝導方程式を計算コードにより多数回解く必要がなく、便利である。このグラフによる燃料温度は、Shaによれば $\pm 80^\circ F$ の範囲内で信憑性があるとされている(「むつ」燃料ペレットの T_{max} 、 T_s に関しては熱伝導方程式を解いて得た値と $\pm 15^\circ C$ 以内で一致した)。

CROSS-SHIPでは、上述のグラフに相当するデータが内蔵されている。核熱水力繰り返し計算を効率的に行なうため、このデータに基づき、かつ、(51)式又は(52)式を考慮して、燃料実効温度をコード内で、

$$T_f = e_0 + e_1 P + e_2 P^2 + T_m \quad \dots\dots\dots (53)$$

のように2次式でフィッティング表示している。ここに、Pはブロック単位の熱出力、 T_m のは減速材温度である。減速材温度は、(41)式より計算される。

以下では、実効断面積のフィッティング式を与える。個々の実効断面積フィッティング式で、フィッティング係数は入力データとして与える。フィッティング係数の入力データ作成方法の例を「3.4.1 フィッティング係数の決定」で後述する。

核定数フィッティング式を作成するにあたり、 T_m 及び T_f は各々、入力で指定する標準値 T_m^{STD} 、 T_f^{STD} からの

偏差として次のように再定義する。

$$T_m = T_m - T_m^{STD} \quad \dots\dots\dots (54)$$

$$\sqrt{T_f} = \sqrt{T_f} - \sqrt{T_f^{STD}} \quad \dots\dots\dots (55)$$

通常は、炉心平均温度を標準値とするのが便利である。\$T_f\$は(55)式のように平方根の偏差で表わすのがよい。

拡散係数と除去断面積は温度変化にともなう水分子個数密度の変化に主として依存すると考え、各群とも水の分子個数密度 \$N_m\$ の2次式

$$1/D = d_0 + d_1 N_m + d_2 N_m^2, \quad \dots\dots\dots (56)$$

$$\Sigma_R = r_0 + r_1 N_m + r_2 N_m^2, \quad \dots\dots\dots (57)$$

でフィッティングする。水の分子個数密度はコード内蔵の蒸気表データ(日本機械学会による⁸⁾)より圧力と温度を指定することで内挿して得られる。拡散係数は \$D=1/3 \Sigma_{tr}\$ であることを考慮して、その逆数 \$1/D\$ に対してフィッティングしている。

吸収断面積は、減速材温度、燃料実効温度のみならずキセノン濃度にも依存し、燃料温度効果とキセノン効果は各々、第2群(中速群)、第3群(熱群)に主として寄与するから、これらを考慮してできる限り簡便な表式を作成する必要がある。ここでは以下のようにする。

- i 減速材温度効果の寄与分については \$T_m\$ の2次式でフィッティングする。
- ii 燃料実効温度効果の寄与分については \$\sqrt{T_f}\$ の2次式でフィッティングする。
- iii キセノン毒物効果の寄与分は次のように考える。平衡状態でのキセノン原子個数密度 \$X_0\$ は

$$X_0 = \frac{(r_1 + r_x) \Sigma_f \phi_0}{\lambda_x + \sigma_x \phi_0} \quad \dots\dots\dots (58)$$

の形式で与えられる¹¹⁾。ここに、\$r_i\$ 及び \$r_x\$ は各々、よう素及びキセノンの核分裂収率を表わし、\$\lambda_x\$ 及び \$\sigma_x\$ は各々、キセノンの崩壊定数及び中性子吸収マイクロ断面積である。いま熱出力 \$P = \Sigma_f \phi_0\$ とみなし、上述のキセノン毒物効果の寄与分を、\$(\delta \Sigma_a)_{xe} = X_0 \sigma_x\$ と考えることにより

$$(\delta \Sigma_a)_{xe} = \frac{(r_1 + r_x) P}{\lambda_x + (\sigma_x / \Sigma_f) P} = \frac{P}{b_0 + b_1 P} \quad \dots\dots\dots (59)$$

のように評価する。

これらの寄与に基づいて \$\Sigma_a\$ のフィッティングを

$$\begin{aligned} \Sigma_a = & f_0 + f_1 T_m + f_2 T_m^2 \\ & - F * \{a_0 + a_1 \sqrt{T_f} + a_2 (\sqrt{T_f})^2\} \\ & + G * \{P / (b_0 + b_1 P)\} \quad \dots\dots\dots (60) \end{aligned}$$

のように定める。(60)式中、\$F\$と\$G\$は、どのエネルギー群にどのフィッティング項を作用させるかを制御する因子であり、例えばキセノン効果を第3群のみに寄与させるならば \$G = \delta(g-3)\$、燃料温度効果を第2群のみに寄与させるならば \$F = \delta(g-2)\$ のようにデルタ関数と解釈すればよい。

後に第3.4節のFig. 25でみられるようにキセノン効果は核分裂断面積にも影響を与える。核分裂断面積のフィッティングは、減速材温度効果とキセノン効果を取り入れて次のように表示する。

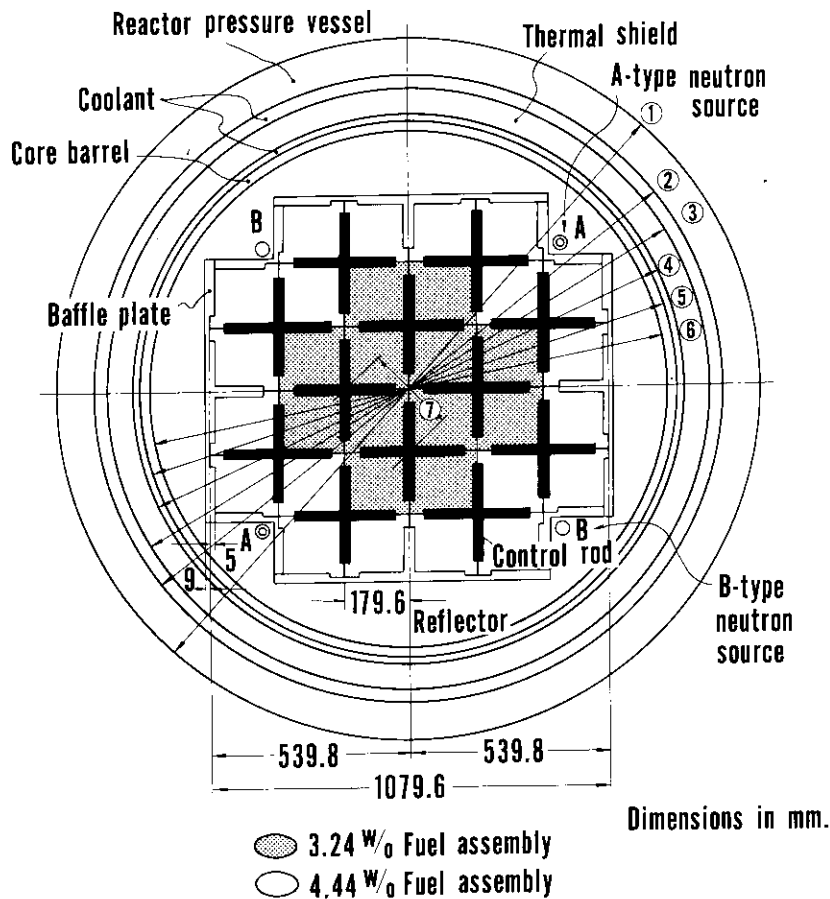
$$\begin{aligned} \nu \Sigma_f = & h_0 + h_1 T_m + h_2 T_m^2 \\ & + G * \{P / (c_0 + c_1 P)\}. \quad \dots\dots\dots (61) \end{aligned}$$

3. 「むつ」炉心に対する計算結果

3.1 「むつ」炉心の概要

原子力第1船「むつ」の炉心は、Fig. 7及びFig. 8に示すように、32体の燃料集合体より構成されており、これらの燃料集合体は同心円状に2領域に分けて配置されている。内領域及び外領域の燃料集合体の数は各々12体及び20体である。32体の燃料集合体はステンレス鋼製の炉心隔板で囲まれている。炉心隔板の周囲には水反射体がある。さらに外側には炉心槽、熱遮蔽板、及び原子炉圧力容器があり、それらの間にも冷却水が流れる。

炉心の構成要素は、燃料棒、可燃性毒物棒、支持格子板、側板、制御棒及び制御棒及び制御棒フォロワー、充填材および減速材(軽水)等である(Fig. 9参照)。



No.	Dia.(mm)	Material
①	1948	Carbon steel (304SS cladding)
②	1752	H ₂ O
③	1650	304SS
④	1500	H ₂ O
⑤	1480	304SS
⑥	1450	Control rod pitch
⑦	254	

Fig. 7 Core Configuration (1) Horizontal Section.

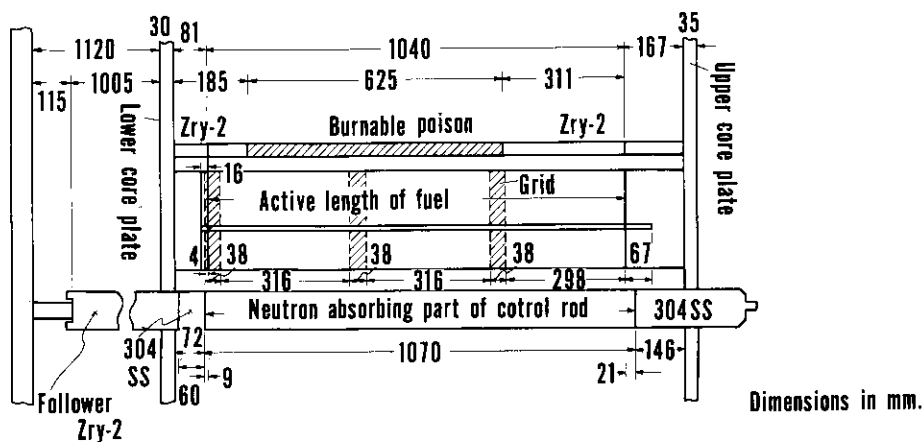


Fig. 8 Core Configuration (2) Vertical Section.

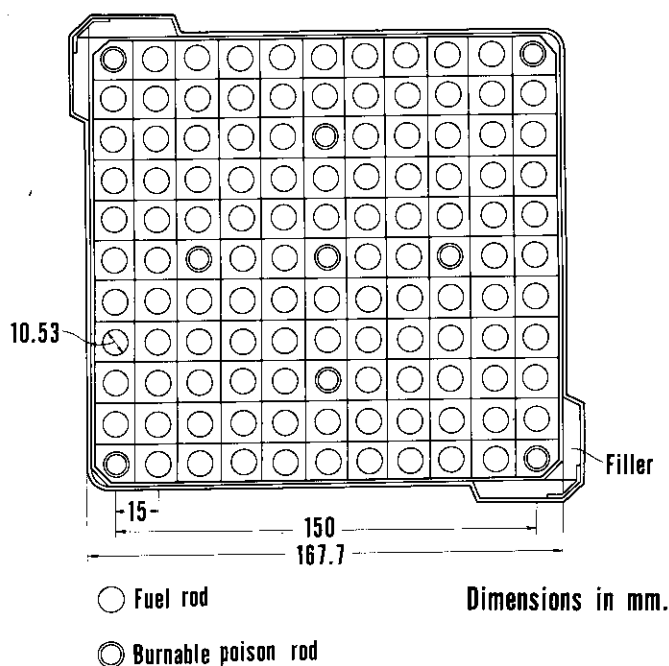


Fig. 9 Core Configuration (3) Fuel Assemblies.

燃料棒は二酸化ウランペレットをステンレス鋼被覆管で被覆したものであり、²³⁵U濃縮度は内領域燃料が3.24%、外領域燃料が4.44%である。可燃性毒物棒はホウケイ酸ガラス管を外部及び内部ともステンレス鋼被覆管で被覆している。ホウケイ酸ガラス管は燃料棒実効長の60%に相当している。支持格子板は燃料棒と可燃性毒物棒を一定ピッチに保持するために燃料集合体の軸方向に4段(燃料実効長内3段)設けている。側板は燃料集合体を囲むステンレス鋼の多孔板である。充填材は燃料集合体の2隅に組み込まれており、制御棒と燃料集合体の間隔を保持し、かつ局所出力ピーキングを抑える。

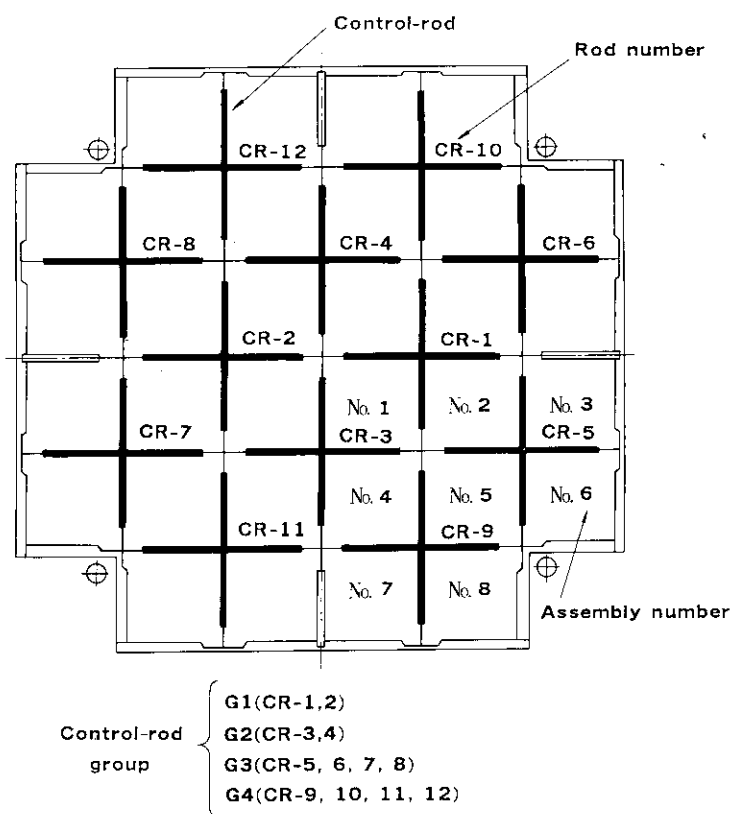
制御棒はステンレス鋼被覆の円柱状吸収体(材質 Ag-In-Cd)を櫛状に並べた十字型制御棒であり、総数は12本である。制御棒はグループ分けしてあり、そのグループ番号は Fig. 10 の通りである。内領域の4本の制御棒は2本1組、合計2組に組分けし、各々制御棒グループ G-1 及び G-2 と呼ぶ。制御棒グループ G-1 及び G-2 の一方は手動制御用とし、他方は自動制御用として使用する。外領域の8本の制御棒は4本1組、合計2組に組分けし、各々制御棒グループ G-3 及び G-4 と呼ぶ。

Table 1 に炉心の設計主要目を示す。なお、本報告書中でいくつかの約束事項があり、以下のとおりである。

- (1) 燃料集合体の位置を Fig. 10 のように 1/4 炉心に対して No.1～No.8 の番号を付して表わす。
- (2) 制御棒の引抜距離は、制御棒実効吸収部下端が燃料棒実効部下端よりも 9 mm 下がった位置を原点として表示している。これは実際の「むつ」原子炉制御盤の表示に等しい。

Table 1 Main Core Parameters of Nuclear Ship MUTSU Reactor

<u>General Data</u>	
Reactor Core Heat Output, MWt	36
Equivalent Core Diameter, cm	114.6
Effective Core Height, cm	104.0
Nominal System Pressure, kgf/cm ²	110
Average Coolant Temperature in Core, °C	274.3
Average Coolant Temperature in Reactor Pressure Vessel, °C	273.5
Fuel Weight (as UO ₂), t	2.77
Fuel Weight (as U), t	2.44
Core Lifetime, EFPH	> 9,000
Core Lifetime, MWD	> 13,500
Burnup, MWD/t	> 5,530
<u>Fuel Assemblies</u>	
Number of Assemblies in Core	32
Number of Rods per Assembly	11 X 11
Number of Fuel Rods per Assembly	112
Assembly Pitch, cm	17.96
Rod Pitch, cm	1.50
Number of Grids per Assembly	4
<u>Fuel Rods</u>	
Number of Fuel Rods in Core	3,584
Outside Diameter, cm	1.053
Clad Thickness, cm	0.04
Diametral Gap, cm	0.013
Clad Material	Type 304 SS-Cold Worked
<u>Fuel Pellets</u>	
Meat Material	UO ₂ Sintered
Density, g/cm ³	10.4
Density (% Fraction to Theoretical Density)	95.0
Diameter, cm	0.96
Length, cm	1.60
<u>Burnable Poison Rods</u>	
Number of Burnable Poison Rods in Core	288
Number of Burnable Poison Rods in Assembly	9
Outside Diameter, cm	1.053
Outer Clad Thickness, cm	0.04
Glass Tube Diameter, cm	0.968
Glass Tube Thickness, cm	0.045 (for 3.24w/o Assembly) 0.030 (for 4.44w/o Assembly)
Inner Clad Thickness, cm	0.025
Effective Burnable Poison Length, cm	62.5
Clad Material	Type 304 SS-Cold Worked
Burnable Poison Material	Borosilicate Glass
<u>Control Rods</u>	
Number of Control Rods in Core	12
Shape	Cruciform
Absorber Material	Ag-In-Cd (80-15-5w/o)
Number of Absorber Rods per Control Rod	61
Clad Material	Type 304 SS-Cold Worked
Absorber Rod Diameter, cm	0.73/0.69
Clad Thickness, cm	0.03/0.05



The G3 and G4 are fully withdrawn at hot critical conditions.

Fig. 10 Geometrical Arrangements of Fuel Assemblies and Control-Rods of the MUTSU Core.

3.2 冷態時中性子束分布

STEADY-SHIPコードによる出力分布計算精度を確認するため、「むつ」炉心陸上臨界試験³⁾で得られた出力分布実測データに対して検証計算を行なった。ここで陸上臨界試験とは、昭和46年に三菱原子力工業(株)大宮研究所の臨界実験装置(MCF)に「むつ」実プラント搭載用の実燃料及び実制御棒を装荷して行なった臨界実験のことである。ここで計算との比較のために選んだ実測データは、Run No.452~454³⁾に対するものであり、その実験条件をTable 2に示す。減速材が常温にもかかわらず実プラント出力運転状態の制御棒引抜きパターンを模擬するために生じる過剰の反応度を水減速材中にホウ酸を混合することで補償している。出力分布はガンマスキヤニング法で測定された。

Table 2 Experimental Conditions for MUTSU Land-Loaded Core Critical Experiments (Run No.452~454)

Control-rod withdrawal	
G1 : 462.5 mm	G2 : 460.0 mm
G3 : Full Out	G4 : Full Out
Boron concentration : 544.0 ppm	
Moderator temperature : 11.0~12.0°C	

STEADY-SHIP コードの入力として使用する3群定数は、ASSEMBLY-SHIP コード¹²⁾より求めた。また、十字型制御棒の効果を1次元輸送コードANISN¹³⁾により求めた対数微分条件で取り扱った。STEADY-SHIP コードで計算された実効増倍率は $K_{eff}=1.00111$ であり、実測値 ($K_{eff}=1.00$) との誤差は $0.12\% \Delta\rho$ 未満であった。出力分布の実測値と計算値との比較を Fig. 11~ Fig. 15 に示す。いずれにおいても両者の一致は良好であるが、Fig. 14 に示される第1番燃料集合体内の軸方向分布の計算値と実測値との間には若干の差異が見られる。第1番燃料集合体では、2本の部分挿入制御棒に挟まれており、集合体内部で中性子漏洩が大きく変動する。しかるに、STEADY-SHIP コードによる計算では、(3)式で定義した中性子漏洩断面積を第1番燃料集合体内で水平方向には一定と仮定した。このことから、出力分布を測定した燃料棒(集合体のほぼ中央に位置する)位置で、制御棒に起因する中性子漏洩を過大評価していると考えられる。今後、より精度の高い解を必要とする場合は、炉内のブロック分割を細かくするなどの改善が必要となる。第1番燃料集合体からはなれた、他の燃料集合体では、計算値と実測値の一致は良好である。

次に、計算コード相互の比較として、STEADY-SHIP コードの計算結果と3次元拡散方程式を7点階差法で解く CITATION コード⁴⁾の計算結果との比較を行なった。Fig. 16 に示す例では、「むつ」冷態零出力状態について、第5番燃料集合体の軸方向中性子束分布を、同一の核定数を用いて計算し比較している。両コードとも、燃料集合体1体の水平断面を 4×4 のメッシュに分割した。この時のメッシュ幅は約 4.5 cm と大きい。これ以上の詳細なメッシュ分割を CITATION で行なうことは計算機 (FACOM 230-75) の制約上困難であった。そこで比較計算はこの粗いメッシュについて行なった。CITATION ではメッシュ点毎に中性子束が算出されるが、STEADY-SHIP では燃料集合体平均の中性子束が算出される。Fig. 16 で、実線で示したのが STEADY-SHIP による3群中性子束分布である。CITATION の結果のうち、(1,1)(2,2)(3,3)(4,4)メッシュ位置での軸方向中性子束分布をエネルギー群ごとにプロットしている。この図より、第5番燃料集合体の中で中性子束が大きく変化していることがわかる。しかし、CITATION の結果を第5番燃料集合体について平均した値は STEADY-SHIP の結果と図上で区別が困難なほど重なっている。

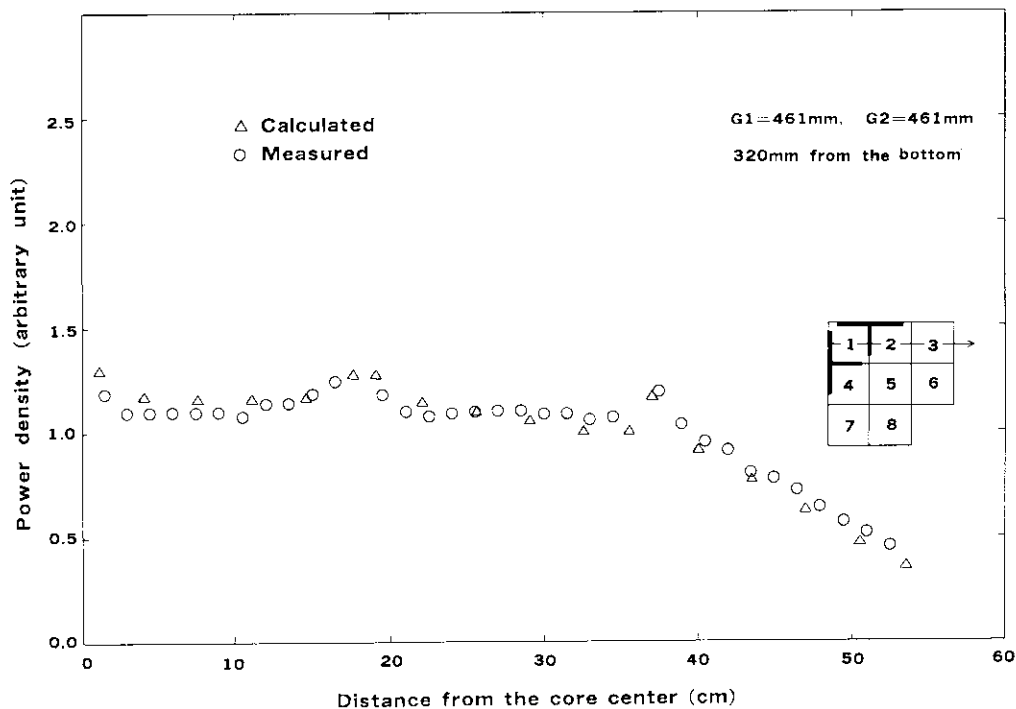


Fig. 11 Comparison of Horizontal Power Distribution for MUTSU Land-Loaded Experiment Between Calculated and Measured Values at 320mm from the Core Bottom.

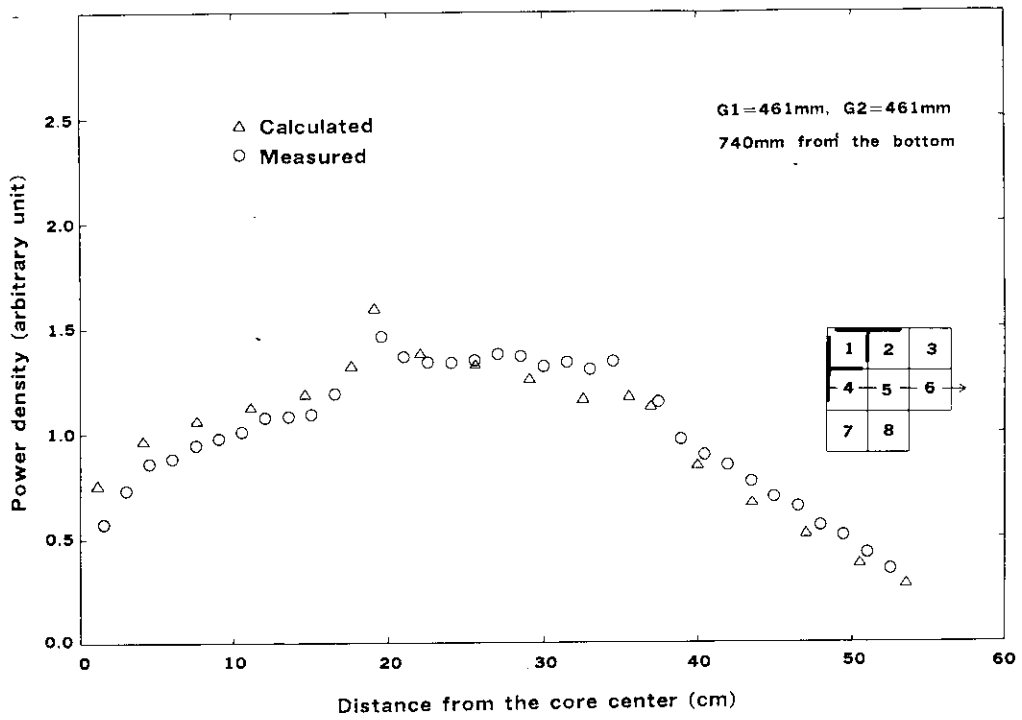


Fig. 12 Comparison of Horizontal Power Distribution for MUTSU Land-Loaded Experiment Between Calculated and Measured Values at 740mm from the Core Bottom.

