

JAERI - M  
90-223

高温工学試験研究炉(HTTR)の冷却材の流れ  
—炉心支持板下面における冷却材の流動特性の解析—

1990年12月

稲垣 嘉之・藤本 望・元木 保男  
伊与久達夫・丸山 創・塩沢 周策

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。  
入手の間合わせは、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, Tokaimura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1990

---

編集兼発行 日本原子力研究所  
印刷 ㈱原子力資料サービス

高温工学試験研究炉 (HTTR) の冷却材の流れ  
— 炉心支持板下面における冷却材の流動特性の解析 —

日本原子力研究所大洗研究所高温工学試験研究炉開発部

稲垣 嘉之・藤本 望・元木 保男

伊与久達夫・丸山 創・塩沢 周策

(1990年11月26日受理)

高温工学試験研究炉 (HTTR) の炉心支持板は、炉心及び炉心支持黒鉛構造物の鉛直方向の荷重を直接支持する機能を有する。炉心支持板は、その上面に炉床部断熱層を設けて炉心内の高温の冷却材 (約 950 °C) からの熱伝導を低減するとともに、その下面は低温の冷却材 (約 400 °C) で冷却し、制限温度を超えない構造としている。炉心支持板下面の冷却材流路には、1次ヘリウム配管、補助ヘリウム配管及び多数の支持板支持柱等の構造物があり、これらの構造物は、冷却材を偏流させる可能性があり、その結果として炉心支持板にホットスポットが生じる可能性がある。

炉心支持板下面の冷却材の流動特性を定量的に明らかにするために、3次元解析モデルと  $k-\epsilon$  2 方程式乱流モデルを用いて解析を行った。更に、流動解析の結果から得られた流速分布より、炉心支持板の温度分布を解析した結果、ホットスポットが発生するような偏流が生じないことを確認した。

Coolant Flow of HTTR  
- Numerical Study for Flow Pattern of Coolant  
under Core Support Plate -

Yoshiyuki INAGAKI, Nozomu FUJIMOTO, Yasuo MOTOKI  
Tatsuo IYOKU, So MARUYAMA and Shusaku SHIOZAWA

Department of HTTR Project  
Oarai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received November 26, 1990)

The core support plate (CSP) of HTTR supports the core and graphite core support structure and transfers their vertical loads to the reactor pressure vessel through the core support grid. There are thermal insulation structures above the CSP which insulates the heat transferred from hot helium gas (950°C) in the hot plenum, and the CSP is cooled by cold helium gas (400°C) to limit its temperature within an allowable value. There are a primary gas duct, auxiliary gas duct and a lot of support columns in the coolant flow pass under the CSP. These components may disturb the flow distribution of coolant flow and there is the possibility of hot spots in the CSP as a result.

To clarify the coolant flow pattern under the CSP, the numerical study was conducted using a three-dimensional hydraulic analysis model and  $k-\epsilon$  model of turbulence. Using the velocity distribution of coolant based on the result of the hydraulic analysis, the thermal analysis of the CSP was performed and it was confirmed that the unbalance of the coolant flow distribution caused by the components was not so large as to give hot spots in the CSP.

Keywords: Gas-cooled Reactor, HTTR, Coolant Flow, Core Bottom Structure, Core Support Plate, Hydraulic Analysis

## 目 次

1. 緒 言 .....	1
2. 炉心支持板及びその周辺構造物の構造 .....	4
3. 冷却材の流れ解析 .....	9
3.1 解析方法 .....	9
3.2 解析結果及び考察 .....	9
4. 炉心支持板の熱解析 .....	21
4.1 解析方法 .....	21
4.2 解析結果及び考察 .....	22
5. 結 言 .....	29
謝 辞 .....	29
参考文献 .....	29

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Structure of core support plate and other component .....	4
3. Hydraulic analysis of coolant flow pattern .....	9
3.1 Numerical method .....	9
3.2 Results and discussion .....	9
4. Thermal analysis of core support plate .....	21
4.1 Numerical method .....	21
4.2 Results and discussion .....	22
5. Concluding remarks .....	29
Acknowledgements .....	29
References .....	29

## 1. 緒 言

日本原子力研究所で建設を進めている高温工学試験研究炉 (High Temperature Engineering Test Reactor, 以下, 「HTTR」) は, ヘリウムガスを冷却材とした原子炉出口ガス温度が約 950 °C の高温ガス炉である。HTTR の炉心は, 黒鉛ブロックの積層構造であり, それを炉心支持黒鉛構造物及び炉心支持構造物で支持している<sup>(1)</sup>。HTTR の構造図を Fig.1.1 に示す。

低温の冷却材 (約 400 °C) は, 1 次ヘリウム配管 (二重配管) の外側の環状流路から原子炉圧力容器 (以下, 「RPV」) 内に入った後, RPV の下鏡内で, ① 1 次ヘリウム配管のガイド管内流路 (全体流量の約 40 %), ② 1 次ヘリウム配管のガイド管外流路 (同約 20 %), ③ 補助ヘリウム配管のガイド管内流路 (同約 20 %), ④ 炉心支持格子の側部 (同約 20 %) の 4 流路に分割され, このうちの ① ~ ③ の冷却材が炉心支持板下面を流れる。RPV 下鏡内の冷却材の配分量を Fig.1.2 に示す。炉心支持板下面及び炉心支持格子側部を流れた冷却材は, ① 固定反射体と側部遮へい体間の流路と, ② 側部遮へい体と RPV 間の流路の 2 流路に分割され, 固定反射体, 側部遮へい体及び炉心拘束機構等を冷却する。そして, RPV 上鏡内で炉心へ流量配分される<sup>(2)</sup>。炉心内へ流入した冷却材は, 炉心で加熱され (約 950 °C), 炉床部の高温プレナム内で混合された後, 1 次ヘリウム配管の内側の環状流路を流れて炉外へ出る。

炉心支持板下面の流路には, 多数の支持板支持柱及び補助ヘリウム配管等の冷却材の流れを乱す構造物がある。これらの構造物は, 炉心支持板下面の流れを複雑にするとともに, 偏流の原因となる可能性がある。偏流が大きな場合には, 炉心支持板の周方向に温度差が生じ, 熱ひずみを起こす可能性がある。また, 炉心支持板を冷却後に, 冷却材は, 固定反射体ブロック, 側部遮へい体及び炉心拘束機構等を冷却するが, 炉心支持板外周部での偏流が大きな場合には, これらの構造物を冷却する場合にも周方向に偏流が生じ, 冷却が均一に行われないうちに熱ひずみが生じる可能性がある。従って, HTTR では, 炉心支持板下面の冷却材の偏流を低減するように設計することとしている。HTTR の炉心支持板下面の流れについては, 空気を用いた 1 / 5 スケールモデルによる実験と, 渦動粘性係数に一定値を与えた 2 次元モデルによる解析を行い, 炉心支持板下面の流れの基本的な特性を調べる<sup>(3)</sup> とともに, 工学的判断により, 炉心支持板下面の冷却材の偏流を過大に評価して設計を行ってきた。

本解析では, 炉心支持板下面の流れをより精密に計算して偏流を定量的に評価するために,  $k-\epsilon$  2 方程式乱流モデルを用い, また, 炉心支持板下面の冷却材流路を HTTR と同じ幾何形状にするために, 解析モデルを 3 次元円筒座標系モデルとした。用いた解析コードは, 3 次元熱流体解析コード STREAM<sup>(3, 4)</sup> である。更に, 流動解析結果から得られた流速分布より炉心支持板下面の冷却材の熱伝達率を計算し, 炉心支持板の温度分布を解析した。本報は, 炉心支持板下面の冷却材の流動特性と炉心支持板の温度分布の解析結果について報告するものである。

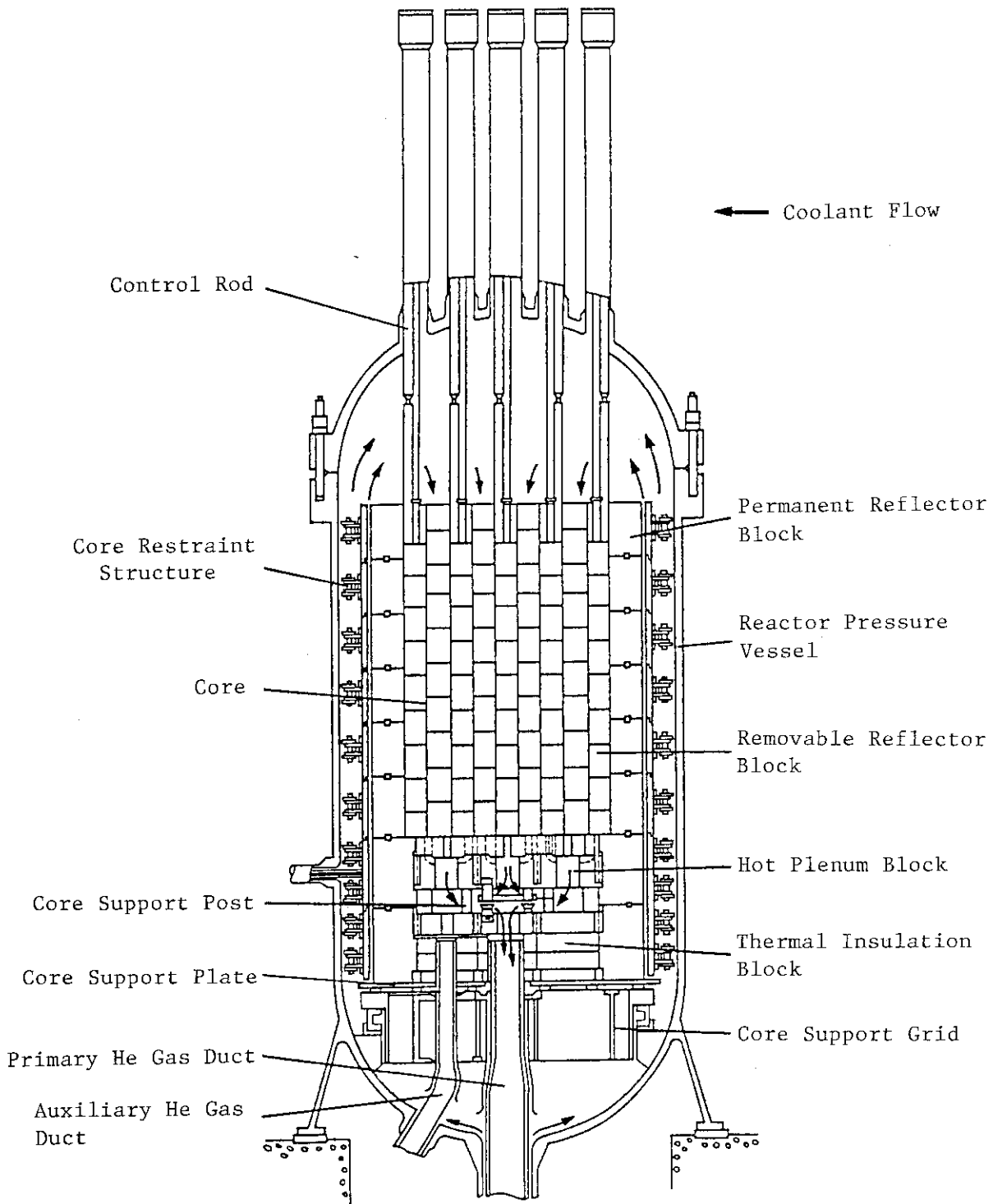


Fig. 1.1 Schematic View of HTTR

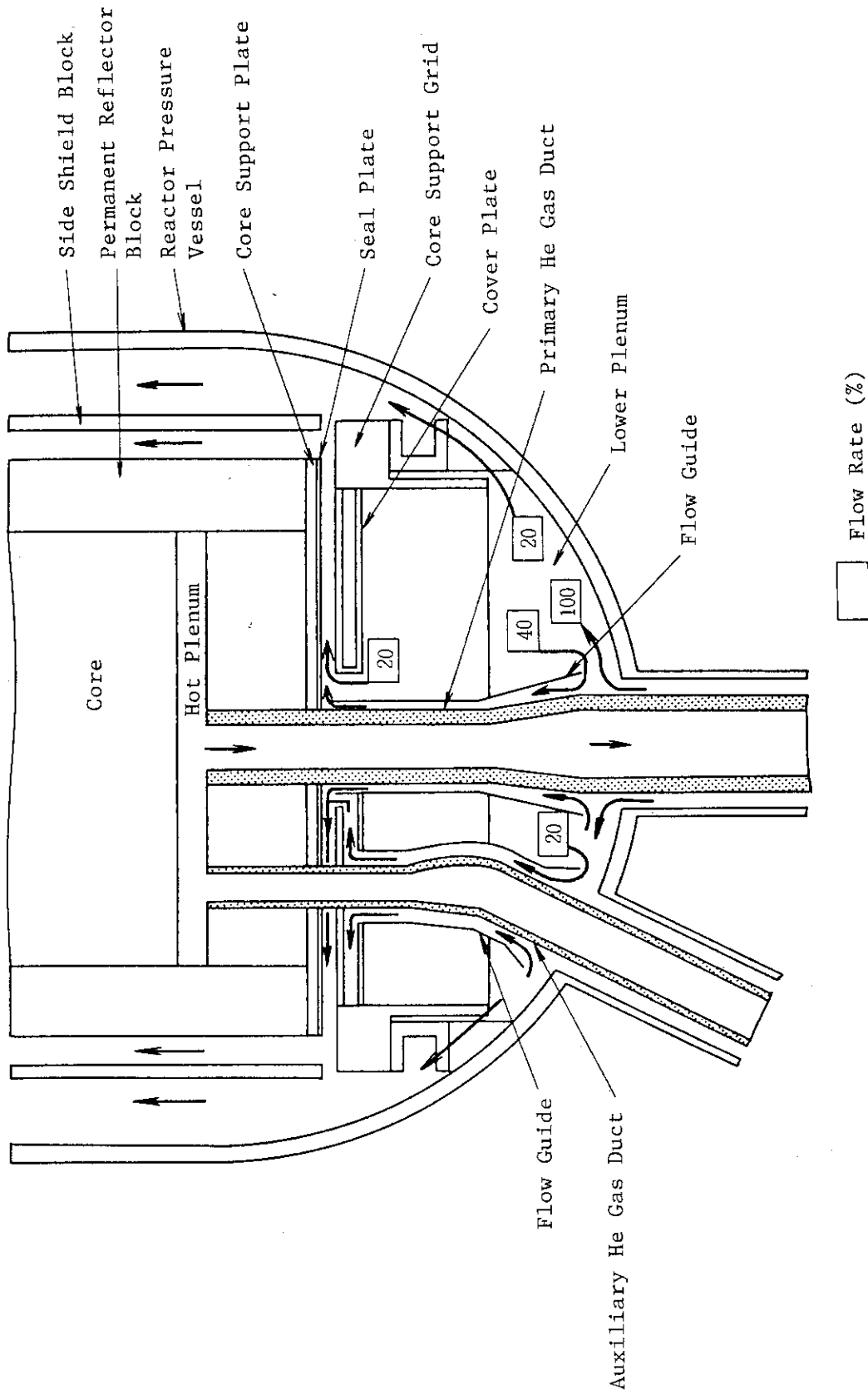


Fig. 1.2 Flow distribution of coolant in core bottom



## 2. 炉心支持板及びその周辺構造物の構造

炉床部の炉心支持鋼構造物は、炉心支持板及び炉心支持格子等から構成され、黒鉛ブロック、可動反射体等の炉心構成要素及び固定反射体ブロック、高温プレナムブロック、炉床部断熱層等の炉心支持黒鉛構造物の荷重を支持し、その荷重を RPV へ伝達する機能を有する。炉床部の炉心支持構造物の配置を Fig. 2.1 に示す。

