

# 大型FBRにおける下部プレナム内流動最適化に関する検討

1993年4月

動力炉・核燃料開発事業団  
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

## 大型FBRにおける下部プレナム内流動最適化に関する検討

村松 寿晴\*, 一宮 正和\*\*

### 要 旨

大洗工学センター技術開発部プラント工学室では、電気事業者によるFBR実証炉の設計研究を適切に支援するため、大型FBR設計研究の一環として、電気出力60万kW級のプラントを対象に設計研究作業を実施してきている。この内、下部プレナム内の構造設計では、(1)有効混合容積の積極的な増加を図り、熱過渡条件を緩和させること、(2)流動挙動の最適化を図り、炉心構成要素内へのルースパーツの侵入を防止すること等が求められる。平成4年度下期作業では、冷却材流入角度をパラメータとした熱流動解析を多次元コードAQUAを用いて行い、以下の結果を得た。

[トラス入口窓（下部側部）における冷却材流入流量の分担特性]

- (1) 定格流量条件では、冷却材入口角度を $22.5^\circ$ とした場合にその分担が概ね等しくなる。
- (2) この特性は、手動トリップ事象を模擬した過渡解析条件においても概ね保存される。

[有効混合容積]

- (1) 手動トリップ事象を模擬した過渡解析結果より、下部プレナム内容積の約77-79%が冷却材混合に寄与することが明かとなった。

[ルースパーツ捕獲特性]

- (1) ルースパーツを流体力により捕獲するための条件 ( $W < 1.0\text{m/s}$ ) は、今回解析を実施した冷却材流入角度をパラメータとした条件のみでは実現できない。

---

\* : 大洗工学センター安全工学部原子炉工学室

\*\* : 大洗工学センター技術開発部プラント工学室

April, 1993

Investigation on Thermohydraulics Optimization in the Lower  
Plenum of Large Scale FBR

Toshiharu Muramats\*, Masakazu Ichimiya\*\*

Abstract

In-vessel thermohydraulic analysis using a multi-dimensional code AQUA was conducted to investigate thermohydraulic conditions in the lower plenum of a large scale liquid metal fast breeder reactor (LMFBR). In the investigation, it was focused in a effective mixing volume in the plenum and in a loose parts trapping by hydraulic forces. Through the analysis by the AQUA code and discussions based on their results, the following results have been obtained:

[In-Flow Allotment Characteristics at the Truss]

- (1) Mass flow rate between lower flow holes and side flow holes to the truss was balanced in the case of  $22.5^\circ$  for the coolant inlet angle to the plenum under a full flow condition.
- (2) The above result did not change with the transient conditions simulating a manual reactor trip event.

[Effective Mixing Volume]

- (1) From the transient calculation, it was clear that the effective mixing volume was corresponded to 77-79% of the total volume in the plenum.

[Loose Parts Trapping]

- (1) A condition ( $W < 1.0\text{m/s}$ ) to trap loose parts by hydraulic forces was not satisfied under parametric calculations only considered here.

---

\* : Reactor Engineering Section, Safety Engineering Division, OEC, PNC

\*\* : Plant Engineering Office, Technolgh Development Division, OEC, PNC

## 目 次

第1章 緒 言 .....	1
第2章 原子炉構造 .....	2
第3章 冷却材流入角度に関する定常解析 .....	3
3.1 解析体系および解析条件 .....	3
3.2 解析結果 .....	3
3.3 検 討 .....	5
第4章 冷却材混合効果に関する過渡解析 .....	6
4.1 解析体系および解析条件 .....	6
4.2 解析結果 .....	6
4.3 検 討 .....	7
第5章 評 価・考 察 .....	9
5.1 トーラス入口窓における冷却材流入流量の分担特性 .....	9
5.2 下部プレナム有効混合容積 .....	9
5.3 ルースパーツの捕獲特性および再浮遊特性 .....	9
5.4 下部プレナム内流動最適化に関する総合評価 .....	10
第6章 結 言 .....	12
参考文献 .....	13
謝 辞 .....	14

## List of Figures

- Fig. 2. 1 Cut-View of Reactor Vessel
- Fig. 2. 2 Vertical Cut-View of Lower Internal Structure
- Fig. 2. 3 Horizontal Cut-View of Lower Internal Structure
- Fig. 3. 1 Mesh Arrangement for  $r$ - $z$  Planes
- Fig. 3. 2 Mesh Arrangement for  $r$ - $\theta$  Planes(1/2)
- Fig. 3. 2 Mesh Arrangement for  $r$ - $\theta$  Planes(2/2)
- Fig. 3. 3 Inlet Nozzle Modeling
- Fig. 3. 4 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-1 Condition(1/3)
- Fig. 3. 4 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-1 Condition(2/3)
- Fig. 3. 4 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-1 Condition(3/3)
- Fig. 3. 5 Calculated Horizontal Velocity Vector Fields for the Case-1 Condition(1/2)
- Fig. 3. 5 Calculated Horizontal Velocity Vector Fields for the Case-1 Condition(2/2)
- Fig. 3. 6 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-2 Condition(1/3)
- Fig. 3. 6 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-2 Condition(2/3)
- Fig. 3. 6 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-2 Condition(3/3)
- Fig. 3. 7 Calculated Horizontal Velocity Vector Fields for the Case-2 Condition(1/2)
- Fig. 3. 7 Calculated Horizontal Velocity Vector Fields for the Case-2 Condition(2/2)
- Fig. 3. 8 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-3 Condition(1/3)
- Fig. 3. 8 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-3 Condition(2/3)
- Fig. 3. 8 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-3 Condition(3/3)
- Fig. 3. 9 Calculated Horizontal Velocity Vector Fields for the Case-3 Condition(1/2)
- Fig. 3. 9 Calculated Horizontal Velocity Vector Fields for the Case-3 Condition(2/2)
- Fig. 3.10 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-4 Condition(1/3)
- Fig. 3.10 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-4 Condition(2/3)
- Fig. 3.10 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-4 Condition(3/3)
- Fig. 3.11 Calculated Horizontal Velocity Vector Fields for the Case-4 Condition(1/2)
- Fig. 3.11 Calculated Horizontal Velocity Vector Fields for the Case-4 Condition(2/2)
- Fig. 3.12 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-5 Condition(1/3)
- Fig. 3.12 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-5 Condition(2/3)
- Fig. 3.12 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-5 Condition(3/3)

- Fig. 3.13 Calculated Horizontal Velocity Vector Fields for the Case-5 Condition(1/2)
- Fig. 3.13 Calculated Horizontal Velocity Vector Fields for the Case-5 Condition(2/2)
- Fig. 3.14 Comparison of Vertical Velocity Vector Fields(1/3)
- Fig. 3.14 Comparison of Vertical Velocity Vector Fields(2/3)
- Fig. 3.14 Comparison of Vertical Velocity Vector Fields(3/3)
- Fig. 3.15 Comparison of Horizontal Velocity Vector Fields(1/3)
- Fig. 3.15 Comparison of Horizontal Velocity Vector Fields(2/3)
- Fig. 3.15 Comparison of Horizontal Velocity Vector Fields(3/3)
- Fig. 3.16 Circumferential Distribution of Axial Velocity Component at the Truss Inlet Position
- Fig. 3.17 Circumferential Distribution of Axial Velocity Component at the Side Position of Truss
- Fig. 4. 1 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for J=3 and J=28(1/2)
- Fig. 4. 1 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for J=3 and J=28(2/2)
- Fig. 4. 2 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for J=13 and J=18(1/2)
- Fig. 4. 2 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for J=13 and J=18(2/2)
- Fig. 4. 3 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for J=14 and J=27(1/2)
- Fig. 4. 3 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for J=14 and J=27(2/2)
- Fig. 4. 4 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for J=15 and J=16(1/2)
- Fig. 4. 4 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for J=15 and J=16(2/2)
- Fig. 4. 5 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for K=1(1/2)
- Fig. 4. 5 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for K=1(2/2)
- Fig. 4. 6 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for K=8(1/2)
- Fig. 4. 6 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for K=8(2/2)
- Fig. 4. 7 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for K=14 (1/2)

- Fig. 4. 7 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for K=14  
(2/2)
- Fig. 4. 8 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for K=19  
(1/2)
- Fig. 4. 8 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for K=19  
(2/2)
- Fig. 4. 9 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for K=21  
(1/2)
- Fig. 4. 9 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for K=21  
(2/2)
- Fig. 4.10 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for K=28  
(1/2)
- Fig. 4.10 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for K=28  
(2/2)
- Fig. 4.11 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for K=31  
(1/2)
- Fig. 4.11 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for K=31  
(2/2)
- Fig. 4.12 Calculated Temperature Transients at Horizontal Center Positions of Lower Plenum
- Fig. 4.13 Calculated Temperature Transients at Peripheral Positions of Lower Plenum
- Fig. 4.14 Change of Axial Temperature Distributions at the Horizontal Center Position
- Fig. 4.15 Change of Axial Temperature Distributions at the Peripheral Position
- Fig. 5. 1 Allotment Characteristics of Flow Rate at the Truss Inlet Holes for Steady-State Condition
- Fig. 5. 2 Change of Allotment Characteristics of Flow Rate in Transient Phase
- Fig. 5. 3 Comparison of Temperature Transients at the Inlet Position of Higher Pressure Plenum and a Perfect Mixed Temperature Transient
- Fig. 5. 4 Comparison of Radial Distributions of Axial Velocity Component at K=8
- Fig. 5. 5 Comparison of Radial Distributions of Axial Velocity Component Along the Bottom Wall of Reactor Vessel



## 第1章 緒 言

大洗工学センター技術開発部プラント工学室では、電気事業者によるFBR実証炉の設計研究を適切に支援するため、大型FBR設計研究の一環として、電気出力60万kW級のプラントを対象に設計研究作業を実施してきている。

この内、下部プレナム内の構造設計では、(1)有効混合容積の積極的な増加を図り、熱過渡条件を緩和させることおよび(2)流動挙動の最適化を図り、炉心構成要素内へのルースパーツの侵入を防止することが求められる。有効混合容積を増加させる方策では、高速原型炉「もんじゅ」において採用されている様に、原子炉入口配管端から下部プレナム内への冷却材流入角度等を最適化（旋回流動促進のための配管のひねり、吹き出し流速増加のためのしぼり等）することが考えられる。一方、ルースパーツ対策では、根本的には下部プレナム内での最大流速を減少させることが最も有効である。したがって、下部プレナム内の構造設計では、有効混合容積の増加方策とルースパーツ対策とを両立させる上で、部分的に相反する要求を設計側に求めることになる。

本報では、平成4年度下期作業として原子炉工学室が実施した下部プレナム内流動最適化に関する検討結果について述べる。

## 第2章 原子炉構造

ここで検討の対象となる原子炉は、Fig. 2.1に示す電気出力60万kW級の大型炉である。1次主冷却系配管は、炉容器ヘッドアクセス方式によって炉容器上部フランジ上方より挿入されるため、原子炉容器はノズルの無い単純形状となる。なお、原子炉容器の主要寸法は、内径8.4m、高さ16m(上部フランジから下部鏡まで)、厚さ50mmである。

炉内構造支持構造物の構成をFig. 2.2 - Fig. 2.3に示す。炉内構造支持構造物は、下部炉心支持板、高圧プレナム入口トラス、受け皿等から成り、同構造物には縦リブを設けて剛性増加を図り、差圧等による鉛直方向変位を抑制する。

### 第3章 冷却材流入角度に関する定常解析

#### 3.1 解析体系および解析条件

解析検討上のパラメータは、原子炉入口配管端から下部プレナム内への冷却材流入角度（周方向）である。以下に、解析条件を列記する。

解析対象範囲	原子炉入口配管端より高圧プレナム入口窓まで
プラント状態	定格負荷運転状態
冷却材流量	2803.33kg/s/loop
冷却材温度	380.0 °C
冷却材流入角度	0.0 ° (Case-1, 鉛直方向)
( $\theta$ )	22.5° (Case-2)
	45.0° (Case-3)
	67.5° (Case-4)
	90.0° (Case-5, 水平方向)

また、数値計算条件を以下に列記する。

座 標 系	$r-\theta-z$ , 3次元円筒座標
メッシュ分割	$34^l \times 90^l \times 31^k$ (Fig. 3.1 - Fig. 3.2 参照)
入口配管モデル	Fig. 3.3 参照
時間積分法	修正ICE法
対流項差分法	運動量式: QUICK法 乱流量式: 1次風上差分法
圧力方程式解法	点SOR法
乱流モデル	$k-\epsilon$ 2方程式モデル

#### 3.2 解析結果

[Case-1,  $\theta=0.0^\circ$ ]

主要な垂直断面 (J=1, 2, 3, 4, 5, 6, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 25, 26, 27, 28, 29および30) での流速ベクトル図をFig. 3.4に、また、水平断面 (K=1, 8, 16, 21, 23, 25 および28) での流速ベクトル図をFig. 3.5に示す。冷却材の流れの様子は、次の通りである。すなわち、原子炉入口配管端から鉛直方向に流出した冷却材は、炉容器低部壁に衝突する (J=16参照) ため、そのベクトルは半径方向および周方向に向きを変える (K=8参照)。この挙動は、原子炉入口配管3ループについて共通である。この後冷却材は、炉容器壁に沿って半径方向 (炉容器中心方

向) および周方向に輸送され, 原子炉入口配管同士の周方向中心領域 (K=16参照) で鉛直方向に向きを変える (J=1参照)。さらにこの冷却材は, 受け皿下面に沿って下部プレナム内に停留するものと, 高圧プレナム入口トラス下部窓に流入するものとに分離する。したがって, 下部プレナム内には, 合計6個の主循環渦が形成される。

[Case-2,  $\theta = 22.5^\circ$  ]

上記と同様な位置における流速ベクトル図を, Fig. 3.6 – Fig. 3.7に示す。結果より分かる通り, 基本的な流動状況は, Case-1でのものと同様である。ただし, 原子炉入口配管端からの冷却材流入角度として $22.5^\circ$  が与えられているため, 炉容器壁近傍領域についてのみ周方向に一巡する冷却材流れが発生している (K=16, 19, 21参照)。

[Case-3,  $\theta = 45.0^\circ$  ]

Fig. 3.8 – Fig. 3.9に流速ベクトル図を示す。結果より分かる通り, 原子炉入口配管端からの冷却材流入角度が $45.0^\circ$  と大きくなったことにより, 前記2ケースでの結果と比較して違いが生じ始めている。すなわち, 原子炉入口配管端から下部プレナム内に流入した冷却材は, 炉容器底部壁に衝突してその向きを変える (J=16参照) もの, 周方向を一巡する冷却材流れが顕著であるため, 炉容器中心方向に向う冷却材流れは極めて小さなものとなっている。さらに, K=16, 19および21の水平断面での結果より分かる通り, 原子炉入口配管の存在により周方向を一巡する冷却材流れが局所的に阻害されるようになるため, 原子炉入口配管の裏側領域には剝離挙動による停留場が形成される。

[Case-4,  $\theta = 67.5^\circ$  ]

垂直断面および水平断面での流速ベクトル図を, Fig. 3.10 – Fig. 3.11に示す。このケースでは, 原子炉入口配管端からの冷却材流入角度が $67.5^\circ$  としていることから, Case-3 ( $\theta = 45.0^\circ$ ) での特徴をさらに強調した結果となっている。すなわち, 炉容器中心部においては半径方向および軸方向の流速成分が周方向でのそれに比べて極めて微小であると共に, 周方向を一巡する冷却材流れの程度が大きくなっている。

[Case-5,  $\theta = 90.0^\circ$  ]

Fig. 3.12 – Fig. 3.13に, 垂直断面および水平断面についての流速ベクトル図を示す。当該ケースは, 原子炉入口配管端から周方向水平方向に冷却材が流出する条件であるため, 原子炉入口配管端より下側の下部プレナム領域では, 半径方向および軸方向の流速成分が極めて小さなものとなっている (Fig. 3.12参照)。水平断面での結果では, 原子炉入口配管の裏側領域に生じている停留場の範囲が広がっている (K=16参照)。

### 3.3 検 討

垂直断面での流速ベクトルとして、 $J=3, 13, 15, 16, 18$  および28での結果を各ケースについてFig. 3.14に比較する。また、水平断面での結果として、 $K=8, 21$ および28を各ケースについてFig. 3.15に比較して示す。垂直断面での結果では、前節で述べた様に、原子炉入口配管端から下部プレナムへの冷却材流入角度を増加させる（Case-1…>Case-5）に従って、炉容器中心領域を半径方向にあるいは軸方向に循環する冷却材流れが急激に減少する。一方、水平断面での結果では、冷却材流入角度を増加させるに従って、周方向を一巡する冷却材流れが顕著となる。

Fig. 3.16に、高圧プレナム入口トラス下部窓（ $I=25, J=1, 90, K=21$ ）での軸方向流速成分の周方向分布特性について各ケースを比較する。まず、冷却材流入角度を $0.0^\circ$ としたCase-1の結果では、原子炉入口配管同士の周方向中央領域（ $0.1\text{rad.}, 2.2\text{rad.}, 4.3\text{rad.}$ の各近傍）に大きなピークが現れる。これは、原子炉入口配管端から流出した冷却材が炉容器底部壁に衝突し、この冷却材が原子炉入口配管同士の周方向中央領域で鉛直方向にベクトルを変えることに起因する。一方、冷却材流入角度を $22.5^\circ$ としたCase-2では、軸方向流速成分の周方向分布に若干の凹凸が残るものの、そのピーク絶対値はCase-1での値の約  $1/3$ に減少する。ただし、冷却材流入角度を増加させるに従って、このピーク絶対値も増加する傾向を示す。これは、Case-1での解釈とは異なり、原子炉入口配管の存在により周方向を一巡する冷却材流れが局所的に阻害されたことに起因する。すなわち、原子炉入口配管に衝突した冷却材は、その直上に存在する高圧プレナム入口トラスの下部窓に流入することによる。一方、原子炉入口配管の裏側領域には剝離挙動による冷却材の停留場が形成され、ここでの圧力が急激に低下するため、高圧プレナム入口トラスの下部窓からの冷却材吸出し（負の軸方向流速）が発生する。

Fig. 3.17に、高圧プレナム入口トラスの側部窓近傍（ $I=33, J=1, K=26$ ）での軸方向流速成分の周方向分布特性について各ケースを比較する。結果より分かる通り、同位置での軸方向流速成分の絶対値は、冷却材流入角度を $22.5^\circ$ とした場合に最も小さな値を与える。また、その周方向分布についても、同流入角度の場合に最も平坦化される。以上より、定格負荷運転時において、炉心構成要素に周方向均等に冷却材を供給する観点からは、高圧プレナム入口トラスの入口窓近傍で軸方向流速成分の周方向分布が少ないCase-2（冷却材流入角度 $22.5^\circ$ ）が望ましいと考えられる。したがって、次章で行う過渡時における下部プレナム内熱流動現象の評価は、冷却材流入角度を $22.5^\circ$ とした条件について行うものとする。

## 第4章 冷却材混合効果に関する過渡解析

### 4.1 解析体系および解析条件

ここで用いる解析体系は、前章で使用した5種類の解析体系の内の冷却材流入角度を $22.5^\circ$ とした条件でのものと同じである。解析内容は、手動トリップ発生後に生じる原子炉入口温度コールドショック条件での下部プレナム内冷却材混合事象である。以下に、解析条件を列記する。

解析対象範囲	原子炉入口配管端より高圧プレナム入口窓まで
プラント状態	ポニーモーター流量による崩壊熱除去運動状態
冷却材流量	269.12kg/s/loop (9.6%流量条件)
冷却材温度	380.0 °C (at 0.0 sec, 初期条件) 380.0 °C-340.0°C (to 2.0 sec, 20°C/s Cold Shock Condition) 340.0 °C (for 300.0 sec)
冷却材流入角度	$22.5^\circ$

また、数値計算条件を以下に列記する。

座 標 系	$r-\theta-z$ , 3次元円筒座標
メッシュ分割	$34^1 \times 90^1 \times 31^1$ (Fig. 3.1 - Fig. 3.2 参照)
入口配管モデル	Fig. 3.3 参照
時間積分法	完全陰解法 (修正SIMPLER 法)
対流項差分法	1次風上差分法
圧力方程式解法	点SOR法
乱流モデル	$k-\epsilon$ 2方程式モデル

### 4.2 解析結果

垂直断面での温度流速分布の時間推移として、 $J=3, 13-18$ および $28$ での結果をFig. 4.1 - Fig. 4.4に示す。また、水平断面での温度流速分布推移として、 $K=1, 8, 14, 19, 21, 28$  および $31$ での結果をFig. 4.5 - Fig. 4.11に示す。

まず、初期ポニーモーター流量条件 ( $380.0^\circ\text{C}$ 等温)での下部プレナム内流動状況は、前章で示したCase-2条件 (100%流量条件)での結果に酷似している。すなわち、原子炉入口配管端から鉛直方向に流出した冷却材は、炉容器底部壁に衝突するため、そのベクトルは半径方向および周方向に向きを変える。この挙動は、原子炉入口配管3ループについて共通で

ある。この後冷却材は、炉容器壁に沿って半径方向（炉容器中心方向）および周方向に輸送され、原子炉入口配管同士の周方向中心領域で鉛直方向に向きを変える。さらにこの冷却材は、受け皿下面に沿って下部プレナム内に停留するものと、高圧プレナム入口トラス下部窓に流入するものとに分離する。ただし、原子炉入口配管から流出する冷却材の慣性力は、前章で示した 100%流量条件でのものに比べて極めて小さくなっているため、下部プレナム内に発生する局所渦の強度は小さなものとなっている。

過渡条件印加後の下部プレナム内熱流動挙動では、全体的な特徴として、下部プレナム内底部での温度変化がその上部でのものより時間的に早めに現れる。これは、今回の過渡条件がコールドショック事象であると同時に、下部プレナム内での流動挙動が初期条件でのそれをほぼ保持していることに起因する。すなわち、原子炉入口配管から流出した低温冷却材は、まず炉容器底部壁に衝突し、この後炉容器底部壁に沿いながら半径方向および周方向にそのベクトルを変えるためである。ただし、原子炉入口配管近傍（例えば、 $J=14$ 等）では、同配管から流出した低温冷却材が直接高圧プレナム入口トラスに流入する様子が見られる。当該位置近傍では、その直接流入によって、高圧プレナム入口トラスの周方向に温度分布が形成される。

### 4.3 検討

Fig. 4.12およびFig. 4.13に、下部プレナム内各点での温度推移を示す。Fig. 4.12に示した炉容器中心近傍（ $I=1$ ,  $J=28$ ,  $K=1, 8, 14$  および19）での温度推移では、同位置が下部プレナム内から高圧プレナム入口トラスに冷却材が流入する主要経路となっていることから、高圧プレナム直下の $K=19$ での温度降下が顕著となる。その他の炉容器下部位置における温度推移については、極めて緩慢な挙動を示す。一方、Fig. 4.13に示した高圧プレナム入口トラスの下部窓中央直下（ $I=25$ ,  $J=28$ ,  $K=8, 14, 21, 28$ および31）での挙動では、前節で述べた様に、下部プレナム底部より温度変化が始まり、徐々にその上部に移行する。この結果、下部プレナム内の軸方向には、比較的大きな温度勾配を持つ温度成層化現象が発生する。

Fig. 4.14に炉容器中心位置近傍（ $I=1$ ,  $J=28$ ,  $K=1-21$ ）における軸方向温度分布の時間的推移を、またFig. 4.15に高圧プレナム入口トラスの下部窓中央直下（ $I=25$ ,  $J=28$ ,  $K=6-31$ ）における軸方向温度分布の時間推移を示す。まず、炉容器中心位置近傍での結果では、下部プレナム下部（底部より2mまで）での温度変化は極めて微小である。これは、その分布形状からも明かな様に、原子炉入口配管より流出した低温冷却材が炉容器中心位置までは対流挙動により輸送されず、エネルギー輸送は概ね熱伝導により支配されていることに起因する。なお、下部プレナム上部で温度低下が顕著に現れている領域は、高圧プレナム下部指示板と受け皿とに挟まれた軸方向空間に相当する。この領域では、冷却材が高圧プレナム入口トラスに流入する過程において、その余剰分が同領域に流入して冷却材の入れ換えが生じるた

め、温度変化が顕著に現れる。Fig. 4.15に示した高圧プレナム入口トラスの下部窓中央直下での結果では、温度成層化現象が徐々に成長し、また減衰してゆく様子が明確に現れている。以下に、各時間断面での温度勾配最大値を示す。

5.0 sec	25.6°C/m
10.0 sec	51.2°C/m
50.0 sec	32.9°C/m
100.0 sec	18.3°C/m
200.0 sec	12.8°C/m
300.0 sec	9.1°C/m



## 第5章 評価・考察

### 5.1 トーラス入口窓における冷却材流入流量の分担特性

本節では、高圧プレナム入口トーラス設備に設けられている下部流入窓と側部流入窓との間の流入冷却材分担特性について述べる。この特性は、高圧プレナム入口トーラス外側に形成されるキャビティー空間において、過渡事象発生時に生じると考えられる温度成層化現象の解消過程の速度を左右する。Fig. 5.1に、定格負荷運転状態において、下部プレナム内への冷却材流入角度をパラメータとした場合（第2章参照）の同分担特性を示す。結果より分かる通り、冷却材流入角度を大きくするに従って、高圧プレナム入口トーラスの側部に設けられた流入窓からの流入冷却材の割合が増加する。これは、冷却材流入角度を大きくした場合、下部プレナム内での流動がほぼ周方向を一巡する流れに支配され、半径方向および軸方向での流速成分の割合が極端に減少するためである。Fig. 5.2に、冷却材流入角度を $22.5^{\circ}\text{C}$ とした条件での、過渡期間における分担特性を示す。結果より分かる通り、同分担特性は、過渡事象発生後、高圧プレナム入口トーラスの側部に設けられた流入窓からの流入冷却材の割合が、過渡事象発生前の値に比べて約15%程度減少するものの、その分担割合は概ね保持されている。これは、高圧プレナム入口トーラス外側のキャビティー空間に存在した冷却材が、過渡事象発生後も良好に冷却材の入れ換えが行われ、温度成層化現象等による高温冷却材の長期間の停留が発生しないことを示唆する。

### 5.2 下部プレナム有効混合容積

Fig. 5.3に、第4章での過渡解析により得られた高圧プレナム入口窓における温度過渡と下部プレナム総容積を用いた完全混合温度過渡とを比較する。第4章での過渡解析により得られた当該部での温度過渡では、約50秒程度の時間遅れを持って温度降下を開始し、約 $-0.22^{\circ}\text{C}/\text{s}$ (50sec-150sec)および約 $-0.057^{\circ}\text{C}/\text{s}$ (150sec-300sec)の温度降下率により温度が低下する。結果より分かる通り、過渡解析により得られた実混合容積は、完全混合を仮定した場合の約77-79%に相当する。この値は、もんじゅでの結果<sup>1)</sup>である92%に及ばないものの、下部プレナム空間が冷却材混合に比較的良好に寄与していることを示している。

### 5.3 ルースパーツの捕獲特性および再浮遊特性

Fig. 5.4に、 $J=30$ ,  $K=8$ 位置における軸方向流速成分の半径方向分布を示す。当該周方向位置は、第3章で述べた様に、原子炉入口配管同士の周方向中央位置近傍に相当し、正の軸方向流速成分が大きくなる断面である。結果より分かる通り、下部プレナムへの冷却材流入

角度を大きくするに従って、同断面位置に現れる正の軸方向流速成分が急激に減少する。これは、冷却材流入角度の増加によって、周方向を一巡する流れが支配的となり、半径方向および軸方向の流速成分の割合が周方向でのそれに比べて大幅に減少するためである。以下に、各冷却材流入角度における軸方向流速成分の最大値を比較する。

0.0 °	7.535 m/s
22.5 °	5.488 m/s
45.0 °	2.698 m/s
67.5 °	1.023 m/s
90.0 °	0.744 m/s

文献2)によれば、原子炉入口配管端から炉内構造支持構造物入口（高圧プレナム入り口トラス部）までのいずれかの断面内において、軸方向流速として0.35m/s 以下が実現できれば、直径1.0mm以上または厚さ1.0mm以上の円柱状または平板状のルースパーツは高圧プレナム部下流側へは対流輸送されず、下部プレナム内に停留することが示されている。この結果に従えば、今回解析を行った全ての冷却材流入角度条件と対象とした下部プレナム構造は、ルースパーツを流体力により積極的に捕獲しようとする観点からは不適當である。

Fig. 5.5 に、J=30位置における軸方向流速成分の半径方向分布を示す。なお、軸方向位置は、原子炉容器下部鏡板に隣接する計算セルでの値を採用しているため、半径方向位置により変化する。ここに示した結果、炉容器下部に一旦沈降したルースパーツが、流体力によって再び巻き上げられ、対流輸送されるか否かの判定に用いることが可能と考えられるが、AQUAコードでは炉容器曲面形状を段階状に近似していることから何等かの補正処理が必要になると考えられる。図中に示した結果では、冷却材流入角度を増加させるに従って、原子炉容器下部鏡板に隣接する計算セルでの軸方向流速成分の値が減少している。これは、前記と同様に、冷却材流入角度変化による下部プレナム内流動状況の変化に起因する。以下に、各冷却材流入角度における軸方向流速成分の最大値を列記する。

0.0 °	3.057 m/s
22.5 °	2.016 m/s
45.0 °	1.626 m/s
67.5 °	1.821 m/s
90.0 °	0.195 m/s

#### 5.4 下部プレナム内流動最適化に関する総合評価

下部プレナム内流動最適化に及ぼす原子炉入口配管端から下部プレナム内への冷却材流入角度の効果について、以下に比較する。

		高圧プレナム入口部での周方向流量分布	高圧プレナム入口トラスへの流入流量分担	下部プレナム内有効混合容積	ルースパーツの捕獲および再浮遊
冷却材流入 角度 (°)	0.0	×	?	?	×
	22.5	○	○	○	↓
	45.0	×	?	?	
	67.5	×	?	?	
	90.0	×	?	?	△

なお、上表で用いたシンボルは、以下の意味である。

○：流動最適化上良好と考えられるもの

×：流動最適化上不良と考えられるもの

？：今回の解析のみでは良否の判定が行えないもの

△：判定条件は満足しないが、今回の一連の解析ケース内では比較的良好な結果を与えるもの

上表に示した結果より分かる通り、ルースパーツの捕獲および再浮遊に関する項目以外については、冷却材入角度を22.5°とした場合に下部プレナム内での流動最適化上最も良好な結果を与える。ルースパーツに係わる上記項目については、下部プレナム内構造に関する検討が今後必要である。

## 第6章 結 言

大洗工学センター技術開発部プラント工学室で設計研究が進められている大型炉について、下部プレナム内流動最適化に関する検討を行うため、多次元コードAQUAを用いて解析を行った。また、ここでの具体的検討項目は、(1)トーラス入口窓における冷却材流入流量の分担特性、(2)有効混合容積および(3)ルースパーツ捕獲特性である。

得られた結果は、次の通りである。

[トーラス入口窓（下部一側部）における冷却材流入流量の分担特性]

- (1) 定格流量条件では、冷却材入口角度を $22.5^\circ$ とした場合にその分担が概ね等しくなる。
- (2) この特性は、手動トリップ事象を模擬した過渡解析条件においても概ね保存される。

[有効混合容積]

- (1) 手動トリップ事象を模擬した過渡解析結果より、下部プレナム内容積の約 77-79%が冷却材混合に寄与することが明らかとなった。

[ルースパーツ捕獲特性]

- (1) ルースパーツを流体力により捕獲するための条件 ( $W < 1.0\text{m/s}$ ) は、今回解析を実施した冷却材流入角度をパラメータとした条件のみでは実現できない。

## 参 考 文 献

- 1) 村松 他, 单相他次元コードAQUAによる高速原型炉「もんじゅ」炉内熱流動解析(VII),  
原子炉容器下部プレナム内冷却材混合効果確認試験の解析, 近日発行予定
- 2) 林 他, 大型高速炉設計研究成果報告書, 60万kWe 級プラントの設計研究, PNC資料,  
PNC ZN9410 92-137, 1992年5月

## 謝 辞

作業に当り，AQUAコードによる解析および図形処理を担当して頂いた原子力システム株式会社の大山義彦氏に感謝の意を表します。

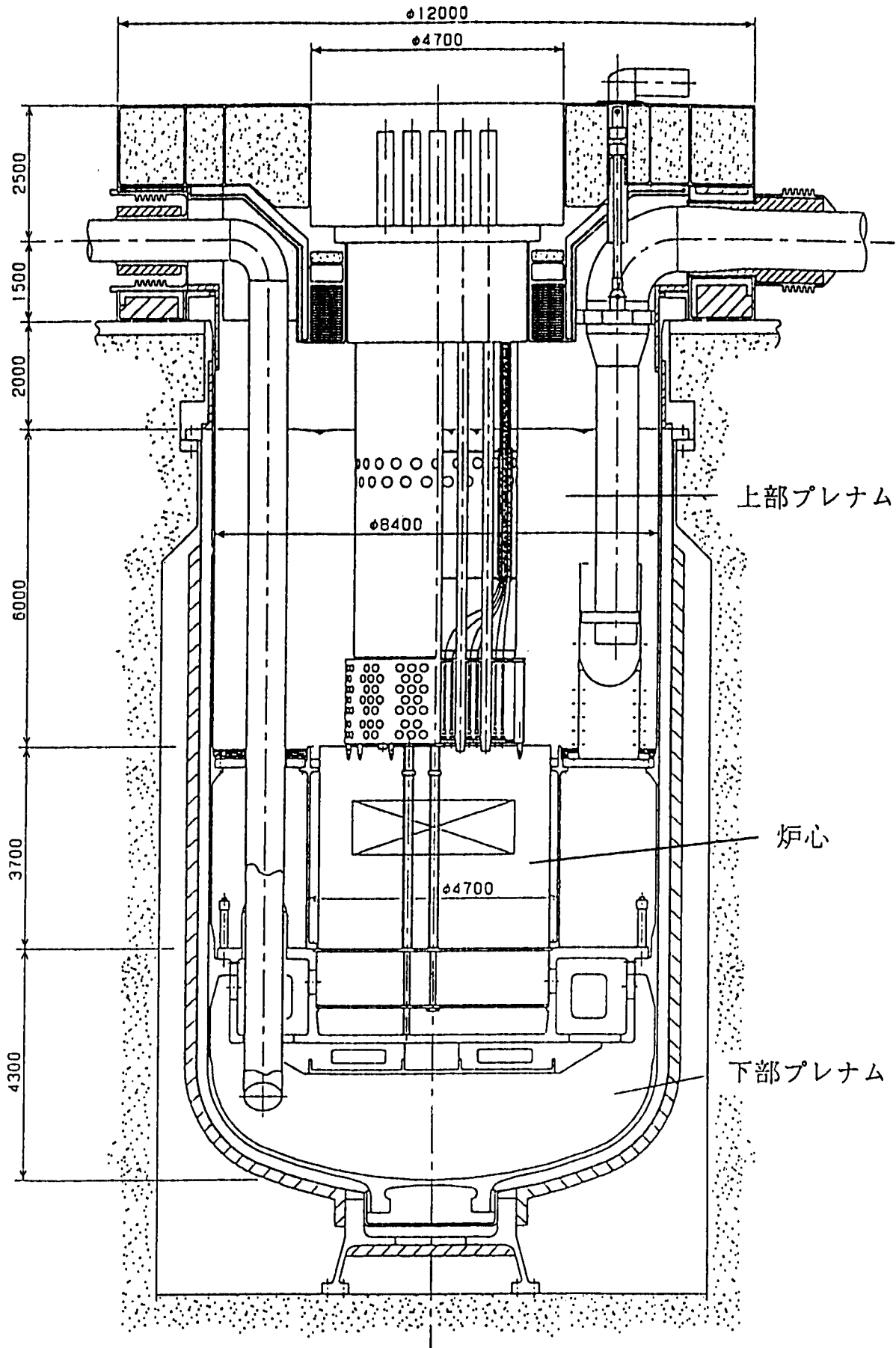


Fig. 2.1 Cut-View of Reactor Vessel

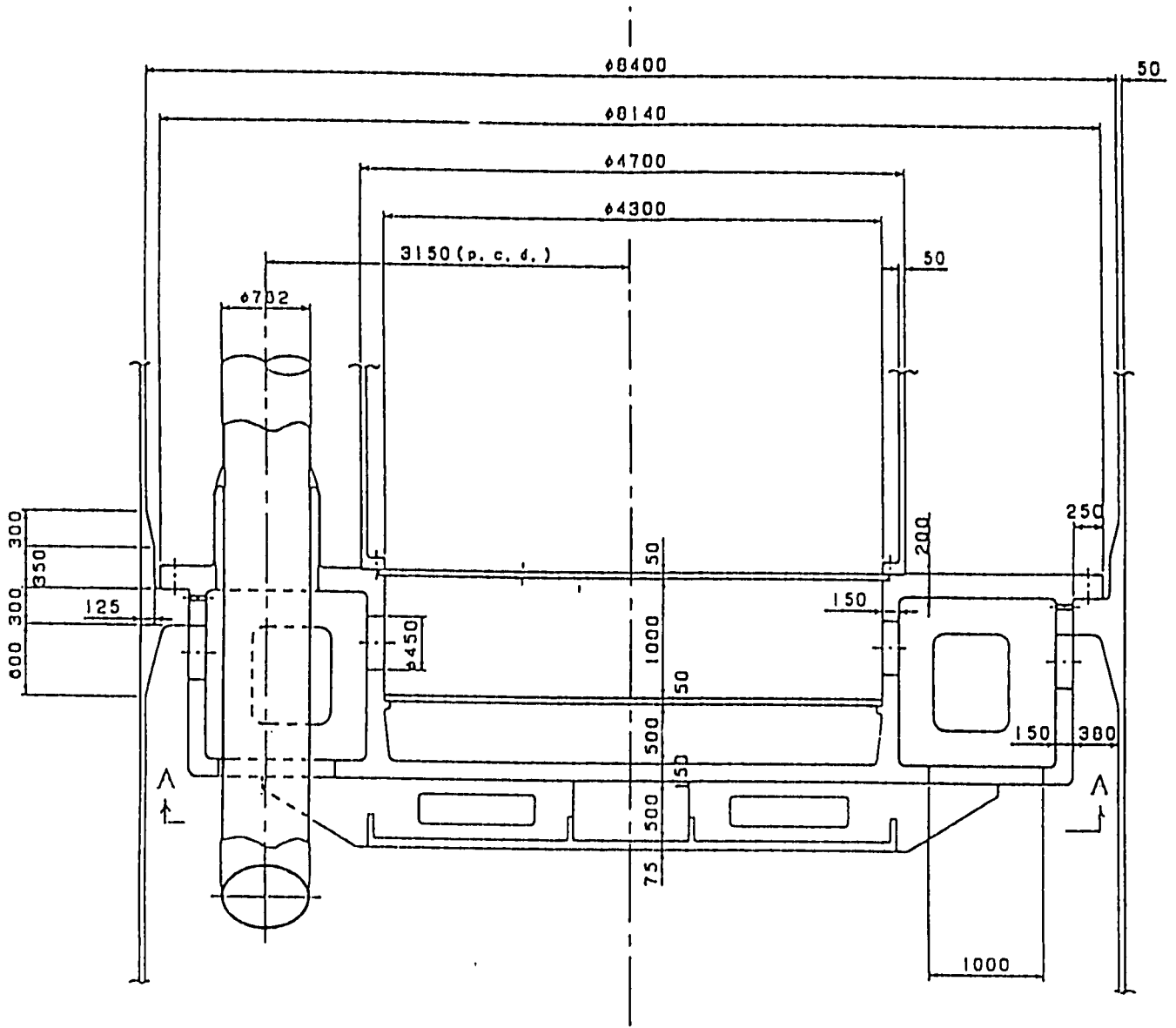


Fig. 2.2 Vertical Cut-View of Lower Internal Structure



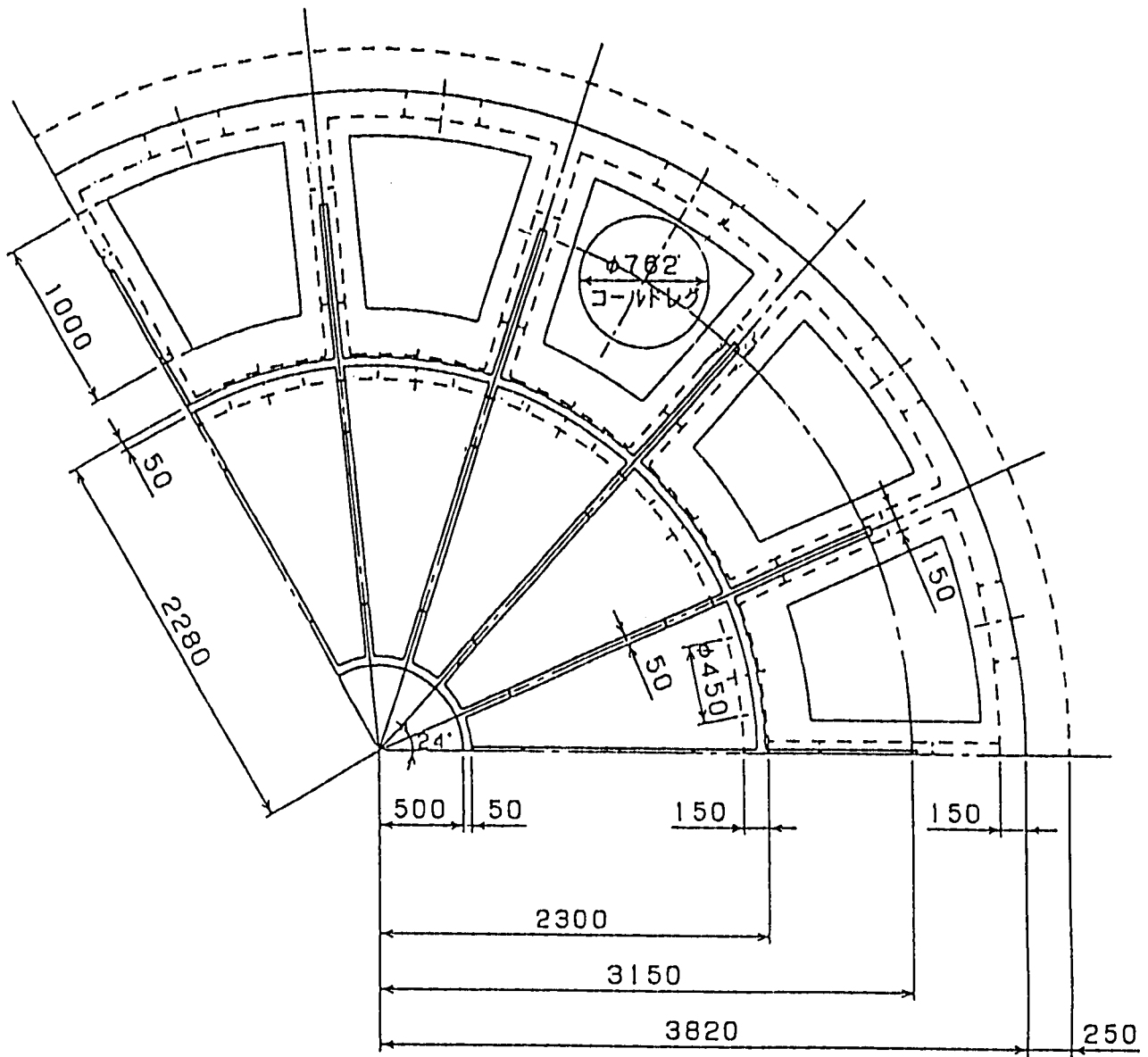
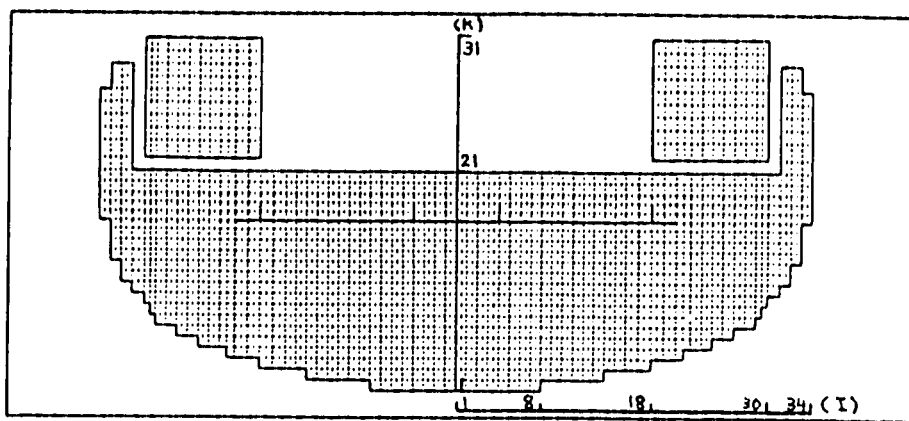
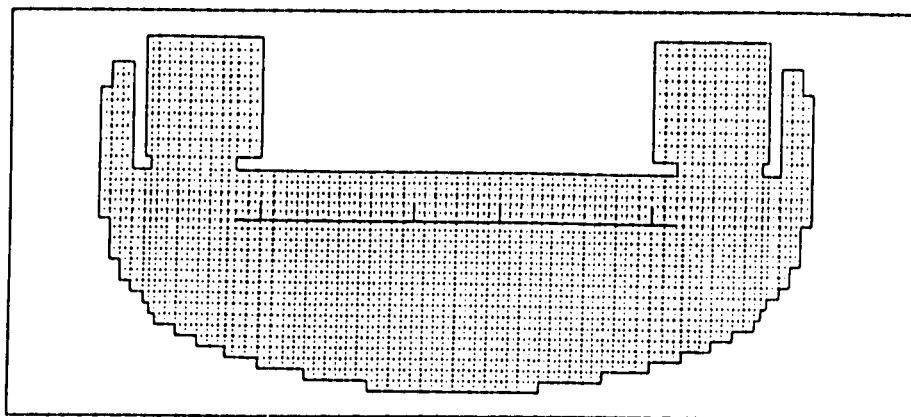


