

# もんじゅ性能試験結果を用いたAQUAコードの検証

## 第Ⅱ部実炉におけるサーマルストライピング現象の解析

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務成果報告書)

1994年3月

株式会社 C S K

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)

## もんじゅ性能試験結果を用いたAQUAコードの検証 ～実炉におけるサーマルストライピング現象の解析～

松本 英一※

### 要 旨

高速増殖炉では、炉心構成要素毎の熱流力特性（集合体発熱量、集合体流量）の違いから炉心燃料集合体間あるいは炉心燃料集合体－制御棒集合体間で冷却材に温度差が生じ、それらが混合する過程で不規則な温度ゆらぎ挙動が炉心出口近傍に発生する。この温度ゆらぎを伴った冷却材が炉心上部機構各部（整流筒、制御棒上部案内管、炉心出口温度計装ウエル等）の表面近傍を通過すると、冷却材の不規則な温度ゆらぎが構造材中に伝播し、その材料は高サイクルの熱疲労を受ける。特に、冷却材として液体金属ナトリウムを使用する高速炉では、大きな熱伝導率を持つナトリウムの性質から、熱疲労の発生が懸念されている（サーマルストライピング）。従来では、この熱疲労の程度を大型ナトリウムモックアップ実験を通して確認し、原子炉構造設計に反映させる手段が取られていた。しかし、この大型実験にかかる費用と実験時間の節約、さらには設計の最適化と裕度の適性化等を効率的に行うことを目的として、解析的手法の確立が強く求められている。本報は、実プラントにおけるサーマルストライピング現象の解析を单相多次元熱流動解析コードAQUAを用いて実施したものである。この結果、AQUAコードによる温度ゆらぎ強度の値は、試験結果を大きめに評価することが明らかとなった。このような差異を発生させる要因として、

- (1) 整流格子周辺に生じるクロスフローによる外乱効果
- (2) 入口境界条件であるハンドリングヘッド部での半径方向温度分布の妥当性

が考えられ、今後早急に定量化作業を実施する予定である。

---

本報告書は、株式会社CSKが動力炉・核燃料開発事業団との契約により実施した業務の成果である。

契約番号：005-05-C3966

事業団担当課室および担当者：安全工学部 原子炉工学室 村松寿晴

※株式会社CSK 情報制御システム第2事業部

もんじゅ性能試験結果を用いたAQUAコードの検証  
第II部実炉におけるサーマルストライピング現象の解析

目次

第1章	緒言 .....	1
第2章	サーマルストライピング試験 .....	2
2.1	計測プラグ .....	2
2.2	試験結果 .....	2
第3章	単一集合体出口部熱流動解析 .....	32
3.1	目的 .....	32
3.2	集合体構造および解析条件 .....	33
3.3	解析結果および検討 .....	33
第4章	試験解析 .....	110
4.1	解析モデル .....	110
4.2	境界条件 .....	110
4.3	解析結果 .....	110
第5章	考察 .....	141
5.1	試験結果との比較 .....	141
5.2	入口境界条件の影響 .....	142
第6章	結言 .....	155
参考文献	.....	156
Appendix	.....	157
1.	温度ゆらぎグラフ .....	159
2.	本解析で用いた入力データ .....	172

## 第1章 緒言

高速増殖炉では、炉心構成要素毎の熱流力特性(集合体発熱量、集合体流量)の違いから炉心燃料集合体間あるいは炉心燃料集合体-制御棒集合体間で冷却材に温度差が生じ、それらが混合する過程で不規則な温度ゆらぎ挙動が炉心出口近傍に発生する。この温度ゆらぎを伴った冷却材が炉心上部機構各部(整流筒、制御棒上部案内管、炉心出口温度計装ウエル等)の表面近傍を通過すると、冷却材中の不規則な温度ゆらぎが構造材中に伝播し、その材料は高サイクル熱疲労を受ける。特に、冷却材として液体金属ナトリウムを使用する高速炉では、大きな熱伝導率を持つナトリウムの性質から、この熱疲労による程度が懸念されている(サーマルストライピング)。従来では、この熱疲労の程度を大型ナトリウムモックアップ実験を通して確認し、原子炉構造設計に反映させる手段が取られていた。しかし、この大型実験にかかる費用と実験時間の節約、さらには設計の最適化と裕度の適性化等を効率的に行うことを目的として、解析的評価手法の確立が強く求められている。

このような観点より、これまでに、サーマルストライピング現象を特徴づける熱流動挙動の内、温度ゆらぎ強度( $\theta^2$ )を解析的に評価するための工学モデルとして、乱流挙動の非等方性効果をモデル化上考慮する応力代数式乱流モデルを取り上げ、その適用性をナトリウムおよび水を作動流体としたモデル実験の解析を通じて明らかにしてきた<sup>1,2)</sup>。

本報では、実プラントにおけるサーマルストライピング現象の解析を行い、解析評価手法の適用性を明かにする。

## 第2章 サーマルストライピング試験<sup>3)</sup>

### 2. 1 計測プラグ<sup>3)</sup>

Fig.2.1 に「常陽」原子炉容器断面図を示す。計測プラグは、炉心上部機構に設けられた制御棒駆動機構取付け用貫通孔を通して炉内に装荷される。燃料集合体の配列を Fig.2.2 に示す。計測プラグは炉心アドレス (3E3) に設置される。Fig.2.3 に計測プラグの概略図を示す。熱電対は、流体側計測と案内管内面の壁近傍の温度計測ができるように配置した。計測プラグ下部の案内管の中心には、炉心出口の温度計測ができるよう配置されている。また、計測プラグ内に逆流が生じないように、計測プラグの側面に冷却材流出孔を設けた。Fig.2.4 に計測プラグ内の熱電対取付け図を示す。炉心基準方位の 330° 方向に流体側温度計測用熱電対を、4列×3段の12本取付けた。また、炉心 30° 方向、180° 方向には案内管内壁の構造物近傍の温度計測が可能ないように、それぞれ壁面位置、壁面から 1mm, 2mm 突き出した位置で3カ所計測できるブロックを3段18本取付けた。熱電対の仕様を以下に示す。

JIS	K熱電対	非接地型
	シース外径	0.5mm
	シース材	SUS 316
	絶縁材	MgO

Fig.2.5 にデータ計測システムの概略図を示す。計測プラグの温度データは、運転中にオンラインでデータ集録装置 RSR512 を用いて集録される。

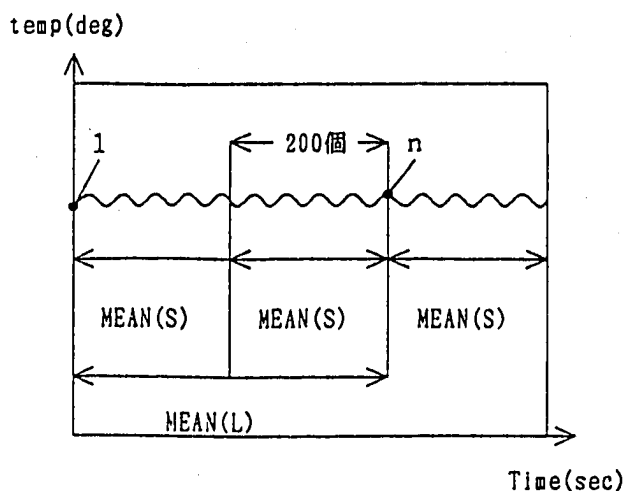
### 2. 2 試験結果<sup>3)</sup>

炉心燃料集合体6体に囲まれた照射用特殊燃料集合体の直上に配置された計測プラグで温度計測を行い、その温度ゆらぎ量を計算した結果の一例について述べる。

Fig.2.6 に燃料集合体の出口温度分布を示す。本分布は、(DATA1/14) の運転条件の結果である。特殊燃料集合体の温度 515.7° に対し周囲の炉心燃料集合体温度は 517.4 °C ~ 566.2°C である。ただし流体側熱電対が設置されている炉心 330 °C 方向の温度差は小さい。炉心 180 ° 方向の温度差は約 50 °C である (566.2 - 515.7)。Fig2.7 は表面から 2mm 突出した流体側計測熱電対 T/C 4-3 と T/C 4-4 の時系列温度グラフである。データサンプリングインターバルは 10 ms である。

Fig2.8 は表面から 2mm 突出した流体側計測熱電対 T/C 4-5, T/C 4-6 の時系列温度グラフである。ここでグラフとして示した 4ch は本データ集録ケースでは、温度ゆらぎレベルの比較的大きいものである。他のチャンネルの熱電対温度ゆらぎグラフは APPENDIX に示す。

これらのデータについて温度ゆらぎの統計処理結果を示したのが Fig.2.9 ~ Fig.2.12 である。この処理は 3000 個のデータ (30sec) を処理したものである。200 個ずつのブロックに分け、MEAN (平均)、SIGMA (標準偏差)、MAX (平均値からの上側のピーク)、MIN (平均値からの下側のピーク)、f1 (ゼロクロス周波数) を計算した。この計算ではブロック数を 200 個 (2sec) とした。ここでは MEAN(S) と MEAN(L) の区別は n 個までのブロックで、(S) で表わされているのはその直前の 200 個データの平均値であり、(L) で表わされているのは 1~n の全データの平均値 (積算値) である。SIGMA, MAX 等も (S) と (L) の区別は同様である。ブロック毎のデータ (S)、積算データ処理 (L) の区分けの説明図を以下に示す。



ここではデータ数 3000 個 (30 sec) でブロック数 200 個 (2sec) にしたが、長時間データ 300,000 個 (3000sec) では 20,000 個 (200sec) のブロック数にして統計処理を行った。

熱電対 T/C 4-3 の統計処理結果である Fig.2.9 では平均温度 MEAN(L) が 529.2 °C であり標準偏差が 1.0 °C、温度ゆらぎ振幅が 6.2 °C (平均温度からの上下へのゆらぎを加えたもの MAX(L) - MIN(L)) である。ゼロクロス周波数は 30 秒間の積算値で f1(L) が 4.23 Hz である。

熱電対 T/C 4-4 の統計処理結果である Fig.2.10 では平均温度 MEAN(L) が 558.2 °C であり標準偏差が 2.9 °C、温度ゆらぎ振幅が 16.1 °C である。また、ゼロクロス周波数 f1(L) は 3.58Hz である。

熱電対 T/C 4-5 の統計処理結果である Fig.2.11 では平均温度 MEAN(L) が 549.2 °C であり標準偏差が 2.2 °C、温度ゆらぎ振幅が 12.8 °C である。また、ゼロクロス周波数は 3.67Hz である。

熱電対 T/C 4-6 の統計処理結果である Fig.2.12 では平均温度 MEAN(L) が 543.7 °C であり標準偏差が 1.8 °C、温度ゆらぎ振幅が 10.1 °C である。また、ゼロクロス周波数は 3.83Hz である。

実験炉「常陽」の計測プラグ内に取り付けた熱電対のケース (1/14) における 30 秒データの温度ゆらぎの大きい代表的な統計処理結果は以上である。

30秒間の処理結果としてはそれぞれの統計処理結果の30秒間積算値 (MEAN(L) の□で囲った値等) として表わす。Fig.2.13 にケース (1/14) で計測された、熱電対全部の温度ゆらぎ統計処理結果の一覧表を示す。この一覧表より温度ゆらぎの大きいのは、T/C 4-4, T/C 4-5, T/C 4-6 である。温度ゆらぎ振幅 TAMP(DEG) は標準偏差 SIGMA(DEG) の概ね 6 倍になっている。またゼロクロス周波数は概略 3~5 Hz である。

計測プラグの熱電対取付断面ごとの温度ゆらぎ特性 (平均温度 MEAN(DEG)、温度ゆらぎ振幅  $\Delta T_{p-p}$  (ピーク・トゥ・ピーク振幅)、ならびにゼロクロス周波数  $f_1(L)$ ) を炉心 330° 方向について Fig.2.14 ~ Fig.2.16 に示す。炉心 30° 方向について Fig.2.17 ~ Fig.2.20 に示す。また、炉心 180° 方向について Fig.2.21 ~ Fig.2.23 に示す。

Fig.2.14 は炉心 330° 方向の流体側計測熱電対の平均温度分布である。特殊燃料集合体 3E3 の出口温度は 515.7 °C であるが、周囲の炉心燃料集合体の冷却材ナトリウムが計測プラグ内に流入するために熱電対 T/C 1-3, T/C 1-8, T/C 1-10, T/C 1-11 では 523 ~ 528 °C の高い平均温度を計測している。Fig.2.15 の温度ゆらぎ振幅特性では T/C 1-5, T/C 1-12 が 7.7 °C, 6.8 °C と温度ゆらぎ振幅が大きい。この温度ゆらぎ振幅をみると径方向、軸方向で大きい、小さいの一様性はない。この特性から、計測プラグ内の流れはかなり乱れているものと考えられる。Fig.2.16 は温度ゆらぎのゼロクロス周波数特性である。3 ~ 5 Hz の温度ゆらぎを示している。

Fig.2.17 は炉心 30° 方向の計測プラグ構造物 (案内管内) 壁面近傍における熱電対の平均温度分布特性である。Fig.2.18, Fig.2.19 はそれぞれ壁面近傍熱電対、構造物表面熱電対と熱電対先端を 1 mm 突出したもの、2 mm 突出したものの温度ゆらぎ振幅特性である。Fig.2.18 のピーク・トゥ・ピーク振幅  $\Delta T_{p-p}$  では T/C 2-2, T/C 3-2, T/C 4-2 と流体側になるに従って  $\Delta T_{p-p}$  が 3.0 °C, 7.1 °C, 7.7 °C と温度ゆらぎ振幅は大きくなる。熱電対 T/C 2-3, T/C 3-3, T/C 4-3 においても同様で  $\Delta T_{p-p}$  が 1.8 °C, 4.2 °C, 6.3 °C となり、構造物近傍の温度境界層の存在を裏づける結果がでていいる。しかし、T/C 2-1, T/C 3-1, T/C 4-1 では温度ゆらぎピーク・トゥ・ピーク振幅  $\Delta T_{p-p}$  が 2.4 °C, 5.4 °C, 4.8 °C となっているが、ピーク・トゥ・ピーク値は偶然が伴うので 5.4 °C と 4.8 °C の差ならあり得ることと考えられる。構造物近傍の温度境界層による減衰効果を見るために温度ゆらぎ量として標準偏差  $\Delta T_s$  の分布をみしてみる。Fig.2.19 は標準偏差  $\sigma$  (SIGMA) の分布を示す。

この結果によると T/C 2-1, T/C 3-1, T/C 4-1 でも構造物表面から 0.7 °C, 0.7 °C, 0.9 °C となっており、T/C 2-1 では T/C 3-1 と同じ値を示している。ピーク・トゥ・ピーク振幅 (Fig.2.18) で示された T/C 3-1 と T/C 4-1 の場合のように 2 mm 突出した熱電対振幅 4.8 °C が 1 mm 突出した振幅 5.4 °C より小さいという境界層から考えると矛盾する結果とはならず、2 mm 突出した T/C 4-1 の  $\Delta T_s$  は 0.9 となり、T/C 3-1 (1 mm 突出) の  $\Delta T_s = 0.7$  より大き



い値となっており、境界層の考えと一致する。Fig.2.20 は温度ゆらぎゼロクロス周波数  $f_1$  の分布である。この断面では  $f_1=2.08\text{Hz} \sim 6.22\text{Hz}$  に分布している。構造物表面と流体側（1 mm ないし 2 mm 突出した熱電対）を比較すると、下部では構造物表面で  $f_1=2.08\text{Hz}$  であるが流体側では  $f_1=4.63\text{Hz}, 4.47\text{Hz}$  と温度ゆらぎゼロクロス周波数は高い。構造物表面の T/C 2-2 では  $3.63\text{Hz}$  であるが、流体側では T/C 3-2 で  $4.68\text{Hz}$ , T/C 4-2 で  $6.22\text{Hz}$  となっており同様の傾向である。さらに構造物表面の T/C 2-3 で  $3.28\text{Hz}$ , 流体側で T/C 3-3 で  $3.98\text{Hz}$ , T/C 4-3 で  $4.23\text{Hz}$  となっており、構造物表面ではその近傍の流体側温度ゆらぎゼロクロス周波数は低くなる傾向にある。

Fig2.21, Fig2.22, Fig2.23 は炉心燃料集合体 3E2 と 3F1、照射燃料集合体 3E3 の断面、炉心  $180^\circ$  方向の構造物近傍に取り付けた熱電対の温度ゆらぎ特性を示す。この断面では 3E2 の出口温度が  $566.2^\circ\text{C}$  で 3E3 の出口温度が  $515.7^\circ\text{C}$  となっており、温度差は  $50.5^\circ\text{C}$  と他の断面に比べ大きい。Fig2.21 は平均温度分布を示す。3E2 の炉心燃料集合体からの高温ナトリウムが計測プラグの中に噴流として流入するので T/C 4-4, T/C 4-5, T/C 4-6 とともに  $558.2^\circ\text{C}$ ,  $549.2^\circ\text{C}$ ,  $543.7^\circ\text{C}$  と高温場になっている。上部に向かうに従って 3E2 と 3E3 の噴流のミキシングゾーンから遠ざかるので平均温度は低くなる。Fig2.22 の温度ゆらぎピーク・トゥ・ピーク振幅特性では、噴流のミキシングゾーンにある T/C 4-4 で  $\Delta T_{p-p} = 16.1^\circ\text{C}$ 、T/C 4-5 で  $\Delta T_{p-p} = 12.8^\circ\text{C}$ 、T/C 4-6 で  $\Delta T_{p-p} = 10.1^\circ\text{C}$  と大きい値を示す。軸方向の特性としてはミキシングゾーンのはじまりに近い T/C 4-4 で  $\Delta T_{p-p} = 16.1^\circ\text{C}$  と最も大きく、遠ざかるにつれ  $\Delta T_{p-p} = 12.8^\circ\text{C}$ ,  $\Delta T_{p-p} = 10.1^\circ\text{C}$  と温度ゆらぎ振幅は減衰する傾向にある。Fig2.23 で示す温度ゆらぎのゼロクロス周波数は  $f_1=3 \sim 4\text{Hz}$  程度である。

#### [温度ゆらぎ周波数分析結果]

温度ゆらぎを周波数分析した結果を Fig2.24, Fig2.25, Fig2.26 に示す。温度ゆらぎは振幅の最も大きい T/C 4-4 である。

Fig2.24 は周波数レンジ  $0.2 \sim 80\text{Hz}$  で  $10\text{Hz}$  の L.P.F (Low Pass Filter) を使用して分析した結果である。周波数分析した結果でみると卓越したピークで示される特徴的な周波数成分はなく、ホワイトノイズに近い周波数成分を持つ。

Fig2.25 は Fig2.24 と同じ条件で、周波数レンジ  $0.2 \sim 80\text{Hz}$ 、L.P.F を使用しない波形の周波数分析結果である。 $50\text{Hz}$  の卓越したピークが観察されるが、これは電源ノイズと考えられる。

Fig2.26 は周波数レンジを  $0.05 \sim 20\text{Hz}$  で周波数分析した結果である。Fig2.24 と同様、温度ゆらぎ周波数として卓越したピークはなくホワイトノイズに近い周波数成分である。

以上の周波数分析結果から、温度ゆらぎはホワイトノイズに近い周波数成分を持ち、温度ゆらぎのメカニズムを裏付けるような特徴的な卓越したピークは示さない。

このため、本研究の統計処理上の温度ゆらぎ変動周波数として、ゼロクロス周波数を用いた。

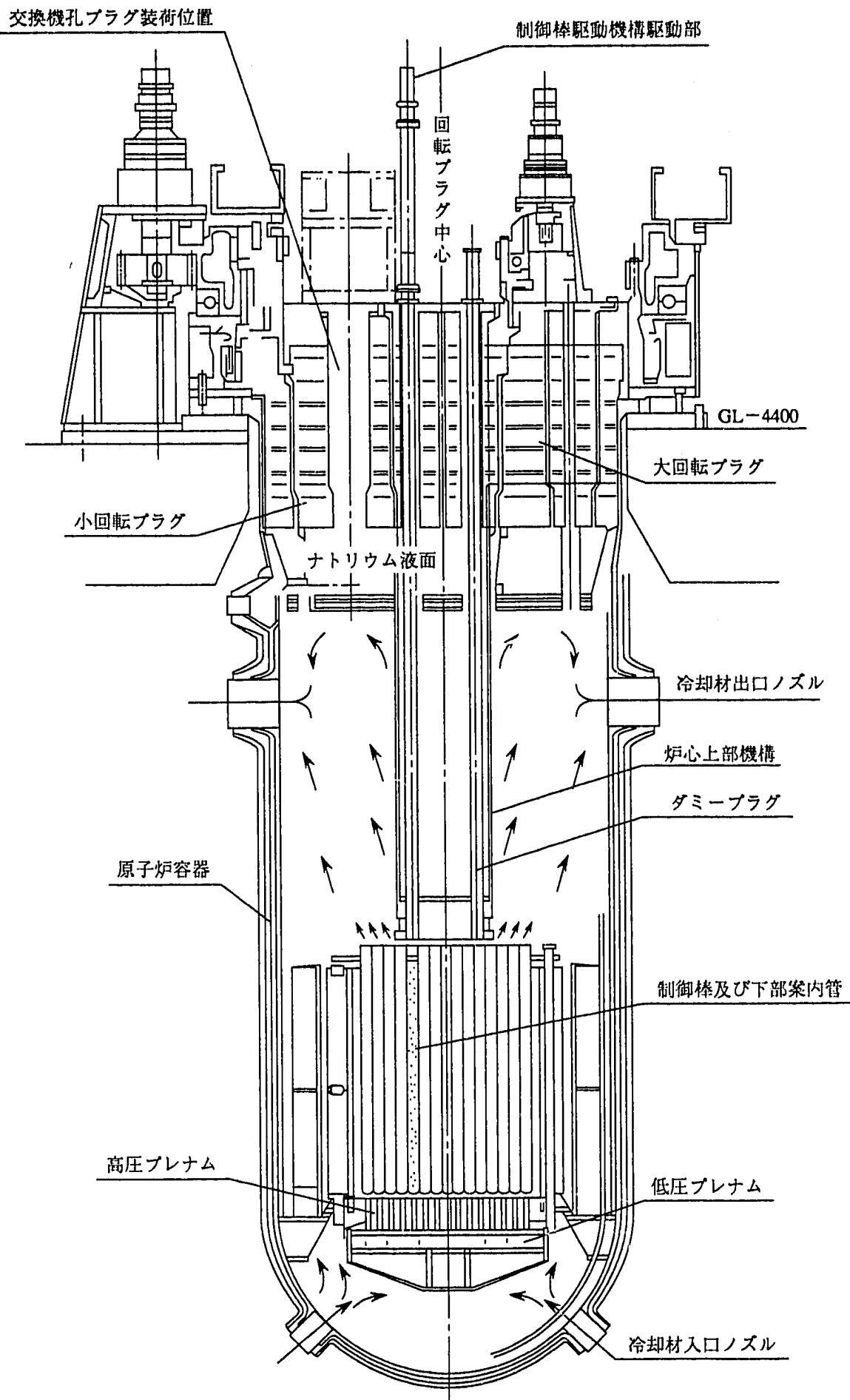


Fig.2.1 「常陽」原子炉断面図

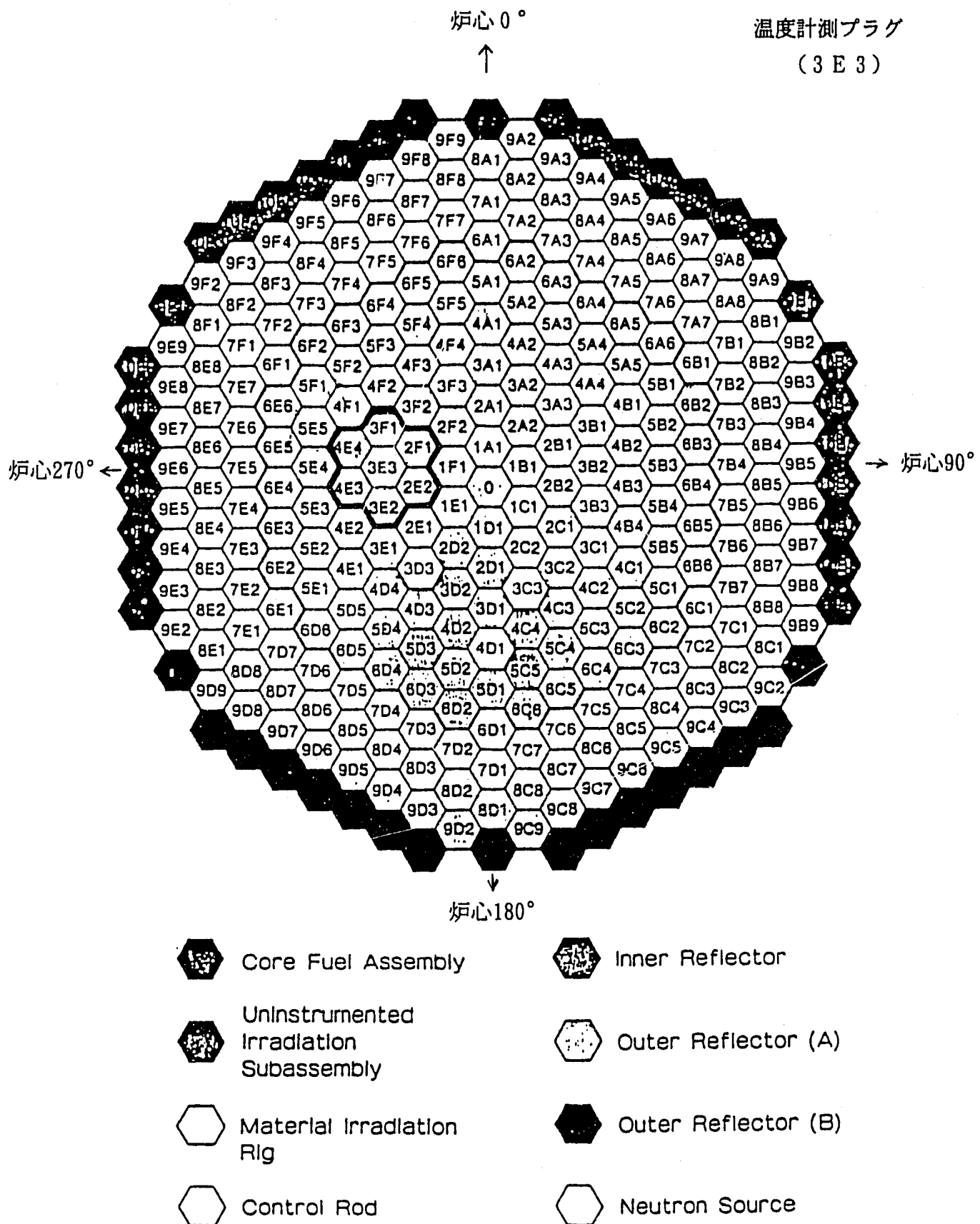


Fig.2.2 温度計測プラグ設置位置

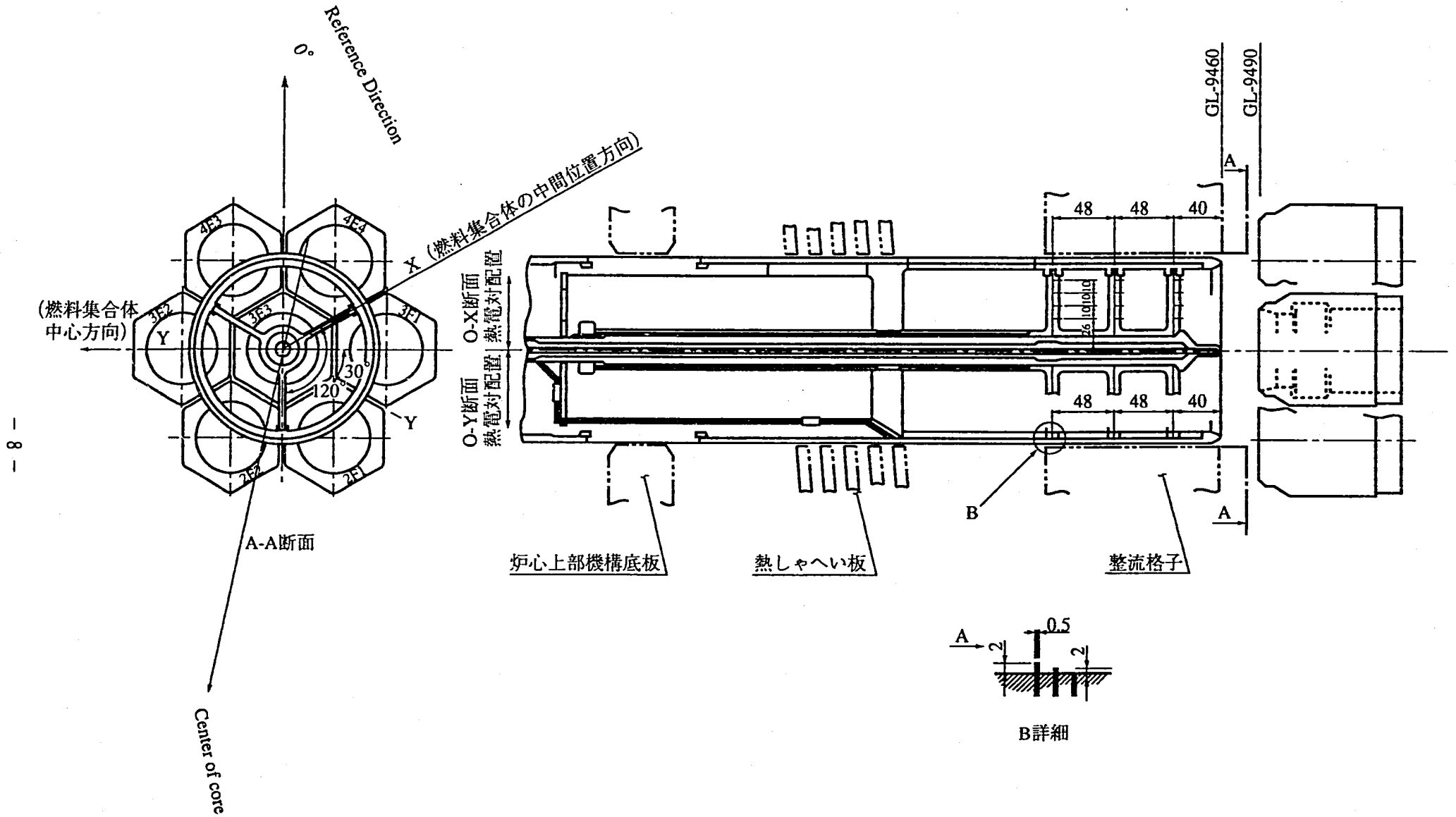


Fig.2.3 温度ゆらぎ計測プラグ熱電対配置

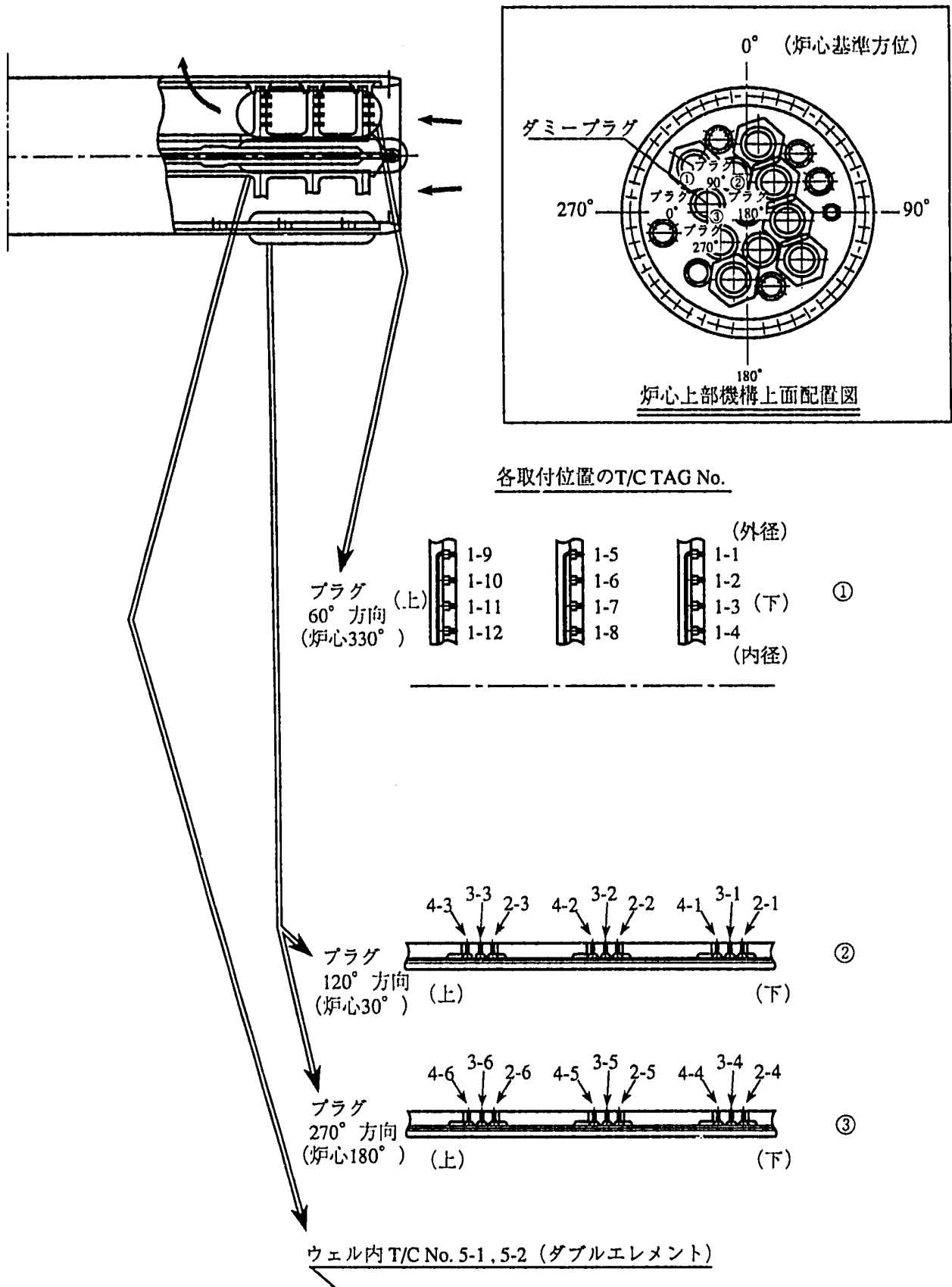


Fig.2.4 計測プラグ内熱電対取付図

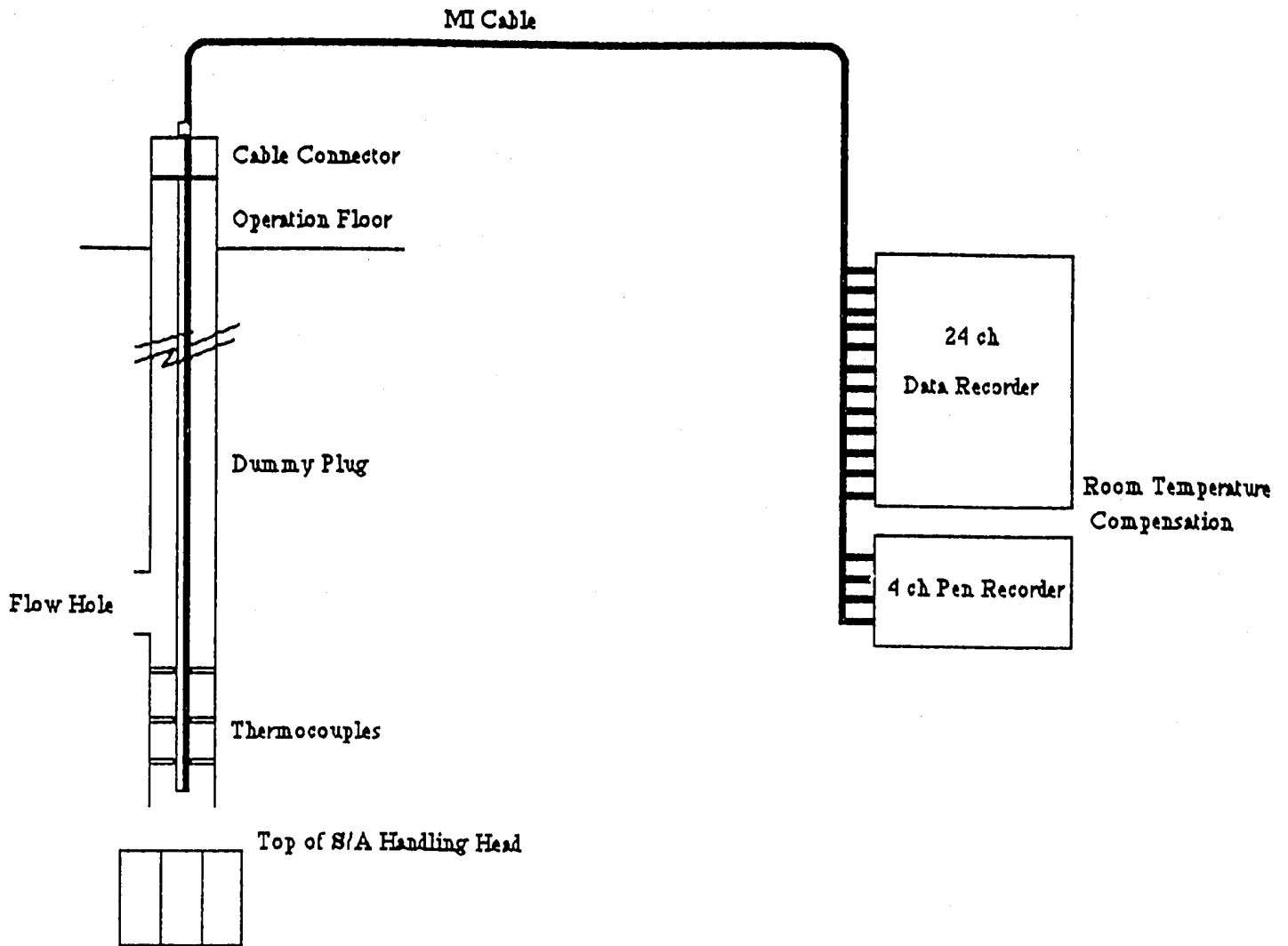
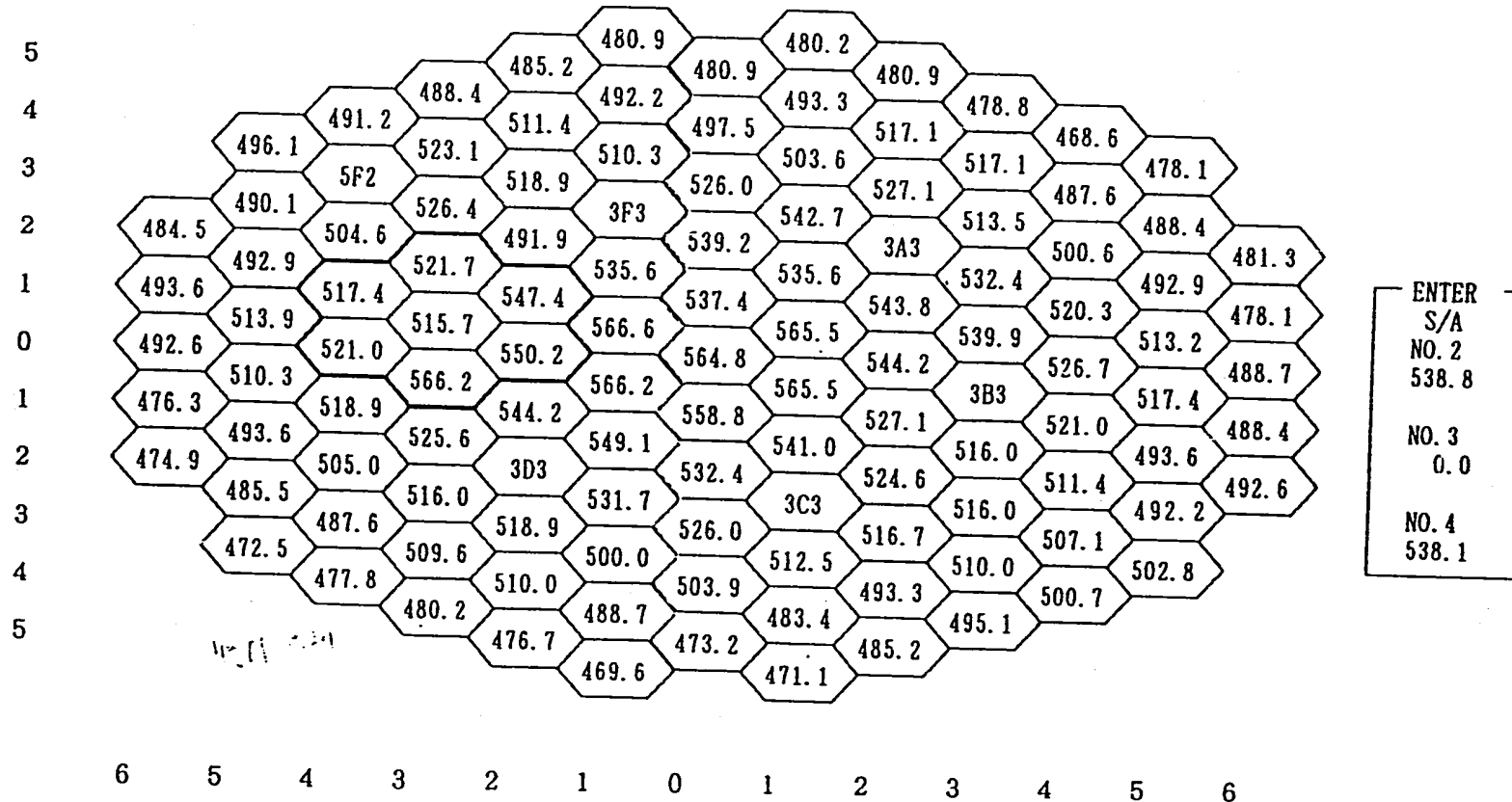