炉心支持板は、炉心構成要素及び炉心支持黒鉛構造物の鉛直荷重を直接支持し、黒鉛構造物の積層基準面を形成する鋼構造物で、7枚の六角形平板からなる内側炉心支持板と、それらを取り囲む1枚の不定形中抜き円板である外側炉心支持板から構成される。内側炉心支持板の六角形平板は、各々炉心の1領域分の荷重を支持し、外側炉心支持板は、固定反射体の全荷重を支持する。中心領域及び周辺領域の内側炉心支持板の1枚には、ヘリウム配管用の貫通孔がある。炉心支持板の下面には、炉心構成要素及び炉心黒鉛構造物の荷重を炉心支持格子へ伝達するための円柱状の支持板支持柱が、内側炉心支持板1枚につき3本、外側炉心支持板には36本、計57本が配置されている。炉心支持板の下面には、各支持板接続部から炉床部内への低温冷却材の漏れ込みを低減するため、平板状のシールプレート、及びシールプレート下面と冷却材流路を形成するための平板状の整流板が設置されている。炉心支持板の構造を Fig. 2.2 に、支持板支持柱及びヘリウム配管の配置を Fig. 2.3 に示す。

炉心支持格子は、炉心支持板からの荷重を支持するために、フランジ付きの円筒胴内に菱形格子梁を溶接組みして、たわみ剛性及びねじれ剛性を高めた構造物である。菱形格子状梁の上面には、平板上のカバープレートがあり、このカバープレートの上に支持板支持柱が設置されて、炉心支持板から伝達された炉内構造物の荷重を支持するとともに、主冷却系及び補助冷却系のヘリウム配管の内管を支持する。炉心支持格子の構造を Fig. 2.4 に示す。

1次ヘリウム配管のガイド管内流路を流れた冷却材は、1次ヘリウム配管の内管と炉心支持格子の接続部に設けられた流路孔より噴出し、1次ヘリウム配管のガイド管外及び補助ヘリウム配管のガイド管内を流れた冷却材は、整流板とカバープレートで形成される流路を通過して1次ヘリウム配管の近傍に設けられた整流板の流路孔より噴出する。これらの冷却材は、1次ヘリウム配管近傍のシールプレート下面で混合され、シールプレートと整流板で形成される流路を RPV 側へ向かって流れる。RPV 側へ流れた冷却材は、炉心支持格子側部を流れた冷却材と合流し、①固定反射体と側部遮へい体間の流路、②側部遮へい体と RPV 間の流路の2流路に分割され、上部へ向かって流れる。上記①と②の流路を流れる冷却材流量が等しくなるように、②流路にある炉心拘束機構のレストレイントリングの流路面積を調整する構造にしている。

本報で述べている「炉心支持板下面の冷却材の流れ」とは、実際には「シールプレートと整流板で形成される冷却材流路の流れ」である。しかし、炉心支持という構造物の重要度を考慮して、本報では、「炉心支持板下面の冷却材の流れ」とする。

