

JAERI-M
88-154

高温工学試験研究炉の
炉心内流量配分計画と評価

1988年8月

丸山 創・藤本 望・木曾 芳広*
村上 知行*・多喜川 昇**・早川 均*
数土 幸夫

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）
あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城
県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

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

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1988

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 日立高速印刷株式会社

高温工学試験研究炉の炉心内流量配分計画と評価

日本原子力研究所大洗研究所高温工学試験研究炉設計室

丸山 創・藤本 望・木曾 芳広*・村上 知行*

多喜川 昇**・早川 均*・数土 幸夫

(1988年7月22日受理)

本報は、現在日本原子力研究所が計画している熱出力30MW、原子炉出口冷却材温度950℃、圧力40kg/cm²gの高温工学試験研究炉の、炉心熱流設計の基礎となる炉心内流量配分計画と評価の結果を解析用データとともにまとめたものである。

高温工学試験研究炉の炉心は、黒鉛ブロックを積み重ねた積層構造となっており、燃料体ブロック及び制御棒案内ブロック内の計画された流路以外に冷却材の流れる流路が構成される。炉心熱流設計では、炉心の有効な冷却の確保のため、このような計画外の流量を極力低減し、冷却材出口温度950℃達成のため適切な流量配分を定めている。

Design and Evaluation of Core Flow Distribution in
High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR)

Soh MARUYAMA, Nozomu FUJIMOTO, Yoshihiro KISO*
Tomoyuki MURAKAMI*, Noboru TAKIKAWA**
Hitoshi HAYAKAWA* and Yukio SUDO

HTTR Designing Laboratory
Oarai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received July 22, 1988)

The Japan Atomic Energy Research Institute is planning the Construction of High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR) which is 30 MW in thermal power, 950°C of reactor outlet coolant temperature and 40 kg/cm² of coolant pressure. This report summarizes the results of design and evaluation of core flow distribution which is the basis of core thermal hydraulics in the HTTR along with the data base for the analysis of core flow distribution.

The core consists of integrated graphite blocks and has many flow paths between blocks which are not available to effective cooling for fuel, fuel blocks and control rod guide blocks in the core. Therefore, the proper core flow distribution was determined for achievement of 950°C reactor outlet coolant temperature by the reduction of the coolant flow which is not effective to the direct cooling of fuel, fuel blocks and control rod guide blocks.

Keywords: HTTR, Core Thermal Hydraulics, Core Flow Distribution, Data Base, Graphite Blocks, Fuel Blocks, 950°C, Reactor Outlet Coolant Temperature

* Fuji Electric Co., Ltd.

** KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES LTD.

目 次

1. 緒 言	1
2. 解析モデル及び解析方法	7
2.1 基準炉心	7
2.2 照射炉心	8
3. 解析用データの作成と評価	17
3.1 等価熱伝導率	17
3.1.1 解析条件	17
3.1.2 炉心内部燃料体の等価熱伝導率解析	19
3.1.3 炉心外周部燃料体の等価熱伝導率解析	20
3.1.4 等価熱伝導率の評価式	20
3.2 クロス流れ抵抗係数	21
3.2.1 クロス流れ抵抗係数の評価方法	22
3.2.2 評価式と実験結果との比較	24
3.2.3 クロス流れ抵抗係数評価式	25
3.3 クロス流れギャップ(ブロック変形量差)	26
3.3.1 ブロック変形解析条件	26
3.3.2 燃料チャンネル間温度分布	29
3.3.3 ブロック温度が725℃以上の場合	30
3.3.4 ブロック温度が725℃以下の場合	31
3.3.5 ブロック変形量評価式	32
3.3.6 高温プレナムブロックの傾斜によるギャップ量	33
3.3.7 クロス流れギャップの評価	33
3.4 カラム間ギャップ	34
3.4.1 解析条件	34
3.4.2 運転時の公称最小ギャップ幅	34
3.4.3 初期常温時のギャップ幅	36
3.4.4 カラム間ギャップ幅分布の算出	37
3.5 シール性能データ	38
3.5.1 高温プレナムブロックシール性能	38
3.5.2 固定反射体シール性能	40
3.6 冷却材流路に関する熱流動データ	41
3.6.1 燃料チャンネルの圧力損失係数及び熱伝達率	41
3.6.2 カラム間ギャップの流路における圧力損失係数及び熱伝達率	44
3.6.3 制御棒案内ブロック冷却チャンネルの熱伝達率と圧力損失係数	45

3.7	その他の1次元伝熱路データ等	45
4.	炉心内流量配分解析結果	116
4.1	基準炉心の解析結果	116
4.2	照射炉心の解析結果	116
5.	結 言	142
謝 辞		142
参考文献		142
付 録	ABAQUSによる熱変形量評価の検証	143

Contents

1. Introduction	1
2. Analytical model and analytical method	7
2.1 Standard core without irradiation fuels	7
2.2 Irradiation core with irradiation fuels	8
3. Preparation of analytical data base and validation of the data base	17
3.1 Equivalent thermal conductivity	17
3.1.1 Analytical conditions	17
3.1.2 Equivalent thermal conductivity analysis of fuel blocks except those located at the circumference of core	19
3.1.3 Equivalent thermal conductivity analysis of fuel blocks located at the circumference of core	20
3.1.4 Correlations for equivalent thermal conductivity	20
3.2 Pressure loss coefficient for cross flow between fuel blocks	21
3.2.1 Estimation method of pressure loss coefficient for cross flow	22
3.2.2 Comparison of correlations with the experimental results	24
3.2.3 Correlations for pressure loss coefficient	25
3.3 Estimation of cross flow gaps	26
(Deformation differences between blocks)	
3.3.1 Analytical conditions for block deformations	26
3.3.2 Temperature distribution among fuel channels	29
3.3.3 Case for block temperature equal to or higher than 725°C	30
3.3.4 Case for block temperature lower than 725°C	31
3.3.5 Estimation correlation of block deformation due to thermal and irradiant effects	32
3.3.6 Gap due to inclination of hot plenum blocks	33
3.3.7 Estimation of cross flow gaps	33
3.4 Gaps between columns	34
3.4.1 Analytical conditions	34
3.4.2 Nominal minimum gap width in operation	34

3.4.3	Initial gap width at room temperature	36
3.4.4	Calculation of gap width distribution between columns	37
3.5	Data base for leakage flow loss coefficient	38
3.5.1	Leakage flow loss coefficient for hot plenum blocks	38
3.5.2	Leakage flow loss coefficient for permanent reflector	40
3.6	Thermal hydraulic data base for coolant channel	41
3.6.1	Pressure loss coefficients and heat transfer coefficients for fuel channels	41
3.6.2	Pressure loss coefficients and heat transfer coefficients for channels between columns	44
3.6.3	Pressure loss coefficients and heat transfer coefficients for coolant channels in control rod guide blocks	45
3.7	Other data for one dimensional heat transfer channels	45
4.	Analytical results of in-core flow distributions	116
4.1	Analytical results for standard core without irradiation tests	116
4.2	Analytical results for irradiation test core	116
5.	Concluding remarks	142
	Acknowledgements	142
	References	142
	Appendix Verification of thermal deformation by ABAQUS code	143

1. 緒 言

本報は、現在日本原子力研究所で設計中の熱出力30 MW、原子炉出口冷却材温度 950℃、圧力 40 kg/cm²g の高温工学試験研究炉 (HTTR : High Temperature Engineering Test Reactor) の炉心熱流動設計の基礎となる炉心内流量配分計画と評価の結果を解析用データベースとともに示すものである。

高温工学試験研究炉の原子炉圧力容器の縦断面図を第 1.1 図に示す。また、炉心の断面図を第 1.2 図に示す。炉心領域は、両図に示すように六角柱状の黒鉛ブロックを積み重ねたカラムの集合体であり、燃料体30カラム及び制御棒案内ブロック7カラムの計37カラムから成る燃料領域と、この燃料領域を取り囲む可動反射体15カラム(うち3カラムは照射用)及び制御棒案内ブロック9カラムの総計61カラムから構成されている。

燃料領域の燃料体30カラムは、燃料体を5段積みし、その上下に可動反射体各2段積みにした構成となっており、最上段には上部遮蔽体を1段装荷している。燃料体は、その代表的なものを第 1.3 図に示すが、高さ 580 mm、面間距離 360 mm の黒鉛ブロックに燃料要素(燃料棒又は燃料球)を挿入し、冷却のための冷却材流路を確保したものである。

1次冷却材(40 kg/cm²g のヘリウムガス)は、炉容器下部から 395℃ で流入し、炉床部及び炉側部の炉心支持構造物及び炉容器壁を冷却しつつ上向きに流れ、上部プレナムにおいて逆転し下向流となり燃料体カラム、制御棒案内カラムに配分される。燃料体カラムで各流路(チャンネル)を燃料要素によって加熱されながら下向きに流れた冷却材は、高温プレナムにおいて他の流路からの冷却材とともに混合された後、出口管の内側を通り炉外に導かれる。

炉心構成要素及び炉内構造物は、大部分が黒鉛のブロックの積層構造となっているため、燃料体カラム及び制御棒案内カラム内の計画された流路以外に冷却材が流れる流路が構成されるので、炉心の有効な冷却の観点からこのような計画外の流量を極力低減するとともに、精度の高い流量配分評価が必要となる。これらの計画外の流量評価には、熱・照射変形効果、製作公差、ブロック積層間の漏れ防止等を考慮する必要がある。炉心領域を取り囲む固定反射体間の隙間を通り炉側部から直接炉心に漏れ込む流れ、カラム間ギャップの流れ、燃料体等の積層面を横切るクロス流れ等がある。

漏れ流れ等の計画外の流れが過大になると、燃料要素の冷却に直接寄与する流量が減少し、燃料温度の上昇を招くことになる。また、低温の漏れ流れが炉心に多量に流入すると、燃料体ブロック等の炉心構成要素に過大な応力が発生し、構造健全上問題となる。したがって、炉内の冷却材の流量配分を精度良く評価すること及び適切に配分を行うことは重要なことである。

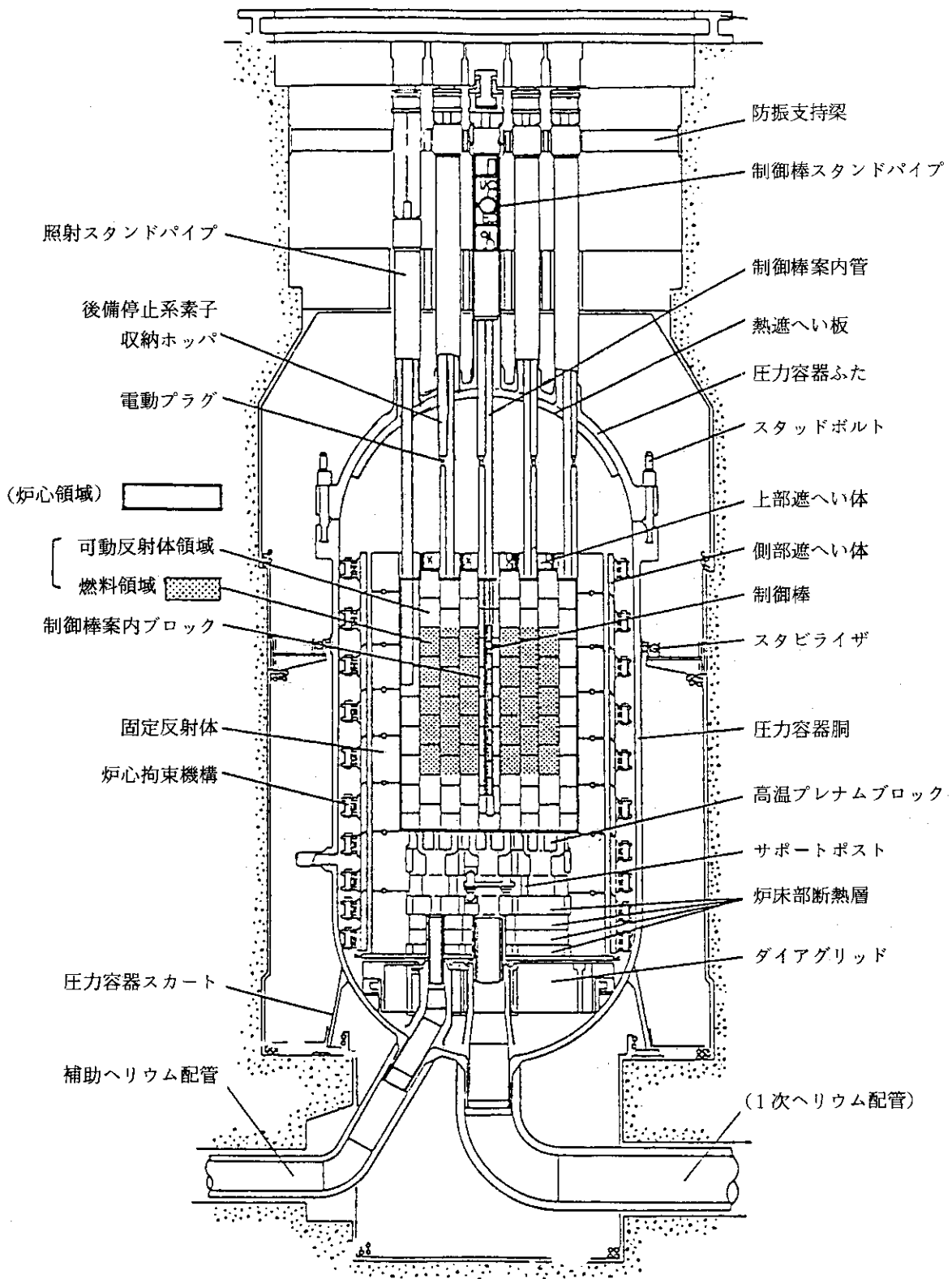
炉心熱流動設計の流れ図を、第 1.4 図に示す。熱流動設計の主要部分は、炉内流量配分解析とその解析結果を用いる燃料温度計算とから成っている。燃料温度解析では、炉内流量配分解析結果に基づいて、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、被覆燃料粒子の有意な破損及び被覆層の著しい劣化を生じさせないように、以下の設計方針を定めている。

- ① 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、被覆燃料粒子の有意な破損及び被

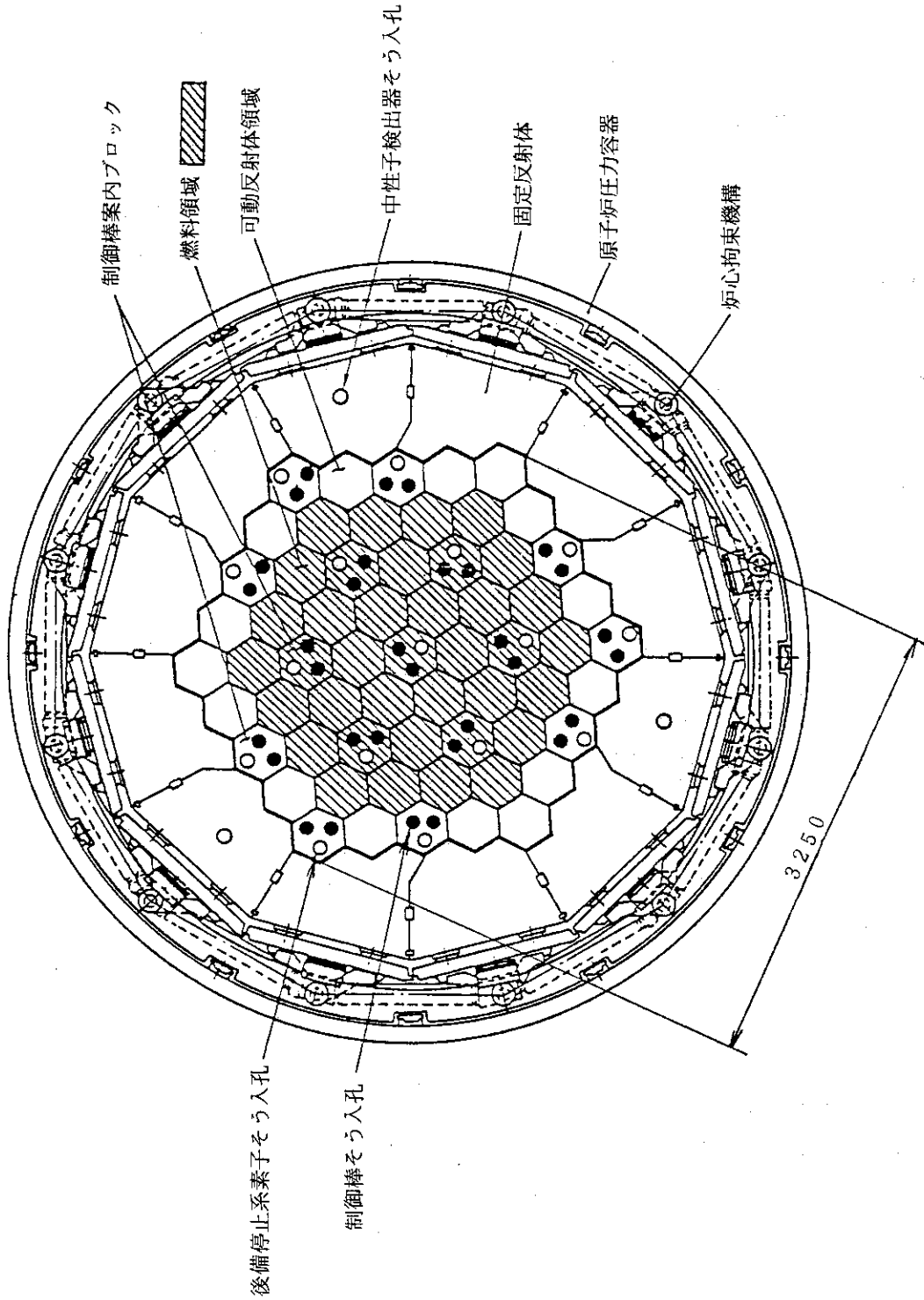
覆燃料粒子の被覆層の著しい劣化を生じさせないため、通常運転時における熱的制限値を設け、通常運転時にこれを超えないように設計する。

- ② 運転時の異常な過渡変化時において、被覆燃料粒子の有意な破損並びに被覆燃料粒子被覆層の著しい劣化を生じさせないため、運転時の異常な過渡変化時に燃料最高温度が1,600℃を超えないように設計する。

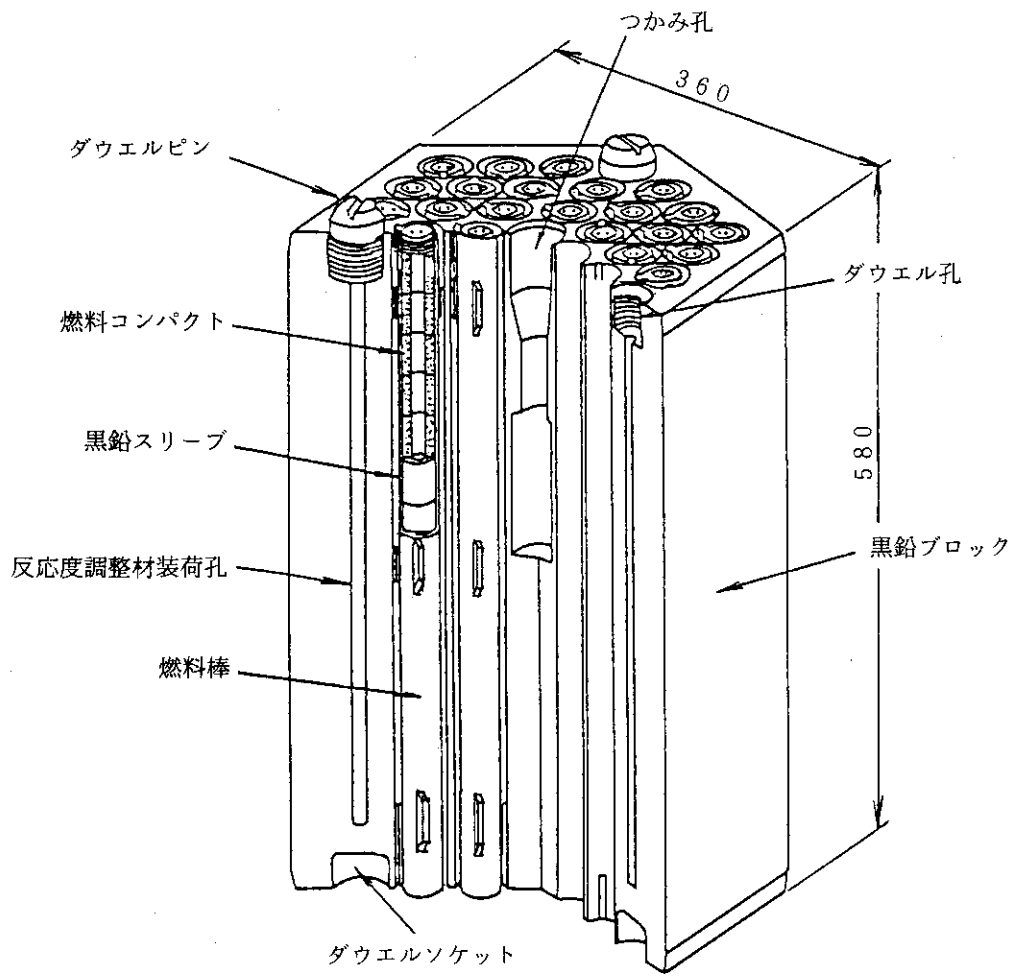
したがって、冷却材流量配分解析は、上記の方針を満足する流量配分を決定することに他ならない。本報は、前者の炉内流量配分解析の解析モデル及び解析方法、第1.4図に示した解析用データ（燃料体ブロックの等価熱伝導率、クロス流れ抵抗係数、クロス流れギャップ評価式、カラム間ギャップの算出、シール性能及びその他の熱流動データ）の作成とその根拠、並びにこれらを用いて得られた炉心内流量配分解析結果について詳述するものである。



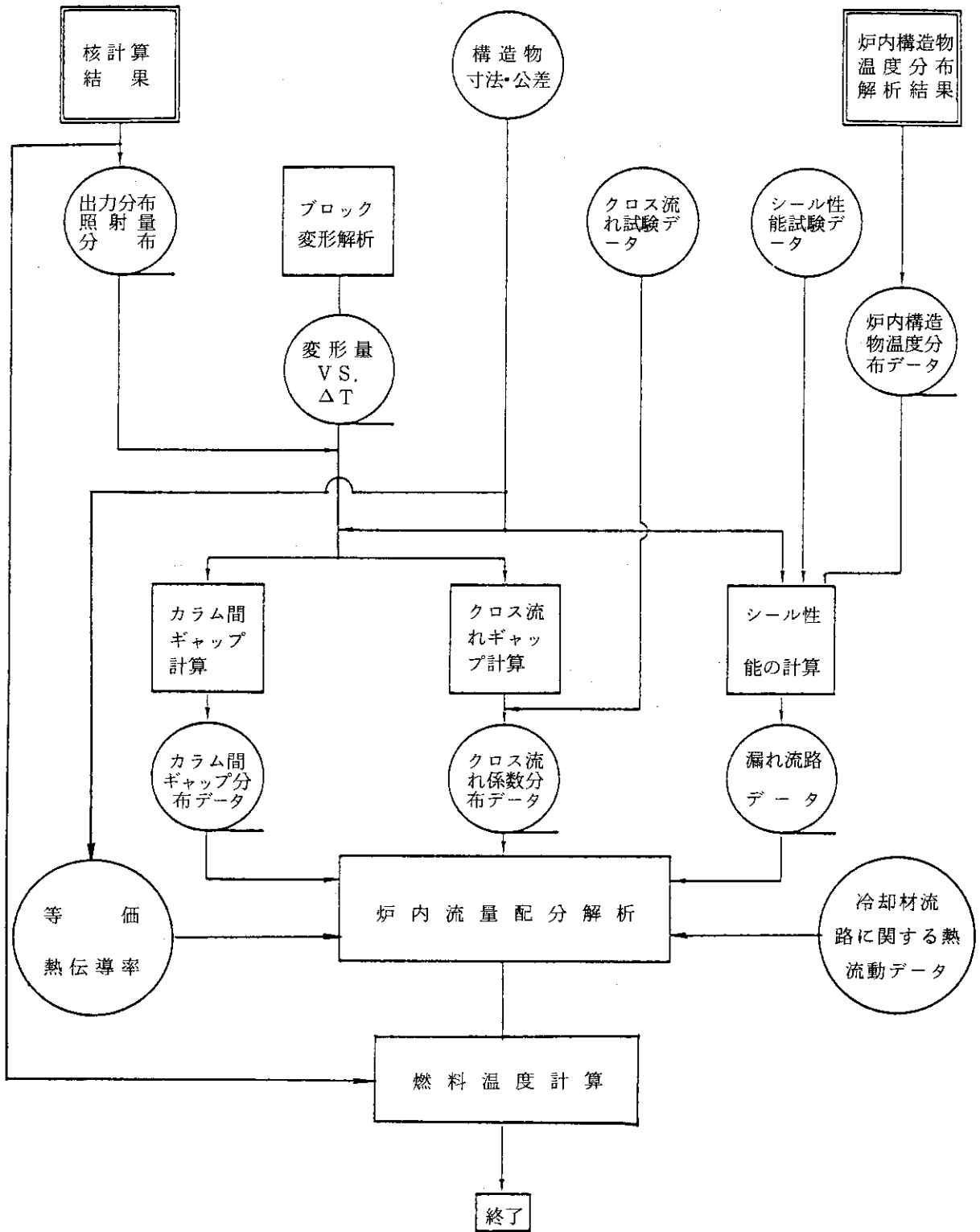
第 1.1 図 高温工学試験研究炉の概要



第1.2図 高温工学試験研究炉の炉心断面図



第1.3図 燃料体の概要図



第 1.4 図 炉心熱流動設計の流れ図

2. 解析モデル及び解析方法

炉内流量配分解析には、流量配分評価解析コード FLOWNET⁽¹⁾を用いる。FLOWNETコードは、炉内を1次元流路を組み合わせた流路ネットワークでモデル化し、ネットワーク内の定常的な流量、温度及び圧力分布を計算するコードである。

高温工学試験研究炉の炉心は、大別して試験燃料体を照射しない基準炉心（炉心出口冷却材温度 950℃ 及び 850℃）と、試験燃料体をドライバー燃料とともに照射する照射炉心（炉心出口冷却材温度 850℃）とに大別され、炉心に装荷する燃料体の相違により FLOWNETコードのモデル上の取り扱いも異なる。したがって、基準炉心と照射炉心とに分けて解析モデル及び解析方法を述べる。

2.1 基準炉心

解析モデルは、炉心構成の対称性から全炉心の1/6を対象としており、軸方向流路モデルを第2.1、2.2図に、径方向流路モデルを第2.3～2.5図に示す。流路間の1次元熱移動経路を示す伝熱路モデルを第2.6図に示す。これらの図に示すように、本流路モデルは、1カラムを1流路で代表したF1～F5の燃料カラム内のチャンネル、C1～C4の制御棒案内ブロック内の冷却チャンネル、六角形の柱状ブロックの1辺相当を1流路で模擬したG1～G37で示すカラム間ギャップチャンネル及び固定反射体と炉容器間の環状流路（B及びVで示す）からなる軸方向流路と、これらの流路に接続されたクロス流れ流路及び各種漏れ流路等で構成される。一方、伝熱路は、燃料チャンネル及び制御棒案内ブロック内チャンネルとカラム間ギャップとの間、側部可動反射体ブロック及び制御棒案内ブロック周辺のギャップ間、炉側部環状流路と固定反射体に接するカラム間ギャップとの間及び燃料チャンネル内に設けられている。

これらの伝熱路のうち、燃料チャンネルとカラム間ギャップとの伝熱路は、2次元の熱伝導解析から得られた等価熱伝導率を用いる。等価熱伝導率は、多チャンネルからなる燃料体ブロックから周辺ギャップへの伝熱量と、1カラム1流路で代表したFLOWNETコードでの燃料チャンネルから周辺ギャップへの伝熱量とが同一境界条件下で合致するように定めた相関式であり、燃料チャンネルの熱伝達率、ブロックの熱伝導率等の関数である。解析に使用する等価熱伝導率には、33本型燃料体ブロックと31本型燃料体ブロックとの2種類があり、炉心の最外周カラムに配置される後者については、燃料チャンネルとカラム間ギャップとの温度差であるブロック温度差 ΔT による影響も考慮している。

燃料棒の黒鉛スリーブから黒鉛ブロック、黒鉛ブロック側面間（制御棒案内ブロック及び側部可動反射体ブロック側面）及び側部可動反射体ブロックから固定反射体側面に放射伝熱を考慮する。

解析は、運転パターンによって熱・照射変形が異なるので流量配分も異なるが、ここでは850℃運転での燃焼10日、220日及び950℃運転での燃焼220日、330日について求める。カラム

間ギャップ、クロス流れギャップ等のブロック温度あるいはブロック内の温度勾配に依存するデータについては、FLOWNET解析結果から得られる温度を考慮して評価する。等価熱伝導率、ブロック熱伝導率及びブロック熱膨脹係数等の物性値は、温度、照射量依存性を考慮した公称値を用い、燃料チャンネル熱伝達率評価式、燃料チャンネル流動損失評価式は、HENDEL T₁試験結果等から得られた設計評価式⁽²⁾を用いる。クロス流れ抵抗係数、プレナムブロックシール要素の流動抵抗データ、固定反射体間の隙間の流動抵抗データ等の流れに関するデータについては、HENDEL T₂試験や各種シール性能試験によって得られたデータ又は実験結果からその妥当性を確認した相関式を用いている。

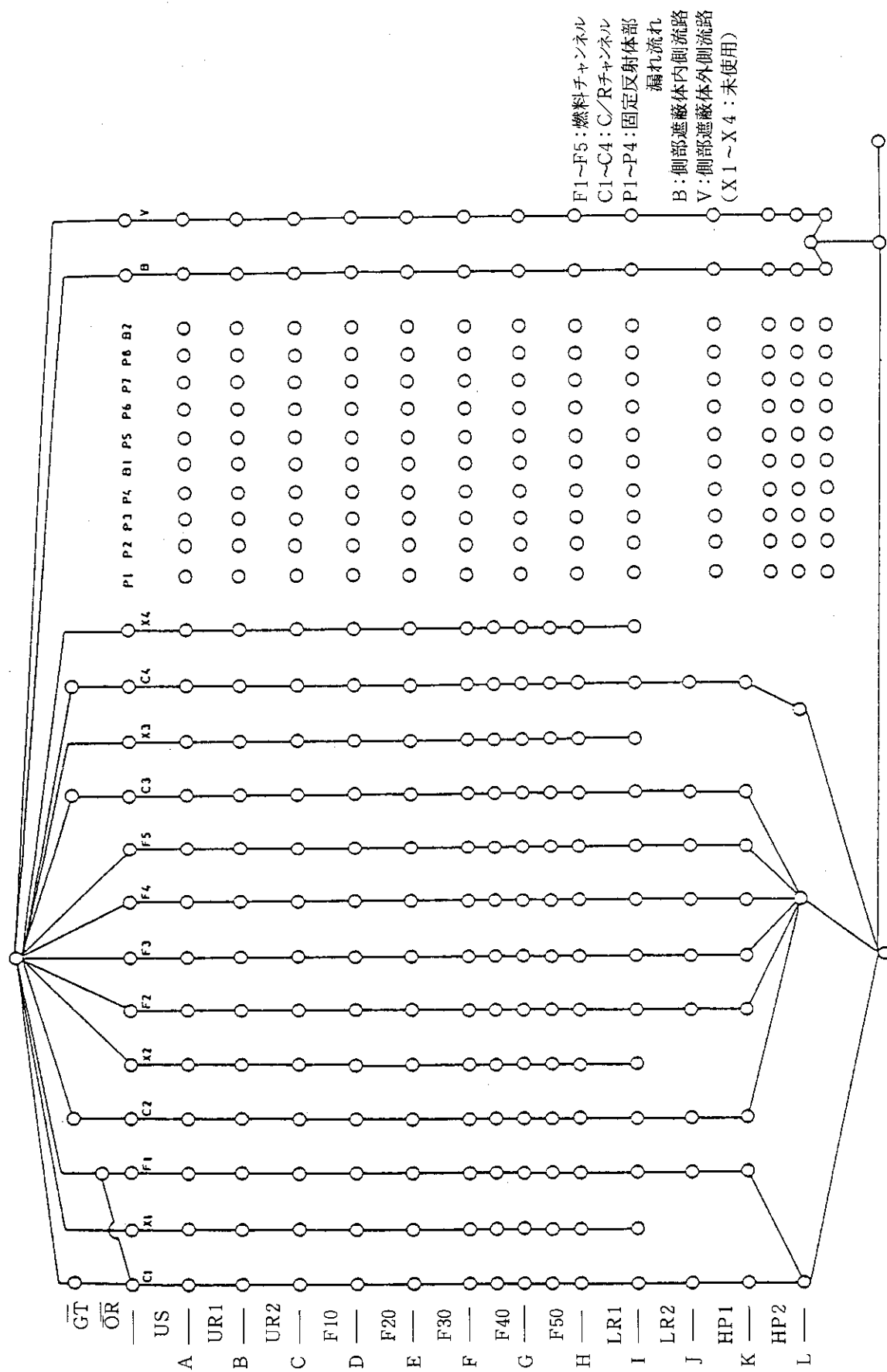
炉内流量配分解析の重要な入力データとなるGBEAMコードによるブロック変形解析、等価熱伝導率評価のためのNASTRANコードによるブロック熱伝導解析の各結果については次章以降にそれぞれの値及び根拠を示す。

解析に当たっては、炉心の出力分布については燃焼及び運転温度を考慮した3次元全炉心対象の核計算結果を用いており、炉内の発熱分布については核計算結果に基づいて燃料体ブロックで約98%、燃料領域の制御棒案内ブロックで約1%、炉心領域外周部の制御棒案内ブロック、側部可動反射体及び固定反射体ブロックで合わせて約1%としている。また、原子炉冷却材流量は、炉容器冷却器による原子炉容器からの冷却2%を考慮して、850℃運転では定格流量12.7 kg/sの2%減の約12.4 kg/s、950℃運転では定格流量10.4 kg/sの2%減の約10.2 kg/sとしている。

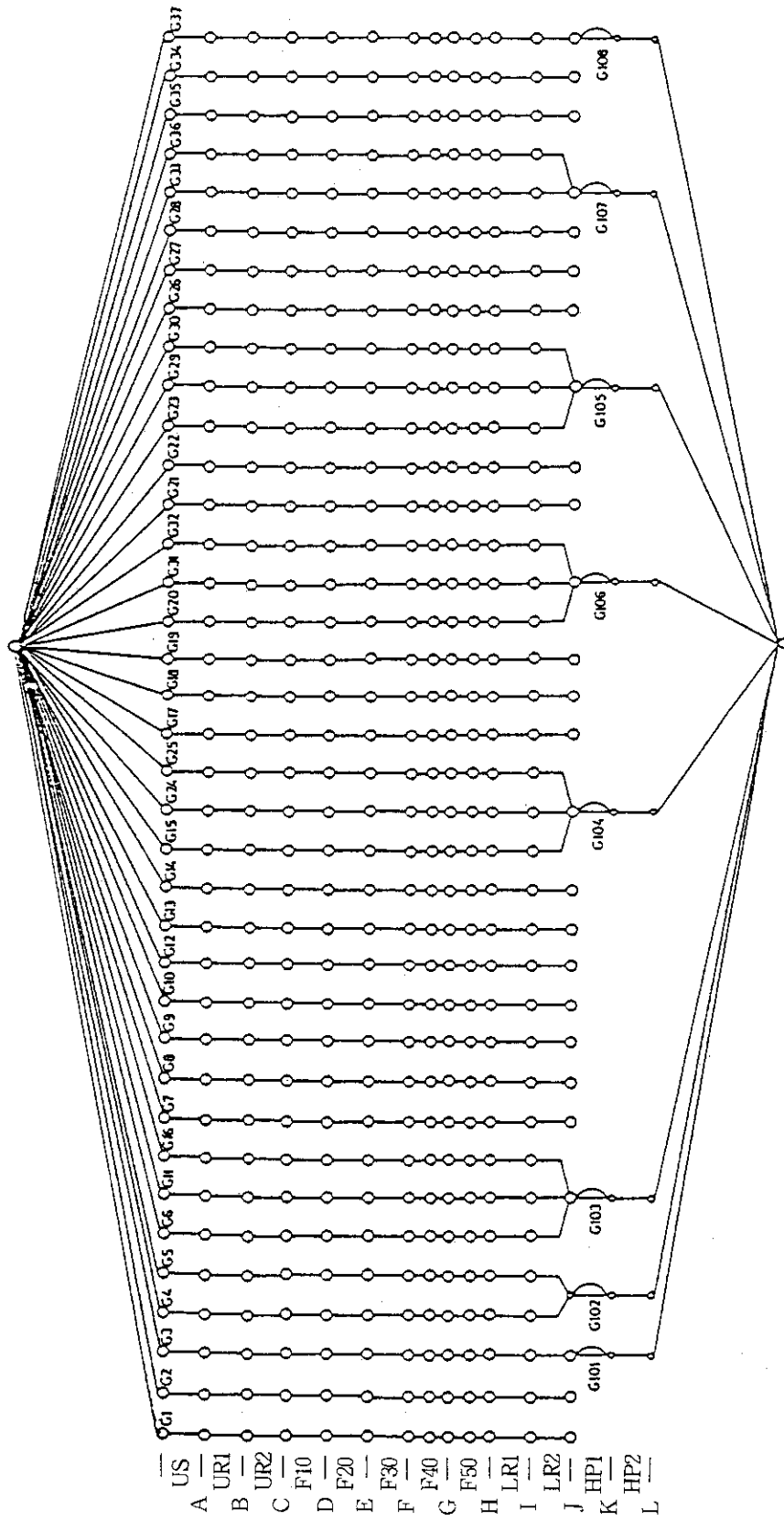
2.2 照射炉心

照射炉心の解析モデルは、基準炉心の解析モデルと同様に1/6炉心を対象としたものであり、軸方向流路モデルを第2.7図に示す。基準炉心の場合とは、制御棒カラムC1を閉塞させている点が異なっている。これは照射炉心では中央カラムを照射カラムとして使用するため本解析では冷却材を流さないという条件で解析しているためである。

中央領域の径方向モデル図を第2.8及び2.9図に示す。中央領域のドライバー燃料カラムに相当するF1チャンネル及び照射燃料カラムに相当するR1チャンネルは、モデル上1/2カラム(全炉心では各々3カラム)となる。



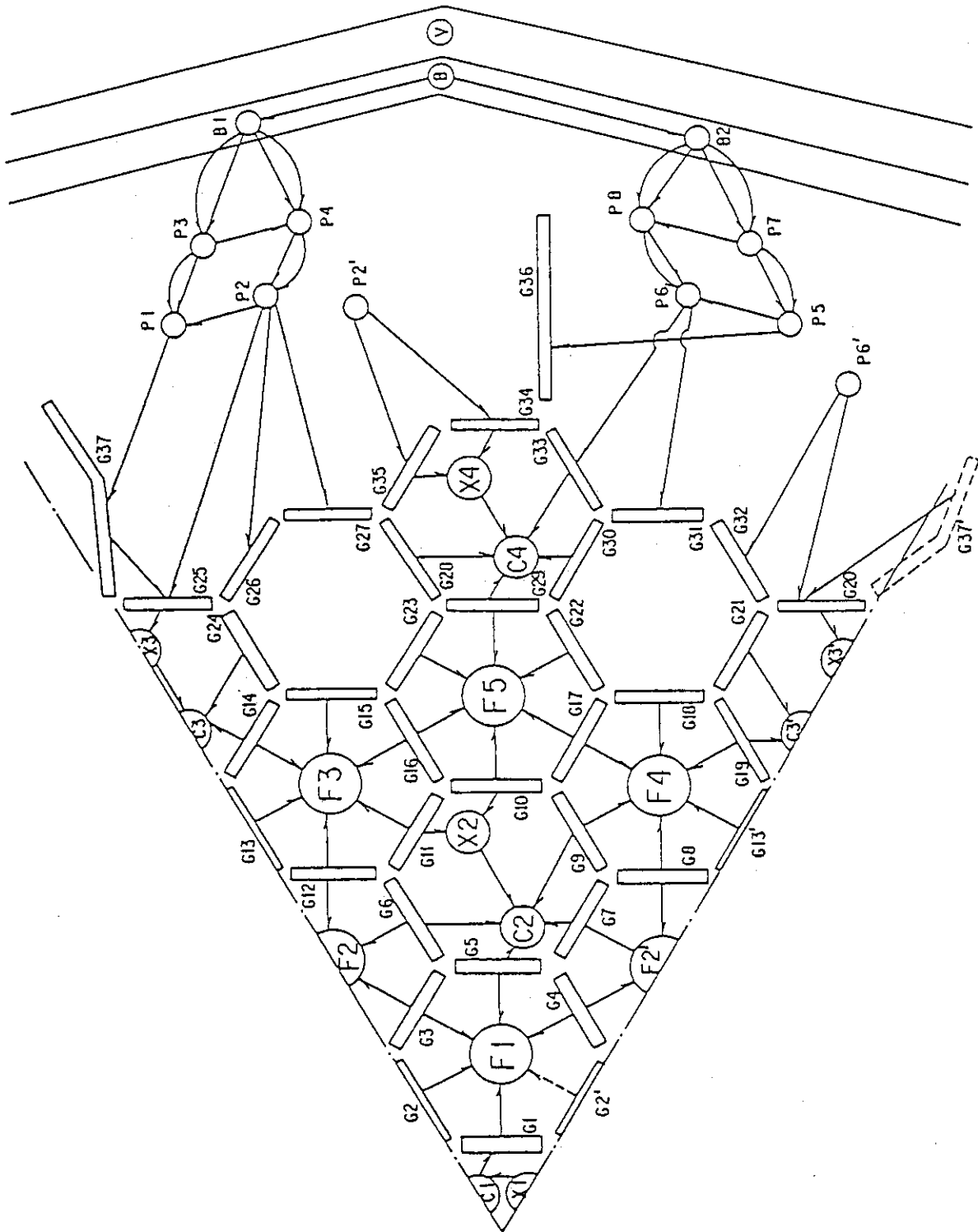
第2.1図 基準炉心の軸方向流路網モデル



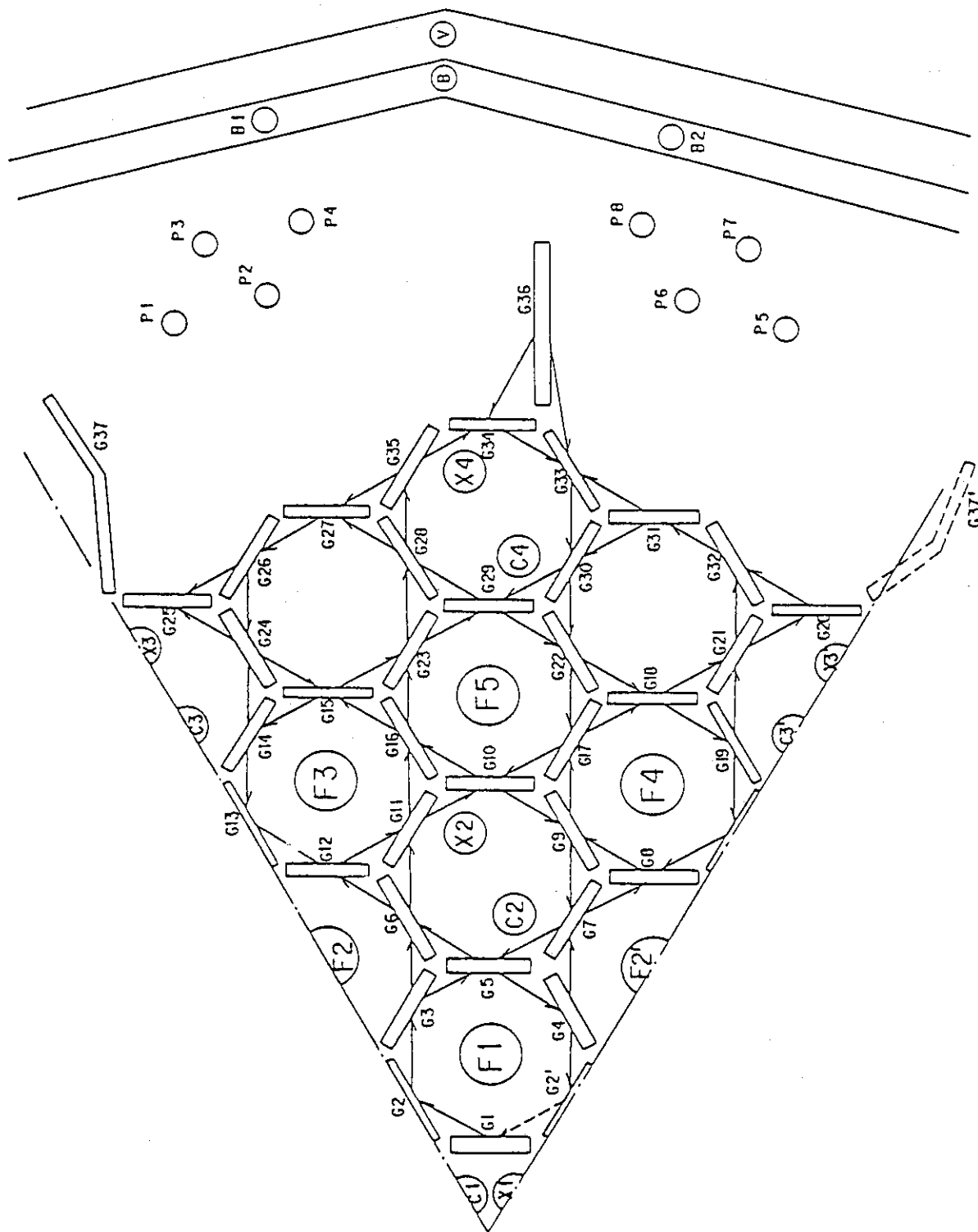
G1~G37: カラム間ギャップ

G101~G108: プレナムブロック間ギャップ

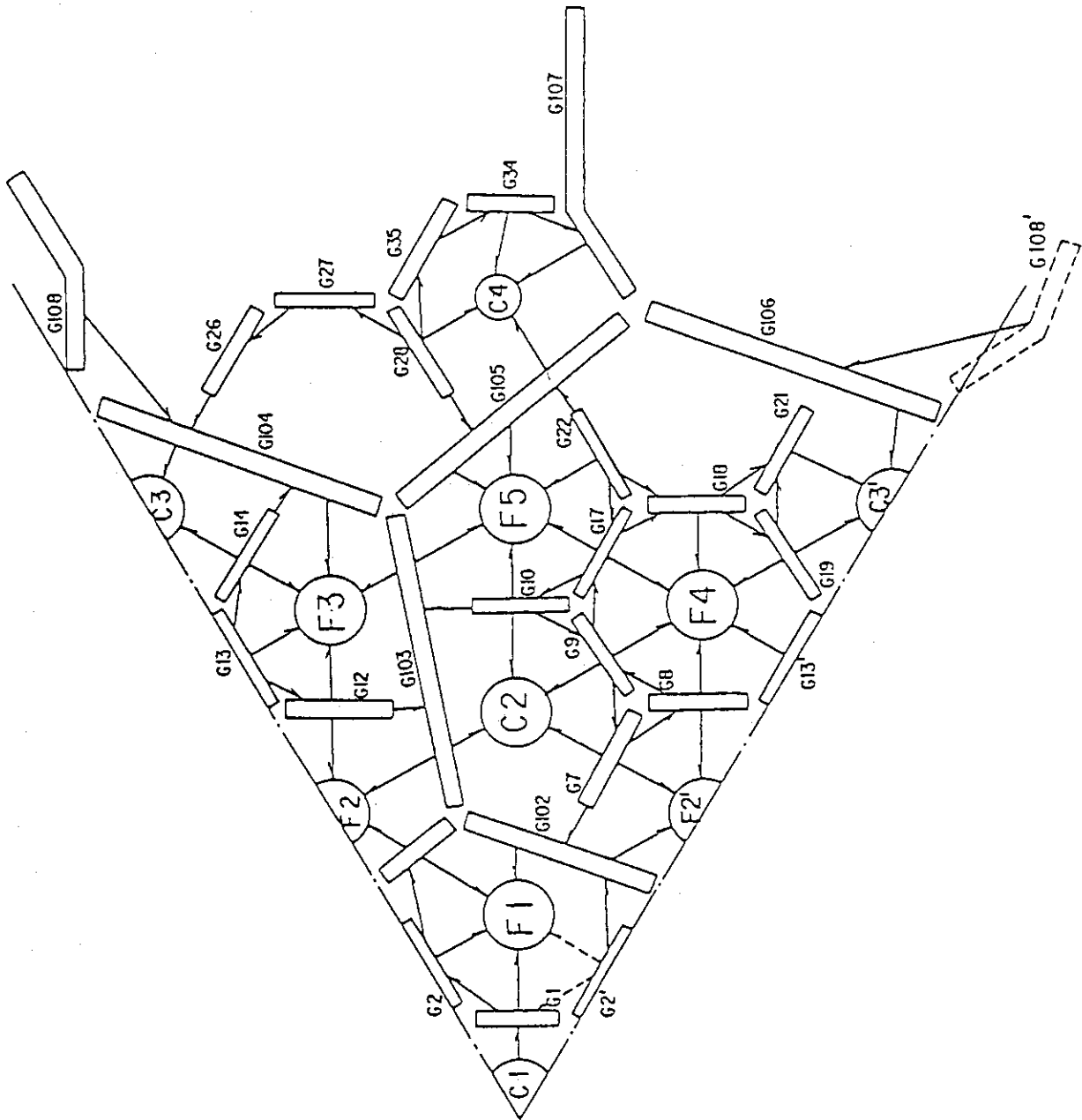
第2.2図 基準炉心の軸方向流路網モデル



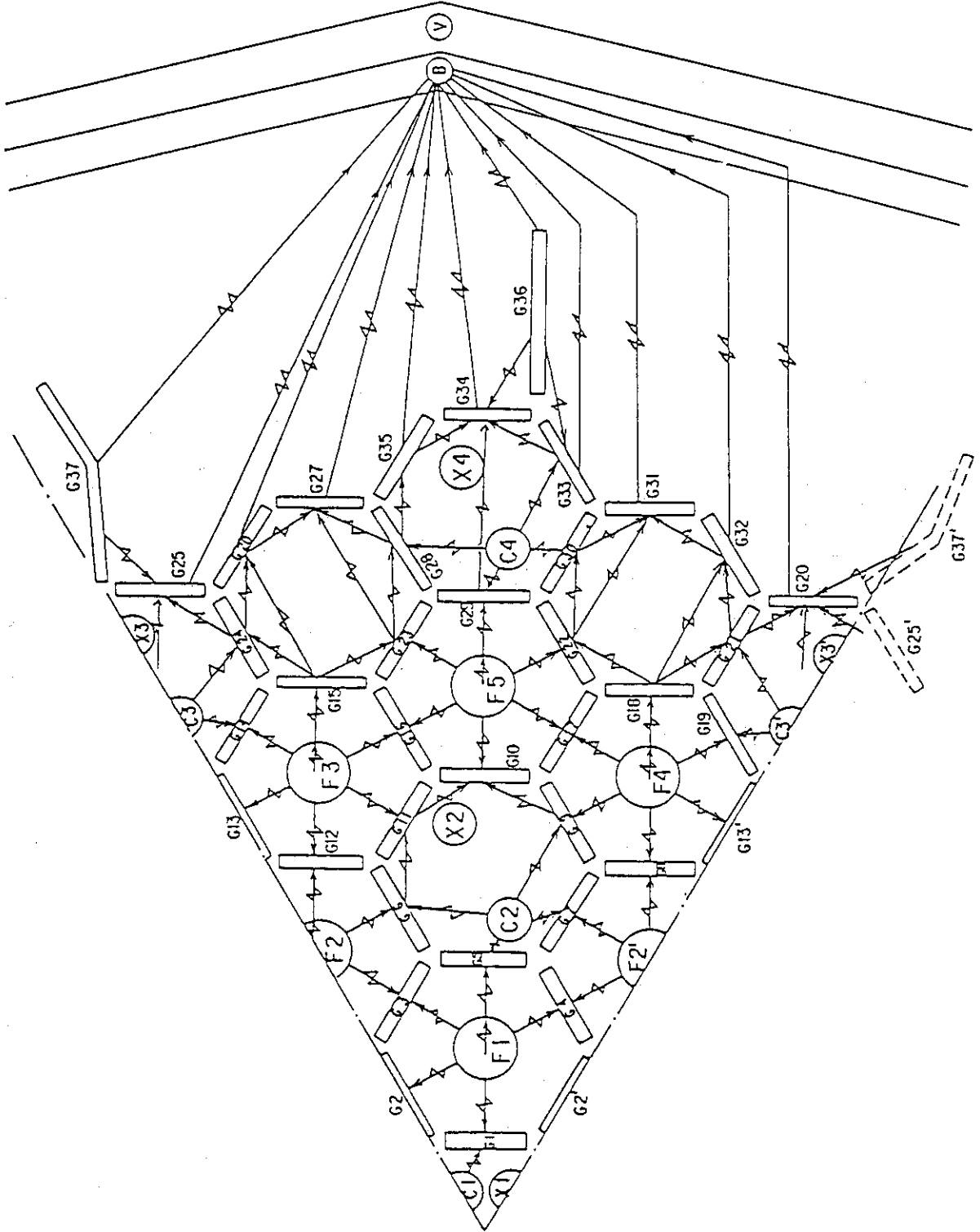
第2.3図 基準炉心の径方向流路網モデル〔炉心カラム部〕



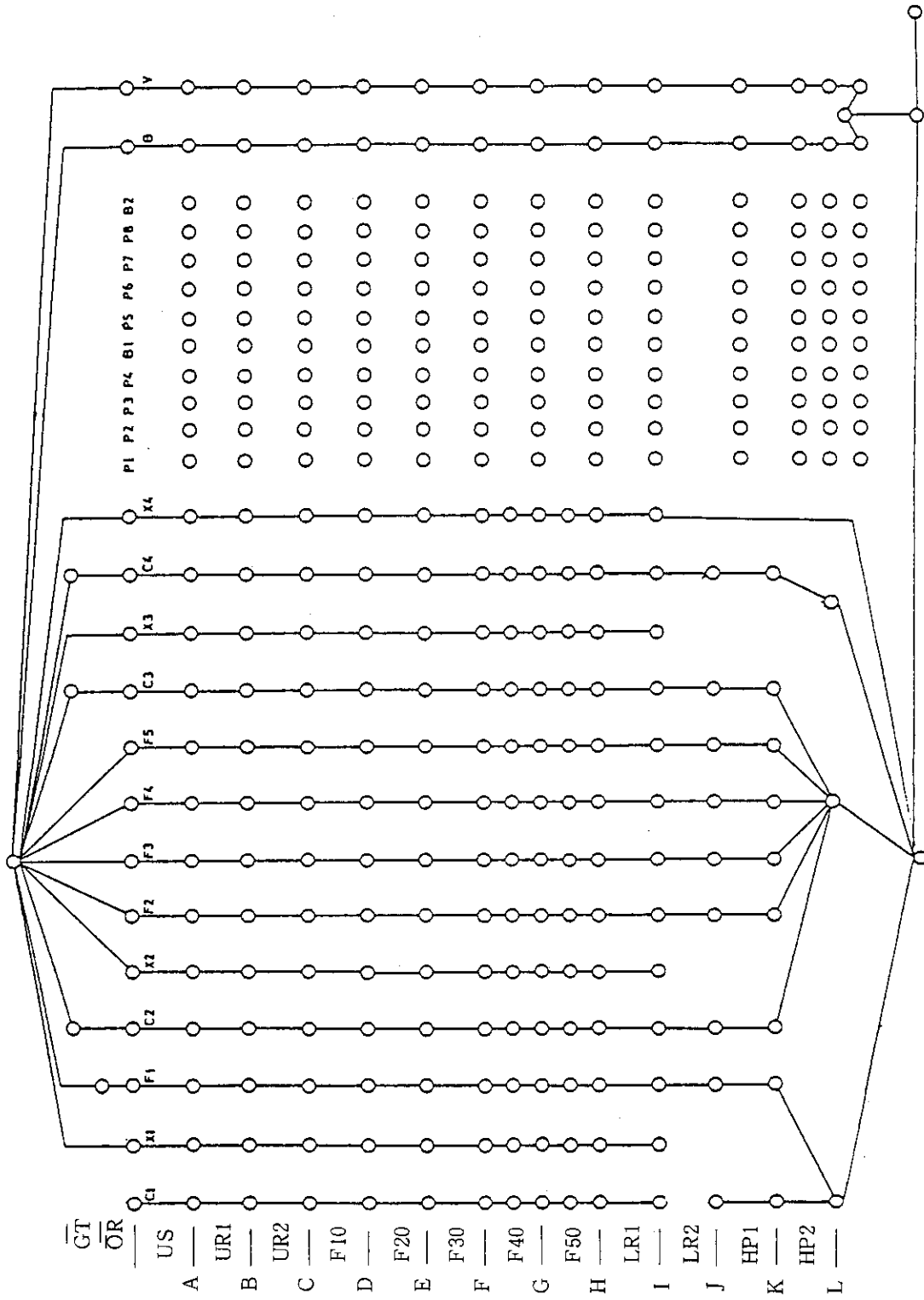
第2.4図 基準炉心の径方向流路網モデル〔炉心カラム部〕



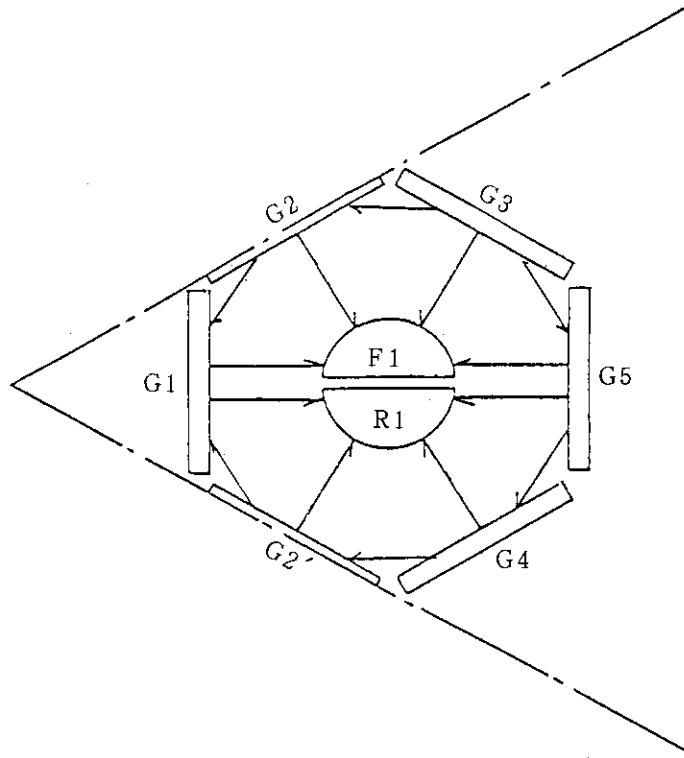
第2.5図 基準炉心の径方向流路網モデル〔プレナムブロック上面〕



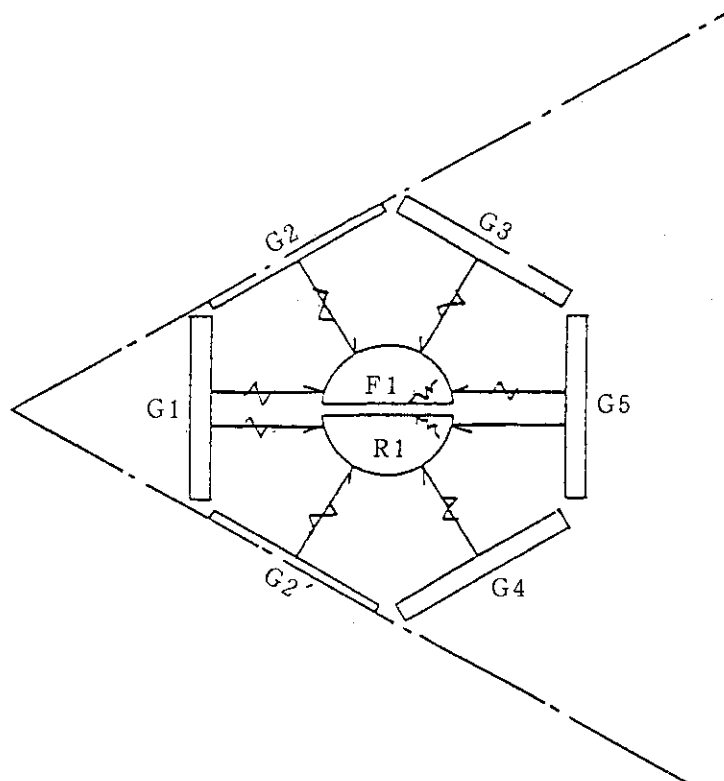
第2.6図 基準炉心の伝熱路モデル〔燃料体レベル〕



第2.7図 照射炉心の軸方向流路網モデル



第2.8図 照射炉心（中央領域）の流路モデル



第2.9図 照射炉心（中央領域）の伝熱路モデル

3. 解析用データの作成と評価

本章では、FLOWNETコードを用いて炉心内の流量配分を計算するに当たり必要な解析データとして、

- (i) 燃料体ブロックの等価熱伝導率
- (ii) クロス流れ抵抗係数
- (iii) ブロック変形量差から定まるクロス流れギャップ
- (iv) カラム間ギャップ
- (v) 高温プレナムブロック及び固定反射体のシール性能
- (vi) その他冷却材流路に関する熱流動データ