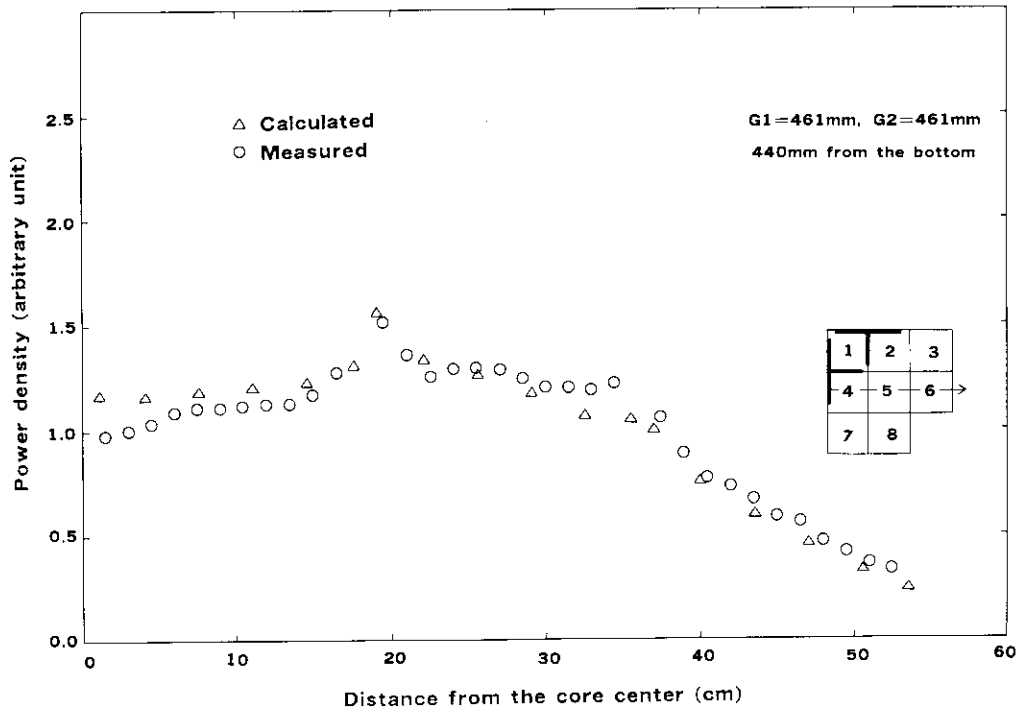


Fig. 13 Comparison of Horizontal Power Distribution for MUTSU Land-Loaded Experiment Between Calculated and Measured Values at 440mm from the Core Bottom.

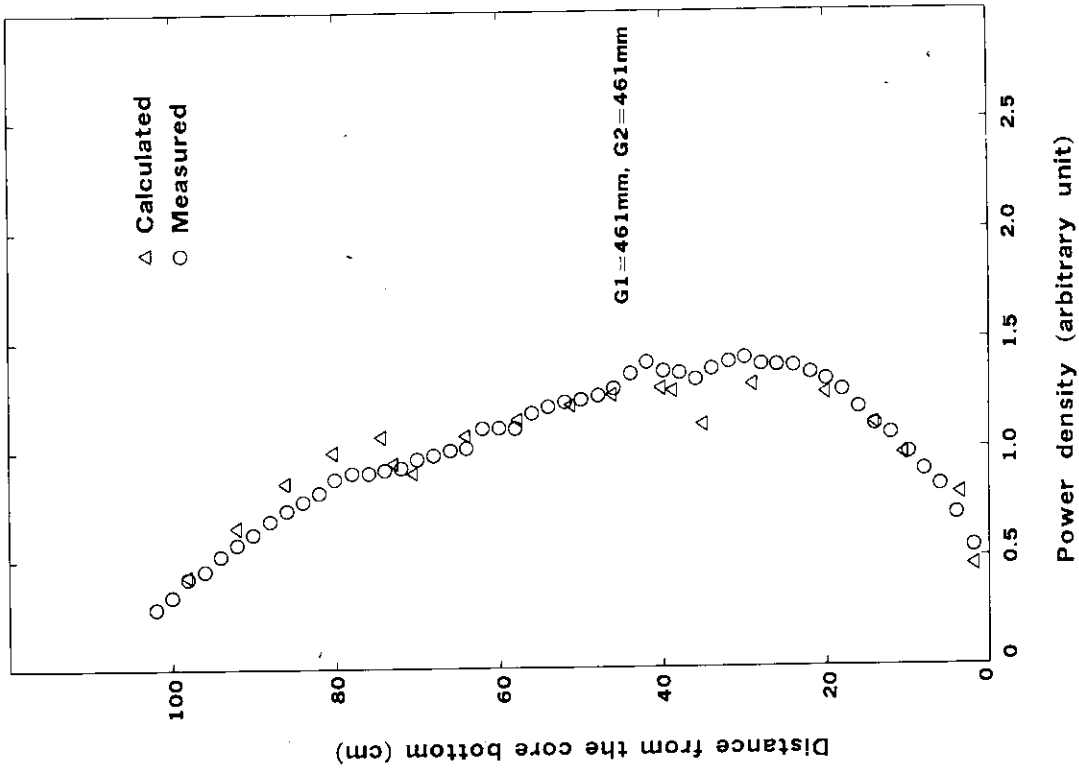


Fig. 15 Comparison of Axial Power Distribution for MUTSU Land-Loaded Experiment Between Calculated and Measured Values (2) No.5 Assembly.

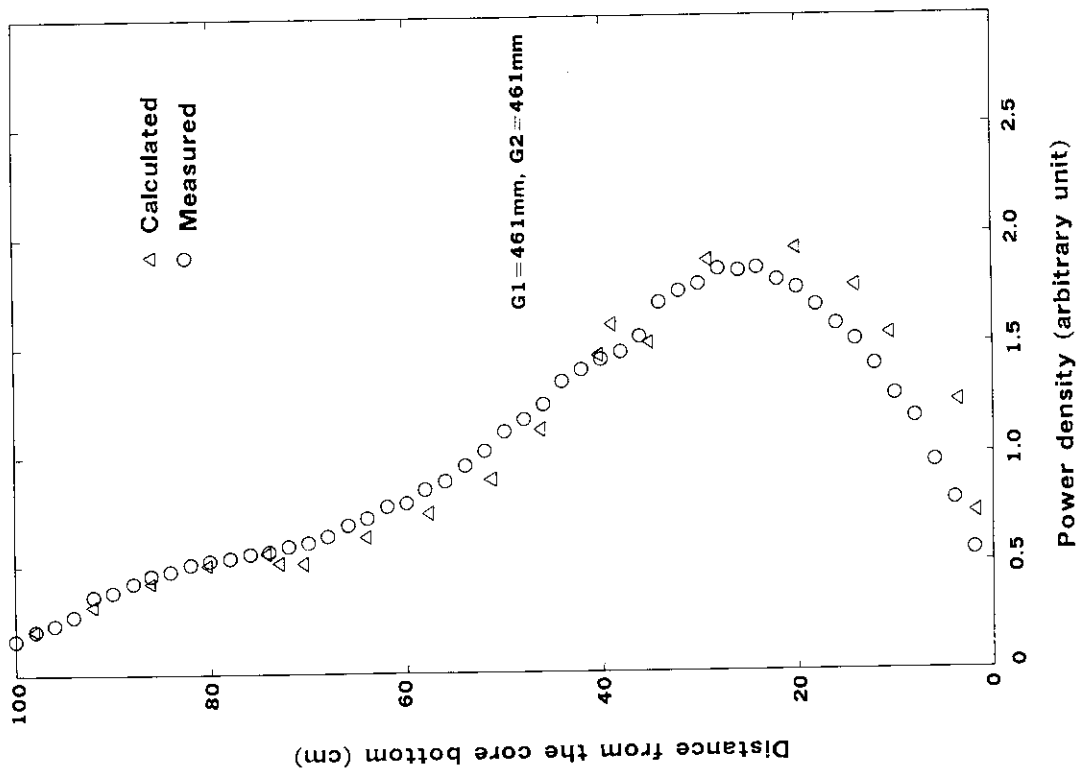


Fig. 14 Comparison of Axial Power Distribution for MUTSU Land-Loaded Experiment Between Calculated and Measured Values (1) No.1 Assembly.

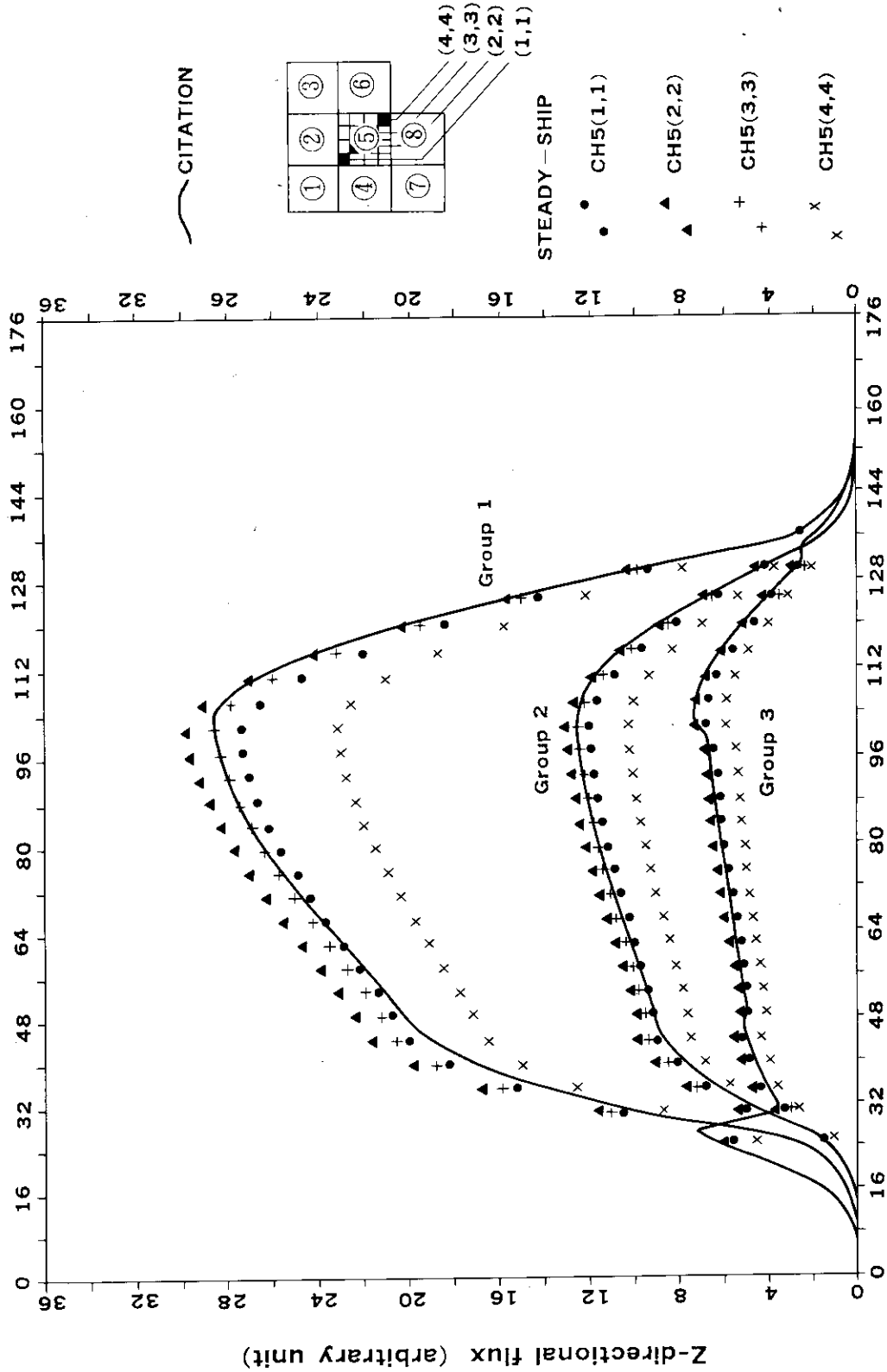


Fig. 16 Comparison of Calculated Z-Directional Fluxes Between STEADY-SHIP and CITATION.

3.3 温態零出力時の制御棒等反応度曲線

3.3.1 制御棒対数微分条件の決定

2.2.2で示したように、STEADY-SHIPコードでは燃料集合体を非均質に取り扱えることにより、十字型制御棒の効果を対数微分条件として直接的に適用できる。制御棒対数微分条件を求めるために、1次元輸送コードANISN¹³⁾、核データライブラリENDF/B-4¹⁴⁾を用いた。ANISNで計算される中性子束及び中性子流各々をエネルギー3群に縮約して、両者の比から制御棒対数微分条件を定めた。

「むつ」の十字型制御棒は、被覆管に封入された吸収棒61本が櫛状に配列されているので、ANISNによる1次元計算が実行できるように、これをFig. 17に示すような板状4領域モデルで近似した。ここでは、吸収棒の体積が保存されるように板状吸収部の厚みを決定した。通常運転時に炉内に挿入される制御棒はG1及びG2グループのみであることから、制御棒に隣接する燃料領域の濃縮度は、3.24 w/oとした。このモデルを用いて、温態零出力試験時及び陸上臨界試験時の制御棒対数微分条件を求めた。STEADY-SHIP計算での領域分割と一致するように、対数微分条件をFig. 17のⒶの位置で定めた。Table 3に制御棒対数微分条件の逆数値 $\gamma(\phi_B/J_B)$ を示す。モデルの不確かさによる効果を調べるために、板状モデルにおける領域数、燃料領域の濃縮度、及びポロン濃度の違いによる種々の制御棒対数微分値を計算した。領域数については、標準ケースの4領域モデルと、「制御棒被覆管及び水領域」と「燃料集合体構造材領域」とを均質化した3領域モデルとの比較を行なった。これらの効果は、Table 3に見られるように、極めて小さいことがわかる。

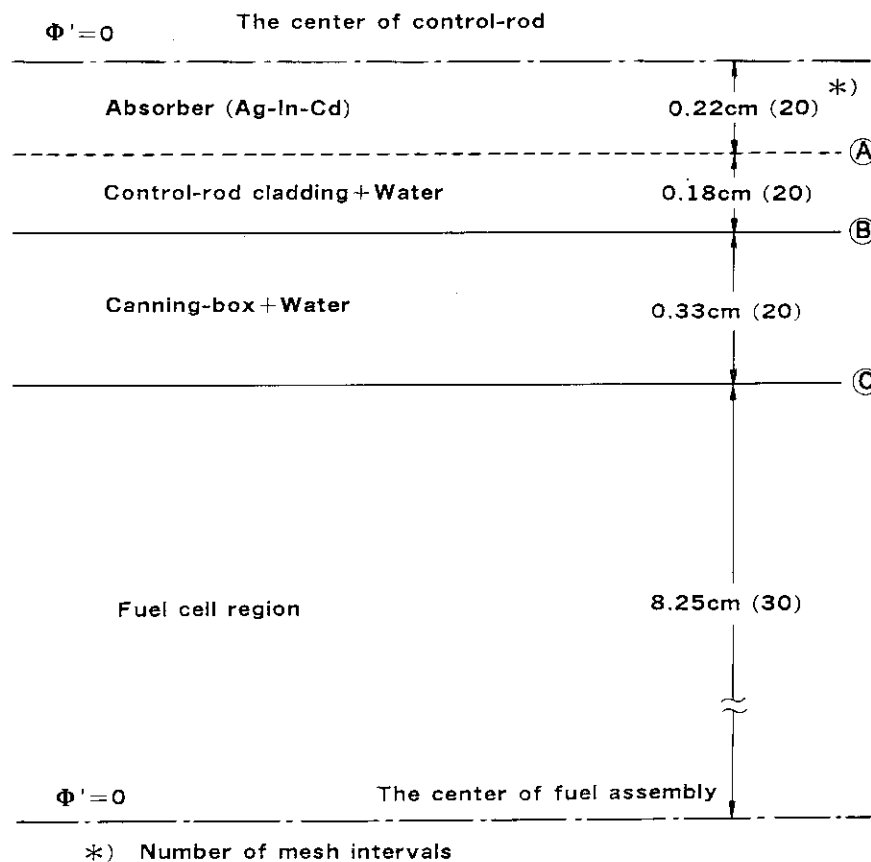


Fig. 17 One-Dimensional Slab Model for S_N Transport Calculation (The log-derivative values for the STEADY-SHIP calculations are estimated at the position A.).

Table 3 Calculated Results of Control-Rod Boundary Conditions

Model			Boundary conditions: $\gamma (\phi_B/J_B)$		
Number of regions	Fuel region	Boron conc. (ppm)	Energy group		
			1	2	3
Hot-zero-power experiment					
4	3.24w/o	—	88.386	15.713	3.139 ^{*)}
3	3.24w/o	—	88.588	15.167	3.280
Land-loaded critical experiment					
4	3.24w/o	544	74.899	16.115	3.442 ^{*)}
4	3.24w/o	464	74.861	16.124	3.445
4	3.24w/o	371	74.807	16.131	3.447
4	4.44w/o	544	74.925	15.846	3.383
3	3.24w/o	544	71.988	16.056	3.454

*) Standard values used in the STEADY-SHIP calculations

次に対数微分値の変動が炉心の実効増倍率に及ぼす効果について検討した。温態零出力時の $G1=G2=368$ mm 引抜き状態について、Table 3 に示す標準ケースの対数微分値を使った基準計算では、実効増倍率が $K_{eff}=0.99914$ であった。これに対し、第2、第3群の対数微分値をそれぞれ独立に $\pm 10\%$ 変化させて実効増倍率の変化を調べた。結果は、

第2群の対数微分値 $+10\%$; $K_{eff}=0.99977$

第2群の対数微分値 -10% ; $K_{eff}=0.99840$

第3群の対数微分値 $+10\%$; $K_{eff}=0.99991$

第3群の対数微分値 -10% ; $K_{eff}=0.99835$

のとおりであり、対数微分値が $\pm 10\%$ 程度に変化しても、実効増倍率は大きく変動しないことがわかる。Table 3 に示されるように、モデル化の違いによる対数微分値の変動は $\pm 10\%$ にはるかに及ばない。したがって、対数微分値の計算過程で生じる不確かさが炉心計算に及ぼす効果は無視し得ると考えられる。

3.3.2 制御棒等反応度曲線の実測値との比較

Fig. 18 には、G1 及び G2 制御棒の等反応度曲線を示す。設計値と測定値の曲線とともに、種々の制御棒パターンに対し STEADY-SHIP で求めた曲線を示す。

実効増倍率の計算値には誤差が含まれる。ここでは、 $(G1, G2)=(606, 4)$ の制御棒パターンを臨界と定め、この時の STEADY-SHIP 計算値 $K_{eff}=0.99738$ より、 -262 pcm のバイアスを他の制御棒パターンに適用して規格化した。

Fig. 18 の測定値をみると、G1 が全挿入位置から 150 mm 程度まで引き抜かれる間、G2 はほとんど動いていない。即ち、曲線右下部分が急激に立ち上がる傾向がある。設計値では、G1 の引き抜きに伴い、それを補償するように G2 が挿入される傾向を示しており、測定値とは明らかに異なる。特にバンク状態 ($G1=G2$) で顕著である。一方、STEADY-SHIP による 3次元計算値では、バンク状態に至るまでの等反応度曲線の形状は実測値とよく相似している。この理由は、3次元計算により中性子漏れを正確に取り扱ったこと、制御棒効果に対数微分条件を採用したことなどによると考えられる。

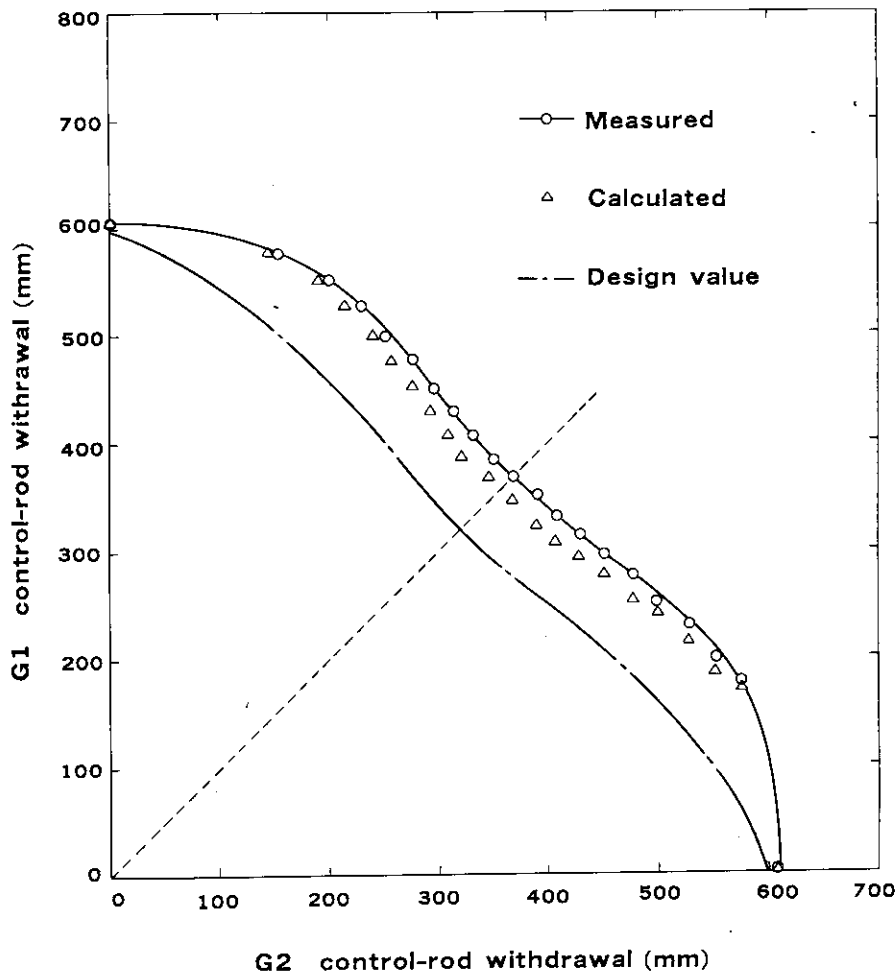


Fig. 18 Iso-Reactivity Curves as a Function of G1 and G2 Control-Rods Withdrawal.

3.4 出力運転時特性計算

3.4.1 フィッティング係数の決定

第2.4節で示したように、STEADY-SHIPコードでは、燃料・可燃性毒物棒均質領域 (Fig. 4の領域No.1及びNo.2)の核定数を種々のフィードバック効果のフィッティング式で表わすことができる。以下、出力運転時の実効核定数(マクロ断面積)で考慮した諸効果のフィッティング法を示す。3.24%、4.44%燃料セルについて、支持格子板を含む場合、含まない場合の各々についてフィッティングが行なわれた。フィッティング式を定めるため、ここでは、燃料棒セル格子に対してLEOPARD¹⁵⁾、また、可燃性毒物棒セル格子に対してはFORM¹⁶⁾及びTHERMOS¹⁷⁾を用いて核定数を計算した。

a. 減速材の温度効果及び密度効果

減速材温度のみによる、核定数への効果を得るために、単位燃料セルについて燃料実効温度を基準燃料温度(T_r^{STD} : 691.7°C)に固定し、減速材温度(T_m)を3点変化させ、各ケースについて格子平均マクロ断面積を求めた。次に、可燃性毒物棒セルの平均マクロ断面積との平均を行い、得られた燃料集合体平均のマクロ断面積を($T_m - T_m^{STD}$)(T_m^{STD} : 基準減速材温度)についての2次式にフィッティングし、その係数を求めた。拡散係数と除去断面積については、減速材(軽水)の分子個数密度の関数として上記と同様にして求めた。

b. 燃料温度効果

基準燃料温度 (T_f^{STD}) における燃料均質化領域平均断面積を基準とし、3点の燃料温度 (T_f) に対して計算される平均断面積との差を ($\sqrt{T_f} - \sqrt{T_f^{STD}}$) に関する2次式にフィッティングし、係数を求めた。

c. キセノン効果

キセノン効果については、単位燃料セル燃焼計算を行なって得られるセル平均断面積より、燃料均質化領域で平均したマクロ断面積を計算した。定格出力の50%、75%、100%、125%、150%の5ケースについて、キセノン飽和とみなされるまでセル燃焼計算を進め、各出力レベルにおけるセル平均断面積を得た後、同一出力レベルでキセノンの原子個数密度を零として再びセル平均断面積を計算した。この両者について各々燃料集合体平均をとり、その差を出力Pについて $P/(b_0 + b_1 P)$ の形にフィッティングし、係数 b_0 及び b_1 を定めた。

Fig. 19に、単位セルに対する燃料実効温度の計算結果を示す。Fig. 20～Fig. 25は燃料棒セル計算で得られた各種断面積を減速材温度、水分子密度、燃料温度、及び熱出力等の関数としてプロットしたものであり、いずれも「むつ」3.24%濃縮燃料棒で支持格子板を含まない格子セルに関するものである。

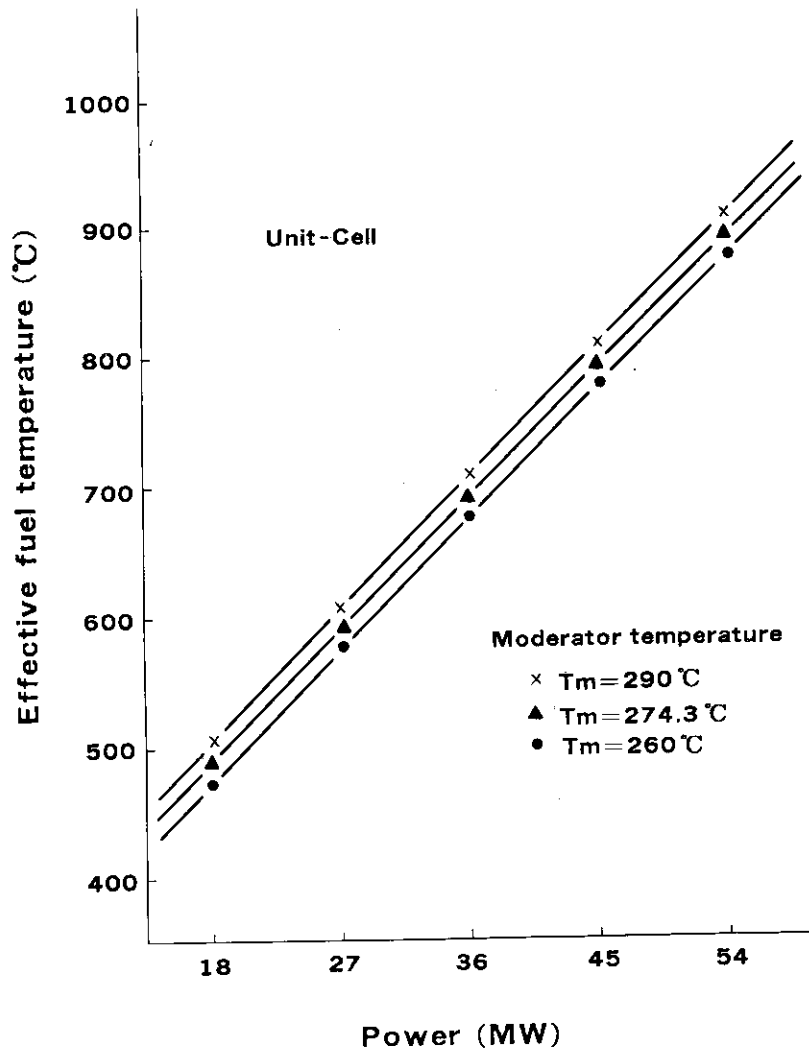


Fig. 19 Effective Fuel Temperature as a Function of Reactor Power.