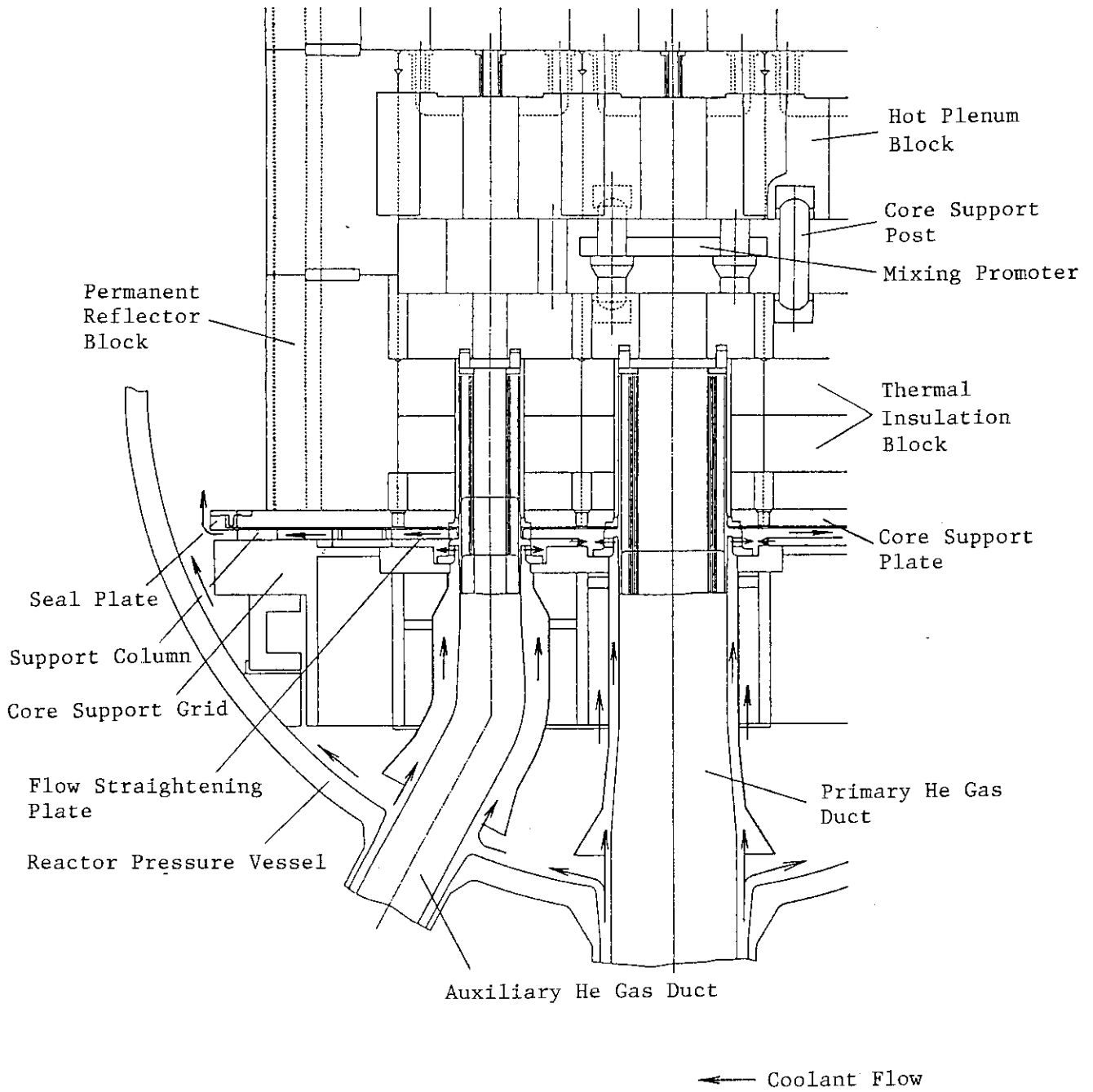


Fig. 2.1 Schematic view of core bottom structure

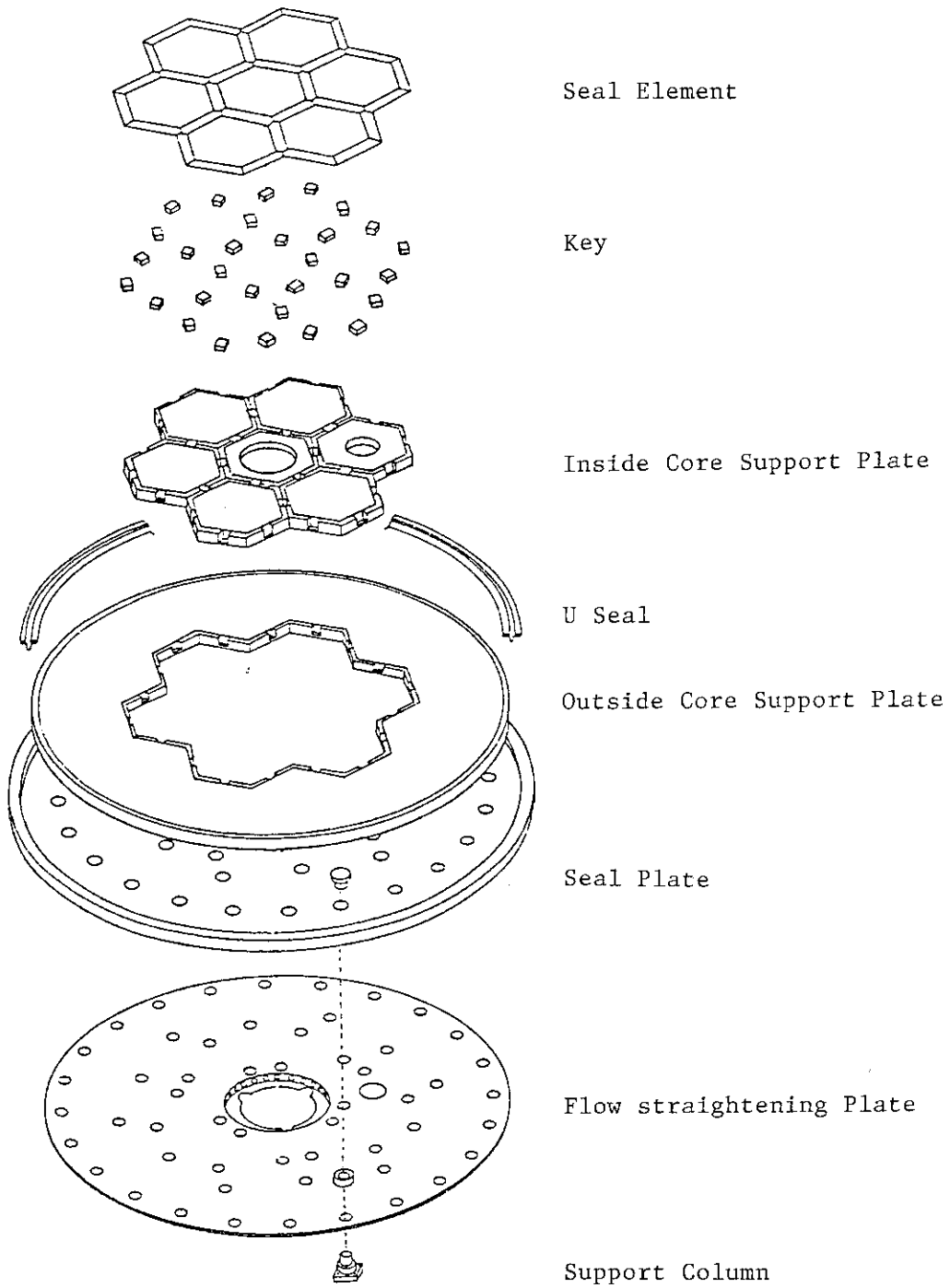


Fig. 2.2 Structure of core support plate

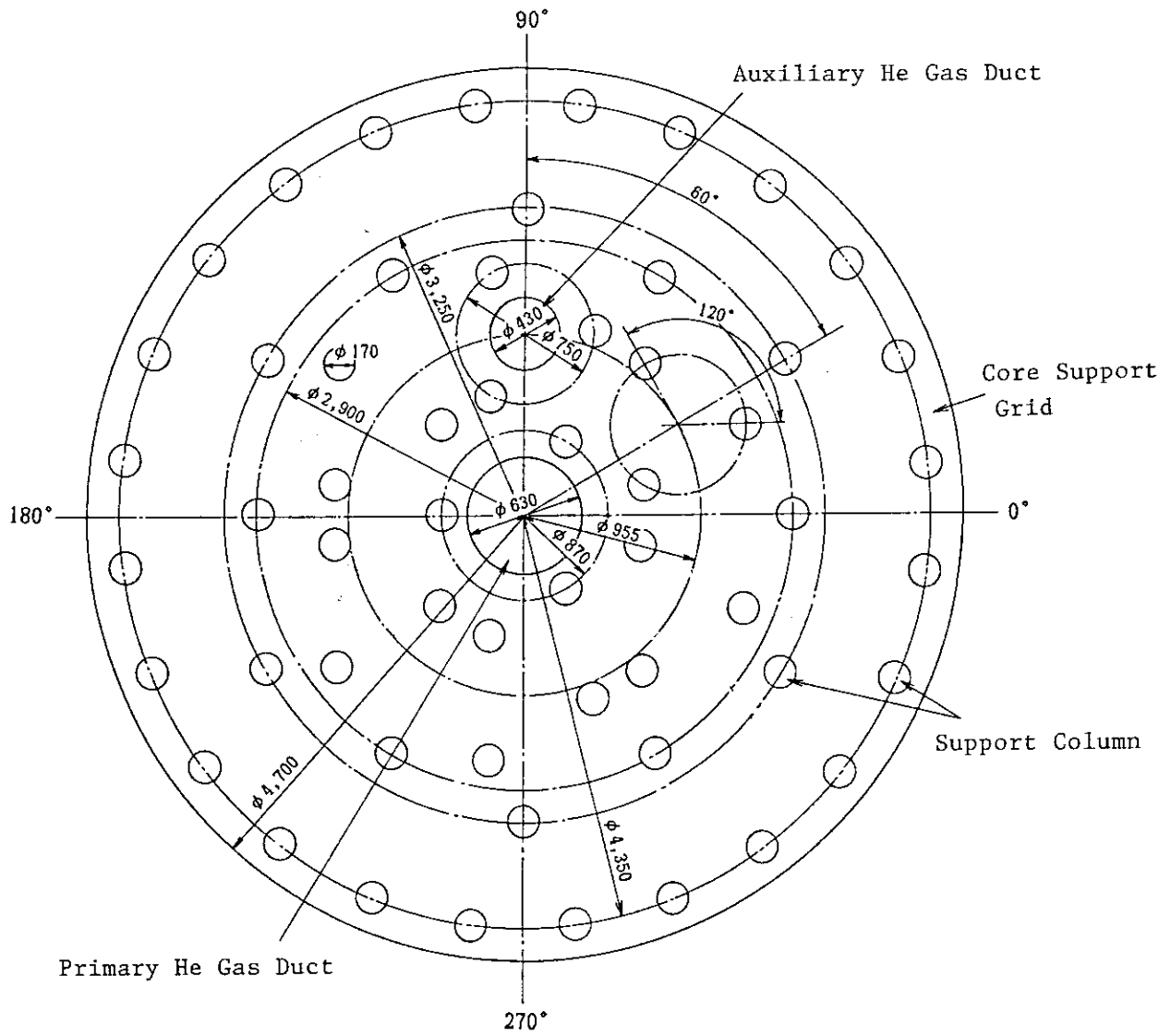


Fig. 2.3 Arrangement of support columns and He gas ducts

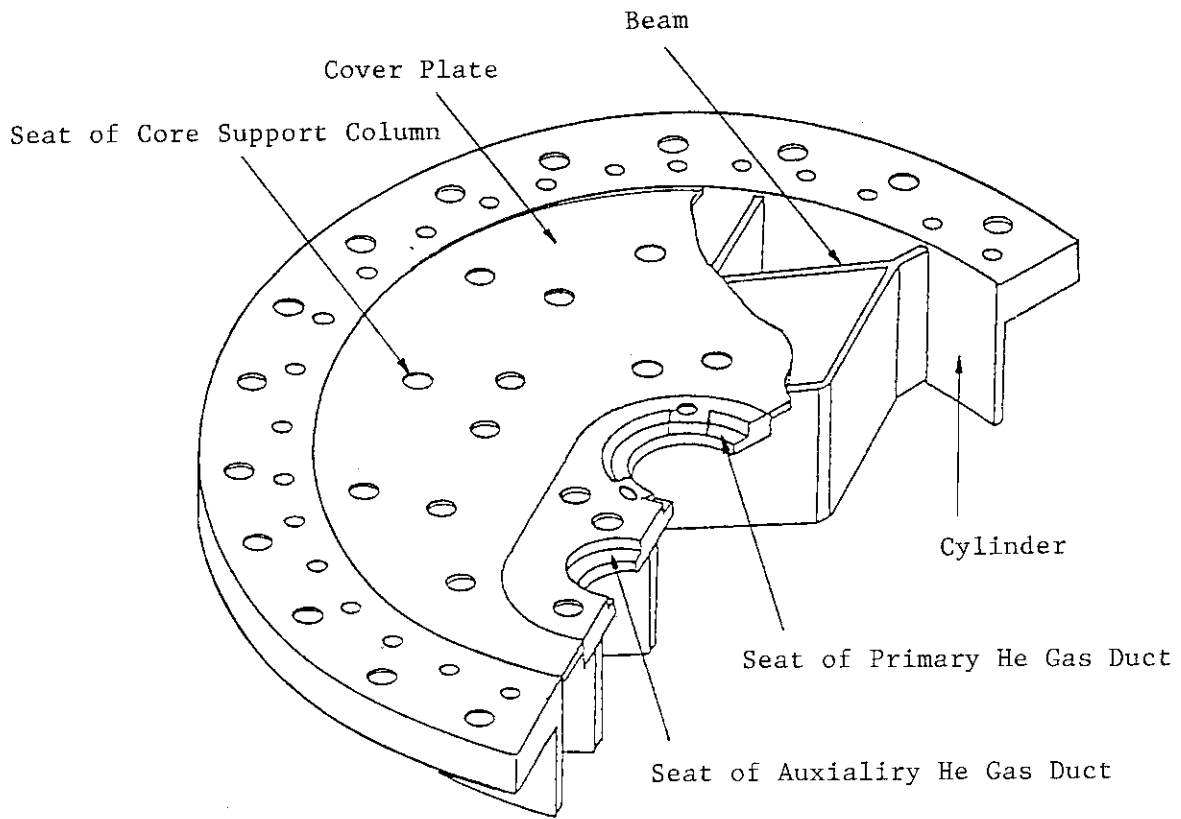


Fig. 2.4 Structure of core support Grid

### 3. 冷却材の流れ解析

#### 3.1 解析方法

3次元熱流体解析コード STREAM は、非圧縮性単相流を対象とした非定常解析コードで、乱流モデルは、 $k-\epsilon$  2方程式モデルを用いている。解析で使用する基礎式は、スタガー格子を用いたコントロールボリューム法により離散化しており、対流項には風上差分を適用している<sup>(3, 4)</sup>。

解析モデルは、シールプレートと整流板間の流路を対象とした3次元円筒座標系モデル（各座標方向： $r, \theta, z$ 、各座標方向の流速： $u, v, w$ ）である。その格子分割数は、 $36 \times 180 \times 8$ （総数 51,840）である。解析モデルを Fig. 3.1 に示す。

解析では、実機と同様のヘリウムガスの物性値（圧力 4 MPa、温度 400 °C）及び冷却材流量を与えた。即ち、1次ヘリウム配管の周囲（解析モデルの  $r = 1$  の境界面、 $\theta = 0 \sim 180$ 、 $z = 1 \sim 3$ ）から冷却材総流量の 40%（1次ヘリウム配管のガイド管内流路を流れた冷却材）、整流板（同、 $r = 5$  と  $6$  の境界面、 $\theta = 0 \sim 180$ 、 $z = 1 \sim 2$ ）から 40%（1次ヘリウム配管のガイド管外流路と補助ヘリウム配管のガイド管内流路を流れた冷却材の合計）の冷却材を解析モデル内に流入させた。流速に対する境界条件は、流路の壁面に対しては摩擦条件を与えている。

解析は、次の2ケースの流量で行った。

- I. 原子炉出口温度 850 °C の定格運転：冷却材総流量 12.5 kg/s  
炉心支持板下面の流量 10.0 kg/s
- II. 上記 I の冷却材流量の 1/2 : 冷却材総流量 6.25 kg/s  
: 炉心支持板下面の流量 5.0 kg/s

以下、上記の解析ケースを解析 I 及び解析 II とする。解析 II は、炉心支持板下面の冷却材流量の差による偏流の程度を調べるためのものである。なお、原子炉出口温度 950 °C の高温試験運転の冷却材流量は、総流量が 10.2 kg/s、炉心支持板下面の流量が 8.16 kg/s である。

#### 3.2 解析結果及び考察

Fig. 3.2 ~ Fig. 3.4 は、解析 I の速度ベクトルの分布を示したもので、各々の位置は、シールプレート下面（解析モデル： $r-\theta$  面、 $z = 8$ ）、カバープレート上面（解析モデル： $r-\theta$  面、 $z = 4$ ）、1次ヘリウム配管近傍（解析モデル： $r-\theta$  面、 $z = 8$ 、及び  $r-z$  面、 $\theta = 1$ ）である。冷却材の流れは、1次ヘリウム配管最近傍の3本の支持板支持柱（解析モデル図の 60°、180° 及び 300° 方向）とその外側にある3対の支持板支持柱により、6方向に分けられる。Fig. 3.5 ~ Fig. 3.7 は、シールプレート下面の周方向の流速分布を示したもので、各々の位置は、格子番号  $r = 21, 31$  及び  $36$  である。流速分布は、支持板支持柱の配置の影響を受けて規則性のある分布を示しているが、補助ヘリウム配管がある 90° 方向では、当然のことながら、流速分布の

乱れが大きい ( $r = 21$  における分布)。しかし、外周に向かうにつれて、支持板支持柱により均等化されて、流速分布の乱れは減少している。炉心支持板の外周部である  $r = 36$  (Fig. 3.7 参照) の位置では、流速分布の乱れはかなり減少しており、この程度の乱れであれば、側部速へい体内外流路で、構造物の冷却性に影響を及ぼすような偏流は生じないと考えられる。

Fig. 3.8 ~ Fig. 3.10 は、解析 II (解析 I の冷却材流量の  $1/2$ ) の速度ベクトルの分布を示したもので、各々の位置は、解析 I と同じである。流速ベクトルの分布は、解析 I と同様の傾向を示している。Fig. 3.11 ~ Fig. 3.13 は、平均流速 ( $U_a = \text{流量} / \text{流路面積}$ ) で規格化した無次元流速 ( $U / U_a$ ) の分布を示したものである。図に示しているように、解析 I と解析 II は、ほぼ同じ分布を示しており、流れの特性は、流量の違いによる影響を受けていなかった。原子炉出口温度  $950^\circ\text{C}$  の高温試験運転の冷却材の流量は、解析 I (原子炉出口温度  $850^\circ\text{C}$  の定格運転) の冷却材流量の約  $82\%$  であり、解析 I の流れパターンと変わらないものと考えられる。

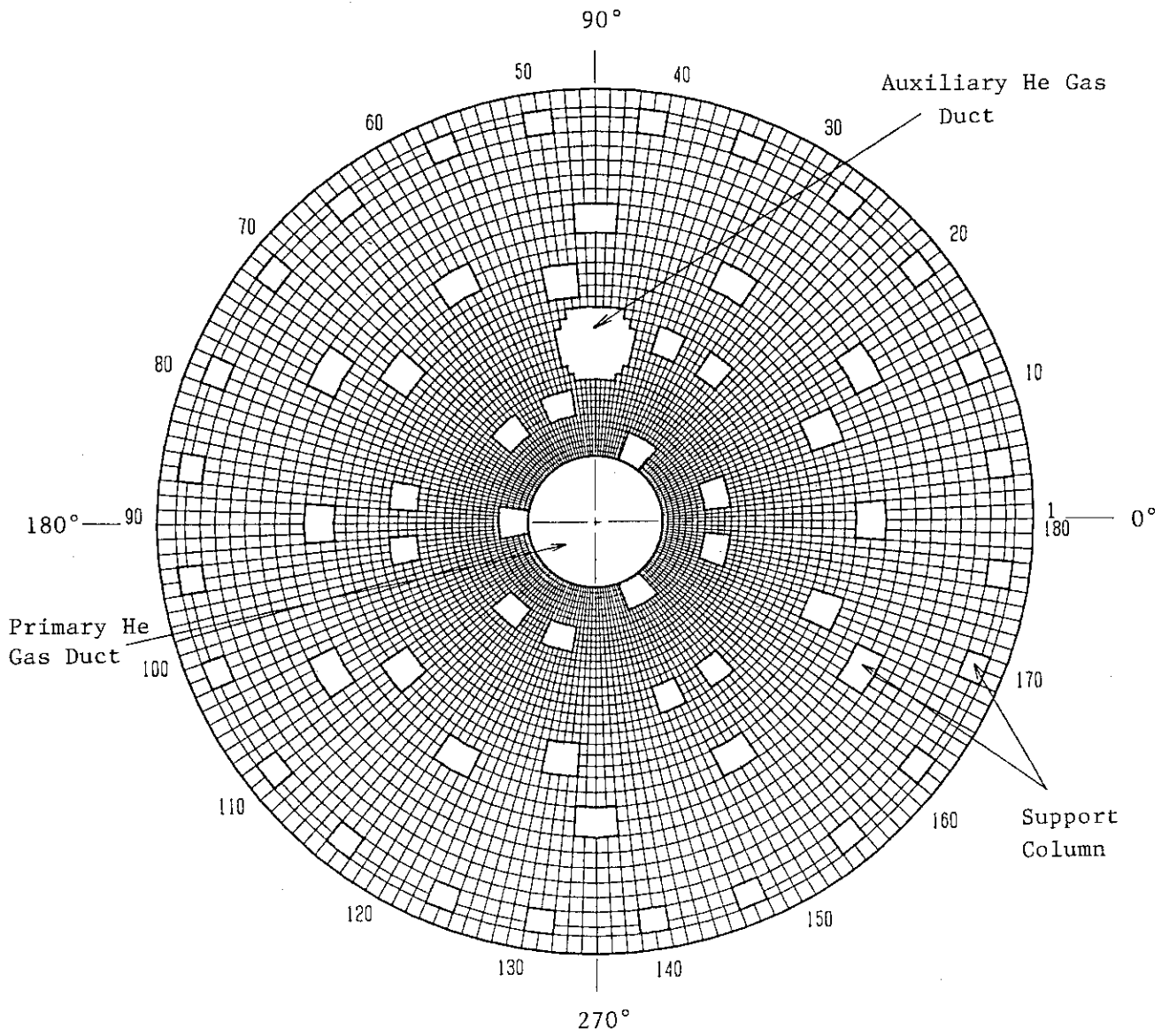


Fig. 3.1(a) Numerical model of hydraulic analysis ( $r-\theta$  direction)