について、その導出とその結果の妥当性について述べる。

3.1 等価熱伝導率

3.1.1 解析条件

炉内流量配分解析を行う1/6炉心流量配分解析モデルでは、燃料チャンネルを1ブロックに1チャンネルでモデル化している。このモデルで使用する、燃料チャンネルからカラム間ギャップへの等価的な熱伝導率(ブロック部)を等価熱伝導率と呼んでおり、詳細なブロック形状で熱伝達率等をパラメータとして伝熱計算し設定する。

ここで、等価熱伝導率は1ブロックの1辺と中心を結ぶ1/6ブロックの単位長さ当たりの等価熱伝導率として定義し、次式で与える。

$$Q = \Delta T / \left\{ \frac{1}{h_c \cdot L_c} + \frac{1}{f(\lambda)} + \frac{1}{h_g \cdot L_g} \right\} \quad (3.1.1)$$

Q : ギャップへの伝熱量 (Kcal/m・h)

ΔT : 燃料チャンネルの冷却材温度とギャップの冷却材温度との差 (°C)

h_c : 燃料チャンネルの熱伝達率 (Kcal/m²h°C)

L_c : 燃料チャンネルの周長

$$\left[\begin{array}{l} = 0.041 \times \pi \times a, \quad a = \frac{31}{6} \quad (31 \text{ピン燃料体}) \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad a = \frac{33}{6} \quad (33 \text{ピン燃料体}) \end{array} \right]$$

$f(\lambda)$: 等価熱伝導率 (Kcal/mh°C)

h_g : ギャップ熱伝達率 (Kcal/m²h°C)

L_g : ギャップの1辺長 (= 0.2078 m)

本解析では次の2点を考慮し、解析を行っている。

- (a) 炉心外周部等価熱伝導率に対する燃料チャンネル間温度分布の考慮

燃料チャンネル間温度分布の大きな炉心外周部に対しては燃料チャンネル間温度分布を

考慮して等価熱伝導率を設定する。

(b) 燃料棒とブロック間輻射の取り扱い

燃料棒とブロック間輻射を考慮して等価熱伝導率を設定する。

解析は次の2種類について行っている。

(a) 炉心内部等価熱伝導率解析

燃料チャンネル間温度分布が小さい炉心内部に適用する等価熱伝導率とし、燃料チャンネル間に温度分布がない条件で解析を実施する。

(b) 炉心外周部等価熱伝導率解析

燃料チャンネル間温度分布が大きな炉心外周部に適用する等価熱伝導率として、燃料チャンネル間の温度分布をパラメータとして解析を実施する。

(1) 解析モデル

解析モデル及び有限要素分割図を第3.1図に示す。解析モデルは1/6ブロック2次元平面モデルである。解析は1/6ブロック当たり5.5孔ある場合である33ピン燃料体ブロックの場合をまず行った。1/6ブロック当たり5孔となる31ピン燃料体ブロックについては、33ピンの中心から右半分のブロックすなわち1/12ブロックの値を用いて求めた。解析は、汎用有限要素法解析コードNASTRANを用いて行った。

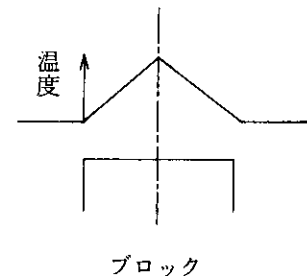
(2) 解析パラメータ

以下の各項目をパラメータとした。パラメータ値の範囲は、炉心内でありうる上下限を考え設定した。

(a) 燃料チャンネル間温度分布（炉心外周部用のみ）

安全側に等価熱伝導率が小さくなるように下図のような燃料チャンネル間温度分布を設定した。

また炉内でのブロック内燃料チャンネル間最大温度差は、100℃とした。



(b) 燃料チャンネル熱伝達率

$$h_c = 350, (600) \text{Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

(c) カラム間ギャップ熱伝達率

$$h_g = 400, (1600) \text{Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

(d) 燃料チャンネル平均/カラム間ギャップ温度差（炉心外周部用のみ）

$$\Delta T_{cg} = 50, 100^\circ\text{C}$$

(e) 燃料チャンネル平均温度

$$T_{av} = (700^\circ\text{C}), 1100^\circ\text{C}$$

(f) 燃料ブロック熱伝導率

$$K = (18), 36, (61) \text{Kcal/mh}^\circ\text{C}$$

(g) 燃料棒平均線出力密度

$$q_L = 2000, (14000) \text{Kcal/m}\cdot\text{h} \text{ピン}$$

以上のパラメータのうち（ ）なしの値の方が等価熱伝導率が小さいと予想されることから、これを基準値とした。

3.1.2 炉心内部燃料体の等価熱伝導率解析

(1) 解析ケース

解析ケースを第 3.1 表に示す。燃料チャンネル間の温度分布はなく、一様な温度とする。ケースは A-1 から A-6, B-1 及び B-2, C-1 及び C-2 の計 10 ケースであり、解析パラメータは解析条件に示した燃料チャンネル熱伝達率, ギャップ熱伝達率, 熱伝導率, 燃料チャンネル平均線出力密度, 燃料チャンネル平均ガス温度及びギャップガス温度の 6 つである。

(2) 解析結果

解析結果を第 3.1 表及び第 3.2 図に示す。各パラメータが等価熱伝導率に与える影響は次のとおりである。

(a) ギャップ熱伝達率 (h_g) の効果 (A-1 cf A-2)

$h_g = 400$ から $h_g = 1600$ (Kcal/m²h℃) の変化で約 1% の増加。

(b) 燃料チャンネル熱伝達率 (h_c) の効果 (A-1 cf A-3)

$h_c = 350$ から $h_c = 600$ (Kcal/m²h℃) の変化で約 13% の増加。

(c) 燃料チャンネル平均ガス/ギャップガス温度差 (ΔT_{cg}) の効果 (A-1 cf A-4)

$\Delta T_{cg} = 100$ から $\Delta T_{cg} = 50$ ℃ の変化で約 1% の増加。

(d) 燃料チャンネル平均線出力 q_L の効果 (A-1 cf A-5)

$q_L = 2000$ から $q_L = 14000$ (Kcal/mh ピン) の変化で約 1.8% の増加。

(e) 燃料チャンネル平均ガス温度 (T_{av}) の効果 (A-1 cf A-6)

$T_{av} = 1100$ から $T_{av} = 700$ ℃ の変化で約 7% の減少。

(3) 等価熱伝導率評価式の導出

前項の解析結果に基づき、各パラメータ効果を次のように考えて等価熱伝導率を定める。

(a) ギャップ熱伝達率

上記の範囲で変化量は約 1% と小さいのでこの影響は無視し、より小さい等価熱伝導率を与える 400 Kcal/m²h℃ の値を一律に用いる。

(b) 燃料チャンネル熱伝達率

この効果は大きいので評価式のパラメータとする。

(c) 燃料チャンネル平均ガス/ギャップガス温度差

上記の範囲で変化量は約 1% と小さいのでより小さな等価熱伝導率を与える 100 ℃ ケースの値を一律に用いる。ただし炉内燃料体領域には温度差が 110 ℃ 程度の所も存在するので、(e) 項でとる補正の中にこれを含めるものとする。

(d) 燃料チャンネル平均線出力

上記の範囲で、変化量は約 1.8% と小さいので、等価熱伝導率がより小さな $q_L = 2000$ Kcal/mh・ピンのケースを一律に用いる。

(e) 燃料チャンネル平均ガス温度

基準値とした 1100 ℃ の場合は、700 ℃ の場合より約 7% 等価熱伝導率が大きい値となっている。 $T_{av} = 1100$ ℃ のケースを一律に用いる場合、燃料チャンネルの平均温度が 1100 ℃ より低い所では実際より大きな等価熱伝導率を使うことになり危険側となる。これを補正するため、(c) 項と合わせて燃料チャンネル平均ガス温度 1100 ℃, 燃料チャンネル

ル平均ガス温度とギャップガス温度差 100℃ のケースの等価熱伝導率の90%の値を等価熱伝導率とする。

以上から等価熱伝導率は(i)燃料ブロック熱伝導率及び(ii)チャンネル熱伝達率の関数とし、第3.2図のB-1, A-1, C-1及びB-2, A-3, C-2を2次曲線で結び、これに0.9倍したものを等価熱伝導率の評価式とする。また、この曲線間は直線内挿する。

3.1.3 炉心外周部燃料体の等価熱伝導率解析

(1) 解析ケース

解析ケースを第3.2表に示す。燃料チャンネル間の温度分布は、(1)解析条件で述べたように安全側に等価熱伝導率が小さくなるような分布で、最大温度差は100℃としている。解析ケースは全部で20ケースであり、解析パラメータは、炉心内部等価熱伝導率解析の場合と同様、燃料チャンネル熱伝達率、ギャップ熱伝達率、燃料ブロックの熱伝導率、燃料チャンネル平均線出力密度、燃料チャンネル平均ガス温度及びギャップガス温度である。

(2) 解析結果

解析結果を第3.2表、第3.3図に示す。また、各パラメータの効果を第3.4図、第3.5図に示す。

(3) 等価熱伝導率評価式の導出

第3.2表に示す本解析ケースの範囲では、第3.3及び3.4図に示すようにギャップ熱伝達率、燃料チャンネル平均ガス温度等の効果を全て等価熱伝導率に考慮しようとする、これらの効果の感度が小さくないため、場合によってはその効果を過大に見積って非安全側の評価となることがあるので、保守的に等価熱伝導率が小さくなる一定のギャップ熱伝達率400 Kcal/m²h℃、燃料チャンネル平均ガス温度1100℃のケースを用いて次の2項目をパラメータとする。

(a) 燃料チャンネル熱伝達率

(b) 燃料チャンネル平均ガス/ギャップガス温度差

計算点において温度差が86.4℃以上の場合は、等価熱伝導率が小さな温度差86.4℃での等価熱伝導率を用いる。また計算点以外では計算点を直線内挿して用いる。

3.1.4 等価熱伝導率の評価式

(1) 炉心内部カラム及び炉心外周カラムの側部可動反射体に接しない1/6ブロック部分の等価熱伝導率 $f(k)$

(i) 33ピン部分

$$f(k) = f_{u33}(k) + (f_{u36}(k) - f_{u33}(k)) \frac{h_{in} - 350}{600 - 350} \quad (\text{Kcal/mh}^\circ\text{C}) \quad (3.1.2)$$

$$f_{u33}(k) = -6.687 \times 10^{-3} k^2 + 2.017k + 14.05$$

$$f_{u36}(k) = -8.331 \times 10^{-3} k^2 + 2.372k + 13.50$$

$f(k)$: ブロックの等価熱伝導率 (Kcal/mh℃)

k : ブロックの熱伝導率 (Kcal/mh℃)

(FLOWNET 計算値の内外表面平均、軸方向平均温度での熱伝導率)

h_{in} : 燃料チャンネル熱伝達率 (Kcal/m²h°C)

$f_{u33}(k)$: $h_{in} = 350$ Kcal/m²h°C の場合の等価熱伝導率

$f_{u36}(k)$: $h_{in} = 600$ Kcal/m²h°C の場合の等価熱伝導率

(ii) 31ピン部分

$$f(k) = f_{u13}(k) + (f_{u16}(k) - f_{u13}(k)) \frac{h_{in} - 350}{600 - 350} \quad (\text{Kcal/mh}^\circ\text{C}) \quad (3.1.3)$$

$$f_{u13}(k) = -7.711 \times 10^{-3} k^2 + 1.772k + 12.20$$

$$f_{u16}(k) = -9.509 \times 10^{-3} k^2 + 2.102k + 11.44$$

$f_{u13}(k)$: $h_{in} = 350$ Kcal/m²h°C の場合の等価熱伝導率

$f_{u16}(k)$: $h_{in} = 600$ Kcal/m²h°C の場合の等価熱伝導率

(2) 炉心外周カラムの側部可動反射体に接する 1/6 ブロック部分の等価熱伝導率

$$f(k) = \frac{1}{43}(f_{61} - f_{18}) \cdot k + f_{61} - \frac{61}{43}(f_{61} - f_{18}) \quad (3.1.4)$$

$$f_{18} = \frac{1}{50}(f_{18}^{86.4} - f_{18}^{36.4})(\Delta T - 86.4) + f_{18}^{86.4}$$

$$f_{61} = \frac{1}{50}(f_{61}^{86.4} - f_{61}^{36.4})(\Delta T - 36.4) + f_{61}^{36.4}$$

$$f_{61}^{36.4} = -\frac{13.1}{250} h_{in} + 60.84$$

$$f_{18}^{36.4} = -\frac{5.2}{250} h_{in} + 23.68$$

$$f_{61}^{86.4} = -\frac{1.5}{250} h_{in} + 69.3$$

$$f_{18}^{86.4} = 28.8$$

ΔT : 燃料チャンネルガス温度とギャップガス温度との差

$\Delta T \geq 86.4$ の場合は $\Delta T = 86.4$ とする。

f_{18} : $k = 18$ Kcal/mh°C の場合の等価熱伝導率

f_{61} : $k = 61$ Kcal/mh°C の場合の等価熱伝導率

f_{ij} : $k = i$ Kcal/mh°C, $\Delta T = j$ °C の場合の等価熱伝導率

($i = 18, 61, j = 36.4, 86.4$)

3.2 クロス流れ抵抗係数

本節では、炉内流量配分解析 (1/6 炉心モデル) に使用するクロス流れ抵抗係数の定め方及びデータについて示す。

3.2.1 クロス流れ抵抗係数の評価方法

クロス流れ抵抗係数を粘性及び慣性に支配される項の代数和で近似し、それぞれ平行平板層流理論式、入口損失係数の実験値を用いて評価した。

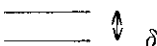
結果は、種々の燃料体ブロックについて実験値と良く一致し、ダウエル型燃料体及び制御棒案内ブロックに対して本評価手法が適用できることが示された。

以下に評価法、評価結果を示す。

クロス流れ係数 $\Lambda (=K/A^2)$ は、粘性力に支配される項 Λ_L と慣性力に支配される項 Λ_H との和で表わされる。⁽³⁾

$$\Lambda = \frac{\Delta P}{\left(\frac{\dot{m}^2}{2\rho}\right)} \quad (3.2.1)$$

$$\Lambda = \Lambda_L + \Lambda_H \quad (3.2.2)$$

(1) 平行ギャップ  δ
<粘性項>

平行平板層流理論式より

$$\Delta P = \frac{\dot{m}^2}{2\rho} \left(\frac{96}{Re} \cdot \frac{h}{2\delta} \right) \cdot \left(\frac{4}{L^2 \delta^2} \right) \quad (3.2.3)$$

ここで、 Re 数は以下の式で定義される。

$$Re = \frac{U \cdot D}{\nu} = \frac{\dot{m}}{\rho A \nu} \left(\frac{4A}{L} \right) = \frac{4\dot{m}}{\mu L} \quad (3.2.4)$$

$L = 12a$ (a : ブロック接触辺長)

(3.2.1), (3.2.3) 式より

$$\begin{cases} \Lambda_L \delta^2 = \frac{96}{Re} \cdot \frac{h}{2\delta} \cdot \frac{4}{L^2} \equiv \frac{C_1}{Re \delta} \\ C_1 = \frac{192h}{L^2} \end{cases} \quad (3.2.5)$$

h (等価流路長) を定めれば C_1 は求まる。

<慣性項>

クロス流れ抵抗は入口部の形状損失が支配的であり、ブロック内の形状諸元(リガメント幅、ピン本数)とは無関係である。

ここで損失係数 K' を考える。

$$\Delta P = \frac{\dot{m}^2}{2\rho} \left(\frac{4}{L^2 \delta^2} \right) \cdot K' \quad (3.2.6)$$

(3.2.1), (3.2.6) 式より

$$\Lambda_H \delta^2 = \frac{4}{L^2} K' \equiv C_2 \quad (3.2.7)$$

種々のクロス流れ実験結果より K' を定めれば C_2 が求まる。(3.2.2), (3.2.5), (3.2.7) 式より平行ギャップのクロス流れ係数は

$$\Lambda \delta^2 = \frac{C_1}{Re \delta} + C_2 \quad (3.2.8)$$

$$C_1 = \frac{192h}{L^2}, \quad C_2 = \frac{4K'}{L^2}$$

ここで K' は、これまでの試験結果⁽³⁾ から $K' = 3.0$ とし、等価流路長 h は以下のモデルにより算出する。

(i) 燃料体ブロック

① 座ぐりがない場合

座ぐりがない場合第 3.6 図(A)の斜線部で示される領域の等価流路長 h を用いる。 h は冷却材流路孔半径 r ，最外周チャンネルの隣接チャンネル間リガメント幅 $2h_p$ ，最外周チャンネルリガメント幅（面取幅を除く） h_c を用いて以下のように表わされる。

$$h = \frac{r h_1 + h_p h_2}{r + h_p} \quad (3.2.9)$$

ここで、

$$h_1 = \frac{1}{r} \left(r^2 - \frac{\pi}{4} r^2 \right) h_c = r \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) + h_c \quad (3.2.10)$$

$$h_2 = r + h_c \quad (3.2.11)$$

② 座ぐりがある場合

ブロック外周と座ぐりとの最小距離 h_c （第 3.6 図(B)参照）を等価流路長 h とする。


$$h = h_c \quad (3.2.12)$$

(ii) 制御棒案内ブロック

第 3.6 図(C)の斜線部で示される領域の等価流路長 h を用いる。 h は制御棒挿入孔半径 r ，最外周リガメント幅（面取幅を除く） h_c を用いて以下のように表わされる。

$$h = \frac{\left(r^2 - \frac{\pi}{4} r^2 \right) + \left(\frac{r^2}{2\sqrt{3}} - \frac{\pi}{12} r^2 \right)}{r + \frac{r}{2\sqrt{3}}} + h_c$$

$$= \frac{r \left(1 + \frac{1}{2\sqrt{3}} - \frac{\pi}{3} \right)}{1 + \frac{1}{2\sqrt{3}}} + h_c \quad (3.2.13)$$

(2) くさび形ギャップ 

平行ギャップの場合の相関式に流路形状に関する補正を行えば、実験結果と良く一致するという知見が得られている。

<粘性項の補正>

(3.2.5) 式より Λ_L は δ^3 に反比例する。

くさび形ギャップの等価ギャップ δ_w と平行ギャップ δ とは

$$\begin{aligned}\delta_w^3 &= \left\{ \delta^3 + \left(\frac{3}{4} \delta \right)^3 \times 2 + \left(\frac{1}{4} \delta \right)^3 \times 2 + 0^3 \right\} / 6 \\ &= 5\delta^3 / 16\end{aligned}\quad (3.2.14)$$

となる。 Λ_L の補正は(3.2.5)式より、 $C_1 \rightarrow C_1 \times \frac{16}{5}$ とする。

<慣性項の補正>

この場合、クロス流れ入口部の流路面積を補正する。

$$A_w = \frac{L\delta_w}{2} = \frac{L}{2} \left(\frac{\delta}{2} \right) \quad (3.2.15)$$

(3.2.8)式より Λ_H の補正は $C_2 \rightarrow 4C_2$ とする。

よって、くさび形ギャップのクロス流れ抵抗は以下のように表わされる。

$$\begin{cases} \Lambda \delta_w^2 = \frac{C_1'}{Re\delta} + C_2' \\ C_1' = \frac{16}{5} \left(\frac{192h}{L^2} \right), \quad C_2' = \frac{16K'}{L^2} \end{cases} \quad (3.2.16)$$

3.2.2 評価式と実験結果との比較

(1) 燃料ブロック(12本座ぐり無)

各パラメータ値は以下のとおりである。

$$\begin{aligned}L &= 1.99\text{m}, \quad h_c = 5 \times 10^{-3}\text{m}, \quad r = 26.5 \times 10^{-3}\text{m}, \quad h_p = 6 \times 10^{-3}\text{m} \\ \left. \begin{aligned} h_1 &= 10.7 \times 10^{-3} \\ h_2 &= 31.5 \times 10^{-3} \end{aligned} \right\} h &= 14.5 \times 10^{-3}\text{m}\end{aligned}$$

$$C_1 = \frac{192}{1.99^2} \times 14.5 \times 10^{-3} = 0.70, \quad C_1' = 2.2$$

$$C_2 = \frac{4 \times 3}{1.99^2} = 3.0, \quad C_2' = 12.0$$

実験結果と評価結果の比較を第3.7図(平行ギャップ)、第3.8図(くさび形ギャップ)に示す。

(2) 燃料ブロック(15本座ぐり無)

各パラメータ値は以下のとおりである。

$$\begin{aligned}L &= 2.27\text{m}, \quad h_c = 25.5 \times 10^{-3}\text{m}, \quad r = 28 \times 10^{-3}\text{m}, \quad h_p = 5 \times 10^{-3}\text{m} \\ \left. \begin{aligned} h_1 &= 31.5 \times 10^{-3} \\ h_2 &= 53.5 \times 10^{-3} \end{aligned} \right\} h &= 34.8 \times 10^{-3}\text{m}\end{aligned}$$

$$C_1 = \frac{192}{2.27^2} \times 34.8 \times 10^{-3} = 1.3, \quad C_1' = 4.1$$

$$C_2 = \frac{4 \times 3}{2.27^2} = 2.3, \quad C_2' = 9.2$$

実験結果と評価結果の比較を第3.9図(平行ギャップ)、第3.10図(くさび形ギャップ)に示す。

(3) 燃料ブロック (15本座ぐり有)

各パラメータ値は以下のとおりである。

$$L = 2.27\text{m}, \quad h_c = 21.0 \times 10^{-3}\text{m}, \quad r = 28 \times 10^{-3}\text{m}$$

$$h = 21.0 \times 10^{-3}\text{m},$$

$$C_1 = \frac{192}{2.27^2} \times 21 \times 10^{-3} = 0.78, \quad C'_1 = 2.5$$

$$C_2 = 2.3, \quad C'_2 = 9.2$$

実験結果と評価結果との比較を第 3.11 図 (平行ギャップ), 第 3.12 図 (くさび形ギャップ) に示す。

(4) 制御棒案内ブロック

各パラメータ値は以下のとおりである。

$$L = 2.27\text{m}, \quad h_c = 25.9 \times 10^{-3}\text{m}, \quad r = 59.0 \times 10^{-3}\text{m}$$

$$C'_1 = 3.08, \quad C'_2 = 9.2$$

実験結果と評価結果の比較を第 3.13 図 (くさび形ギャップ) に示す。

以上(1)~(4)より実験結果と評価結果はよく一致することがわかる。

なお, 設計には上記手法により得られたクロス流れ抵抗係数にファクター 0.9 を乗じた相関式を用いる。

3.2.3 クロス流れ抵抗係数評価式

3.2.1 項に示した評価手法に基づき燃料ブロック, 制御棒案内ブロック, 下部可動反射体部のクロス流れ抵抗係数を設定した。

(1) 燃料ブロック上下間隙間

φ152 mm の座ぐりを考慮し, 前項 (3.2.10) 式より $h = 0.025\text{m}$ とする。(3.2.16) 式より設計式は下式とする。

$$\Lambda = 0.9 \left(\frac{2.5}{R_e \delta^3} + \frac{8.0}{\delta^2} \right) \quad [\text{m}^{-4}]$$

(2) 制御棒案内ブロック上下間隙間

構造寸法データより $r = 61.5 \times 10^{-3}\text{m}$, $h_c = 22.0 \times 10^{-3}\text{m}$, 前項 (3.2.13) 式より $h = 33.5 \times 10^{-3}\text{m}$ とする。(3.2.16) 式より設計式は下式とする。

$$\Lambda = 0.9 \left(\frac{3.4}{R_e \delta^3} + \frac{8.0}{\delta^2} \right) \quad [\text{m}^{-4}]$$

(3) 下部反射体上下段間隙間

燃料カラムの下部可動反射体上下段間の隙間に関しても 3.2.1 項に示した摩擦抵抗モデルを用いて評価する。第 3.14 図(A)に評価モデルを示す。設計式は (3.2.16) 式より以下のとおりとする。

$$\Lambda = 0.9 \left(\frac{3.5}{R_e \delta^3} + \frac{8.0}{\delta^2} \right) \quad [\text{m}^{-4}]$$

(4) 下部反射体／プレナムブロック間隙間

燃料カラムの下部可動反射体下段と高温プレナムブロック間の隙間に関しても3.2.1項に示した摩擦抵抗モデルを用いて評価する。第3.14図(B)に評価モデルを示す。設計式は(3.2.16)式より以下のとおりとする。

$$\Lambda = 0.9 \left(\frac{8.2}{Re \delta^3} + \frac{8.0}{\delta^2} \right) \quad [m^{-4}]$$

(5) 制御棒案内カラム／プレナムブロック間隙間

制御棒案内カラム最下段と高温プレナムブロック間隙間に関して3.2.1項に示した摩擦抵抗モデルを用いて評価する。第3.14図(C)に評価モデルを示す。設計式は(3.2.16)式より以下のとおりとする。

$$\Lambda = 0.9 \left(\frac{14.5}{Re \delta^3} + \frac{8.0}{\delta^2} \right) \quad [m^{-4}]$$

3.3 クロス流れギャップ（ブロック変形量差）

3.3.1 ブロック変形解析条件

炉心の燃料チャンネル流路を構成するブロックは、炉心内の温度、照射量分布によって変形し、ブロック積層面間に隙間を生じて、燃料チャンネルとカラム間ギャップとの間にクロス流れ流路を形成する。

炉内流路配分特性の解析では、流路網解析コードFLOWNETにより解析を行う過程で、計算結果に基づき変形量を評価しながら解析を行う。

本項ではFLOWNET繰り返し計算の途中でFLOWNET解析結果から、ブロック変形量を評価する変形量評価式を導出した。

導出は次の順序で行った。

(1) ブロック変形解析方針

2次元平面モデルにおいて、次項をパラメータとして温度分布を解析し、その温度分布からGBEAMコードで変形を解析した。

- (a) 燃料チャンネル間*温度分布
- (b) 燃料チャンネル間*温度差
- (c) ブロック表面温度差
- (d) 燃料チャンネル平均温度

さらに照射変形の温度依存性を考えると、ブロック温度が725℃を境として、ブロック変形燃焼変化の傾向が異なることから、ブロック温度が725℃以下と725℃以上に分けてブロック変形解析を行うこととした。

(2) 燃料チャンネル間温度分布条件の検討

前述のパラメータのうち、燃料チャンネル間温度分布について、傾斜温度分布と2分割温度

* 燃料チャンネル冷却材間のこと、以下同じ。

分布（3.3.2項参照）により変形解析を行い、変形の大きな2分割温度分布を燃料チャンネル間温度分布として設定した。

(3) ブロック温度が725℃以上でのブロック変形解析

ブロック温度が725℃以上でのブロック変形解析を行って、パラメータとブロック変形量との関係を求めた。

(4) ブロック温度が725℃以下でのブロック変形解析

ブロック温度が725℃以下でのブロック変形解析を行ってパラメータとブロック変形量との関係を求めた。

(5) 炉内流量配分解析でのブロック変形量評価

炉内流量配分解析でのブロック変形量評価式の取り扱いについて検討し、評価式を設定した。以下に解析モデルと解析条件を示す。

(a) 解析モデル

ブロック積層面部に座ぐりがある場合、ブロック変形は一般的に第3.3表下図に示すような形状となる。この変形を生じる高さ方向に対称な1/2ブロックをモデルとする。

また、本解析では33ピンのモデルについて変形解析を行う。

ブロック温度分布解析では1ブロックの平面2次元モデル、ブロック変形解析では高さ方向に対称な1/2のブロック1次元粘弾性ビームモデルとした。

(b) 解析条件

(1) ブロック温度分布解析条件

ブロック温度分布解析は、FLOWNETの等価熱伝導率から計算される表面温度によりブロック変形が評価されることを考慮し、第3.15図のようにブロックの高温側表面温度、低温側表面温度を固定し、燃料チャンネルには冷却材温度を与えて解析を行う。

① 燃料チャンネル間温度分布

炉心内ではブロック内の燃料チャンネル間温度分布は様々な形をとりうるが、本解析では一般的に考えられる分布形であり、また最も積層面間ギャップが大きくなると考えられる下図実線及び破線の温度分布について変形解析を行い、変形が大きくなる温度分布を採用するものとする。

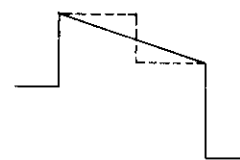
② 燃料チャンネル平均温度 (T_A)

ブロック変形は、照射変形の照射量依存性を考慮すると、燃料チャンネル平均温度725℃を境として変形の傾向が異なる。(第3.20図参照)

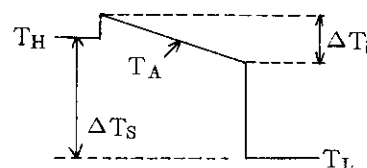
そこで725℃以上及び725℃以下でそれぞれ燃料チャンネル平均温度をパラメータとしてブロック変形を解析し、変形量の大きな燃料チャンネル平均温度を代表値として設定する。

燃料チャンネル平均温度設定用のパラメータ値は次の値とした。

725℃以上： $T_A = 1100℃, 1000℃, 950℃$



燃料チャンネル間温度分布



解析パラメータ

725℃以下： $T_A = 550℃, 480℃$

③ 燃料チャンネル間温度差 (ΔT_i)

最大値を150℃とし、パラメータとする。燃料チャンネル間温度差は燃料体下段ほど大きくなるが、725℃以下の上段部では、50℃をとれば十分である。

725℃以上： $\Delta T_i = 0℃, 50℃, 100℃, 150℃$

725℃以下： $\Delta T_i = 0℃, 50℃$

④ ブロック表面温度差 (ΔT_s)

最大値を240℃としパラメータとする。

725℃以上： $\Delta T_s = 0℃, 80℃, 160℃, 240℃$

725℃以下： $\Delta T_s = 0℃, 80℃, 160℃$

⑤ 高温側表面温度 (T_H)、低温側表面温度 (T_L) について

③、④のパラメータを変化させる場合、高温側の表面温度は常に燃料チャンネル平均温度に固定した。ただし、 $\Delta T_i = 150℃$ 、 $\Delta T_s = 240℃$ のケースについては、燃料チャンネル平均温度の上下に変化させてその影響を検討する。

以上の温度分布解析条件のうち、燃料チャンネル平均温度が1100℃の場合を例としてまとめて、第3.15図に示す。

(ii) ブロック変形解析条件

1次元粘弾性ビーム理論に基づくGBEAMコードにより、前項で求められたブロック温度分布に基づき解析を行う。

(iii) 材料物性値

① 燃焼変化

材料物性値は燃焼変化を考慮する。

② 誤差の取り扱い

ノミナル値で解析を行い、誤差はランダム因子として取り扱う。

〔備考〕 ブロック変形の照射温度、照射量依存性

ブロックの変形は、主に a) 熱膨張、b) 照射変形(収縮)、c) 照射クリープの3つの現象によって定まる。このうち照射クリープは変形を緩和する方向に働くので、熱膨張と照射変形によってブロック変形の照射温度、照射量依存性を考えることができる。

第3.20図に照射変形(フルエンスが $1 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$ の場合の収縮)量及び熱膨張量の照射量及び照射温度依存性を示す。例えば、燃料チャンネル平均温度が1100℃で、ブロック表面温度差が100℃とすると、燃料ブロック内の温度分布範囲は同図のaに近いと考えられる。この場合ブロックの高温側、低温側の伸び差の照射量、温度依存性は、 $(\delta_T - \delta_R)$ の照射量、温度依存性で見ることができる。

δ_T は、照射温度、照射量によらずほぼ一定である。また δ_R は照射量に対応しては単調に変化するだけであるが、照射温度に応じて大きく変化する。特に照射温度725℃付近を境として、符号が変わる。725℃以下では、熱膨張と照射

変形は共に高温側、低温側の伸び差を増す方向に働くが、725℃以上では、照射変形は伸び差を縮める方向に働く。

3.3.2 燃料チャンネル間温度分布

燃料ブロック変形解析用の温度分布解析条件のうち、燃料チャンネル間温度分布を定めるためにブロック温度分布、変形解析を行った。

燃料ブロック外表面の隣りあう3面を同一温度として温度差を与え、さらに燃料チャンネルのガス温度分布に2種類の温度分布(2分割温度分布、傾斜温度分布)を与えてブロックの温度分布を計算した。

その温度分布を用いてGBEAMコードによりブロック変形量を660日燃焼期間(950℃出口)まで計算し、温度分布の違いによる変形量を比較した。

その結果、2分割温度分布の方が、傾斜温度分布よりもブロックの変形量は大きいことがわかった。次章以降の解析では、この2分割温度分布を燃料チャンネル間温度分布とする。

(1) 温度分布解析

(i) 解析条件

- ① 解析モデル……第3.15図(2次元平面モデル)
- ② 境界条件……第3.15図
 - ・燃料ブロックの表面温度を3辺ごとに高温側、低温側で固定。
 - ・燃料チャンネルのガス温度を固定。熱伝達率を与える。
- ③ 解析条件……第3.3表

燃料チャンネル間の温度分布は、傾斜温度分布、2分割温度分布の2種類について解析を行った。

(ii) 解析結果

解析結果を第3.17図及び第3.18図に示す。

(2) ブロック変形解析

(i) 解析条件

- ① 解析モデル……第3.19図の平面を持つ長さ290mmの1/2ブロックを各要素ごとに1次元粘弾性ビームの集合としてモデル化。上面は、平面形状を保つものとしてモデル化。
- ② 解析コード……GBEAM
- ③ 解析条件

温度分布；前項で解析された温度分布。

高速中性子フルエンス；燃料660日で 1.3×10^{21} n/cm²を仮定。

解析上考慮した現象；熱膨張，照射変形，照射クリープ。

拘束条件；下面の変位を拘束。

(ii) 解析結果

ブロック変形量を燃焼を追って第3.4表に示す。

この解析結果より次の2点が明らかである。

① 燃料チャンネル温度分布

傾斜温度分布よりも2分割温度分布の方が変形量は大きい。

② 燃焼変化

燃焼に伴って照射変形，照射クリープの効果で変形量は減少し，高速中性子フルエンスが $\sim 3 \times 10^{20}$ n/cm²程度で変形量が零となる。高速中性子フルエンスが $\sim 3 \times 10^{20}$ n/cm²程度を越えると照射変形量が熱膨張量を上回って，今度は逆の方向に変形を始め $\sim 7 \times 10^{20}$ n/cm²程度で変形量の絶対値が燃焼0日と同程度になる。これを越えるとさらに増加し， 1×10^{21} n/cm²で燃焼0日の約3倍に達する。

3.3.3 ブロック温度が725℃以上の場合

GBEAMにより温度分布をパラメータとして，燃焼を通じてブロック温度が725℃以上でのブロック変形解析を行った。その結果，次のことがわかった。

(1) 燃料チャンネル平均温度効果

燃料チャンネル平均温度をパラメータとしてブロック変形量を比較した結果，基準温度分布（燃料チャンネル平均1100℃）の場合にブロック変形量差^{注)}は最大になることがわかった。

(2) ブロック表面温度差，燃料チャンネル間温度差

ブロック変形量差はブロック表面温度差，燃料チャンネル間温度差にほぼ比例する。

(3) 燃焼変化

ブロック変形量差は燃焼にしたがって減少するが，高速中性子照射量が 6.5×10^{20} n/cm²程度で逆に増加しはじめる。

(4) 炉心内の分布

燃焼660日での照射量を考えると，燃料体4段目以下では，変形量差は初期の値を越えない。燃料体3段目までは，照射量が大きく，変形量差最大では初期の値の約2倍になる。

(i) 燃料チャンネル平均温度効果の検討

ブロック変形量に与える熱膨張及び照射変形の温度効果を第3.20図に示す。

同図によると，ブロック平均温度が変化することによって，ブロック変形量差は変わることがわかる。

第3.5表に燃料チャンネル平均温度を変化させた場合のブロック変形量差の変化を燃焼を追って示す。燃料チャンネル平均温度は基準温度分布（平均1100℃）及び燃料チャンネル平均温度1000℃，950℃のケース基準温度分布からそれぞれ100℃及び150℃差し引いた場合について，比較している。

同図によると，ブロック変形量差は高速中性子照射量が 10.4×10^{20} n/cm²までは燃料チャンネル平均温度1000℃のケースがもっとも大きい，それ以降は，基準温度分布のケースが最も大きい。

(ii) ブロック変形量差のパラメータサーベイ

前項で求めたブロック変形量差の最も大きな燃料チャンネル平均温度1100℃をブロック変形量差のパラメータサーベイ用燃料チャンネル平均温度として設定した。

注) 変形量差；第3.4表下図で示される δ 。

第 3.21 図に温度分布解析条件のパラメータサーベイケースを示す。

第 3.22～3.24 図にブロック変形量差対ブロック表面温度差の図を燃料チャンネル間温度差をパラメータとして示す。

第 3.25 図にブロック変形量差の燃焼変化を示す。

第 3.22～3.24 図によると、ブロック表面温度差と燃料チャンネル間温度差はブロック変形量差に比例することがわかる。

第 3.25 図によるとブロック変形量差は高速中性子照射量が約 $3.0 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2$ 付近で燃焼初期の値に等しくなることがわかる。

3.3.4 ブロック温度が 725℃ 以下の場合

GBEAMにより温度分布をパラメータとして、ブロック温度が 725℃ 以下でのブロック変形解析を燃焼を通じて行った。その結果次のことが明らかになった。

(1) 燃焼変化

燃焼が進むに従ってブロックの変形は単調に増大する。

(2) 燃料チャンネル平均温度 T_A の効果

(a) $T_A = 480^\circ\text{C}$, 550°C の比較

両者の変形量差はわずかであり、ほとんど差はない。

(b) $T_A = 1100^\circ\text{C}$ との比較

高速中性子フルエンスが 0 付近及び $10.4 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2$ 以上の部分を除いては、ほとんどのパラメータ範囲で $T_A = 480^\circ\text{C}$, 550°C の方が変形量差は大きい。

ブロック変形量差のパラメータサーベイ結果を以下に示す。

(1) 温度分布

温度分布解析ケースを第 3.26 図に示す。温度分布は、簡易的に、燃料チャンネルの平均温度 $T_A = 1100^\circ\text{C}$ のケースから、ブロック全体で一律に、燃料チャンネル平均温度差分を差し引いて設定した。

(2) 解析結果

(a) 燃焼変化

変形量差の燃焼変化を第 3.27 図に示す。 $T_A = 1100^\circ\text{C}$ の場合とは異なり、照射変形と熱膨張はいずれも変形量差を増す方向に働くため、変形量差は燃焼を通じて単調に増加している。

(b) 変形量差

変形量差対表面温度差の関係を、燃料チャンネルの平均温度 (T_A) 480°C , 550°C , 1100°C の場合について比較して第 3.28～3.30 図に示す。 $T_A = 480^\circ\text{C}$ と $T_A = 550^\circ\text{C}$ の変形量差では、高速中性子フルエンスが $6.5 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2$ の点で $T_A = 480^\circ\text{C}$ の方がわずかに大きい。その他ではほとんど差はない。また、 $T_A = 1100^\circ\text{C}$ のケースとの比較では、高速中性子フルエンスが 0 付近及び $10.4 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2$ 以上の部分を除いてほとんどのパラメータ範囲で $T_A = 480^\circ\text{C}$, 550°C の方が変形量差は大きい。

3.3.5 ブロック変形量評価式

(1) 炉心内ブロックの分類

流量配分解析コード FLOWNET で 1/6 炉心流配解析を行う際のブロック変形量は、これまでの解析結果に基づき、炉心ブロックを照射量とブロック温度で次の 3 種類に分類し、それぞれ対応するブロック変形量差計算式を用いる。

- (i) ブロック平均温度 < 725 °C 3.3.4 項の解析に基づく変形量差計算式
- (ii) ブロック平均温度 ≥ 725 °C
高速中性子フルエンス ≤ 6.25 × 10²⁰ n/cm² } 3.3.3 項の解析のうち、燃焼初期の解析結果に基づく変形量差計算式
- (iii) ブロック平均温度 ≥ 725 °C
高速中性子フルエンス > 6.25 × 10²⁰ n/cm² } 3.3.3 項の解析に基づく変形量差計算式

上記 725 °C は、3.3.1 項で前述したように、この温度を境にして照射変形の温度による変化率が変わるため、ブロック変形の燃焼変化の傾向が異なるためである。

また、ブロックの平均温度が 725 °C 以上では、燃焼が進むに従って変形量差は一度減少した後増加する。その際高速中性子フルエンスが 6.25 × 10²⁰ n/cm² までは燃焼初期の値を超えないため、このフルエンスまでは燃焼初期の変形量差を安全側に用いることとして、(ii), (iii) を分類した。

(2) 評価式の設定

表面温度差の関数としては、各燃料チャンネル間温度差、高速中性子フルエンスに対応して、計算点を包絡するような直線で近似した。例えば、ブロック温度 725 °C 以上の第 3.22 ~ 3.24 図については、表面温度差 ΔT_s = 0 と ΔT_s = 80 °C を結んだ直線で、ブロック温度 725 °C 以下の第 3.28 ~ 3.30 図については、表面温度差 ΔT_s = 0 と ΔT_s = 160 °C を結んだ直線で近似した。

計算点以外の燃料チャンネル間温度差、高速中性子フルエンスに対しては上記のように安全側に近似した直線間を直線内挿して求める。

- (a) 燃料チャンネルガス温度 T_{ch} ≥ 725 °C、高速中性子フルエンス Φ ≤ 6.5 × 10²⁰ n/cm² の場合の相関式

$$\delta = 1.4125 \times 10^{-3} \Delta T_s + 1.543 \times 10^{-4} (T_{ch} - 400) \quad (\text{mm}) \quad (3.3.1)$$

- (b) 燃料チャンネルガス温度 T_{ch} ≥ 725 °C、高速中性子フルエンス Φ > 6.5 × 10²⁰ n/cm²

$$\delta \equiv \delta(\Phi) = \frac{1}{2.6} (\delta(\Phi' + 2.6) - \delta(\Phi')) (\Phi - \Phi') + \delta(\Phi') \quad (\text{mm}) \quad (3.3.2)$$

$$\delta(\Phi') = \frac{1}{160} \cdot B(\Phi') \Delta T_s + C(\Phi') (T_{ch} - 400)$$

$$(\Phi' \leq \Phi \leq \Phi' + 2.6)$$

Φ'	6.5 × 10 ²⁰	9.1 × 10 ²⁰	11.7 × 10 ²⁰
B(Φ')	0.272	0.464	0.647
C(Φ')	1.3286 × 10 ⁻⁴	2.5286 × 10 ⁻⁴	3.7714 × 10 ⁻⁴

(c) 燃料チャンネルガス温度 $T_{ch} < 725\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\delta \equiv \delta(\Phi) = \frac{1}{1.3} (\delta(\Phi+1.3) - \delta(\Phi')) (\Phi - \Phi') + \delta(\Phi') \quad (3.3.3)$$

$$\delta(\Phi') = \frac{1}{50} \{ (A_{50}(\Phi') - A_0(\Phi')) \cdot \Delta T_s + B_{50}(\Phi') \} \cdot (T_{ch} - 400) \cdot \frac{150}{700} + A_0(\Phi') \cdot \Delta T_s$$

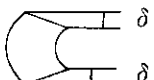
$$(\Phi' \leq \Phi \leq \Phi' + 1.3)$$

$A_0(\Phi')$, $A_{50}(\Phi')$, $B_{50}(\Phi')$ の値については、第 3.6 表参照。

(d) (a), (b), (c) で用いた記号の説明

ΔT_s : FLOWNET より計算されるブロック外表面最大温度差 ($^{\circ}\text{C}$) (軸方向平均値)

T_{ch} : FLOWNET より計算される燃料チャンネルガス平均温度 ($^{\circ}\text{C}$) (軸方向平均値)

δ : ブロック変形量 (mm)  $\delta(\Delta T_s, T_{ch}, \Phi) \equiv \delta(\Phi)$ と表示

Φ : 高速中性子フルエンス (n/cm^2) (ブロック平均値)

$B(\Phi)$, $C(\Phi)$, $A_0(\Phi)$, $A_{50}(\Phi)$, $B_{50}(\Phi)$: 高速中性子フルエンスの関数として定まる定数。

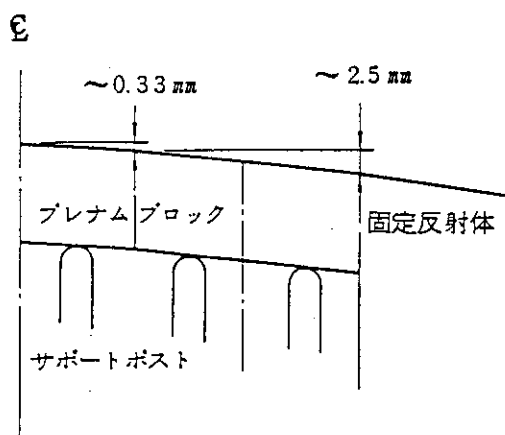
3.3.6 高温プレナムブロックの傾斜によるギャップ量

炉床部の熱変形による高温プレナムブロックの傾斜モデルを下図に示す。これよりプレナムブロックの最大傾斜は約 2.5 mm となり、1 カラム当たりの傾斜量に換算すると

$$2.5 (\text{mm}/\text{プレナムブロック}) / 3 (\text{カラム}/\text{プレナムブロック}) \approx 0.9 \text{ mm}/\text{カラム}$$

となる。したがって 1 積層面当たり約 0.1 mm となる。

(炉床部熱変形評価のための温度条件等は 3.6 節に示す。)



3.3.7 クロス流れギャップの評価

クロス流れギャップは、ブロックの熱・照射変形、高温プレナムブロックの傾斜による隙間を考慮して定める。ブロック熱・照射変形は、ブロック温度、ブロック内温度勾配、及び高速中性子照射量等をパラメータとしたサーベイ計算を実施し、この結果より得られた変形相関式を用いて評価している。

本相関式のパラメータである照射量は、核計算結果から得られた燃焼 110 日の 1 群中性子束分布を基に設定した（基準炉心）。ブロックの温度勾配はブロック周囲 6 辺のカラム間ギャップに面する側面の最大表面温度差とし、その値はブロック温度とともに FLOWNET 解析の結果を再評価することにより設定した。

第 3.7～3.13 表に各運転状態におけるブロック温度及び温度勾配値を、第 3.14 表、燃焼 220 日、330 日における照射量入力値を示す。

ブロック i 段 / $(i+1)$ 段間のクロス流れギャップ $\delta_{\text{eff}(i)}$ は以下のとおりである。

$$\delta_{\text{eff}(i)} = \frac{1}{2}(\delta_{ti(i)} + \delta_{ti(i+1)}) + \delta_h \quad (3.3.4)$$

$\delta_{ti(i)}$: i 段目ブロックの熱照射変形量

δ_h : 高温プレナムの傾斜によるギャップ

第 3.15～3.21 表に各運転状態におけるクロス流れギャップ幅の分布（公称値）を示す。

3.4 カラム間ギャップ

3.4.1 解析条件

カラム間ギャップ設定に関して要求される条件は、

- ① 燃料交換のため炉停止時（常温時）には最小 1 mm のギャップを保つこと。
- ② 運転時は物性値誤差、製作公差を考慮しても炉心カラムが固定反射体を押し広げないこと。

である。

カラム間ギャップ幅（公称ギャップの最小値）設定のための計算条件は以下に示すとおりである。

- | | | | |
|--------------------------|---|---|-------------------------------|
| ③ 炉心カラム物性値誤差 | : $\pm 20\%$ | | |
| ④ P G X 相当品 | " | : $\pm 0.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ | |
| ⑤ プレナムブロック公称温度 | : 1000 $^\circ\text{C}$ | } 950 $^\circ\text{C}$ 運転 | |
| ⑥ 固定反射体 | " | | : 600 $^\circ\text{C}$ |
| ⑦ 下部可動反射体 | " | | : 1000 $^\circ\text{C}$ (炉心部) |
| ⑧ ブロック温度見積誤差 | : $\pm 50 \text{ } ^\circ\text{C}$ | | |
| (炉心カラム, 固定反射体, プレナムブロック) | | | |
| ⑨ 炉心カラム基準熱膨張率 | : $5.1 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ | ($8 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2$, 1000 $^\circ\text{C}$) | |
| ⑩ 固定反射体 | " | : $2.6 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ | |

プレナムブロック上カラムのうち領域間ギャップを形成するカラムのダウエル/ダウエル溝間のクリアランスはプレナムブロックの熱膨張誤差、温度見積誤差を吸収するような値とする。

3.4.2 運転時の公称最小ギャップ幅

ブロックの物性値誤差、ブロック製作公差を考慮しても前項の設計条件を満足し得るような運転時（950 $^\circ\text{C}$ 運転）の公称ギャップ最小値を設定する。

(1) プレナムブロック間のカラム間ギャップ

950℃運転時におけるプレナムブロック間の公称最小ギャップ幅は、以下に示す①～⑧の誤差、公差を考慮して定める。

$$\textcircled{1} \text{ 炉心カラム公差} : \sqrt{0.2^2 \times 9} / 9 \approx 0.1 \text{ mm}$$

$$\textcircled{2} \text{ 固定反射体公差} : \sqrt{0.4^2 \times 12} / 3\pi \approx 0.15 \text{ mm}$$

(H E N D E L - T₂ の実績によれば公差は十分ばらついている)

③ 炉心カラム物性値誤差

$$5.1 \times 10^{-6} \times 0.2 \times 1000 \times 360 \approx 0.37 \text{ mm}$$

[°C⁻¹] [°C] [mm]

④ 固定反射体物性値誤差

$$0.5 \times 10^{-6} \times 600 \times \frac{4250}{3} \approx 0.43 \text{ mm}$$

[°C⁻¹] [°C] [mm]

⑤ カラム温度見積誤差

$$50 \times (5.1 \times 10^{-6}) \times 360 \approx 0.09 \text{ mm}$$

[°C] [°C⁻¹] [mm]

⑥ 固定反射体温度見積誤差

$$50 \times (2.6 \times 10^{-6}) \times \frac{4250}{3} \approx 0.19 \text{ mm}$$

[°C] [°C⁻¹] [mm]

⑦ プレナムブロック物性値誤差

$$0.5 \times 10^{-6} \times 1000 \times 955 \approx 0.48 \text{ mm}$$

⑧ プレナムブロック温度見積誤差

$$50 \times 2.9 \times 10^{-6} \times 955 \approx 0.14 \text{ mm}$$

運転時に保障すべき公称最小ギャップ幅は、特性値を統計処理の上、次のように定める。

$$\textcircled{1} + \textcircled{2} + \sqrt{\textcircled{3}^2 + \textcircled{4}^2} + \textcircled{5} + \textcircled{6} = 1.1 \text{ mm}$$

上記⑦及び⑧の誤差に関しては、領域間のカラム間ギャップを極力抑え黒鉛ブロック応力に悪影響を及ぼすバイパス流れを低減することを目的に、高温プレナムブロックと下部反射体間のダウエル部のクリアランス(片側 0.3 mm)に⑦と⑧の和の半分を加えた分を、ブロック(下部反射体ブロック)を水平方向にすべらせることによって吸収させる構造とする。