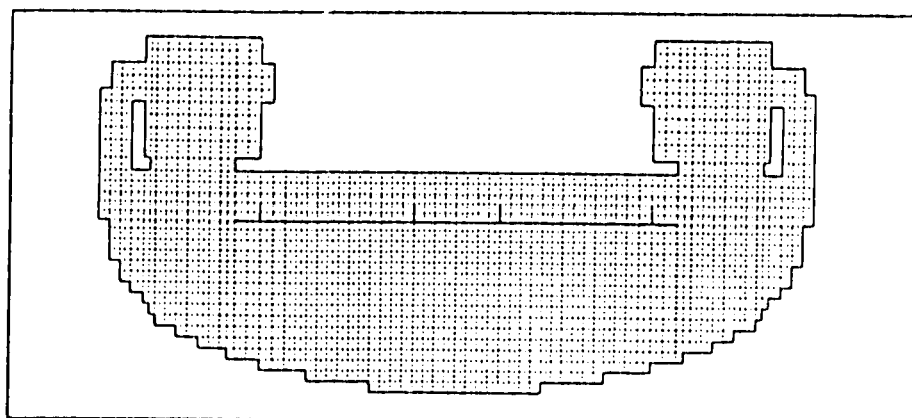
Fig. 2.3 Horizontal Cut-View of Lower Internal Structure



(J = 1, 6)

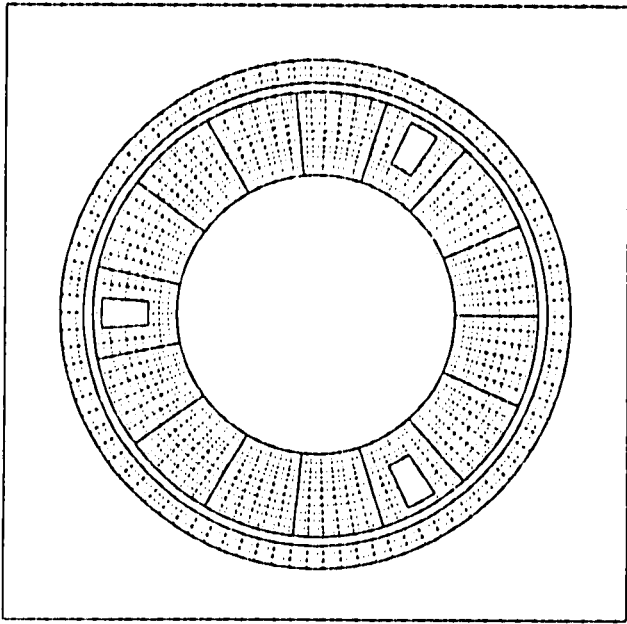


(J = 2, 5)

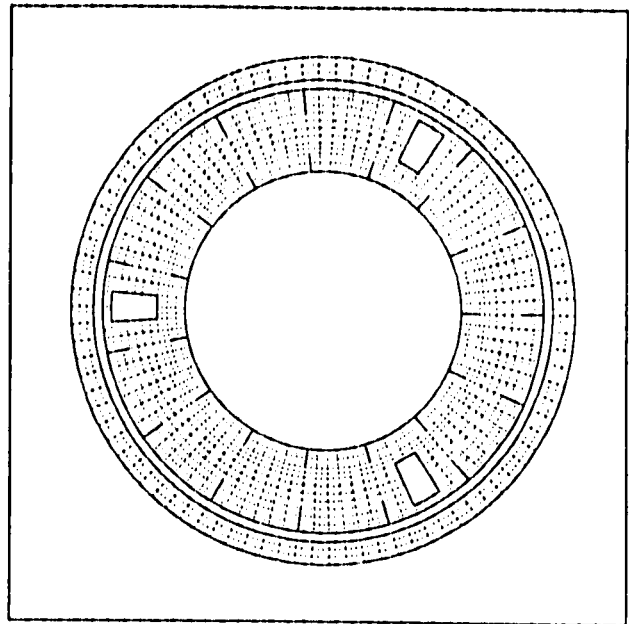


(J = 3, 4)

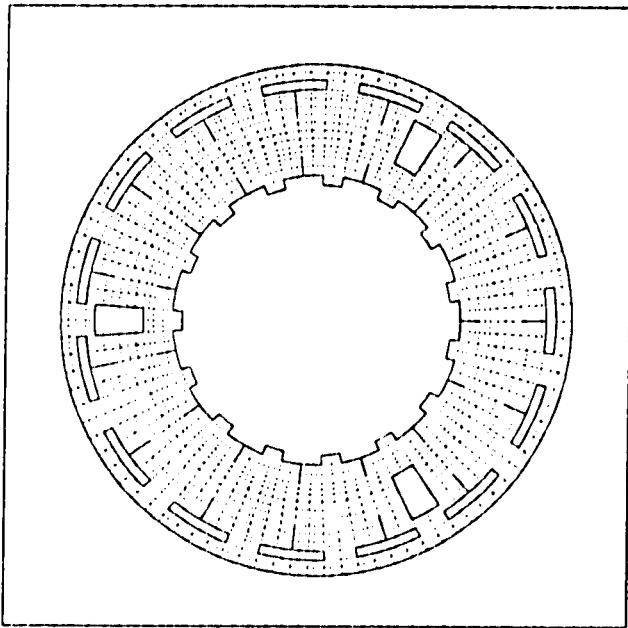
Fig. 3.1 Mesh Arrangement for r-z Planes



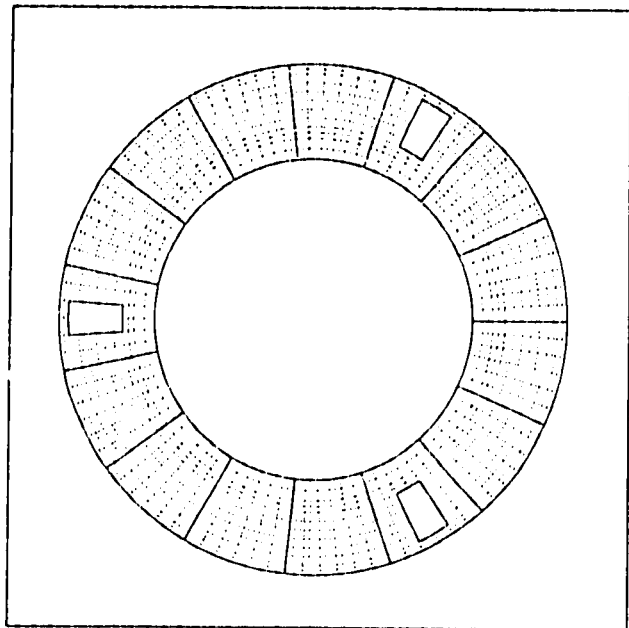
$K = 23$



$K = 25$

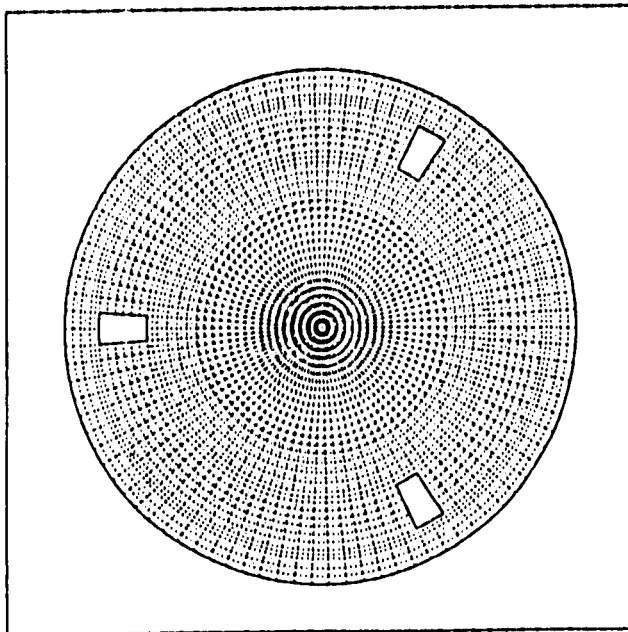


$K = 28$

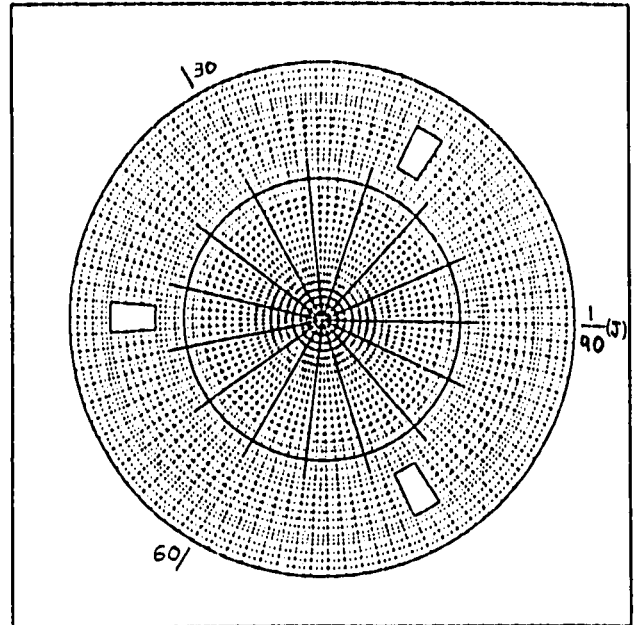


$K = 31$

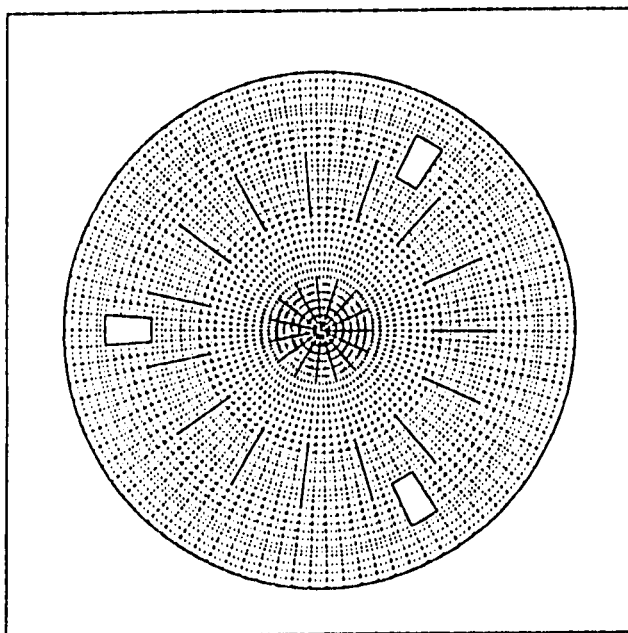
Fig. 3.2 Mesh Arrangement for  $r-\theta$  Planes(2/2)



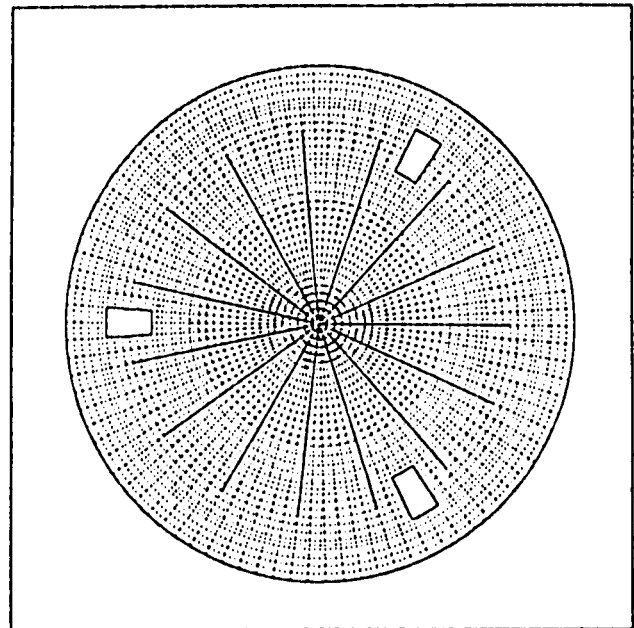
K = 1 6



K = 1 7



K = 1 9



K = 2 1

Fig. 3.2 Mesh Arrangement for  $r-\theta$  Planes(1/2)

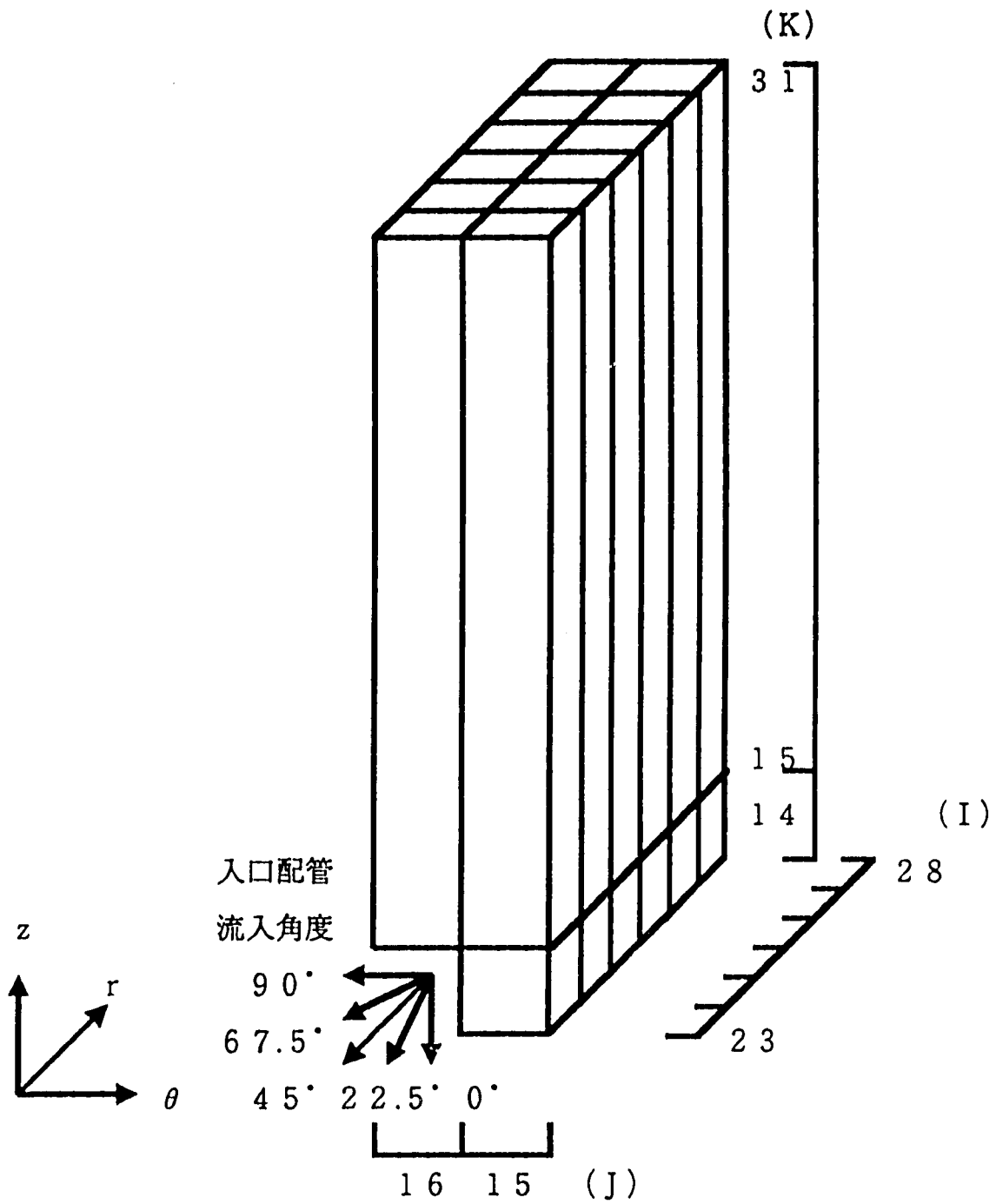
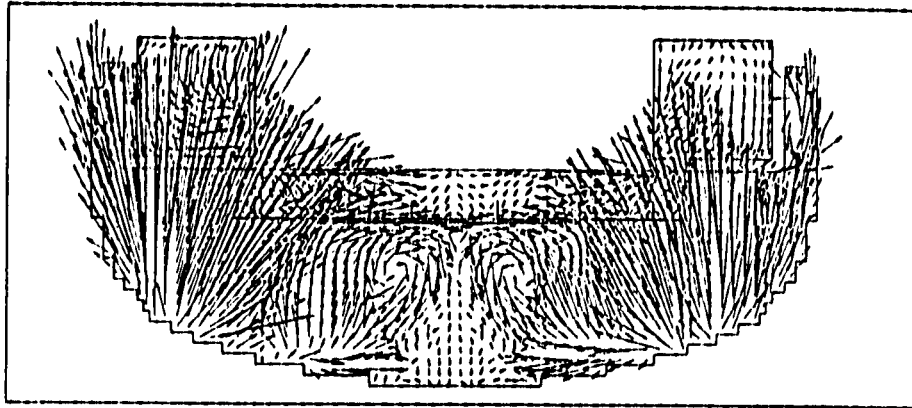
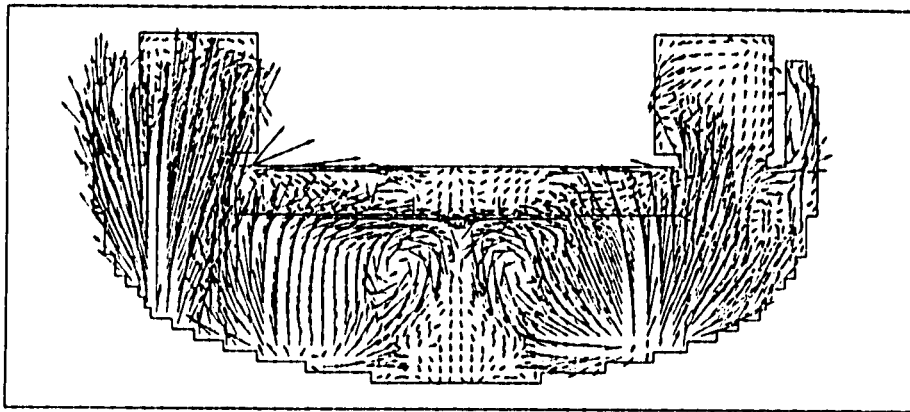


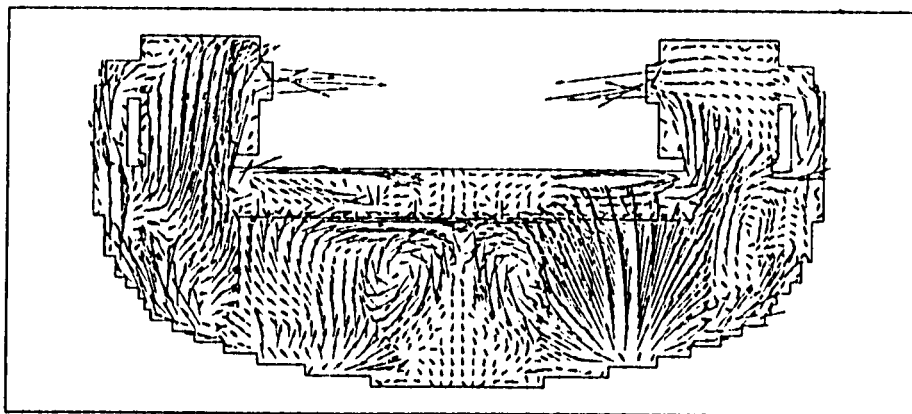
Fig. 3.3 Inlet Nozzle Modeling



(J = 1, 30)

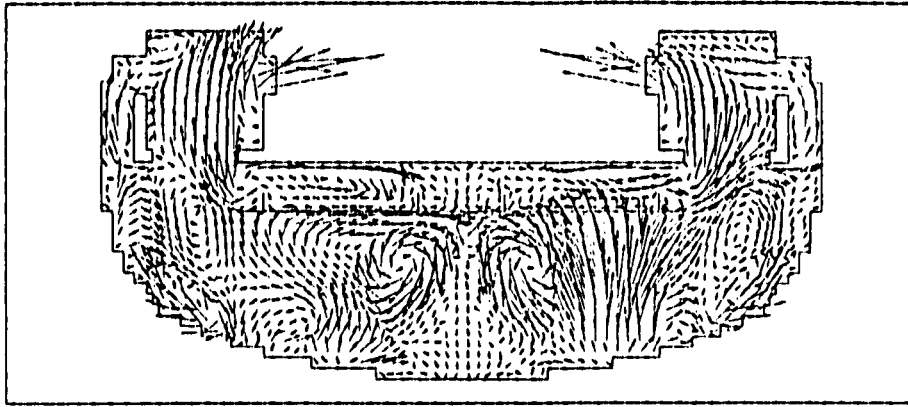


(J = 2, 29)

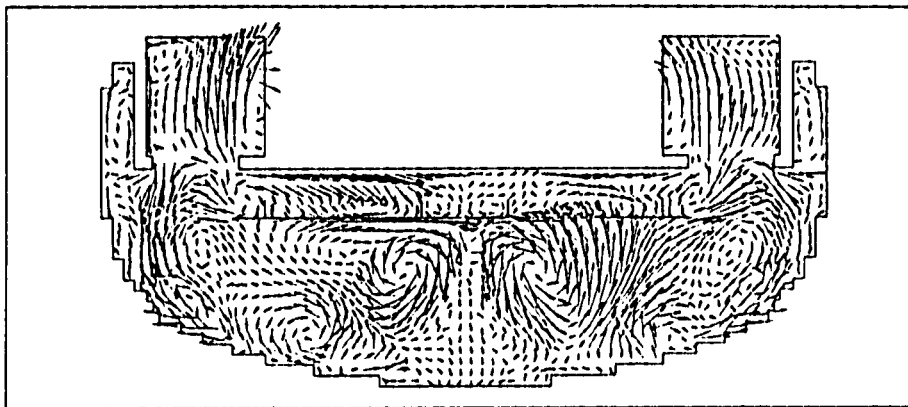


(J = 3, 28) ——— 5.00 M/S

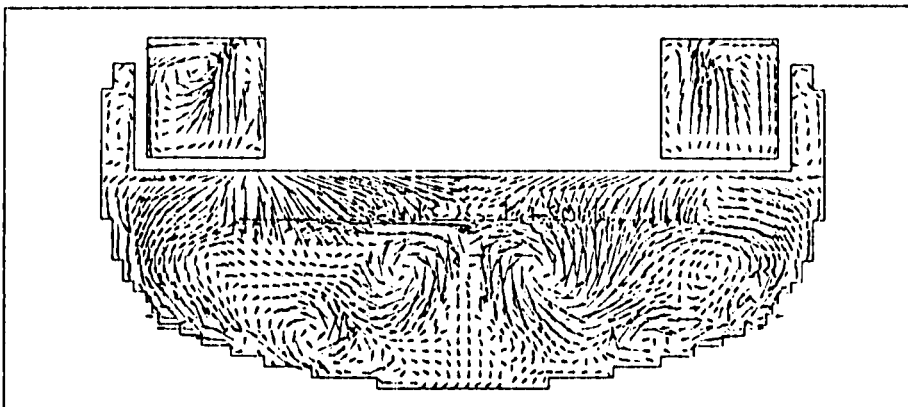
Fig. 3.4 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-1 Condition(1/3)



(J = 4 , 2 7)

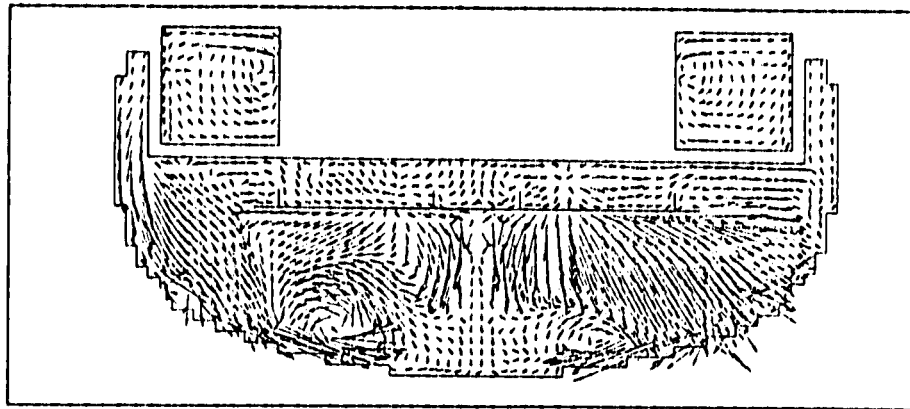


(J = 5 , 2 6)

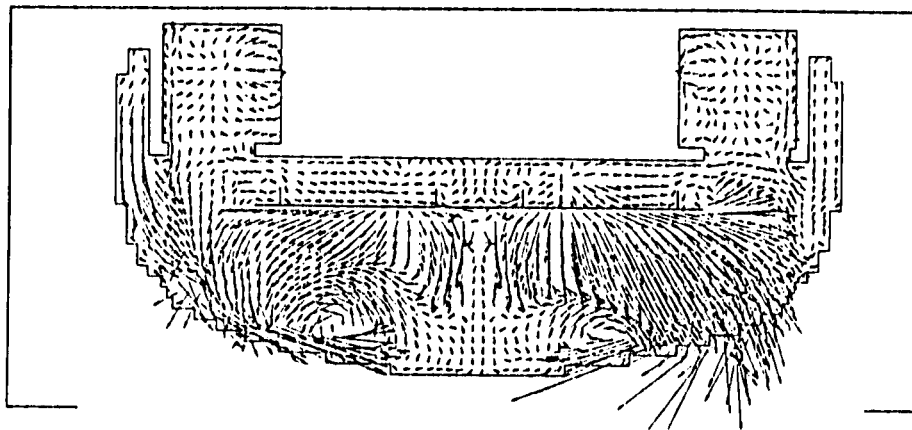


(J = 6 , 2 5) ——— 5.00 M/S

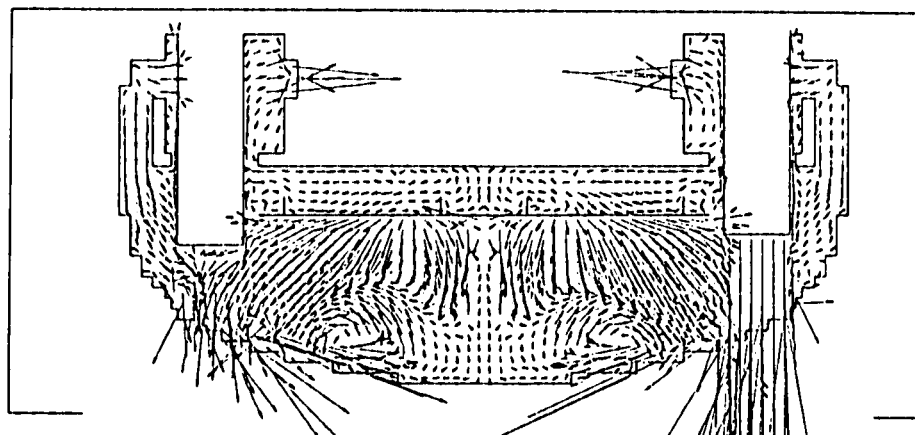
Fig. 3. 4 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-1 Condition(2/3)



(J = 13, 18)



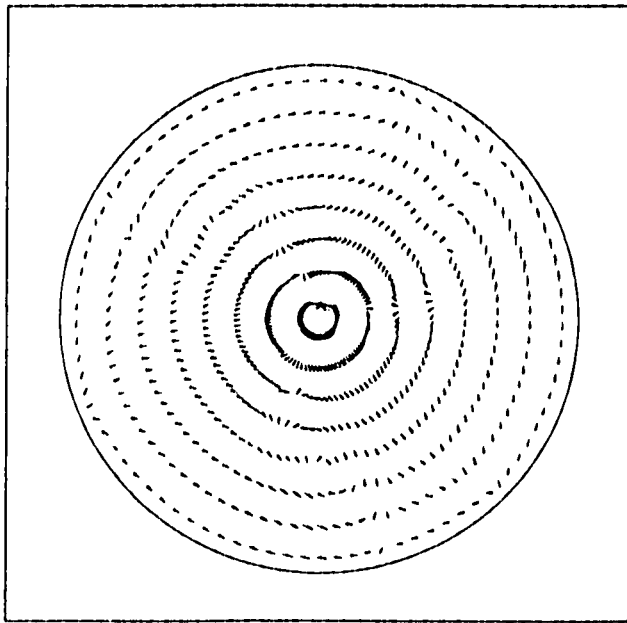
(J = 14, 17)



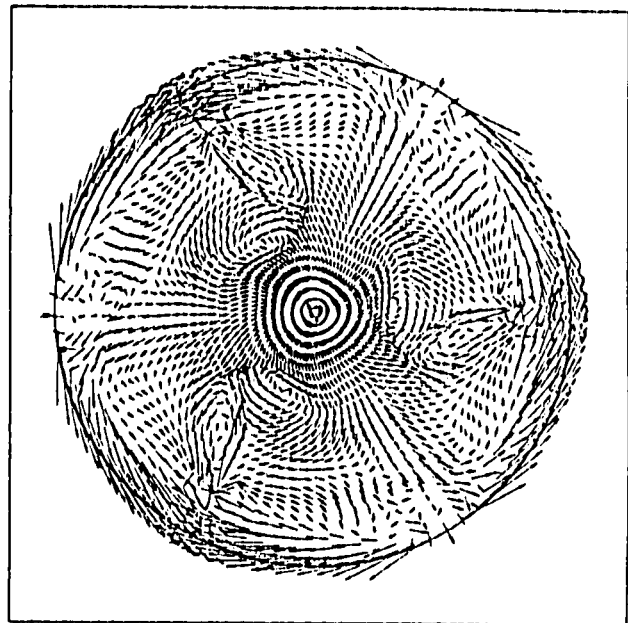
(J = 15, 16) ——— 5.00 M/S

Fig. 3. 4 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-1 Condition(3/3)

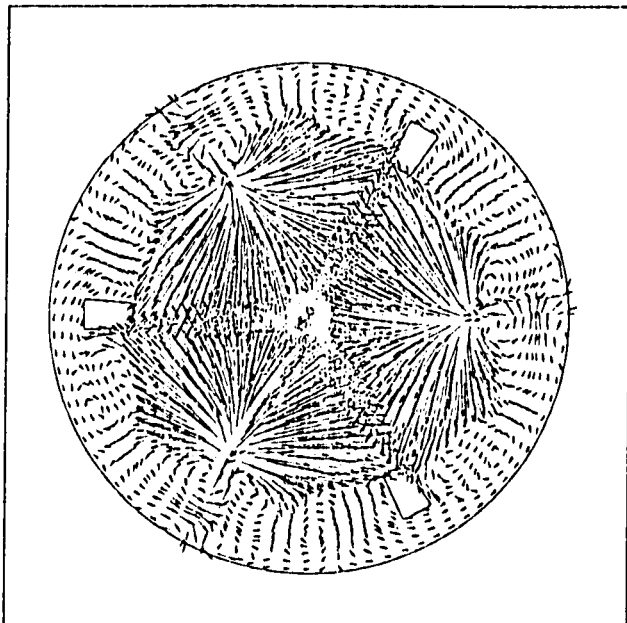




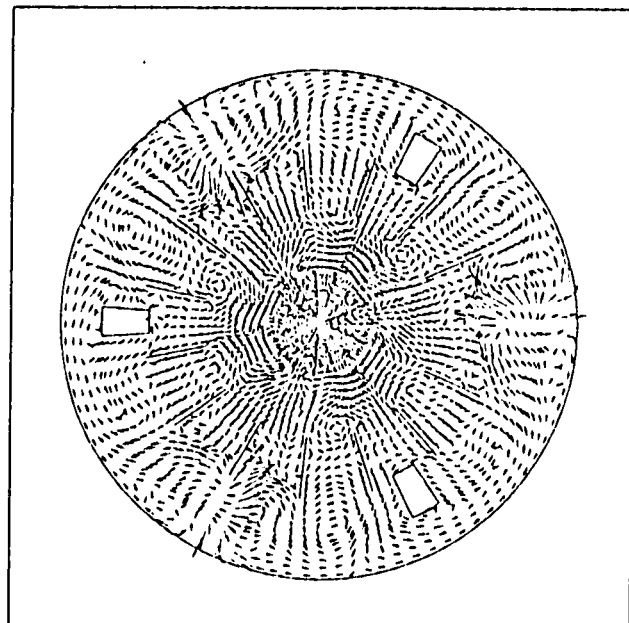
K = 1



K = 8



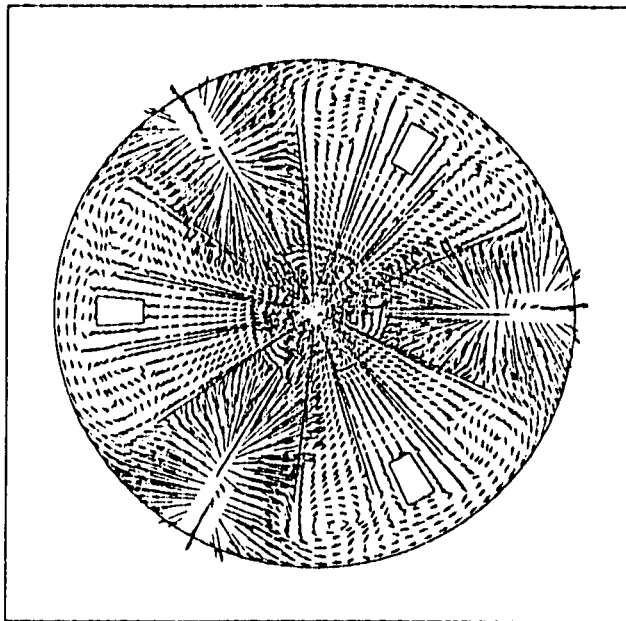
K = 1 6



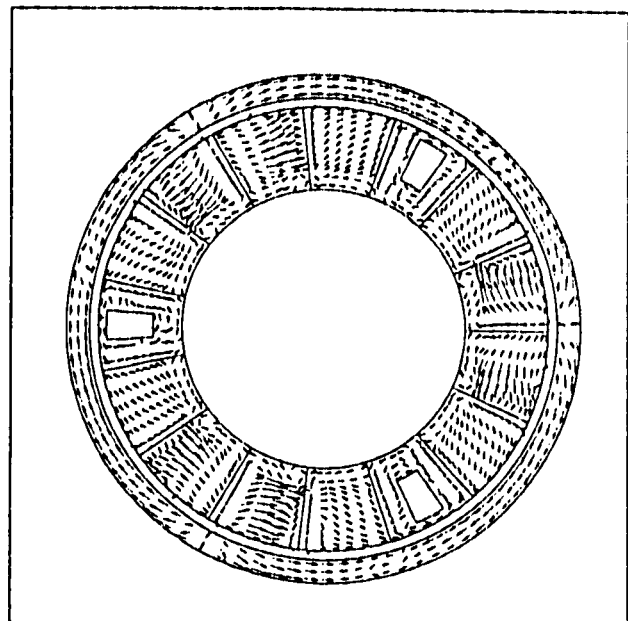
K = 1 9

10.00 M/S

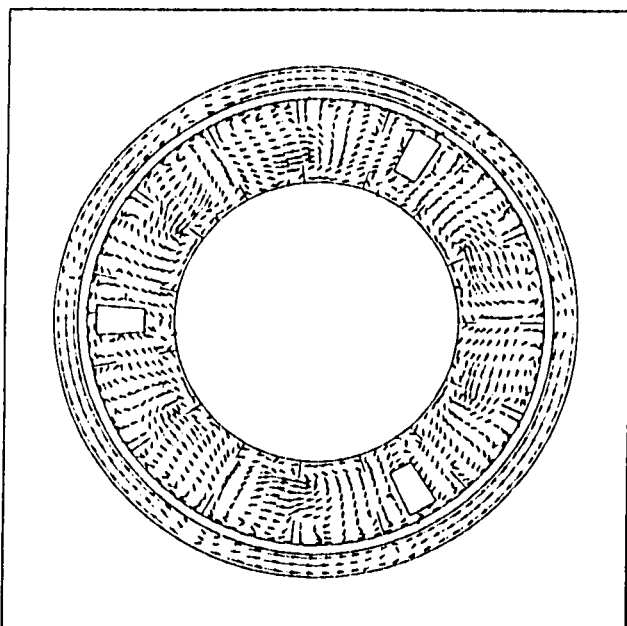
Fig. 3.5 Calculated Horizontal Velocity Vector Fields for the Case-1 Condition(1/2)