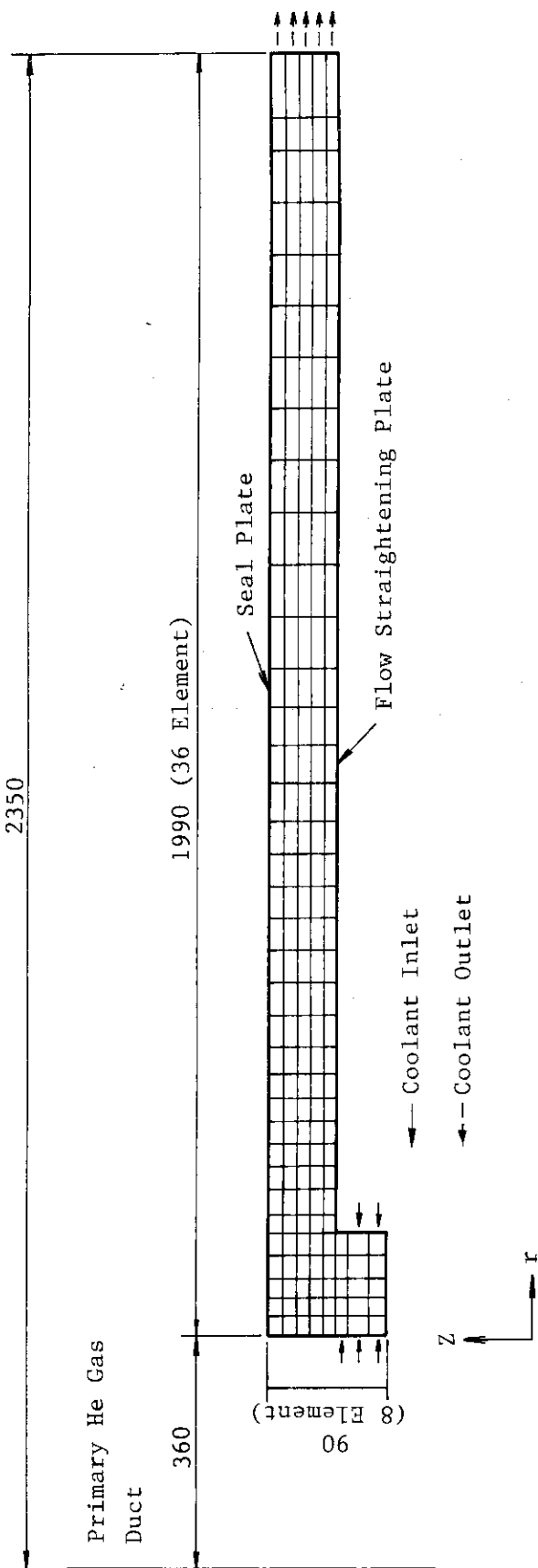


Fig. 3.1(b) Numerical model of hydraulic analysis (r-Z direction)

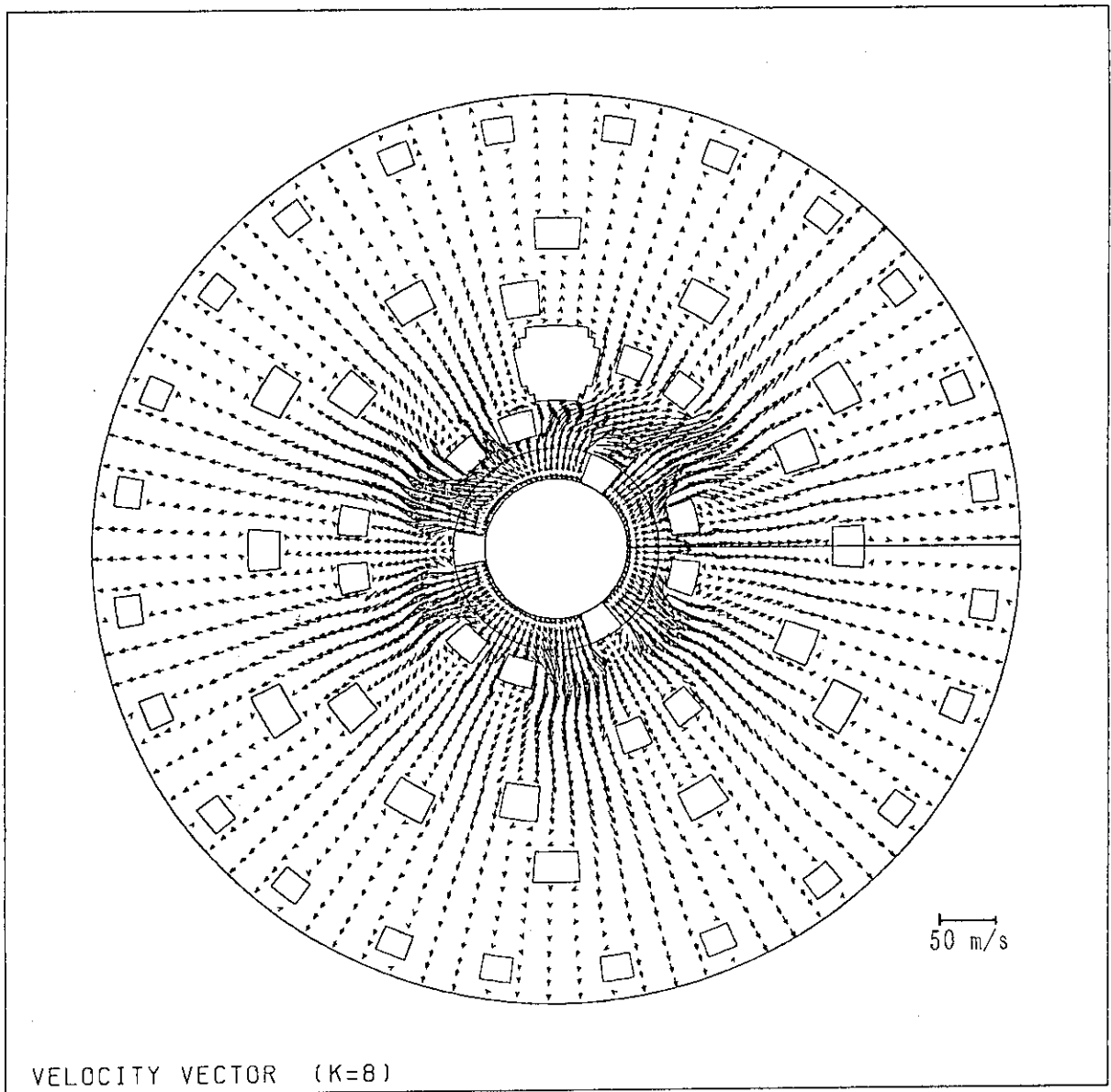


Fig. 3.2 Velocity vector under seal plate  
(Analysis case I, r- $\theta$  direction)

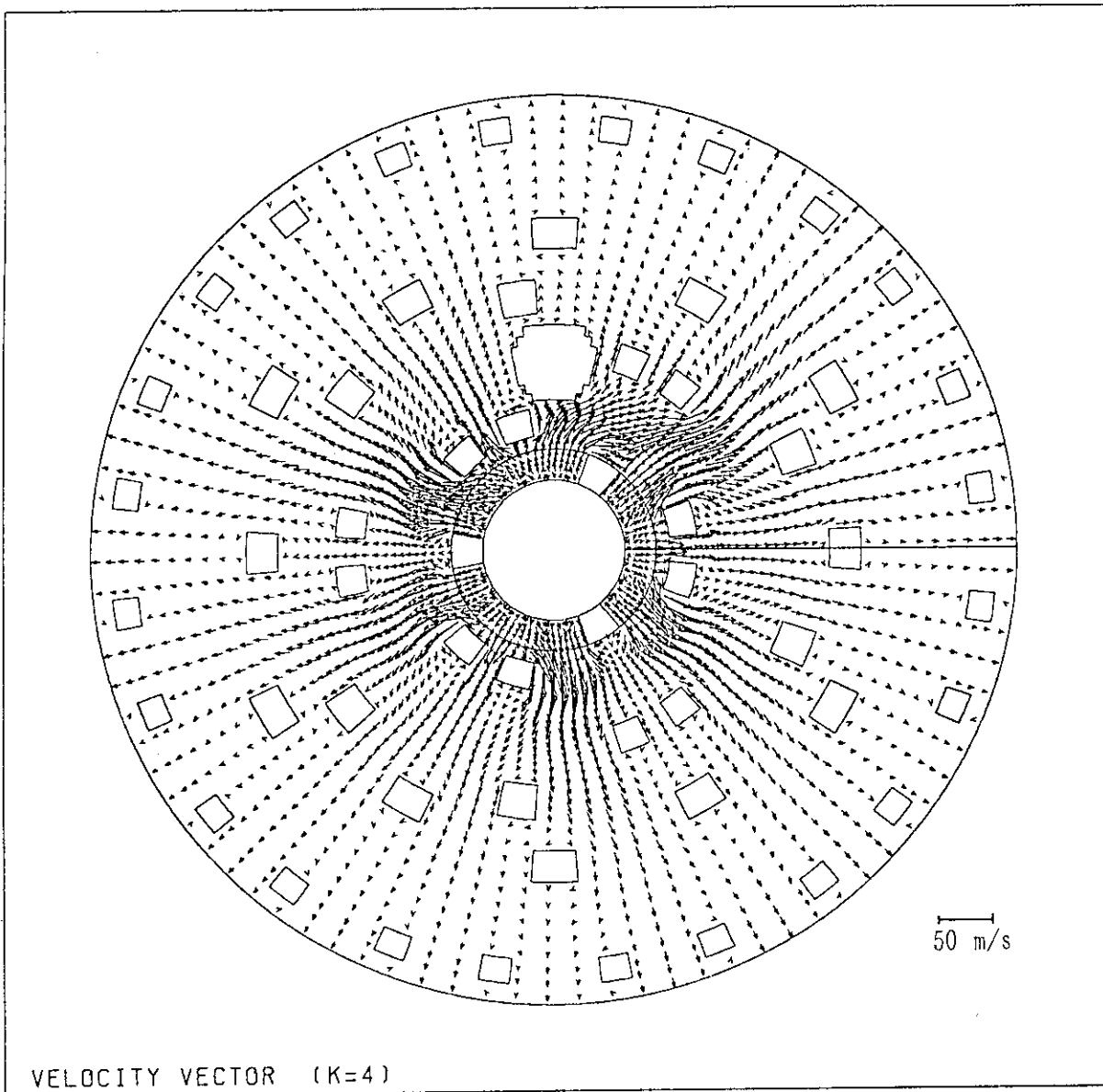


Fig. 3.3 Velocity vector over flow straightening plate  
(Analysis case I, r- $\theta$  direction)

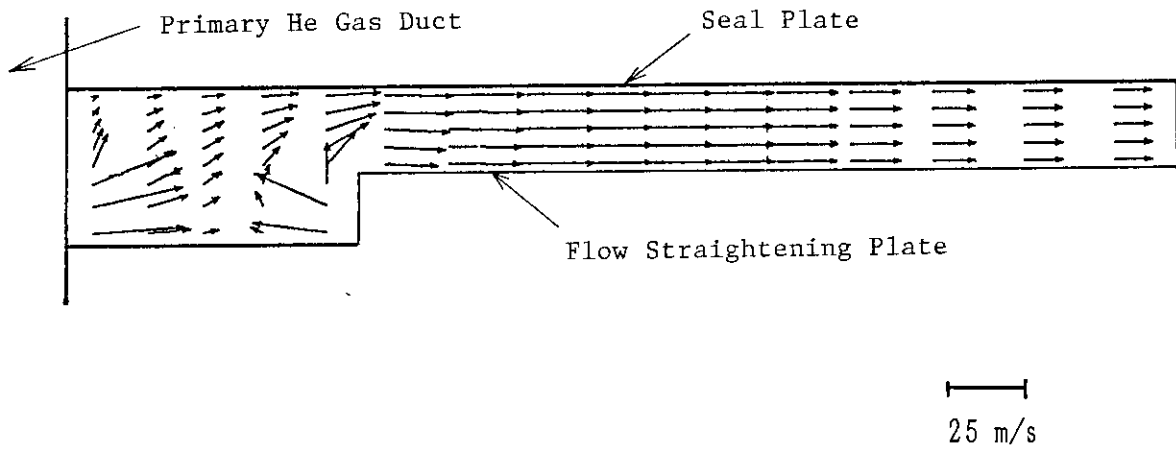


Fig. 3.4 Velocity vector between seal plate and flow straightening plate (Analysis case I, r-z direction)

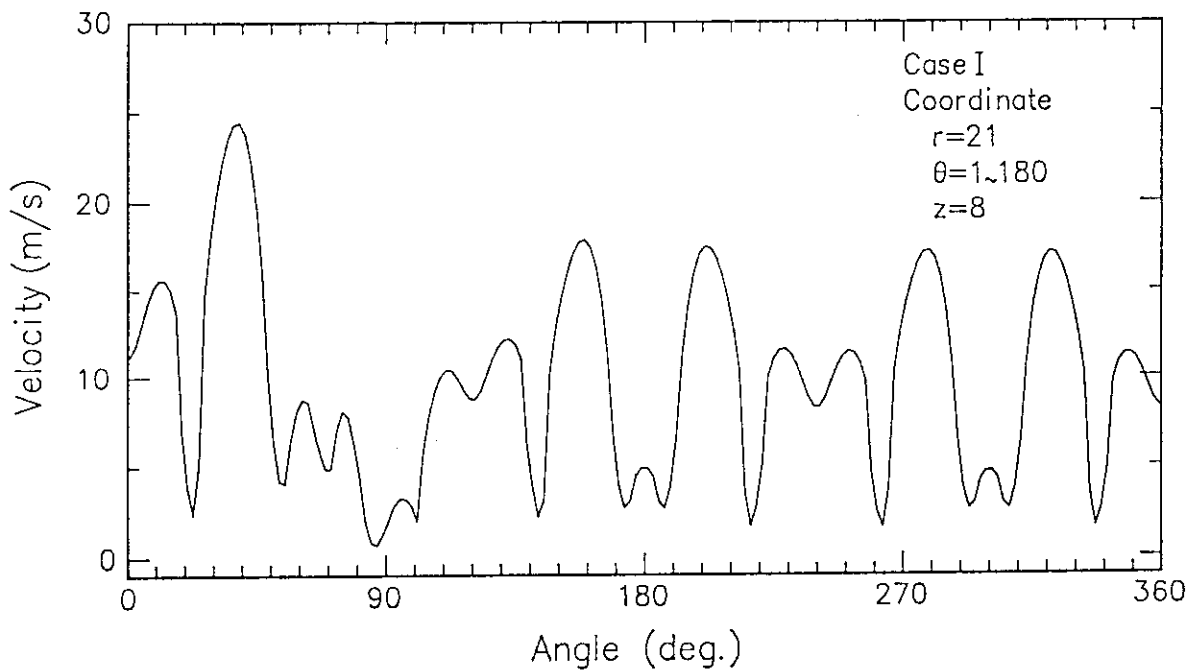


Fig. 3.5 Velocity profile under seal plate (Analysis case I, coordinate: r=21)