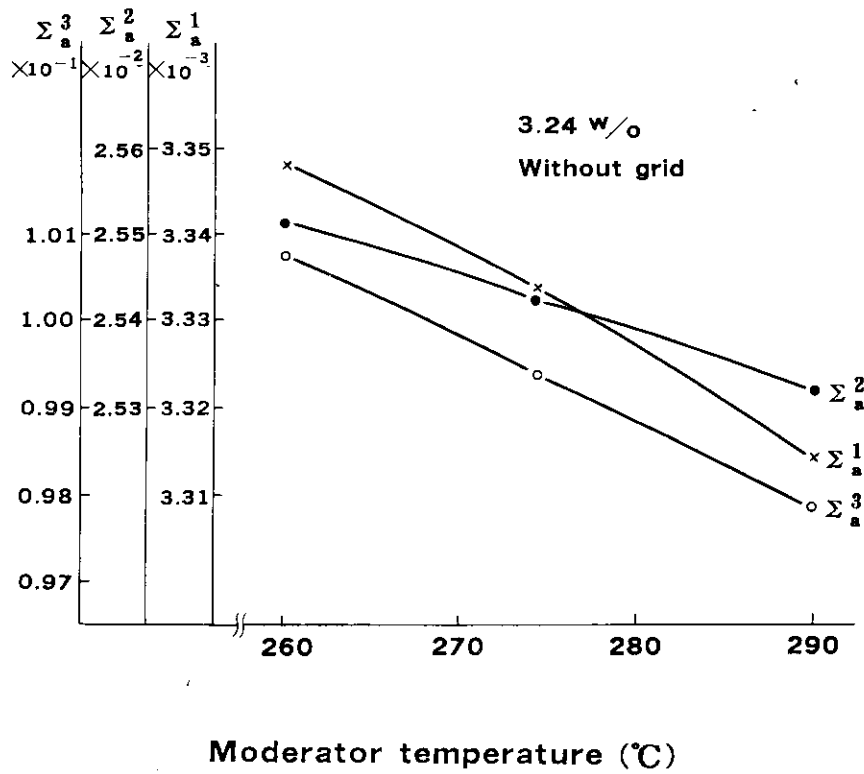


Fig. 20 Absorption Cross Section vs. Moderator Temperature.

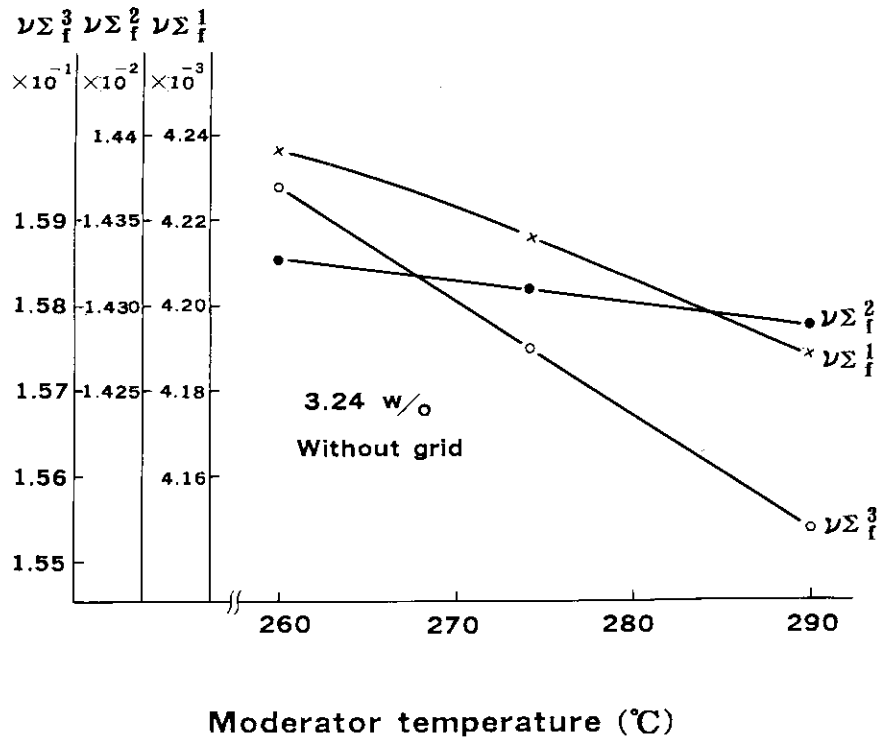


Fig. 21 Fission Cross Section vs. Moderator Temperature.

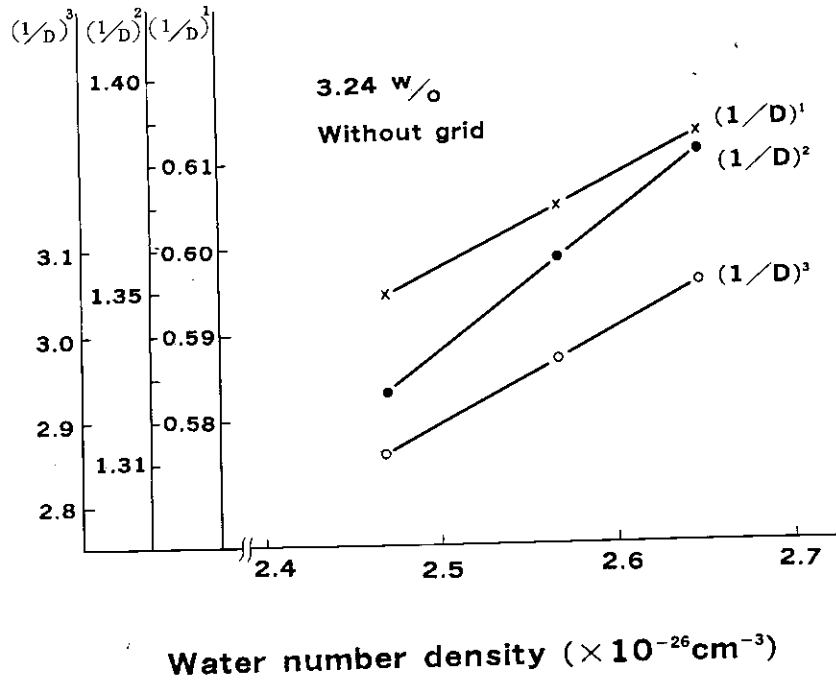


Fig. 22 Diffusion Constants vs. Water Number Density.

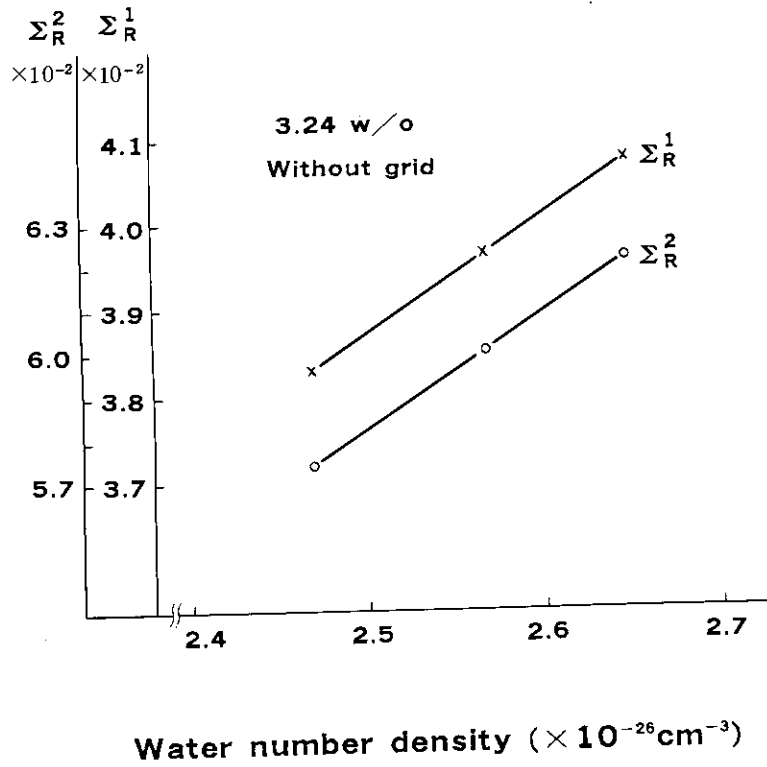


Fig. 23 Removal Cross Section vs. Water Number Density.

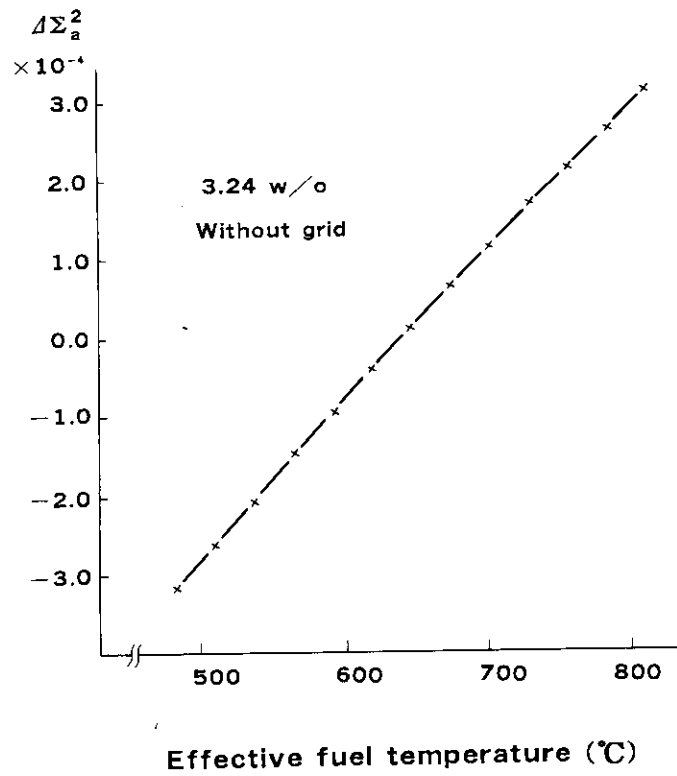


Fig. 24 Doppler Effect.

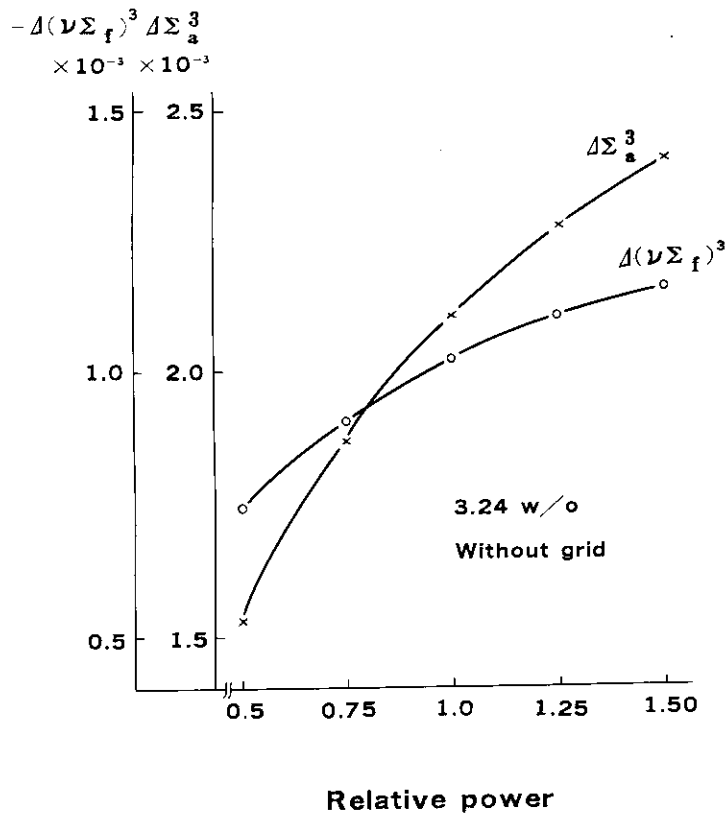


Fig. 25 Xenon Effect.

3.4.2 核熱水力特性の表示

「むつ」寿命初期、100%出力・キセノン飽和状態にある炉心内の出力分布、温度分布及び出力ピーキングに関する計算結果の例を以下に示す。Fig. 26は燃料集合体ごとに出口温度、発熱割合及び軸方向ピーキング係数とその発生する軸方向ノードの情報を示している。又、炉心3次元のグロスピーキング係数が与えられ、それが炉内のどこで発生するかが示される。Fig. 27及びFig. 28は、第1番及び第5番燃料集合体の軸方向出力分布並びに温度分布をプロットしたものである。軸方向高さは、冷却材案内管下端を原点にとっているため、炉心部下端はこのグラフでは1.311 mの位置である。

Fig. 29は、第1番燃料集合体の軸方向出力分布に基づいて、軸方向の熱流束分布、DNB熱流束及びDNBRの分布を示したものである。PWRのDNBR解析では、通常、軸方向熱流束分布をchopped cosine分布に近似して行なわれるが、ここでは軸方向の非均質性を考慮した現実的な分布に基づいている。軸方向熱流速分布をchopped cosine分布に近似した場合、一般に最小DNBRは炉心のほぼ中央高さに発生する。一方、「むつ」の軸方向出力分布は制御棒挿入により下部でふくらんだ形状をしていることから、最小DNBRは炉心下端より28.9 cmの位置に発生している。DNB熱流束分布は一般的傾向として冷却材上流から下流に向かって徐々に低くなっていくが、いくつか特異なこぶ及びくぼみがみられる。炉心下端から35.0 cm、72.9 cmの位置に各々幅3.8 cmの支持格子板があり、ここでの中性子束低下によりDNB熱流束はこぶのように増加する。50 cm近傍のくぼみは、軸方向出力分布の変曲に対応している。

Power : 100%

Control rod pattern : G1521mm out
G2521mm out
G3,G4.....Full out

1.119 2.063(5) 284.24	1.177 1.659(5) 285.35	0.881 1.376(6) 281.08
1.177 1.659(5) 285.35	1.307 1.401(5) 287.47	0.729 1.320(6) 278.77
0.881 1.376(6) 281.08	0.729 1.320(6) 278.77	

SS Channel heat rate to core average
SPEAK(K) Axial peaking and its region number
TEMP Channel outlet temperature (°C)

Gross peaking : 2.309 (1st channel, 5th region)

Outlet temperature : 281.48 °C

Inlet temperature : 267.34 °C

Fig. 26 Calculated Results of Core Characteristics of the MUTSU.

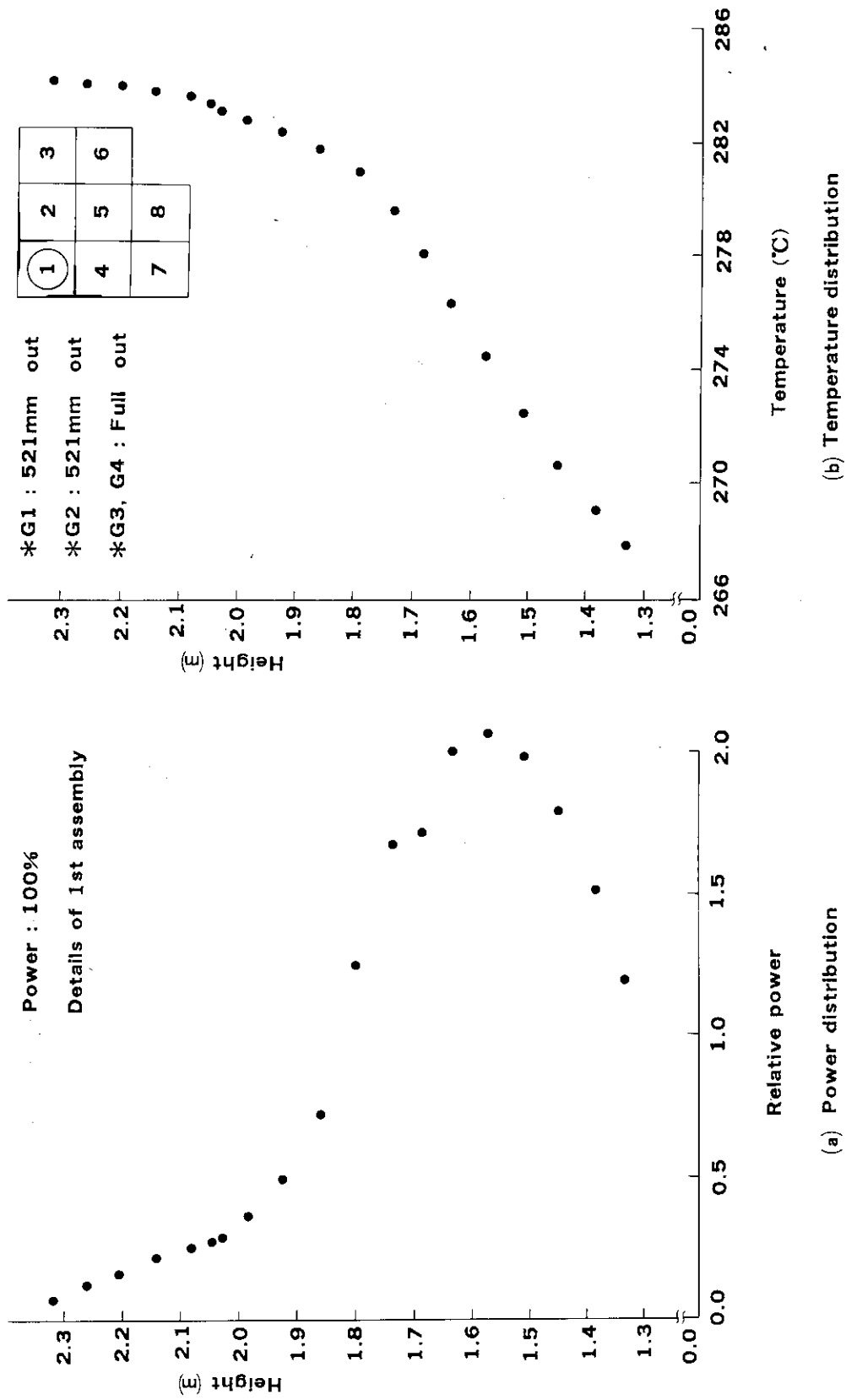


Fig. 27 Axial Power and Temperature Distributions for No.1 Assembly.

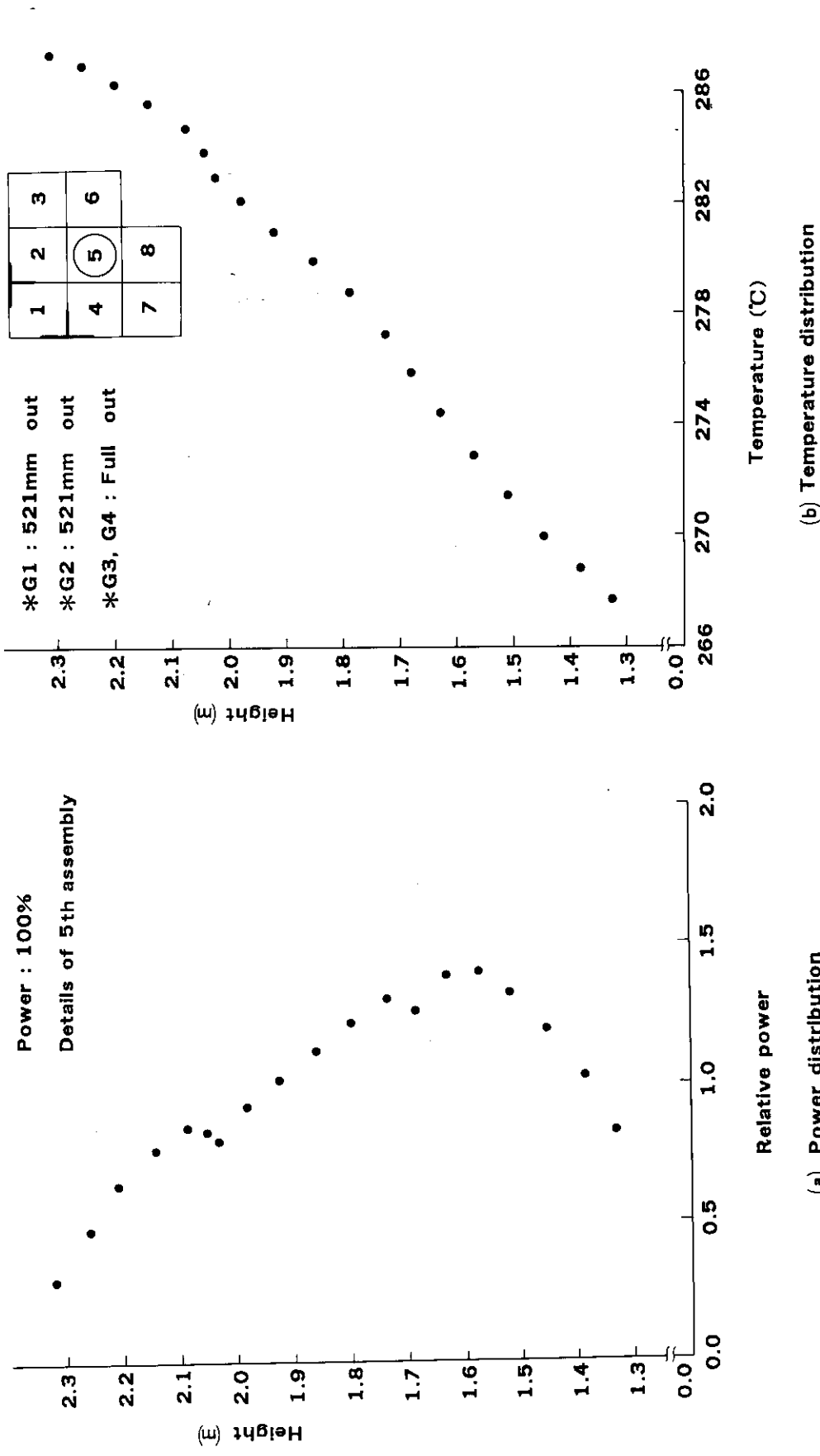


Fig. 28 Axial Power and Temperature Distributions for No.5 Assembly.

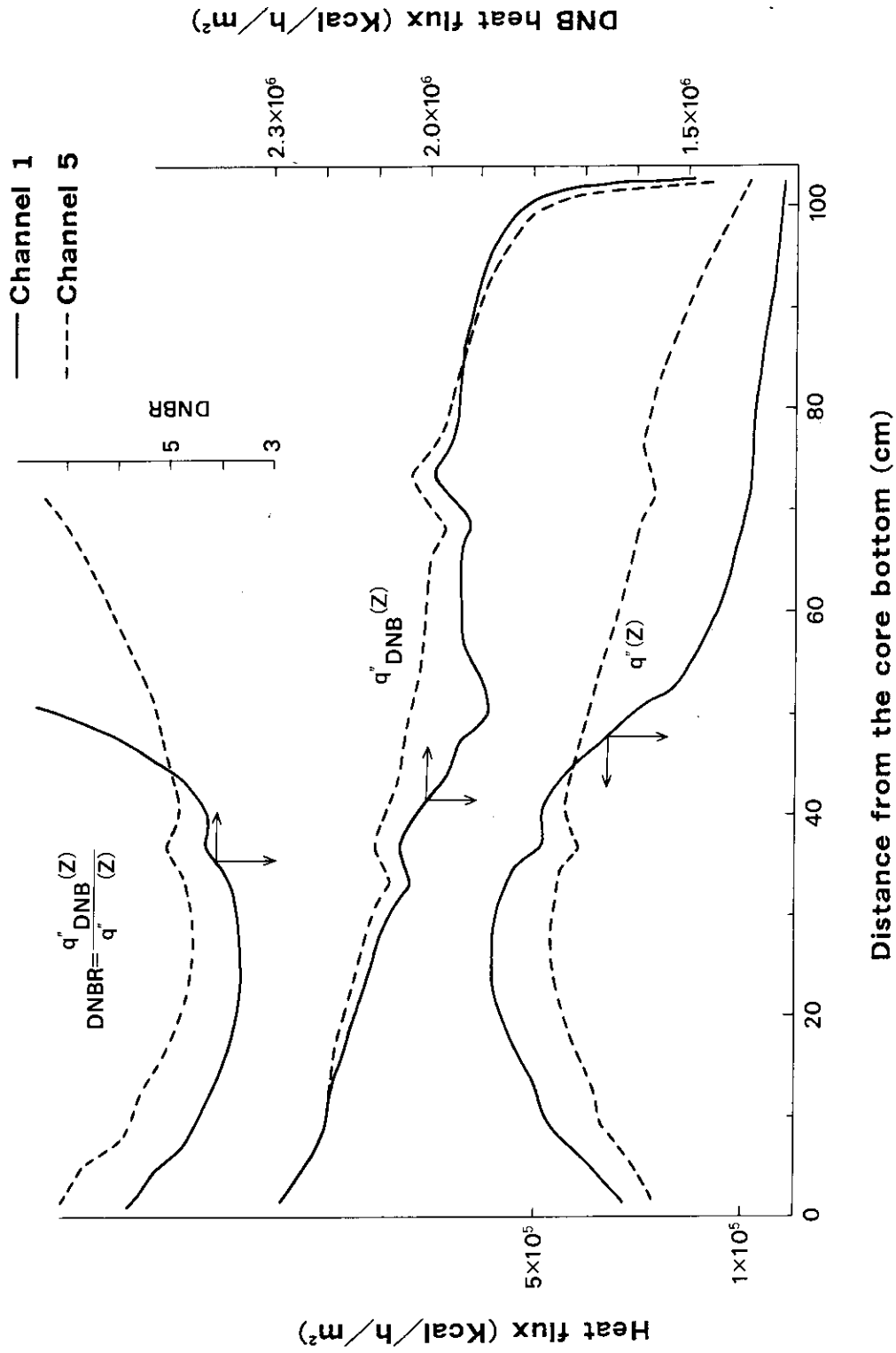


Fig. 29 DNB Calculated Results for No.1 Assembly.