Fig.2.5 「常陽」 データ計測システム

# 127 S/A OUTLET TEMP

POWER	COOLANT	FLOW	COOLANT	TEMP
			IN	OUT
99.49 MW	A	1255 M3/H	A 370°C	A 498°C
	B	1275 M3/H	B 369°C	B 499°C



ENTER  
S/A  
NO. 2  
538.8  
NO. 3  
0.0  
NO. 4  
538.1

PLANT ALARM  
PICTURE NO=127

CRT#124

H-80-E H-V90 DISC1 DISC2 DPI-1 T/W L/P M/T DPI-2 ETC  
KEYIN ACCEPT 93/01/14 11:04

99 MW  
JOYDAS

Fig.2.6 「常陽」炉心出口部温度分布 (DATA 1/14)

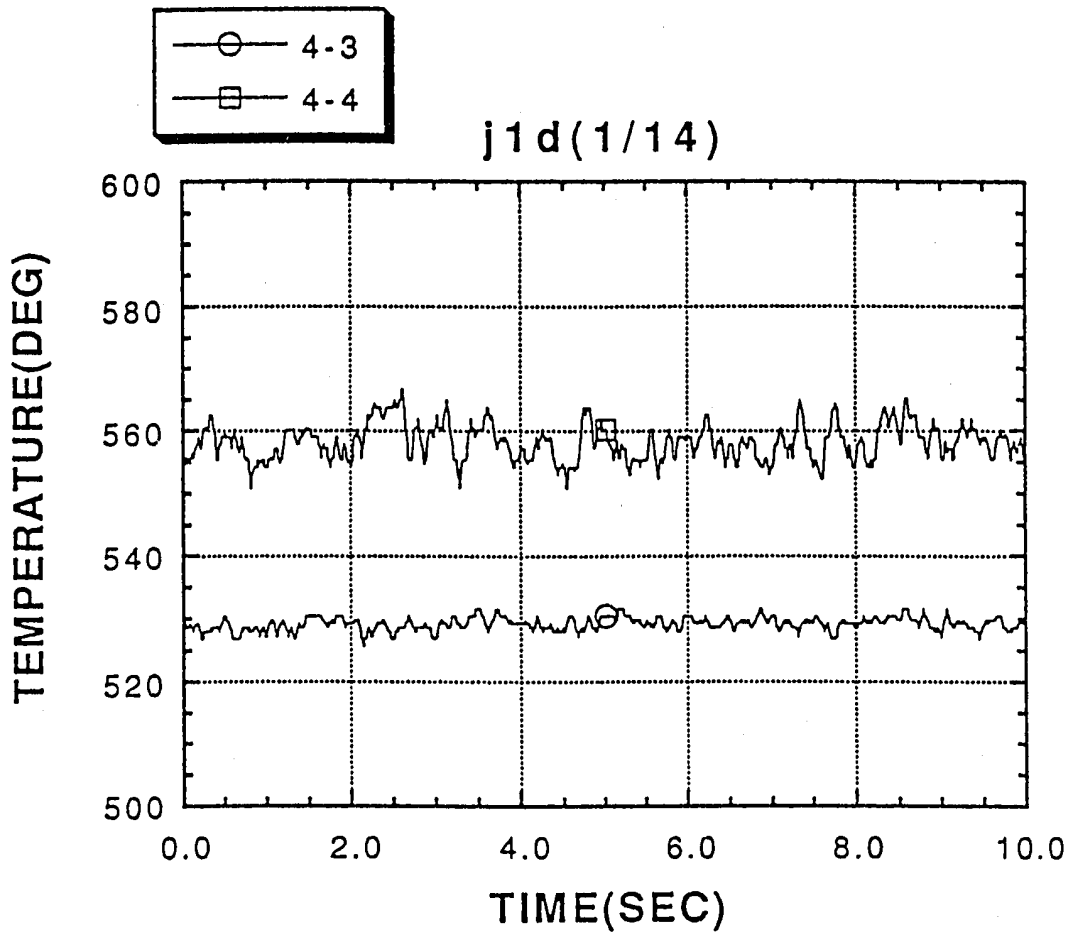


Fig.2.7 計測プラグ時系列温度グラフ例 (1)



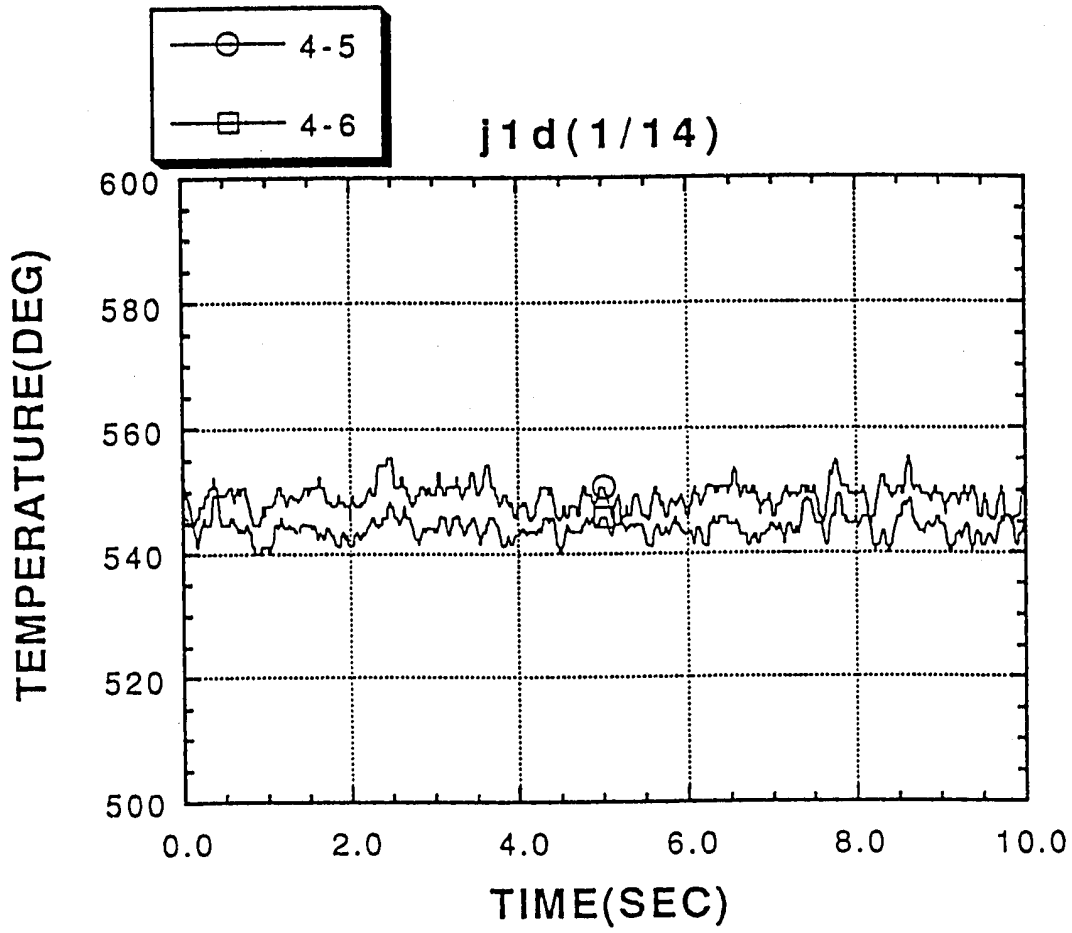


Fig.2.8 計測プラグ時系列温度グラフ例 (2)

\*\* 3CH TIME= 0.01- 30.00 (SEC) \*\*

BLOCK	MEAN(S) (DEG)	MEAN(L) (DEG)	SIGMA(S)	SIGMA(L)	MAX(S) (DEG)	MAX(L) (DEG)	MIN(S) (DEG)	MIN(L) (DEG)	F1(S) (HZ)	F1(L) (HZ)
( 1- 200)	528.8	528.8	1.0	1.0	1.6	1.6	-2.0	-2.0	5.03	5.03
( 201- 400)	529.1	528.9	1.2	1.1	2.5	2.7	-3.4	-3.3	3.52	4.26
( 401- 600)	529.3	529.1	0.9	1.1	2.3	2.5	-2.2	-3.4	6.28	4.51
( 601- 800)	529.2	529.1	0.9	1.0	2.4	2.5	-2.4	-3.5	12.81	4.32
( 801- 1000)	529.4	529.2	0.9	1.0	2.2	2.4	-2.6	-3.5	9.05	4.00
( 1001- 1200)	528.6	529.1	0.9	1.0	1.8	2.5	-1.8	-3.4	6.53	4.17
( 1201- 1400)	528.9	529.1	1.0	1.0	2.7	2.6	-2.0	-3.4	4.77	4.25
( 1401- 1600)	529.2	529.1	1.0	1.0	2.4	2.5	-2.4	-3.4	3.52	4.16
( 1601- 1800)	529.0	529.1	1.0	1.0	2.9	2.8	-2.1	-3.4	7.04	4.47
( 1801- 2000)	529.3	529.1	0.7	1.0	2.3	2.8	-1.3	-3.4	9.30	4.50
( 2001- 2200)	529.4	529.1	0.8	1.0	2.2	2.8	-2.6	-3.5	11.81	4.57
( 2201- 2400)	529.2	529.1	0.9	1.0	2.4	2.8	-2.4	-3.5	8.29	4.46
( 2401- 2600)	529.5	529.2	1.1	1.0	2.4	2.7	-2.7	-3.5	6.78	4.35
( 2601- 2800)	529.3	529.2	1.3	1.0	2.3	2.7	-2.5	-3.5	7.04	4.13
( 2801- 3000)	529.4	529.2	0.8	1.0	2.2	2.7	-1.4	-3.5	6.03	4.23

DATA KOSU= 3000 BLOCK= 200 INTERVAL(MSEC)= 10 ISORT= 1 TH=\*\*\*\*\* TC= 0.00 SZ 0.0

Fig.2.9 温度ゆらぎ統計処理 (ゼロクロス) 結果 (T/C 4-3, 30sec)

\*\* 4CH TIME= 0.01- 30.00 (SEC) \*\*

BLOCK	MEAN(S) (DEG)	MEAN(L) (DEG)	SIGMA(S)	SIGMA(L)	MAX(S) (DEG)	MAX(L) (DEG)	MIN(S) (DEG)	MIN(L) (DEG)	F1(S) (HZ)	F1(L) (HZ)
( 1- 200)	557.4	557.4	2.2	2.2	5.2	5.2	-6.4	-6.4	4.52	4.52
( 201- 400)	559.8	558.6	3.2	3.0	7.0	8.2	-8.8	-7.6	3.52	3.76
( 401- 600)	557.1	558.1	2.7	3.0	6.6	8.6	-6.2	-7.1	3.52	3.59
( 601- 800)	557.8	558.0	2.7	2.9	7.2	8.7	-5.3	-7.1	5.28	3.75
( 801- 1000)	559.0	558.2	2.5	2.9	6.3	8.5	-4.7	-7.2	4.52	4.00
( 1001- 1200)	558.4	558.2	2.9	2.9	6.5	8.5	-7.8	-7.6	4.27	3.96
( 1201- 1400)	559.6	558.4	2.9	2.9	7.1	8.3	-7.2	-7.8	3.77	3.86
( 1401- 1600)	557.8	558.4	2.7	2.9	7.1	8.4	-6.9	-7.7	3.02	3.63
( 1601- 1800)	557.2	558.2	2.6	2.9	6.6	8.5	-6.2	-7.6	3.77	3.61
( 1801- 2000)	558.0	558.2	2.9	2.9	7.0	8.5	-5.5	-7.5	3.77	3.63
( 2001- 2200)	557.7	558.2	2.2	2.8	4.9	8.6	-5.3	-7.5	4.27	3.68
( 2201- 2400)	560.5	558.4	2.5	2.9	6.2	8.4	-5.7	-7.7	2.01	3.61
( 2401- 2600)	556.7	558.2	3.2	2.9	7.1	8.5	-6.0	-7.6	3.27	3.58
( 2601- 2800)	557.8	558.2	2.8	2.9	6.0	8.5	-7.1	-7.5	3.77	3.55
( 2801- 3000)	558.0	558.2	2.3	2.9	4.6	8.6	-5.5	-7.5	4.02	3.58

DATA KOSU= 3000 BLOCK= 200 INTERVAL.(MSEC)= 10 ISORT= 1 TH=\*\*\*\*\* TC= 0.00 SZ 0.0

Fig.2.10 温度ゆらぎ統計処理 (ゼロクロス) 結果(T/C 4-4, 30sec)

\*\* 5CH TIME= 0.01- 30.00 (SEC) \*\*

BLOCK	MEAN (S) (DEG)	MEAN (L) (DEG)	SIGMA (S)	SIGMA (L)	MAX (S) (DEG)	MAX (L) (DEG)	MIN (S) (DEG)	MIN (L) (DEG)	F1 (S) (HZ)	F1 (L) (HZ)
( 1- 200)	548.8	548.8	1.8	1.8	3.6	3.6	-4.1	-4.1	3.27	3.27
( 201- 400)	550.4	549.6	2.1	2.1	5.0	5.8	-4.5	-4.9	4.02	4.14
( 401- 600)	548.0	549.1	1.6	2.1	3.0	6.4	-2.7	-4.4	5.53	3.09
( 601- 800)	549.6	549.2	1.9	2.1	5.2	6.2	-4.9	-4.5	6.03	3.32
( 801- 1000)	548.9	549.1	2.2	2.1	6.5	6.3	-4.2	-4.4	5.03	3.70
( 1001- 1200)	549.6	549.2	2.0	2.1	5.2	6.2	-4.9	-4.5	3.27	3.75
( 1201- 1400)	550.4	549.4	2.3	2.2	5.3	6.3	-5.7	-4.7	3.52	3.57
( 1401- 1600)	549.6	549.4	2.1	2.2	4.7	6.3	-3.7	-4.7	3.77	3.53
( 1601- 1800)	548.7	549.3	2.0	2.2	5.0	6.4	-3.4	-4.6	3.02	3.47
( 1801- 2000)	549.5	549.3	2.1	2.1	6.0	6.4	-4.8	-4.6	3.02	3.55
( 2001- 2200)	548.7	549.3	2.0	2.1	5.5	6.4	-5.2	-5.8	4.77	3.62
( 2201- 2400)	549.9	549.3	1.7	2.1	4.3	6.4	-4.0	-5.8	4.77	3.58
( 2401- 2600)	548.6	549.3	3.0	2.2	6.8	6.4	-5.7	-6.4	2.76	3.52
( 2601- 2800)	549.1	549.3	2.0	2.2	5.1	6.5	-5.6	-6.4	3.77	3.54
( 2801- 3000)	548.6	549.2	1.4	2.2	3.8	6.5	-2.7	-6.3	5.78	3.67

DATA KOSU= 3000 BLOCK= 200 INTERVAL.(MSEC)= 10 ISORT= 1 TH=\*\*\*\*\* TC= 0.00 SZ=0.0

Fig.2.11 温度ゆらぎ統計処理 (ゼロクロス) 結果 (T/C 4-5, 30sec)

\*\* 6CH TIME= 0.01- 30.00 (SEC) \*\*

BLOCK	MEAN(S) (DEG)	MEAN(L) (DEG)	SIGMA(S)	SIGMA(L)	MAX(S) (DEG)	MAX(L) (DEG)	MIN(S) (DEG)	MIN(L) (DEG)	F1(S) (HZ)	F1(L) (HZ)
( 1- 200)	543.8	543.8	1.9	1.9	5.7	5.7	-3.8	-3.8	3.27	3.27
( 201- 400)	544.3	544.0	1.7	1.8	4.0	5.4	-3.1	-4.1	3.02	3.63
( 401- 600)	544.0	544.0	1.3	1.7	1.9	5.5	-4.0	-4.1	5.03	4.09
( 601- 800)	544.3	544.1	2.0	1.7	5.2	5.4	-3.2	-4.1	2.76	4.01
( 801- 1000)	543.7	544.0	2.0	1.8	5.2	5.5	-3.8	-4.1	2.51	3.70
( 1001- 1200)	543.4	543.9	1.8	1.8	4.3	5.6	-3.4	-4.0	4.02	3.92
( 1201- 1400)	544.6	544.0	1.7	1.8	4.2	5.5	-3.5	-4.1	4.02	3.86
( 1401- 1600)	544.4	544.1	2.2	1.9	5.1	5.4	-4.5	-4.1	3.77	3.97
( 1601- 1800)	544.1	544.1	1.7	1.9	4.7	5.4	-4.2	-4.1	3.02	3.86
( 1801- 2000)	542.7	543.9	1.6	1.9	3.2	5.5	-3.4	-4.6	4.27	3.83
( 2001- 2200)	543.1	543.9	1.3	1.9	2.8	5.6	-3.2	-4.5	4.52	3.93
( 2201- 2400)	543.4	543.8	1.9	1.9	4.9	5.7	-3.4	-4.5	3.52	3.86
( 2401- 2600)	543.3	543.8	2.2	1.9	6.2	5.7	-3.3	-4.4	3.27	3.83
( 2601- 2800)	543.8	543.8	1.6	1.9	3.8	5.7	-3.9	-4.4	3.27	3.79
( 2801- 3000)	543.2	543.7	1.3	1.8	2.7	5.7	-2.1	-4.4	4.52	3.83

DATA KOSU= 3000 BLOCK= 200 INTERVAL.(MSEC)= 10 ISORT= 1 TH=\*\*\*\*\* TC= 0.00 SZ=0.0

Fig.2.12 温度ゆらぎ統計処理 (ゼロクロス) 結果(T/C 4-6, 30sec)

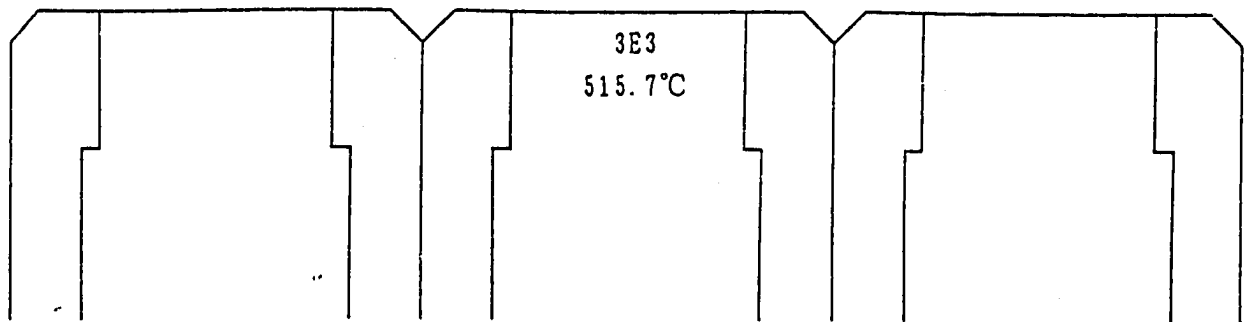
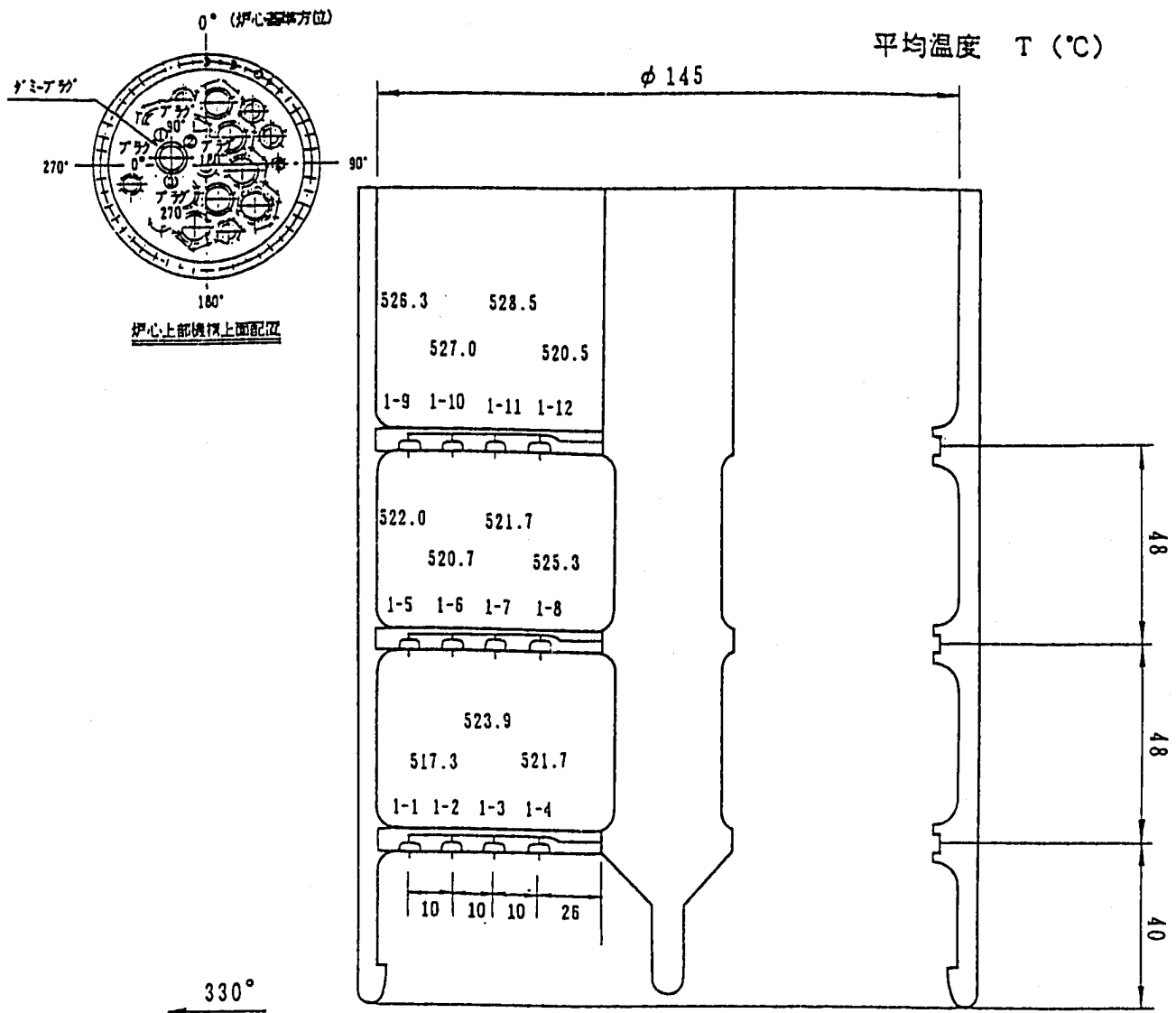
5011400 joyo thermal striping data(2)

\*\* TIME= 0.01- 30.00 (SEC) \*\*

CH	POSITION	MEAN (L) (DEG)	SIGMA (L) (DEG)	MAX (L) (DEG)	MIN (L) (DEG)	TAMP (DEG)	F1 (L) (HZ)	
1	<del>1-1</del>	<del>509.6</del>	<del>0.0</del>	<del>0.0</del>	<del>0.0</del>	<del>0.0</del>	<del>0.00</del>	failure
2	1-2	517.3	0.7	3.0	-2.4	5.4	3.07	
3	1-3	523.9	1.0	3.0	-2.4	5.4	3.53	
4	1-4	521.7	0.7	2.2	-2.0	4.2	3.68	
5	1-5	522.0	1.2	4.8	-2.9	7.7	3.03	
6	1-6	520.7	0.8	3.7	-2.2	6.0	3.37	
1	1-7	521.7	0.6	2.8	-2.0	4.8	4.67	
2	1-8	525.3	0.7	3.3	-2.9	6.3	4.13	
3	1-9	526.3	0.9	2.3	-2.4	4.8	3.23	
4	1-10	527.0	0.7	2.8	-2.5	5.4	3.83	
5	1-11	528.5	0.9	3.1	-1.7	4.8	3.90	
6	1-12	520.5	0.6	4.0	-2.9	6.8	3.93	
1	2-1	523.0	0.7	1.5	-0.9	2.4	2.08	
2	2-2	531.3	0.5	2.1	-0.9	3.0	3.68	
3	2-3	520.0	0.5	0.9	-0.9	1.8	3.28	
4	3-1	531.0	0.7	3.0	-2.3	5.4	4.63	
5	3-2	530.9	0.7	4.9	-2.2	7.1	4.68	
6	3-3	527.5	0.8	2.3	-1.9	4.2	3.98	
1	4-1	529.2	0.9	2.5	-2.3	4.8	4.47	
2	4-2	530.8	0.8	5.6	-2.2	7.7	6.22	
3	4-3	529.2	1.0	2.7	-3.5	6.3	4.23	
4	4-4	558.2	2.9	8.6	-7.5	16.1	3.58	
5	4-5	549.2	2.2	6.5	-6.3	12.8	3.67	
6	4-6	543.7	1.8	5.7	-4.4	10.1	3.83	

(DATA 1/14)

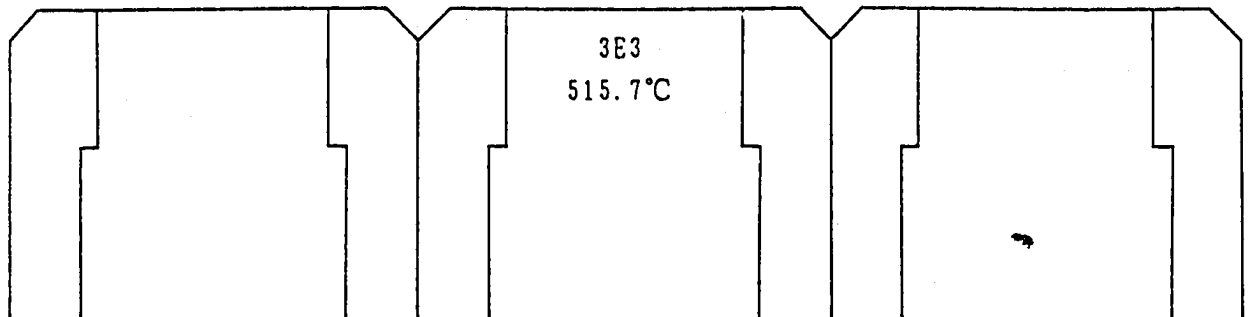
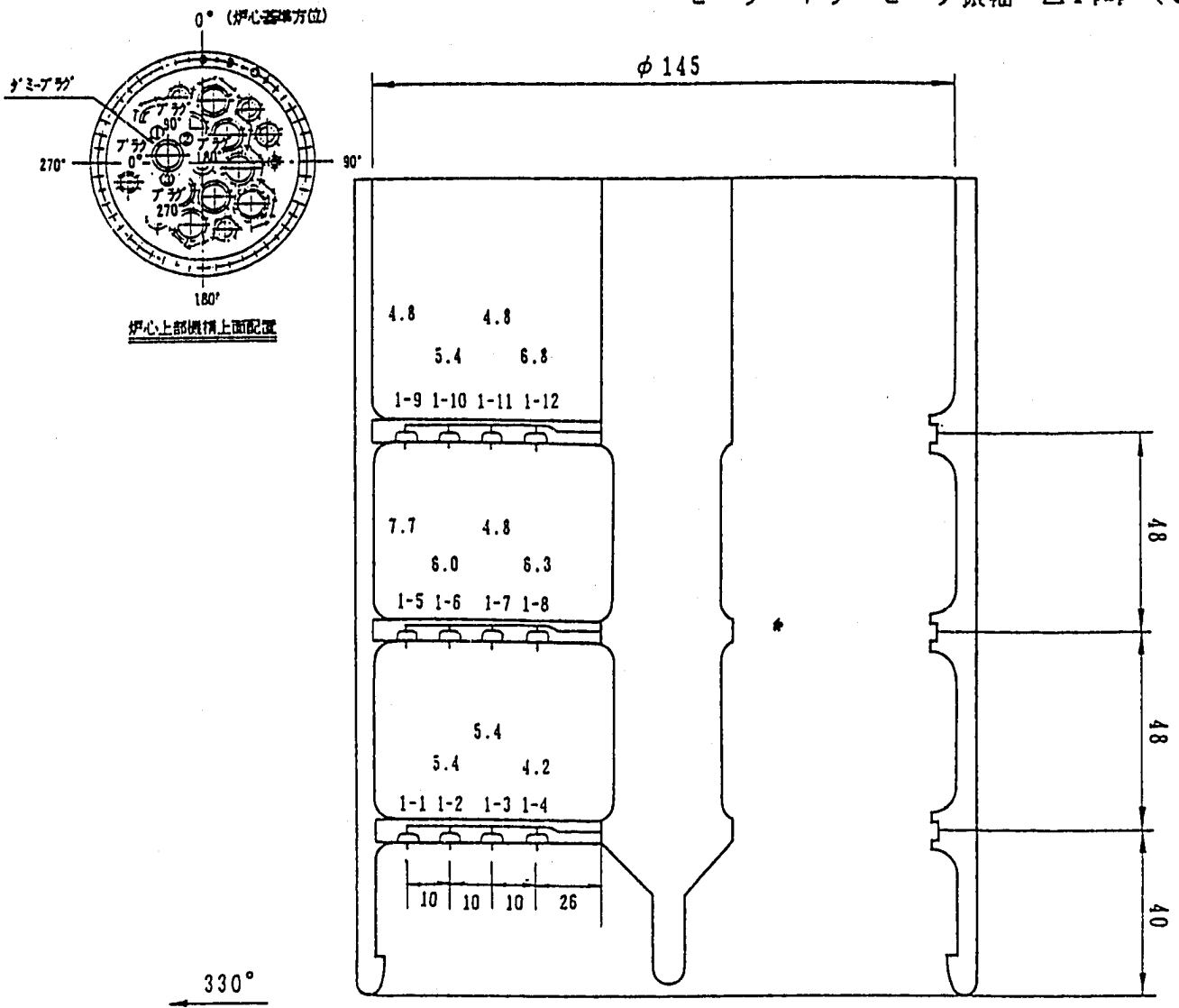
Fig.2.13 温度ゆらぎ統計処理 (ゼロクロス) 結果一覧表



(DATA 1/14)

Fig.2.14 平均温度分布特性 (炉心 330° 方向)

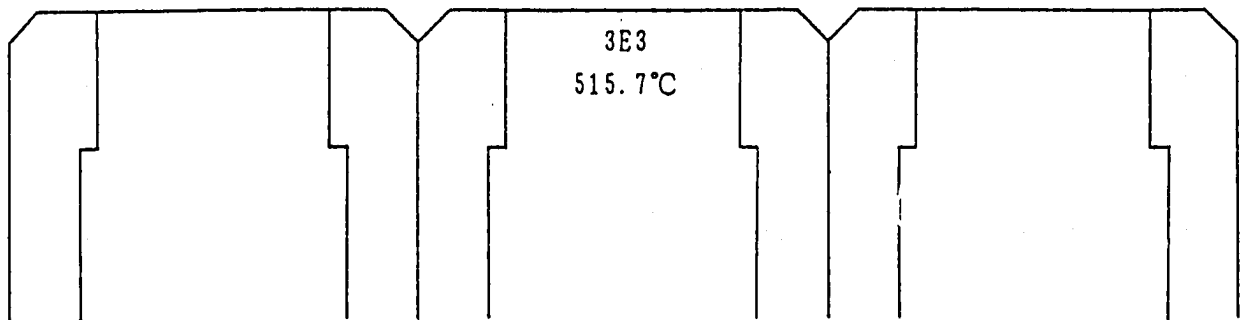
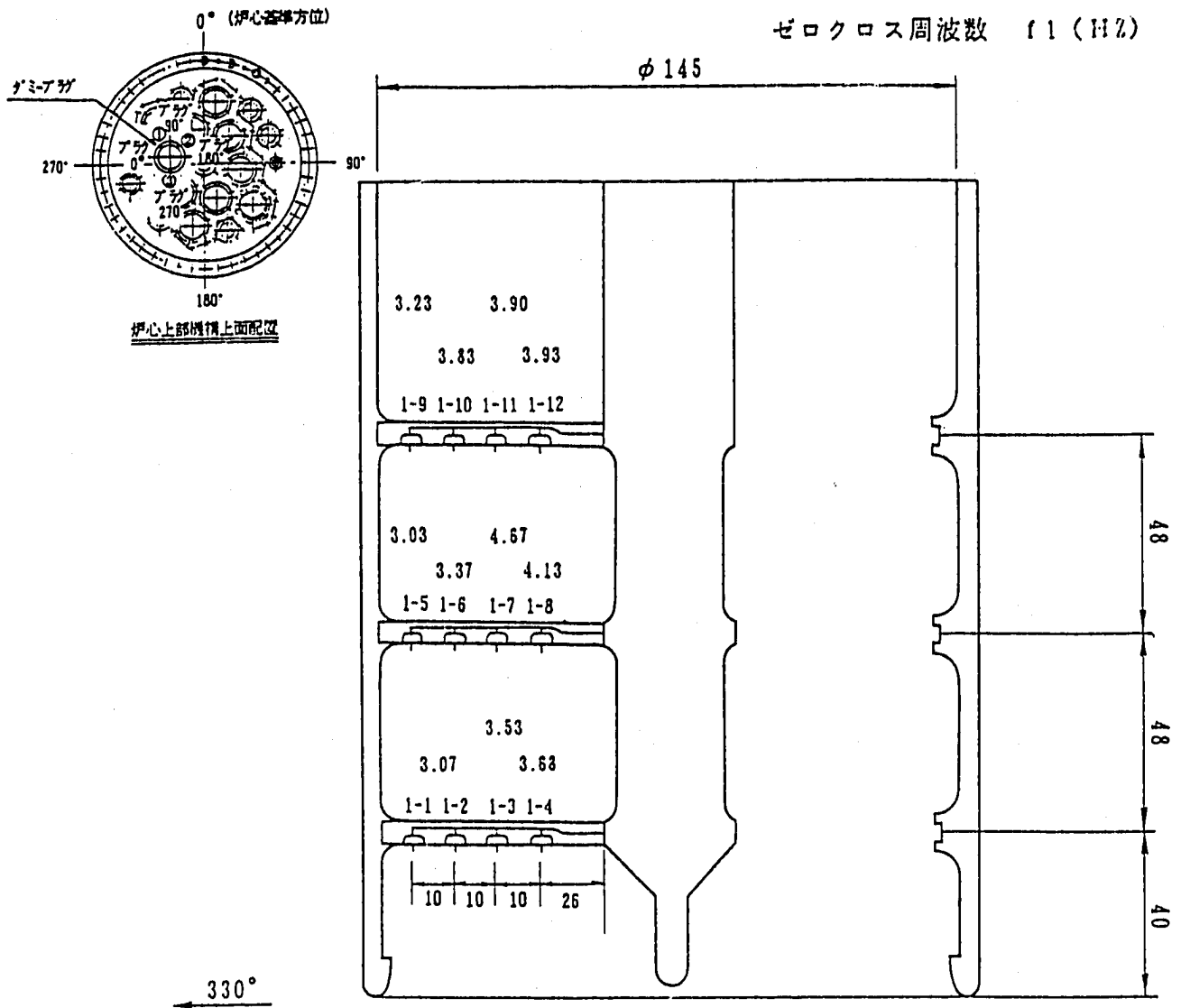
ピーク・トゥ・ピーク振幅  $\Delta T_{P-P}$  (°C)



(DATA 1/14)