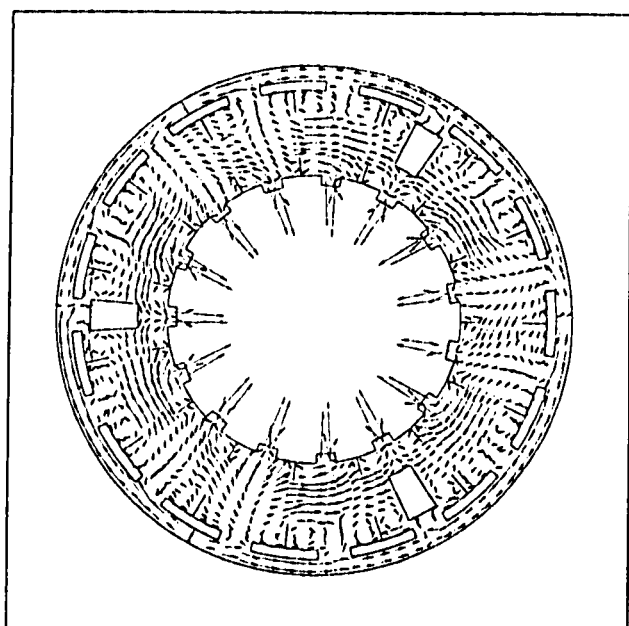
K = 2 1



K = 2 3



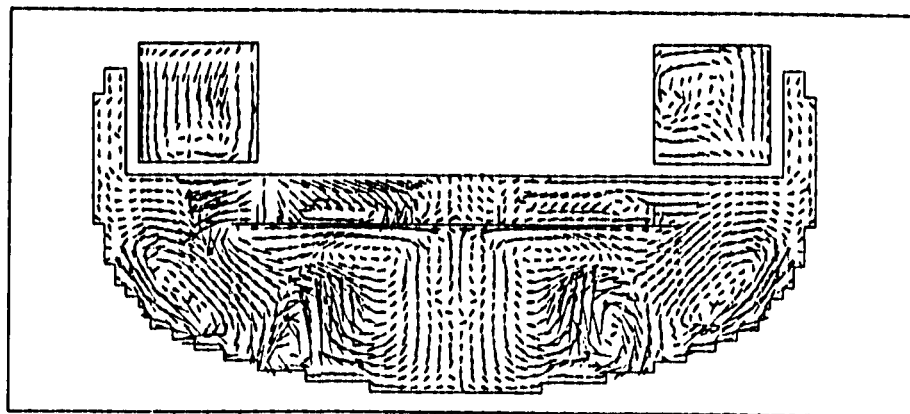
K = 2 5



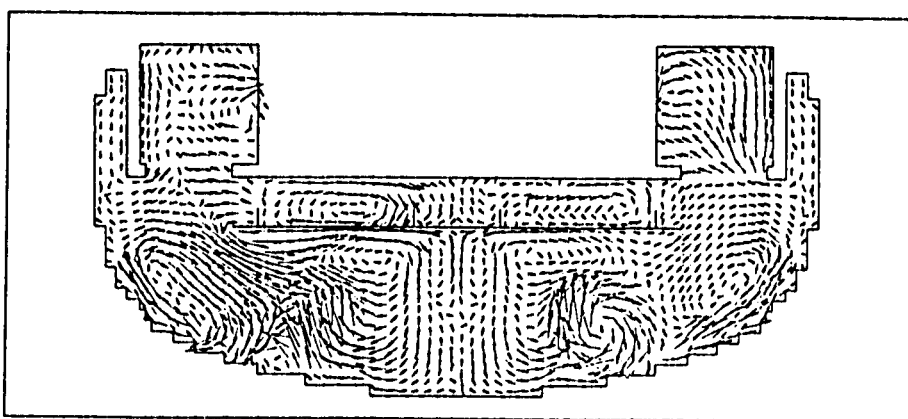
K = 2 8

————— 10.00 M/S

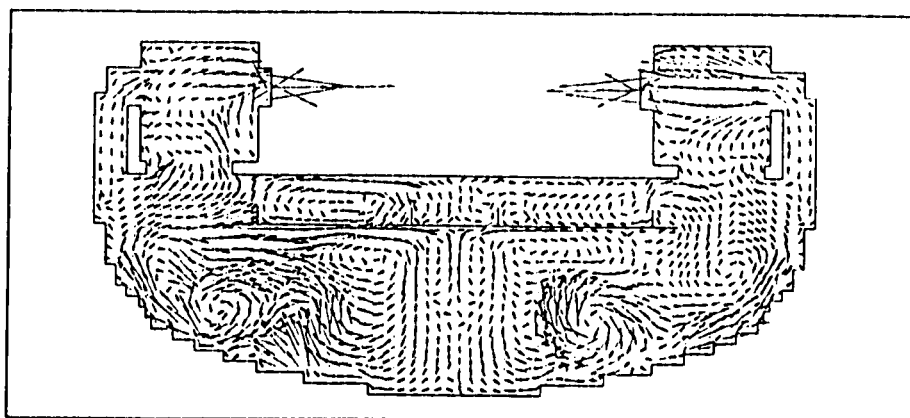
Fig. 3. 5 Calculated Horizontal Velocity Vector Fields for the Case-1 Condition(2/2)



(J = 1, 30)

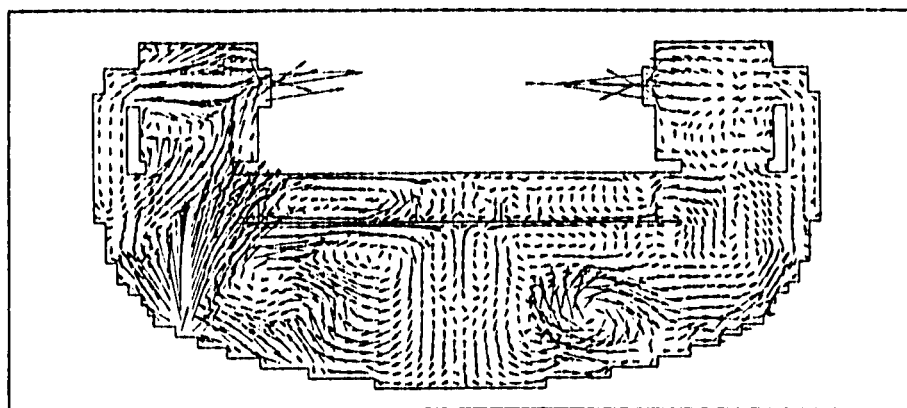


(J = 2, 29)

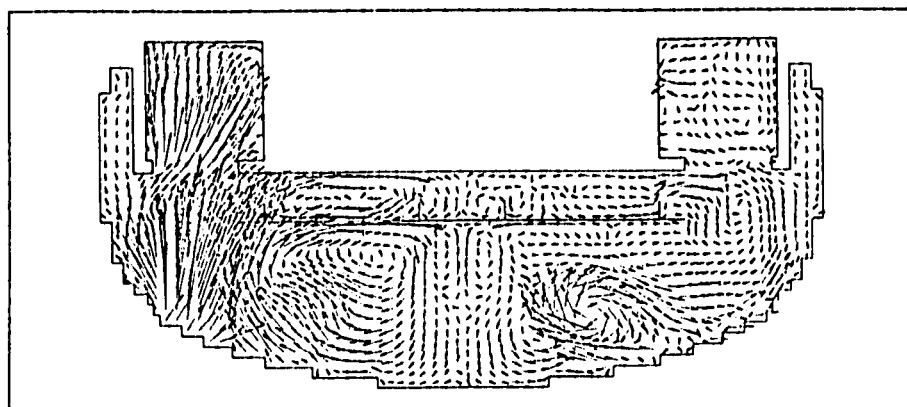


(J = 3, 28) ——— 5.00 M/S

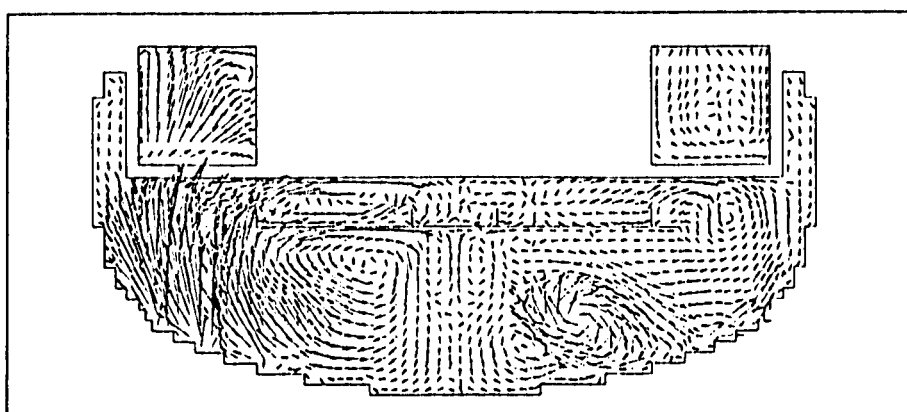
Fig. 3.6 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-2 Condition(1/3)



(J = 4 , 2 7)

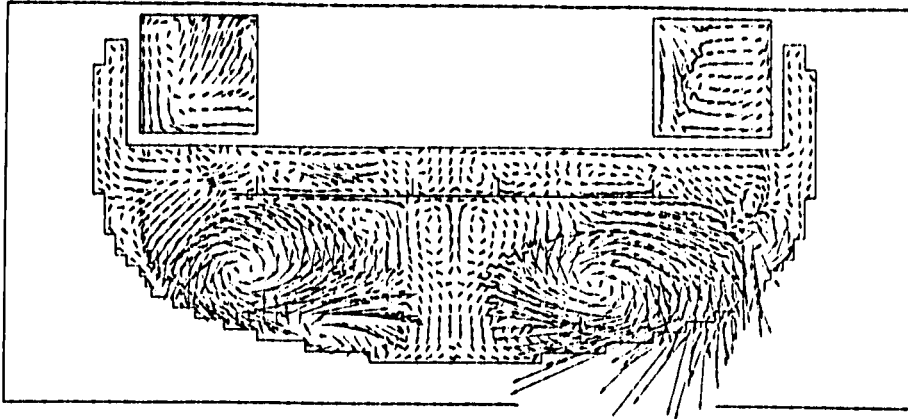


(J = 5 , 2 6)

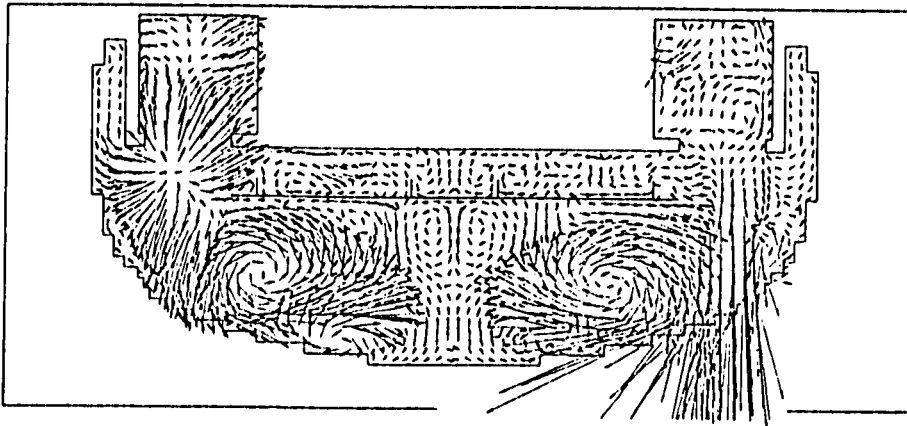


(J = 6 , 2 5) ——— 5.00 M/S

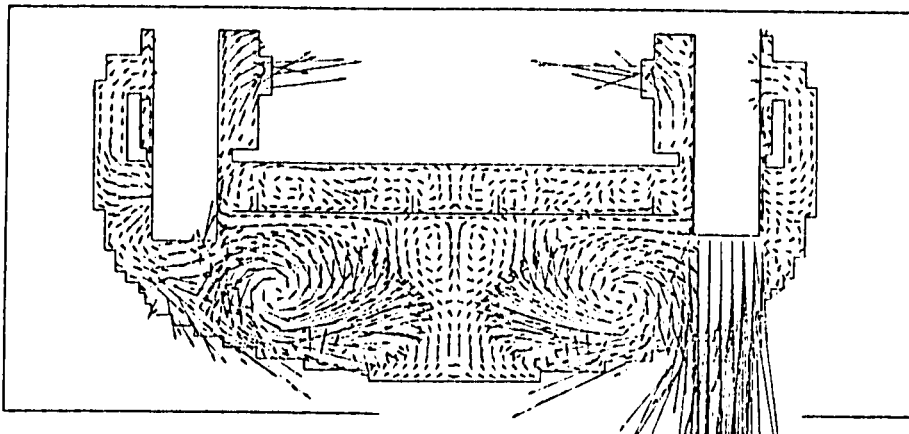
Fig. 3. 6 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-2 Condition(2/3)



(J = 13, 18)



(J = 14, 17)



(J = 15, 16) ——— 5.00 M/S

Fig. 3.6 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-2 Condition(3/3)

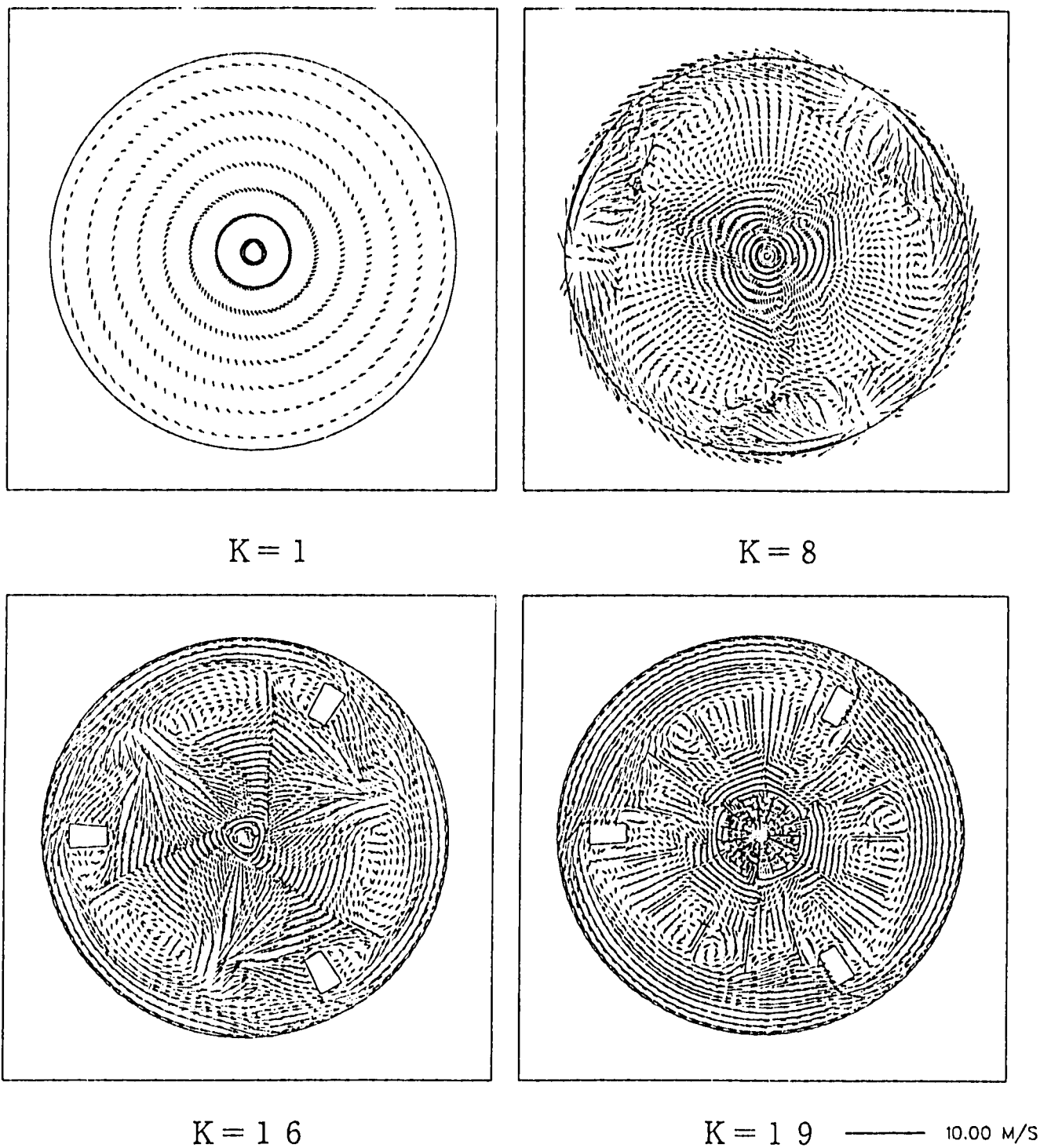


Fig. 3.7 Calculated Horizontal Velocity Vector Fields for the Case-2 Condition(1/2)

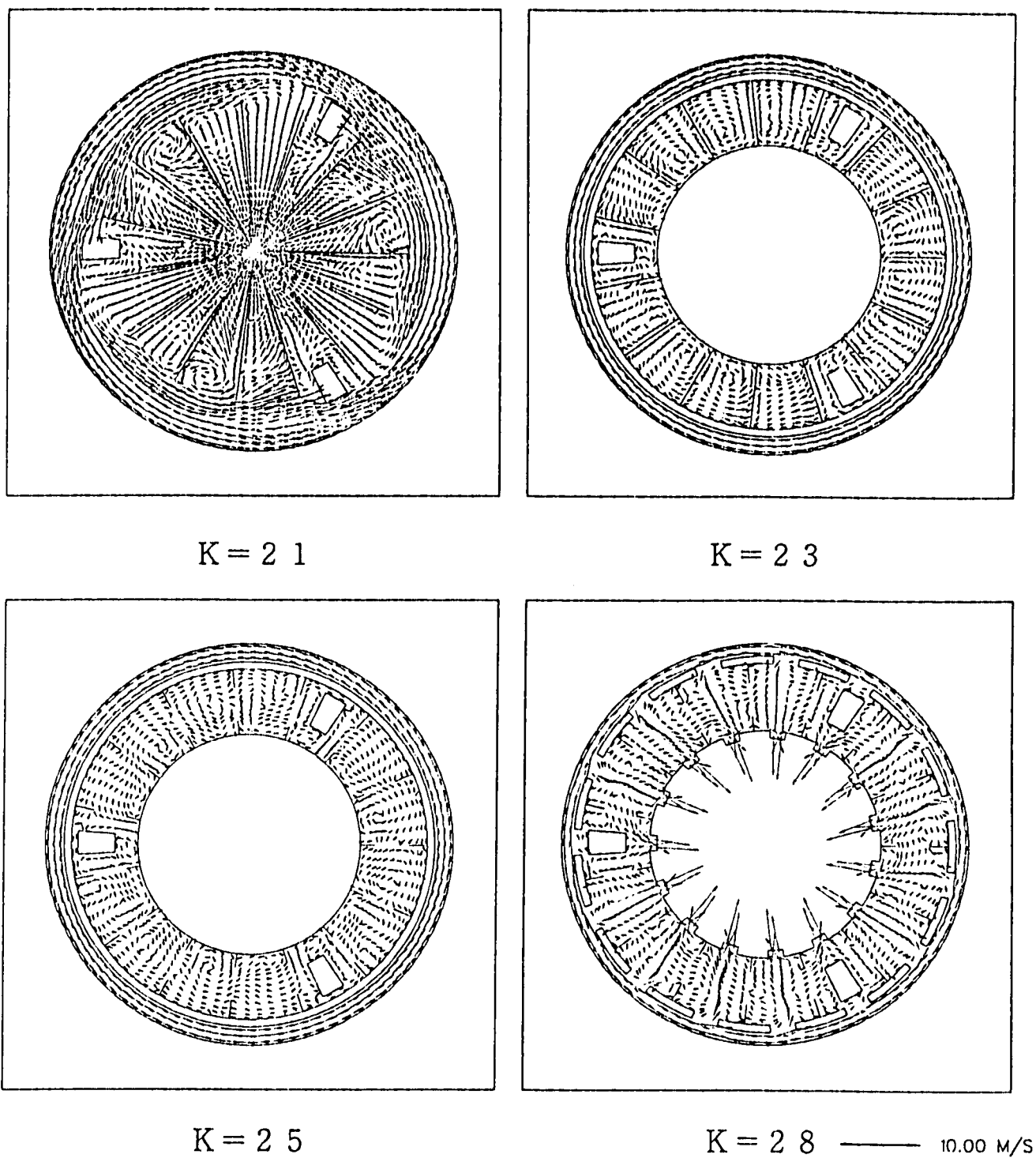
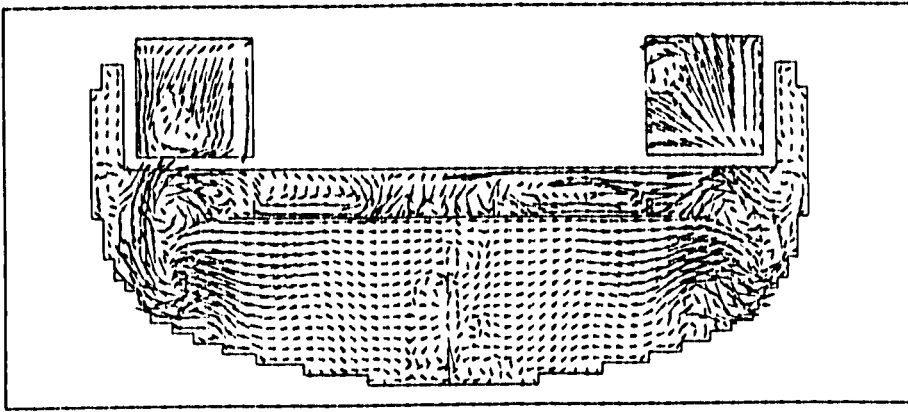
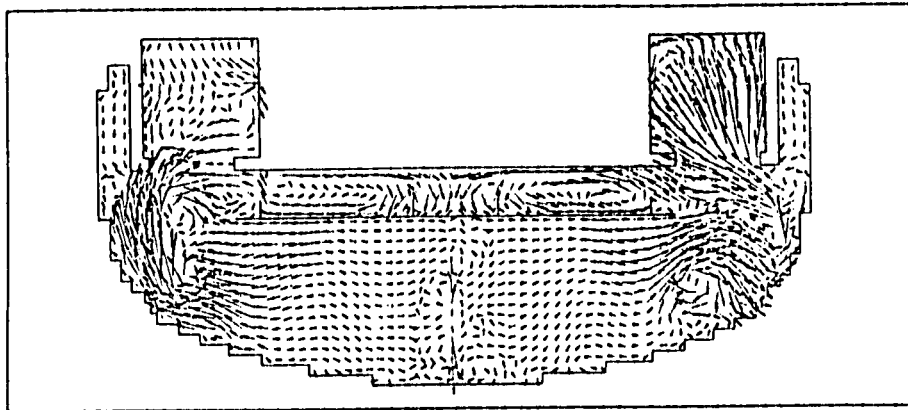


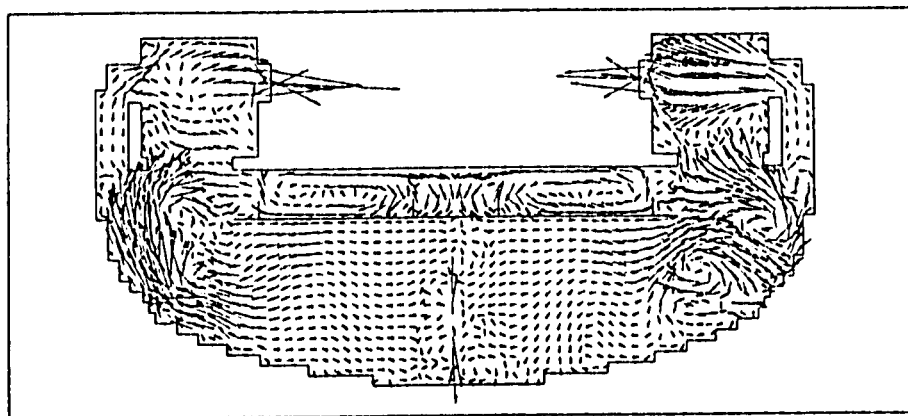
Fig. 3.7 Calculated Horizontal Velocity Vector Fields for the Case-2 Condition(2/2)



(J = 1, 30)



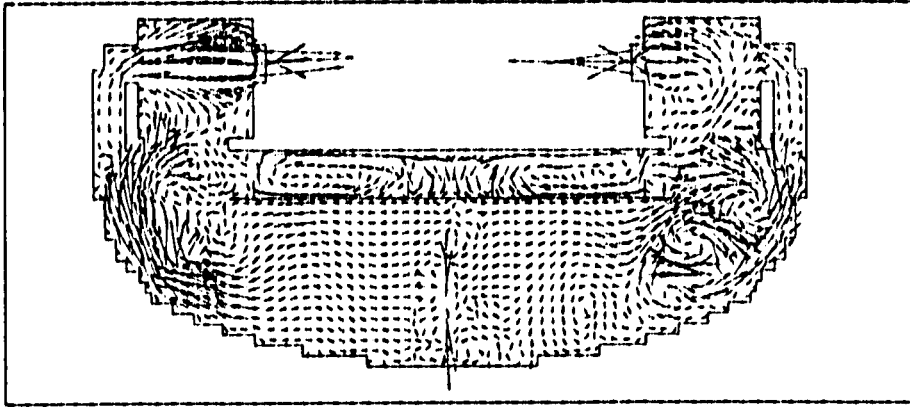
(J = 2, 29)



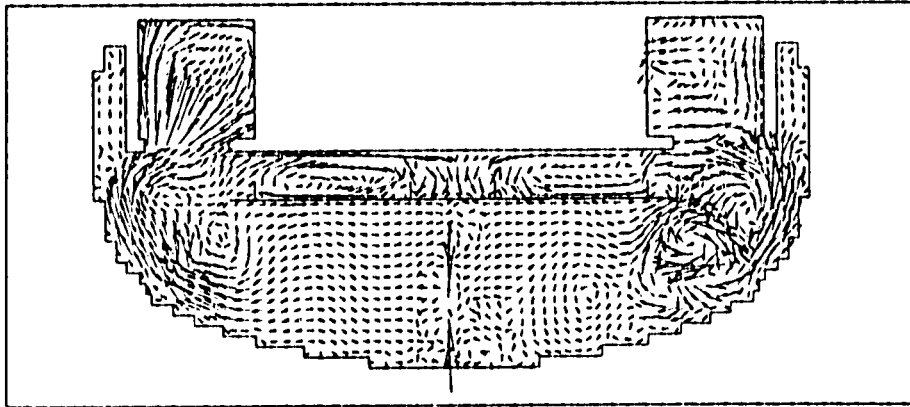
(J = 3, 28) ——— 5.00 M/S

Fig. 3.8 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-3 Condition(1/3)

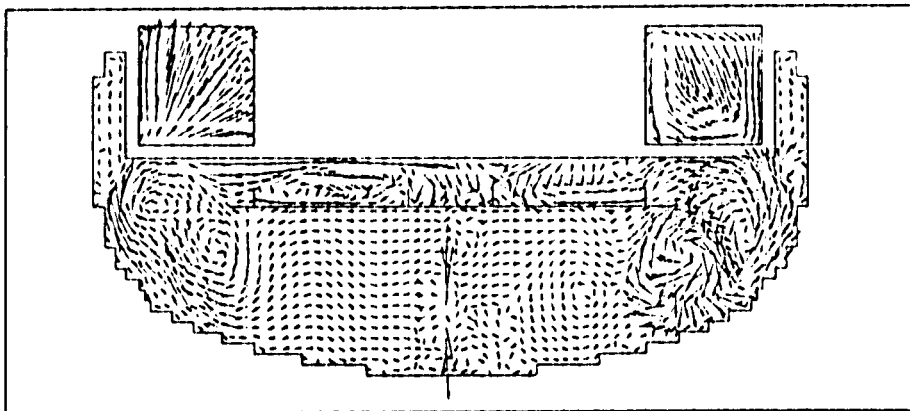




(J = 4, 27)

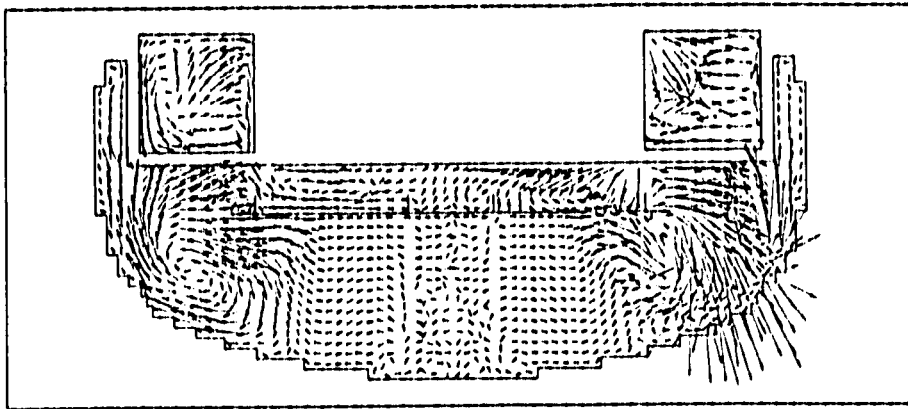


(J = 5, 26)

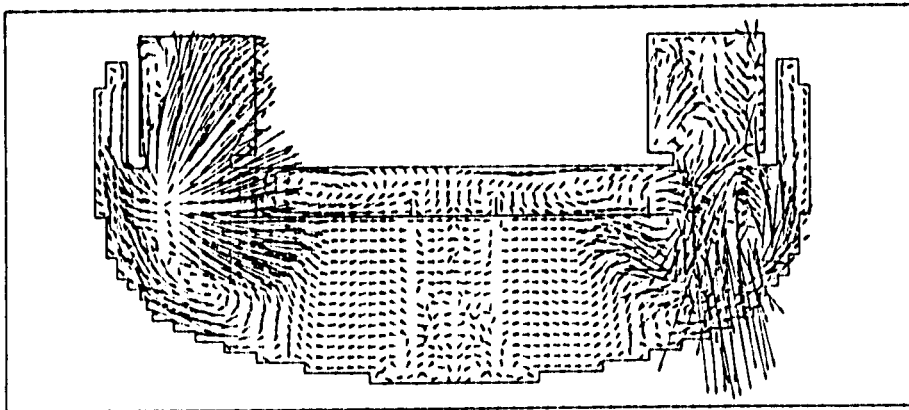


(J = 6, 25) ——— 5.00 M/S

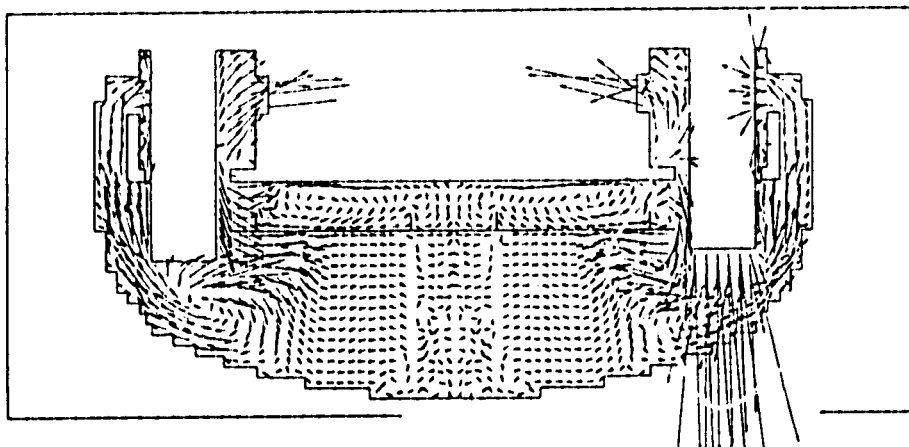
Fig. 3.8 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-3 Condition(2/3)



(J = 13, 18)

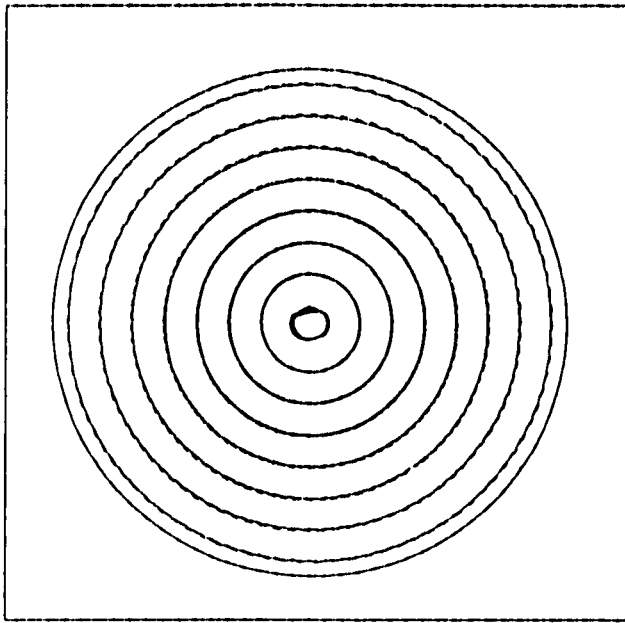


(J = 14, 17)

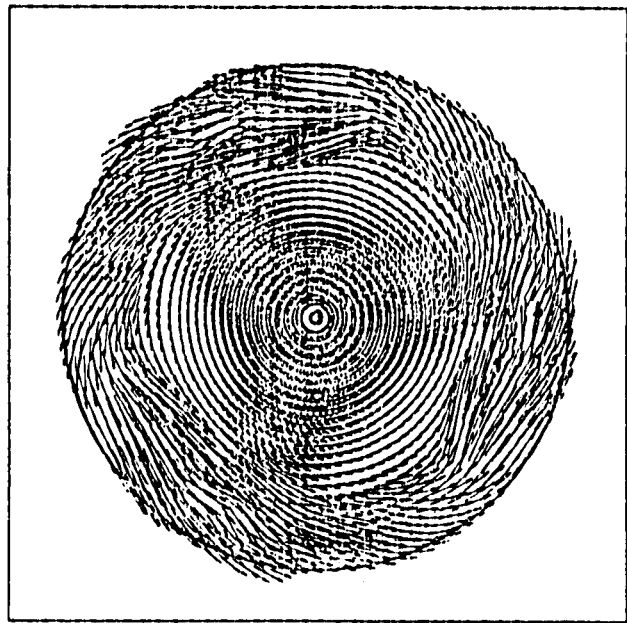


(J = 15, 16) ——— 5.00 M/S

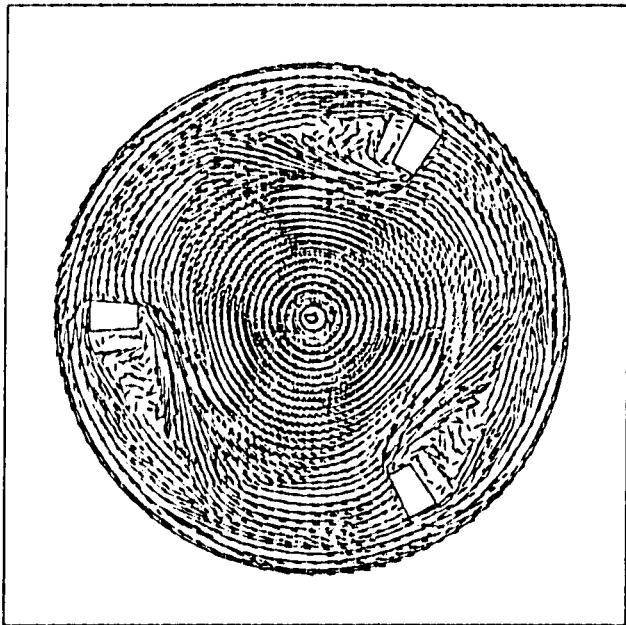
Fig. 3. 8 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-3 Condition(3/3)



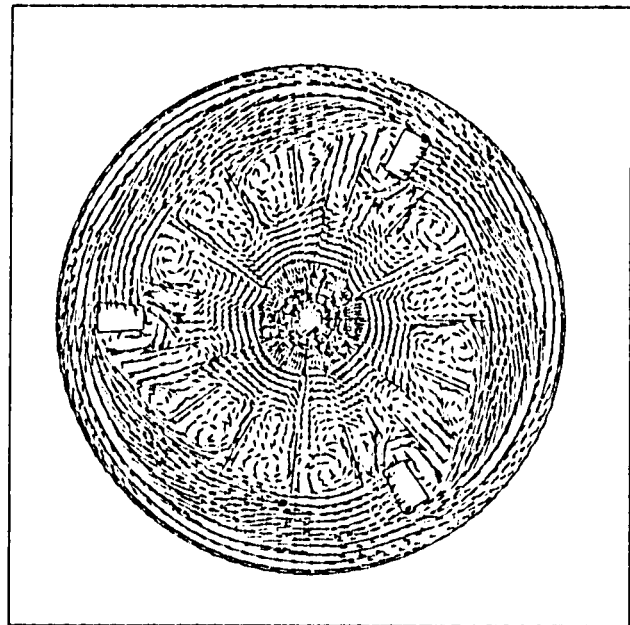
$K = 1$



$K = 8$

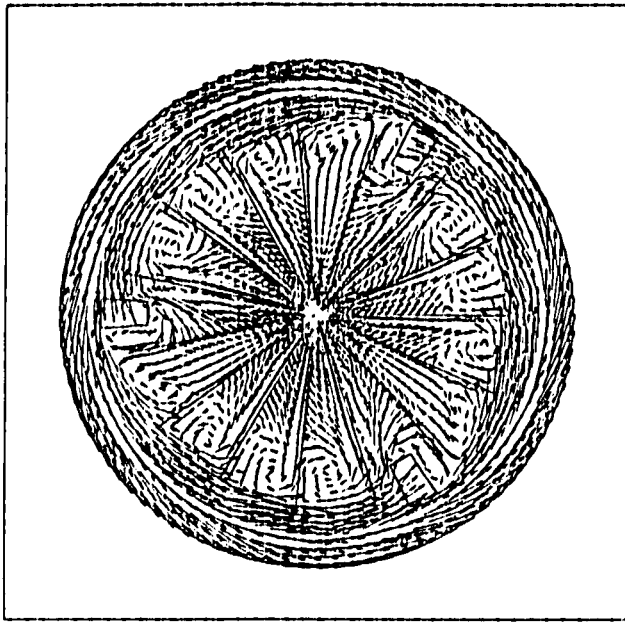


$K = 16$

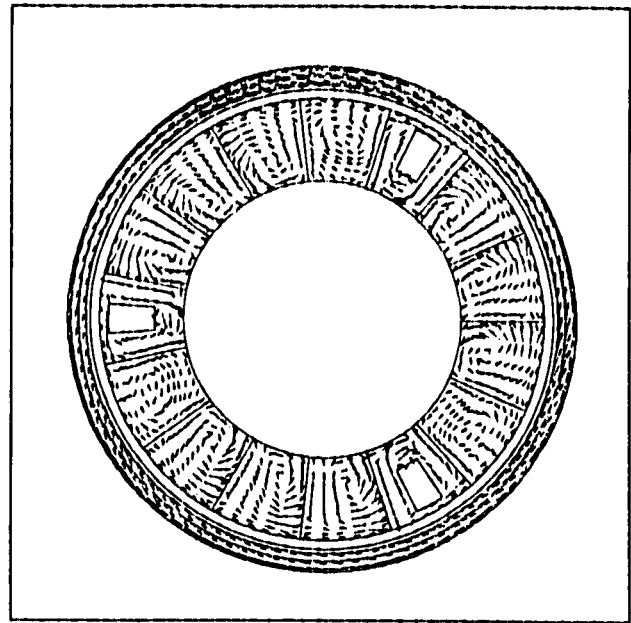


$K = 19$  ——— 10.00 M/S

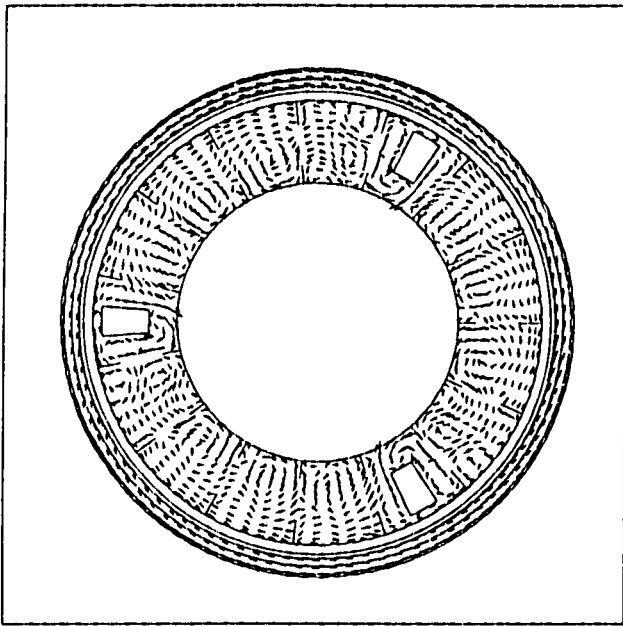
Fig. 3.9 Calculated Horizontal Velocity Vector Fields for the Case-3 Condition(1/2)