したがって、ダウエル部のクリアランス(片側)を下記の値とする。

$$0.3 + \frac{1}{2} (\textcircled{7} + \textcircled{8}) \approx 0.65 \text{ mm}$$

(2) プレナムブロック/固定反射体間カラム間ギャップ

950℃運転時における高温プレナムブロック間カラム間ギャップの公称最小値は、前項(1)にて示した①～⑥の誤差、公差を考慮して定める。各々の値は 1/2 となる。

$$\frac{\textcircled{1}}{2} + \frac{\textcircled{2}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\textcircled{3}}{2}\right)^2 + \left(\frac{\textcircled{4}}{2}\right)^2} + \frac{\textcircled{5}}{2} + \frac{\textcircled{6}}{2} = 0.6 \text{ mm}$$

(3) 領域内部ギャップ (プレナムブロック上カラム)

同一プレナムブロック上のカラム間内部ギャップの公称最小ギャップ幅は、以下に示す⑨～⑭の誤差、公差を考慮して定める。

- ⑨ 炉心カラム公差 : 0.1 mm
- ⑩ 炉心カラム物性値誤差 : (1) - ③と同 0.37 mm
- ⑪ プレナムブロック物性値誤差 : $0.5 \times 10^{-6} \times 1000 \times 362 = 0.18$ mm
[°C⁻¹] [°C] [mm]
- ⑫ プレナムブロックピッチ公差 : 0.2 mm
- ⑬ カラム温度見積誤差 : (1) - ⑤と同 0.09 mm
- ⑭ プレナムブロック温度見積誤差 : $50 \times 2.9 \times 10^{-6} \times 362 = 0.052$ mm
[°C] [°C⁻¹] [mm]

運転時に保障すべき公称最小ギャップ幅は、物性値を統計処理の上、次のように定める。

$$\textcircled{9} + \sqrt{\textcircled{10}^2 + \textcircled{11}^2} + \textcircled{12} + \textcircled{13} + \textcircled{14} = 0.9 \text{ mm}$$

(4) 固定反射体上カラムと固定反射体間ギャップ

固定反射体上カラムと固定反射体間の内部ギャップに関して見込むべき誤差は上記(3)項に示す⑨～⑭の1/2の値であるが、燃料変換時の必要ギャップを考慮して0.6 mmとする。

3.4.3 初期常温時のギャップ幅

前項3.4.2で定めた運転時に保証すべきギャップ幅 (950 °C 運転時の公称最小ギャップ) に基づいて、設計条件を満足する初期常温時のギャップは次のとおりとなる。

(1) プレナムブロック間カラム間ギャップ

- ① 運転時最小ギャップ : 1.1 mm
- ② ピッチ/カラムのノミナル熱膨張誤差

$$1000 \times 5.1 \times 10^{-6} \times 360 - 1000 \times 2.9 \times 10^{-6} \times 362 = 0.79 \text{ mm}$$

[°C] [°C⁻¹] [mm] [°C] [°C⁻¹] [mm]

- ③ 固定反射体/プレナムブロックノミナル熱膨張差

$$(1000 \times 2.9 \times 10^{-6} - 600 \times 2.6 \times 10^{-6}) \times 955 = 1.28 \text{ mm}$$

[°C] [°C⁻¹] [°C] [°C⁻¹] [mm]

- ④ 拘束機構締付による固定反射体の縮み : 1.0 mm

<初期ギャップ幅>

$$\textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3} + \textcircled{4} = 4.2 \text{ mm}$$

(2) プレナムブロック/固定反射体間カラム間ギャップ

運転時最小ギャップは前項より0.6 mmで、これに上記①～④の1/2の値を加えると、初期ギャップ幅は2.2 mmとなる。

(3) 領域内部ギャップ (プレナムブロック上カラム)

- ⑤ 運転時最小ギャップ : 0.9 mm
- ⑥ ピッチ/カラムのノミナル熱膨張差 : 0.79 mm

<初期ギャップ>

$$\textcircled{1} + \textcircled{2} \approx 1.7 \text{ mm}$$

(4) 固定反射体上カラムと固定反射体間ギャップ

運転時最小ギャップ 0.6 mm に上記⑥の 1/2 の値を加え 1.0 mm とする。

以上まとめると、以下のようなになる。

カラム間ギャップ	公称ギャップ最小値	初期値
プレナムブロック間 カラム間ギャップ	1.1 mm	4.2 mm
固定反射体／プレナムブ ロック間カラム間ギャップ	0.6 mm	2.2 mm
領域内部ギャップ（プレ ナムブロック上カラム）	0.9 mm	1.7 mm
固定反射体上カラムと 固定反射体間ギャップ	0.6 mm	1.0 mm

3.4.4 カラム間ギャップ幅分布の算出

計算の領域区分及びカラムを第 3.31 図に示す。固定反射体及びブロックの熱変形、照射変形の炉心内分布を考慮してカラム間ギャップ量を算出した結果を以下に示す。なお、記号の定義は第 3.32 図に示す。

(1) プレナムブロック間カラム間ギャップ幅分布 (δ_{out})

以下の式に示すとおりである。

$$\begin{aligned} \delta_{out} = & \delta_{out0} - \frac{1}{2} D_b (T_i \cdot \alpha_i + T_j \cdot \alpha_j) \\ & + \frac{1}{2} D_p (T_{pi} \cdot \alpha_i + T_{pj} \cdot \alpha_p) \\ & + \frac{1}{2} D_b (\zeta_i \cdot \zeta_j) \end{aligned} \quad (3.4.1)$$

(2) プレナムブロック／固定反射体間カラム間ギャップ (δ_R)

以下の式に示すとおりである。

$$\delta_R = \frac{1}{2} D_p \cdot T_p \cdot \alpha_p - \frac{1}{2} D_b \cdot T_i \cdot \alpha_i + \delta_{OR} \quad (3.4.2)$$

(3) 領域内部ギャップ（プレナムブロック上）(δ_{in})

高温プレナムブロックに対する、カラムの中心位置の移動がないものと仮定すると以下の式に示すとおりである。

$$\delta_{in} = \delta_{in0} - \frac{1}{2} D_b (T_i \cdot \alpha_i + T_j \cdot \alpha_j) + D_p \cdot T_p \cdot \alpha_p + \frac{1}{2} D_b (\zeta_i \cdot \zeta_j) \quad (3.4.3)$$

(4) 固定反射体上カラムと固定反射体間ギャップ (δ_{iR})

固定反射体ブロックに対する，カラムの中心位置の移動がないものと仮定すると以下の式に示すとおりである。

$$\begin{aligned} \delta_{iR} = & \delta_{oir} - \frac{1}{2} D_b \cdot T_i \cdot \alpha_i + \frac{1}{2} D_p \cdot T_{PR} \cdot \alpha_{PR} \\ & + \frac{1}{2} D_b \cdot \zeta_i \end{aligned} \quad (3.4.4)$$

(5) 固定反射体熱膨張逃げ部ギャップ (δ_{PR}) : 1.5 mm

記号の意味は以下のとおりである。

T_i, T_j : ブロック i, j の温度

T_P, T_{PR} : プレナムブロック，固定反射体の温度

α_i, α_j : ブロック i, j の熱膨張率（膨張を正とする）

α_P, α_{PR} : プレナムブロック，固定反射体の熱膨張率（膨張を正とする）

ζ_i, ζ_j : ブロック i, j の照射変形率（収縮を正とする）

δ_{oin} : 3.4.3 (3)項に示す領域内ギャップ初期ギャップ幅（1.7 mm）

δ_{oout} : 3.4.3 (1)項に示す初期ギャップ幅から③，④項を減じた値
（定格運転時）（950℃運転：1.9 mm，850℃運転：2.2 mm）

δ_{oR} : 3.4.3 (2)項に示す初期ギャップ幅から(1)項の③，④項の $\frac{1}{2}$ を減じた値
（定格運転時）（950℃運転：1.1 mm，850℃運転：1.7 mm）

D_b : ブロック半径（360 mm）

D_p : ブロックの平均ピッチ（362 mm）

常温状態における初期（燃焼0日）のカラム間ギャップの値を第3.22表に示す。基準炉心（燃焼10，220，330日）及び照射炉心（燃焼330，440，660日）における定格運転時のカラム間ギャップ幅の値を第3.23～3.29表に示す。また，燃焼660日後の炉停止時のカラム間ギャップの値を第3.30表に示す。

燃焼0日と660日後の常温における領域内部ギャップの値が1.7 mmから1.8 mmに増加した原因は，中性子照射による黒鉛ブロックの寸法変化（収縮）によるものである。

3.5 シール性能データ

3.5.1 高温プレナムブロックシール性能

高温プレナムブロックシール要素には三角板状シール要素を用いる。シール要素流動抵抗係数 (K/A^2) は，原研で行ったシール性能実測試験⁽⁴⁾より得られたシール部継目有効ギャップ幅 $\tilde{\delta}_s$ を用いて設定する。 $\tilde{\delta}_s$ はシール部段差（食い違い段差＋平行段差） ℓ' とプレナムブロック間ギャップ δ_s で定まる。

(1) シール部段差の設定

食い違い段差は，プレナムブロックのキー及びキー溝間のクリアランスに起因するもので，

段差 l_d は幾何形状より下式で示される。

$$l_d = \frac{W}{L_k} (2 \delta_c) \quad (3.5.1)$$

ここで W はプレナムブロック 1 辺長 (551 mm), L_k はキー長 (550 mm), δ_c はキー/キー溝間クリアランス (0.7 mm) であり, l_d は丸めて 1.5 mm と設定する。

次に平行段差 (l) は第 3.31 表に示す炉床部各構造物の熱膨張量及び熱膨張率誤差, 並びに製作・据付公差を考慮して以下の通り定めた。

(a) 中心/周辺領域間プレナムブロック間シール

- ① ノミナル値: ノミナル熱膨張差をとって 0.33 mm (= 8.63 - 8.30)
- ② 最大値: ノミナル値 + 物性値誤差 + 製作公差
 = 0.33 + (0.69 + 0.67) + 0.5
 = 2.22 mm

(b) 周辺領域プレナムブロック間シール

(a)と同様に設定する。

- ① ノミナル値: 0 mm
- ② 最大値: 0 + (0.67 × 2) + 0.5 = 1.9 mm

(c) 周辺プレナムブロック/固定反射体間シール

ノミナル膨張差は 4.5 mm があるため, 製作・据付時に固定反射体ブロックを 4.5 mm 高くしておく。

- ① ノミナル値: 0 mm
- ② 最大値: (0.67 + 0.48) + 0.5 = 1.7 mm

(2) シール部流動抵抗

高温プレナムブロック三角シールのシール性能 Λ (コーナー 1ヶ所当) は, 次式を用いて評価する。

$$\Lambda = (K/A^2) = \frac{K}{(\delta_s \times \tilde{\delta}_B)^2} \quad (\text{m}^{-4}) \quad (3.5.2)$$

ここで, K : 抵抗係数

δ_s : シール端部ギャップ幅

$\tilde{\delta}_B$: 高温プレナムブロック間等価ギャップ幅

この時, K の値は実験結果を保守的に包括した値, $K = 0.9$ を用いる。ここで, $\delta_s = 1.0$ mm で, この時 $\tilde{\delta}_B$ は

$$\delta_B = (2 - \sqrt{2}) + \frac{1}{\sqrt{2}} (l' + \delta_B) \quad (3.5.3)$$

で評価する。

(3) 設計値

プレナムブロックシール要素流動抵抗設計値は、以下の通りである。炉心設計には最小値を使用した。（ここで Λ は抵抗係数、 $l' = l + l_d$ ）

(a) 中心／周辺領域間プレナムブロック間シール

	(ノミナル値)	(最小値)
l'	1.9 mm	3.7 mm
δ_B	2.6 mm	3.7 mm
$\tilde{\delta}_B$	3.8 mm	5.8 mm
Λ	$6.2 \times 10^{10} \text{ m}^{-4}$	<u>$2.7 \times 10^9 \text{ m}^{-4}$</u>

(b) 周辺領域間プレナムブロック間シール

	(ノミナル値)	(最小値)
l'	1.5 mm	3.4 mm
δ_B	2.6 mm	3.7 mm
$\tilde{\delta}_B$	3.5 mm	5.6 mm
Λ	$7.3 \times 10^{10} \text{ m}^{-4}$	<u>$2.9 \times 10^9 \text{ m}^{-4}$</u>

(c) 周辺プレナムブロック／固定反射体間シール

	(ノミナル値)	(最小値)
l'	1.5 mm	3.2 mm
δ_B	1.3 mm	1.9 mm
$\tilde{\delta}_B$	2.6 mm	4.2 mm
Λ	$1.3 \times 10^{11} \text{ m}^{-4}$	<u>$5.1 \times 10^{10} \text{ m}^{-4}$</u>

3.5.2 固定反射体シール性能⁽⁵⁾

(1) キー及びシール要素流動抵抗係数

固定反射体キー及びシール要素の抵抗係数（500 mm当り）と段差 δ との設計相関式を用い以下の通りとする。

- ① 縦置キー及びシール要素 : $1.0 \times 10^9 \text{ m}^{-4}$
(くいちがい段差 0.22 mm)
- ② 横置キー及びシール要素 : $2.2 \times 10^8 \Delta P \text{ (m}^{-4}\text{)}$

(2) ブロック面間流動抵抗

固定反射体ブロック当り面間の等価ギャップは設計値0.1 mmを用いる。有効流路長は以下の通りである。

- ① 隣接ブロック間ギャップ : 130 mm
- ② 上下ブロック間ギャップ : 160 mm

(3) 固定反射体面取部流動抵抗係数

固定反射体面取部は等価な円管モデルとし摩擦及び形状損失を考慮する。摩擦係数相関式は円管の相関式を用いた。有効流路長は130 mm、形状損失係数は実測試験より4.0とする。

各レベルの面取形状及び寸法は第3.33図に示す通りである。

(4) 透 過

固定反射体内のヘリウムガスの透過流は Darcy 則に従うものと仮定し、以下の式を用いる。

$$\Delta P = \frac{\nu \cdot \ell}{K_D \cdot A} M_p \quad (3.5.4)$$

ここで、 ΔP : 差圧 (P_a) K_D : 透過率 (m^2)
 M_p : 透過流量 (kg/s) ℓ : 透過距離 (m)
 ν : 動粘性係数 (m^2/s) A : 透過面積 (m^2)

透過率は $1.18 \times 10^{-13} m^2$, 透過面積は固定反射体外側表面積を、透過距離は固定反射体ブロック当り面奥行長を用いる。

3.6 冷却材流路に関する熱流動データ

3.6.1 燃料チャンネルの圧力損失係数及び熱伝達率

(1) 燃料チャンネル圧力損失係数

i) 入口部 a

$$K_a = 0.25$$

ii) ディフューザー部 b

$$K_b = 0.35$$

$$\frac{\ell}{R_1} = \frac{40}{11.5} = 3.48$$

$$\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 = \left(\frac{41}{23}\right)^2 = 3.2$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{9.5}{40} \right) = 13.4$$

iii) 流路縮少部 c

$$K_c = 0.44$$

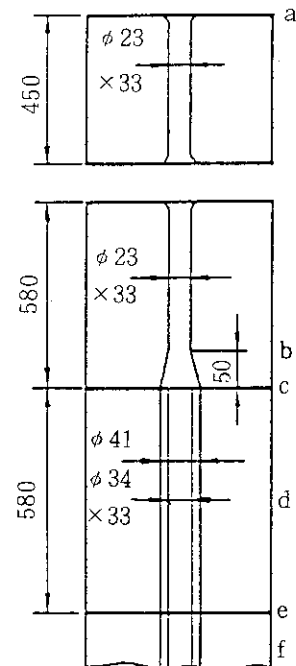
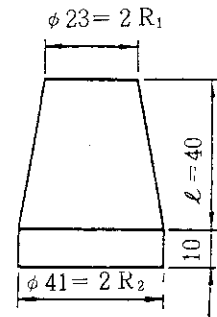
$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{\pi/4 (41^2 - 34^2)}{\pi/4 (41)^2} = 0.31$$

$$\zeta = 0.42$$

$$h = \zeta \cdot \frac{v_2^2}{2g} = \zeta \cdot \left(\frac{v_2}{v_{23}} \right)^2 \cdot \frac{v_{23}^2}{2g}$$

$$= \zeta \cdot \left(\frac{A_{23}}{A_2} \right)^2 \cdot \frac{v_{23}^2}{2g}$$

$$K_c = (0.42) \cdot \left\{ \frac{\pi/4 (41^2 - 34^2)}{\pi/4 (23)^2} \right\}^2 = 0.42$$



IV) 燃料棒スペーサーリブ部 d

$$K_d = 10.0 R_e^{-0.25} \quad (R_e > 2000)$$

V) 燃料冷却流路オフセット

ダウエルとダウエルソケットのクリアランスによる燃料冷却流路断面積の変化による圧損係数 K_0 を求める。

冷却材流路外径を $2R$ (mm)

“ 内径を $2r$ (mm)

オフセット量を δ (mm)

とすると、第 3.34 図よりオフセット断面積 S_1 及び S_2 は以下の式で与えられる。

$$S_1 = 2 \left\{ R^2 \sin^{-1} \left(\frac{R-\delta}{R} \right) - R^2 \cos^{-1} \left(\frac{\delta}{2R} \right) + R \sqrt{2R\delta + \frac{\delta^2 R}{2}} \right\} \quad (3.6.1)$$

$$S_2 = 2 \left\{ r^2 \sin^{-1} \left(\frac{r-\delta}{r} \right) - r^2 \cos^{-1} \left(\frac{\delta}{2r} \right) + r \sqrt{2r\delta + \frac{\delta^2 r}{2}} \right\} \quad (3.6.2)$$

冷却材流路断面積を S_0 とすると、オフセットによる流路拡大・縮小による圧損係数 ζ は以下の式で表わされる。

$$\begin{aligned} \zeta &= \zeta_0 \left(\frac{d}{d_0} \right)^4 \\ &= \zeta_0 \left(\frac{S_0}{S_0 - S_1 - S_2} \right)^2 \end{aligned} \quad (3.6.3)$$

$R = 20.5$ mm, $r = 17.0$ mm とし、オフセット量をダウエルのクリアランス(公称値 $\delta = 0.3$ mm) を使用すると

$$S_0 = 412.3, \quad S_1 = 12.0, \quad S_2 = 10.0$$

口径比(絞り部口径/流路口径)に換算すると

$$\sqrt{(S_0 - S_1 - S_2)} / S_0 = 0.97$$

となる。第 3.35 図⁽⁶⁾より、 $\zeta_0 = 0.1$ となり圧力損失係数 K_0 は以下に示す通りとなる。

$$K_0 = 0.1 \times \left(\frac{S_2 - S_1 - S_2}{S_0} \right)^2 = 0.09 \rightarrow 0.1$$

vi) 流路拡大部 g

$$K_g = 0.53$$

$$\zeta = \left(1 - \frac{\pi/4 (41^2 - 34^2)}{\pi/4 (41)^2}\right)^2 = 0.5$$

$$h = \zeta \cdot \frac{v_1^2}{2g} = \zeta \cdot \left(\frac{A_1}{A_{23}}\right)^2 \cdot \frac{v_{23}^2}{2g}$$

$$K_g = (0.5) \left(\frac{\pi/4 (41^2 - 34^2)}{\pi/4 (23)^2}\right)^2 = 0.5$$

vii) 流路拡大 h

• 33ピンカラム

$$K_h = 0.25 + \left\{1 - \left(\frac{58}{194}\right)^2\right\}^2 = 1.08$$

(入口部) (出口部)

• 31ピンカラム

$$K_h = 0.25 + \left\{1 - \left(\frac{56.2}{194}\right)^2\right\}^2 = 1.09$$

(入口部) (出口部)

viii) プレナムブロックベント部

(拡大部) $K_{j1} = \left(1 - \left(\frac{80}{130}\right)^2\right)^2 = 0.4$

(ベント) $K_{j2} = 0.25$ (90°, 半径比2)

$$K = K_{j1} + K_{j2} = 0.65$$

ix) 高温プレナムブロック混合部及び出口

$$K_k = 5.0$$

(2) 標準燃料チャンネル摩擦損失係数 (f)

(i) 円管流路

$$f = 16/R_e \quad (R_e < 2000) \tag{3.6.4}$$

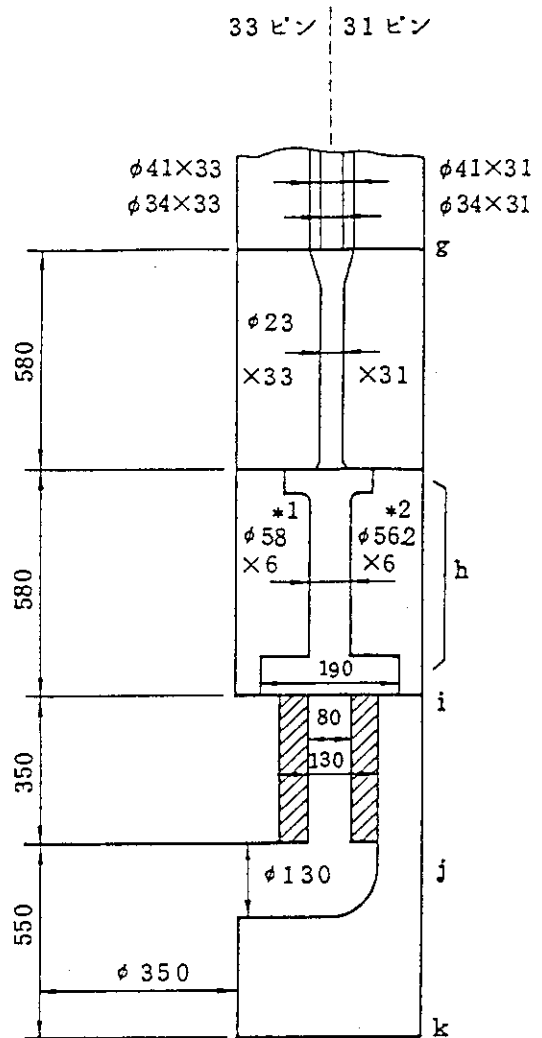
$$f = 0.0791 \cdot R_e^{-0.25} \quad (R_e < 4000) \tag{3.6.5}$$

2000 ≤ R_e ≤ 4000 では線形補間

(ii) 円環流路 (スペーサリブの効果を除く)

$$f = 24/R_e \quad (R_e \leq 2000) \tag{3.6.6}$$

$$f = 0.0791 \cdot R_e^{-0.25} \quad (R_e > 2000) \tag{3.6.7}$$



*1 : 33ピンカラム

*2 : 31ピンカラム

(3) 標準燃料チャンネル熱伝達率 (ヌセルト数 N_u)

(i) 円管流路

$$N_u = 4.364 \quad (R_e \leq 2329) \quad (3.6.8)$$

$$N_u = 0.116 (R_e^{2/3} - 125) \cdot P_r^{1/3} \\ \times \frac{0.02 \times 6000^{0.8} \cdot P_r^{0.4}}{0.116 (6000^{2/3} - 125) \cdot P_r^{1/3}} \quad (2329 \leq R_e \leq 6000) \quad (3.6.9)$$

$$N_u = 0.02 R_e^{0.8} P_r^{0.4} \quad (R_e > 6000) \quad (3.6.10)$$

(ii) 円環流路 (スぺーサリブの効果を含む)⁽²⁾

$$N_u = 0.020 \left(\frac{D_o}{D_i}\right)^{-0.16} R_e^{0.8} P_r^{0.4} \left(\frac{T_w}{T_b}\right)^{-0.5} \quad (R_e > 2000) \quad (3.6.11)$$

ここで, D_o, D_i : 流路外径, 内径 (m)

T_w, T_b : 表面温度, バルク温度 (K)

(4) 突起付燃料チャンネル熱流動データ

(i) 摩擦損失係数

$$f = 0.02 \quad (R_e \geq 2000) \quad (3.6.12)$$

(ii) 圧力損失係数

スぺーサリブ及びチャンネルオフセットによる圧力損失係数は標準燃料チャンネルと同じ。

(iii) 熱伝達率 (ヌセルト数 N_u)⁽⁷⁾

$$N_u = 0.098 \cdot R_e^{0.734} \cdot P_r^{0.4} \left(\frac{T_w}{T_b}\right)^{-0.5} \quad (R_e \geq 2000) \quad (3.6.13)$$

3.6.2 カラム間ギャップの流路における圧力損失係数及び熱伝達率

(1) チャンネル圧力損失係数

バイパス流れを保守的に評価するため無視する。

(2) チャンネル摩擦係数

$$f = 24/R_e \quad (R_e < 2000) \quad (3.6.14)$$

$$f = 0.0791 R_e^{-0.25} \quad (R > 4000) \quad (3.6.15)$$

$2000 \leq R_e \leq 4000$ では線形補間

(3) チャンネル熱伝達係数 (ヌセルト数 N_u)

$$N_u = 8.235 \quad (R_e < 3000) \quad (3.6.16)$$

$$N_u = 8.23 + \left(\frac{R_e - 3000}{3000}\right) \cdot (19.4293 \cdot P_r^{0.33} - 8.23) \quad (3.6.17)$$

$(3000 \leq R_e \leq 6000)$

$$N_u = 0.203 R_e^{0.789} P_r^{0.33} \quad (R_e > 6000) \quad (3.6.18)$$

3.6.3 制御棒案内ブロック冷却チャンネルの熱伝達率と圧力損失係数

設計に使用したC/R冷却チャンネルの摩擦係数及び熱伝達係数データは、燃料チャンネル熱流動データにおける円管流路（制御棒がないものと仮定）のデータを使用した。

出入口部の流路データは次の通りである。

(i) C/R冷却チャンネル出口流路

出口は1チャンネル当り3本（1ブロック6本）の絞り流路を設ける。流路孔は $\phi 9$ mmの円管流路で、形状損失係数は0.44、有効流路長は270 mm。

$$A_1 \text{ (C/Rチャンネル流路面積)} = \frac{\pi}{4} \times 0.123^2 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$A_2 \text{ (絞り流路面積)} = \frac{\pi}{4} \times 0.009^2 \times 3 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$A_2/A_1 = 0.016 \quad \therefore \zeta = 0.44$$

(ii) C/R冷却チャンネル入口絞り

1カラム当りの流路抵抗係数 K/A^2 を $2.25 \times 10^7 \text{ m}^{-4}$ とする。なお、本値は制御棒挿入による流動抵抗増加分も含む。

3.7 その他の1次元伝熱路データ等

(1) 熱伝導率

IG-110, PGX黒鉛の熱伝導率は温度・照射量依存性を考慮したノミナル設計値を使用する。

(2) 伝熱路モデル

可動反射体及び制御棒案内カラムにおける1次元伝熱モデルを第3.36図に示す。

(3) 放射形態係数

黒鉛ブロック間、及び黒鉛スリーブ/黒鉛ブロック間に放射伝熱を考慮した。放射率は設計値0.8を用い、放射形態係数（放射面積を含む）は次の通りである。

（黒鉛スリーブ/黒鉛ブロック間）

$$V = 0.034 \pi \times 5.0 \times \frac{1}{(4.5) \left(\frac{1}{0.8} + \frac{0.034}{0.041} \left(\frac{1}{0.8} - 1 \right) \right)}$$

$$= 0.3665 \text{ m (33ピン)}$$

$$= 0.3298 \text{ m (31ピン)}$$

（黒鉛ブロック間）

$$V = 0.2078 \times \frac{1}{\frac{1}{0.8} + \frac{1}{0.8} - 1}$$

$$= 0.1385 \text{ m}$$

(4) 発熱データ

FLOWNET計算に使用した炉心発熱分布は3次元全炉心CITATION解析結果(C/R挿入度はノミナル)を使用した。炉内の発熱割合は次の通りである。

燃料棒	98.0%
制御棒案内カラム(炉心内)	1.0%
側部可動反射体	0.7%
固定反射体	0.3%

(5) 高温プレナム・ブロック三角シールのシール性能 Λ は、次式を用いて評価する。

$$\Lambda = (K/A^2) = \frac{K}{(\delta_s \times \tilde{\delta}_B)^2} \quad (3.7.1)$$

ここで、 K : 抵抗係数(第3.37図参照)

δ_s : シール端部ギャップ幅(第3.38図参照)

$\tilde{\delta}_B$: 高温プレナムブロック間等価ギャップ幅(第3.38, 3.39図参照)

この時、 K の値は第3.37図に示すように実験結果を保守的に包絡した値($K=0.9$)を用いる。

なお三角シールは、高温プレナムブロックのくい違い段差が生じるとシール面の勾配に沿ってシール要素がすべり、第3.39, 3.41図に示すようにブロック間のギャップ幅 δ_B と比較すると、開口部の幅が若干広がる。従って、シール端部の開口面積を評価する際に、ブロック間ギャップ幅 δ_B の代わりに下式の等価ギャップ幅 $\tilde{\delta}_B$ を用いることとする。

$$\tilde{\delta}_B = (2 - \sqrt{2}) + \frac{1}{\sqrt{2}}(\ell' + \delta_B) \quad (3.7.2)$$

第3.1表 等価熱伝導率解析ケース及び結果（炉心内部用）

ケース	燃料チャンネル 熱伝達率 hc ($\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$)	ギャップ 熱伝達率 hg ($\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$)	熱伝導率 k ($\text{kcal}/\text{mh}^\circ\text{C}$)	燃料チャンネル 平均線出力密度 q_L (kcal/mh ピン)	燃料チャンネル 平均ガス温度 T_A ($^\circ\text{C}$)	ギャップ ガス温度 T_g ($^\circ\text{C}$)	等価熱伝導率 f (λ) (mあたり)	f (λ) $\times 0.9$
A-1	350	400					33ピン	33ピン
2	350	1600		2000	1100	1000	86.68	78.0
3	600	400					87.48	78.7
4	350	400	36			1050	97.90	88.1
5	350	400		14000		1000	87.43	78.7
6	350	400		2000	700	600	88.20	79.4
B-1	350	400					80.95	72.9
2	600	400	18	2000	1100	1000	53.57	48.2
C-1	350	400					59.46	53.5
2	600	400	61	2000	1100	1000	124.7	112.2
							141.3	127.2

第3.2表 等価熱伝導率解析ケース及び結果（炉心外周部用）

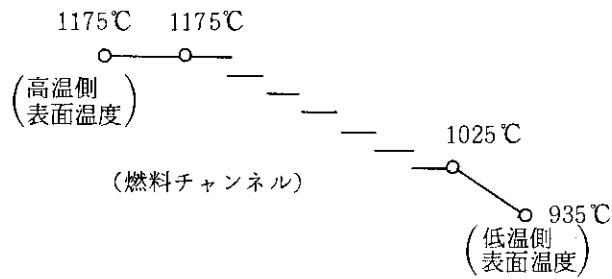
(31ピン)

ケース	燃料チャネル 熱伝達率 hc (kcal/m ² h°C)	ギヤッ 熱伝達率 hg (kcal/m ² h°C)	熱伝導率 k (kcal/mh°C)	燃料チャネル 平均線出力密度 q_L (kcal/mhピン)	燃料チャネル 平均ガス温度 T_A (°C)		ギヤッ ガス温度 T_g (°C)	等価 熱伝導率 (1mあたり)	燃料チャネル /ギヤッ 温度差
					チャンネル番号	温度			
1-1	350	400	36	2000	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	1150	1000	46.28	86.4
	350	1600							
	600	400							
	350	400							
	350	1600							
	600	400							
2-1	350	400	36	2000	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	722	600	62.40	94.0
	350	1600							
	600	400							
	350	400							
	350	1600							
	600	400							
3-1	350	400	18	2000	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	1150	1000	28.77	86.4
	600								
	350								
	600								
4-1	350	400	61	2000	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	1050	1050	16.42	36.4
	600								
	350								
	600								

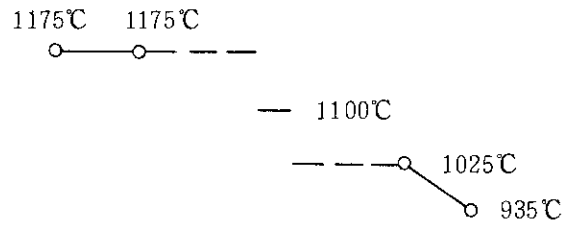
第 3.3 表 解 析 条 件

ケース	燃料チャンネル 熱 伝 達 率	燃料チャンネル No.	燃料チャンネル 温 度 (°C)	ブロック表面温度 (°C)	
				高温側 T _H	低温側 T _L
傾斜 温度 分布	500 (kcal/m ² h °C)	1 ~ 3	1175	高温側 T _H	1175
		4 ~ 8	1150		
		9 ~ 14	1125		
		15 ~ 19	1100	低温側 T _L	935
		20 ~ 25	1075		
		26 ~ 30	1050		
		31 ~ 33	1025		
2 分割 温度 分布	500	1 ~ 14	1175	高温側 T _H	1175
		15 ~ 19	1100	低温側 T _L	935
		20 ~ 33	1025		

(傾斜温度分布)



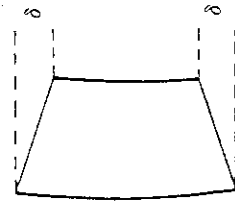
(2分割温度分布)



第3.4表 ブロック変形量解析結果

燃 焼 日 数	0	(日)	66	132	198	264	330	396	462	528	594	660
高 速 中 性 子 フ ル エ ン ス	0	($\times 10^{20}$ n/cm ²)	1.3	2.6	3.9	5.2	6.5	7.8	9.1	10.0	11.7	13.0
傾 斜 温 度 分 布 変 形 量*	0.413	(mm)	0.255	0.093	0.074	0.239	0.406	0.572	0.738	0.904	1.07	1.23
2 分 割 温 度 分 布 変 形 量*	0.446	(mm)	0.276	0.101	0.078	0.256	0.434	0.613	0.792	0.970	1.15	1.32

*変形量; δ

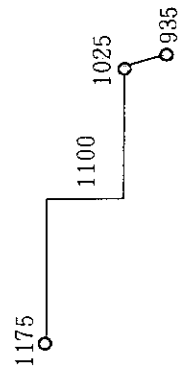


第3.5表 ブロック温度効果の検討

高速中性子 フルエンス	0 ($\times 10^{20} \text{n/cm}^2$)	1.3	2.6	3.9	5.2	6.5	7.8	9.1	10.4	11.7	13.0
基準温度分布	0.446	0.276	0.101	0.078	0.256	0.434	0.613	0.792	0.970	1.15	1.32
燃料チャンネル*1 平均ガス温度 1000°Cケース	0.445	0.246	0.055	0.133	0.313	0.487	0.655	0.815	0.970	1.12	1.26
燃料チャンネル*2 平均ガス温度 950°Cケース	0.444	0.259	0.085	0.088	0.250	0.403	0.549	0.684	0.811	0.928	1.04

*1 燃料チャンネル平均温度1000°Cケース (-100°Cケース)
基準温度分布より一律100°C差し引いた分布

*2 燃料チャンネル平均温度950°Cケース (-150°Cケース)
基準温度分布より一律150°C差し引いた分布



第3.6表 ブロック変形量計算パラメータ

(Φ')	0	1.3	2.6	3.9	5.2	6.5	7.8	9.1	0.4	1.7	3.0
		$\times 10^{20}$	$\times 10^{20}$	$\times 10^{20}$	$\times 10^{20}$	$\times 10^{20}$	$\times 10^{20}$	$\times 10^{20}$	$\times 10^{20}$	$\times 10^{20}$	$\times 10^{20}$
A_0 (Φ')	1.5625 $\times 10^{-3}$	1.91875 $\times 10^{-3}$	2.24375 $\times 10^{-3}$	2.55 $\times 10^{-3}$	2.84375 $\times 10^{-3}$	3.11875 $\times 10^{-3}$	3.375 $\times 10^{-3}$	3.61875 $\times 10^{-3}$	3.84375 $\times 10^{-3}$	4.05625 $\times 10^{-3}$	4.25 $\times 10^{-3}$
A_{50} (Φ')	1.5625 $\times 10^{-3}$	1.90 $\times 10^{-3}$	2.2125 $\times 10^{-3}$	2.50625 $\times 10^{-3}$	2.80 $\times 10^{-3}$	3.8125 $\times 10^{-3}$	3.3375 $\times 10^{-3}$	3.58125 $\times 10^{-3}$	3.8125 $\times 10^{-3}$	4.03125 $\times 10^{-3}$	4.225 $\times 10^{-3}$
B_{50} (Φ)	0.033	0.042	0.051	0.059	0.066	0.072	0.078	0.084	0.089	0.093	0.097

第 3.7 表 クロス流れギャップ設定用ブロック温度勾配(ΔT)及びブロック温度(T) ~ 燃焼 10日, 850°C 運転 ~ [°C]

	F1		F2		F3		F4		F5	
	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)
上部反射体	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000
	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000
	22.020	453.560	15.850	455.380	10.520	449.310	25.240	449.210	18.360	449.770
	32.050	603.930	22.540	609.950	23.780	587.960	41.100	588.060	32.230	585.800
燃料体	23.070	747.390	20.150	756.850	33.450	720.670	43.010	721.530	36.500	714.890
	9.350	841.750	14.650	852.750	48.630	809.300	45.840	810.920	41.430	800.570
	6.940	894.120	11.860	905.150	62.510	858.560	55.980	860.530	52.150	847.600
	10.520	912.880	48.180	922.820	125.570	871.440	144.230	872.470	107.620	857.330
下部反射体	81.780	912.000	43.730	921.070	169.150	866.700	198.050	866.470	138.210	849.630

	C1		C2		C3		C4	
	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)
上部反射体	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000
	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000
	0.0	483.720	67.730	476.930	20.500	446.220	10.950	447.880
	0.0	650.640	69.810	638.810	67.570	560.310	106.180	541.560
燃料体	0.0	781.600	55.640	771.390	142.960	669.910	209.470	620.830
	0.0	857.340	39.380	850.210	205.280	738.120	272.530	669.460
	0.0	899.630	40.820	893.500	252.280	764.630	300.000	673.990
	0.0	921.210	81.380	926.260	283.420	721.110	300.000	643.300
下部反射体	0.0	854.070	48.360	890.580	239.060	718.300	246.320	630.800

第3.8表 クロス流れギャップ設定用ブロック温度勾配(ΔT)及びブロック温度(T) ~ 燃焼 220日, 850°C運転 ~ [°C]

	F1		F2		F3		F4		F5	
	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)
上部反射体	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000
	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000
	30.150	447.680	24.580	448.900	34.450	442.940	54.700	442.760	34.230	443.650
燃料体	39.500	587.210	30.350	590.760	56.700	568.790	81.960	568.890	66.000	567.790
	30.770	730.360	27.170	735.080	73.360	697.320	84.710	698.690	76.070	693.310
	15.400	836.030	20.730	840.650	91.730	792.480	89.730	795.070	85.090	785.340
	6.220	901.460	16.890	905.420	107.170	851.130	101.530	854.220	96.880	841.150
下部反射体	11.260	925.590	45.380	928.290	123.970	868.640	144.070	870.410	106.130	855.820
	66.100	924.880	21.890	926.550	169.110	864.370	200.370	864.610	136.840	849.910

	C1		C2		C3		C4	
	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)
上部反射体	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000
	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000
	0.0	480.120	69.970	471.220	39.620	432.800	12.830	439.220
燃料体	0.0	629.650	68.990	609.360	35.390	518.810	56.430	513.470
	0.0	766.860	66.560	741.520	98.080	616.690	150.060	586.010
	0.0	857.840	49.220	837.470	174.850	689.610	227.340	634.130
	0.0	911.130	45.250	894.460	226.260	724.310	288.090	642.160
下部反射体	0.0	926.930	74.800	926.810	284.140	726.420	300.000	657.870
	0.0	876.480	54.600	928.860	261.240	730.980	300.000	657.760

第 3.9 表 クロス流れギヤップ設定用ブロック温度勾配(ΔT)及びブロック温度(T) ~ 燃焼 220 日, 950°C 運転 ~ [°C]

	F1	F2	F3	F4	F5		C1	C2	C3	C4
	(ΔT)	(ΔT)	(ΔT)	(ΔT)	(ΔT)		(ΔT)	(ΔT)	(ΔT)	(ΔT)
	(T)	(T)	(T)	(T)	(T)		(T)	(T)	(T)	(T)
上部反射体	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000
	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000
	36.470	460.090	39.960	454.030	62.520	453.790	62.590	496.510	8.490	448.170
燃料体	46.430	632.080	68.580	608.640	90.200	608.440	64.940	670.850	83.130	542.150
	35.890	805.950	86.660	763.880	98.000	764.500	56.890	834.500	199.080	630.680
	18.350	931.820	111.770	876.210	106.850	877.630	64.940	942.790	287.170	687.720
	8.520	1008.930	127.200	944.530	119.880	946.230	53.720	942.790	300.000	696.980
下部反射体	54.490	1037.020	145.940	963.400	184.100	963.250	60.700	1003.650	300.000	734.500
	107.020	1035.670	187.990	957.230	259.460	955.240	126.630	1059.840	300.000	720.680
							103.640	1078.770	300.000	

第3.10表 クロス流れギャップ設定用ブロック温度勾配(ΔT)及びブロック温度(T) ~ 燃焼 330日, 950°C 運転 ~ [°C]

	F1		F2		F3		F4		F5	
	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)
上部反射体	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000
	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000
	38.290	458.010	25.530	459.740	40.040	452.550	65.260	452.160	43.560	453.450
	46.470	626.110	31.570	630.790	67.500	604.480	91.500	603.890	76.680	603.280
燃料体	36.750	800.300	30.560	805.850	88.400	760.340	109.920	760.550	92.380	755.190
	20.620	932.200	25.680	936.840	112.960	877.790	109.620	878.800	104.370	868.130
	9.330	1017.610	25.000	1020.660	129.070	952.980	122.270	954.290	114.880	939.010
下部反射体	56.920	1049.810	79.390	1050.650	153.720	974.830	190.590	974.460	127.940	956.960
	92.070	1048.600	53.380	1048.050	199.940	967.730	256.940	965.810	182.540	947.390

	C1		C2		C3		C4	
	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)
上部反射体	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000
	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000
	0.0	501.030	64.560	494.440	43.700	439.920	9.700	446.680
	0.0	675.090	64.660	660.400	41.990	545.040	77.810	537.530
燃料体	0.0	846.420	56.880	827.270	126.930	665.810	194.980	626.310
	0.0	964.460	52.370	945.340	222.780	758.510	288.390	687.660
	0.0	1036.210	60.950	1015.460	278.190	808.130	300.000	703.180
下部反射体	0.0	1065.830	122.190	1074.300	300.000	812.940	300.000	739.540
	0.0	1015.190	89.570	1066.100	300.000	797.120	300.000	707.620

第 3.11 表 クロス流れキャップ設定用ブロック温度勾配(ΔT)及びブロック温度(T) ~ 燃焼 330 日, 照射炉心 ~ [°C]

	F1		F2		F3		F4		F5	
	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)
上部反射体	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000
	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000
燃料体	36.810	447.620	23.490	452.510	34.390	444.360	55.500	444.170	36.720	445.440
	47.670	582.220	32.200	602.960	60.680	576.210	86.110	576.230	69.470	576.060
	43.820	723.930	29.340	757.790	82.590	713.420	91.280	714.500	81.450	710.500
	27.850	833.750	20.670	874.640	99.310	815.880	102.890	817.810	90.070	809.810
	20.690	904.870	19.090	947.840	124.860	879.540	118.990	881.510	111.620	870.140
下部反射体	24.810	931.420	54.250	972.580	134.700	897.430	163.480	897.930	111.370	884.630
	32.300	931.750	15.420	970.020	184.100	891.590	214.250	890.450	151.980	876.680
	C1		C2		C3		C4			
	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)
上部反射体	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000
	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000
燃料体	0.0	477.040	67.140	471.090	41.970	428.490	12.150	436.070	57.420	511.820
	0.0	608.680	70.140	608.690	37.410	513.710	57.420	511.820	159.260	589.970
	0.0	744.200	57.300	747.920	97.760	616.890	242.700	642.840	300.000	651.430
	0.0	852.990	52.190	856.640	184.760	696.280	300.000	651.430	300.000	669.770
下部反射体	0.0	920.890	57.900	921.740	242.260	735.060	300.000	651.430	300.000	669.770
	0.0	955.060	93.370	960.020	293.360	735.630	300.000	651.430	300.000	669.770
	0.0	963.760	50.720	942.540	253.250	728.870	300.000	655.370		

第 3.12 表 クロス流れギャップ設定用ブロッック温度勾配(ΔT)及びブロッック温度(T) ~ 燃焼 440日, 照射炉心 ~ [$^{\circ}\text{C}$]

	F1		F2		F3		F4		F5	
	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)
上部反射体	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000
	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000
燃料体	38.680	449.260	26.720	458.530	37.780	455.290	67.450	454.990	45.010	455.060
	46.270	575.200	33.650	605.000	59.150	597.160	88.610	597.180	72.650	595.690
	41.450	700.770	29.350	745.620	73.870	734.130	94.870	735.640	85.600	731.200
	31.720	799.410	21.770	852.110	87.630	834.850	93.410	837.610	92.700	830.010
	24.970	865.500	16.780	920.850	114.310	897.940	107.050	901.050	117.480	890.570
下部反射体	24.110	890.760	47.200	944.870	115.660	915.770	159.460	917.200	113.220	904.840
	32.380	891.420	32.130	942.880	161.770	909.800	197.950	909.240	152.120	896.450
		C1		C2		C3		C4		
	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)		
上部反射体	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000		
	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000		
燃料体	0.0	477.200	81.660	478.100	45.650	434.120	13.000	441.700		
	0.0	595.120	70.280	607.050	39.870	527.440	68.880	522.710		
	0.0	711.360	76.360	732.100	110.020	628.850	174.780	598.650		
	0.0	812.640	63.960	836.000	197.690	709.550	258.700	652.330		
	0.0	878.990	60.950	902.400	252.430	748.250	300.000	660.690		
下部反射体	0.0	913.020	61.450	944.960	300.000	756.570	300.000	684.940		
	0.0	922.470	57.600	931.530	274.520	752.090	300.000	672.910		

第 3.13 表 クロス流れギャップ設定用ブロッック温度勾配(ΔT)及びブロッック温度(T) ~ 燃焼 660 日, 照射炉心 ~ [°C]

	F1		F2		F3		F4		F5	
	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)
上部反射体	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000
	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000
燃料体	46.710	458.030	32.130	473.060	45.140	470.620	84.510	470.350	55.390	469.070
	46.040	583.990	32.720	623.930	59.810	619.920	92.360	620.030	75.430	617.390
	42.010	698.850	30.520	754.450	69.190	749.950	90.350	751.420	83.250	746.720
	36.770	788.790	28.740	852.290	86.560	843.740	95.150	846.190	93.530	839.010
	28.800	851.420	23.190	917.540	112.900	903.770	107.770	906.360	119.010	896.690
下部反射体	28.570	876.290	50.650	940.900	117.870	920.590	166.560	921.770	117.670	910.560
	38.980	877.170	43.090	938.920	168.140	913.970	202.140	913.390	155.070	901.990
		C1		C2		C3		C4		
	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)	(ΔT)	(T)		
上部反射体	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000		
	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000	0.0	400.000		
燃料体	0.0	491.730	102.810	496.060	55.690	445.950	18.250	453.580		
	0.0	603.030	85.860	621.440	43.700	546.010	79.690	537.600		
	0.0	705.210	88.680	731.300	111.170	643.040	177.410	611.690		
	0.0	798.430	83.080	828.170	198.820	710.690	261.750	653.930		
	0.0	863.930	75.600	895.010	257.160	748.850	300.000	661.410		
下部反射体	0.0	898.250	64.450	943.320	300.000	755.520	300.000	684.310		
	0.0	908.850	64.130	936.040	271.430	748.460	300.000	671.440		

第 3.14 表 高速中性子照射量分布 (燃焼 220 日)(その 1)

	F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	F4	F5
上部反射体	0.0 0.170 3.100 4.100	0.0 0.170 3.100 4.100	0.0 0.180 2.600 3.500	0.0 0.180 2.600 3.500	0.0 0.080 2.400 3.100	0.0 0.260 4.700 6.200	0.0 0.260 4.700 6.200	0.0 0.270 3.900 5.300	0.0 0.270 3.900 5.300	0.0 0.120 3.600 4.650
燃料体	3.200 1.800 1.300	3.200 1.800 1.300	2.700 1.600 0.900	2.700 1.600 0.900	2.400 1.400 0.800	4.800 2.700 2.000	4.800 2.700 2.000	4.100 2.400 1.350	4.100 2.400 1.400	3.600 2.100 1.200
下部反射体	0.080 0.0	0.080 0.0	0.080 0.0	0.080 0.0	0.080 0.0	0.120 0.0	0.120 0.0	0.120 0.0	0.120 0.0	0.120 0.0

高速中性子照射量分布 (燃焼 330 日)(その 2)

	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
上部反射体	0.0 0.180 1.800 2.500	0.0 0.160 0.190 2.400	0.0 0.050 0.530 0.780	0.0 0.050 0.530 0.780	0.0 0.270 2.700 3.750	0.0 0.240 0.290 3.600	0.0 0.080 0.800 1.200	0.0 0.080 0.800 1.200
燃料体	2.000 1.100 0.620	1.900 1.100 0.600	0.620 0.360 0.200	0.620 0.360 0.200	3.000 1.650 0.930	2.900 1.700 0.900	0.930 0.540 0.300	0.930 0.540 0.300
下部反射体	0.080 0.0	0.080 0.0	0.080 0.0	0.080 0.0	0.120 0.0	0.120 0.0	0.120 0.0	0.120 0.0

第 3.15 表 クロス流れギャップ ~ 燃焼 10日, 850°C 運転 ~ (mm)

	F1	F2	F3	F4	F5	C1	C2	C3	C4
上部反射体	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
	0.142	0.133	0.123	0.146	0.136	0.112	0.217	0.139	0.124
	0.221	0.198	0.187	0.237	0.212	0.147	0.360	0.267	0.310
燃料体	0.265	0.248	0.261	0.303	0.278	0.194	0.379	0.490	0.644
	0.268	0.274	0.329	0.341	0.322	0.229	0.361	0.704	0.922
	0.267	0.285	0.391	0.378	0.363	0.248	0.359	0.855	1.071
	0.280	0.343	0.509	0.527	0.465	0.258	0.430	1.001	1.111
下部反射体	0.389	0.391	0.661	0.728	0.587	0.250	0.440	1.007	1.021
	0.295	0.242	0.411	0.452	0.365	0.170	0.244	0.519	0.518

第 3.16 表 クロス流れギャップ ~ 燃焼 220日, 850°C 運転 ~ (mm)

	F1	F2	F3	F4	F5	C1	C2	C3	C4
上部反射体	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
	0.182	0.169	0.186	0.232	0.184	0.116	0.223	0.173	0.128
	0.331	0.296	0.365	0.472	0.377	0.165	0.417	0.255	0.247
燃料体	0.344	0.317	0.508	0.594	0.519	0.206	0.441	0.386	0.507
	0.283	0.287	0.519	0.542	0.506	0.227	0.384	0.637	0.801
	0.275	0.299	0.511	0.501	0.485	0.250	0.377	0.846	1.013
	0.283	0.347	0.568	0.590	0.525	0.260	0.427	0.965	1.113
下部反射体	0.371	0.358	0.658	0.731	0.583	0.255	0.446	0.972	1.117
	0.274	0.212	0.411	0.455	0.363	0.174	0.239	0.520	0.605

第 3.17 表 クロス流れギヤップ ～ 燃焼 220 日, 950°C 運転～ [mm]

	F1	F2	F3	F4	F5	C1	C2	C3	C4
上部反射体	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
	0.200	0.172	0.201	0.252	0.205	0.120	0.215	0.180	0.122
燃料体	0.378	0.315	0.418	0.520	0.431	0.182	0.413	0.282	0.293
	0.392	0.350	0.495	0.563	0.509	0.232	0.445	0.471	0.650
	0.321	0.326	0.510	0.519	0.498	0.257	0.407	0.737	0.999
	0.314	0.348	0.595	0.578	0.556	0.283	0.439	0.916	1.147
	0.381	0.442	0.657	0.701	0.604	0.297	0.560	1.034	1.103
	0.525	0.504	0.745	0.899	0.698	0.294	0.632	1.072	1.089
下部反射体	0.349	0.291	0.452	0.552	0.433	0.194	0.351	0.585	0.614

第 3.18 表 クロス流れギヤップ ～ 燃焼 330 日, 950°C 運転～ [mm]

	F1	F2	F3	F4	F5	C1	C2	C3	C4
上部反射体	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
	0.220	0.186	0.215	0.279	0.221	0.122	0.220	0.184	0.125
燃料体	0.429	0.351	0.464	0.596	0.481	0.191	0.441	0.289	0.296
	0.422	0.371	0.530	0.615	0.546	0.237	0.467	0.478	0.661
	0.325	0.325	0.514	0.527	0.505	0.256	0.404	0.744	1.026
	0.320	0.350	0.601	0.587	0.565	0.285	0.439	0.926	1.173
	0.389	0.444	0.673	0.716	0.612	0.301	0.558	1.043	1.113
	0.511	0.488	0.776	0.908	0.709	0.298	0.606	1.072	1.088
下部反射体	0.330	0.275	0.470	0.550	0.442	0.195	0.329	0.585	0.612

第 3.19 表 クロス流れギヤップ ~ 燃焼 330 日, 照射炉心 ~ [mm]

	F1	F2	F3	F4	F5	C1	C2	C3	C4
上部反射体	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
	0.213	0.178	0.199	0.232	0.202	0.117	0.221	0.179	0.128
燃料体	0.412	0.337	0.421	0.546	0.436	0.169	0.443	0.270	0.236
	0.506	0.355	0.612	0.707	0.608	0.205	0.457	0.404	0.548
	0.413	0.299	0.595	0.622	0.564	0.223	0.379	0.674	0.871
	0.313	0.314	0.555	0.552	0.521	0.250	0.406	0.855	1.081
下部反射体	0.324	0.376	0.617	0.650	0.562	0.266	0.481	0.960	1.147
	0.345	0.375	0.703	0.786	0.620	0.273	0.474	0.975	1.122
	0.228	0.210	0.436	0.478	0.388	0.187	0.255	0.508	0.605

第 3.20 表 クロス流れギヤップ ~ 燃焼 440 日, 照射炉心 ~ [mm]

	F1	F2	F3	F4	F5	C1	C2	C3	C4
上部反射体	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
	0.232	0.198	0.224	0.309	0.239	0.118	0.318	0.191	0.129
燃料体	0.454	0.384	0.472	0.649	0.516	0.174	0.564	0.293	0.270
	0.548	0.391	0.504	0.627	0.549	0.238	0.505	0.451	0.573
	0.433	0.305	0.447	0.485	0.469	0.245	0.417	0.750	0.902
	0.314	0.305	0.529	0.528	0.539	0.238	0.421	0.911	1.092
下部反射体	0.317	0.355	0.581	0.634	0.579	0.253	0.434	0.989	1.136
	0.331	0.380	0.650	0.763	0.629	0.260	0.434	1.021	1.121
	0.222	0.229	0.407	0.458	0.391	0.181	0.263	0.542	0.607

第 3.21 表 クロス流れギャップ ~ 燃焼 660 日, 照射炉心 ~ (mm)

	F1	F2	F3	F4	F5	C1	C2	C3	C4
上部反射体	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
	0.289	0.242	0.277	0.411	0.303	0.125	0.418	0.221	0.142
	0.559	0.469	0.587	0.843	0.653	0.195	0.764	0.346	0.314
	0.643	0.538	0.669	0.848	0.698	0.263	0.622	0.500	0.626
燃料体	0.486	0.422	0.551	0.619	0.547	0.255	0.460	0.802	0.944
	0.322	0.323	0.528	0.534	0.545	0.233	0.467	0.944	1.121
	0.324	0.368	0.584	0.646	0.590	0.248	0.458	0.996	1.146
	0.343	0.399	0.664	0.781	0.641	0.255	0.448	1.016	1.122
下部反射体	0.229	0.244	0.417	0.465	0.396	0.179	0.273	0.537	0.607

第 3.22 表 初期カラム間ギャップ (燃焼 0 日) 常温時

** INTRA-GAP WIDTH (MM) **		REG. 3											
REG. 1	REG. 2	D7/8	1.70										
D1/2	D2/2	D3/4	D3/5	D4/5	D4/6	D5/5	D5/6	D5/7	D5/8	D6/7			
上部①	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	↓
反射体②	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
①	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
②	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
燃料体③	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
④	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
⑤	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
下部①	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
反射体②	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓