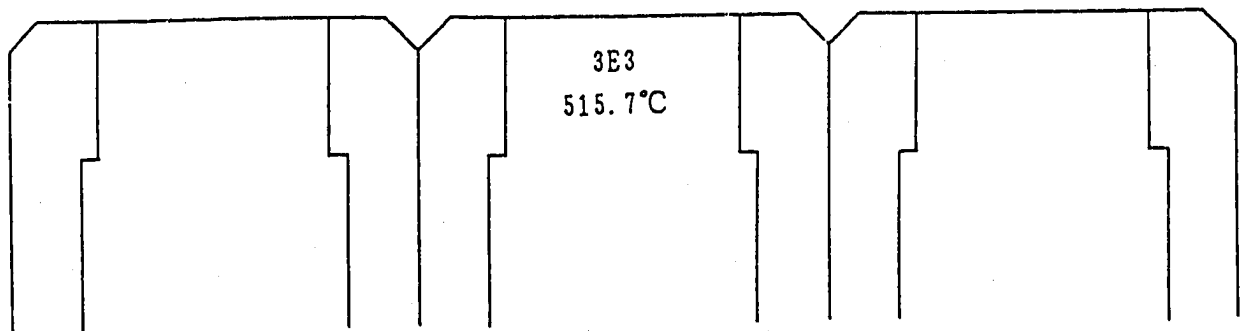
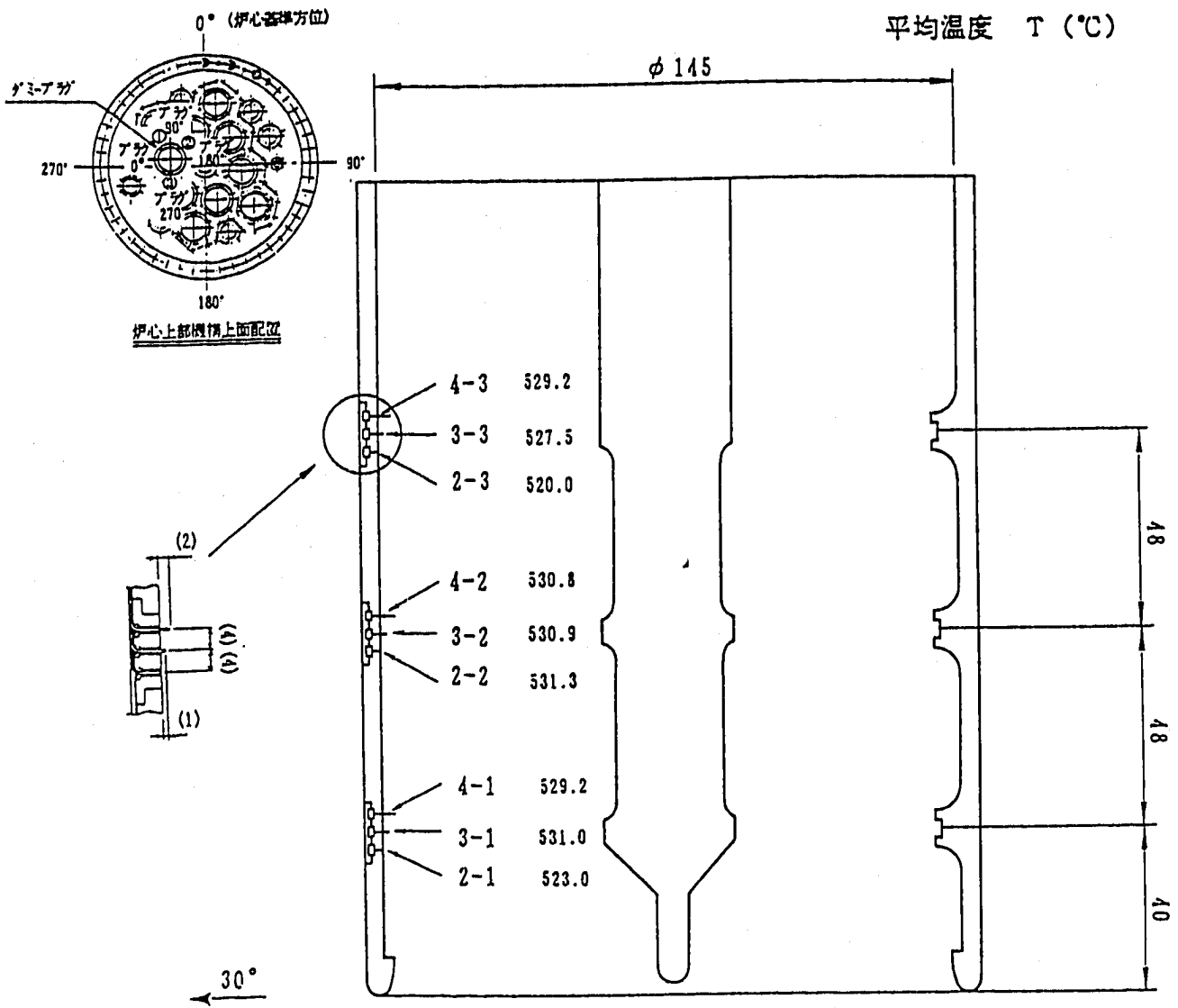
Fig.2.15 温度ゆらぎ振幅特性 (炉心 330° 方向)





(DATA 1/14)

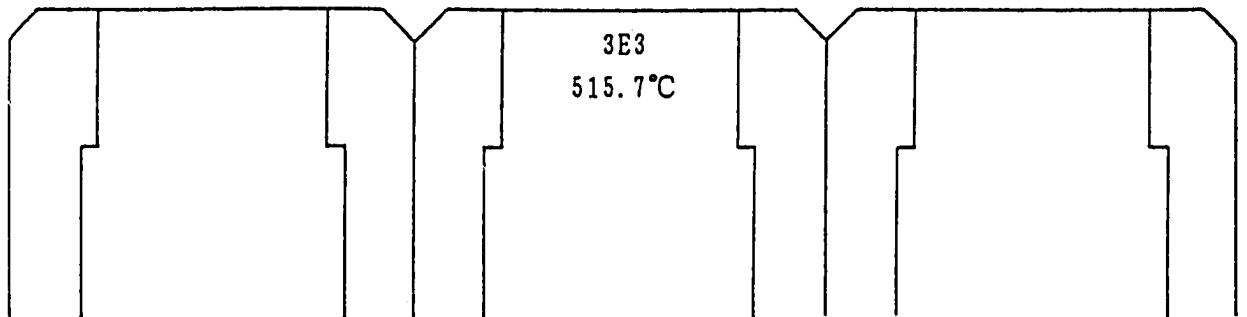
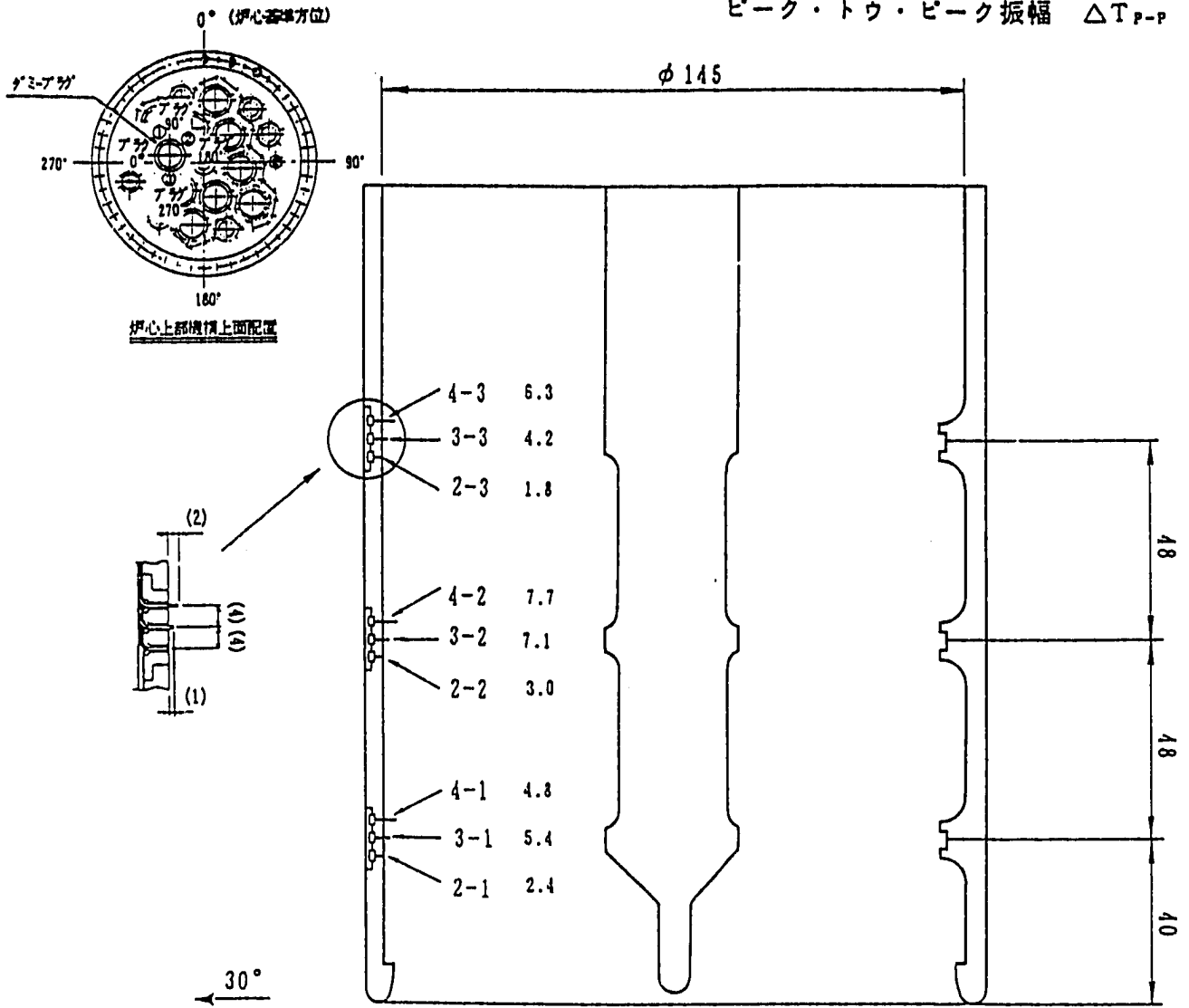
Fig.2.16 温度ゆらぎ周波数特性 (炉心 330° 方向)



(DATA 1/14)

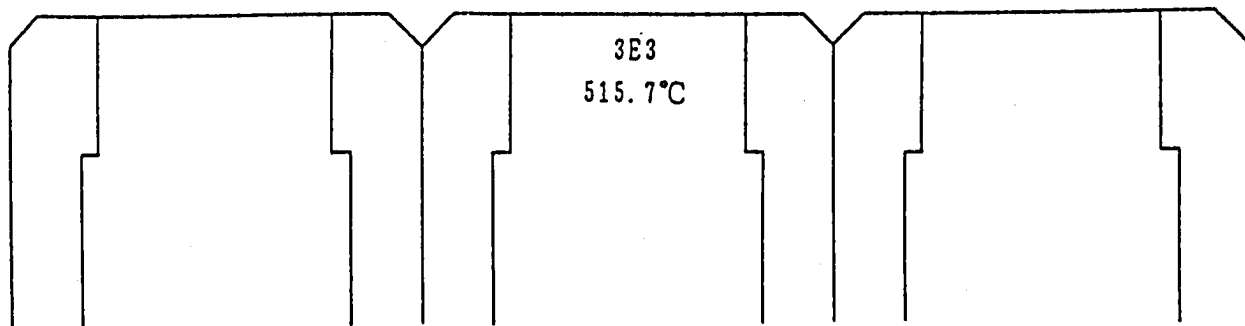
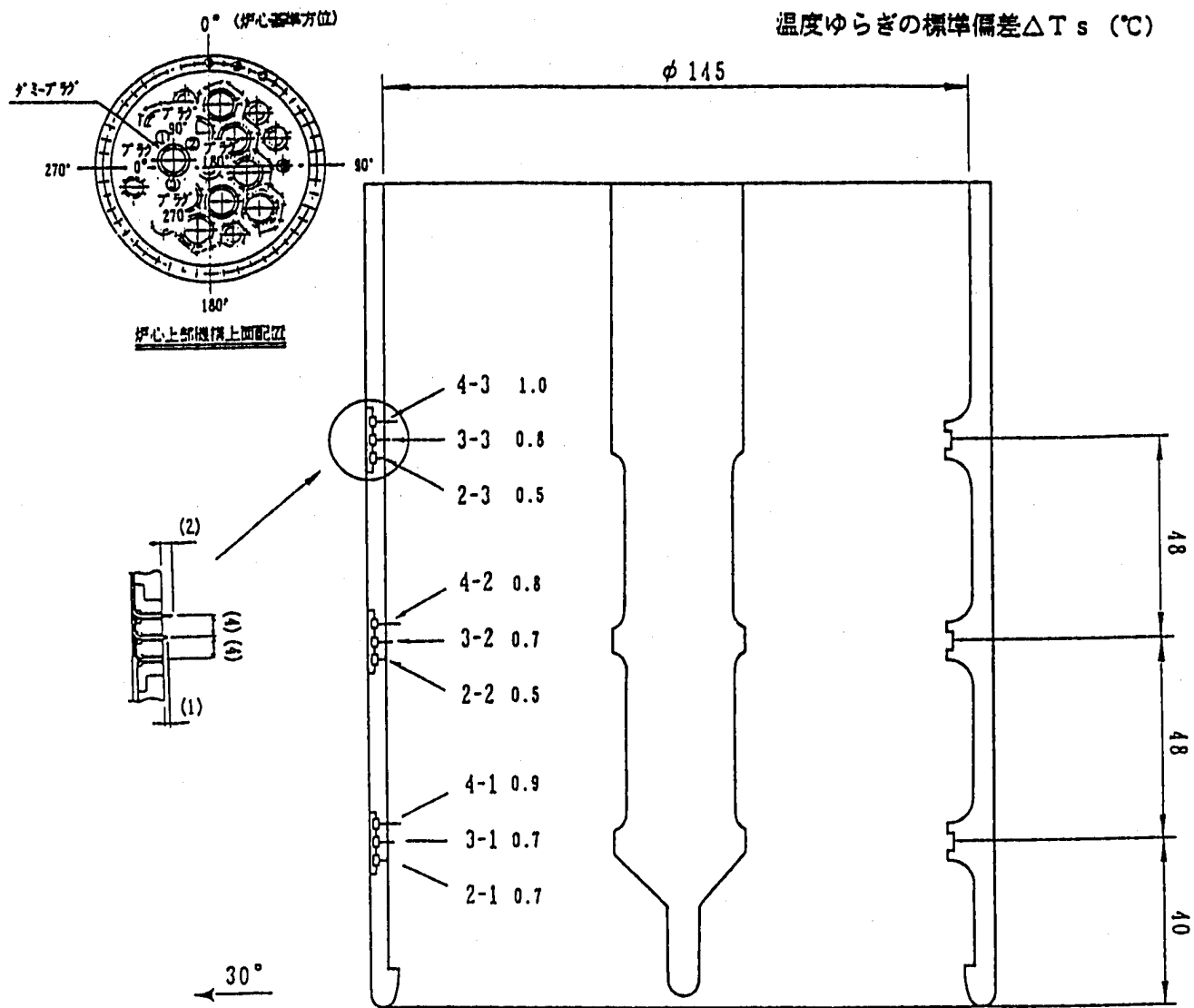
Fig.2.17 平均温度分布特性 (炉心 30° 方向)

ピーク・トゥ・ピーク振幅  $\Delta T_{P-P}$  (°C)



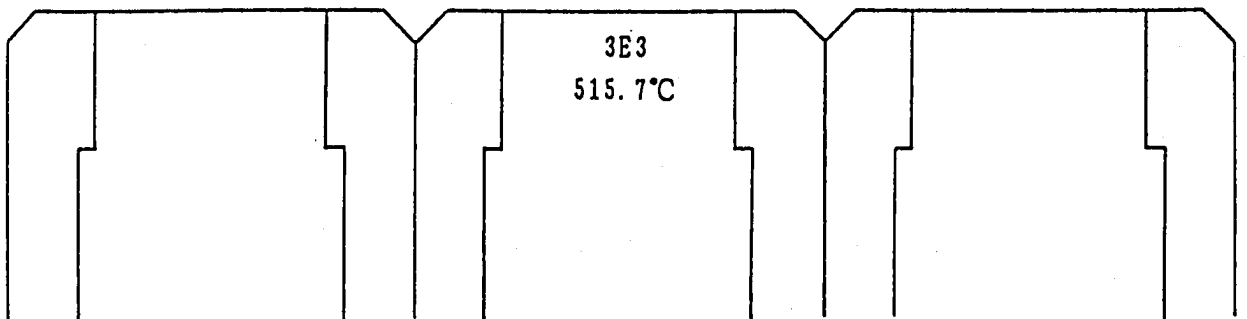
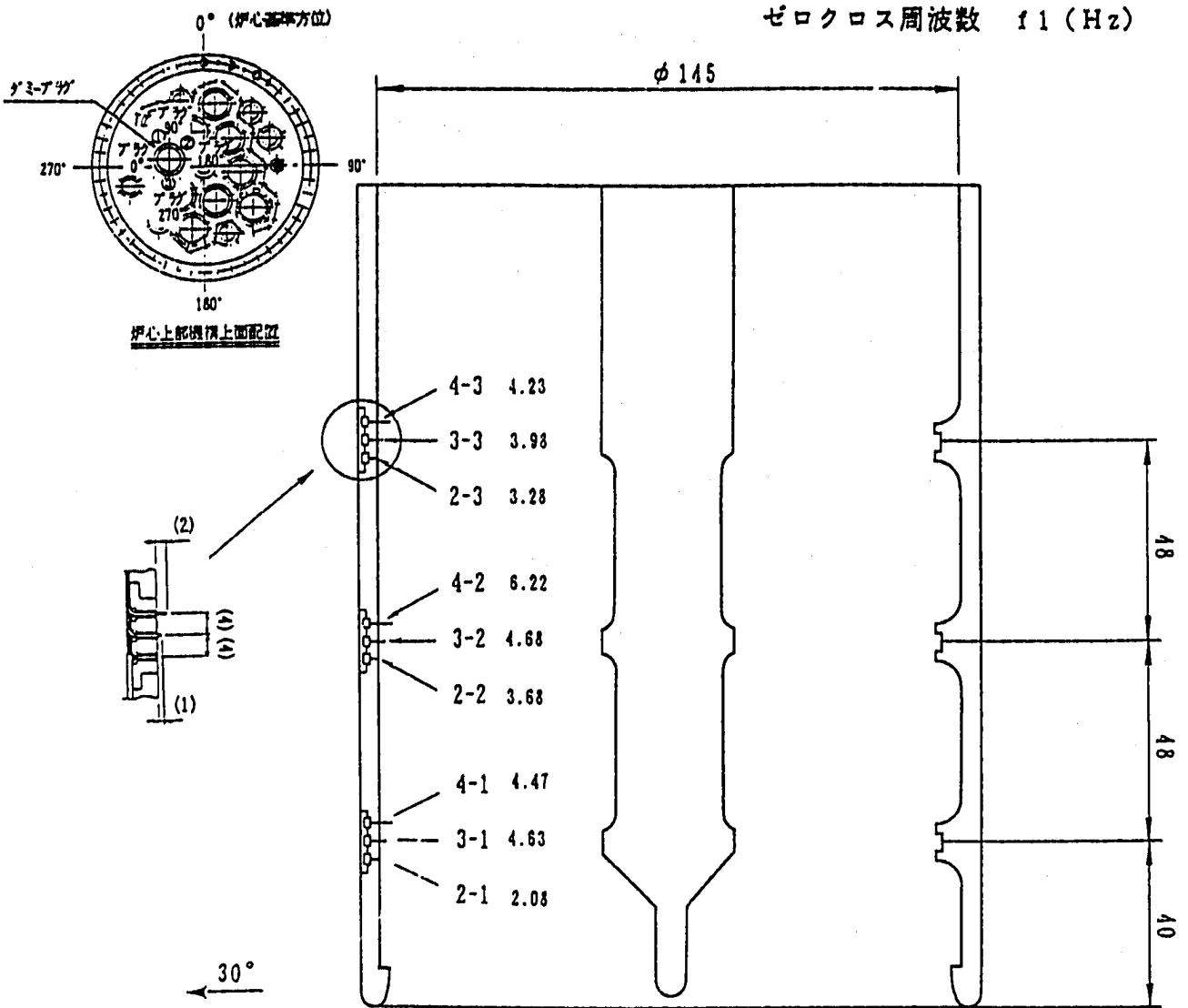
(DATA 1/14)

Fig.2.18 温度ゆらぎ振幅特性 (炉心 30° 方向)



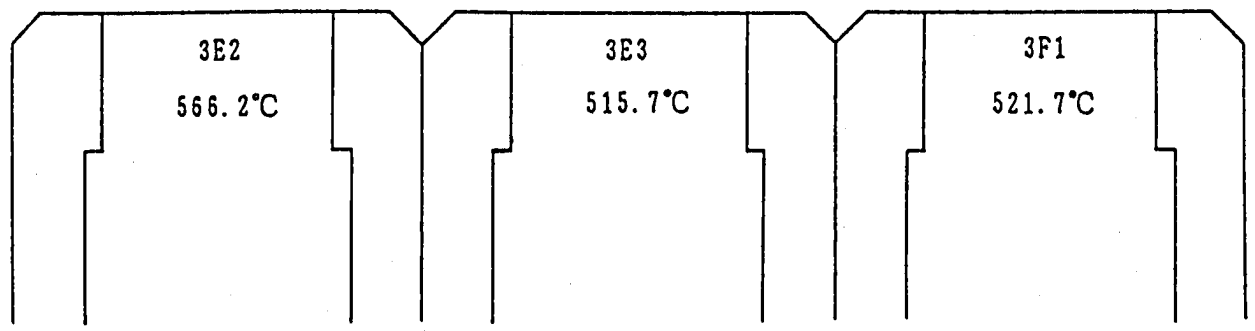
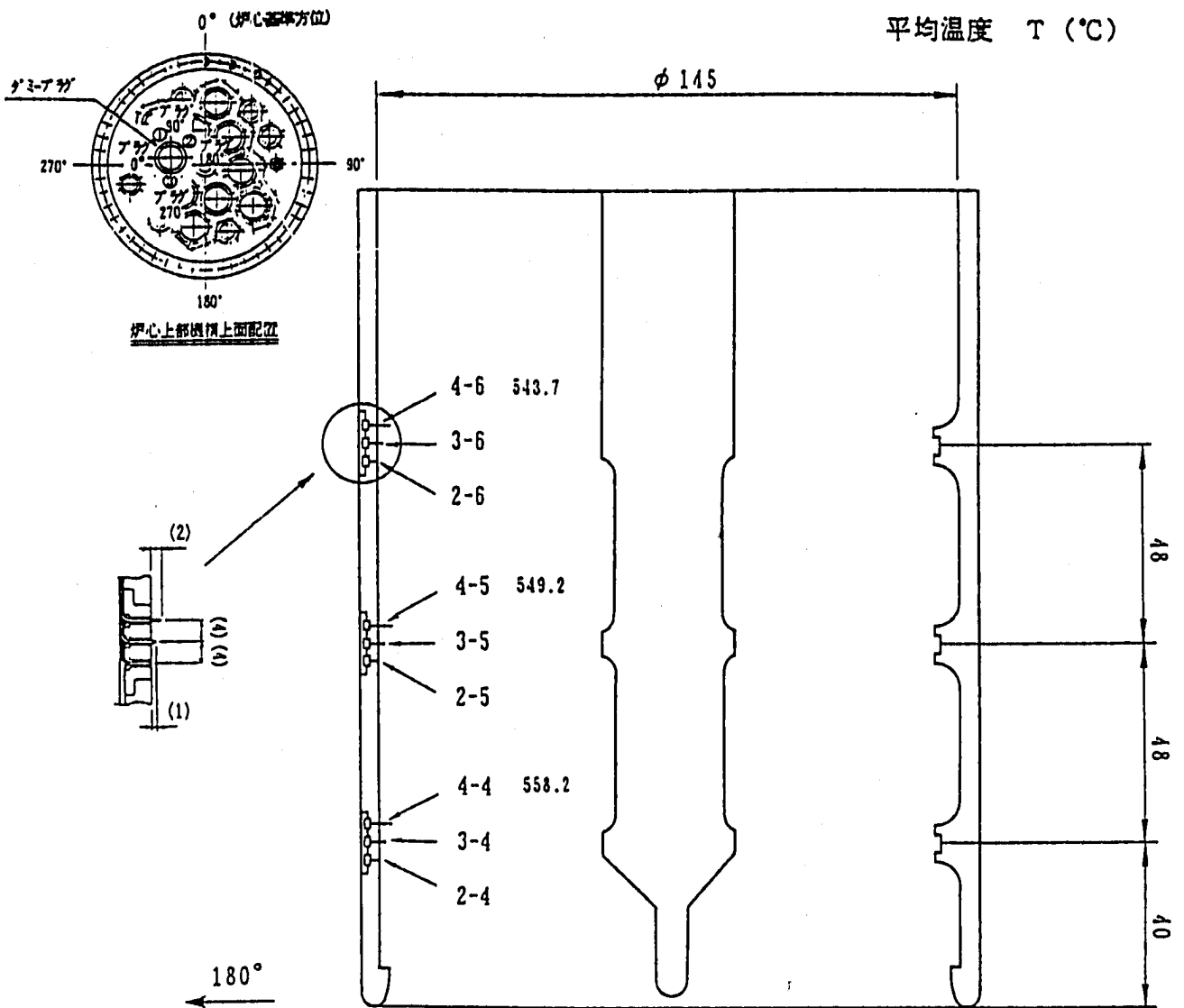
(DATA 1/14)

Fig.2.19 温度ゆらぎ振幅特性 (炉心 30° 方向) 標準偏差



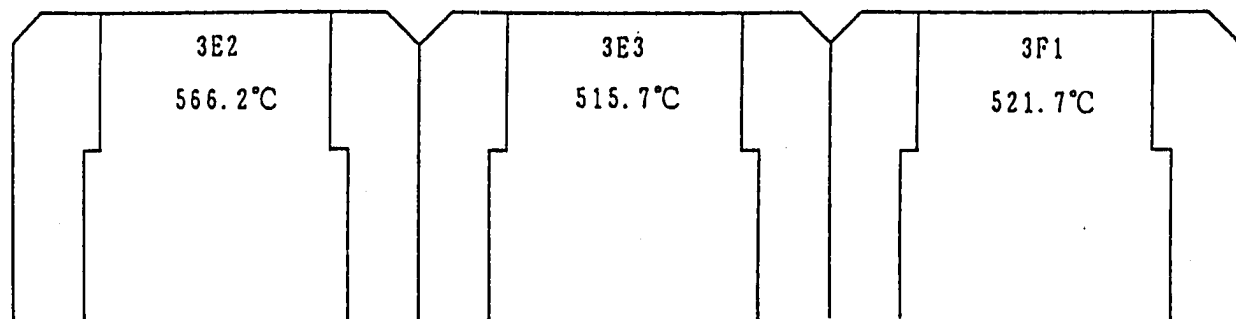
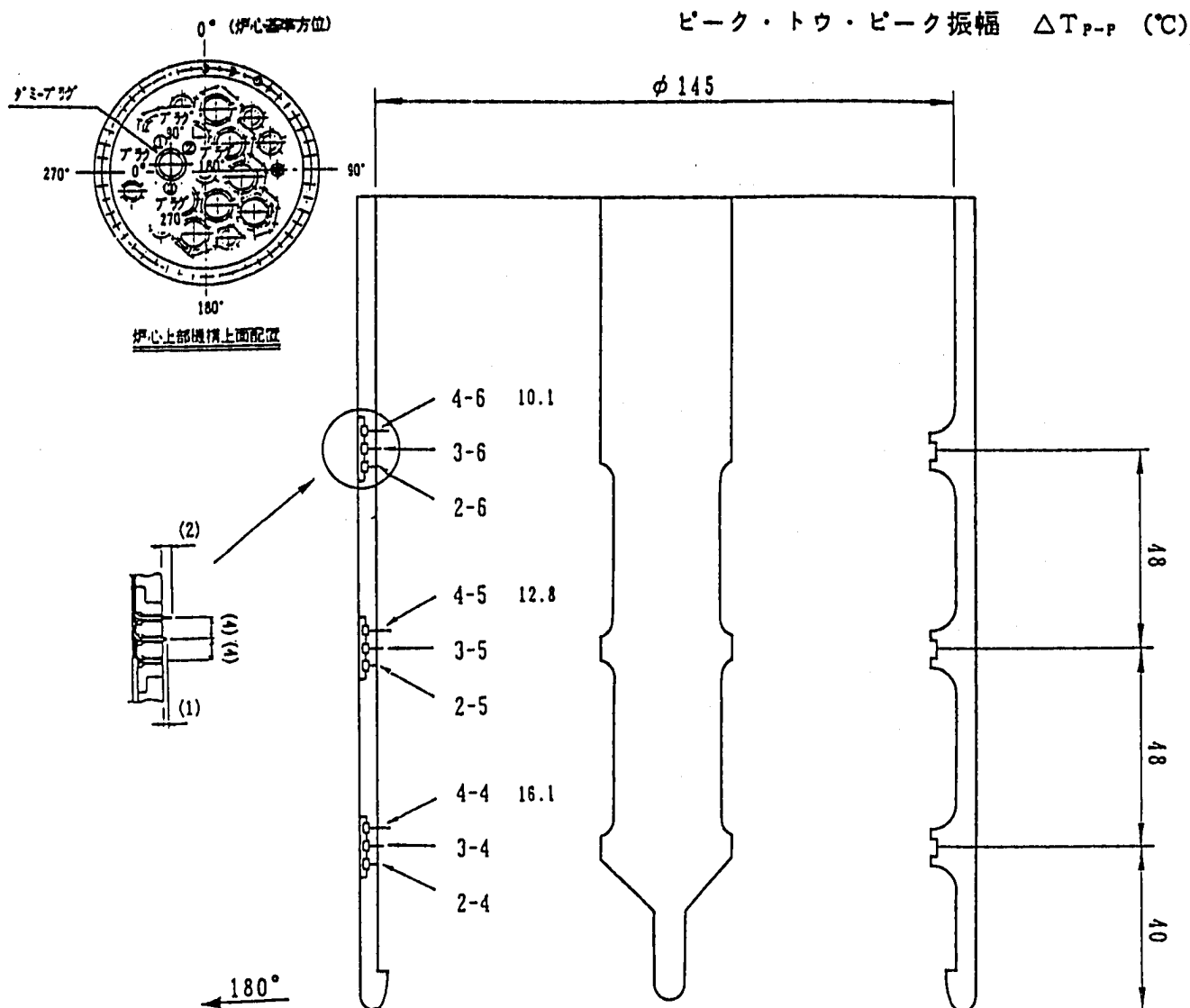
(DATA 1/14)

Fig.2.20 温度ゆらぎ周波数特性 (炉心 30° 方向)



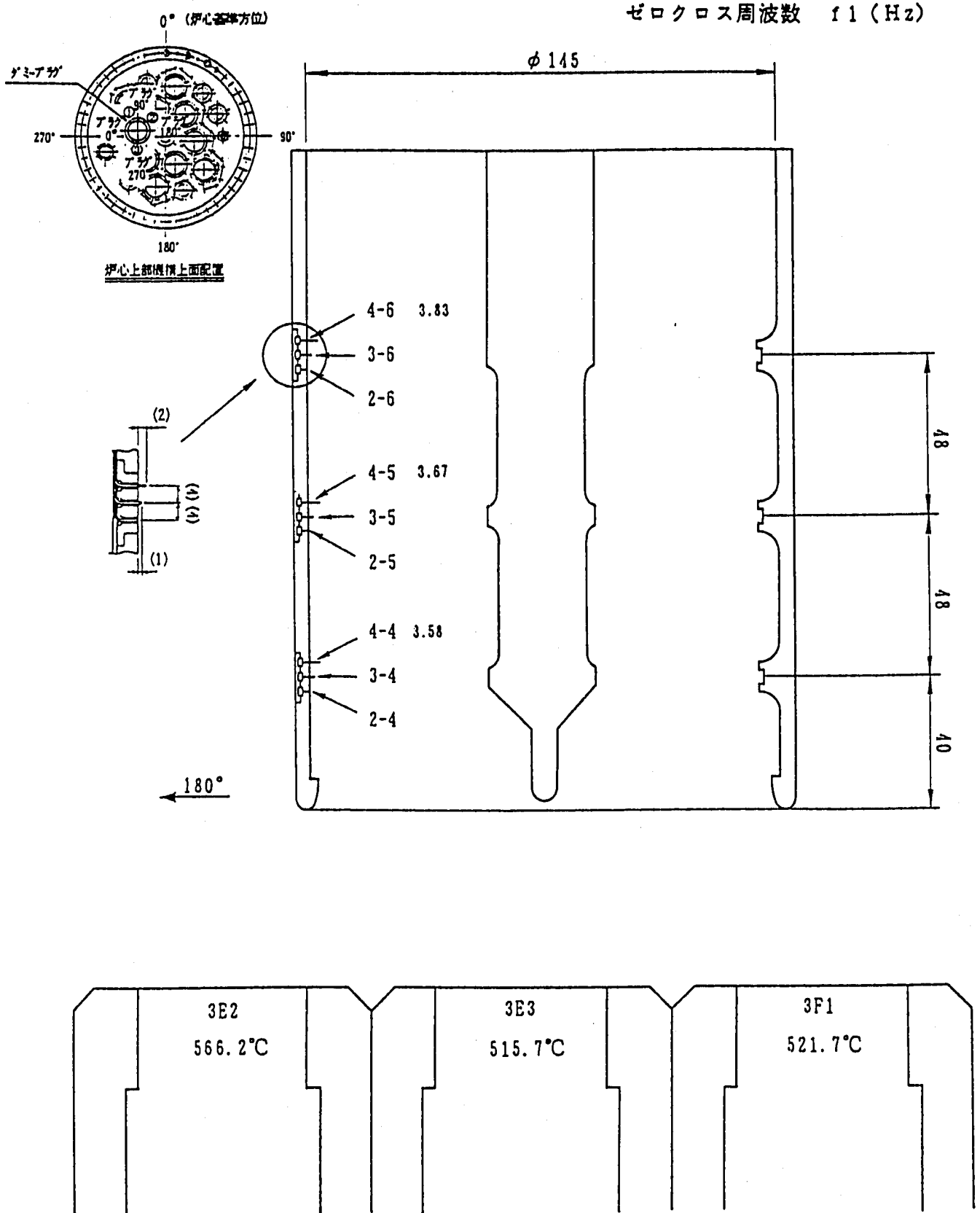
(DATA 1/14)

Fig.2.21 平均温度分布特性 (炉心 180° 方向)



(DATA 1/14)

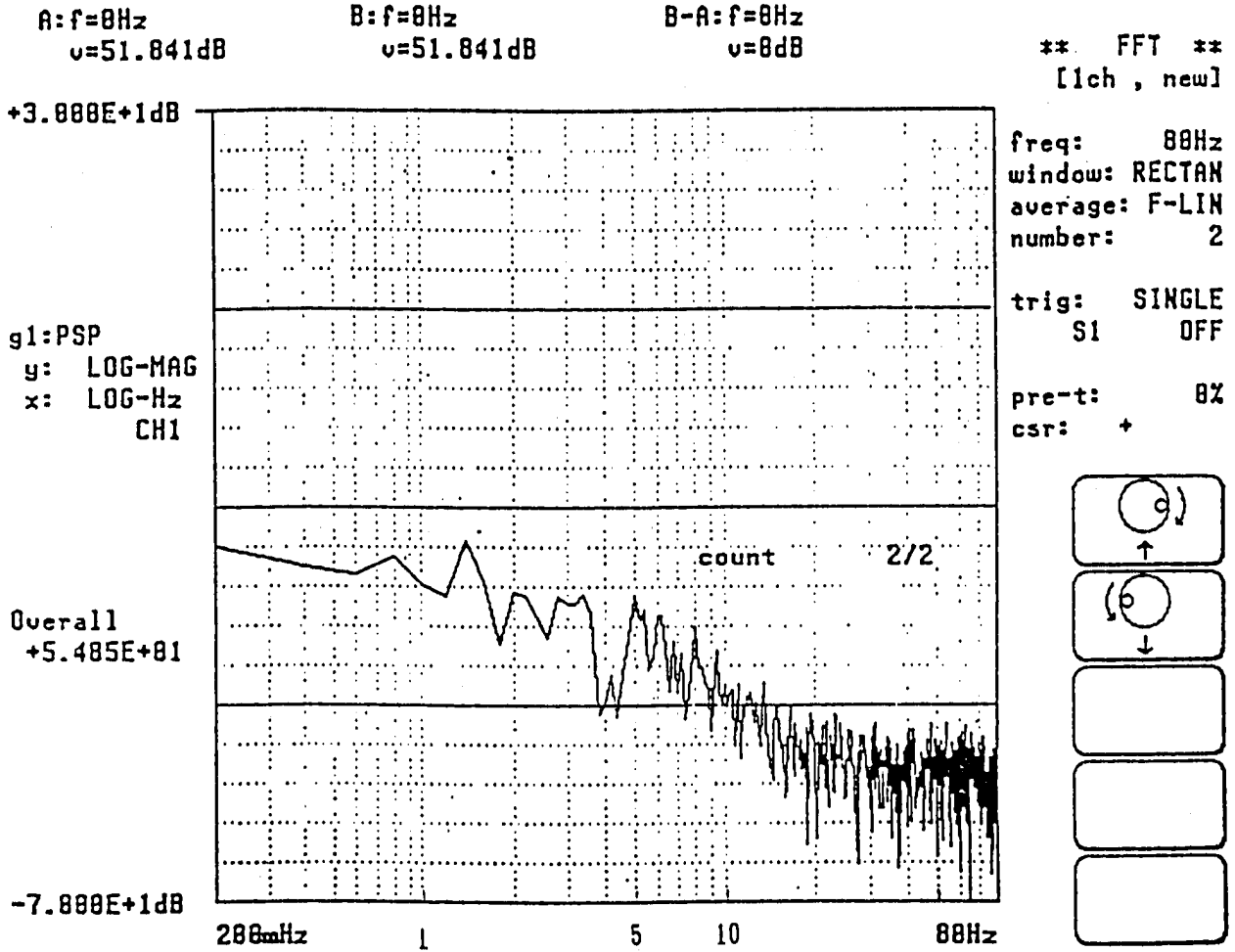
Fig.2.22 温度ゆらぎ振幅特性 (炉心 180° 方向)



(DATA 1/14)

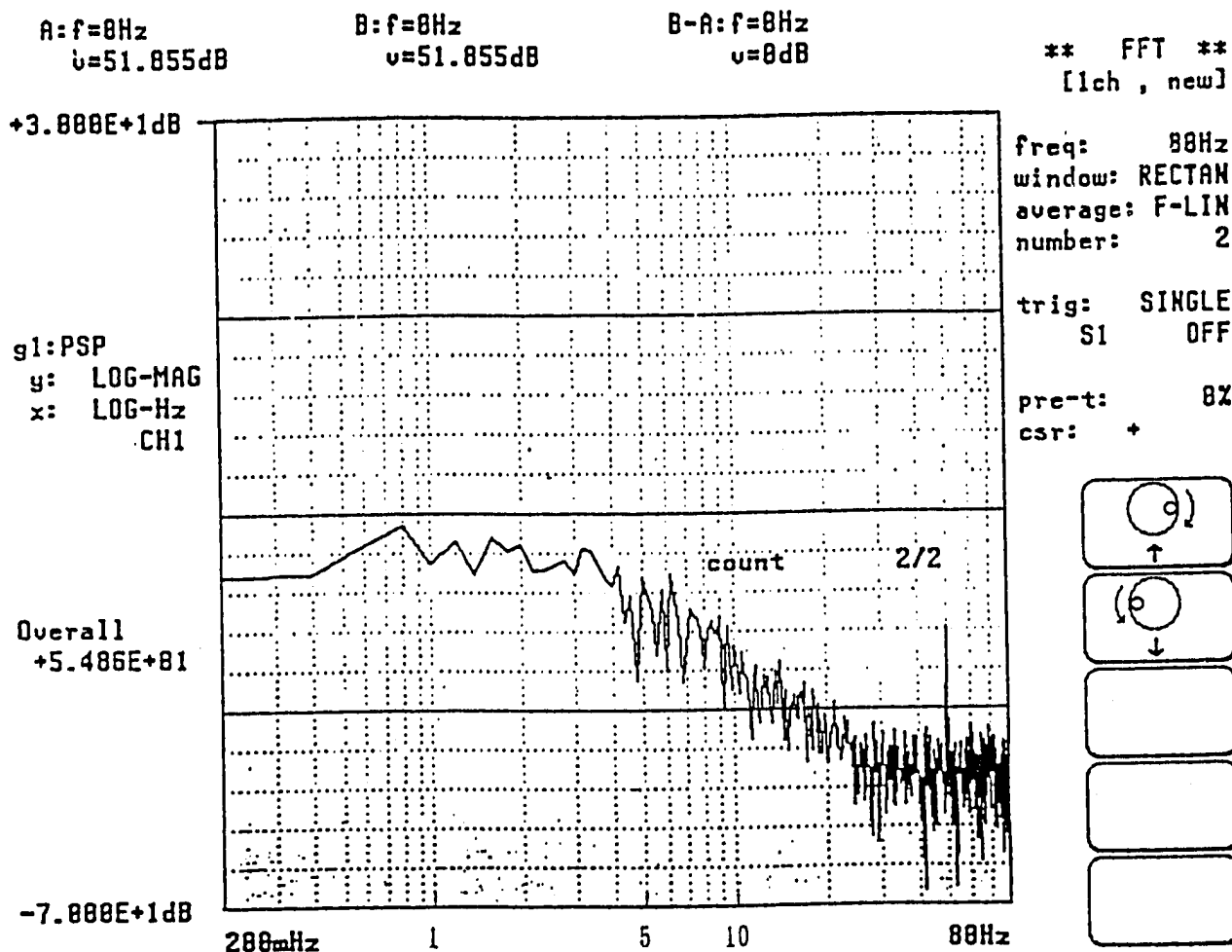
Fig.2.23 温度ゆらぎ周波数特性 (炉心 180° 方向)