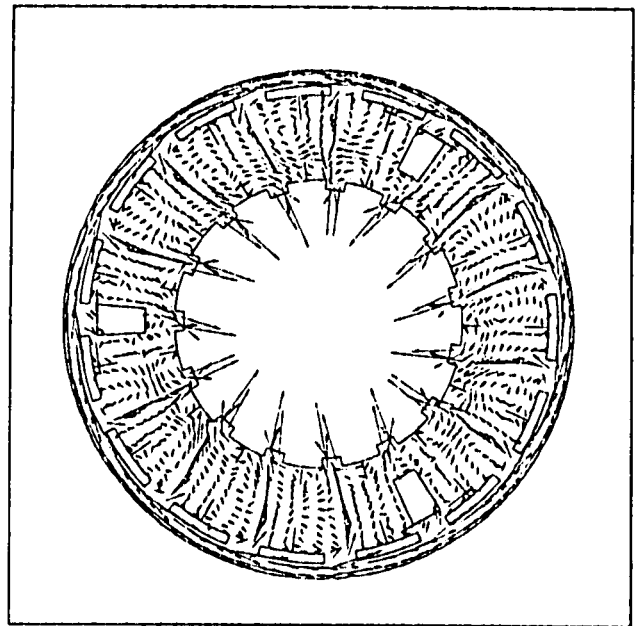
K = 2 1



K = 2 3

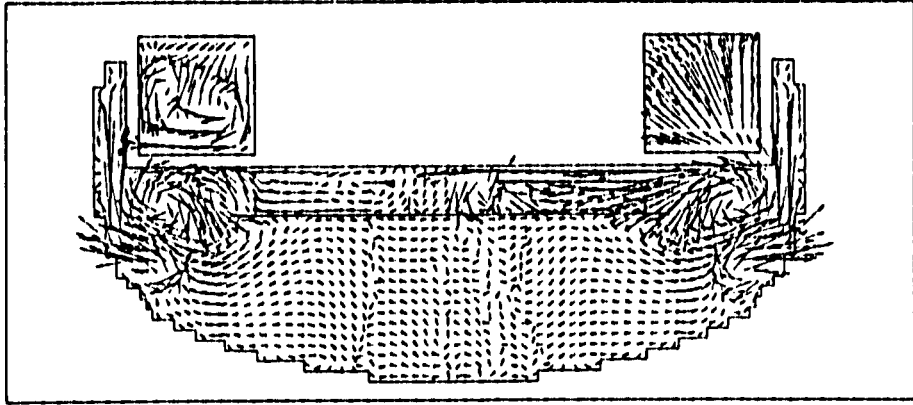


K = 2 5

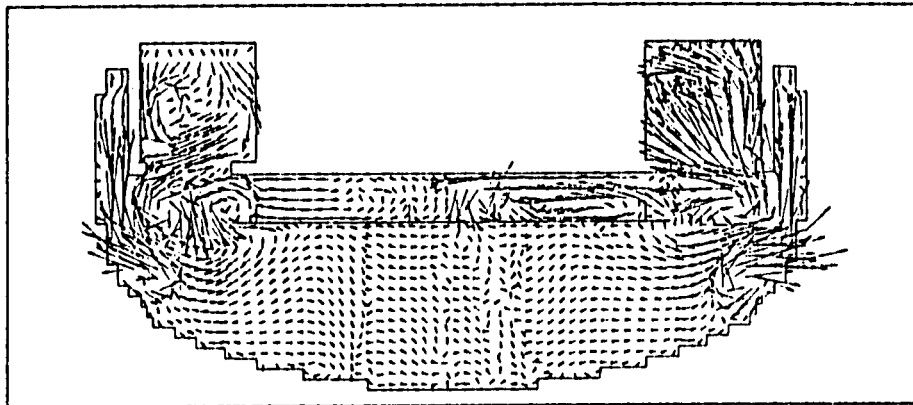


K = 2 8 ——— 10.00 M/S

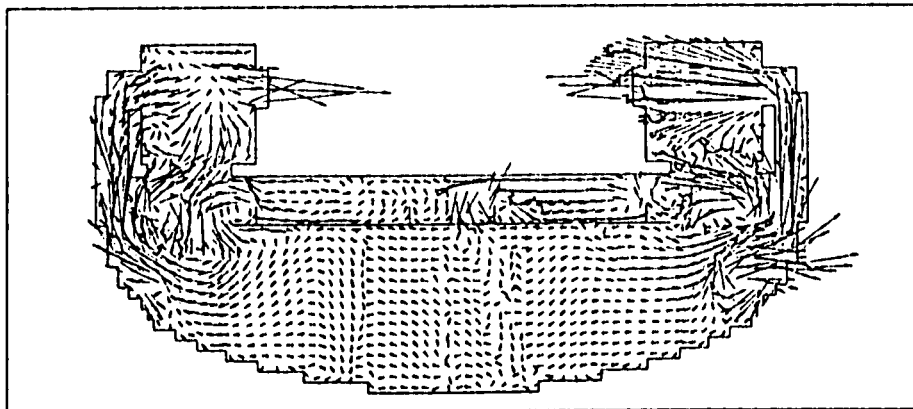
Fig. 3.9 Calculated Horizontal Velocity Vector Fields for the Case-3 Condition(2/2)



( J = 1 , 3 0 )

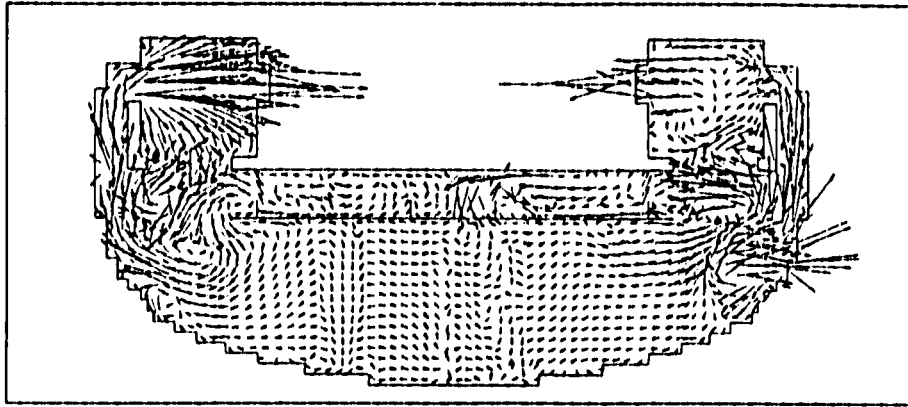


( J = 2 , 2 9 )

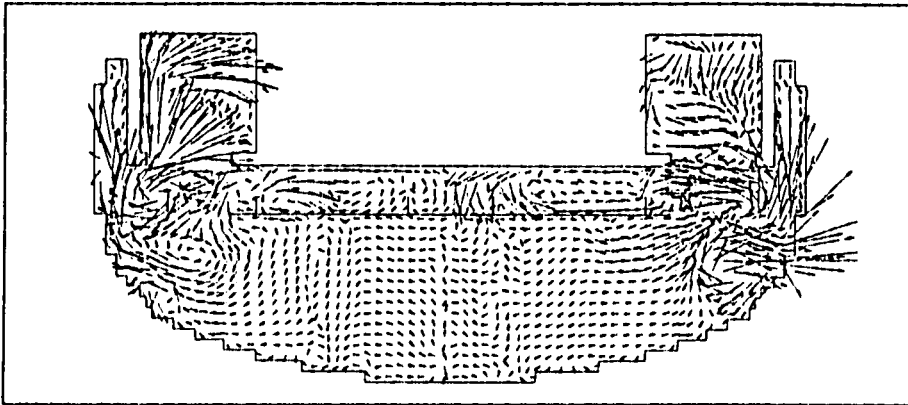


( J = 3 , 2 8 ) ——— 5.00 M/S

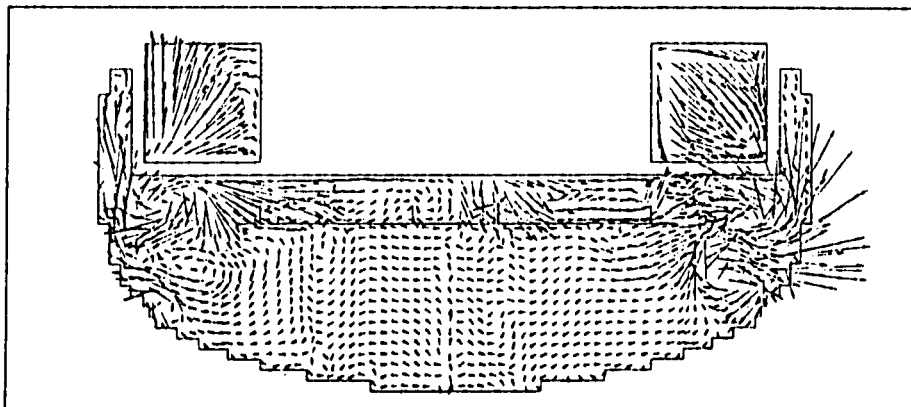
Fig. 3.10 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-4 Condition(1/3)



(J = 4, 27)

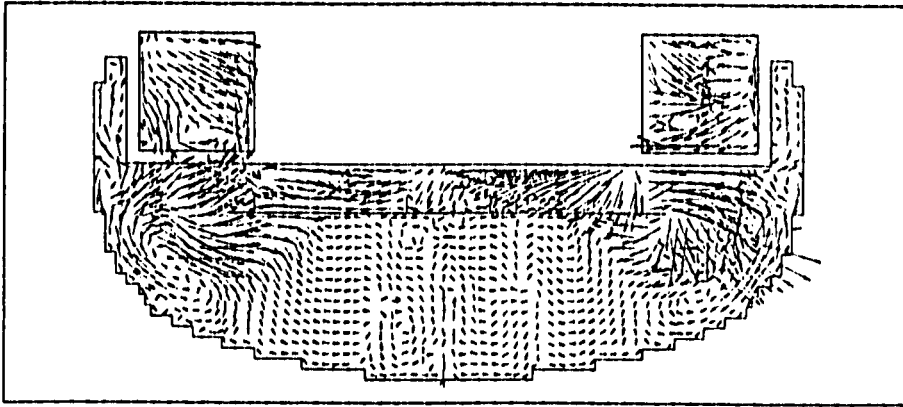


(J = 5, 26)

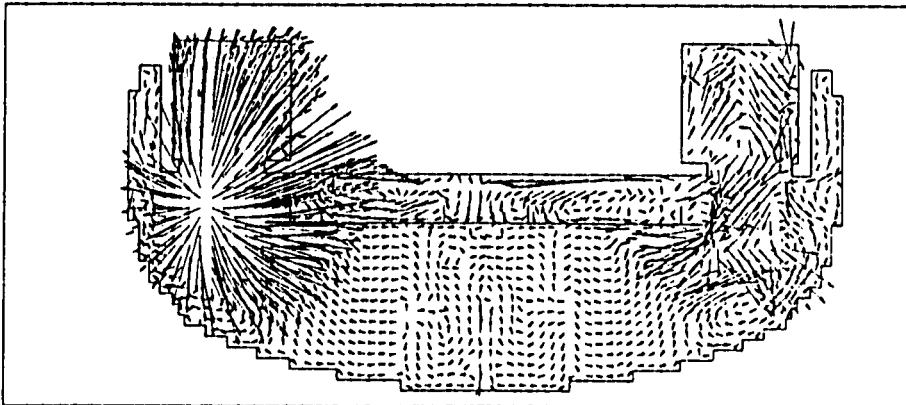


(J = 6, 25) ——— 5.00 M/S

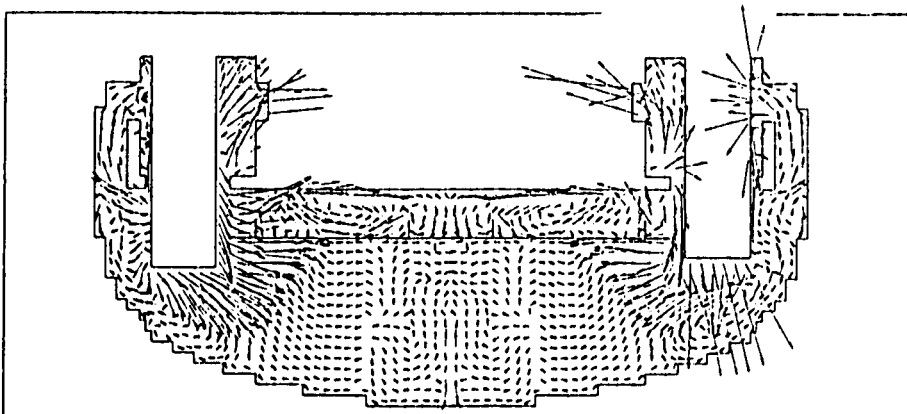
Fig. 3.10 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-4 Condition(2/3)



(J = 13, 18)

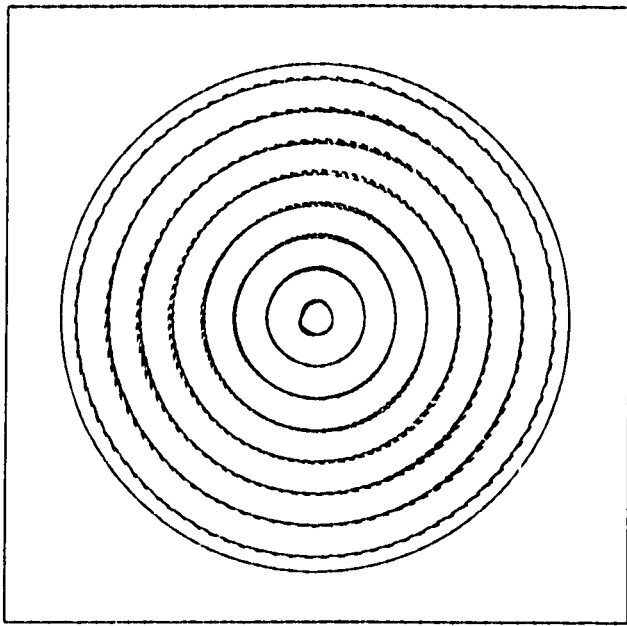


(J = 14, 17)

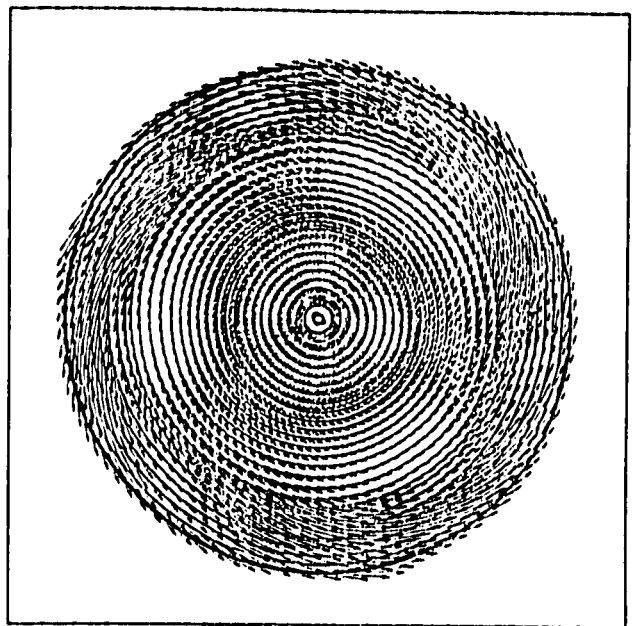


(J = 15, 16) ——— 5.00 M/S

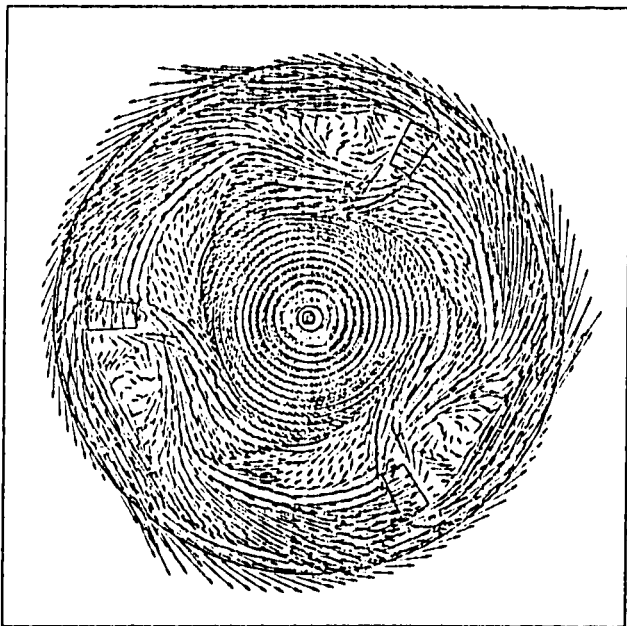
Fig. 3.10 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-4 Condition(3/3)



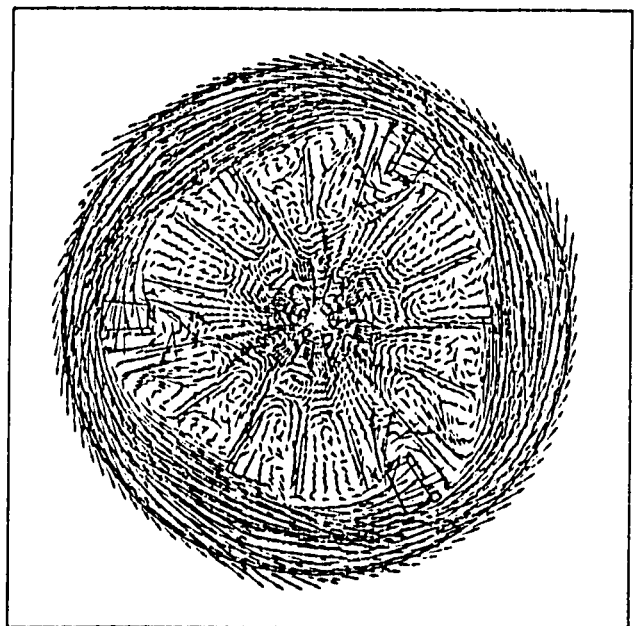
K = 1



K = 8



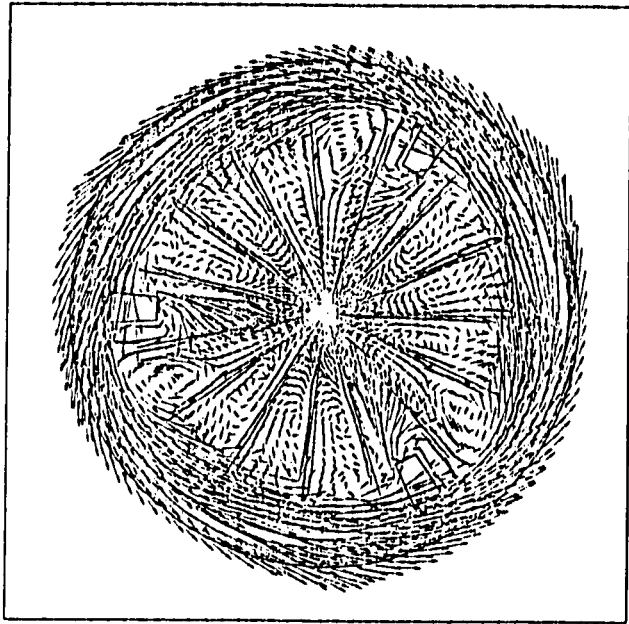
K = 16



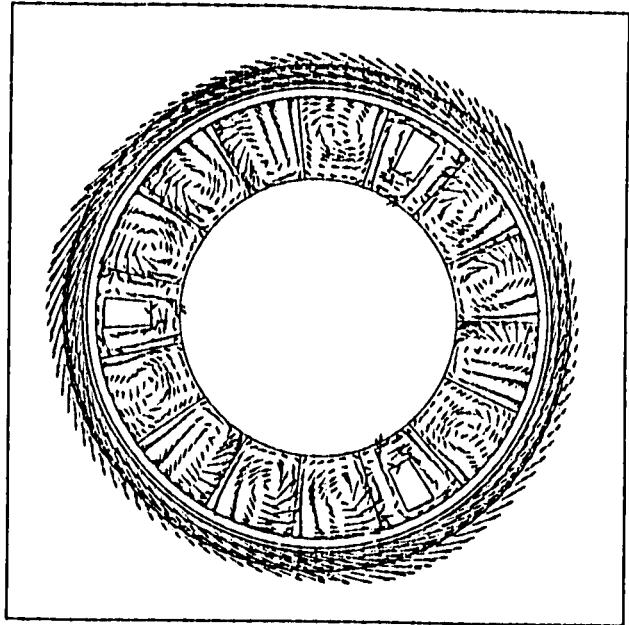
K = 19 ——— 10.00 M/S

Fig. 3.11 Calculated Horizontal Velocity Vector Fields for the Case-4 Condition(1/2)

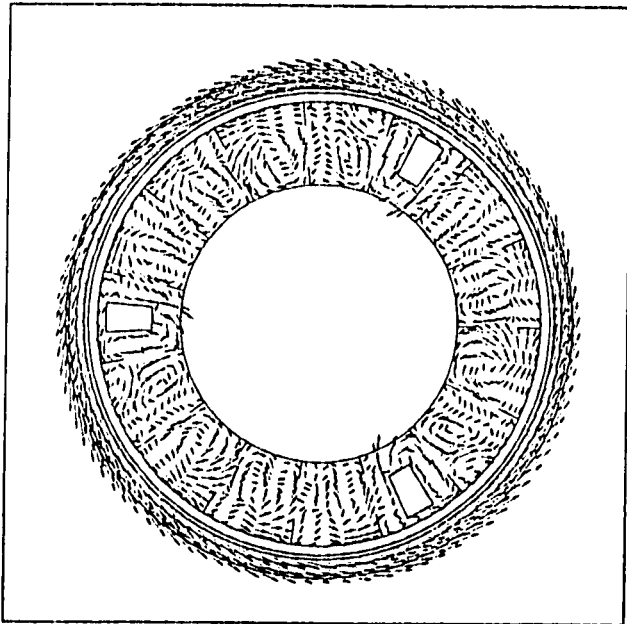




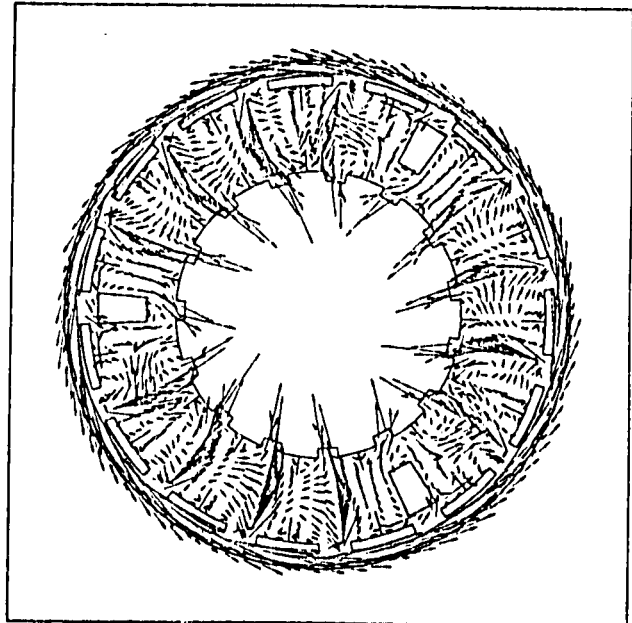
K = 2 1



K = 2 3

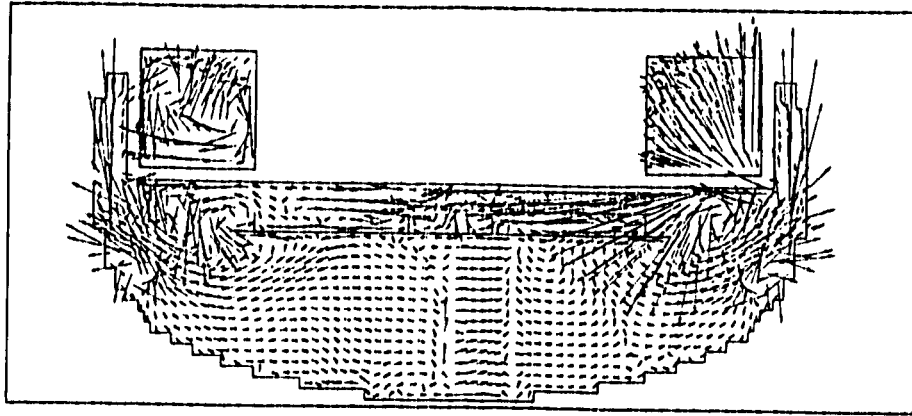


K = 2 5

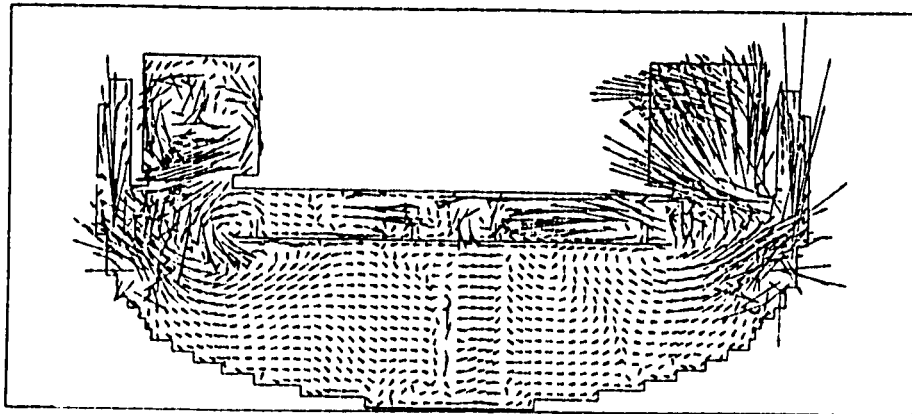


K = 2 8 ——— 10.00 M/S

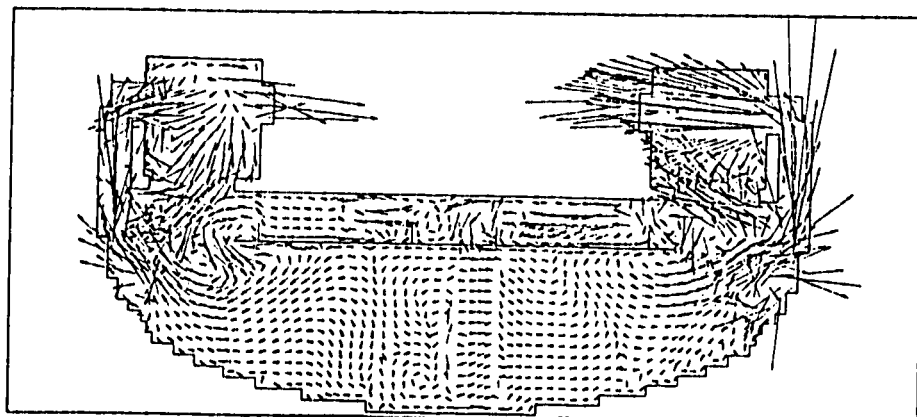
Fig. 3.11 Calculated Horizontal Velocity Vector Fields for the Case-4 Condition(2/2)



(J = 1, 30)

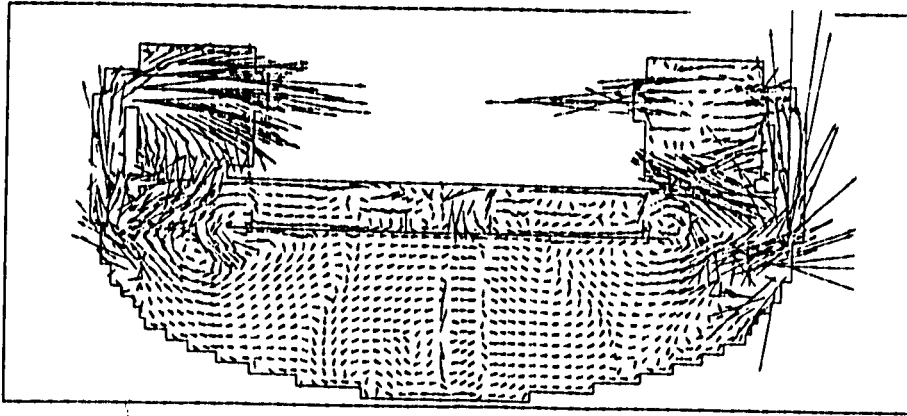


(J = 2, 29)

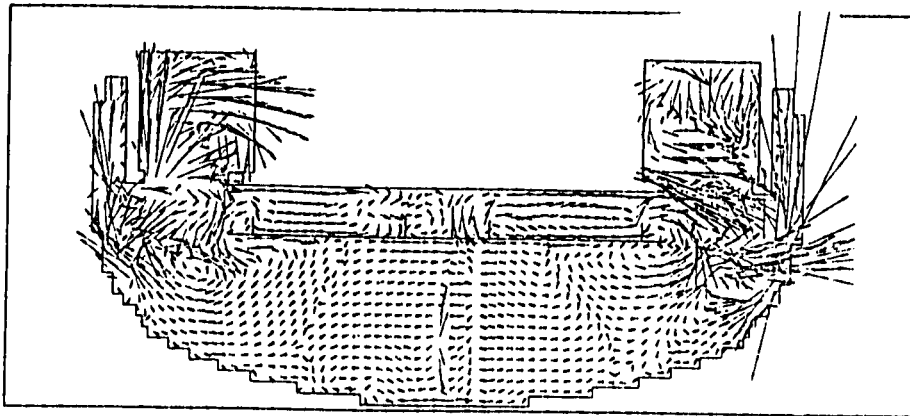


(J = 3, 28) ——— 5.00 M/S

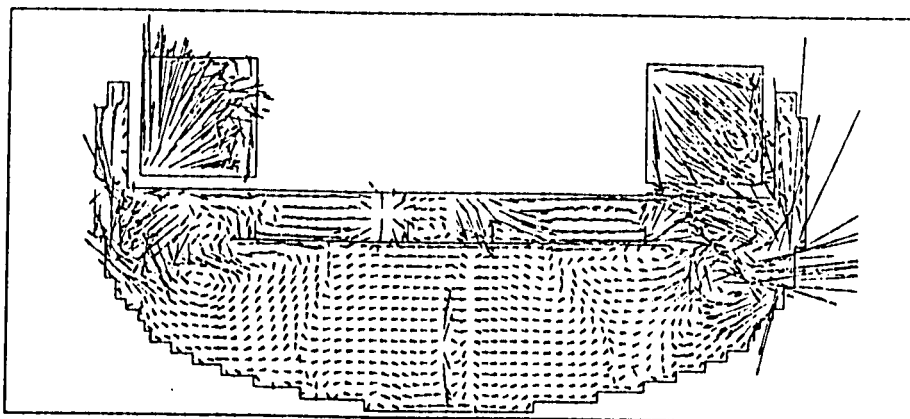
Fig. 3.12 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-5 Condition(1/3)



(J = 4, 27)

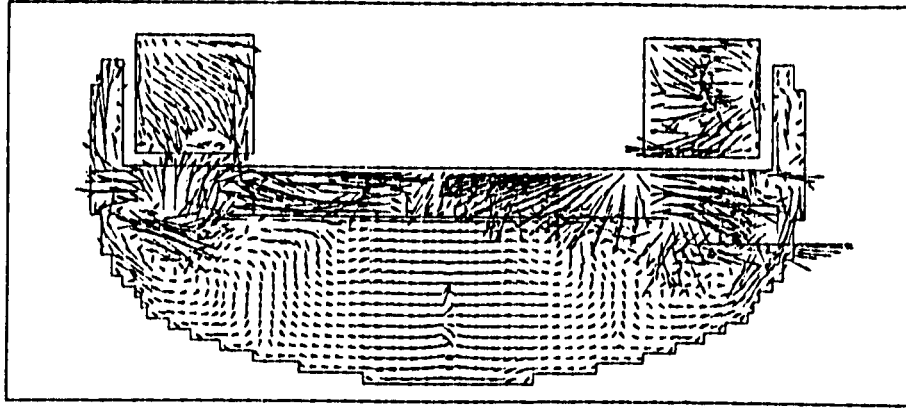


(J = 5, 26)

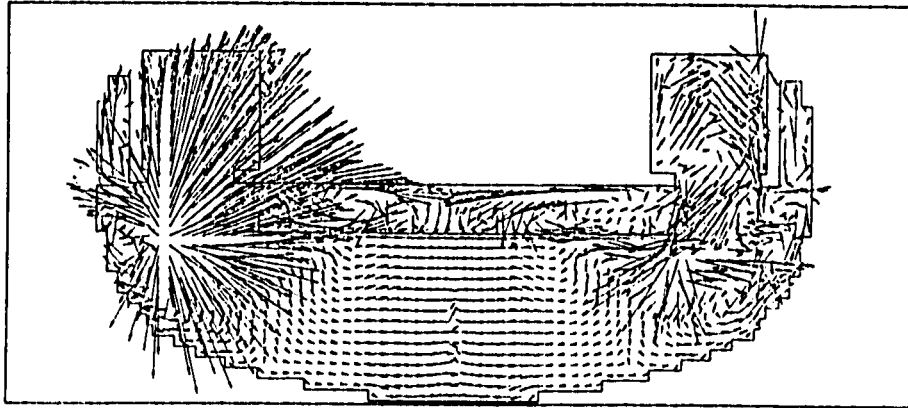


(J = 6, 25) ——— 5.00 M/S

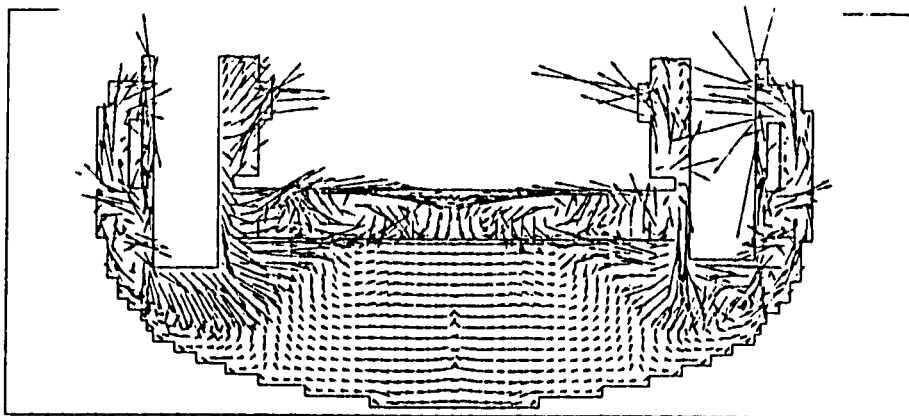
Fig. 3.12 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-5 Condition(2/3)



(J = 13, 18)

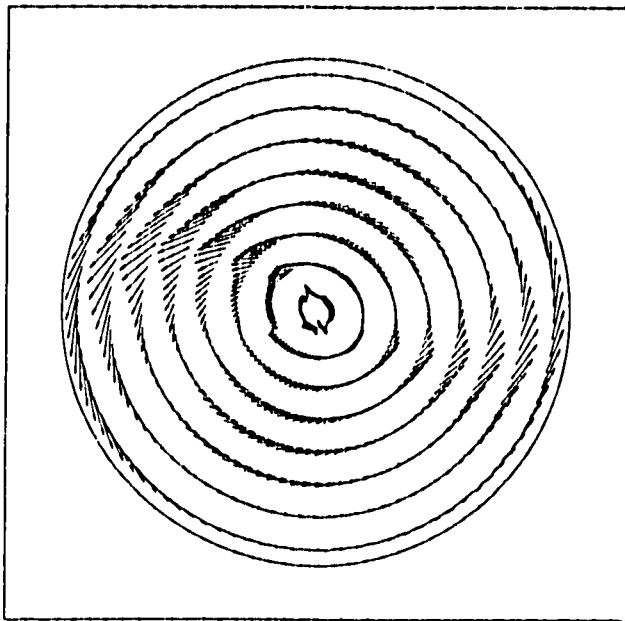


(J = 14, 17)

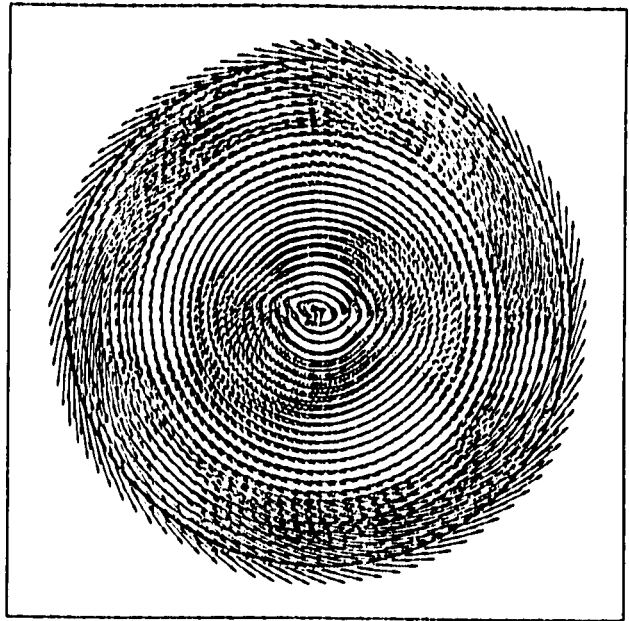


(J = 15, 16) ——— 5.00 M/S

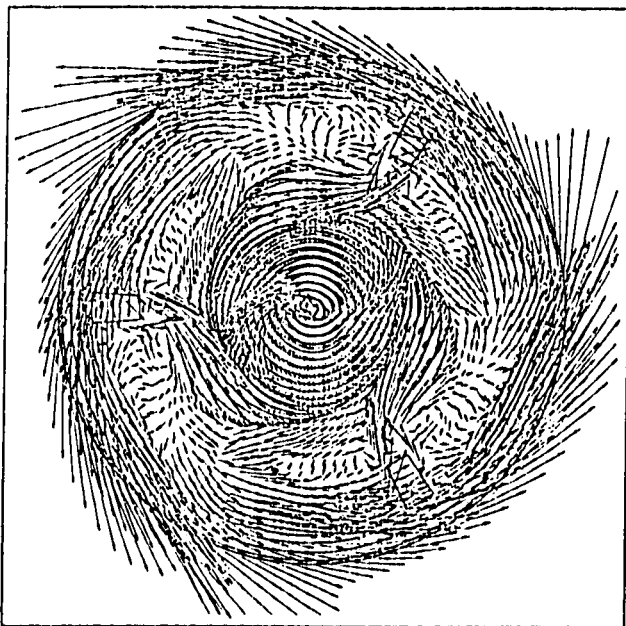
Fig. 3.12 Calculated Vertical Velocity Vector Fields for the Case-5 Condition(3/3)



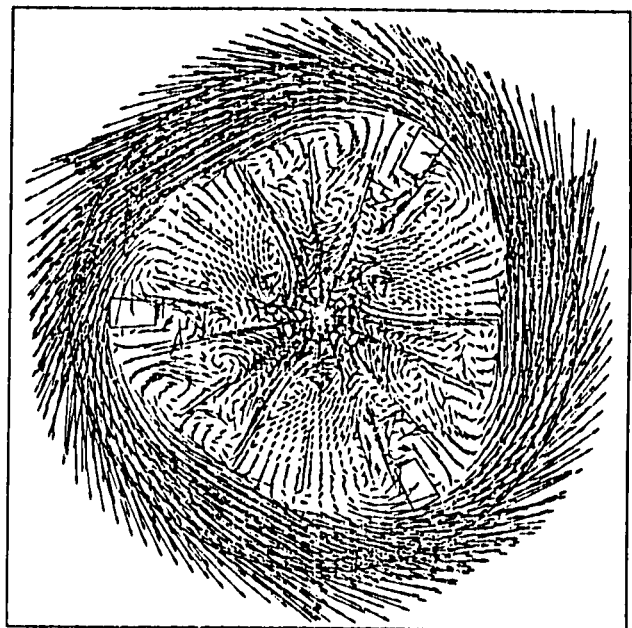
K = 1



K = 8

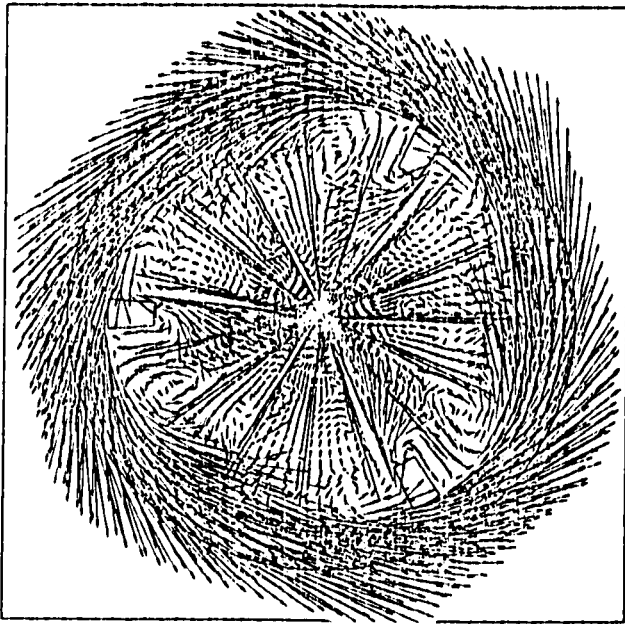


K = 16

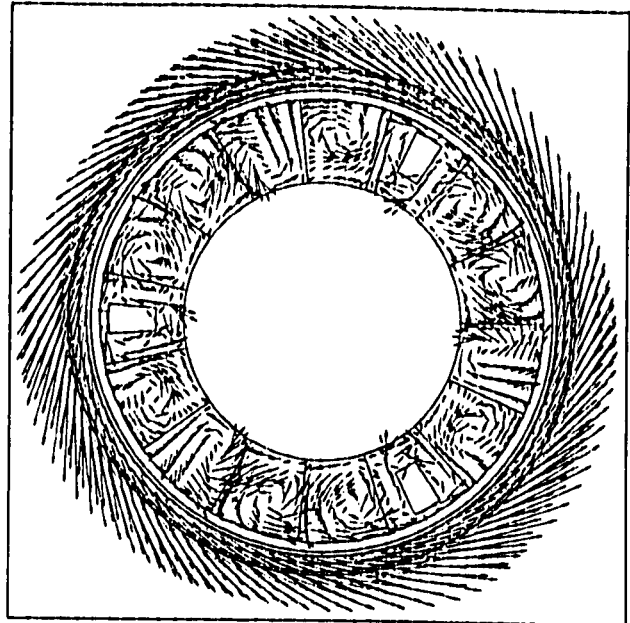


K = 19 ——— 10.00 M/S

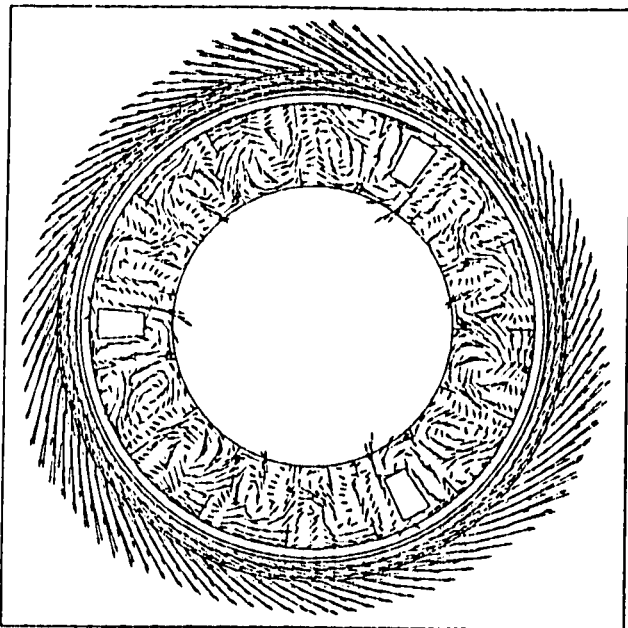
Fig. 3.13 Calculated Horizontal Velocity Vector Fields for the Case-5 Condition(1/2)