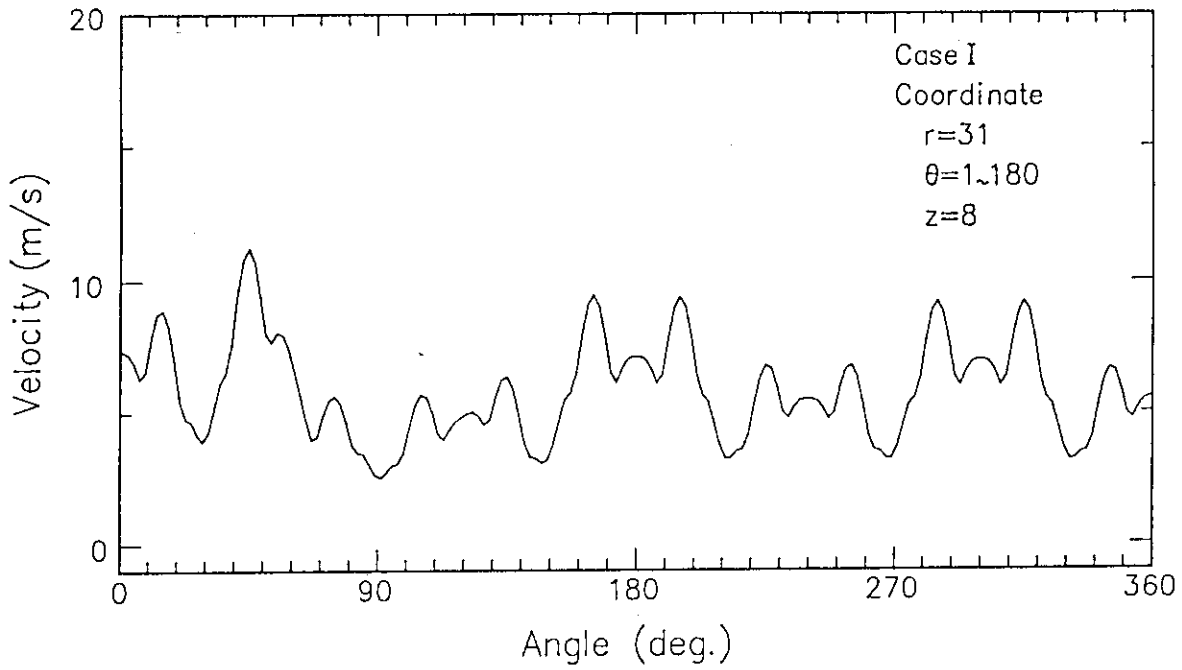


Fig. 3.6 Velocity profile under seal plate  
(Analysis case I, coordinate: r=31)

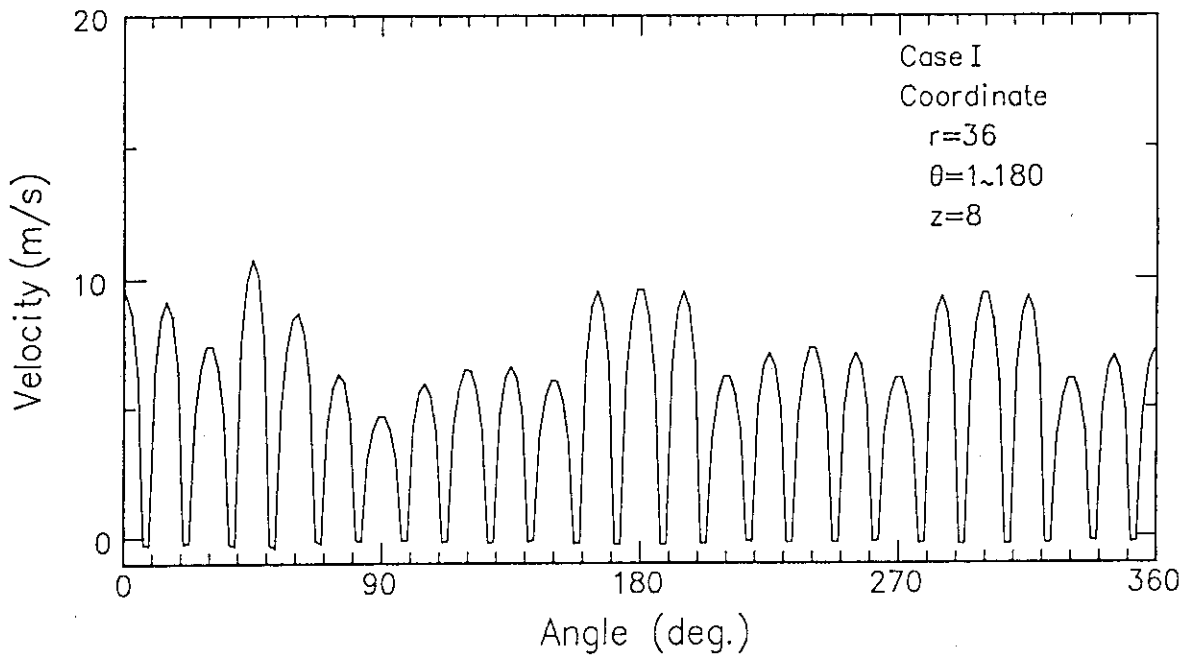


Fig. 3.7 Velocity profile under seal plate  
(Analysis case I, coordinate: r=36)

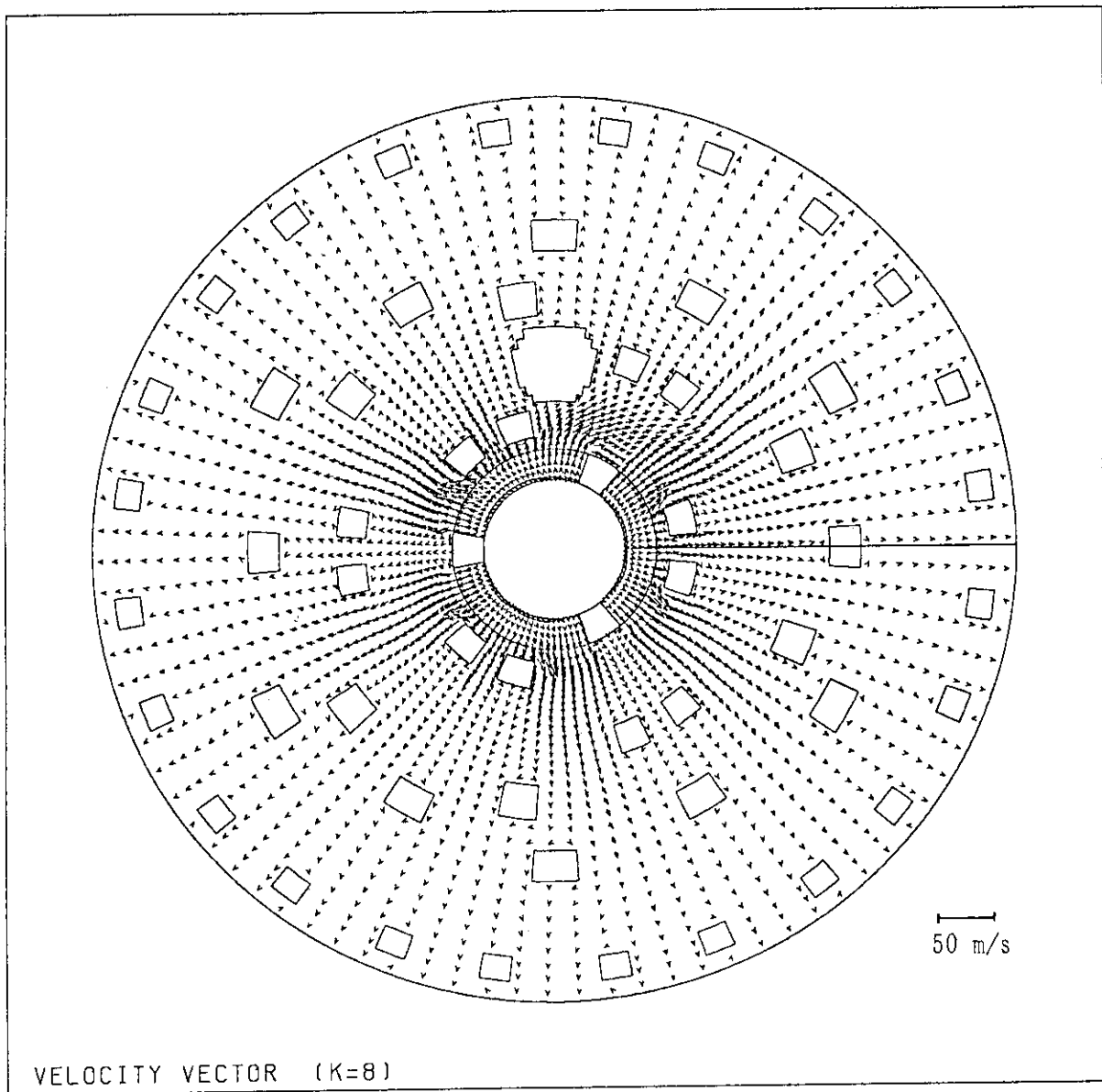


Fig. 3.8 Velocity vector under seal plate  
(Analysis case II, r- $\theta$  direction)

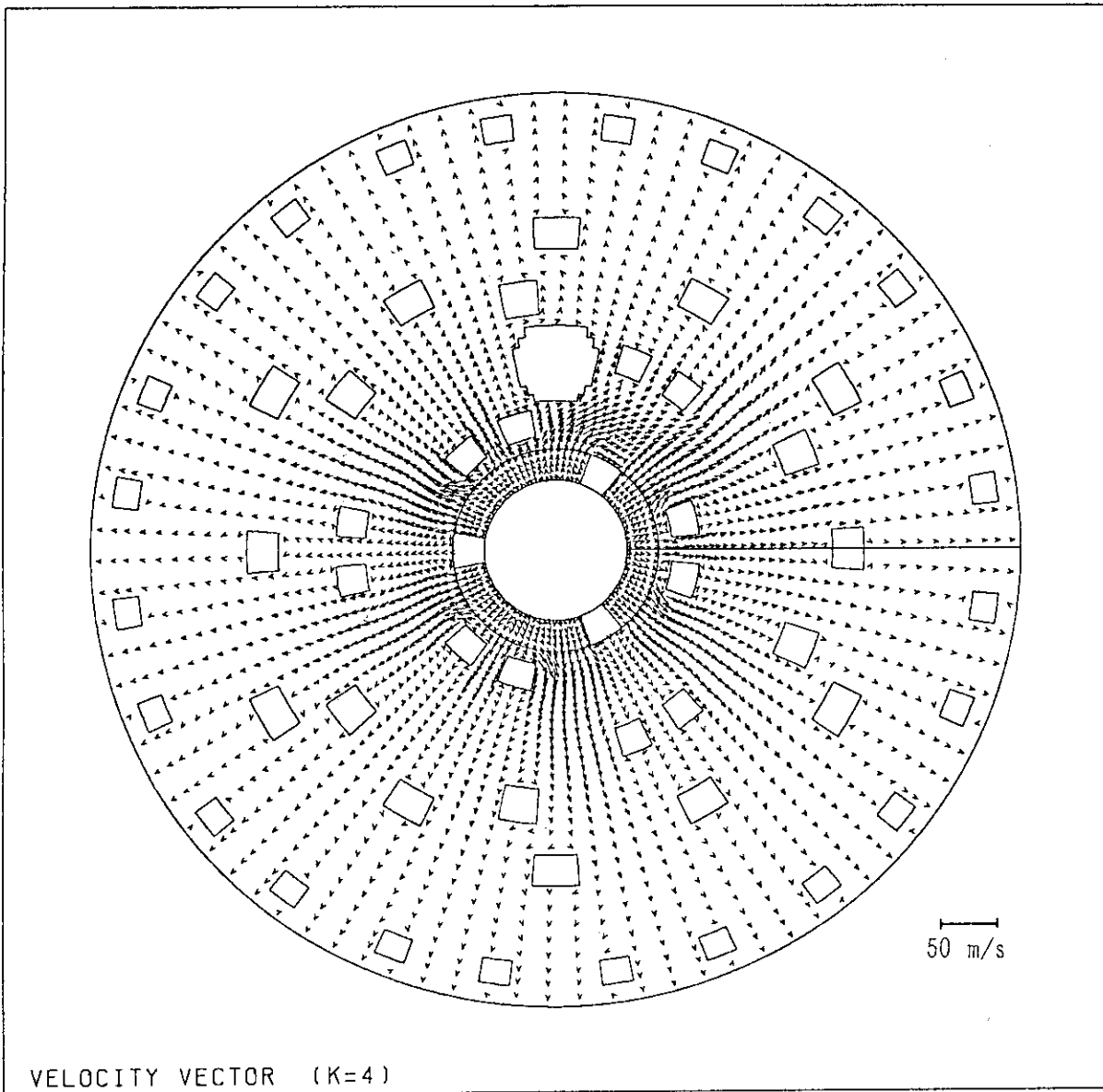


Fig. 3.9 Velocity vector over flow straightening plate  
(Analysis case II, r- $\theta$  direction)