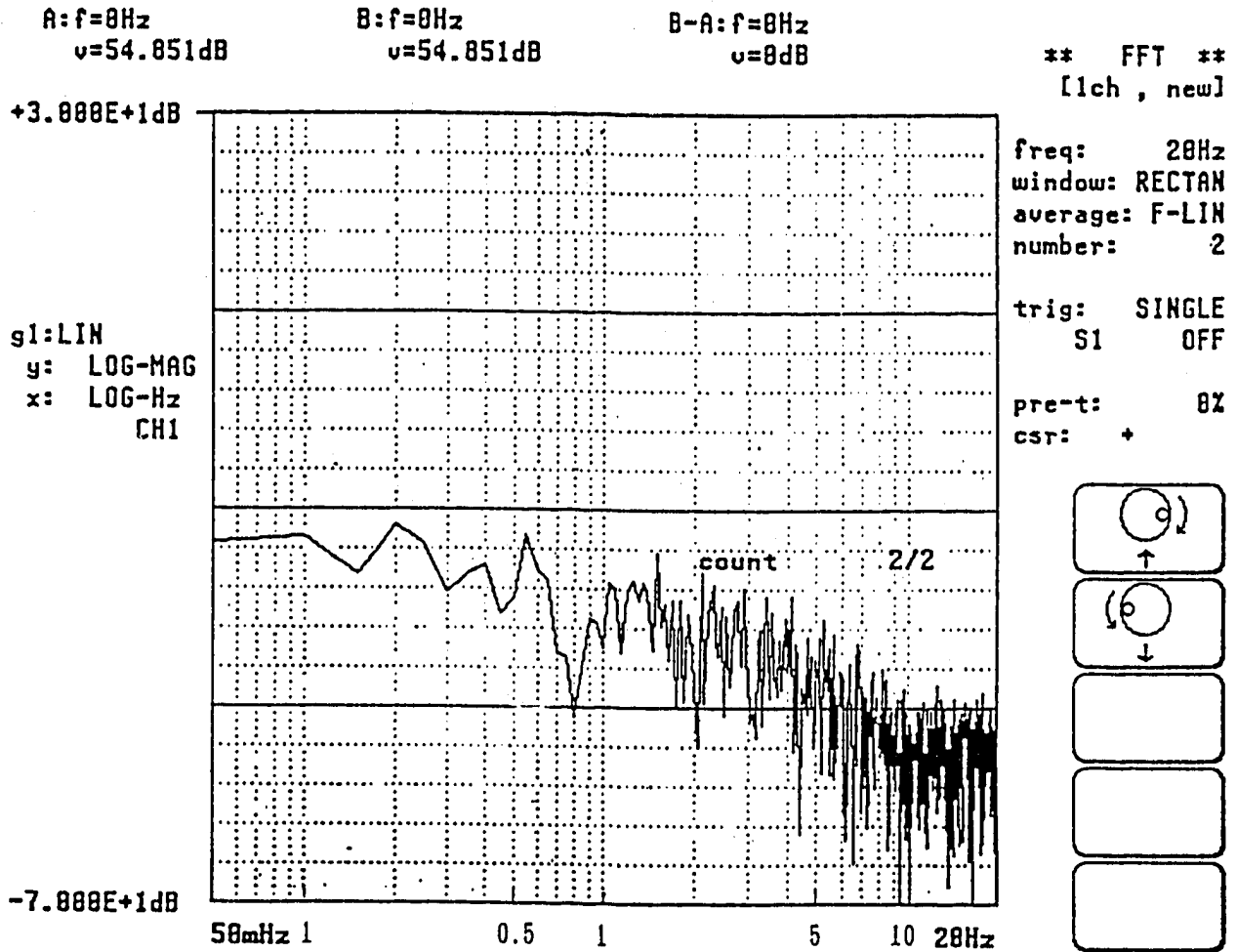
0.2~80Hzレンジ  
10Hz L.P.F使用

Fig.2.24 温度ゆらぎ周波数分析結果 (T/C 4-4)



0.2~80Hzレンジ  
L.P.Fを使用しない場合

Fig.2.25 温度ゆらぎ周波数分析結果 (T/C 4-4)



0.05~20Hzレンジ  
10Hz L.P.F使用

Fig.2.26 温度ゆらぎ周波数分析結果 (T/C 4-4)

### 第3章 単一集合体出口部熱流動解析

#### 3.1 目的

本章で述べる熱流動解析の目的は、次章で行うサーマル・ストライピング解析の入口境界条件を求めることにある。高速実験炉「常陽」の燃料集合体は、Fig. 3.1 に示す様に、燃料ピン束、エントランスノズル、ラッパ管、ハンドリングヘッド等から構成される。出力運転時には、燃料集合体内半径方向の発熱分布と流速分布(周辺流れ効果)によって、燃料ピン束上端部で上に凸の冷却材温度分布が生じ、且つこの温度分布はハンドリングヘッド部下流位置(燃料集合体出口冷却材温度測定位置)まで保存されることが測定結果より明らかとなっている<sup>4)</sup>。従って、ハンドリングヘッド出口面を境界条件とするサーマル・ストライピング解析では、ハンドリングヘッド出口面における上記温度分布特性、軸方向流速成分の半径方向分布特性、乱流諸量(乱流運動エネルギー  $k$ 、乱流運動エネルギー散逸率  $\varepsilon$ 、レイノルズ応力  $-uu$ 、乱流熱流束  $-u\theta$ 、温度ゆらぎ強度  $\theta'^2$ )の半径方向分布特性等を的確に把握して、入口境界条件として与える必要がある。ただし、この解析結果の妥当性を裏付けるための測定値は、中心燃料集合体でのもの以外存在しないため、以下に示す手順によってその妥当性を担保することとする。

- (1) 第23定格運転サイクルにおける中心燃料集合体出口部熱流動特性の模擬性確認
- (2) 第23定格運転サイクルにおける周辺燃料集合体出口部熱流動特性の把握
- (3) 第24定格運転サイクルにおける周辺燃料集合体出口部熱流動特性の推定

(1)の項目は、高速実験炉「常陽」中心孔プラグ先端部に設置されている中心燃料集合体出口部での半径方向温度分布測定用熱電対の値(第23定格運転サイクル、1991年)を用い、今回の解析結果の妥当性を検証するものである。Fig. 3.2に、半径方向温度分布測定用プラグの構造および燃料集合体配列との関係を示す。合計4本の熱電対は、炉心上部機構下端の整流格子(中心孔プラグ上部案内管)内に位置し、1本は炉心中心燃料集合体中心軸上に、他3本はその中心軸より約29mm離れて120°対称に渦電流式温度流速計(もんじゅ設置用 Mk-IV型)と共に設置されている<sup>4)</sup>。ここでの解析結果と測定結果とを比較検討することにより、AQUAコードによるその模擬性が測定値を基に検証される。

(2)の項目は、単一燃料集合体内で半径方向に発熱勾配が有る場合の、燃料集合体出口部半径方向熱流動特性を確認するものである。解析では、(1)で用いたと同じAQUAコード解析モデルを使用し、第23定格運転サイクル期間中に得られた測定値(周辺燃料集合体中心軸上1点)と比較検討を行う。

(3)の項目は、上記(2)項目による実験値との比較検討を踏まえ、サーマル・ストライピング試験が開始される第24定格運転サイクルを対象として、燃料集合体出口部熱流動特性を推定するものである。ここで対象とする集合体は、測定リグが装荷される炉心アドレス(3E3)集合体(C型特殊燃料集合体)およびこの周囲の3燃料集合体(2F1, 3F1, 4E4)である。

### 3.2 集合体構造および解析条件

炉心燃料集合体およびC型特殊燃料集合体の構造をFig. 3.1およびFig. 3.3にそれぞれ示す。炉心燃料集合体は、前記の様に、燃料ピン束(5.5 $\phi$  O.D.の燃料ピン127本)、エントランスノズル、ラップ管、ハンドリングヘッド等から構成される。一方、C型特殊燃料集合体は、燃料ピン束(5.5 $\phi$  O.D.の燃料ピン91本)、エントランスノズル、内側および外側ラップ管、ハンドリングヘッド等から構成される二重ラップ管構造を有する。ここで使用する両燃料集合体の解析モデルは、Fig. 3.4に示す円筒2次元r-zモデルである。解析範囲は、両者共、燃料ピン束上端位置から整流格子上端位置までである。以下に、主要解析条件を列記する。

炉心燃料集合体解析	C型特殊燃料集合体解析
座 標 系：r- $\theta$ , 2次元円筒座標	同左
メッシュ分割：16i x 50k	16i x 73k
総メッシュ数：737セル	1105セル
時間積分法：修正ICE法 <sup>5)</sup>	同左
対流項差分法：運動量式.. QUICK法 <sup>5)</sup>	同左
エネルギー式.. QUICK-FRAM法 <sup>5)</sup>	同左
乱流量式.. 1次風上差分法 <sup>5)</sup>	同左
乱流モデル：応力代数式モデル <sup>6)</sup>	同左
数値計算安定化：ファジィ適応制御手法 <sup>7)</sup>	同左

なお、燃料ピン束上端位置における境界条件(平均温度および軸方向流速成分の半径方向分布)は、文献8)記載の値を用いる。

### 3.3 解析結果および検討

#### 3.3.1 第23定格運転サイクルでの集合体出口部熱流動特性の模擬性

[炉心アドレス(000)集合体]

Fig. 3.5に流速ベクトル図および等温線図を示す。等温線図より分かる様に、燃料ピン

束上端位置に境界条件として与えた半径方向温度分布が、ハンドリングヘッド上端位置においても解消していない。Fig. 3. 6 に、温度測定位置 (ハンドリングヘッド上端面より、55 mm 上方、Fig. 3. 2 参照) における半径方向温度分布を示す。図中、○印が測定結果、×印が上記解析条件による解析結果、+印が乱流モデルを使用しない条件での解析結果(参考用)である。結果より分かる様に、乱流モデルを使用しない条件では、乱流粘性による温度拡散効果が考慮されないため、乱流モデルを使用した場合の結果に比べて半径方向温度分布は急峻である。一方、乱流モデルを用いた場合の解析結果は、燃料集合体中心軸上の温度を良好に模擬できている。ただし、周辺熱電対位置での温度に対しては、解析結果が若干高めの値を与える。これは、ハンドリングヘッド上端面と整流格子下端面とのギャップ(解析上は出口境界指定)から、クロスフロー効果によって解析体系内に初期温度流体(545°C)が流入(逆流)したことによるものと考えられる(Fig. 3. 5 参照)。

ハンドリングヘッド上端面における半径方向温度分布を Fig. 3. 7 に示す。また、同位置における軸方向流速成分の半径方向分布を Fig. 3. 8 に示す。軸方向流速成分の半径方向分布において、最大流速位置が燃料集合体中心軸から外れたものとなっているが、これは燃料ピン東部における周辺流れ効果(燃料集合体内圧力損失分布により、燃料ピン東内三角サブチャンネル部に比べ、ラッパ管隣接サブチャンネル部に相対的に多くの流体が流れる効果)によるものであると考えられる。Fig. 3. 9 に、ハンドリングヘッド上端面における乱流運動エネルギーおよびその散逸率の半径方向分布を示す。Fig. 3. 8 に示した同位置での軸方向流速成分の半径方向分布から推測される通り、流速勾配が大きな外側領域(ラッパ管側)で乱流運動エネルギーの生成が支配的である。また、これに付随して、乱流運動エネルギー散逸率も同領域で大きな値を示している。なお、今回の計算では、乱流モデルとして応力代数式モデルを使用したことから、乱流粘性係数および乱流熱伝導度は計算過程で陽には用いられないが、以下の関係から計算された乱流粘性係数および乱流熱伝導度の半径方向分布を、Fig. 3. 10 に示す。

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3. 1)$$

$$\lambda_t = \mu_t \frac{C_p}{Pr_t} \quad (3. 2)$$

ここで、 $C_\mu$  は経験定数(0.09)、 $\rho$  は密度、 $C_p$  は比熱、 $Pr_t$  は乱流プラントル数(0.9)である。図中の結果より、ラッパ管壁近傍で生成された乱流粘性係数および乱流熱伝導度が、燃料集合体中心軸方向に輸送されていることが理解できる。乱流2次相関量の半径方向分布として、Fig. 3. 11 および Fig. 3. 12 にレイノルズ応力成分を、Fig. 3. 13 に乱流熱流束成

分を、また Fig. 3. 14 に温度ゆらぎ強度 ( $= (\theta')^2)^{0.5}$ ) を示す。温度ゆらぎ強度分布に関する結果より分かる通り、ハンドリングヘッド上端面において最大 5°C 程度の温度ゆらぎ強度が計算されている。この半径方向分布は、冷却材がハンドリングヘッドを流出した後に、燃料集合体間での冷却材干渉によって生成する温度ゆらぎ強度 (真の意味でのサーマル・ストライピング現象) の空間分布に大きな影響を与えるものと推測される。

#### [炉心アドレス (3E2) 集合体]

温度測定位置での半径方向温度分布を Fig. 3. 15 に示す。図中、+印は高発熱断面 (炉心中心側) での結果、×印は低発熱断面 (炉容器側) での結果および○印は測定結果である。結果より分かる通り、半径方向に発熱分布を有する周辺燃料集合体についても、燃料集合体中心軸上 (実際には、制御棒上部案内管の存在により、熱電対は中心軸より約 10 mm ずれている) で測定された冷却材温度を解析結果が良好に再現している。Fig. 3. 16 - Fig. 3. 27 に、ハンドリングヘッド上端面における冷却材温度、軸方向流速、乱流運動エネルギー、乱流運動エネルギー散逸率、乱流粘性係数、乱流熱伝導度、レイノルズ応力成分、乱流熱流束成分および温度ゆらぎ強度の半径方向分布を示す。以上の半径方向分布は、炉心アドレス (000) でのものと比べ、集合体発熱量および集合体流量の違いにより、絶対値は小さなものとなっているが、分布形等については大きな違いは見られない。

以上より、二種類の燃料集合体についての解析結果は、ハンドリングヘッド上端面より 55 mm 上方で測定された冷却材平均温度を良好に再現したと判断できる。従って、ここで用いた AQUA コード解析モデルは、当該部を対象とした解析に十分な精度を持って使用することが可能であると共に、半径方向に発熱勾配が存在する様な周辺燃料集合体の解析に対しても同一解析モデルが適用可能であることが裏付けられた。

### 3. 3. 2 第 24 定格運転サイクルでの集合体出口部熱流動特性の予測

第 24 定格運転サイクル初期 (100 MW 到達時点) における温度ゆらぎ計測プラグリグ (炉心アドレス 3E3) 回りの燃料集合体熱流動特性 (MAGI コード出力) を以下に示す。

炉心アドレス	集合体発熱量 (MW)	集合体流量 (kg/s)	特記事項
2E2	1.89	8.503	炉心燃料
2F1	1.85	8.502	同上
3E2	1.70	7.672	同上
3F1	1.53	7.669	同上
4E3	1.38	6.975	同上
4E4	1.38	6.975	同上
3E3	0.69	2.999	C 型特殊燃料

### [炉心アドレス (2F1) 集合体]

Fig. 3. 28 にハンドリングヘッド上端面における半径方向温度分布を示す。図中、+印は高発熱断面 (炉心中心側) での結果、×印は低発熱断面 (炉容器側) での結果である。結果より分かる通り、高発熱断面での冷却材温度と低発熱断面での冷却材温度との間に、最大約 23 °C の差異が生じている。Fig. 3. 29 に軸方向流速成分の半径方向分布を示す。結果より、単一集合体内で半径方向に発熱分布が存在するものの、レイノルズ数  $Re$  が大きく乱流状態にあることから、流速分布には浮力による差異は発生していないことが分かる。Fig. 3. 30 - Fig. 3. 39 に、乱流諸量 (乱流運動エネルギー、乱流運動エネルギー散逸率、乱流粘性係数、乱流熱伝導度、レイノルズ応力、乱流熱流束および温度ゆらぎ強度) の半径方向分布を示す。結果より分かる通り、運動量に係わる乱流諸量 (乱流運動エネルギー、乱流運動エネルギー散逸率、乱流粘性係数およびレイノルズ応力) に関しては、高発熱断面での分布と低発熱断面での分布に大きな違いは発生していない。一方、エネルギー量に係わる乱流諸量 (乱流熱流束および温度ゆらぎ強度) については、高発熱断面での分布と低発熱断面での分布に差異が生じている。Fig. 3. 39 に示した温度ゆらぎ強度の半径方向分布より分かる通り、高発熱断面での温度ゆらぎ強度の絶対値に比べ、低発熱断面での値の方が大きなものとなっている。これは、Fig. 3. 28 に示した半径方向温度分布より分かる通り、低発熱断面での温度勾配が、高発熱断面での勾配よりも大きいことに起因する。

### [炉心アドレス (3F1) 集合体]

Fig. 3. 40 に半径方向温度分布を、またFig. 3. 41 に軸方向流速成分の半径方向分布を示す。両結果とも、(2F1) 集合体での傾向と同じである。Fig. 3. 42 - Fig. 3. 51 に、乱流諸量の半径方向分布を示す。同様に、各乱流量の半径方向分布は、(2F1) 集合体でのものと酷似した結果を示す。

### [炉心アドレス (4E4) 集合体]

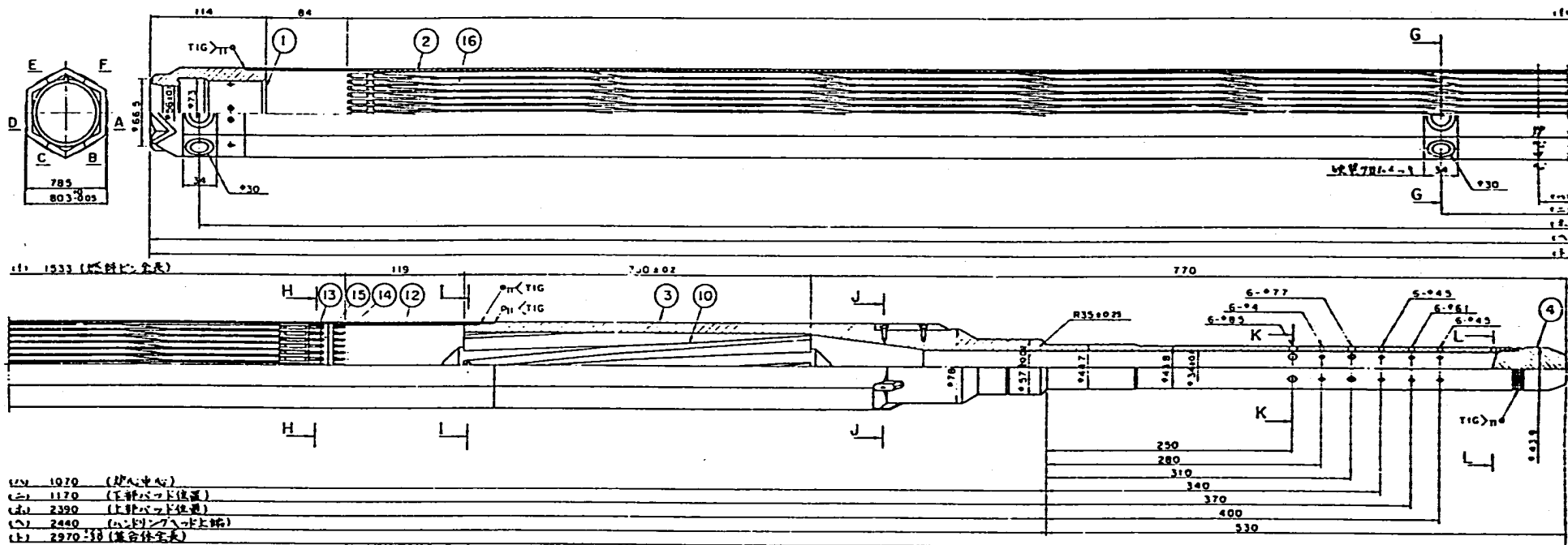
Fig. 3. 52 - Fig. 3. 63 に、上記集合体での結果と同じ順序で、各物理量のハンドリングヘッド上端面での半径方向分布を示す。

### [炉心アドレス (3E3) 集合体]

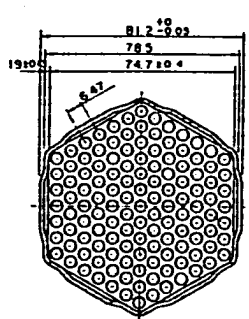
Fig. 3. 64 に流速ベクトル図および等温線図を示す。C型特殊燃料集合体では、内側ラップ管が存在することから、その上端回りの流速ベクトルは炉心燃料集合体でのそれと比べて異なるものの、その上部からハンドリングヘッド出口面までの領域については概ね同様な傾向を示す。Fig. 3. 65 にハンドリングヘッド上端面における半径方向温度分布を示す。当該分布は、集合体中心軸上で最大値を取り、その傾向は炉心燃料集合体でのものと



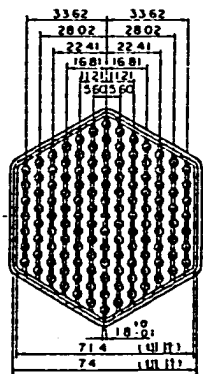
同様であるものの、半径方向温度差(集合体中心軸上-ハンドリングヘッド直近部)は極めて小さなものとなっている。例えば、第23サイクル定格運転時の炉心アドレス(000)での半径方向温度差が約18°Cであるのに対し、ここでのC型特殊燃料集合体でのそれは約4°Cである。これは、C型特殊燃料集合体が二重ラッパ管構造を採用していることに起因していると解釈できる。すなわち、内側ラッパ管内燃料ピン東部において、周辺流れ効果により冷却材温度が集合体中心軸部での温度に比べて降下するものの、内側ラッパ管と外側ラッパ管に挟まれた間隙間に冷却材流れがほとんど存在しないことによって、内側ラッパ管流出後のせん断応力が増加することにより、冷却材混合が活性化したためと考えられる。Fig. 3.66に軸方向流速成分の半径方向分布を、またFig. 3.67 - Fig. 3.72に乱流諸量の半径方向分布を示す。



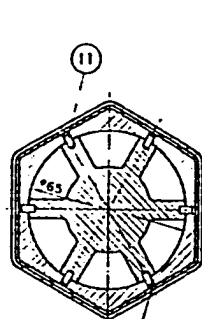
- (1) 1970 (炉心中心)
- (2) 1170 (下部ヘッド位置)
- (3) 2390 (上部ヘッド位置)
- (4) 2440 (ハトリングヘッド上端)
- (5) 2970 (燃料集合体上端)



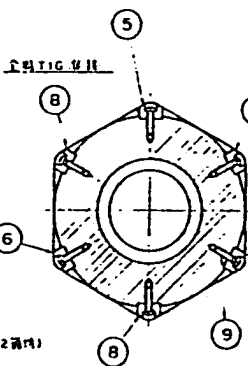
断面 G-G  
(1/1)



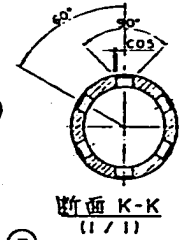
断面 H-H  
(1/1)



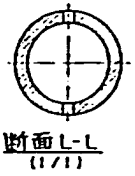
断面 I-I  
(1/1)



断面 J-J  
(1/1)



断面 K-K  
(1/1)



断面 L-L  
(1/1)

材料番号	数量	注
16	燃料集合体	127
15	1-7バ-B-1-B-13	SUS 316 13
14	1-7バ-A-1-A-13	SUS 316 13
13	組件 12)	SUS 316 1
12	組件 11)	SUS 316 1
11	下部反射体	SUS 316 6
10	下部反射体	SUS 316 1
9	燃料反射体	SUS 316 8
8	燃料反射体	SUS 316 3
7	燃料反射体	SUS 316 1
6	燃料反射体	SUS 316 1
5	燃料反射体	SUS 316 1
4	燃料反射体	SUS 316 1
3	燃料反射体	SUS 316 1
2	圧力管	SUS 316 1
1	ハトリングヘッド	SUS 316 1

名称 炉心燃料集合体

Fig.3.1 「常陽」炉心燃料集合体

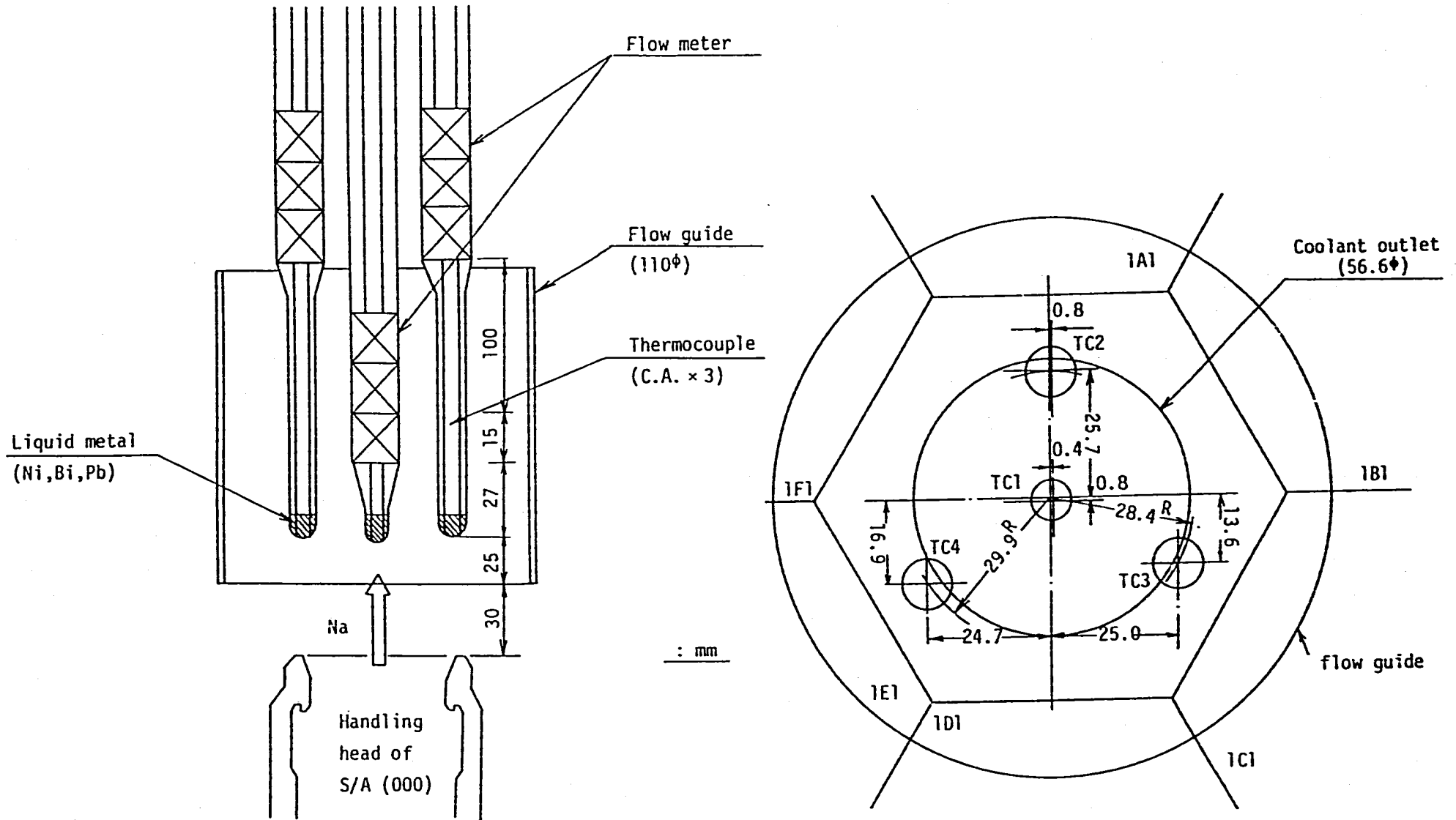


Fig.3.2 半径方向温度分布測定用プラグおよび燃料集合体配列との関係



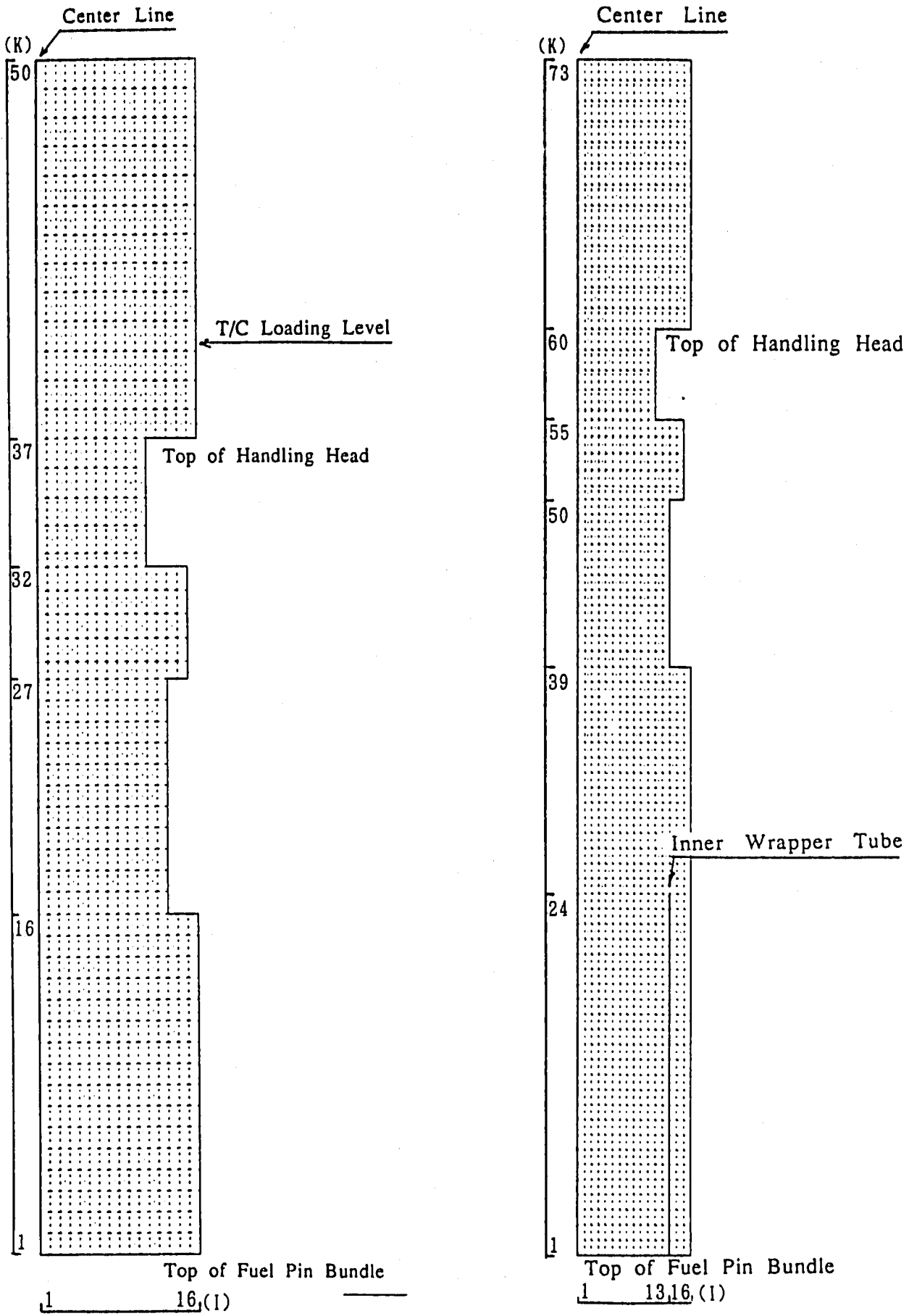


Fig.3.4 メッシュ分割図

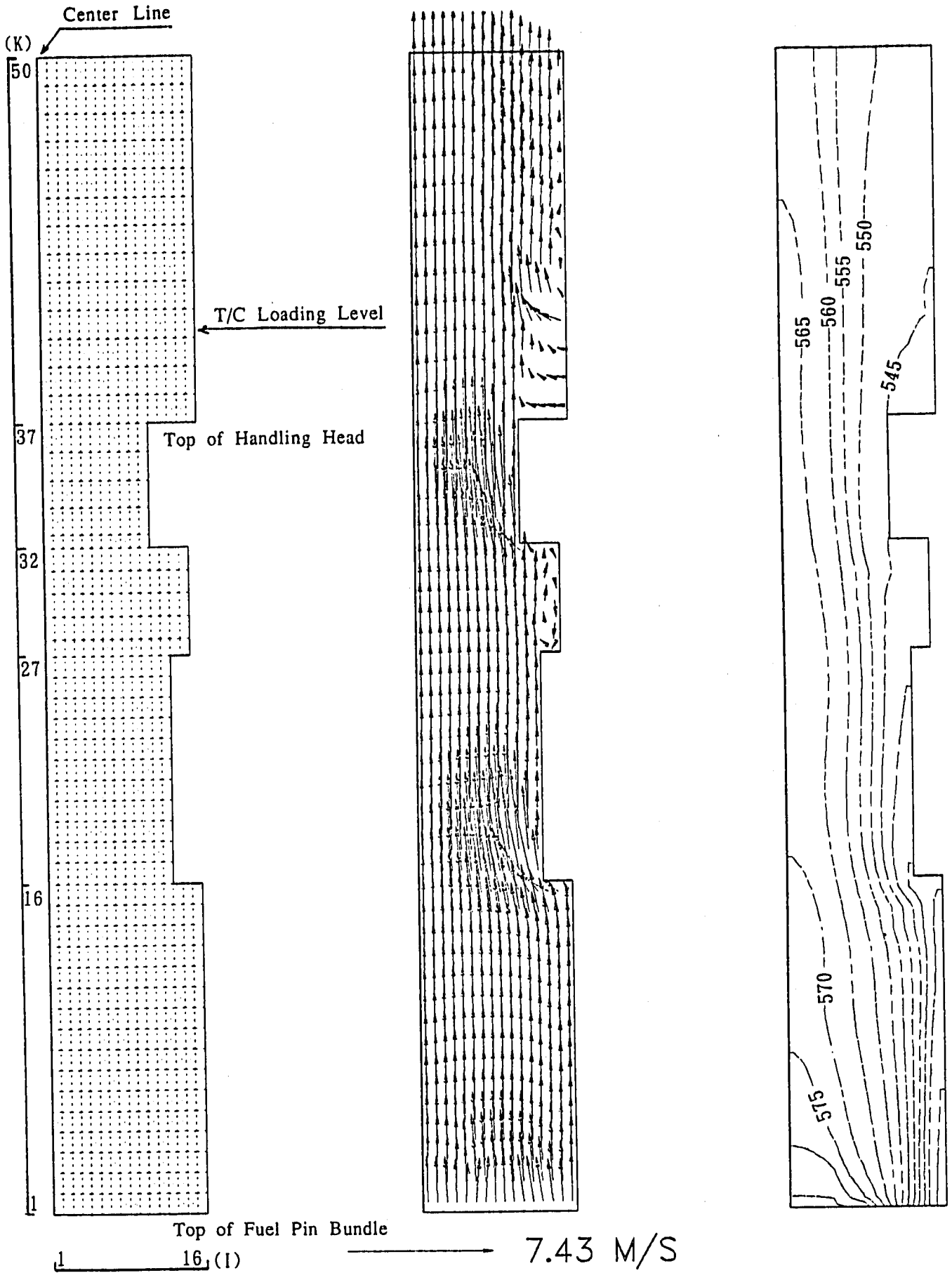


Fig.3.5 流速ベクトル図および等温線図 (000)

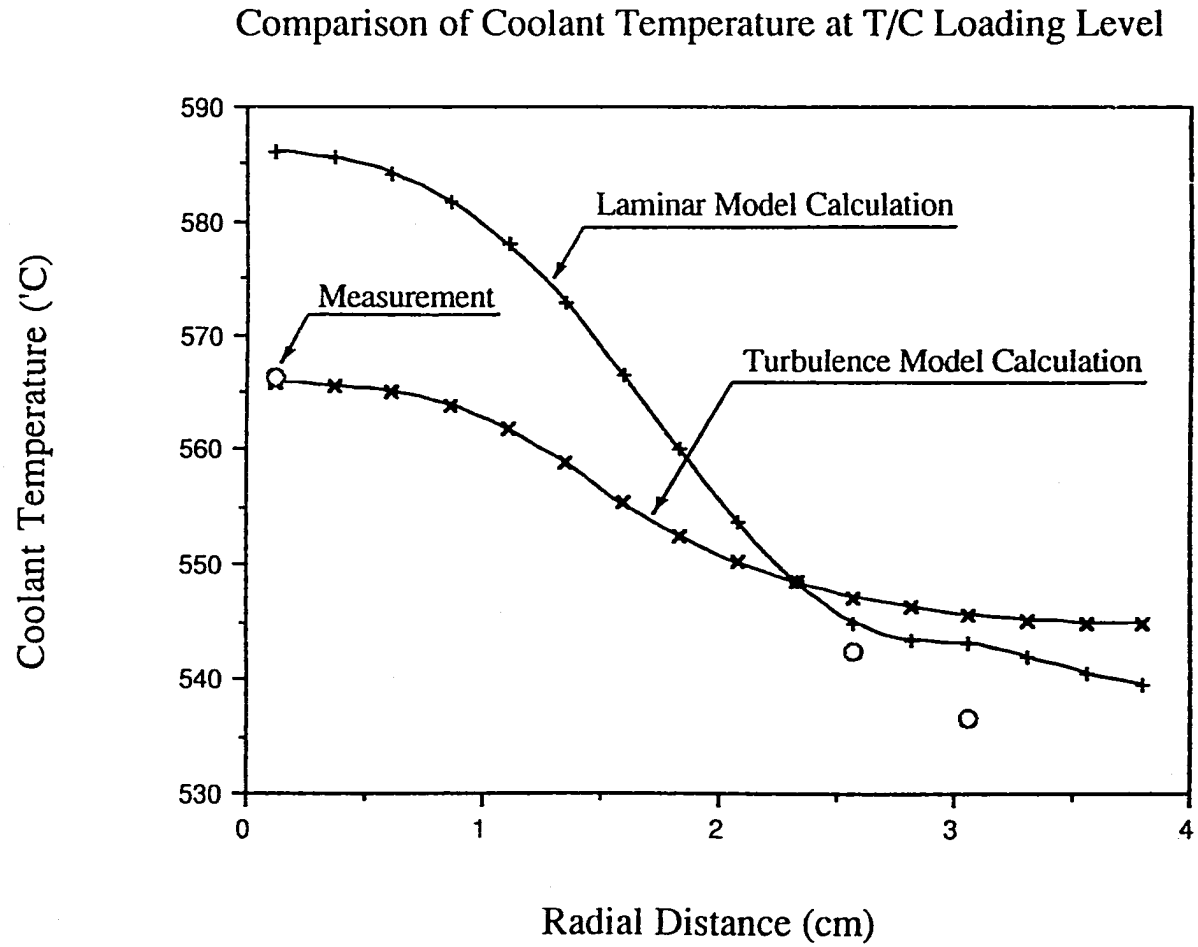


Fig.3.6 温度測定位置における半径方向温度分布 (000)