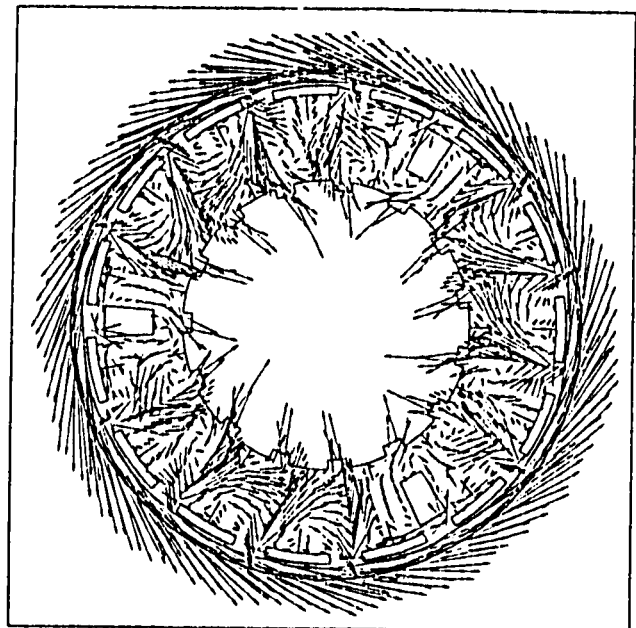
K = 2 1



K = 2 3

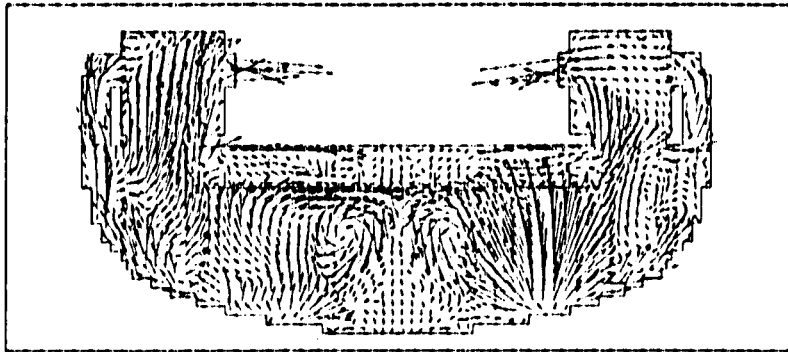


K = 2 5

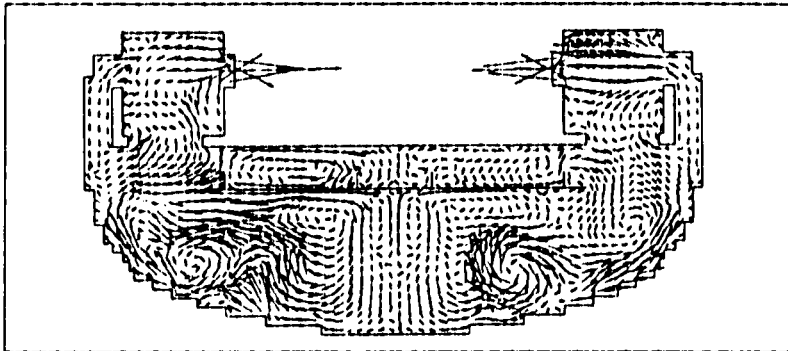


K = 2 8 ——— 10.00 M/S

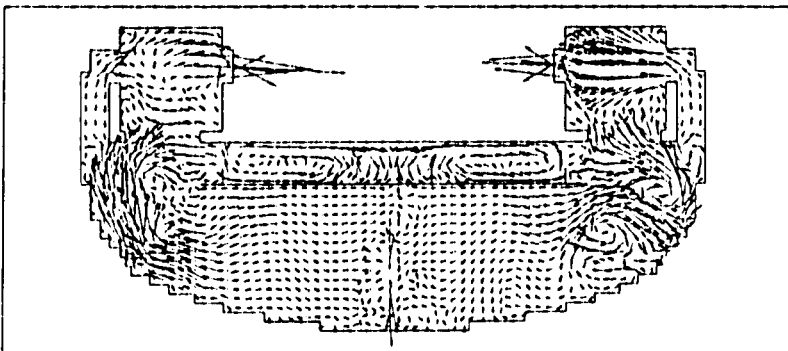
Fig. 3.13 Calculated Horizontal Velocity Vector Fields for the Case-5 Condition(2/2)



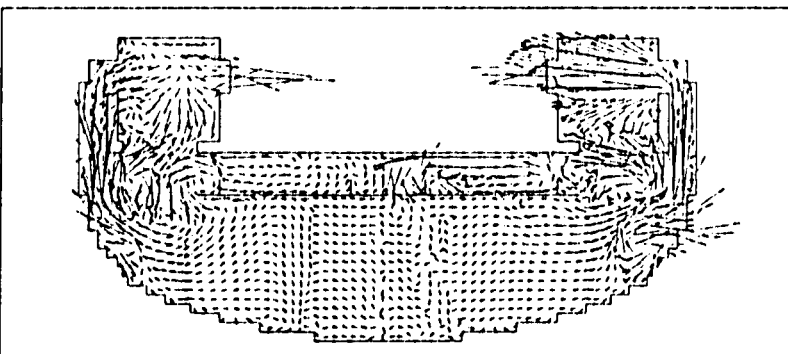
C a s e - 1



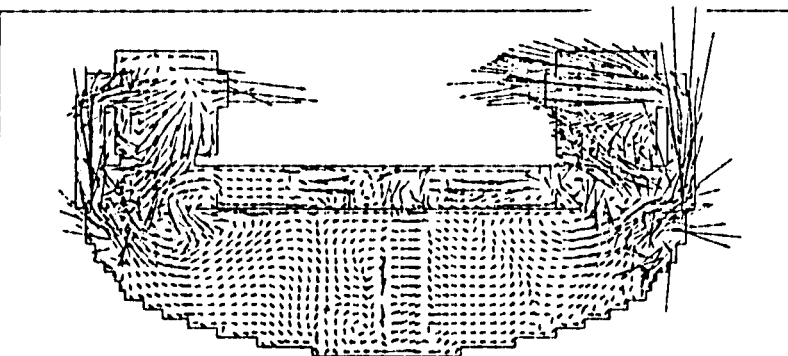
C a s e - 2



C a s e - 3



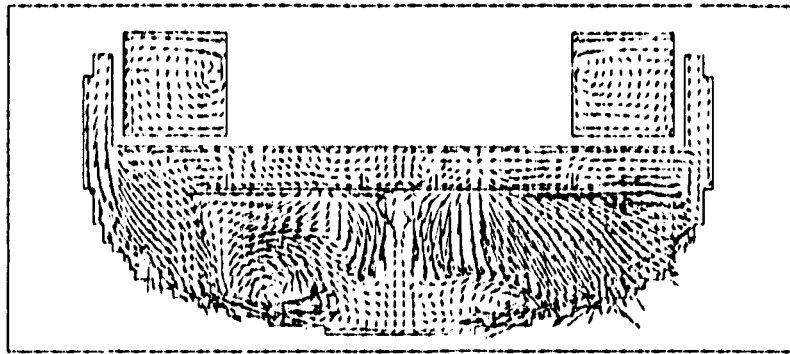
C a s e - 4



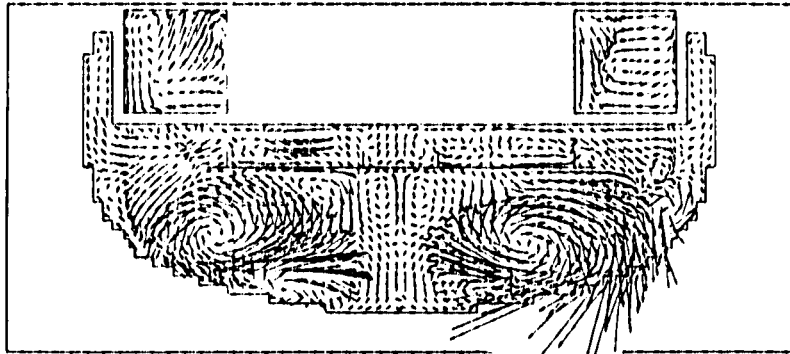
C a s e - 5

$J = 3, 28$  5.00 M/S

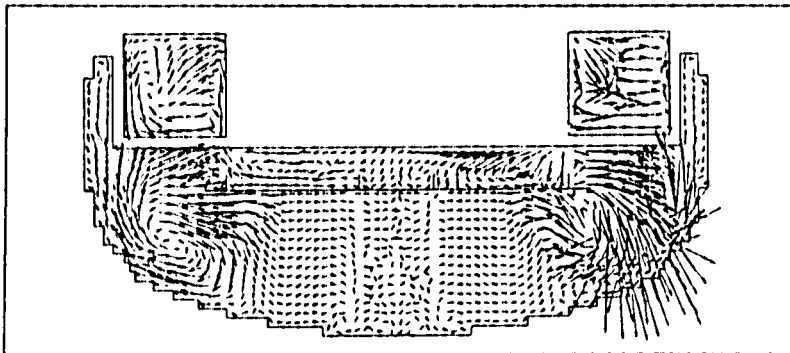
Fig. 3.14 Comparison of Vertical Velocity Vector Fields(1/3)



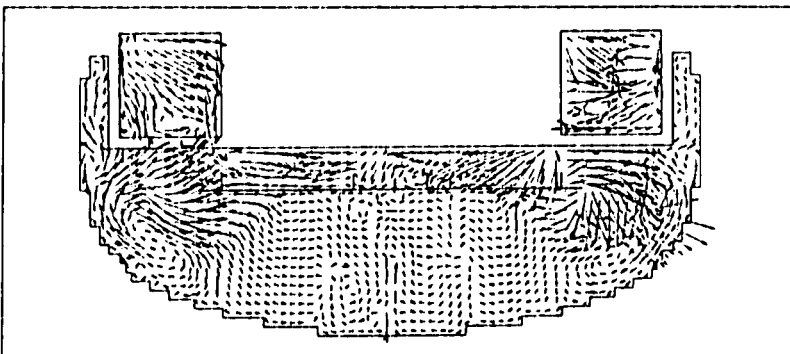
Case - 1



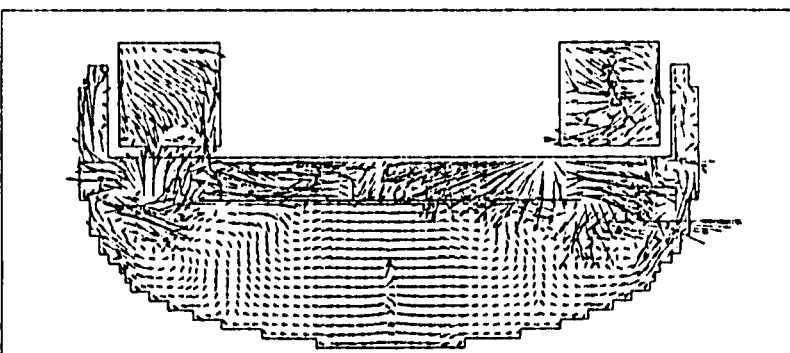
Case - 2



Case - 3



Case - 4



Case - 5

$J = 13, 18$  5.00 M/S

Fig. 3.14 Comparison of Vertical Velocity Vector Fields(2/3)



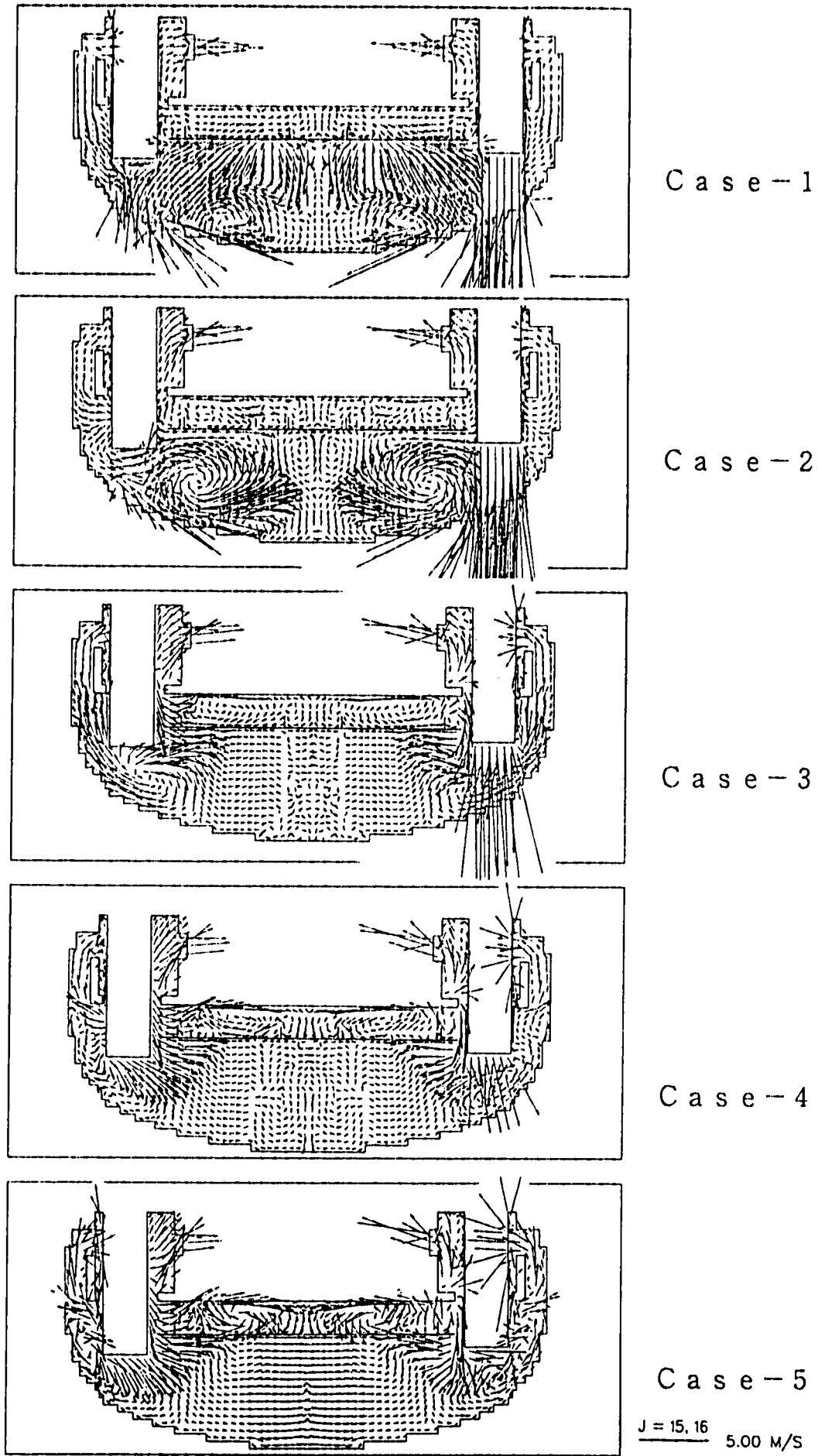
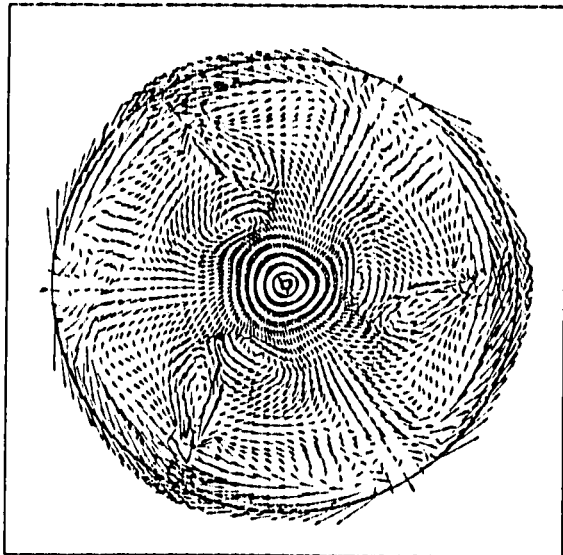
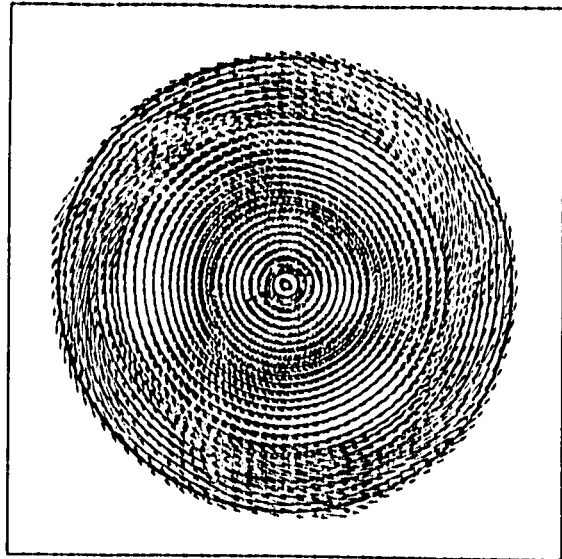


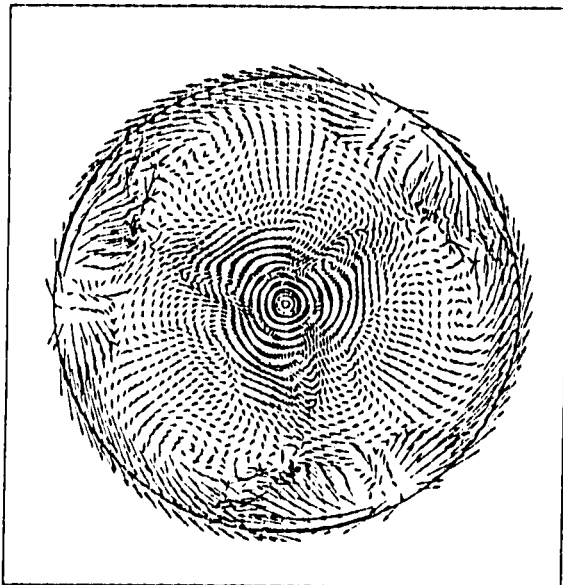
Fig. 3.14 Comparison of Vertical Velocity Vector Fields(3/3)



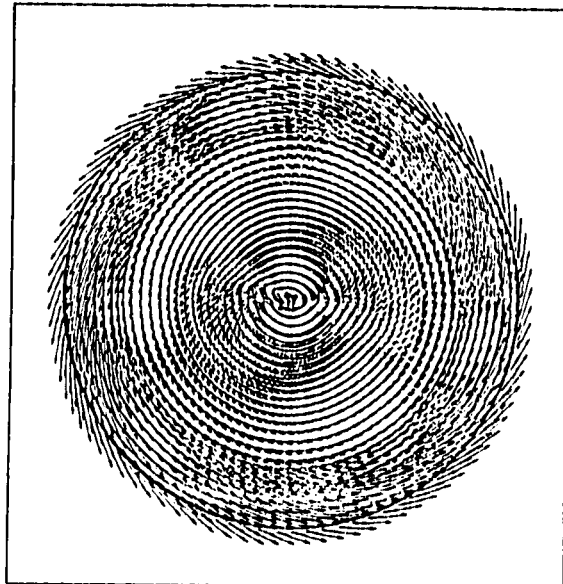
C a s e - 1



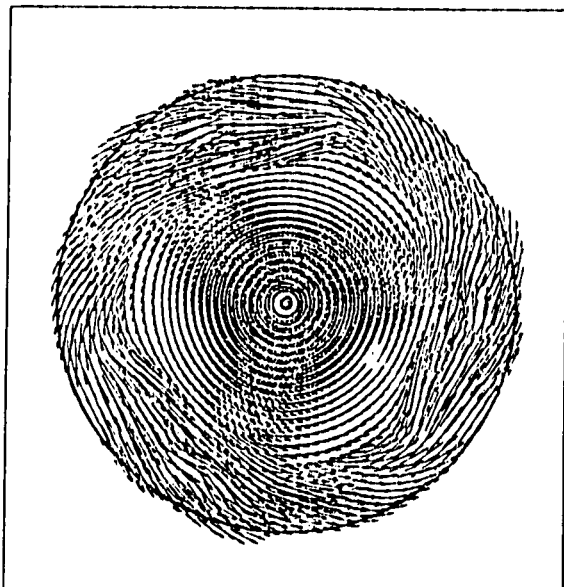
C a s e - 4



C a s e - 2



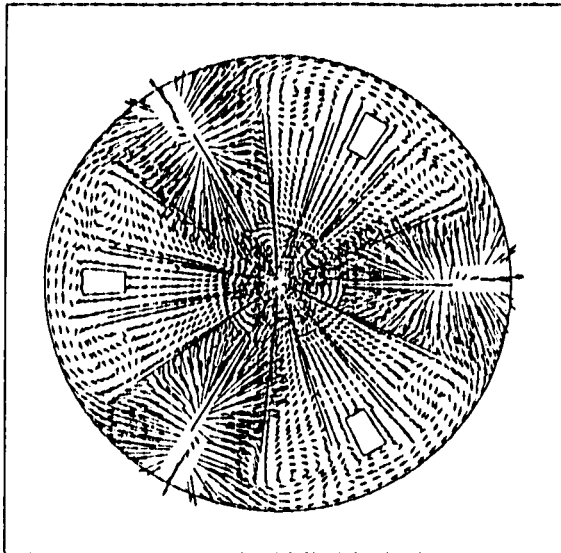
C a s e - 5



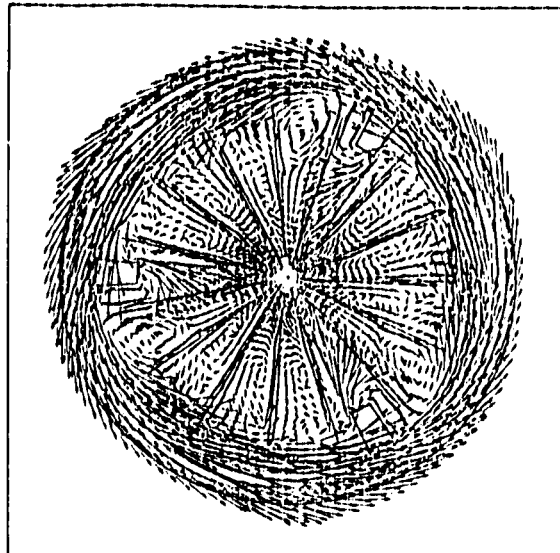
C a s e - 3

$K = 8$  10.00 M/S

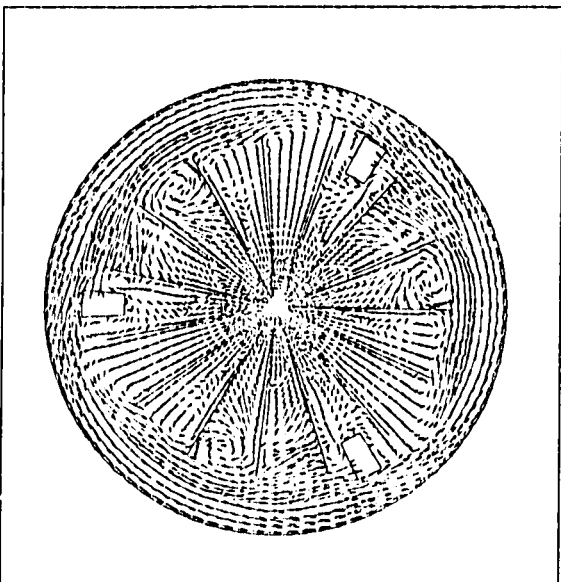
Fig. 3.15 Comparison of Horizontal Velocity Vector Fields(1/3)



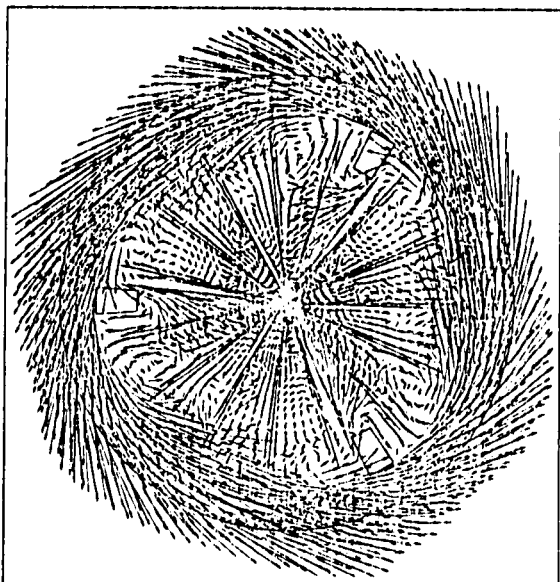
C a s e - 1



C a s e - 4

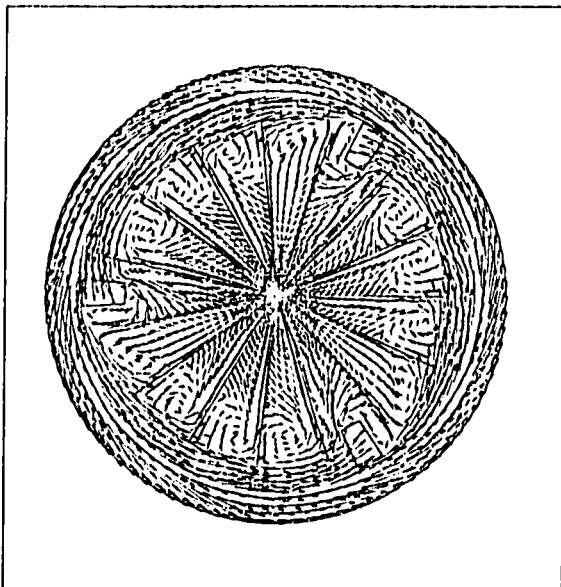


C a s e - 2



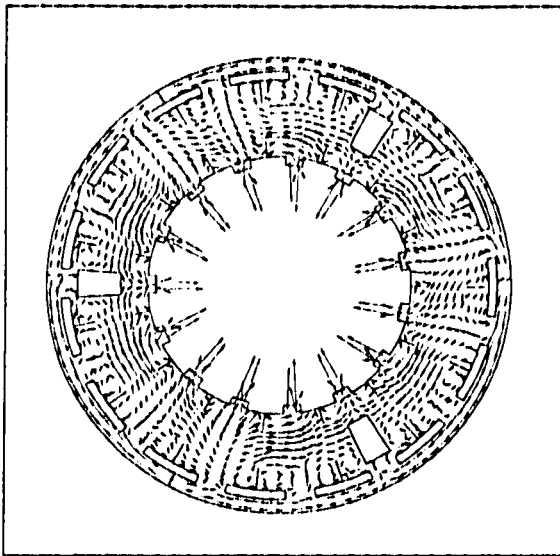
C a s e - 5

$K = 21$  10.00 M/S

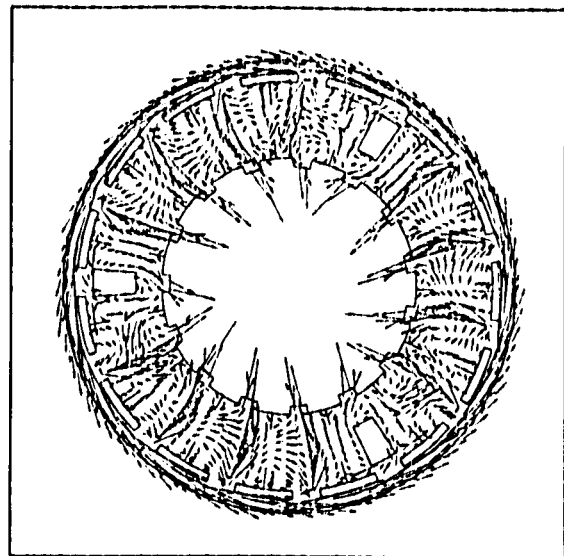


C a s e - 3

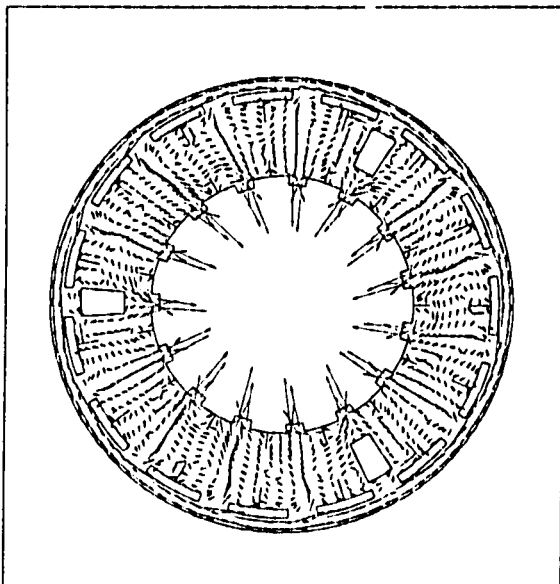
Fig. 3.15 Comparison of Horizontal Velocity Vector Fields(2/3)



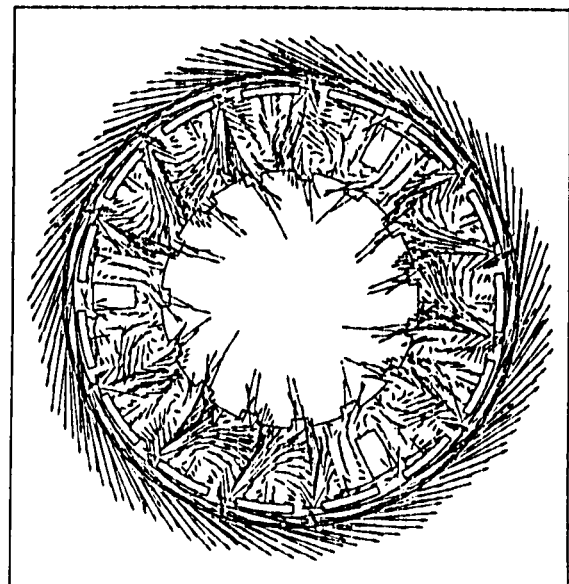
C a s e - 1



C a s e - 4

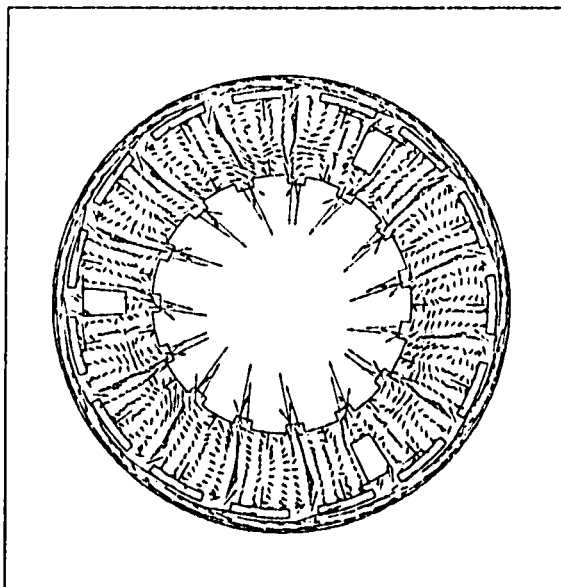


C a s e - 2



C a s e - 5

$K = 28$  10.00 M/S



C a s e - 3

Fig. 3.15 Comparison of Horizontal Velocity Vector Fields(3/3)

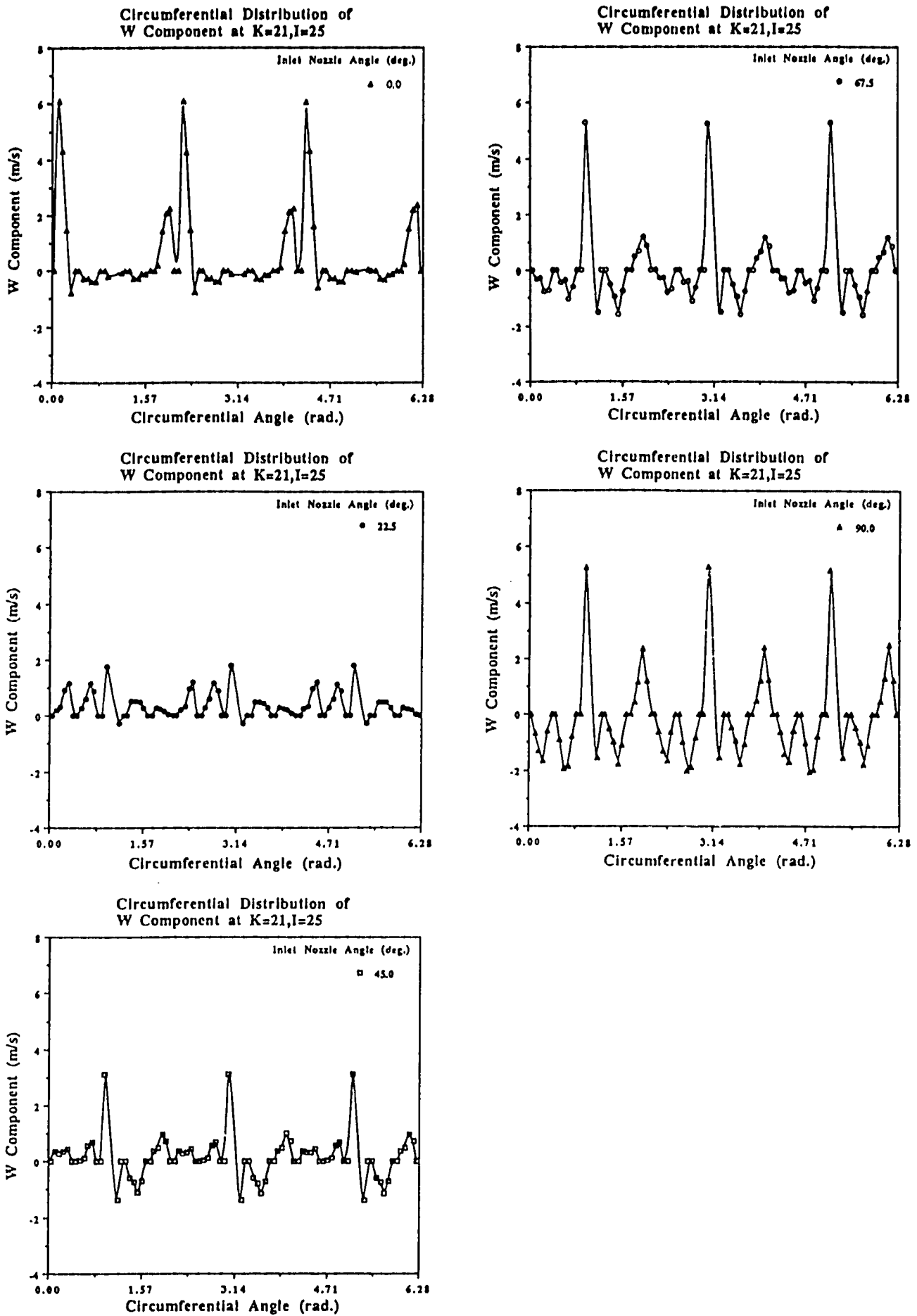


Fig. 3.16 Circumferential Distribution of Axial Velocity Component at the Truss Inlet Position

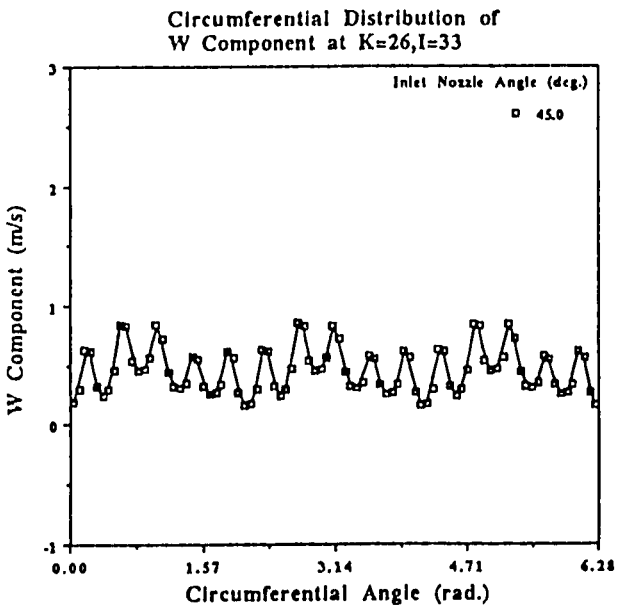
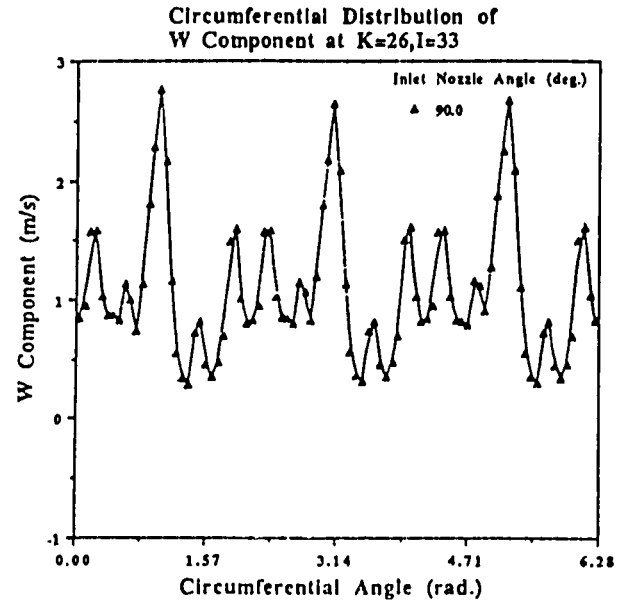
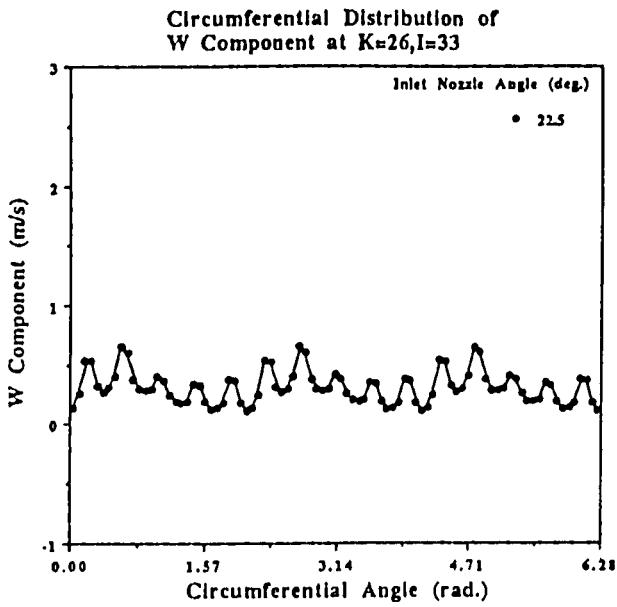
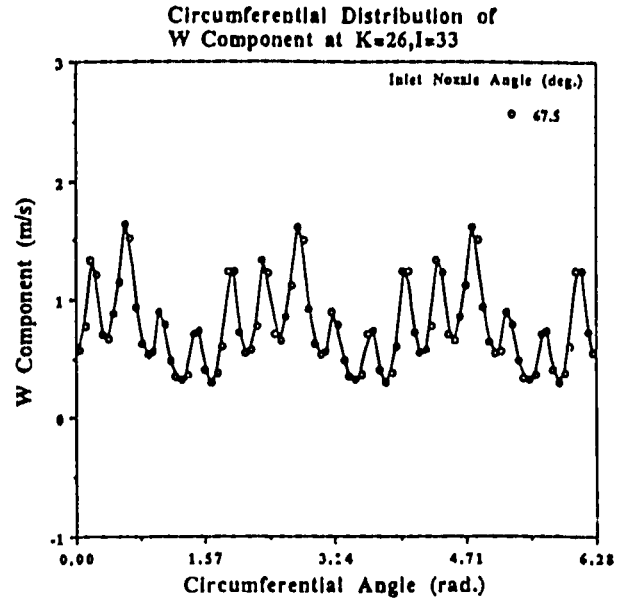
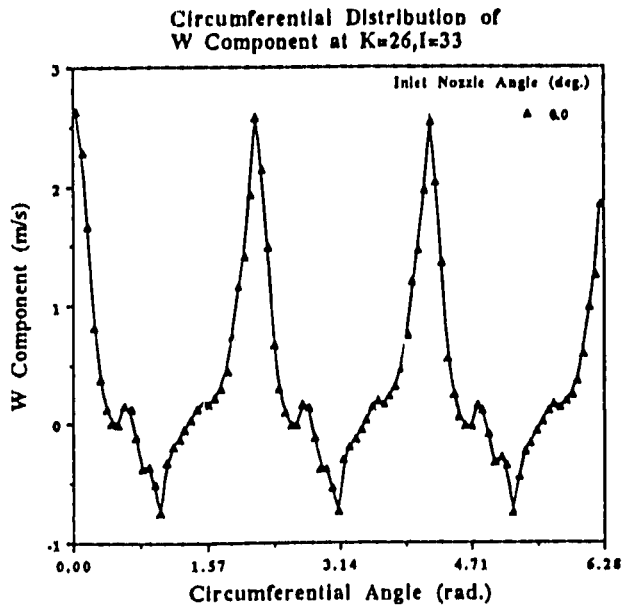
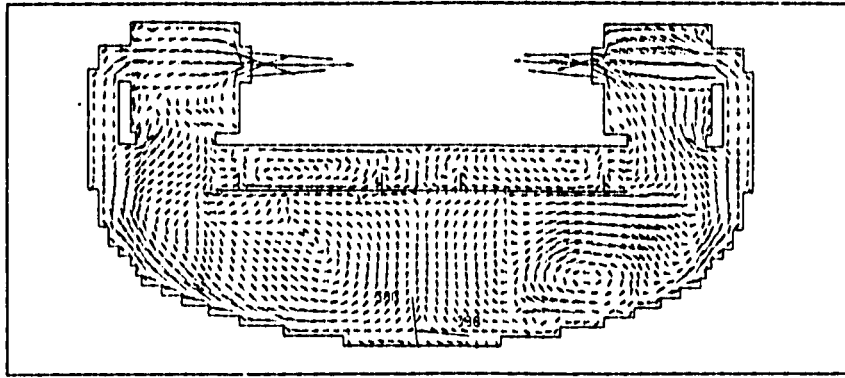
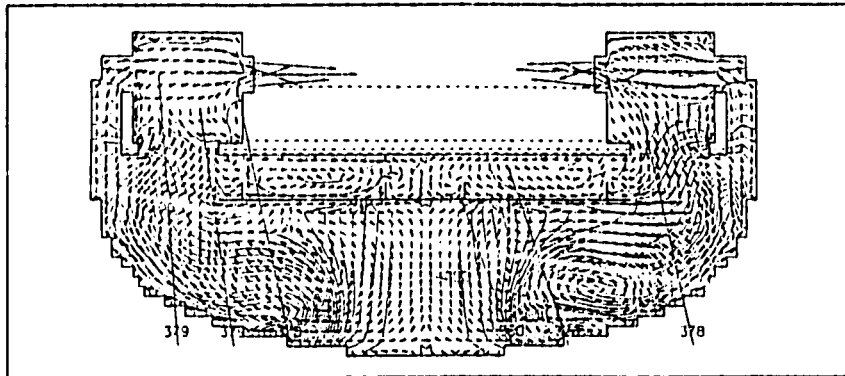


