

単相多次元コードAQUAによる高速原型炉
「もんじゅ」炉内熱流動解析(Ⅲ)

下部プレナム内冷却材混合特性

1990年10月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

この資料は、動燃事業団社内における検討及び周知を目的とする社内資料です。刊行物に引用する場合には、事業団の承認が必要です。

单相多次元コードAQUAによる高速原型炉「もんじゅ」 炉内熱流動解析（Ⅲ）

—下部プレナム内冷却材混合特性—

村松 寿晴*，村田 正幸**
菅原 悟*

要 旨

高速原型炉「もんじゅ」の性能試験実施に先立ち，下部プレナム内における冷却材混合特性を解析的に明らかにした。この冷却材混合特性は，燃料集合体出口温度計を用いて各種の熱流動評価を行なう場合の，入口基準温度を左右するものである。

得られた結果は，以下の通りである。

〔強制循環条件〕

- (1) 冷却材混合を促進するために設けられた原子炉入口配管先端部での周方向へのひねりは，旋回流動を効果的に発生させ，これにより冷却材は極めて良好に混合する。高圧プレナム入口部での周方向温度分布は，旋回流動効果を考慮することにより全温度差の約5割から約2割に減少する。
- (2) 強制循環条件の範囲では旋回流動効果が支配的となり，浮力効果による空間不均一効果の発生は極めて小さい。

〔自然循環条件〕

同条件では旋回流動効果による顕著な冷却材混合は期待できず，冷却材温度分布に関して十分な注意が必要である。

* 大洗工学センター安全工学部原子炉工学室

** (株) エヌデーデー

In-Vessel Thermohydraulic Analysis of MONJU with AQUA Code (III)

Coolant Mixing Characteristics in the MONJU Lower Plenum

Toshiharu Muramatsu* , Masayuki Murata**

Satoru Sugawara*

Abstract

In-vessel thermohydraulic analysis for coolant mixing characteristics of the MONJU lower plenum was carried out by multi-dimensional thermohydraulic analysis code AQUA. The characteristics comes up as an important problem when thermocouples located above the core utilized for a experimentally evaluation of the MONJU in-vessel thermohydraulics. From the analysis, the following results have been obtained:

[Forced Convection Condition]

(1) Coolant in the lower plenum was mixed efficiently by a swirling flow effects.

Therefore circumferential temperature distribution normalized by totally temperature difference at the high pressure plenum inlet region decreased to 20% from 50%.

(2) In forced convection condition, a buoyancy effect is smaller than inertia by the swirling flow effect.

[Natural Convection Condition]

Coolant mixing by the swirling flow cannot be expected due to increasing buoyancy effects. Therefore delicate cares on circumferential temperature distribution are necessary for in-vessel thermohydraulic evaluations.

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

**NDD Co., Ltd.

目 次

第1章 緒 言	1
第2章 解析モデル	2
2.1 炉内構造	2
2.2 メッシュ分割	2
2.3 解析条件	2
第3章 結果と検討	3
3.1 強制循環条件	3
3.1.1 旋回流動特性	3
3.1.2 温度非対称条件	3
3.1.3 温度・流速非対称条件 (1)	4
3.1.4 温度・流速非対称条件 (2)	5
3.2 自然循環条件	5
3.2.1 等温場流動特性	5
3.2.2 温度非対称条件	6
第4章 結 言	7
参考文献	8

List of Tables

- Table 2.1 Analytical Condition for Coolant Mixing Effects in the MONJU Lower Plenum

List of Figures

- Fig. 2.1 Cut-View of the MONJU Reactor
- Fig. 2.2 Geometry of the R/V Internal Structure
- Fig. 2.3 Arrangement of R/V Inlet Nozzles
- Fig. 2.4 Typical Mesh Arrangement for r-z Plane
- Fig. 2.5 Typical Mesh Arrangement for r- θ Plane
- Fig. 3.1 Velocity Vector Fields on the Case 1 Condition
(with Swirling Flow Effect)
- Fig. 3.2 Velocity Vector Fields on the Case 1a Condition
(without Swirling Flow Effect)
- Fig. 3.3 Effects of Swirling Flow Modeling on r- θ Planes under Isothermal Condition
- Fig. 3.4 Velocity Vector and Temperature Fields on the Case 2 Condition
(with Swirling Flow Effect)
- Fig. 3.5 Velocity Vector and Temperature Fields on the Case 2a Condition
(without Swirling Flow Effect)
- Fig. 3.6 Comparison of Temperature Distribution at the High Pressure Plenum Inlet between the Case 2 and the Case 2a Conditions
- Fig. 3.7 Comparison of Axial Temperature Distributions between the Case 2 and the Case 2a Conditions
- Fig. 3.8 Velocity Vector and Temperature Fields on the Case 3 and Condition
(with Swirling Flow Effect)
- Fig. 3.9 Velocity Vector and Temperature Fields on the Case 3a and Condition
(without Swirling Flow Effect)

- Fig. 3.10 Comparison of Temperature Distribution at the High Pressure Plenum Inlet between the Case 3 and the Case 3a Conditions
- Fig. 3.11 Comparison of Axial Temperature Distribution between the Case 3 and the Case 3a Conditions
- Fig. 3.12 Velocity Vector and Temperature Fields on the Case 4 Condition (with Swirling Flow Effect)
- Fig. 3.13 Velocity Vector and Temperature Fields on the Case 4a Condition (without Swirling Flow Effect)
- Fig. 3.14 Comparison of Temperature Distribution at the High Pressure Plenum Inlet between the Case 4 and the Case 4a Conditions
- Fig. 3.15 Comparison of Axial Temperature Distributions between the Case 4 and the Case 4a Conditions
- Fig. 3.16 Velocity Vector Fields on the Case 5 Condition
- Fig. 3.17 Velocity Vector and Temperature Fields on the Case 6 Condition
- Fig. 3.18 Temperature Distribution at the High Pressure Plenum Inlet on the Case 6 Condition

第1章 緒 言

高速原型炉「もんじゅ」の出力上昇試験においては、数多くの性能試験が実施される予定となっている。これら各試験においては、高速原型炉「もんじゅ」が所定の性能を有するか否かが、実測値を用いて評価される。この内、炉内熱流動に関する性能評価あるいは安全評価を行なう場合には、炉心に最も近く、炉心情報を迅速且つ正確に捕え得る燃料集合体直上に設置されている温度計装系が頻繁に活用されると考えられる。ただし、その出力の使用に当たっては、少なくとも以下の2点を考慮に入れた上で各種の評価を行なうべきである。

(1) 下部プレナム温度混合特性

(2) 集合体間クロスフロー特性

(1)の下部プレナム温度混合特性は、燃料集合体に流入する冷却材温度を直接的に支配する。何らかの原因によって、1次主冷却系3ループにアンバランスが生じた場合、原子炉入口温度あるいは原子炉入口流量は、それぞれのループで異なる値を示す可能性がある。ここで、下部プレナム内での冷却材混合特性が良好でない場合には、それぞれのループ間での冷却材温度差が解消しないまま燃料集合体内に流入し、燃料集合体入口温度に関して空間分布を有することとなる。燃料集合体出口温度計を用いて各種の評価を行なうことを考えた場合、その基準値となる各燃料集合体入口温度を正確に把握しておく必要がある。

(2)の集合体間クロスフロー特性は、燃料集合体出口温度計出力に及ぼす、いわば外乱的效果である。燃料集合体出口温度計を収納する計装ウェルは、それぞれの燃料集合体からの冷却材を分離するための整流筒内に設置される。この整流筒は、出力運転時の熱膨張を逃がす為、燃料集合体ハンドリング・ヘッドとの間に50mmの間隙を設けている。このため、隣り合う集合体間の圧力バランスによっては、この間隙間で流動干渉（クロスフロー）が発生し、各集合体毎の冷却材を的確に分離できない可能性がある。燃料集合体出口温度計を用いた評価を行なう場合には、この効果を正確に把握し、温度計出力値の意味を十分に把握しておく必要がある。

本報では、単相多次元熱流動解析コードAQUAを用いて下部プレナム内での熱流動挙動を解析し、その混合特性を明かにする。さらに、下部プレナム内での冷却材混合効果を促進する為に設けられた旋回流動特性についても、その有効性を明らかにする。

第2章 解析モデル

2.1 炉内構造

原子炉容器は、Fig. 2.1 に示す様に、底部に皿型鏡板を有する円筒縦型容器である。原子炉容器上部のカバーガス空間は、遮蔽プラグにより密閉されており、また、原子炉容器外側には、原子炉容器ガードベッセルが設けられている。炉内構造物は、Fig. 2.2 に示す様に、炉内支持構造物、炉心支持板、炉心槽、中圧プレナム仕切構造、炉内ラック、炉内中継ラックおよび内筒等の構造物から構成される。炉内支持構造物は、炉心支持板、炉心槽、中圧プレナム仕切構造、炉内ラックおよび炉内中継ラック等の構造物を支持し、その重量を支えている。炉心支持板は、炉心構成要素を定められた間隔と所定の位置に支持し、その重量を支える。炉心槽は、最外周の炉心構成要素を支持する。Fig. 2.3 に、原子炉入口配管の周方向構成を示す。原子炉入口配管は、1次主冷却系ループ数に従い3系統を有し、120°対象に原子炉下部プレナムに接続されている。なお、下部プレナム内での冷却材混合を促進させるため、原子炉入口配管先端部は周方向に15°傾いた形で設置され、これによって強制的に旋回流動を発生させる構造（以下、旋回流効果）となっている。

2.2 メッシュ分割

今回の解析で対象とする範囲は、Fig. 2.2 に示した受皿より下の原子炉下部プレナム領域とした。Fig. 2.4~Fig. 2.5に、今回採用したメッシュ分割を示す。解析体系は、3系統の原子炉入口配管を含む全周モデルであり、計算セル数は、 $29^{\circ} \times 18^{\circ} \times 23^{\circ}$ の合計7806セルである。

2.3 解析条件

今回の解析パラメータは、各原子炉入口配管での冷却材温度と流量である。解析ケースをTable 2.1 に示す。解析ケースは、強制循環条件（Case 1~Case 4）と自然循環条件（Case 5~Case 6）に大きく分けられる。強制循環条件の解析では、原子炉入口温度および流量を変化させると共に、旋回流効果の有無（解析モデル上考慮するか否か）により合計8ケースを実施した。一方、自然循環条件の解析では、旋回流効果を考慮し、原子炉入口温度を変化させた2ケースとした。なお、原子炉入口流量の変化幅は、強制循環条件の解析で0.8~1.0、自然循環条件の解析では0.03（定格流量条件の3%）とした。

第3章 結果と検討

3.1 強制循環条件

3.1.1 旋回流動特性 (Case 1~Case 1a)

Case 1 (等温・等流速, 旋回流動考慮) およびCase 1a (等温・等流速, 旋回流動未考慮) についての $r-z$ 面流速分布をFig. 3.1~Fig. 3.2 にそれぞれ示す。両者の大きな違いは, 原子炉入口配管から中心軸に向かう流速強度 ($J=1, 7, 13$) にある。下部プレナム内での旋回流動効果を考慮しない場合 (Case 1a)には, 原子炉入口配管での流速ベクトルの方向と体系中心軸が直線的に結ばれる。このため, 下部プレナム内での全体的な流動状況は, 時計回りの大きな循環渦を形成する。一方, 旋回流動効果を考慮した場合 (Case 1) では, 原子炉入口配管から下部プレナム内に放出された冷却材が即座に周方向流動に遷移するため, Case 1a で見られた様な体系全体に渡る大きな循環渦の発生は見られない。

Fig. 3.3 に, $r-\theta$ 面での流速分布をCase 1とCase 1a について比較して示す。結果からわかる様に, 旋回流動効果を考慮しないCase 1a の結果では, 全周に渡る周方向流動は発生していない。一方, 旋回流動効果を考慮した場合 (Case 1) には, $r-\theta$ 面全体に渡って時計回りの旋回流動が発生する。

3.1.2 温度非対称条件 (Case 2~Case 2a)

本解析ケースは, 原子炉入口Aループ温度のみを, 397°C から 450°C に変更した条件でのものである。Fig. 3.4 に, 旋回流動効果を考慮した条件での温度流速分布図 ($r-z$ 面)を示す。原子炉入口Aループ配管を含む周方向断面 ($J=1$)での結果から, 下部プレナム内に放出された高温冷却材が急速に低温冷却材との混合を開始し, 高圧プレナム入口部に至る前に, 冷却材温度が周方向に均一化されている様子がわかる。また, 浮力効果の発生により, 流速分布は等温・等流速条件 (Case 1) でのものから若干変化している。

Fig. 3.5 に, 旋回流動効果を考慮しない条件での結果を示す。結果からわかる様に, 原子炉入口Aループ配管から流出した高温冷却材は, 等温・等流速条件 (Case 1a)での解析で見られた時計回りの大きな循環渦によって輸送され, 周囲の低温冷却材と十分に混合しないまま高圧プレナム入口部に至る。

Fig. 3.6 に, 高圧プレナム入口部 ($i=21, j=18, k=17$)での周方向温度分布を極座標表示により示す。なお, 座標中心が 400°C , 最外周上が 450°C である。旋回流動効果を考慮しない条件の解析結果では, $j=1\pm 2$ メッシュ程度の周方向への高温冷却材の輸送拡散が認められるものの, 180° 対称位置 ($j=9$ 近傍)での温度は依然として低温状態のままであり, その最大

温度差は全温度差（50°C）の約5割に相当する。一方、旋回流動効果を考慮した条件の解析結果では、旋回流動方向（時計回り方向）に高温冷却材が輸送されている様子が観察される。この結果、高圧プレナム入口部においては、周方向に全温度差の約2割程度の温度分布が残存するのみである。

Fig. 3.7 に、下部プレナム内軸方向温度分布（ $j=1$ 位置）を、系方向3位置について示す。図中の実線は旋回流動効果を考慮した条件での解析結果であり、破線は旋回流動効果を考慮しない条件での結果である。旋回流動効果を考慮しない条件の解析結果では、軸方向についても温度差が解消しないまま存在し、冷却材混合が極めて悪い状態であることを示している。なお、旋回流動効果を考慮した場合にも軸方向に温度分布が存在するが、未考慮の結果に比べてその分布は小さいものとなっている。

3.1.3 温度・流速非対称条件 (1), Case 3~Case 3a)

この解析ケースは、原子炉入口Aループの冷却材温度と流速を、それぞれ397°C→450°C、11.65m/s→9.34m/s に変更した条件でのものである。Fig. 3.8 に、旋回流動効果を考慮した条件での温度流速分布（ $r-z$ 面）を示す。原子炉入口Aループ配管を含む周方向断面（ $J=1$ ）での結果から、下部プレナムに放出された高温冷却材が急速に低温冷却材と混合を開始している様子がわかる。しかし、Fig. 3.4 に示した原子炉入口Aループの冷却材温度のみを変更したCase 3の結果と比較すると、高温冷却材の下部プレナム中に占める領域が減少していることがわかる。これは、原子炉入口Aループからの冷却材流量がCase 3の条件に比べて減少したため、下部プレナム中に流入する冷却材の慣性力が減少し、これによって浮力の影響が相対的に増加したためである。

Fig. 3.9 に、旋回流動効果を考慮しない条件での結果を示す。この結果では、旋回流動効果を考慮したFig. 3.8 の結果と比較すると冷却材の混合は極端に悪く、原子炉入口Aループから放出された高温冷却材が混合しないまま、下部プレナム中心付近まで達している。したがって、原子炉入口Aループ近傍の高圧プレナム入口部では、高温の冷却材がほぼそのままの温度で存在しているのがわかる。なお、旋回流動効果を考慮していないことから、径方向および軸方向のベクトルが周方向ベクトルに比べて相対的に大きく、これによって浮力の効果が表面化しにくいいため、Case 2a での流速分布からそれ程大きな変化は起こさない。

Fig. 3.10に、高圧プレナム入口部における周方向温度分布を極座標系によって示す。なお、温度スケールは、座標中心が400°C、最外周上が450°Cである。旋回流動効果を考慮しない条件での結果では、 $j=1 \pm 2$ メッシュ程度の周方向への高温冷却材の輸送が確認できるものの、180° 対称位置での冷却材温度は依然として低温のままである。原子炉入口Aループの冷却材温度のみを変更したCase 2a の結果と比較すると、多少冷却材の混合が促進されている様子が見られ、これは冷却材流量を低下させたことによる慣性力の低下とこれに伴う浮

力効果の相対的な増加によるものと解釈できる。ただし、高圧プレナム入口部において、全温差（50°C）の約5割の温度分布が依然として周方向に残っている。他方、旋回流動効果を考慮した条件での結果では、高圧プレナム入口部において全温度差の約2割程度の温度分布が周方向に見られるものの、その混合特性は旋回流動効果を考慮しない場合に比べ極めて良好である。なお、原子炉入口Aループの冷却材温度のみを変更したCase 2の結果と比べ、周方向の温度分布がより解消していることがわかる。この原因は現時点において明らかではないが、原子炉入口Aループから下部プレナム内に流入する冷却材流量が変化したことにより、慣性力と浮力のバランスに変化が生じたためと考えられる。

Fig. 3. 11に、下部プレナム内軸方向温度分布を、径方向3位置について示す。旋回流動効果を考慮しない条件での結果では、軸方向に大きな温度分布が発生している様子がわかる。一方、旋回流動効果を考慮した場合には、原子炉入口Aループ近傍（ $i=22$ ）で若干の軸方向温度分布が見られるが、下部プレナム中心に近づくに従ってその温度分布は急速に解消している。

3. 1. 4 温度・流速非対称条件 ((2), Case 4~Case 4a)

この解析ケースは、原子炉入口AおよびBループの流速を11.65m/sから9.34m/sに変更し、かつ原子炉入口Aループの冷却材温度のみを397°Cから450°Cに変更した条件でのものである。Fig. 3. 12およびFig. 3. 13それぞれに、旋回流動効果を考慮した場合と考慮しない場合の温度流速分布を示す。また、高圧プレナム入口部における周方向温度分布と軸方向温度分布を、Fig. 3. 14およびFig. 3. 15にそれぞれ示す。Fig. 3. 14に示した高圧プレナム入口部での周方向温度分布結果では、旋回流動効果を考慮しない条件での解析結果においても、Case 3aの結果に比べて冷却材の混合が促進していることがわかる。これは、原子炉入口AおよびBの2ループの冷却材流量が変更されたため、周方向に大きな圧力勾配が生じ、これによって周方向ベクトルがCase 3aに比べ増加した結果であると考えられる。この様な傾向は、旋回流動効果を考慮した条件の解析結果においても認められる。

3. 2 自然循環条件

3. 2. 1 等温場流動特性

r-z面における流速分布をFig. 3. 16に示す（旋回流動効果考慮）。各周方向断面において得られた結果は、概ねFig. 3. 1に示した強制循環条件での結果と酷似し、自然循環条件においても旋回流動特性が顕著であることを示唆している。ただし、主流から外れる下部プレナム中心部および受皿（Catch Pan）下部領域では、強制循環条件での結果で見られた局所的な渦の発生は確認できず、マクロな意味での乱流効果が減少していることを裏付けている。

3.2.2 温度非対称条件

この解析ケースは、原子炉入口Aループ温度のみを、397°Cから417°Cに変更した条件でのものである（旋回流動効果考慮）。Fig. 3.17に、 $r-z$ 面における温度流速分布を示す。全体的な流動傾向では、温度条件を変更した原子炉入口Aループ近傍での流況が、他の周方向位置でのものから大きく変化している。これは、流体の慣性力が弱い自然循環流動場において、温度差による浮力の影響が強く現れたためと解釈できる。すなわち、原子炉入口Aループ配管を含む周方向断面($J=1$)では、入口配管からの高温流体が浮力の影響により直接高圧プレナム入口部に到達し、回りの低温流体はその主流に引きずられる形で高圧プレナム入口部に流入するためである。この結果、原子炉入口Aループ近傍の高圧プレナム入口部の流速が、他の周方向断面でのものよりも大きな値を示している。

Fig. 3.18に、高圧プレナム入口部における周方向温度分布を示す。なお、図中において、座標中心が400°C、最外周上が420°Cである。結果よりわかる通り、入口温度条件を変更した原子炉入口Aループ配管部 ($J=1$)では、全温度差の約25%にまで温度差は解消してはいるものの、他の周方向断面での温度に比べて高めの冷却材温度を示している。さらに特徴的な点は、原子炉入口Aループから下部プレナム内に流入した高温冷却材が、周方向にほぼ均一に広がっていることであり、この傾向は強制循環条件での結果 (Case 2, Fig. 3.6参照) ではみられなかったものである。これは、前述の様に、浮力の効果が慣性力の低下に伴って顕著に表面化したためであり、この効果が旋回流動効果による一方向への対流拡散効果を上回ったことによると解釈できる。したがって、自然循環領域においては、旋回流動効果による顕著な冷却材混合は期待できず、その冷却材温度分布に関して注意を払う必要がある。また、冷却材混合に関する定量化は、高圧プレナム内に林立する連結管群を考慮に入れた実機での実験を含む詳細な検討が必要であると考えられる。

第4章 結 言

高速原型炉「もんじゅ」の性能試験実施に先立ち、下部プレナム内での冷却材混合特性を解析的に明らかにした。得られた結果は、以下の通りである。

〔強制循環条件〕

- (1) 冷却材混合を促進するために設けられた原子炉入口配管先端部での周方向へのひねりは、旋回流動を効果的に発生させ、これにより冷却材は極めて良好に混合する。高圧プレナム入口部での周方向温度分布は、旋回流動効果を考慮することにより全温度差の約5割から約2割に減少する。
- (2) 強制循環条件の範囲では旋回流動効果が支配的となり、浮力効果による空間不均一効果の発生は極めて小さい。

〔自然循環条件〕

- (1) 同条件では旋回流動効果による顕著な冷却材混合は期待できず、冷却材温度分布に関して十分な注意が必要である。

参 考 文 献

- 1) 高速増殖炉もんじゅ発電所・原子炉設置許可申請書

Table 2.1 Analytical Conditions for Mixing Effects in the MONJU Lower Plenum

	Inlet Conditions			Swirling Flow Effect	
	Loop A	Loop B	Loop C	Considered	Not Considered
Case 1	V=11.65m/s T=397.0°C	← ←	← ←	○	
Case 1a	V=11.65m/s T=397.0°C	← ←	← ←		○
Case 2	V=11.65m/s T=450.0°C	V=11.65m/s T=397.0°C	← ←	○	
Case 2a	V=11.65m/s T=450.0°C	V=11.65m/s T=397.0°C	← ←		○
Case 3	V=9.34m/s T=450.0°C	V=11.65m/s T=397.0°C	← ←	○	
Case 3a	V=9.34m/s T=450.0°C	V=11.65m/s T=397.0°C	← ←		○
Case 4	V=9.34m/s T=450.0°C	V=9.34m/s T=397.0°C	V=11.65m/s T=397.0°C	○	
Case 4a	V=9.34m/s T=450.0°C	V=9.34m/s T=397.0°C	V=11.65m/s T=397.0°C		○
Case 5	V=0.35m/s T=397.0°C	← ←	← ←	○	
Case 6	V=0.35m/s T=417.0°C	V=0.35m/s T=397.0°C	← ←	○	

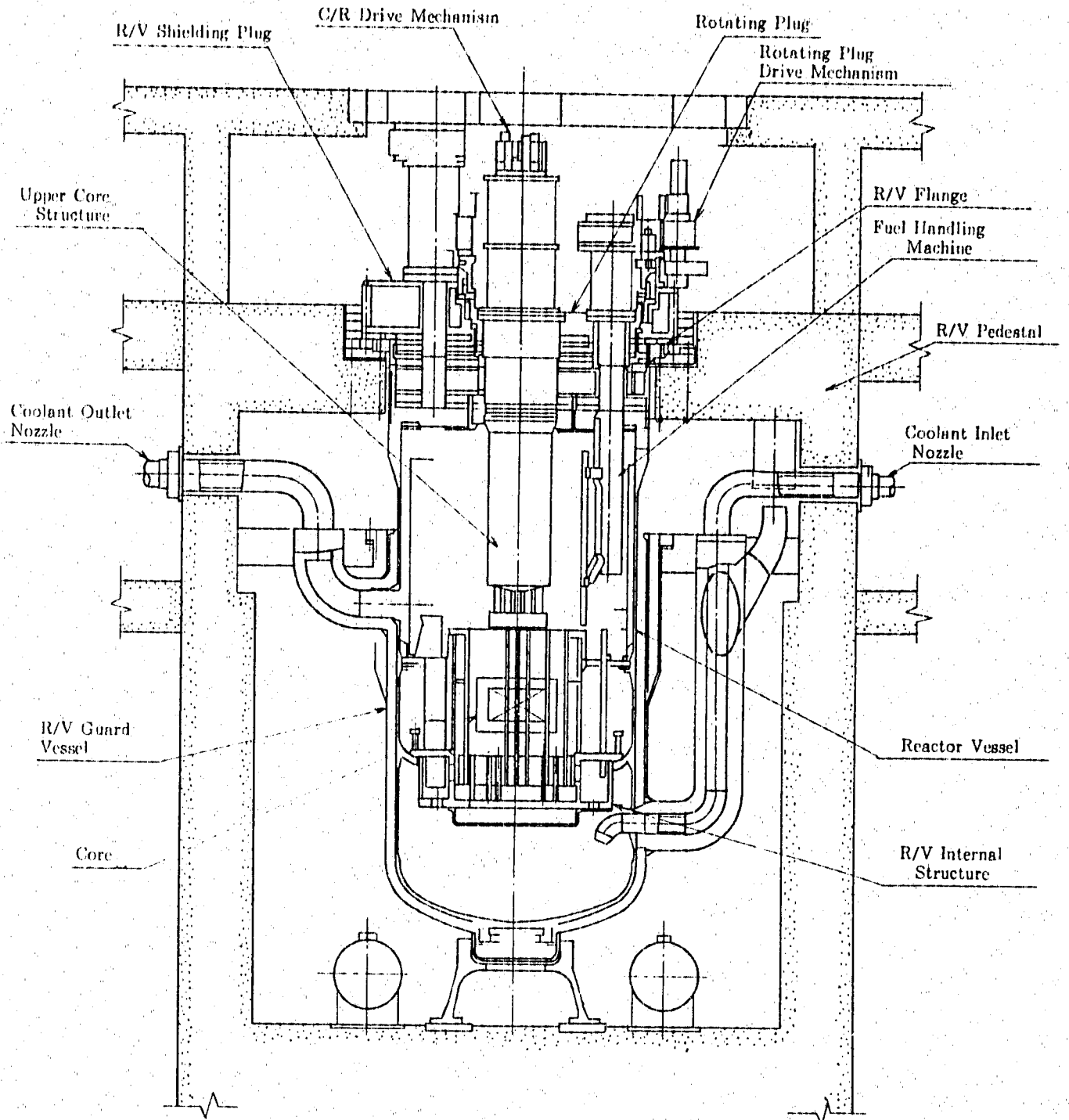


Fig. 2.1 Cut-View of the MONJU reactor

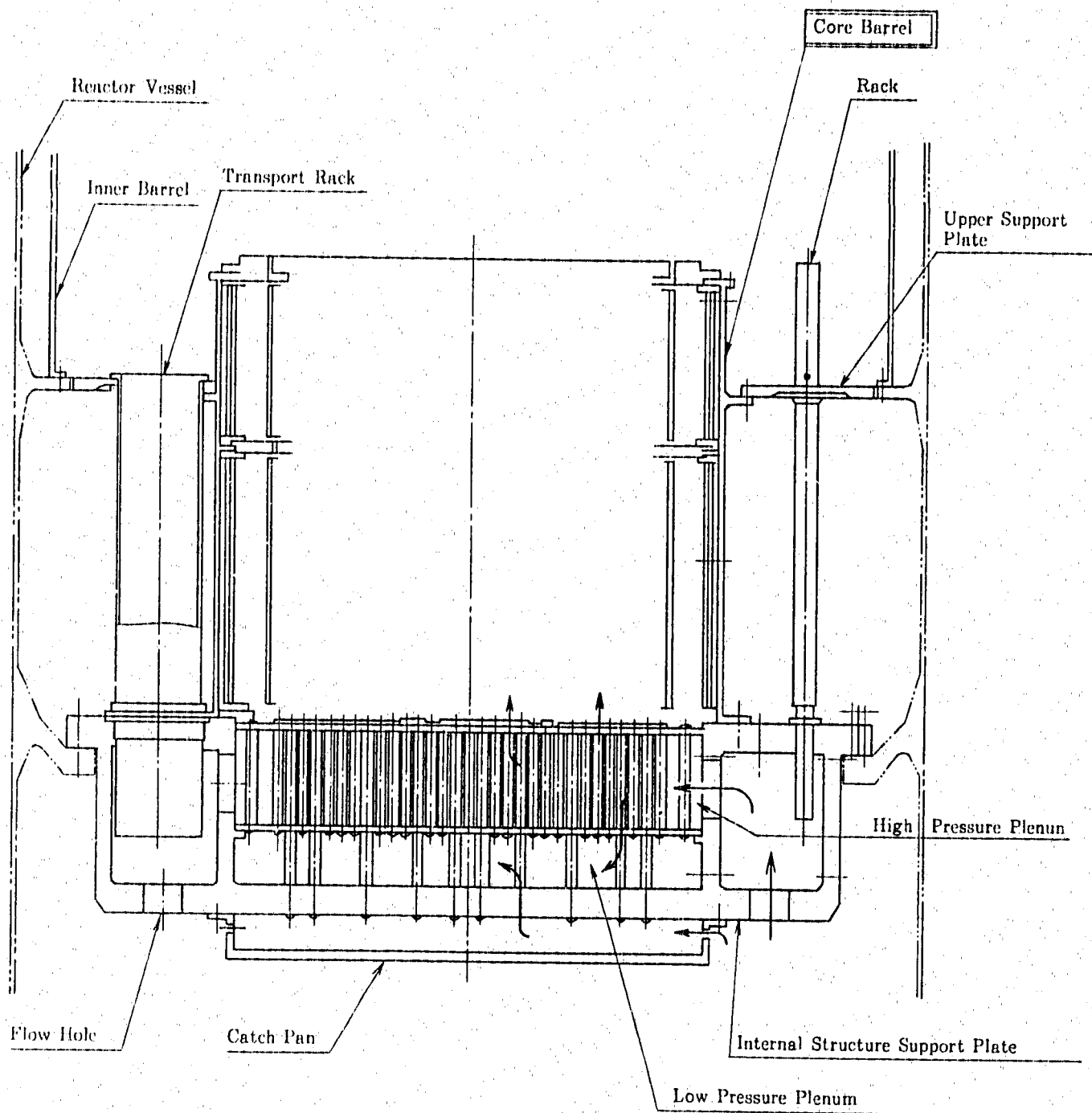
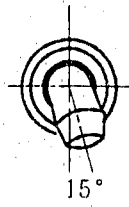
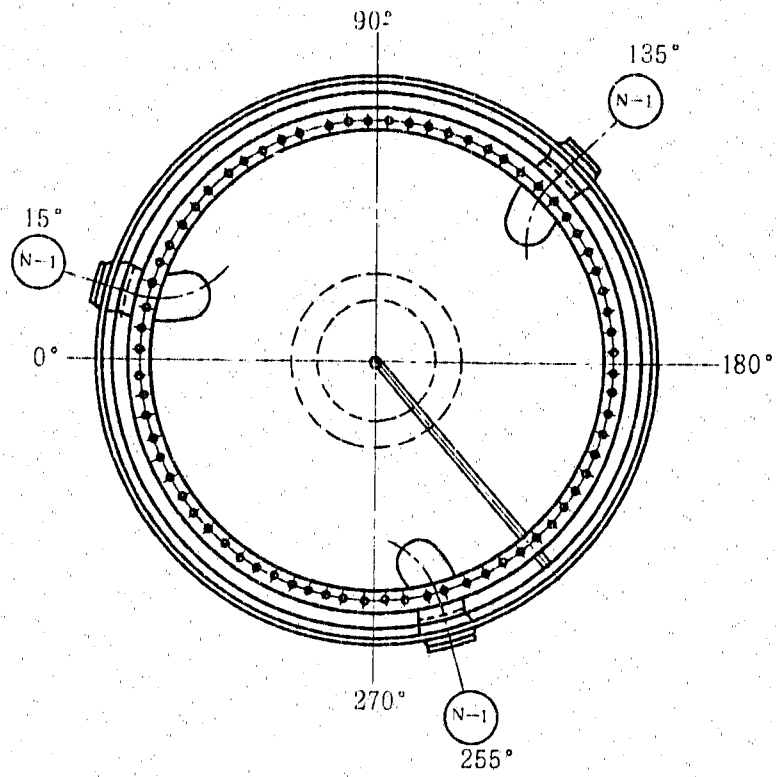