** INTR-GAP WIDTH (MM) **		REG. 2-3									
REG. 1-2	REG. 2-2	G5/7	2.20								
G2/3	G3/4	G4/5	G4/6	G5/6	G6/7	G6/8	G7/8				
上部①	4.20	4.20	4.20	4.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	↓
反射体②	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
①	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
②	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
燃料体③	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
④	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
⑤	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
下部①	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
反射体②	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓

** REFRCCTOR GAP WIDTH (MM) **		REG. PR-PR			
REG. 2-PR	REG. 3-PR	R9/9	1.50		
G7/9	G8/9	R8/9	R9/9		
上部①	2.20	1.00	1.00	1.50	↓
反射体②	↓	↓	↓	↓	↓
①	↓	↓	↓	↓	↓
②	↓	↓	↓	↓	↓
燃料体③	↓	↓	↓	↓	↓
④	↓	↓	↓	↓	↓
⑤	↓	↓	↓	↓	↓
下部①	↓	↓	↓	↓	↓
反射体②	↓	↓	↓	↓	↓

Di/j : i, j カラム間内部ギャップ
 Gi/j : i, j カラム間外部 (領域間) ギャップ
 Ri/j : 固定反射体上カラム i と固定反射体 (j = 9) 間ギャップ
 R9/9 : 固定反射体熱膨張逃げ部ギャップ

第 3.23 表 カラム間ギャップ (850°C 基準炉心: 燃焼 10 日 定格運転状態)

	** INTRA-GAP WIDTH (MM) **										REG. 3 D7/8	
	REG. 1 D1/2	REG. 2 D3/4	D3/5	D4/5	D4/6	D5/5	D5/6	D5/7	D5/8	D6/7		
上部 反射体	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27
	2.15	2.18	2.18	2.16	2.16	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18
①	1.87	1.93	1.93	1.90	1.90	1.94	1.95	1.95	1.95	1.95	1.96	1.96
②	1.63	1.67	1.67	1.66	1.67	1.71	1.71	1.72	1.72	1.73	1.74	1.74
燃料体	1.50	1.53	1.53	1.53	1.54	1.57	1.58	1.59	1.59	1.60	1.61	1.61
③	1.44	1.47	1.47	1.48	1.49	1.51	1.52	1.55	1.55	1.56	1.58	1.58
④	1.40	1.43	1.43	1.44	1.45	1.47	1.48	1.50	1.50	1.51	1.53	1.53
⑤	1.36	1.39	1.39	1.40	1.42	1.43	1.45	1.47	1.47	1.49	1.52	1.52
下部 反射体	1.34	1.38	1.38	1.38	1.39	1.43	1.44	1.44	1.53	1.54	1.62	1.62
	1.41	1.39	1.39	1.42	1.43	1.44	1.45	1.55	1.55	1.57	1.67	1.67

	** INTER-GAP WIDTH (MM) **										REG. 2-3 G5/7	G6/8	G6/7	G7/8
	REG. 1-2 G2/3	G2/4	REG. 2-2 G3/4	G4/5	G5/6	G5/7	G6/7	G6/8	G7/8					
	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	1.56	1.56	1.56	1.56
	2.27	2.25	2.25	2.26	2.26	2.26	2.28	2.28	2.28	2.28	1.48	1.48	1.48	1.48
	1.74	1.73	1.72	1.98	1.99	1.99	2.04	2.04	2.04	2.04	1.25	1.25	1.25	1.25
	1.60	1.60	1.59	1.72	1.75	1.75	1.81	1.81	1.81	1.81	1.02	1.02	1.02	1.03
	1.54	1.54	1.54	1.59	1.63	1.63	1.67	1.67	1.67	1.67	0.89	0.90	0.90	0.91
	1.49	1.50	1.49	1.54	1.57	1.57	1.62	1.62	1.62	1.62	0.84	0.85	0.85	0.87
	1.45	1.47	1.46	1.49	1.53	1.53	1.57	1.57	1.57	1.57	0.80	0.81	0.81	0.83
	1.44	1.43	1.43	1.46	1.50	1.50	1.54	1.54	1.54	1.54	0.77	0.78	0.78	0.81
	1.44	1.47	1.46	1.43	1.47	1.47	1.54	1.54	1.54	1.54	0.82	0.83	0.83	0.92
				1.46	1.51	1.51	1.55	1.55	1.55	1.55	0.86	0.86	0.86	0.96

Di/j: i, j カラム間内部ギャップ
 Gi/j: i, j カラム間外部 (領域間) ギャップ
 Ri/j: 固定反射体上カラム i と固定反射体 (j=9) 間ギャップ

** REFLECTOR GAP WIDTH (MM) **

REG. 2-PR G7/9	G8/9	REG. 3-PR R7/9	R8/9
1.33	1.33	1.17	1.17
1.33	1.33	1.17	1.17
1.29	1.29	1.12	1.12
1.18	1.18	1.01	1.01
1.07	1.07	0.90	0.90
1.00	1.00	0.84	0.84
0.99	0.99	0.82	0.82
0.96	0.96	0.80	0.80
0.96	0.96	0.79	0.79
1.01	1.01	0.85	0.85
1.03	1.03	0.87	0.87

第 3.24 表 カラム間ギャップ (850°C 基準炉心 : 燃焼 220 日 定格運転状態)

** INTRA-GAP WIDTH (MM) **													
REG. 1		REG. 2		REG. 3		REG. 2-1		REG. 2-2		REG. 2-3		REG. 3	
D1/2	D2/2	D3/4	D3/5	D4/5	D4/6	D5/5	D5/6	D5/7	D5/8	D6/7	D6/7	D7/8	D7/8
上部	2.14	2.14	2.14	2.14	2.14	2.14	2.14	2.14	2.14	2.14	2.14	2.14	2.14
反射体 ①	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
反射体 ②	2.16	2.24	2.23	2.12	2.15	2.22	2.16	2.16	2.16	2.15	2.15	2.15	2.10
燃料体 ③	1.83	1.89	1.90	1.84	1.86	1.93	1.92	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93
燃料体 ④	1.52	1.55	1.57	1.56	1.57	1.60	1.61	1.66	1.66	1.67	1.67	1.72	1.72
燃料体 ⑤	1.39	1.41	1.44	1.44	1.44	1.47	1.48	1.53	1.53	1.53	1.53	1.58	1.58
燃料体 ⑥	1.35	1.37	1.39	1.39	1.39	1.41	1.42	1.48	1.48	1.49	1.49	1.55	1.55
下部	1.29	1.31	1.34	1.34	1.34	1.37	1.36	1.43	1.43	1.44	1.44	1.49	1.49
反射体	1.26	1.28	1.30	1.30	1.31	1.34	1.35	1.40	1.40	1.41	1.41	1.47	1.47
	1.22	1.21	1.25	1.25	1.26	1.31	1.32	1.40	1.40	1.41	1.41	1.49	1.49
	1.25	1.20	1.26	1.25	1.27	1.31	1.33	1.41	1.41	1.41	1.41	1.49	1.51

** INTER-GAP WIDTH (MM) **													
REG. 1-2		REG. 2-2		REG. 3-PR		REG. 2-1		REG. 2-2		REG. 2-3		REG. 3	
G2/3	G2/4	G3/4	G4/5	G4/5	G5/6	G5/6	G5/7	G5/7	G6/7	G6/7	G6/7	G6/8	G7/8
2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.56	2.56
2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.58	2.58
2.59	2.53	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.58	2.52
2.24	2.20	2.20	2.20	2.22	2.22	2.22	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.35	2.36
1.90	1.89	1.89	1.89	1.92	1.92	1.92	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	2.09	2.15
1.76	1.76	1.76	1.76	1.79	1.79	1.79	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.91	1.91
1.72	1.72	1.72	1.72	1.74	1.74	1.74	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.86	1.86
1.66	1.66	1.66	1.66	1.69	1.69	1.69	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.86	1.86
1.63	1.63	1.63	1.63	1.66	1.66	1.66	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.84	1.84
1.56	1.56	1.56	1.56	1.61	1.61	1.61	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.83	1.83
1.56	1.55	1.55	1.55	1.61	1.61	1.61	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.85	1.85

** REFLECTOR GAP WIDTH (MM) **													
REG. 2-PR		REG. 3-PR		REG. 3-PR		REG. 2-PR		REG. 3-PR		REG. 2-PR		REG. 3-PR	
G7/9	G8/9	G8/9	R7/9	R8/9	R8/9	R8/9	R7/9	R8/9	R8/9	R8/9	R8/9	R8/9	R8/9
1.40	1.40	1.40	1.13	1.12	1.12	1.12	1.13	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12
1.40	1.40	1.40	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13
1.37	1.38	1.38	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
1.29	1.29	1.29	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
1.19	1.19	1.19	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
1.12	1.12	1.12	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
1.10	1.10	1.10	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
1.07	1.07	1.07	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
1.06	1.06	1.06	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
1.07	1.07	1.07	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
1.08	1.08	1.08	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80

Di/j : i, j カラム間内部ギャップ
 Gi/j : i, j カラム間外部 (領域間) ギャップ
 Ri/j : 固定反射体上カラム i と固定反射体(j=9)間ギャップ

第 3.25 表 カラム間ギャップ (950°C 基準炉心：燃焼 220 日定格運転状態)

** INTRA-GAP WIDTH (MM) **												
REG.1		REG.2		REG.3		REG.4		REG.5		REG.6		REG.7
D1/2	D2/2	D3/4	D3/5	D4/5	D4/6	D5/5	D5/6	D5/7	D5/8	D6/7	D6/8	D7/8
上部	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27
反射体	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28
①	2.25	2.33	2.33	2.20	2.24	2.32	2.32	2.26	2.27	2.25	2.25	2.21
②	1.83	1.90	1.92	1.85	1.87	1.95	1.95	1.97	1.97	1.97	1.97	1.99
燃料体	1.53	1.55	1.58	1.58	1.57	1.62	1.62	1.67	1.67	1.68	1.73	1.73
③	1.41	1.45	1.47	1.46	1.45	1.49	1.50	1.53	1.53	1.53	1.57	1.57
④	1.38	1.42	1.43	1.43	1.41	1.45	1.45	1.49	1.49	1.49	1.53	1.53
⑤	1.27	1.31	1.34	1.34	1.32	1.37	1.38	1.42	1.42	1.42	1.46	1.46
下部	1.24	1.27	1.30	1.30	1.28	1.29	1.34	1.35	1.39	1.39	1.43	1.43
反射体	1.15	1.13	1.20	1.20	1.17	1.16	1.26	1.26	1.36	1.37	1.43	1.43
	1.15	1.12	1.20	1.20	1.17	1.27	1.29	1.38	1.38	1.40	1.49	1.49

** INTER-GAP WIDTH (MM) **												
REG.1-2		REG.2-2		REG.2-3		REG.2-3		REG.2-3		REG.2-3		REG.3
G2/3	G2/4	G3/4	G3/4	G4/5	G4/5	G5/6	G5/7	G5/7	G6/7	G6/8	G7/8	G7/8
2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36
2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37
2.43	2.35	2.34	2.34	2.34	2.34	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41
1.99	1.94	1.94	1.94	1.97	1.97	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04
1.65	1.63	1.63	1.63	1.66	1.66	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72
1.54	1.52	1.52	1.52	1.54	1.54	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59
1.51	1.48	1.48	1.48	1.49	1.49	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54
1.40	1.38	1.38	1.38	1.41	1.41	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
1.37	1.35	1.35	1.35	1.38	1.38	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44
1.22	1.20	1.20	1.20	1.27	1.27	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37
	1.18	1.18	1.18	1.25	1.25	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38

** REFLECTOR GAP WIDTH (MM) **												
REG.2-PR		REG.3-PR		REG.3-PR		REG.3-PR		REG.3-PR		REG.3-PR		REG.3-PR
G7/9	G8/9	R7/9	R7/9	R8/9	R8/9	R8/9	R8/9	R8/9	R8/9	R8/9	R8/9	R8/9
1.34	1.33	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
1.34	1.34	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
1.30	1.30	1.13	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
1.19	1.19	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
1.06	1.06	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
0.98	0.98	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
0.96	0.96	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
0.93	0.93	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
0.91	0.91	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
0.92	0.92	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
0.94	0.94	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78

D_i/j: i, j カラム間内部ギャップ
 G_i/j: i, j カラム間外部 (領域間) ギャップ
 R_i/j: 固定反射体上カラム i 固定反射体(j=9)間ギャップ

第 3.26 表 カラム間ギャップ (950°C 基準炉心: 燃焼 330 日定格運転状態)

** INTRA-GAP WIDTH (MM) **												
REG. 1		REG. 2		REG. 3		REG. 2-3		REG. 2-3		REG. 3		
D1/2	D2/2	D3/4	D3/5	D4/5	D4/6	D5/5	D5/6	D5/7	D5/8	D6/7	D7/8	
上部	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	
反射体 ①	2.29	2.29	2.29	2.28	2.28	2.29	2.29	2.28	2.29	2.28	2.28	
②	2.32	2.42	2.42	2.24	2.30	2.41	2.40	2.31	2.32	2.29	2.22	
③	1.87	1.96	1.97	1.87	1.90	2.00	1.99	2.00	2.00	2.00	2.01	
燃料体 ④	1.55	1.57	1.60	1.59	1.63	1.63	1.63	1.68	1.68	1.68	1.74	
⑤	1.46	1.49	1.50	1.49	1.47	1.51	1.51	1.54	1.54	1.54	1.57	
⑥	1.44	1.49	1.49	1.45	1.44	1.48	1.48	1.50	1.50	1.50	1.52	
⑦	1.31	1.36	1.38	1.34	1.34	1.40	1.40	1.42	1.42	1.43	1.45	
⑧	1.28	1.33	1.35	1.30	1.31	1.37	1.37	1.39	1.39	1.39	1.42	
下部	1.14	1.11	1.18	1.18	1.16	1.25	1.26	1.34	1.34	1.36	1.44	
反射体	1.13	1.10	1.18	1.15	1.17	1.25	1.27	1.37	1.37	1.38	1.48	

** INTER-GAP WIDTH (MM) **												
REG. 1-2		REG. 2-2		REG. 2-3		REG. 2-3		REG. 2-3		REG. 3		
G2/3	G2/4	G3/4	G3/5	G4/5	G4/6	G5/5	G5/6	G5/7	G5/8	G6/7	G6/8	G7/8
2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36
2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38
2.53	2.42	2.41	2.41	2.40	2.40	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49
2.05	1.98	1.98	1.98	2.00	2.00	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09
1.66	1.65	1.65	1.65	1.68	1.68	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73
1.59	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61
1.59	1.54	1.54	1.54	1.53	1.53	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57
1.45	1.42	1.42	1.42	1.43	1.43	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49
1.42	1.38	1.38	1.38	1.40	1.40	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
1.21	1.18	1.18	1.18	1.24	1.24	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
1.19	1.17	1.17	1.17	1.24	1.24	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36

** REFLECTOR GAP WIDTH (MM) **												
REG. 2-PR		REG. 3-PR		REG. 3-PR		REG. 3-PR		REG. 3-PR		REG. 3-PR		
G7/9	G8/9	G7/9	R7/9	R8/9	R8/9	R8/9	R8/9	R8/9	R8/9	R8/9	R8/9	
1.34	1.33	1.18	1.18	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	
1.34	1.34	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	
1.30	1.31	1.14	1.14	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	
1.07	1.07	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	
0.98	0.98	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	
0.94	0.94	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	
0.92	0.92	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	
0.91	0.91	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	
0.92	0.92	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
0.94	0.94	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	

Di/j: i, j カラム間内部ギャップ
 Gi/j: i, j カラム間外部 (領域間) ギャップ
 Ri/j: 固定反射体上カラム i と固定反射体 (j=9) 間ギャップ

第 3.27 表 カラム間ギャップ (照射炉心: 燃焼 330 日定格運転状態)

** INTRA-GAP WIDTH (MM) **														
REG. 1			REG. 2			REG. 3			REG. 2-1			REG. 2-3		
	D1/2	D2/2	D3/4	D1/5	D4/5	D4/6	D5/5	D5/6	D5/7	D5/8	D6/7	D7/8		
上部	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27		
反射体	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.28	2.29	2.29	2.28	2.29	2.28	2.28		
①	2.37	2.47	2.44	2.44	2.29	2.34	2.43	2.42	2.33	2.34	2.32	2.24		
②	2.03	2.10	2.05	2.05	1.97	2.01	2.08	2.08	2.08	2.08	2.07	2.07		
燃料体	1.67	1.69	1.67	1.67	1.67	1.68	1.70	1.71	1.77	1.77	1.77	1.84		
③	1.53	1.55	1.54	1.54	1.54	1.54	1.56	1.56	1.62	1.62	1.63	1.69		
④	1.50	1.52	1.51	1.51	1.50	1.50	1.53	1.53	1.58	1.58	1.58	1.64		
⑤	1.43	1.45	1.44	1.44	1.44	1.44	1.47	1.48	1.53	1.53	1.53	1.59		
下部	1.40	1.43	1.42	1.42	1.41	1.41	1.44	1.45	1.50	1.50	1.50	1.56		
反射体	1.33	1.32	1.32	1.32	1.32	1.34	1.39	1.40	1.49	1.49	1.50	1.58		
	1.29	1.32	1.32	1.32	1.34	1.36	1.39	1.41	1.51	1.51	1.53	1.63		

** INTER-GAP WIDTH (MM) **														
REG. 1-2			REG. 2-2			REG. 2-1			REG. 2-3			REG. 2-4		
	G2/3	G2/4	G3/4	G3/5	G4/5	G5/6	G5/7	G6/7	G6/8	G7/8				
	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	1.57	1.57		
	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	1.58	1.58		
	2.55	2.47	2.46	2.45	2.45	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	1.63	1.63		
	2.15	2.12	2.08	2.11	2.11	2.17	2.17	2.17	2.17	2.17	1.37	1.37		
	1.76	1.76	1.74	1.74	1.74	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.07	1.13		
	1.63	1.63	1.61	1.63	1.63	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	0.92	0.98		
	1.60	1.59	1.58	1.58	1.59	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	0.88	0.94		
	1.53	1.52	1.50	1.53	1.53	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	0.83	0.88		
	1.50	1.49	1.48	1.50	1.50	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	0.80	0.85		
	1.38	1.39	1.35	1.35	1.42	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	0.79	0.88		
	1.38	1.40	1.37	1.37	1.44	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	0.82	0.93		

** REFLECTOR GAP WIDTH (MM) **				
REG. 2-PR		REG. 3-PR		REG. 9
G7/9	G8/9	R7/9	R8/9	RG/9
1.34	1.33	1.16	1.16	1.17
1.34	1.34	1.18	1.18	1.18
1.31	1.33	1.15	1.16	1.16
1.23	1.23	1.07	1.07	1.07
1.12	1.12	0.95	0.95	0.95
1.04	1.04	0.88	0.88	0.88
1.02	1.02	0.85	0.85	0.85
0.99	0.99	0.83	0.83	0.83
0.98	0.98	0.81	0.81	0.81
0.99	0.99	0.83	0.83	0.83
1.01	1.01	0.85	0.85	0.85

Di/j: i, j カラム間内部ギャップ
 Gi/j: i, j カラム間外部 (領域間) ギャップ
 Ri/j: 固定反射体 i カラム i と固定反射体 (j=9) 間ギャップ

第 3.28 表 カラム間ギャップ (照射炉心: 燃焼 440 日定格運転状態)

	** INTRA-GAP WIDTH (MM) **										
	REG.1 U1/2	REG.2 D3/4	REG.2 D3/5	REG.2 D4/5	REG.2 D4/6	REG.2 D5/5	REG.2 D5/6	REG.2 D5/7	REG.2 D5/8	REG.2 D6/7	REG.3 D7/8
上部 反射体	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27
①	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.28
②	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.24
③	2.12	2.21	2.07	1.98	2.01	2.06	2.06	2.06	2.05	2.05	2.05
燃料体	1.73	1.75	1.68	1.66	1.68	1.68	1.68	1.75	1.75	1.75	1.81
④	1.58	1.60	1.56	1.53	1.55	1.55	1.55	1.61	1.60	1.61	1.66
⑤	1.54	1.56	1.55	1.50	1.52	1.54	1.54	1.58	1.57	1.57	1.61
⑥	1.49	1.51	1.48	1.44	1.47	1.48	1.48	1.52	1.52	1.52	1.56
下部 反射体	1.47	1.50	1.47	1.42	1.45	1.46	1.47	1.50	1.50	1.50	1.53
⑦	1.38	1.40	1.33	1.32	1.33	1.35	1.36	1.45	1.45	1.46	1.55
⑧	1.36	1.39	1.33	1.34	1.35	1.36	1.37	1.47	1.47	1.49	1.59

	** INTER-GAP WIDTH (MM) **									
	REG.1-7 G7/3	G7/4	REG.2-2 G3/4	G4/5	G5/6	G5/7	REG.2-3 G5/7	G6/7	G6/8	G7/8
⑨	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	1.56	1.56	1.56
⑩	2.39	2.39	2.39	2.39	2.39	2.39	2.39	1.59	1.58	1.58
⑪	2.51	2.51	2.51	2.49	2.57	2.57	2.57	1.64	1.65	1.54
⑫	2.19	2.13	2.13	2.17	2.15	2.15	2.15	1.34	1.34	1.34
⑬	1.81	1.81	1.77	1.77	1.78	1.78	1.04	1.04	1.04	1.10
⑭	1.67	1.66	1.65	1.64	1.65	1.65	0.90	0.90	0.90	0.95
⑮	1.66	1.63	1.63	1.62	1.63	1.63	0.87	0.87	0.87	0.91
⑯	1.59	1.58	1.56	1.56	1.58	1.58	0.81	0.82	0.82	0.85
⑰	1.58	1.55	1.54	1.54	1.56	1.56	0.79	0.79	0.79	0.82
⑱	1.45	1.44	1.39	1.42	1.46	1.46	0.74	0.76	0.76	0.84
⑲	1.44	1.45	1.40	1.43	1.47	1.47	0.77	0.78	0.78	0.85

	** REFLECTOR GAP WIDTH (MM) **									
	REG.2-PR G7/9	G8/9	REG.3-PR R7/9	R8/9	R8/9	R8/9	R8/9	R8/9	R8/9	R8/9
⑳	1.33	1.33	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
㉑	1.34	1.34	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18
㉒	1.31	1.33	1.15	1.15	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16
㉓	1.22	1.22	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06
㉔	1.10	1.10	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
㉕	1.03	1.03	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
㉖	1.00	1.00	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
㉗	0.98	0.98	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
㉘	0.96	0.96	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
㉙	0.97	0.97	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
㉚	0.99	0.99	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83

Di/j: i, j カラム間内部ギャップ
 Gi/j: i, j カラム間外部 (領域間) ギャップ
 Ri/j: 固定反射体上カラム i と固定反射体 (j=9) 間ギャップ

第 3.29 表 カラム間ギャップ (照射炉心: 燃焼 660 日定格運転状態)

** INTRA-GAP WIDTH (MM) **												
REG.1		REG.2		REG.3		REG.4		REG.5		REG.6		REG.7
01/2	02/2	03/4	04/5	04/6	05/5	05/6	05/7	05/8	06/7	06/8	06/9	07/8
上部	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27
反射体①	2.30	2.31	2.31	2.30	2.30	2.31	2.30	2.29	2.30	2.29	2.30	2.29
②	2.54	2.74	2.64	2.35	2.45	2.61	2.59	2.41	2.43	2.39	2.24	2.24
③	1.79	1.83	2.14	1.99	2.04	2.11	2.09	2.06	2.06	2.05	2.02	2.02
燃料体④	1.57	1.64	1.72	1.66	1.69	1.70	1.74	1.74	1.74	1.73	1.78	1.78
⑤	1.53	1.55	1.60	1.52	1.56	1.58	1.58	1.62	1.61	1.61	1.65	1.65
下部	1.51	1.54	1.53	1.46	1.50	1.52	1.54	1.54	1.53	1.54	1.55	1.55
反射体	1.41	1.43	1.33	1.44	1.49	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52
	1.39	1.42	1.33	1.33	1.35	1.36	1.45	1.45	1.45	1.45	1.54	1.54
			1.33	1.35	1.35	1.36	1.47	1.47	1.47	1.47	1.58	1.58

** INTER-GAP WIDTH (MM) **												
REG.1-2		REG.2-2		REG.2-3		REG.2-3		REG.2-3		REG.2-3		REG.2-3
G2/J	G2/4	G3/4	G4/5	G4/6	G5/5	G5/6	G5/7	G6/7	G6/8	G6/8	G6/8	G7/8
2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56
2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.59
2.80	2.63	2.60	2.57	2.68	2.68	2.68	1.71	1.68	1.71	1.68	1.71	1.59
2.38	2.28	2.18	2.14	2.19	2.19	2.19	1.36	1.34	1.36	1.34	1.36	1.31
1.88	1.86	1.81	1.79	1.79	1.79	1.79	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.07
1.72	1.69	1.68	1.67	1.67	1.67	1.67	0.91	0.91	0.91	0.90	0.91	0.94
1.71	1.66	1.69	1.67	1.68	1.68	1.68	0.90	0.89	0.89	0.88	0.90	0.90
1.64	1.61	1.61	1.60	1.62	1.62	1.62	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.85
1.64	1.60	1.60	1.59	1.62	1.62	1.62	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
1.47	1.46	1.40	1.42	1.46	1.46	1.46	0.74	0.74	0.75	0.75	0.75	0.83
1.46	1.47	1.41	1.43	1.46	1.46	1.46	0.76	0.77	0.77	0.77	0.77	0.88

** REFLECTION GAP WIDTH (MM) **

REG.2-PR		REG.3-PR		REG.3-PR	
G7/9	G8/9	R7/9	R8/9	R8/9	R8/9
1.33	1.33	1.17	1.17	1.17	1.17
1.35	1.34	1.18	1.18	1.17	1.17
1.30	1.33	1.14	1.14	1.16	1.16
1.21	1.21	1.04	1.04	1.04	1.04
1.09	1.09	0.92	0.92	0.92	0.92
1.02	1.02	0.86	0.86	0.86	0.86
1.00	1.00	0.84	0.84	0.83	0.83
0.97	0.97	0.81	0.81	0.81	0.81
0.96	0.96	0.80	0.80	0.80	0.80
0.97	0.97	0.80	0.80	0.80	0.80
0.99	0.99	0.83	0.83	0.83	0.83

Di/j : i, j カラム間内部ギャップ
 Gi/j : i, j カラム間外部 (領域間) ギャップ
 Ri/j : 固定反射体上カラム i と固定反射体(j=9)間ギャップ

第 3.30 表 炉停止時カメラ間ギャップ (燃焼 660 日) 常温時

** INTRA-GAP WIDTH (MM) **											
REG. 1		REG. 2		REG. 3		REG. 2-3		REG. 3			
D1/2	D2/2	D3/4	D3/5	D4/5	D4/6	D5/5	D5/6	D5/7	D5/8	D6/7	REG. 3 07/8
上部	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
反射体	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.83	1.84	1.83
①	2.25	2.43	2.36	2.08	2.17	2.32	2.29	2.08	2.10	2.05	1.86
②	2.20	2.33	2.17	1.99	2.04	2.12	2.10	1.99	1.99	1.97	1.85
③	1.95	2.01	2.00	2.00	1.90	1.98	1.96	1.90	1.90	1.89	1.82
燃料体	1.89	1.93	2.01	1.88	1.91	1.97	1.97	1.89	1.90	1.88	1.81
④	1.93	1.96	2.11	2.11	1.97	2.00	2.05	1.94	1.94	1.92	1.81
⑤	1.91	1.94	2.04	2.04	1.93	1.97	2.01	1.91	1.91	1.91	1.81
下部	1.94	1.99	2.10	2.10	1.96	2.01	2.06	1.94	1.94	1.93	1.81
反射体	1.87	1.82	1.83	1.83	1.80	1.81	1.82	1.82	1.81	1.82	1.81
	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80

** INTR-GAP WIDTH (MM) **										
REG. 1-2		REG. 2-2		REG. 2-3		REG. 2-3		REG. 2-3		
G2/3	G2/4	G3/4	G3/5	G4/5	G5/6	G5/7	G6/7	G6/8	G7/8	G7/8
4.20	4.20	4.20	4.20	4.20	4.20	4.20	4.20	4.20	4.20	4.20
4.24	4.24	4.24	4.24	4.24	4.24	4.24	4.24	4.24	4.24	4.24
4.61	4.66	4.64	4.60	4.60	4.69	4.68	4.65	4.68	4.68	4.68
4.67	4.56	4.50	4.46	4.46	4.50	4.39	4.37	4.37	4.37	4.37
4.42	4.35	4.36	4.36	4.36	4.36	4.30	4.29	4.28	4.28	4.28
4.38	4.30	4.36	4.33	4.33	4.37	4.29	4.28	4.28	4.28	4.28
4.45	4.36	4.46	4.42	4.42	4.45	4.34	4.32	4.32	4.32	4.32
4.40	4.33	4.40	4.37	4.37	4.41	4.31	4.31	4.31	4.31	4.31
4.46	4.37	4.45	4.41	4.41	4.46	4.34	4.33	4.33	4.33	4.33
4.22	4.21	4.21	4.21	4.21	4.22	4.22	4.22	4.22	4.22	4.22
4.20	4.20	4.20	4.20	4.20	4.20	4.20	4.20	4.20	4.20	4.20

** REFLECTOR GAP WIDTH (MM) **

REG. 2-PR		REG. 3-PR		REG. 3-PR	
G7/9	G8/9	R7/9	R8/9	R8/9	R8/9
2.20	2.20	1.00	1.00	1.00	1.00
2.22	2.21	1.02	1.01	1.01	1.01
2.22	2.24	1.02	1.04	1.04	1.04
2.23	2.23	1.03	1.03	1.03	1.03
2.21	2.21	1.01	1.01	1.01	1.01
2.20	2.21	1.00	1.01	1.01	1.01
2.20	2.21	1.00	1.01	1.01	1.01
2.20	2.20	1.00	1.00	1.00	1.00
2.21	2.21	1.01	1.01	1.01	1.01
2.20	2.20	1.00	1.00	1.00	1.00
2.20	2.20	1.00	1.00	1.00	1.00

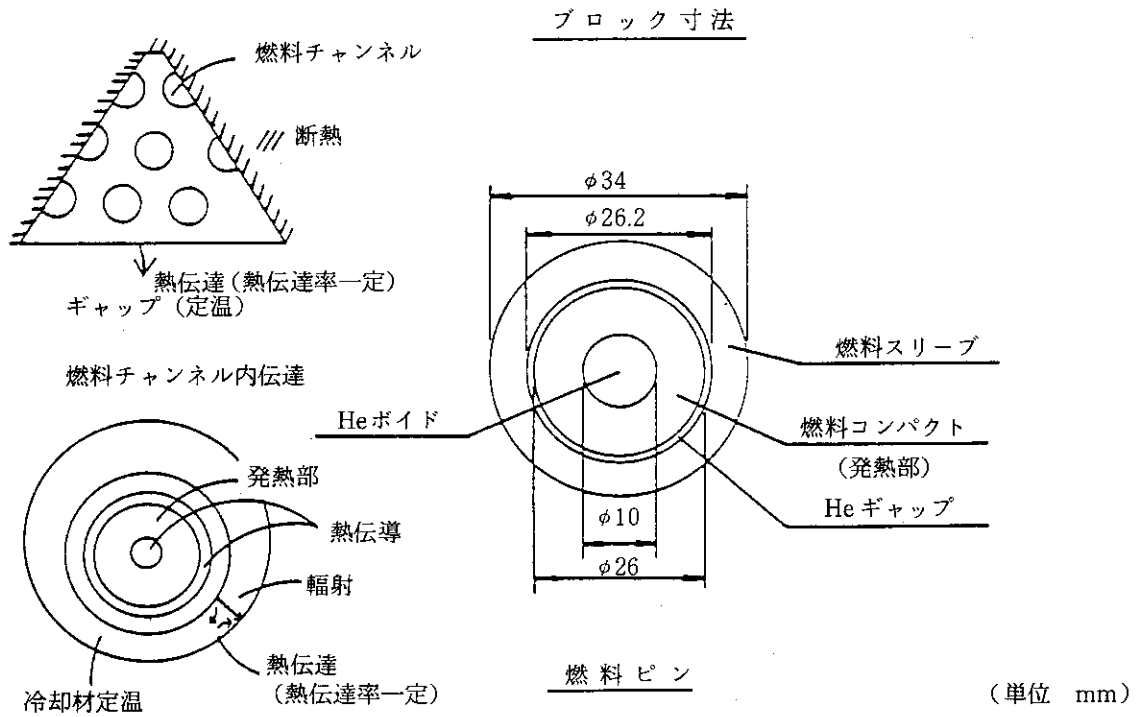
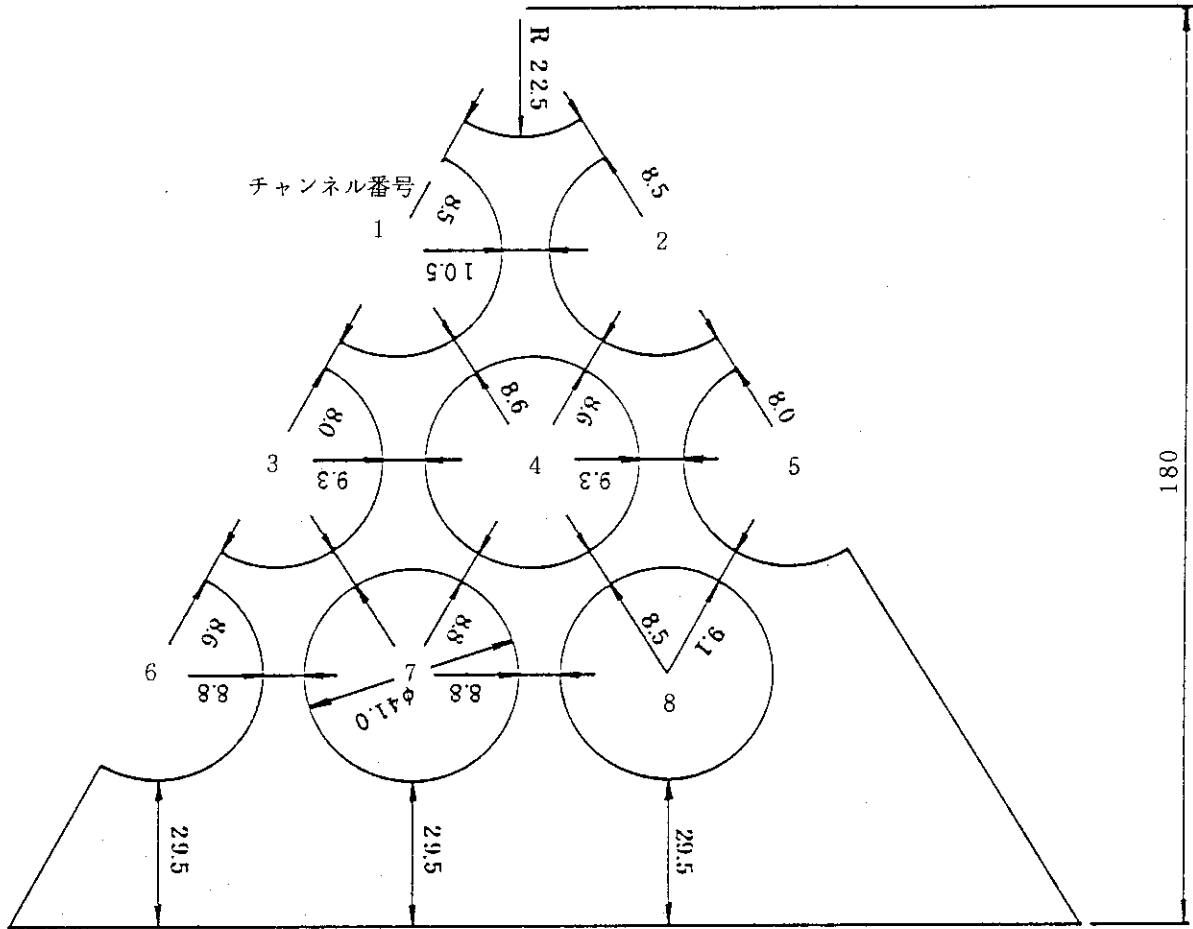
Di/j : i, j カラム間内部ギャップ
 Gi/j : i, j カラム間外部 (領域間) ギャップ
 Ri/j : 固定反射体上カラム i と固定反射体 (j=9) 間ギャップ

第 3.31 表 炉床部ブロック熱膨張量

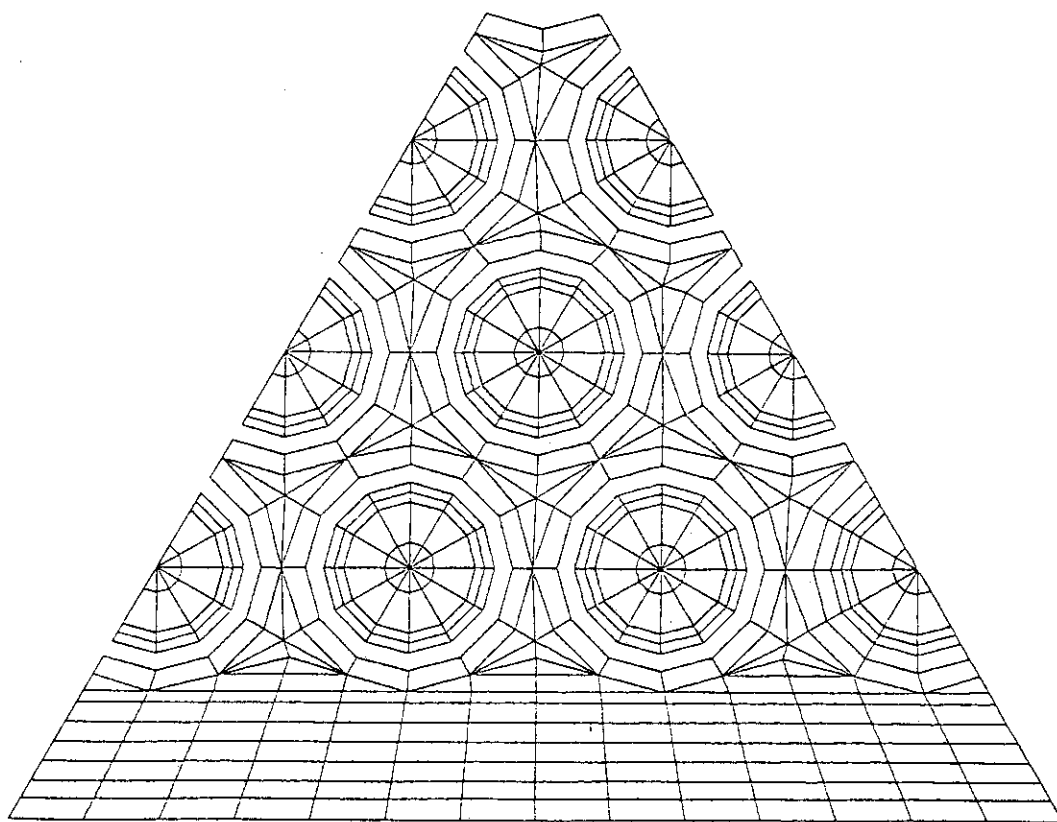
〔mm〕

ブ ロ ッ ク 名	中心領域	周辺領域	(固定反射体)
① 高温プレナムブロック	3.13 ± 0.45	3.13 ± 0.45	2.08 ± 0.36
② サポートポスト	1.82 ± 0.36	1.82 ± 0.36	
③ プレナム下部ブロック	1.08 ± 0.16	1.01 ± 0.15	1.67 ± 0.31
④ 炭素ブロック(上)	1.35 ± 0.27	1.20 ± 0.24	
⑤ " (下)	0.98 ± 0.20	0.89 ± 0.18	
⑥ 下端ブロック	0.27 ± 0.05	0.25 ± 0.05	
(計)	8.63 ± 0.69*	8.30 ± 0.67*	3.75 ± 0.48*

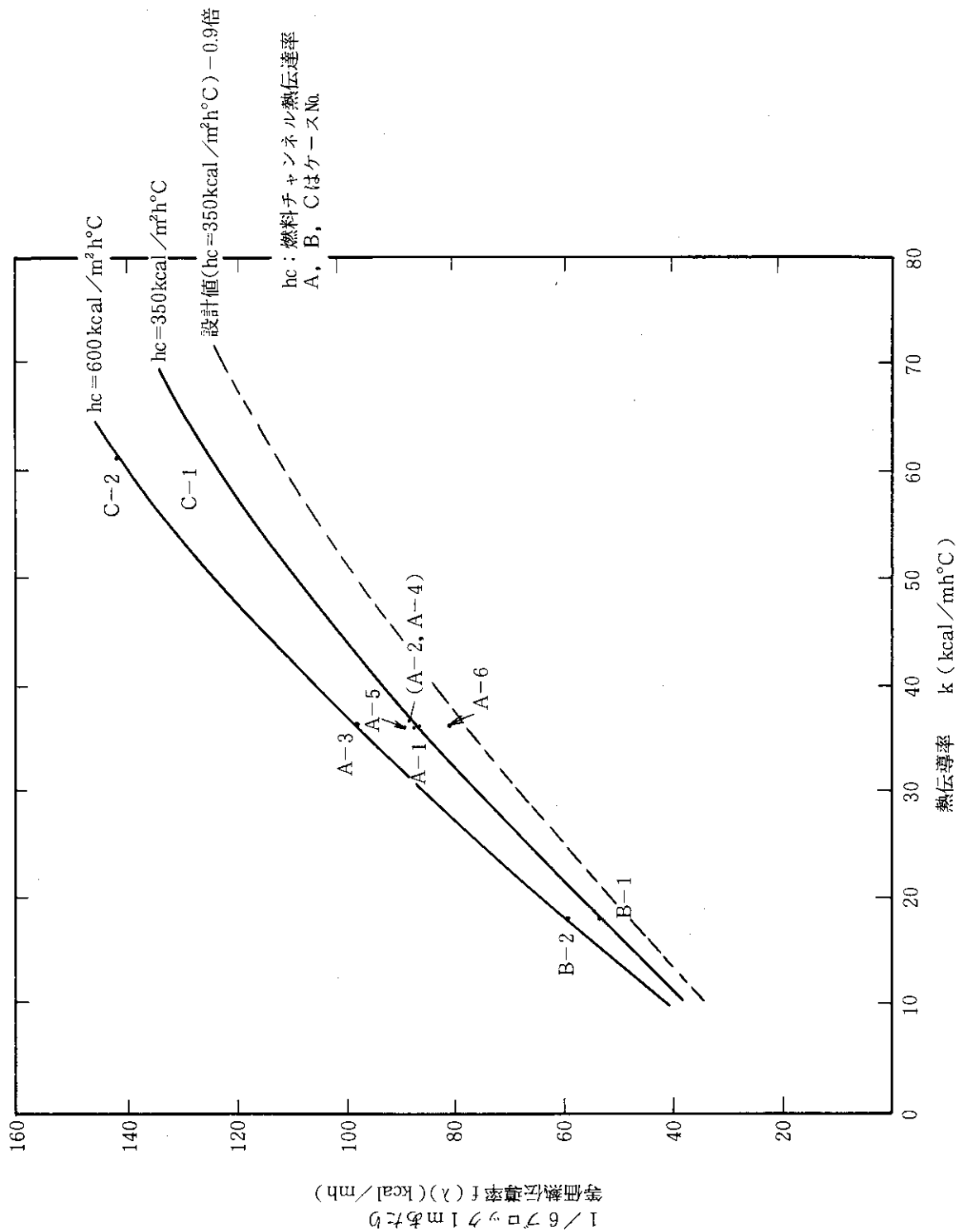
*合計の誤差は $\frac{1}{6} \sqrt{\sum_{i=1}^6 (\text{誤差}_i)^2}$ で求めている。



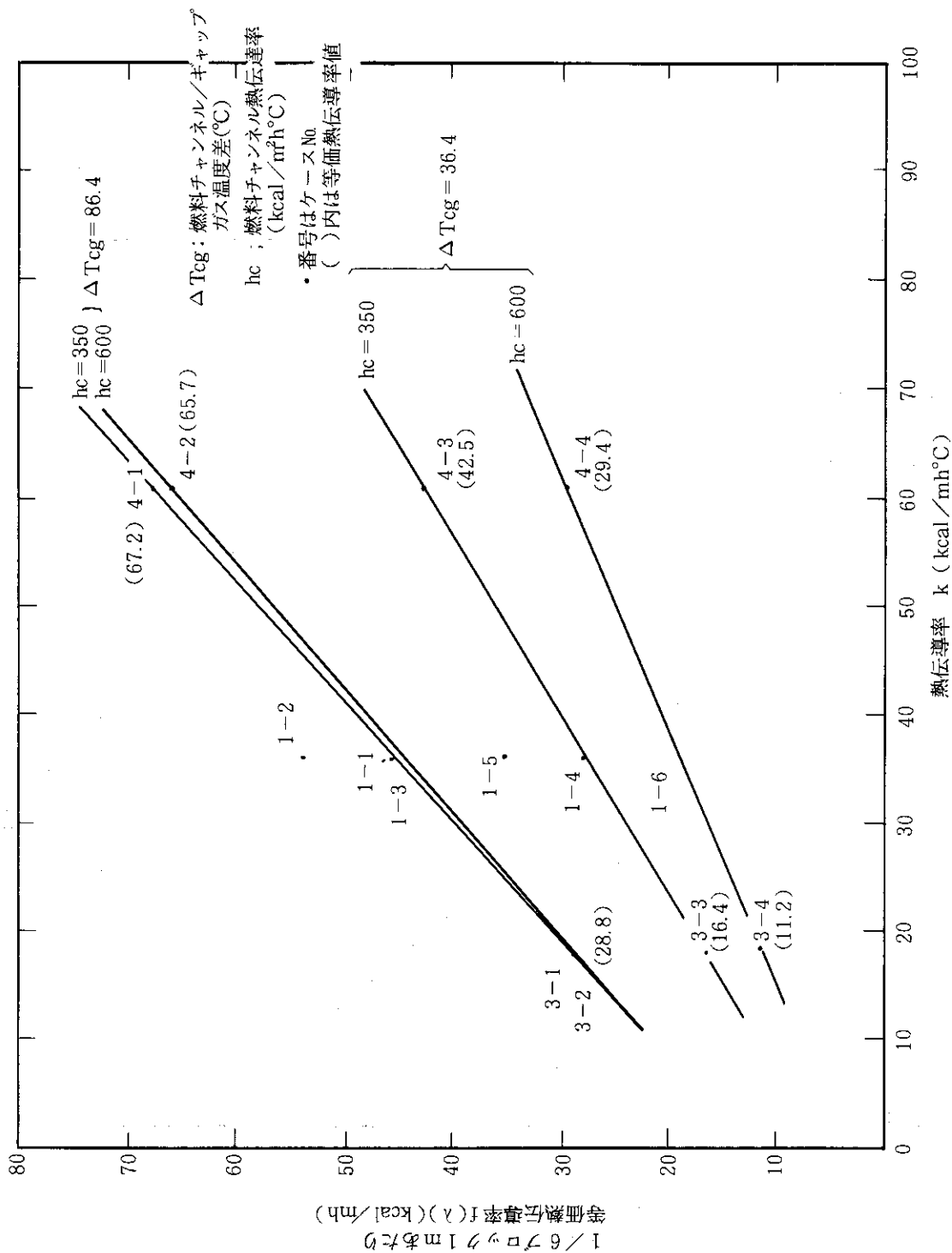
第 3.1 (1) 図 解析 モ デ ル



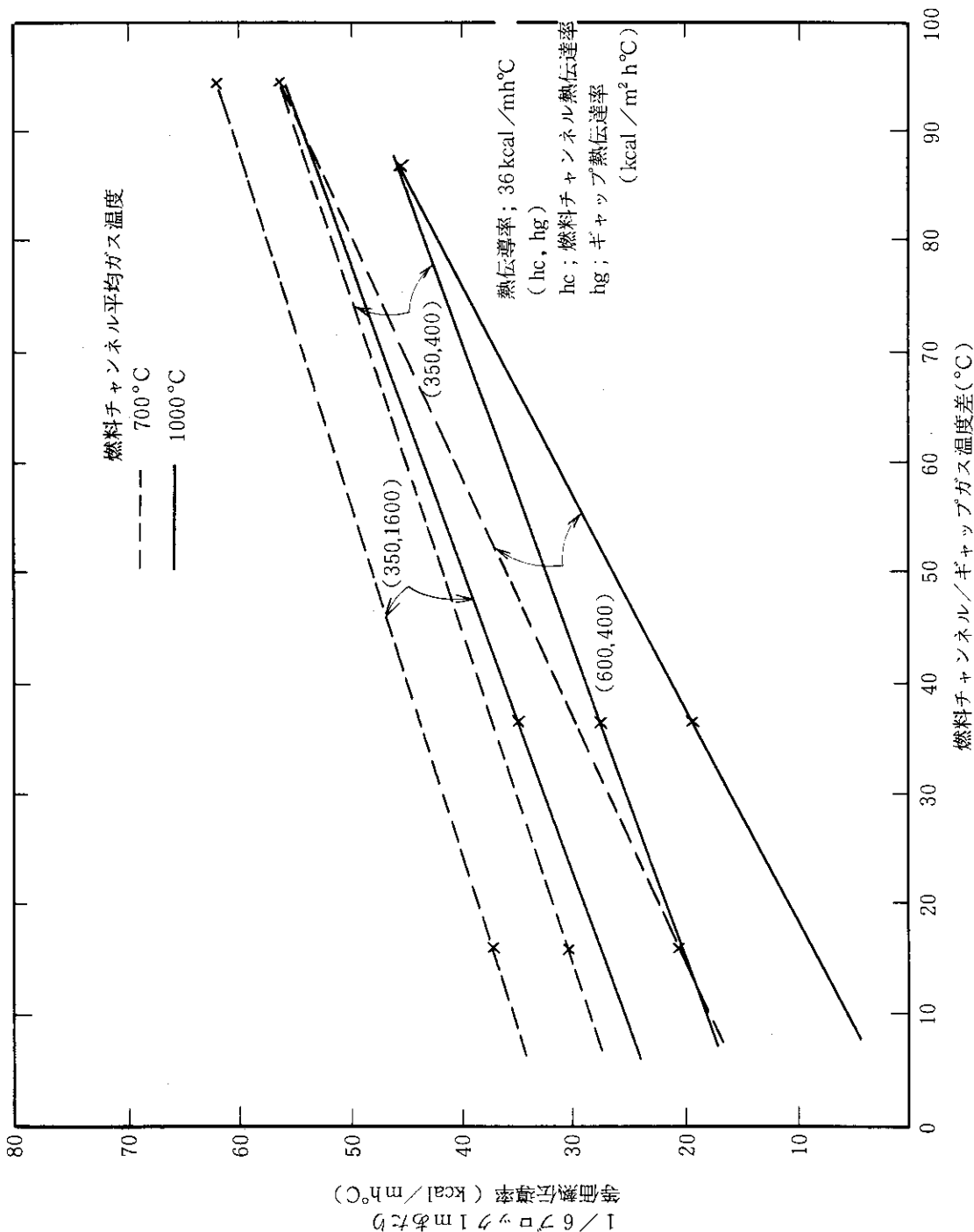
第 3.1 (2) 図 等価熱伝導率解析用有限要素分割図



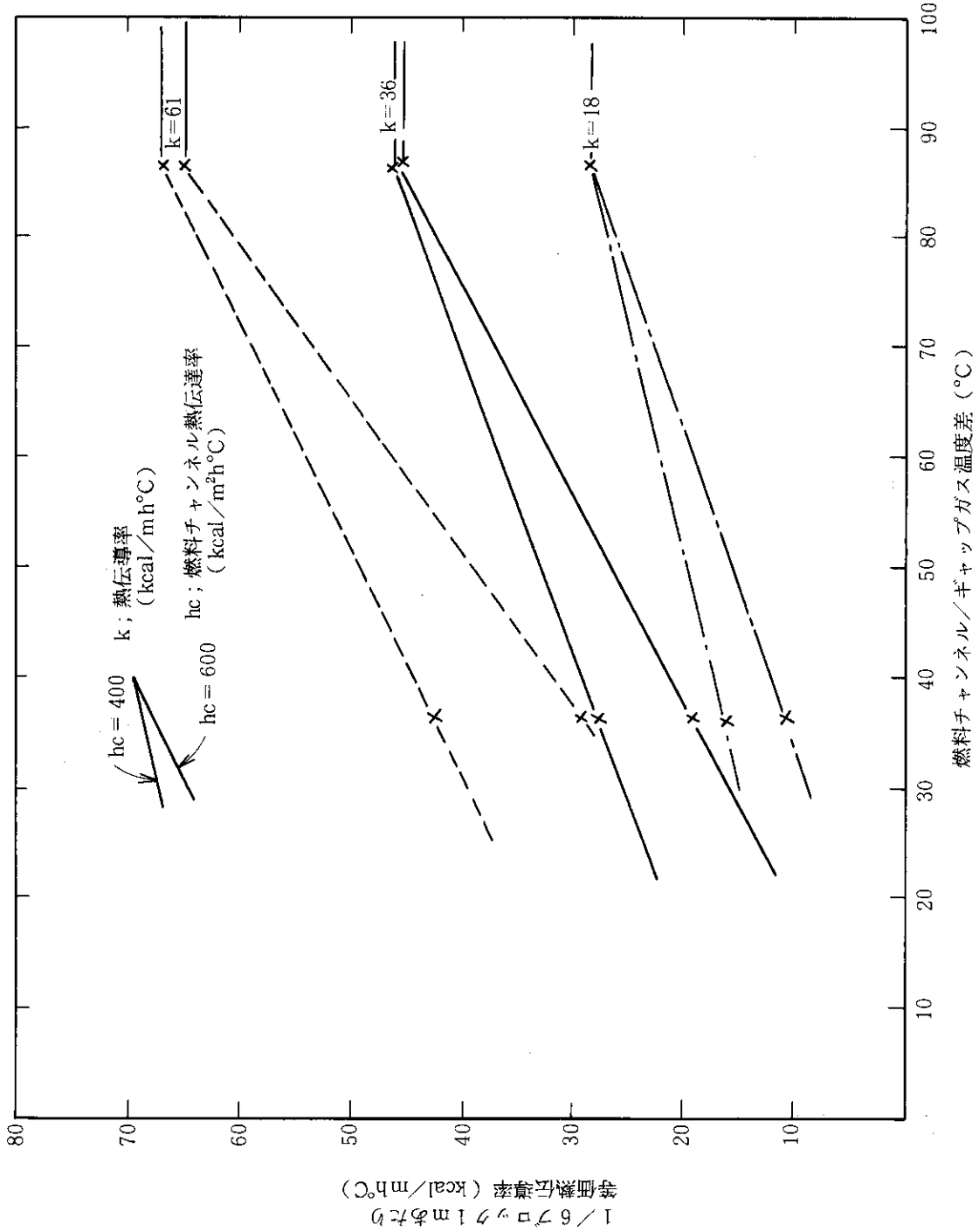
第3.2図 等価熱伝導率 (炉心内部用, 33ピンブロック)



第 3.3 図 等価熱伝導率 (炉心外周用, 31ピンブロック)



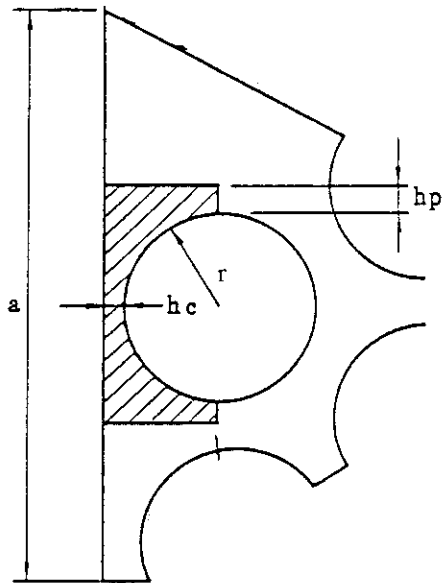
第 3.4 図 燃料チャンネル平均ガス温度およびギャップ熱伝達率の効果
 (炉心外周用, 31ピンプロック)