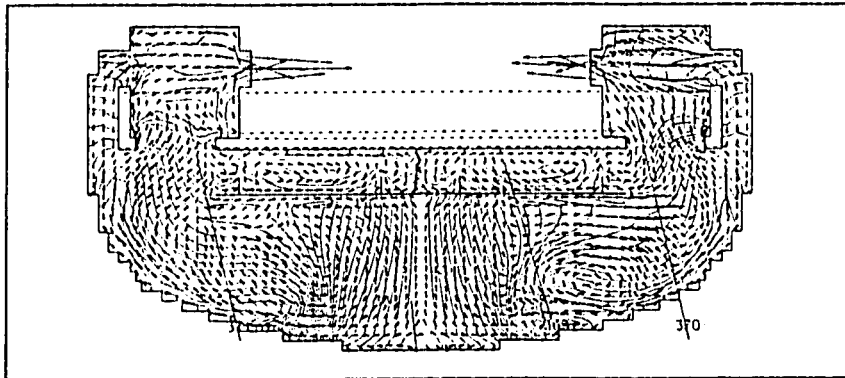
Fig. 3.17 Circumferential Distribution of Axial Velocity Component at the Side Position of Truss



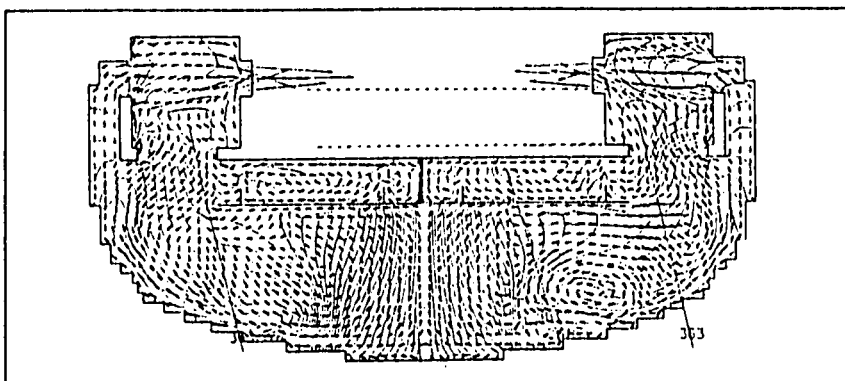
Time = 0 s



Time = 50 s



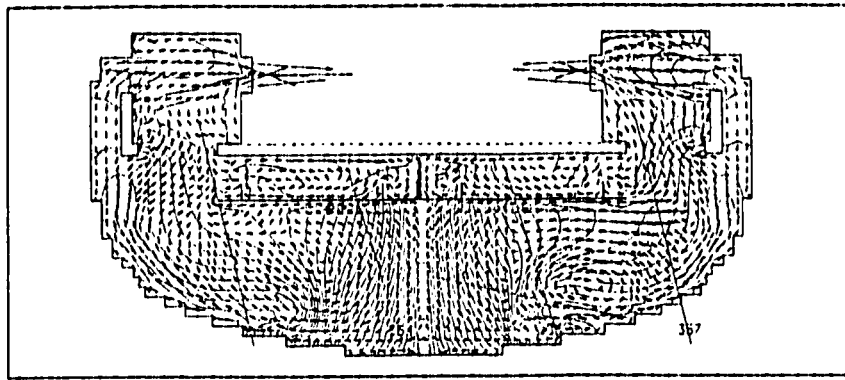
Time = 100 s



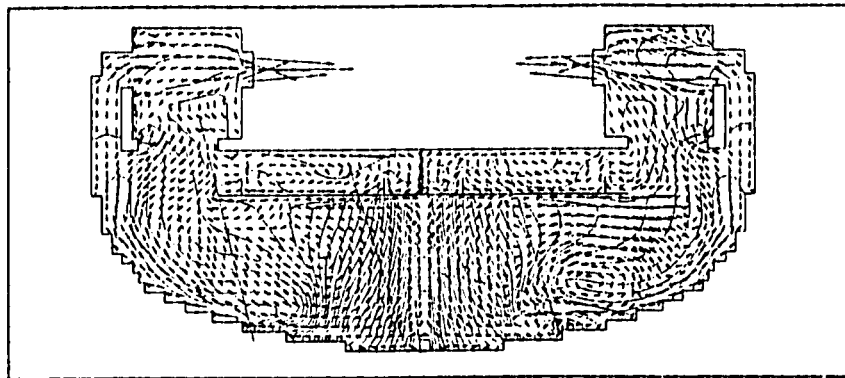
Time = 150 s

— 0.50 M/S  
J = 3, 28

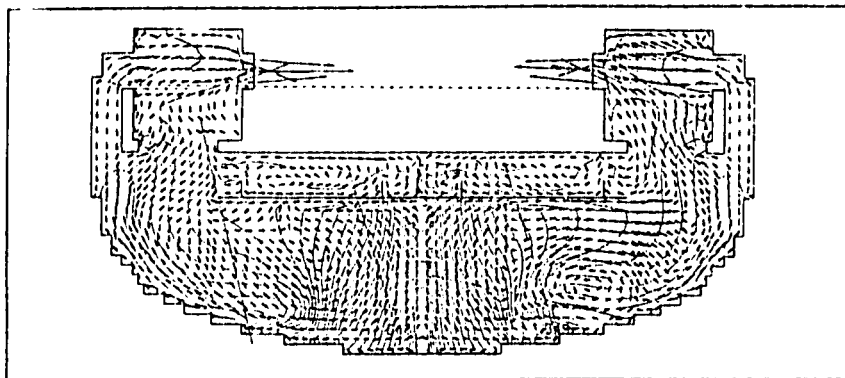
Fig. 4.1 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for J=3 and J=28(1/2)



Time = 200 s



Time = 250 s



Time = 300 s

—— 0.50 M/S  
J = 3, 28

Fig. 4.1 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for J=3 and J=28(2/2)



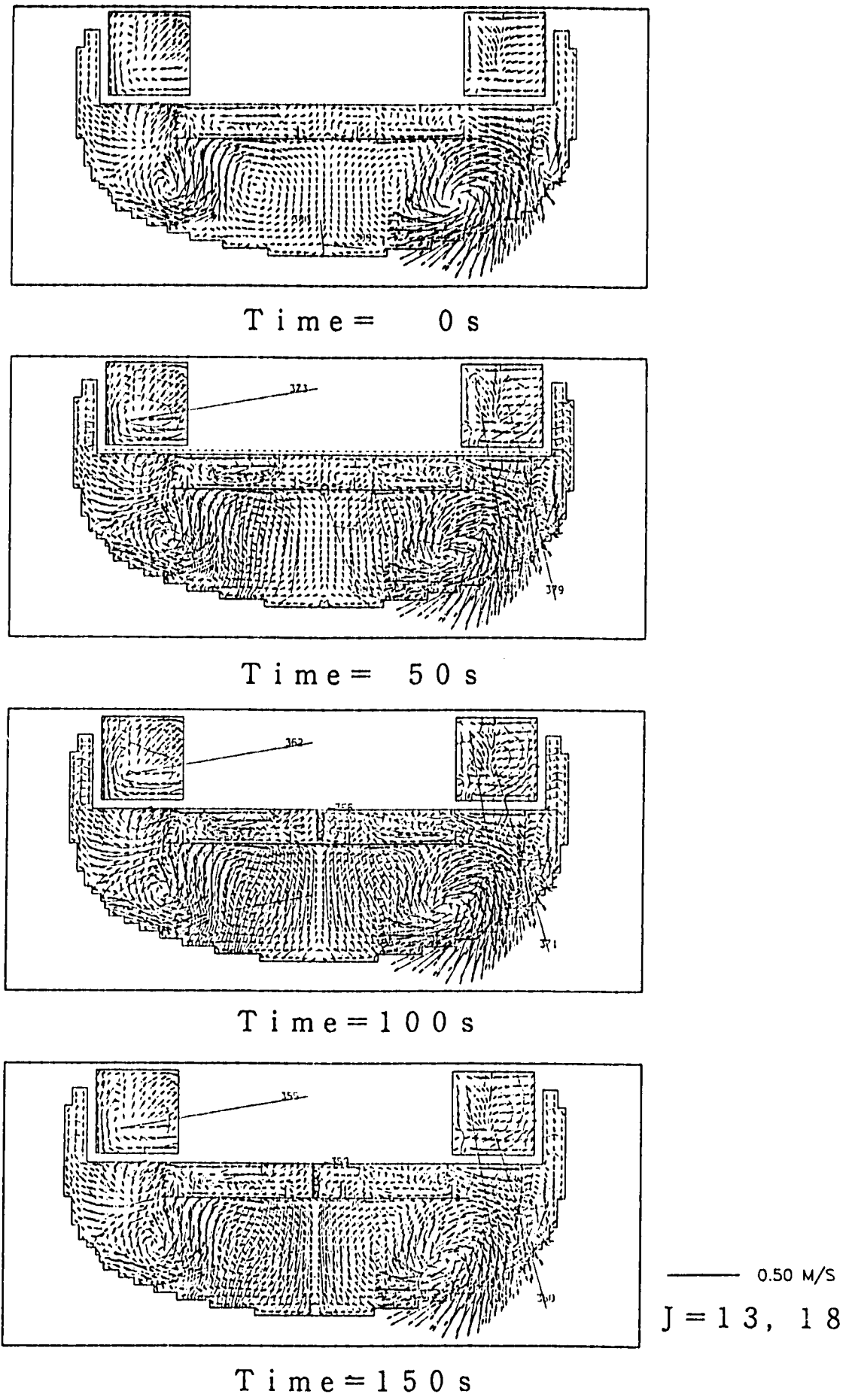
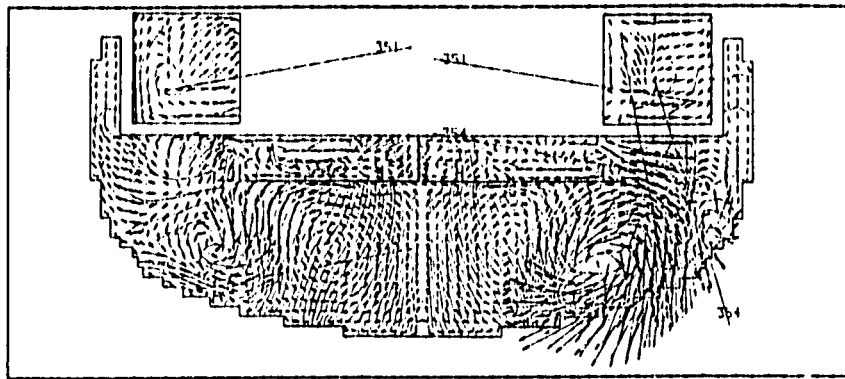
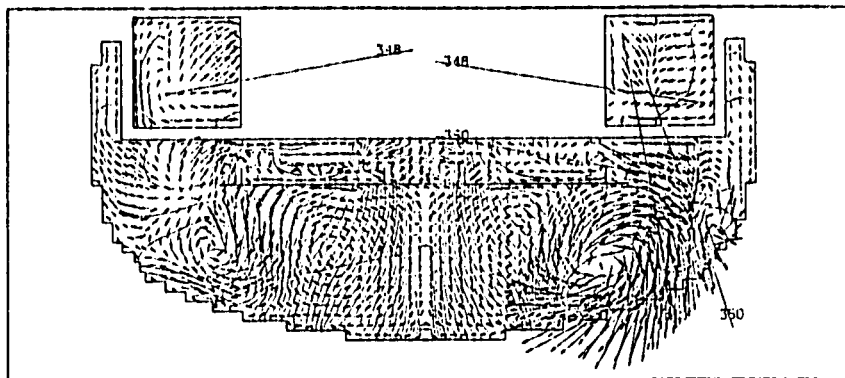


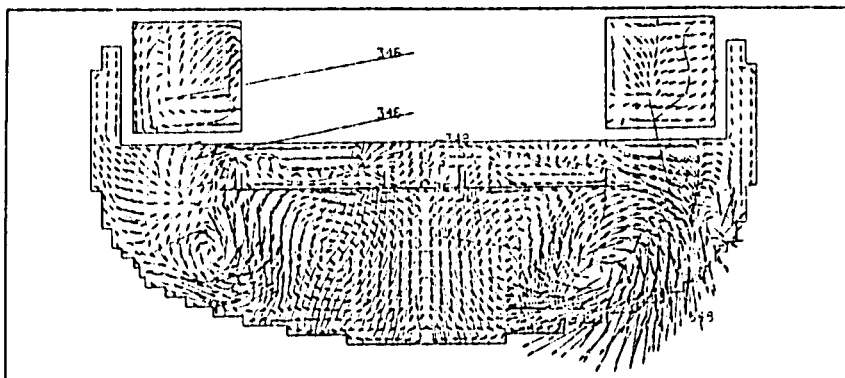
Fig. 4.2 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for J=13 and J=18(1/2)



Time = 200 s



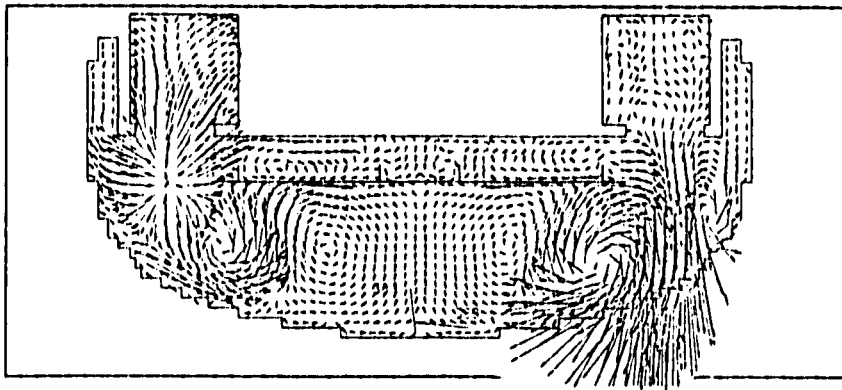
Time = 250 s



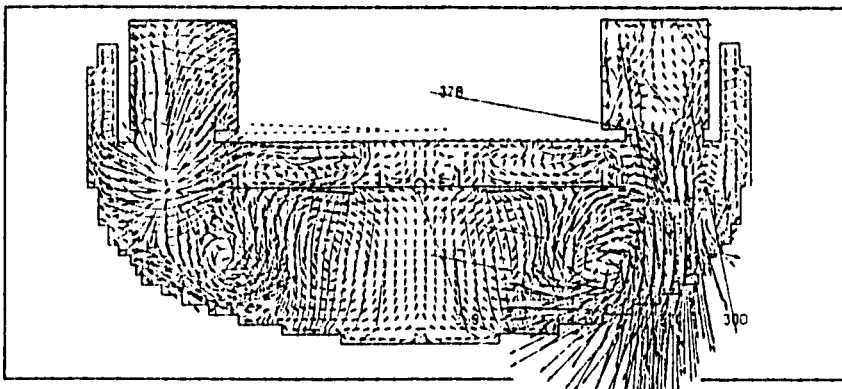
Time = 300 s

— 0.50 M/S  
J = 13, 18

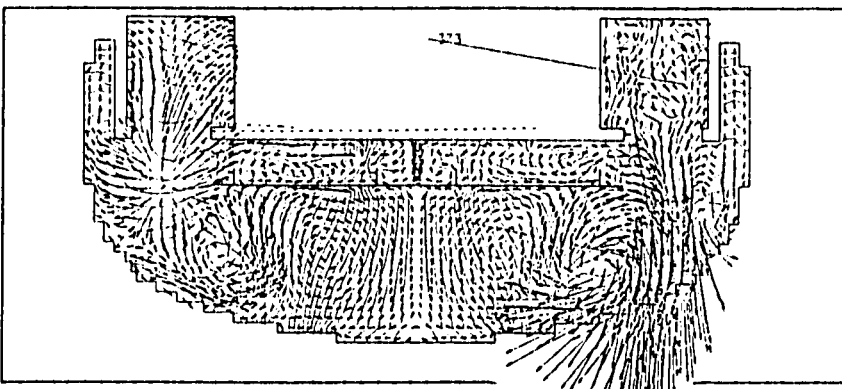
Fig. 4.2 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for J=13 and J=18(2/2)



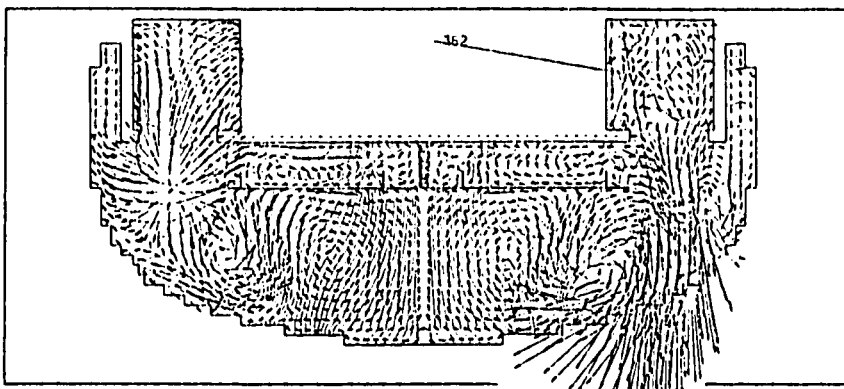
Time = 0 s



Time = 50 s



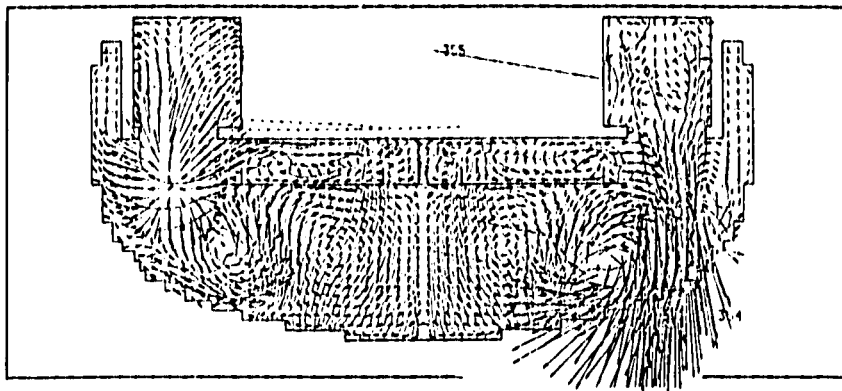
Time = 100 s



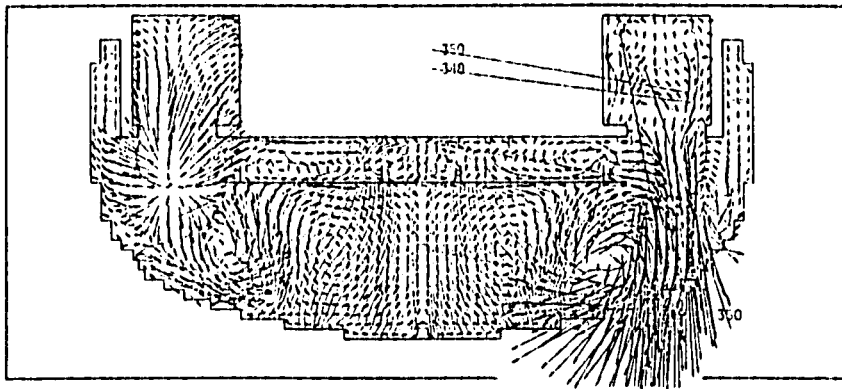
Time = 150 s

0.50 M/S  
J = 14, 17

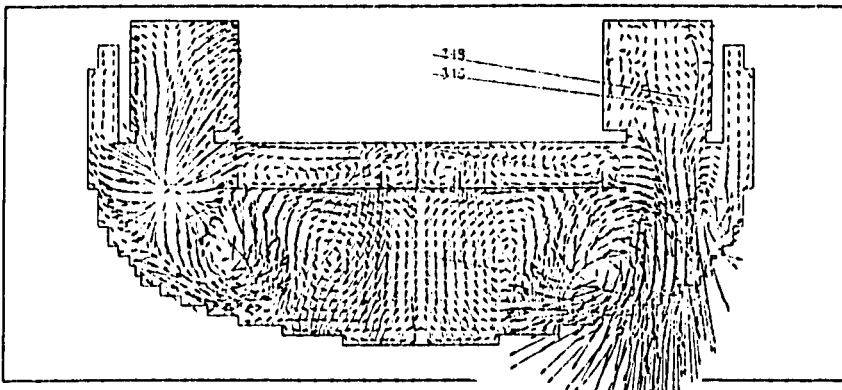
Fig. 4.3 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for J=14 and J=27(1/2)



Time = 200 s



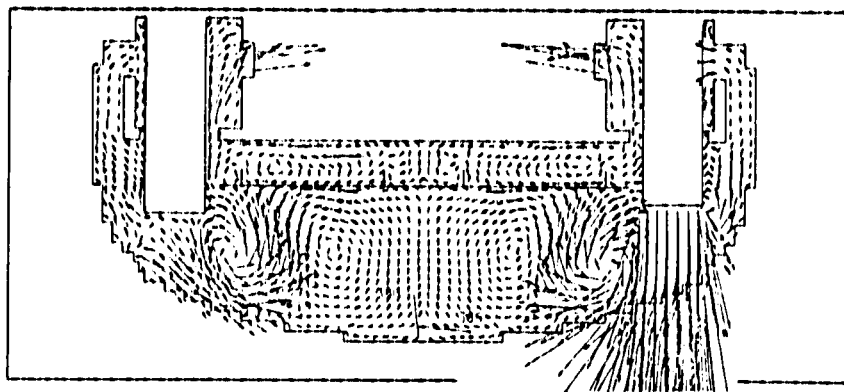
Time = 250 s



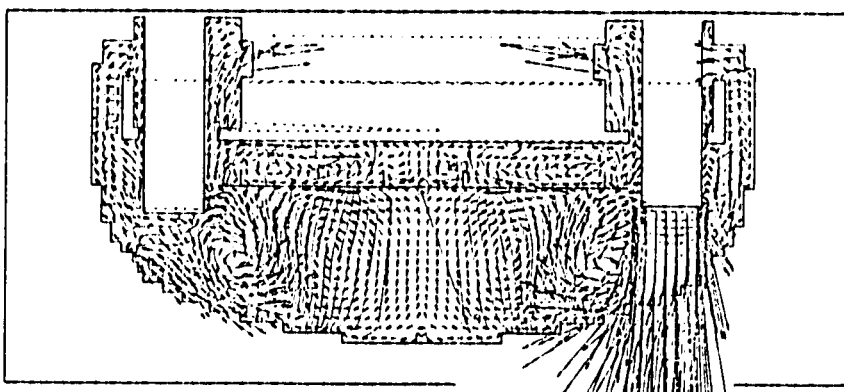
Time = 300 s

— 0.50 M/S  
J = 14, 17

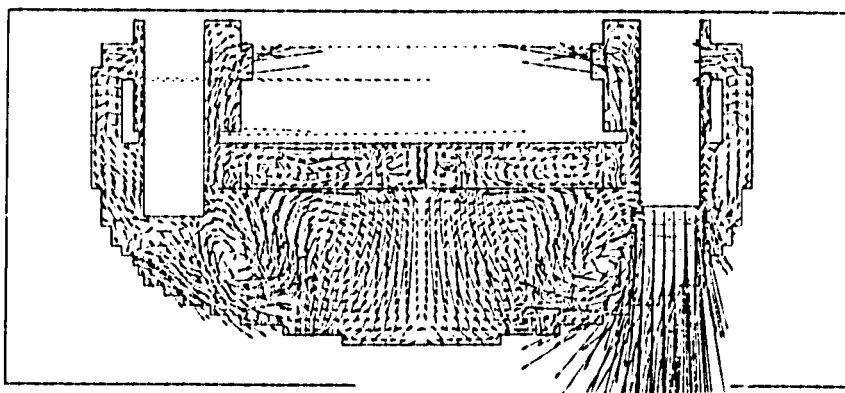
Fig. 4.3 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for J=14 and J=27(2/2)



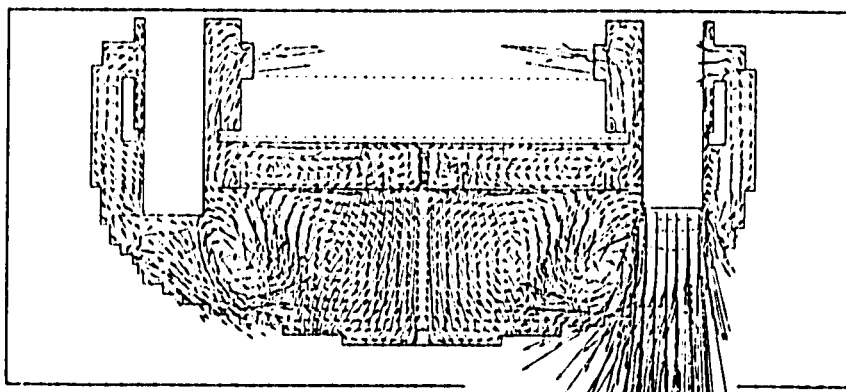
Time = 0 s



Time = 50 s



Time = 100 s



— 0.50 M/S  
J = 15, 16

Time = 150 s

Fig. 4.4 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for J=15 and J=16(1/2)

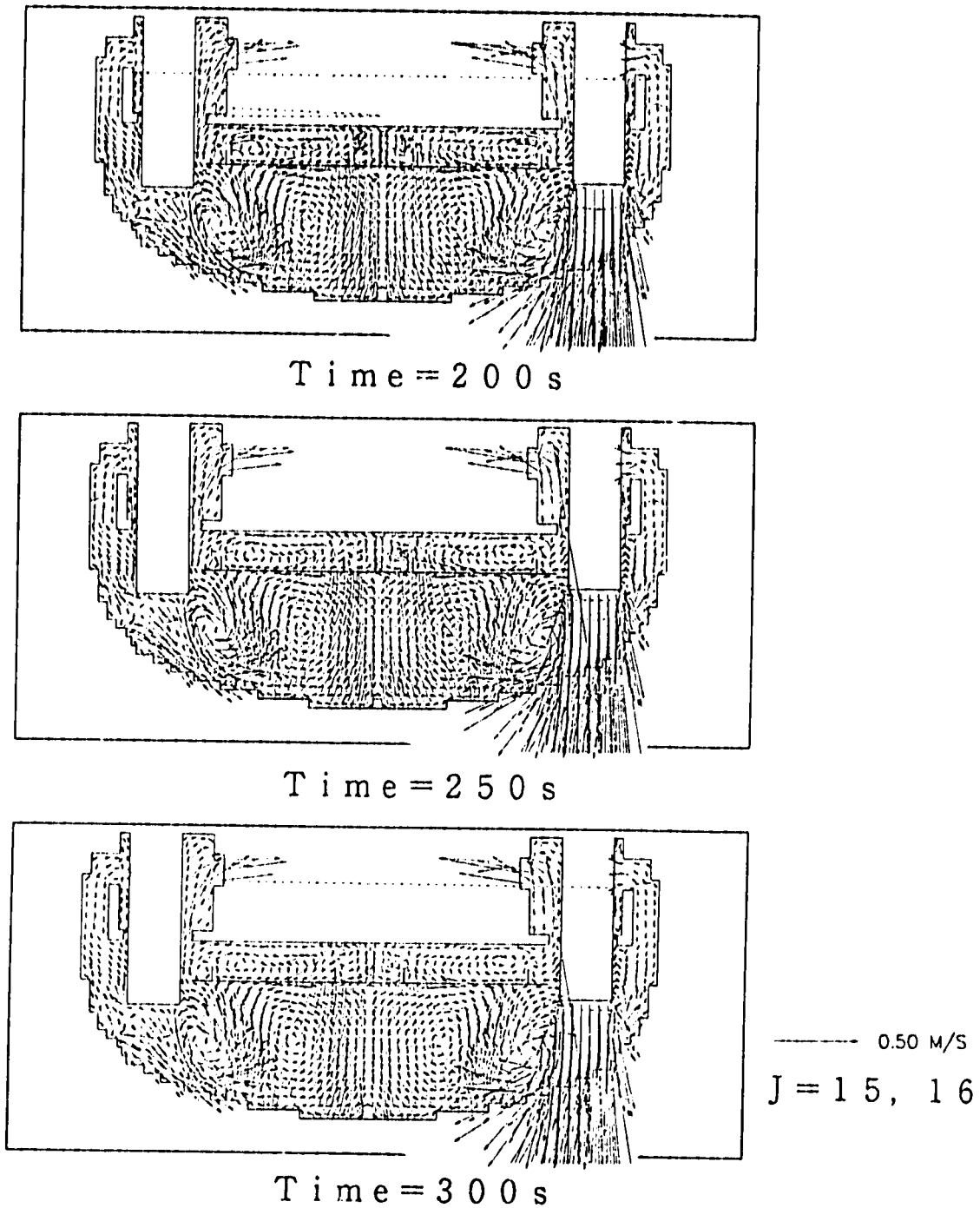


Fig. 4.4 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for J=15 and J=16(2/2)

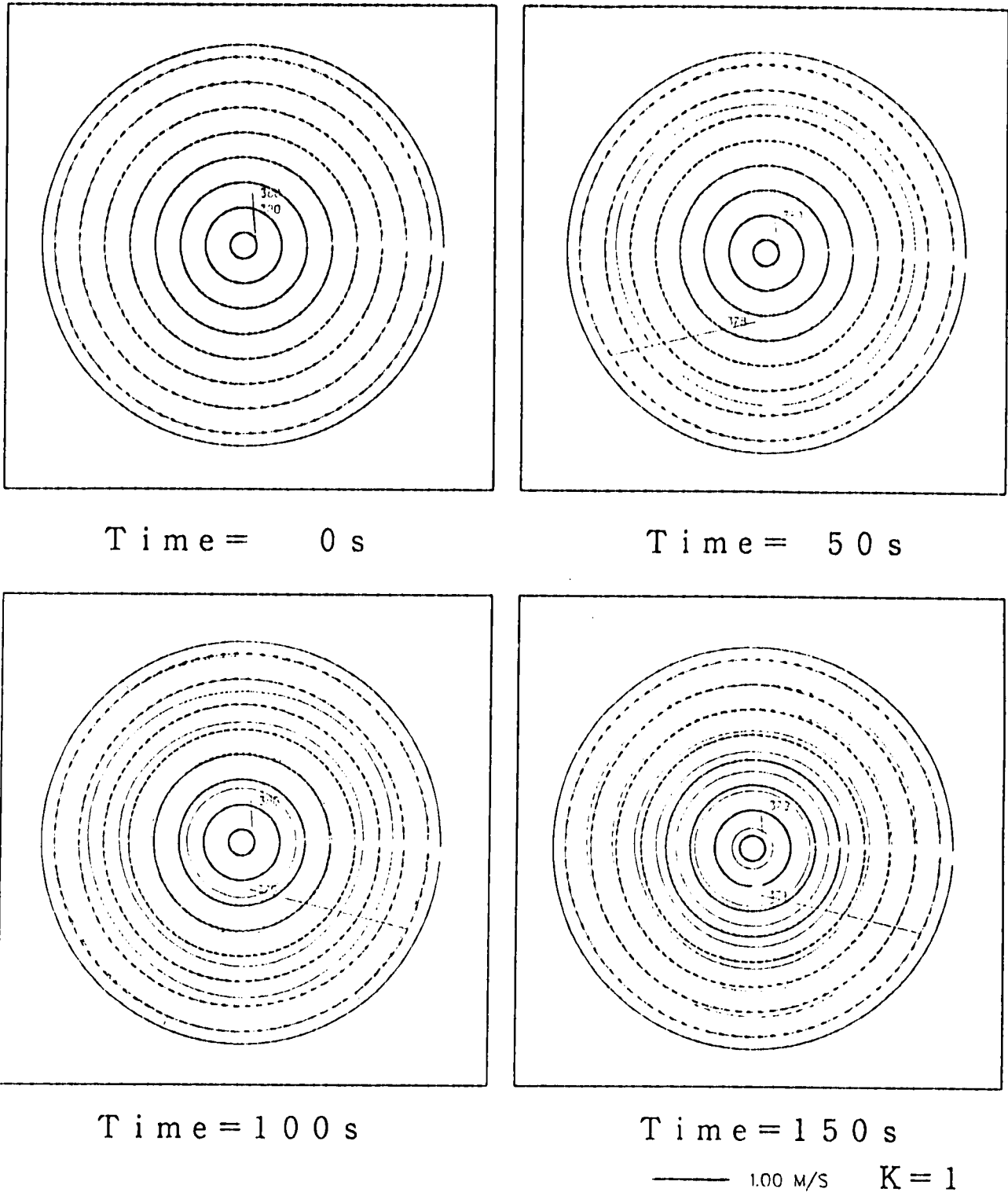


Fig. 4.5 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for  $K=1(1/2)$

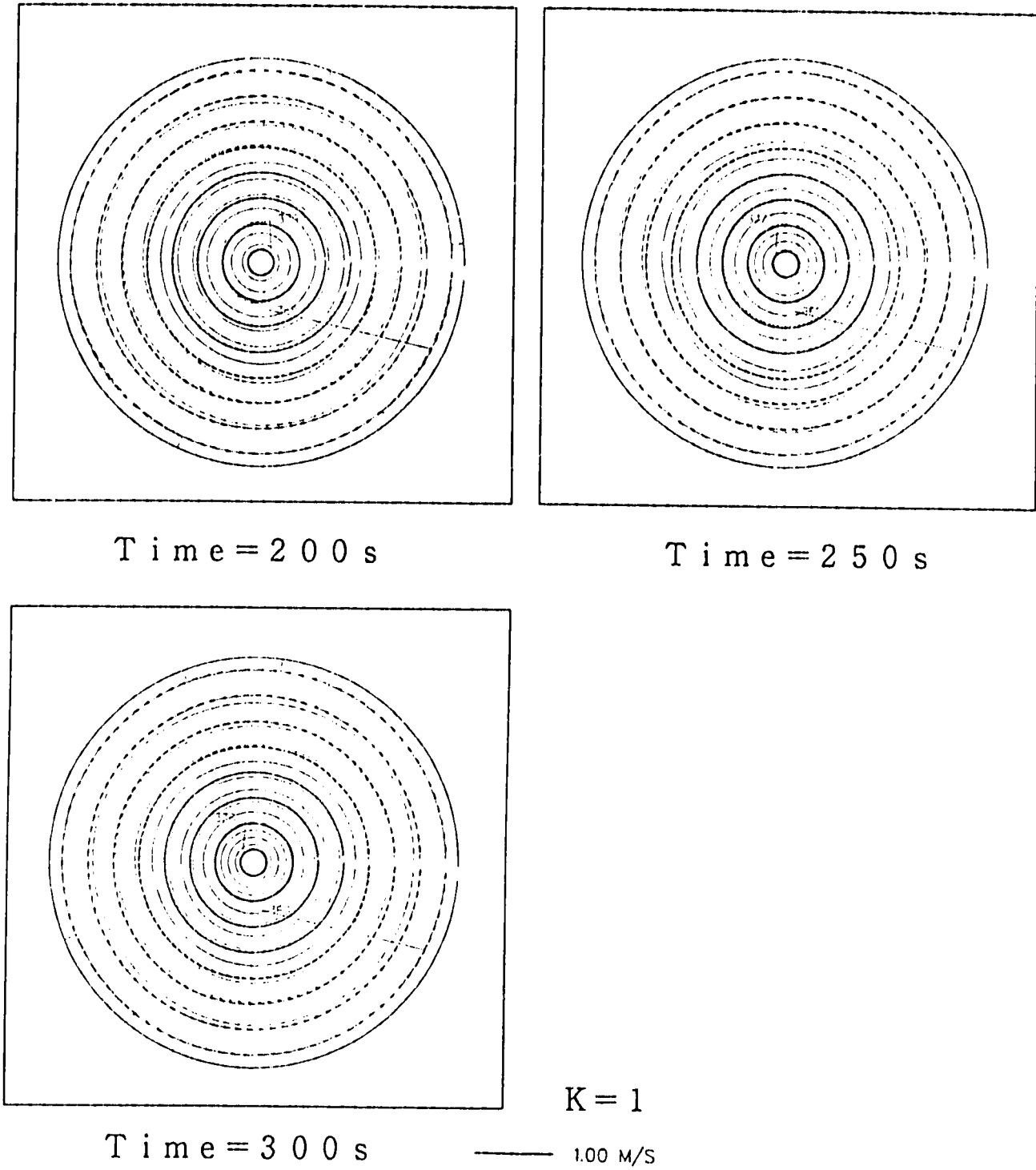


Fig. 4.5 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for  $K=1(2/2)$



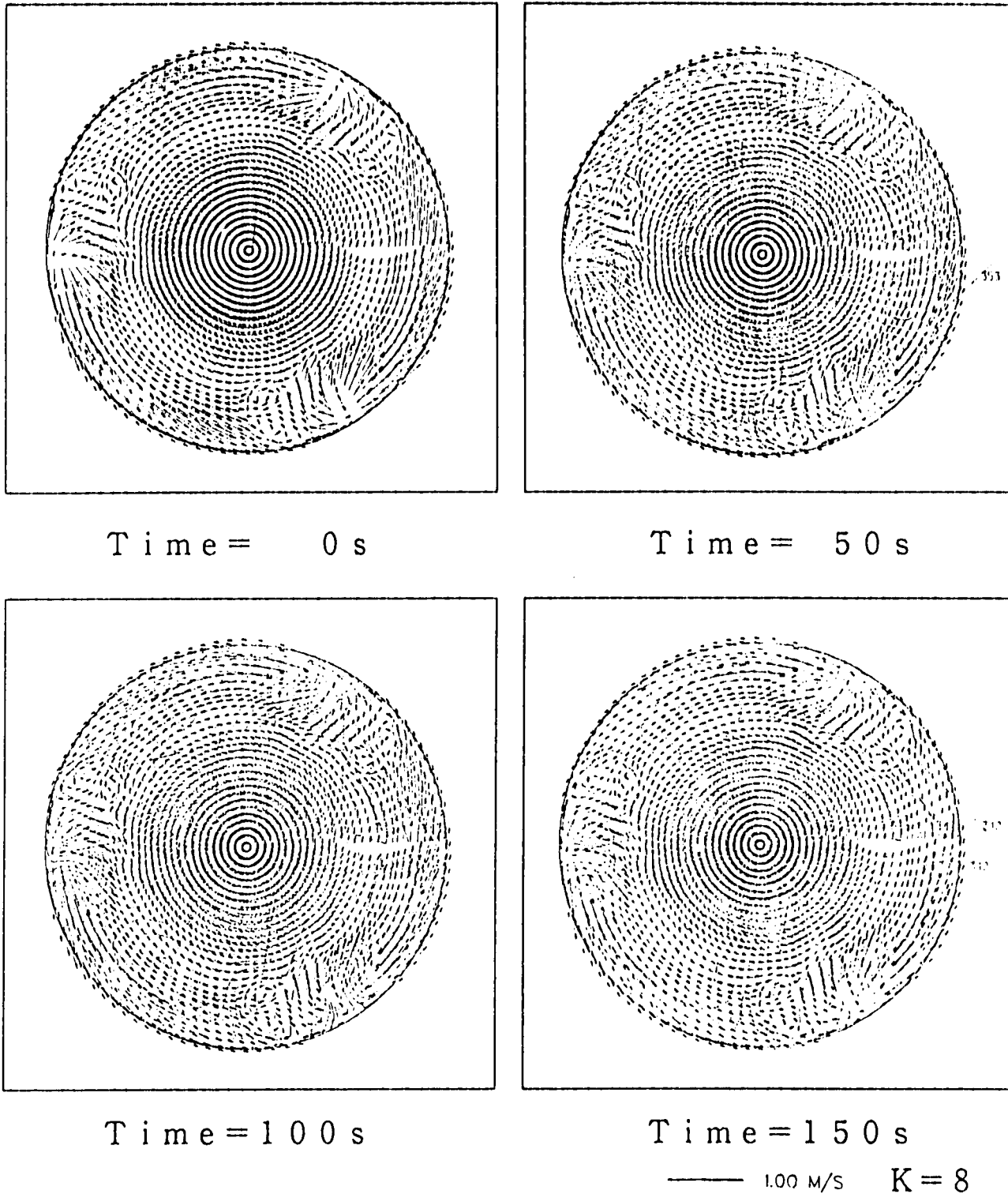
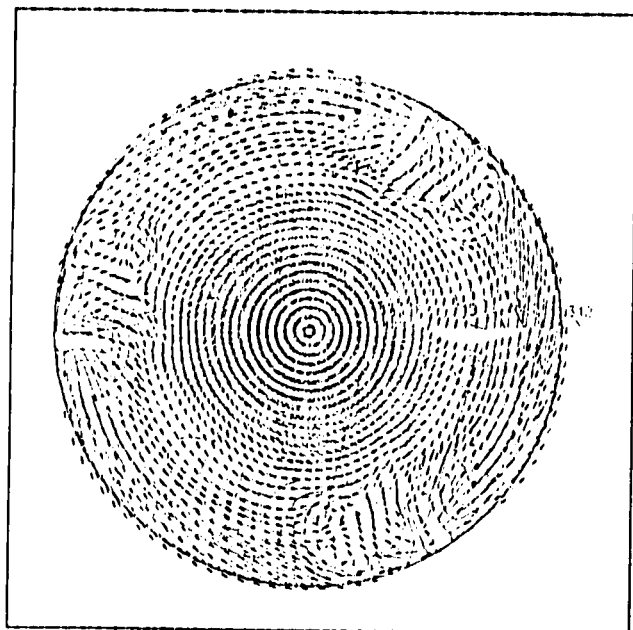
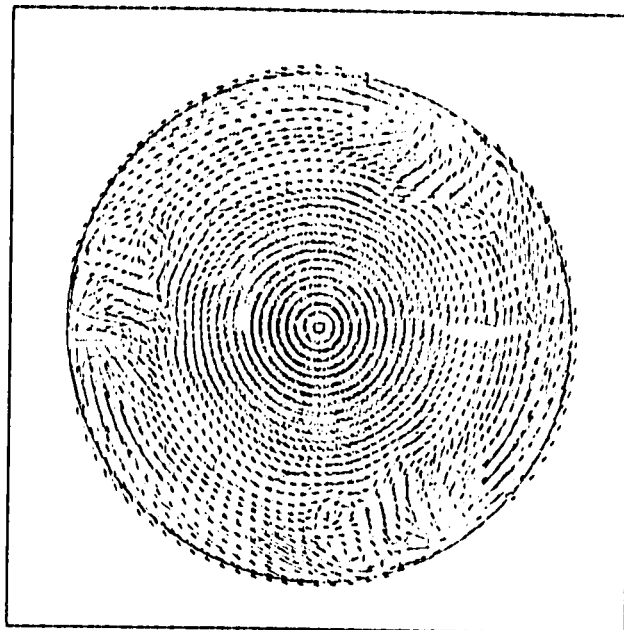