Fig. 2.2 Geometry of the R/V Internal Structure



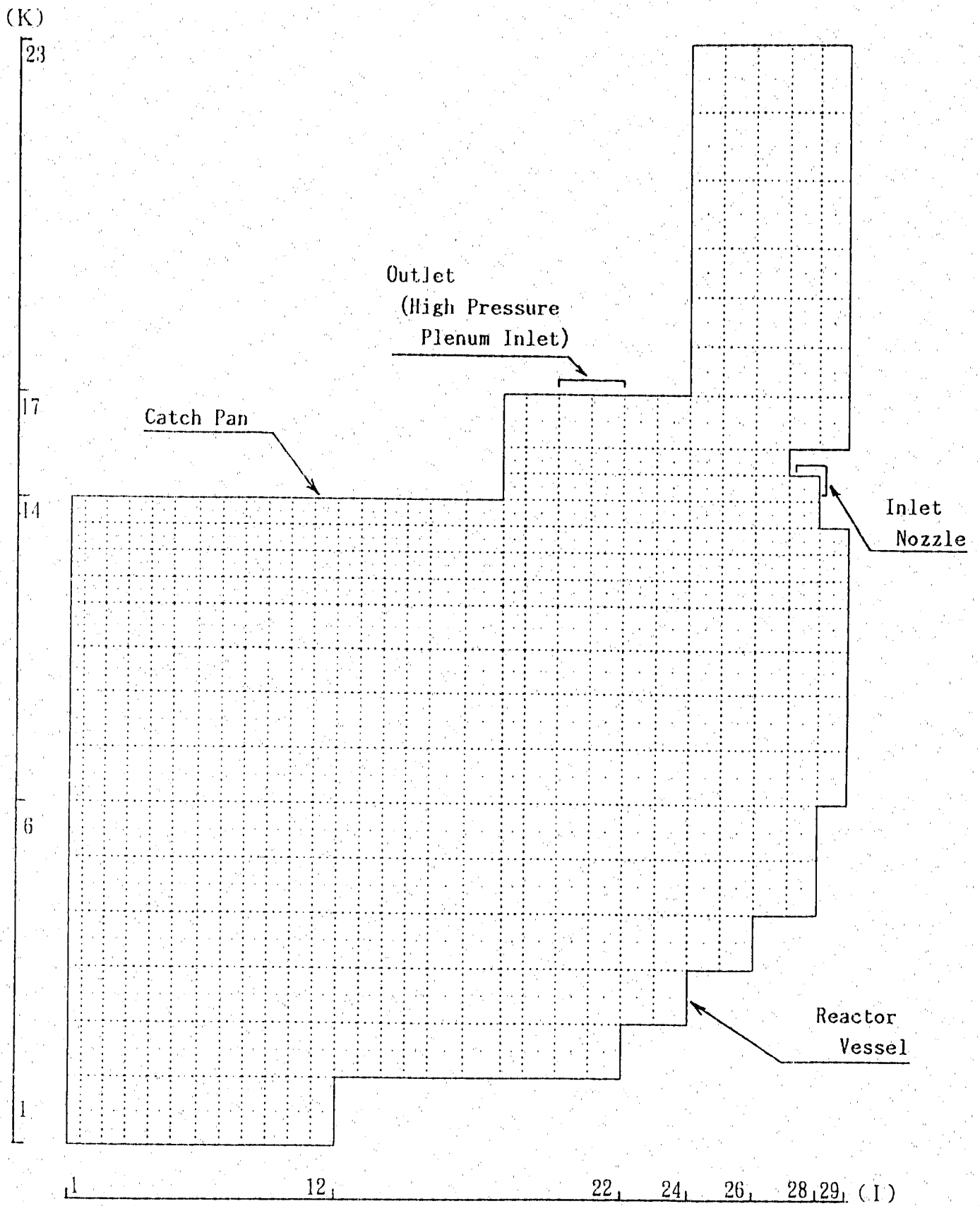


Fig. 2.4 Typical Mesh Arrangement for r-z Plane

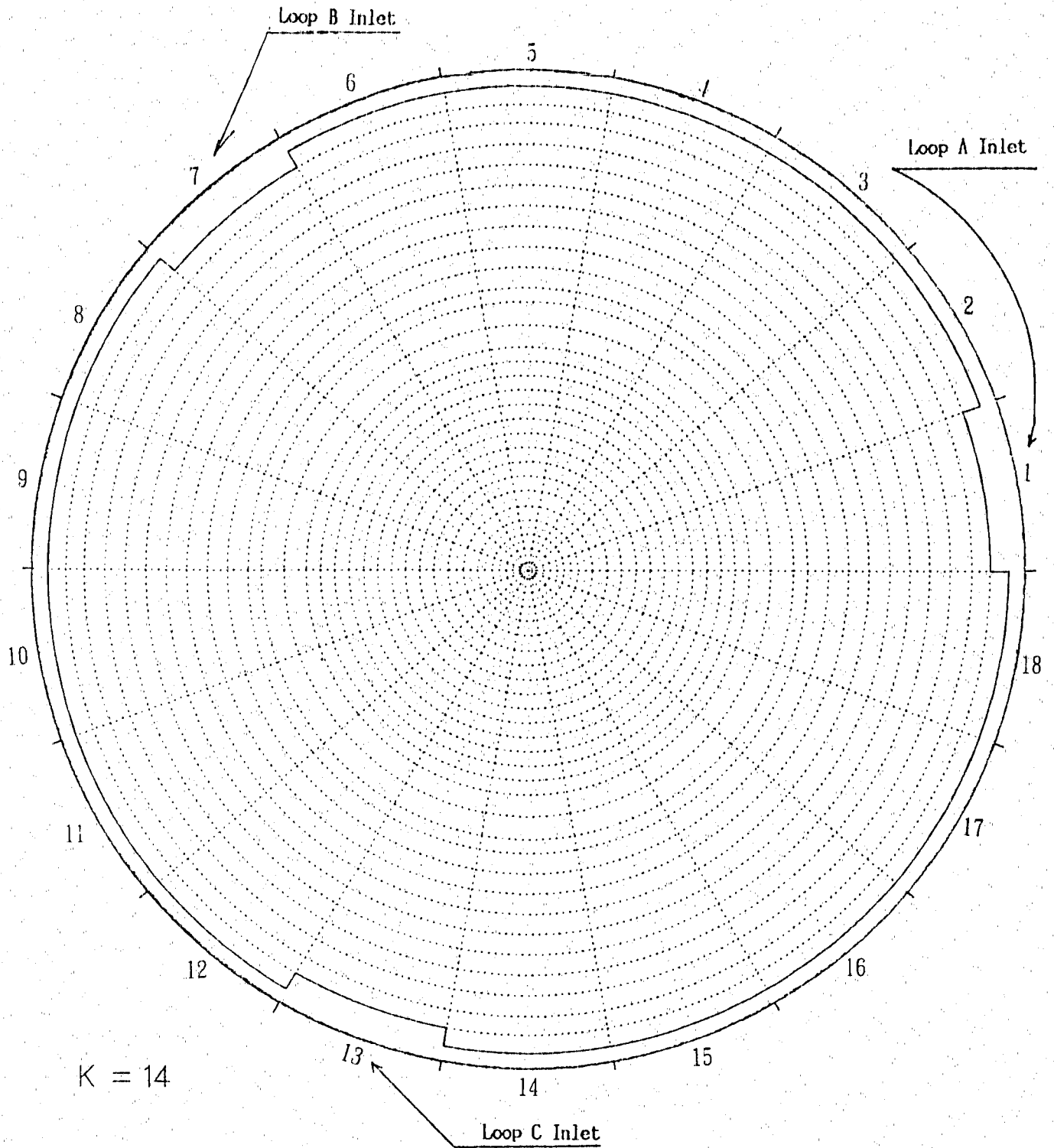


Fig. 2.5 Typical Mesh Arrangement for $r-\theta$ Plane

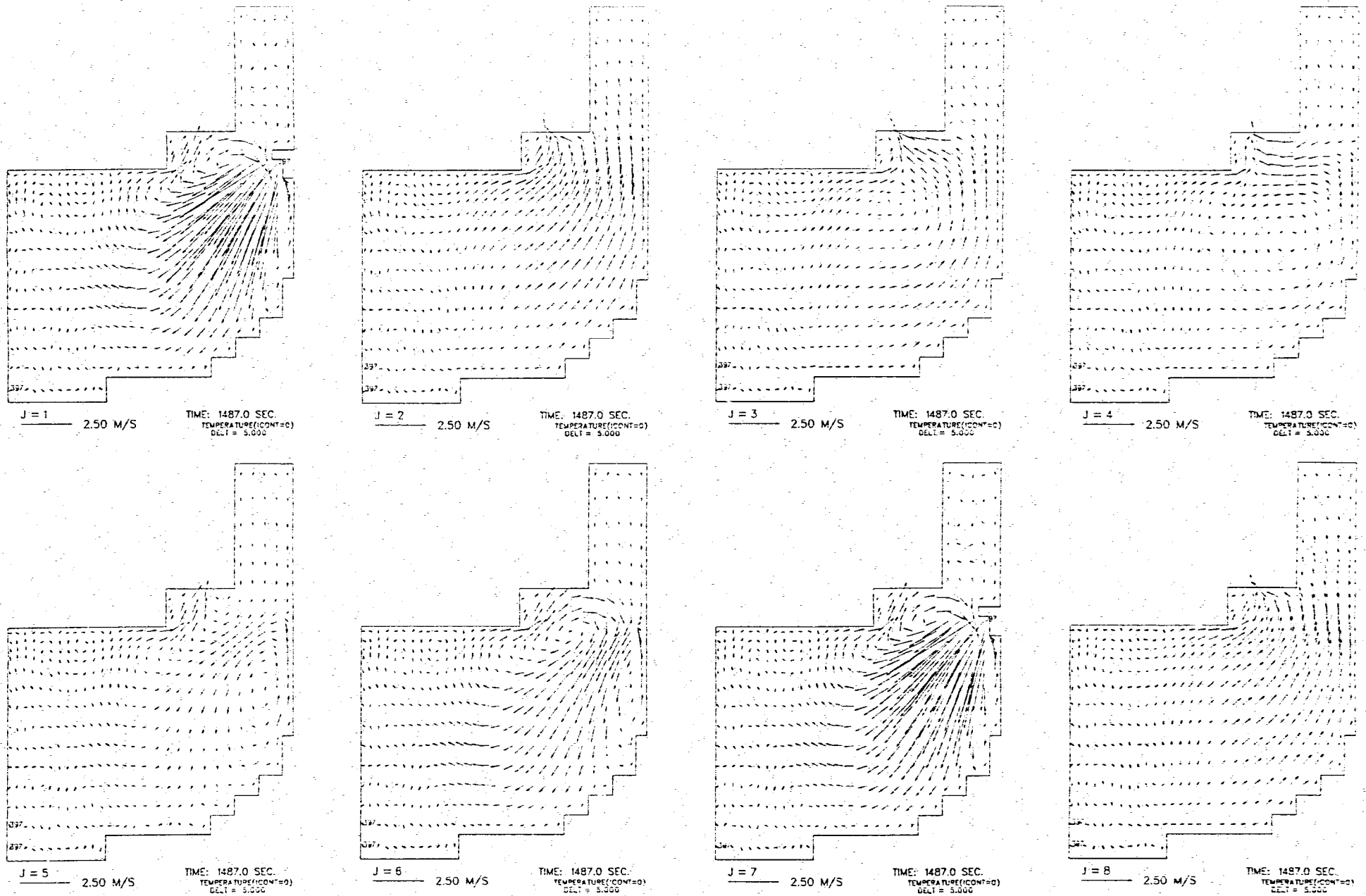


Fig. 3.1 Velocity Vector Fields on the Case 1 Condition (with Swirling Flow Effect)

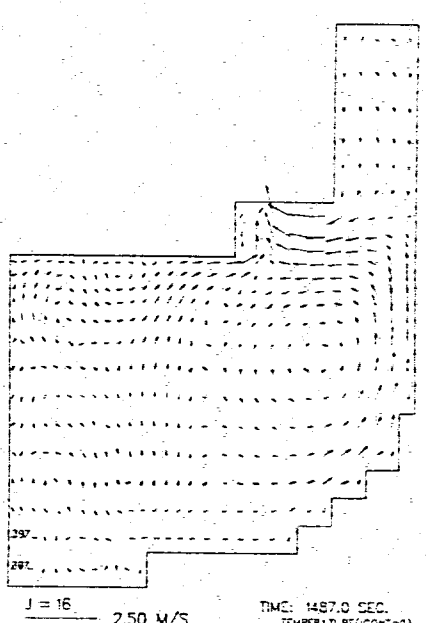
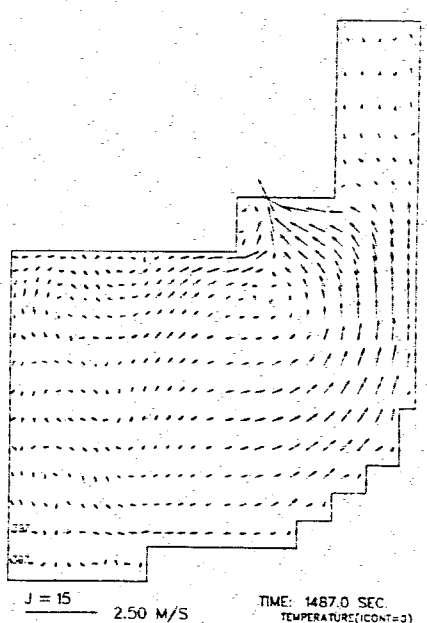
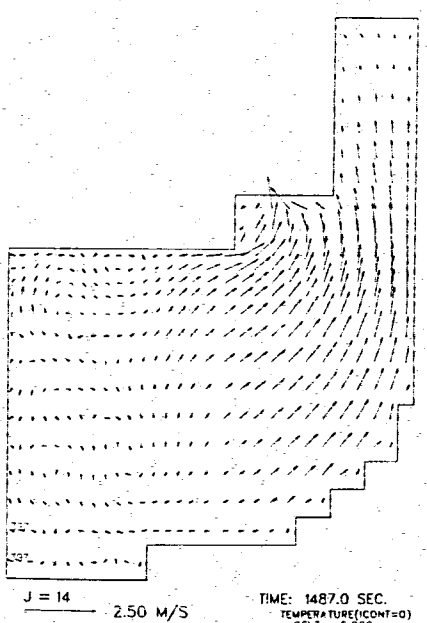
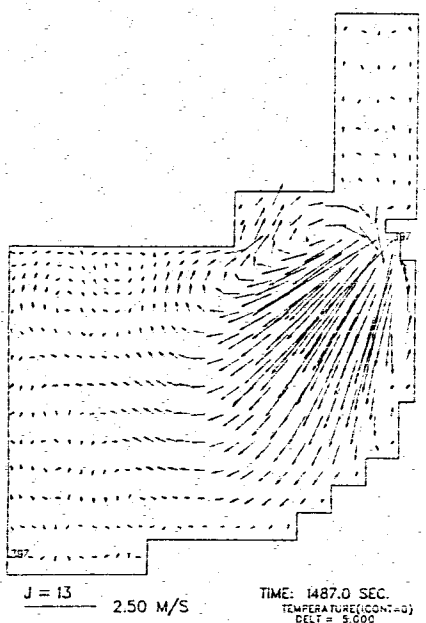
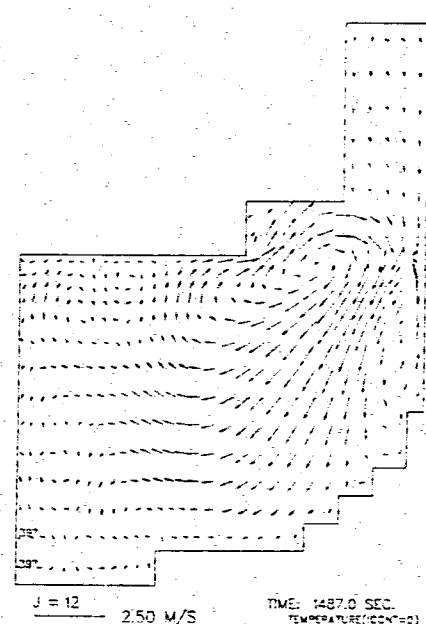
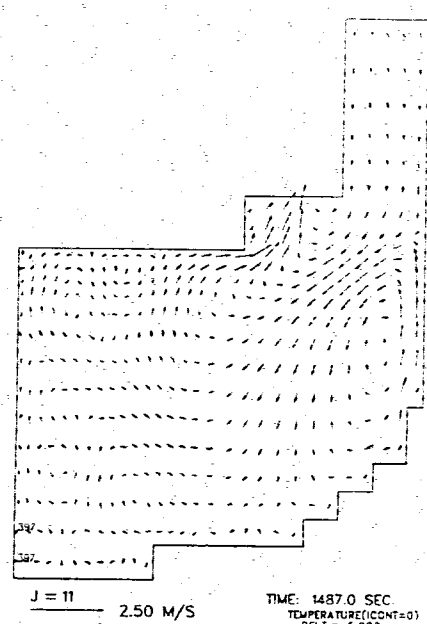
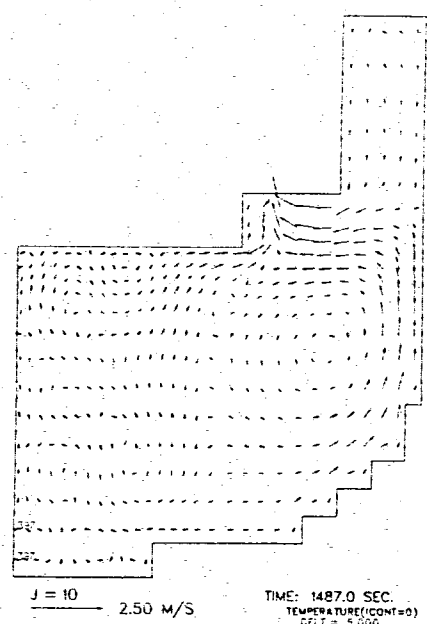
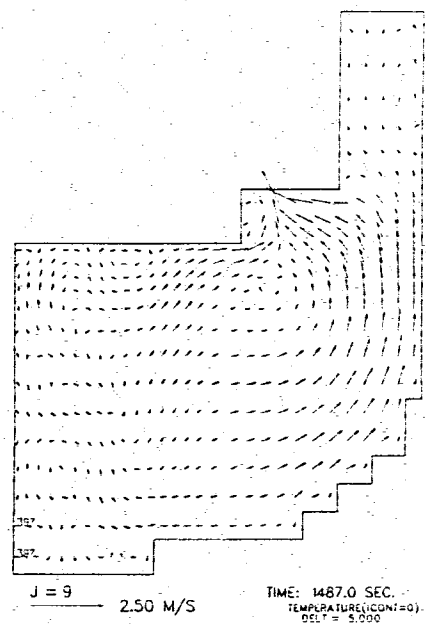


Fig. 3.1 (Continued)

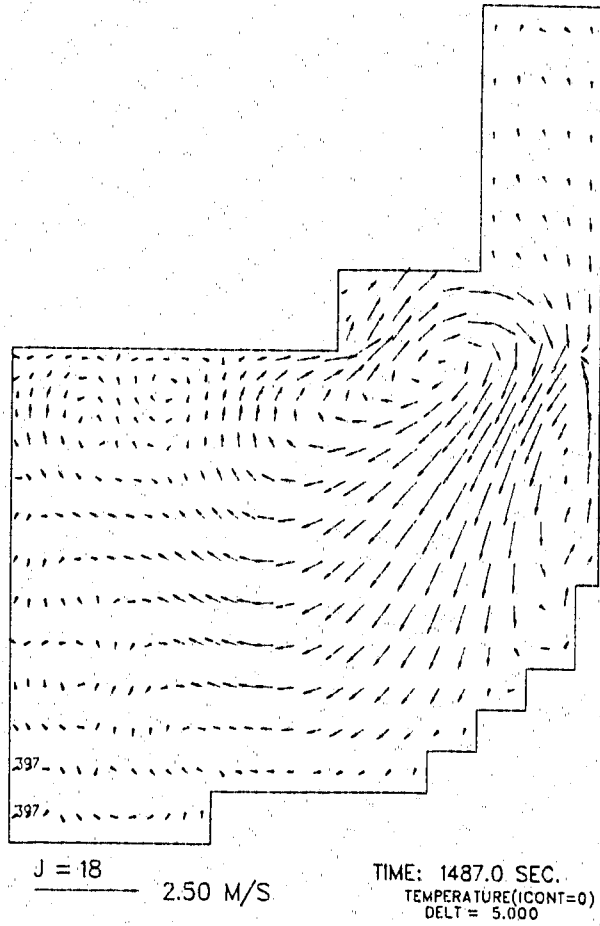
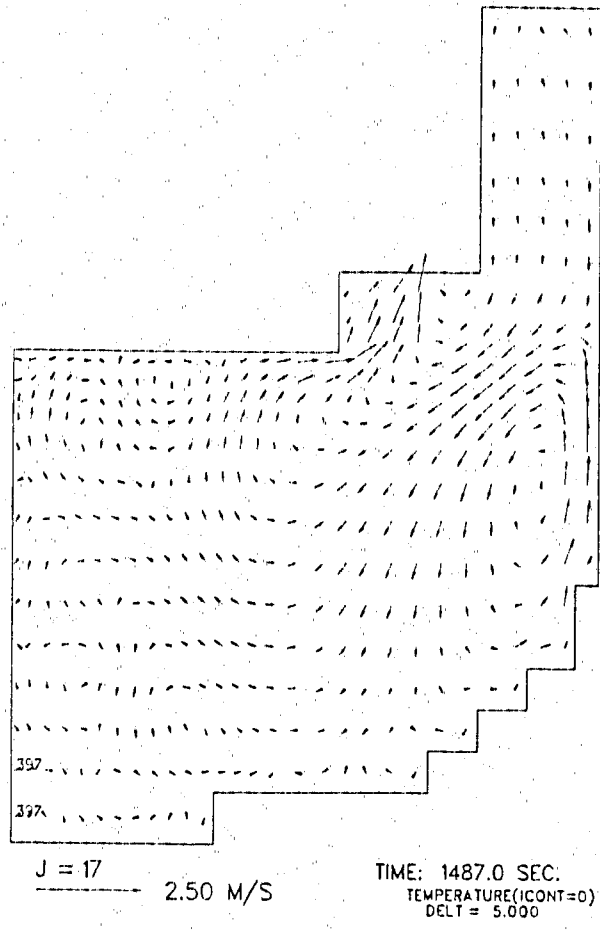


Fig. 3.1 (Continued)

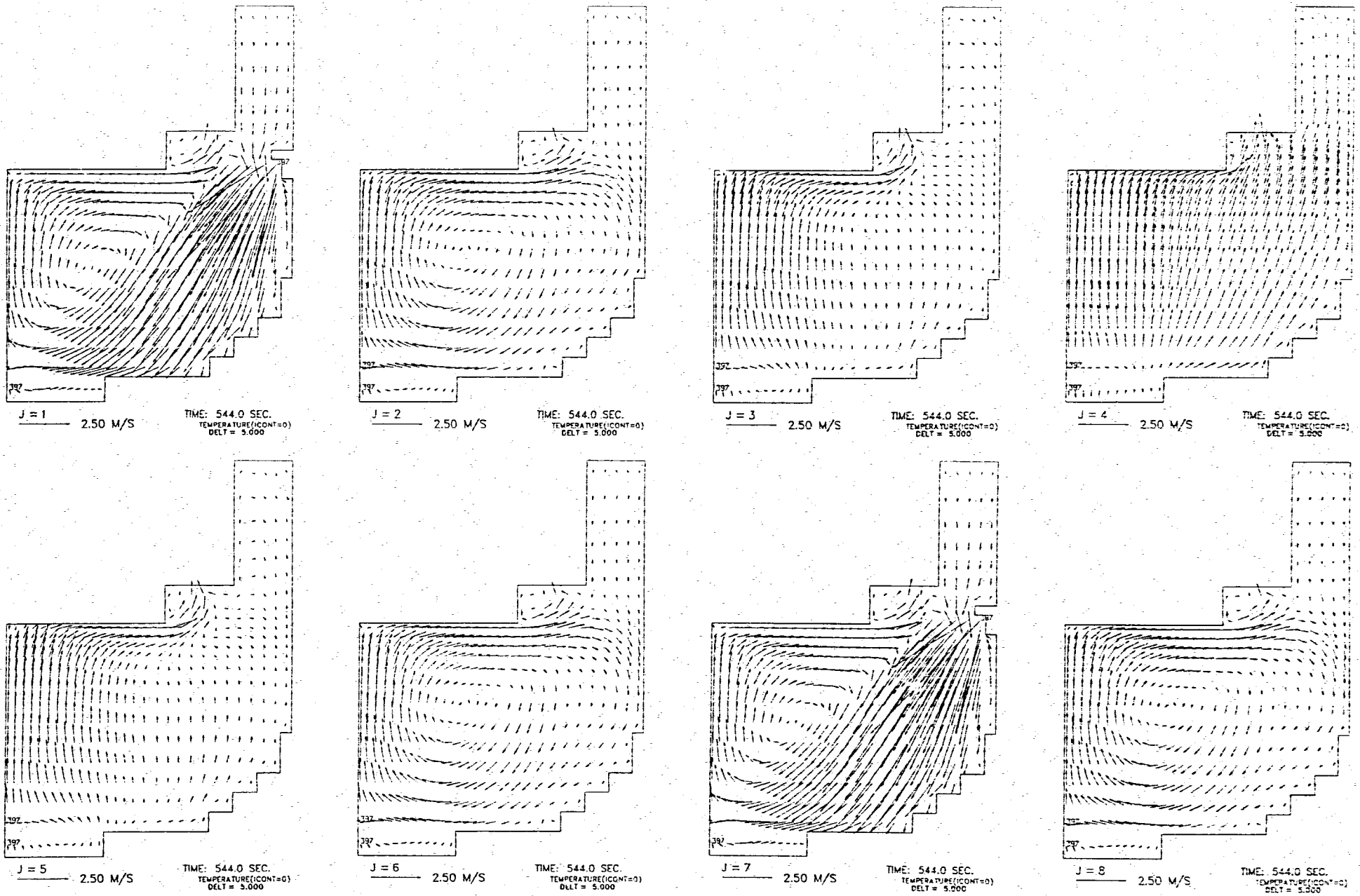


Fig. 3.2 Velocity Vector Fields on the Case 1a Condition (without Swirling Flow Effect)