第 3.5 図 燃料チャンネル熱伝導率および熱伝達率の効果
(炉心外周用, 31ピンブロック)

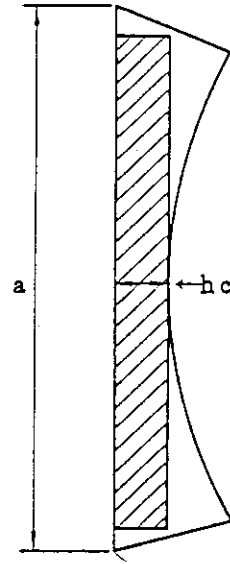
(A) 燃料体ブロック

さぐりなしの場合



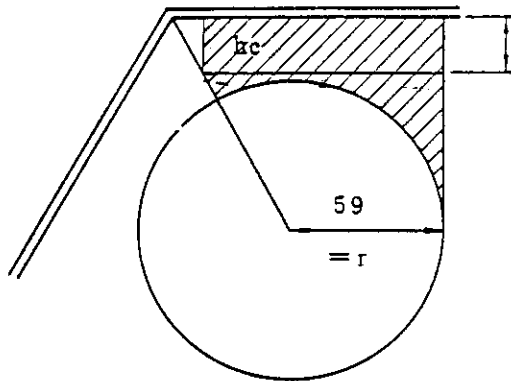
(B) 燃料体ブロック

さぐりありの場合

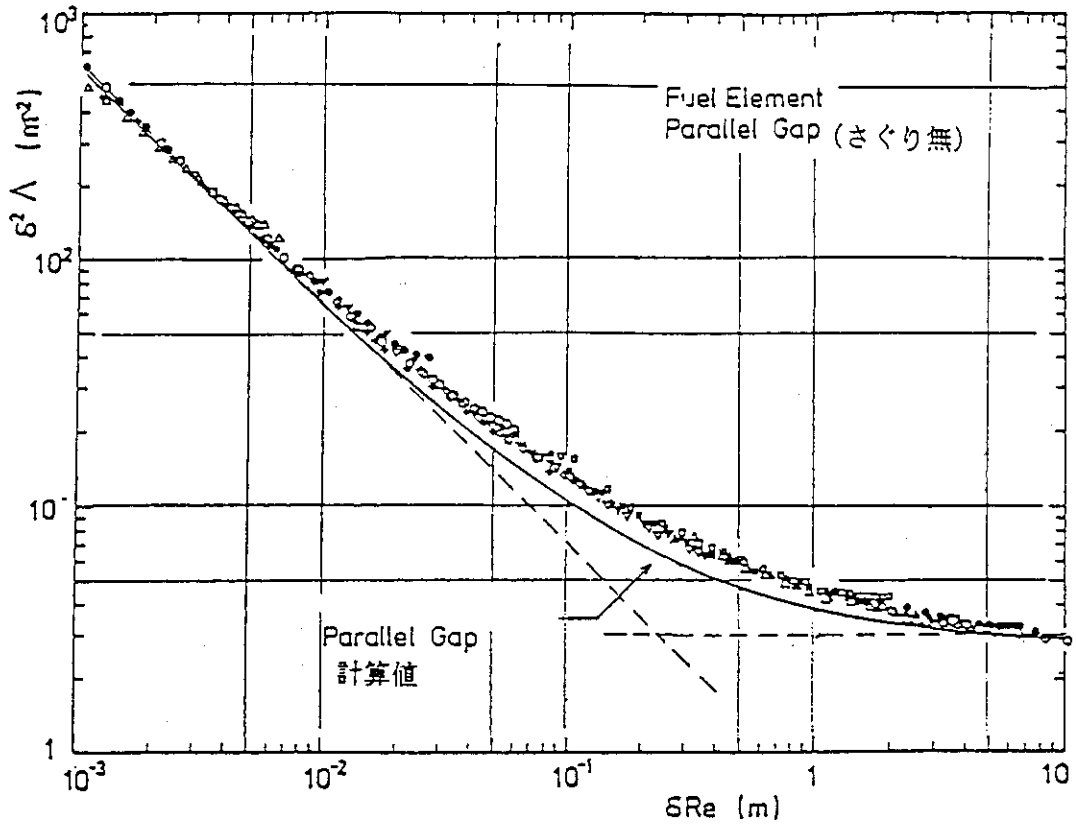


(C) 制御棒案内ブロック

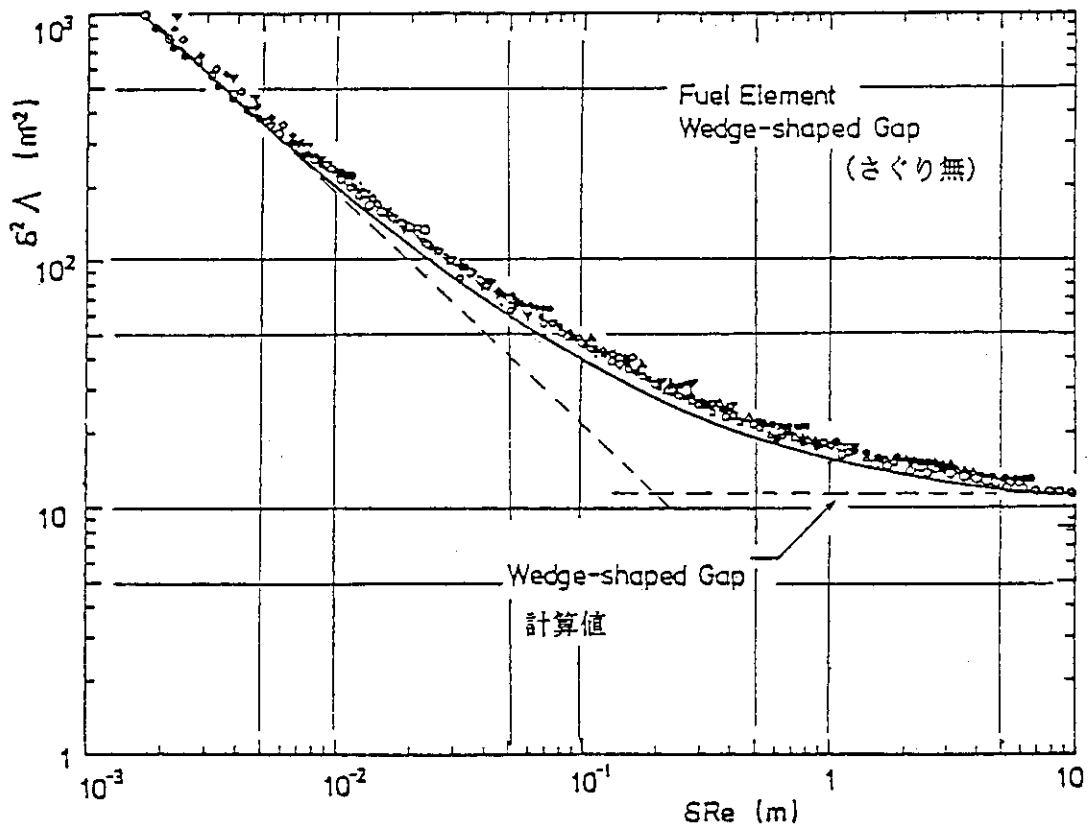
(さぐりなし)



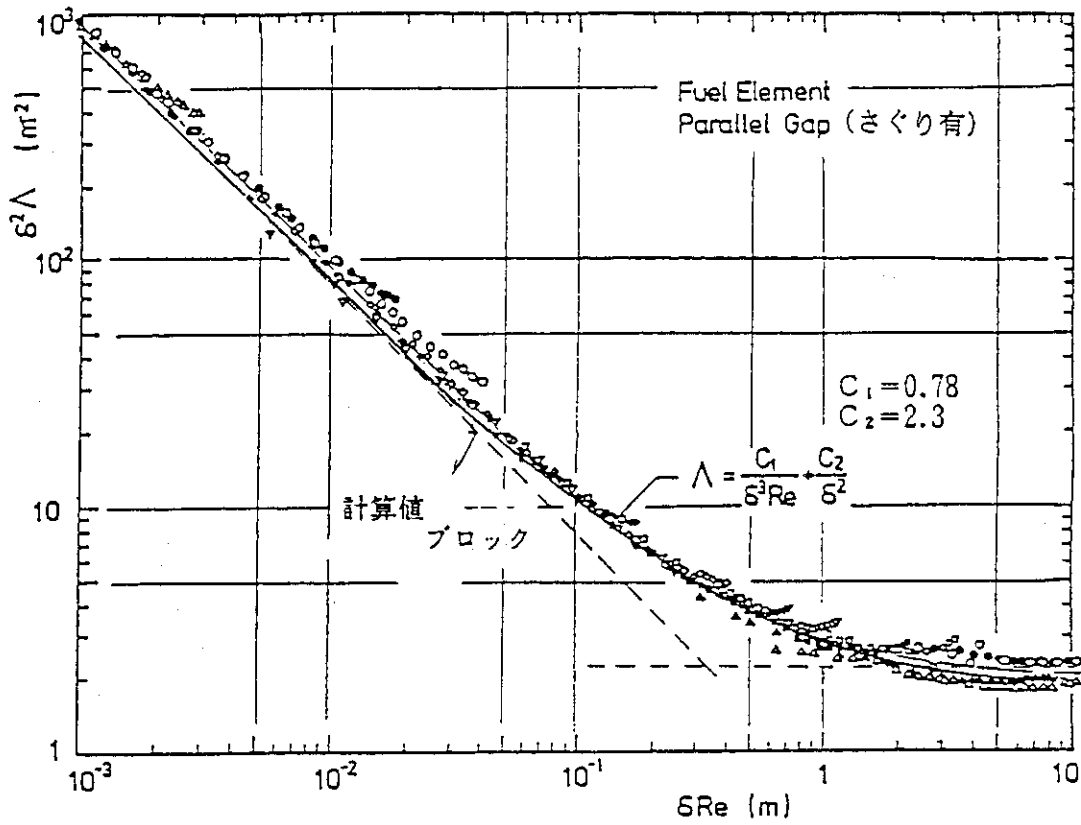
第3.6図 クロス流れ摩擦抵抗モデル



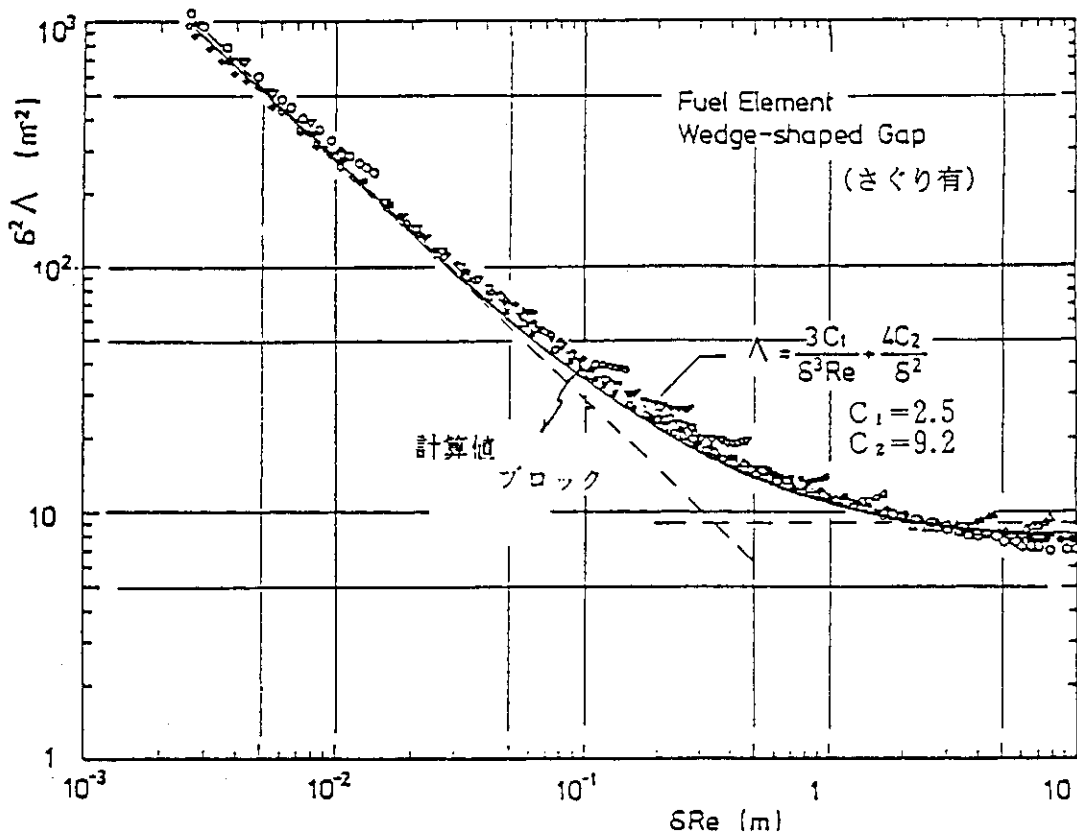
第 3.7 図 燃料ブロックの換算クロス流れ抵抗係数
(平行ギャップの場合)



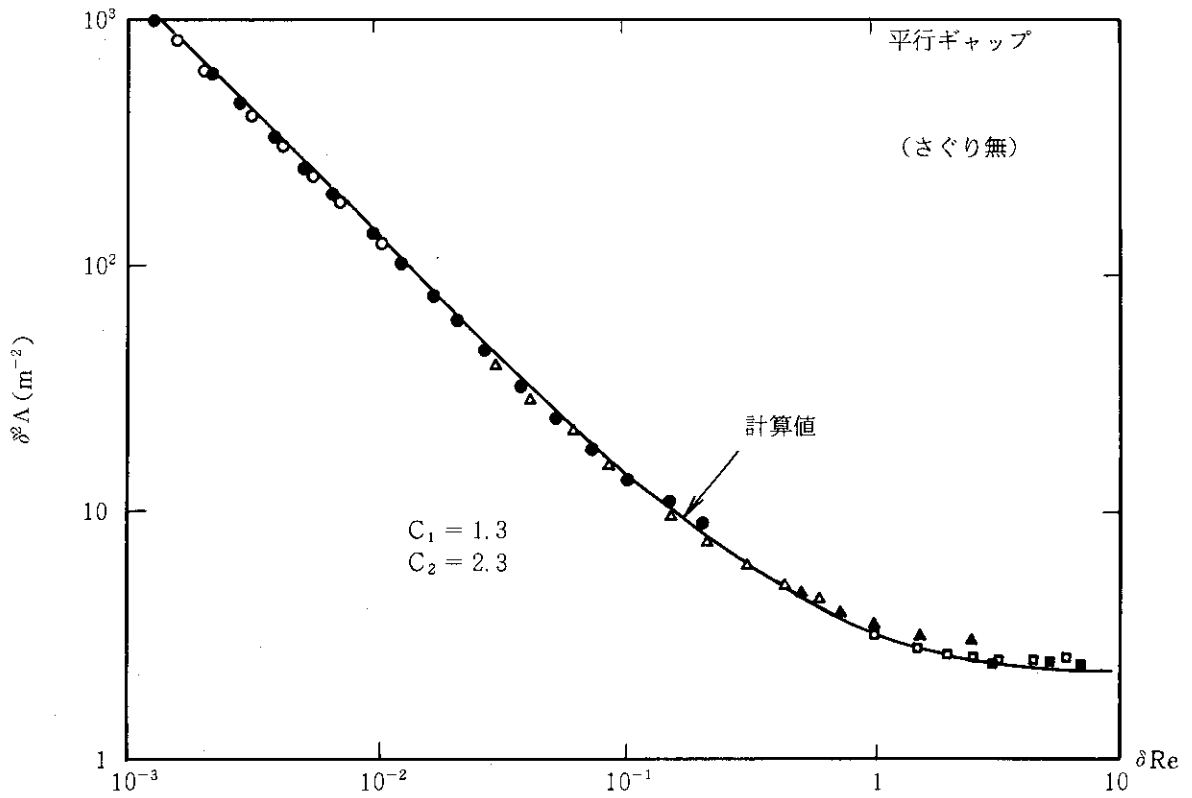
第 3.8 図 燃料ブロックの換算クロス流れ抵抗係数
(くさび形ギャップの場合)



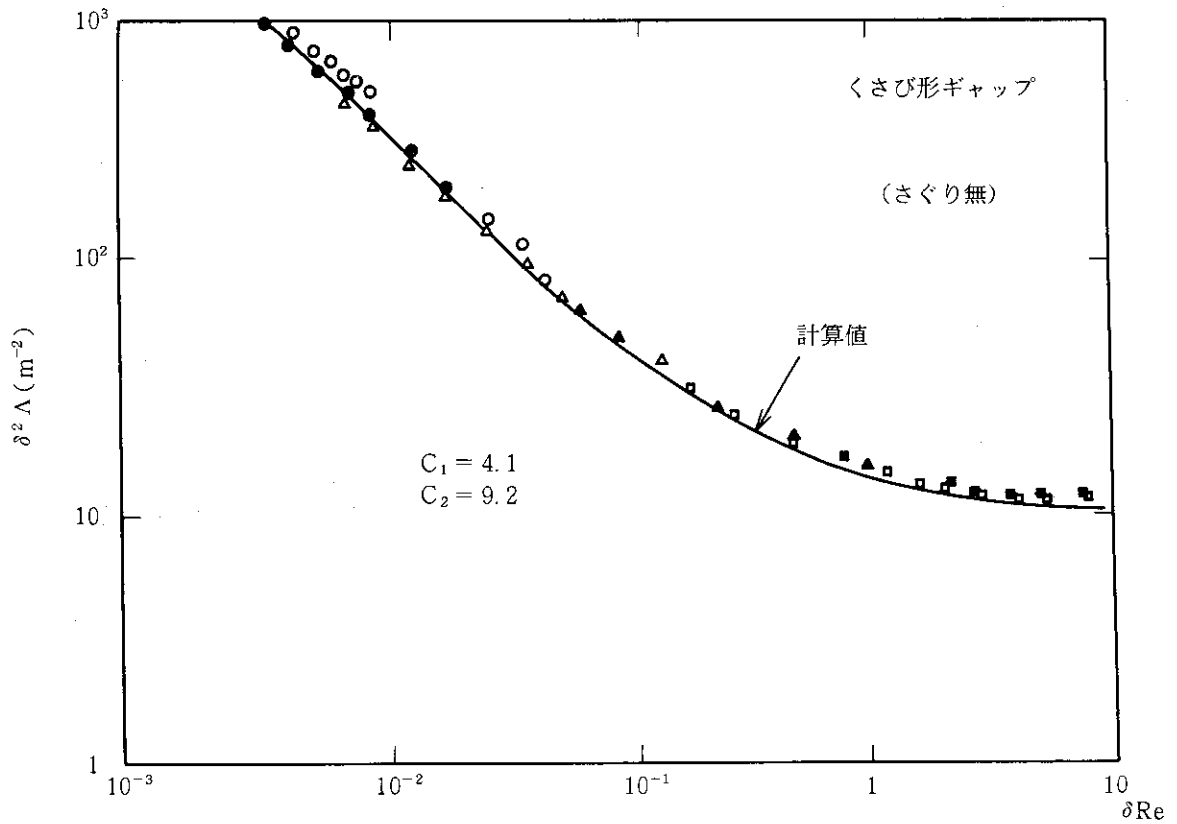
第 3.9 図 燃料ブロックの換算クロス流れ抵抗係数
(平行ギャップの場合)



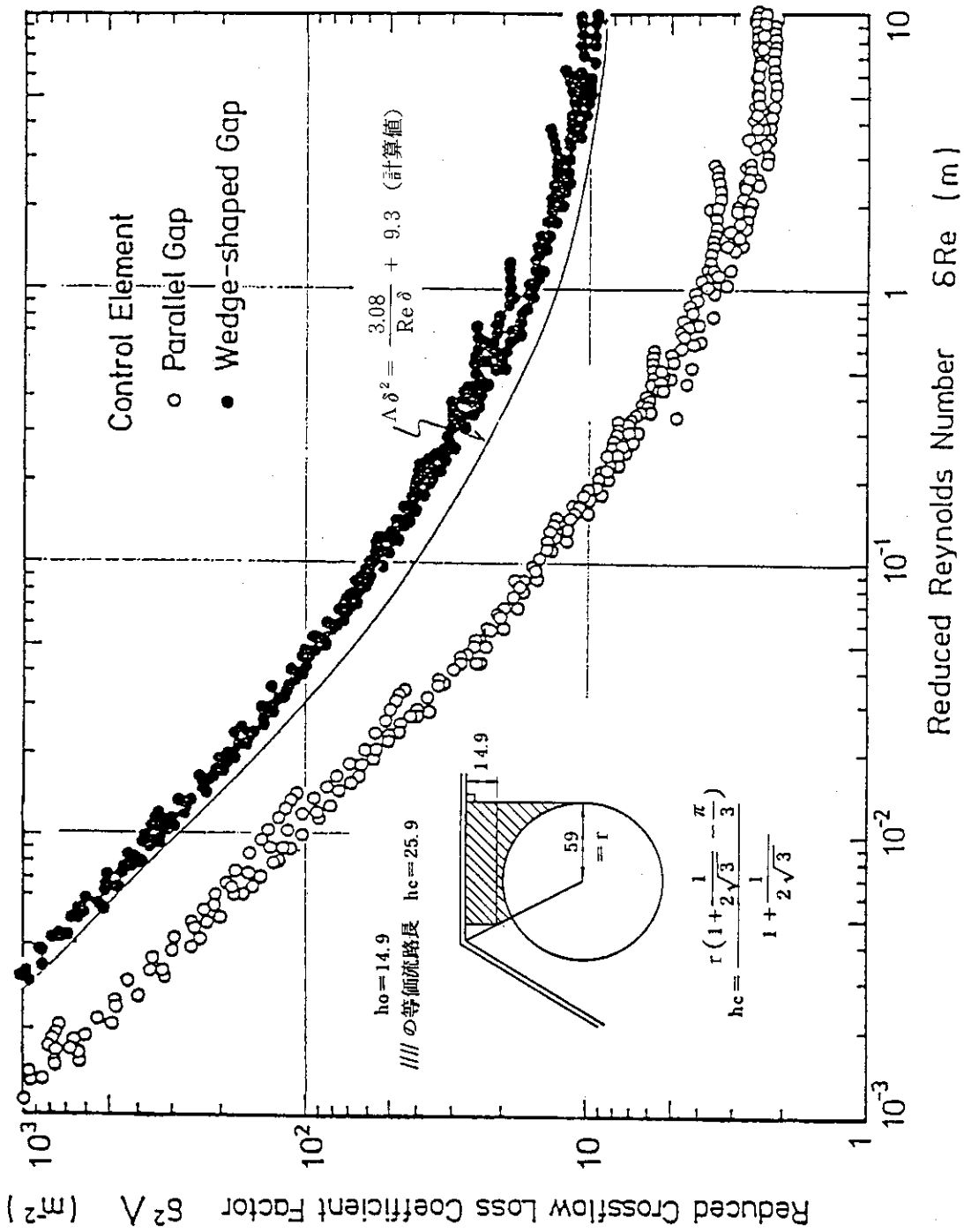
第 3.10 図 燃料ブロックの換算クロス流れ抵抗係数
(くさび形ギャップの場合)



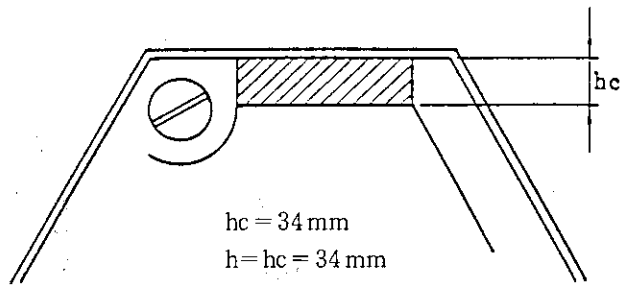
第 3.11 図 燃料ブロックの換算クロス流れ抵抗係数 (平行ギャップ)



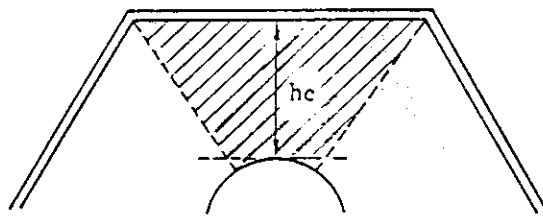
第 3.12 図 燃料ブロックの換算クロス流れ抵抗係数 (くさび形ギャップ)



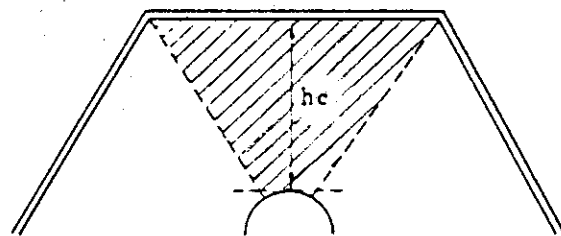
第 3.13 図 制御用ブロックの換算クロス流れ抵抗係数
 (くさび形ギャップの場合の比較)



(A) 下部可動反射体上下段間

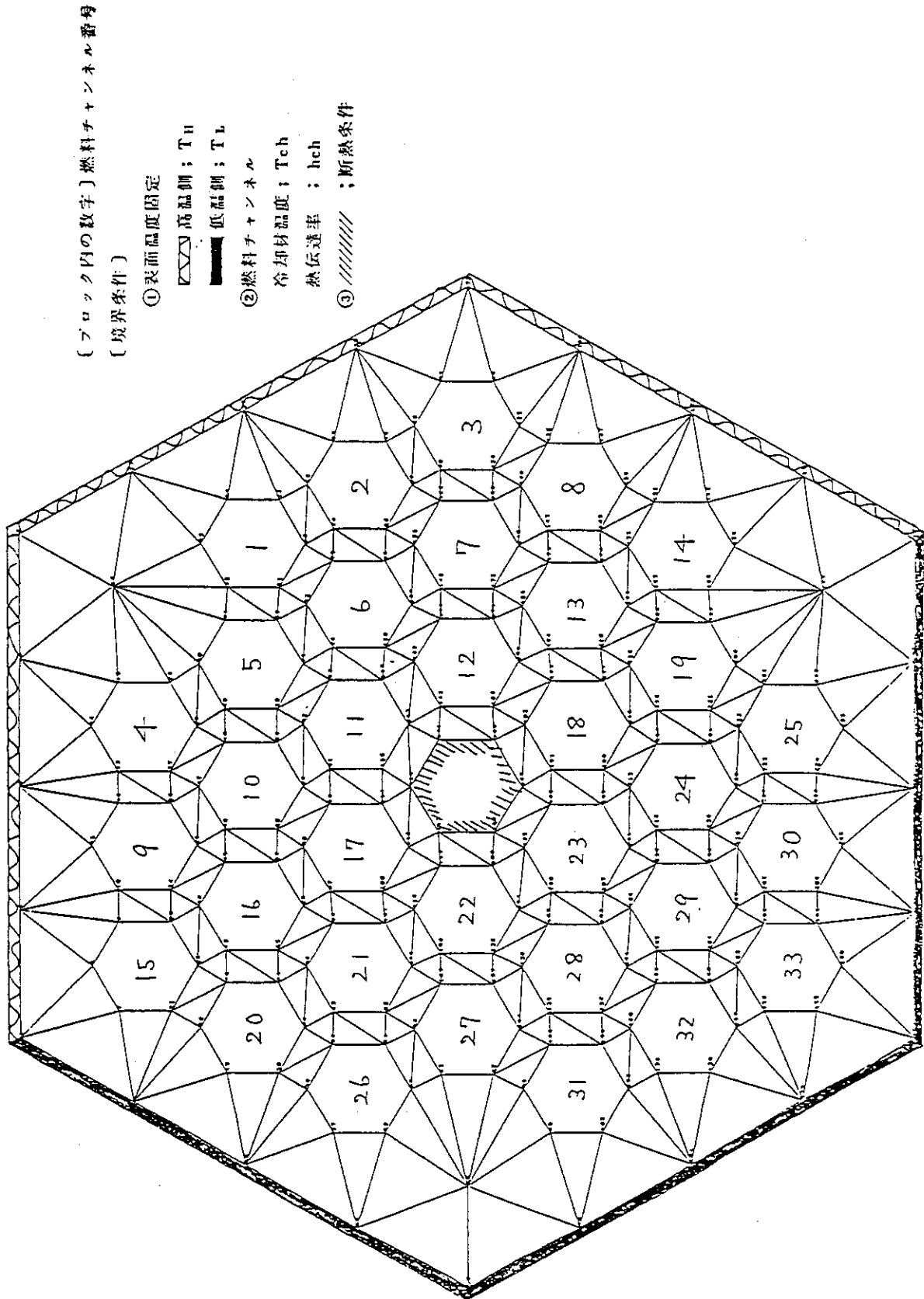


(B) 下部可動反射体下段／高温プレナムブロック間



(C) 制御棒案内カラム最下段／高温プレナムブロック間

第 3.14 図 各種ブロックの摩擦抵抗モデル



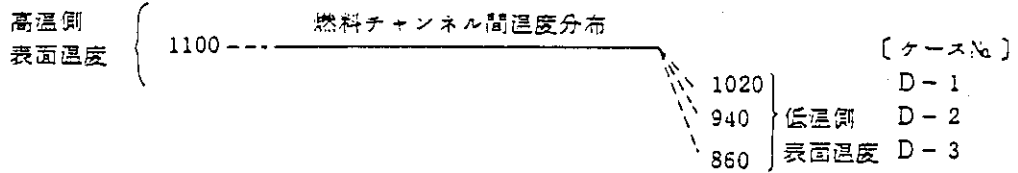
第 3.15 図 温度分布解析モデル

[燃料チャンネル平均温度 $T_A = 1100^\circ\text{C}$ の場合の解析ケース]

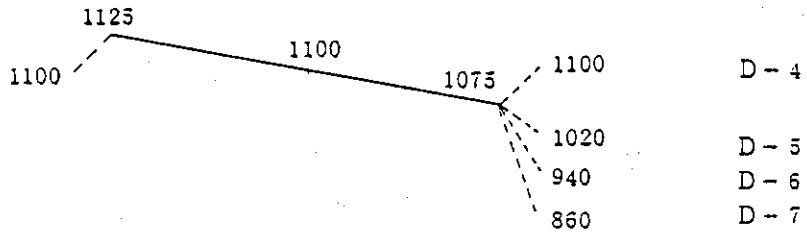
$\Delta T_i = 0$
 $\Delta T_s = 80, 160, 240$

ΔT_i : 燃料チャンネル間温度差 ($^\circ\text{C}$)
 ΔT_s : 高温側/低温側
 表面温度差

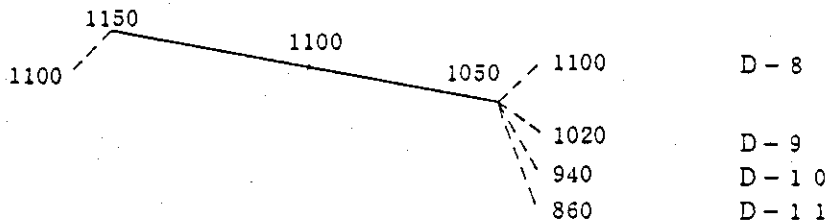
注* 燃料チャンネル間温度分布はこの図では傾斜分布のように描かれているが本文にあるように変形解析の後に設定される。



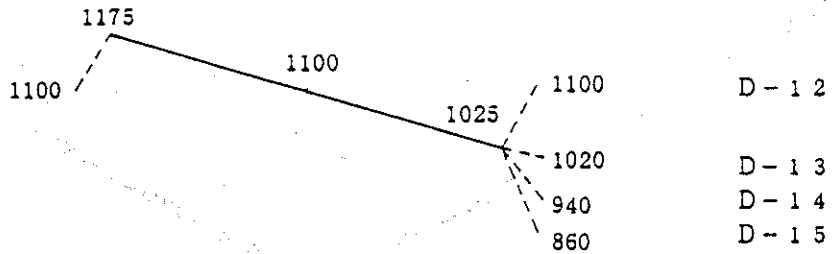
$\Delta T_i = 50$
 $\Delta T_s = 0, 80, 160, 240$



$\Delta T_i = 100$
 $\Delta T_s = 0, 80, 160, 240$

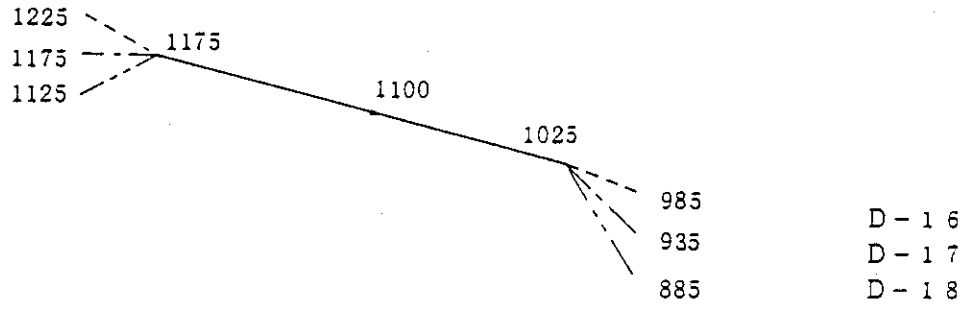


$\Delta T_i = 150$
 $\Delta T_s = 0, 80, 160, 240$

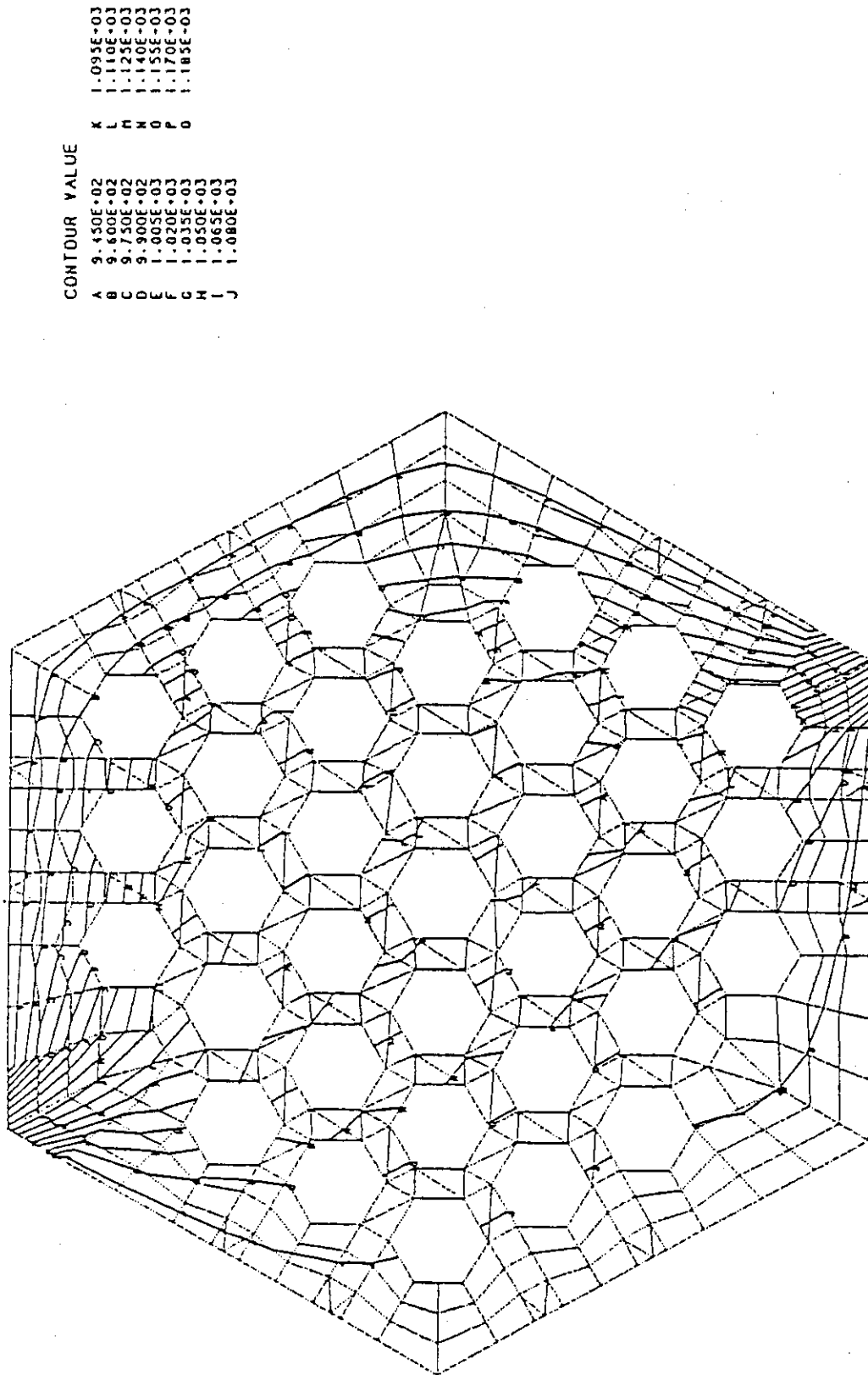


第 3.16 図 解析用温度分布

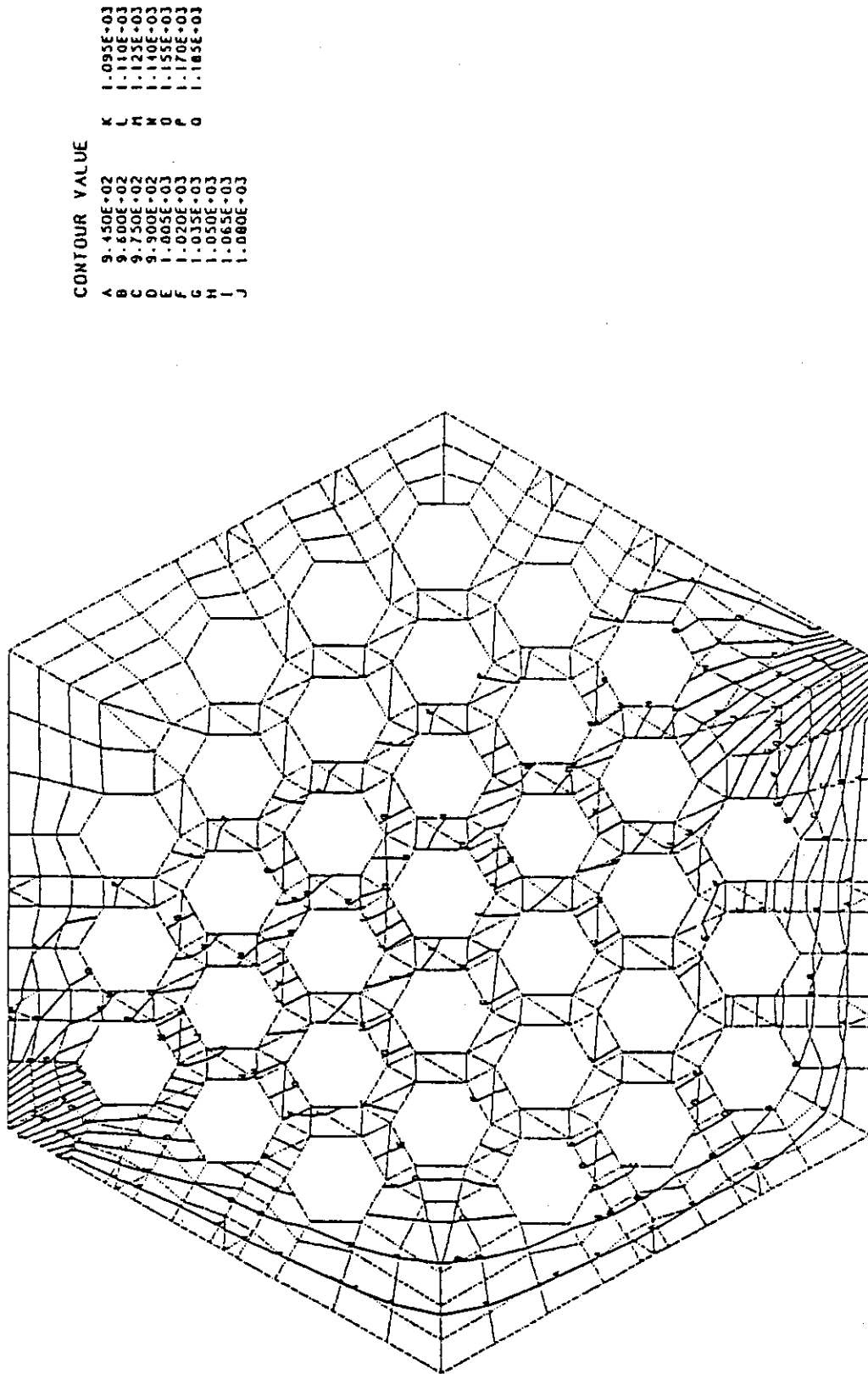
$\Delta T_s = 240$
 $\Delta T_i = 150$



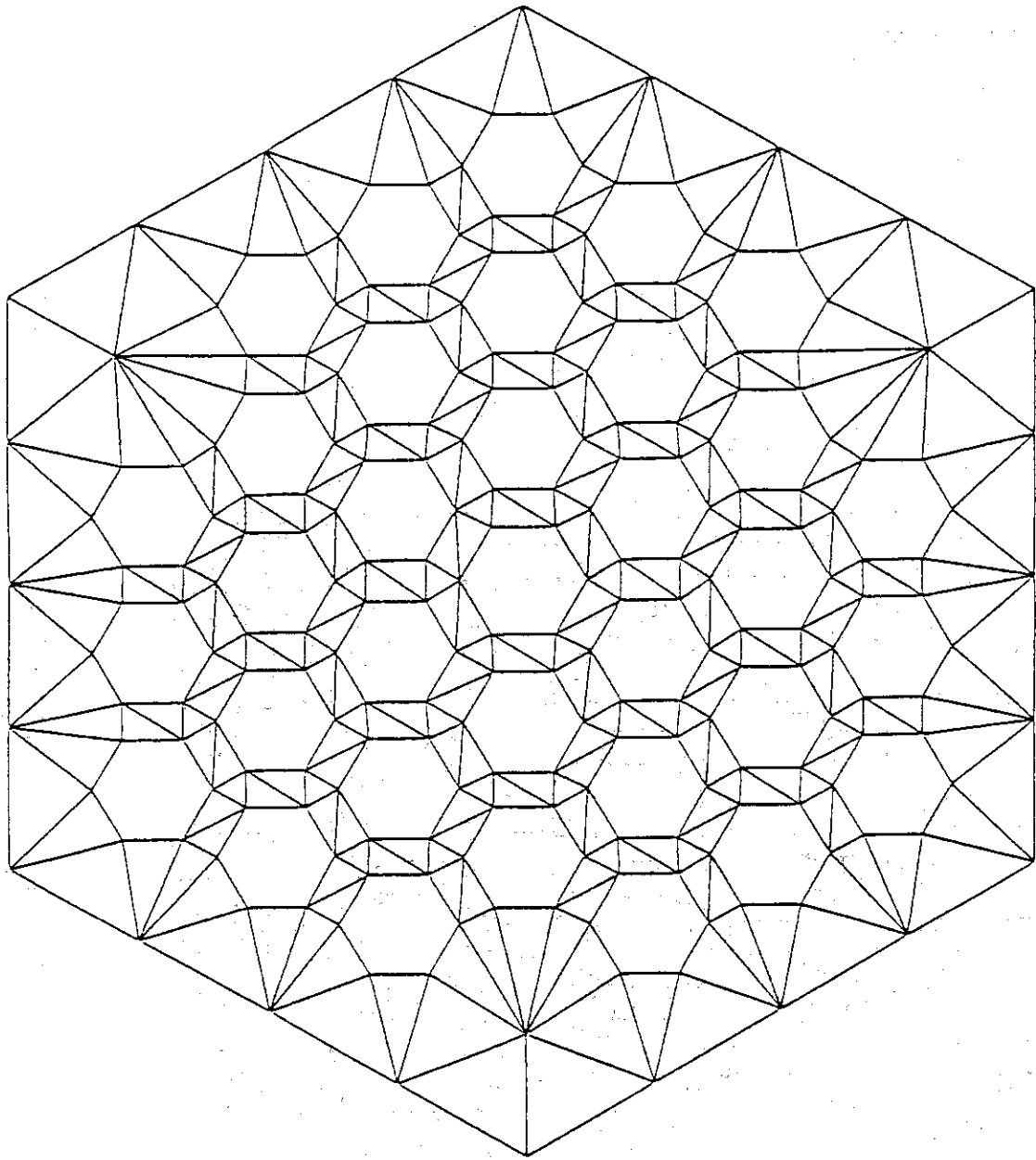
第 3.16 図 (続き)



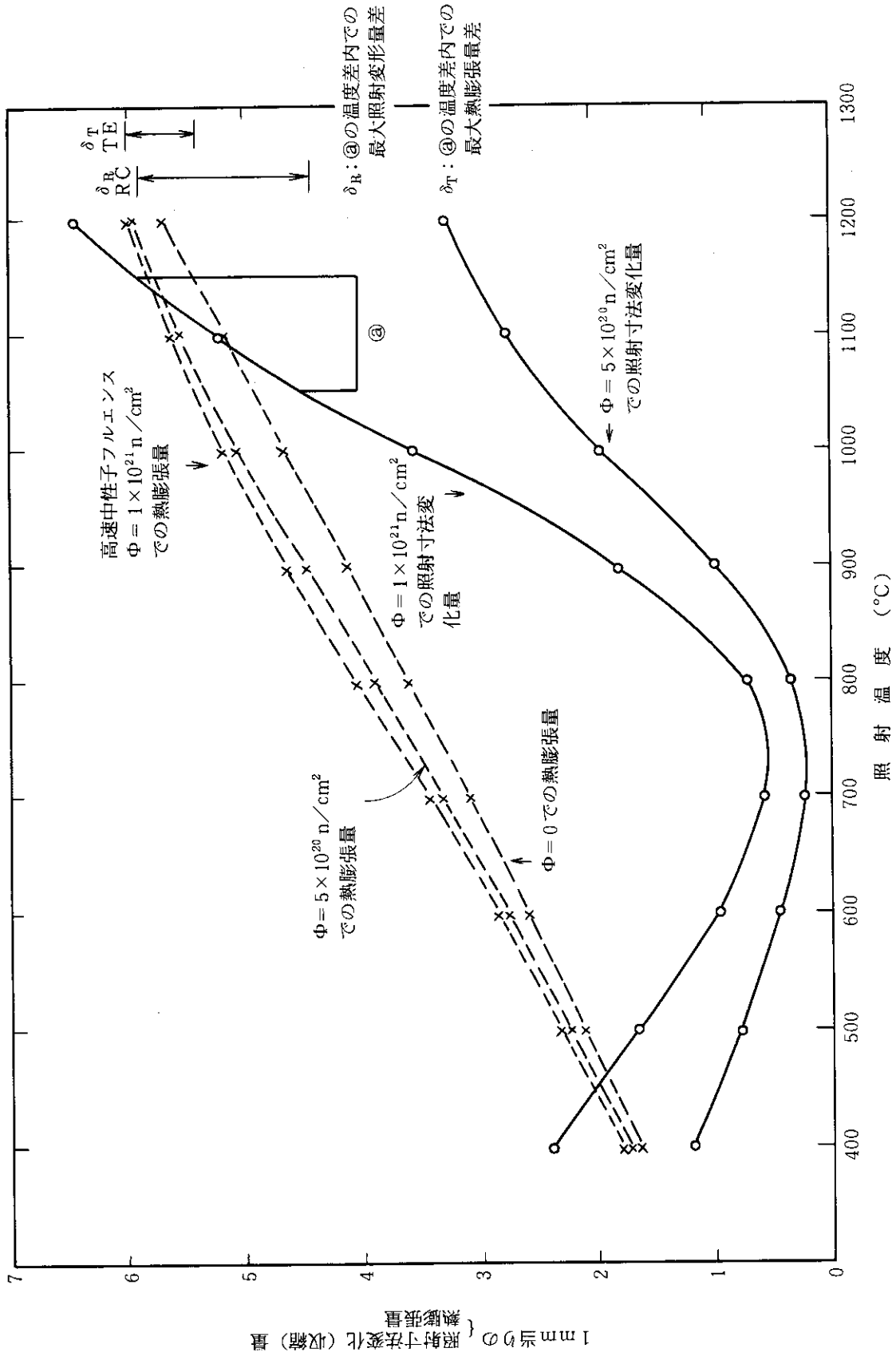
第 3.17 図 温度分布解析結果 (燃料チャンネル傾斜温度分布)



第 3.18 図 温度分布解析結果 (燃料チャンネル 2 分割温度分布)



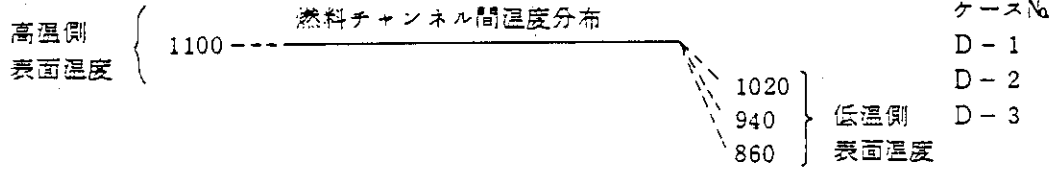
第3.19图 G B E A M 用要素分割图



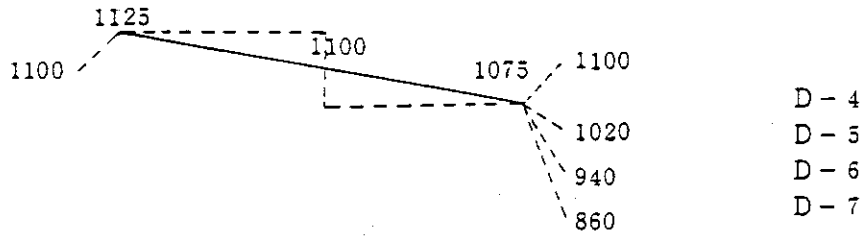
第 3.20 図 照射寸法変化量及び熱膨張量の照射及び温度依存性

ΔT_i : 燃料チャンネル間温度差 (°C)
 ΔT_s : 高温側/低温側表面温度差 (°C)

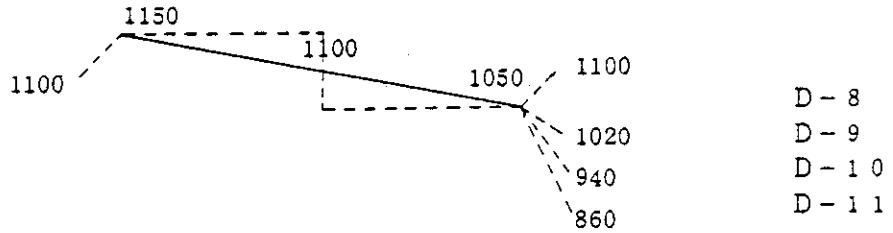
$\Delta T_i = 0$
 $\Delta T_s = 80, 160, 240$



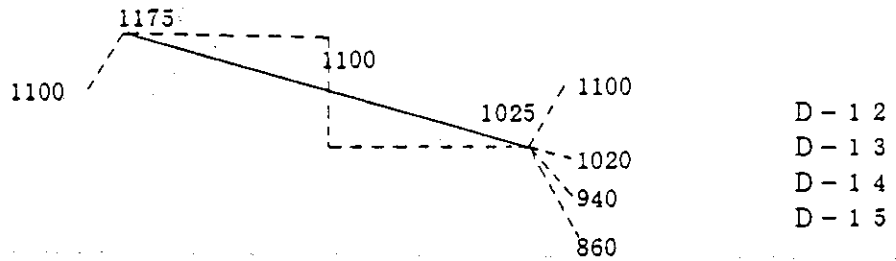
$\Delta T_i = 50$
 $\Delta T_s = 0, 80, 160, 240$



$\Delta T_i = 100$
 $\Delta T_s = 0, 80, 160, 240$



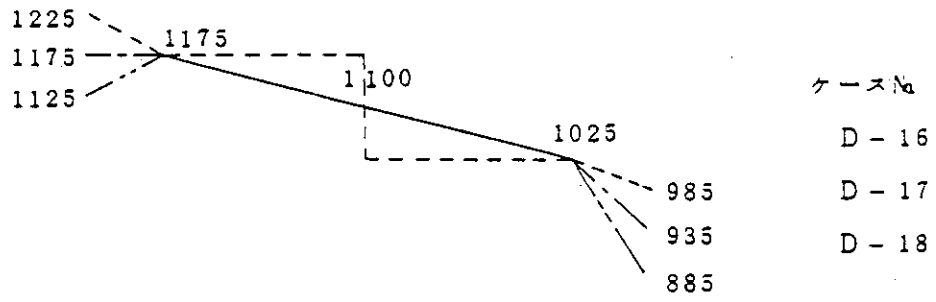
$\Delta T_i = 150$
 $\Delta T_s = 0, 80, 160, 240$