Radial Distribution of Coolant Temperature at S/A Top Level

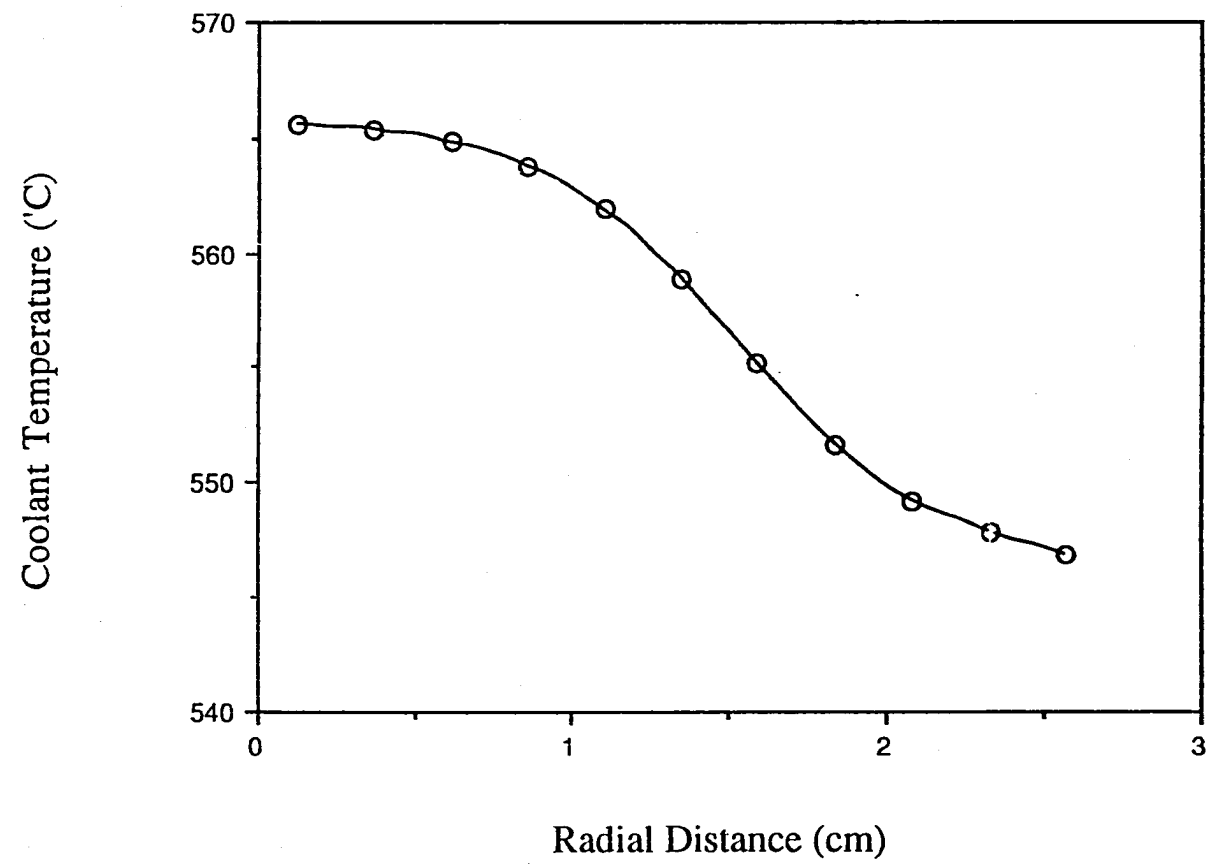


Fig.3.7 ハンドリングヘッド上端面における半径方向温度分布 (000)



Radial Distribution of Axial Velocity Component at S/A Top Level

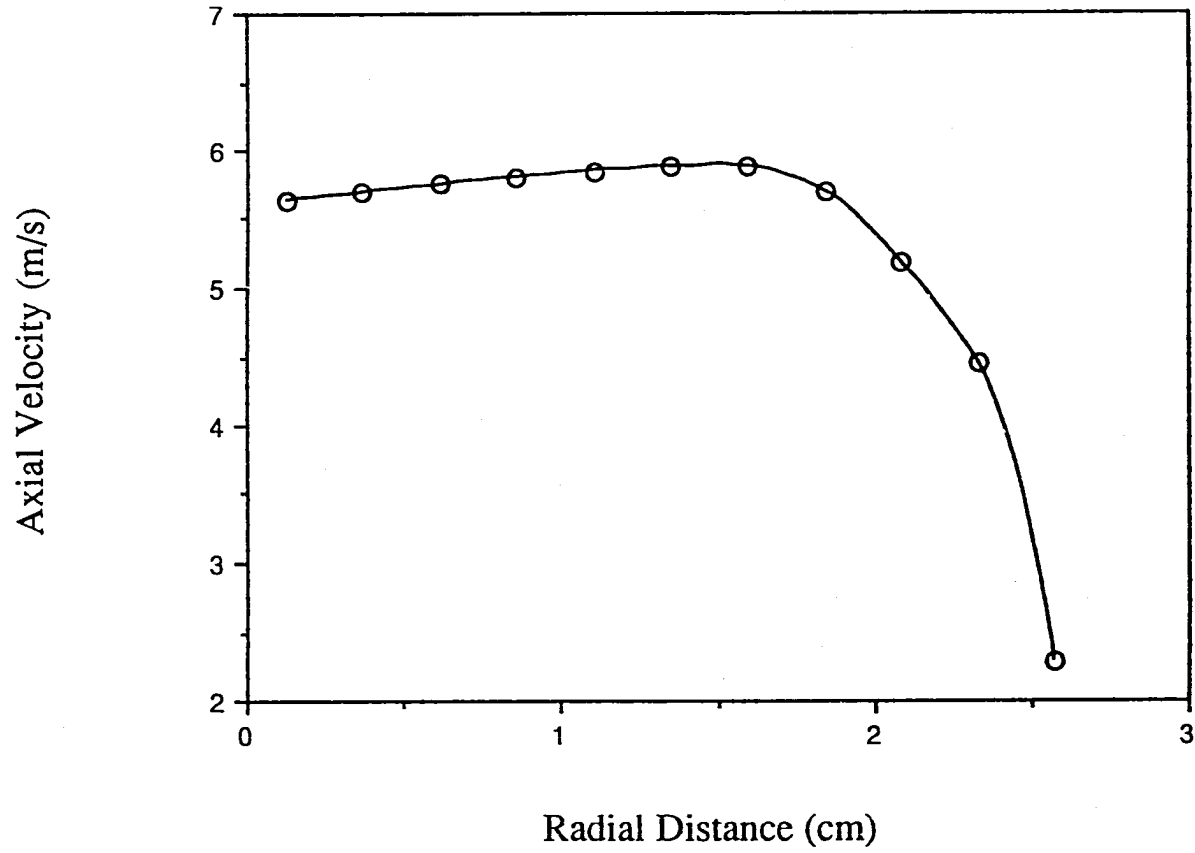


Fig.3.8 ハンドリングヘッド上端面における軸方向温度分布 (000)

## Radial Distributions of Turbulent Kinetic Energy and Its Dissipation Rate

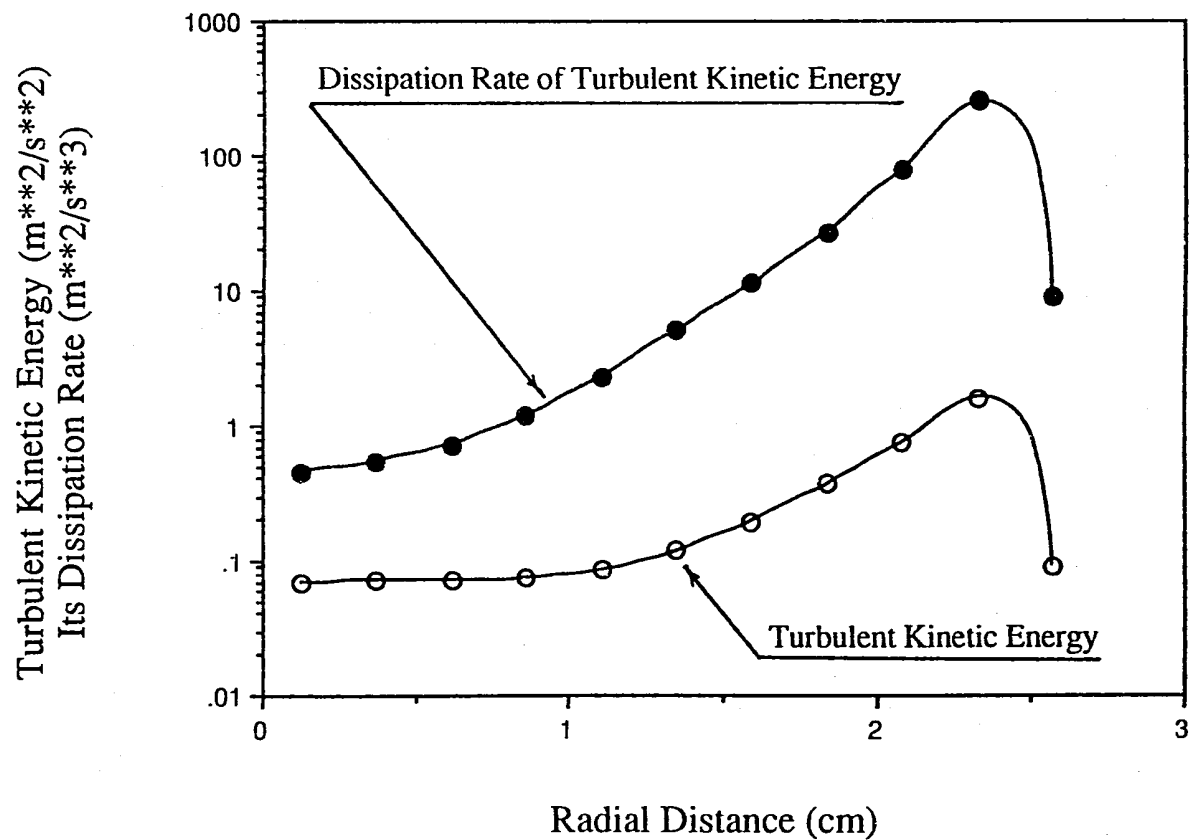


Fig.3.9 ハンドリングヘッド上端面における  
乱流運動エネルギーおよびその散逸率の半径方向分布 (000)

## Radial Distributions of Turbulent Viscosity and Turbulent Conductivity at S/A Top Level

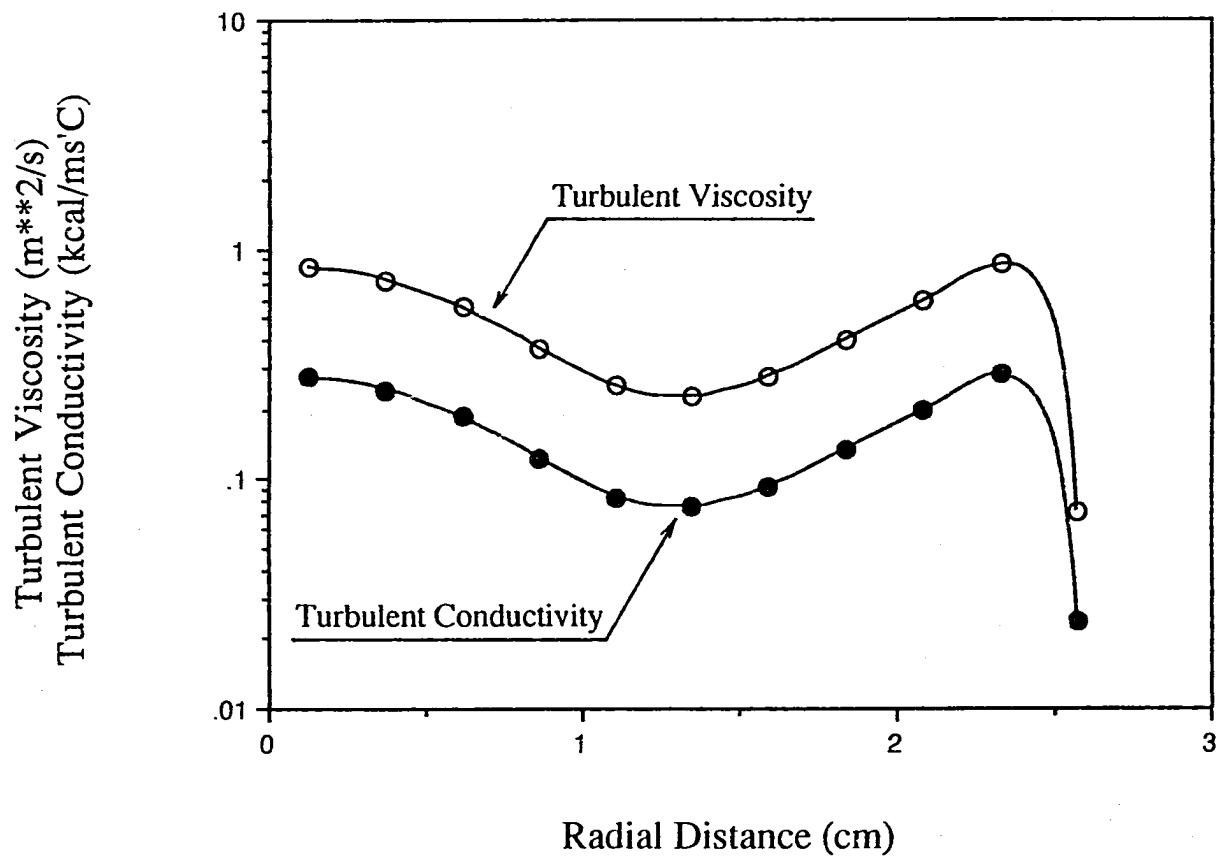


Fig.3.10 ハンドリングヘッド上端面における  
乱流粘性係数および乱流熱伝導度の半径方向分布 (000)

Radial Distributins of Reynolds Stress at S/A Top Level

Normal Component of Reynolds Stresses ( $m^{**2}/s^{**2}$ )

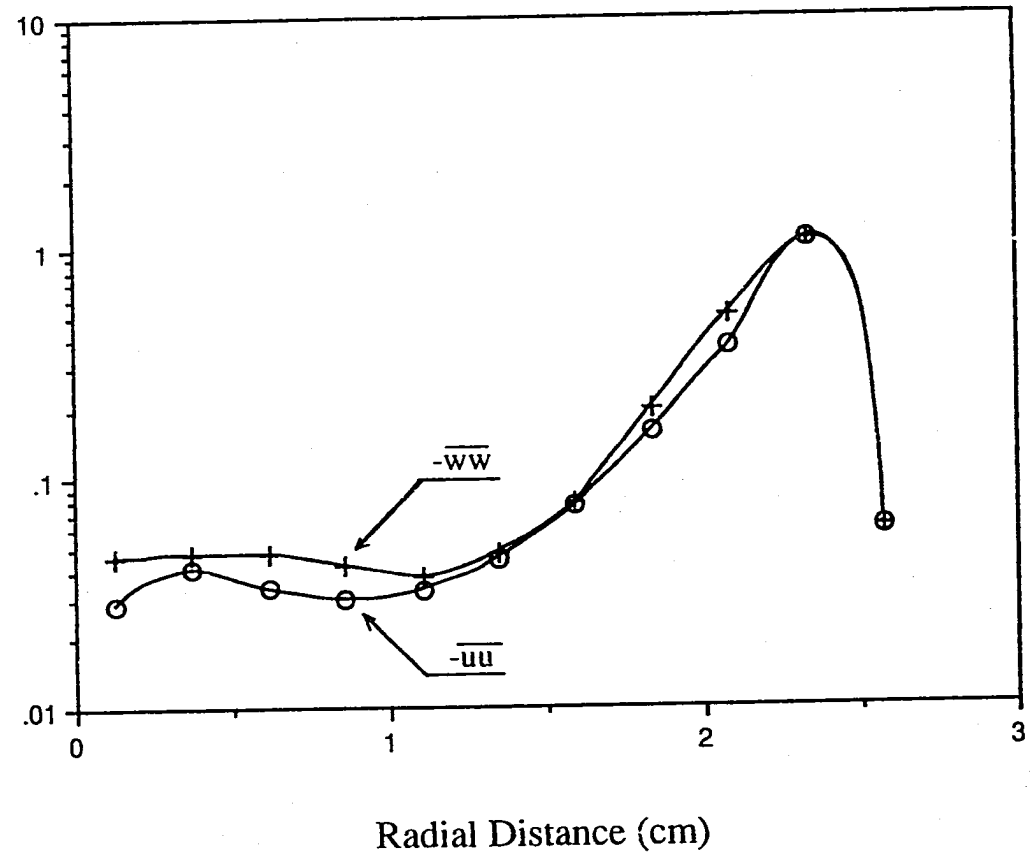


Fig.3.11 ハンドリングヘッド上端面における  
レイノルズ応力成分 (-uu, -ww) の半径方向分布 (000)

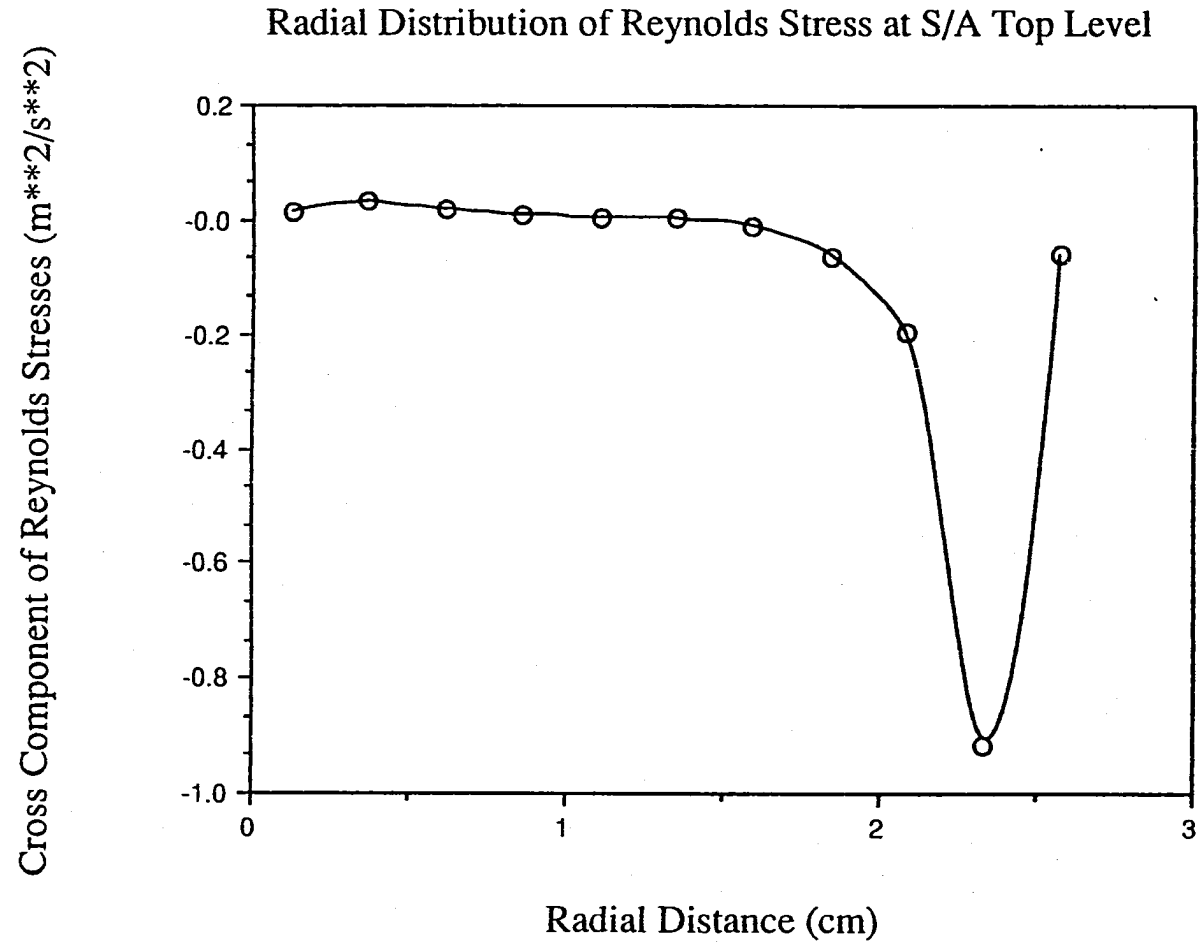


Fig.3.12 ハンドリングヘッド上端面における  
レイノルズ応力成分 (-uv) の半径方向分布 (000)

Radial Distance of Turbulent Heat Flux at S/A Top Level

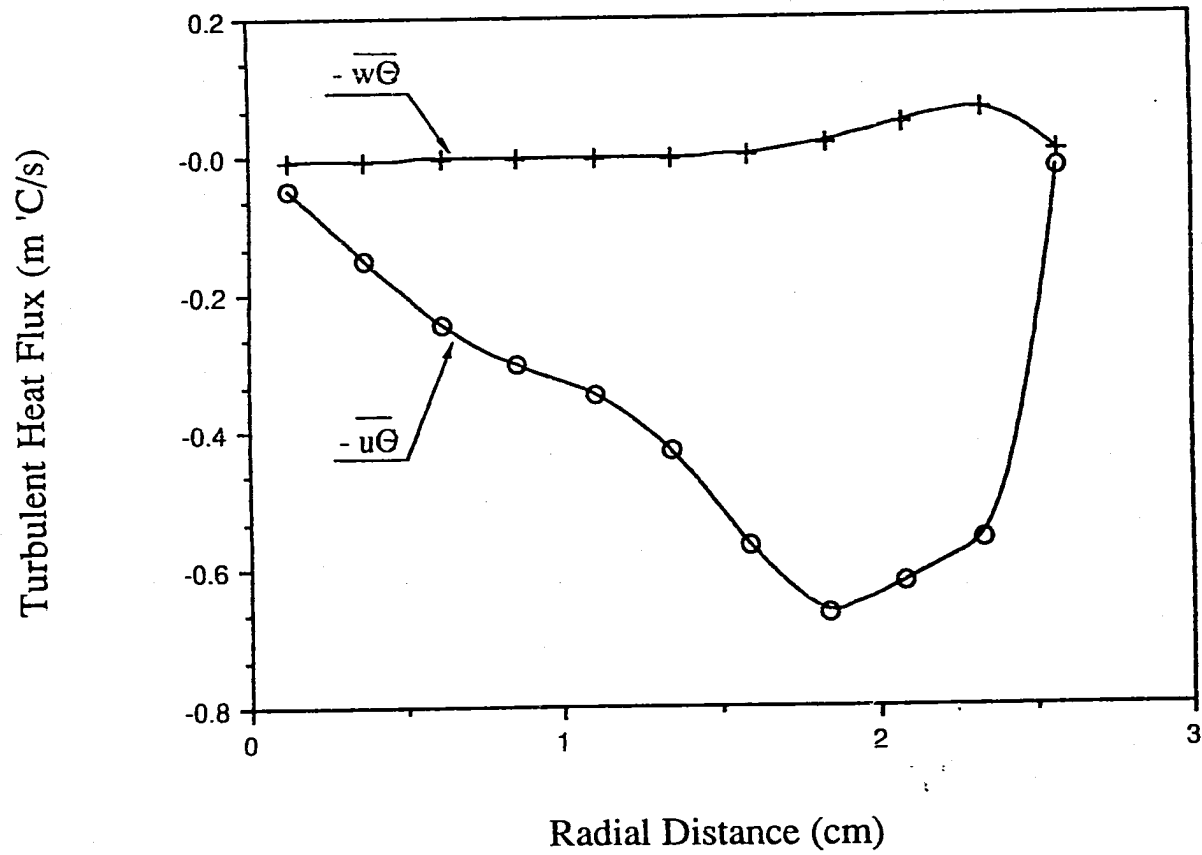


Fig.3.13 ハンドリングヘッド上端面における乱流熱流束の半径方向分布 (000)

Radial Distribution of Coolant Temperature Fluctuation at S/A Top Level

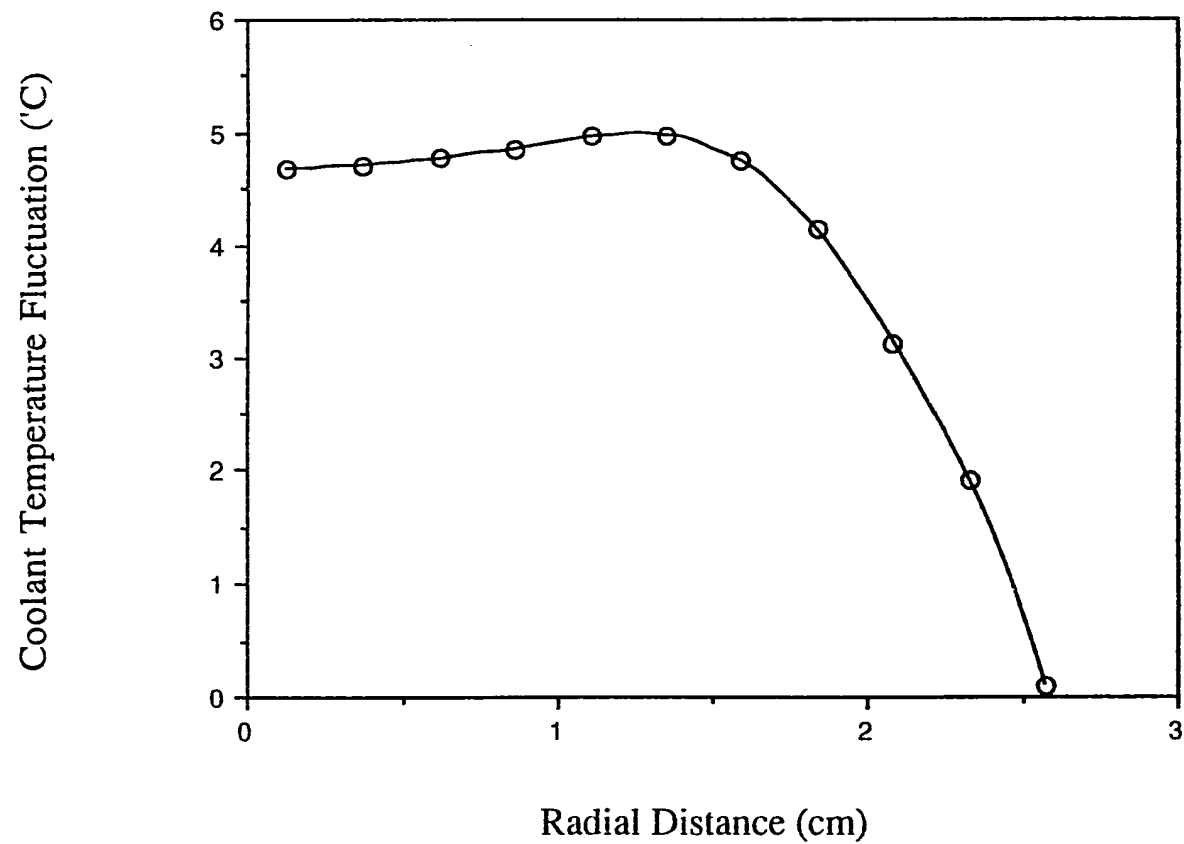


Fig.3.14 ハンドリングヘッド上端面における温度ゆらぎ強度の半径方向分布 (000)

### Comparison of Coolant Temperature at S/A T/C Loading Level

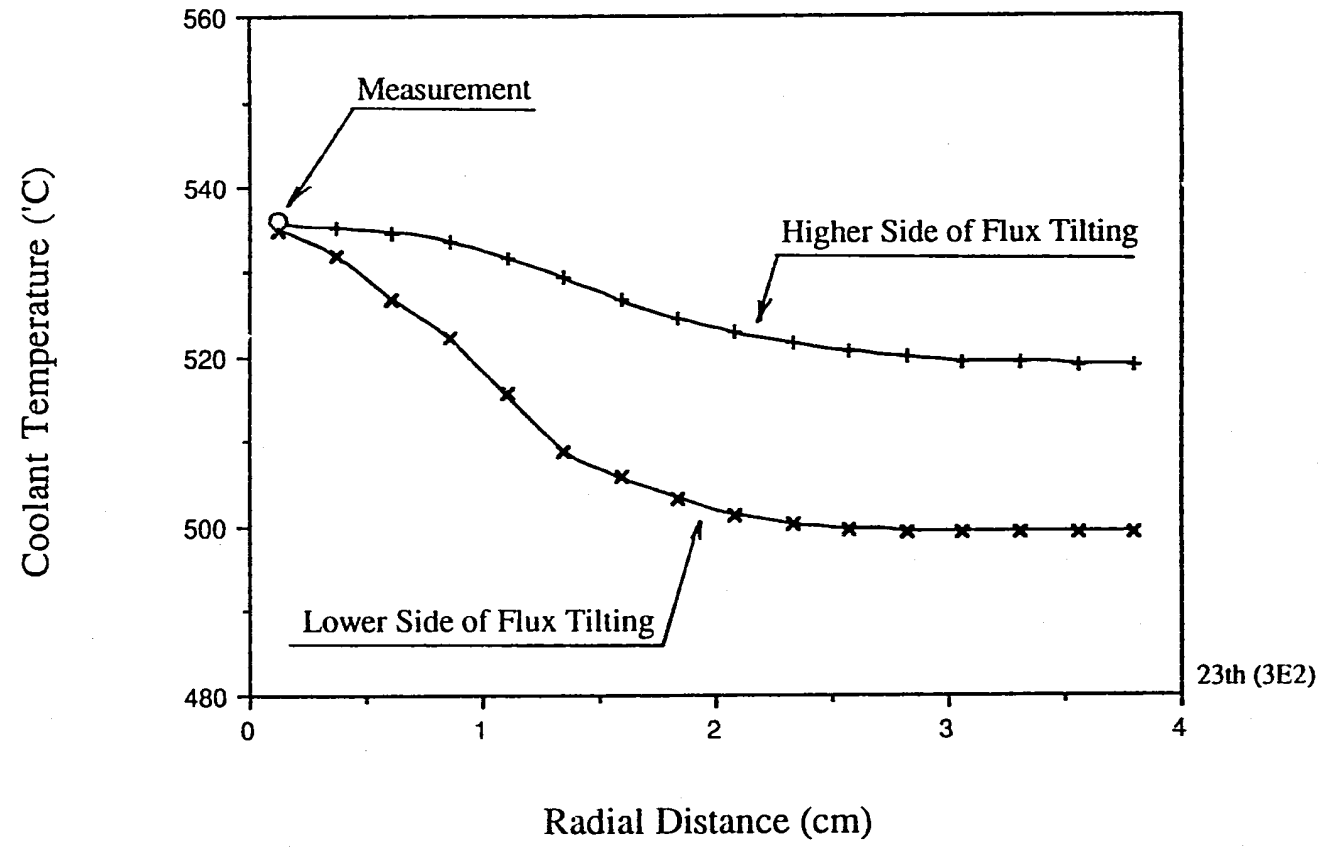


Fig.3.15 温度測定位置における半径方向温度分布 (3E2)



Radial Distribution of Coolant Temperature at S/A Top Level

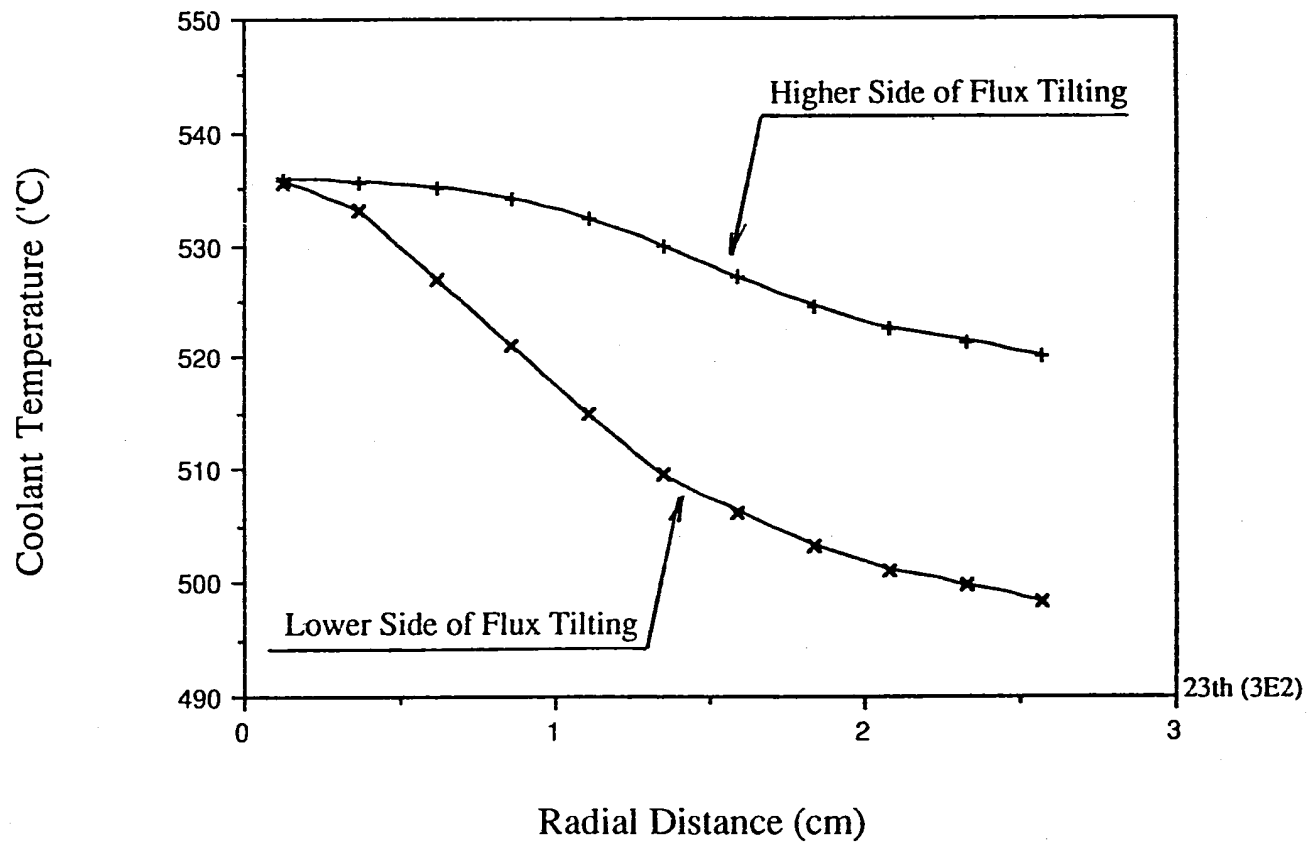


Fig.3.16 ハンドリングヘッド上端面における半径方向温度分布 (3E2)

Radial Distribution of Axial Velocity Component at S/A Top Level

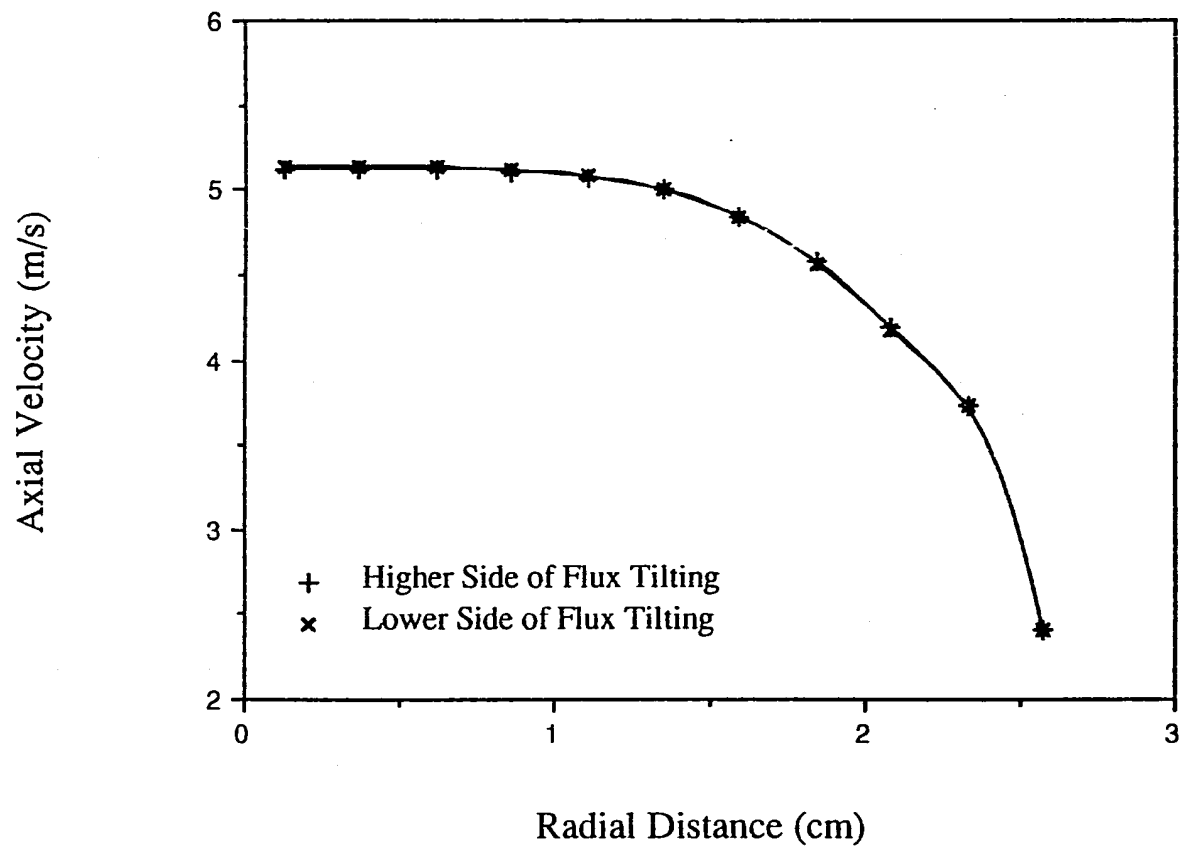


Fig.3.17 ハンドリングヘッド上端面における軸方向流速分布 (3E2)

Radial Distribution of Turbulent Kinetic Energy at S/A Top Level

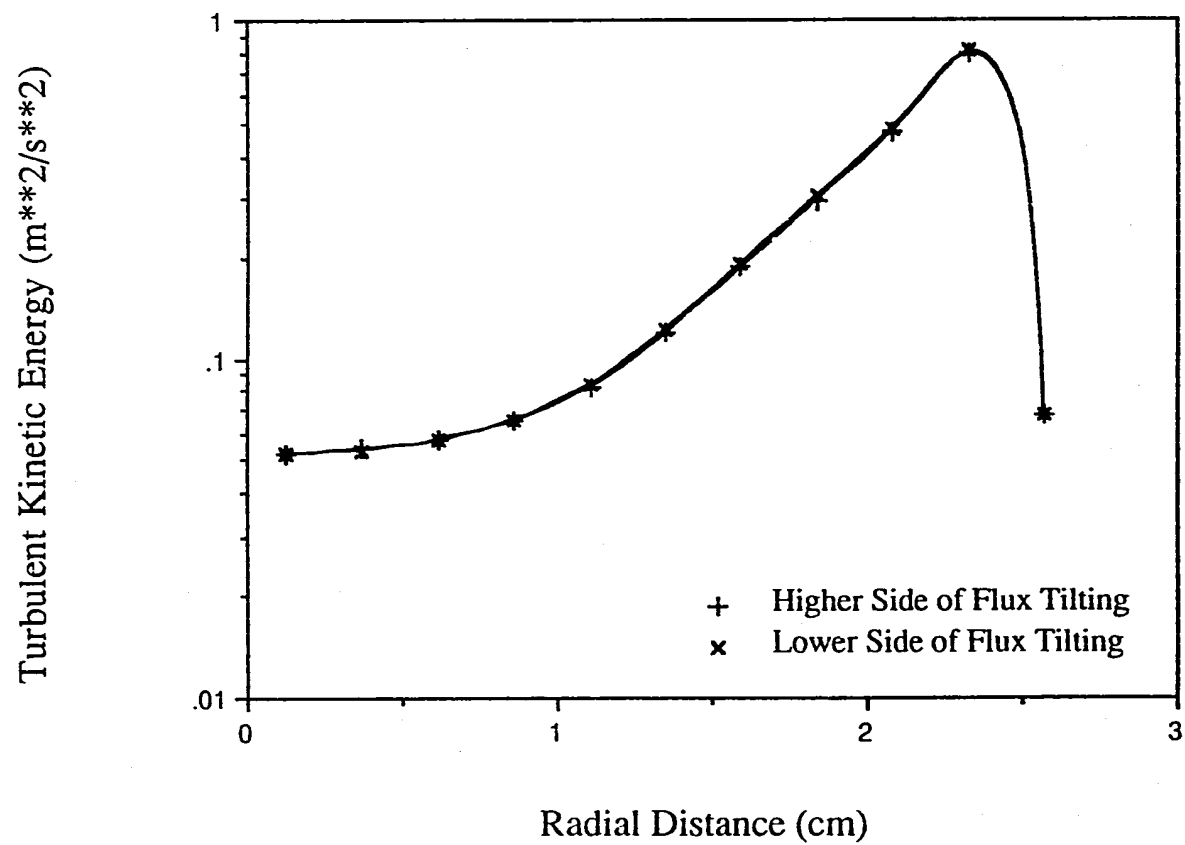


Fig.3.18 ハンドリングヘッド上端面における乱流運動エネルギーの半径方向分布 (3E2)