3.4.3 LOCAL-FINEによる集合体内詳細出力分布

LOCAL-FINEにより集合体内の詳細出力分布を計算する際に、STEADY-SHIP全炉心計算の場合と同一の集合体内核定数を用い、かつ、ブロック境界条件がSTEADY-SHIP計算から正しく与えられるならば、LOCAL-FINEによる計算結果はSTEADY-SHIPによる計算結果と一致するはずである。このことを確認するため、STEADY-SHIPとLOCAL-FINEとで集合体内の「燃料・可燃性毒物棒領域」に対して同一の均質核定数を与えたテスト計算を行なった。「むつ」の100%出力、制御棒引き抜き位置(G1, G2)=(521 mm, 521 mm)、キセノン飽和状態に対し、STEADY-SHIPによる全炉心計算でグロス・ピーキングの発生するブロックについて、LOCAL-FINEによる局所出力分布計算を行なった。この時、ブロック境界に設定する境界条件を種々変えた時に得られる実効増倍率の値を調べた。結果をTable 4に示す。ブロックの六面全てに反射境界条件を設定すると、実効増倍率($K_{\text{eff}}=1.1040$)はSTEADY-SHIPによる基準値($K_{\text{eff}}=1.0010$)よりもかなり高い値を示す。しかし現実に近い境界条件を与えていくと、LOCAL-FINEによる実効増倍率はSTEADY-SHIP全炉心計算で得られた値に徐々に近づいていくことがわかる。

Table 4 Effect of Boundary Conditions on the Multiplication Factor K_{eff} Calculated by LOCAL-FINE

Boundary conditions	K_{eff}
$\phi' = 0$ for all faces	1.1040
Calculated conditions for top and bottom faces, and $\phi' = 0$ for other four faces	1.0419
Calculated conditions for all faces	1.0024
Reference: STEADY-SHIP whole-core calculation	1.0010

LOCAL-FINEの実際の運用においては、集合体内で燃料棒セルと可燃性毒物棒セルとを非均質に区別して取り扱う。この場合、集合体内の燃料棒セル、可燃性毒物棒セル、構造物領域等に対する領域の割り付けはFig. 30に例を示すとおりである。上述のテスト計算と同一の「むつ」炉心状態に対して、燃料棒セル及び可燃性毒物棒セルを非均質に扱ってLOCAL-FINEによる集合体内詳細出力分布計算を行なった。その結果をFig. 31に示す。これは燃料棒毎に熱出力割合を示したものであり、集合体内平均値が1.0になるように規格化してある。図中、STEADY-SHIPで求めた境界条件を用いて算出された局所ピーキング係数は1.144である。これに対し、上下の面を除いた外周4面に反射境界条件を設定した場合の局所ピーキング係数は、これより低い1.102を示している。両者の差は出力制限値に直接影響する可能性があり、設計上無視することができない。

以上のように、少ない燃料集合体で構成される船用炉心の局所出力ピーキング係数の算出には本研究の計算方法を用いたLOCAL-FINEの方法が有効であることが確認できた。この方法を可能にしたのは、本方法が軸方向計算及び層計算を詳細メッシュ差分法で行なっており、ブロック境界での境界条件が高精度で高まることによる。

3.5 STEADY-SHIPによる必要計算機容量と計算時間

「むつ」温態零出力時にG1及びG2制御棒が共に368mm引き抜かれた状態を対象とした3次元計算をSTEADY-SHIPコードのほかにCITATIONコードでも試みた。両コードで同一メッシュ構造(33×33×50)を用いた。使用計算機は、FACOM M-380である。零出力計算のため、STEADY-SHIPでは熱水力計算を結合せず、核計算のみを実行した。計算手法の違いにより、STEADY-SHIPとCITATIONとでは計算収束の判定方法が異なる。CITATIONでは、実効増倍率及び中性子束の変化が、各々、 $\Delta K_{\text{eff}}/K_{\text{eff}} < 10^{-5}$ 及び $\Delta\phi/\phi < 10^{-4}$ を用いている。これに対し、STEADY-SHIPでは、第2.2節の(8)式で定義される軸方向及び水平方向の積分中性子束の偏差が 10^{-3} 未満となった時に計算を終了する。この例では、STEADY-SHIPによる中性子漏洩反復に47回を要し、47回と46回とで実効増倍率の変化は 1.5×10^{-5} 未満であった。Table 5に示すように、CITATIONコードでは、ファイル・アクセス回数が非常に大きいことがわかる。この例では、制限値50,000回により、計算が打ち切られている。この時、実効増倍率の変化は 10^{-5} 未満であるが、中性子束の変化は $\Delta\phi/\phi < 10^{-4}$ の判定条件を満足していない。また、CITATIONの計算に要した計算機容量は、STEADY-SHIPコードの約2倍である。これらから、CITATIONコードによる3次元計算を限られた期間に多数回実行するのは困難であることがわかる。

Table 5 Comparison of Computer Memory and Execution Time Between CITATION and STEADY-SHIP

Case	K_{eff}	Computer Memory (K-byte)	Execution Time (s)	Number of File Accesses
Hot-Zero-Power Condition				
CITATION	1.002308	3,996	596	50,000
STEADY-SHIP	0.999144	1,964	664	15
Hot-Full-Power Condition				
STEADY-SHIP	1.000997	1,920	462	24

計算時間について比較すると、このケースでは、CITATIONのほうが処理時間がやや短い。STEADY-SHIPによる計算時間は、2次元計算を行なうLayerの数に主として依存する。STEADY-SHIPによる計算時間が長いのは、このケースでは、炉心を軸方向に20個、即ち、約5cmと細かい間隔でLayerに分割しているためと考えられる。今後、Layer分割数を最適化することによって、STEADY-SHIPによる計算時間を削減できると考えられる。

一方、3.4.2節に示した、STEADY-SHIPによる「むつ」出力運転時の核熱水力結合計算では、上記とほぼ同等のメッシュ構造(31×31×50)及びLayer分割(19 Layers)を用いている。Table 5に示すように、この時に要した計算機容量は「むつ」温態零出力時の場合とほぼ同等であるが、計算時間はむしろ少ないという結果が得られている。この原因として、

- i 零出力計算では中性子源分布の初期値を一様分布としているのに対し、核熱水力結合計算では制御棒部分挿入を想定した非一様中性子源分布をあらかじめ初期値として仮定しているため、内部反復の収束が速い。
- ii 核計算の収束を待って熱水力計算のステップを更新するのではなく、核計算の反復過程で熱水力フィードバック量を変化させる手法を採用している。したがって、核熱水力結合計算の収束に要する反復回数は、核計算のみの場合とほぼ同等である。

などが考えられる。CITATIONでは核熱水力結合計算が不可能であることから、出力運転時を想定した計算では、計算時間の点でもSTEADY-SHIPコードが有利と考えられる。

4. 結 言

我が国の原子力第1船「むつ」の炉心を対象とした核熱水力計算コード STEADY-SHIP を開発した。「むつ」炉心陸上臨界試験、「むつ」実プラントによる温態零出力試験等の実験結果の解析を行ない満足すべき結果を得た。温態零出力試験で測定された等反応度曲線は、1次元及び2次元コードに元づく設計計算値と系統的な差異を示していたが、本コードによる3次元計算は測定値を良く再現した。また、従来の詳細メッシュ有限差分法による3次元拡散コード CITATION による計算結果との比較により、本コードに用いられている計算手法の妥当性と有効性を示すことができた。「むつ」原子炉特有の3次元炉心特性を解析する目的には、従来の詳細メッシュ有限差分法では必要な計算機容量などが大きくなり、3次元計算は困難であった。本研究で STEADY-SHIP を開発したことにより初めて高精度かつ効率的な解析が可能となった。

燃料集合体の数が少ない船用炉心で燃料集合体内の出力分布計算には全炉心の計算結果が大きく影響する。この効果を考慮して開発された LOCAL-FINE ルーチンは、燃料集合体内の詳細出力分布の計算に有効であることが確認された。

謝 辞

STEADY-SHIP コードの原型は、昭和52年当時、当時の日本原子力船開発事業団が主体となって開発された。本研究の機会を与えて戴いた旧事業団（昭和60年、日本原子力研究所と統合）の関係者各位、とりわけ、52年当時の技術部長小山内正夫氏に対し御礼申し上げます。また、本研究の一部は著者の一人（板垣）が旧事業団から当時の日本原子力研究所動力試験炉部開発室へ外来研究員として滞在中に行なったものである。当時の開発室の方々、とりわけ、石塚信室長（現在、日本原子力研究所原子力船技術部長）、松浦祥次郎（現企画室長）、小林岩夫（現臨界安全研究室長）の諸氏の御指導に厚く御礼申し上げます。最後に、本研究を JAERI レポートとして公開するよう強く勧められ、終始激励戴いた原子力船技術部の落合政昭試験課長に感謝致します。

4. 結 言

我が国の原子力第1船「むつ」の炉心を対象とした核熱水力計算コード STEADY-SHIP を開発した。「むつ」炉心陸上臨界試験、「むつ」実プラントによる温態零出力試験等の実験結果の解析を行ない満足すべき結果を得た。温態零出力試験で測定された等反応度曲線は、1次元及び2次元コードに元づく設計計算値と系統的な差異を示していたが、本コードによる3次元計算は測定値を良く再現した。また、従来の詳細メッシュ有限差分法による3次元拡散コード CITATION による計算結果との比較により、本コードに用いられている計算手法の妥当性と有効性を示すことができた。「むつ」原子炉特有の3次元炉心特性を解析する目的には、従来の詳細メッシュ有限差分法では必要な計算機容量などが大きくなり、3次元計算は困難であった。本研究で STEADY-SHIP を開発したことにより初めて高精度かつ効率的な解析が可能となった。

燃料集合体の数が少ない船用炉心で燃料集合体内の出力分布計算には全炉心の計算結果が大きく影響する。この効果を考慮して開発された LOCAL-FINE ルーチンは、燃料集合体内の詳細出力分布の計算に有効であることが確認された。

謝 辞

STEADY-SHIP コードの原型は、昭和52年当時、当時の日本原子力船開発事業団が主体となって開発された。本研究の機会を与えて戴いた旧事業団（昭和60年、日本原子力研究所と統合）の関係者各位、とりわけ、52年当時の技術部長小山内正夫氏に対し御礼申し上げます。また、本研究の一部は著者の一人（板垣）が旧事業団から当時の日本原子力研究所動力試験炉部開発室へ外来研究員として滞在中に行なったものである。当時の開発室の方々、とりわけ、石塚信室長（現在、日本原子力研究所原子力船技術部長）、松浦祥次郎（現企画室長）、小林岩夫（現臨界安全研究室長）の諸氏の御指導に厚く御礼申し上げます。最後に、本研究を JAERI レポートとして公開するよう強く勧められ、終始激励戴いた原子力船技術部の落合政昭試験課長に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) Henry, A.F. : "A Theoretical Method for Determining the Worth of Control Rod," WAPD-218 (1959).
- 2) 日本原子力船開発事業団 : "原子力船「むつ」出力上昇試験報告書 [Phase-0]" JNS-13-2 (1974).
- 3) 日本原子力船開発事業団 : "原子力船「むつ」炉心陸上臨界試験報告書" JNS-10 (1973).
- 4) Fowler, T.B. and Vondy, D.R. : "Nuclear Reactor Core Analysis Code : CITATION," ORNL-TM-2496 (1969).
- 5) Lathrop, K.D. and Brikley, F.W. : "TWOTRAN-II : An Interfaced, Exportable Version of the TWOTRAN Code for Two-Dimensional Transport," LA-4848-MS (1973).
- 6) Naito, Y., Abe, K. and Maekawa, M. : "A Leakage Iterative Method for Solving the Three-Dimensional Neutron Diffusion Equation," Nucl. Sci. Eng., 58, 182 (1975).
- 7) 日本機械学会編 : "機械工学便覧(改訂第4版)", (1960).
- 8) 日本機械学会 : "蒸気表" (1968).
- 9) Tong, L.S. : "Boiling Crisis and Critical Heat Flux," AEC Critical Review Series, TID-25887 (1972).
- 10) Sha, W.T. : "An Experimental Evaluation of the Power Coefficient in Slightly Enriched PWR Cores," WCAP-3269-40 (1965).
- 11) Glasstone, S. and Edlund, M.C. : "The Elements of Nuclear Reactor Theory" D. Van Nostrand Co., Inc., New York (1960).
- 12) 板垣正文, 内藤倣孝, 飯島光一郎, 井上英明 : "船用炉の燃料集合体平均少数群核定数計算コード : ASSEMBLY-SHIP," JAERI-M 87-150 (1987).
- 13) Ward W. Engle, Jr. : "A User's Manual for ANISN : A One Dimensional Discrete Ordinates Transport Code With Anisotropic Scattering," K-1693 (1967).
- 14) ENDF/B Summary Document BNL-NCS-17541 2nd edition (1975).
- 15) Barry, R.F. : "LEOPARD : A Spectrum Dependent Non-Spatial Depletion Code," WCAP-3269-26 (1963).
- 16) McGoff, D.J. : "FORM : A Fourier Transform Fast Spectrum Code for the IBM-7090," NAA-SR-Memo-5766 (1960).
- 17) Honeck, H.C. : "THERMOS : A Thermalization Transport Theory Code for Reactor Lattice Calculations," BNL-5826 (1961).

附録 A 入力形式

A.1 STEADY-SHIPの入力形式

1. TITLE (18A4)
TITLE タイトルカード, 72桁の英数字
2. IONPOW, IPFINE, ICREJC, IADJFX, ICALC (24I3)
 - IONPOW : 出力オプション
=0 出力運転時の計算
=1 ゼロ出力時の計算
 - IPFINE : 局所出力分布計算オプション
=-1 局所出力分布計算の予備計算, LOCAL-FINEに必要なファイル作成
=0 通常3次元炉心計算
 - ICREJC : 反応度事故解析用オプション
=0 通常3次元炉心計算
=1 通常計算及び制御棒移動計算
=2 制御棒移動計算のみ。この場合, 通常計算時の出力分布の入力必要(論理ファイル40より)。
 - IADJFX : 随伴中性子束計算オプション
=1 実中性子束計算のみ行なう
=2 実及び随伴中性子束計算を行なう
 - ICALC : 燃料実効温度
=0 単位セルベース
=1 全炉心ベース
3. MAXCUP, EPSCUP, WCUP (I3, 7X, 6E10.0)
 - MAXCUP : 核・熱水力計算の最大繰返し数
 - EPSCUP : 核・熱水力計算の収支判定値
 - WCUP : 核・熱水力計算の加速因子
4. (NWRITE(I), I=1, 7), NPOINT, IP1, IP2, IP3, IP4, IP5, IP6 (24I3)
 - NWRITE(1)~
 - NWRITE(7) : 使用せず
 - NPOINT : 使用せず
 - IP1 : 二次元ソース分布 印刷オプション
=1 ソース分布印刷
=0 印刷しない
 - IP2 : 二次元中性子束分布 印刷オプション
=1 中性子束分布印刷
=0 印刷しない

- IP3 : 発熱分布, 流量及び圧力損失 印刷オプション
 =1 印刷しない
 =0 印刷する
- IP4 : DNB 印刷オプション
 =1 印刷しない
 =0 印刷する
- IP5 : 燃料集合体別詳細出力 印刷オプション
 =1 印刷しない
 =0 印刷する
- IP6 : ブロック別無限増倍率 印刷オプション
 =1 印刷しない
 =0 印刷する
5. (KWW(1), I=1, 8) (24I3)
- KWW(1) : 使用せず(ブランクで可)
- KWW(2) : 使用せず(ブランクで可)
- KWW(3) : 使用せず(ブランクで可)
- KWW(4) : 2相因子に対するオプション
 =0 Martinelli-Nelson法
 =1 M-N法と Sherの補正
 =2 Armand法
 =3 Lottes-Flinn法
 =4 入力(M-N法)
 =5 入力(Armand法)
- KWW(5) : 炉心入力エンタルピと給水エンタルピの入力オプション
 =0 サブルーチン SPARGEで計算
 =1 クリーンアップ流エンタルピのみ入力
 =2 炉心入口及びクリーンアップ流エンタルピ入力(むつ炉心では, =2)
- KWW(6) : 使用せず
- KWW(7) : 使用せず
- KWW(8) : 炉心オプション
 =0 PWR計算(むつ炉心)
 =1 BWR計算
6. LP1, LP2, LP3, LP4, LP6, LP7, (24I3)
- LP1 : 圧損計算の最大繰り返し回数
- LP2 : 使用せず
- LP3 : 炉心入口エンタルピ計算の最大繰り返し回数
- LP4~LP7 : 使用せず
7. EPS1, EPS2, EPS3, EPS4, EPS5, EPS6, EPS7 (7E10.0)
- EPS1 : 圧損計算の収束判定値
- EPS2 : 使用せず

EPS3 : 炉心入口エンタルピ計算の収束判定値
 EPS4~EPS7 : 使用せず

8. ZZIN, ZIN, ZOUT, ZZOUT (7E10.0)

ZZIN : 多岐管部入口高さ (m)
 ZIN : 発熱部入口高さ (m)
 ZOUT : 発熱部出口高さ (m)
 ZZOUT : 多岐管部出口高さ (m)

9. IZONE, IMAX, KMAX, NMAX (A4, 2X, 4I3)

IZONE : 計算炉心の形状
 =ブランク 全炉心
 ='HALF' 1/2炉心
 ='QUAT' 1/4炉心
 IMAX : X軸方向チャンネル数 (≤8)
 JMAX : Y軸方向チャンネル数 (≤8)
 KMAX : 軸方向ブロック数 (≤20)
 NMAX : チャンネル総数 (≤16)

注 ブロック及びチャンネルの概念は第2.2節を参照(通常1燃料集合体-1チャンネル)。

10. (ZN(K), K=1, KMAX+1) (7E10.0)

ZN(K) : 各レイヤーの底面高さ及び最上部レイヤーの上面高さで、下部より順に入力する(m)。

11. (NC(I, J), J=1, JMAX) (24I3) IMAX枚入力する

NC(I, J) : X-Y面の水路番号の配置を指定

(例)

1	2	3
4	5	6
7	8	

カード入力→

JMAX
 1 2 3
 4 5 6 IMAX枚
 7 8

12. MG(N), N=1, NMAX1) (24I3) NMAX1=NMAX+1

MG(N) : 各水路のタイプ及びバイパス水路タイプの指定

(例) 8水路(同一チャンネル)

1 1 1 1 1 1 1 2

NMAX バイパス水路タイプ

カード2のIONPOW=1の時はカード27にとぶ。

13. PRESS, PHITT1, PHITT2 (3E10.0)

PRESS : 原子炉圧力 (kgf/cm²)
 PHITT1 : 二相摩擦関連式の係数
 PHITT2 : 二相摩擦関連式の係数

カード14はカード5のWW(8)=0(PWR計算)の時のみ入力する。

14. GGG (E10.0)

GGG : 質量速度(kg/h-m²)

15. MGREAD, KECCAL (2I3)

MGREAD : 水路タイプ数(=2)

- KECCAL : 拡大・縮小時圧損 (E/C 係数) の入力オプション
 =0 カード入力
 =1 カード入力を行ない、入力値が負のものについてはサブルーチン ECSUDN で計
 算する
 =2 全てサブルーチン ECSUDN で計算する

カード 16~18 は MGREAD 組必要

16. M, LMAX (M), NSP MAX (N), (NAME (M, J), J=1, 3), HPERIM (M) (3I3, 1X, 2A4, A2, E10.0)

M : 水路タイプ番号
 LMAX (M) : 第 M タイプに対する軸方向のダクト数
 NSP MAX (M) : 第 M タイプに対する支持格子板の数
 NAME (M, J) : 第 M タイプに対する名前
 HPERIM (M) : 第 M タイプに対する発熱周長 (m)

17. NAMEC (M, L), ZZ (M, L), A (M, L), DE (M, L), EC (M, L) (A4, 6X, 6E10.0) LMAX (M)+1 枚入力

NAMEC (M, L) : 第 L ダクトの名前
 ZZ (M, L) : 第 L ダクトの入口高さ (m)
 A (M, L) : 第 L ダクトの流路面積 (m²)
 DE (M, L) : 第 L ダクトの等価直径 (m)
 EC (M, L) : 第 L ダクトの拡大・縮小時圧損係数 (E/C 係数)

カード 18 はカード 16 の NSP MAX (M) ≥ 1 の時入力

18. (ZSP (M, NSP), ECSP (M, NSP), NSP=1, NSP MAX (M)) (7E10.0)

NSP (M, NSP) : 第 NSP 支持格子板の入口高さ (m)
 ECSP (M, NSP) : 第 NSP 支持格子板の拡大・縮小時圧損係数 (E/C 係数)

19. METHOD (A4)

各チャンネルの出力分布の初期推定値のオプション

METHOD : =ALL 全てカード入力 (相対出力分布, カード 20)
 =EACH 各チャンネルの軸方向出力分布の形状及び相対出力 (カード 21) を入力す
 る。

カード 20 は METHOD=ALL の時のみ入力する。

20. (S (N, K), K=1, KMAX) (7E10.0) NMAX 枚入力する

S (N, K) : 各チャンネルの軸方向出力分布を炉心下部から入力する。

カード 21 は METHOD=EACH の時のみ入力する。

21. (NTYPE (N), NSTAR (N), SS (N), N=1, NMAX (3(A4, A1, 5X, E10.0)))

NTYPE (N) : 第 N チャンネルの軸方向出力分布初期推定値の形状オプション
 =FLAT 一様分布
 =SINE 正弦分布
 =COMP 一様分布と正弦分布の複合した分布
 =SAME 第 N-1 チャンネルと同一の分布
 =CARD カード入力
 NSTAR (N) : 規格化オプション
 =ブランク コード内で規格化する

=* コード内で規格化しない

SS(N) : 第Nチャンネルの相対出力

カード22はNTYPE(N)=CARDの時のみ入力する。

22. (S(N,K), K=1, KMAX) (7E10.0) NMAX枚入力する。

S(N,K) : 第Nチャンネルの軸方向出力分布

23. QTMW, WTPH, WCLTPH, ETA, XDC1, BETA, DPCRCL (7E10.0)

QTMW : 熱出力 (MW)

WTPH : 全流量 (t/h)

WCLTPH : クリーンアップ流量 (t/h)

ETA : バイパス流量率

XDC1 : ダウンカマの蒸気クオリティ

BETA : バイパス流路発熱率

DPCRCL : ポンプ圧力 (kgf/m²)

カード24はカード2のICREJC=2の時のみ入力する。

24. QTOLD (E10.0)

QTOLD : 基準ケースの熱出力 (MW)

カード25はカード5のKWW(1)≥1の時のみ入力する。

25. HFEED, HIN (2E10.0)

HFEED : 給水エンタルピ (kcal/kg)

HIN : 炉心入口エンタルピ (kcal/kg)

26. (HINCH(N), N=1, NMAX+1) (7E10.0)

HINCH(N) : 水路毎の炉心入口エンタルピ及びバイパス領域の入口エンタルピ (kcal/kg)

27. NGMAX, NTMAX (2I3)

NGMAX : エネルギー群数

NTMAX : 入力される断面積セットの数

28. (NTYPE(N,K), K=1, KMAX) (24I3) NMAX枚入力する

NTYPE(N,K) : 各ブロックに対する燃料タイプの種類1~NTMAXまでの数字を下部より入力する。

カード2のIONPOW=1のときはカード44にとぶ。

カード29~35はNTMAX組入力する。

29. DTP0, DTP1, DTP2 (3E10.0) NGMAX枚入力する

これらは拡散係数(cm)に対するフィッティング係数で、フィッティング式は

$$D=1/\{DTP0+DTP1\cdot(ND-ND^{STD})-DTP2\cdot(ND-ND^{STD})^2\}$$

である。ここで、

NDは減速材の原子数密度(b⁻¹·cm⁻¹),

ND^{STD}は水の標準原子数密度(b⁻¹·cm⁻¹)である。

30. SSATP0, SSATP1, SSTAP2 (3E10.0) NGNAX枚入力する

これらは吸収断面積(cm⁻¹)に対するフィッティング係数で、フィッティング式は

$$\Sigma_a-SSATP0+SSATP1\cdot(T_m-T_m^{STD})-SSATP2\cdot(T_m-T_m^{STD})^2$$

である。ここで、

T_mは減速材温度(°C), T_m^{STD}は標準減速材温度(°C)である。

31. SVUTP0, SVUTP1, SVUTP2 (3E10.0) NGMAX 枚入力する

これらは中性子生成断面積 (cm^{-1}) に対するフィッティング係数で、フィッティング式は

$$\nu \Sigma_f = SVUTP0 + SSATP1 \cdot (T_m - T_m^{STD}) + SVUTP2 \cdot (T_m - T_m^{STD})^2$$

である。

32. STRTP0, STRTP1, STRTP2 (3E10.0) NGMAX 枚入力する

これらは除去断面積 (cm^{-1}) に対するフィッティング係数で、フィッティング式は

$$\Sigma_r = STRTP0 - STRTP1 \cdot (ND - ND^{STD}) + STRTP2 \cdot (ND - ND^{STD})^2$$

である。

33. (AKSFTP(NG), NG=1, NGMAX) (3E10.0)

AKSFTP(NG) : 核分裂当たりの発生エネルギー (W/fission)

34. ANUTP(NG), NG=1, NGMAX) (3E10.0)

ANUTP(NG) : 核分裂当たりの平均中性子発生数 (ν -値)

35. (ALXYTP(NG), NG=1, NGMAX) (3E10.0)

ALXYTP(NG) : 軸方向1次元計算時の水平方向漏洩断面積 L_{XY} の初期推定値 (cm^{-1})

カード5のKWW(8)=1の時はカード44にとぶ。

36. TMSTD, TFSTD (2E10.0)

TMSTD : 標準減速材温度 ($^{\circ}\text{C}$)

TFSTD : 燃料ドップラー温度の標準温度 ($^{\circ}\text{C}$)

両者ともにフィッティング時に用いられる。

カード37~38はNTMAX組必要である。

37. AF0, AF1, AF2 (3E10.0) NGMAX 枚入力する

これらは吸収断面積 (cm^{-1}) に対するドップラー効果のためのフィッティング係数で、フィッティング式は

$$\delta \Sigma_{a, \text{DOP}} = AF0 + AF1 \cdot (\sqrt{T_f} - \sqrt{T_f^{STD}}) + AF2 \cdot (\sqrt{T_f} - \sqrt{T_f^{STD}})^2 \quad (\text{cm}^{-1})$$

であり、ここで、

T_f は燃料実効温度 ($^{\circ}\text{C}$)、 T_f^{STD} は燃料実効標準温度 ($^{\circ}\text{C}$) である。

38. AG0, AG1, AH0, AH1 (3E10.0) NGMAX 枚入力する

AG0, AG1は吸収断面積に対するXe効果、AH0, AH1は生成断面積に対するXe効果のためのフィッティング係数で、フィッティング式は

$$\delta \Sigma_{a, \text{Xe}} = \frac{P}{AG0 + AG1 \cdot P} \quad (\text{cm}^{-1})$$

$$\delta \nu \Sigma_{f, \text{Xe}} = \frac{P}{AH0 + AH1 \cdot P} \quad (\text{cm}^{-1})$$

であり、 P は相対出力を示す。

39. DT0, DT1, DT2 (3E10.0) NGMAX 枚入力する

これらは炉心上部反射体に対する拡散係数のためのフィッティング係数で、フィッティング式は

$$D = DT0 + DT1 \cdot T_{out} + DT2 \cdot T_{out}^2 \quad (\text{cm})$$

であり、 T_{out} は炉心出口温度 ($^{\circ}\text{C}$) である。

40. SSAT0, SSAT1, SSAT2 (3E10.0) NGMAX 枚入力する

これらは炉心上部反射体に対する吸収断面積のためのフィッティング係数で、フィッティング式は

$$\Sigma_a = SSAT0 + SSAT1 \cdot T_{out} + SSAT2 \cdot T_{out}^2 \quad (\text{cm}^{-1})$$