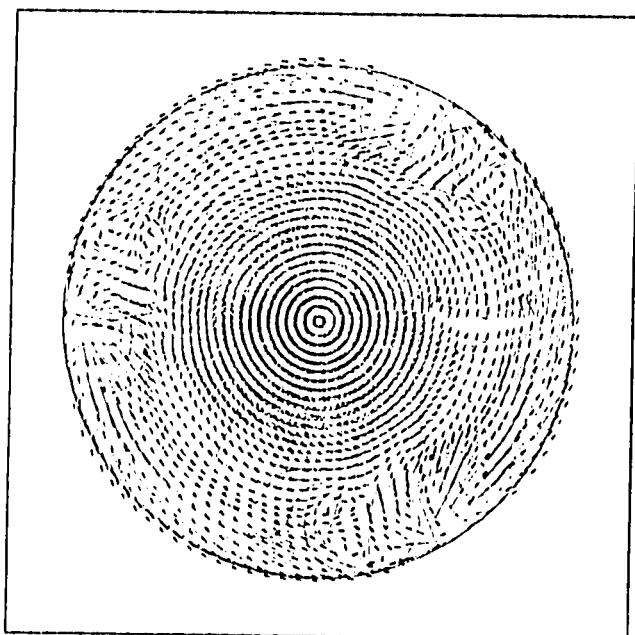
Fig. 4.6 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for  $K=8(1/2)$



Time = 200 s



Time = 250 s

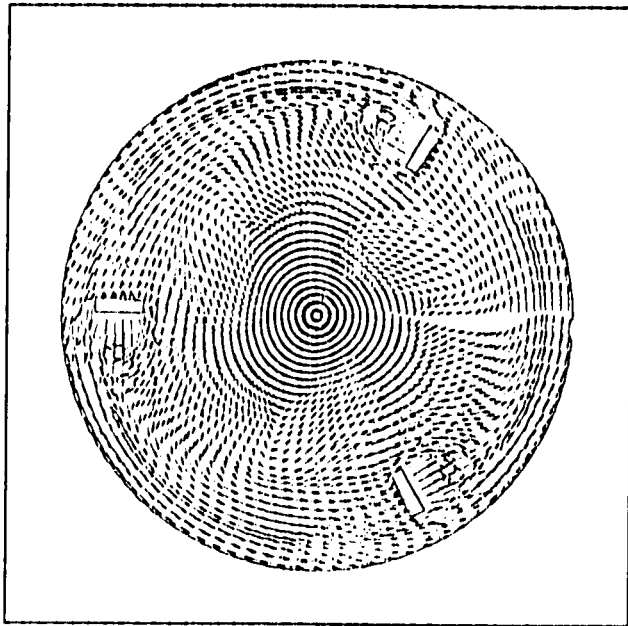


Time = 300 s

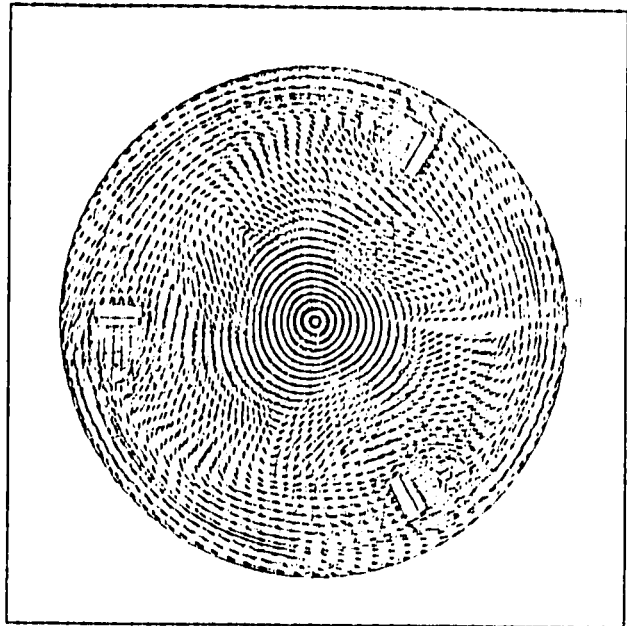
K = 8

— 100 M/S

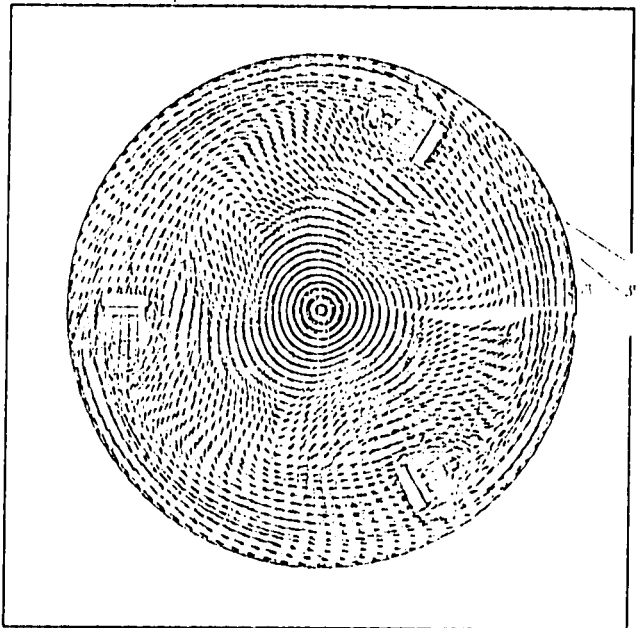
Fig. 4.6 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for K=8(2/2)



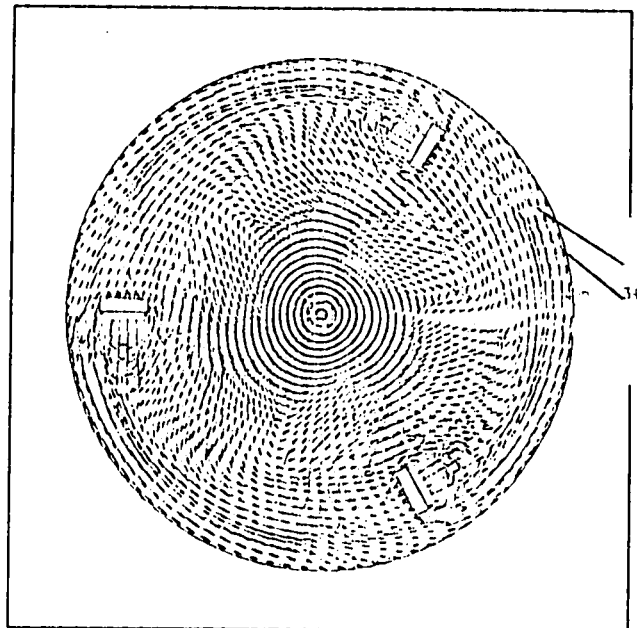
Time = 0 s



Time = 50 s



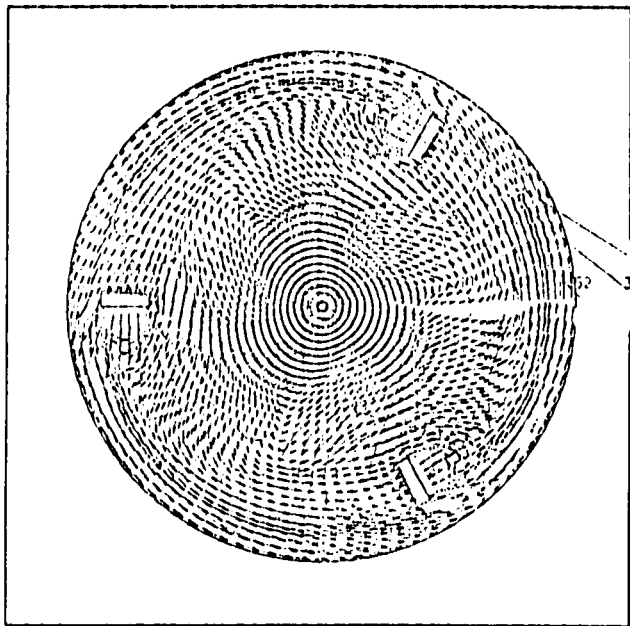
Time = 100 s



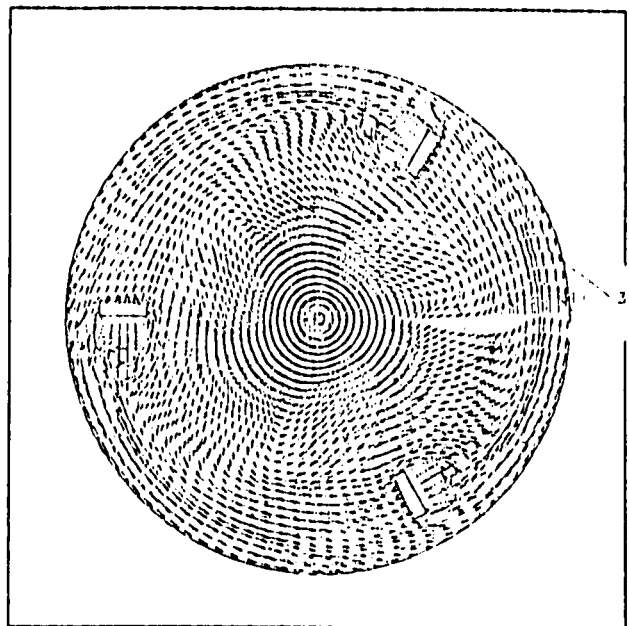
Time = 150 s

—— 1.00 M/S K = 14

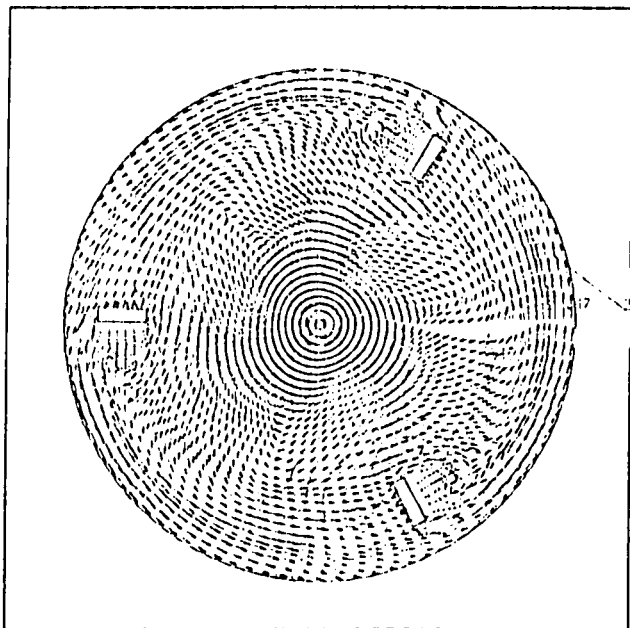
Fig. 4.7 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for K=14 (1/2)



Time = 200 s



Time = 250 s

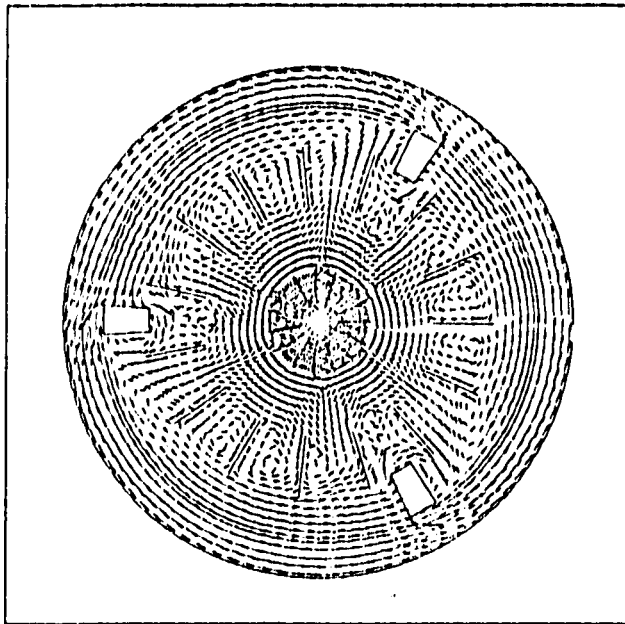


Time = 300 s

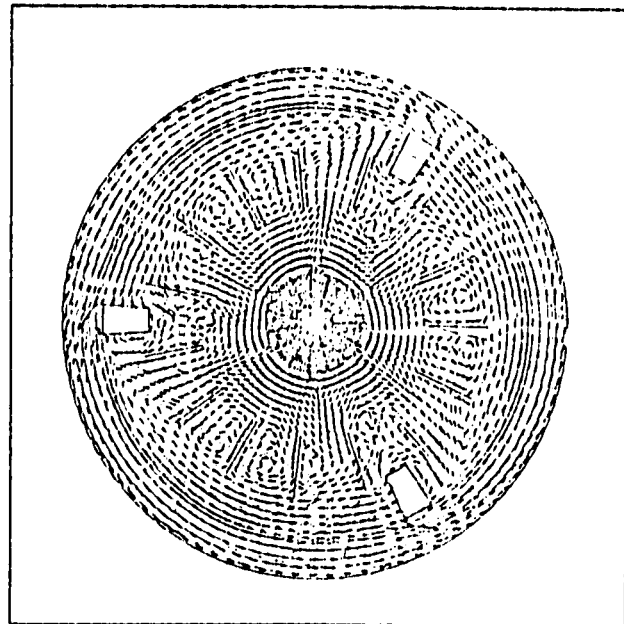
K = 14

— 1.00 M/S

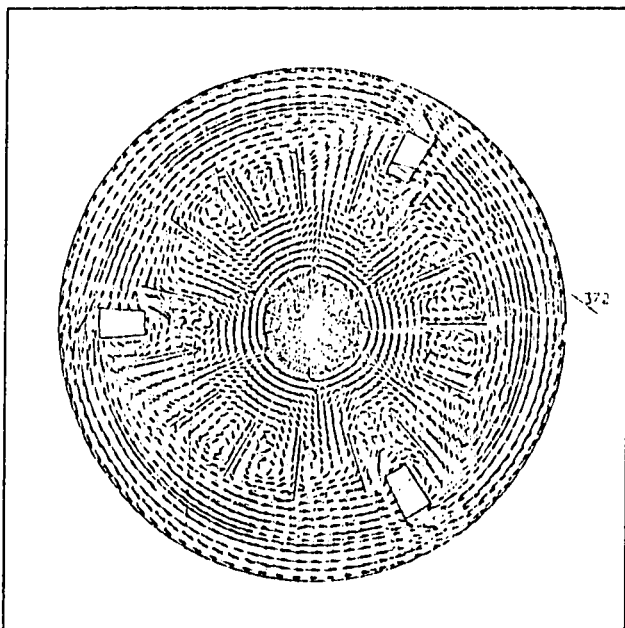
Fig. 4.7 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for K=14(2/2)



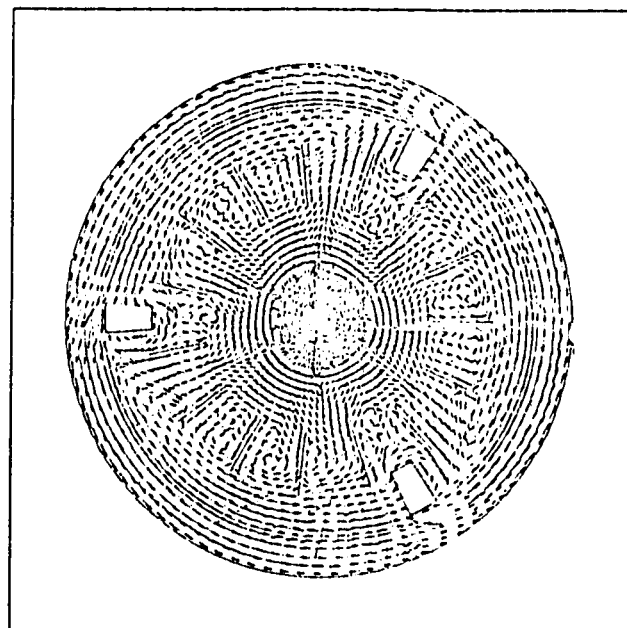
Time = 0 s



Time = 50 s



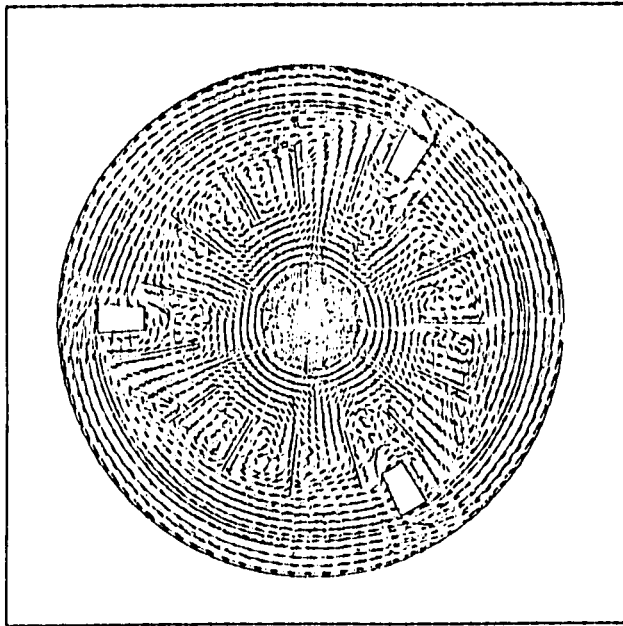
Time = 100 s



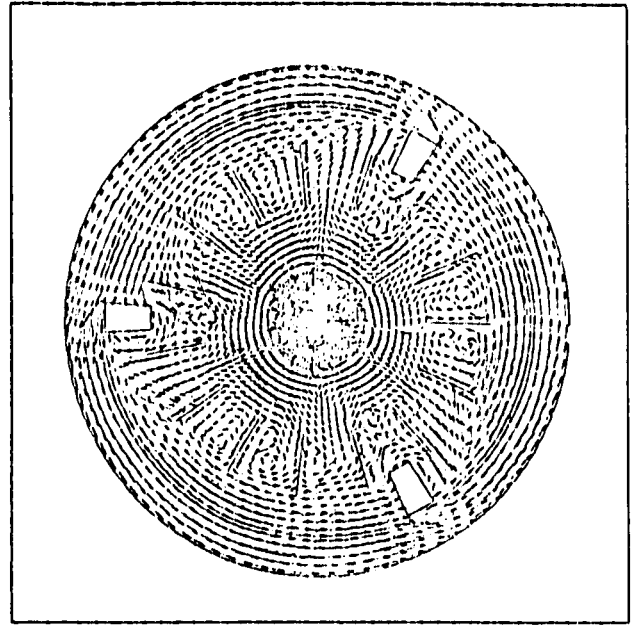
Time = 150 s

— 1.00 M/S K = 19

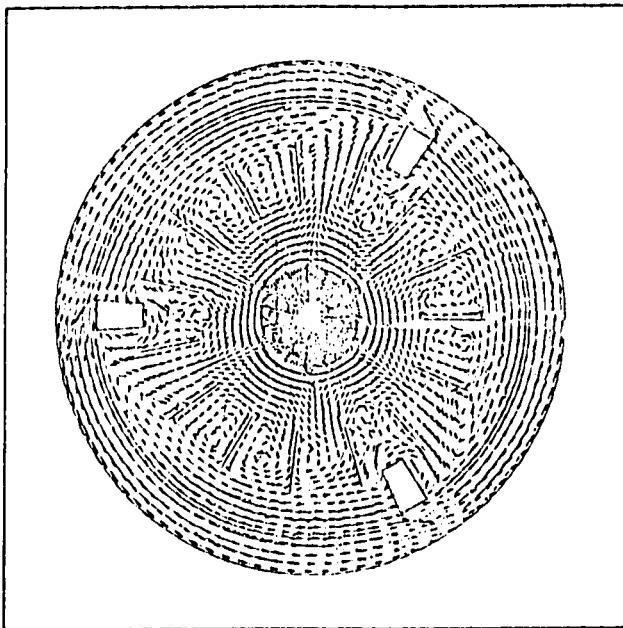
Fig. 4.8 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for K=19(1/2)



Time = 200 s



Time = 250 s



Time = 300 s

K = 19

— 1.00 M/S

Fig. 4.8 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for K-19(2/2)

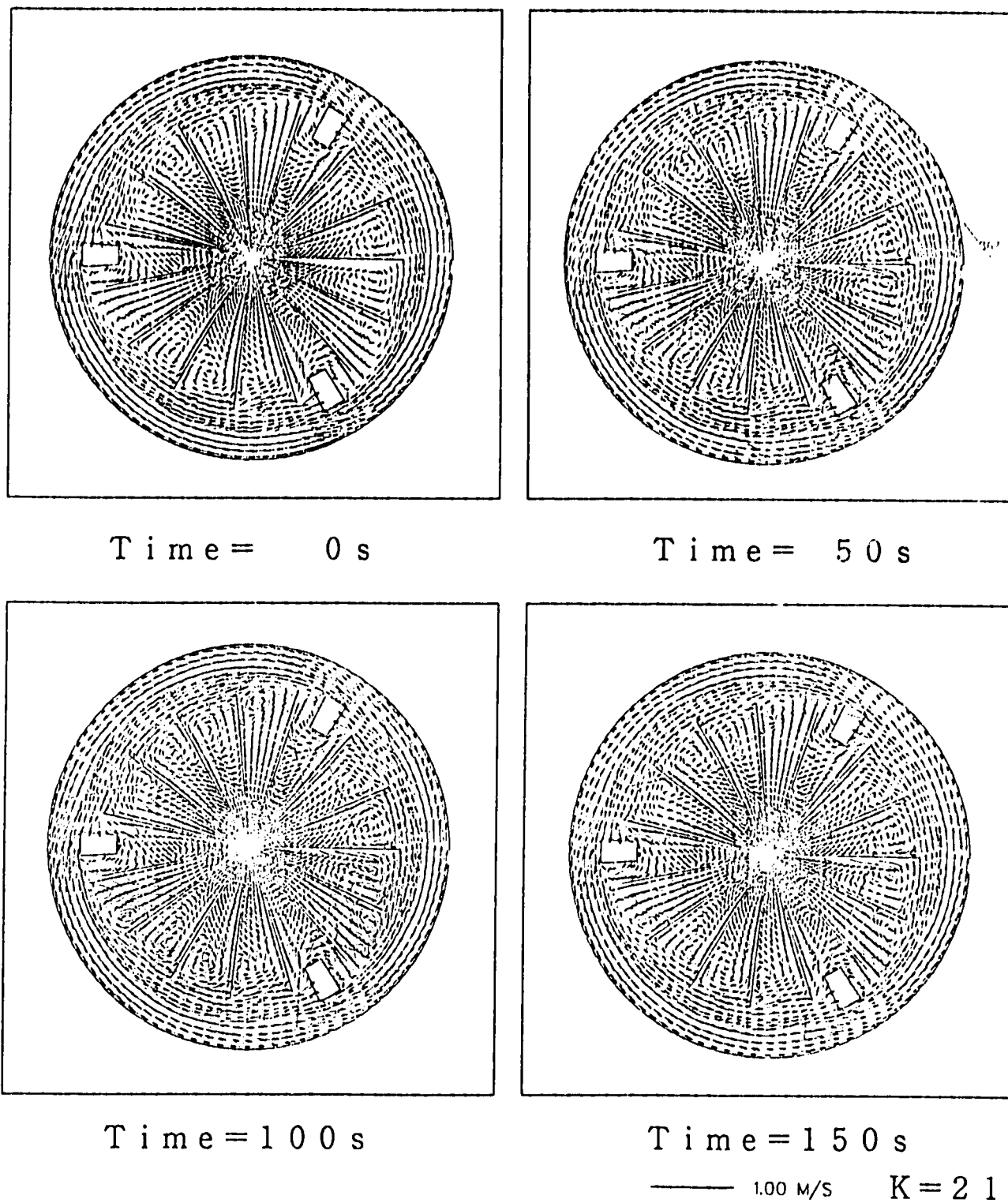


Fig. 4.9 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for  $K=21(1/2)$

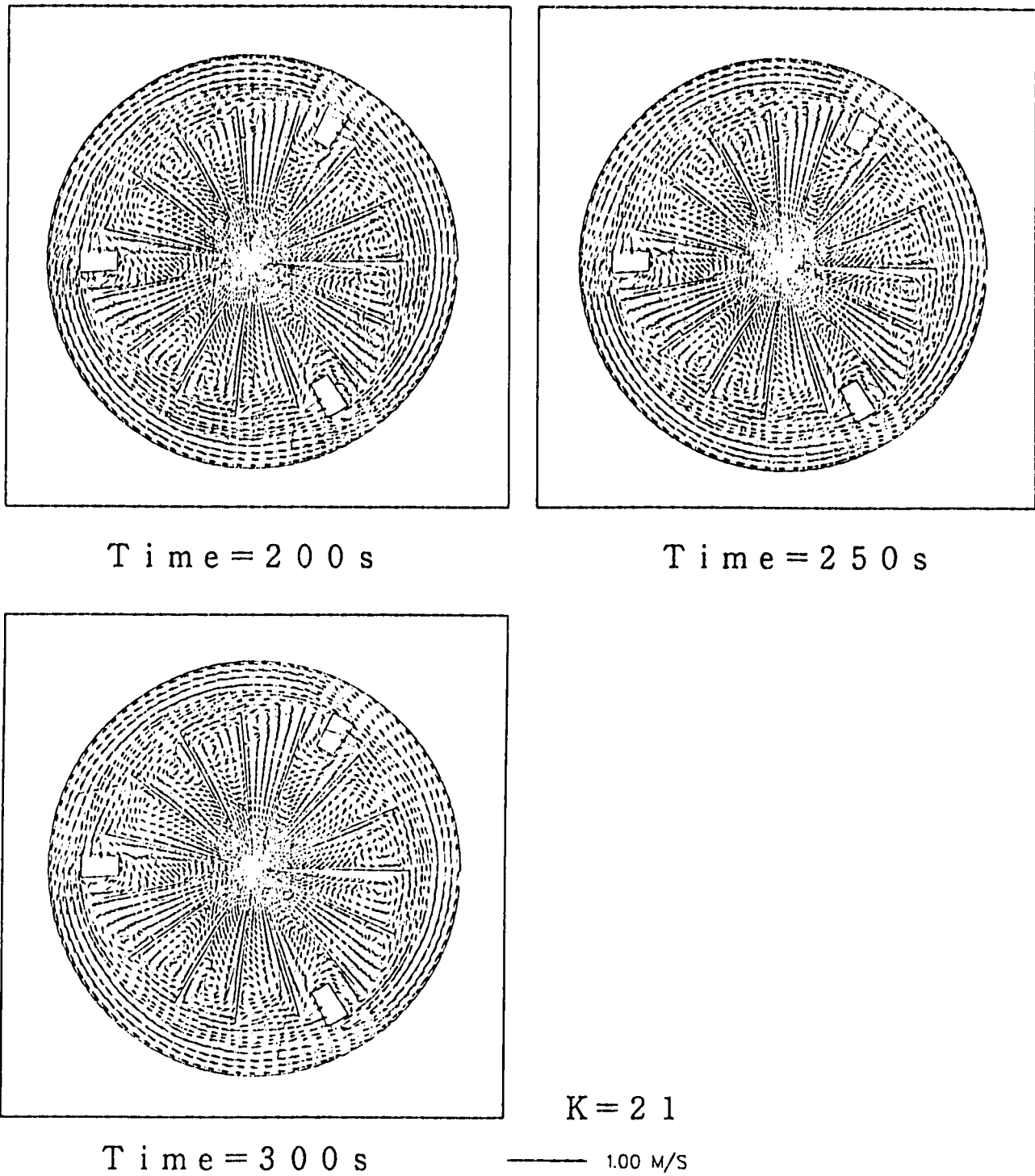
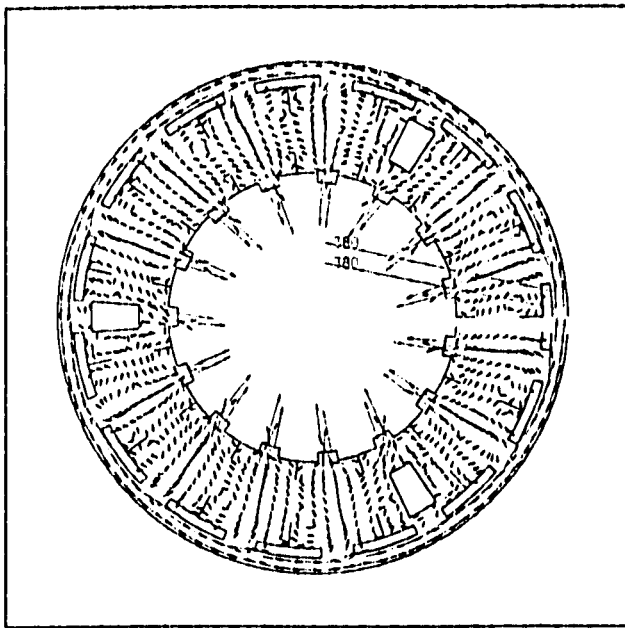
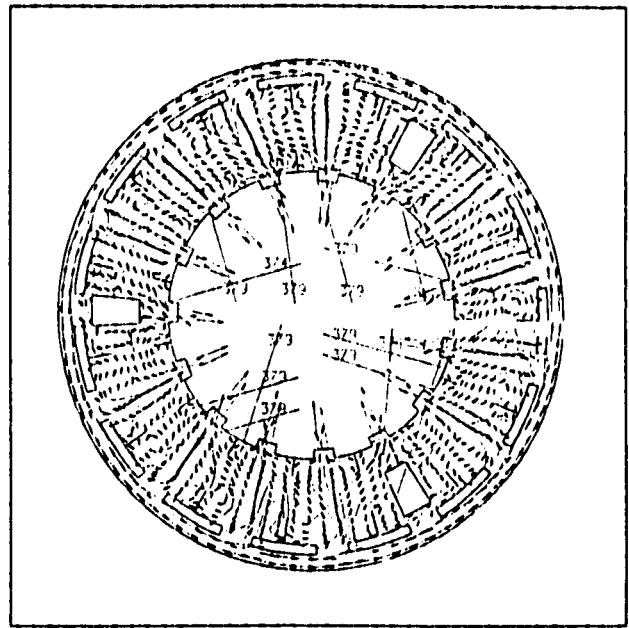


Fig. 4.9 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for K-21(2/2)

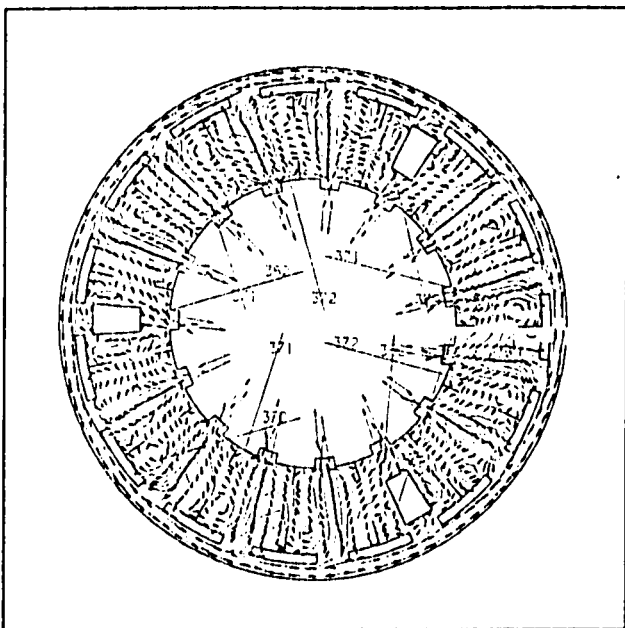




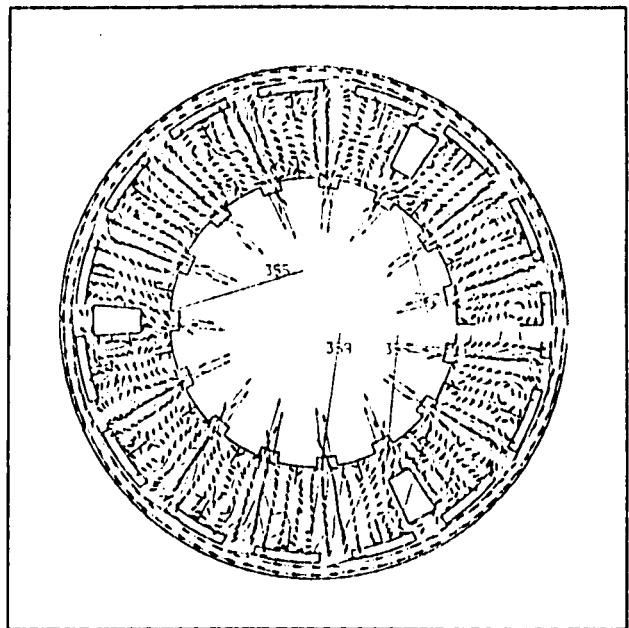
Time = 0 s



Time = 50 s



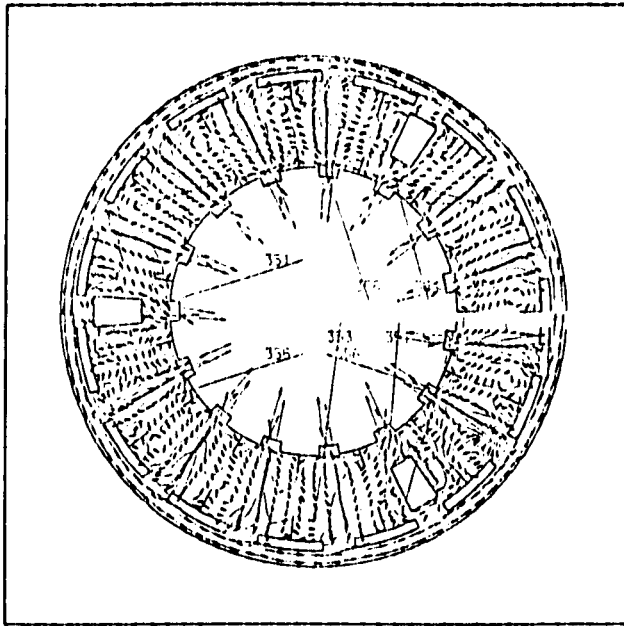
Time = 100 s



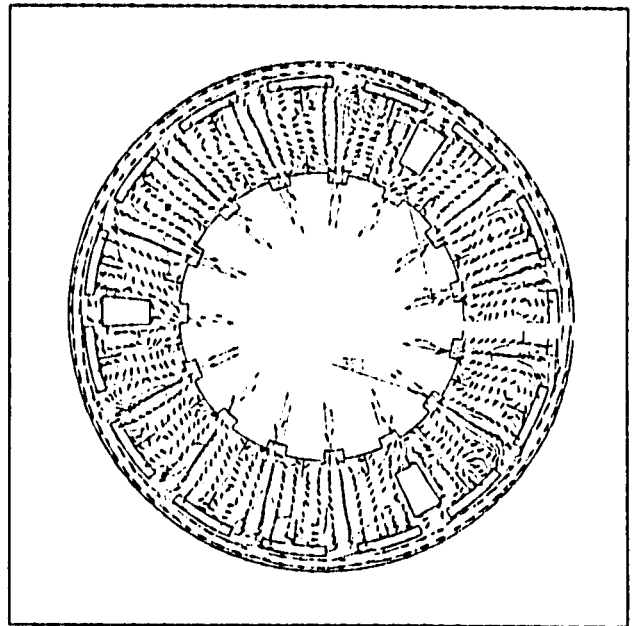
Time = 150 s

— 1.00 M/S K = 28

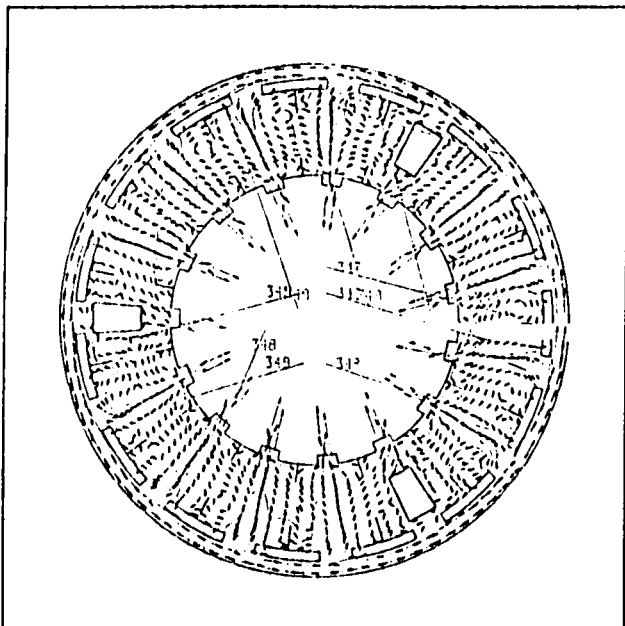
Fig. 4.10 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for  $K=28(1/2)$



Time = 200 s



Time = 250 s

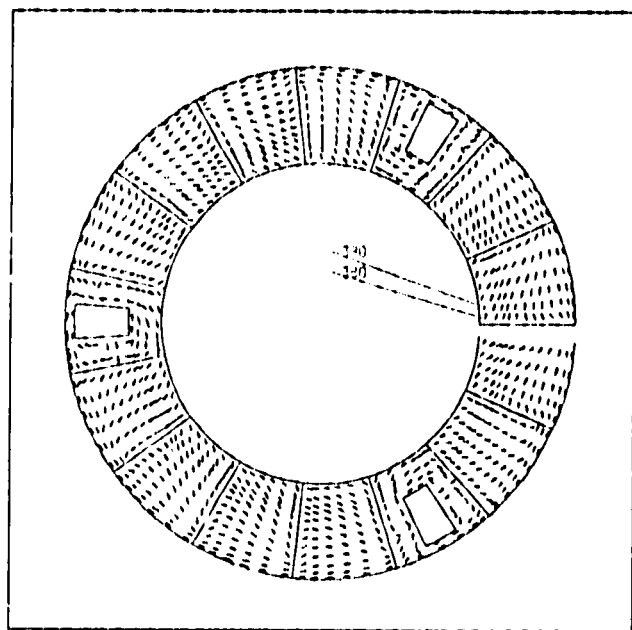


Time = 300 s

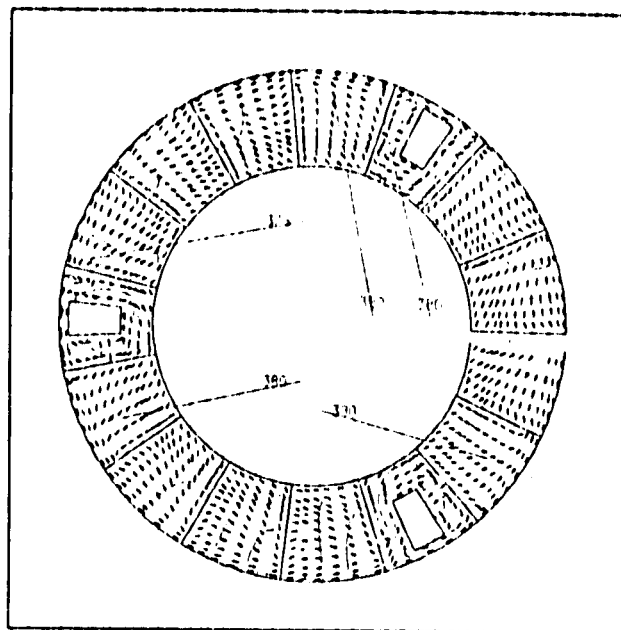
K = 28

— 1.00 M/S

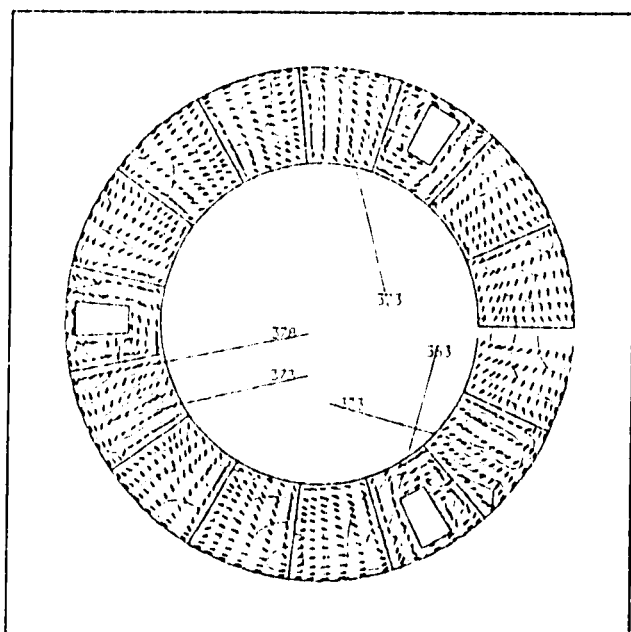
Fig. 4.10 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for K=28(2/2)