Radial Distribution of Dissipation Rate of Turbulent Kinetic Energy at S/A Top Level

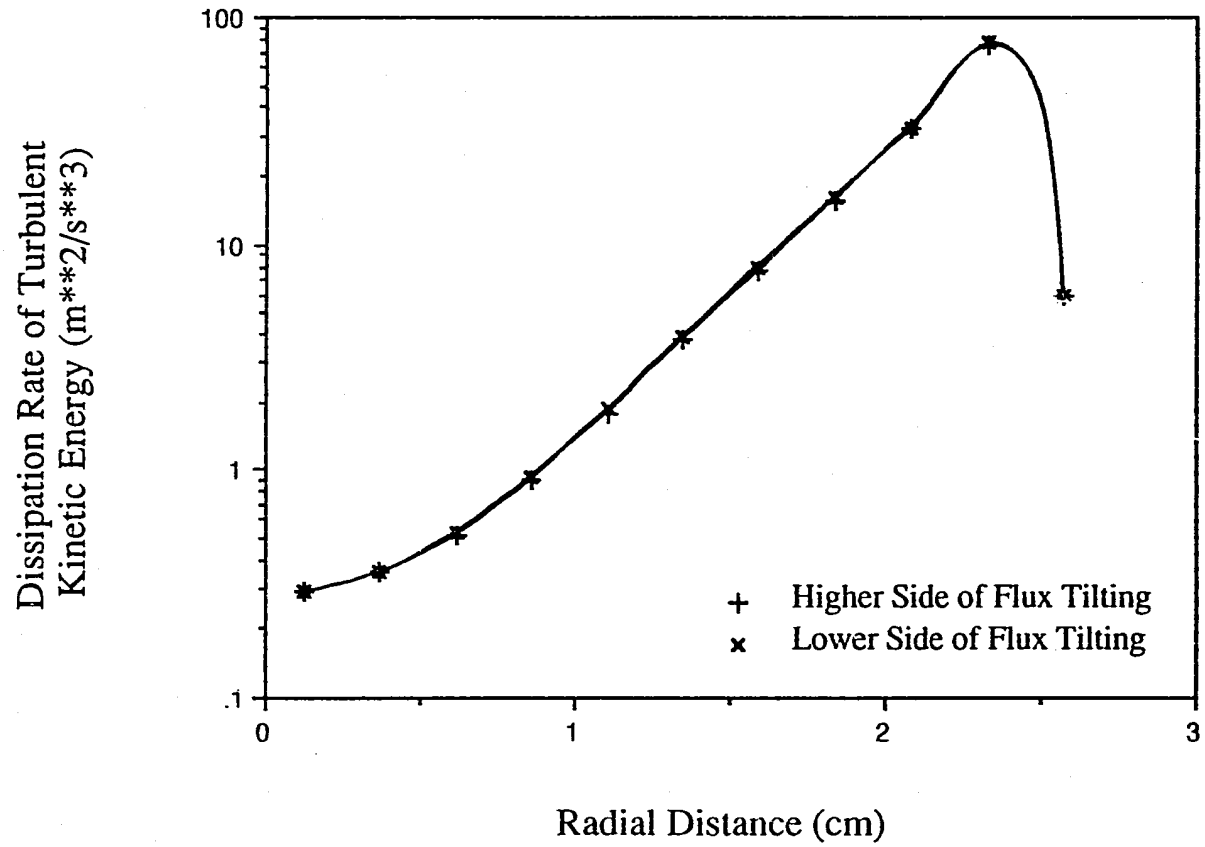


Fig.3.19 ハンドリングヘッド上端面における  
乱流運動エネルギー散逸率の半径方向分布 (3E2)

Radial Distribution of Turbulent Viscosity at S/A Top Level

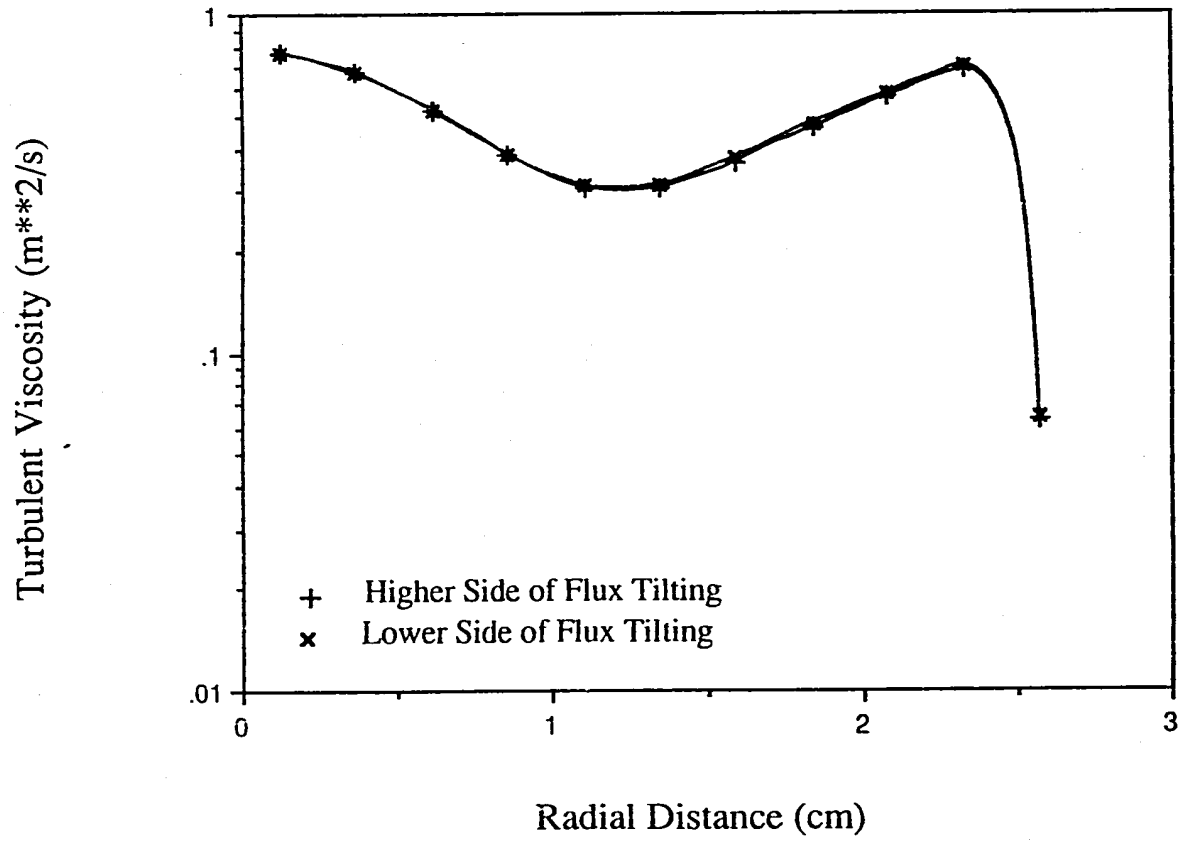


Fig.3.20 ハンドリングヘッド上端面における乱流粘性係数の半径方向分布 (3E2)

Radial Distribution of Turbulent Conductivity at S/A Top Level

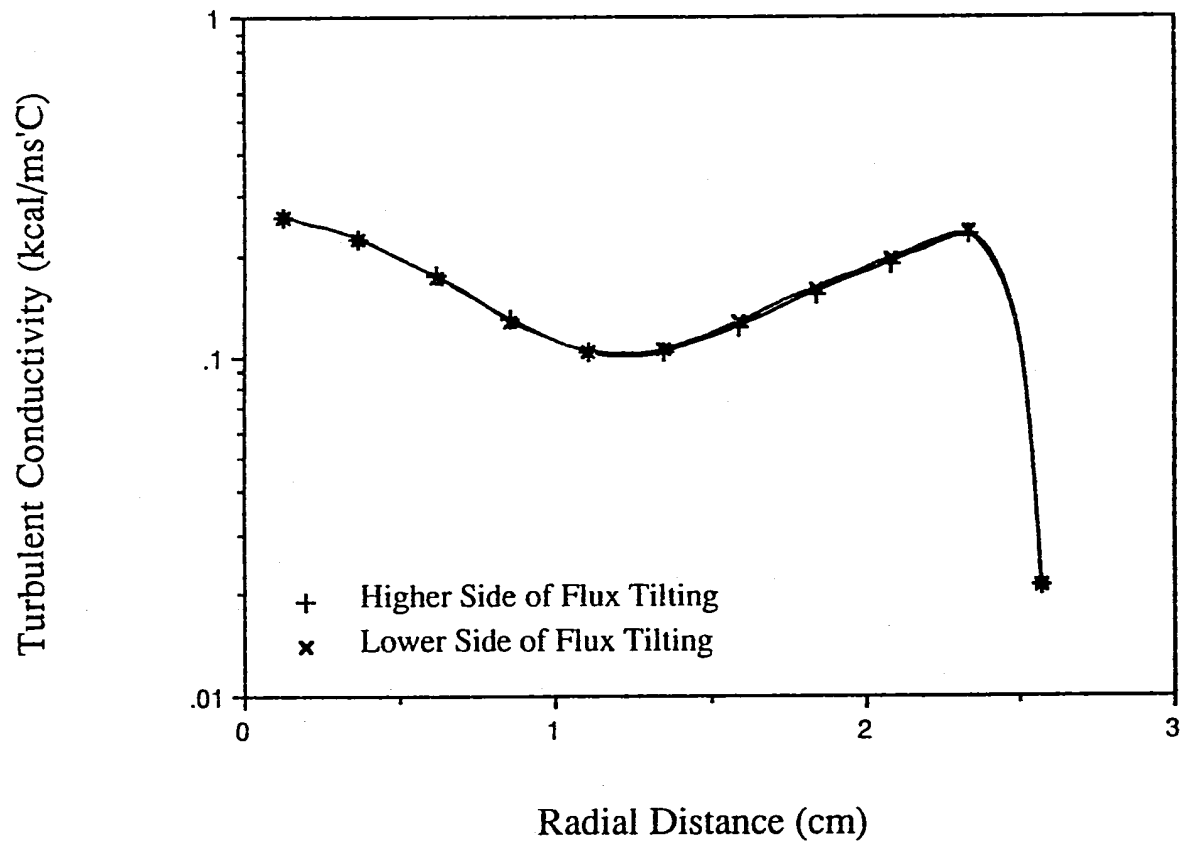


Fig.3.21 ハンドリングヘッド上端面における乱流熱伝導度の半径方向分布 (3E2)

## Radial Distribution of Reynolds Stress at S/A Top Level

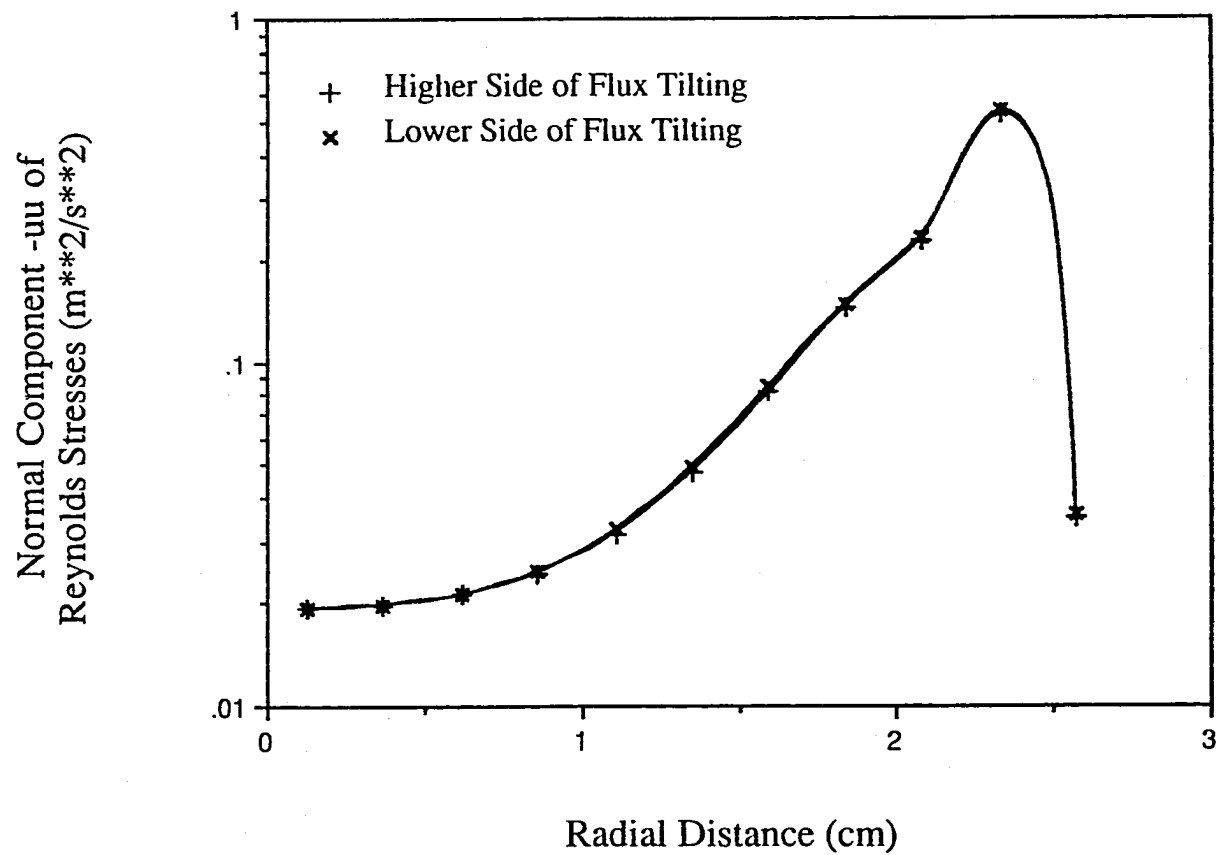


Fig.3.22 ハンドリングヘッド上端面における  
レイノルズ応力成分 (-uu) の半径方向分布 (3E2)

Radial Distribution of Reynolds Stress at S/A Top Level

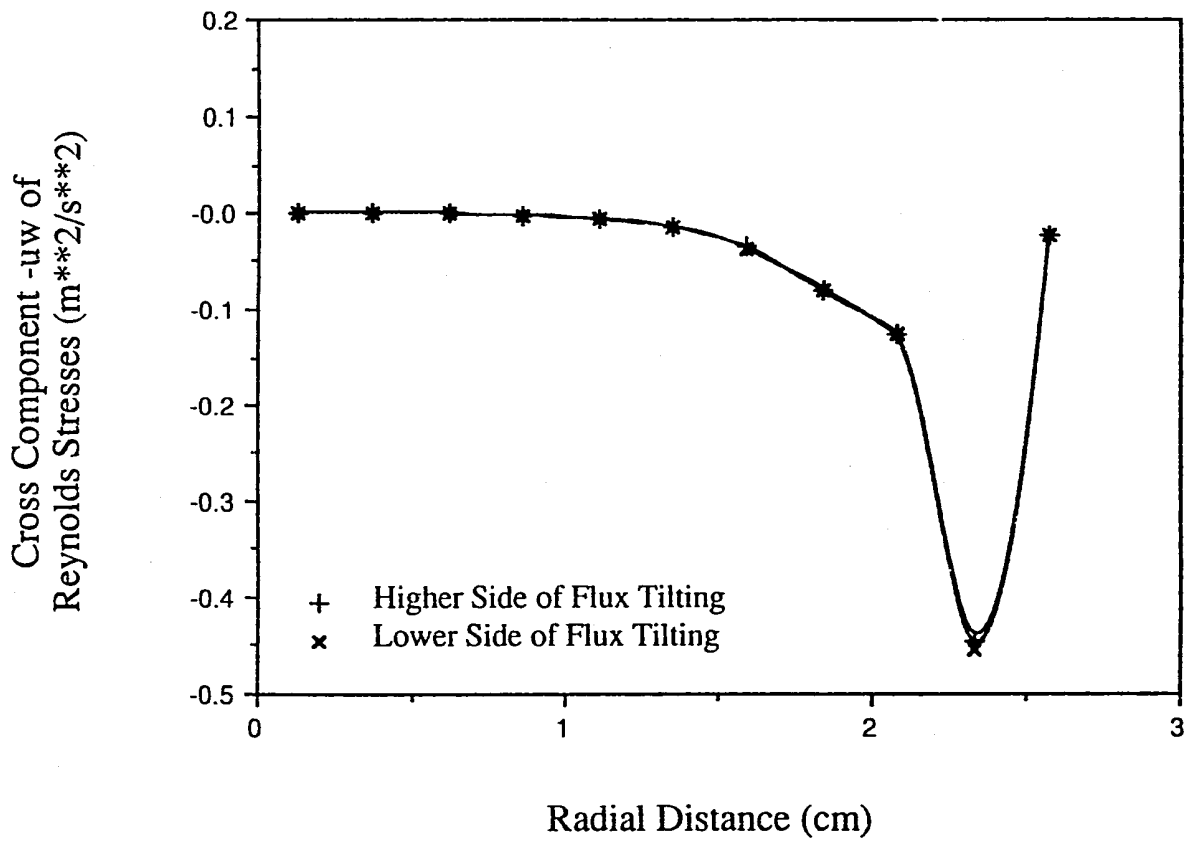


Fig.3.23 ハンドリングヘッド上端面における  
レイノルズ応力成分 (-uw) の半径方向分布 (3E2)



Radial Distribution of Reynolds Stress at S/A Top Level

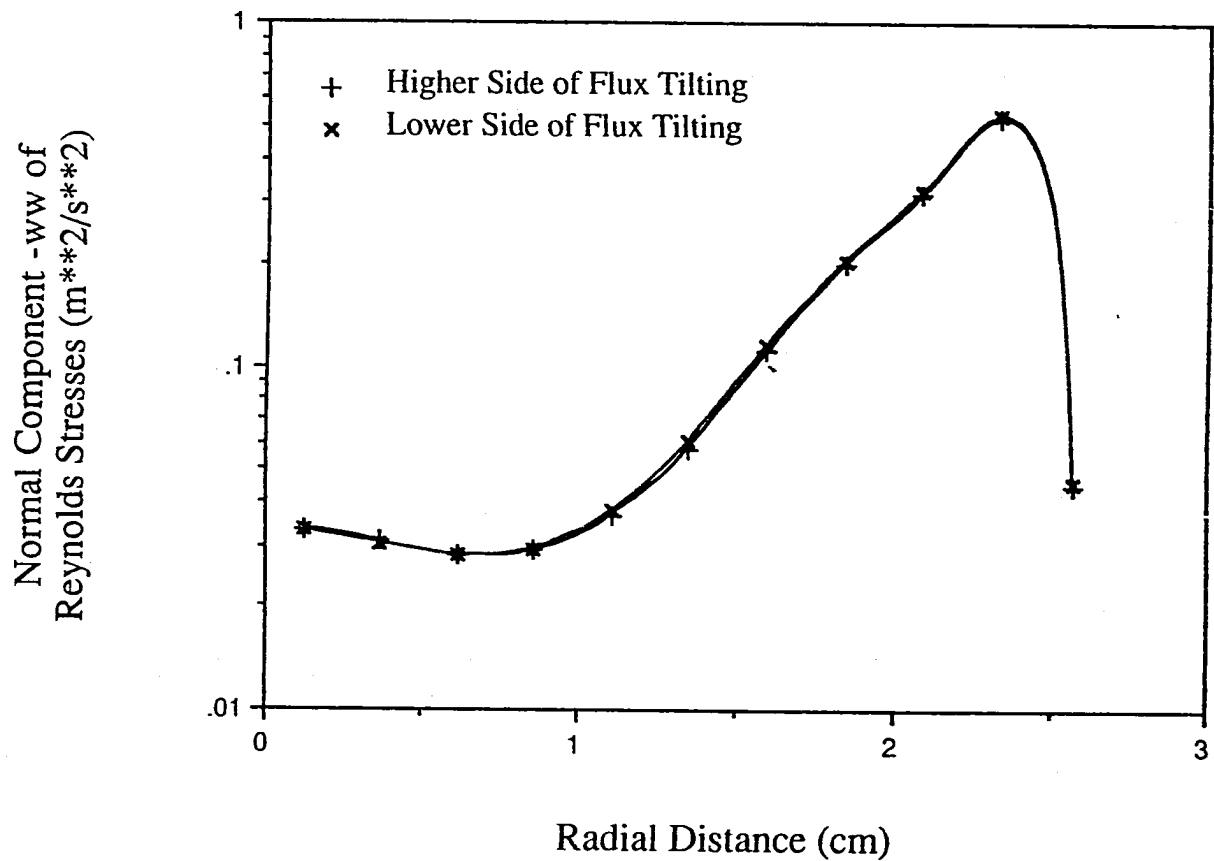


Fig.3.24 ハンドリングヘッド上端面における  
レイノルズ応力成分 (-ww) の半径方向分布 (3E2)

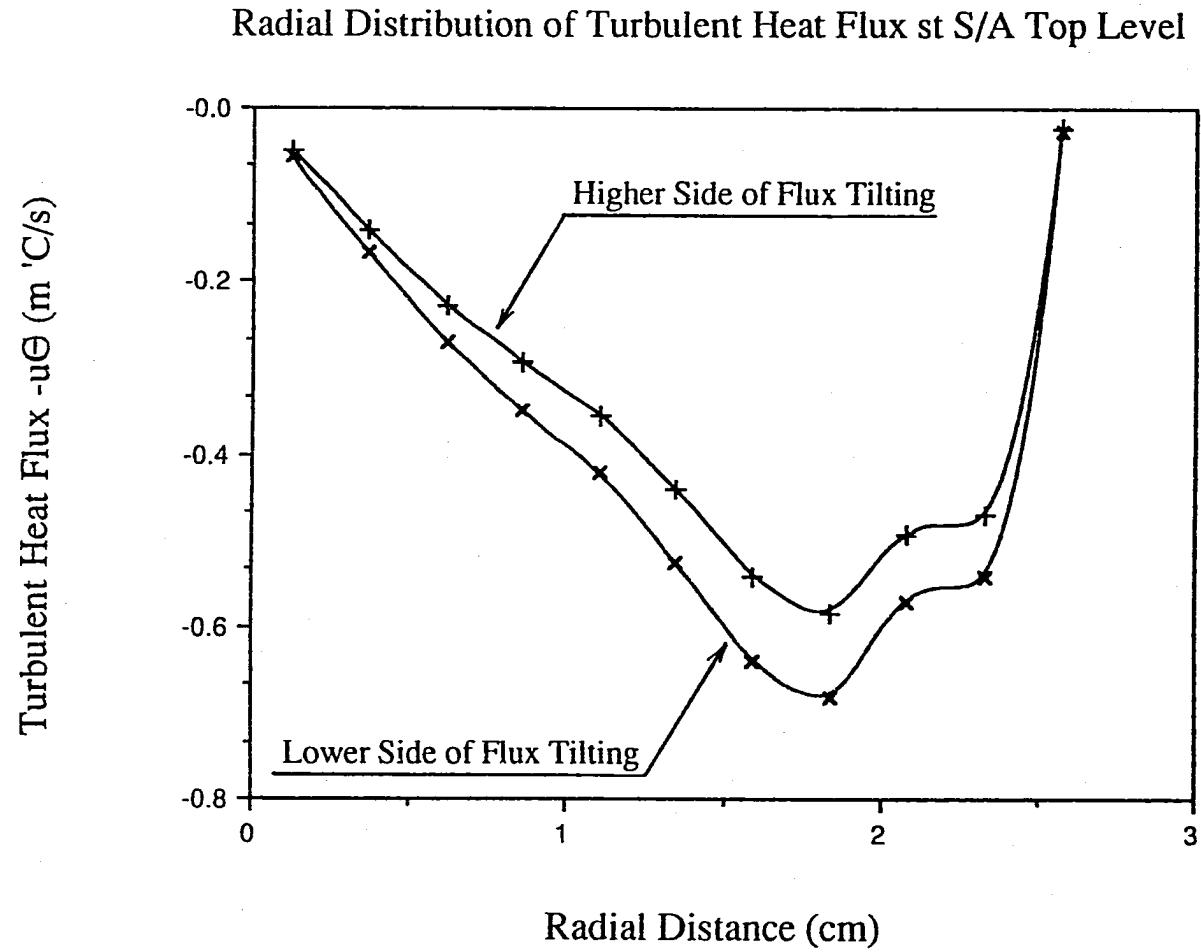


Fig.3.25 ハンドリングヘッド上端面における乱流熱流束 ( $-u\theta$ ) の半径方向分布 (3E2)

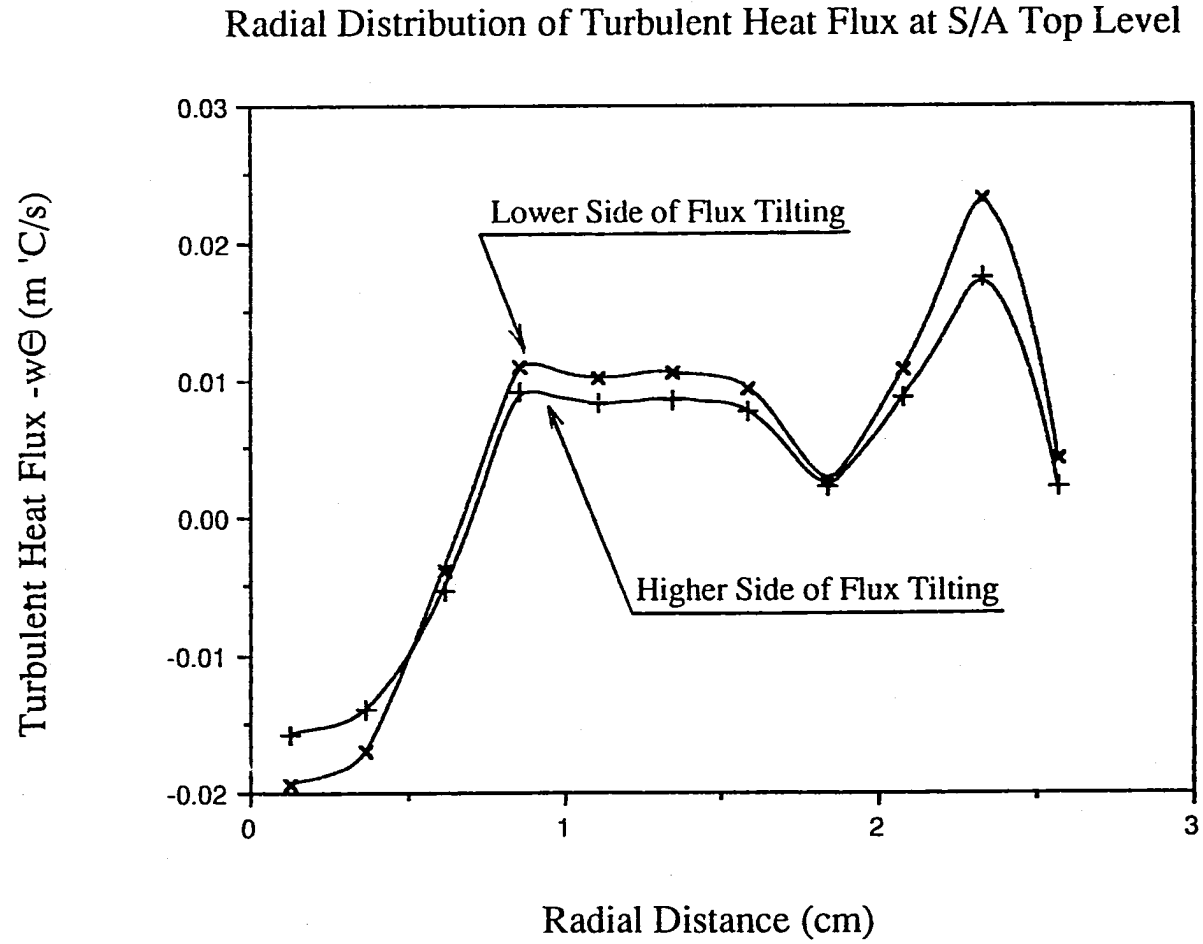


Fig.3.26 ハンドリングヘッド上端面における乱流熱流束 ( $-w\theta$ ) の半径方向分布 (3E2)

Radial Distribution of Coolant Temperature Fluctuation at S/A Top Level

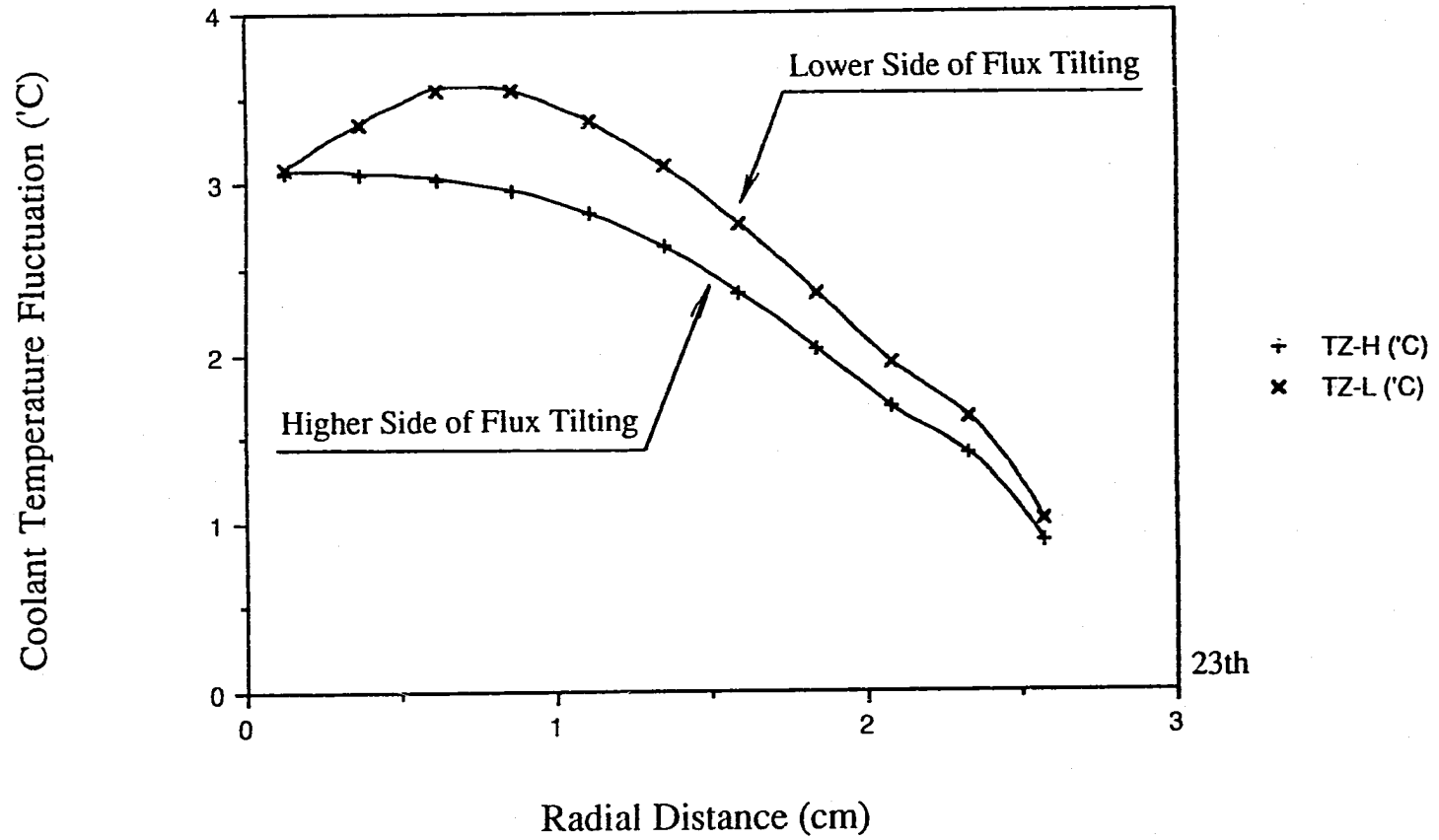


Fig.3.27 ハンドリングヘッド上端面における温度ゆらぎ強度の半径方向分布 (3E2)

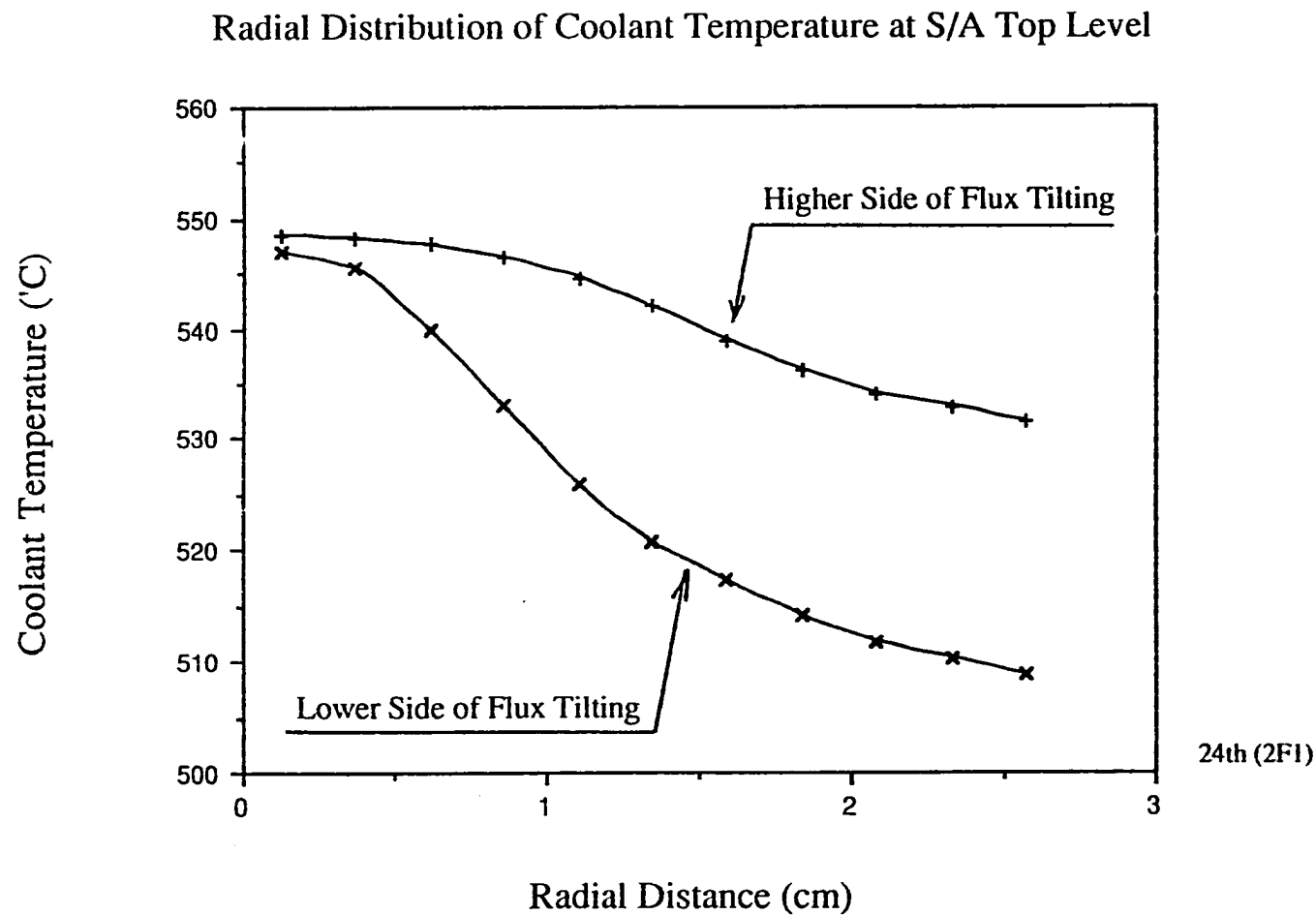


Fig.3.28 ハンドリングヘッド上端面における半径方向温度分布 (2F1)

Radial Distribution of Axial Velocity Component at S/A Top Level

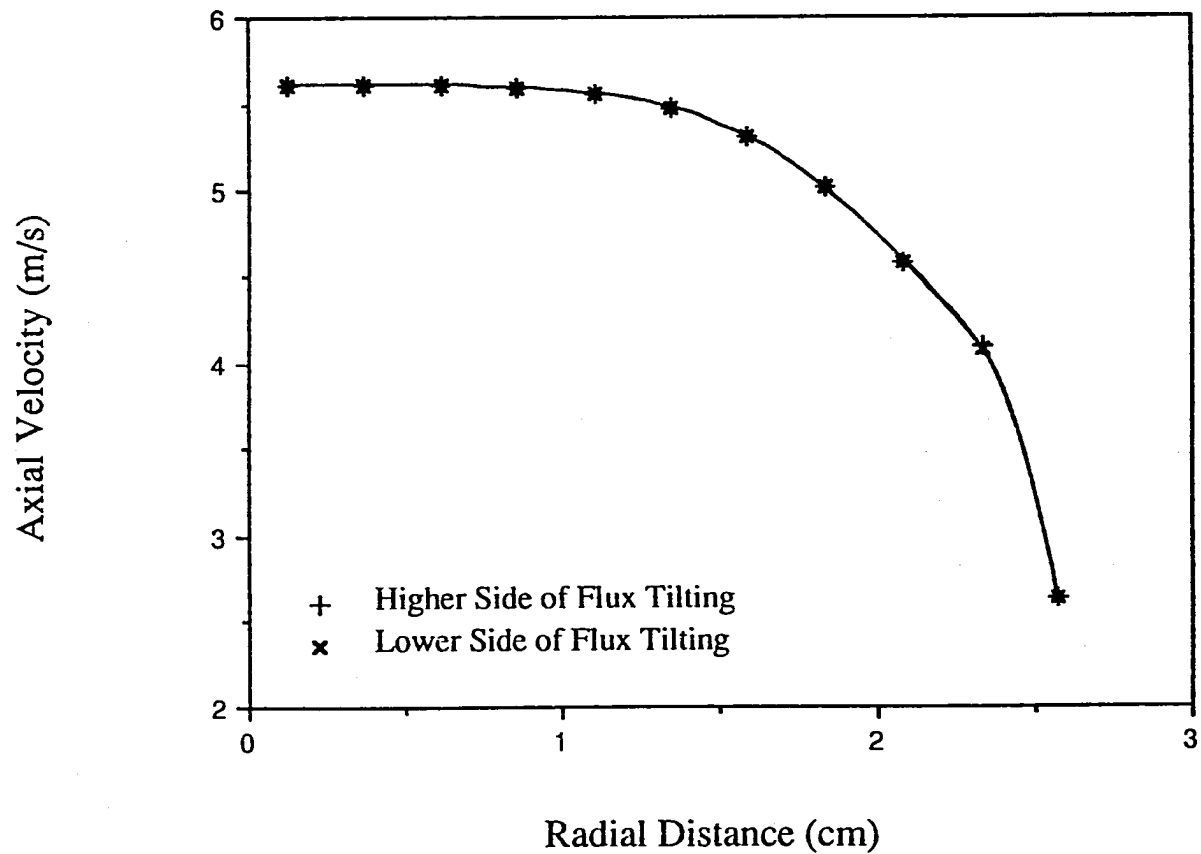


Fig.3.29 ハンドリングヘッド上端面における軸方向流速成分半径方向分布 (2F1)