である。

41. STRT0, STRT1, STRT2 (3E10.0) NGMAX 枚入力する

これらは炉心上部反射体に対する除去断面積のためのフィッティング係数で、フィッティング式は

$$\Sigma_r = STRT0 + STRT1 \cdot T_{out} + STRT2 \cdot T_{out}^2 \quad (\text{cm}^{-1})$$

である。

42. BUKT0, BUKT1, BUKT2 (3E10.0) NGMAX 枚入力する。

これらは炉心上部反射体の径方向バックリングに対するフィッティング係数で、フィッティング式は

$$B^2 = BUKT0 + BUKT1 \cdot T_{out} + BUKT2 \cdot T_{out}^2 \quad (\text{cm}^{-2})$$

である。

43. DB, SSAB, STRB, BUKB (4E10.0) NGMAX 枚入力する

DB	: 炉心下部反射体拡散係数	(cm)
SSAB	: 炉心下部反射体吸収断面積	(cm ⁻¹)
STRB	: 炉心下部反射体除去断面積	(cm ⁻¹)
BUKB	: 炉心下部反射体径方向バックリング	(cm ⁻²)

カード2のIONPOW=0の時はカード53にとぶ。

カード44~50はゼロ出力時計算用断面積でNTMAX組入力する。

44. (DTP0(NG), NG=1, NGMAX) (3E10.0)

DTP0(NG) : 第NG群の拡散係数 (cm)

45. (SSATP0(NG), NG=1, NGMAX) (3E10.0)

SSATP0(NG) : 第NG群の吸収断面積 (cm⁻¹)

46. (SVUTP0(NG), NG=1, NGMAX) (3E10.0)

SVUTP0(NG) : 第NG群の中性子生成断面積 (cm⁻¹)

47. (STRTP0(NG), NG=1, NGMAX) (3E10.0)

STRTP0(NG) : 第NG群より第NG+1群への除去断面積 (cm⁻¹)

48. (AKSFTP(NG), NG=1, NGMAX) (3E10.0)

AKSFTP(NG) : 第NG群の核分裂当たりの発生エネルギー (W/fission)

49. (ANUTP(NG), NG=1, NGMAX) (3E10.0)

ANUTP(NG) : 第NG群の核分裂当たりの平均中性子発生数(ν-値)

50. (ALXYTP(NG), NG=1, NGMAX) (3E10.0)

ALXYTP(NG) : 第NG群の軸方向1次元計算のための水平方向漏洩断面積 L_{XY} の初期推定値 (cm⁻¹)

カード51, 52はNGMAX枚入力する。

51. DT(NG), SSAT(NG), STRT(NG), BUKT(NG) (4E10.0)

それぞれ、炉心上部反射体に対する拡散係数 (cm), 吸収断面積 (cm⁻¹), 除去断面積 (cm⁻¹), 径方向バックリング (cm⁻²)である。

52. DB(NG), SSAB(NG), STRB(NG), BUKB(NG) (4E10.0)

それぞれ、炉心下部反射体に対する拡散係数 (cm), 吸収断面積 (cm⁻¹), 除去断面積 (cm⁻¹), 径方向バックリング (cm⁻²)である。

53. (KSECT(K), K=1, KMAX) (24I3)

KSECT(K) : 第Kブロックに対する軸方向メッシュ数, 炉心下部より入力

但し、軸方向のメッシュ数の総和と軸方向反射体内のメッシュ数の2倍の和が50を越さないように注意が必要である。

$$\sum_{K=1}^{KMAX} KSECT(K) + 2 \cdot NZR \leq 50$$

ここで、NZRはカード54で与えられる軸方向反射体内のメッシュ数である。

54. NCROD, MNZ, NZR, IGS, IPUNCH (24I3)
- NCROD : 挿入される制御棒
- MNZ : 解析境界条件を用いた時の印刷出力を行なう際の軸方向反射体内メッシュ数
- NZR : 軸方向反射体内のメッシュ数
- IGS : ソース分布初期推定値オプション
=0 カード入力を行なう
=1 コード内で計算する
- IPUNCH : パンチアウトオプション
=0 パンチアウトを行なわない
=1 1次元及び2次元ソース分布のパンチアウトを行なう
=2 ブロック毎, エネルギー群毎の L_{xy} のパンチアウトを行なう
55. REFZ (E10.0)
- REFZ : 軸方向反射体の厚さ (cm)
56. NCR1, NZR1, NEB1, NEB2, NEB3, NEB4, KCR1, ISR1 (24I3)
- NCR1 : 制御棒番号(1より昇順で入力する)
- NZR1 : NCR1番目の制御棒の挿入される物質領域番号
- NEB1 : 使用せず
- NEB2 : 使用せず
- NEB3 : 使用せず
- NEB4 : 使用せず
- KCR1 : NCR1番目の制御棒の先端位置のブロック番号
- ISR1 : NCR1番目の制御棒・フォロワー連結板の占めるブロック数

カード57はカード54のMNZ≠0の時のみ入力する。

57. DLZ : 軸方向反射体における中性子束の解析解の表示のためのメッシュ間隔(cm)
58. KLB, KRT, KL, KR, KB, KT (24I3)
- KLB : 炉心上部境界条件(z軸方向)
- KRT : 炉心下部境界条件(z軸方向)
- KL : 左方方向境界条件(xy面)
- KR : 右方方向境界条件(xy面)
- KB : 後方方向境界条件(xy面)
- KT : 前方方向境界条件(xy面)
- 指定できる値は =0 $\Phi=0$
=1 $\Phi'=0$
=2 対数微分条件
=3 解析境界条件

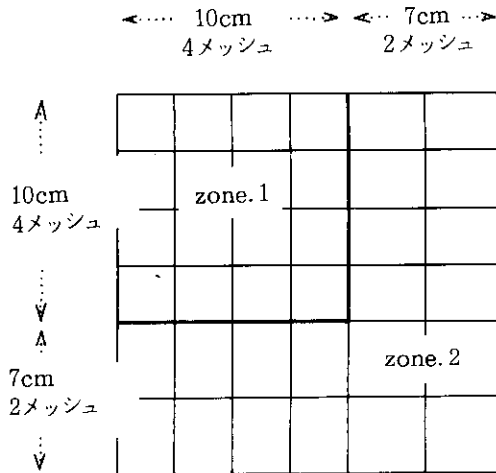
である。

カード59はKLB=2の時に入力する。

59. (C1(NG); NG=1, NGMAX) (3E10.0)
 C1(NG) : NG群の炉心上部対数微分値
 カード60はKRT=2の時に入力する。
60. (C2(NG), NG=1, NGMAX) (3E10.0)
 C2(NG) : NG群の炉心下部対数微分値
 カード61はKL=2の時に入力する。
61. (GAM1(NG), NG=1, NGMAX) (3E10.0)
 GAM1(NG) : NG群の左方向対数微分値
 カード62はKR=2の時に入力する。
62. (GAM2(NG), NG=1, NGMAX) (3E10.0)
 GAM2(NG) : NG群の右方向対数微分値
 カード63はKB=2の時に入力する。
63. (GAM3(NG), NG=1, NGMAX) (3E10.0)
 GAM3(NG) : NG群の後方向対数微分値
 カード64はKT=2の時に入力する。
64. (GAM4(NG), NG=1, NGMAX) (3E10.0)
 GAM4(NG) : NG群の前方方向対数微分値
65. (YK(NG), NG=1, NGMAX) (3E10.0)
 YK(NG) : 核分裂スペクトル
 但し, χ^g は, $\sum_{g=1}^{NGMAX} \chi^g = 1.0$ で規格化されている必要がある。
66. ITIN1, IPMAX1, INITSC (24I3)
 ITIN1 : 1次元ソース推定計算時の内側反復の最大繰り返し回数
 IPMAX1 : 2次元ソース推定計算時の内側反復の最大繰り返し回数
 INITSC : 加速法に対するオプション
 =0 2次元計算の内側反復時にX及びY方向にSLOR法を適用する
 =1 X方向のみにSLOR法を適用する
67. EPSI(1), EPSI(2), EPS2, EPS1 (4E10.0)
 EPSI(1) : 1次元ソース分布推定計算時の外側反復の収束判定値 (k_{eff} に対する収束判定)
 EPSI(2) : 同上 (ソース分布に対する収束判定)
 EPS2 : 2次元ソース分布推定計算時の内側反復の収束判定値
 EPS1 : 2次元ソース分布推定計算時の外側反復の収束判定値
68. THETA, W (2E10.0)
 THETA : 1次元ソース分布推定計算時の外側反復の加速因子
 W : 2次元ソース分布推定計算時の外側反復の加速因子
69. IP3MAX, ITMAX, ITR1, ITR2 (4I3)
 IP3MAX : 3次元計算時の外側反復の最大繰り返し回数
 ITMAX : 3次元計算時の内側反復の最大繰り返し回数
 ITR1, ITR2 : 3次元計算時の内側反復における収束判定因子を変更するためのパラメータであり,
 次のカード70を参照。

70. EPI(1), EPI(2), EPI(3) (3E10.0)
 全て内側反復における収束判定因子であるが、カード 69 で入力される ITR1, ITR2 によって使い分けられる。ITRAT を外側反復の繰り返し回数とすると、
 ITRAT \leq ITR1 の時 EPI(1) が、
 ITR1 < ITRAT \leq ITR2 の時 EPI(2) が、
 ITR2 < ITRAT の時 EPI(3) が用いられる。
71. IDF1, IDF2 (2I3)
 核・熱水力計算の繰り返し回数がこれらの値を越えた時、外側反復における収束判定因子を変更する。次のカード 72 を参照。
72. CRT31, CRT32, CRT33 (3E10.0)
 3次元計算の外側反復における収束判定因子で、カード 71 で入力される IDF1, IDF2 によって使い分けられる。今、ICUP を核・熱水力計算の繰り返し回数とすると、
 ICUP \leq IDF1 の時 CRT31 が、
 IDF1 < ICUP \leq IDF2 の時 CRT32 が、
 IDF2 < ICUP の時 CRT33 が用いられる。
73. WXY, WZ, WS (3E10.0)
 WXY : 3次元計算時の内側反復におけるブロックでの漏洩断面積 L_{XY} の加速因子
 WZ : 3次元計算時の内側反復におけるブロックでの漏洩断面積 L_z の加速因子
 WS : 3次元計算時の外側反復におけるソースの加速因子
 カード 74~76 は、カード 54 の IGS=1 の時のみ入力する。
74. NAMAX, IIMAX, JJMAX (3I3)
 NAMAX : 軸方向メッシュ総数
 IIMAX : X方向メッシュ総数
 JJMAX : Y方向メッシュ総数
75. (A(N), N=1, NAMAX) (7E10.0) チャンネル数 (NMAX) 組入力する
 各チャンネルの軸方向ソース分布を入力する。
76. (A(N), N=1, KKKMAX) (7E10.0) 軸方向レイヤー数 (KMAX) 組入力する
 各レイヤーに対する X-Y 面ソース分布
 但し、KKKMAX=IIMAX·JJMAX である。
77. GAMMA(NG) (E10.0) NGMAX 枚入力する
 GAMMA(NG) : 制御棒に対するエネルギー群 NG の対数微分値の逆数 (Φ_g/J_g) 全ての制御棒で同一の値が用いられる。
78. (NC(I), RC(I), I=1, 6) (6(I3, E9.0))
 X-Y 平面のメッシュの入力で、
 NC(I) : メッシュ数
 RC(I) : 領域長さ (cm)
 である。NC(I)=0 になるまで読み込みが続けられる。X 方向及び Y 方向の 2 組の入力が必要となる。

(例)



上図のような場合には、

4 10.0 2 7.0 0 …… X方向

4 10.0 2 7.0 0 …… Y方向

の2枚のカードを入力することで、各領域の長さでメッシュ数が決定できる。

79. (MXYZ(I), I=1, MXX) (24I3)

各領域の物質番号の入力で、MYY組必要となる。ここで、MXX及びMYYは、カード78で入力する、X方向及びY方向のNC(I)の繰り返しの回数であり、例図の場合は共に2である。従って、

1 2

2 2

と入力することで、例図での物質領域の対応は下図のごとくなる。

1	1	1	1	2	2
1	1	1	1	2	2
1	1	1	1	2	2
1	1	1	1	2	2
2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2

また、この物質領域番号では、チャンネル領域(組定数がNTYPEで指定されるもの)については、NTYPEと対応して

NTYPE … 1 2 3
MXYZ(I)… 100 200 300

と、NTYPEを100倍した整数を割当てる。

80. LZMAP (I3)

x-y平面の計算時には、各x-y平面のメッシュ点における軸方向漏洩断面積として L_z が割当てられる。この L_z は、各チャンネルでの1次元軸方向計算より求められる。従って、同一の L_z を用いるべきx-y平面のメッシュ領域を1次元チャンネルの数だけ定義する。LZMAPはチャンネル番号に対応しており、昇順にカード81と対で入力する。最後は、LZMAP=0のカードを入力する。

81. (IX1(I), IX2(I), IY1(I), IY2(I), I=1, 6) (24I3)

カード 80 で与えたメッシュ領域の定義で, IX1(I)=0 になると次の LZMAP を読み込むことになる。

IX1(I) : x 方向開始メッシュ番号
 IX2(I) : x 方向終端メッシュ番号
 IY1(I) : y 方向開始メッシュ番号
 IY2(I) : y 方向終端メッシュ番号

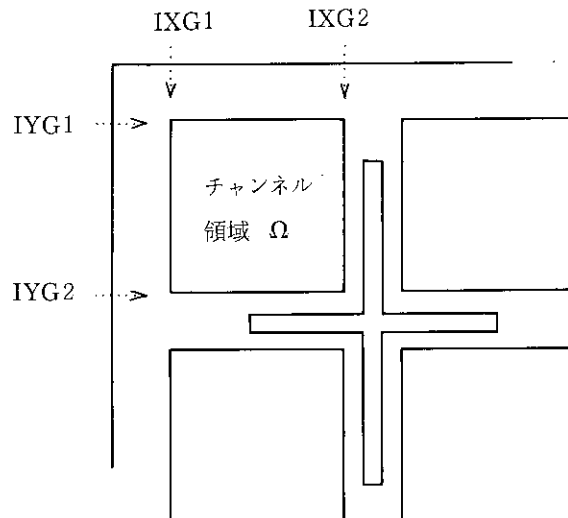
82. (IXG1(I), IXG2(I), IYG1(I), IYG2(I), I=1, 6) (24I3)

1次元軸方向計算はチャンネル部分について行なわれ, この時の x-y 方向の漏洩断面積として L_{xy} が1次元計算の各メッシュに割当てられる。この L_{xy} を2次元計算から算出するためのメッシュ領域を, このカードで指定する。入力は, まずチャンネル1についてのデータが, IXG1(I)=0 になるまで続き, 次にチャンネル2というようにチャンネル番号の昇順に行なわれる。

下図でのチャンネル領域が1次元軸方向計算の領域とすると, 矢印で示すように, IXG1, IXG2を指定する。

IXG1(I) : x 方向開始メッシュ番号
 IXG2(I) : x 方向終端メッシュ番号
 IYG1(I) : y 方向開始メッシュ番号
 IYG2(I) : y 方向終端メッシュ番号

$$L_{xy} = D \int_{\Omega} \Phi(x, y) dS$$



83. NTREF (I3)

NTREF : チャンネル以外の物質領域数で, これらの領域に対してカード 84 で組定数を入力する。

84. K, L, DCON(K,L), ACON(K,L), RCON(K,L), BCON(K,L) (2I6, 4E10.0)

K : 物質領域番号
 L : エネルギー群番号
 DCON(K,L) : 物質領域 K, エネルギー群 L の拡散係数 (cm)

- ACON(K,L) : 物質領域 K, エネルギー群 L の吸収断面積 (cm^{-1})
 RCON(K,L) : 物質領域 K, エネルギー群 L の除去断面積 (cm^{-1})
 BCON(K,L) : 物質領域 K, エネルギー群 L の軸方向バックリング (cm^{-2})
 但し, バックリングはカード 81 で LZ が定義されない領域であるが, 半径方向反射体領域についてのみに入力する (通常幾何学バックリング)。

カード 84 は, NTREF・NGMAX 枚入力する必要がある。

カード 85 はカード 54 の NCROD ≥ 1 の時のみ入力する。

85. SUD(NG), SUA(NG), SUR(NG) (3E9.0) NGMAX 枚入力する
 SUD(NG) : 制御棒・フォロワー連結板のエネルギー群 NG の拡散係数 (cm)
 SUA(NG) : 制御棒・フォロワー連結板のエネルギー群 NG の吸収断面積 (cm^{-1})
 SUR(NG) : 制御棒・フォロワー連結板のエネルギー群 NG の除去断面積 (cm^{-1})

通常の計算では, カード 85 で入力は終了する。

カード 86~カード 91 はカード 2 の ICREJC=1, 即ち, 反応度事故解析計算の時に必要となる。

86. TITLE (18A4)
 TITLE : 制御棒移動ケースのタイトルカード, 任意の 72 文字

87. NCROD, IPWCHG (24I3)
 NCROD : 制御棒移動ケースでの挿入されている制御棒の本数
 IPWCHG : 熱出力変更オプション
 =0 変更しない
 =1 変更する (カード 89~カード 91 を入力する)

カード 88 はカード 87 での NCROD ≥ 1 の時のみ入力する。

88. NCR1, NZR1, NEB1, NEB2, NEB3, NEB4, KCR1, ISR1 (24I3)
 NCR1 : 制御棒番号 (1 より昇順で入力する)
 NZR1 : NCR1 番目の制御棒の挿入される物質領域番号
 NEB1 : 使用せず
 NEB2 : 使用せず
 NEB3 : 使用せず
 NEB4 : 使用せず
 KCR1 : NCR1 番目の制御棒の先端位置のブロック番号
 ISR1 : NCR1 番目の制御棒・フォロワー連結板の占めるブロック数

カード 89~カード 91 は, カード 87 での IPWCHG=1 の時に入力する。

89. QTMW (E10.0)
 QTMW : 熱出力の変更値 (MW)
 90. HFEEED, HIN (2E10.0)
 HFEEED : 給水エンタルピ (kcal/kg)
 HIN : 炉心入口エンタルピ (kcal/kg)
 91. (HINCH(N), N=1, NMAX1) (7E10.0)
 HINCH(N) : 水路毎の入口エンタルピ及びバイパス領域の入口エンタルピ (kcal/kg)

A.2 LOCAL-FINEの入力形式

1. TITLE (18A4)
TITLE : タイトルカード, 72桁の英数字
2. IONPOW, IPFINE (24I3)
IONPOW : =1 (固定)
IPFINE : =1 (固定)
3. 使用せず(ブランクカード)
4. 使用せず(ブランクカード)
5. NF, NB, NC, NE, KB (24I3)
NF : LOCAL-FINE計算を行なうブロックの炉心計算時のチャンネル番号
NB : LOCAL-FINE計算で新たにチャンネルを設けるが, その中で組定数をフィッティングによって決めるチャンネルの総数
NC : 使用せず
NE : 使用せず
KB : LOCAL-FINE計算を行なうブロックの炉心計算時のレイヤー番号
6. 使用せず(ブランクカード)
7. 使用せず(ブランクカード)
8. 使用せず(ブランクカード)
9. ZZIN, ZIN, ZOUT, ZZOUT (7E10.0)
ZZIN : 多岐管部入口高さ (m)
ZIN : 発熱部入口高さ (m)
ZOUT : 発熱部出口高さ (m)
ZZOUT : 多岐管部出口高さ (m)
10. IZONE, IMAX, KMAX, NMAX (A4, 2X, 4I3)
IZONE : 計算炉心の形状
=ブランク 全炉心
='HALF' 1/2炉心
='QUAT' 1/4炉心
IMAX : X軸方向チャンネル数 (≤ 8)
JMAX : Y軸方向チャンネル数 (≤ 8)
KMAX : 軸方向ブロック数 (≤ 20)
NMAX : チャンネル総数 (≤ 16)
11. (ZN(K), K=1, KMAX+1) (7E10.0)
ZN(K) : 各レイヤーの底面高さ及び最上部レイヤーの上面高さで, 下部より順に入力する。
(m)
12. (MG(N), N=1, NMAX) (24I3)
MG(N) : 各水路の形状タイプの指定
13. (NO(N), N=1, NMAX) (24I3)
NO(N) : 各チャンネルが計算体系の中にそれぞれ何個あるかを入力する。

14. NGMAX, NTMAX (2I3)

NGMAX : エネルギー群数
 NTMAX : 入力される断面積セットの数

15. (NTYPE(N,K), K=1, KMAX) (24I3) NMAX 枚入力する

NTYPE(N,K) : 各ブロックに対する燃料タイプの種類 1~NTMAX までの数字を下部より入力する。
 カード 16~22 は NTMAX 組入力する。

16. DTP0, DTP1, DTP2 (3E10.0) NGMAX 枚入力する

これらは拡散係数 (cm) に対するフィッティング係数で、フィッティング式は

$$D = \{DTP0 + DTP1 \cdot (ND - ND^{STD}) + DTP2 \cdot (ND - ND^{STD})^2\}$$

である。ここで、

ND は減速材の原子数密度 ($b^{-1} \cdot cm^{-1}$), ND^{STD} は水の標準原子数密度 ($b^{-1} \cdot cm^{-1}$) である。

17. SSATP0, SSATP1, SSTAP2 (3E10.0) NGMAX 枚入力する

これらは吸収断面積 (cm^{-1}) に対するフィッティング係数で、フィッティング式は

$$\Sigma_a = SSATP0 + SSATP1 \cdot (T_m - T_m^{STD}) + SSATP2 \cdot (T_m - T_m^{STD})^2$$

である。ここで、

T_m は減速材温度 ($^{\circ}C$), T_m^{STD} は標準減速材温度 ($^{\circ}C$) である。

18. SVUTP0, SVUTP1, SVUTP2 (3E10.0) NGMAX 枚入力する

これらは中性子生成断面積 (cm^{-1}) に対するフィッティング係数で、フィッティング式は

$$\nu \Sigma_f = SVUTP0 + SVUTP1 \cdot (T_m - T_m^{STD}) + SVUTP2 \cdot (T_m - T_m^{STD})^2$$

である。

19. STRTP0, STRTP1, STRTP2 (3E10.0) NGMAX 枚入力する

これらは除去断面積 (cm^{-1}) に対するフィッティング係数で、フィッティング式は

$$\Sigma_r = STRTP0 + STRTP1 \cdot (ND - ND^{STD}) + STRTP2 \cdot (ND - ND^{STD})^2$$

である。

20. (AKSFTP(NG), NG=1, NGMAX) (3E10.0)

AKSFTP(NG) : 核分裂当たりの発生エネルギー (W/fission)

21. ANUTP(NG), NG=1, NGMAX) (3E10.0)

ANUTP(NG) : 核分裂当たりの平均中性子発生数 (ν -値)

22. (ALXYTP(NG), NG=1, NGMAX) (3E10.0)

ALXYTP(NG) : 軸方向 1 次元計算時の水平方向漏洩断面積 L_{XY} の初期推定値 (cm^{-1})

23. TMSTD, TFSTD (2E10.0)

TMSTD : 標準減速材温度 ($^{\circ}C$)

TFSTD : 燃料ドップラー温度の標準温度 ($^{\circ}C$)

両者ともにフィッティング時に用いられる。

カード 24~25 は NTMAX 組必要である。

24. AF0, AF1, AF2 (3E10.0) NGMAX 枚入力する

これらは吸収断面積 (cm^{-1}) に対するドップラー効果のためのフィッティング係数で、フィッティング式は

$$\delta \Sigma_{a, Dop} = AF0 + AF1 \cdot (\sqrt{T_f} - \sqrt{T_f^{STD}}) + AF2 \cdot (\sqrt{T_f} - \sqrt{T_f^{STD}})^2 \quad (cm^{-1})$$

であり、ここで、

T_f は燃料実効温度 (°C), T_f^{STD} は燃料実効標準温度 (°C) である。

25. AG0, AG1, AH0, AH1

(3E10.0) NGMAX 枚入力する

AG0, AG1 は吸収断面積に対する Xe 効果, AH0, AH1 は生成断面積に対する Xe 効果のためのフィッティング係数で, フィッティング式は

$$\delta \Sigma_{a, Xe} = \frac{P}{AG0 + AG1 \cdot P} \quad (\text{cm}^{-1})$$

$$\delta \nu \Sigma_f = \frac{P}{AH0 + AH1 \cdot P} \quad (\text{cm}^{-1})$$

であり, P は相対出力を示す。

26. (KSECT(K), K=1, KMAX)

(24I3)

KSECT(K) : 第 K ブロックに対する軸方向メッシュ数, 炉心下部より入力する。

但し, 軸方向のメッシュ数の総和と軸方向反射体内のメッシュ数の 2 倍の和が 50 を越さないように注意が必要である。

$$\sum_{K=1}^{KMAX} KSECT(K) + 2 \cdot NZR \leq 50$$

ここで, NZR はカード 54 で与えられる軸方向反射体内のメッシュ数である。

27. NCROD, MNZ, NZR, IGS, IPUNCH, IGM

(24I3)

NCROD : 使用せず(ブランク)

MNZ : 使用せず(ブランク)

NZR : 使用せず(ブランク)

IGS : 使用せず(ブランク)

IPUNCH : 使用せず(ブランク)

IGM : =1 を入力する

LOCAL-FINE 計算で境界での対数微分値をコード内で計算する。

28. 使用せず(ブランクカード)

29. KLB, KRT, KL, KR, KB, KT

(24I3)

KLB : 炉心上部境界条件 (z 軸方向)

KRT : 炉心下部境界条件 (z 軸方向)

KL : 左方方向境界条件 (xy 面)

KR : 右方方向境界条件 (xy 面)

KB : 後方方向境界条件 (xy 面)

KT : 前方方向境界条件 (xy 面)

LOCAL-FINE 計算では全て対数微分条件 (Φ_g/J_g) を用いるので, すべて 3 を入力する。

30. (YK(NG), NG=1, NGMAX)

(3E10.0)

YK(NG) : 核分裂スペクトル

但し, λ^g は, $\sum_{g=1}^{NGMAX} \lambda^g = 1.0$ で規格化されている必要がある。

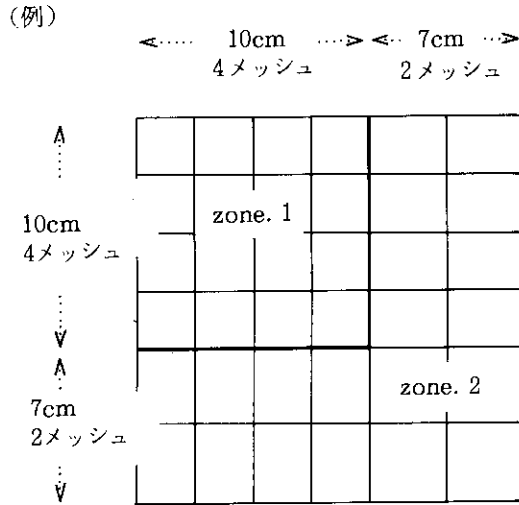
31. ITIN1, IPMAX1, INITSC

(24I3)