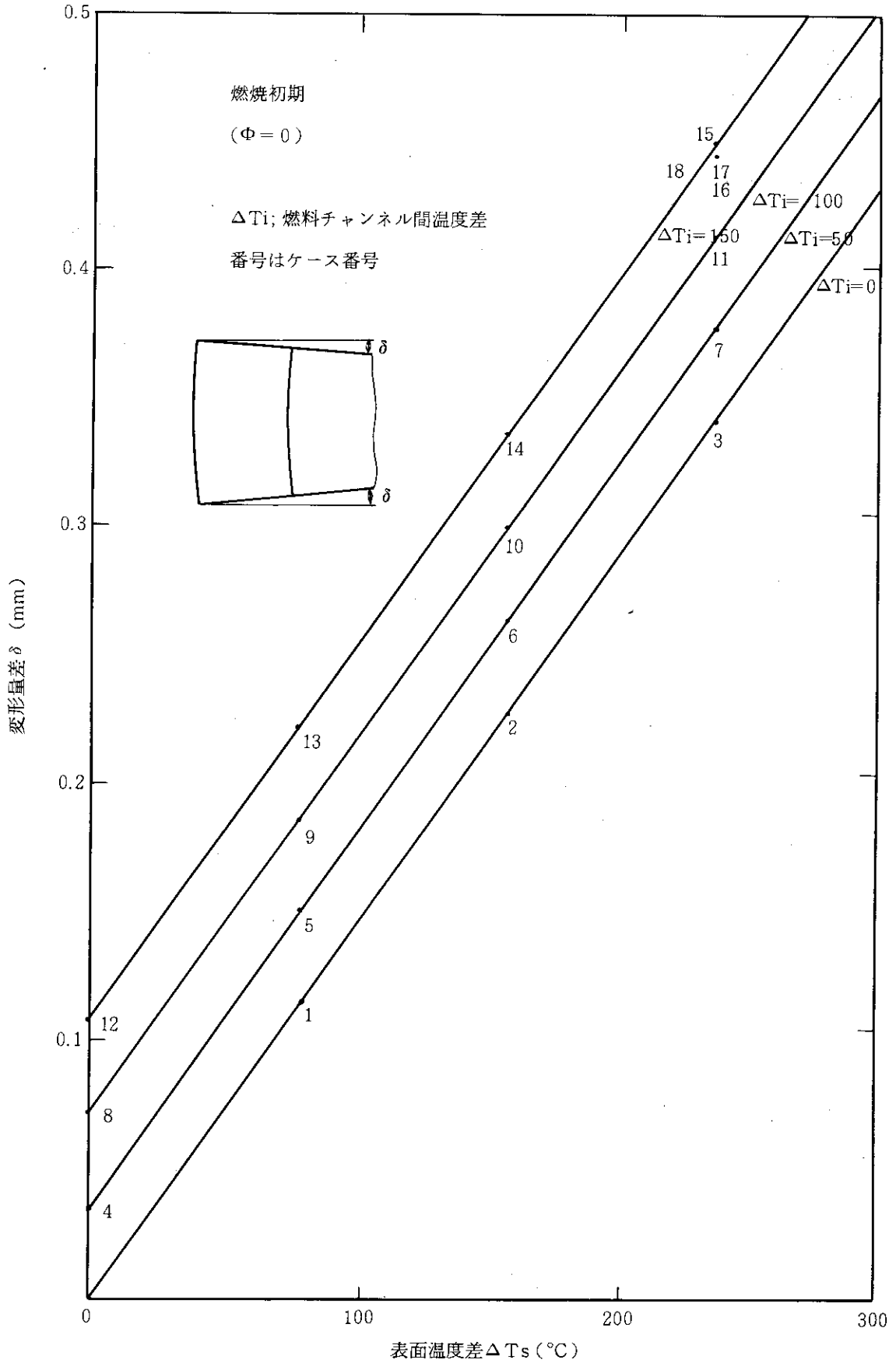
第 3.21 図 解析用温度分布

$\Delta T_s = 240$

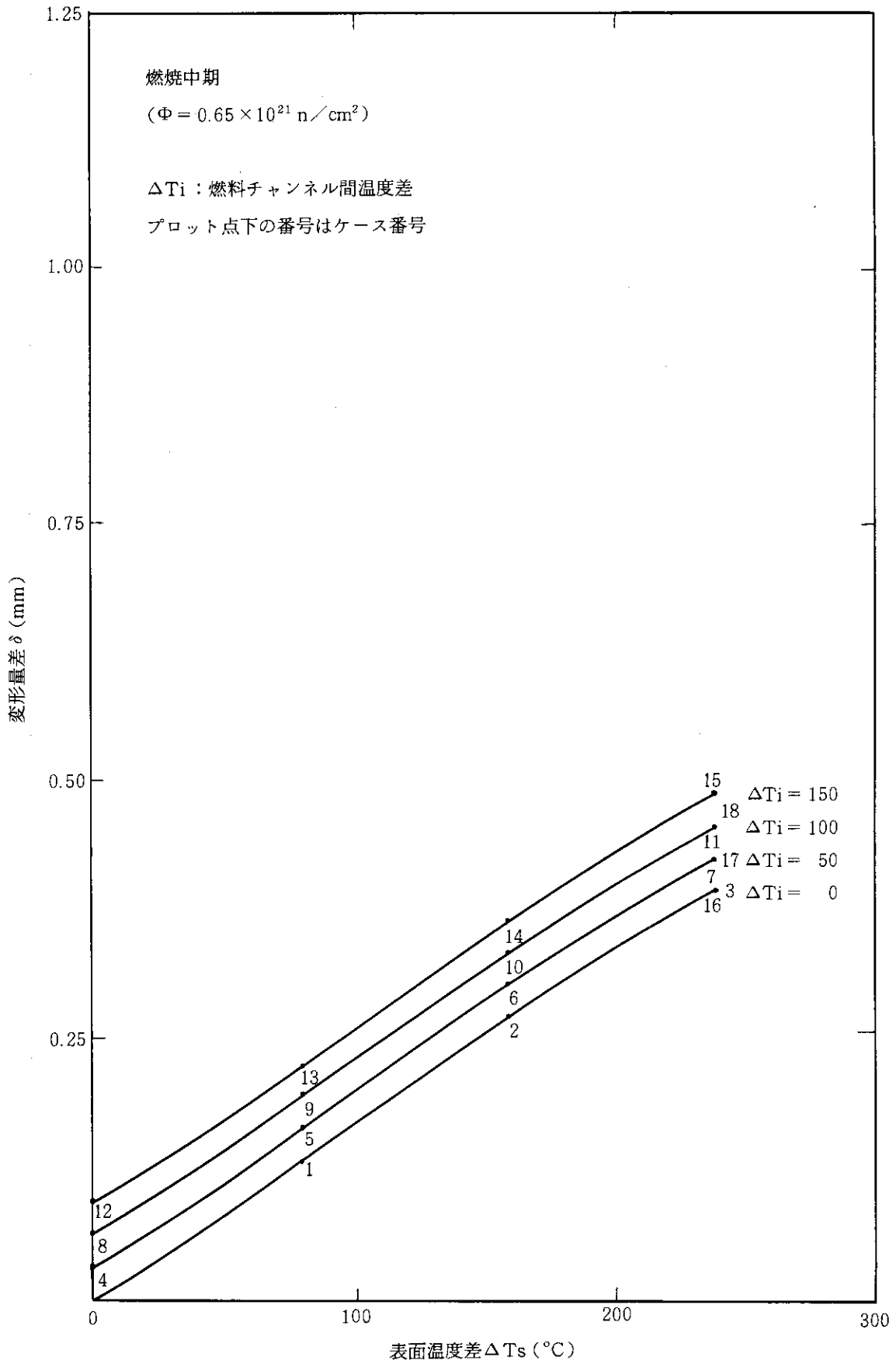
$\Delta T_i = 150$



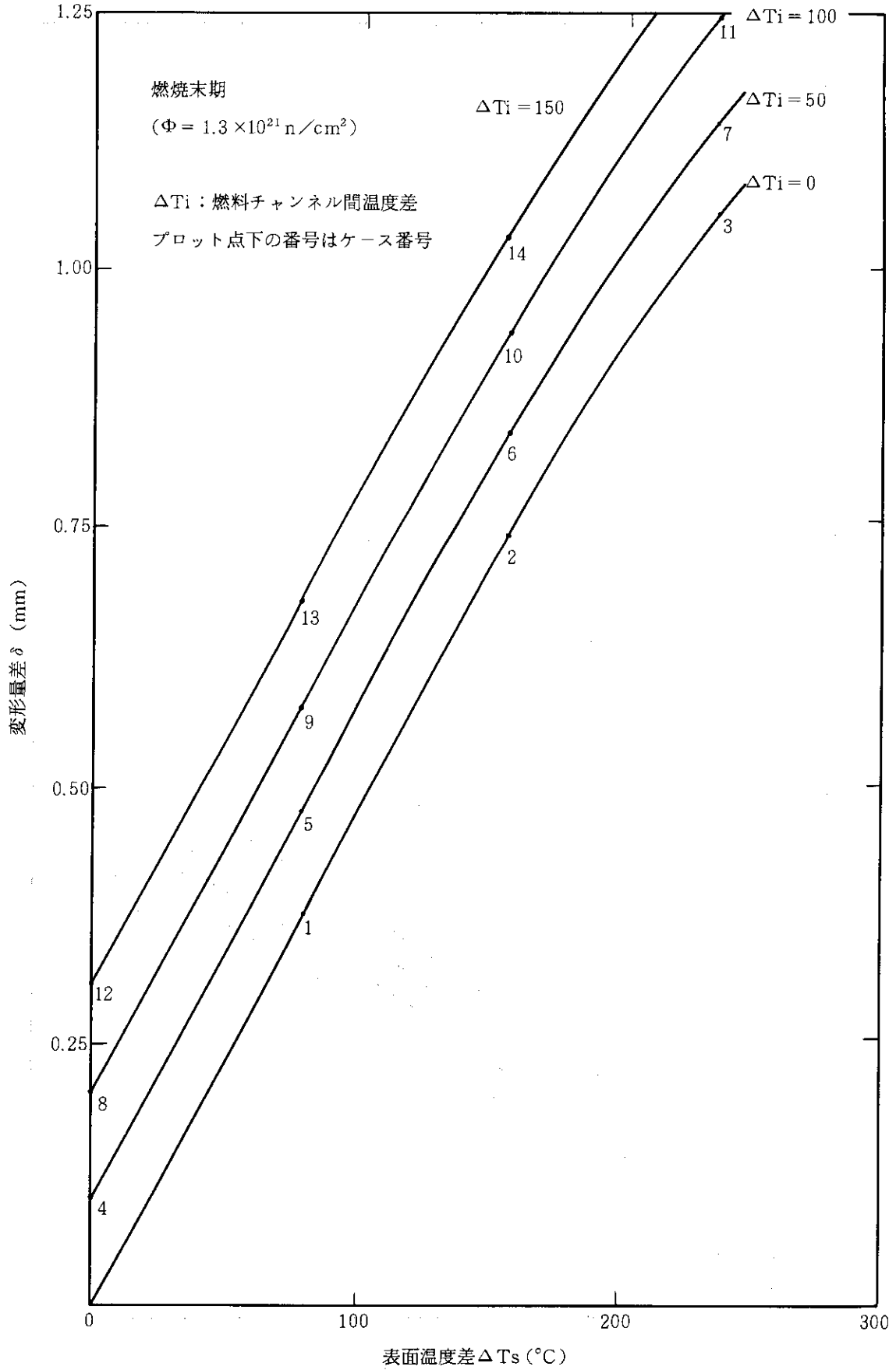
第 3.21 図 (続き)



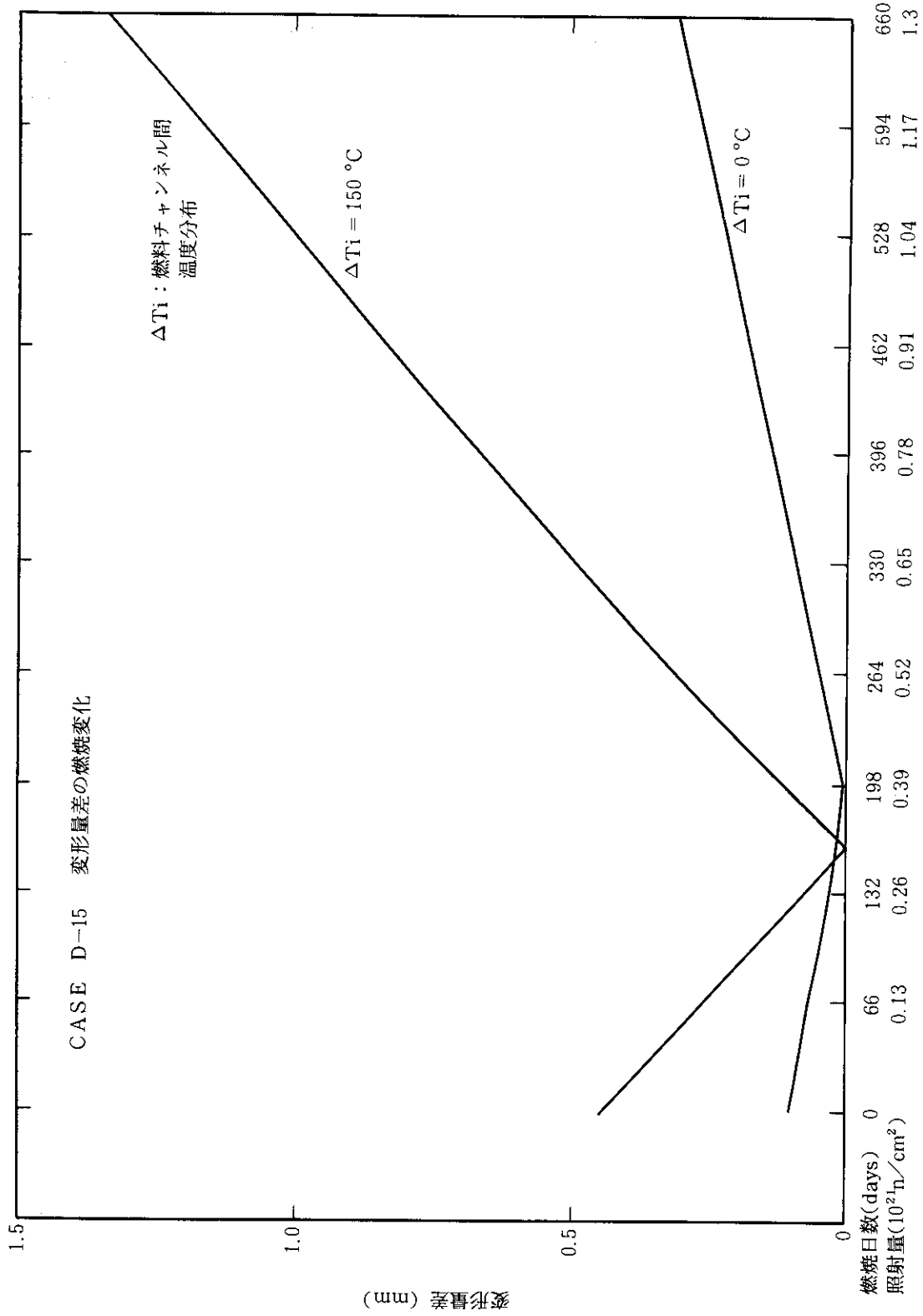
第 3.22 図 変形量差対表面温度差 ($\Phi = 0$)



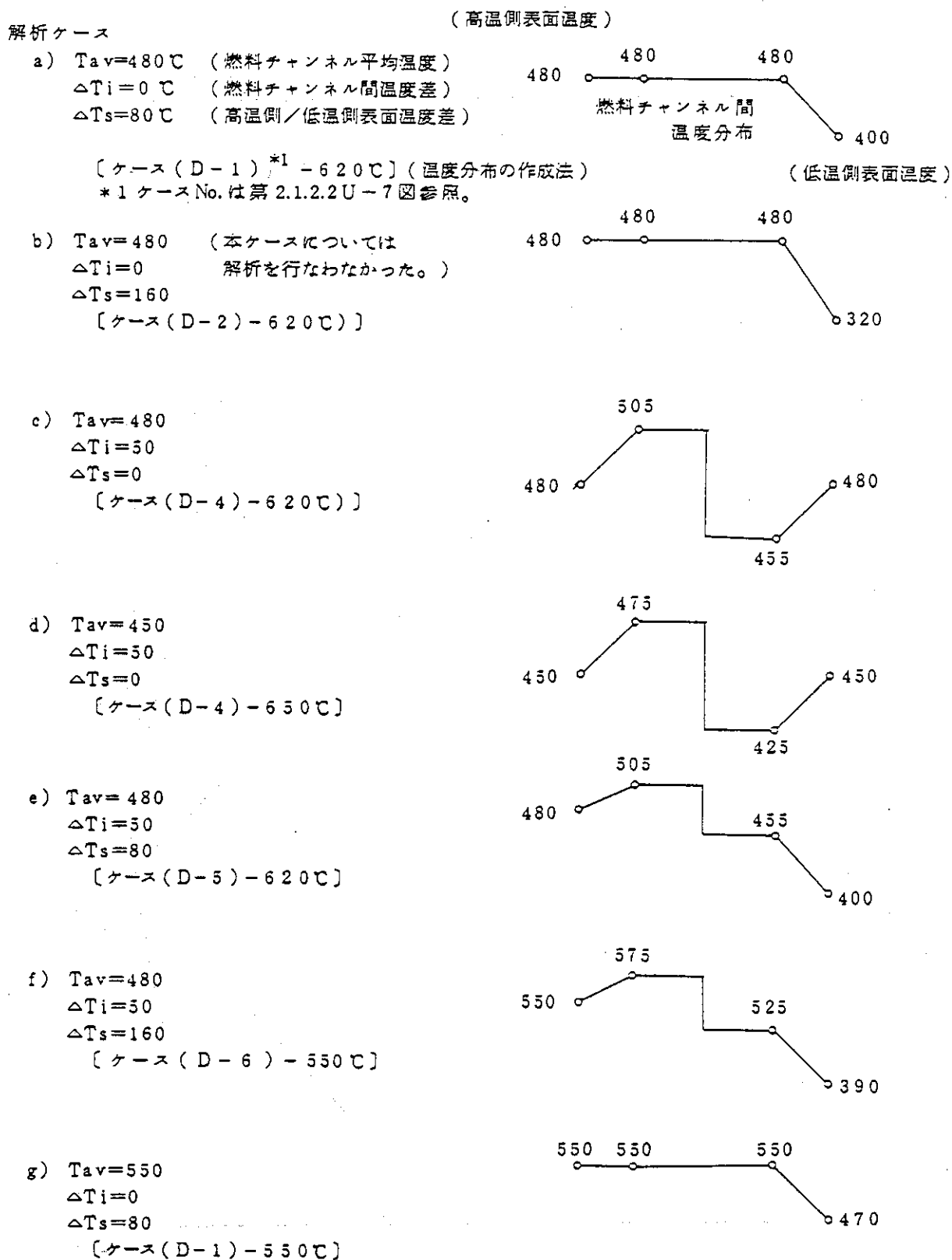
第 3.23 図 変形量差対表面温度差 ($\Phi = 0.65 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$)



第 3.24 図 変形量差対表面温度差 ($\Phi = 1.3 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$)

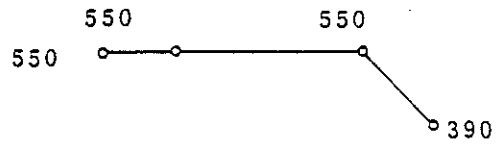


第 3.25 図 変形量差の燃焼変化

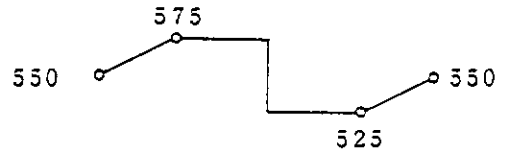


第 3.26 図 解析用温度分布

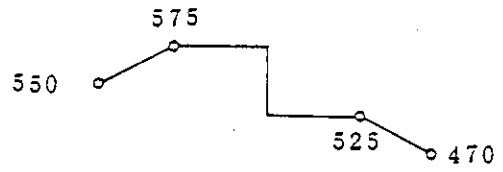
- h) $T_{av}=550\text{C}$
 $\Delta T_i=0\text{C}$
 $\Delta T_s=160\text{C}$
 [ケース(D-2)-550C]



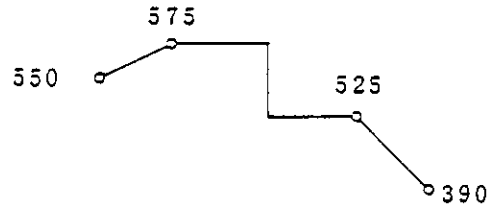
- i) $T_{av}=550$
 $\Delta T_i=50$
 $\Delta T_s=0$
 [ケース(D-4)-550C]



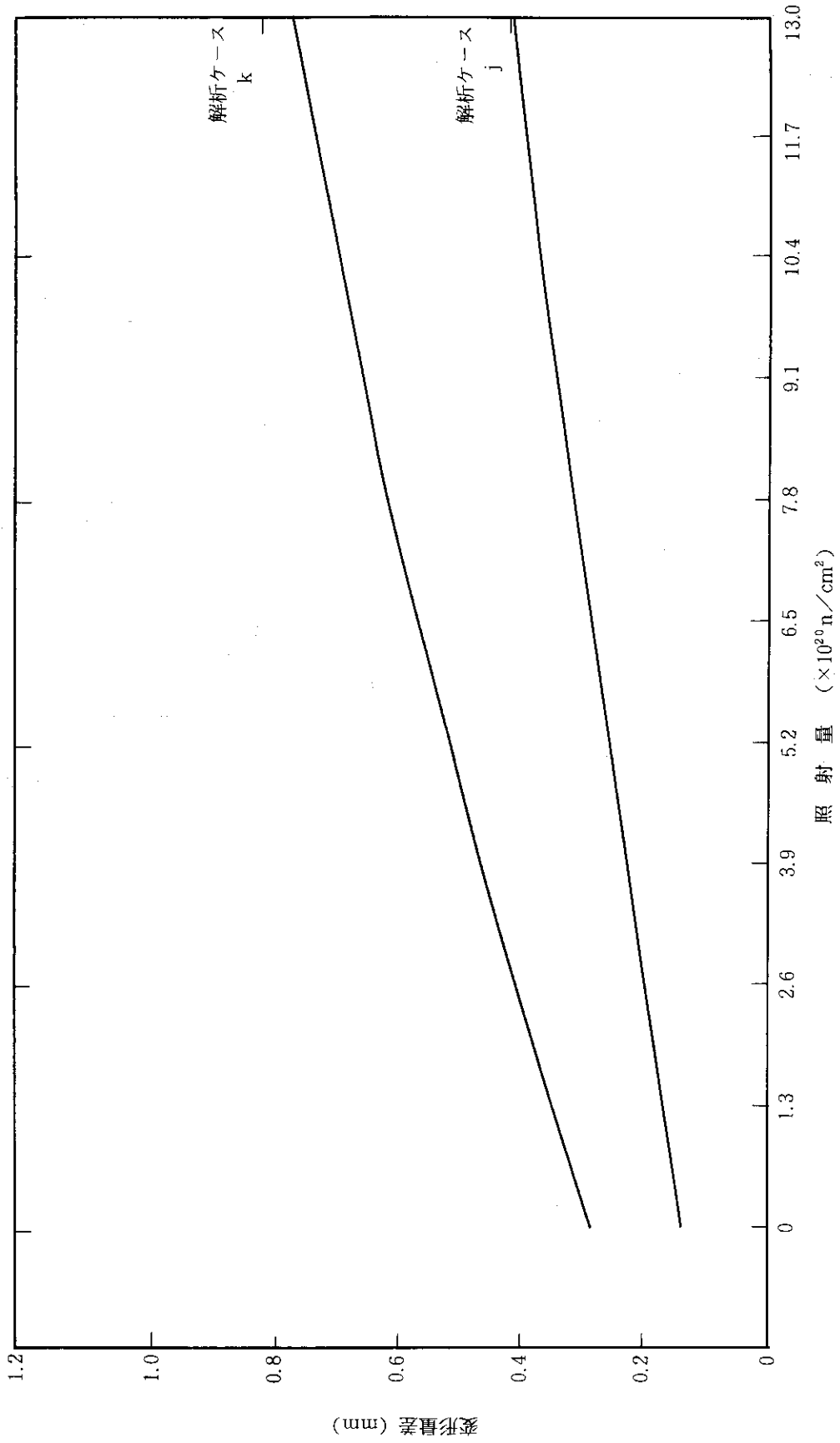
- j) $T_{av}=530$
 $\Delta T_i=50$
 $\Delta T_s=80$
 [ケース(D-5)-550C]



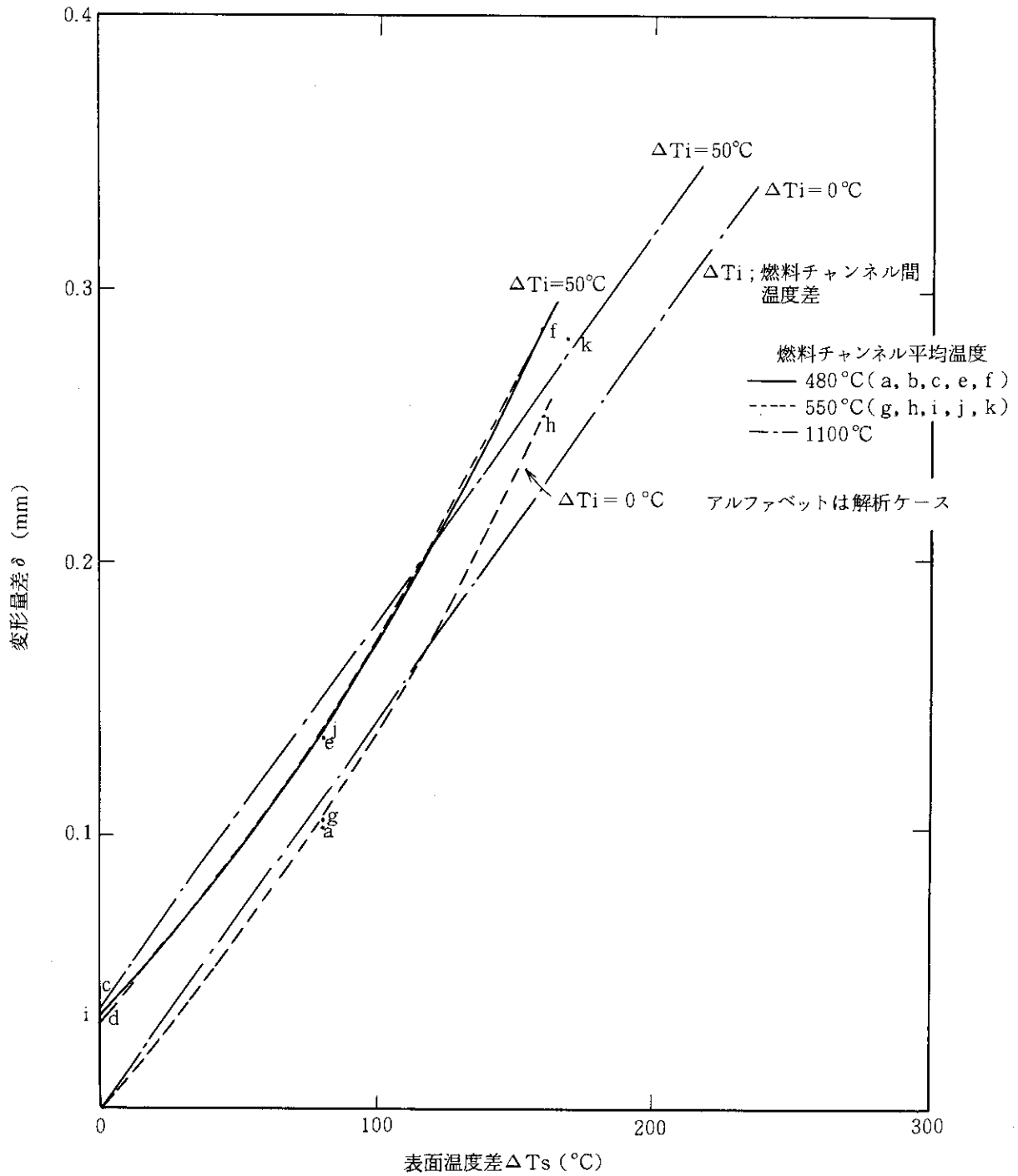
- k) $T_{av}=550$
 $\Delta T_i=50$
 $\Delta T_s=160$
 [ケース(D-6)-550C]



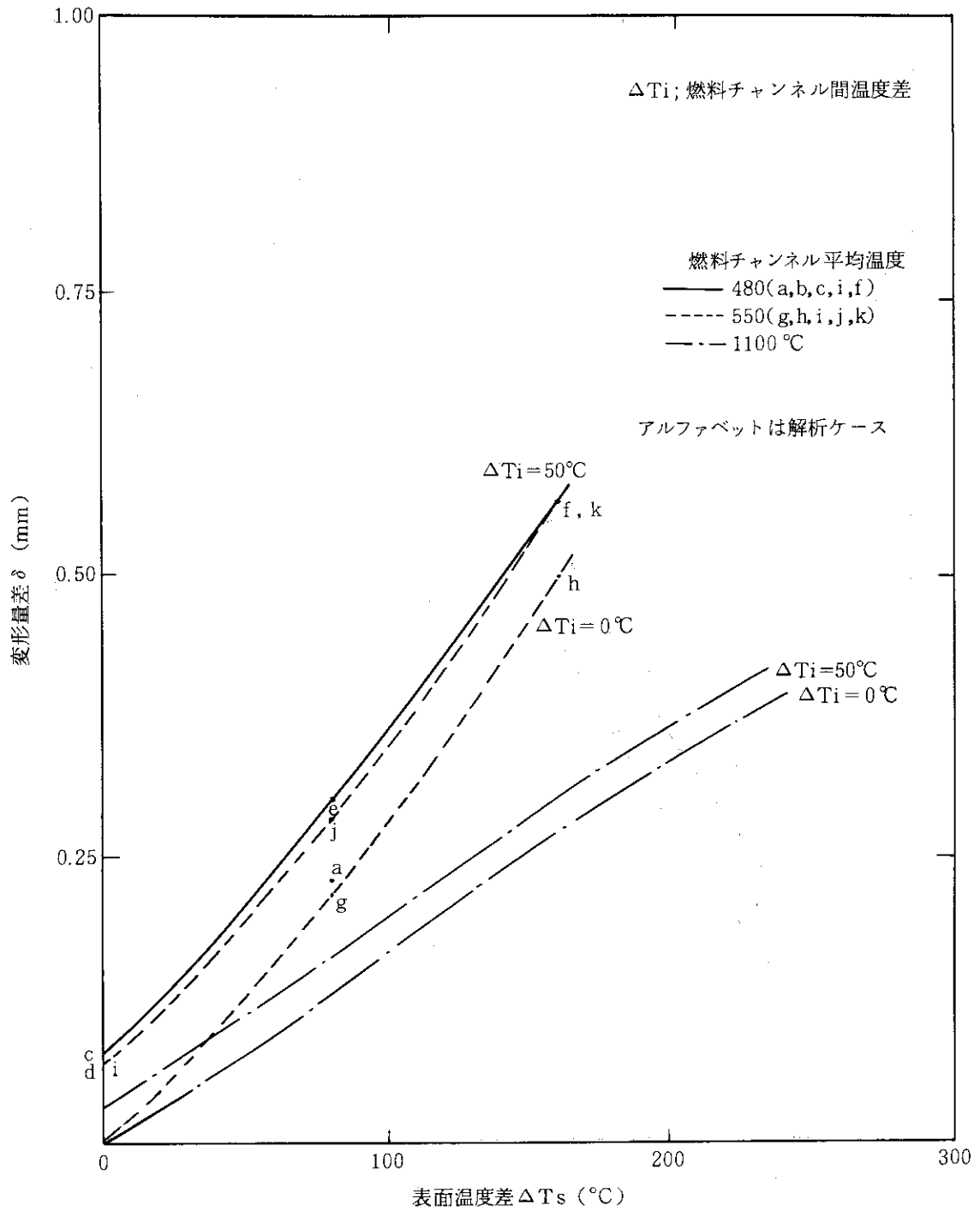
第 3.26 図 (続き)



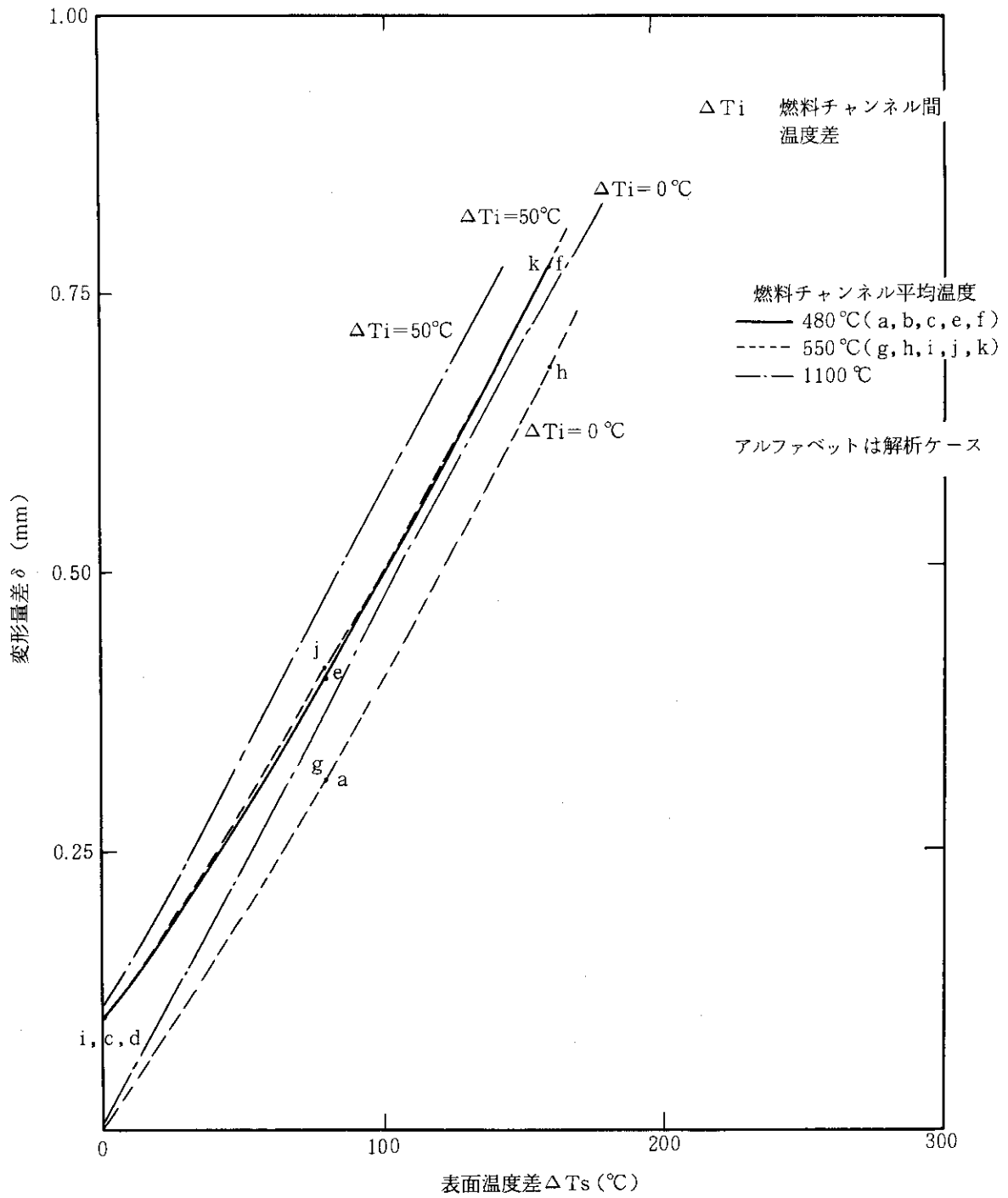
第 3.27 図 変形量差の燃焼変化



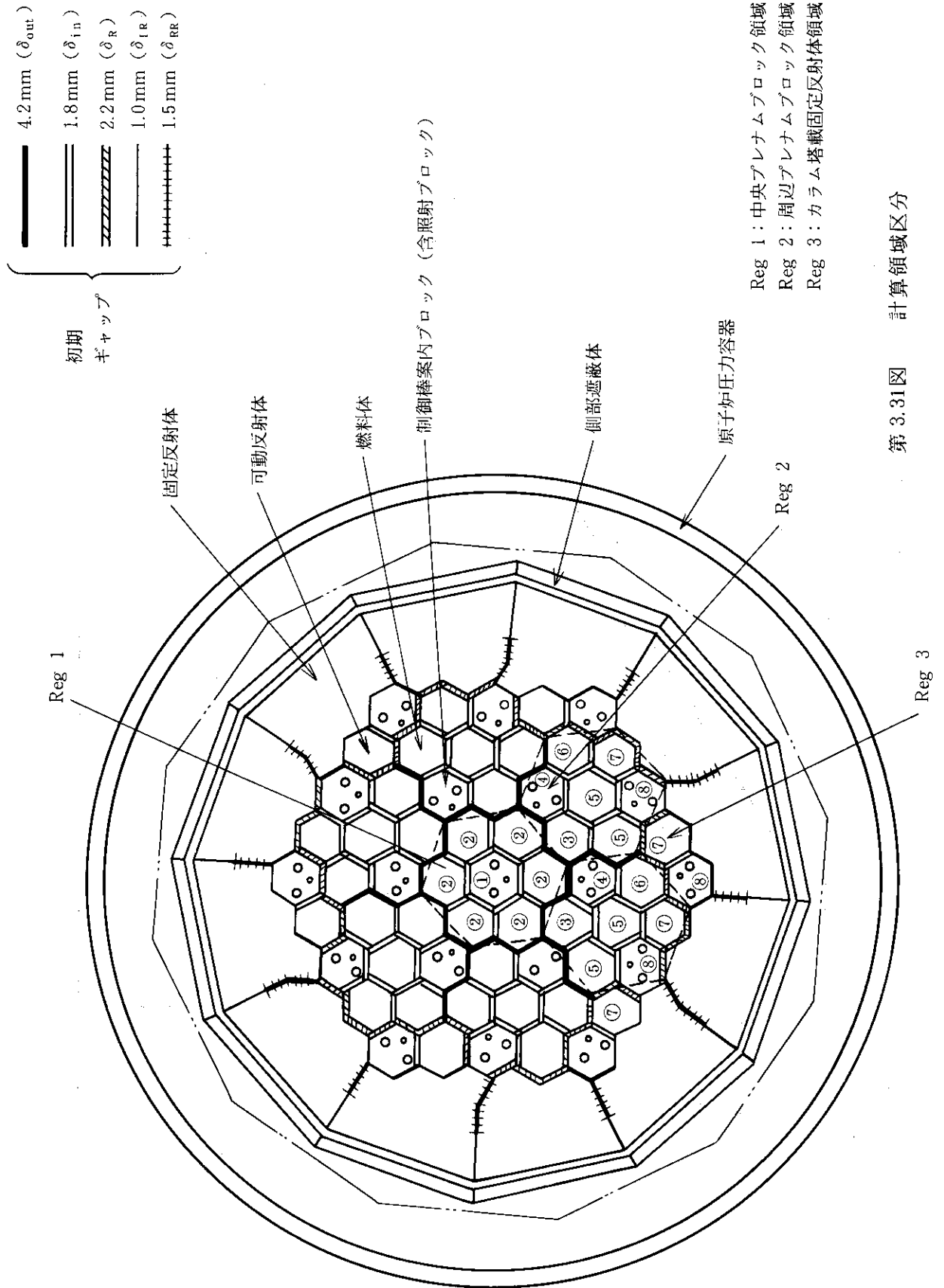
第 3.28 図 変形量差対表面温度差 ($\Phi = 0$)



第 3.29 図 変形量差対表面温度差 ($\Phi = 6.5 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2$)



第 3.30 図 変形量差対表面温度差 ($\Phi = 1.3 \times 10^{21} \text{n/cm}^2$)

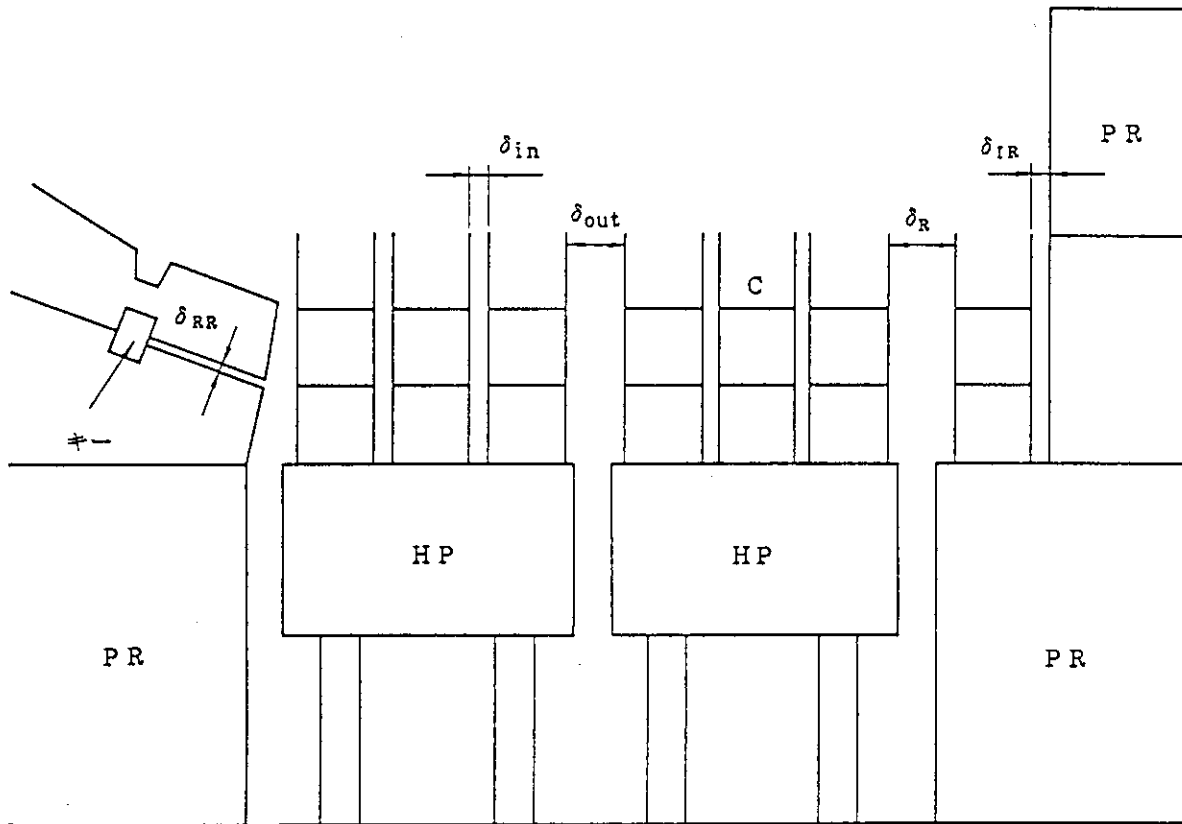


第 3.31 図 計算領域区分

C: カラム

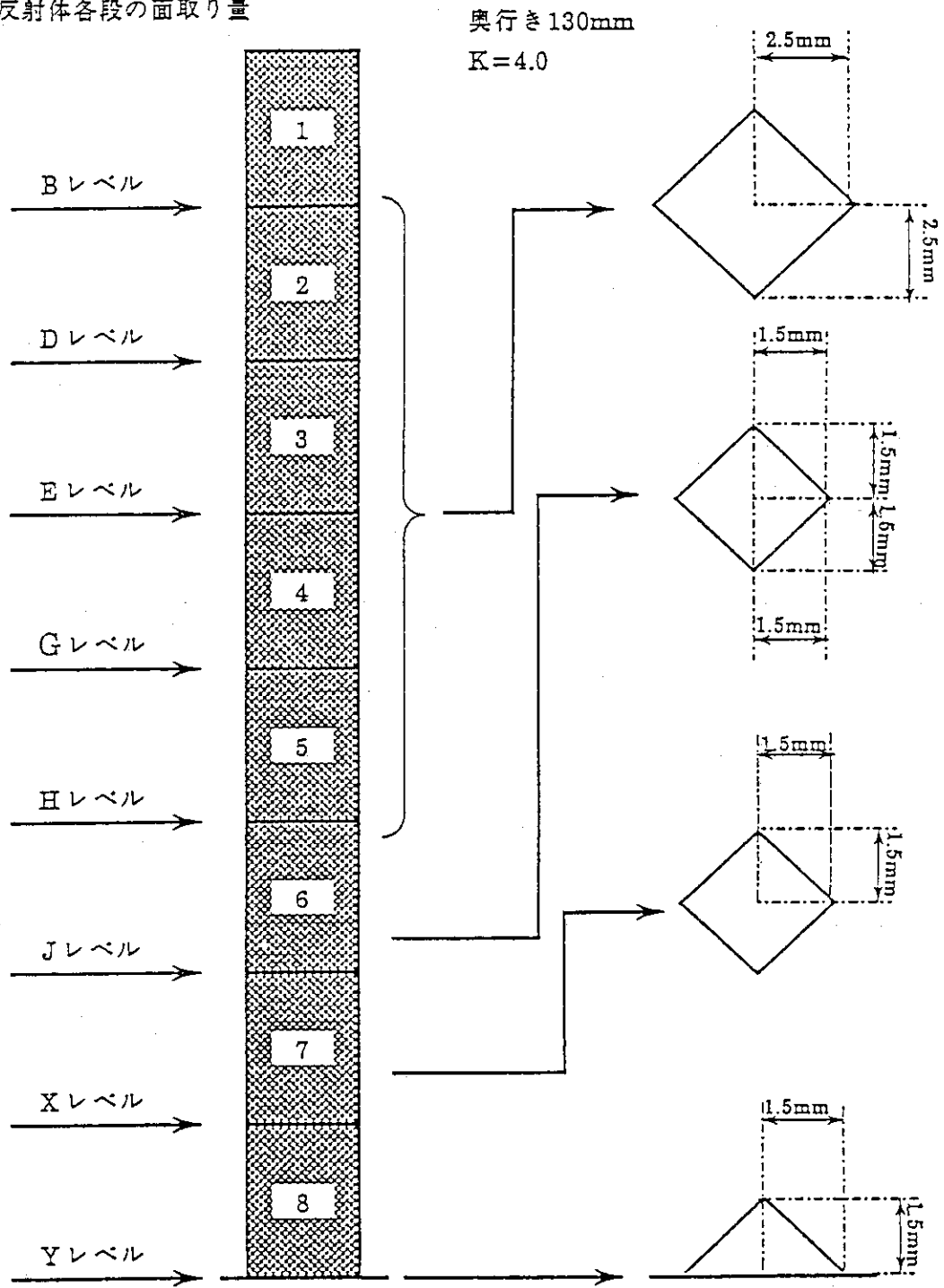
PR: 固定反射体

HP: 高温プレナムブロック



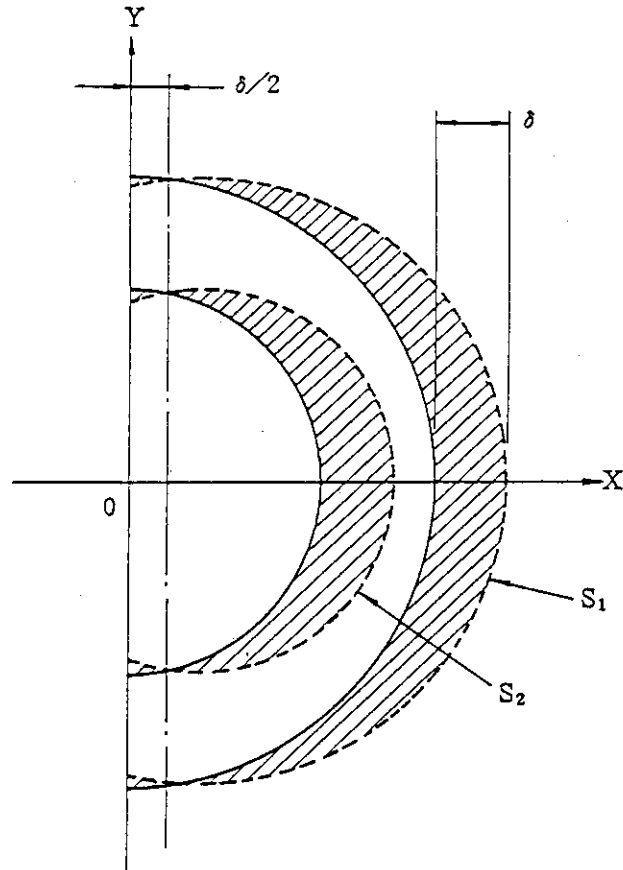
第3.32図 各種ギャップ概念図

固定反射体各段の面取り量

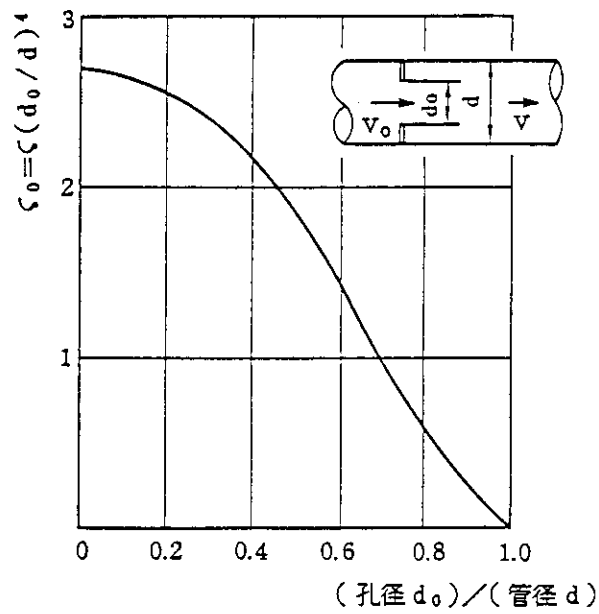


(固定反射体と炉心の位置関係は第1.1図参照)

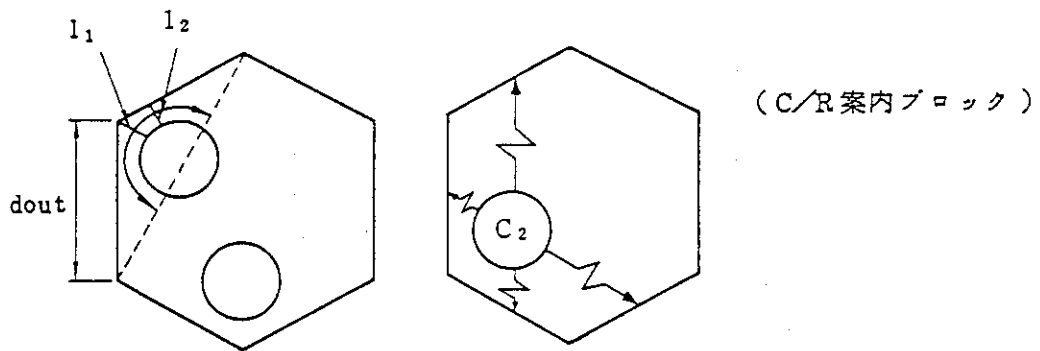
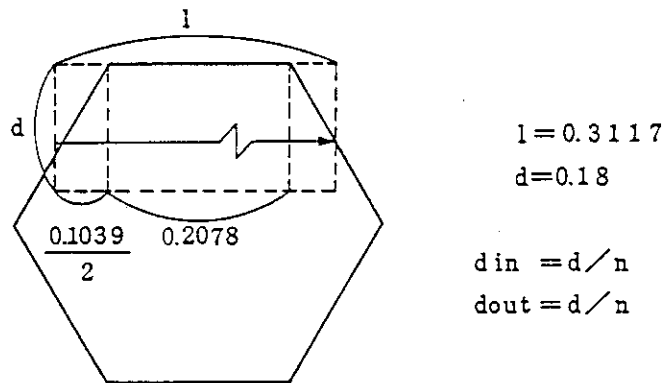
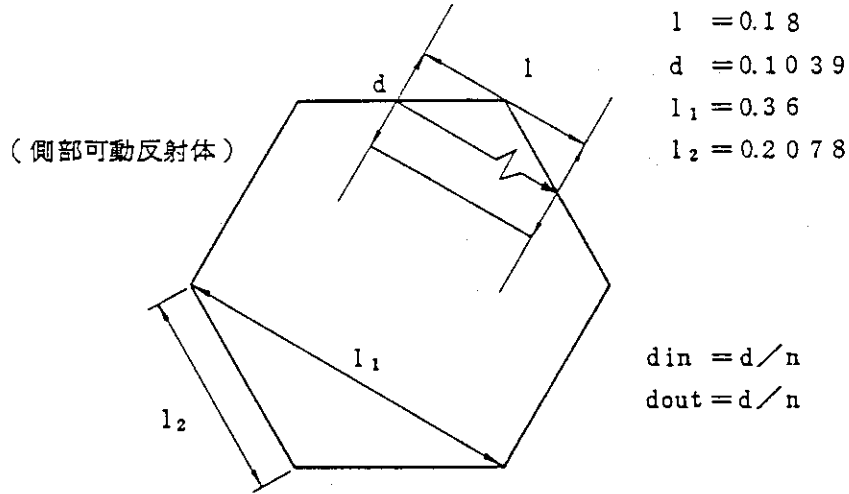
第3.33図 固定反射体面取形状及び寸法



第 3.34 図 オフセットによる燃料冷却流路の断面



第 3.35 図 オリフィスを通る流れの圧損係数



$$d_{in} = 0.123\pi/4n = 0.0966/n$$

$$d_{out} = 0.2078/n$$

$$d = \frac{(d_{in} + d_{out})}{2} \cdot n = 0.152$$

$$l = \frac{l_1 + l_2}{2} = 0.0275$$

$$\begin{cases} l_1 = 34 \times 10^{-3} \\ l_2 = 21 \times 10^{-3} \end{cases}$$

d_{in} : 入口側熱伝達ぬれ縁長(m)

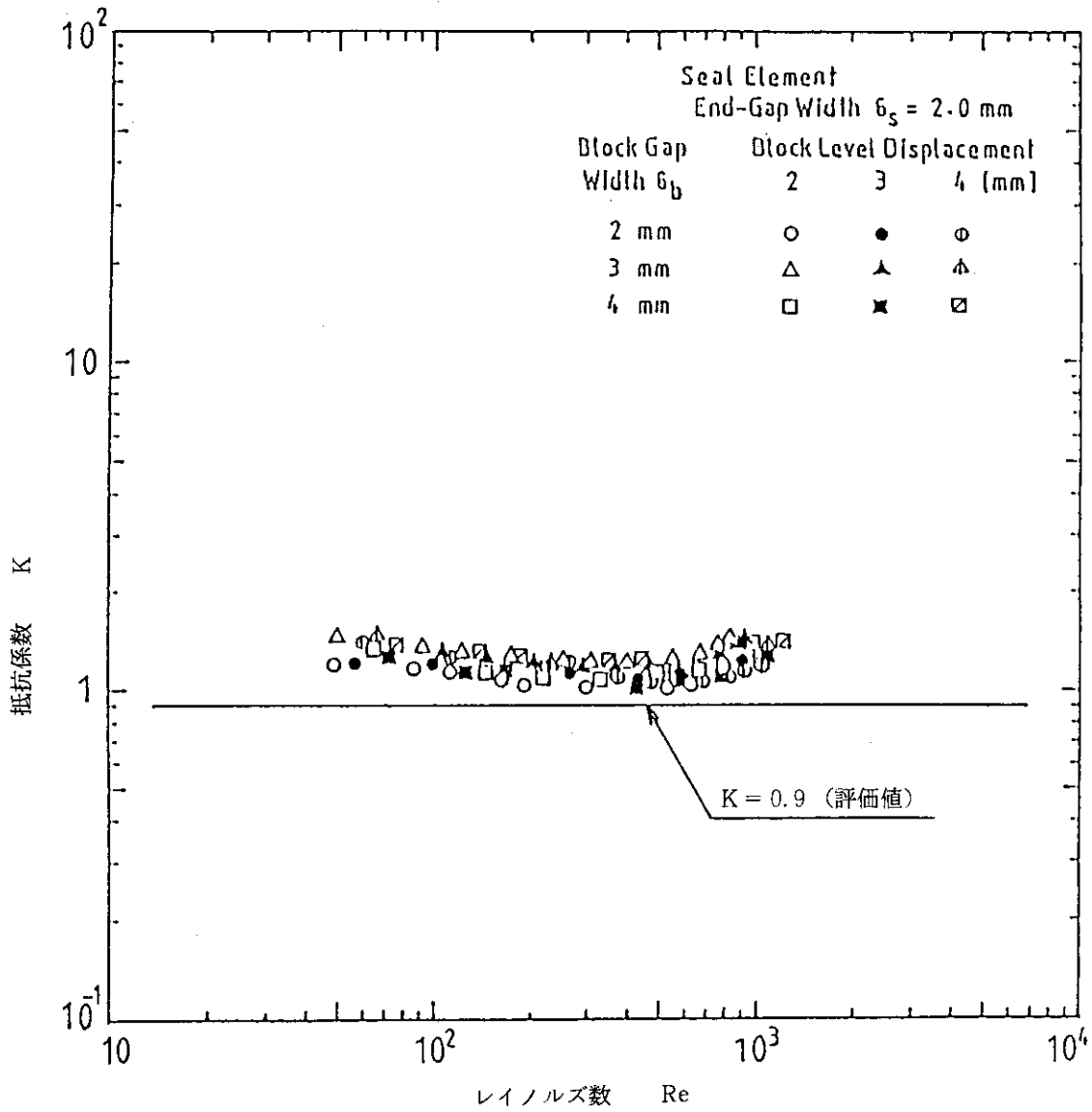
d_{out} : 出口側 " (m)

d : 伝熱面積 (m)