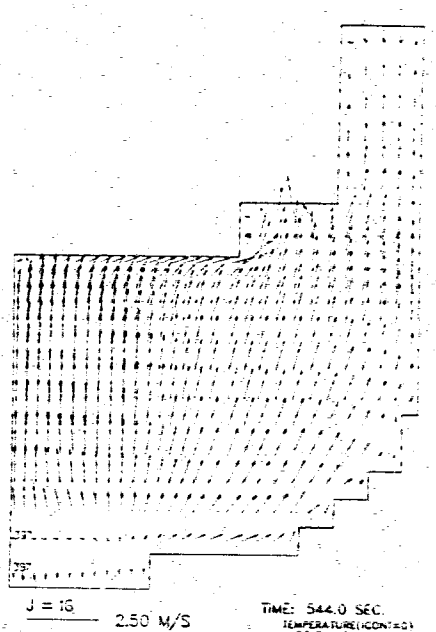
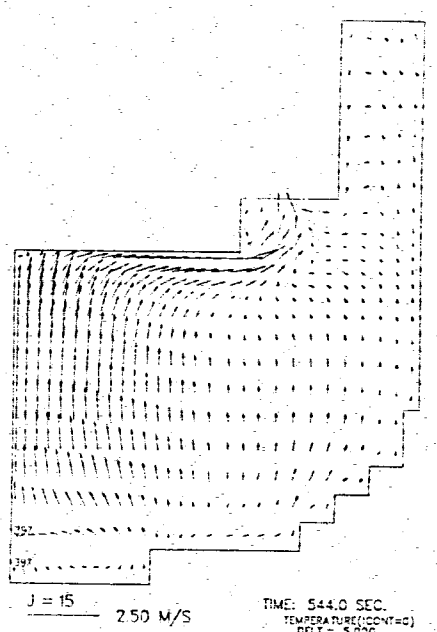
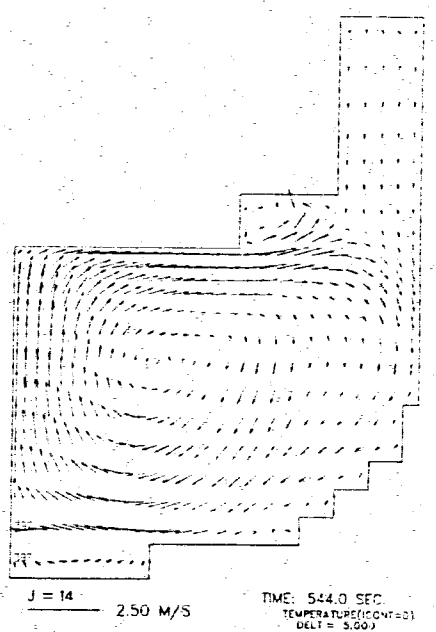
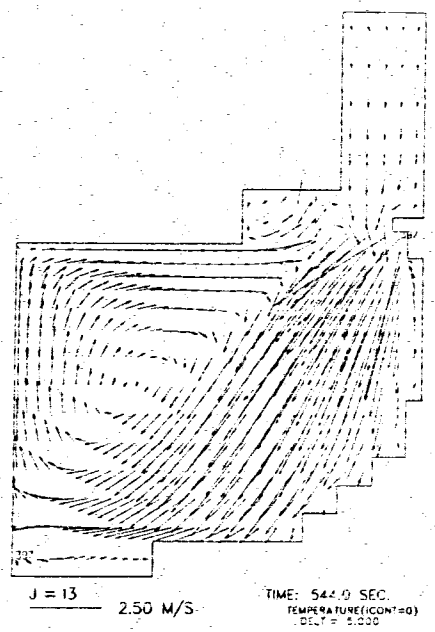
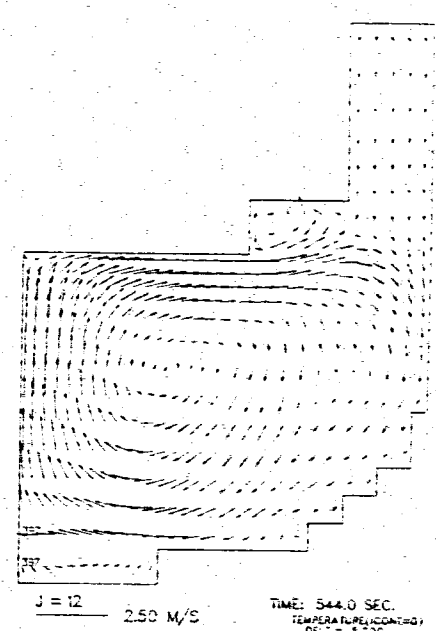
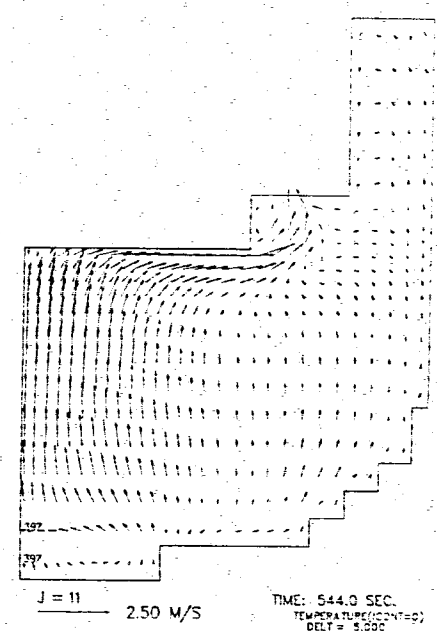
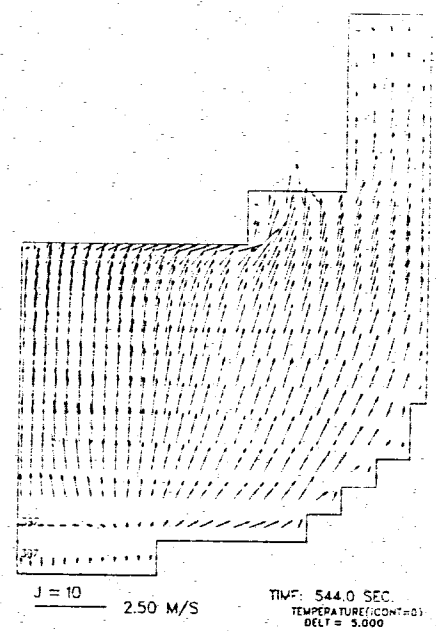
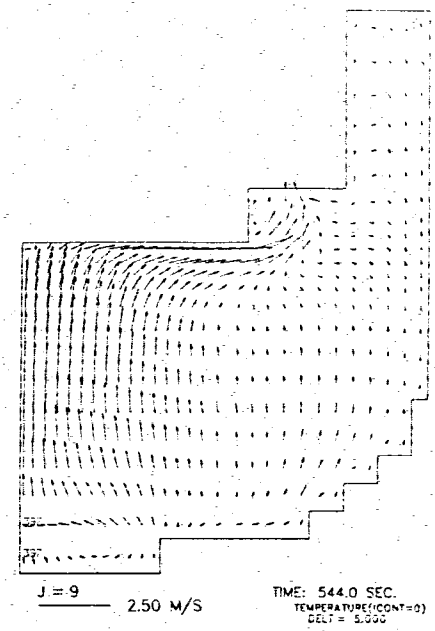


Fig. 3.2 (Continued)

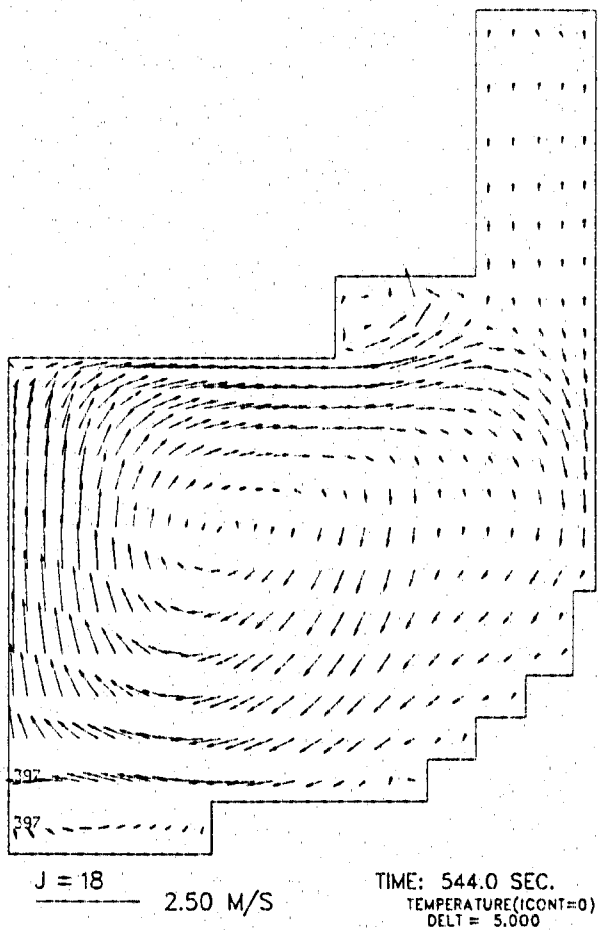
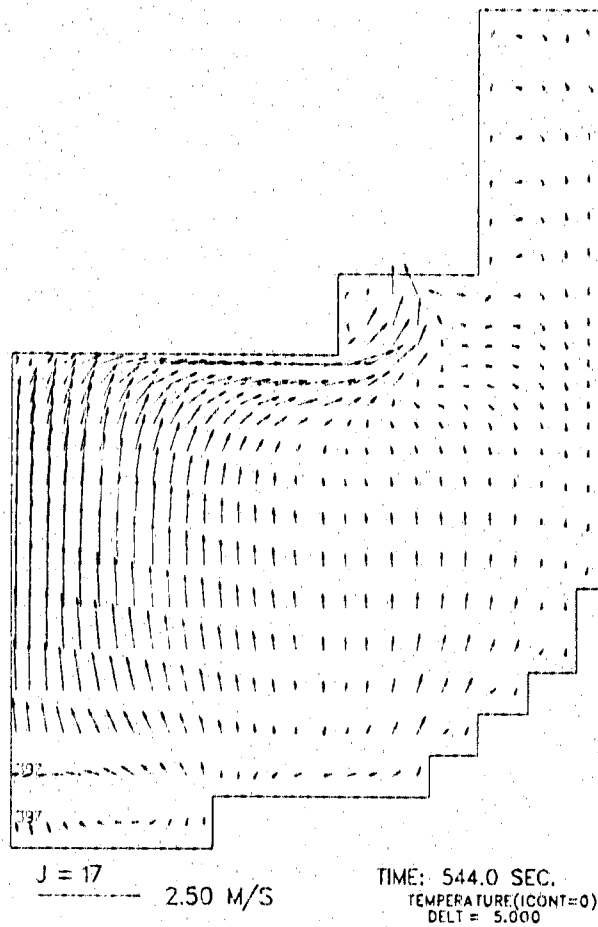
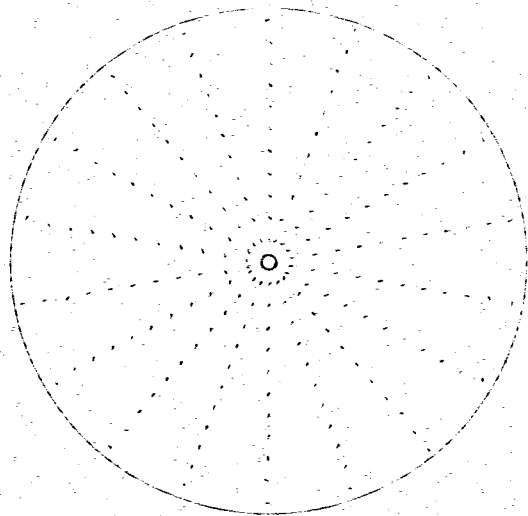
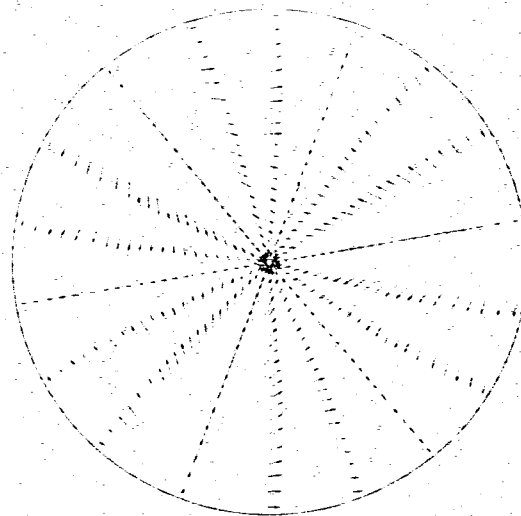


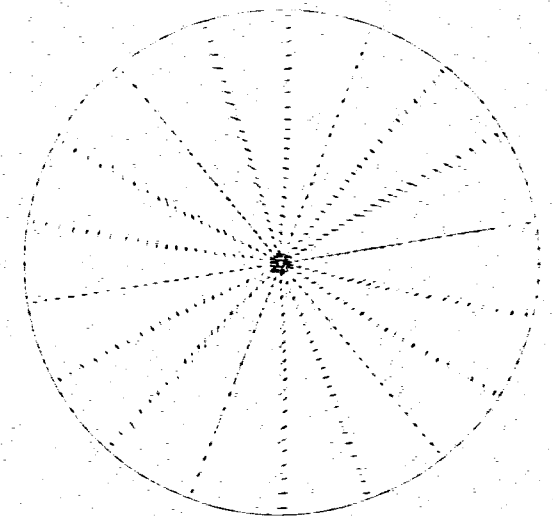
Fig. 3.2 (Continued)



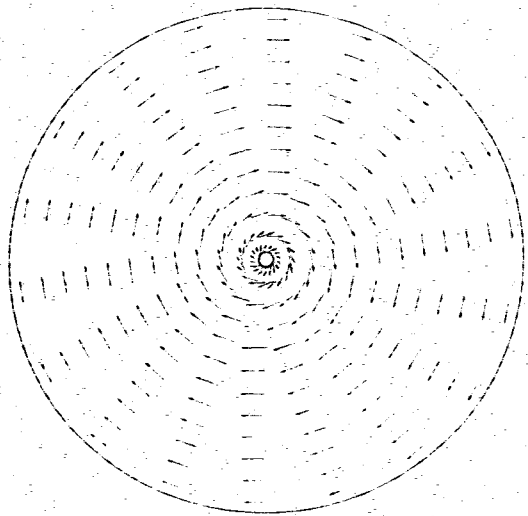
K = 1
6.00 M/S
TIME 544.0 SEC.



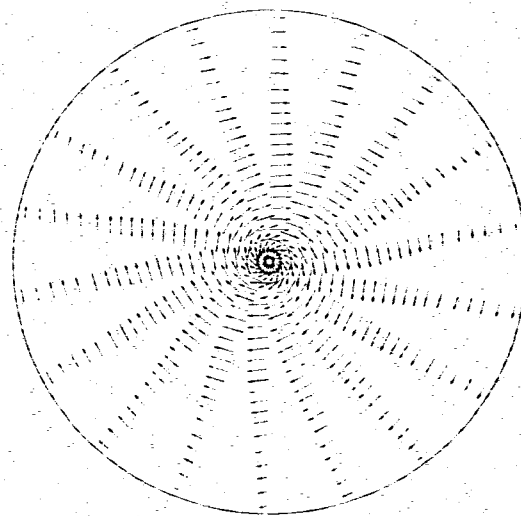
K = 2
6.00 M/S
TIME 544.0 SEC.



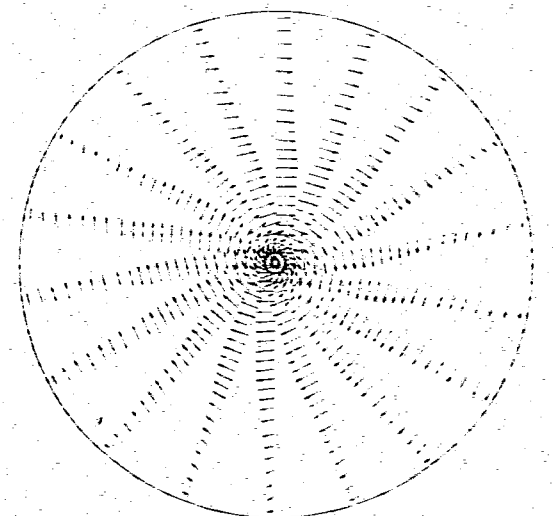
K = 3
6.00 M/S
TIME 544.0 SEC.



K = 1
6.00 M/S
TIME 1487.0 SEC.



K = 2
6.00 M/S
TIME 1487.0 SEC.



K = 3
6.00 M/S
TIME 1487.0 SEC.

Fig. 3.3 Effects of Swirling Flow Modeling on $r-\theta$ Planes under Isothermal Condition

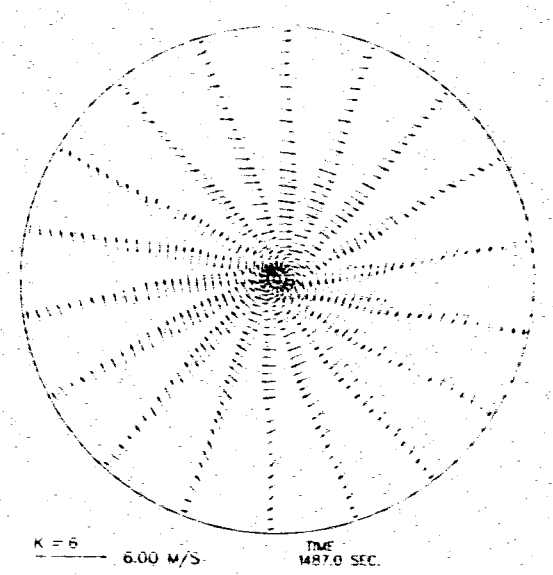
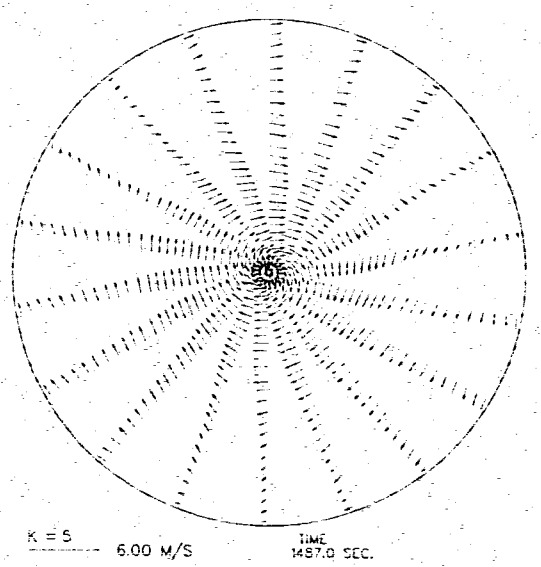
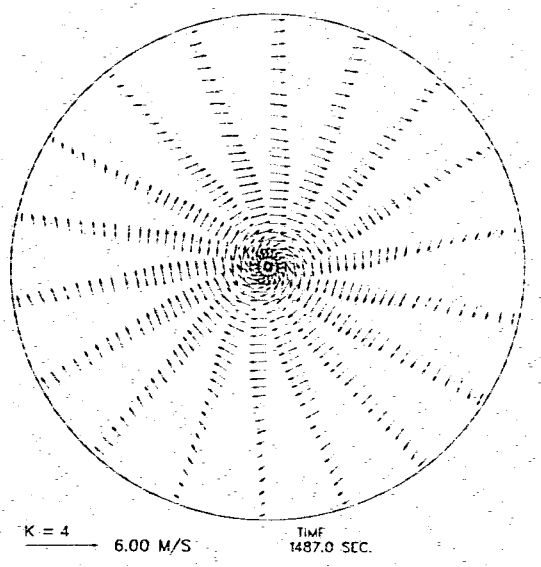
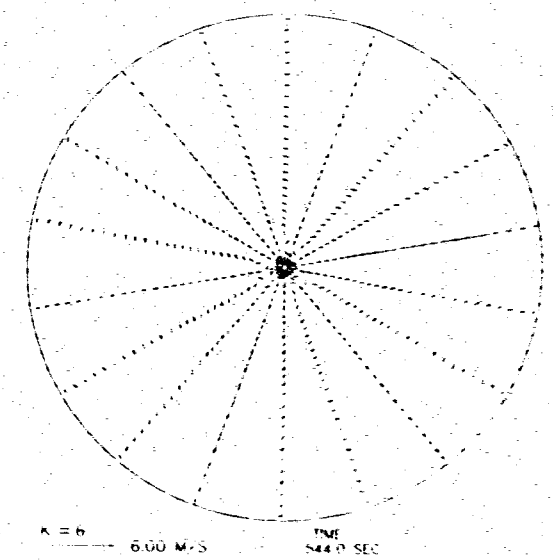
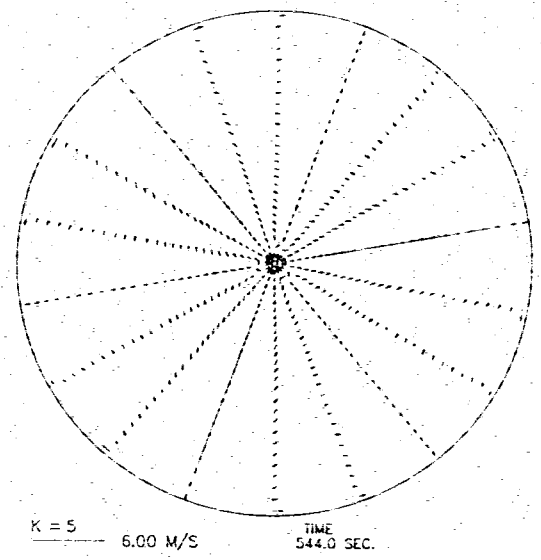
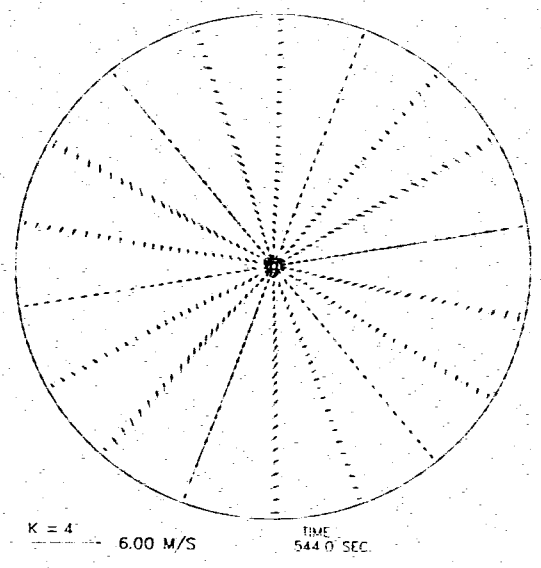
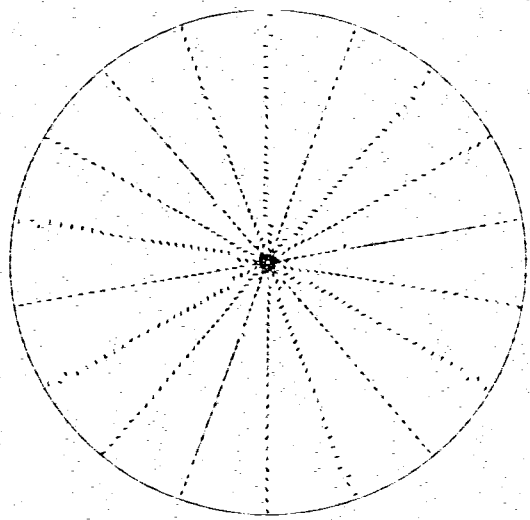
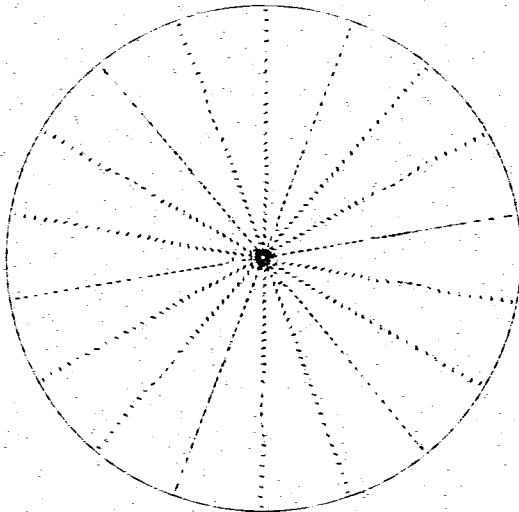


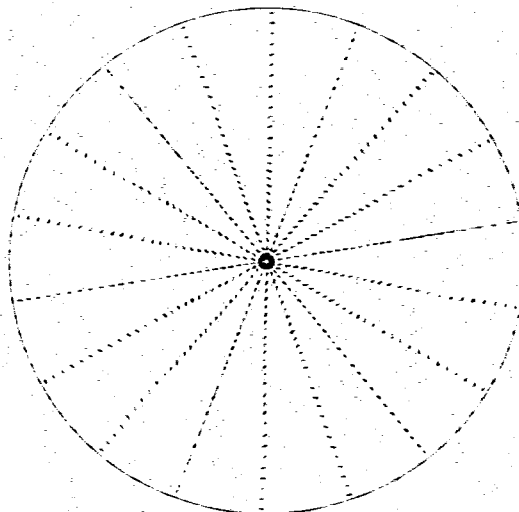
Fig. 3.3 (Continued)



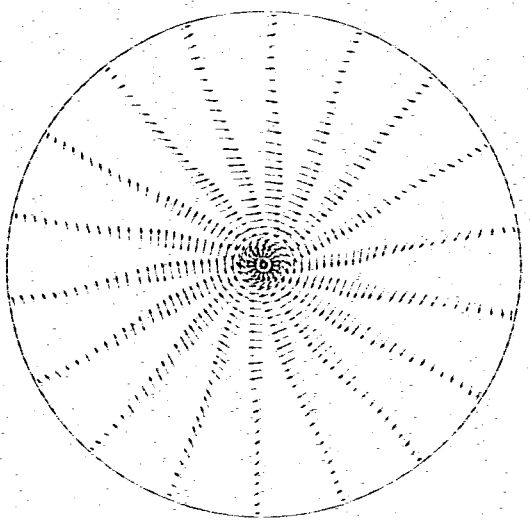
K = 7
6.00 M/S
TIME 544.0 SEC



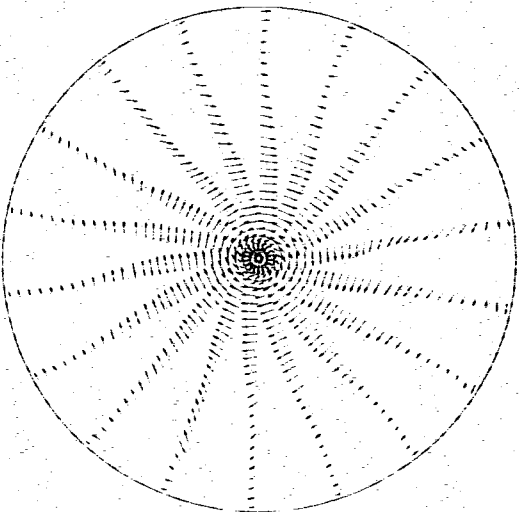
K = 8
6.00 M/S
TIME 544.0 SEC



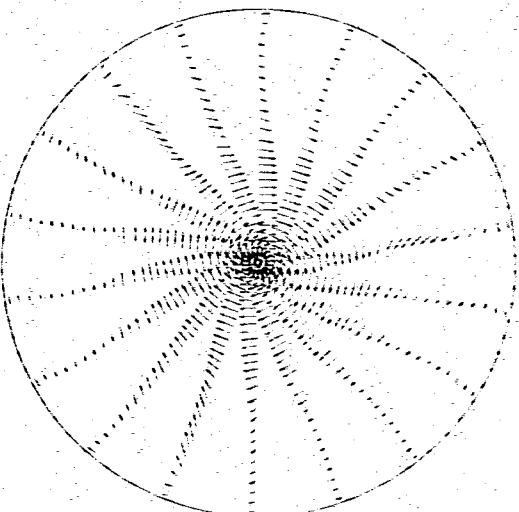
K = 9
6.00 M/S
TIME 544.0 SEC



K = 7
6.00 M/S
TIME 1487.0 SEC

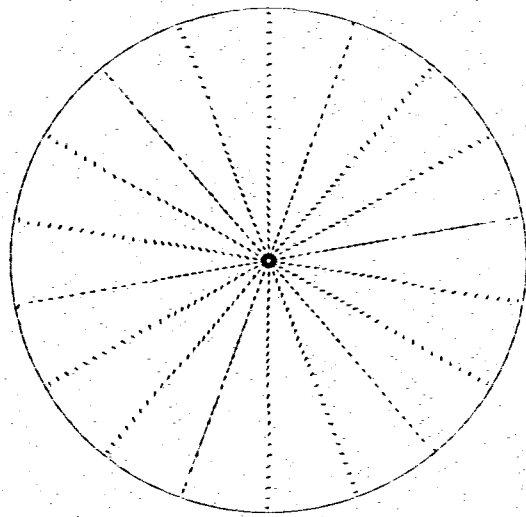


K = 8
6.00 M/S
TIME 1487.0 SEC

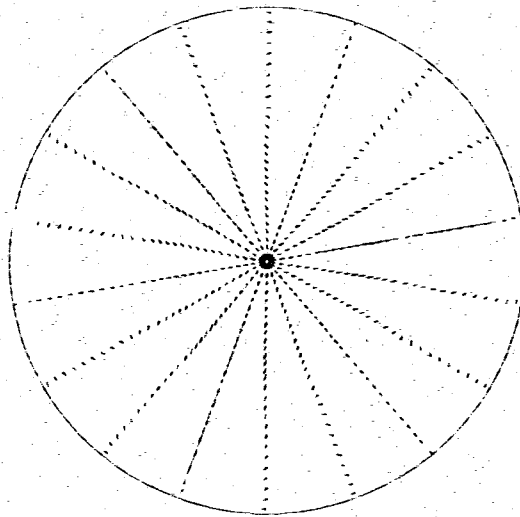


K = 9
6.00 M/S
TIME 1487.0 SEC

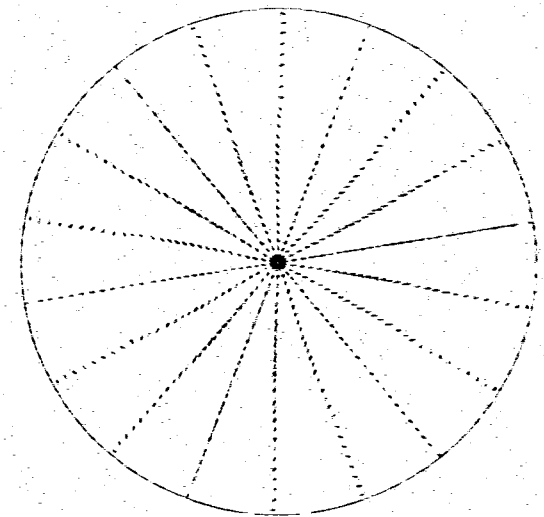
Fig. 3.3 (Continued)



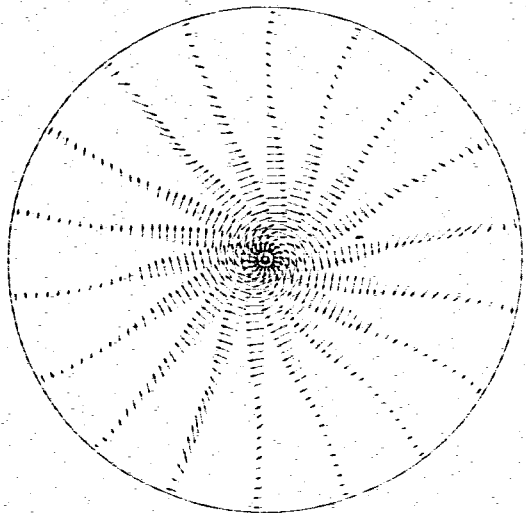
K = 10
6.00 M/S
TIME
544.0 SEC.



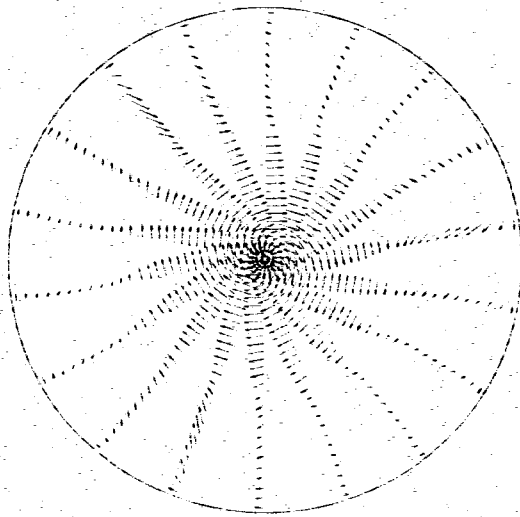
K = 11
6.00 M/S
TIME
544.0 SEC.