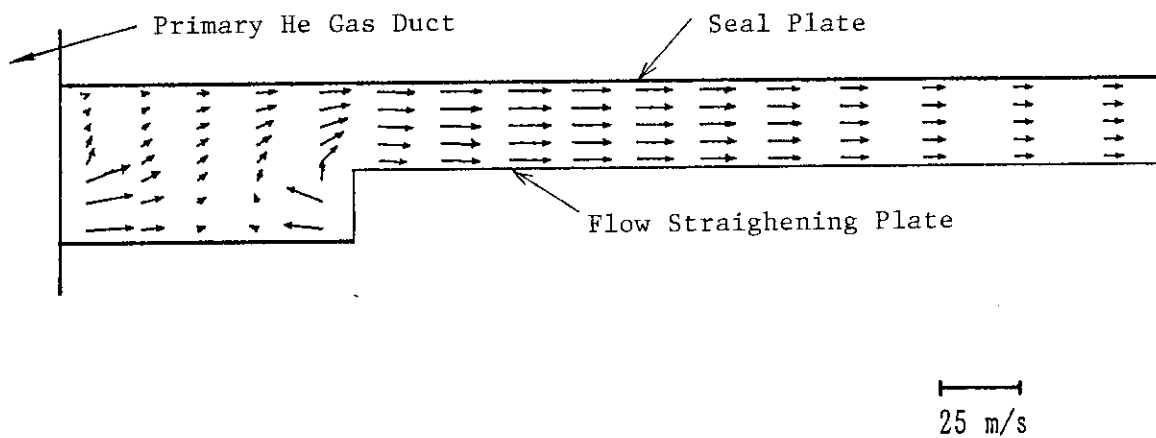


Fig. 3.10 Velocity vector between seal plate and flow straightening plate (Analysis case II, r-z direction)

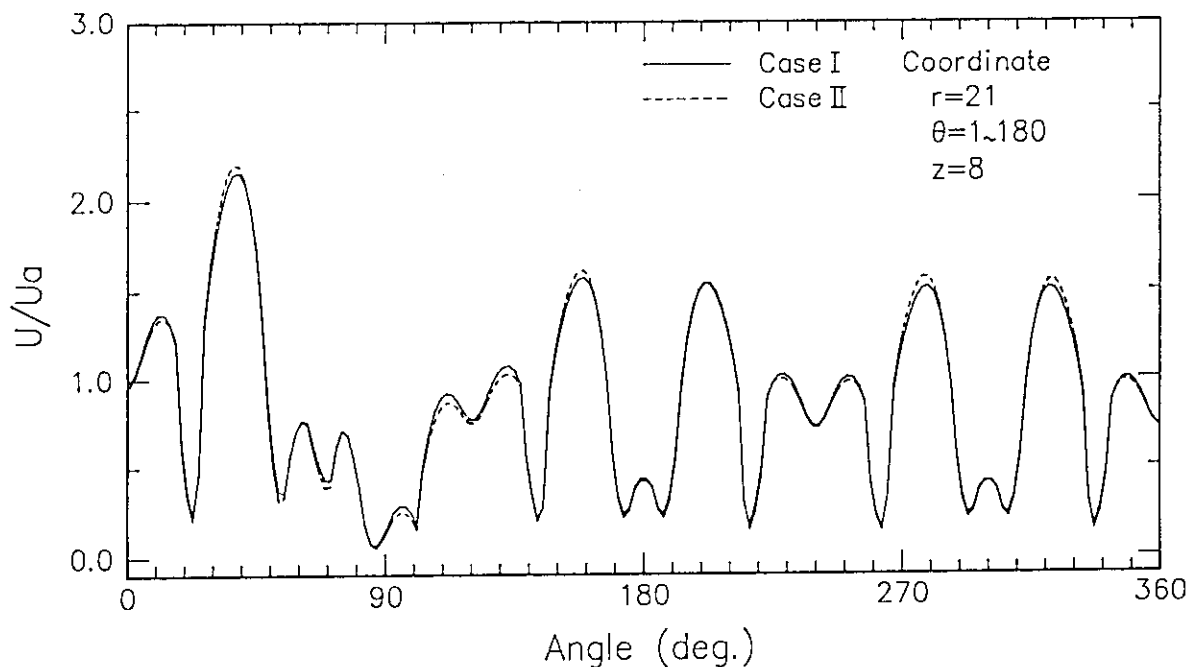


Fig. 3.11 Dimensionless velocity profile under seal plate (Analysis case I and II, coordinate:  $r=21$ )



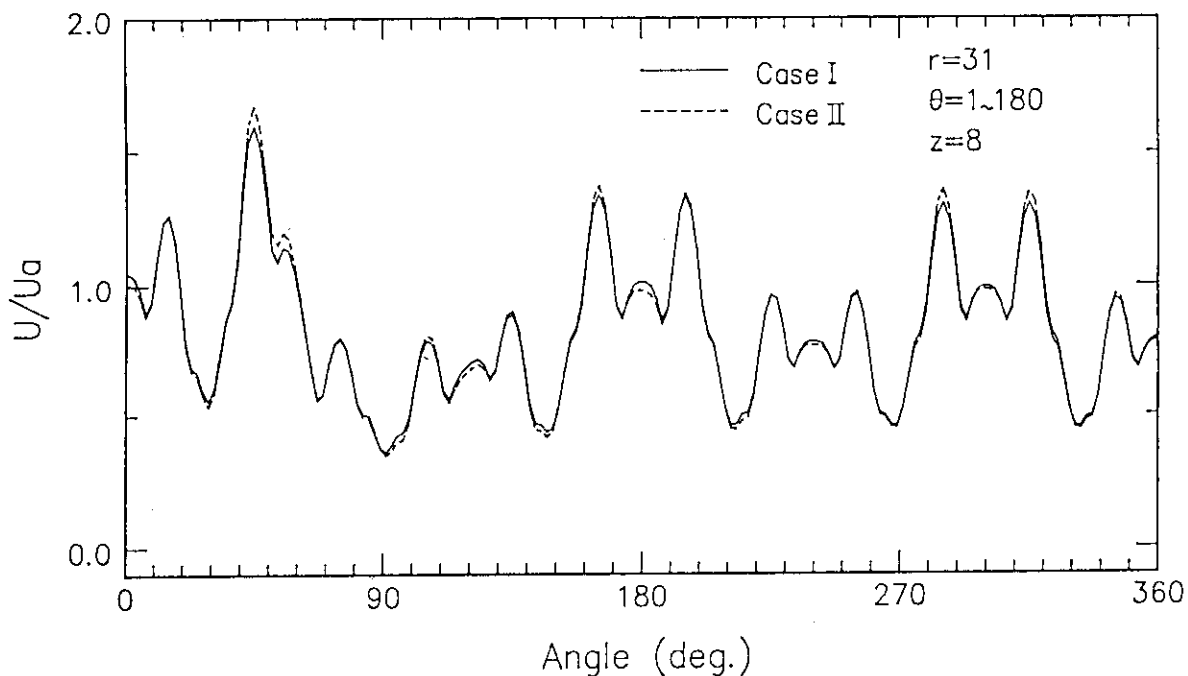


Fig. 3.12 Dimensionless velocity profile under seal plate  
(Analysis case I and II, coordinate:  $r=31$ )

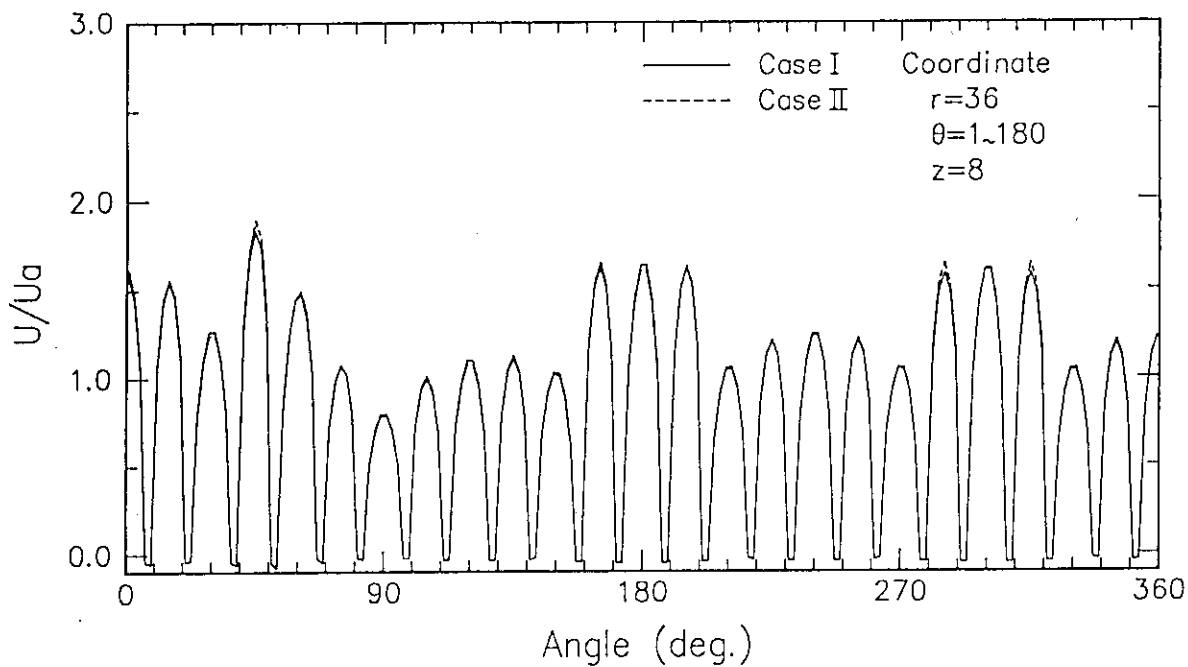


Fig. 3.13 Dimensionless velocity profile under seal plate  
(Analysis case I and II, coordinate:  $r=36$ )

## 4. 炉心支持板の熱解析

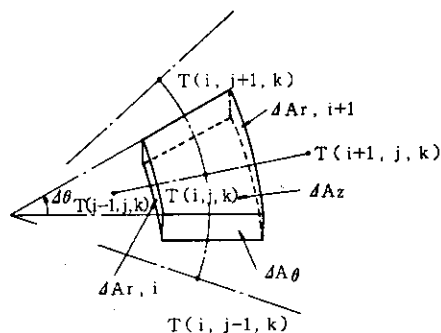
### 4.1 解析方法

3章に示した流速分布を基に、炉心支持板の温度解析を行った。解析の対象とした部位は、冷却材の流速変化が大きな1次ヘリウム配管近傍で、流れの解析モデルの座標  $r = 1 \sim 24$ ,  $\theta = 139 \sim 163$  に相当する。(Fig. 3.1 参照)。温度分布の解析モデルは、差分格子を用いた3次元円筒座標系で、 $z$  方向は、整流板上面から下端ブロック上面までを考慮している。解析モデルの格子分割数は、 $25 \times 25 \times 7$  (総数 4,375) である。解析モデルを Fig. 4.1 に示す。

下図に示す扇型の要素を考慮すると、要素内の温度  $T(i, j, k)$  は、以下の差分式で求められる。

$$\begin{aligned}
 & \lambda(i, j, k) \frac{T(i-1, j, k) - T(i, j, k)}{\Delta r(i)} \Delta A_{r, i} \\
 & - \lambda(i+1, j, k) \frac{T(i, j, k) - T(i+1, j, k)}{\Delta r(i+1)} \Delta A_{r, i+1} \\
 & + \lambda(i, j, k) \frac{T(i, j-1, k) - T(i, j, k)}{R(i) \cdot \Delta \theta(j)} \Delta A_{\theta} \\
 & - \lambda(i, j+1, k) \frac{T(i, j, k) - T(i, j+1, k)}{R(i+1) \cdot \Delta \theta(j+1)} \Delta A_{\theta} \\
 & + \lambda(i, j, k) \frac{T(i, j, k-1) - T(i, j, k)}{\Delta z(k)} \Delta A_z \\
 & - \lambda(i, j, k+1) \frac{T(i, j, k) - T(i, j, k+1)}{\Delta z(k+1)} \Delta A_z = 0 \quad (4.1)
 \end{aligned}$$

- $\lambda$  : 熱伝導率
- $\Delta A_r, \Delta A_{\theta}, \Delta A_z$  : 各座標方向の断面積
- $\Delta r, \Delta \theta, \Delta z$  : 各座標方向の格子間距離



A 図

また、冷却材により除熱されている面では、上式の左辺第5項が次式に変更される。

$$+ \alpha (T(i, j, k-1) - T(i, j, k)) \Delta Az \quad (4.2)$$

ここで、 $\alpha$ は冷却材の熱伝達率で、次式の平行平板間の熱伝達率より求めた<sup>(6)</sup>。

$$\alpha = 0.018 \cdot (U \cdot H / \nu_{He})^{0.8} \cdot Pr_{He}^{0.4} \cdot \lambda_{He} / H \quad (4.3)$$

U : 冷却材の流速

H : 代表長さ (平行平板間距離 × 2)

$\nu_{He}$  : 冷却材の動粘性係数

$\lambda_{He}$  : 冷却材の熱伝導率

$Pr_{He}$  : 冷却材のプラントル数

(4.3) 式の流速には、解析 I で得られた流速を代入した。

境界条件は、有限要素法コード ANSYS 及び圧力容器を含む原子炉構成要素の 3 次元モデルを用いた炉内構造物の温度解析結果を参考にして、下端ブロック上面温度を、450 °C、整流板及び冷却材の温度を 400 °C、炉心支持板内周面温度を 430 °C で一定とした。