Radial Distribution of Turbulent Kinetic Energy at S/A Top Level

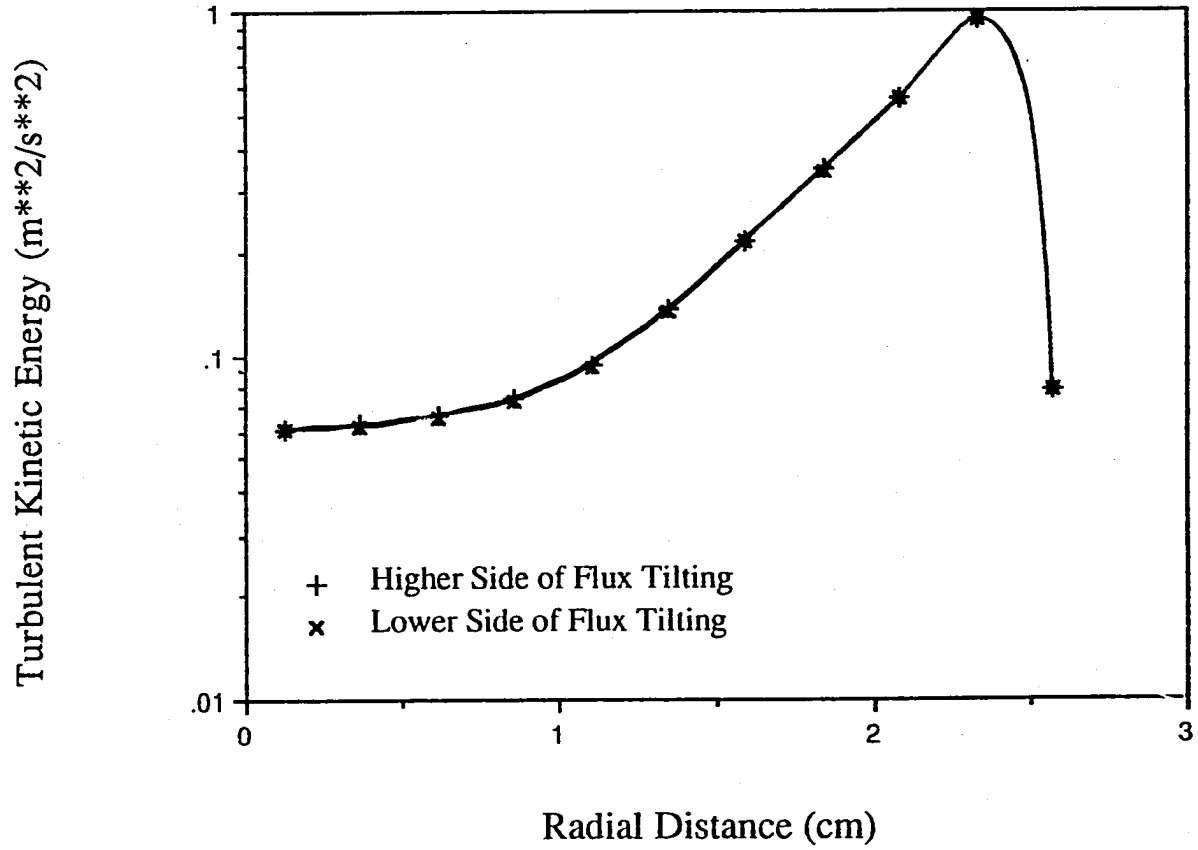


Fig.3.30 ハンドリングヘッド上端面における乱流運動エネルギーの半径方向分布 (2F1)

## Radial Distribution of Dissipation Rate of Turbulent Kinetic Energy at S/A Top Level

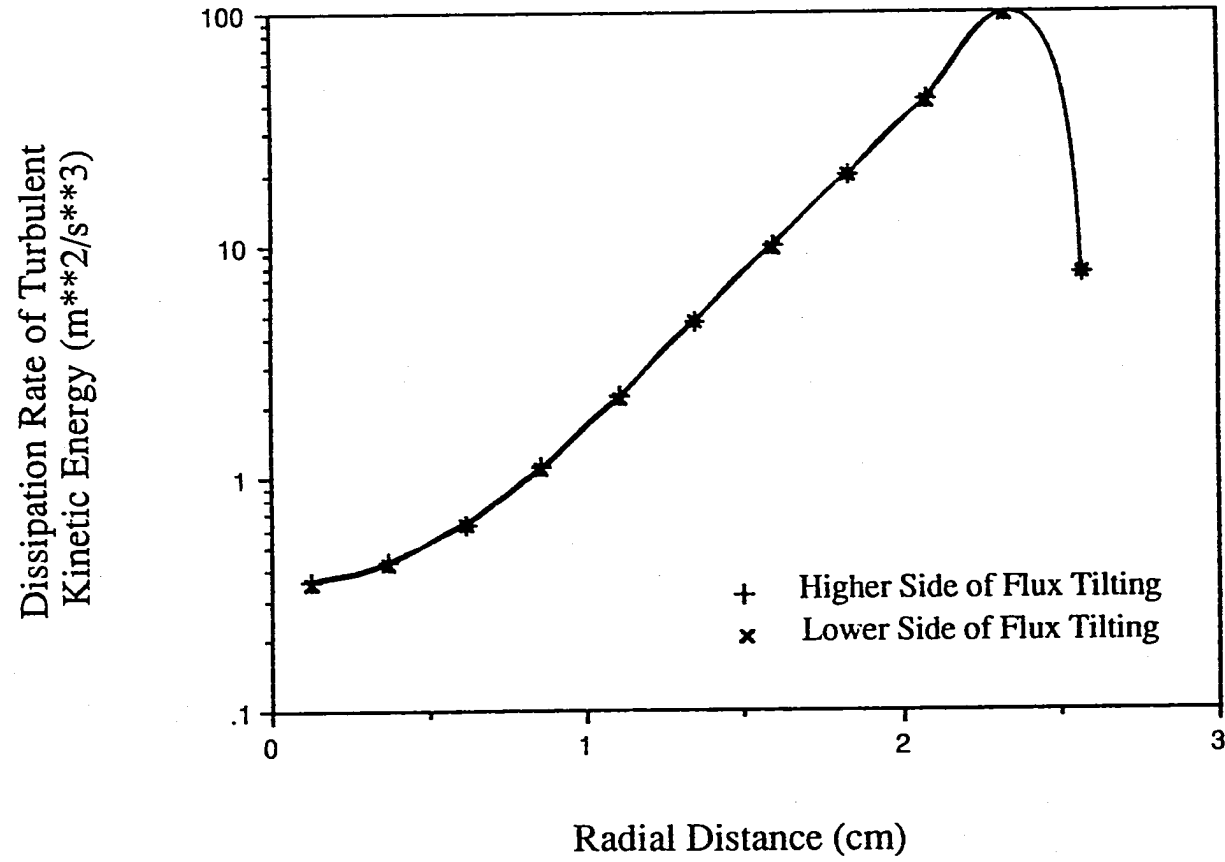


Fig.3.31 ハンドリングヘッド上端面における  
乱流運動エネルギー散逸率の半径方向分布 (2F1)



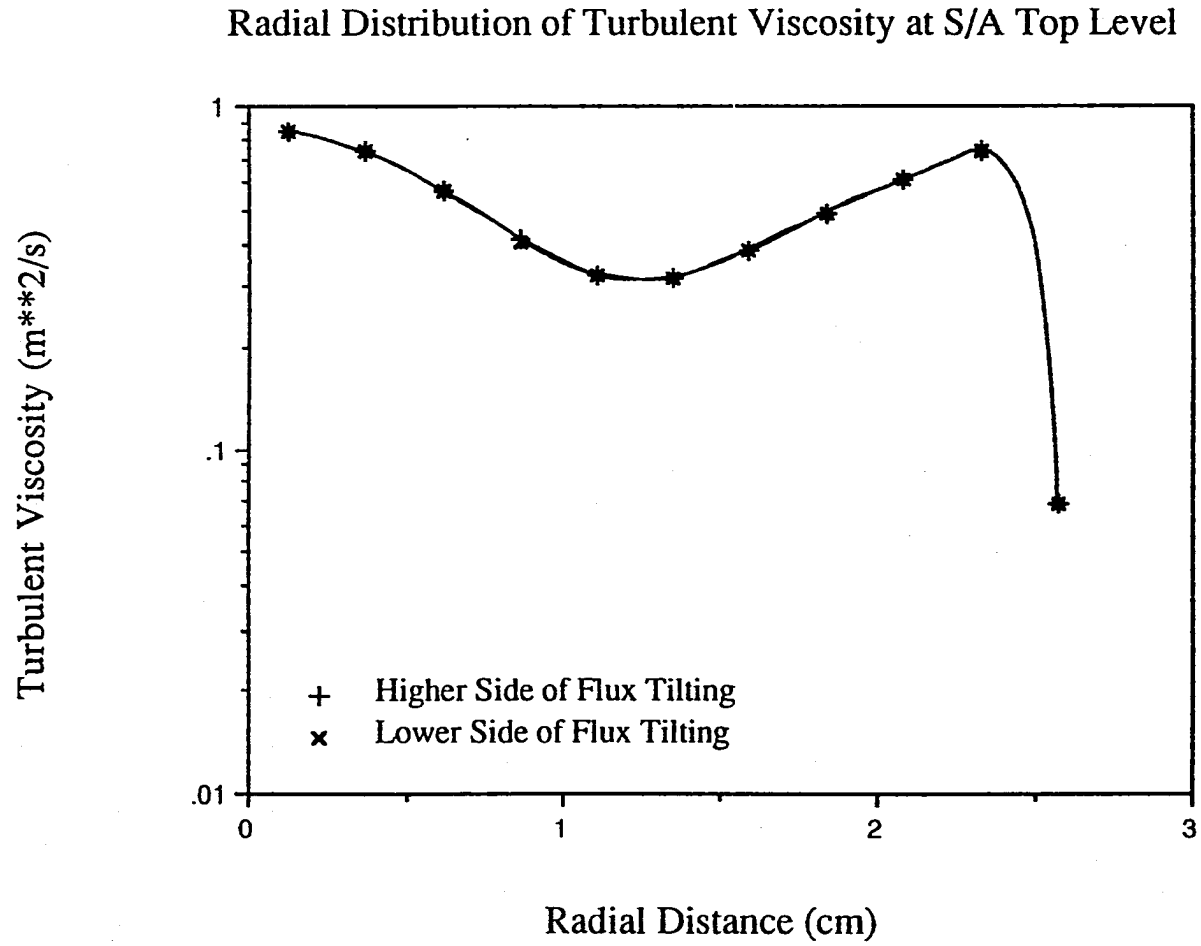


Fig.3.32 ハンドリングヘッド上端面における乱流粘性係数の半径方向分布 (2F1)

Radial Distribution of Turbulent Conductivity at S/A Top Level

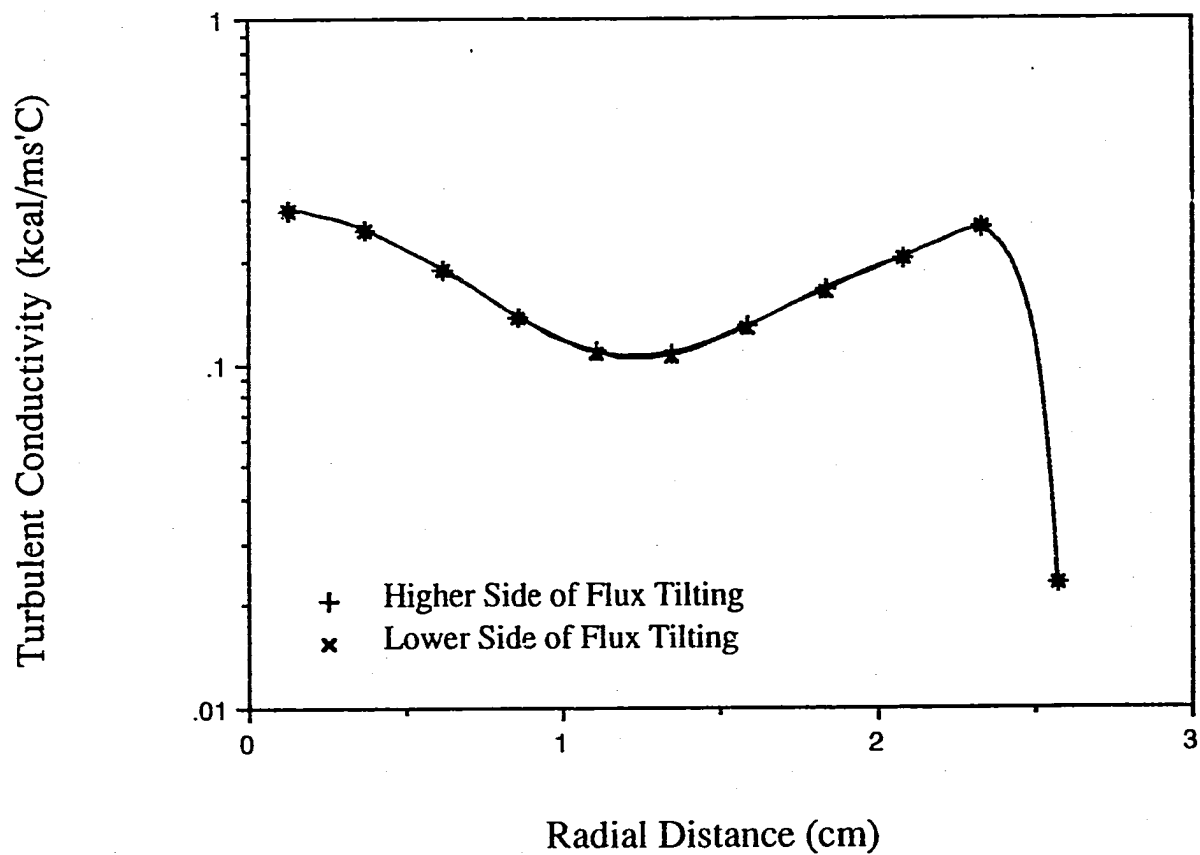


Fig.3.33 ハンドリングヘッド上端面における乱流熱伝導度の半径方向分布 (2F1)

Radial Distribution of Reynolds Stress at S/A Top Level

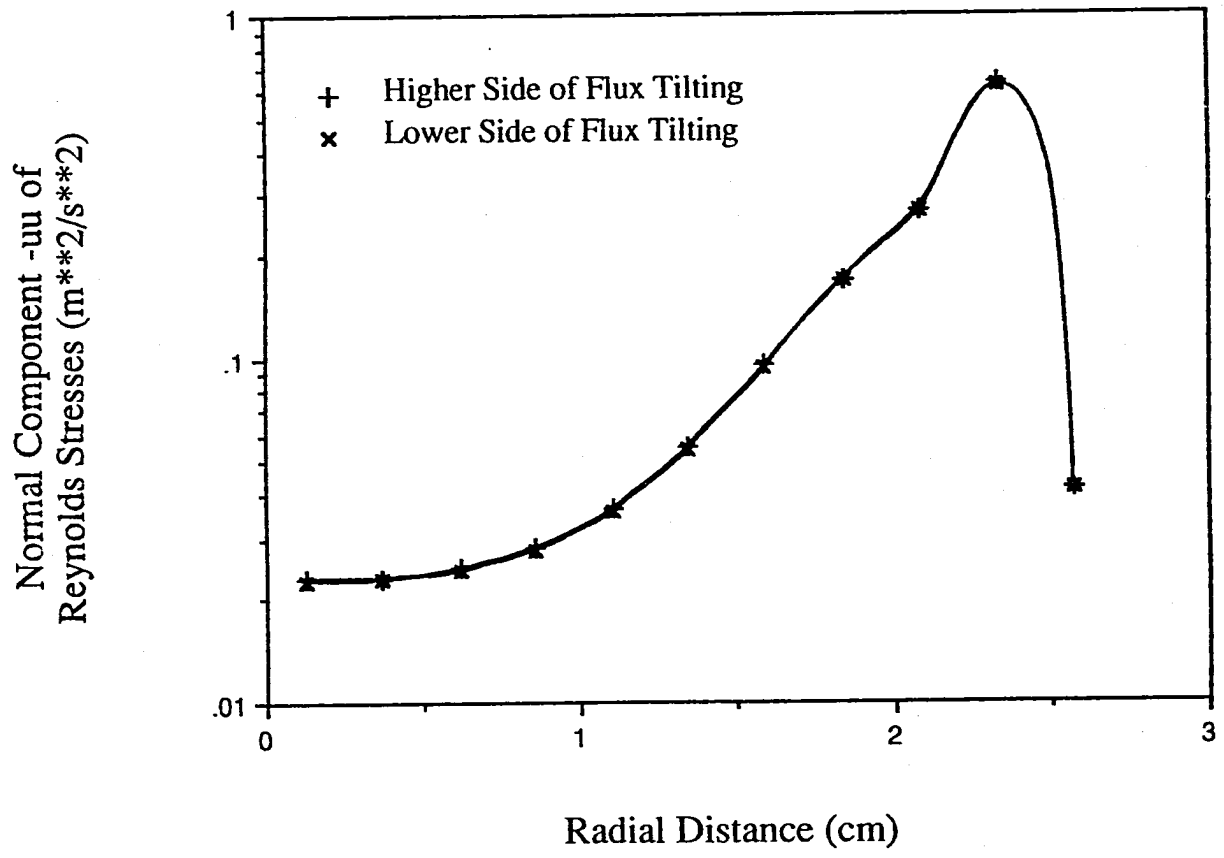


Fig.3.34 ハンドリングヘッド上端面における  
レイノルズ応力成分 (-uu) の半径方向分布 (2F1)

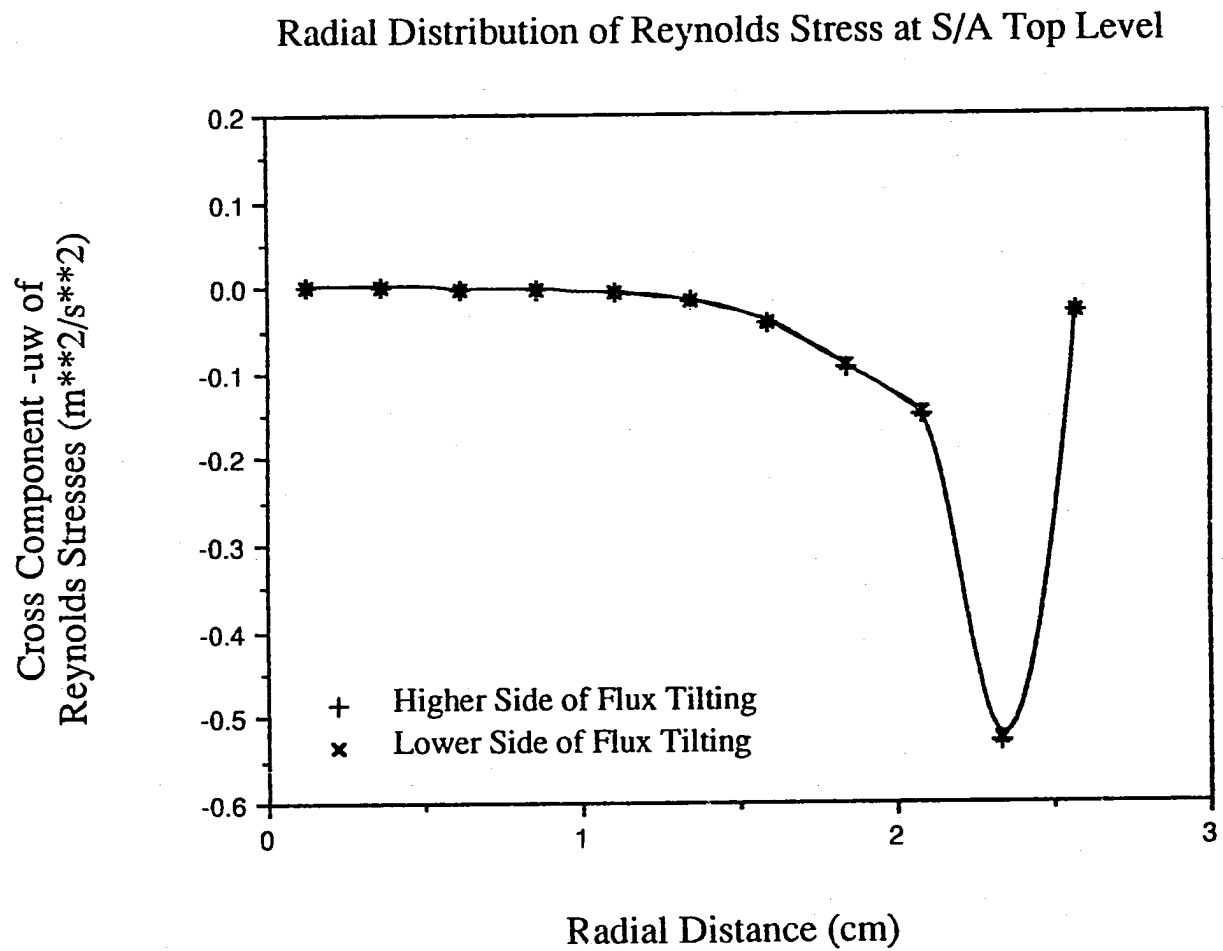


Fig.3.35 ハンドリングヘッド上端面における  
レイノルズ応力成分 (-uw) の半径方向分布 (2F1)

Radial Distribution of Reynolds Stress at S/A Top Level

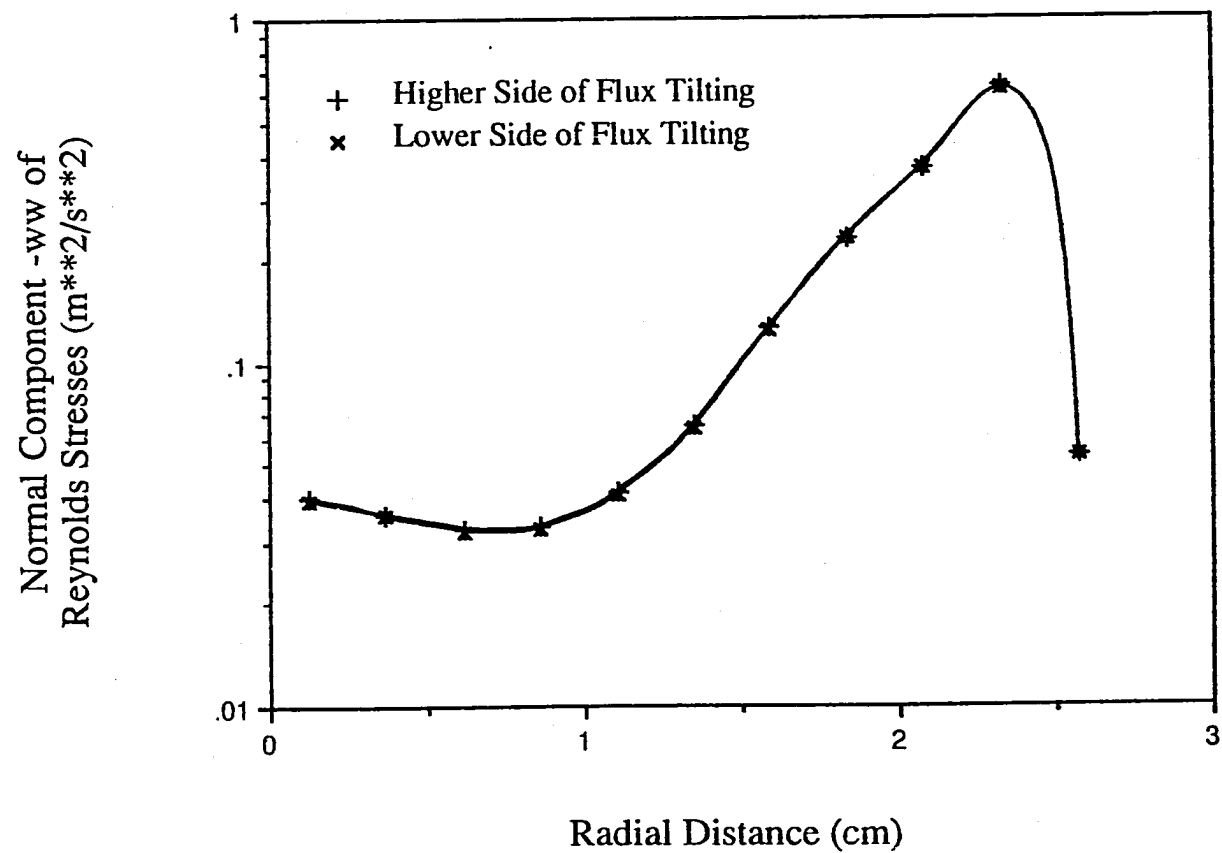


Fig.3.36 ハンドリングヘッド上端面における  
レイノルズ応力成分 (-ww) の半径方向分布 (2F1)

Radial Distribution of Turbulent Heat Flux at S/A Top Level

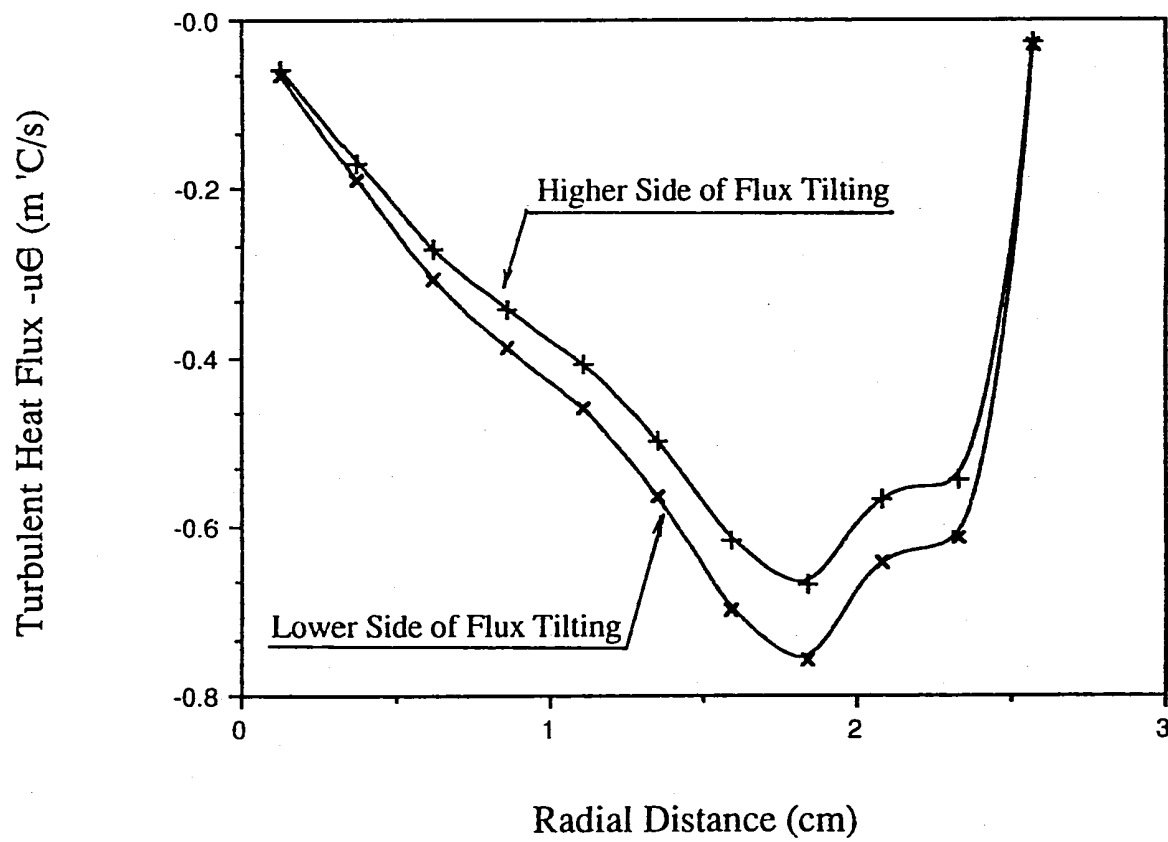


Fig.3.37 ハンドリングヘッド上端面における乱流熱流束(-uθ)の半径方向分布(2F1)

Radial Distribution of Turbulent Heat Flux at S/A Top Level

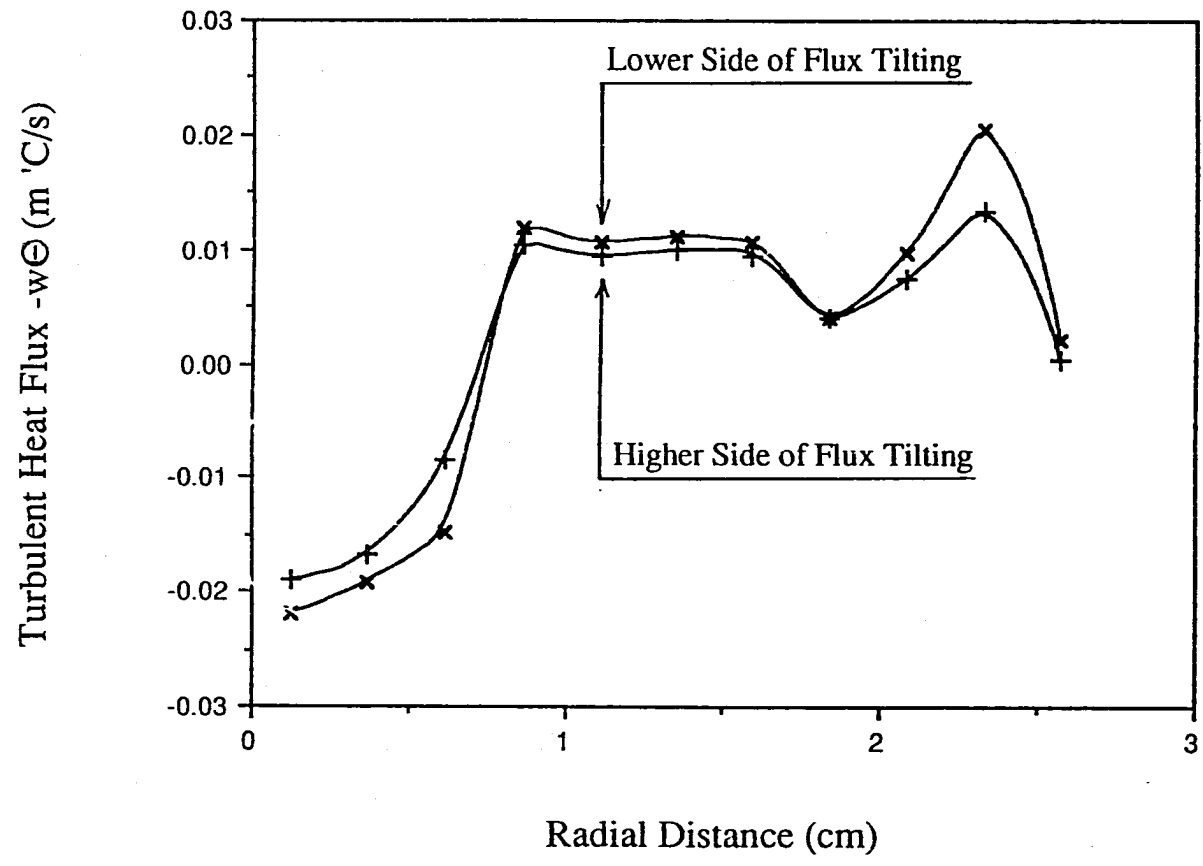


Fig.3.38 ハンドリングヘッド上端面における乱流熱流束 ( $-w\theta$ ) の半径方向分布 (2F1)

Radial Distribution of Coolant Temperature Fluctuation (°C)

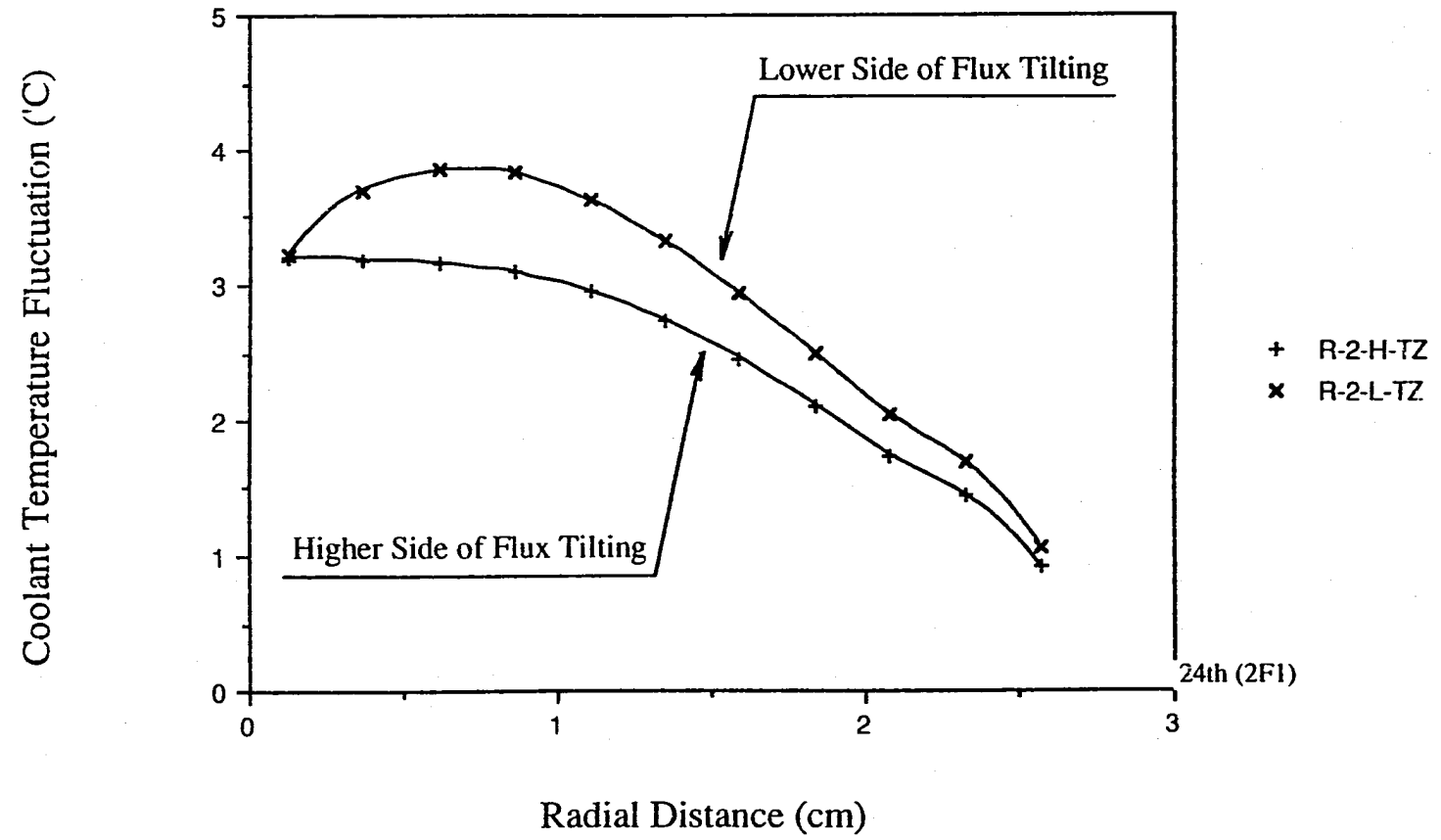


Fig.3.39 ハンドリングヘッド上端面における温度ゆらぎ強度の半径方向分布 (2F1)



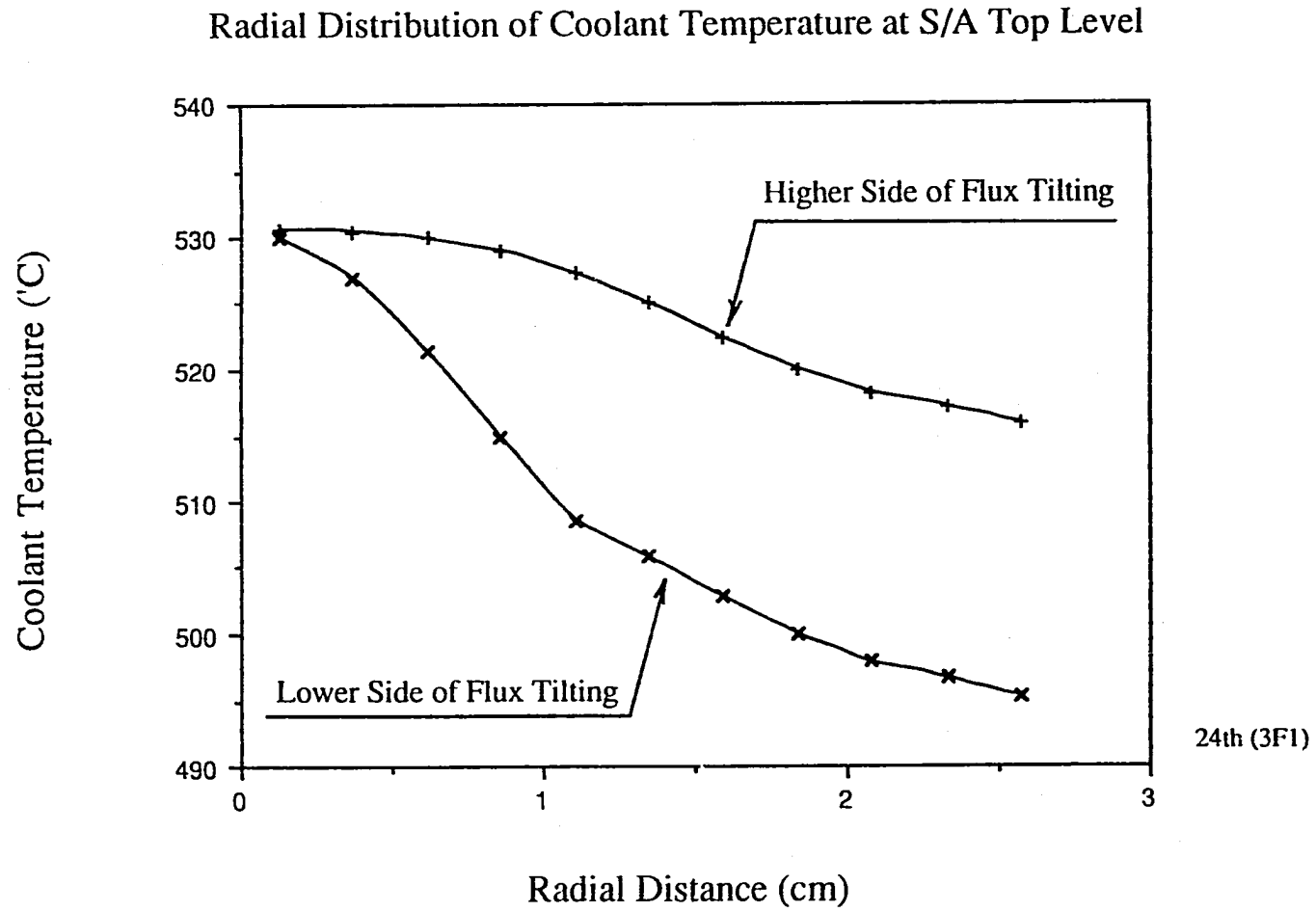


Fig.3.40 ハンドリングヘッド上端面における半径方向温度分布 (3F1)