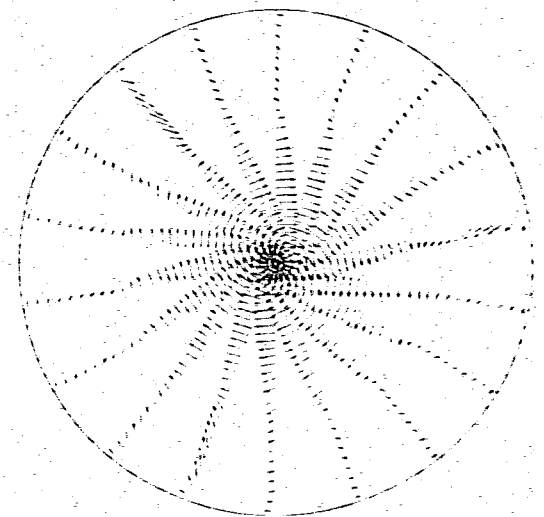
K = 12
6.00 M/S
TIME
544.0 SEC.



K = 10
6.00 M/S
TIME
1487.0 SEC.

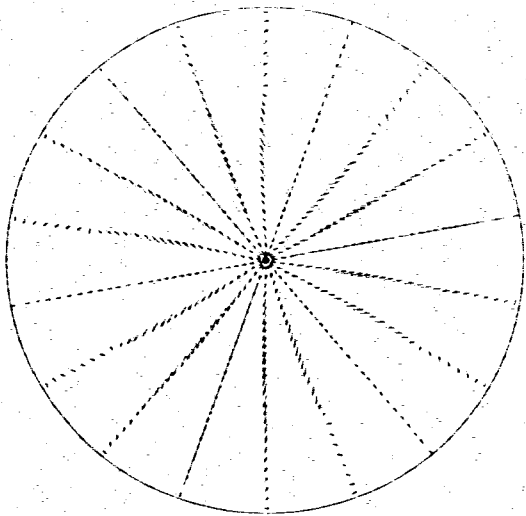


K = 11
6.00 M/S
TIME
1487.0 SEC.

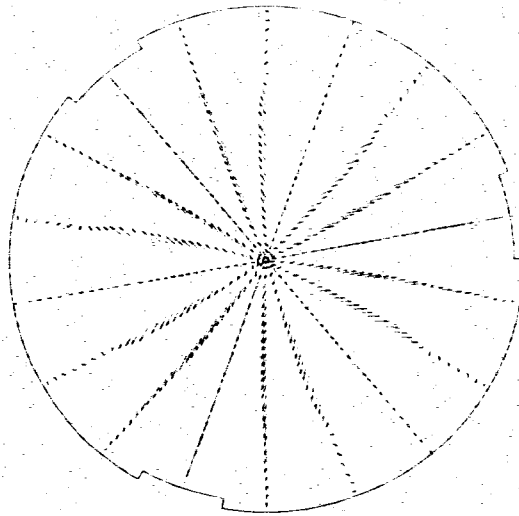


K = 12
6.00 M/S
TIME
1487.0 SEC.

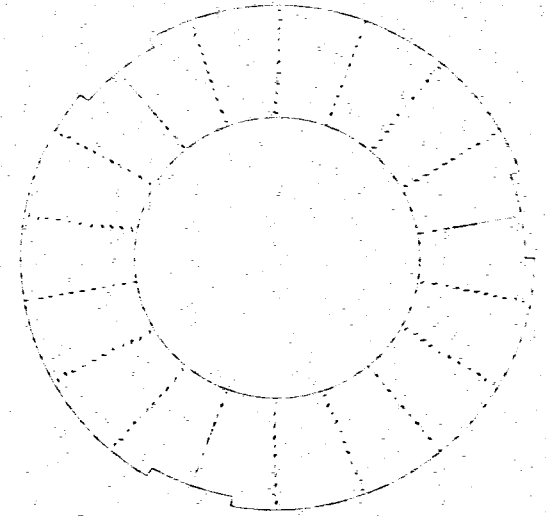
Fig. 3.3 (Continued)



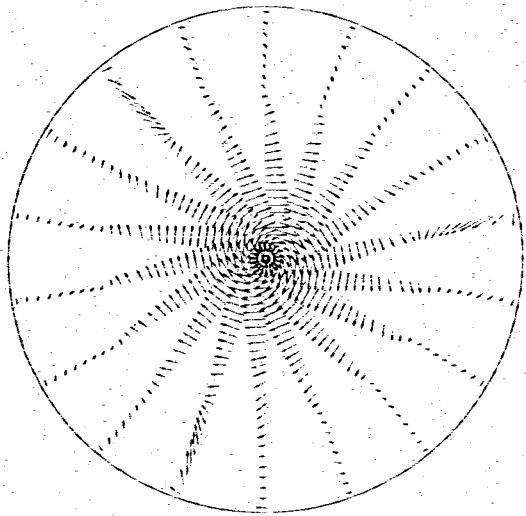
K = 13 6.00 M/S TIME 544.0 SEC.



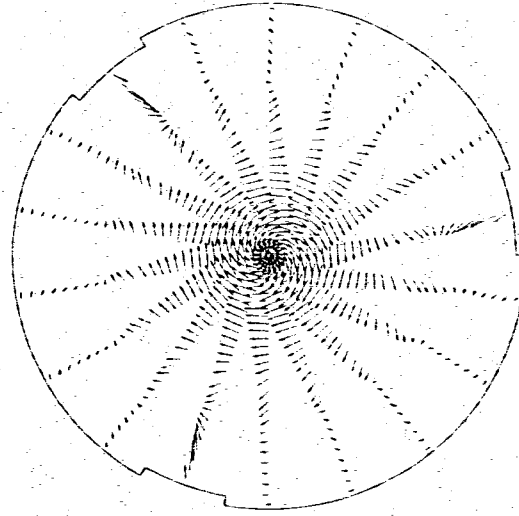
K = 14 6.00 M/S TIME 544.0 SEC.



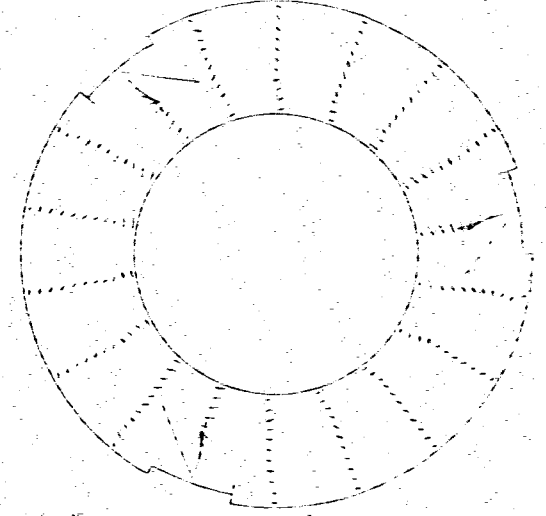
K = 15 6.00 M/S TIME 544.0 SEC.



K = 13 6.00 M/S TIME 1487.0 SEC.



K = 14 6.00 M/S TIME 1487.0 SEC.



K = 15 6.00 M/S TIME 1487.0 SEC.

Fig. 3.3 (Continued)

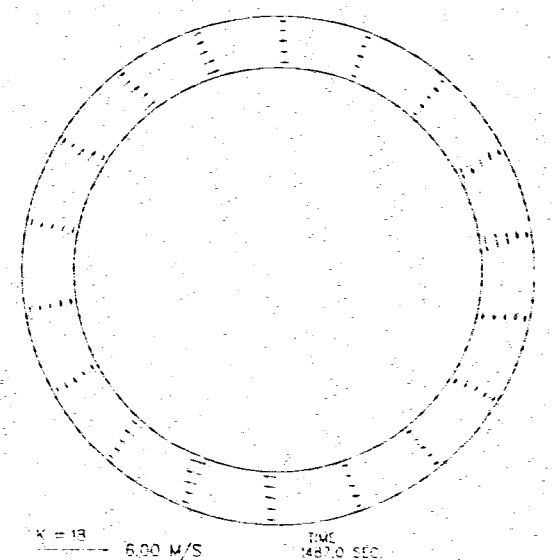
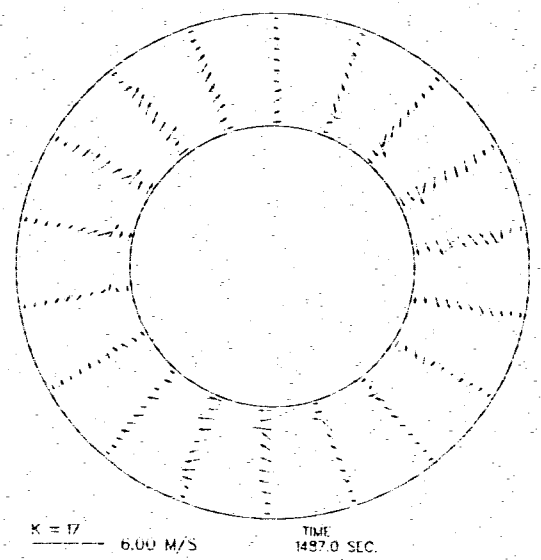
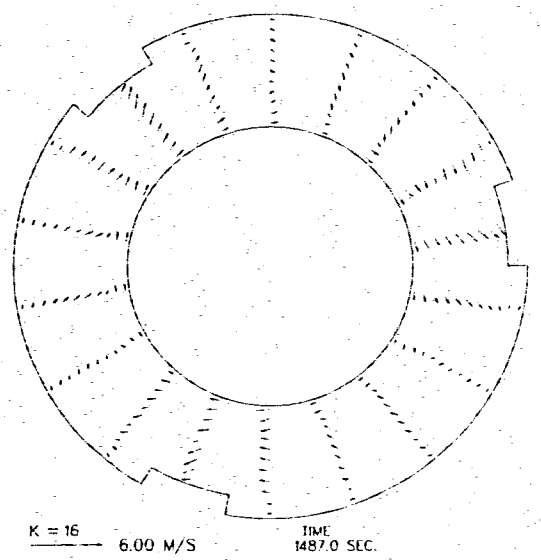
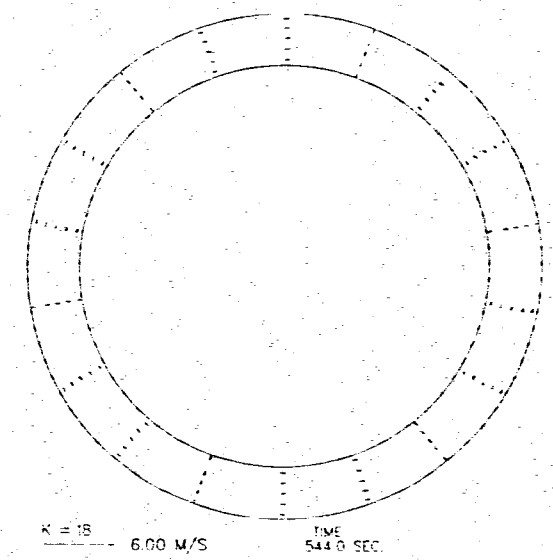
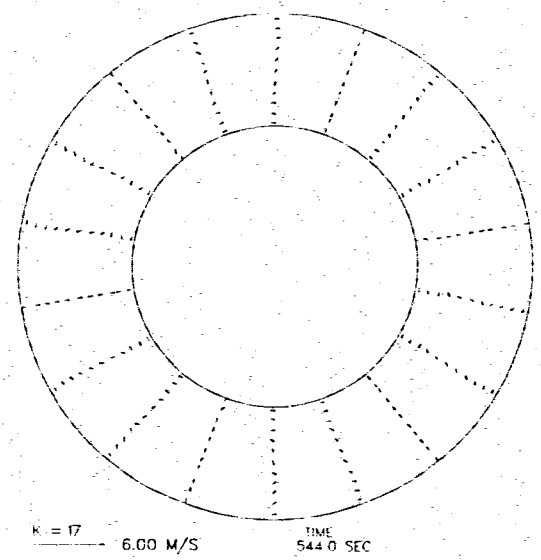
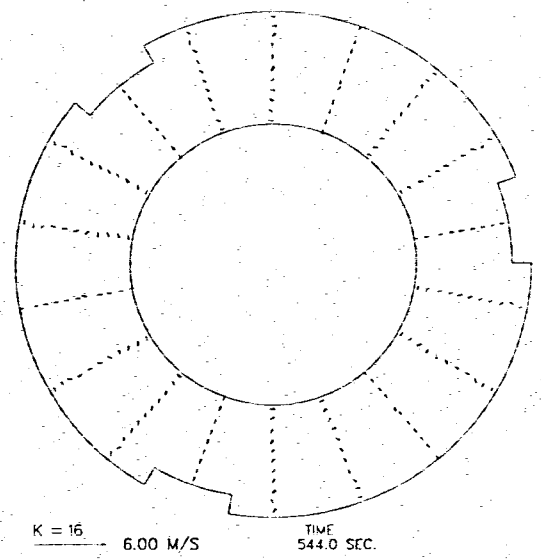


Fig. 3.3 (Continued)

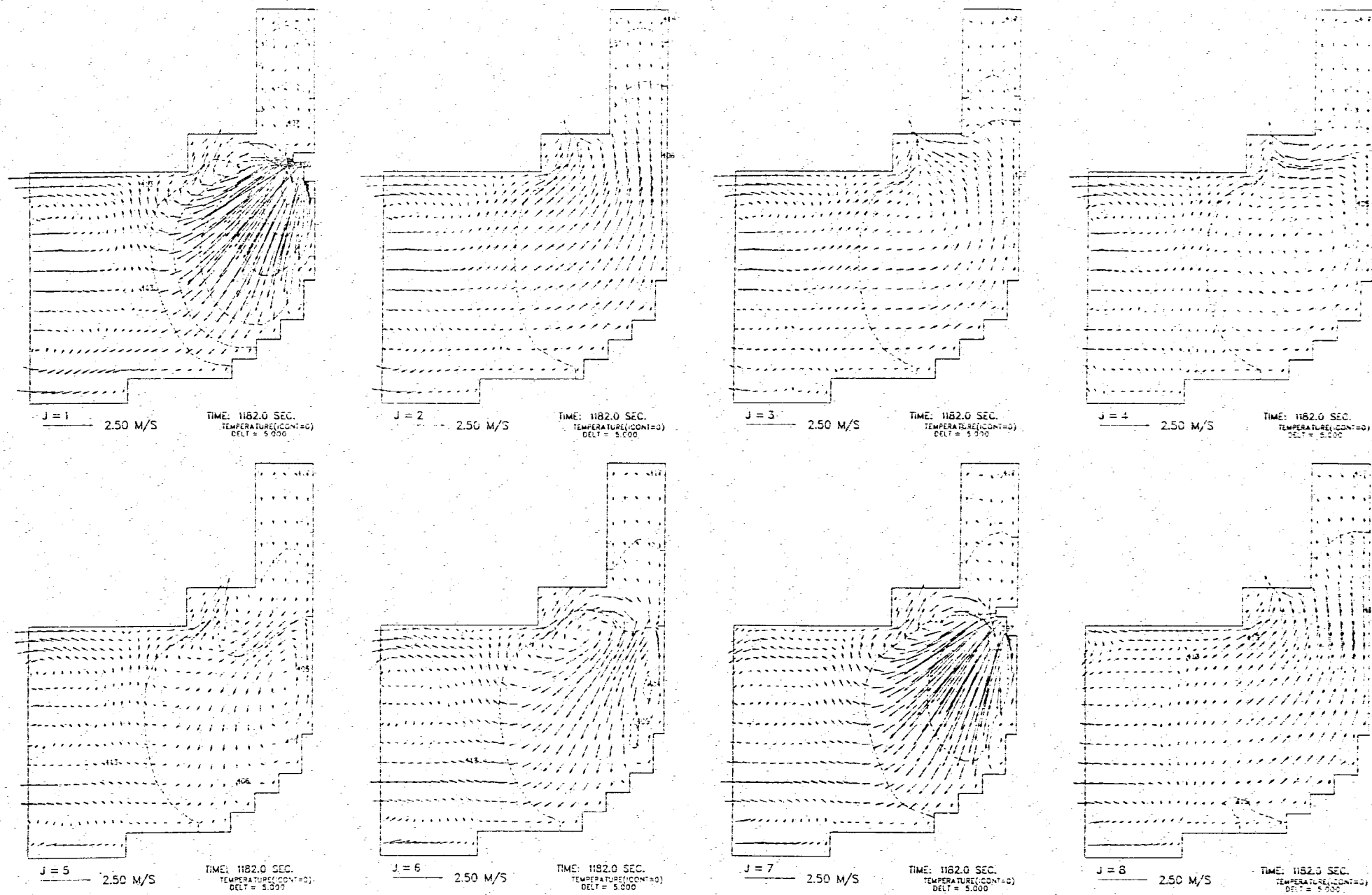


Fig. 3.4 Velocity Vector and Temperature Fields on the Case 2 Condition (with Swirling Flow Effect)

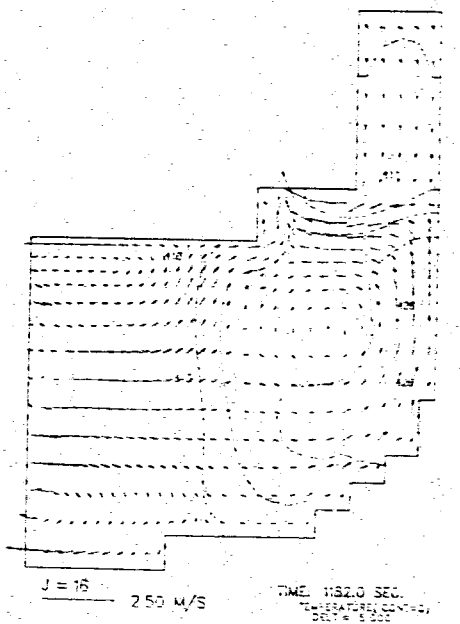
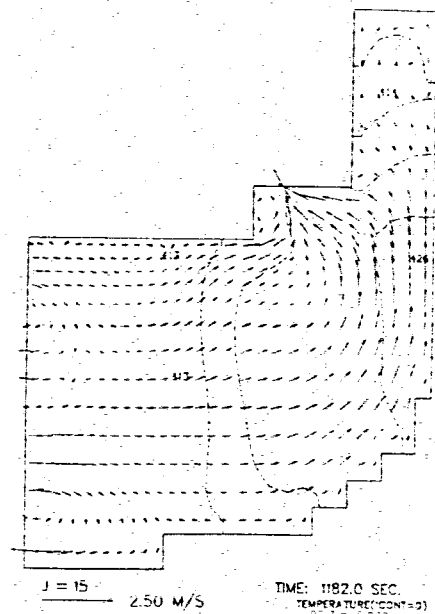
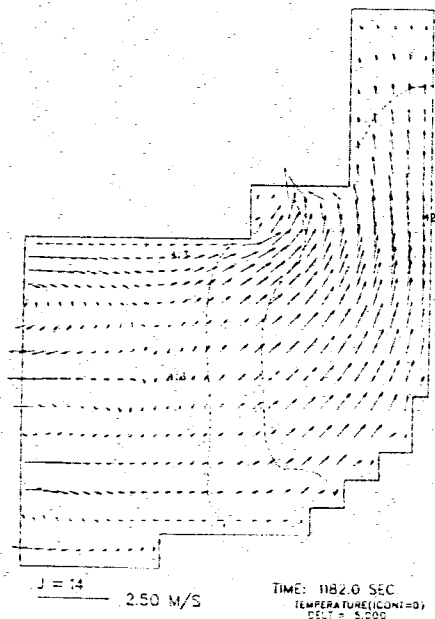
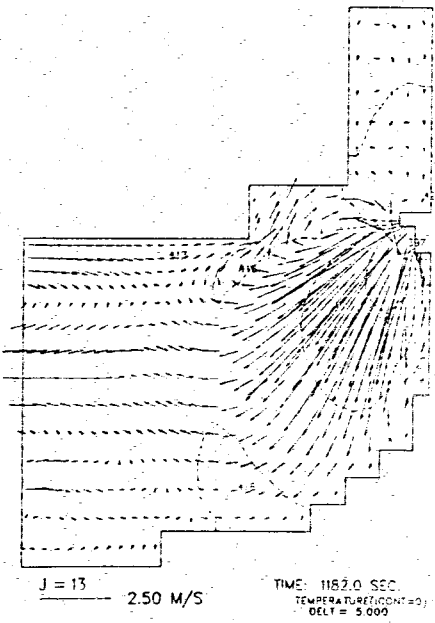
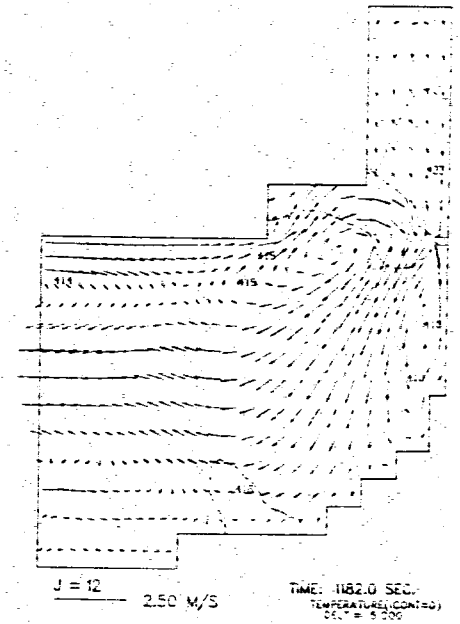
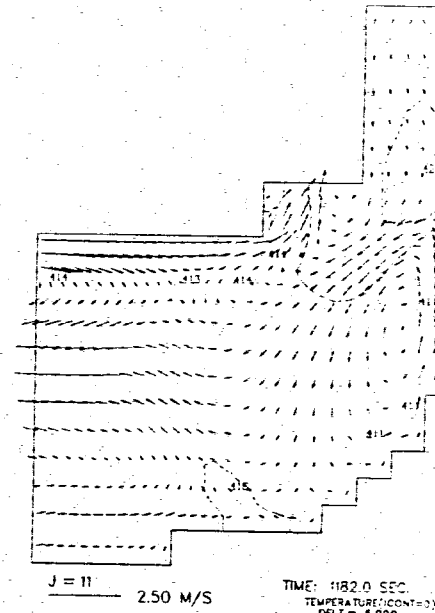
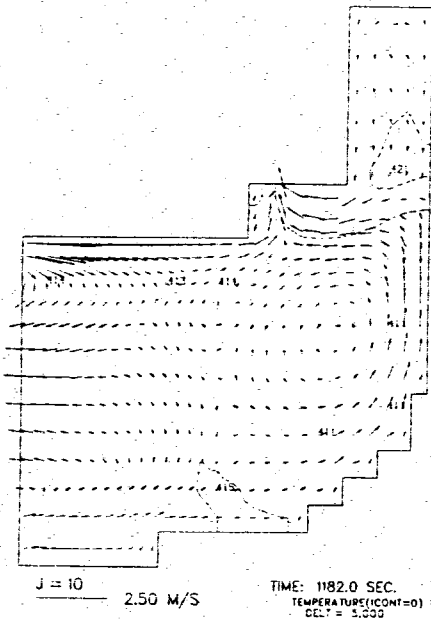
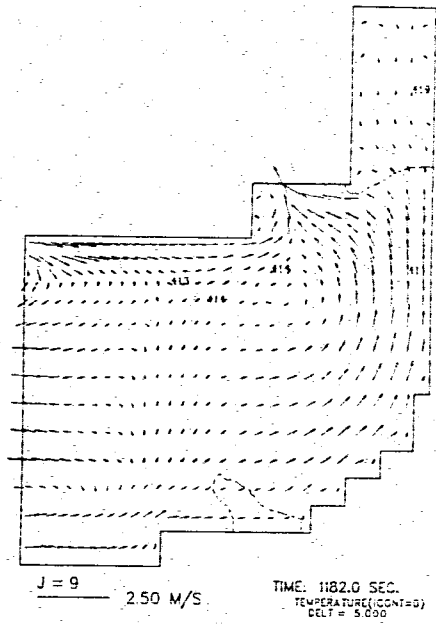


Fig. 3.4 (Continued)

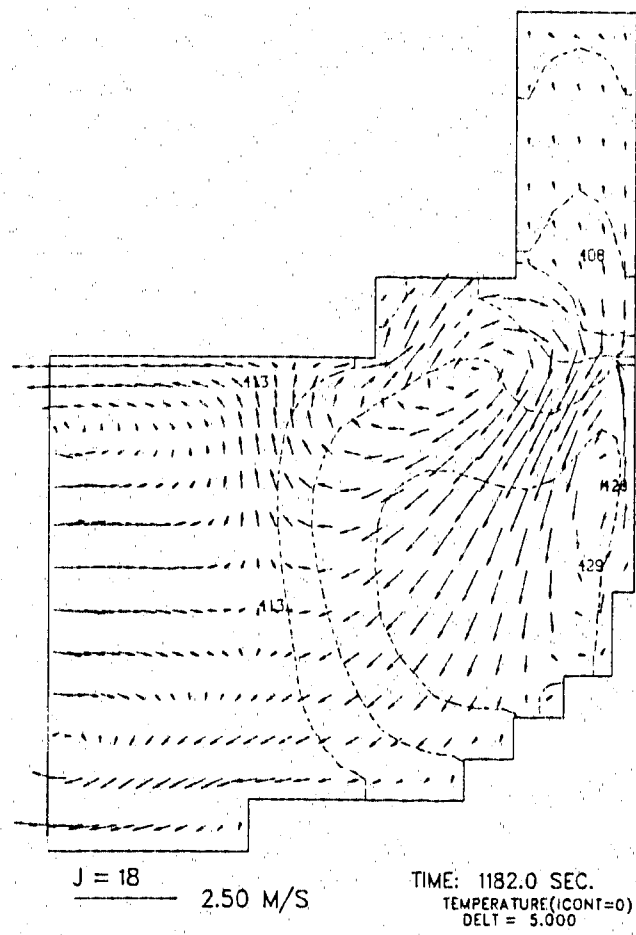
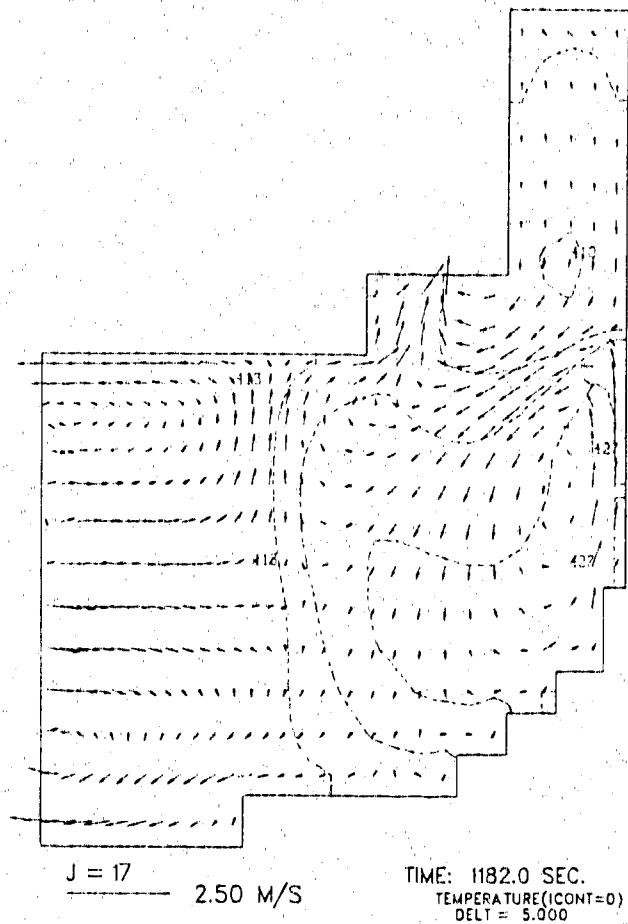


Fig. 3.4 (Continued)

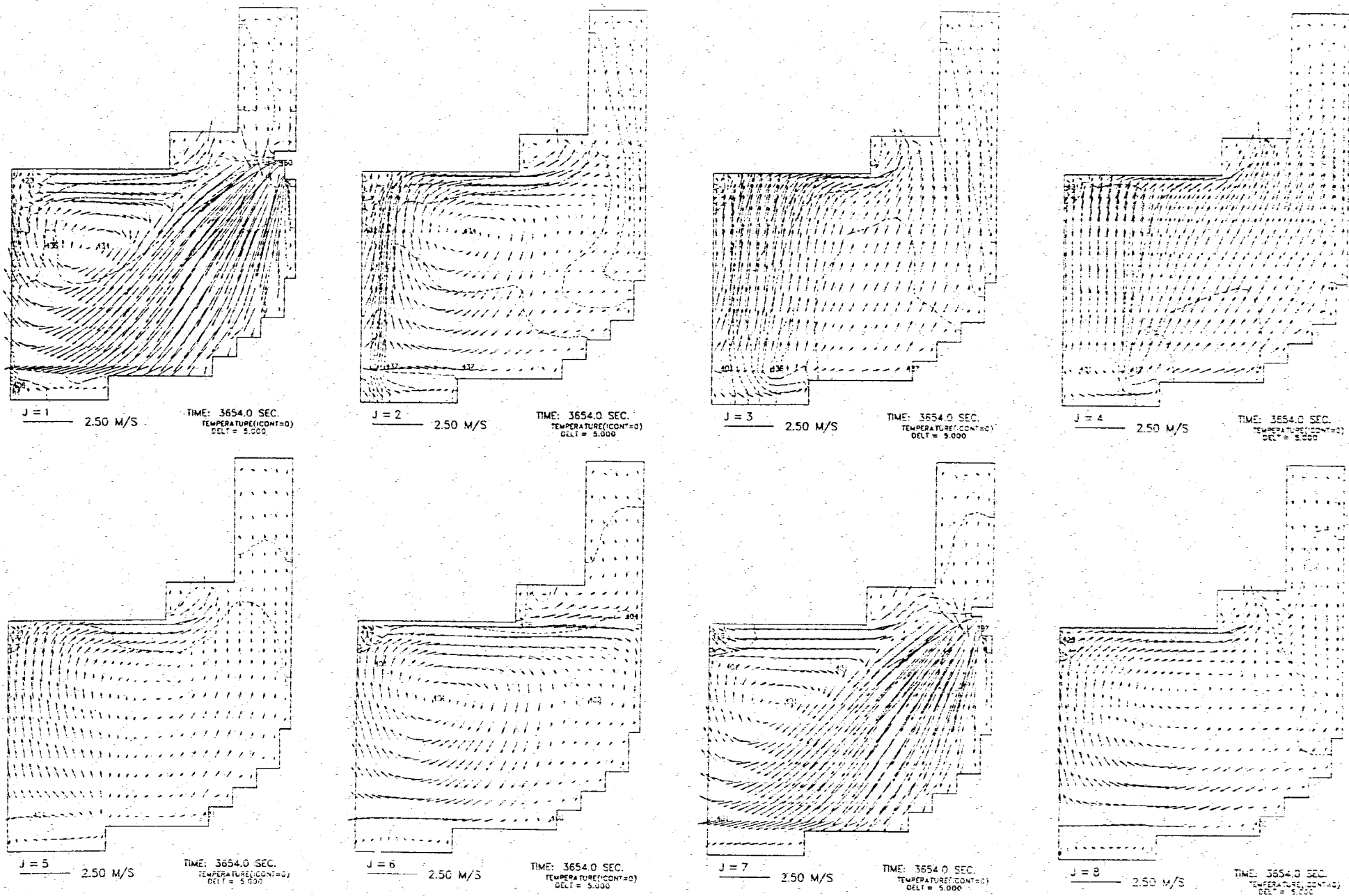


Fig. 3.5 Velocity Vector and Temperature Fields on the Case 2a Condition (without Swirling Flow Effect)