## 4.2 解析結果及び考察

Fig. 4.2 ~ Fig. 4.5 は、シールプレート及び炉心支持板の周方向の温度分布と流速分布を示したものである。Fig. 4.2 は解析モデルの  $r = 3$  における分布を示したもので、中央部 ( $\theta = 8 \sim 18$ ) に支持板支持柱がある。この時、炉心支持板下面の温度は、支持板支持柱との接触部で熱伝導により低下している。この図で示している炉心支持板下面の最高温度と最低温度の温度差は約 7 °C であるが、炉心支持板の上面では、内部での熱伝導によりほぼ均一な温度となっている。Fig. 4.3 は、 $r = 8$  における分布を示したものである。支持板支持柱の背面になる中央部では、支持板支持柱の影響で流速が大幅に減少しており、その影響でシールプレート中央部の温度が周辺よりも約 7 °C 高くなっている。しかし、この温度差は、炉心支持板の温度分布にほとんど影響を与えていない。これは、シールプレートと炉心支持板の間に約 1 mm のヘリウムガスの滞留層があり、これが熱抵抗となっているためである。Fig. 4.4 は  $r = 18$  における分布を示したものである。周方向の格子番号  $\theta = 7 \sim 11$  及び  $15 \sim 19$  の位置に支持板支持柱がある。Fig. 4.2 と同様に、炉心支持板の温度は、支持板支持柱との接触部で低下し、周方向の最大温度差は、約 8 °C である。Fig. 4.5 は、 $r = 20$  における分布を示したものである。支持板支持柱の背面になる  $\theta = 7 \sim 19$  では、冷却材流量が減少するためにシールプレートの周方向に最大で約 9 °C の温度差が生じているが、Fig. 4.2 と同様にシールプレート上部のヘリウムガス滞留層のため、炉心支持板の温度はほぼ均一な分布となっている。

以上の結果に示すように、冷却材の周方向の偏流は、炉心支持板の温度分布にほとんど影響を及ぼさず、ホットスポットは生じない。むしろ、支持板支持柱との接触部で温度が低下しているが、非接触部との温度差は 10 °C 以下であり、炉心支持板の肉厚 (89 mm) を考慮すると、炉心及び炉心支持黒鉛構造物の支持に影響を及ぼさような熱応力、変形等は発生しないと考えられる。

一方、シールプレートの温度は、冷却材の流れの影響を受けており、肉厚（10 mm）を考慮すると変形する可能性がある。しかし、シールプレートは、炉心支持等の重要な機能は有しておらず、多少変形したとしても原子炉の安全性に影響を及ぼさないと考えられる。

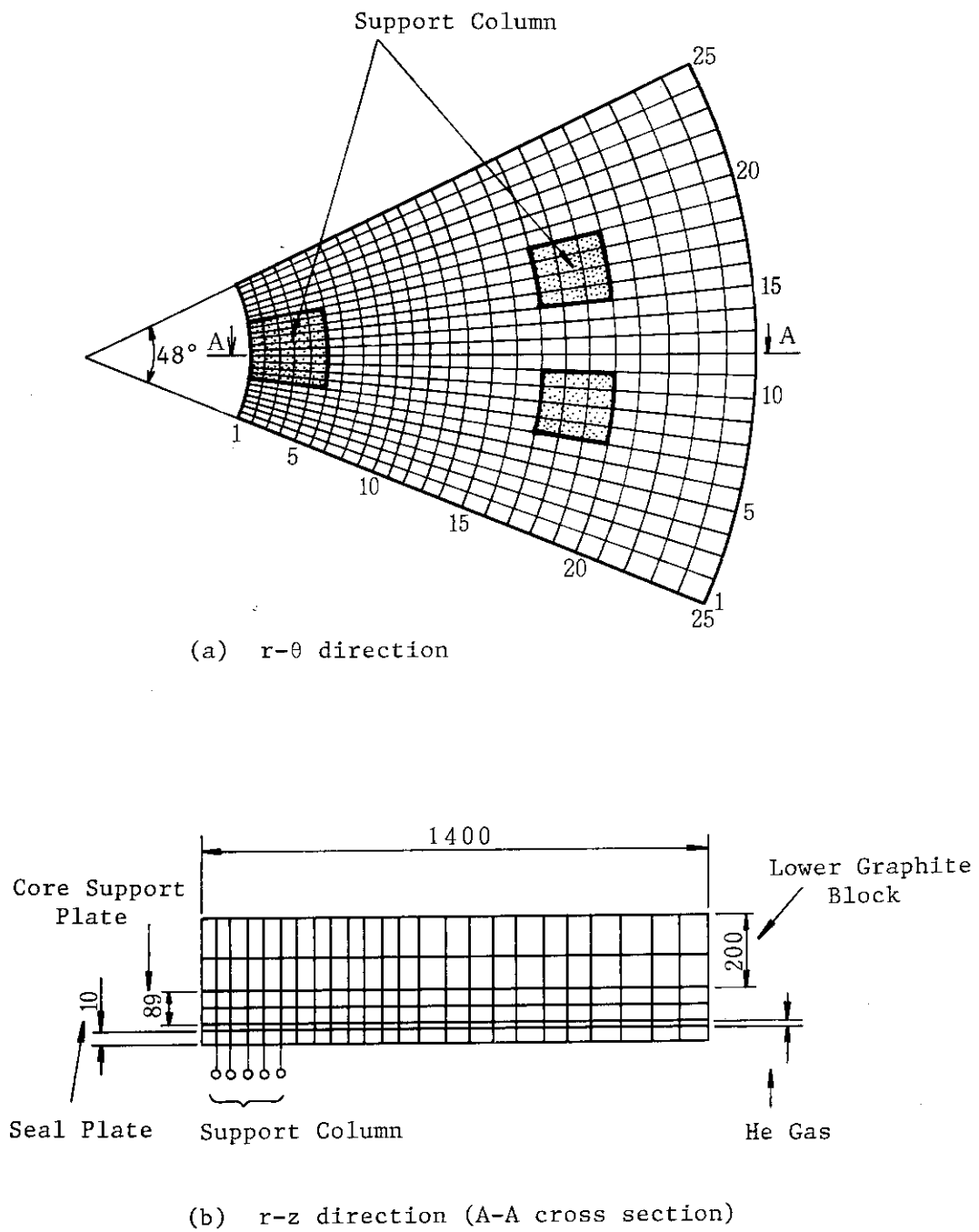


Fig. 4.1 Numerical model of thermal analysis

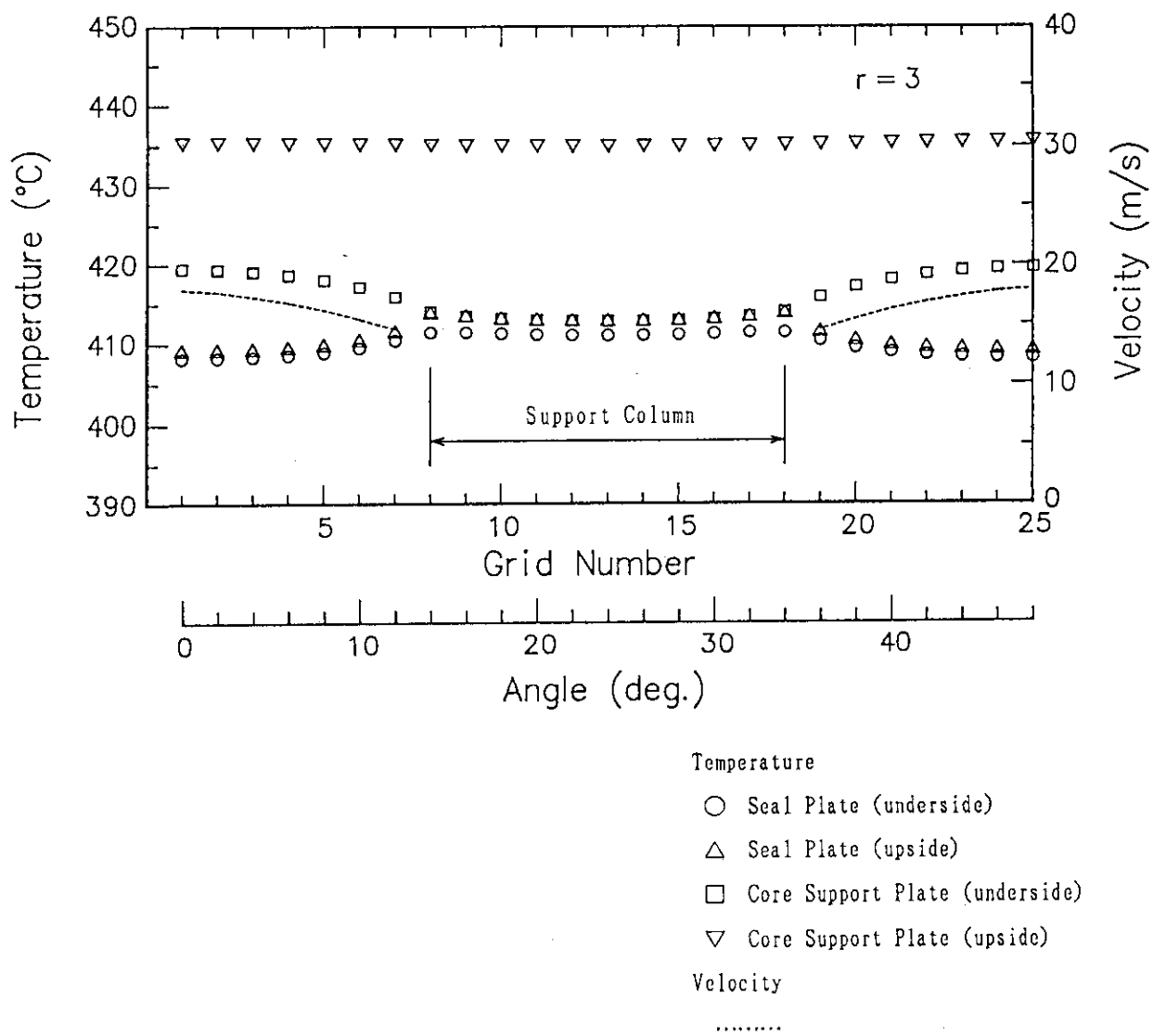


Fig. 4.2 Temperature distribution of metallic core support structure and velocity profile of coolant (Coordinate: r=3)

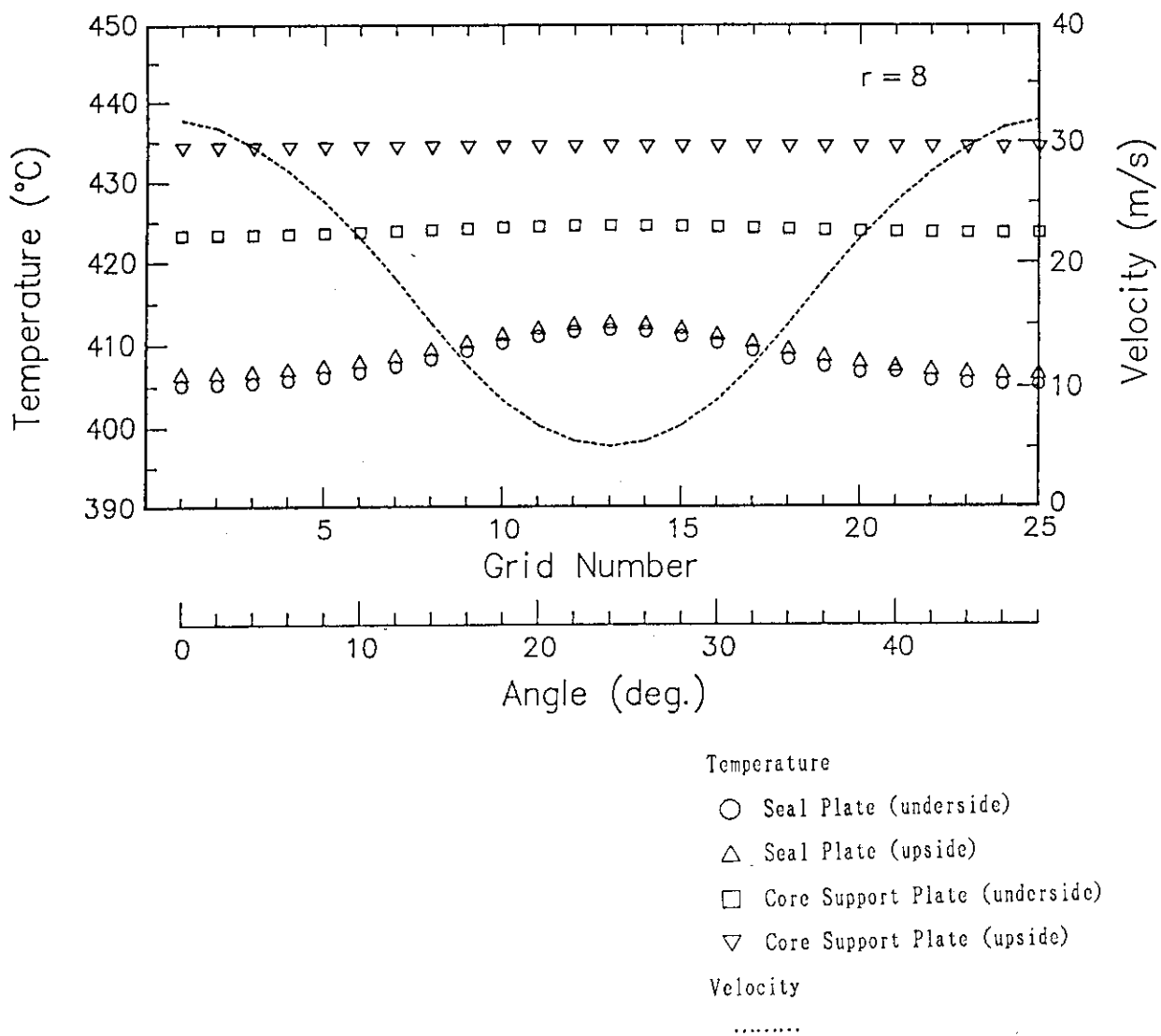


Fig. 4.3 Temperature distribution of metallic core support structure and velocity profile of coolant (Coordinate:  $r=8$ )