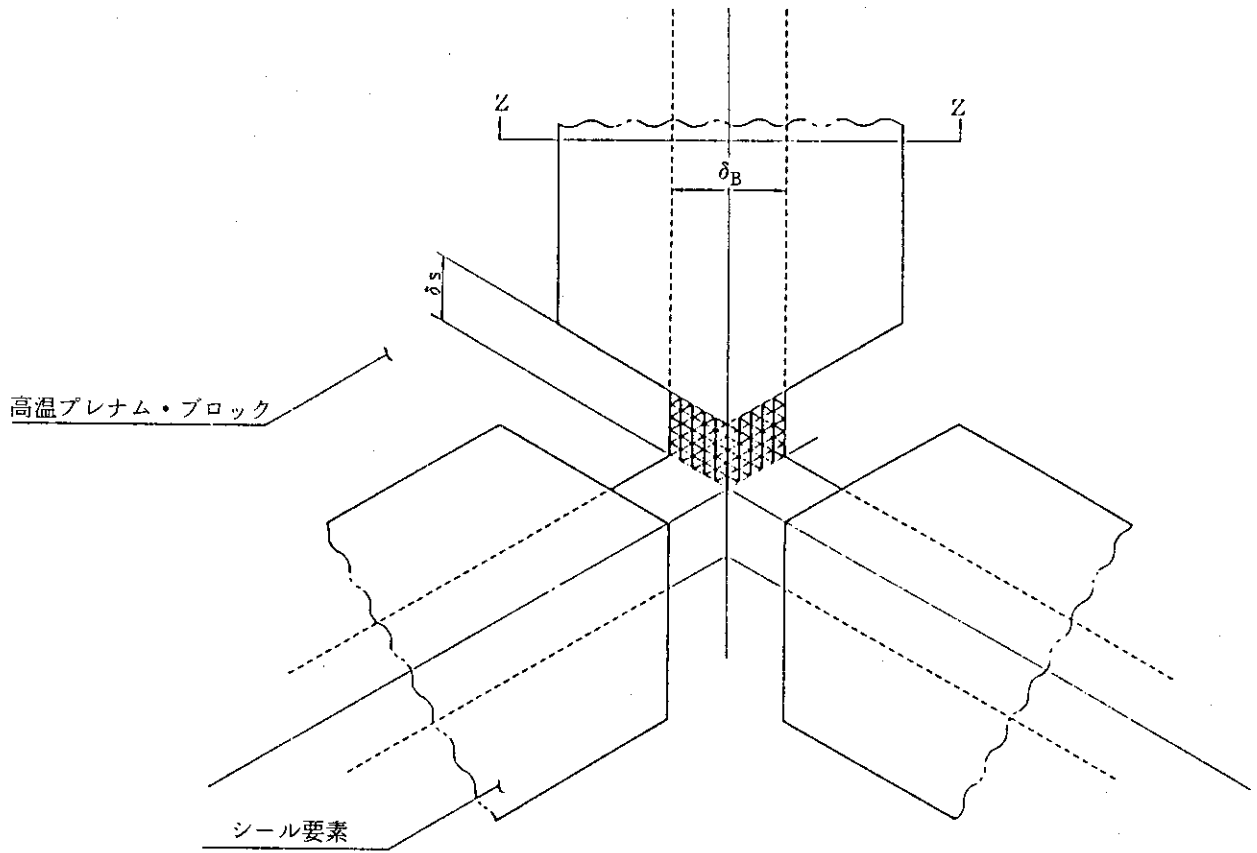
l : 伝熱距離 (m)

n : 同一ノード伝熱路接続数

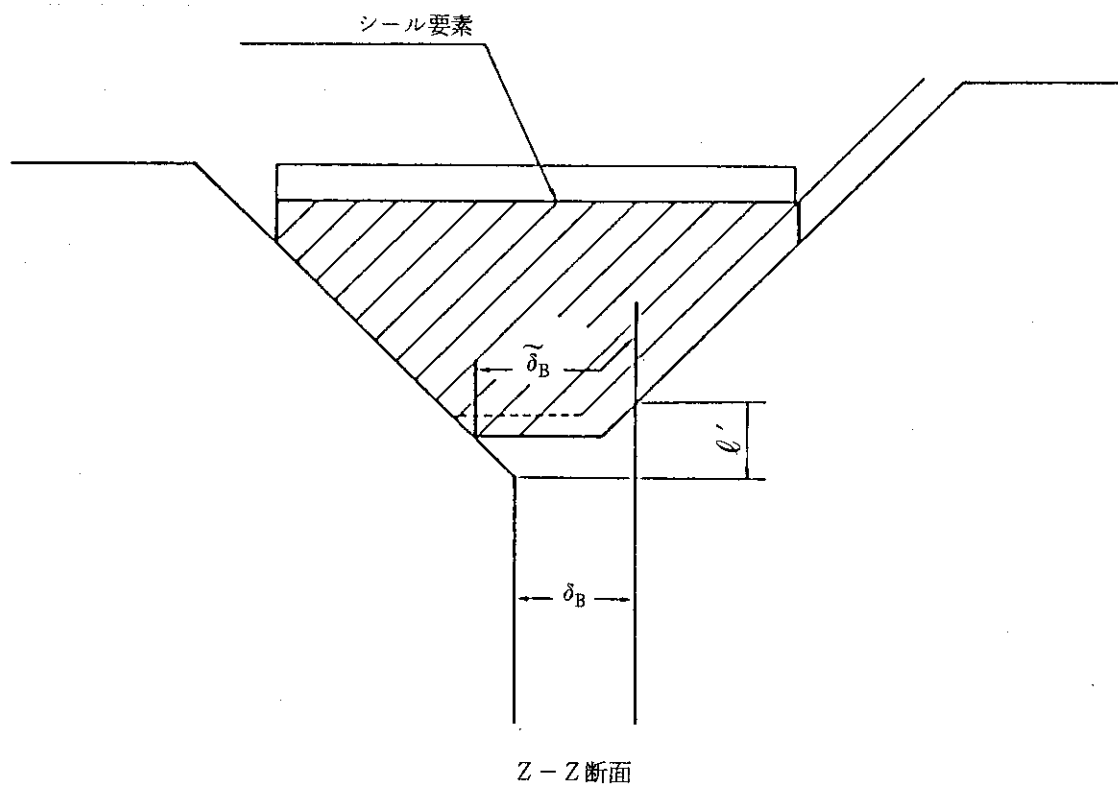
第 3.36 図 伝 熱 路 モ デ ル



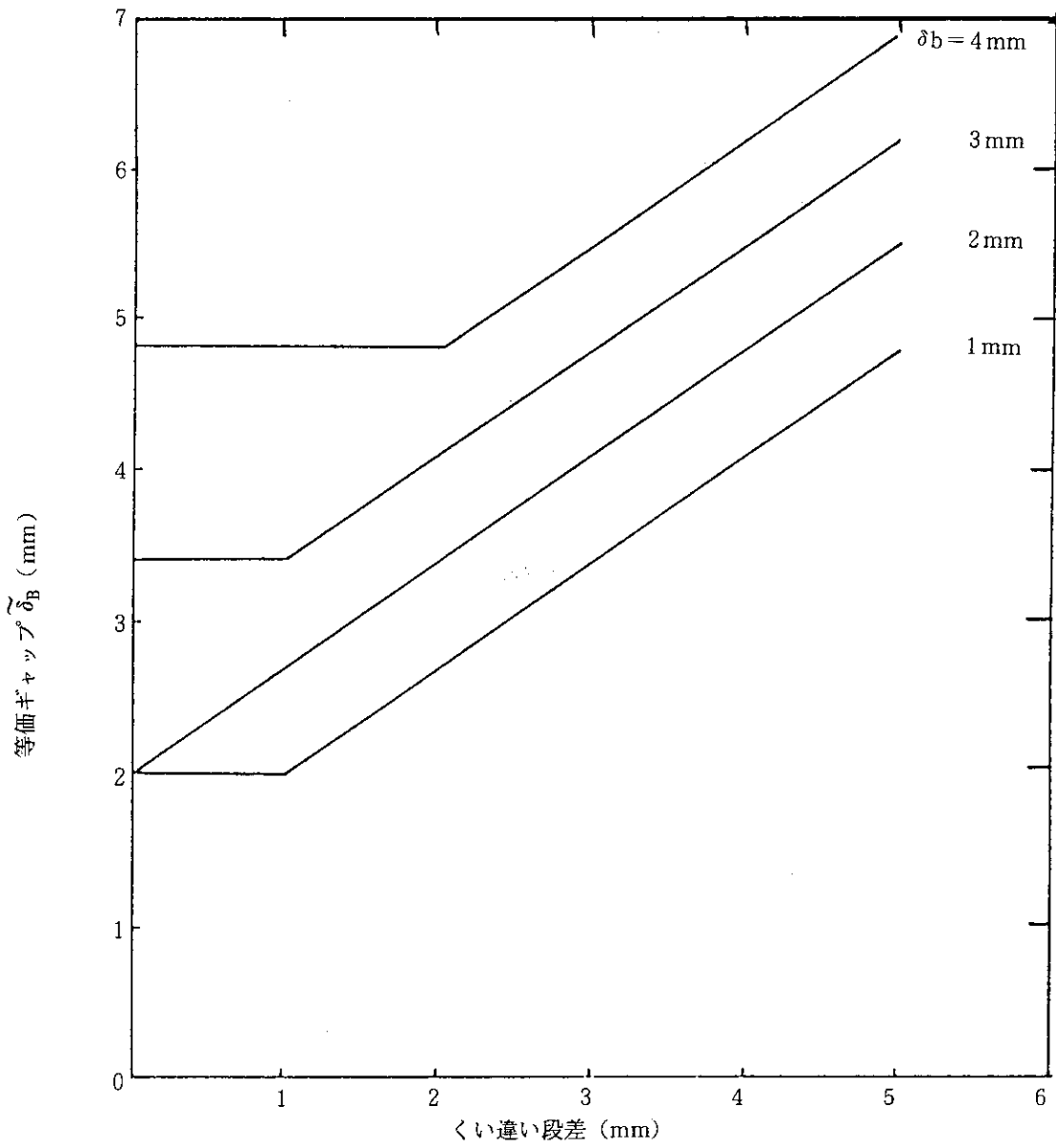
第3.37図 三角シール要素の流動抵抗係数



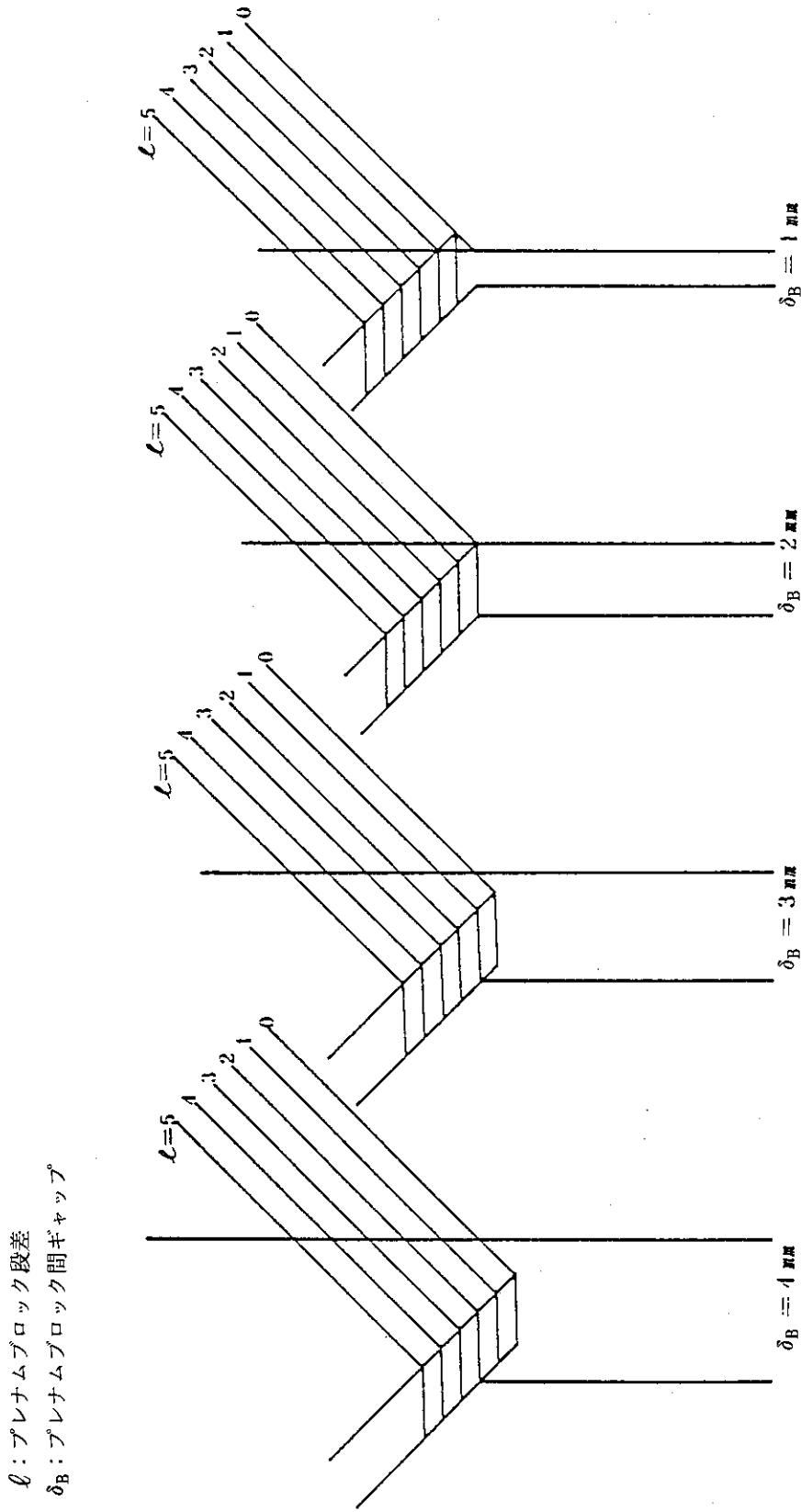
第 3.38 図 高温プレナムブロック・シール要素継ぎ部平面図



第 3.39 図 高温プレナムブロック・シール要素断面図



第 3.40 図 高温プレナムブロック間等価ギャップ幅



第3.41図 くい違い段差と等価ギャップの関係

4. 炉心内流量配分解析結果

4.1 基準炉心の解析結果

燃焼10日～330日における炉内流量配分図を第4.1～4.4図に、軸方向圧力分布図を第4.5～4.8図に、燃焼10日～330日における燃料カラム及び制御棒カラムの軸方向流量分布を第4.1～4.4表に示す。850℃運転では炉心全圧力損失（ノミナル値）は最大約8.7 kPa，炉心有効流量ノミナル値（平均燃料チャンネル流量の軸方向最低流量）は最小約88%である。950℃運転では炉心全圧力損失は最大約6.5 kPa，燃料チャンネル軸方向最低値は最小約88%である。燃焼による炉心圧力損失，燃料チャンネル軸方向最低値の変化を第4.5表に示す。燃焼330日，950℃運転状態を例にとると，主な流量配分（ノミナル値）は次の通りである。

- ① 燃料チャンネル : 最大92.1%，最小88.1%，平均90.2%
- ② 制御棒冷却チャンネル : 最大9.3%，最小5.6%，平均7.1%
- ③ カラム間ギャップ : 最大3.6%，最小1.2%，平均2.0%
- ④ 炉床部漏れ流れ : 0.07%
- ⑤ 高温プレナムブロック漏れ流れ : 0.35%
- ⑥ 固定反射体側部漏れ流れ : 0.74%（炉心部），0.29%（炉床部）
- ⑦ 燃料チャンネルクロス流れ（正味の値） : 4.0%
- ⑧ 制御棒冷却チャンネルクロス流れ（正味の値） : 3.7%

4.2 照射炉心の解析結果

燃焼330日，440日及び660日における炉内流量配分図を第4.9～4.11図に，軸方向圧力分布図（照射カラムを除く）を第4.12～4.14図に，燃料カラム及び制御棒カラムの軸方向流量分布を第4.6～4.8表に示す。炉心全圧力損失（ノミナル値）は最大で約10.3 kPa，照射カラム流量を含めた炉心有効流量ノミナル値（平均燃料チャンネルの軸方向最低値）は最小86.5%である。燃焼による炉心全圧力損失，炉心有効流量の変化を第4.9表に示す。燃焼660日を例にとると主な流量配分（ノミナル値）は次の通りである。

- ① ドライバー燃料チャンネル : 最大84.3%，最小79.9%，平均82.3%
- ② 照射燃料チャンネル : 最大7.3%，最小6.2%，平均6.8%
- ③ 制御棒及び照射試験冷却チャンネル : 最大9.3%，最小5.4%，平均7.0%
- ④ カラム間ギャップ : 最大4.5%，最小1.3%，平均2.6%
- ⑤ 炉床部漏れ流れ : 0.10%
- ⑥ 高温プレナムブロック漏れ流れ : 0.39%
- ⑦ 固定反射体側部漏れ流れ : 0.78%（炉心部），0.37%（炉床部）
- ⑧ 燃料チャンネルクロス流れ（正味の値） : 4.4%

⑨ 制御棒及び照射試験冷却チャンネルクロス流れ（正味の値）： 3.9%

なお、燃焼330日で照射カラムが計画流量を確保するための絞りは、下部反射体下段を絞りとした場合 $\phi 22\text{mm}$ 相当となる。

基準炉心、照射炉心ともに冷却材流量配分の微調整は、第4.15図に示すように燃料体カラムに設置する上部遮蔽体に取り付けた流量調整板の流路孔径を調整することにより行う。

第4.1表 基準炉心のカラム別軸方向流量分布 (燃焼10日, 850°C) [単位: kg/s/カラム]

LEVEL	F1	F2	F3	F4	F5
US	3.928D-01	3.902D-01	3.710D-01	3.720D-01	3.739D-01
UR1	3.923D-01	3.897D-01	3.706D-01	3.723D-01	3.734D-01
UR2	3.919D-01	3.893D-01	3.701D-01	3.719D-01	3.730D-01
F1	3.907D-01	3.883D-01	3.694D-01	3.706D-01	3.720D-01
F2	3.882D-01	3.865D-01	3.678D-01	3.676D-01	3.690D-01
F3	3.861D-01	3.847D-01	3.658D-01	3.646D-01	3.673D-01
F4	3.851D-01	3.837D-01	3.640D-01	3.627D-01	3.657D-01
F5	3.851D-01	3.836D-01	3.639D-01	3.626D-01	3.657D-01
LR1	3.859D-01	3.852D-01	3.694D-01	3.686D-01	3.705D-01
LR2	3.877D-01	3.871D-01	3.774D-01	3.784D-01	3.775D-01
HP1	3.880D-01	3.874D-01	3.787D-01	3.800D-01	3.789D-01
F1-F5 MEAN	3.870D-01	3.854D-01	3.662D-01	3.656D-01	3.681D-01

LEVEL	C1	C2	C3	C4
US	6.040D-03	3.558D-02	3.569D-02	3.546D-02
UR1	6.072D-03	3.570D-02	3.580D-02	3.557D-02
UR2	6.103D-03	3.581D-02	3.592D-02	3.568D-02
F1	6.145D-03	3.686D-02	3.621D-02	3.588D-02
F2	6.209D-03	3.972D-02	3.766D-02	3.794D-02
F3	6.310D-03	4.204D-02	4.237D-02	4.582D-02
F4	6.426D-03	4.345D-02	4.943D-02	5.643D-02
F5	6.489D-03	4.394D-02	5.435D-02	6.339D-02
LR1	6.472D-03	4.287D-02	4.920D-02	5.677D-02
LR2	6.401D-03	4.076D-02	4.041D-02	4.769D-02
HP1	6.422D-03	4.113D-02	4.468D-02	5.494D-02

* 1 1/6カラム当りの流量
 * 2 燃料体1段目~5段目までの平均値

第 4.2 表 基準炉心のカメラ別軸方向流量分布 (燃焼 220 日, 850°C) [単位: kg/s/カメラ]

LEVEL	F1	F2	F3	F4	F5
US	3.9130-01	3.0920-01	3.7540-01	3.8030-01	3.7760-01
UR1	3.9090-01	3.0880-01	3.7510-01	3.8000-01	3.7730-01
UR2	3.9060-01	3.0850-01	3.7470-01	3.7970-01	3.7700-01
F1	3.0880-01	3.0710-01	3.7280-01	3.7630-01	3.7510-01
F2	3.0400-01	3.0340-01	3.6700-01	3.6670-01	3.6890-01
F3	3.0150-01	3.0140-01	3.6110-01	3.5890-01	3.6280-01
F4	3.0120-01	3.0100-01	3.5970-01	3.5740-01	3.6140-01
F5	3.0150-01	3.0140-01	3.6160-01	3.5930-01	3.6320-01
LR1	3.0260-01	3.0330-01	3.6900-01	3.6740-01	3.7020-01
LR2	3.0430-01	3.0490-01	3.7740-01	3.7790-01	3.7740-01
HP1	3.0460-01	3.0510-01	3.7060-01	3.7940-01	3.7860-01
F1-F5 MEAN	3.0340-01	3.0280-01	3.6440-01	3.6370-01	3.6630-01

LEVEL	C1	C2	C3	C4
US	5.9000-03	3.3930-02	3.4750-02	3.4720-02
UR1	5.9410-03	3.4060-02	3.4910-02	3.4870-02
UR2	5.9810-03	3.4190-02	3.5050-02	3.5020-02
F1	6.0420-03	3.5560-02	3.5790-02	3.5320-02
F2	6.1670-03	4.0540-02	3.7520-02	3.6870-02
F3	6.3350-03	4.6790-02	4.1200-02	4.3660-02
F4	6.4870-03	4.6850-02	4.9060-02	5.5040-02
F5	6.5720-03	4.7360-02	5.5340-02	6.4000-02
LR1	6.5620-03	4.5630-02	5.0320-02	5.0280-02
LR2	6.4070-03	4.2700-02	4.1350-02	4.0110-02
HP1	6.5000-03	4.3110-02	4.5570-02	5.8710-02

* 1 1/6カメラ当りの流量
* 2 燃料体1段目~5段目までの平均値

第 4.3 表 基準炉心のカラム別軸方向流量分布 (燃焼 220 日, 950°C) [単位: kg/s/カラム]

LEVEL	F1	F2	F3	F4	F5
US	3.2030-01	3.1750-01	3.0770-01	3.1150-01	3.1000-01
UR1	3.2010-01	3.1730-01	3.0750-01	3.1120-01	3.0970-01
UR2	3.1990-01	3.1700-01	3.0720-01	3.1100-01	3.0950-01
F1	3.1820-01	3.1590-01	3.0550-01	3.0790-01	3.0770-01
F2	3.1350-01	3.1290-01	2.9970-01	2.9910-01	3.0160-01
F3	3.1120-01	3.1110-01	2.9580-01	2.9390-01	2.9730-01
F4	3.1080-01	3.1070-01	2.9460-01	2.9260-01	2.9610-01
F5	3.1100-01	3.1090-01	2.9570-01	2.9370-01	2.9720-01
LR1	3.1230-01	3.1300-01	3.0240-01	3.0140-01	3.0340-01
LR2	3.1440-01	3.1500-01	3.0910-01	3.1100-01	3.1000-01
HP1	3.1460-01	3.1520-01	3.0990-01	3.1240-01	3.1110-01
F1-F5 MEAN	3.1290-01	3.1230-01	2.9830-01	2.9740-01	3.0000-01

LEVEL	C1	C2	C3	C4
US	5.0950-03	3.0100-02	3.0280-02	2.9860-02
UR1	5.1270-03	3.0220-02	3.0400-02	2.9980-02
UR2	5.1590-03	3.0340-02	3.0530-02	3.0090-02
F1	5.2130-03	3.1460-02	3.1210-02	3.0290-02
F2	5.3350-03	3.5690-02	3.2990-02	3.2130-02
F3	5.4980-03	3.9270-02	3.7540-02	4.0340-02
F4	5.6300-03	4.1130-02	4.5280-02	5.2180-02
F5	5.7030-03	4.1810-02	5.0330-02	5.8730-02
LR1	5.6280-03	3.9360-02	4.4190-02	5.1070-02
LR2	5.4640-03	3.4350-02	3.4180-02	4.0530-02
HP1	5.4800-03	3.5000-02	3.7930-02	4.8100-02

* 1. 1/6カラム当りの流量
 * 2. 燃料体1段目~5段目までの平均値

第 4.4 表 基準炉心のカラム別軸方向流量分布 (燃焼 330 日, 950°C) [単位: kg/s/カラム]

LEVEL	F1	F2	F3	F4	F5
US	3.2120-01	3.1780-01	3.0770-01	3.1270-01	3.1010-01
UR1	3.2100-01	3.1750-01	3.0750-01	3.1240-01	3.0980-01
UR2	3.2070-01	3.1730-01	3.0730-01	3.1220-01	3.0960-01
F1	3.1870-01	3.1600-01	3.0530-01	3.0840-01	3.0760-01
F2	3.1280-01	3.1220-01	2.9860-01	2.9800-01	3.0040-01
F3	3.1030-01	3.1040-01	2.9440-01	2.9240-01	2.9600-01
F4	3.1000-01	3.1010-01	2.9350-01	2.9150-01	2.9500-01
F5	3.1030-01	3.1040-01	2.9510-01	2.9290-01	2.9650-01
LR1	3.1180-01	3.1260-01	3.0210-01	3.0110-01	3.0300-01
LR2	3.1390-01	3.1460-01	3.0930-01	3.1090-01	3.0970-01
HP1	3.1410-01	3.1480-01	3.1020-01	3.1230-01	3.1090-01
F1-F5 MEAN	3.1240-01	3.1180-01	2.9740-01	2.9660-01	2.9910-01

LEVEL	C1	C2	C3	C4
US	5.0540-03	2.9660-02	2.9900-02	2.9520-02
UR1	5.0870-03	2.9780-02	3.0100-02	2.9640-02
UR2	5.1190-03	2.9890-02	3.0230-02	2.9750-02
F1	5.1770-03	3.1070-02	3.0980-02	2.9980-02
F2	5.3260-03	3.6030-02	3.2960-02	3.1930-02
F3	5.5100-03	4.0090-02	3.7820-02	4.0520-02
F4	5.6540-03	4.1910-02	4.5050-02	5.2970-02
F5	5.7240-03	4.2540-02	5.1050-02	5.9660-02
LR1	5.6510-03	3.9870-02	4.4720-02	5.1660-02
LR2	5.4810-03	3.4820-02	3.4430-02	4.0810-02
HP1	5.4970-03	3.5380-02	3.8220-02	4.8380-02

* 1 1/6カラム当りの流量
* 2 燃料体1段目~5段目までの平均値

第4.5表 基準炉心の炉心全圧力損失及び燃料チャンネル最低流量割合

運 転 状 態	燃 焼 日	1 0 日	2 2 0 日	3 3 0 日
8 5 0 °C 運 転	炉 心 圧 力 損 失	8.7 5 kPa	8.6 0 kPa	--
	燃 料 チ ャ ン ネ ル 最 低 流 量 割 合	8 9.6 %	8 8.7 %	--
9 5 0 °C 運 転	炉 心 圧 力 損 失	—	6.4 7 kPa	6.4 3 kPa
	燃 料 チ ャ ン ネ ル 最 低 流 量 割 合	—	8 8.4 %	8 8.1 %

第4.6表 照射炉心のカラム別軸方向流量分布 (燃焼330日) [単位: kg/s/カラム]

LEVEL	F1*1	F2	F3	F4	F5
US	2.196D-01	3.918D-01	3.753D-01	3.776D-01	3.744D-01
UR1	2.194D-01	3.915D-01	3.750D-01	3.773D-01	3.741D-01
UR2	2.192D-01	3.912D-01	3.748D-01	3.770D-01	3.739D-01
F1	2.185D-01	3.899D-01	3.722D-01	3.740D-01	3.725D-01
F2	2.159D-01	3.864D-01	3.661D-01	3.649D-01	3.675D-01
F3	2.124D-01	3.837D-01	3.623D-01	3.593D-01	3.634D-01
F4	2.114D-01	3.843D-01	3.640D-01	3.615D-01	3.649D-01
F5	2.117D-01	3.854D-01	3.676D-01	3.653D-01	3.686D-01
LR1	2.124D-01	3.872D-01	3.757D-01	3.744D-01	3.772D-01
LR2	2.130D-01	3.894D-01	3.840D-01	3.855D-01	3.867D-01
HP1	2.131D-01	3.898D-01	3.854D-01	3.872D-01	3.884D-01
F1-F5 MEAN *2	2.140D-01	3.859D-01	3.664D-01	3.650D-01	3.674D-01

R (F)*3
1.260D-01

LEVEL	照射カラム*4	C2	C3	C4
US	1.459D-01	3.745D-02	3.841D-02	3.852D-02
UR1	1.456D-01	3.758D-02	3.857D-02	3.867D-02
UR2	1.454D-01	3.771D-02	3.871D-02	3.882D-02
F1	1.446D-01	3.895D-02	3.977D-02	3.929D-02
F2	1.400D-01	4.420D-02	4.339D-02	4.186D-02
F3	1.343D-01	4.852D-02	4.837D-02	4.950D-02
F4	1.308D-01	5.023D-02	5.570D-02	6.085D-02
F5	1.289D-01	5.043D-02	6.061D-02	6.879D-02
LR1	1.271D-01	4.931D-02	5.491D-02	6.206D-02
LR2	1.255D-01	4.742D-02	4.588D-02	5.196D-02
HP1	1.257D-01	4.780D-02	4.973D-02	6.000D-02
C1-C4 MEAN	1.358D-01	4.493D-02	4.732D-02	5.020D-02

- * 1 1/2カラム当りの流量
- * 2 燃料体1段目~5段目までの平均値
- * 3 中央領域ドライバ-流量配分 (対全ドライバ-流量)
- * 4 1/2カラム当りの計画流量

第4.7表 照射炉心のカラム別軸方向流量分布 (燃焼440日) (単位: kg/s/カラム)

LEVEL	F1 ^{*1}	F2	F3	F4	F5
US	2.206D-01	3.922D-01	3.748D-01	3.776D-01	3.737D-01
UR1	2.204D-01	3.919D-01	3.745D-01	3.773D-01	3.734D-01
UR2	2.202D-01	3.916D-01	3.743D-01	3.771D-01	3.732D-01
F1	2.194D-01	3.899D-01	3.707D-01	3.725D-01	3.712D-01
F2	2.164D-01	3.847D-01	3.634D-01	3.616D-01	3.650D-01
F3	2.129D-01	3.829D-01	3.596D-01	3.560D-01	3.606D-01
F4	2.122D-01	3.834D-01	3.620D-01	3.593D-01	3.630D-01
F5	2.124D-01	3.845D-01	3.659D-01	3.634D-01	3.670D-01
LR1	2.132D-01	3.865D-01	3.740D-01	3.726D-01	3.759D-01
LR2	2.139D-01	3.889D-01	3.820D-01	3.835D-01	3.850D-01
HP1	2.140D-01	3.893D-01	3.832D-01	3.851D-01	3.865D-01
F1-F5 MEAN ^{*2}	2.176D-01	3.851D-01	3.643D-01	3.625D-01	3.654D-01

R (F)^{*3}
1.269D-01

LEVEL	照射カラム ^{*4}	C2	C3	C4
US	1.478D-01	3.686D-02	3.807D-02	3.839D-02
UR1	1.476D-01	3.699D-02	3.822D-02	3.855D-02
UR2	1.473D-01	3.711D-02	3.837D-02	3.871D-02
F1	1.464D-01	4.002D-02	3.973D-02	3.928D-02
F2	1.411D-01	4.785D-02	4.400D-02	4.199D-02
F3	1.350D-01	5.177D-02	4.964D-02	4.947D-02
F4	1.319D-01	5.267D-02	5.768D-02	6.077D-02
F5	1.302D-01	5.272D-02	6.242D-02	6.879D-02
LR1	1.283D-01	5.123D-02	5.608D-02	6.262D-02
LR2	1.266D-01	4.874D-02	4.634D-02	5.204D-02
HP1	1.268D-01	4.914D-02	5.039D-02	6.270D-02
C1-C4 MEAN	1.372D-01	4.657D-02	4.805D-02	5.025D-02

- * 1 1/2カラム当りの流量
- * 2 燃料体1段目~5段目までの平均値
- * 3 中央領域ドライバ-流量配分 (対全ドライバ-流量)
- * 4 1/2カラム当りの計画流量

第 4.8 表 照射炉心のカラム別軸方向流量分布 (燃焼 660 日) (単位: kg/s/カラム)

LEVEL	F1*1	F2	F3	F4	F5
US	2.217D-01	3.932D-01	3.742D-01	3.779D-01	3.727D-01
UR1	2.215D-01	3.929D-01	3.739D-01	3.777D-01	3.724D-01
UR2	2.213D-01	3.927D-01	3.737D-01	3.774D-01	3.722D-01
F1	2.202D-01	3.901D-01	3.682D-01	3.696D-01	3.688D-01
F2	2.163D-01	3.823D-01	3.588D-01	3.557D-01	3.602D-01
F3	2.130D-01	3.799D-01	3.561D-01	3.519D-01	3.571D-01
F4	2.127D-01	3.811D-01	3.587D-01	3.553D-01	3.594D-01
F5	2.129D-01	3.823D-01	3.630D-01	3.599D-01	3.640D-01
LR1	2.139D-01	3.849D-01	3.716D-01	3.702D-01	3.735D-01
LR2	2.148D-01	3.879D-01	3.800D-01	3.821D-01	3.833D-01
HP1	2.150D-01	3.884D-01	3.813D-01	3.839D-01	3.849D-01
F1-F5 MEAN*2	2.150D-01	3.831D-01	3.610D-01	3.585D-01	3.619D-01
R (F)*3	1.280D-01				

LEVEL	照射カラム	C2	C3	C4
US	1.506D-01	3.570D-02	3.753D-02	3.793D-02
UR1	1.504D-01	3.581D-02	3.768D-02	3.809D-02
UR2	1.502D-01	3.592D-02	3.782D-02	3.824D-02
F1	1.489D-01	4.044D-02	3.971D-02	3.900D-02
F2	1.422D-01	5.143D-02	4.490D-02	4.242D-02
F3	1.358D-01	5.650D-02	5.145D-02	5.096D-02
F4	1.333D-01	5.719D-02	6.038D-02	6.300D-02
F5	1.319D-01	5.678D-02	6.473D-02	7.084D-02
LR1	1.298D-01	5.412D-02	5.756D-02	6.380D-02
LR2	1.277D-01	5.058D-02	4.706D-02	5.258D-02
HP1	1.280D-01	5.103D-02	5.124D-02	6.348D-02
C1-C4 MEAN	1.389D-01	4.875D-02	4.903D-02	5.099D-02

- * 1 1/2カラム当りの流量
- * 2 燃料体1段目~5段目までの平均値
- * 3 中央領域ドライバーストリーミング配分 (対全ドライバーストリーミング)
- * 4 1/2カラム当りの計画流量

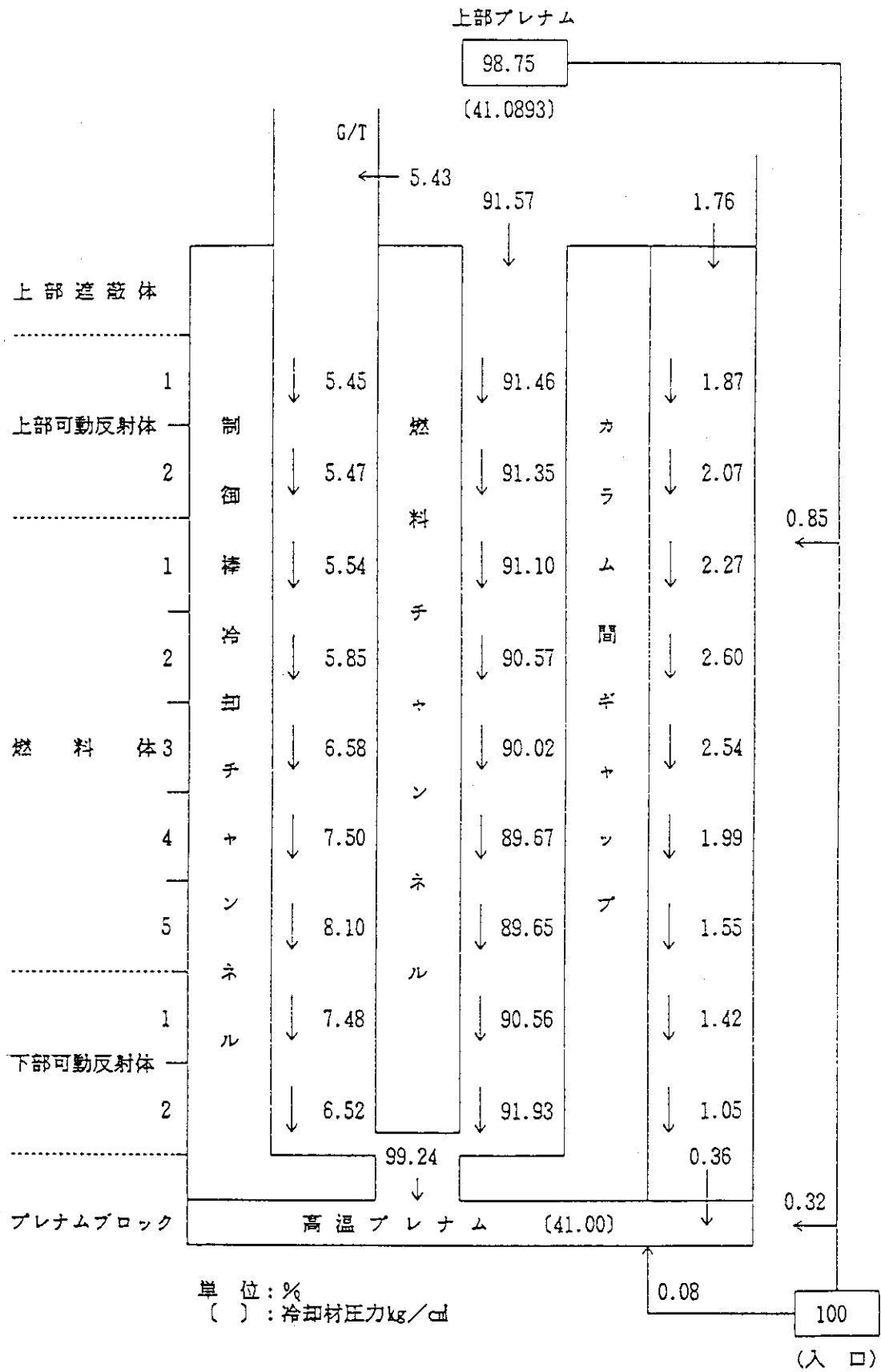
第 4.9 表 照射炉心の流量配分と炉心圧力損失 (ノミナル値)

燃 焼 日	3 3 0 日	4 4 0 日	6 6 0 日
炉心圧力損失 (kPa)	1 0.3	1 0.3	1 0.3
照 射 カ ラ ラ ム*1	6.5	6.5	6.6
炉心流量割合 (軸方向最小値) [%]	1 0.1	1 0.1	1 0.1
周辺領域ドライバ*3	7 0.9	7 0.5	6 9.8
燃料チャンネル合計	8 7.5	8 7.1	8 6.5

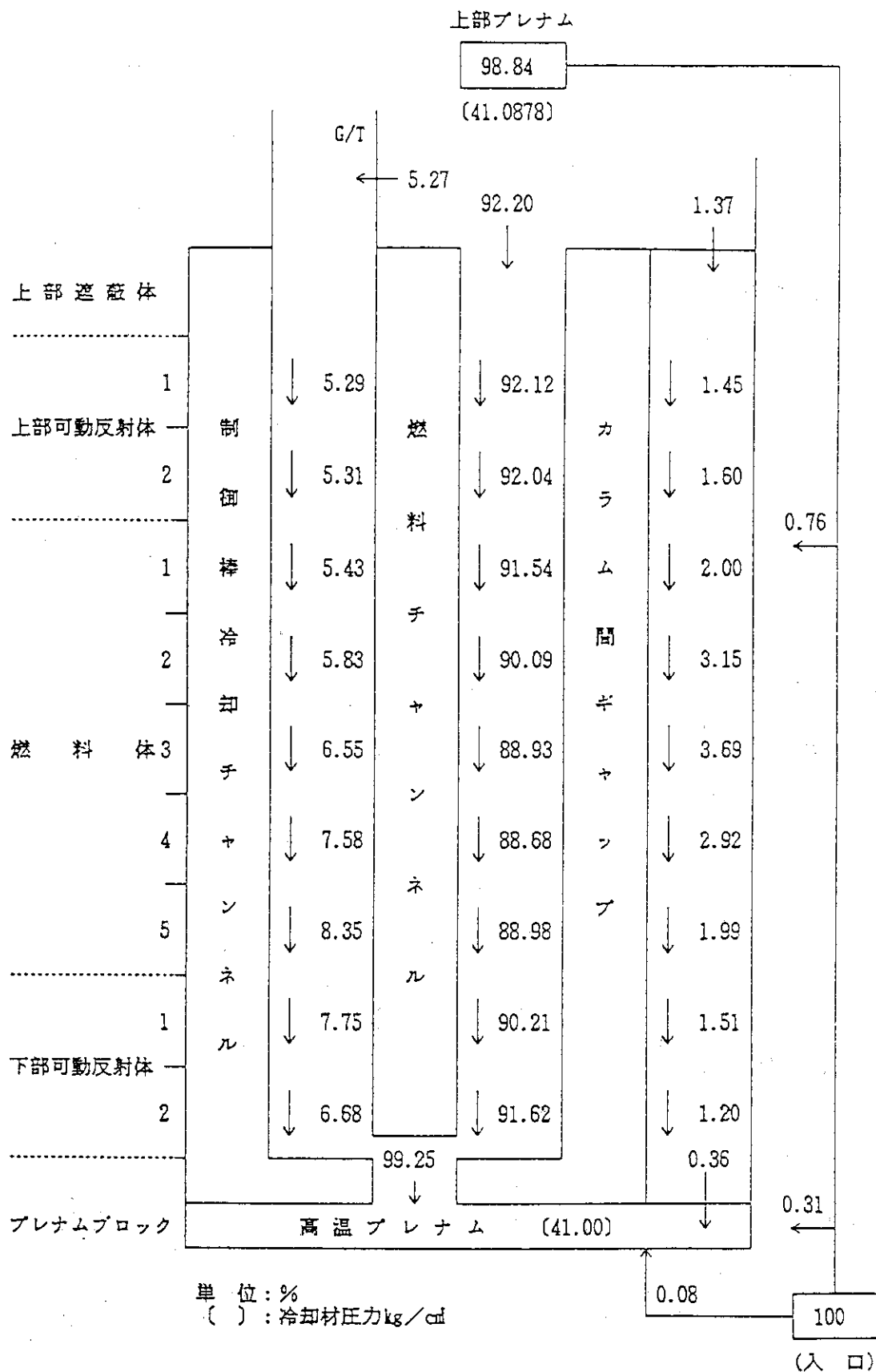
*1) 突起付ピンインブロック型燃料；全3カラム

*2) 全3カラム

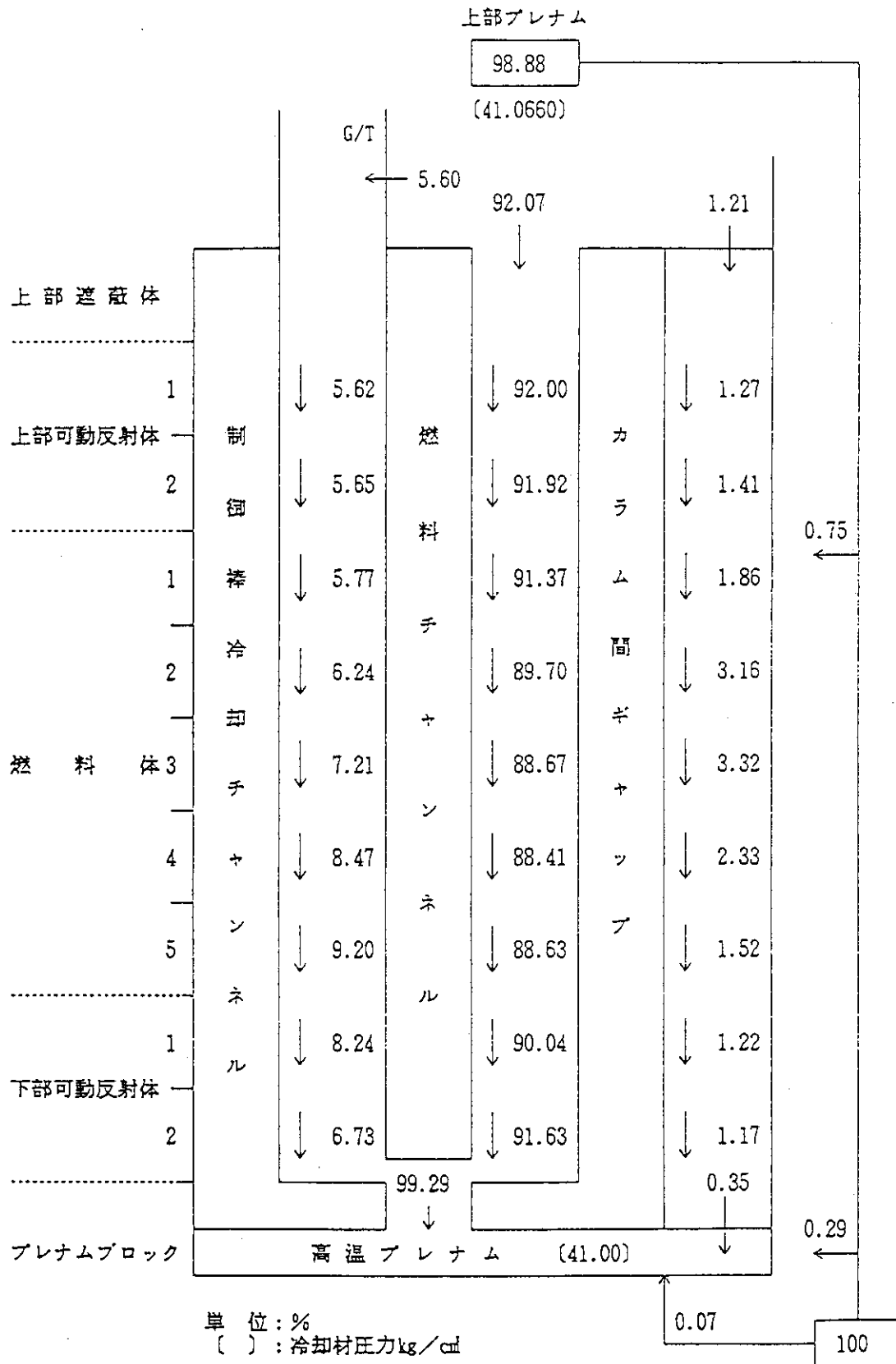
*3) 全24カラム



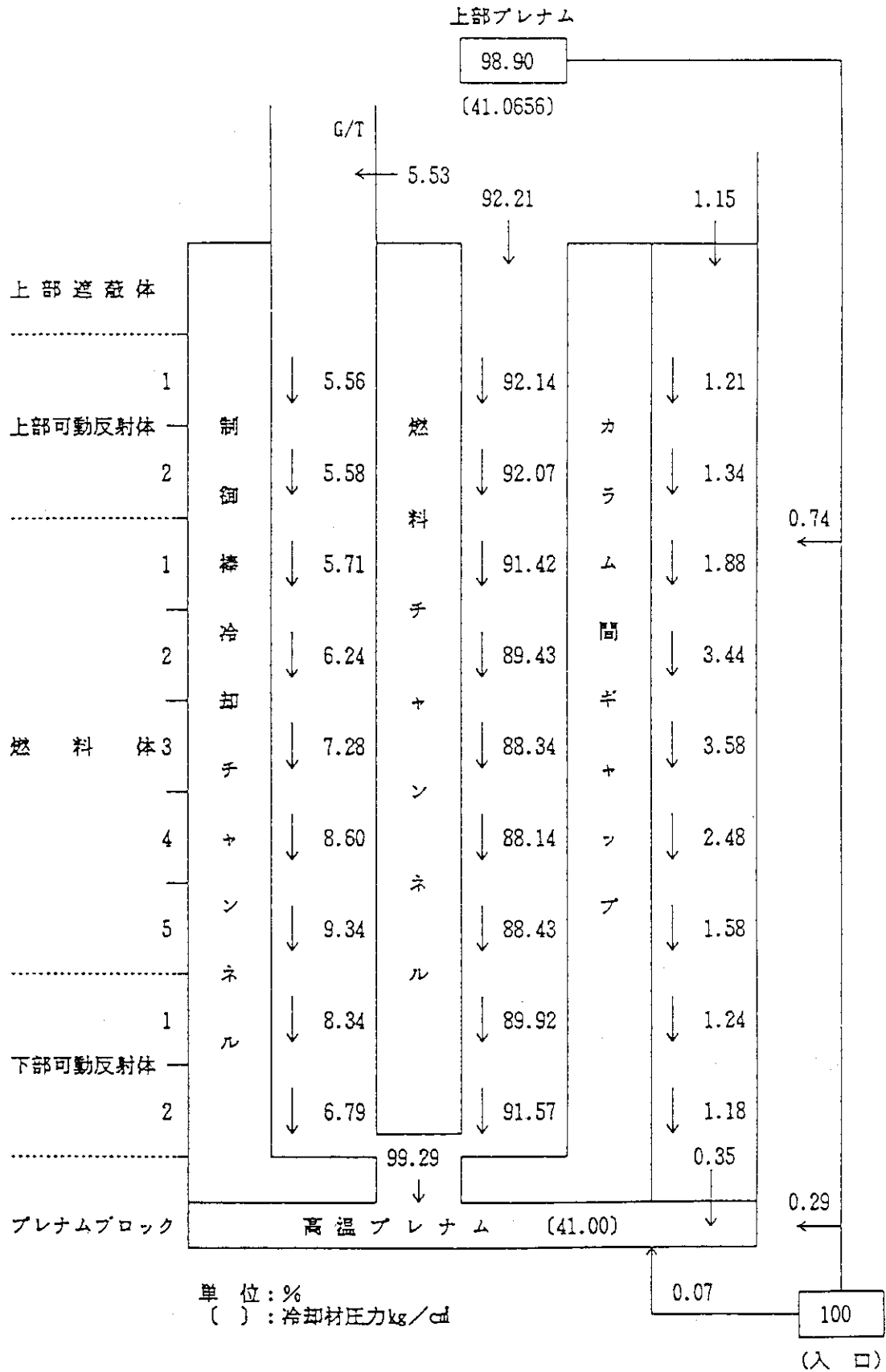
第 4.1 図 基準炉心の流量配分図 (燃焼10日 850℃)



第 4.2 図 基準炉心の流量配分図 (燃焼 220 日 850 °C)

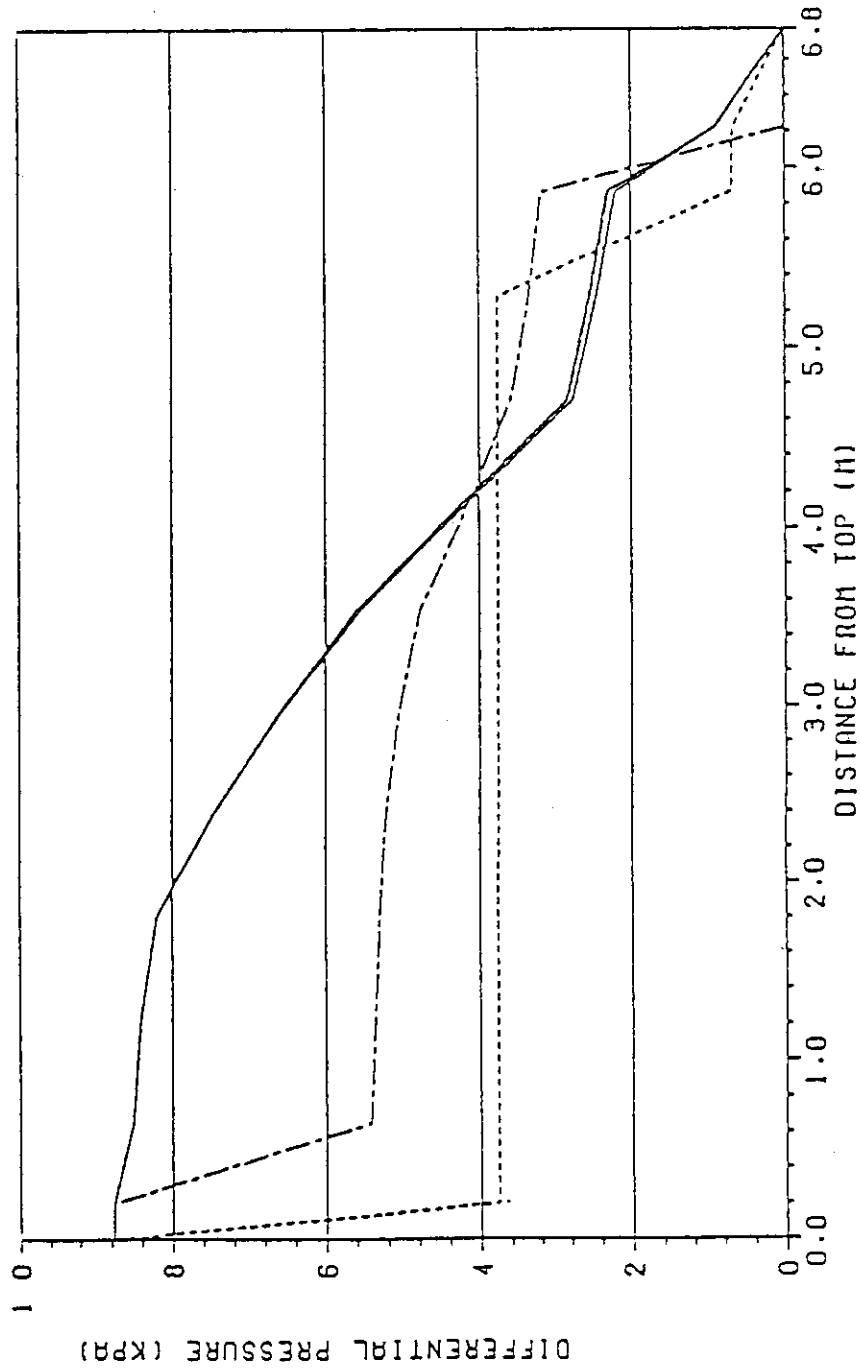


第 4.3 図 基準炉心の流量配分図 (燃焼 220 日 950℃)



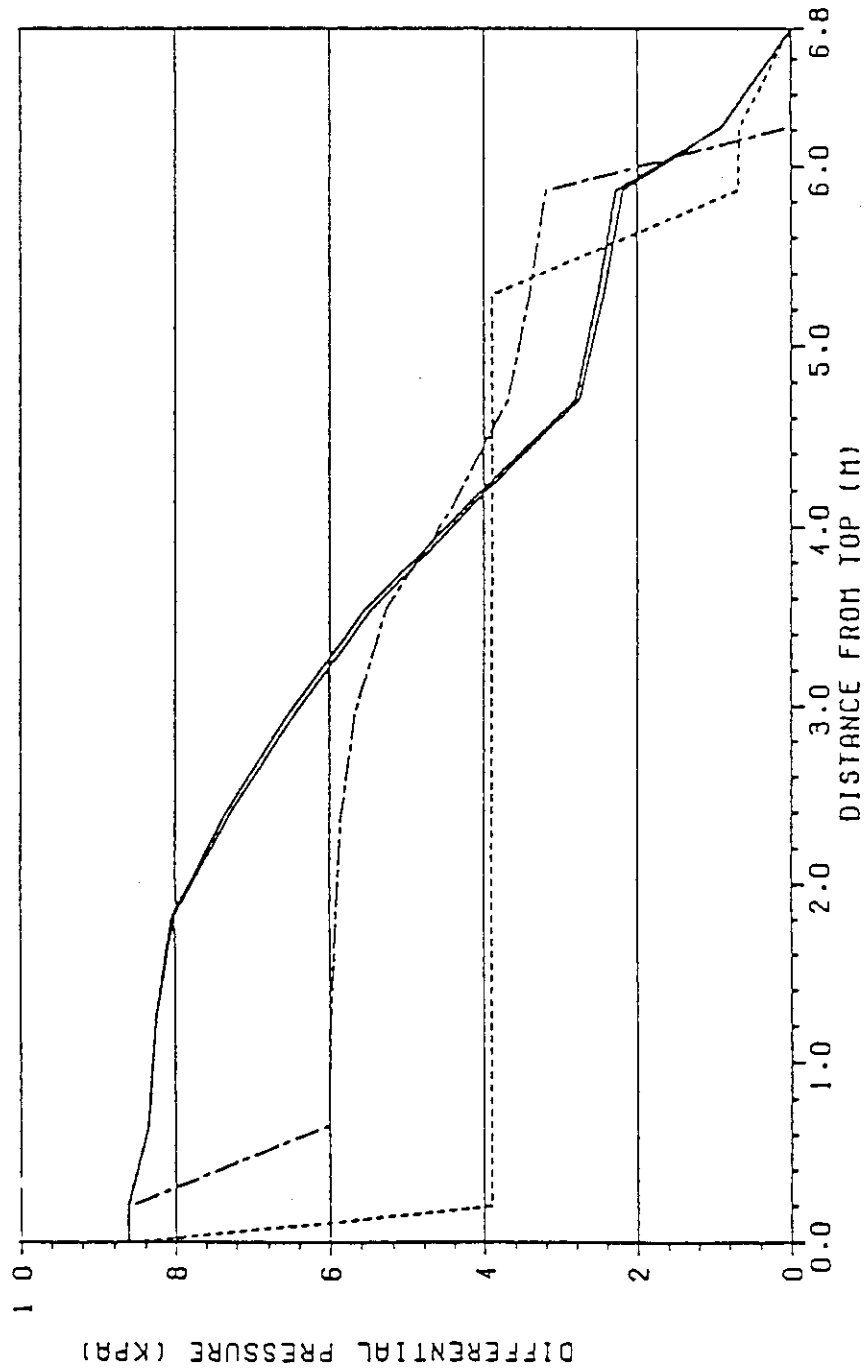
第 4.4 図 基準炉心の流量配分図 (燃焼 330 日 950℃)