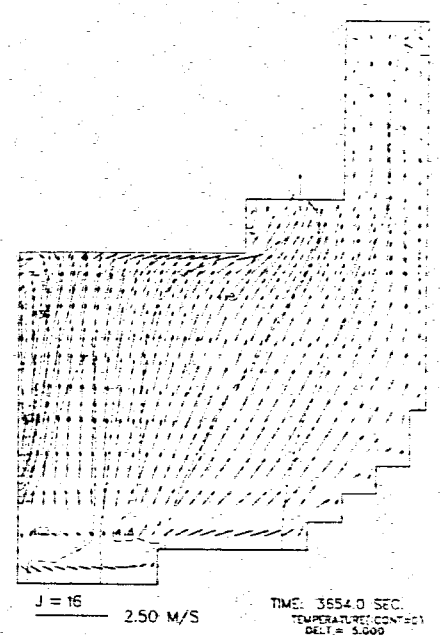
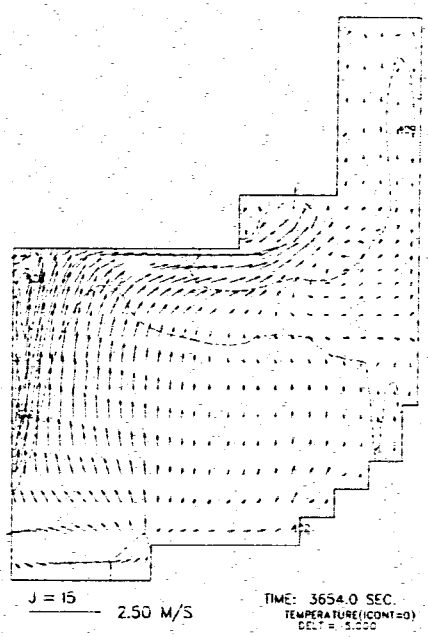
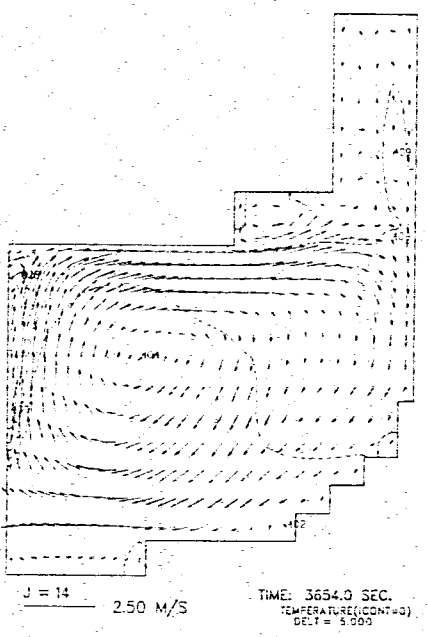
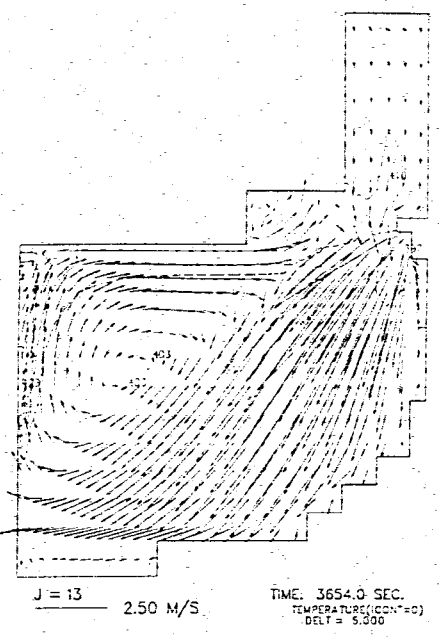
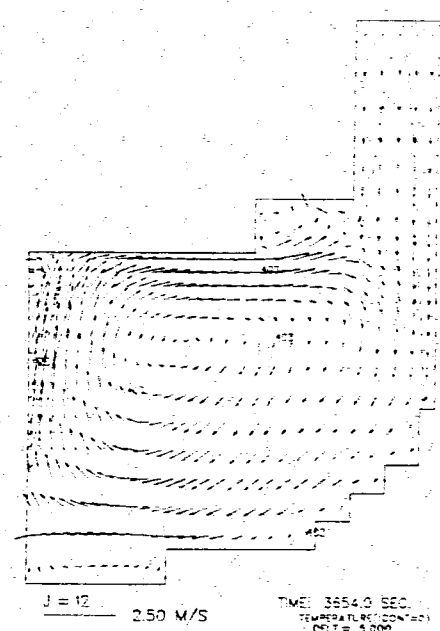
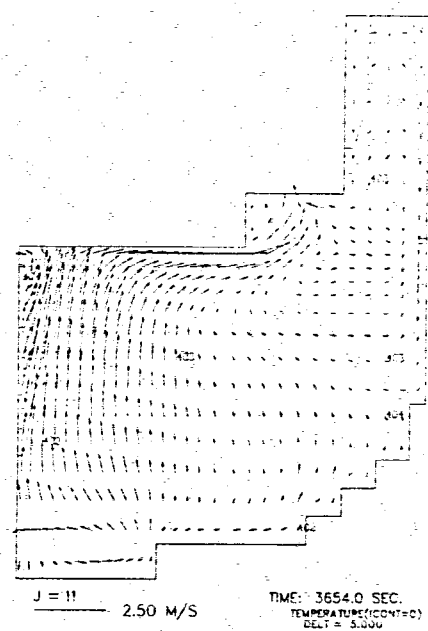
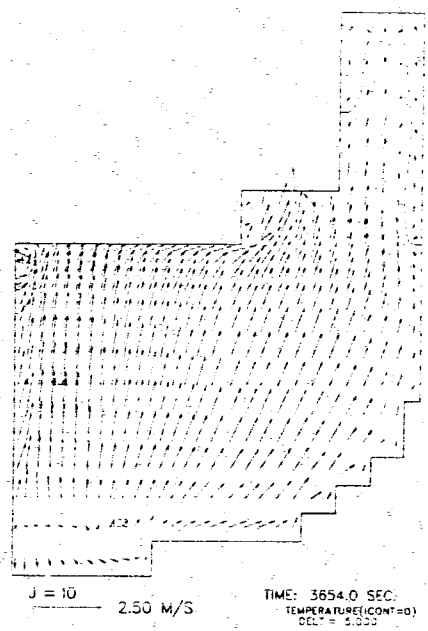
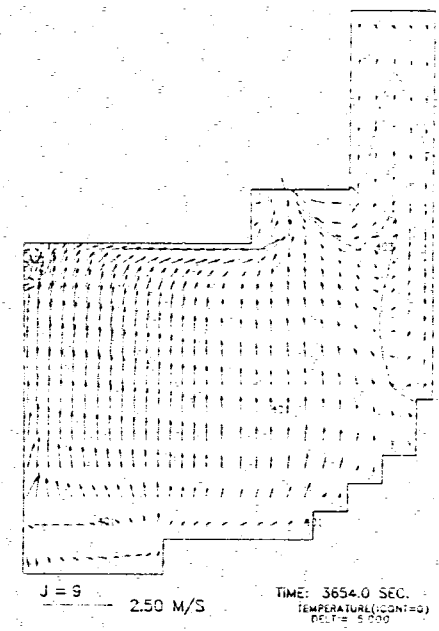
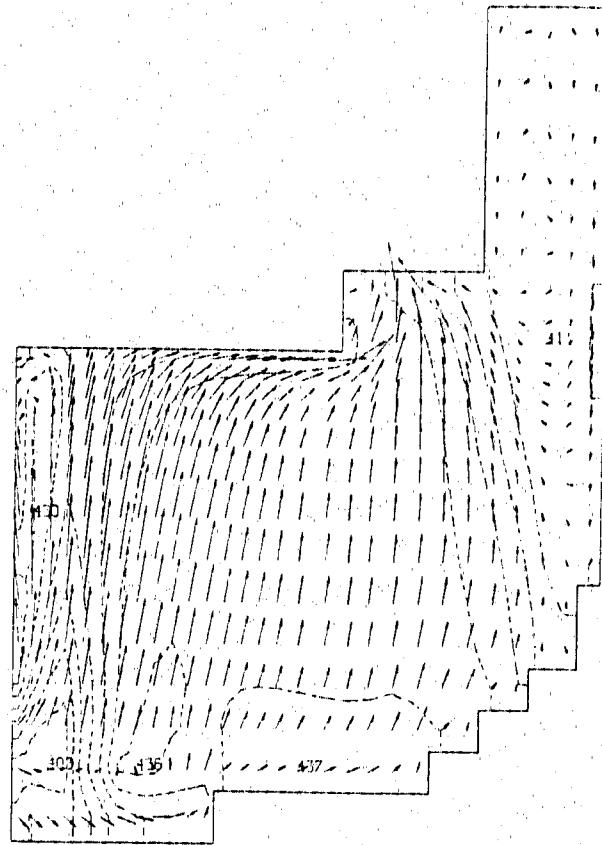
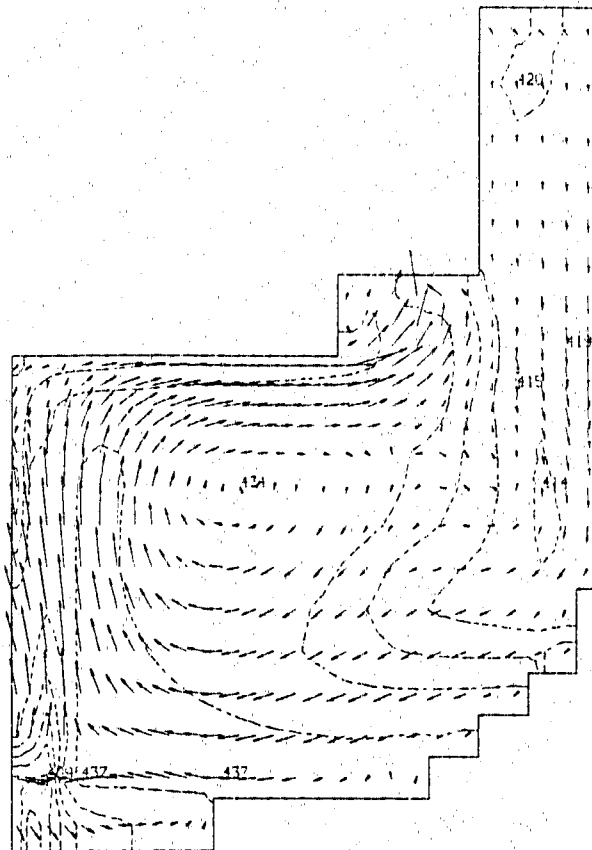


Fig. 3.5 (Continued)



J = 17
2.50 M/S

TIME: 3654.0 SEC.
TEMPERATURE(I CONT=0)
DELT = 5.000



J = 18
2.50 M/S

TIME: 3654.0 SEC.
TEMPERATURE(I CONT=0)
DELT = 5.000

Fig. 3.5 (Continued)

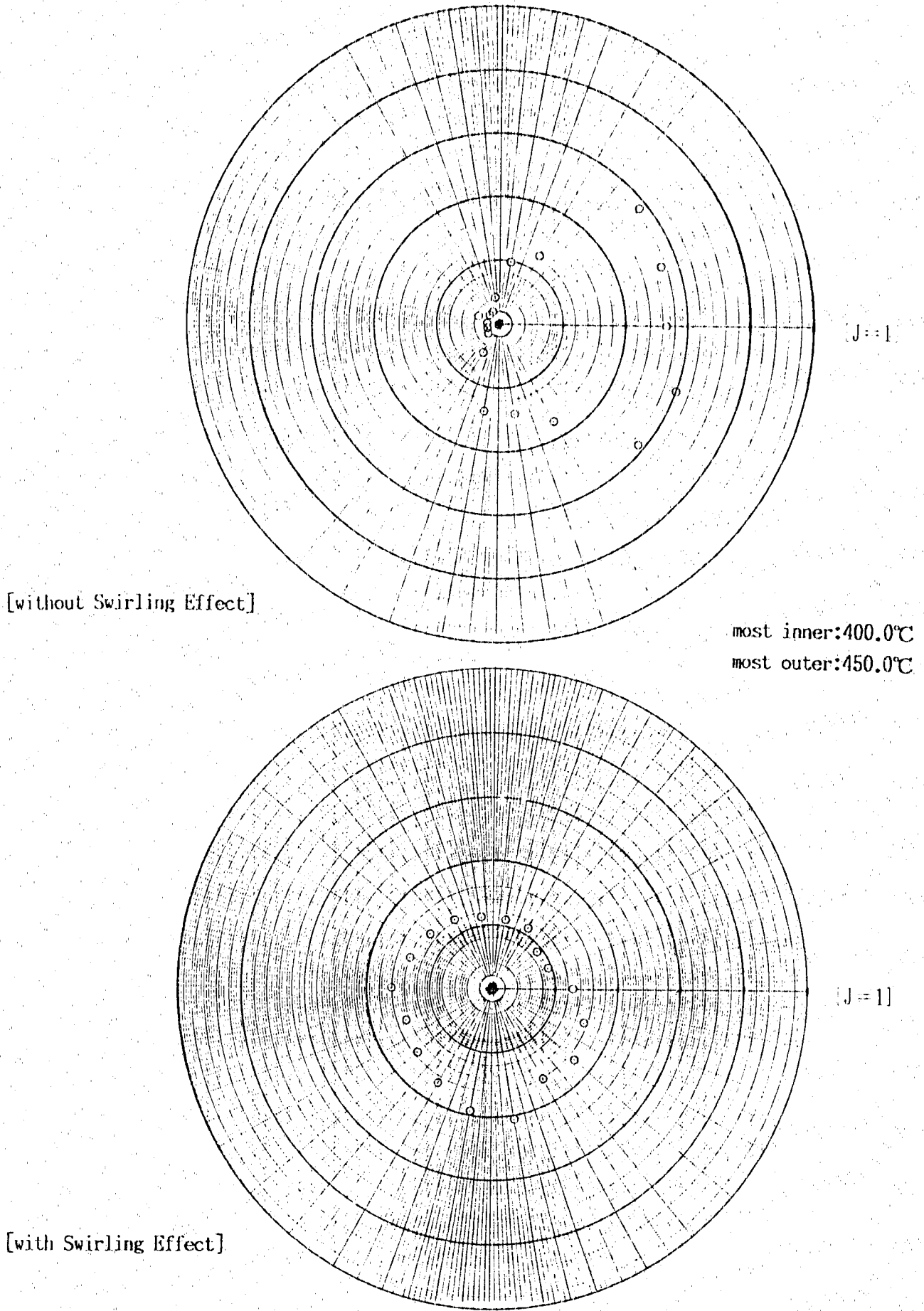
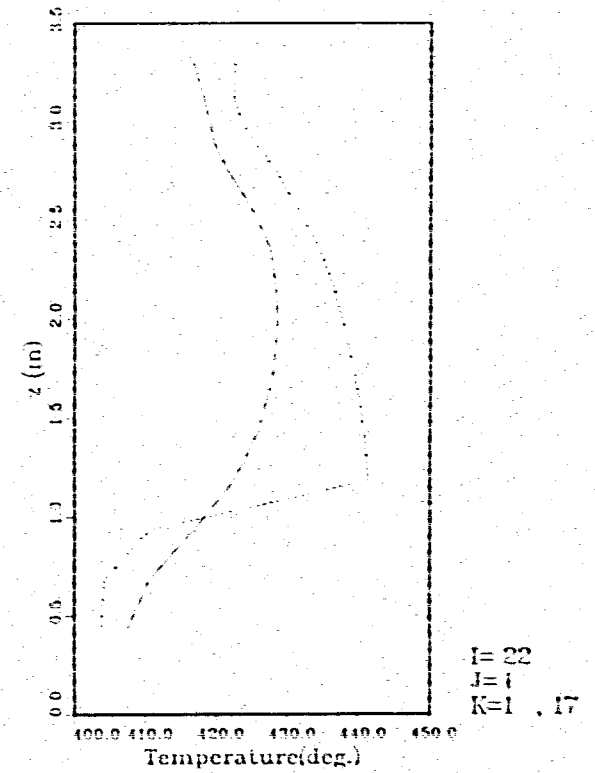
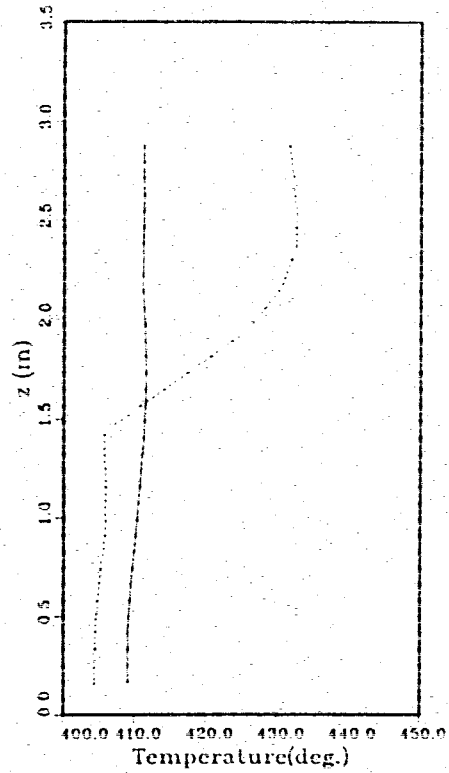
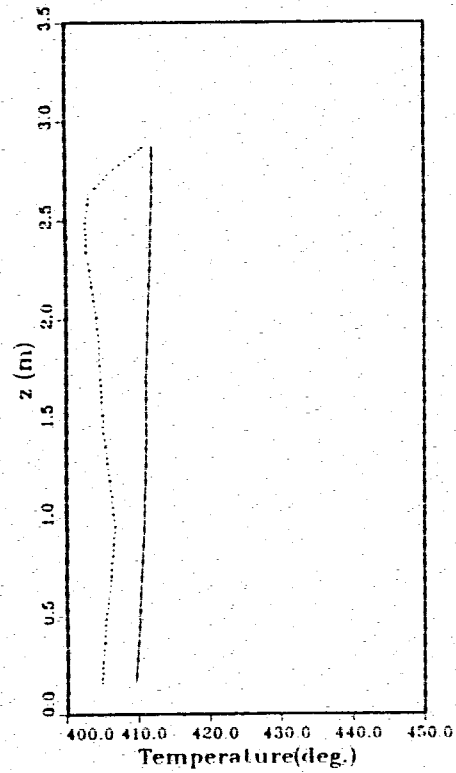


Fig. 3.6 Comparison of Temperature Distribution at the High Pressure Plenum Inlet between the Case 2 and the Case 2a Conditions



— : [with Swirling Effect]
- - : [without Swirling Effect]

Fig. 3.7 Comparison of Axial Temperature Distributions between the Case 2 and the Case 2a Conditions

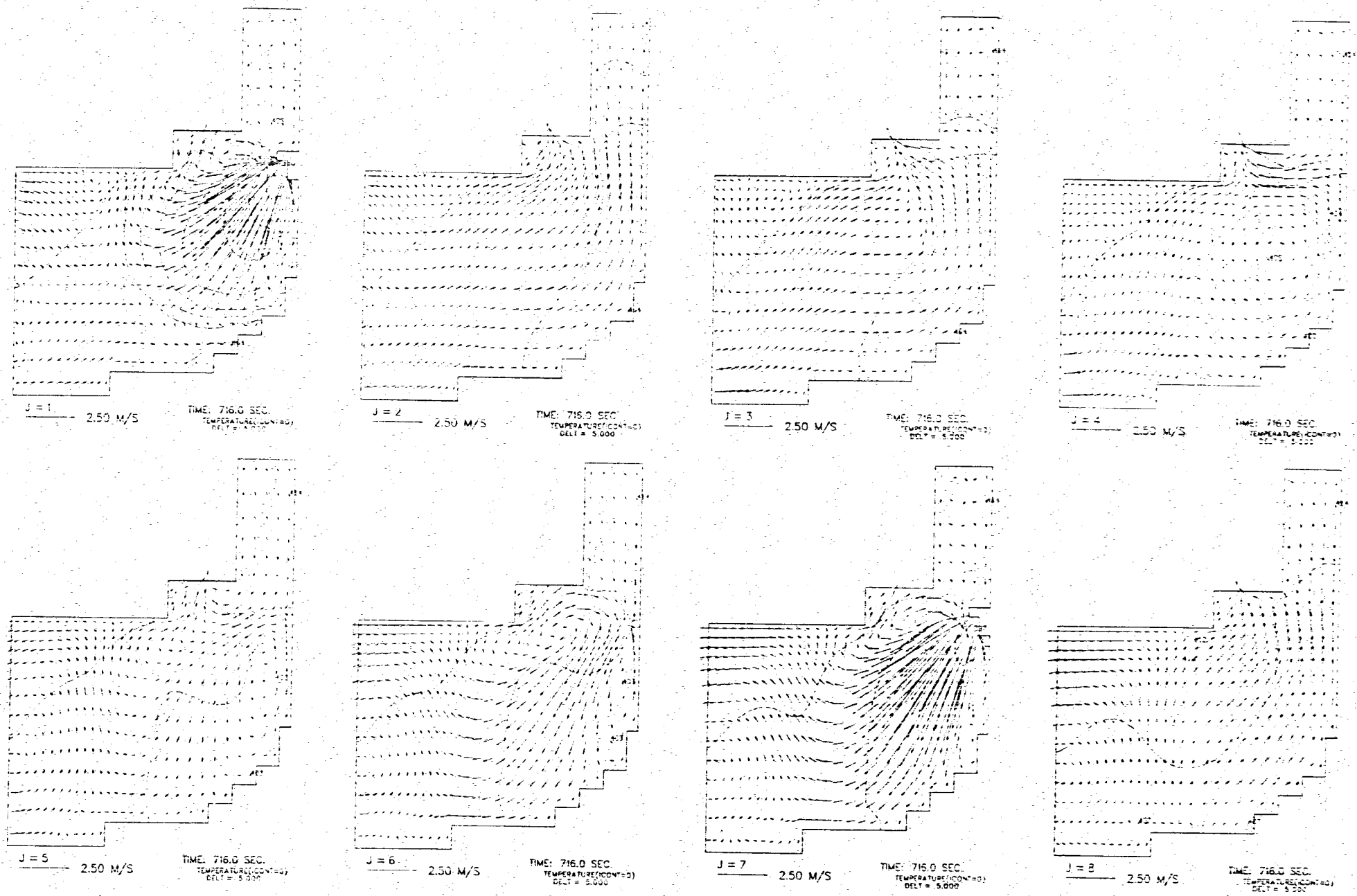


Fig. 3.8 Velocity Vector and Temperature Fields on the Case 3 Condition (with Swirling Flow Effect)

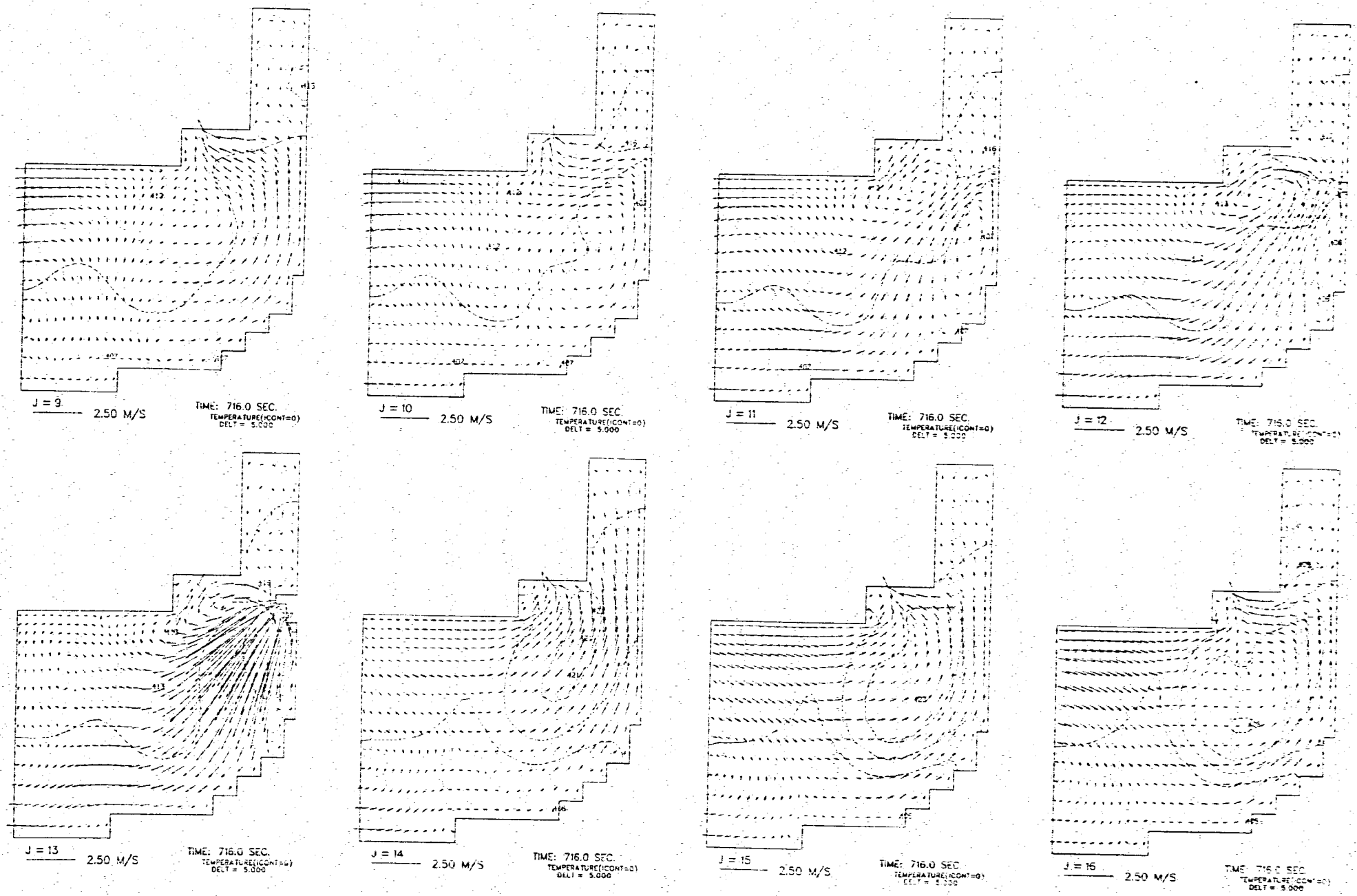


Fig. 3.8 (Continued)

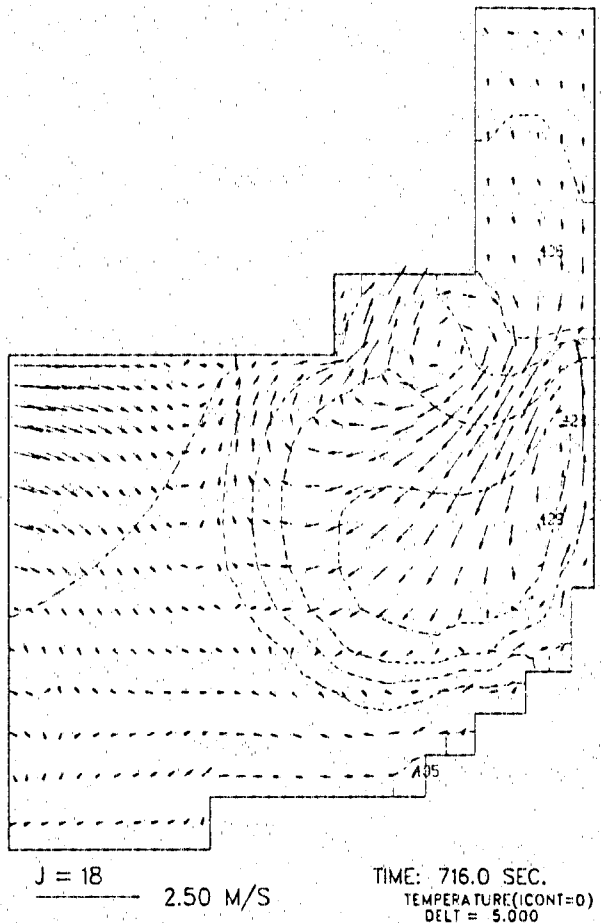
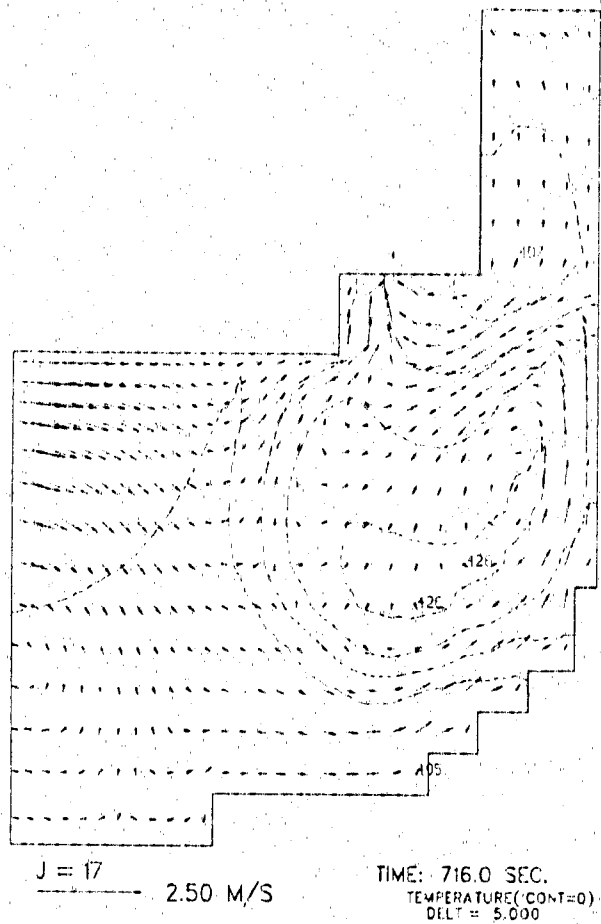