ITIN1 : 1次元ソース推定計算時の内側反復の最大繰り返し回数

IPMAX1 : 2次元ソース推定計算時の内側反復の最大繰り返し回数

- INITSC : 加速法に対するオプション
 =0 2次元計算の内側反復時に X 及び Y 方向に SLOR 法を適用する
 =1 X 方向のみに SLOR 法を適用する
32. EPSI(1), EPSI(2), EPS2, EPS1 (4E10.0)
 EPSI(1) : 1次元ソース分布推定計算時の外側反復の収束判定値 (k_{eff} に対する収束判定)
 EPSI(2) : 同上 (ソース分布に対する収束判定)
 EPS2 : 2次元ソース分布推定計算時の内側反復の収束判定値
 EPS1 : 2次元ソース分布推定計算時の外側反復の収束判定値
33. THETA, W (2E10.0)
 THETA : 1次元ソース分布推定計算時の外側反復の加速因子
 W : 2次元ソース分布推定計算時の外側反復の加速因子
34. IP3MAX, ITMAX, ITR1, ITR2 (4I3)
 IP3MAX : 3次元計算時の外側反復の最大繰り返し回数
 ITMAX : 3次元計算時の内側反復の最大繰り返し回数
 ITR1, ITR2 : 3次元計算時の内側反復における収束判定因子を変更するためのパラメータであり、
 次のカード 35 を参照。
35. EPI(1), EPI(2), EPI(3) (3E10.0)
 全て内側反復における収束判定因子であるが、カード 69 で入力される ITR1, ITR2 によって使い分けられる。ITRAT を外側反復の繰り返し回数とすると、
 ITRAT \leq ITR1 の時 EPI(2) が、
 ITR1 < ITRAT \leq ITR2 の時 EPI(2) が、
 ITR2 < ITRAT の時 EPI(3) が用いられる。
36. IDF1, IDF2 (2I3)
 IDF1, IDF2 共に 1 を入力する。
37. CRT31, CRT32, CRT33 (3E10.0)
 CRT31 : 3次元計算の外側反復における収束判定因子
 CRT32 : 使用せず
 CRT33 : 使用せず
38. WXY, WZ, WS (3E10.0)
 WXY : 3次元計算時の内側反復におけるブロックでの漏洩断面積 L_{xy} の加速因子
 WZ : 3次元計算時の内側反復におけるブロックでの漏洩断面積 L_z の加速因子
 WS : 3次元計算時の外側反復におけるソースの加速因子
39. (NC(I), RC(I), I=1,6) (6(I3, E9.0))
 X-Y 平面のメッシュの入力で、
 NC(I) : メッシュ数
 RC(I) : 領域長さ (cm)
 である。NC(I)=0 になるまで読み込みが続けられる。X 方向及び Y 方向の 2 組の入力が必要となる。



上図のような場合には、

4 10.0 2 7.0 0 X方向

4 10.0 2 7.0 0 Y方向

の2枚のカードを入力することで、各領域の長さともメッシュ数が決定できる。

40. (MXYZ(I), I=1, MXX) (24I3)

各領域の物質番号の入力で、MXY組必要となる。ここで、MXX及びMYXは、カード78で入力する、X方向及びY方向のNC(I)の繰り返しの回数であり、例図の場合は共に2である。従って、

1 2
2 2

と入力することで、例図での物質領域の対応は下図のごとくなる。

1	1	1	1	2	2
1	1	1	1	2	2
1	1	1	1	2	2
1	1	1	1	2	2
2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2

また、この物質領域番号では、チャンネル領域(組定数がNTYPEで指定されるもの)については、NTYPEと対応して

NTYPE ... 1 2 3
MXYZ(I) ... 10 20 30

と、NTYPEを10倍した整数を割当てる。

41. 使用せず(ブランクカード)

42. (IXY(I), I=1, NMAX) (24I3)

各チャンネルに対して、 L_{XY} を計算する領域をX-Y平面での矩形の4頂点を表すメッシュで指定するが

(カード43), この矩形の領域が多数必要になるので, 各チャンネル毎にその数を入力する。

43. (IX1(I), IX2(I), IY1(I), IY2(I), I=1, IXY(I)) (24I3) NMAX 組入力する

カード40で示した矩形の4頂点を表すメッシュを入力する。

IX1(I) : x方向開始メッシュ番号
 IX2(I) : x方向終端メッシュ番号
 IY1(I) : y方向開始メッシュ番号
 IY2(I) : y方向終端メッシュ番号

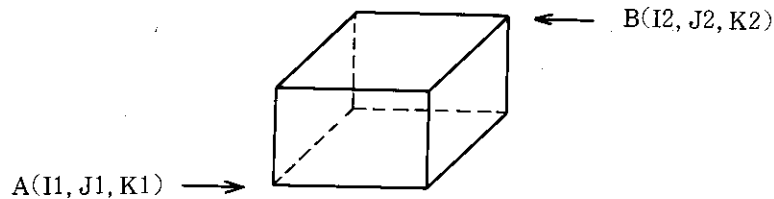
44. 使用せず(ブランクカード)

45. KL, KR, KB, KT (2I6, 4E10.0)

X-Y平面に対する補足の境界条件で, LOCAL-FINE計算を行なうブロックが炉心計算で $\Phi=0$ の境界に一致する所では1を, それ以外では0を, 左方, 右方, 後方, 前方の順番で入力する。

46. I1, J1, K1, I2, J2, K2 (6I4)

LOCAL-FINE計算を行なうブロックの, 前方下端及び後方上端の2頂点(下図のA, B)の炉心計算におけるメッシュを入力する。



47. 使用せず(ブランクカード)

48. 使用せず(ブランクカード)

附録 B サンプル入力

B.1 STEADY-SHIPのサンプル入力

HFP (G1,G2)=(521,521) MM OUT	100 PCNT	REFERENCE					
0 0			00000100				
8	0.01	1.2	00000200				
			00000300				
			00000400				
0 0 0 0 2 0 0			00000500				
10 10 10			00000600				
0.01	0.01	0.01	00000700				
0.0	1.311	2.351	2.583	00000800			
QUAT 3 3 19 8			00000900				
1.311	1.345	1.415	1.479	1.539	1.601	1.661	00001000
1.699	1.763	1.823	1.887	1.951	2.015	2.040	00001100
2.053	2.113	2.171	2.231	2.291	2.351		00001200
1 2 3							00001300
4 5 6							00001400
7 8 0							00001500
1 1 1 1 1 1 1 2							00001600
111.0	0.0	0.0					00001700
3.01 E+6							00001800
2 1							00001900
1 6 3 MUTSU FUEL	1.04						00002000
B1-2	0.0	0.007405	0.0154	0.0			00002100
B3-4	1.207	0.027656	0.0154	0.0			00002200
B5	1.311	0.017119	0.0154	0.0			00002300
B6-7	2.434	0.009550	0.0154	0.0			00002400
B8	2.456	0.027656	0.0154	0.0			00002500
B9-E	2.502	0.005026	0.0154	0.0			00002600
B12	2.583			0.445			00002700
1.330	0.91	1.686	0.91	2.034	0.91		00002800
2 3 0 MUTSU LEAK							00002900
B1-4	0.0	0.005026	0.0154	0.0			00003000
B5	1.311	0.005026	0.0154	0.0			00003100
B6-E	2.434	0.005026	0.0154	0.0			00003200
B12	2.583			0.445			00003300
EACH							00003400
COMP	1.0	SAME	1.0	SAME	1.0		00003500
SAME	1.0	SAME	1.0	SAME	1.0		00003600
SAME	1.0	SAME	1.0	SAME	1.0		00003700
SAME	1.0	SAME	1.0	SAME	1.0		00003800
36.0	1.80 E+3	0.0	0.105	1.0	0.0	2.9 E+4	00003900
279.514	279.514						00004000
279.514	279.514	279.514	279.514	279.514	279.514	279.514	00004100
279.514	279.514						00004200
3 8							00004300
1 2 3 3 3 3 4 3 3 3 3 3 4 1 2 2 2 2 2							00004400
1 2 3 3 3 3 4 3 3 3 3 3 4 1 2 2 2 2 2							00004500
5 6 7 7 7 7 8 7 7 7 7 7 8 5 6 6 6 6 6							00004600
1 2 3 3 3 3 4 3 3 3 3 3 4 1 2 2 2 2 2							00004700
5 6 7 7 7 7 8 7 7 7 7 7 8 5 6 6 6 6 6							00004800
5 6 7 7 7 7 8 7 7 7 7 7 8 5 6 6 6 6 6							00004900
5 6 7 7 7 7 8 7 7 7 7 7 8 5 6 6 6 6 6							00005000
5 6 7 7 7 7 8 7 7 7 7 7 8 5 6 6 6 6 6							00005100
7.34017-1 8.25392 3.15234+1							00005200
1.58075 2.69669+1 -3.49617+1							00005300
3.15727 9.80376+1 2.24518+3							00005400
3.28013-3 -1.24337-6 5.06086-9							00005500
2.47320-2 -5.65156-6 -2.69735-8							00005600
1.00081-1 -9.56628-5 -8.05666-8							00005700
3.73662-3 -1.60484-6 -8.85014-9							00005800
1.32211-2 -1.43038-6 -3.15930-9							00005900
1.42671-1 -1.21161-4 -6.75400-8							00006000
4.00305-2 1.17863 -7.60053-1							00006100
5.80119-2 2.35808 1.98560							00006200
0.0 0.0 0.0							

3.111	-11	3.111	-11	3.111	-11	00006300
2.645		2.430		2.422		00006400
0.0		0.0		0.0		00006500
6.98701	-1	9.16903		2.44209	+1	00006600
1.47827		2.90241	+1	-1.41503	+1	00006700
3.16548		1.07480	+2	2.56252	+3	00006800
3.36114	-3	-1.13301	-6	-5.11949	-9	00006900
2.41902	-2	-5.95443	-6	-1.80443	-8	00007000
9.39532	-2	-9.12836	-5	-6.69737	-8	00007100
3.90182	-3	-1.47788	-6	-8.26054	-9	00007200
1.32444	-2	-1.24262	-6	-2.67258	-9	00007300
1.45755	-1	-1.24217	-4	-4.55931	-8	00007400
4.14323	-2	1.25614		-1.72726		00007500
6.31036	-2	2.54268		-7.37206	-1	00007600
0.0		0.0		0.0		00007700
3.111	-11	3.111	-11	3.111	-11	00007800
2.645		2.430		2.422		00007900
0.0		0.0		0.0		00008000
5.88388	-1	1.04692	+1	8.61743		00008100
1.33932		3.11653	+1	-4.42445		00008200
2.97006		1.12839	+2	2.37342	+3	00008300
3.11386	-3	-1.09707	-6	-4.78818	-9	00008400
2.42503	-2	-6.21000	-6	-1.68585	-8	00008500
1.00197	-1	-9.16461	-5	-8.00002	-8	00008600
3.90182	-3	-1.47788	-6	-8.26054	-9	00008700
1.32444	-2	-1.24262	-6	-2.67258	-9	00008800
1.45755	-1	-1.24217	-4	-4.55931	-8	00008900
3.95602	-2	1.37344		-2.27643		00009000
6.01592	-2	2.70600		5.92778	-1	00009100
0.0		0.0		0.0		00009200
3.111	-11	3.111	-11	3.111	-11	00009300
2.645		2.430		2.422		00009400
0.0		0.0		0.0		00009500
6.23569	-1	9.57383		1.37118	+1	00009600
1.44917		2.89233	+1	-1.07556		00009700
2.95921		1.02926	+2	2.07585	+3	00009800
3.03994	-3	-1.03994	-6	-4.63331	-9	00009900
2.48212	-2	-5.92781	-6	-2.91948	-8	00010000
1.06744	-1	-9.63696	-5	-9.54340	-8	00010100
3.73662	-3	-1.60484	-6	-8.85014	-9	00010200
1.32211	-2	-1.43038	-6	-3.15930	-9	00010300
1.42671	-1	-1.21161	-4	-6.75400	-8	00010400
3.79034	-2	1.29221		-1.38694		00010500
5.48084	-2	2.50137		3.53989		00010600
0.0		0.0		0.0		00010700
3.111	-11	3.111	-11	3.111	-11	00010800
2.645		2.430		2.422		00010900
0.0		0.0		0.0		00011000
7.33755	-1	8.26025		3.08149	+1	00011100
1.58009		2.69272	+1	-8.74192		00011200
3.17180		1.39608	+2	-5.19137	+4	00011300
3.39420	-3	-1.07130	-6	-4.86727	-9	00011400
2.74328	-2	-6.57121	-6	-3.96639	-8	00011500
1.19120	-1	-1.08003	-4	-1.14407	-7	00011600
4.00060	-3	-1.56931	-6	-8.61673	-9	00011700
1.78052	-2	-2.28957	-6	-2.20355	-8	00011800
1.84181	-1	-1.50175	-4	-1.26584	-7	00011900
3.99521	-2	1.17780		-6.78473	-1	00012000
5.66344	-2	2.35084		1.03767		00012100
0.0		0.0		0.0		00012200
3.111	-11	3.111	-11	3.111	-11	00012300
2.645		2.430		2.422		00012400

0.0	0.0	0.0	00012500
6.98473-1	9.17263	2.57034+1	00012600
1.47754	2.90183+1	-7.05041	00012700
3.17653	4.39342+2	-4.17290+5	00012800
3.47361-3	-1.11952-6	-5.09625-9	00012900
2.69113-2	-6.70728-6	-2.58319-8	00013000
1.13452-1	-1.04099-4	-9.93986-8	00013100
4.16234-3	-1.44524-6	-8.07857-9	00013200
1.78401-2	-2.32454-6	-1.45664-8	00013300
1.88109-1	-1.54160-4	-1.02372-7	00013400
4.13528-2	1.25728	1.51517-1	00013500
6.17116-2	2.53626	-4.30884-1	00013600
0.0	0.0	0.0	00013700
3.111 -11	3.111 -11	3.111 -11	00013800
2.645	2.430	2.422	00013900
0.0			00014000
5.89644-1	1.04678+1	9.77933	00014100
1.34122	3.11491+1	-2.24581	00014200
2.98825	4.44641+2	-4.17448+5	00014300
3.23242-3	-1.08658-6	-4.59183-9	00014400
2.73508-2	-7.07132-6	-2.94426-8	00014500
1.22511-1	-1.04648-4	-1.14832-7	00014600
4.16234-3	-1.44524-6	-8.07857-9	00014700
1.78401-2	-2.32454-6	-1.45664-8	00014800
1.88109-1	-1.54160-4	-1.02372-7	00014900
3.94950-2	1.37406	-3.61185-1	00015000
5.88205-2	2.69480	1.10513	00015100
0.0	0.0	0.0	00015200
3.111 -11	3.111 -11	3.111 -11	00015300
2.645	2.430	2.422	00015400
0.0	0.0	0.0	00015500
6.24815-1	9.57497	1.29786+1	00015600
1.45114	2.89033+1	-3.15235	00015700
2.98106	1.01587+2	1.94011+3	00015800
3.15996-3	-1.02561-6	-4.53597-9	00015900
2.78936-2	-6.97900-6	-4.26816-8	00016000
1.28563-1	-1.08954-4	-1.31399-7	00016100
4.00060-3	-1.56931-6	-8.61673-9	00016200
1.78052-2	-2.28957-6	-2.20355-8	00016300
1.84181-1	-1.50175-4	-1.26584-7	00016400
3.78403-2	1.29083	-1.31954	00016500
5.34937-2	2.48899	2.66115	00016600
0.0	0.0	0.0	00016700
3.111 -11	3.111 -11	3.111 -11	00016800
2.645	2.430	2.422	00016900
0.0	0.0	0.0	00017000
274.3	691.7		00017100
0.0			00017200
1.04584-6	8.96773-5	6.51543-7	00017300
0.0			00017400
0.0			00017500
0.0			00017600
0.0			00017700
0.20261+3	0.32542+3	-0.41235+3	00017800
0.0			00017900
4.83236-6	8.99553-5	2.70357-7	00018000
0.0			00018100
0.0			00018200
0.0			00018300
0.19210+3	0.32633+3	-0.39732+3	00018400
0.0			00018500
4.85452-6	8.99557-5	2.70277-7	00018600
0.0			

1	2	0.743902	7.25422	-4	0.115288	3.0813	-4	00031100
1	3	0.256503	1.07566	-2	0.0	3.0813	-4	00031200
2	1	1.32636	9.21856	-5	1.18275			00031300
2	2	0.395251	1.19900	-2	3.99446			00031400
2	3	0.331735	0.164678		0.0			00031500
3	1	1.48978	1.18748	-3	2.66807			00031600
3	2	0.852859	1.24894	-3	4.04247			00031700
3	3	0.446642	1.61525	-2	0.0			00031800
4	1	1.67038	3.65960	-4	5.83977			00031900
4	2	0.706180	1.84063	-3	8.89366			00032000
4	3	0.286406	2.60728	-2	0.0			00032100
5	1	1.57890	1.65095	-3	6.49415			00032200
5	2	1.23604	3.80574	-3	6.15731			00032300
5	3	0.985015	4.20747	-3	0.0			00032400
6	1	1.57890	1.65095	-3	6.49415			00032500
6	2	1.23604	3.80574	-3	6.15731			00032600
6	3	0.985015	4.20747	-3	0.0			00032700
7	1	1.57890	1.65095	-3	6.49415			00032800
7	2	1.23604	3.80574	-3	6.15731			00032900
7	3	0.985015	4.20747	-3	0.0			00033000
8	1	1.57890	1.65095	-3	6.49415			00033100
8	2	1.23604	3.80574	-3	6.15731			00033200
8	3	0.985015	4.20747	-3	0.0			00033300
		1.30261	7.85639	-51.23167	-3			00033400
		0.400470	1.04689	-23.97521	-3			00033500
		0.338920	0.144663	0.0				00033600

2.59390-1
7.24994-4
1.99651-3
1.86986-2
0.0
0.0
0.0
6.39079-2
9.82226-2
0.0 0.0 0.0
3.111 -11 3.111 -11 3.111 -11
2.645 2.430 2.442
0.0 0.0 0.0
2.58094
8.88979-1
3.20110-1
3.87000-4
9.65300-3
1.12710-1
0.0
0.0
0.0
3.86330-2
6.19540-2
0.0 0.0 0.0
3.111 -11 3.111 -11 3.111 -11
2.645 2.430 2.442
0.0 0.0 0.0
1.57890
1.23604
9.85015-1
1.65095-3
3.80574-3
4.20747-3
0.0
0.0
0.0
6.49415-4
6.15731-4
0.0 0.0 0.0
3.111 -11 3.111 -11 3.111 -11
2.645 2.430 2.442
0.0 0.0 0.0
1.67038
0.70618
0.286406
3.65960-4
1.84063-3
2.60728-2
0.0
0.0
0.0
5.83977-2
8.89366-2
0.0 0.0 0.0
3.111 -11 3.111 -11 3.111 -11
2.645 2.430 2.442
0.0 0.0 0.0
1.48978
0.852859
0.446642
1.18748-3

```

1.24894-3
1.61525-2
0.0
0.0
0.0
2.66807-2
4.04247-2
0.0      0.0      0.0
3.111 -11 3.111 -11 3.111 -11
2.645      2.430      2.442
0.0
274.3      691.7
0.0
-5.52024-7 9.02279-5 1.79961-6
0.0
0.0
0.0
1.79200+2 2.96980+2-3.64910+2-6.19650+2
0.0
1.43539-6 8.97775-5-7.20502-7
0.0
0.0
0.0
1.8847 +2 2.9665 +2 3.8111 +2-6.1965 +2
0.0
-5.52002-7 9.02278-5 1.79952-6
0.0
0.0
0.0
1.7920 +2 2.9698 +2-3.6491 +2-6.1965 +2
0.0
1.43493-6 8.97775-5-7.20502-7
0.0
0.0
0.0
1.8847 +2 2.9665 +2-3.8111 +2-6.0173 +2
0.0
1.50813-6 8.86915-5-3.95803-7
0.0
0.0
0.0
2.1426 +2 2.4370 +2-3.2765 +2-3.7482 +2
0.0
-1.79489-6 8.95346-5 4.17610-7
0.0
0.0
2.0487 +2 2.4311 +2-3.1905 +2-3.8170 +2
0.0
10
          1
0.0
 2 2 2 2 2 2
1.0
30 30 2
0.005      0.005      0.0005      0.001
1.8        1.4
 7 60 4 7
0.0001      0.0001      0.0001
 2 4
0.0001      0.0001      0.0001
1.0        1.0        1.5
 2 0.40      2 0.33      2 1.50      2 1.50      2 1.50      2 1.50

```

2 1.50 2 1.50 2 1.50 2 1.50 2 1.50 2 1.50
 2 1.50 2 0.33 2 0.40 2 1.50 2 1.50 2 1.50
 2 0.40 2 0.33 2 1.50 2 1.50 2 1.50
 2 1.50 2 1.50 2 1.50 2 1.50 2 1.50
 2 1.50 2 0.33 2 0.40
 270270270270290290290290290290290290290290290290290290290290290290
 270270270270280280280280280280280280280280280280280280280280280280
 270270210 10 50 70 90 90 90 70 50 20210280290
 270270 10 60 80110120140120110 80 60 20280290
 240250 50 80100130150220150130100 80 50280290
 240250 70110130160170180170160130110 70280290
 240250 90120150170190200190170150120 90280290
 240250 90140220180200230200180220140 90280290
 240250 90120150170190200190170150120 90280290
 240250 70110130160170180170160130110 70280290
 240250 50 80100130150220150130100 80 50280290
 240250 40 60 80110120140120110 80 60 30260260
 240250210 40 50 70 90 90 90 70 50 30210260260
 240250250250250250250250250250260260260260
 240240240240240240240240240240260260260260
 1
 2 2 2 2 2
 6 8 4 6
 22 24 4 6
 22 24 24 26
 6 8 24 26
 8 10 4 6
 6 8 6 8
 10 12 4 6
 8 10 6 8
 14 16 4 6
 8 10 8 10
 10 12 6 8
 12 14 6 8
 8 10 10 12
 14 16 6 8
 12 14 8 10
 10 12 10 12
 12 14 10 12
 14 16 10 12
 12 14 12 14
 14 16 12 14
 4 6 4 6
 14 16 8 10
 14 16 14 16
 1 2 8 29 2 22 28 29
 2 4 8 28 4 22 26 28
 26 29 22 29 22 26 26 29
 1 8 1 4 1 4 4 8
 8 28 2 4 26 28 4 22
 8 29 1 2 28 29 2 22
 1 0 1 0
 1 1 16 9 9 17
 5 5
 2
 8 19

附録 C サンプル出力

C.1 STEADY-SHIPのサンプル出力

***** HFP (61,62)=(521,521) MM OUT 100 PCNT REFERENCE ***** PAGE= 2

*** VERTICAL PLANE FIGURE ***

MULTI-CHANNEL ZONE
OUTLET HEIGHT = 2.5830

HEATED ZONE OUTLET HEIGHT	= ZN(20) = 2.3510	Z(20) = 2.3510
	ZN(19) = 2.2910	Z(19) = 2.3210
	ZN(18) = 2.2310	Z(18) = 2.2610
	ZN(17) = 2.1710	Z(17) = 2.2010
	ZN(16) = 2.1130	Z(16) = 2.1420
	ZN(15) = 2.0530	Z(15) = 2.0830
	ZN(14) = 2.0400	Z(14) = 2.0465
	ZN(13) = 2.0150	Z(13) = 2.0275
	ZN(12) = 1.9510	Z(12) = 1.9830
	ZN(11) = 1.8870	Z(11) = 1.9190
	ZN(10) = 1.8230	Z(10) = 1.8550
	ZN(9) = 1.7630	Z(9) = 1.7930
	ZN(8) = 1.6990	Z(8) = 1.7310
	ZN(7) = 1.6610	Z(7) = 1.6800
	ZN(6) = 1.6010	Z(6) = 1.6310
	ZN(5) = 1.5390	Z(5) = 1.5700
	ZN(4) = 1.4790	Z(4) = 1.5090
	ZN(3) = 1.4150	Z(3) = 1.4470
	ZN(2) = 1.3450	Z(2) = 1.3800
HEATED ZONE INLET HEIGHT	= ZN(1) = 1.3110	Z(1) = 1.3280

MULTI-CHANNEL ZONE
INLET HEIGHT = 0.0

ZN(KK) = NODE POINT HEIGHT Z(K) = BLOCK MIDDLE POINT HEIGHT

KMAX1 = 20 KMAX = 19

PAGE= 3

***** HFP (G1,G2)=(521,521) MM OUT 100 PCNT REFERENCE

*** ARRANGEMENT OF ASSEMBLIES ***
QUAT REGION OF THE CORE

	1	2	3
1	1 1 2 1 3 1 1	1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1
2	1 4 1 4 1 4 1	1 4 1 5 1 6 1	1 1 1 1 1 1 1
3	1 4 1 4 1 4 1	1 7 1 8 1	1 1 1 1 1

LEAKAGE
 +-----+
 I 9 I
 I 2 I
 I 1 I
 +-----+

NOTE
 +-----+
 I N I
 I MG I
 I NO I
 +-----+

CONDITIONED NUMBER
 GEOMETRICAL TYPE NUMBER
 OCCUPIED NUMBER

* NCHANL = SIGMA(N) = 32
 * NCHAN1 = SIGMA(N) = 33
 * NBLOCK = KMAX*NCHANL = 608

***** PAGE# 9

***** HFP (G1,G2)=(521,521) MM OUT 100 PCNT REFERENCE *****

***** CALCULATION SYSTEM *****

NO. OF CHANNELS IN X-DIRECTION 3
 NO. OF CHANNELS IN Y-DIRECTION 3
 NO. OF CHANNELS IN X-Y PLANE 8
 NO. OF DIVISIONS IN THE REFLECTOR (Z) 8

NO. OF BLOCKS IN Z-DIRECTION 19
 NO. OF DIVISIONS IN ONE BLOCK (Z)
 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2

NO. OF CONTROL RODS 2

***** GEOMETRY *****

LENGTH OF THE REFLECTOR (Z) 30.0000 CM

LENGTH OF ONE BLOCK IN Z-DIRECTION
 3.40004 6.99997 6.40001 5.99995 6.20003 6.00004 3.80001 6.39992 6.00004 6.40001
 6.40001 6.40001 2.49996 1.30005 5.99995 5.79996 6.00004 6.00004 5.99995