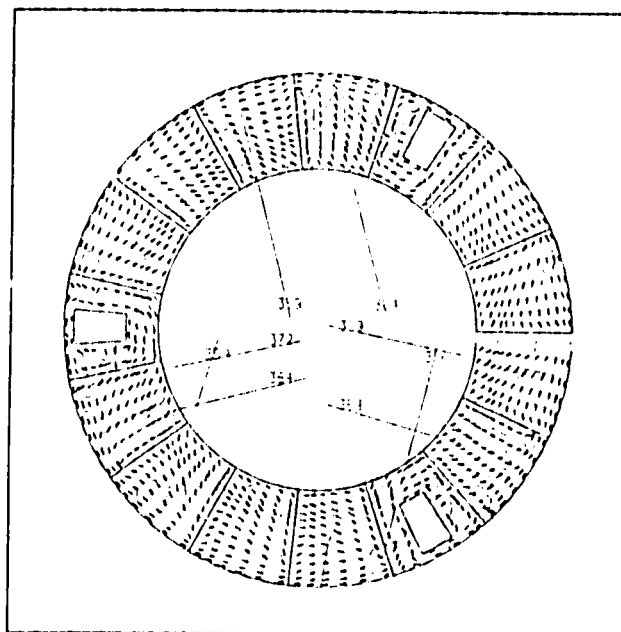
Time = 0 s



Time = 50 s



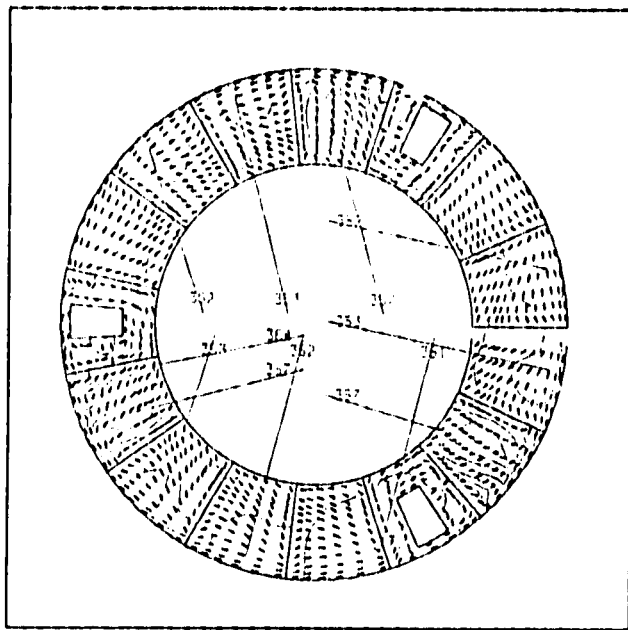
Time = 100 s



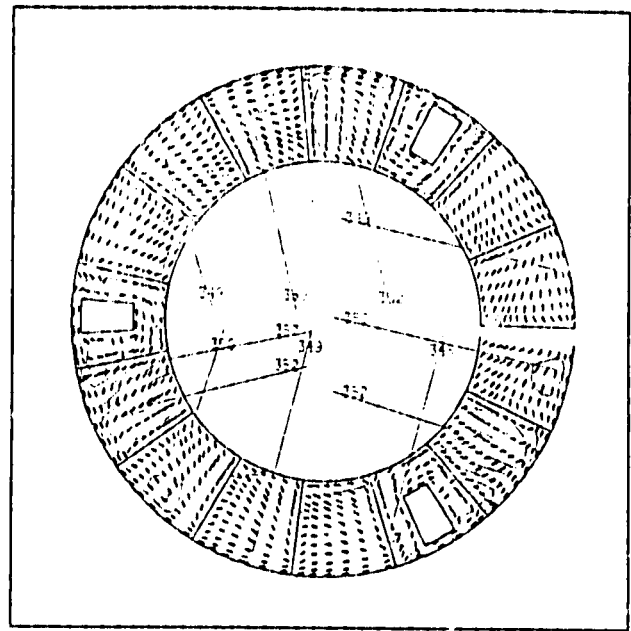
Time = 150 s

— 1.00 M/S      K = 3 1

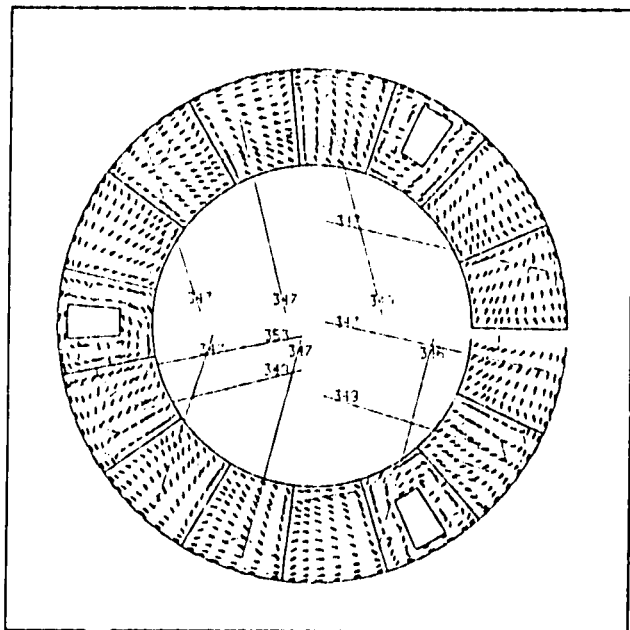
Fig. 4.11 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for  $K=31(1/2)$



Time = 200 s



Time = 250 s



Time = 300 s

K = 31

— 1.00 M/S

Fig. 4.11 Calculated Transients of Velocity Vector and Temperature Fields for K=31(2/2)

### Temperture(I=1,J=28)

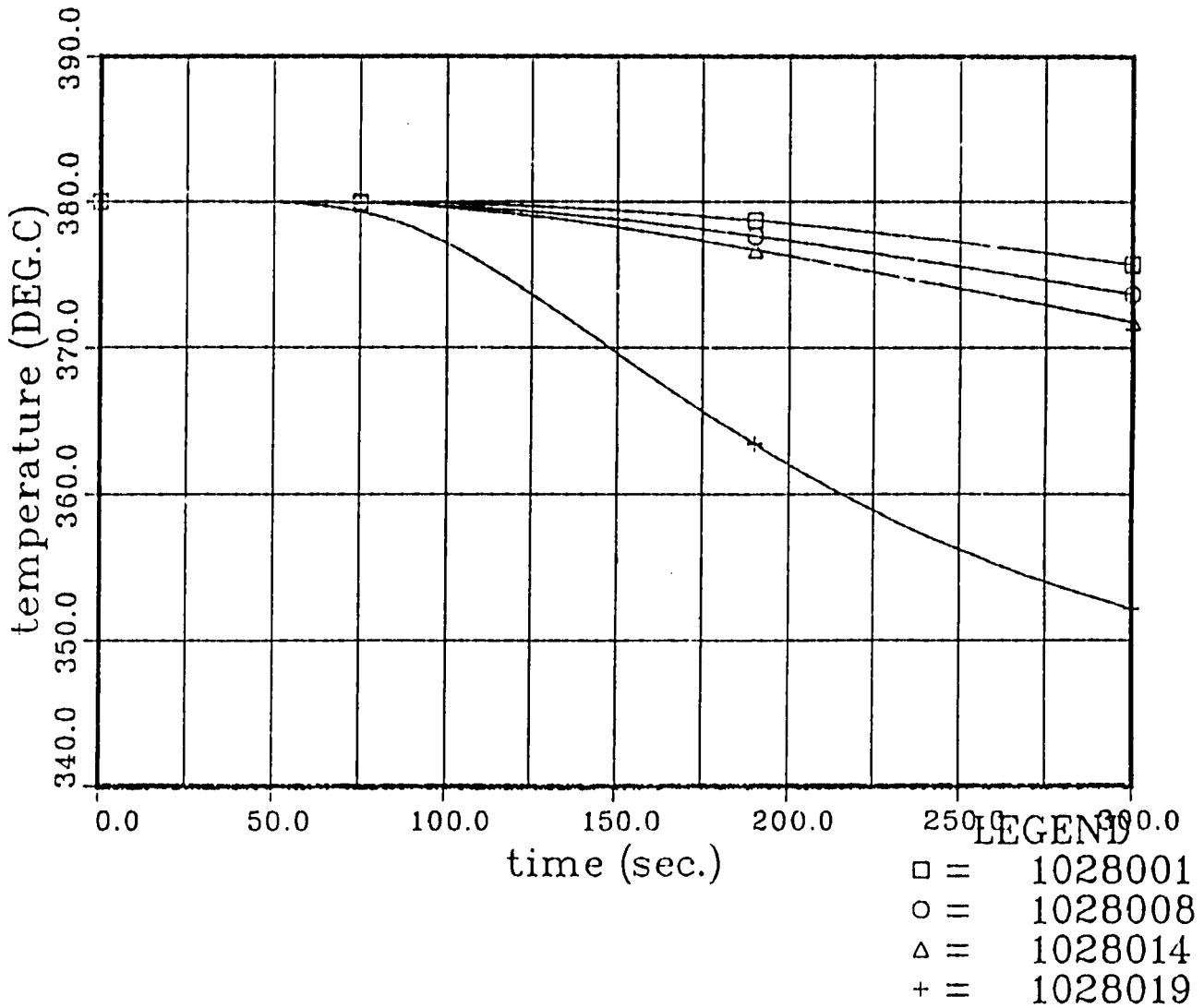


Fig. 4.12 Calculated Temperature Transients at Horizontal Center Positions of Lower Plenum

### Temperture(I=25,J=28)

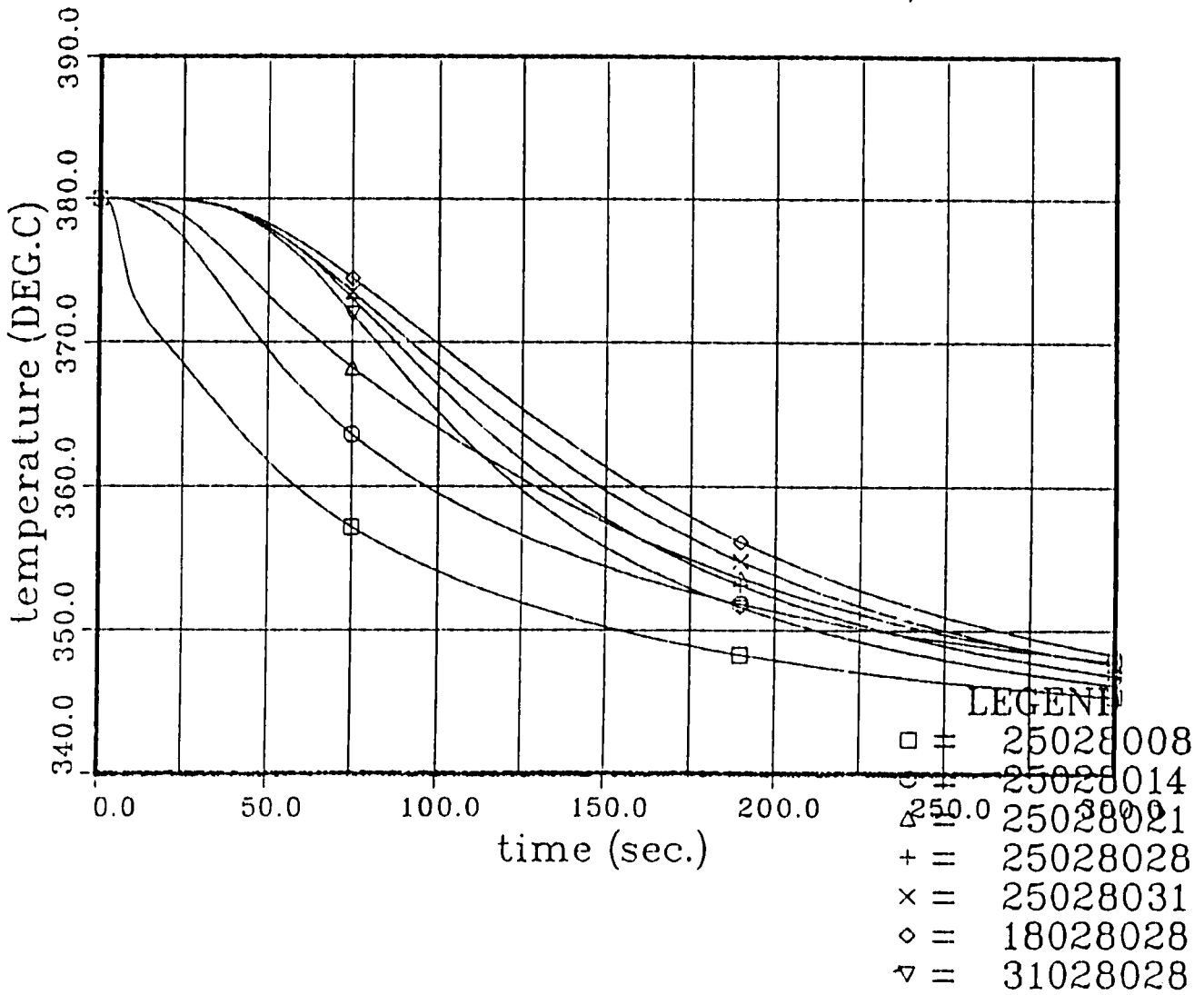


Fig. 4.13 Calculated Temperature Transients at Peripheral Positions of Lower Plenum

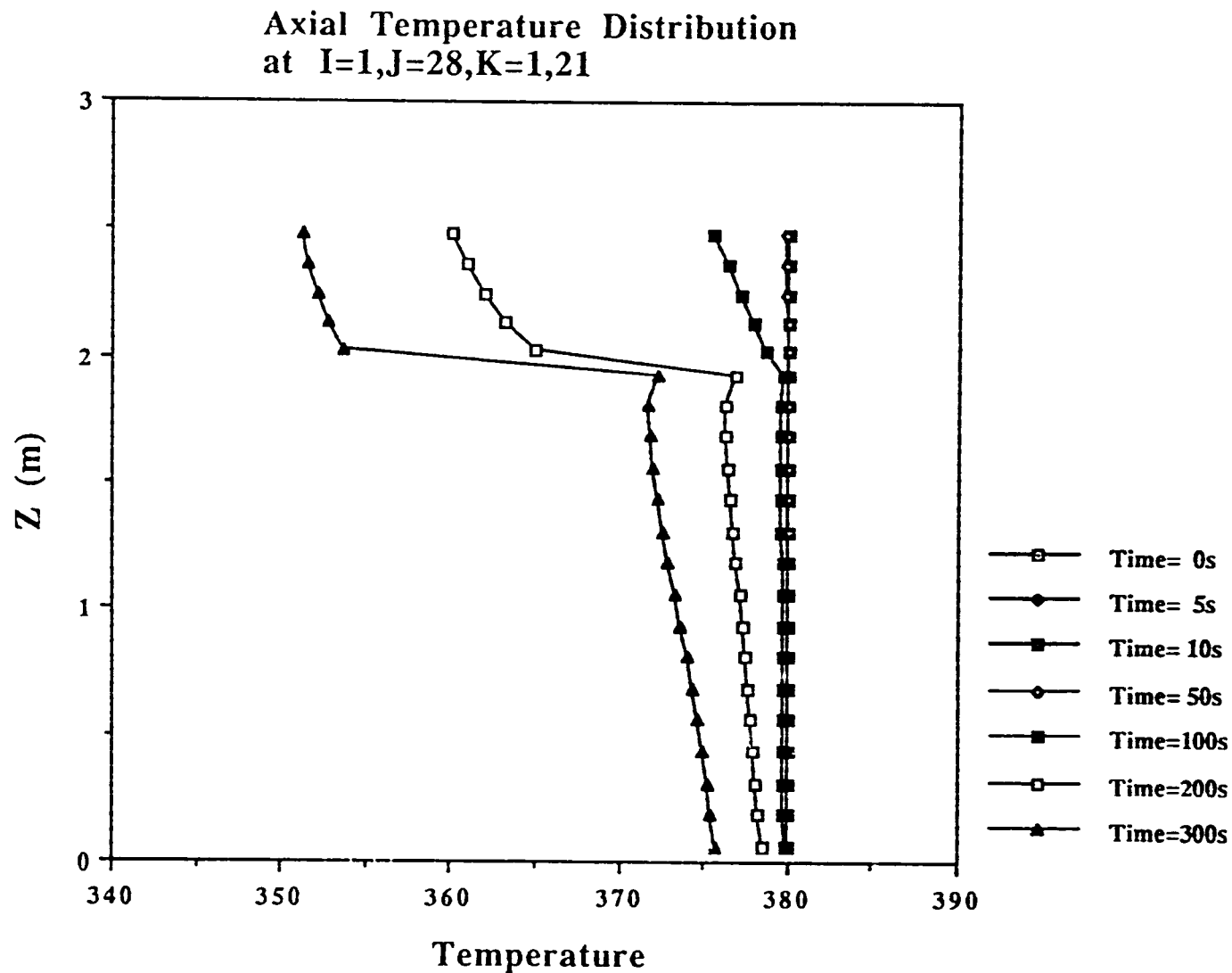


Fig. 4.14 Change of Axial Temperature Distributions at the Horizontal Center Positio

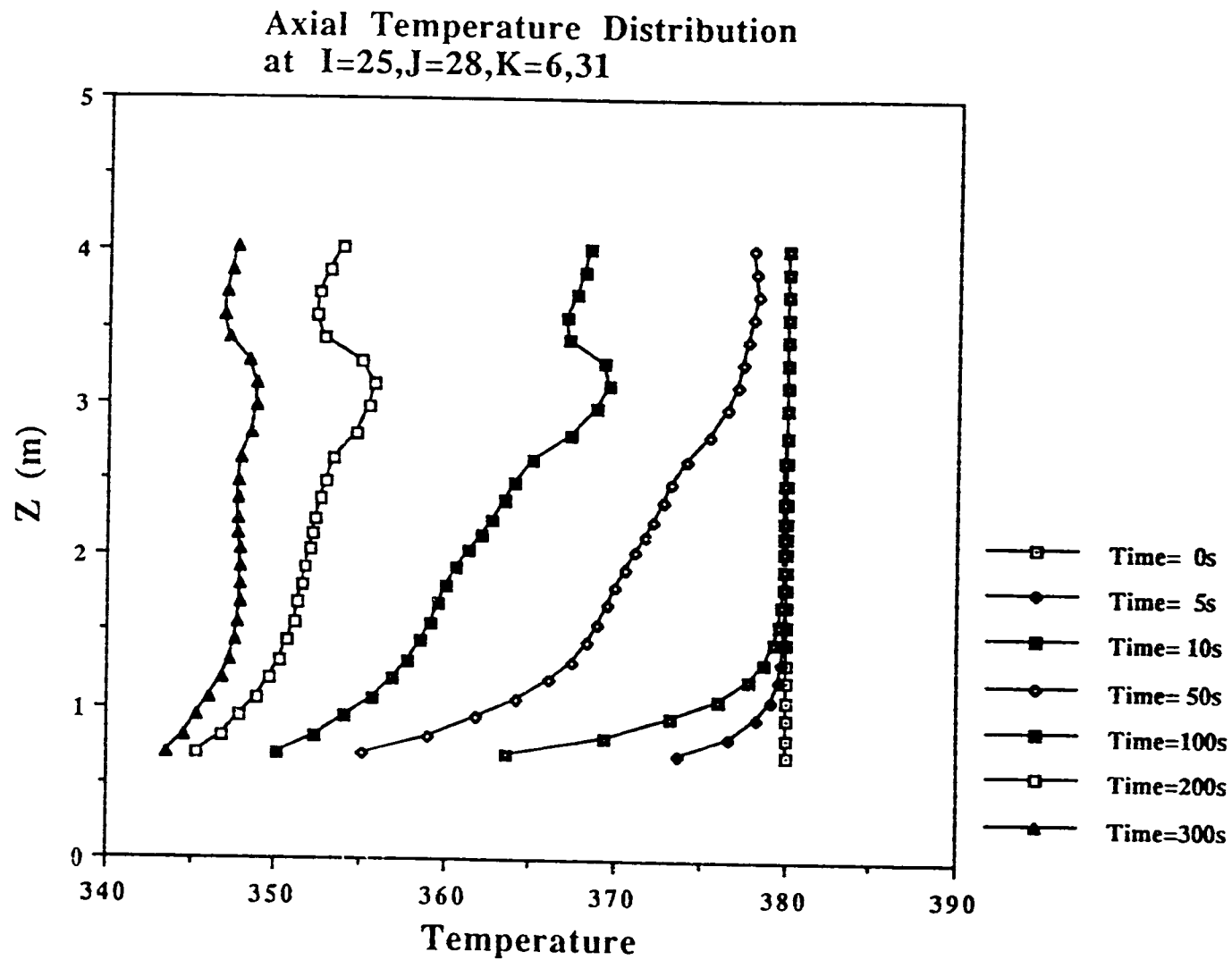


Fig. 4.15 Change of Axial Temperature Distributions at the Peripheral Position



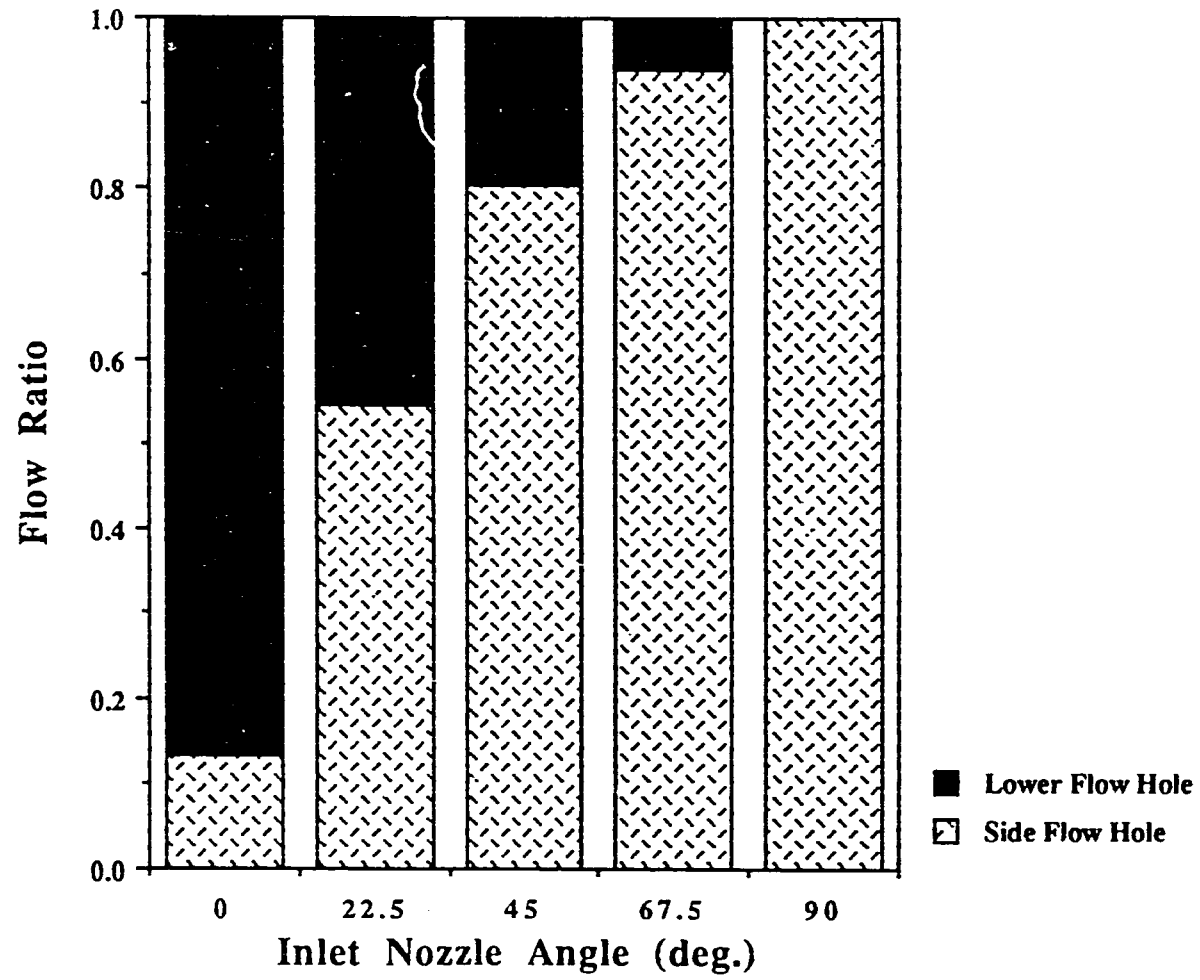


Fig. 5.1 Allotment Characteristics of Flow Rate at the Truss Inlet Holes for Steady-State Condition

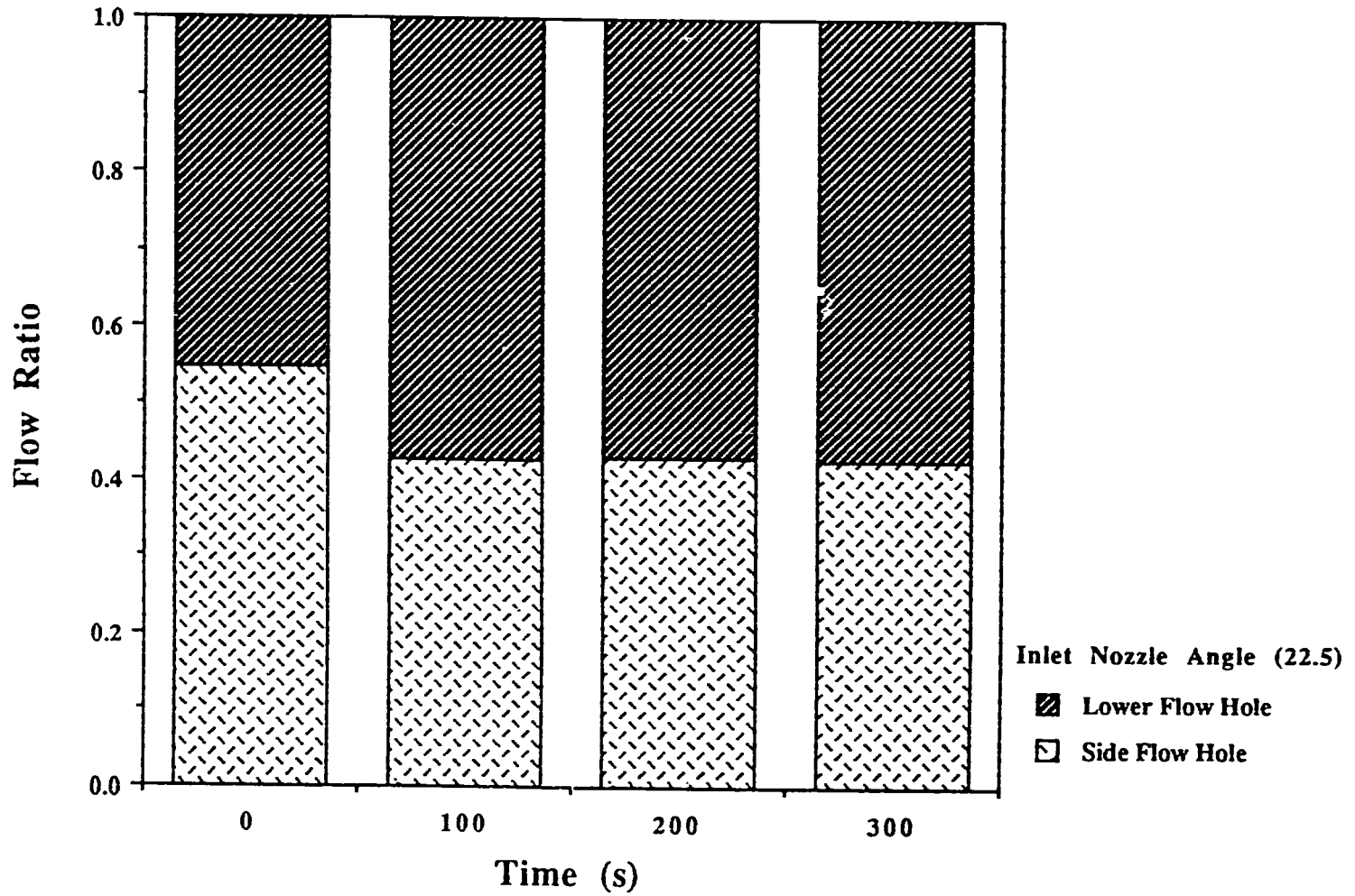


Fig. 5. 2 Change of Allotment Characteristics of Flow Rate in Transient Phase

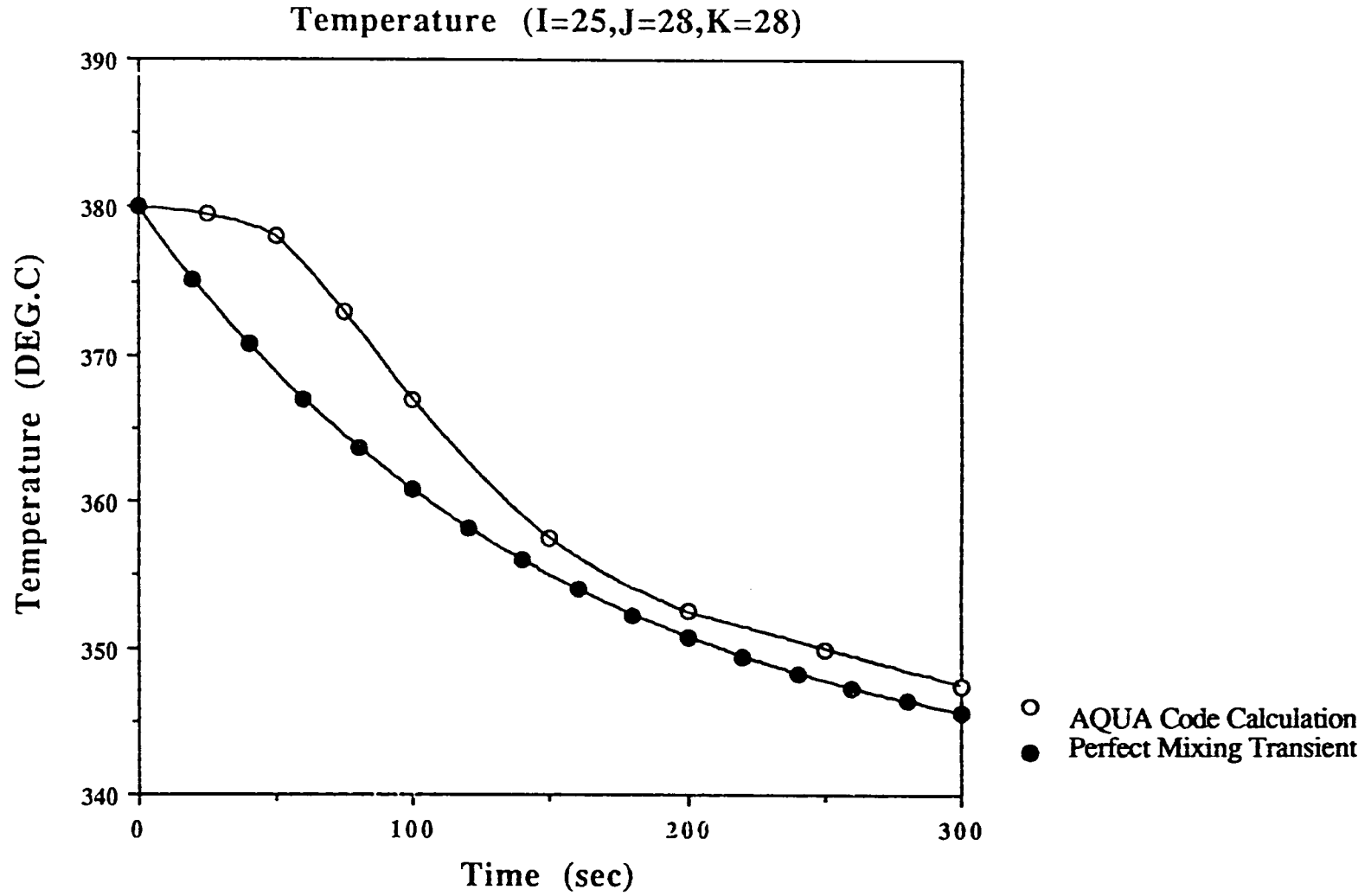


Fig. 5.3 Comparison of Temperature Transients at the Inlet Position of Higher Pressure Plenum and a Perfect Mixed Temperature Transient

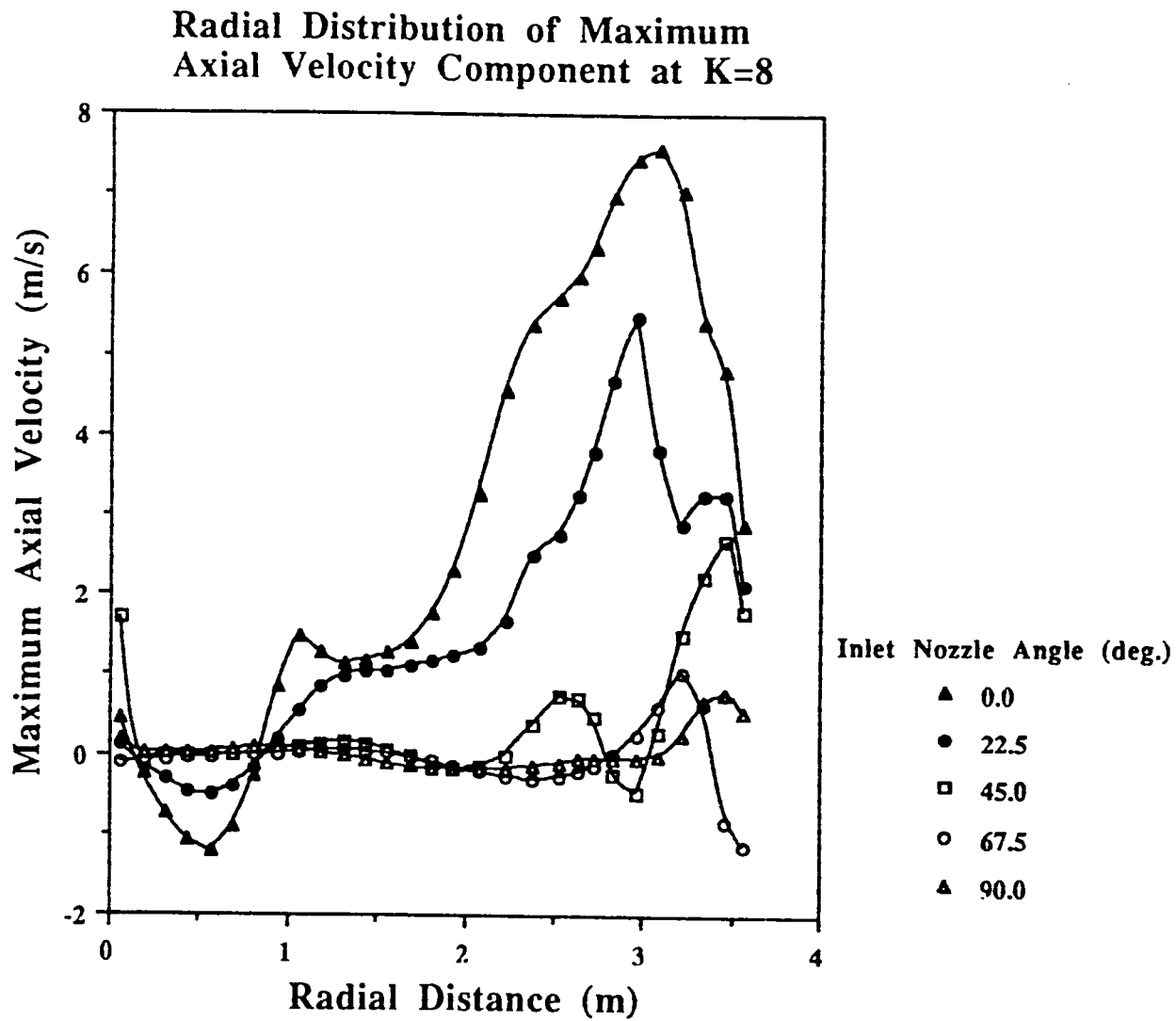


Fig. 5. 4 Comparison of Radial Distributions of Axial Velocity Component at K=8

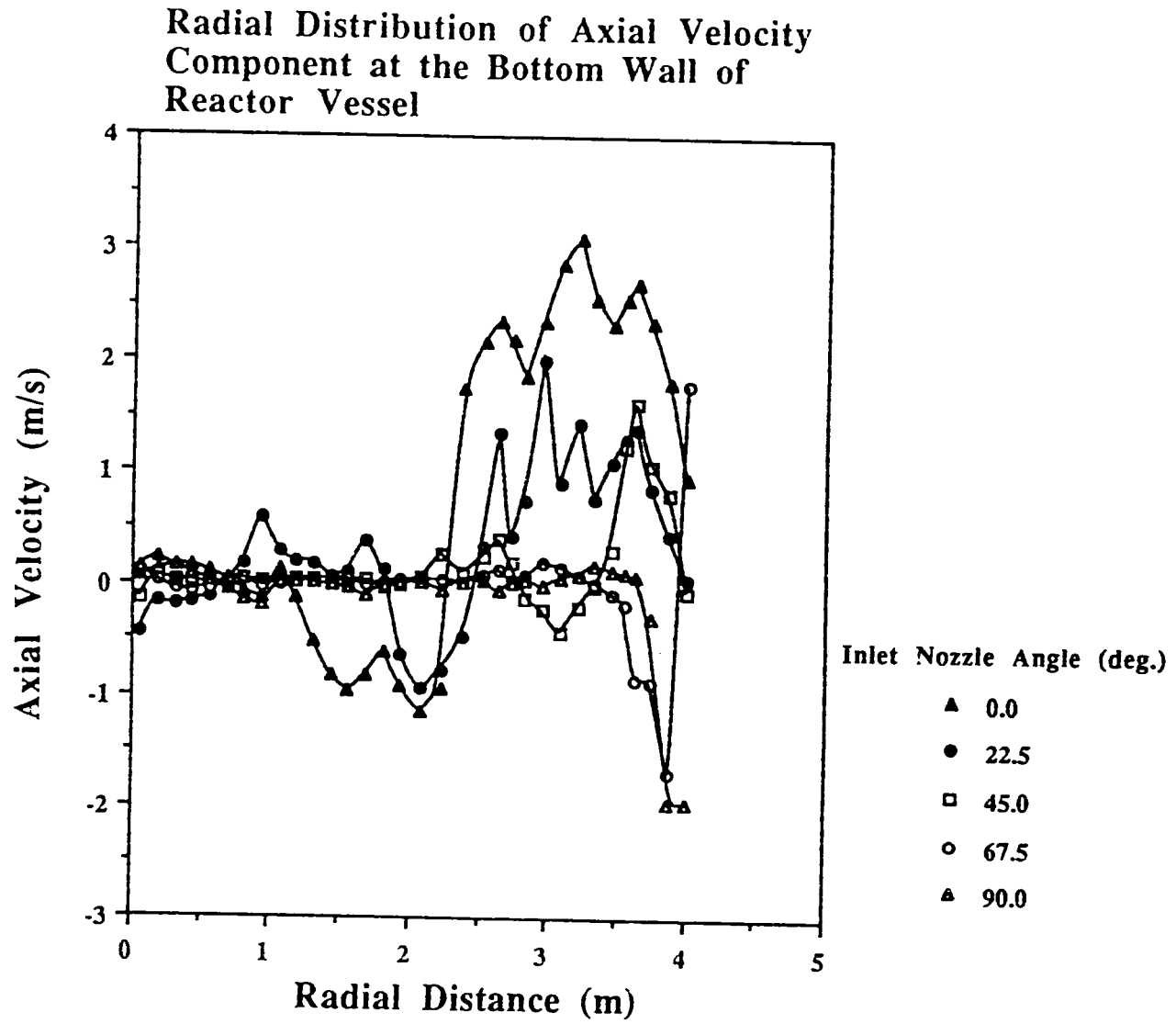


Fig. 5.5 Comparison of Radial Distributions of Axial Velocity Component Along the Bottom Wall of Reactor Vessel