Fig. 3.8 (Continued)

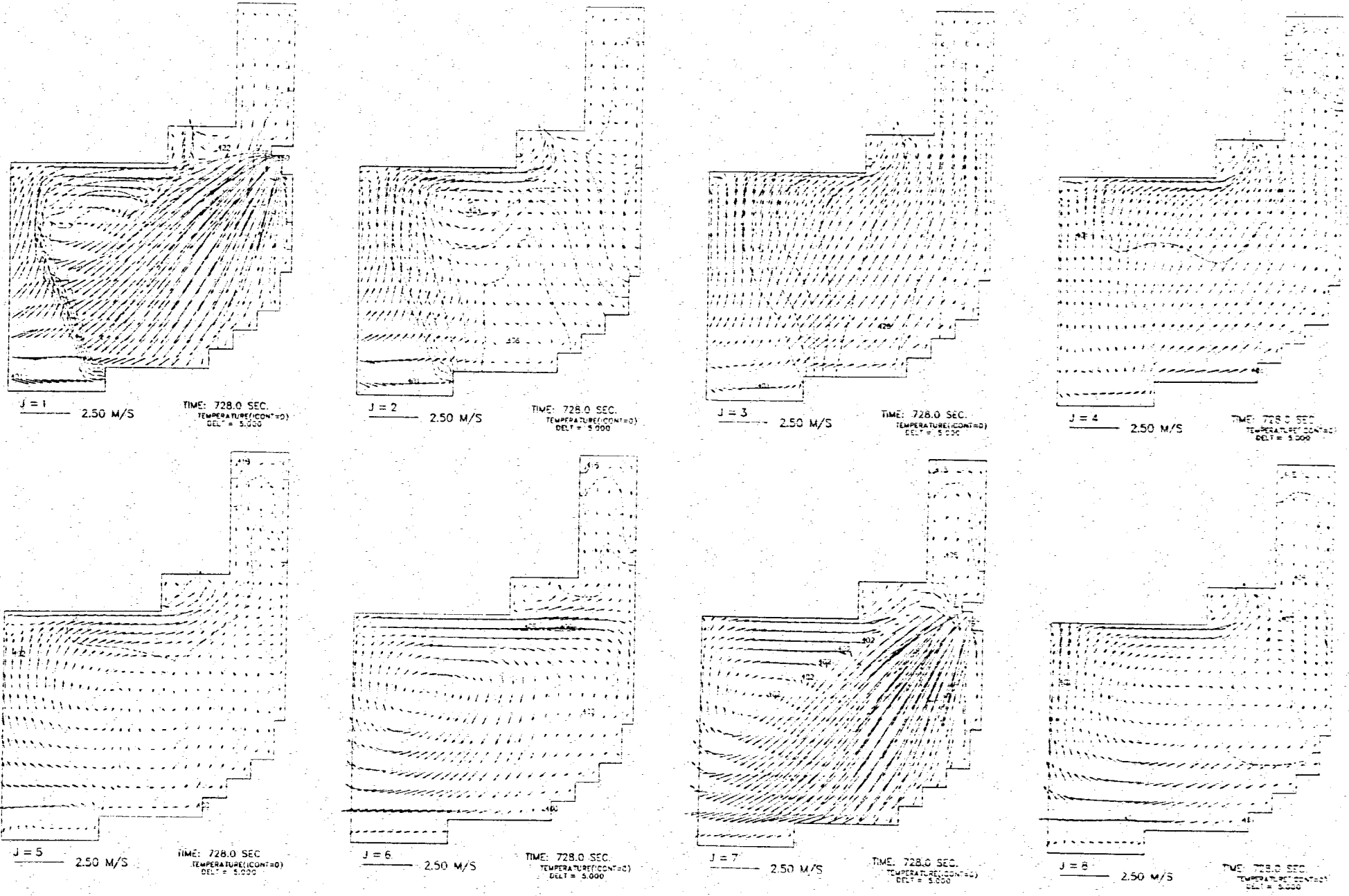
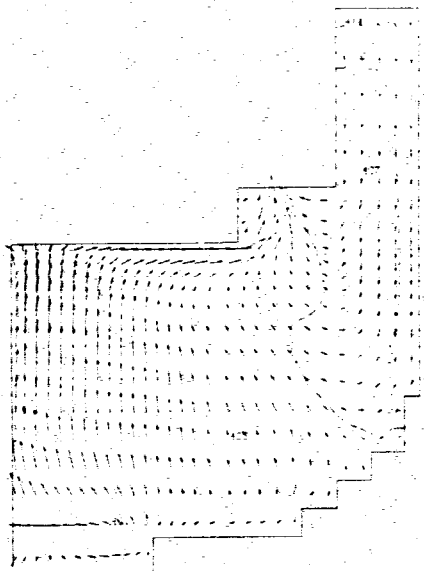
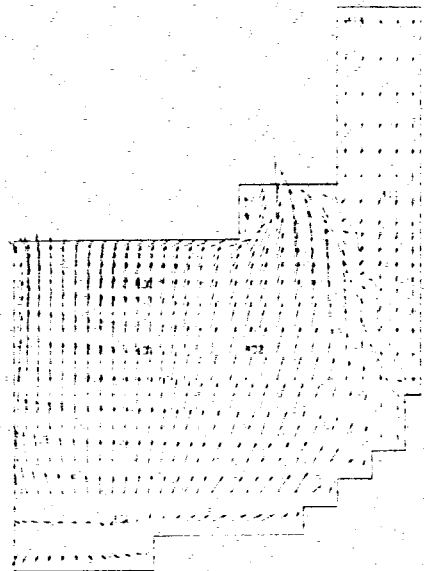


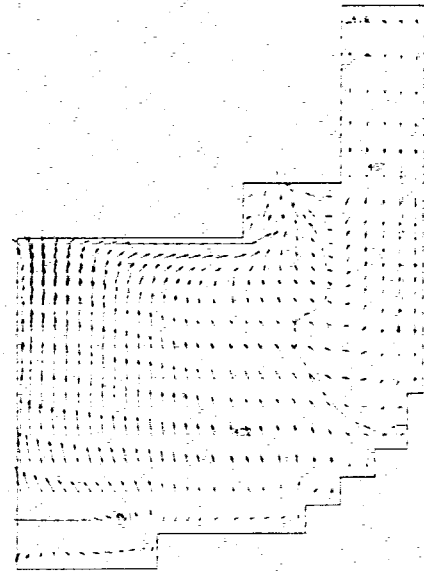
Fig. 3.9 Velocity Vector and Temperature Fields on the Case 3a Condition (without Swirling Flow Effect)



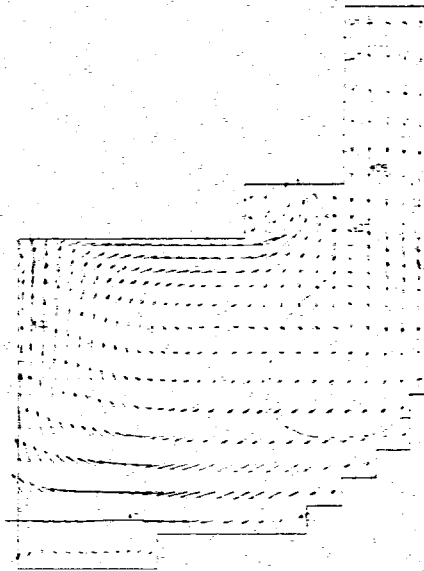
J = 9 2.50 M/S TIME: 728.0 SEC. TEMPERATURE (CONT=0) DELT = 5.000



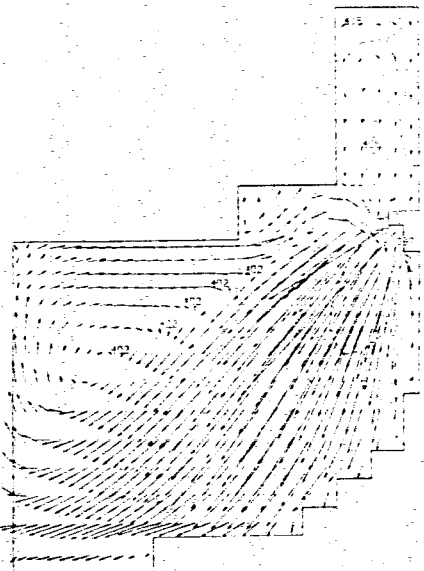
J = 10 2.50 M/S TIME: 728.0 SEC. TEMPERATURE (CONT=0) DELT = 5.000



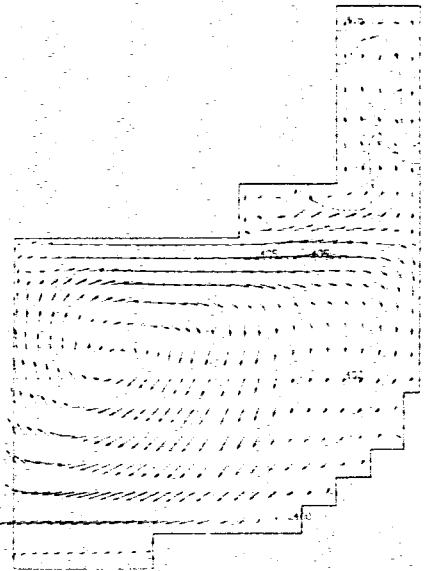
J = 11 2.50 M/S TIME: 728.0 SEC. TEMPERATURE (CONT=0) DELT = 5.000



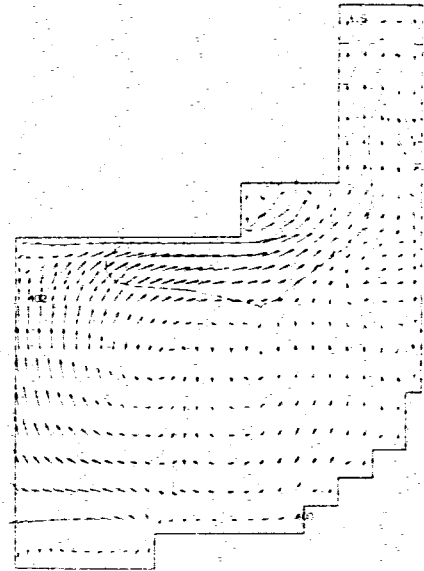
J = 12 2.50 M/S TIME: 728.0 SEC. TEMPERATURE (CONT=0) DELT = 5.000



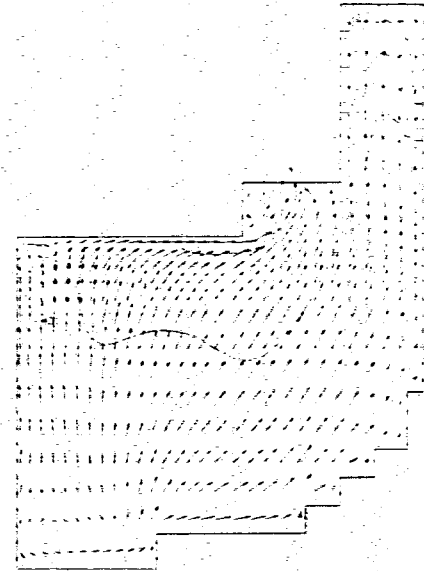
J = 13 2.50 M/S TIME: 728.0 SEC. TEMPERATURE (CONT=0) DELT = 5.000



J = 14 2.50 M/S TIME: 728.0 SEC. TEMPERATURE (CONT=0) DELT = 5.000

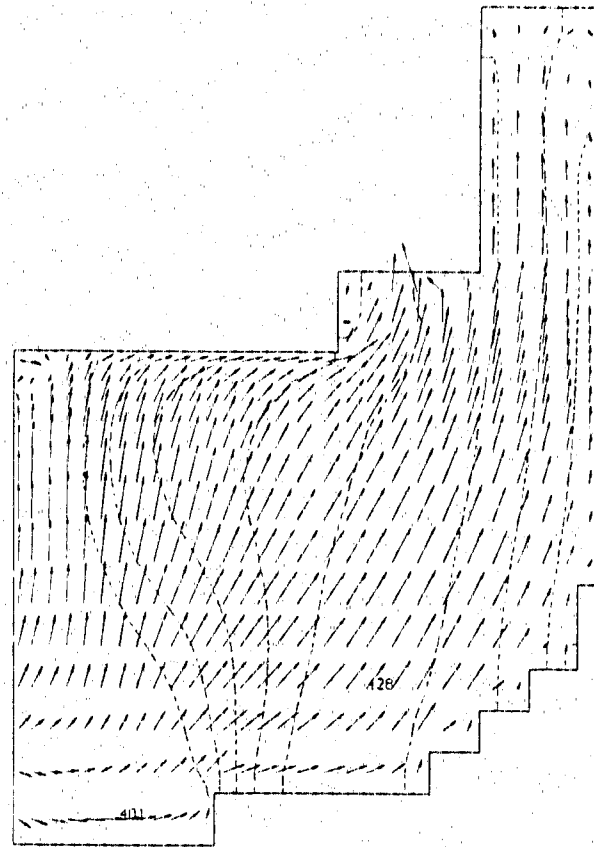


J = 15 2.50 M/S TIME: 728.0 SEC. TEMPERATURE (CONT=0) DELT = 5.000



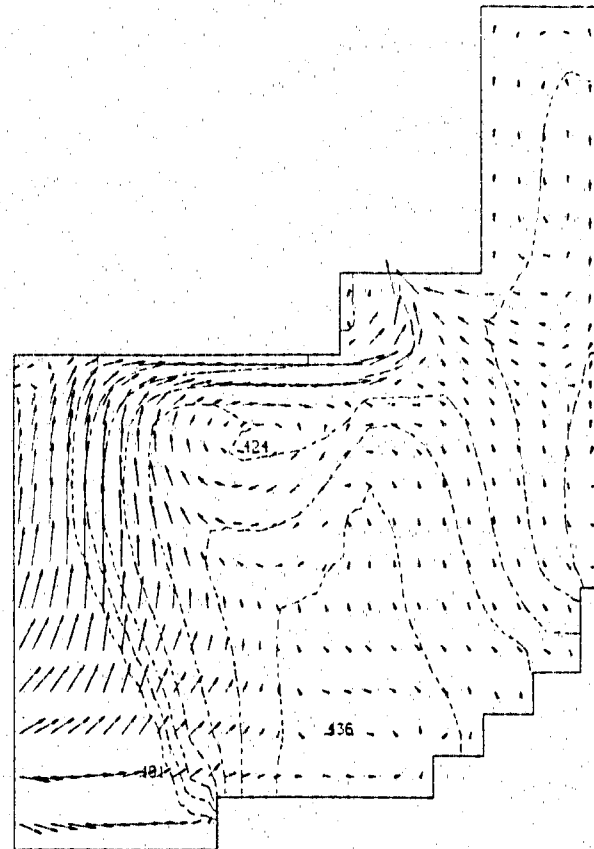
J = 16 2.50 M/S TIME: 728.0 SEC. TEMPERATURE (CONT=0) DELT = 5.000

Fig. 3.9 (Continued)



J = 17
2.50 M/S

TIME: 728.0 SEC.
TEMPERATURE(ICONT=0)
DELT = 5.000



J = 18
2.50 M/S

TIME: 728.0 SEC.
TEMPERATURE(ICONT=0)
DELT = 5.000

Fig. 3.9 (Continued)

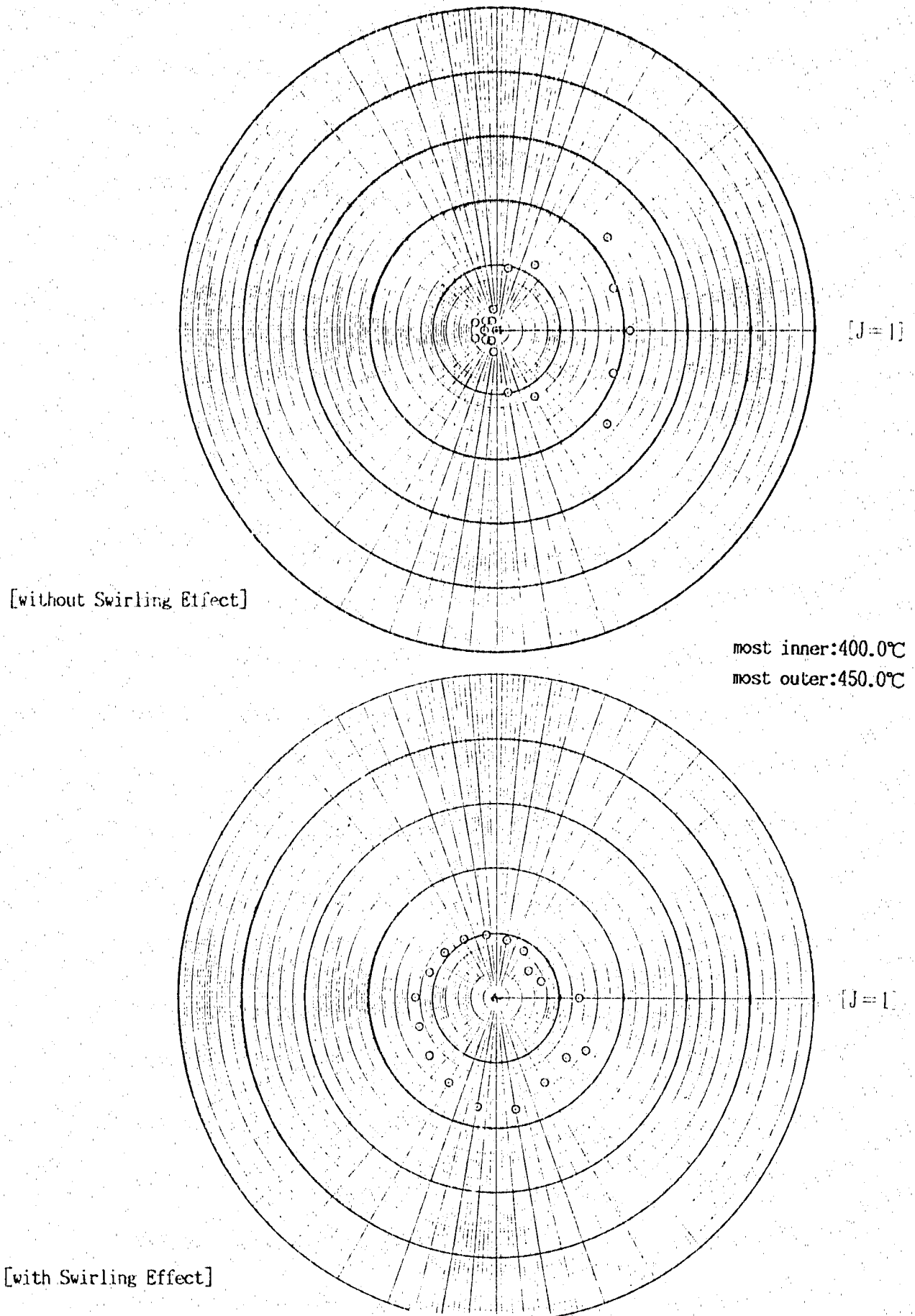


Fig. 3.10 Comparison of Temperature Distribution at the High Pressure Plenum Inlet between the Case 3 and the Case 3a Conditions

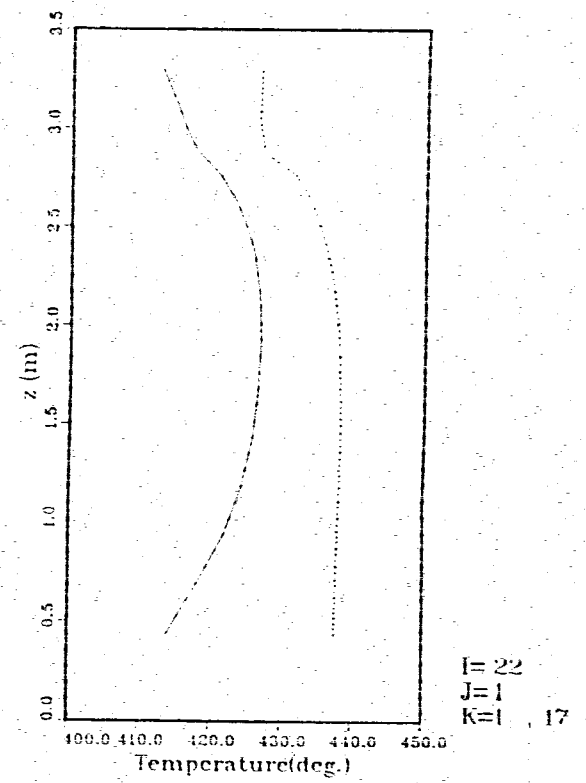
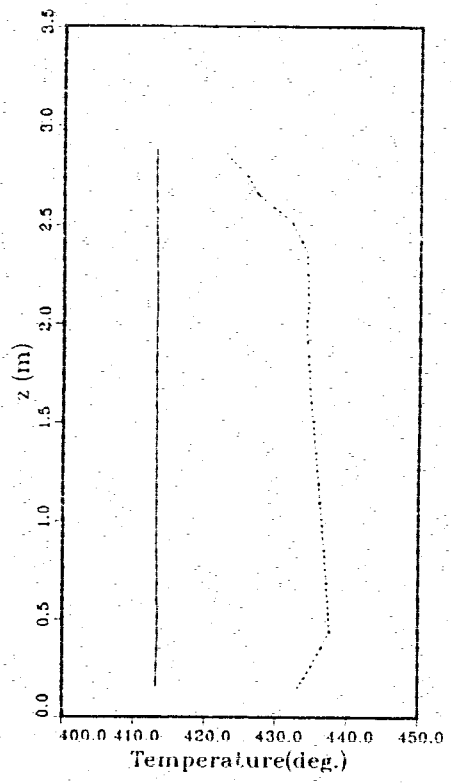
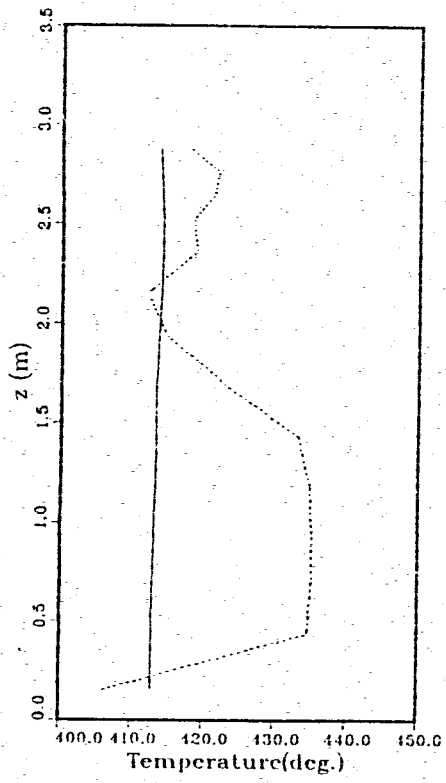


Fig. 3.11 Comparison of Axial Temperature Distributions between the Case 3 and the Case 3a Conditions

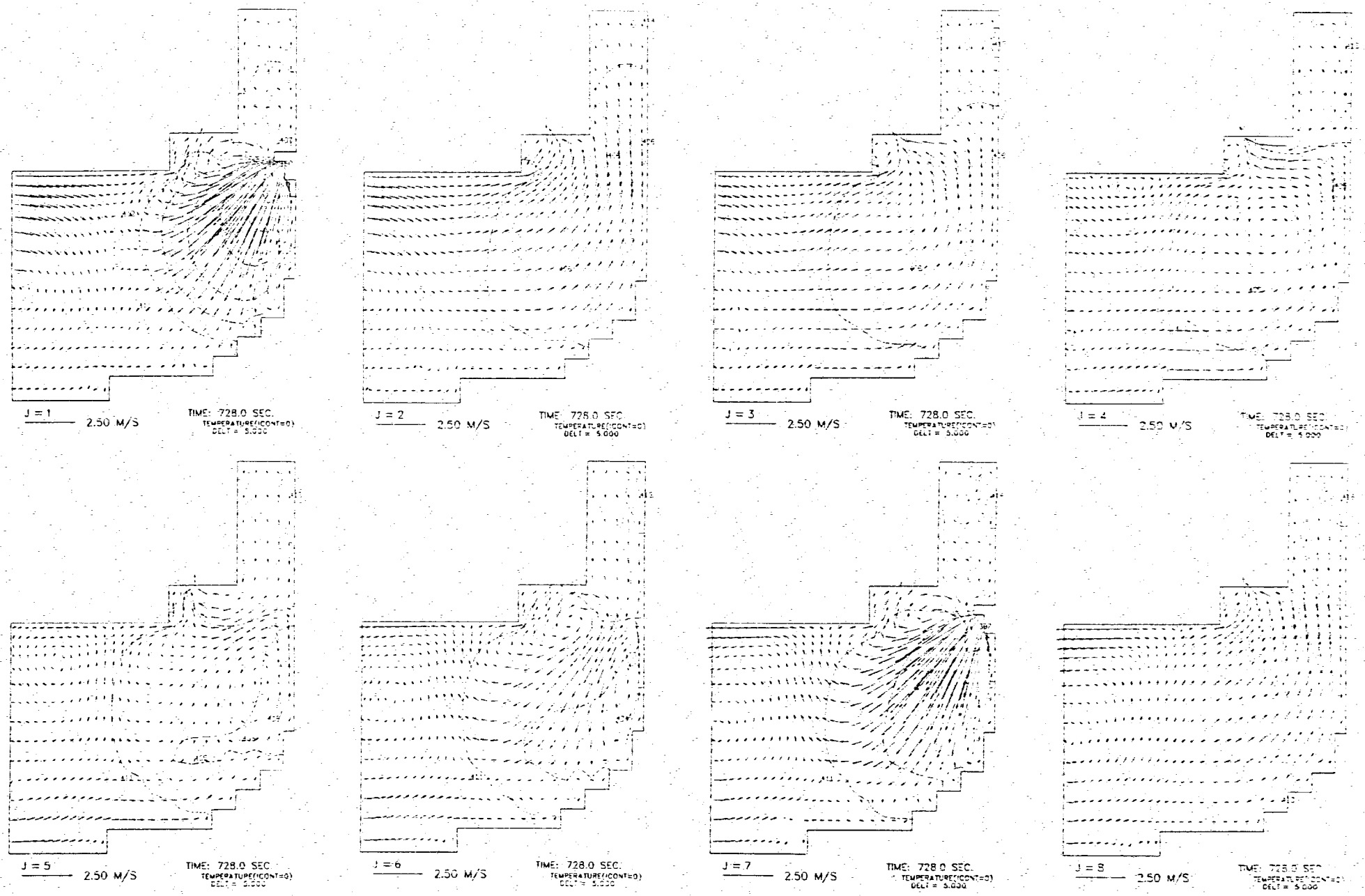


Fig. 3.12 Velocity Vector and Temperature Fields on the Case 4 Condition (with Swirling Flow Effect)