CHANNELS POSITION IN X-Y PLANE

BACK

 LEFT * 1 2 3 * RIGHT
 * 4 5 6 *
 * 7 8 0 *

 FORE

CONTROL ROD POSITION

ROD	INSERTED LENGTH FROM CORE BOTTOM	SUS BLOCK	NEIGHBOUR CHANNELS
1	5	1	0 0 0 0
2	6	1	0 0 0 0

***** HFP (G1,G2)=(521,521) MM OUT 100 PCNT REFERENCE *****

***** CONVERGENCE CRITERIA AND RELAXATION FACTORS *****
 CONVERGENCE CRITERIA WHEN CALCULATING SOURCE GUESS

CRITERIA ON EIGENVALUE IN 1-DIM. OUTER IT. 0.005000
 CRITERIA ON SOURCE DISTR. IN 1-DIM. OUTER IT. 0.005000
 CRITERIA IN 2 - DIMENSIONAL INNER IT. 0.000500
 CRITERIA IN 2 - DIMENSIONAL OUTER IT. 0.001000
 MAX. ITERATION TIMES IN 2-DIM. INNER IT. 20
 MAX. ITERATION TIMES IN 2-DIM. OUTER IT. 20
 OVER RELAXATION FACTOR OF 1-DIM. OUTER IT. 1.800000
 OVER RELAXATION FACTOR OF 2-DIM. INNER IT. 1.400000

CONVERGENCE CRITERIA WHEN CALCULATING 3-DIMENSIONAL SYNTHESIS

TEMPORARY CRITERIA OF 3-DIM. INNER IT. WHEN OUTER IT. TIMES ARE LESS THAN 4 0.001000
 AND LINK IT. TIMES ARE LESS THAN 2
 TEMPORARY CRITERIA OF 3-DIM INNER IT. WHEN OUTER IT. TIMES ARE LESS THAN 7 0.001000
 AND LINK IT. TIMES ARE LESS THAN 2 0.001000
 FINAL CRITERIA OF 3-DIM INNER IT. 0.001000
 MAX. ITERATION TIMES IN 3-DIM. INNER IT. 20
 MAX. ITERATION TIMES IN 3-DIM. OUTER IT. 10
 TEMPORARY CRITERIA OF 3-DIM OUTER IT. WHEN LINK IT. TIMES ARE LESS THAN 2 0.001000
 TEMPORARY CRITERIA OF 3- DIM OUTER IT. WHEN LINK IT. TIMES ARE LESS THAN 4 0.001000
 FINAL CONVERGENCE CRITERIA OF 3-DIM OUTER ITERATION 0.001000

RELAXATION FACTOR OF L-XY IN INNER IT. 1.000000
 RELAXATION FACTOR OF L-Z IN INNER IT. 1.000000
 RELAXATION FACTOR IN 3-DIM. OUTER IT. 1.500000

***** GROUP CONSTANTS OF CONTROL RODS *****

ENERGY GROUP LOG. DERIVATIVES
 1 -0.2133190E+03
 2 -0.1189520E+02
 3 -0.1850430E+01

**** HFP (G1,G2)=(521,521) MM OUT 100 PONT REFERENCE

ZONE NO	AT EACH MESH INTERVAL	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
3	3	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
6	3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
7	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
8	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
9	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
10	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
11	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
12	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
13	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
14	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
15	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
16	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
17	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
18	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
19	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
20	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
21	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
22	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
23	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
24	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
25	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
26	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
27	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

SOURCE IT. OF 2-DIM. FOR SOURCE GUESS

SOURCE IT.	MAXLAMBDA,	LAMBDA	MIN LAMBDA	ACC. PARAMETER USED
1	1.34585476	1.03430843	0.48762947	0.0
2	1.14706230	1.03354168	0.76192516	0.0
3	THETA VALUE 0.13375E+00	0.20659E-01	0.0	0.0
4	1.13110256	1.04205704	0.90503049	0.13375187
5	1.11776829	1.04655647	0.95227531	0.02065910
6	THETA VALUE 0.12411E+01	0.66114E+00	0.21609E+00	0.22402E-01
7	1.08821392	1.05093384	1.02498817	1.24108315
8	1.07078075	1.03176640	1.03087902	0.66114289
9	1.06422138	1.03198669	1.03764153	0.21609271
10	1.06084538	1.03209255	1.04144955	0.02240207
11	THETA VALUE 0.93719E+00	0.90518E-01	0.21609E+00	0.22402E-01
12	1.05659389	1.05221272	1.04675961	0.93718827
13	1.05514050	1.05225182	1.04841042	0.09051830
14	THETA VALUE 0.15679E+00	0.90518E-01	0.21609E+00	0.22402E-01
15	1.05438805	1.05226612	1.04960823	0.15679103
16	THETA VALUE 0.17584E+01	0.12280E+00	0.21609E+00	0.22402E-01
17	1.05287457	1.05228043	1.05146408	1.75841522

***** HFP (G1,G2)=(521,521) MM OUT 100 PCNT REFERENCE
SOURCE ITERATION OF 3-DIM OUTER IT.

POWER-VOID IT.	SOURCE IT.	MAX LAMBDA	LAMBDA	MIN LAMBDA
1	1	1.00165176	0.88119602	0.66001350
1	2	1.07741928	0.98314905	0.75236046
1	3	1.06667152	0.99017870	0.78422010
1	4	1.05944347	0.99319607	0.82149774
1	5	1.05187511	0.99481153	0.86003935
1	6	1.04402828	0.99577475	0.89472812
1	7	1.03890052	0.99649459	0.92149192
1	8	1.03072453	0.99709541	0.94161701
1	9	1.02570248	0.99761975	0.95543993
1	10	1.02170181	0.99813437	0.96477163

OUTER ITERATION NOT CONVERGED AT 11 TIMES

2	2	1.02335508	0.99777704	0.94804084
2	3	1.01670074	0.99807113	0.95862025
2	4	1.01411629	0.99856234	0.96563923
2	5	1.01283073	0.99904299	0.96986902
2	6	1.01121235	0.99947429	0.97370255
2	7	1.01011276	0.99987626	0.97696692
2	8	1.00917244	1.00023460	0.97998251
2	9	1.00835323	1.00054169	0.98240131
2	10	1.00764656	1.00081730	0.98463368

OUTER ITERATION NOT CONVERGED AT 11 TIMES

3	2	1.00557137	1.00038242	0.99025458
3	3	1.00476935	1.00035215	0.99228644
3	4	1.00415897	1.00062275	0.99352336
3	5	1.00379562	1.00073338	0.99352735
3	6	1.00342464	1.00081158	0.99482948
3	7	1.00311947	1.00089169	0.99552530
3	8	1.00292263	1.00092888	0.99595785
3	9	1.00278473	1.00098038	0.99684143
3	10	1.00250816	1.00101566	0.99708790

OUTER ITERATION NOT CONVERGED AT 11 TIMES

POWER-VOID IT. TIMES 3 ERROR 0.91393232E-01

4	2	1.00188351	1.00088310	0.99870229
4	3	1.00168896	1.00096321	0.99900734
4	4	1.00159931	1.00094986	0.99942243
4	5	1.00157738	1.00096130	0.99958819
4	6	1.00144100	1.00096798	0.99988282
4	7	1.00147152	1.00098896	0.99974257
4	8	1.00146294	1.00097656	1.00007534
4	9	1.00130749	1.00098419	1.00027943
4	10	1.00138283	1.00099659	1.00008678

OUTER ITERATION NOT CONVERGED AT 11 TIMES

POWER-VOID IT. TIMES 4 ERROR 0.38053244E-02

***** HFP (G1,G2)=(521,521) MM OUT 100 PCNT REFERENCE

*** FLOW AND PRESSURE DROP ***

	N= 1	N= 2	N= 3	N= 4	N= 5	N= 6	N= 7	N= 8	N= 9
W(N)	13.984	13.984	13.984	13.984	13.984	13.984	13.984	13.984	52.500
DP(N)	3160.6	3162.7	3163.7	3162.7	3164.2	3163.7	3163.7	3163.7	15902.8
DPH(N)	1987.2	1987.8	1996.1	1987.8	1986.0	1999.8	1996.1	1999.8	2015.5
DPL(N)	1173.4	1174.9	1167.6	1174.9	1178.2	1164.0	1167.6	1164.0	13887.3
DPER(N)	346.2	346.2	345.9	346.2	346.2	345.8	345.9	345.8	10714.7
DPEC(N)	705.7	707.4	701.2	707.4	710.6	698.0	701.2	698.0	3172.5
DSP(N)	121.5	121.3	120.5	121.3	121.3	120.2	120.5	120.2	0.0
DPAC(N)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

$$DPAVE = \frac{\sum_{N=1}^9 \text{SIGMA}(DP(N)*W(N)*NO(N))}{\sum_{N=1}^9 \text{SIGMA}(W(N)*NO(N))} = 3163.1$$

***** PAGE= 16

***** HFP (G1,G2)=(521,521) MM OUT 100 PCNT REFERENCE

*** DETAILS OF THE 1-ST ASSEMBLY *** NO.1

* CHANNEL HEAT PRODUCT 300.34 KCAL/SEC
 * RATE TO CORE AVE. 1.1175

REGION	HEIGHT (M)	HEAT (KC/S)	NORM. TO CHAN. AVE.	NORM. CORE AVE.	(KC/S.M2)	(KC/S)	REGION	NORMALIZED TO CHANNEL AVE.
K=19	2.3510	1.17	0.0737	0.0824	18.67	288.04	K=19	
K=18	2.2910	1.93	0.1218	0.1361	30.85	286.87	K=18	*
K=17	2.2310	2.68	0.1698	0.1898	43.01	284.95	K=17	*
K=16	2.1710	3.46	0.2189	0.2447	57.38	282.26	K=16	*
K=15	2.1130	4.29	0.2712	0.3031	68.70	278.80	K=15	*
K=14	2.0530	4.50	0.2846	0.3180	332.70	274.51	K=14	*
K=13	2.0400	4.62	0.2926	0.3270	177.88	270.02	K=13	*
K=12	2.0150	5.94	0.3756	0.4198	89.21	265.39	K=12	*
K=11	1.9510	8.01	0.5070	0.5666	120.42	259.45	K=11	*
K=10	1.8870	11.65	0.7369	0.8235	175.00	251.44	K=10	*
K=9	1.8230	19.69	1.2454	1.3918	315.48	239.79	K=9	*
K=8	1.7630	26.27	1.6616	1.8569	394.62	220.10	K=8	*
K=7	1.6990	27.21	1.7211	1.9234	688.41	193.84	K=7	*
K=6	1.6610	31.54	1.9950	2.2295	505.38	166.63	K=6	*
K=5	1.6010	32.58	2.0612	2.3035	505.31	135.10	K=5	*
K=4	1.5390	31.44	1.9888	2.2226	503.82	102.52	K=4	*
K=3	1.4790	28.43	1.7983	2.0097	427.09	71.08	K=3	*
K=2	1.4150	23.86	1.5094	1.6868	327.74	42.65	K=2	*
K=1	1.3450	18.79	1.1887	1.3284	531.39	18.79	K=1	*
	1.3110					0.0		

***** HFP (G1,G2)=(521,521) MM OUT 100 PCNT REFERENCE

*** DETAILS OF THE 1-ST ASSEMBLY *** NO.2

* COOLANT FLOW 13.984 KG/SEC

* VARIATION FROM INLET TO EXIT

OUTLET	INLET	VELOCITY (M/S)	ENTHALPY (KC/KG)	QUALITY	TEMP FR.	DENSITY (KG/M3)
300.11	300.11	1.0891	300.11	-0.1495	284.21	750.08
279.51	279.51	1.0469	279.51	-0.2155	267.90	779.40

REGION	HEIGHT (M)	ENTHALPY (KC/KG)	QUALITY	TEMP FR.	DENSITY (KG/M3)	TEMP DISTRIBUTION
K=20	2.3510	300.11	-0.14954	284.2122	750.08	*
K=19	2.2910	300.03	-0.14967	284.1826	750.14	*
K=18	2.2310	299.89	-0.15003	284.0947	750.31	*
K=17	2.1710	299.70	-0.15058	283.9636	750.56	*
K=16	2.1130	299.45	-0.15130	283.7888	750.90	*
K=15	2.0530	299.14	-0.15223	283.5649	751.33	*
K=14	2.0400	298.82	-0.15327	283.3140	751.81	*
K=13	2.0150	298.49	-0.15433	283.0593	752.30	*
K=12	1.9510	298.07	-0.15556	282.7612	752.87	*
K=11	1.8870	297.49	-0.15718	282.3694	753.61	*
K=10	1.8230	296.66	-0.15942	281.8269	754.64	*
K=9	1.7630	295.25	-0.16315	280.9194	756.35	*
K=8	1.6990	293.37	-0.16870	279.5669	758.87	*
K=7	1.6610	291.43	-0.17495	278.0337	761.69	*
K=6	1.6010	289.17	-0.18197	276.3064	764.83	*
K=5	1.5390	286.84	-0.18959	274.4165	768.20	*
K=4	1.4790	284.60	-0.19720	272.5195	771.53	*
K=3	1.4150	282.56	-0.20431	270.7363	774.60	*
K=2	1.3450	280.86	-0.21050	269.1750	777.26	*
K=1	1.3110	279.51	-0.21555	267.8977	779.40	*

K	ZDNB	GBEU	F	QBN	DNBR	
1	1.0484996E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	1.0859993E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	1.1234995E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	1.1609996E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	1.1984993E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	1.2359995E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	1.2734996E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	1.3109996E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	1.3484996E+02	2.1996160E+06	9.6089005E-01	2.2891440E+06	5.6677046E+00	3.3280269E+05
10	1.3859998E+02	2.1898760E+06	9.7484827E-01	2.2463760E+06	5.2787848E+00	3.8829225E+05
11	1.4234997E+02	2.1784100E+06	9.877908E-01	2.2053360E+06	4.944286E+00	4.5800169E+05
12	1.4609994E+02	2.1672890E+06	9.8802084E-01	2.193660E+06	4.325630E+00	4.8699531E+05
13	1.4789995E+02	2.1554020E+06	9.9010223E-01	2.1769490E+06	4.1349306E+00	5.2184212E+05
14	1.5089992E+02	2.1437240E+06	9.9258691E-01	2.1597350E+06	3.9787483E+00	5.4827906E+05
15	1.5389990E+02	2.1316670E+06	9.9560249E-01	2.1410820E+06	3.7721138E+00	5.6748950E+05
16	1.5699991E+02	2.1190290E+06	9.9836716E-01	2.1220700E+06	3.6370630E+00	5.772319E+05
17	1.6009991E+02	2.1063850E+06	1.0030727E+00	2.0999330E+06	3.7875519E+00	5.7913975E+05
18	1.6309993E+02	2.0943790E+06	1.0074823E+00	2.0788240E+06	3.7630615E+00	5.6996506E+05
19	1.6609995E+02	2.0828360E+06	1.021705E+00	2.0385870E+06	3.8170872E+00	5.4932437E+05
20	1.6989992E+02	2.0700180E+06	1.0400054E+00	2.0617600E+06	4.271751E+00	4.8294531E+05
21	1.7309988E+02	2.0591890E+06	1.0159435E+00	2.0268730E+06	4.3913479E+00	4.8598919E+05
22	1.7629985E+02	2.0492690E+06	1.0373430E+00	1.9754980E+06	4.8024035E+00	4.4633869E+05
23	1.7929987E+02	2.0413630E+06	1.0350504E+00	1.9722350E+06	5.0493355E+00	3.8029306E+05
24	1.8229988E+02	2.0347440E+06	1.0678911E+00	1.9053850E+06	6.5816908E+00	3.1877706E+05
25	1.8549985E+02	2.0296640E+06	1.077514E+00	1.8903750E+06	9.7352133E+00	2.2999512E+05
26	1.8869986E+02	2.0255990E+06	1.0477514E+00	1.9332820E+06	1.0944549E+01	1.8426581E+05
27	1.9189986E+02	2.022190E+06	1.0350895E+00	1.9536470E+06	1.1576136E+01	1.5407625E+05
28	1.9509987E+02	2.0168240E+06	1.0497169E+00	1.9236760E+06	1.598396E+01	1.3104781E+05
29	1.9829987E+02	2.0132590E+06	1.0396471E+00	1.9399130E+06	1.8224380E+01	1.1317400E+05
30	2.0149983E+02	2.0146690E+06	1.0526371E+00	1.9139250E+06	2.2397552E+01	9.8069000E+04
31	2.0399980E+02	2.0125480E+06	1.0091724E+00	1.9767230E+06	2.4107954E+01	8.2278937E+04
32	2.0529985E+02	2.0109060E+06	1.0102722E+00	1.9942360E+06	2.4721634E+01	7.9991812E+04
33	2.0829982E+02	2.009060E+06	1.0346813E+00	1.920650E+06	2.2573517E+01	7.9919687E+04
34	2.1129980E+02	2.0094180E+06	1.0423918E+00	1.9264610E+06	2.9027481E+01	7.2476437E+04
35	2.1419978E+02	2.0081270E+06	1.0364813E+00	1.9439040E+06	3.4947584E+01	6.5050527E+04
36	2.1709973E+02	2.0069780E+06	1.0369587E+00	1.9344370E+06	3.4931702E+01	5.7955699E+04
37	2.2009975E+02	2.0059320E+06	1.0441723E+00	1.9202040E+06	4.0090805E+01	5.1119598E+04
38	2.2309976E+02	2.0050240E+06	1.0613422E+00	1.8884160E+06	4.5218872E+01	4.4272961E+04
39	2.2609978E+02	2.0042560E+06	1.0613422E+00	1.8884160E+06	5.7405930E+01	3.7574301E+04
40	2.2909979E+02	2.0036280E+06	1.0646811E+00	1.8819040E+06	6.6463593E+01	3.0842969E+04
41	2.3209978E+02	2.0031350E+06	1.1020956E+00	1.8175690E+06	8.5059616E+01	2.4134359E+04
42	2.3509975E+02	2.0027870E+06	1.3498268E+00	1.4837360E+06	1.3633202E+02	1.7266496E+04
43	2.3884976E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
44	2.4259973E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
45	2.4634975E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
46	2.5009976E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
47	2.5384973E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
48	2.5759973E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
49	2.6134973E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
50	2.6509973E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

***** PAGE= 24

***** HFP (G1,G2)=(521,521) MM OUT 100 PCNT REFERENCE

*** DETAILS OF THE 5-TH ASSEMBLY *** NO.1

* CHANNEL HEAT PRODUCT 351.38 KCAL/SEC
 * RATE TO CORE AVE. 1.3074

REGION	HEIGHT (M)	HEAT (KC/S)	NORM. TO CHAN. AVE.	NORM. CORE AVE.	(KC/S.M2)	(KC/S)	REGION
K=19	2.3510	5.50	0.2975	0.3889	88.16	346.10	K=19
K=18	2.2910	8.89	0.4805	0.6283	142.42	340.60	K=18
K=17	2.2310	11.85	0.6409	0.8380	189.95	331.72	K=17
K=16	2.1710	14.26	0.7712	1.0083	236.44	319.86	K=16
K=15	2.1130	15.89	0.8594	1.1237	254.72	305.60	K=15
K=14	2.0530	15.35	0.8302	1.0854	1135.53	289.71	K=14
K=13	2.0400	14.96	0.8087	1.0573	575.24	274.36	K=13
K=12	2.0150	16.88	0.9125	1.1930	253.53	259.40	K=12
K=11	1.9510	18.78	1.0154	1.3276	282.14	242.52	K=11
K=10	1.8870	20.89	1.1298	1.4772	313.92	223.75	K=10
K=9	1.8230	22.76	1.2307	1.6090	364.73	202.85	K=9
K=8	1.7630	24.20	1.3087	1.7110	363.62	180.09	K=8
K=7	1.6990	23.28	1.2589	1.6460	589.12	155.89	K=7
K=6	1.6610	25.80	1.3948	1.8236	413.38	132.61	K=6
K=5	1.6010	25.86	1.3982	1.8281	401.02	106.81	K=5
K=4	1.5390	24.58	1.3291	1.7377	393.90	80.95	K=4
K=3	1.4790	22.13	1.1966	1.5644	332.46	56.38	K=3
K=2	1.4150	18.89	1.0214	1.3355	259.48	34.25	K=2
K=1	1.3450	15.36	0.8303	1.0856	434.27	15.36	K=1
	1.3110				0.0	0.0	

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0

NORMALIZED TO CHANNEL AVE.

***** HFP (G1,G2)=(521,521) MM OUT 100 PCNT REFERENCE

*** DETAILS OF THE 5-TH ASSEMBLY *** NO.2

* COOLANT FLOW 13.984 KG/SEC

* VARIATION FROM INLET TO EXIT

VELOCITY (M/S)	ENTHALPY (KC/KG)	QUALITY	DENSITY (KG/M3)	TEMP FR.	TEMP FR.	DENSITY (KG/M3)
OUTLET 1.0985	304.26	-0.13581	743.64	287.4980	287.50	743.64
INLET 1.0469	279.51	-0.14367	747.34	285.6221	267.80	779.56

REGION	HEIGHT (M)	ENTHALPY (KC/KG)	QUALITY	TEMP FR.	DENSITY (KG/M3)	TEMP DISTRIBUTION
K=20	2.3510	304.26	-0.13581	287.4980	743.64	
K=19	2.2910	303.87	-0.13639	287.3594	743.92	*
K=18	2.2310	303.23	-0.13810	286.9521	744.73	*
K=17	2.1710	302.38	-0.14057	286.3643	745.89	*
K=16	2.1130	301.36	-0.14367	285.6221	747.34	*
K=15	2.0530	300.23	-0.14728	284.7566	749.03	*
K=14	2.0400	299.13	-0.15097	283.8682	750.75	*
K=13	2.0150	298.06	-0.15451	283.0144	752.39	*
K=12	1.9510	296.85	-0.15828	282.1038	754.12	*
K=11	1.8870	295.51	-0.16249	281.0811	756.05	*
K=10	1.8230	294.02	-0.16718	279.9368	758.19	*
K=9	1.7630	292.39	-0.17235	278.6716	760.52	*
K=8	1.6990	290.66	-0.17796	277.2954	763.04	*
K=7	1.6610	289.00	-0.18350	275.9263	765.51	*
K=6	1.6010	287.15	-0.18936	274.4751	768.09	*
K=5	1.5390	285.30	-0.19549	272.9468	770.78	*
K=4	1.4790	283.54	-0.20148	271.4480	773.38	*
K=3	1.4150	281.96	-0.20702	270.0549	775.77	*
K=2	1.3450	280.61	-0.21188	268.8286	777.84	*
K=1	1.3110	279.51	-0.21592	267.8025	779.56	*

260 264 268 272 276 280 284

K	ZDNB	QBUE	F	QBN	DNBR	
1	1.0484996E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	1.0859993E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	1.1236995E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	1.1609996E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	1.1984993E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	1.2359995E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	1.2736996E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	1.3109996E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	1.3450000E+02	2.2011000E+06	9.6368742E-01	2.2840390E+06	7.1363641E+00	2.7205912E+05
10	1.3799998E+02	2.1933510E+06	9.7636139E-01	2.2464540E+06	6.7206907E+00	3.0875387E+05
11	1.4149997E+02	2.1842940E+06	9.8972058E-01	2.2069800E+06	5.9676857E+00	3.6150919E+05
12	1.4469994E+02	2.1756150E+06	9.8868769E-01	2.2005080E+06	5.4900894E+00	3.7952437E+05
13	1.4789995E+02	2.1663470E+06	9.9006206E-01	2.1880920E+06	5.2154446E+00	4.0610251E+05
14	1.5089992E+02	2.1572120E+06	9.9205250E-01	2.1744930E+06	4.9266624E+00	4.2781219E+05
15	1.5389990E+02	2.1477310E+06	9.9463177E-01	2.1593220E+06	4.7603722E+00	4.4485069E+05
16	1.5699991E+02	2.1377140E+06	9.9702704E-01	2.1440880E+06	4.7735081E+00	4.5881294E+05
17	1.6009991E+02	2.1275810E+06	9.9955702E-01	2.1285230E+06	4.6122293E+00	4.6225069E+05
18	1.6309993E+02	2.1178080E+06	1.0026779E+00	2.1121510E+06	4.5699587E+00	4.6159931E+05
19	1.6609995E+02	2.1082110E+06	1.0150795E+00	2.0768920E+06	4.7179384E+00	4.5428250E+05
20	1.6989992E+02	2.0971730E+06	9.9488491E-01	2.1079550E+06	4.9994183E+00	4.1364400E+05
21	1.7309988E+02	2.0874460E+06	1.0078735E+00	2.0846790E+06	4.8499136E+00	4.3367894E+05
22	1.7629985E+02	2.0779190E+06	1.0066423E+00	2.0616870E+06	5.0164909E+00	4.2568156E+05
23	1.7929987E+02	2.0693080E+06	1.0090342E+00	2.0425240E+06	4.9050083E+00	4.1135019E+05
24	1.8229988E+02	2.0610180E+06	1.0122204E+00	2.0277880E+06	5.6138067E+00	3.7991506E+05
25	1.8549985E+02	2.0525680E+06	1.0138741E+00	2.0165550E+06	5.8495207E+00	3.6198737E+05
26	1.8869986E+02	2.045330E+06	1.0115061E+00	2.0137820E+06	5.7425432E+00	3.4224419E+05
27	1.9189986E+02	2.0369530E+06	1.0152702E+00	1.9992450E+06	6.2084961E+00	3.2656231E+05
28	1.9509987E+02	2.0297740E+06	1.0152702E+00	1.9859340E+06	6.4576206E+00	3.0759056E+05
29	1.9829987E+02	2.0229830E+06	1.0243015E+00	1.9687140E+06	7.0268927E+00	2.9163369E+05
30	2.0149983E+02	2.0165570E+06	9.9408850E-01	1.9559980E+06	6.8878489E+00	2.6557394E+05
31	2.0529985E+02	2.0095600E+06	9.6780324E-01	1.940850E+06	6.203769E+00	2.7253069E+05
32	2.0829982E+02	2.0036630E+06	1.0017576E+00	1.923470E+06	6.4477339E+00	2.8644887E+05
33	2.1129980E+02	1.9979540E+06	1.0176268E+00	1.9633470E+06	7.4229774E+00	2.7765469E+05
34	2.1419978E+02	1.9927510E+06	1.0176373E+00	1.9582130E+06	7.3632507E+00	2.6226987E+05
35	2.1709973E+02	1.9879190E+06	1.0272961E+00	1.9530990E+06	8.0525923E+00	2.4386081E+05
36	2.2009975E+02	1.9833670E+06	1.0276117E+00	1.9300740E+06	8.6401377E+00	2.2244650E+05
37	2.2309976E+02	1.9793150E+06	1.0494509E+00	1.8860480E+06	1.0780765E+01	1.9819137E+05
38	2.2609978E+02	1.9758040E+06	1.0628119E+00	1.8590350E+06	1.3182403E+01	1.7188050E+05
39	2.2909979E+02	1.9728790E+06	1.0697803E+00	1.8441900E+06	1.5019247E+01	1.4369644E+05
40	2.3209978E+02	1.9705600E+06	1.0965500E+00	1.7970550E+06	1.6968338E+01	1.1357556E+05
41	2.3509975E+02	1.9689020E+06	1.3387241E+00	1.4707300E+06	2.6012299E+01	8.1635562E+04
42	2.3849976E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
43	2.4259973E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
44	2.4636975E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
45	2.5009976E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
46	2.5384973E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
47	2.5759973E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
48	2.6134973E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
49	2.6509973E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
50	2.6509973E+02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