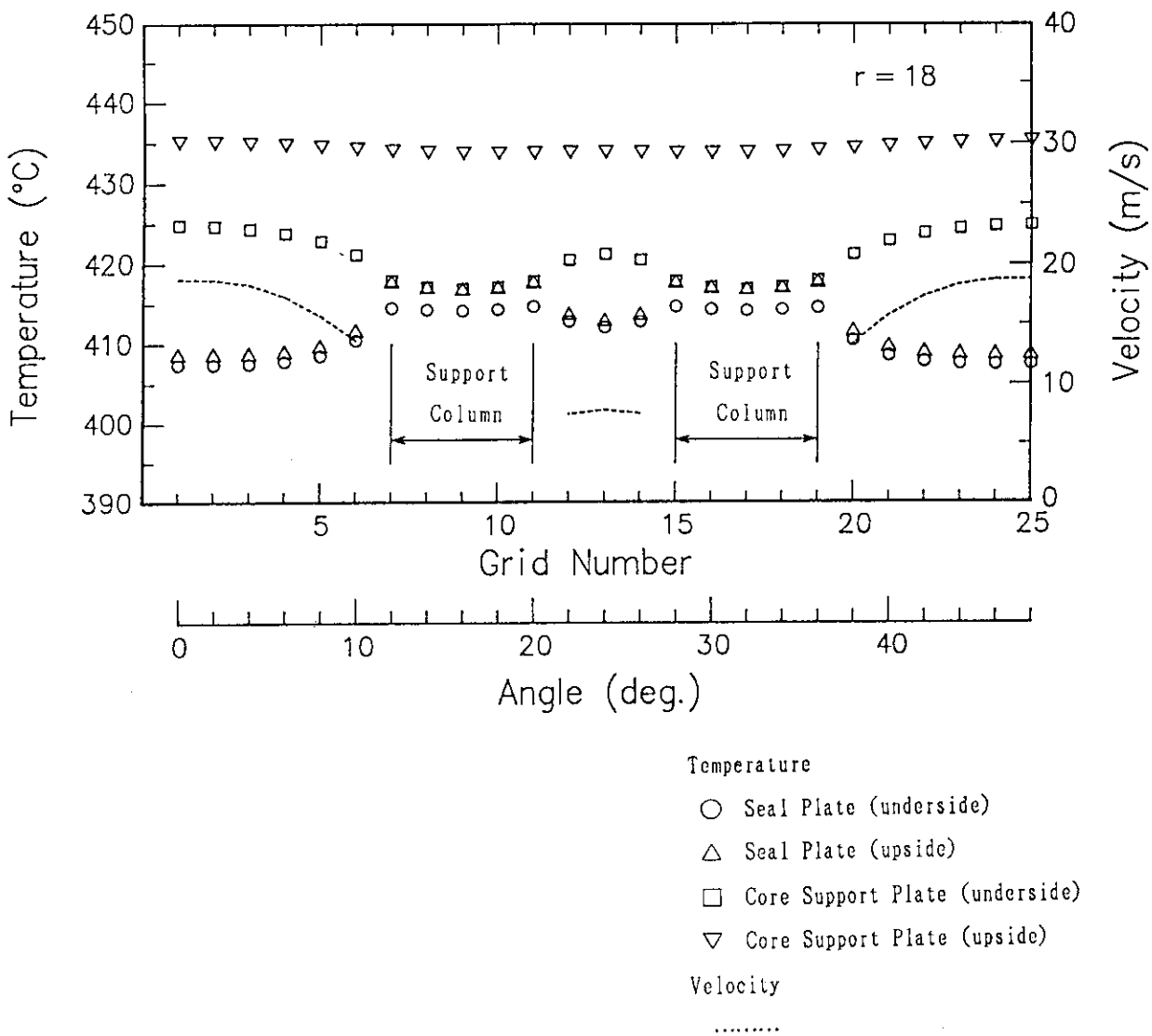


Fig. 4.4 Temperature distribution of metallic core support structure and velocity profile of coolant (Coordinate:  $r=18$ )



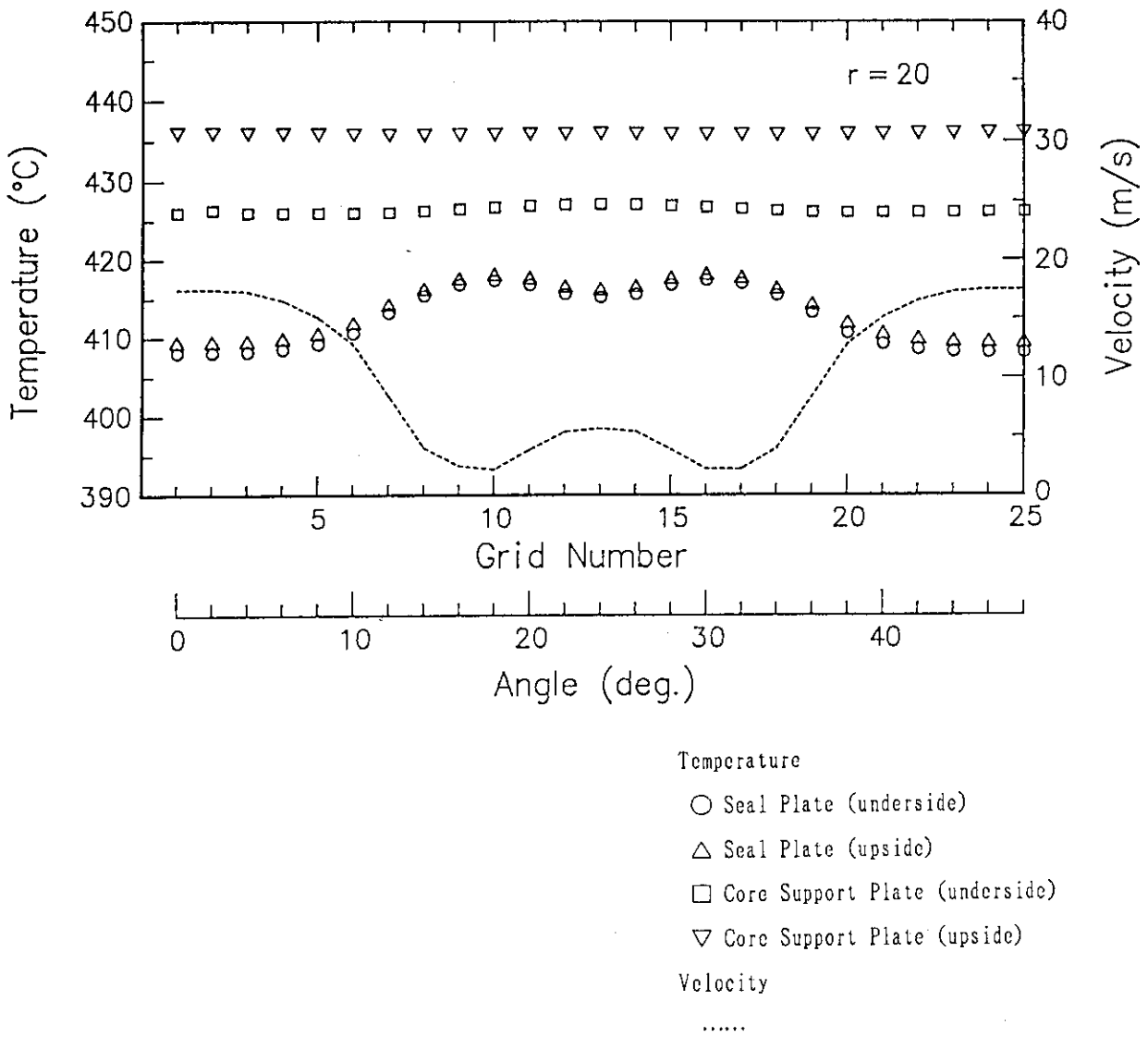


Fig. 4.5 Temperature distribution of metallic core support structure and velocity profile of coolant (Coordinate:  $r:20$ )

## 5. 結 言

炉心支持板下面の冷却材の流動解析と構造物の熱解析により、以下の結論を得た。

- (1) 冷却材の流れは、支持板支持柱の影響により周方向に偏流を生じるが、規則的な分布を示す。
- (2) 上記の分布は、補助ヘリウム配管の近傍で乱されるが、炉心支持板の外周部に向かうにつれて、その乱れは低減される。
- (3) 本検討の流量範囲内（原子炉出口温度 850 °C の定格運転時の流量からその 50 % 流量まで）では、流れの分布状態（偏流等）は流量に依存しない。
- (4) 冷却材の偏流は、シールプレートの温度分布に影響を及ぼすが、炉心支持板の温度分布には及ぼす影響は非常に小さい。
- (5) 炉心支持板の温度分布は、支持板支持柱との接触部で変動（低下）するが、接触部と非接触部との温度差は 10 °C 以下であり、原子炉の安全性に影響を及ぼすような熱応力及び変形等は生じない。

## 謝 辞

本検討にあたり、貴重な御助言を頂いた高温工学試験研究炉開発部次長 斎藤伸三氏、同部 HTTR 計画室長 数土幸夫氏、同部 HTTR 原子炉開発室長 田中利幸氏 及び同部プラント開発室長 馬場治氏、高温工学部 HENDEL 開発試験室長 宮本喜辰氏 に感謝する。また、解析コード STREAM の使用にあたり、御助言、御協力頂いた計算センター 横川三津夫氏 に謝意を表す。

## 参 考 文 献

- (1) 稲垣 他；「高温工学試験研究炉（HTTR）炉心支持黒鉛構造物の健全性」，JAERI-M 90-020（1990）。
- (2) 藤本 他；「高温工学試験研究炉の炉心入口冷却材の温度評価」，JAERI-M 89-049（1989）。
- (3) 功刀 他；「3次元熱流体解析コード 'STREAM' のベクトル化と高機能化」，JAERI-M 88-119（1988）。
- (4) 稲垣 他；「HTTR 炉床部における冷却材の混合実験および数値解析」，日本機械学会論文集（B編）55巻 514号（1989），pp. 1692 - 1697。

## 5. 結 言

炉心支持板下面の冷却材の流動解析と構造物の熱解析により、以下の結論を得た。

- (1) 冷却材の流れは、支持板支持柱の影響により周方向に偏流を生じるが、規則的な分布を示す。
- (2) 上記の分布は、補助ヘリウム配管の近傍で乱されるが、炉心支持板の外周部に向かうにつれて、その乱れは低減される。
- (3) 本検討の流量範囲内（原子炉出口温度 850 °C の定格運転時の流量からその 50 % 流量まで）では、流れの分布状態（偏流等）は流量に依存しない。
- (4) 冷却材の偏流は、シールプレートの温度分布に影響を及ぼすが、炉心支持板の温度分布には及ぼす影響は非常に小さい。
- (5) 炉心支持板の温度分布は、支持板支持柱との接触部で変動（低下）するが、接触部と非接触部との温度差は 10 °C 以下であり、原子炉の安全性に影響を及ぼすような熱応力及び変形等は生じない。

## 謝 辞

本検討にあたり、貴重な御助言を頂いた高温工学試験研究炉開発部次長 斎藤伸三氏、同部 HTTR 計画室長 数土幸夫氏、同部 HTTR 原子炉開発室長 田中利幸氏 及び同部プラント開発室長 馬場治氏、高温工学部 HENDEL 開発試験室長 宮本喜晟氏 に感謝する。また、解析コード STREAM の使用にあたり、御助言、御協力頂いた計算センター 横川三津夫氏 に謝意を表す。

## 参 考 文 献

- (1) 稲垣 他；「高温工学試験研究炉（HTTR）炉心支持黒鉛構造物の健全性」，JAERI-M 90-020（1990）。
- (2) 藤本 他；「高温工学試験研究炉の炉心入口冷却材の温度評価」，JAERI-M 89-049（1989）。
- (3) 功刀 他；「3次元熱流体解析コード 'STREAM' のベクトル化と高機能化」，JAERI-M 88-119（1988）。
- (4) 稲垣 他；「HTTR 炉床部における冷却材の混合実験および数値解析」，日本機械学会論文集（B編）55巻 514号（1989），pp. 1692 - 1697。

## 5. 結 言

炉心支持板下面の冷却材の流動解析と構造物の熱解析により、以下の結論を得た。

- (1) 冷却材の流れは、支持板支持柱の影響により周方向に偏流を生じるが、規則的な分布を示す。
- (2) 上記の分布は、補助ヘリウム配管の近傍で乱されるが、炉心支持板の外周部に向かうにつれて、その乱れは低減される。
- (3) 本検討の流量範囲内（原子炉出口温度 850 °C の定格運転時の流量からその 50 % 流量まで）では、流れの分布状態（偏流等）は流量に依存しない。
- (4) 冷却材の偏流は、シールプレートの温度分布に影響を及ぼすが、炉心支持板の温度分布には及ぼす影響は非常に小さい。
- (5) 炉心支持板の温度分布は、支持板支持柱との接触部で変動（低下）するが、接触部と非接触部との温度差は 10 °C 以下であり、原子炉の安全性に影響を及ぼすような熱応力及び変形等は生じない。

## 謝 辞

本検討にあたり、貴重な御助言を頂いた高温工学試験研究炉開発部次長 斎藤伸三氏、同部 HTTR 計画室長 数土幸夫氏、同部 HTTR 原子炉開発室長 田中利幸氏 及び同部プラント開発室長 馬場治氏、高温工学部 HENDEL 開発試験室長 宮本喜晟氏 に感謝する。また、解析コード STREAM の使用にあたり、御助言、御協力頂いた計算センター 横川三津夫氏 に謝意を表す。

## 参 考 文 献

- (1) 稲垣 他；「高温工学試験研究炉（HTTR）炉心支持黒鉛構造物の健全性」，JAERI-M 90-020（1990）。
- (2) 藤本 他；「高温工学試験研究炉の炉心入口冷却材の温度評価」，JAERI-M 89-049（1989）。
- (3) 功刀 他；「3次元熱流体解析コード 'STREAM' のベクトル化と高機能化」，JAERI-M 88-119（1988）。
- (4) 稲垣 他；「HTTR 炉床部における冷却材の混合実験および数値解析」，日本機械学会論文集（B編）55巻 514号（1989），pp. 1692 - 1697。

- (5) 辻 他：「高温工学試験研究炉炉心支持板下面における冷却材偏流の実験」，機械学会第68期全国大会講演会 講演論文集 Vol. C (1990)，pp. 418 - 419.
- (6) Donne, M.D. and Meerwald E. ; Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 16, 787 (1973).