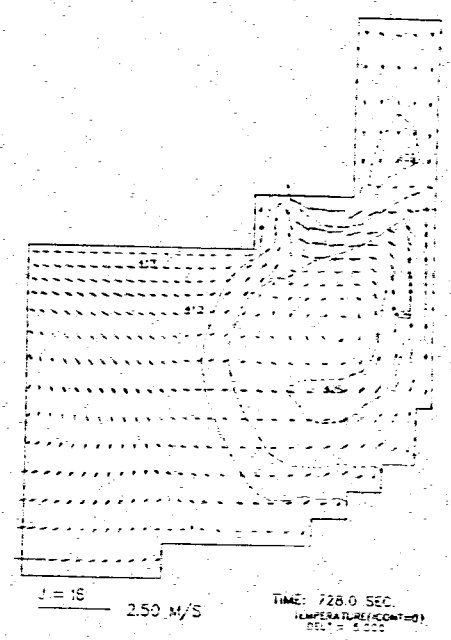
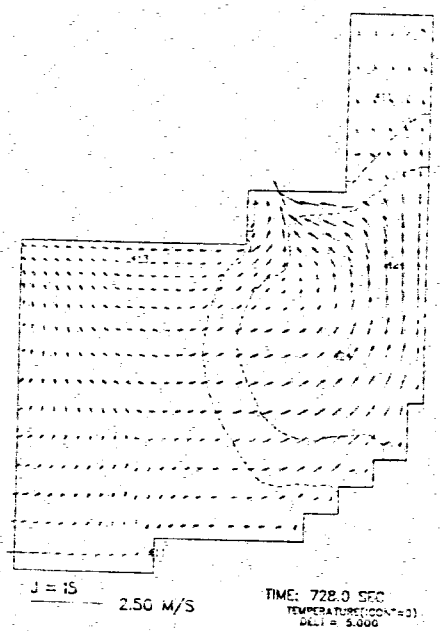
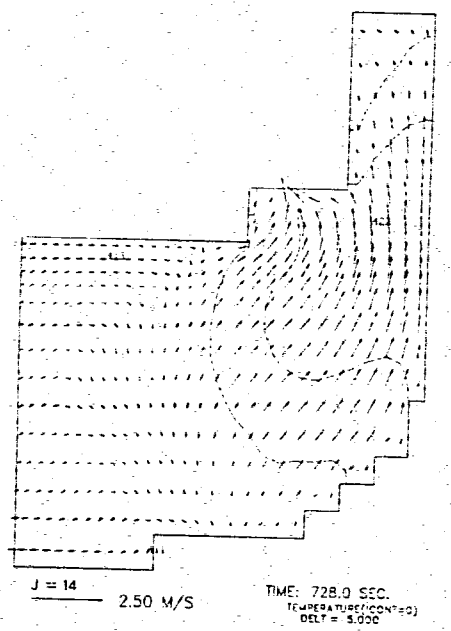
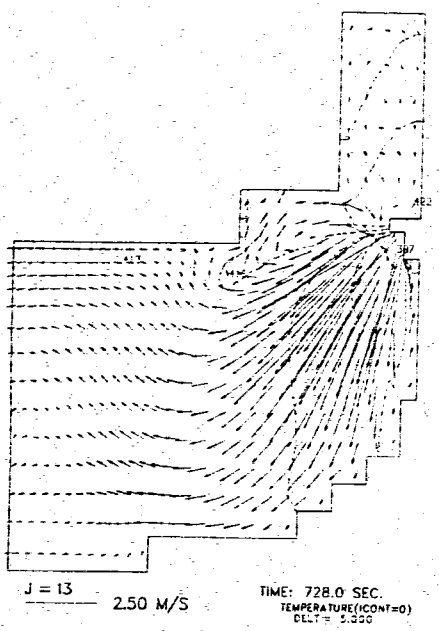
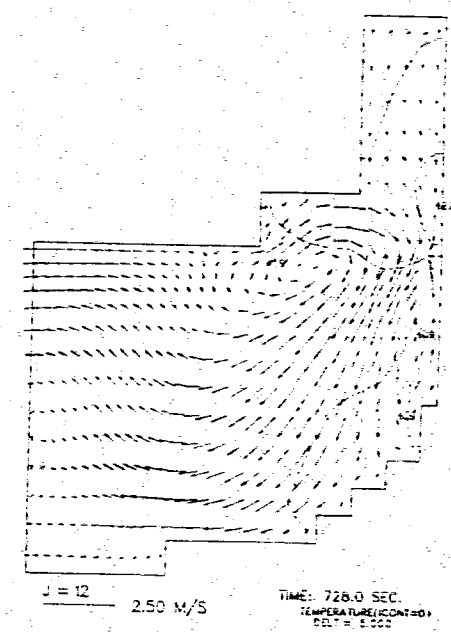
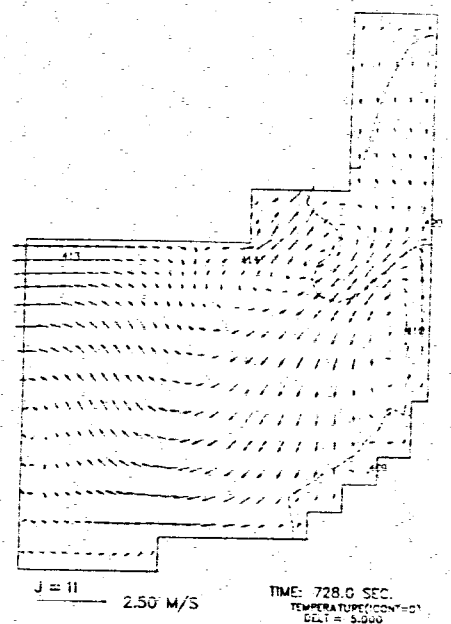
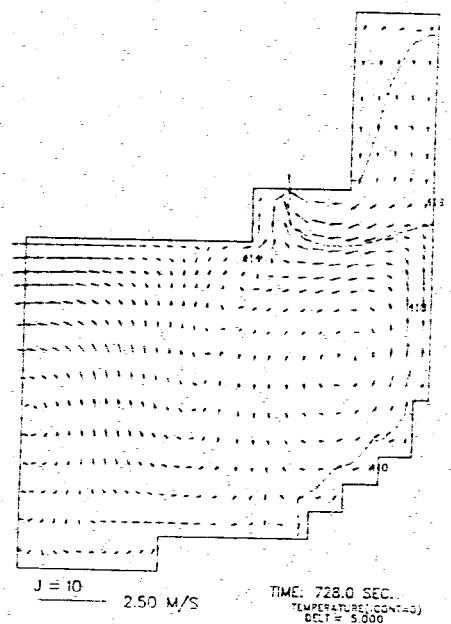
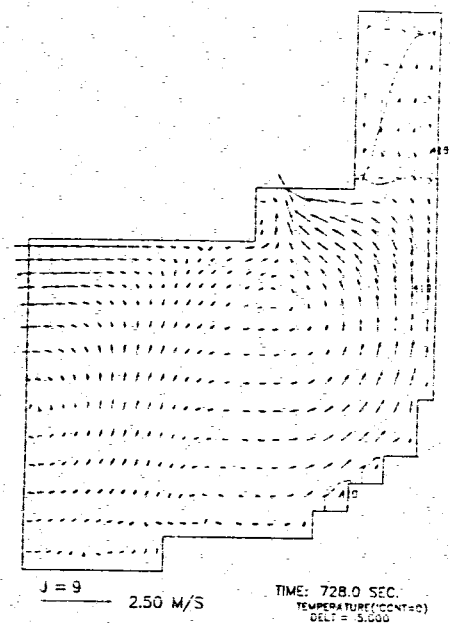


Fig. 3.12 (Continued)

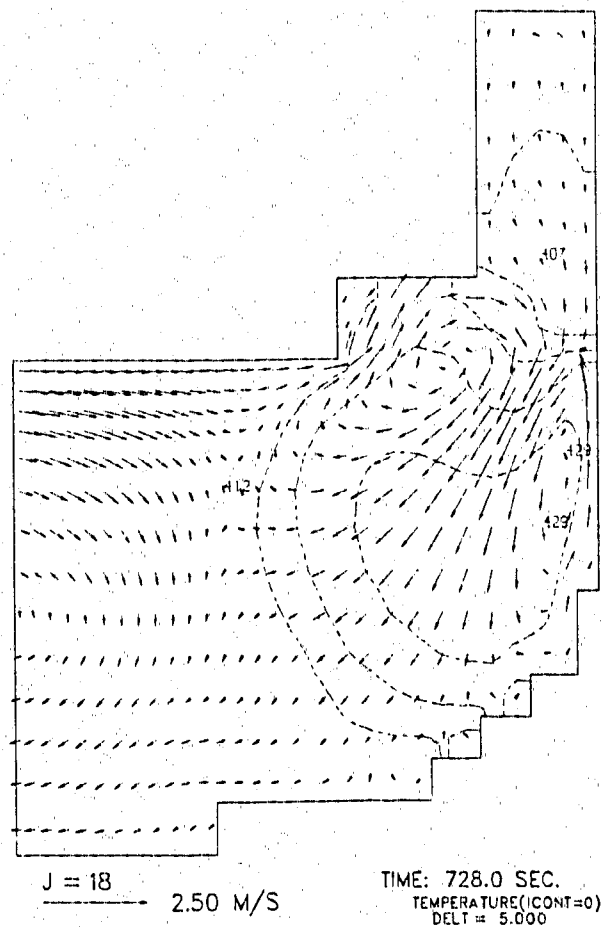
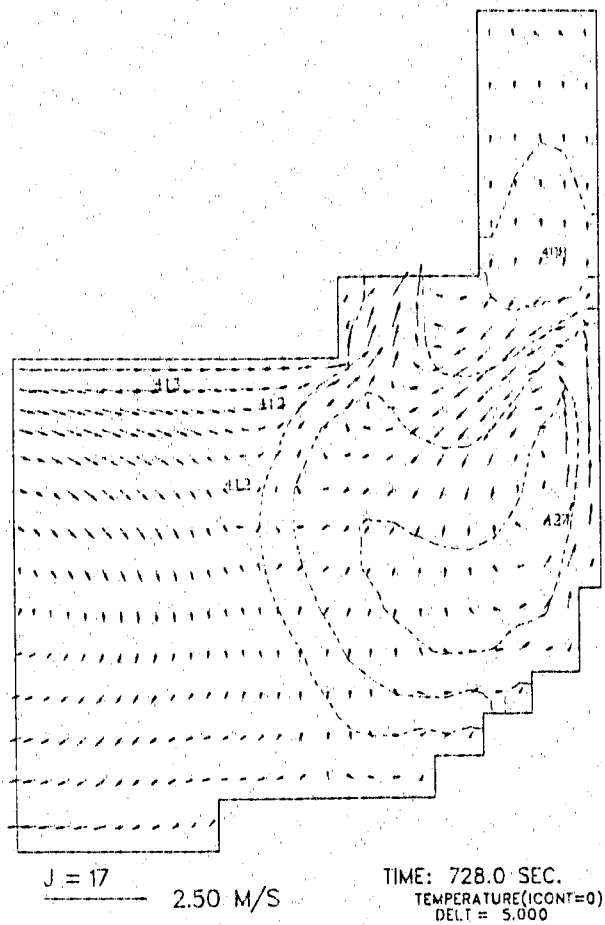


Fig. 3.12 (Continued)

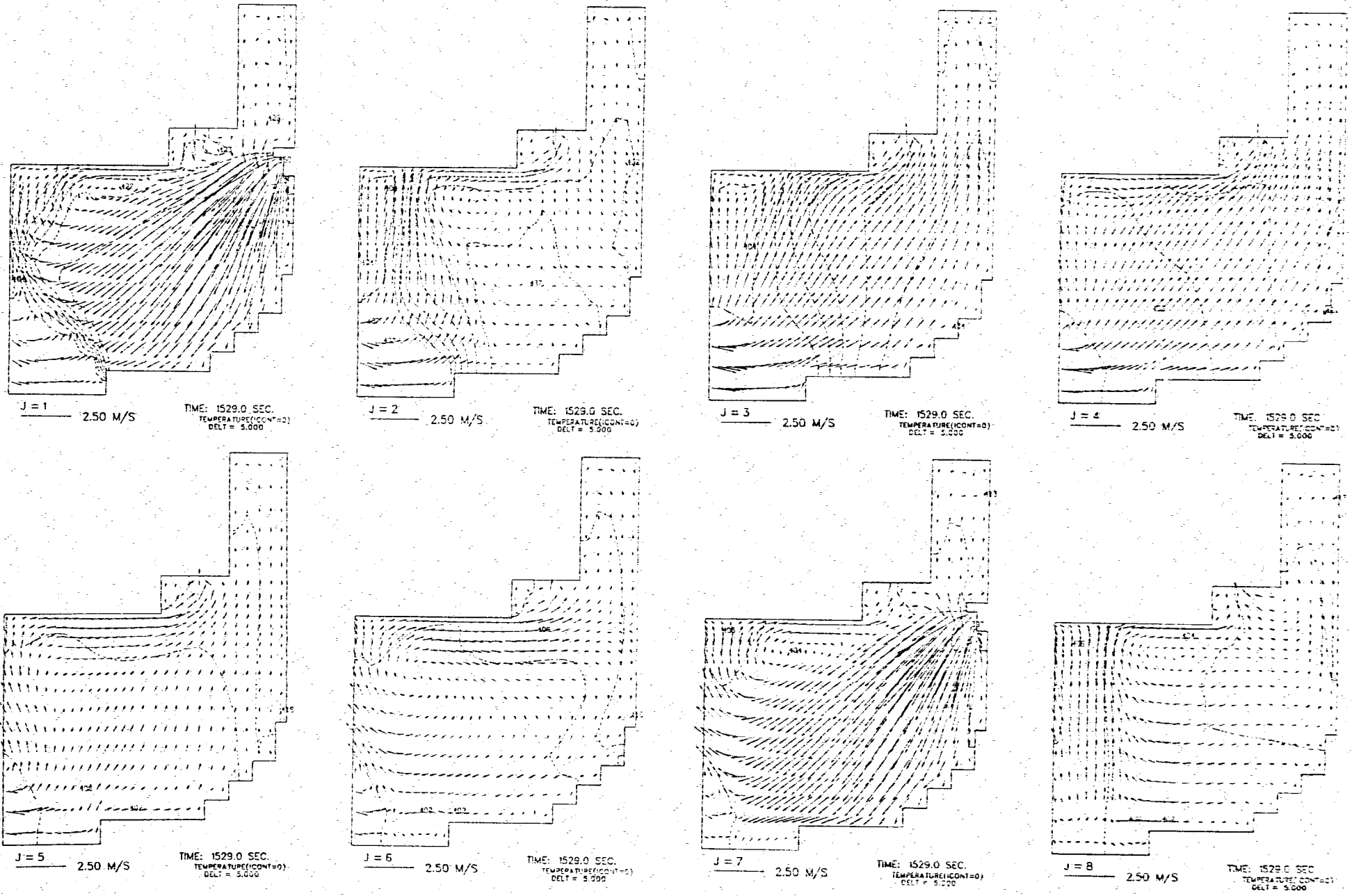


Fig. 3.13 Velocity Vector and Temperature Fields on the Case 4a Condition (without Swirling Flow Effect)

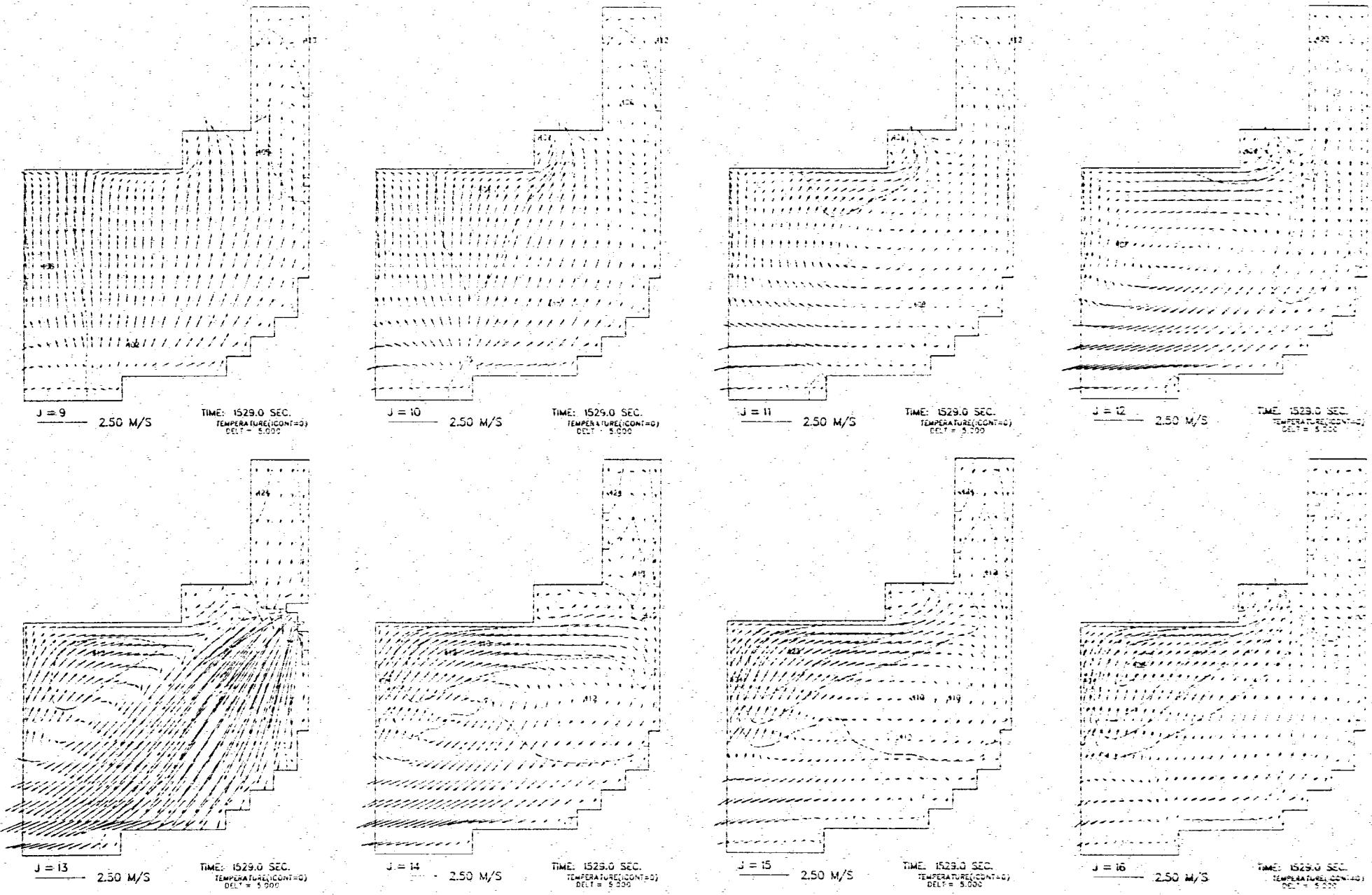
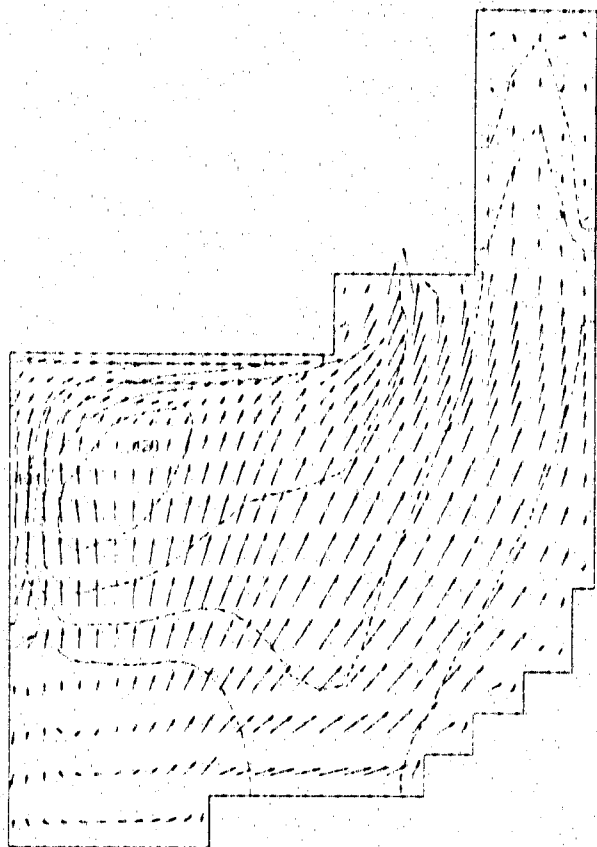
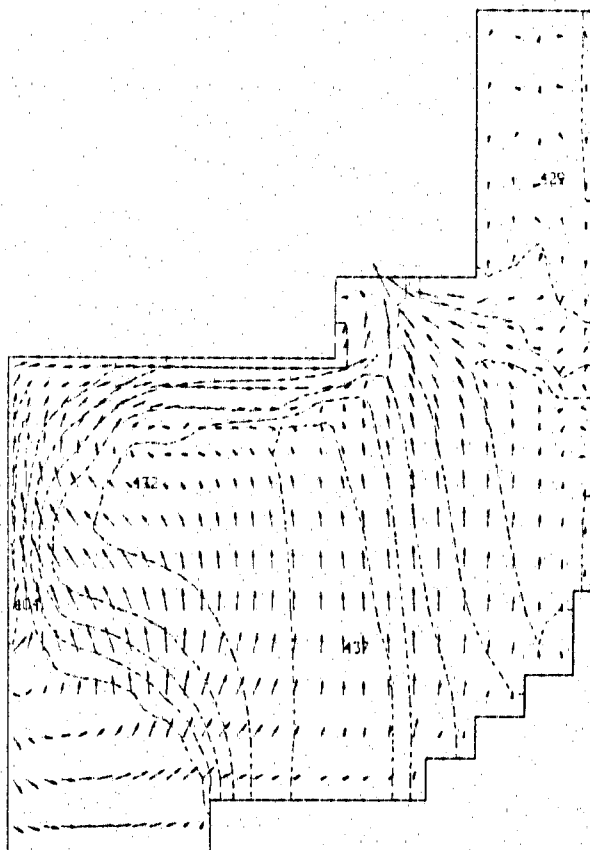


Fig. 3.13 (Continued)



J = 17
----- 2.50 M/S

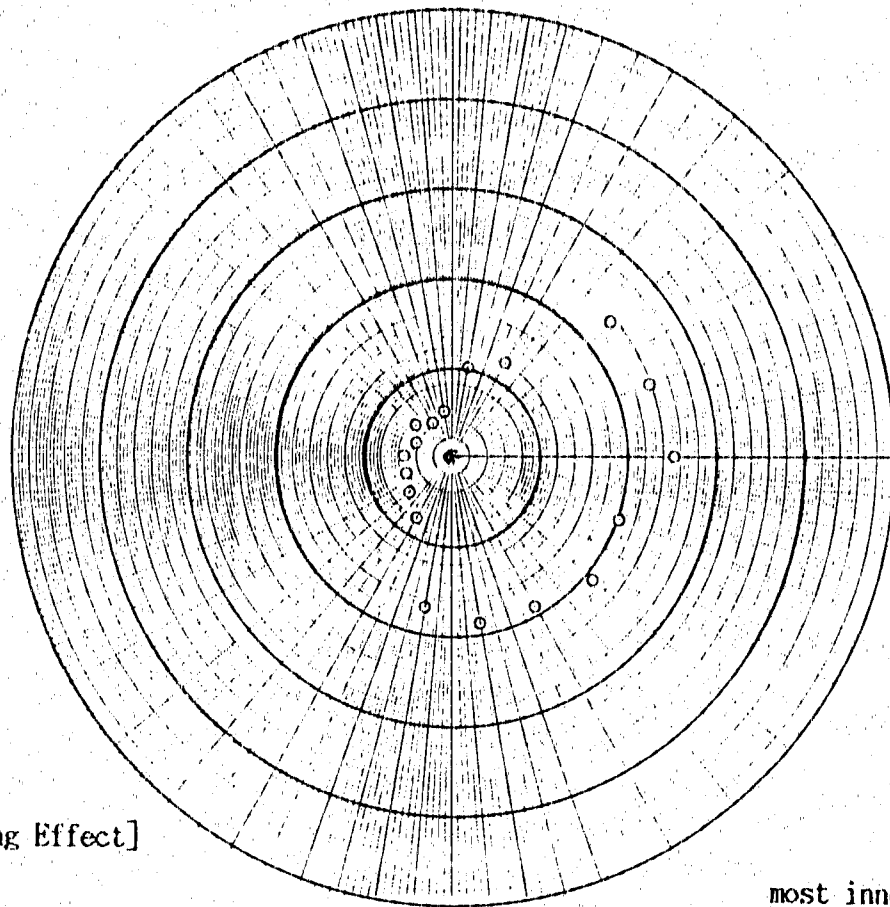
TIME: 1529.0 SEC.
TEMPERATURE (ICONT=0)
DELT = 5.000



J = 18
----- 2.50 M/S

TIME: 1529.0 SEC.
TEMPERATURE (ICONT=0)
DELT = 5.0

Fig. 3.13 (Continued)



most inner:400.0°C
most outer:450.0°C

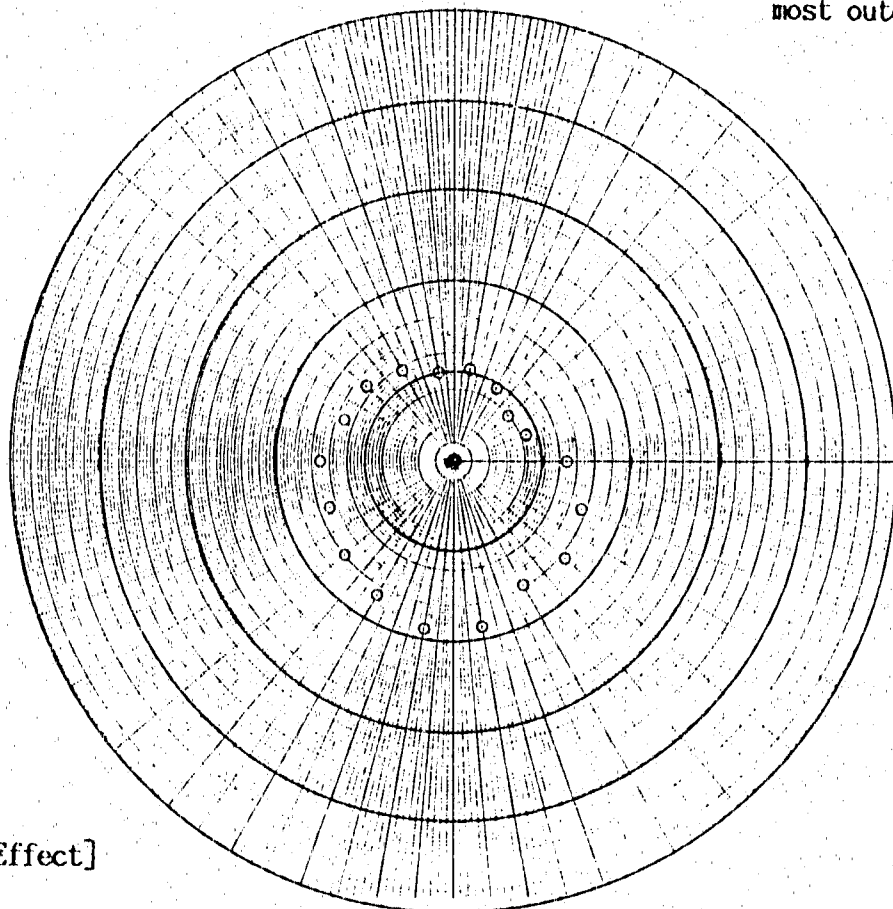
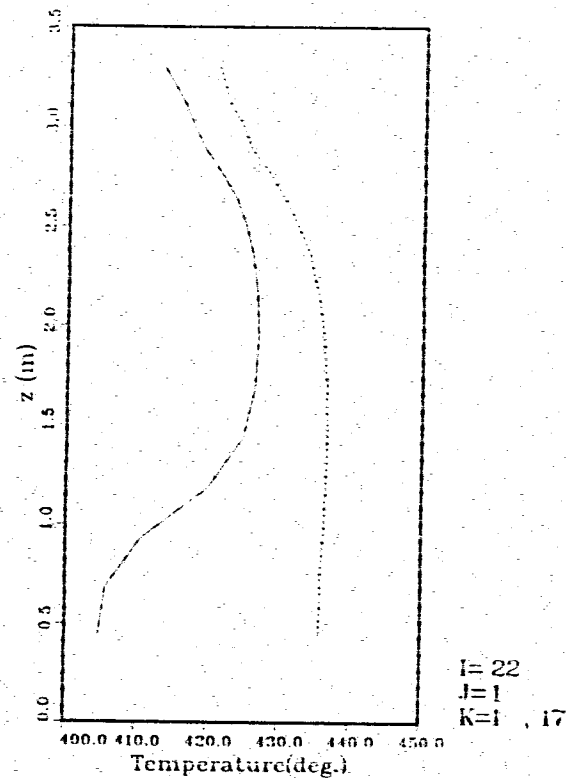
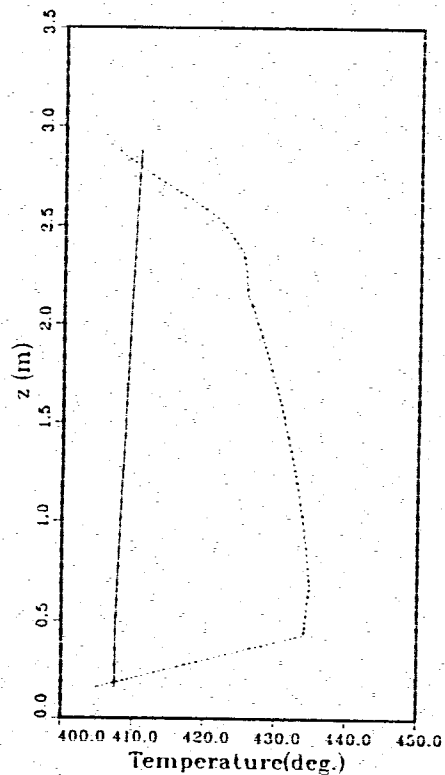
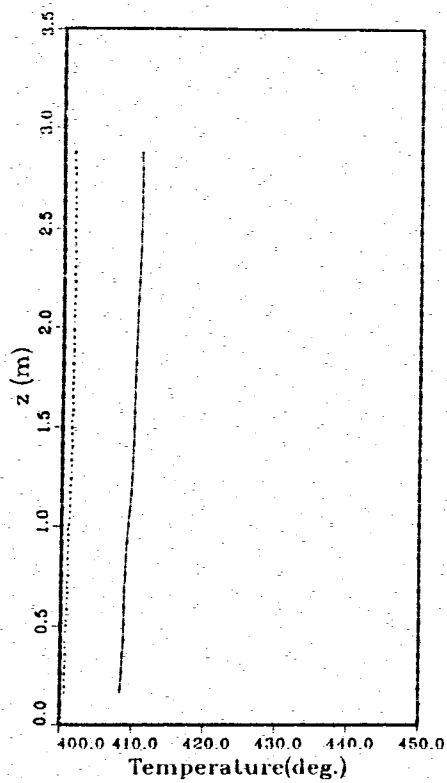


Fig. 3.14 Comparison of Temperature Distribution at the High Pressure Plenum Inlet between the Case 4 and the Case 4a Conditions



— : [with Swirling Effect]
... : [without Swirling Effect]

Fig. 3.15 Comparison of Axial Temperature Distributions between the Case 4 and the Case 4a Conditions