PAGE= 32

***** HFP (G1,G2)=(521,521) MM OUT 100 PCNT REFERENCE

*** CORE MAP OF SOME CHARACTERISTIC VALUES ***

CHANNEL NUMBER
 CHANNEL FLOW (KG/SEC)
 CHANNEL HEAT RATE TO CORE AVERAGE
 AXIAL PEAKING AND ITS OCCURED REGION
 DNBR AND ITS OCCURED REGION
 CHANNEL EXIT TEMPERATURE

↑ W N
 ↓ SS
 ↑ SPEAK(K)
 ↓ DNBR (K)
 ↑ TEMP
 ↓

1	1	2	3
13.984	13.984	13.984	13.984
1.118	1.177	1.177	0.882
2.061 (5)	1.656 (5)	1.373 (6)	1.373 (6)
3.637 (5)	4.344 (4)	6.908 (5)	6.908 (5)
284.212	285.361	281.102	281.102
4	5	6	
13.984	13.984	13.984	
1.177	1.307	0.729	
1.656 (5)	1.398 (5)	1.317 (6)	
4.316 (6)	4.570 (6)	8.830 (9)	
285.361	287.498	278.798	
7	8		
13.984	13.984		
0.882	0.729		
1.573 (6)	1.317 (6)		
7.058 (6)	8.791 (8)		
281.102	278.798		

GROSS PEAKING 2.303 (1-ST ASSEMBLY, 5-TH REGION)

DNBR 3.637 (1-ST ASSEMBLY, 5-TH REGION)

OUTLET TEMPERATURE 281.498
 INLET TEMPERATURE 267.359

***** HFP (G1,G2)=(521,521) MM OUT 100 PCNT REFERENCE

FLUX AND SOURCE DISTRIBUTION

EIGEN VALUE 1.0009966

CHANNEL NO. BLOCK NO.	1 SOURCE	FLUX-1G	FLUX-2G	FLUX-3G
1	0.13259E+01	0.18574E+02	0.88628E+01	0.80058E+01
2	0.16858E+01	0.29079E+02	0.13539E+02	0.93949E+01
3	0.20096E+01	0.37730E+02	0.17519E+02	0.11249E+02
4	0.22226E+01	0.42124E+02	0.19578E+02	0.12434E+02
5	0.23035E+01	0.43824E+02	0.20377E+02	0.12898E+02
6	0.22296E+01	0.42774E+02	0.19968E+02	0.12473E+02
7	0.19240E+01	0.40061E+02	0.18915E+02	0.10819E+02
8	0.18571E+01	0.35972E+02	0.16839E+02	0.10388E+02
9	0.13925E+01	0.28804E+02	0.13392E+02	0.76751E+01
10	0.82519E+00	0.20725E+02	0.91384E+01	0.43373E+01
11	0.56796E+00	0.14785E+02	0.64444E+01	0.29558E+01
12	0.42079E+00	0.10999E+02	0.48066E+01	0.21850E+01
13	0.32779E+00	0.91400E+01	0.40283E+01	0.17076E+01
14	0.31868E+00	0.84732E+01	0.37486E+01	0.16870E+01
15	0.30357E+00	0.73361E+01	0.32454E+01	0.16130E+01
16	0.24502E+00	0.58422E+01	0.25824E+01	0.13072E+01
17	0.19002E+00	0.45238E+01	0.20004E+01	0.10139E+01
18	0.13629E+00	0.32368E+01	0.14336E+01	0.72718E+00
19	0.82469E-01	0.19444E+01	0.87664E+00	0.43934E+00

CHANNEL NO. BLOCK NO.	2 SOURCE	FLUX-1G	FLUX-2G	FLUX-3G
1	0.11163E+01	0.15805E+02	0.75318E+01	0.67258E+01
2	0.14104E+01	0.24657E+02	0.11471E+02	0.80003E+01
3	0.16786E+01	0.31949E+02	0.14824E+02	0.93592E+01
4	0.18636E+01	0.35792E+02	0.16623E+02	0.10383E+02
5	0.19488E+01	0.37562E+02	0.17451E+02	0.10865E+02
6	0.16942E+01	0.37284E+02	0.17385E+02	0.10683E+02
7	0.19182E+01	0.35751E+02	0.16852E+02	0.94790E+01
8	0.17106E+01	0.33528E+02	0.15652E+02	0.95290E+01
9	0.14580E+01	0.29519E+02	0.13709E+02	0.80702E+01
10	0.11337E+01	0.24928E+02	0.11298E+02	0.61659E+01
11	0.95733E+00	0.21281E+02	0.96139E+01	0.51962E+01
12	0.83457E+00	0.18597E+02	0.84327E+01	0.45259E+01
13	0.72174E+00	0.17084E+02	0.78208E+01	0.39444E+01
14	0.73131E+00	0.16509E+02	0.75772E+01	0.40528E+01
15	0.74923E+00	0.15438E+02	0.70528E+01	0.41509E+01
16	0.66518E+00	0.13501E+02	0.61496E+01	0.36883E+01
17	0.54728E+00	0.11126E+02	0.50682E+01	0.30447E+01
18	0.40856E+00	0.82828E+01	0.37795E+01	0.22733E+01
19	0.25079E+00	0.50752E+01	0.23573E+01	0.13911E+01

CHANNEL NO. BLOCK NO.	3 SOURCE	FLUX-1G	FLUX-2G	FLUX-3G
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				

LEAKAGE DISTRIBUTION

CHANNEL NO. BLOCK NO.	1 LZ-1G	LZ-2G	LZ-3G	LXY-1G	LXY-2G	LXY-3G	POWER
1	0.18022E-01	0.18725E-02	-0.27037E-01	0.95927E-02	-0.92847E-03	-0.10566E-01	0.13284E+01
2	0.53968E-02	0.23268E-02	0.37640E-03	0.73818E-02	-0.10558E-02	-0.69621E-02	0.16868E+01
3	0.30769E-02	0.14092E-02	-0.19014E-03	0.72082E-02	-0.12231E-02	-0.81434E-02	0.20097E+01
4	0.28074E-02	0.12341E-02	0.52303E-03	0.12341E-02	-0.12678E-02	-0.81422E-02	0.52222E+01
5	0.28640E-02	0.11941E-02	0.59277E-03	0.70170E-02	-0.13287E-02	-0.82066E-02	0.23035E+01
6	0.28323E-02	0.99081E-03	0.15847E-02	0.67695E-02	-0.14383E-02	-0.82305E-02	0.22295E+01
7	0.12469E-02	0.14623E-02	-0.34416E-02	0.61151E-02	-0.14492E-02	-0.10417E-01	0.19233E+01
8	0.34934E-02	0.15431E-02	0.26059E-02	0.58872E-02	-0.18402E-02	-0.85241E-02	0.18569E+01
9	0.19072E-02	0.13563E-02	0.13563E-02	0.43123E-02	-0.16787E-02	-0.20965E-04	0.13918E+01
10	-0.58847E-02	-0.47085E-02	-0.59930E-02	0.36584E-02	0.99794E-02	0.28843E-01	0.82349E+00
11	-0.60294E-02	-0.28681E-02	-0.15086E-02	0.24534E-02	0.93458E-02	0.28810E-01	0.56662E+00
12	-0.49400E-02	-0.23581E-02	-0.10592E-03	0.12490E-02	0.87186E-02	0.28674E-01	0.41980E+00
13	-0.48810E-02	-0.16803E-02	-0.81491E-02	0.50772E-03	0.83614E-02	0.27339E-01	0.32696E+00
14	-0.55987E-02	-0.27478E-03	-0.16844E-02	0.56526E-03	0.83941E-02	0.27448E-01	0.31802E+00
15	-0.25981E-02	-0.11719E-02	-0.17684E-02	-0.74741E-04	0.79388E-02	0.28149E-01	0.30309E+00
16	-0.11555E-02	-0.57065E-03	-0.15432E-03	-0.93523E-03	0.74658E-02	0.27910E-01	0.24467E+00
17	-0.42580E-03	-0.20713E-03	-0.94771E-04	-0.15830E-02	0.71172E-02	0.27817E-01	0.18976E+00
18	0.11367E-03	-0.63002E-04	0.75698E-05	-0.20074E-02	0.68819E-02	0.27554E-01	0.13610E+00
19	0.64580E-03	-0.15146E-02	0.15925E-02	-0.22216E-02	0.67688E-02	0.27823E-01	0.82366E-01

CHANNEL NO. BLOCK NO.	2 LZ-1G	LZ-2G	LZ-3G	LXY-1G	LXY-2G	LXY-3G	POWER
1	0.18484E-01	0.20244E-02	-0.27316E-01	0.83630E-02	-0.82759E-03	-0.94116E-02	0.11183E+01
2	0.53953E-02	0.23299E-02	0.33230E-03	0.65871E-02	-0.81212E-03	-0.53227E-02	0.14111E+01
3	0.28574E-02	0.13116E-02	-0.24623E-03	0.66813E-02	-0.85906E-03	-0.62929E-02	0.16785E+01
4	0.25343E-02	0.11176E-02	0.47106E-03	0.66326E-02	-0.87292E-03	-0.62624E-02	0.18634E+01
5	0.24926E-02	0.10355E-02	0.52226E-03	0.66172E-02	-0.88549E-03	-0.62813E-02	0.19486E+01
6	0.22601E-02	0.74214E-03	0.16942E-02	0.65518E-02	-0.90007E-03	-0.62344E-02	0.19180E+01
7	0.48946E-03	0.11443E-02	-0.36248E-02	0.61103E-02	-0.83733E-03	-0.82842E-02	0.16935E+01
8	0.22292E-02	0.76365E-03	0.19451E-02	0.64028E-02	-0.92814E-03	-0.62166E-02	0.17104E+01
9	0.10484E-02	0.10620E-02	0.75638E-03	0.60704E-02	-0.64219E-03	-0.18340E-01	0.14575E+01
10	-0.22710E-02	-0.18486E-02	-0.20639E-02	0.55733E-02	0.45439E-02	0.88573E-02	0.11327E+01
11	-0.18245E-02	-0.87714E-03	-0.40776E-03	0.47119E-02	0.39519E-02	0.81900E-02	0.95645E+00
12	-0.13966E-02	-0.83542E-03	0.56660E-03	0.42514E-02	0.36619E-02	0.79334E-02	0.83385E+00
13	-0.18990E-02	-0.28574E-03	-0.70961E-02	0.38622E-02	0.35219E-02	0.57234E-02	0.72103E+00
14	-0.21480E-02	0.10338E-02	-0.13111E-02	0.37860E-02	0.35691E-02	-0.65378E-02	0.73087E+00
15	0.61358E-03	0.16502E-03	0.21559E-02	0.38799E-02	0.33270E-02	0.78386E-02	0.74909E+00
16	0.13821E-02	0.59903E-03	0.39685E-03	0.37536E-02	0.32143E-02	0.75912E-02	0.66315E+00
17	0.15730E-02	0.73099E-03	0.34809E-03	0.36755E-02	0.31626E-02	0.75311E-02	0.54728E+00
18	0.17735E-02	0.71734E-03	0.40084E-03	0.36486E-02	0.31363E-02	0.75076E-02	0.40858E+00
19	0.19184E-02	-0.65207E-03	0.26282E-02	0.36182E-02	0.30797E-02	0.75391E-02	0.25081E+00

CHANNEL NO. BLOCK NO.	3 LZ-1G	LZ-2G	LZ-3G	LXY-1G	LXY-2G	LXY-3G	POWER
1	0.19041E-01	0.17154E-02	-0.34895E-01	0.13174E-01	0.45365E-03	-0.94830E-02	0.69256E+00
2	0.52396E-02	0.23051E-02	0.17506E-03	0.10305E-01	0.27269E-03	-0.63305E-02	0.85994E+00

***** HPP (G1,G2)=(521,521) MM OUT 100 PCNT REFERENCE

Z- DIRECTIONAL FLUX DISTRIBUTION

***** CHANNEL NO. 1 *****

POSITION	SOURCE	1G-FLUX	2G-FLUX	3G-FLUX
50	162.124756	0.1517276E-01	0.7848658E-02	0.2776587E-02
49	158.374756	0.4870748E-01	0.2518331E-01	0.8908086E-02
48	154.624756	0.9248006E-01	0.4776013E-01	0.1689048E-01
47	150.874756	0.1556913E+00	0.8022821E-01	0.2836343E-01
46	147.124756	0.2516274E+00	0.1291498E+00	0.4564970E-01
45	143.374756	0.4004536E+00	0.2040839E+00	0.7224524E-01
44	139.624756	0.6334518E+00	0.3187804E+00	0.1141301E+00
43	135.874756	0.9995961E+00	0.4918175E+00	0.1867006E+00
42	132.499771	0.1617976E+01	0.7404104E+00	0.3657231E+00
41	129.499802	0.2270921E+01	0.1012868E+01	0.5129536E+00
40	126.499817	0.2915785E+01	0.1592518E+01	0.6557167E+00
39	123.499802	0.3557902E+01	0.1574632E+01	0.7986482E+00
38	120.499786	0.4198230E+01	0.1856699E+01	0.9411420E+00
37	117.499771	0.4849465E+01	0.2144158E+01	0.1086577E+01
36	114.549774	0.5502817E+01	0.2452229E+01	0.1232020E+01
35	111.649796	0.6181581E+01	0.2732518E+01	0.1382448E+01
34	108.699829	0.6915114E+01	0.3057570E+01	0.1538669E+01
33	105.699860	0.7757011E+01	0.3433319E+01	0.1687415E+01
32	103.549850	0.8732200E+01	0.3748621E+01	0.187032E+01
31	101.649857	0.9813996E+01	0.402833E+01	0.1707575E+01
30	98.799881	0.4508795E+00	0.4283644E+01	0.2026129E+01
29	95.599884	0.5220872E+00	0.5129533E+01	0.2343957E+01
28	92.399887	0.6138313E+00	0.6268146E+02	0.2716028E+01
27	89.199890	0.7341048E+00	0.7750077E+01	0.216028E+01
26	85.999893	0.9162800E+00	0.9950077E+01	0.3195621E+01
25	79.699875	0.1515066E+01	0.8261151E+01	0.3834495E+01
24	76.699875	0.1778189E+01	0.1001569E+02	0.4840042E+01
23	73.599899	0.1935994E+01	0.1241071E+02	0.626853E+01
22	70.599948	0.1265990E+01	0.1437382E+02	0.8583268E+01
21	66.899963	0.1924026E+01	0.1610410E+02	0.9948645E+01
20	63.499954	0.2188477E+01	0.1757403E+02	0.1082787E+02
19	60.499939	0.2270708E+01	0.1891528E+02	0.1081862E+02
18	57.449936	0.2307341E+01	0.1972377E+02	0.1222641E+02
17	54.349930	0.2299625E+01	0.2021211E+02	0.1271892E+02
16	51.299942	0.2260845E+01	0.2042302E+02	0.1291772E+02
15	48.299973	0.2184312E+01	0.2033075E+02	0.1287731E+02
14	45.199997	0.2078989E+01	0.1992528E+02	0.1264682E+02
13	42.000000	0.1940162E+01	0.1821307E+02	0.1222153E+02
12	38.650009	0.1824653E+01	0.1684417E+02	0.1162489E+02
11	35.150024	0.1546934E+01	0.1491209E+02	0.1087290E+02
10	31.700012	0.1325868E+01	0.1216652E+02	0.1034612E+02
9	28.125000	0.0	0.8862770E+01	0.8005765E+01
8	24.375000	0.0	0.5224257E+01	0.1630992E+02
7	20.625000	0.0	0.2897003E+01	0.1356445E+02
6	16.875000	0.0	0.1561823E+01	0.9041147E+01
5	13.125000	0.0	0.8300360E+00	0.5463818E+01
4	9.375000	0.0	0.4359064E+00	0.3115246E+01
3	5.625000	0.0	0.2235292E+00	0.1682862E+01
2	1.875000	0.0	0.1047931E+00	0.8155421E+00
1	0.0	0.4893405E-01	0.3060332E-01	0.2418945E+00

TOP

***** HFP (G1,G2)=(521,521) MM OUT 100 PCNT REFERENCE

Z- DIRECTIONAL FLUX DISTRIBUTION

POSITION	SOURCE	1G-FLUX	2G-FLUX	3G-FLUX
50	162.124756	0.5066779E-01	0.2611756E-01	0.9240393E-02
49	158.374756	0.1620113E+00	0.8381140E-01	0.2965045E-01
48	154.624756	0.3076082E+00	0.1589942E+00	0.5626077E-01
47	150.874756	0.5178617E+00	0.2672283E+00	0.9451514E-01
46	147.124756	0.8369651E+00	0.4306090E+00	0.1523684E+00
45	143.374756	0.1331991E+01	0.6818723E+00	0.2421305E+00
44	139.624756	0.2106591E+01	0.1068200E+01	0.3873121E+00
43	135.874756	0.3324862E+01	0.1657645E+01	0.6611720E+00
42	132.499771	0.5378625E+01	0.2520391E+01	0.1945625E+01
41	129.499802	0.7493955E+01	0.3427476E+01	0.1393204E+01
40	126.499817	0.9509790E+01	0.4321098E+01	0.1945625E+01
39	123.499802	0.1140913E+02	0.5175204E+01	0.2460862E+01
38	120.499786	0.1317561E+02	0.5971617E+01	0.2947257E+01
37	117.499771	0.1479276E+02	0.6703171E+01	0.3399108E+01
36	114.549774	0.1621983E+02	0.7349302E+01	0.3814913E+01
35	111.649796	0.1744931E+02	0.7910806E+01	0.4182000E+01
34	108.699829	0.1851186E+02	0.8406178E+01	0.4496946E+01
33	105.699860	0.1936885E+02	0.885347E+01	0.475034E+01
32	103.549850	0.1989555E+02	0.9118982E+01	0.4884116E+01
31	101.649857	0.2035454E+02	0.9316571E+01	0.4658345E+01
30	98.799881	0.2116766E+02	0.9618416E+01	0.4472123E+01
29	95.599884	0.2221715E+02	0.1006052E+02	0.4869201E+01
28	92.399887	0.2339944E+02	0.1058293E+02	0.5146132E+01
27	89.199890	0.2465884E+02	0.1114890E+02	0.5431289E+01
26	85.999893	0.2599445E+02	0.1175661E+02	0.5728571E+01
25	82.799896	0.2726231E+02	0.1232901E+02	0.6060467E+01
24	79.699890	0.2841603E+02	0.1284631E+02	0.6362011E+01
23	76.699875	0.2943768E+02	0.1331309E+02	0.6642728E+01
22	73.599899	0.3038503E+02	0.1376442E+02	0.6887922E+01
21	70.399948	0.3113336E+02	0.1415198E+02	0.7123624E+01
20	66.899963	0.3177998E+02	0.1456835E+02	0.7241091E+01
19	63.499954	0.3243294E+02	0.1491902E+02	0.6919020E+01
18	60.499959	0.3271497E+02	0.151984E+02	0.7579350E+01
17	57.449936	0.3264638E+02	0.1474525E+02	0.7722098E+01
16	54.349930	0.3217499E+02	0.1477316E+02	0.7731894E+01
15	51.299942	0.3131604E+02	0.1455369E+02	0.7625861E+01
14	48.299973	0.3009437E+02	0.1416572E+02	0.7436801E+01
13	45.199997	0.2845120E+02	0.1361178E+02	0.7153491E+01
12	42.000000	0.2636319E+02	0.1286616E+02	0.6787583E+01
11	38.650009	0.2366236E+02	0.1190440E+02	0.6359782E+01
10	35.150024	0.1927423E+02	0.1062503E+02	0.6152748E+01
9	31.700012	0.1387747E+02	0.8739488E+01	0.5303767E+01
8	28.125000	0.6878699E+01	0.6427662E+01	0.4974188E+01
7	24.375000	0.3621584E+01	0.3854487E+01	0.1168735E+02
6	20.625000	0.1903877E+01	0.2152152E+01	0.9923882E+01
5	16.875000	0.1001344E+01	0.1163817E+01	0.6670874E+01
4	13.125000	0.5229996E+00	0.6193960E+00	0.4049750E+01
3	9.375000	0.2672527E+00	0.3255047E+00	0.2315235E+01
2	5.625000	0.1252535E+00	0.1668200E+00	0.1252790E+01
1	1.875000	0.3656374E-01	0.7828873E-01	0.6077215E+00
			0.2286588E-01	0.1803337E+00

TOP

C.2 LOCAL-FINEのサンプル出力

***** LOCAL-FINE CALC. FOR MUTSU HFP (G1,G2)=(521,521)

PAGE= 7

**** CALCULATION SYSTEM ****

NO. OF CHANNELS IN X-DIRECTION 15
 NO. OF CHANNELS IN Y-DIRECTION 15
 NO. OF CHANNELS IN X-Y PLANE 29
 NO. OF DIVISIONS IN THE REFLECTOR (Z) 0

NO. OF BLOCKS IN Z-DIRECTION 1
 NO. OF DIVISIONS IN ONE BLOCK (Z)

10

NO. OF CONTROL RODS 0

**** GEOMETRY ****

LENGTH OF THE REFLECTOR (Z) 0.0 CM

LENGTH OF ONE BLOCK IN Z-DIRECTION

6.10000

PAGE= 11

***** LOCAL-FINE CALC. FOR MUTSU HFP (G1,G2)=(521,521)

SOURCE ITERATION OF 3-DIM OUTER IT.

POWER-VOID IT.	SOURCE IT.	MAX LAMBDA	LAMBDA	MIN LAMBDA
1	1	0.90351391E+00	0.10230541E+01	0.89697897E+00
1	2	0.10077782E+01	0.10075233E+01	0.10063171E+01
1	3	0.10077038E+01	0.10072384E+01	0.10070696E+01
1	4	0.10072460E+01	0.10071392E+01	0.10068884E+01
1	5	0.10071917E+01	0.10070038E+01	0.10068836E+01
1	6	0.10070343E+01	0.10069027E+01	0.10067692E+01
1	7	0.10069780E+01	0.10068932E+01	0.10067787E+01

OUTER ITERATION NOT CONVERGED AT 8 TIMES

***** LOCAL-FINE CALC. FOR MUTSU HFP (G1,G2)=(521,521)

FLUX AND SOURCE DISTRIBUTION

EIGEN VALUE 1.0068932

CHANNEL NO.	1				
BLOCK NO.	1	SOURCE	FLUX-1G	FLUX-2G	FLUX-3G
		0.10949E+01	0.17181E+02	0.83465E+01	0.57097E+01

CHANNEL NO.	2				
BLOCK NO.	1	SOURCE	FLUX-1G	FLUX-2G	FLUX-3G
		0.10439E+01	0.16476E+02	0.79663E+01	0.54404E+01

CHANNEL NO.	3				
BLOCK NO.	1	SOURCE	FLUX-1G	FLUX-2G	FLUX-3G
		0.99324E+00	0.15742E+02	0.76266E+01	0.51700E+01

CHANNEL NO.	4				
BLOCK NO.		SOURCE	FLUX-1G	FLUX-2G	FLUX-3G

***** LOCAL-FINE CALC. FOR MUTSU HFP (G1,G2)=(521,521) *****

Z- DIRECTIONAL FLUX DISTRIBUTION ***** CHANNEL NO. 1 *****

POSITION	SOURCE	1G-FLUX	2G-FLUX	3G-FLUX
1	0.305000	0.1087620E+01	0.1705464E+02	0.8281624E+01
2	0.915000	0.1091035E+01	0.1711221E+02	0.8309867E+01
3	1.524999	0.1093815E+01	0.1715868E+02	0.8332898E+01
4	2.134998	0.1095936E+01	0.1719402E+02	0.8350720E+01
5	2.744998	0.1097373E+01	0.1721826E+02	0.8363348E+01
6	3.354998	0.1098112E+01	0.1723140E+02	0.8370807E+01
7	3.964997	0.1098125E+01	0.1723347E+02	0.8373140E+01
8	4.574997	0.1097388E+01	0.1722450E+02	0.8370399E+01
9	5.184997	0.1095869E+01	0.1720451E+02	0.8362652E+01
10	5.794996	0.1093521E+01	0.1717358E+02	0.8349979E+01

PAGE= 43

***** LOCAL-FINE CALC. FOR MUTSU HFP (G1,G2)=(521,521)

POINT POWER DISTRIBUTION AT LAYER 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.0	1.144E+00	1.116E+00	1.100E+00	1.090E+00	1.083E+00	1.078E+00	1.075E+00	1.078E+00	1.090E+00	0.0
2	1.144E+00	1.071E+00	1.039E+00	1.022E+00	1.012E+00	1.004E+00	1.001E+00	9.996E-01	1.004E+00	1.022E+00	1.079E+00
3	1.116E+00	1.039E+00	1.004E+00	9.862E-01	9.747E-01	0.0	9.640E-01	9.646E-01	9.705E-01	9.929E-01	1.055E+00
4	1.100E+00	1.022E+00	9.862E-01	9.683E-01	9.577E-01	9.502E-01	9.474E-01	9.475E-01	9.541E-01	9.779E-01	1.041E+00
5	1.090E+00	1.012E+00	9.747E-01	9.577E-01	9.477E-01	9.406E-01	9.377E-01	9.374E-01	9.436E-01	9.687E-01	1.032E+00
6	1.083E+00	1.004E+00	0.0	9.502E-01	9.406E-01	0.0	9.308E-01	9.305E-01	0.0	9.622E-01	1.026E+00
7	1.078E+00	1.001E+00	9.641E-01	9.474E-01	9.378E-01	9.308E-01	9.283E-01	9.282E-01	9.345E-01	9.595E-01	1.022E+00
8	1.076E+00	9.998E-01	9.647E-01	9.476E-01	9.375E-01	9.306E-01	9.282E-01	9.288E-01	9.357E-01	9.592E-01	1.020E+00
9	1.078E+00	1.004E+00	9.707E-01	9.543E-01	9.437E-01	0.0	9.346E-01	9.358E-01	9.422E-01	9.642E-01	1.023E+00
10	1.090E+00	1.023E+00	9.930E-01	9.781E-01	9.689E-01	9.623E-01	9.596E-01	9.593E-01	9.642E-01	9.826E-01	1.036E+00
11	0.0	1.079E+00	1.055E+00	1.041E+00	1.032E+00	1.026E+00	1.022E+00	1.020E+00	1.023E+00	1.036E+00	0.0