F1
 F2
 F3~F5
 カラム間ギャップ
 C/Rチャンネル



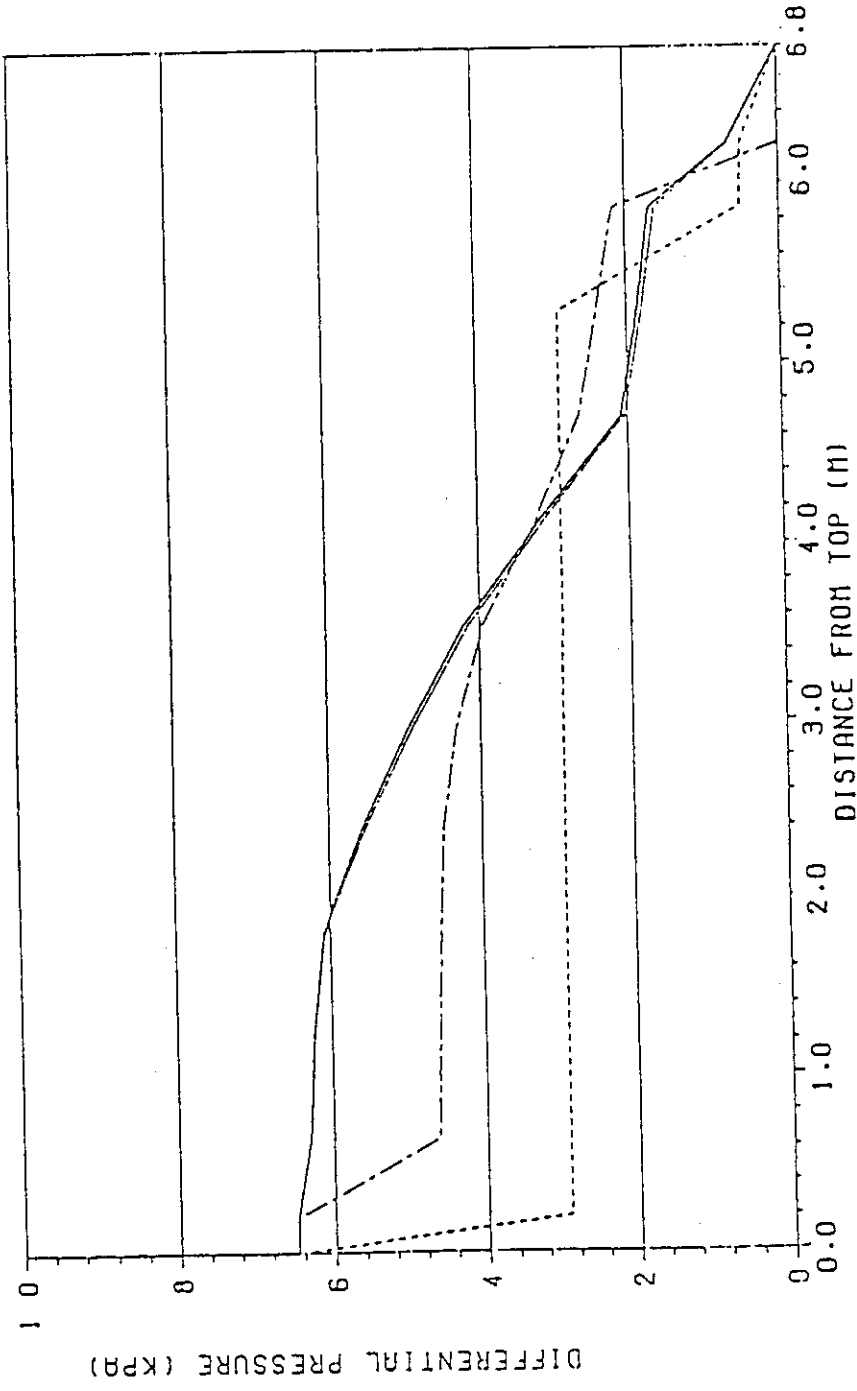
第4.5図 基準炉心の軸方向圧力分布 (燃焼10日, 850°C)

F1
 F2
 F3~F5
 カラム間ギャップ
 C/Rチャンネル



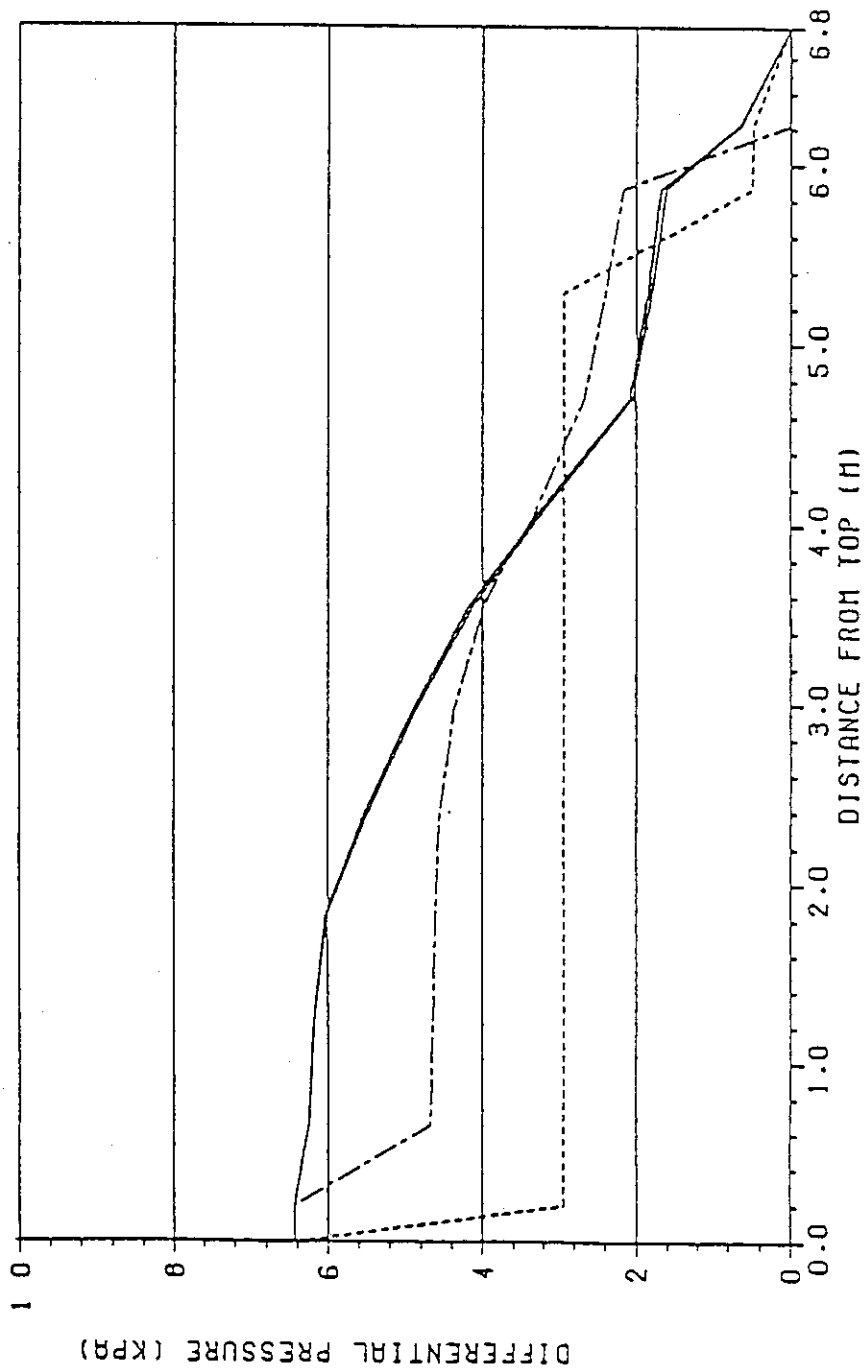
第4.6図 基準炉心の軸方向圧力分布 (燃焼220日, 850°C)

F1
 F2
 F3~F5
 カラム間ギャップ
 C/Rチャンネル

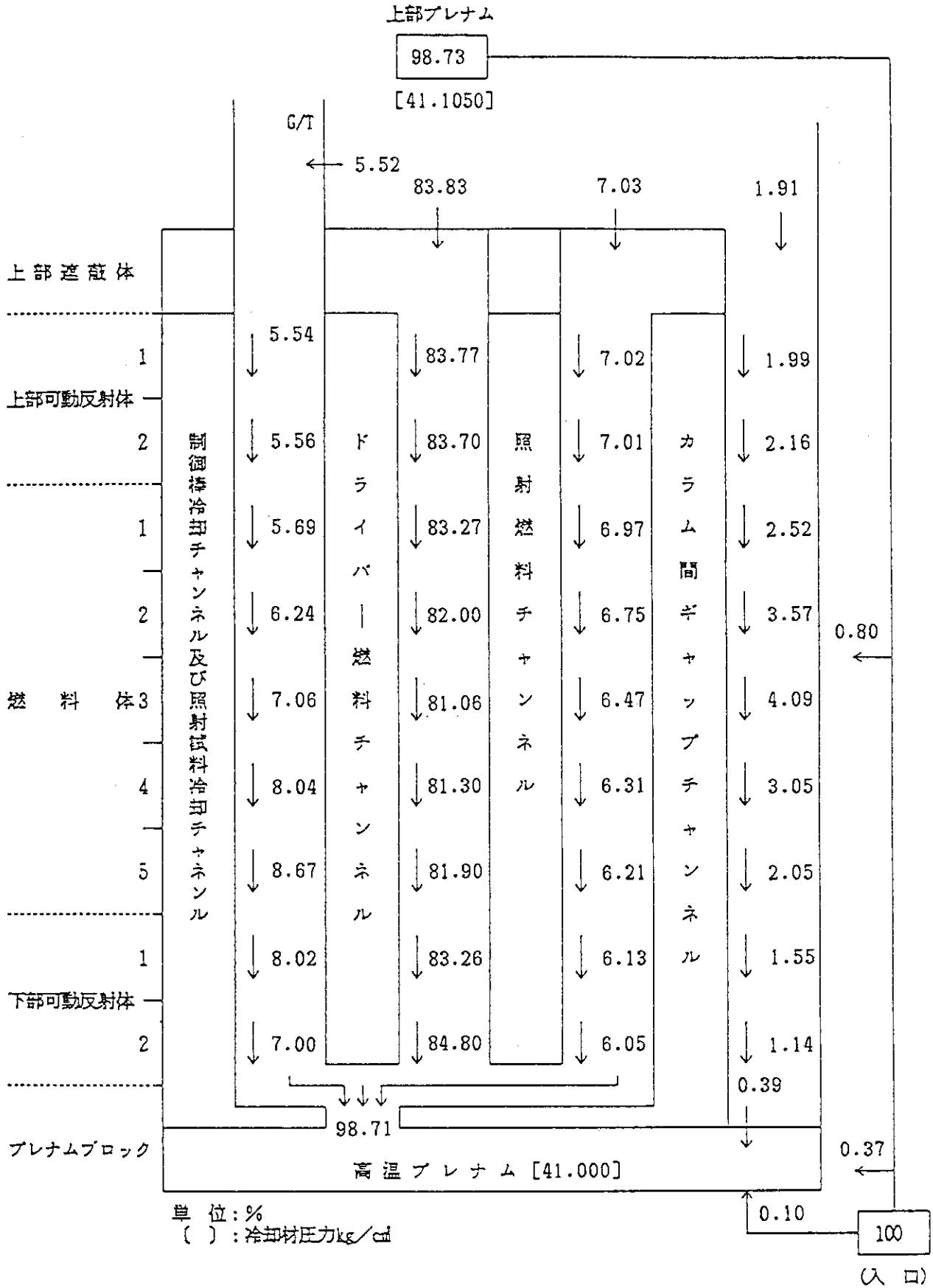


第 4.7 図 基準炉心の軸方向圧力分布 (燃焼 220 日, 950°C)

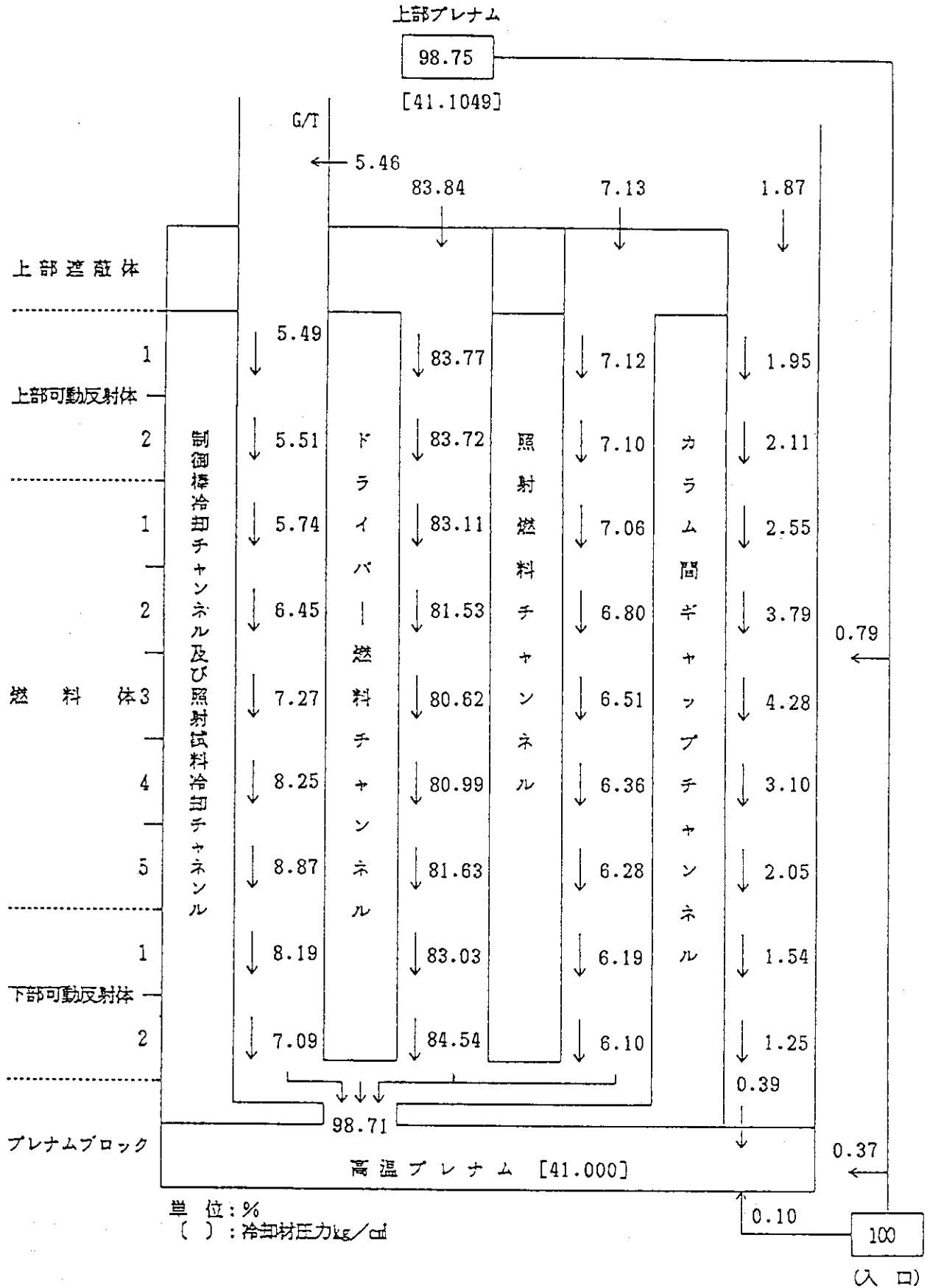
F1
 F2
 F3~F5
 カラム間ギャップ
 C/R子チャンネル



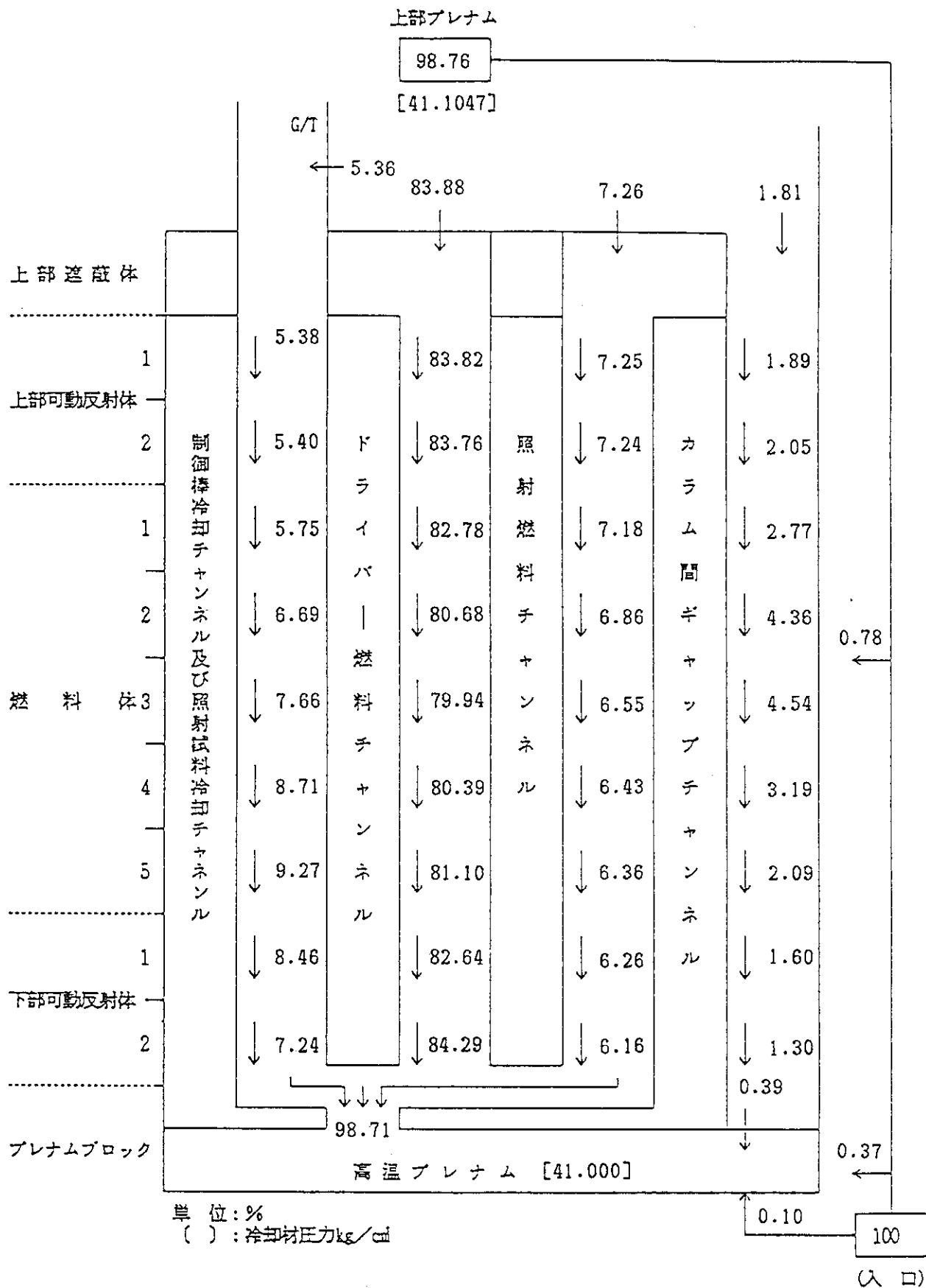
第4.8図 基準炉心の軸方向圧力分布 (燃焼330日, 950°C)



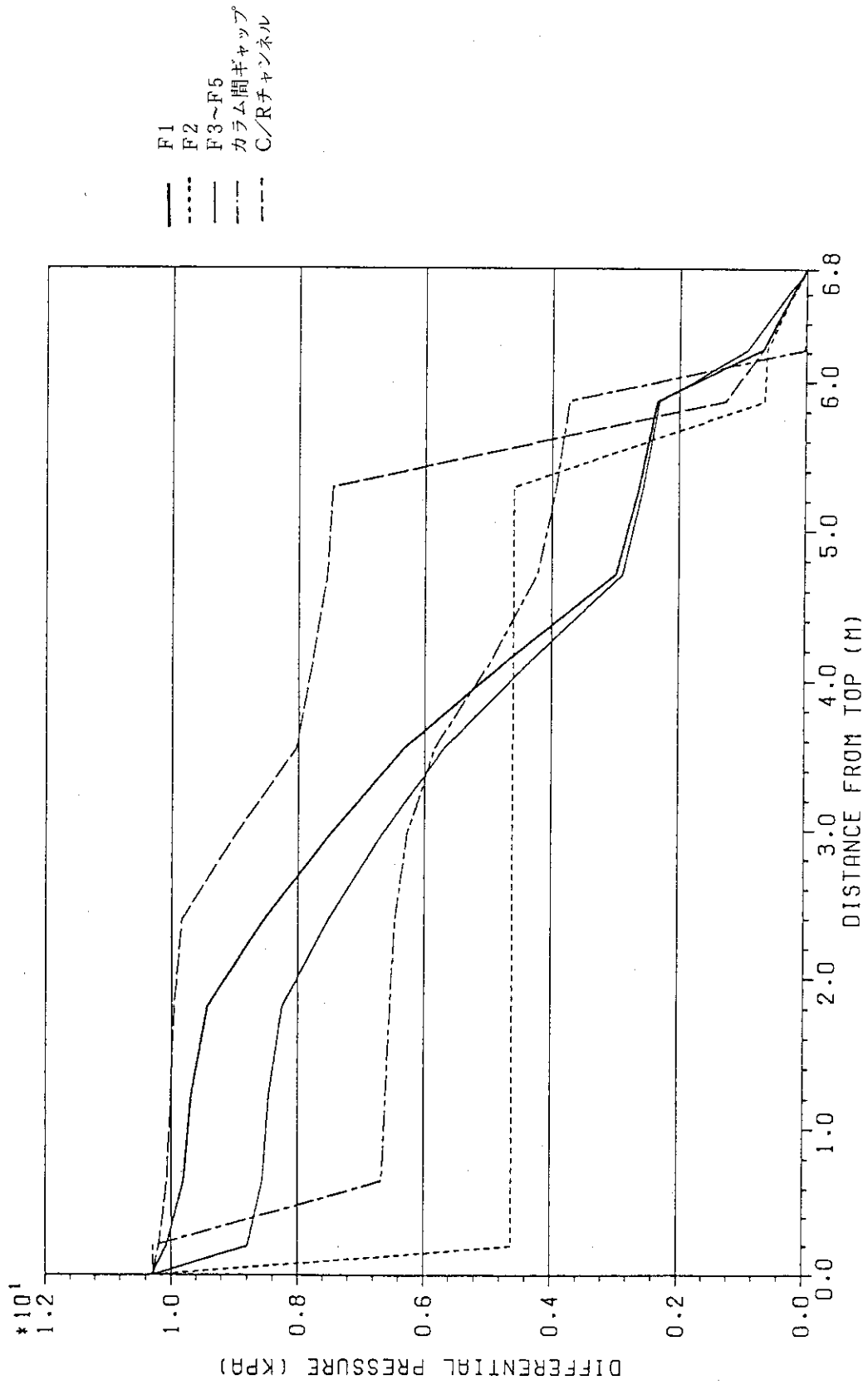
第 4.9 図 照射炉心の流量配分図 (燃焼 330 日)



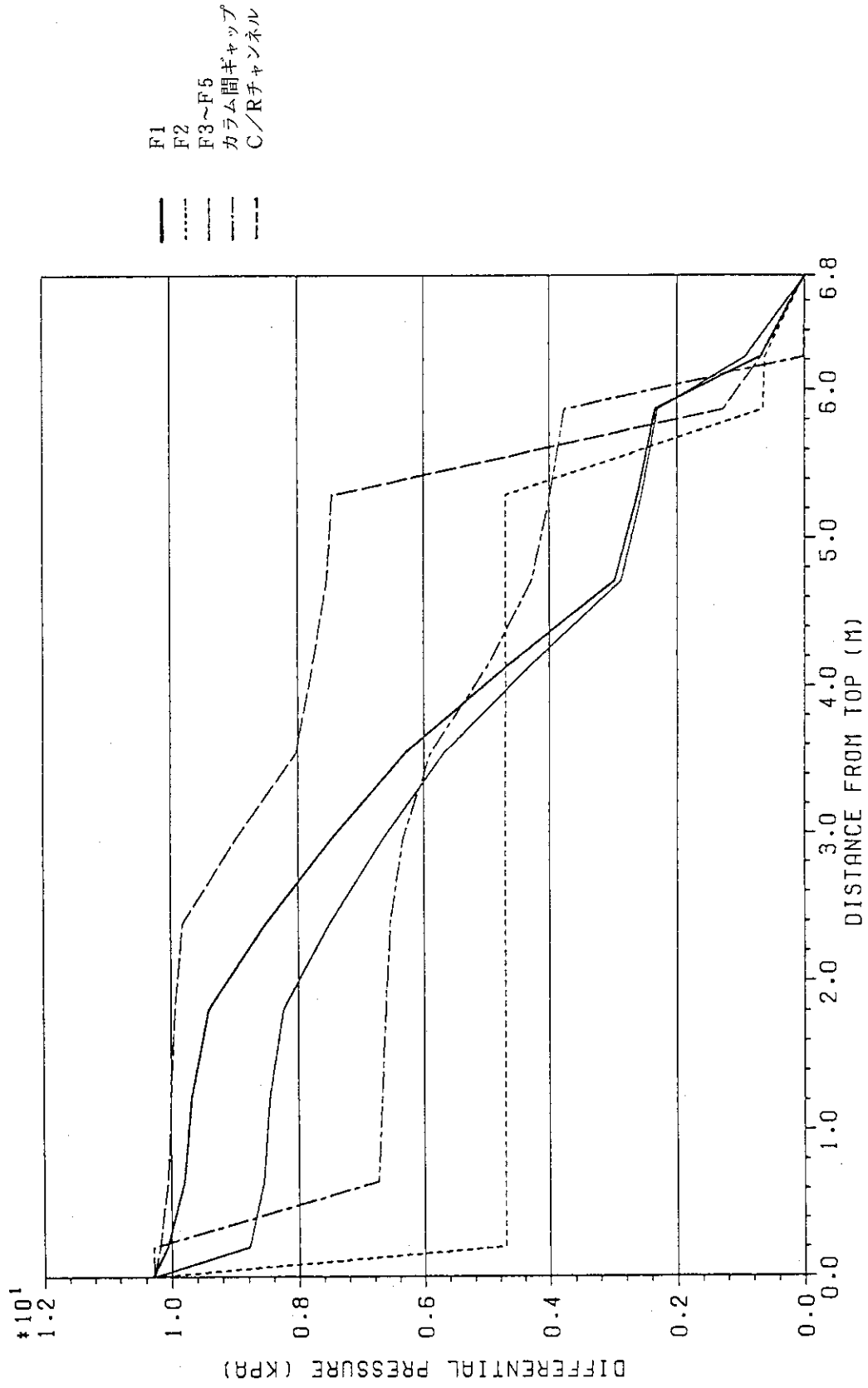
第 4.10 図 照射炉心の流量配分図 (燃焼 440 日)



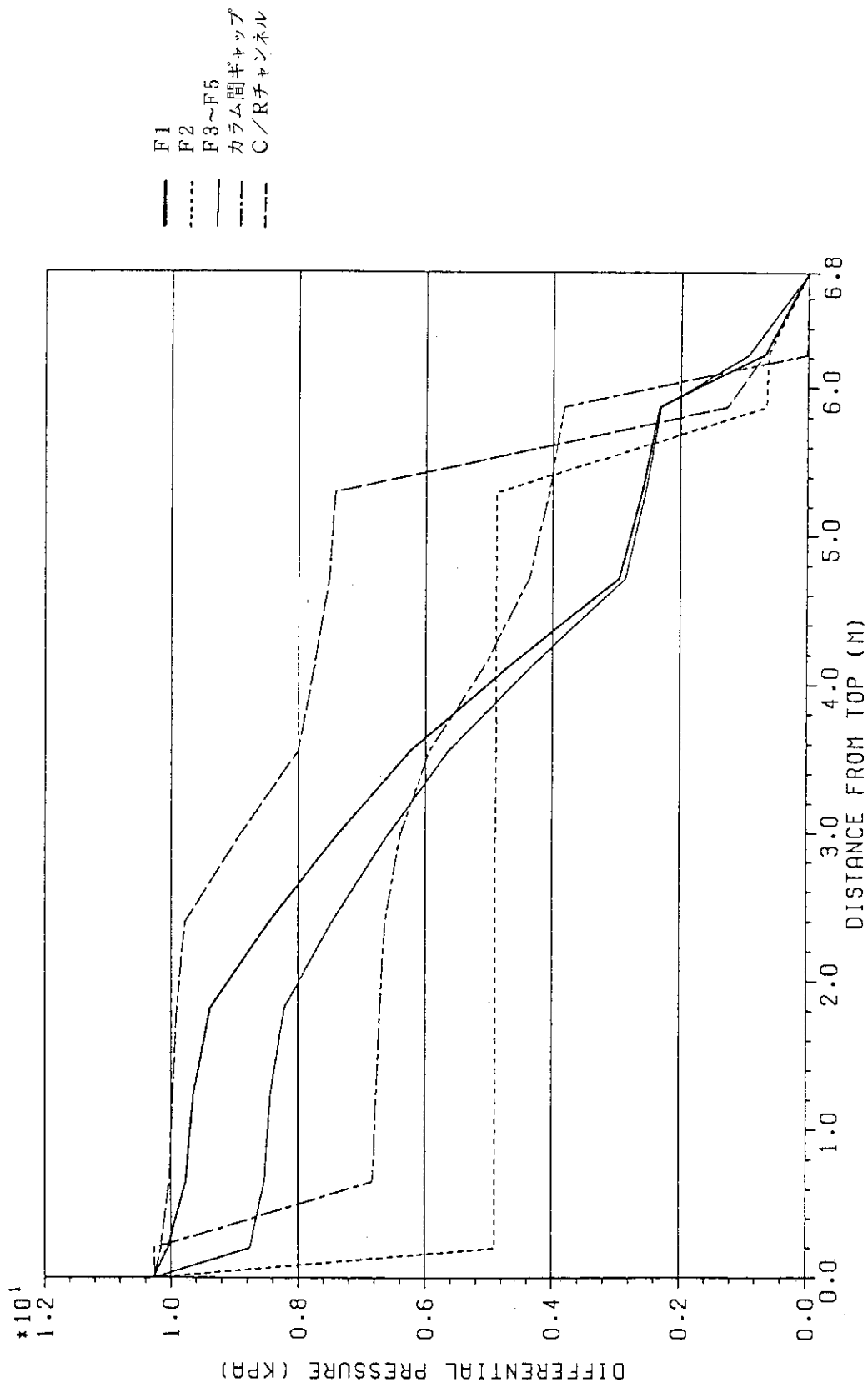
第 4.11 図 照射炉心の流量配分図 (燃焼 660 日)



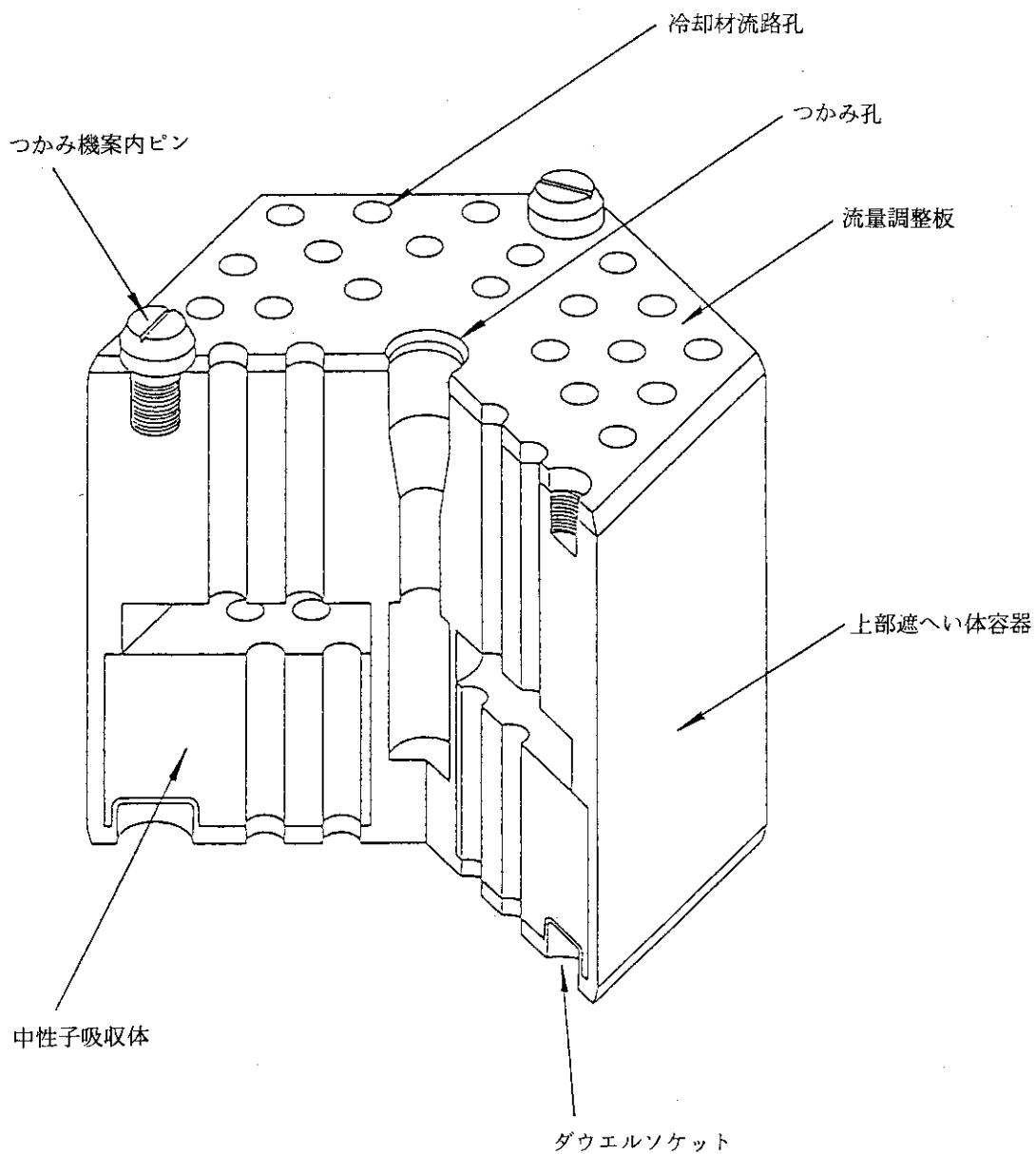
第 4.12 図 照射炉心の軸方向圧力分布 (燃焼 330 日)



第 4.13 図 照射炉心の軸方向圧力分布 (燃焼 440 日)



第 4.14 図 照射炉心の軸方向圧力分布 (燃焼 660 日)



第 4.15 図 上部遮へい体構造図

5. 結 言

現在日本原子力研究所が設計を進めている高温工学試験研究炉は、我が国最初の高温工学試験研究炉であり、ピンインブロック型の燃料を用いる特徴ある原子炉である。その炉心熱流体力設計の基礎となる炉心流量配分について、計算手法、モデル、用いている相関式等を示すとともに流量配分結果を示した。

謝 辞

本研究並びに設計の遂行に当たり、終始御指導・御鞭撻戴いた高温工学試験研究炉設計室齋藤伸三室長に心から感謝の意を表す。また、本報に記載した解析モデル及び相関式等は、関係各位の御努力、御協力によるものである。ここに深く感謝の意を表わす。

参考文献

- (1) 丸山他；「炉内流動解析コード FLOWNET の検証」，JAERI-M 88-138 (1988)。
- (2) 日野他；「高温ガス実験炉燃料体の伝熱流動試験 (Ⅳ)」，日本原子力学会誌，Vol.30，No.4，pp.343-349 (1988)。
- (3) 蕪木他；「多目的高温ガス実験炉炉心のクロス流れ (Ⅱ)」，日本原子力学会誌，Vol.27，No.5，pp.450-456 (1985)。
- (4) H. Kaburaki et al.；“Leakage Flow Characteristics of Highly Effective Graphite Seal Mechanism for HTGR Core Support Block”，J. Nucl. Technol.，Vol.25，No.1，pp.92-99 (1988)。
- (5) 鈴木他；「多目的高温ガス実験炉の炉心シール性能データ」，JAERI-M 85-183 (1985)。
- (6) 日本機械学会編；「管路・ダクトの流体抵抗」，(1979)。
- (7) 菱田；「突起付伝熱面の熱伝達に関する実験的研究」，東京大学学位論文 (1984)。

5. 結 言

現在日本原子力研究所が設計を進めている高温工学試験研究炉は、我が国最初の高温工学試験研究炉であり、ピンインブロック型の燃料を用いる特徴ある原子炉である。その炉心熱流設計の基礎となる炉心流量配分について、計算手法、モデル、用いている相関式等を示すとともに流量配分結果を示した。

謝 辞

本研究並びに設計の遂行に当たり、終始御指導・御鞭撻戴いた高温工学試験研究炉設計室斎藤伸三室長に心から感謝の意を表す。また、本報に記載した解析モデル及び相関式等は、関係各位の御努力、御協力によるものである。ここに深く感謝の意を表わす。

参考文献

- (1) 丸山他；「炉内流動解析コード FLOWNET の検証」，JAERI-M 88-138 (1988)。
- (2) 日野他；「高温ガス実験炉燃料体の伝熱流動試験 (Ⅳ)」，日本原子力学会誌，Vol.30, No.4, pp.343-349 (1988)。
- (3) 蕪木他；「多目的高温ガス実験炉炉心のクロス流れ (Ⅱ)」，日本原子力学会誌，Vol.27, No.5, pp.450-456 (1985)。
- (4) H.Kaburaki et al.；“Leakage Flow Characteristics of Highly Effective Graphite Seal Mechanism for HTGR Core Support Block”，J.Nucl.Technol.，Vol.25, No.1, pp.92-99 (1988)。
- (5) 鈴木他；「多目的高温ガス実験炉の炉心シール性能データ」，JAERI-M 85-183 (1985)。
- (6) 日本機械学会編；「管路・ダクトの流体抵抗」，(1979)。
- (7) 菱田；「突起付伝熱面の熱伝達に関する実験的研究」，東京大学学位論文 (1984)。

5. 結 言

現在日本原子力研究所が設計を進めている高温工学試験研究炉は、我が国最初の高温工学試験研究炉であり、ピンインブロック型の燃料を用いる特徴ある原子炉である。その炉心熱流体力設計の基礎となる炉心流量配分について、計算手法、モデル、用いている相関式等を示すとともに流量配分結果を示した。

謝 辞

本研究並びに設計の遂行に当たり、終始御指導・御鞭撻戴いた高温工学試験研究炉設計室齋藤伸三室長に心から感謝の意を表す。また、本報に記載した解析モデル及び相関式等は、関係各位の御努力、御協力によるものである。ここに深く感謝の意を表わす。

参考文献

- (1) 丸山他；「炉内流動解析コード FLOWNET の検証」，JAERI-M 88-138 (1988)。
- (2) 日野他；「高温ガス実験炉燃料体の伝熱流動試験 (Ⅳ)」，日本原子力学会誌，Vol.30, No.4, pp.343-349 (1988)。
- (3) 蕪木他；「多目的高温ガス実験炉炉心のクロス流れ (Ⅱ)」，日本原子力学会誌，Vol.27, No.5, pp.450-456 (1985)。
- (4) H.Kaburaki et al.；“Leakage Flow Characteristics of Highly Effective Graphite Seal Mechanism for HTGR Core Support Block”，J. Nucl. Technol., Vol.25, No.1, pp.92-99 (1988)。
- (5) 鈴木他；「多目的高温ガス実験炉の炉心シール性能データ」，JAERI-M 85-183 (1985)。
- (6) 日本機械学会編；「管路・ダクトの流体抵抗」，(1979)。
- (7) 菱田；「突起付伝熱面の熱伝達に関する実験的研究」，東京大学学位論文 (1984)。

付録 ABAQUSによる熱変形量評価の検証

3.3項で評価したギャップ幅評価の基礎となるブロック変形量差について、汎用有限要素法構造解析コードABAQUSを用いて検証を行った。

3.3項におけるブロック変形量解析では、パラメータとしてブロックの中性子照射量、燃料チャンネル平均温度、燃料チャンネル間最大温度差、燃料チャンネル間温度分布ブロック表面間温度差、高温側ブロック表面温度及び低温側ブロック表面温度を用いている。しかし、ABAQUSでは中性子照射による変形は取り扱えないので、ここでは中性子照射量が零のケース、つまり熱変形のみの場合について検証を行う。

付図1に、3.3項で用いたGBEAMで用いた要素分割と、ABAQUSで用いた要素分割を示す。GBEAMでは高さ方向について対称な1/2ブロックを対象とした1次元粘弾性モデルを用いている。ABAQUSは、有限要素法コードであり、ここでは1/4ブロックを対象としている。要素としては、付図1(b)に示すよう、 $x-y$ 平面を分割し、高さ方向(z 方向)については5等分した角柱要素を用いた。また拘束条件としては、付図1(b)において、 $y=0$ の面は、 y 方向について拘束、 $z=0$ の面については z 方向について拘束、原点は x, y, z 方向について拘束とする。

GBEAMによる解析では、パラメータの値を、次のように選んでいる。

燃料チャンネル平均温度	T_A	= 480 °C, 550 °C, 950 °C, 1000 °C, 1100 °C
燃料チャンネル間温度差	ΔT_i	= 0 °C, 50 °C, 100 °C, 150 °C
ブロック表面間温度差	ΔT_s	= 0 °C, 80 °C, 160 °C, 240 °C
高温側ブロック表面温度	T_{sh}	= 燃料チャンネル平均温度と同じにした。

ABAQUSで解析し、比較の対象とするケースは、上記のうちよりブロックの変形量差が最も大きくなるケースを選ぶようにした。具体的には、燃料チャンネル平均温度 $T_A = 1100$ °Cとし、 $\Delta T_i = 0$ °C, 50 °C, 100 °C, 150 °C, $\Delta T_s = 0$ °C, 240 °Cとした。高温側表面温度 T_{sh} は燃料チャンネル平均温度 T_A と同じ1100 °Cに固定した。低温側表面温度 T_{sl} は、 $\Delta T_i (= T_{sh} - T_{sl})$ が条件を満たすように T_{sh} と ΔT_i から定める。燃料チャンネル間温度分布は、2分割温度分布とした。これは、ブロックの燃料チャンネルを7列に分け高温表面側の3列には燃料チャンネル最高温度 T_{ih} を与え、低温表面側の3列には燃料チャンネル最低温度 T_{il} を与え、中央の1列には燃料チャンネル平均温度 T_A を与える。

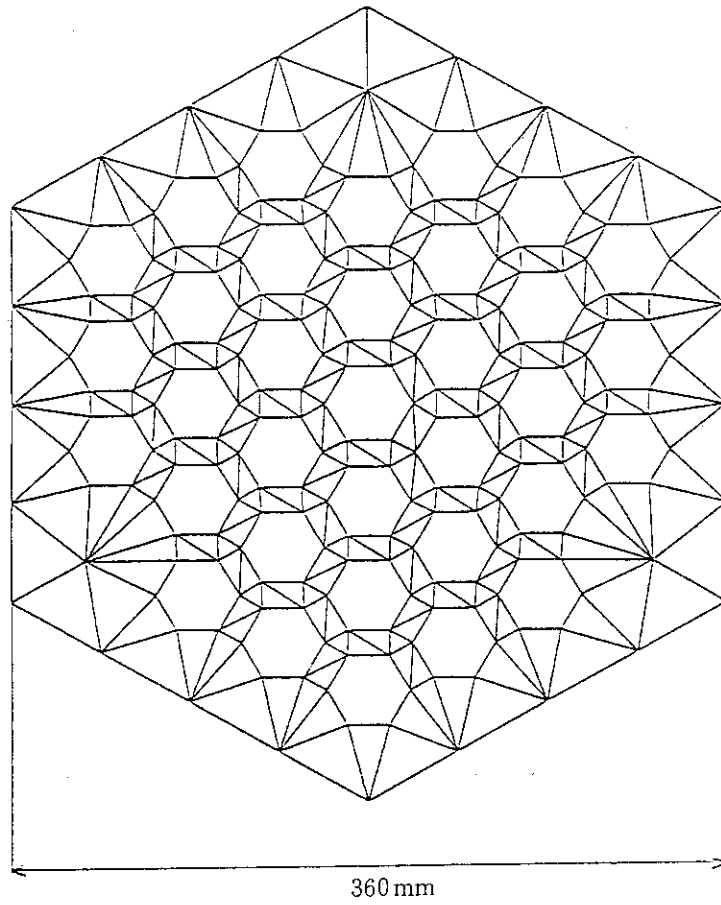
付図2及び3にABAQUSとGBEAMの解析結果を示す。付図2には $\Delta T_i = 0$ °Cと50 °C、付図3には $\Delta T_i = 100$ °C, 150 °Cの結果を示す。ここで、評価の対象としている変形量差 δ は、付図中に示すように、ブロックの軸方向の変形の最大変位と最小変化との差である。

$\Delta T_i = 0$ °Cの場合、 $\Delta T_s = 0$ °Cの状態は、ブロック全体が等温状態にあることになり、変形量の差は生じないため、計算は行わなかった。 $\Delta T_s = 240$ °Cのときは、ABAQUSによる結果は、GBEAMの結果より小さくなるが、誤差は1%程度であり、よく一致する。

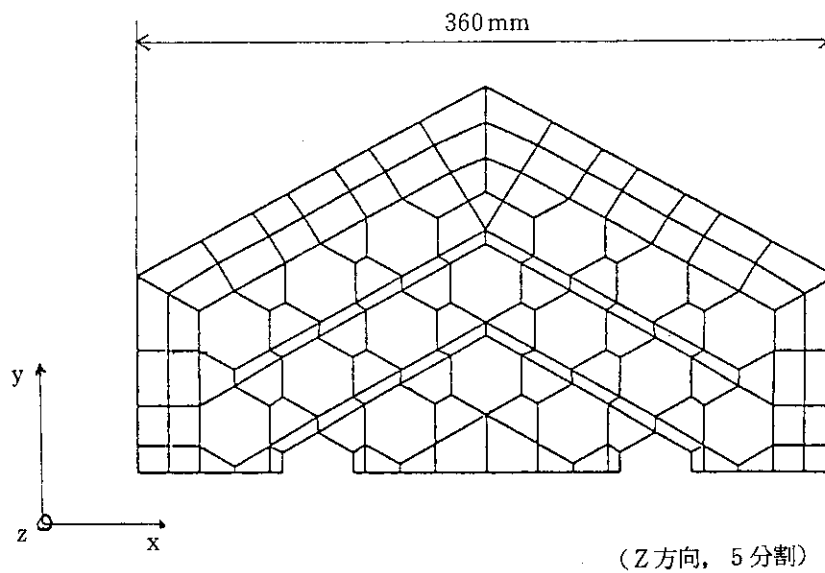
$\Delta T_i = 50$ °Cの場合は、 $\Delta T_s = 0$ °C, 240 °Cの場合ともABAQUSの結果がGBEAMの結

果を下廻っている。また、 $\Delta T_s = 240^\circ\text{C}$ のときのGBEAMとABAQUSの結果の差は、 $\Delta T_s = 0^\circ\text{C}$ のときのGBEAMとABAQUSの結果の差より大きい。よって図中に示すABAQUSの結果による直線は、GBEAMの結果による直線より下にあり、かつ傾きが小さくなっている。

$\Delta T_i = 100^\circ\text{C}$ と 150°C の場合についても、同様のことが言える。いずれの場合もABAQUSの結果がGBEAMの結果を下廻っている。また、ABAQUSとGBEAMの結果の差は、 ΔT_i が大きくなるにしたがって増加している。これはGBEAMが1次元ビームモデルであるため、「ブロックのx-y平面は、変形後もブロックの中心軸に垂直となる」という仮定があるため、 ΔT_i と ΔT_s が大きくなると、その影響が大きく表われてくるものと考えられる。そのため、ブロック表面の変形を考慮できるABAQUSの結果より大きくなるものと考えられる。よってABAQUSの結果と比較して、GBEAMによる結果は十分に保守的であるとされる。

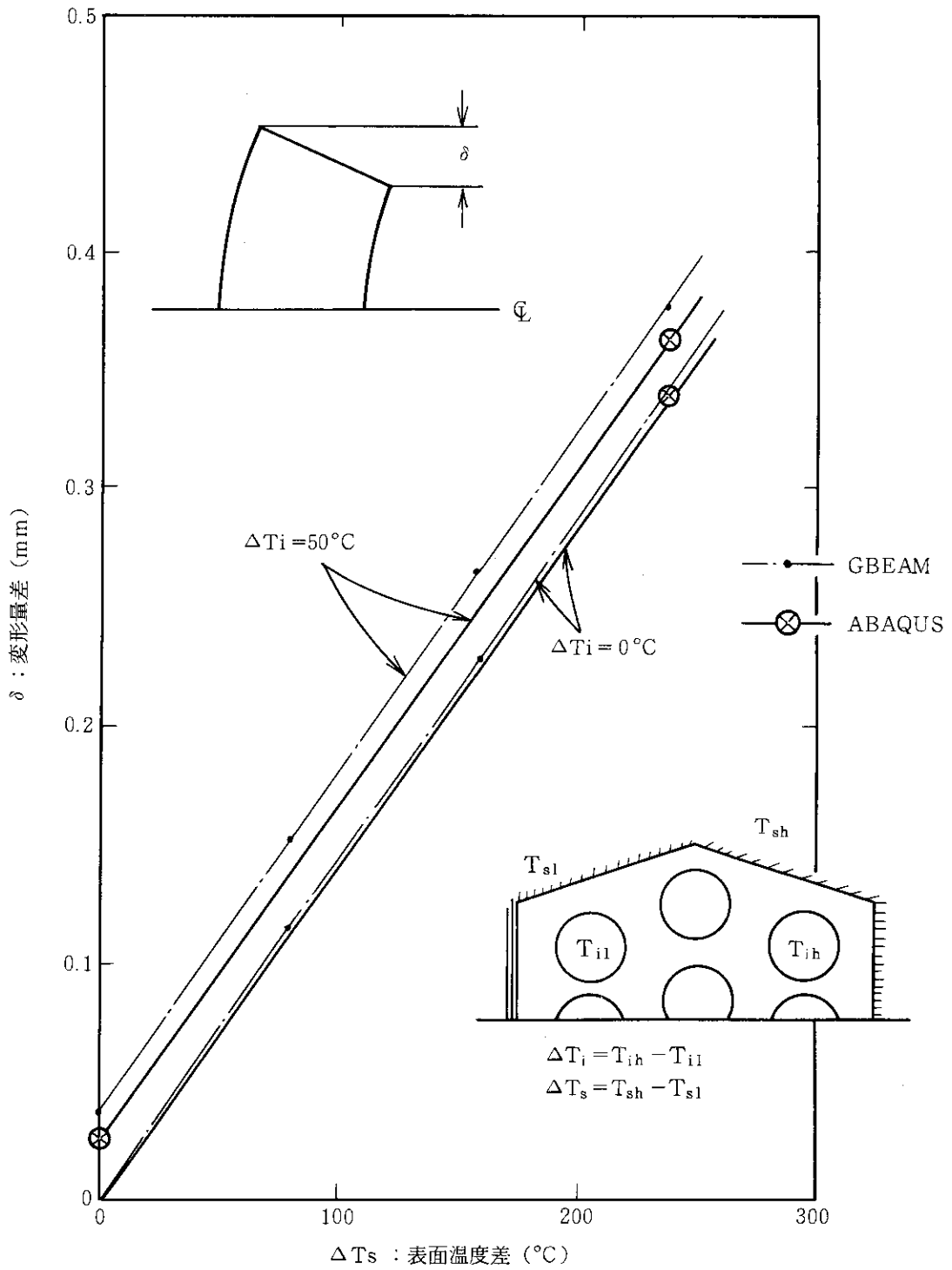


(a) GBEAMの要素分割

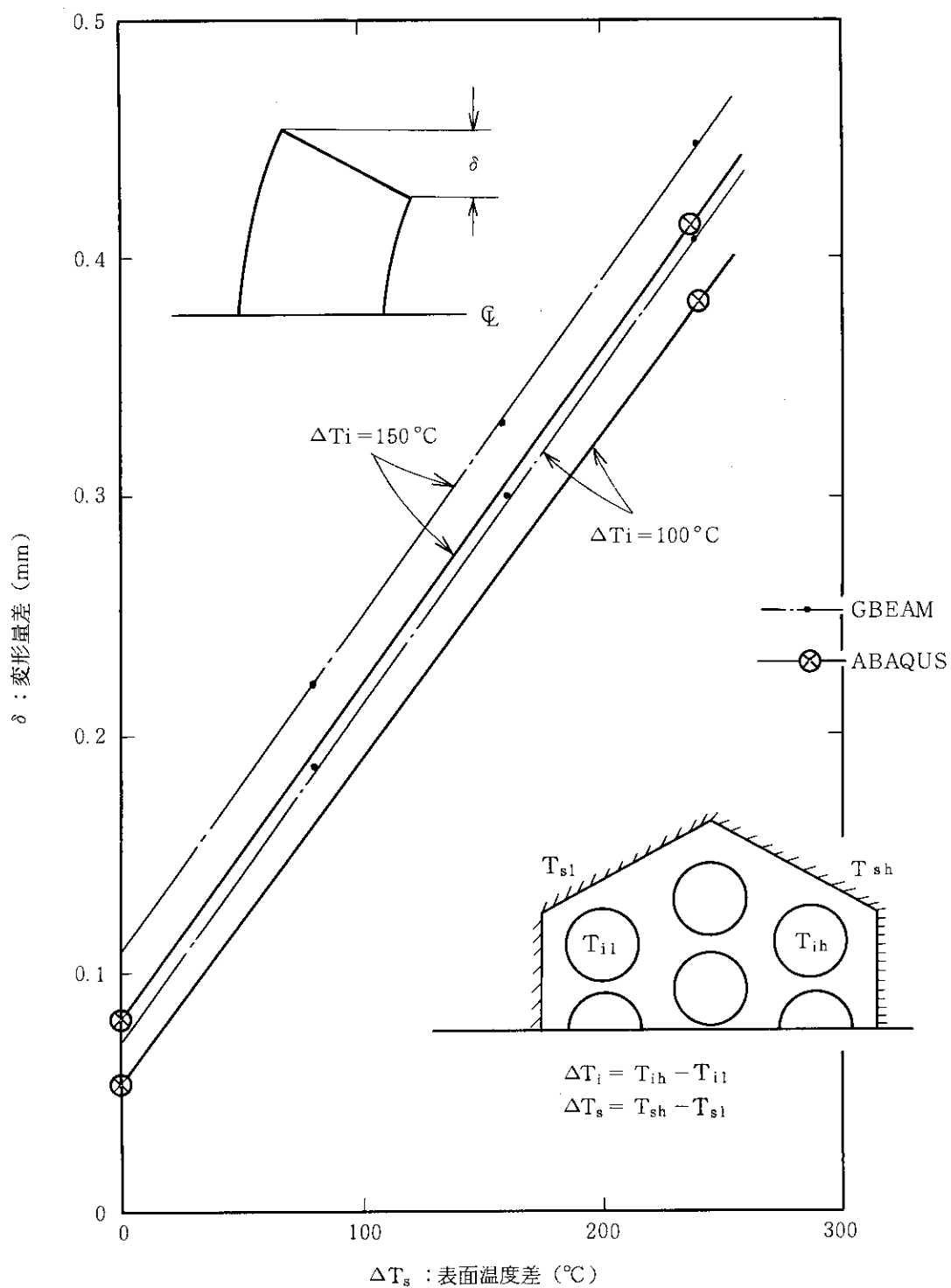


(b) ABAQUSの要素分割

付図1 ABAQUSとGBEAMの要素分割比較図



付図2 ABAQUSとGBEAMの結果の比較(その1)



付図3 ABAQUSとGBEAMの結果の比較(その2)