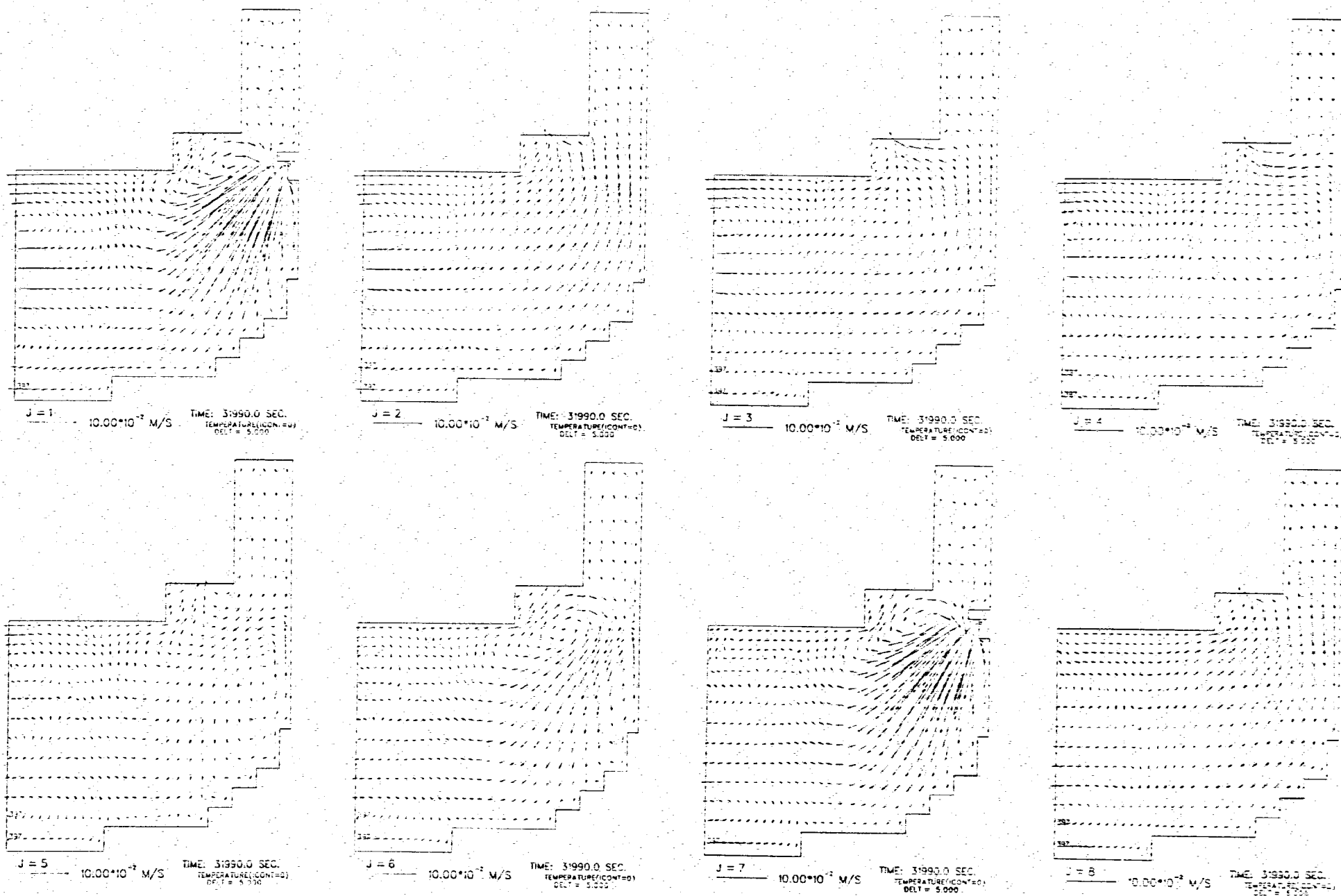


Fig. 3.16 Velocity Vector Fields on the Case 5 Condition

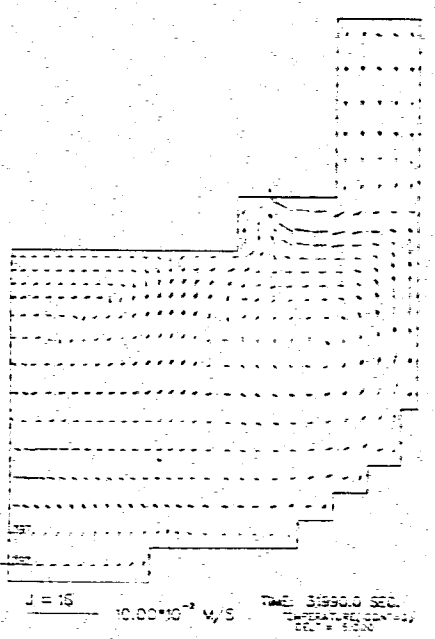
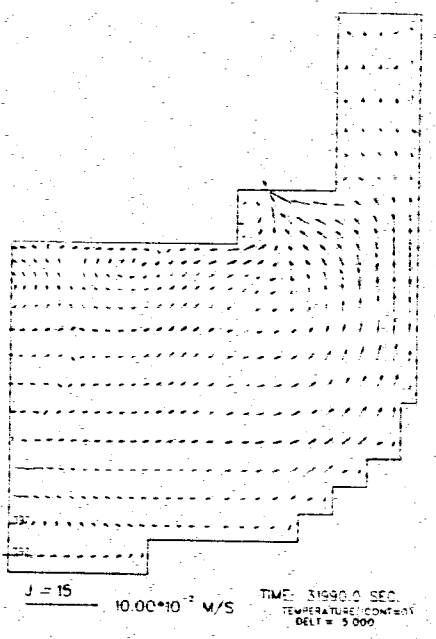
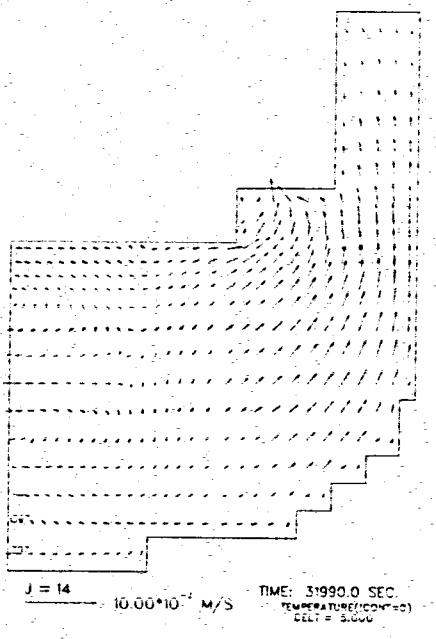
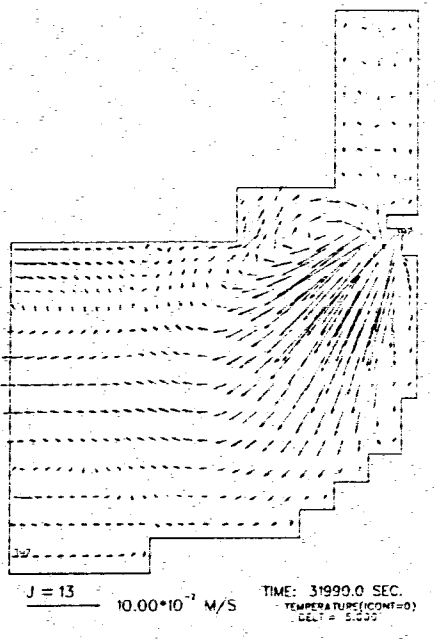
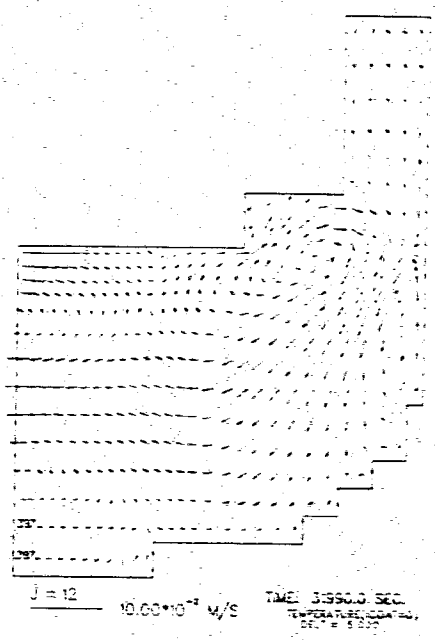
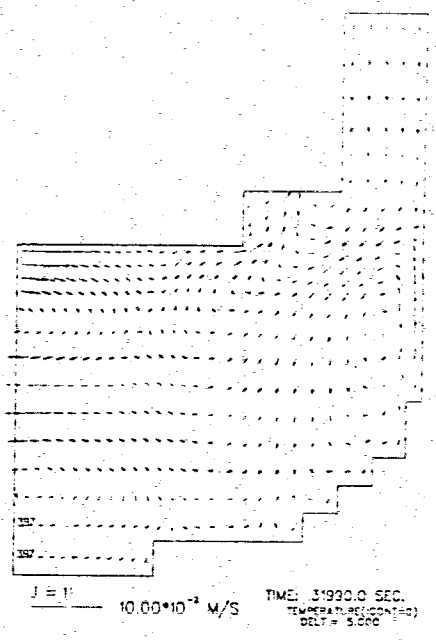
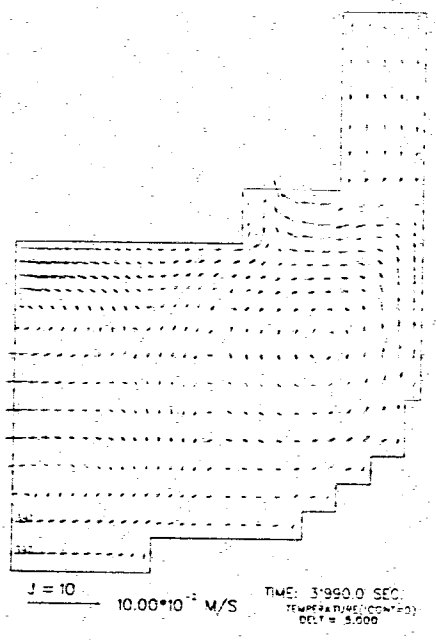
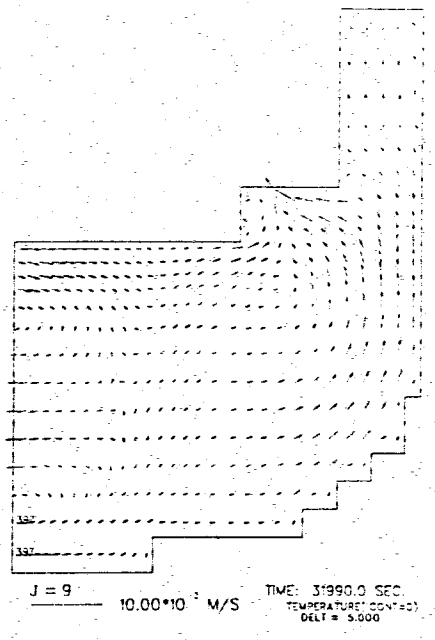


Fig. 3.16 (Continued)

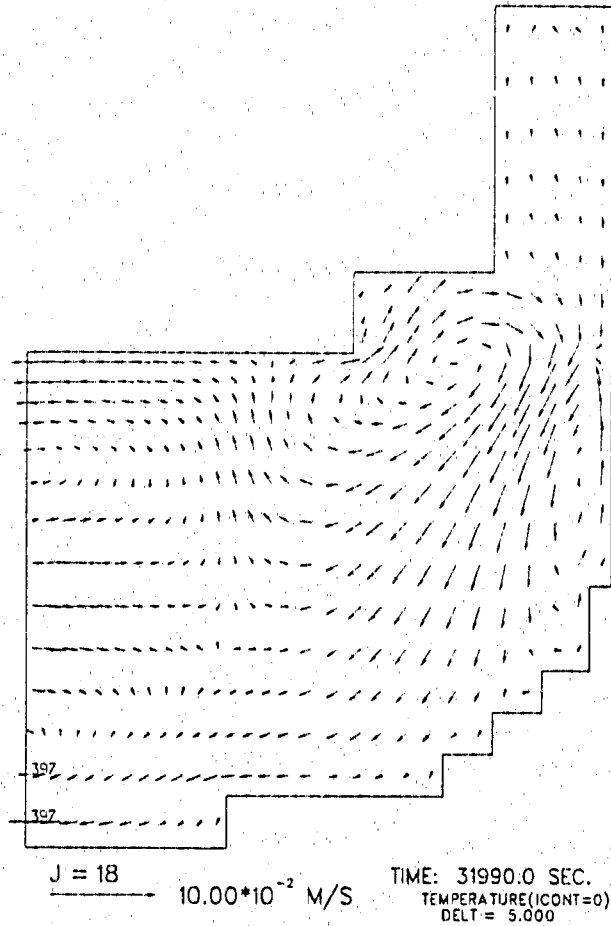
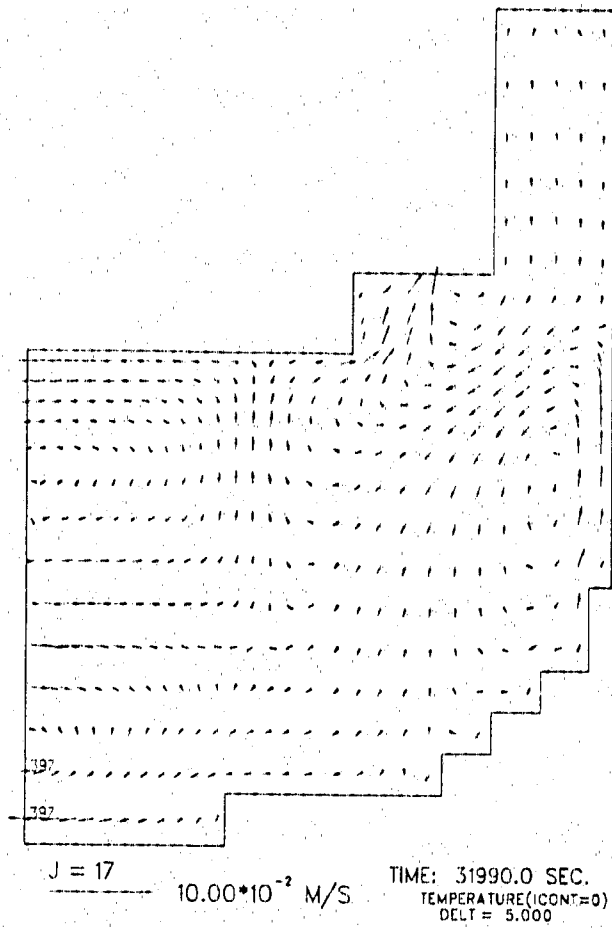


Fig. 3.16 (Continued)

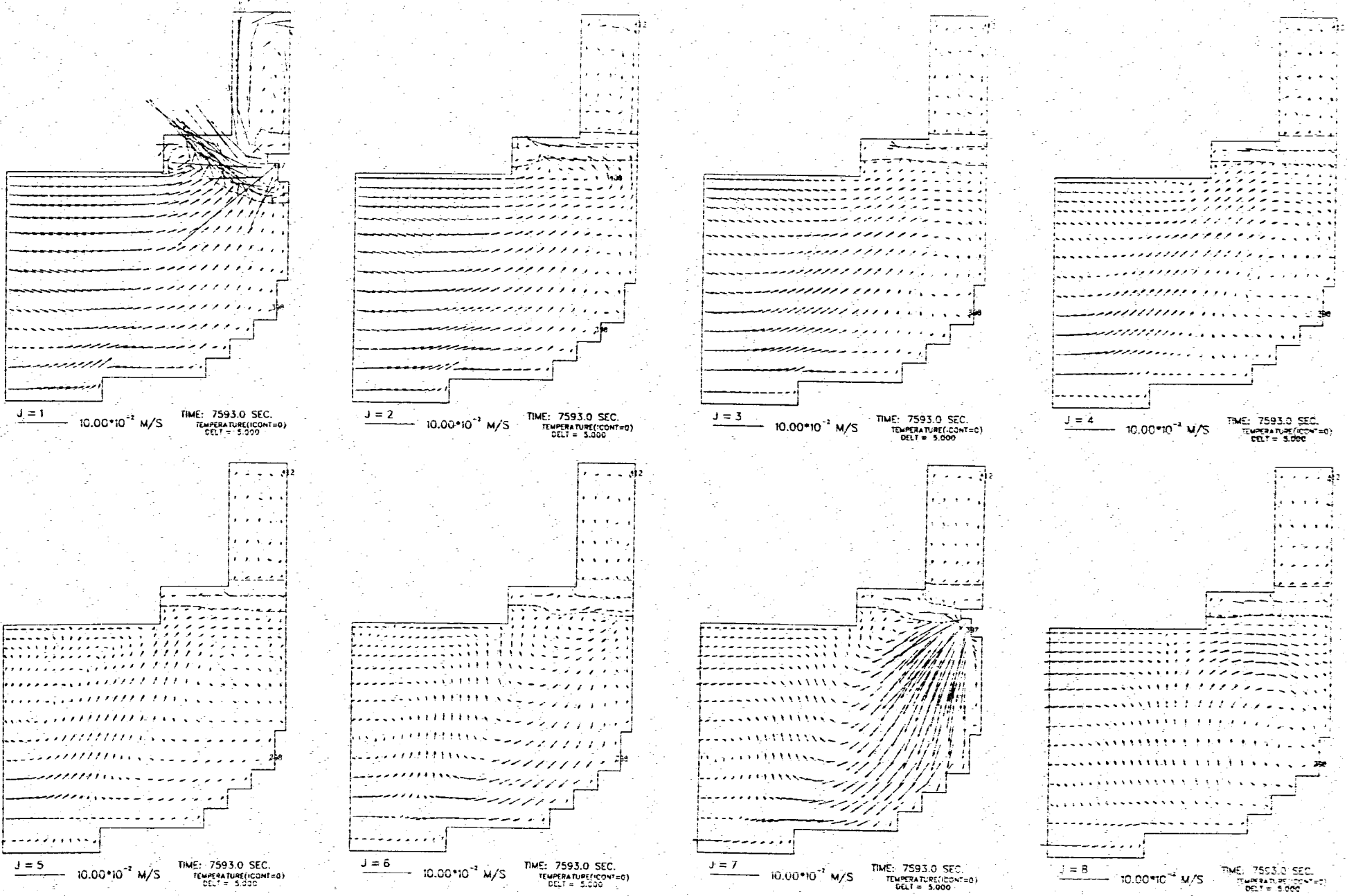


Fig. 3.17 Velocity Vector and Temperature Fields on the Case 6 Condition

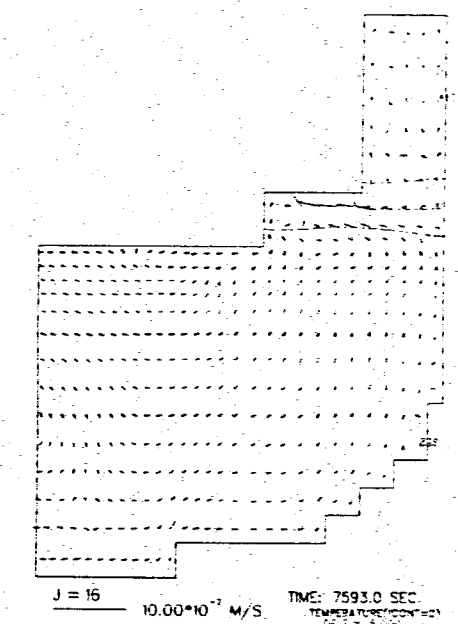
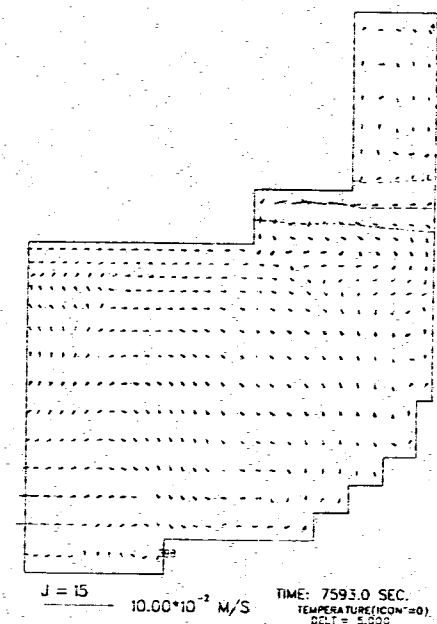
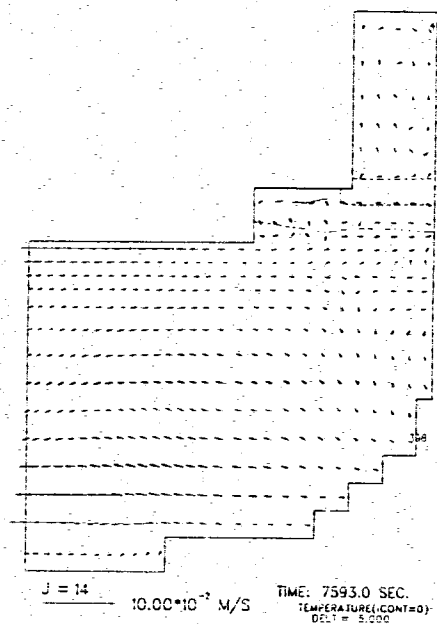
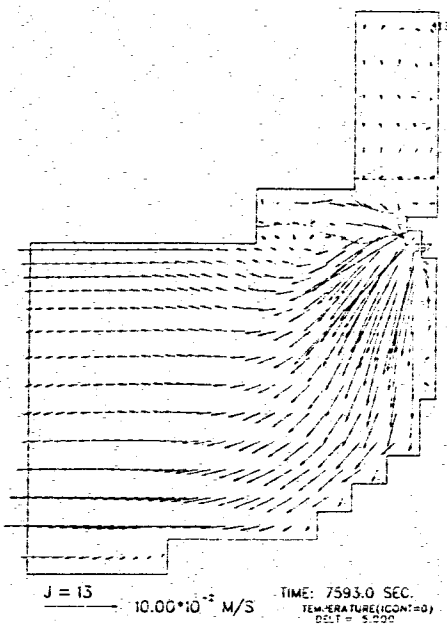
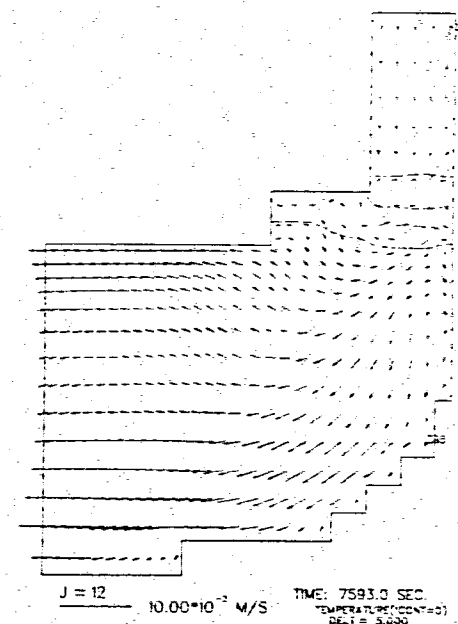
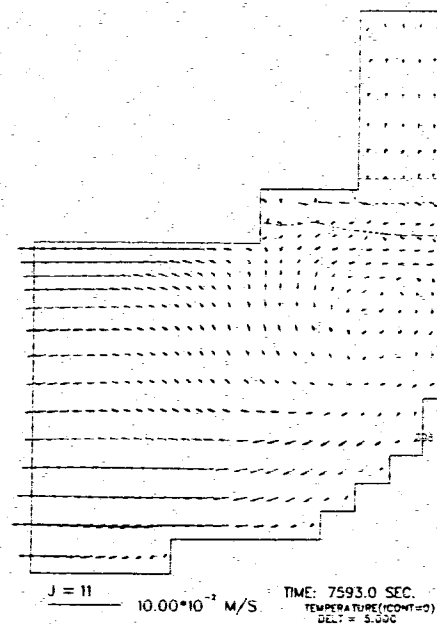
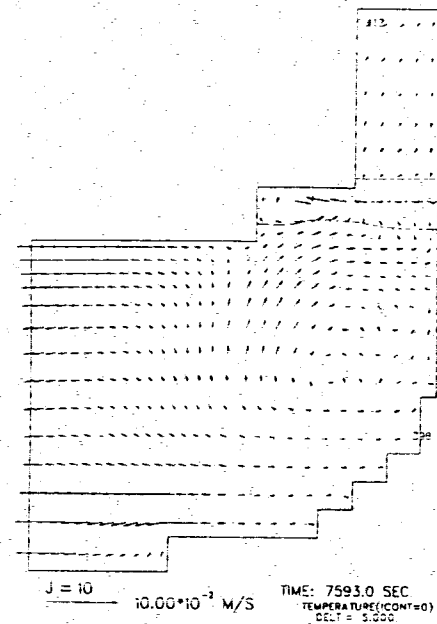
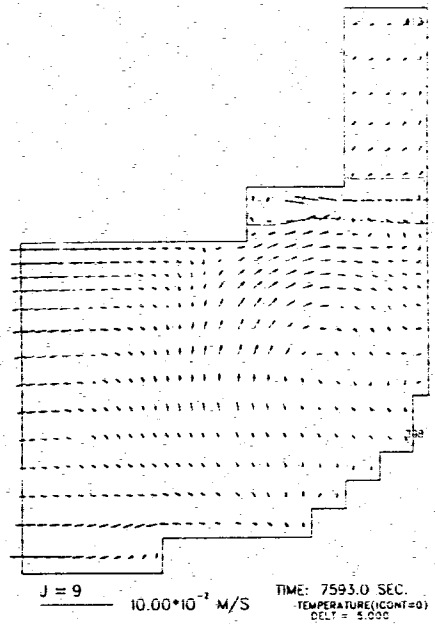
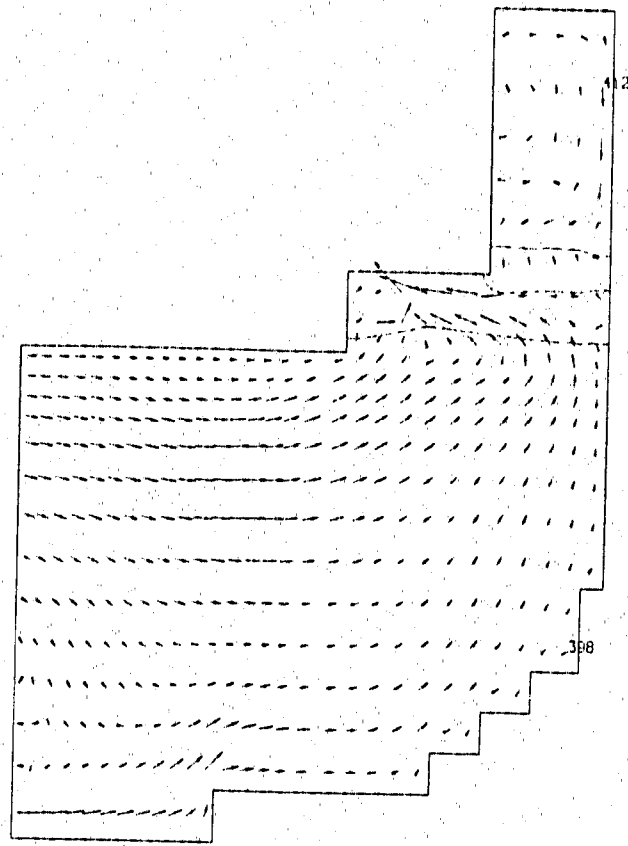
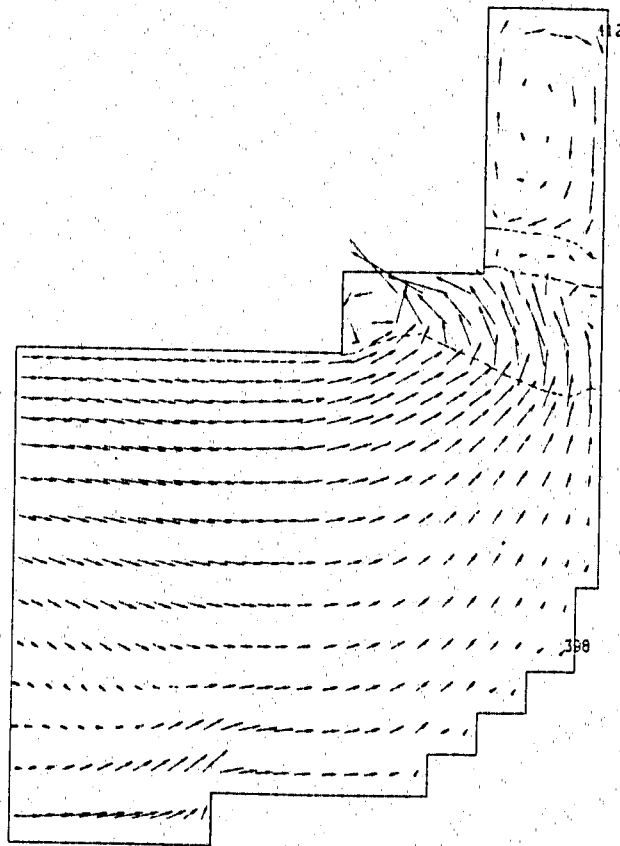


Fig. 3.17 (Continued)

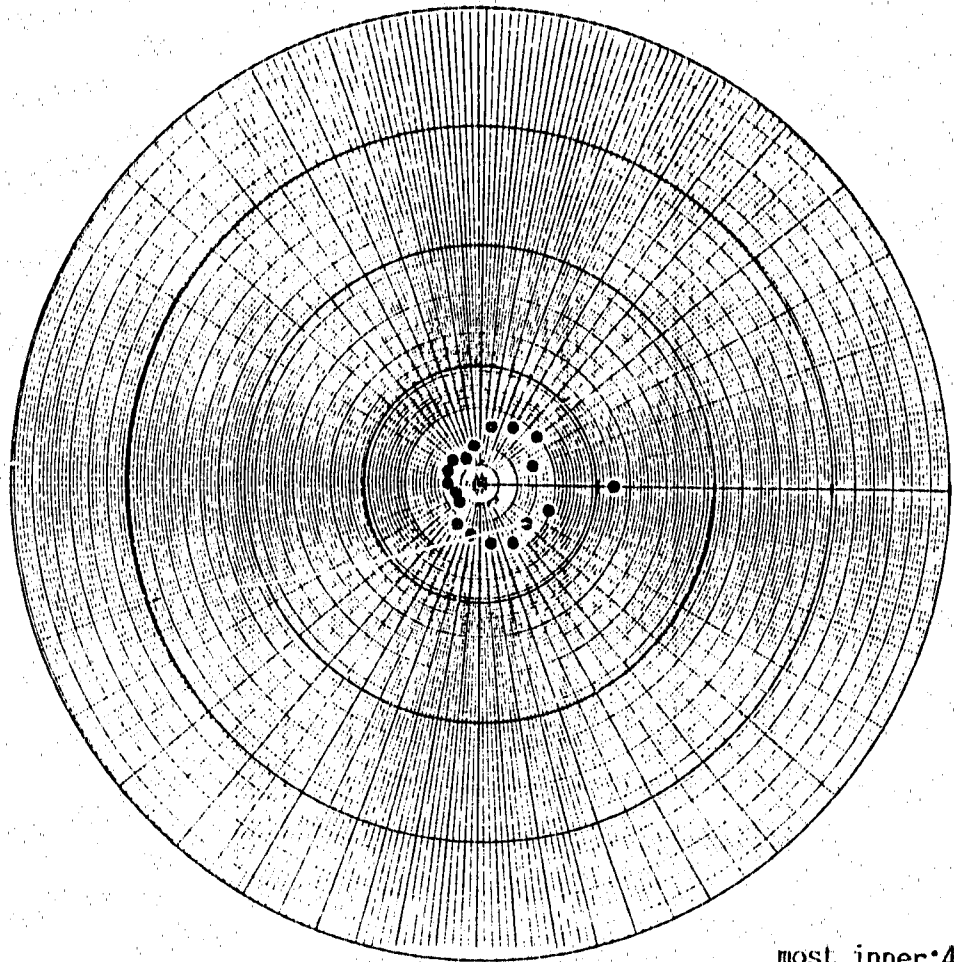


J = 17
 10.00×10^{-2} M/S
TIME: 7593.0 SEC.
TEMPERATURE(ICONT=0)
DELT = 5.000



J = 18
 10.00×10^{-2} M/S
TIME: 7593.0 SEC.
TEMPERATURE(ICONT=0)
DELT = 5.000

Fig. 3.17 (Continued)



[J=1]

most inner:400.0°C

most outer:420.0°C

Fig. 3.18 Temperature Distribution at the High Pressure Plenum Inlet on the Case 6 Condition