Radial Distribution of Axial Velocity Component at S/A Top Level

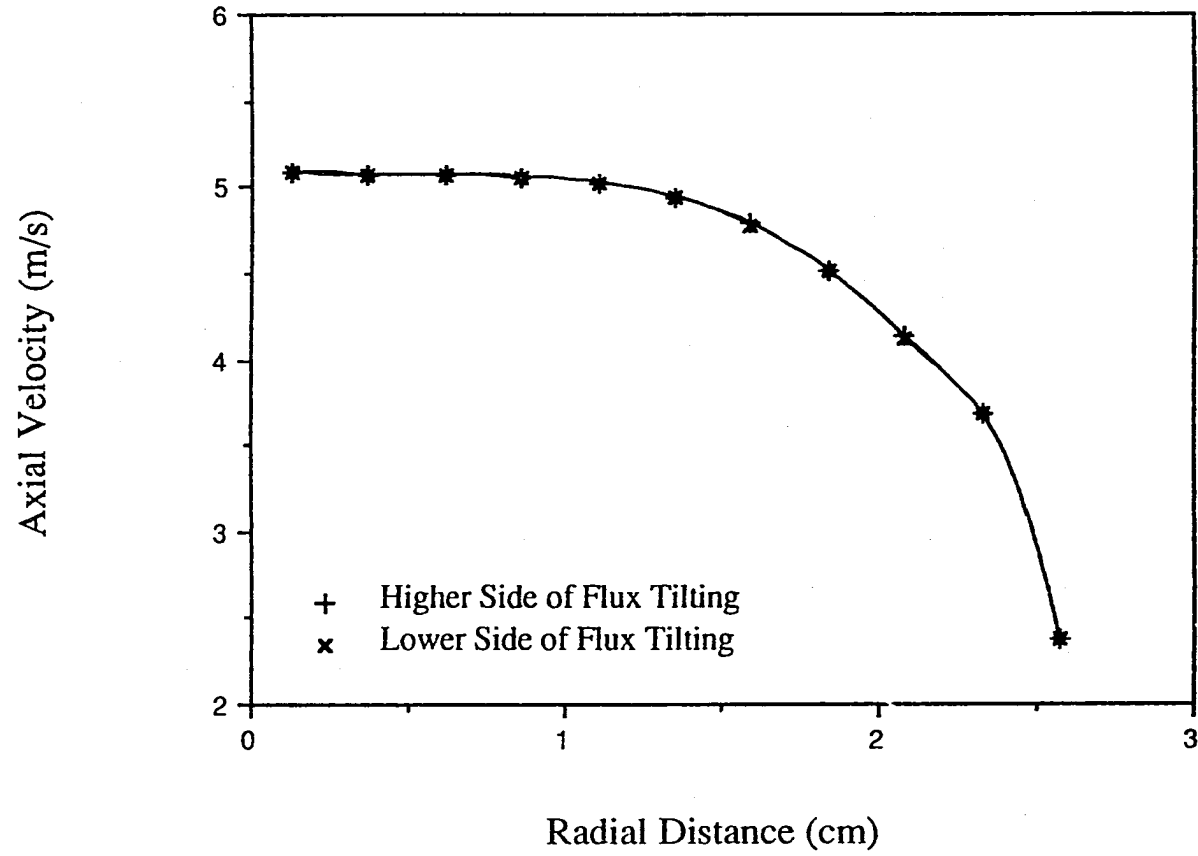


Fig.3.41 ハンドリングヘッド上端面における軸方向流速成分半径方向分布 (3F1)

Radial Distribution of Turbulent Kinetic Energy at S/A Top Level

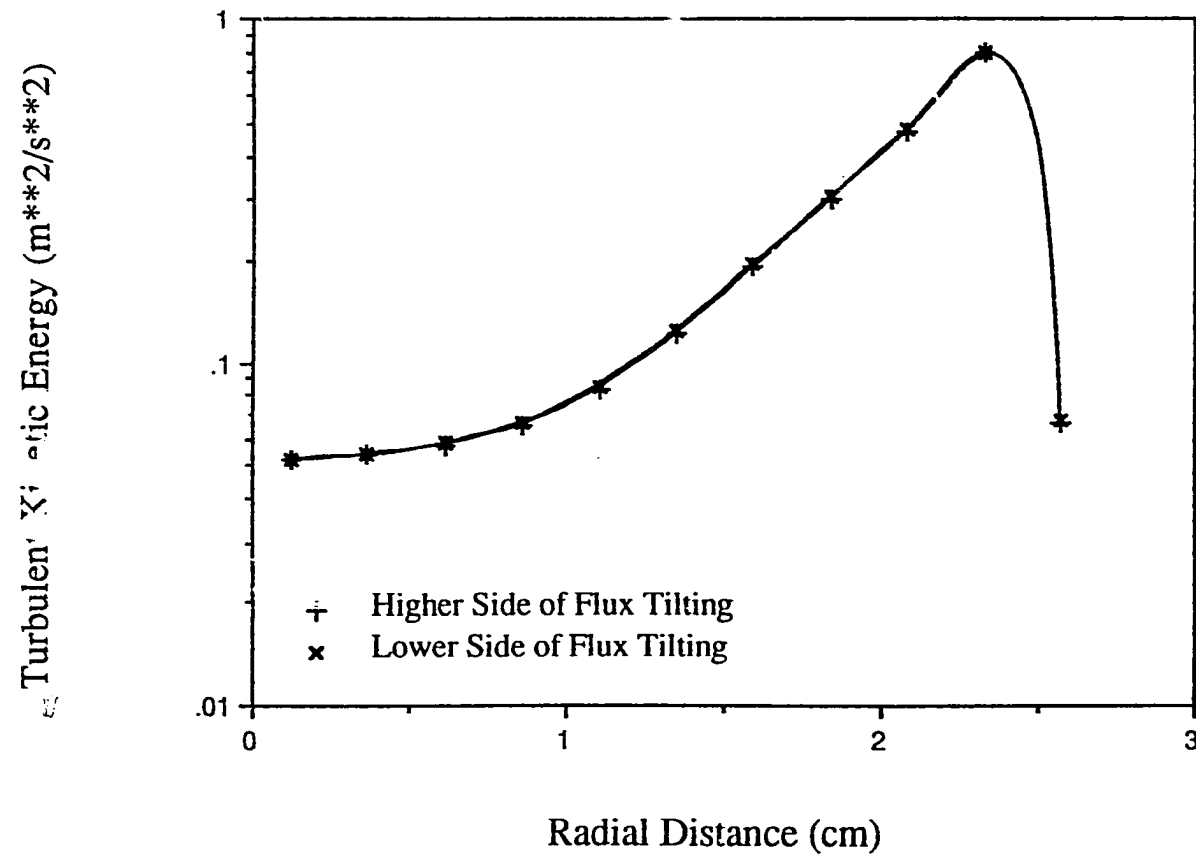


Fig.3.42 ハンドリングヘッド上端面における乱流運動エネルギーの半径方向分布 (3F1)

## Radial Distribution of Dissipation Rate of Turbulent Kinetic Energy at S/A Top Level

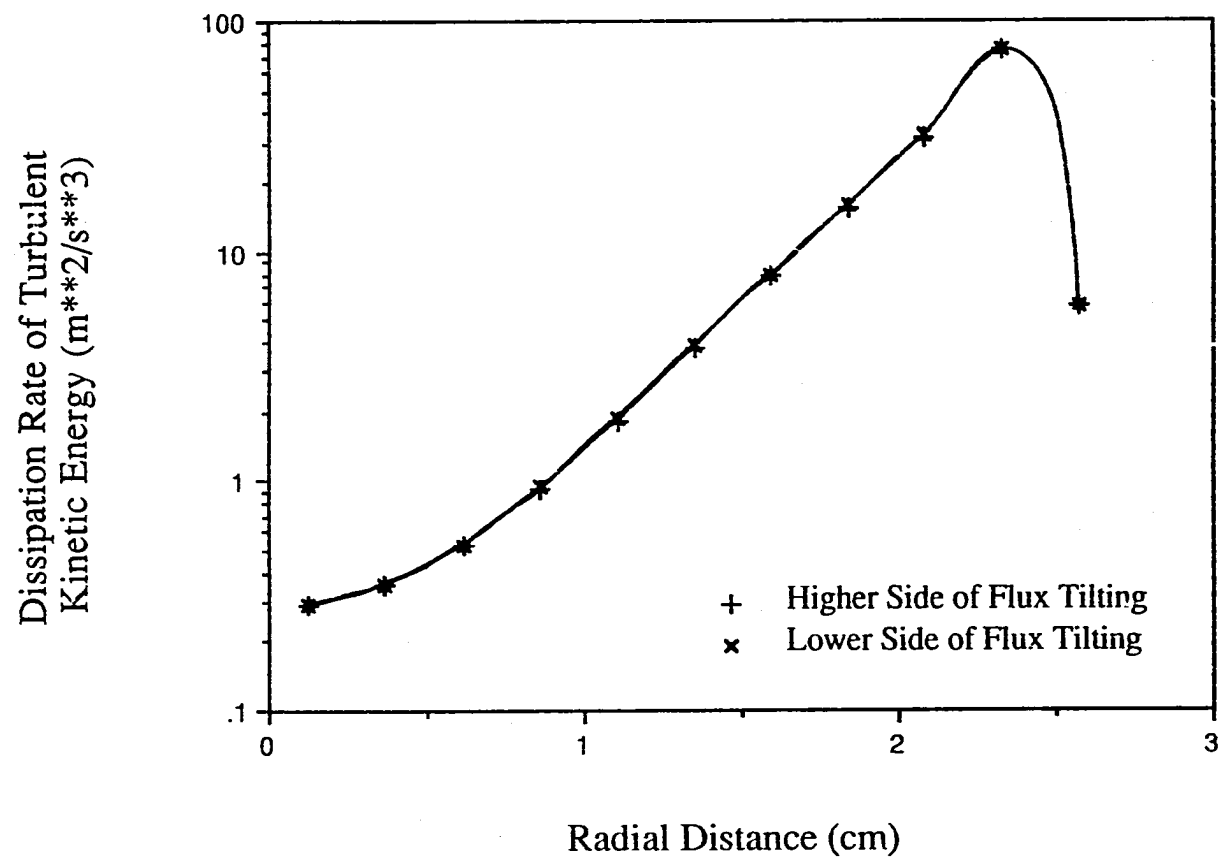


Fig.3.43 ハンドリングヘッド上端面における  
乱流運動エネルギー散逸率の半径方向分布 (3F1)

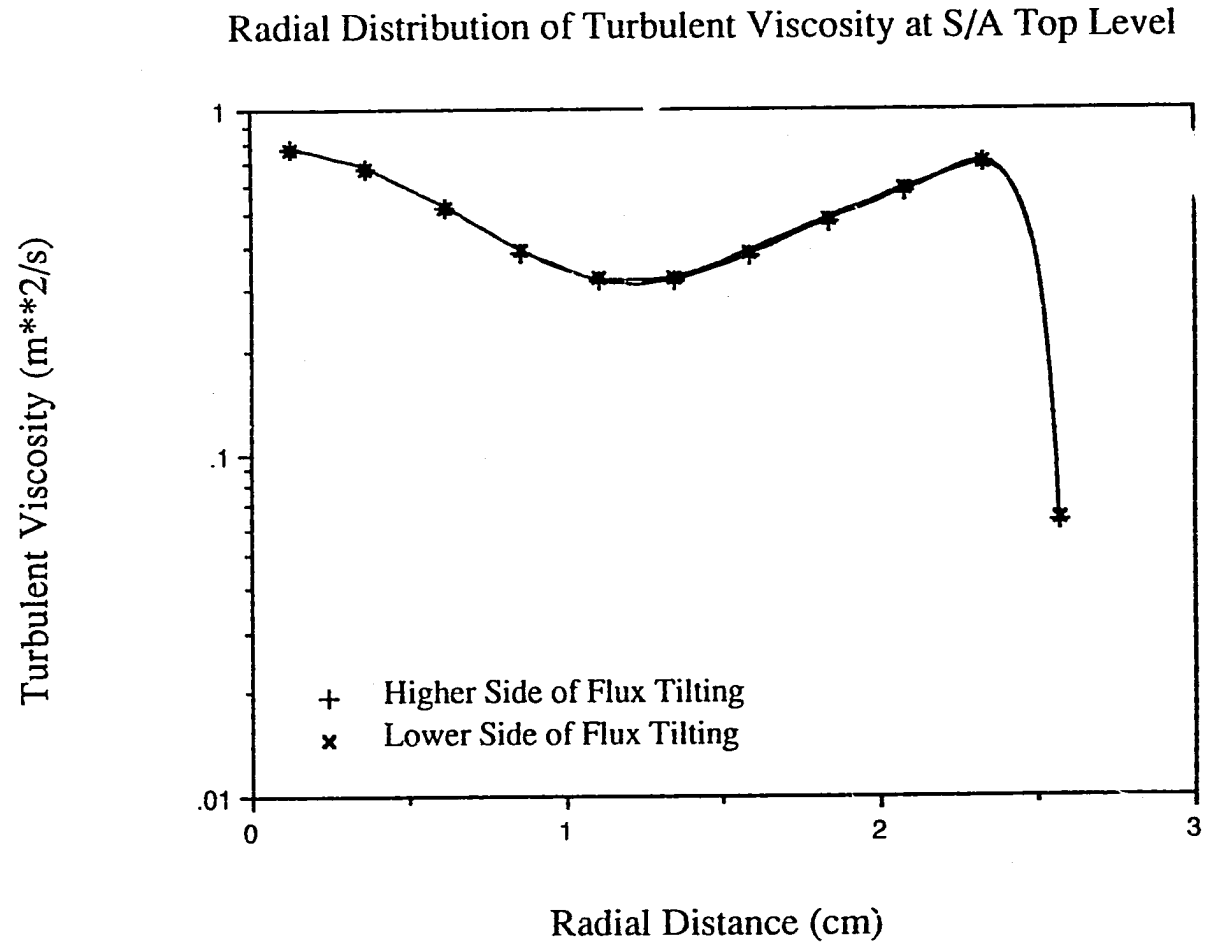


Fig.3.44 ハンドリングヘッド上端面における乱流粘性係数の半径方向分布 (3F1)

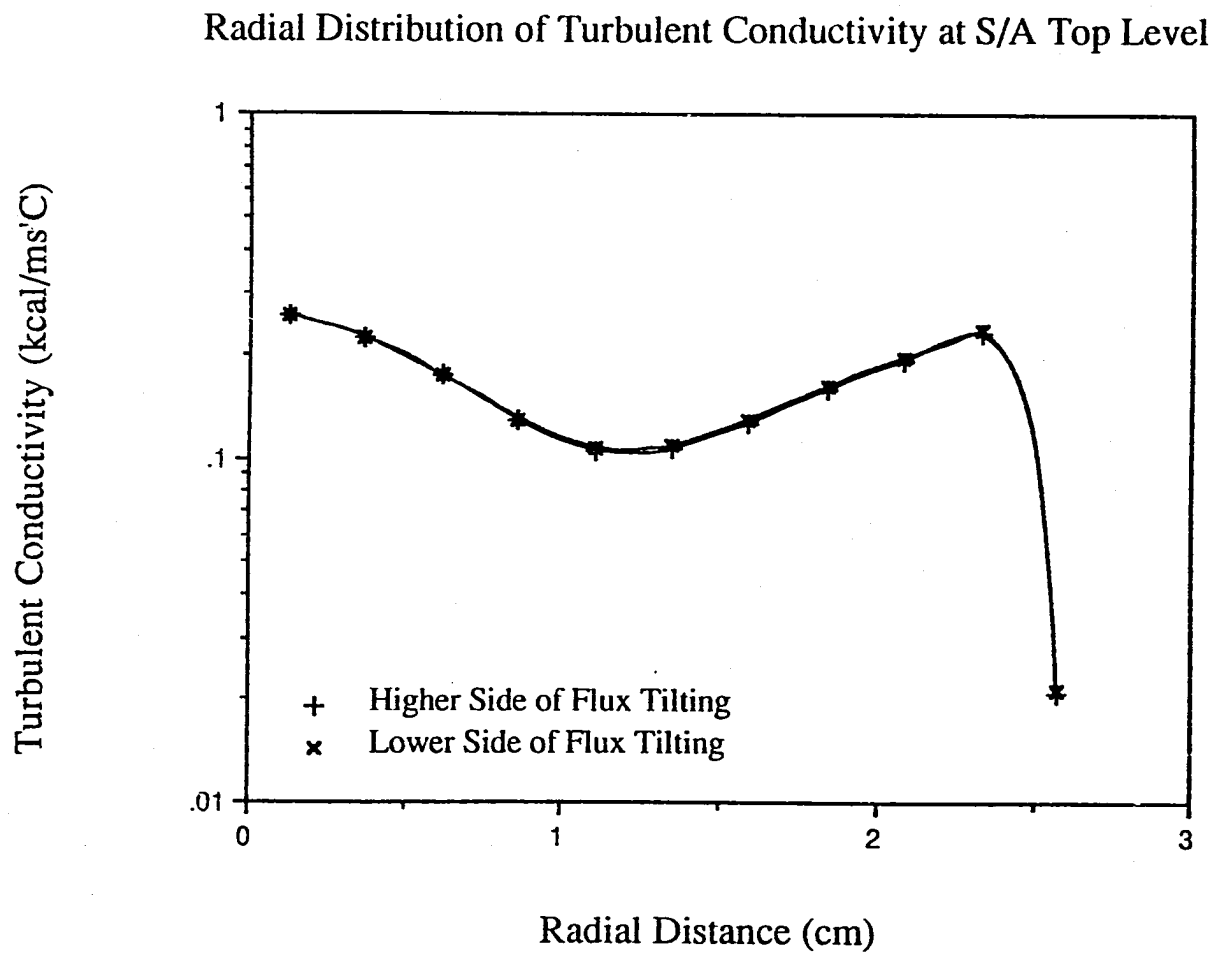


Fig.3.45 ハンドリングヘッド上端面における乱流熱伝導度の半径方向分布 (3F1)

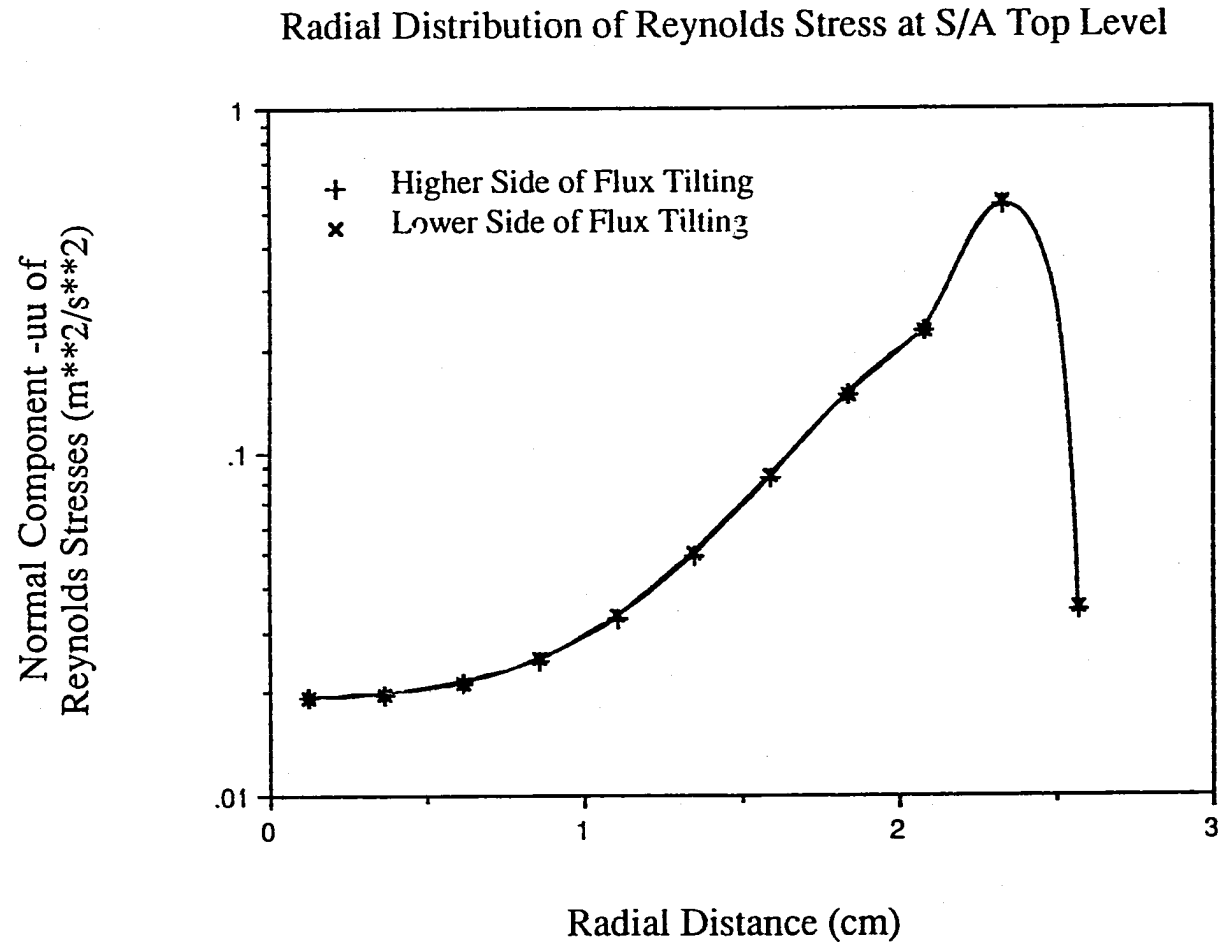


Fig.3.46 ハンドリングヘッド上端面における  
レイノルズ応力成分 (-uu) の半径方向分布 (3F1)

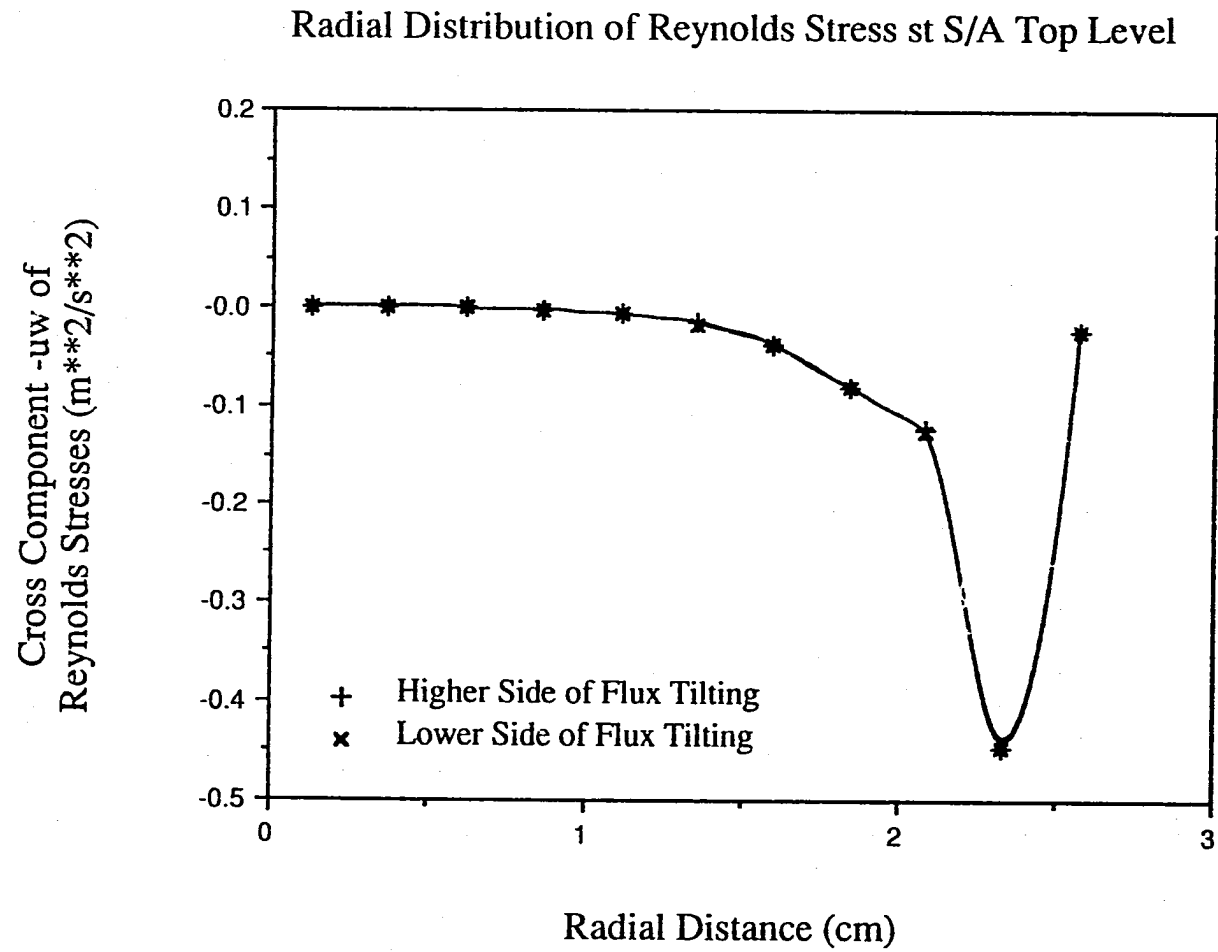


Fig.3.47 ハンドリングヘッド上端面における  
レイノルズ応力成分 (-uw) の半径方向分布 (3F1)



Radial Distribution of Reynolds Stress at S/A Top Level

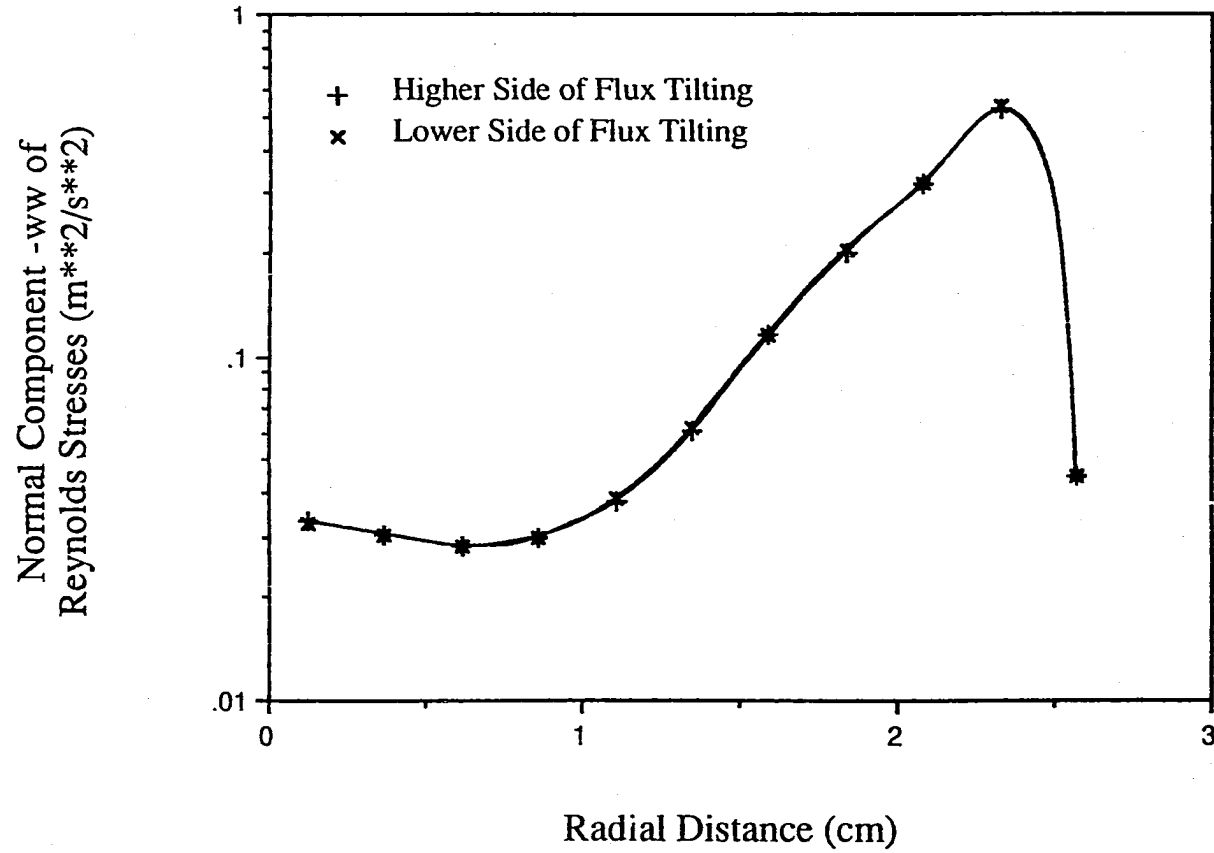


Fig.3.48 ハンドリングヘッド上端面における  
レイノルズ応力成分 (-ww) の半径方向分布 (3F1)

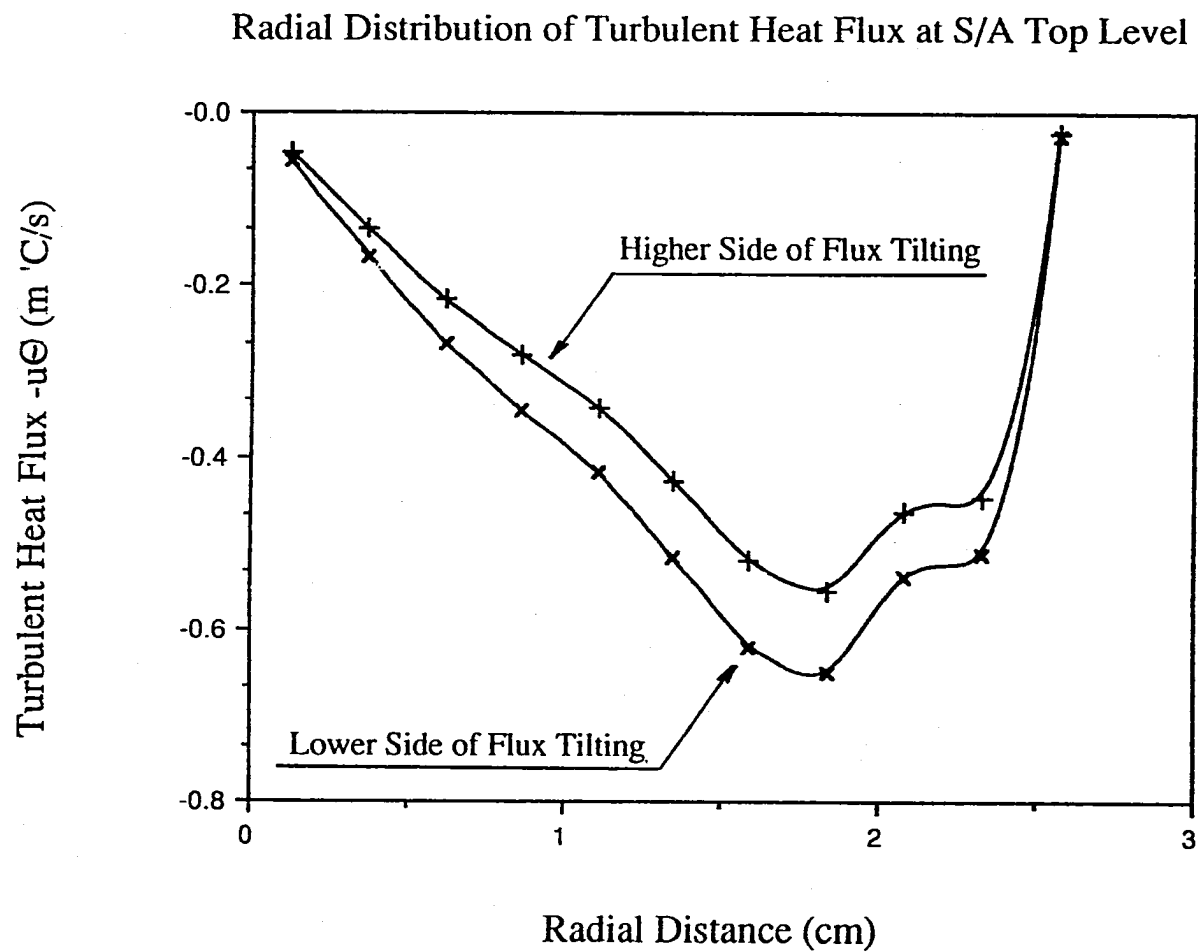


Fig.3.49 ハンドリングヘッド上端面における乱流熱流束 ( $-u\theta$ ) の半径方向分布 (3F1)

Radial Distribution of Turbulent Heat Flux at S/A Top Level

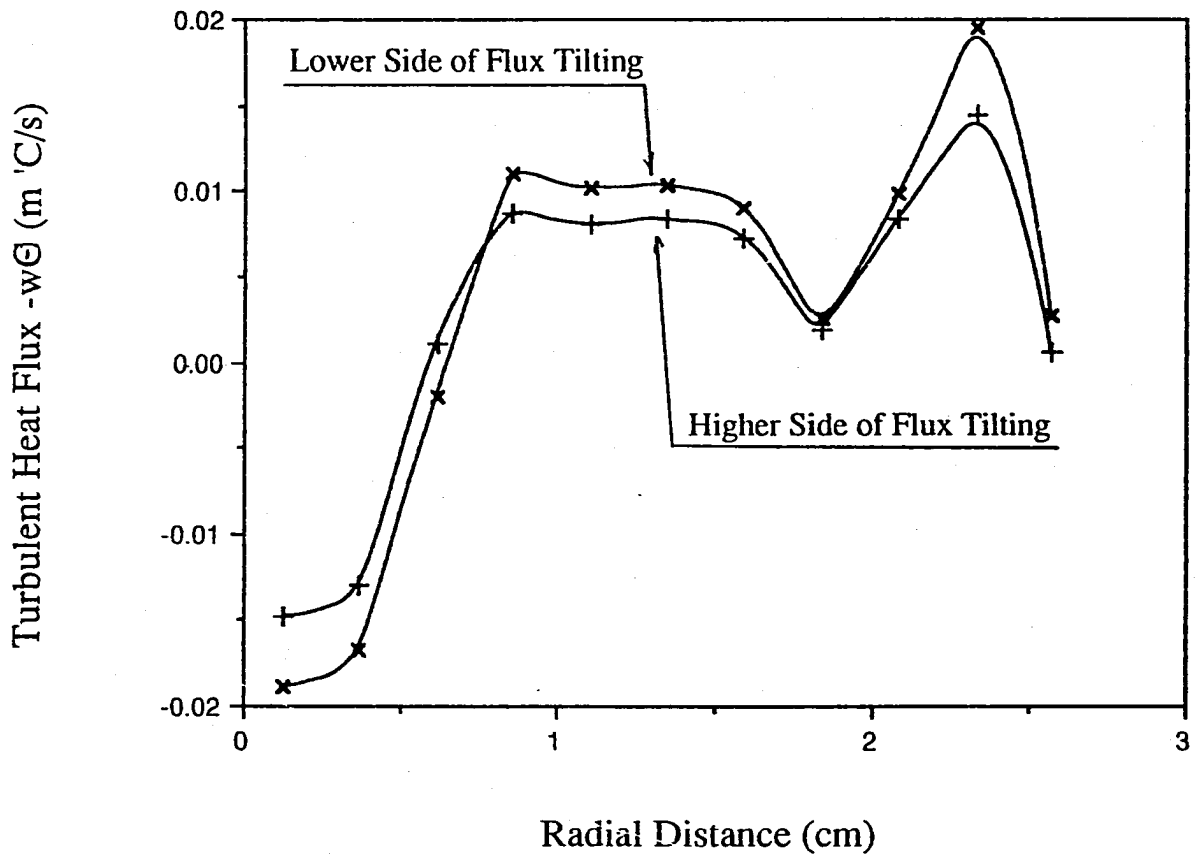


Fig.3.50 ハンドリングヘッド上端面における乱流熱流束(-wθ)の半径方向分布(3F1)

Radial Distribution of Coolant Temperature Fluctuation at S/A Top Level

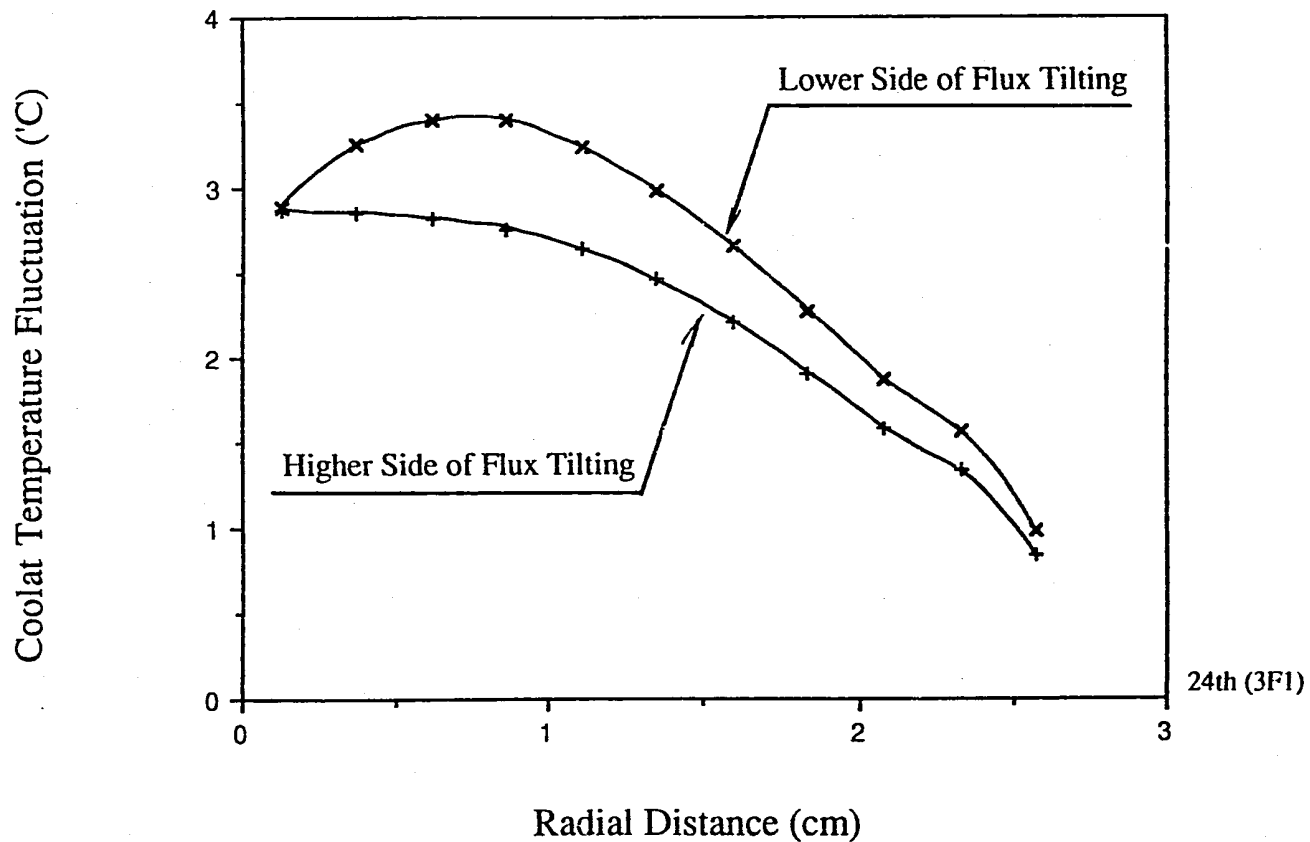


Fig.3.51 ハンドリングヘッド上端面における温度ゆらぎ強度の半径方向分布 (3F1)

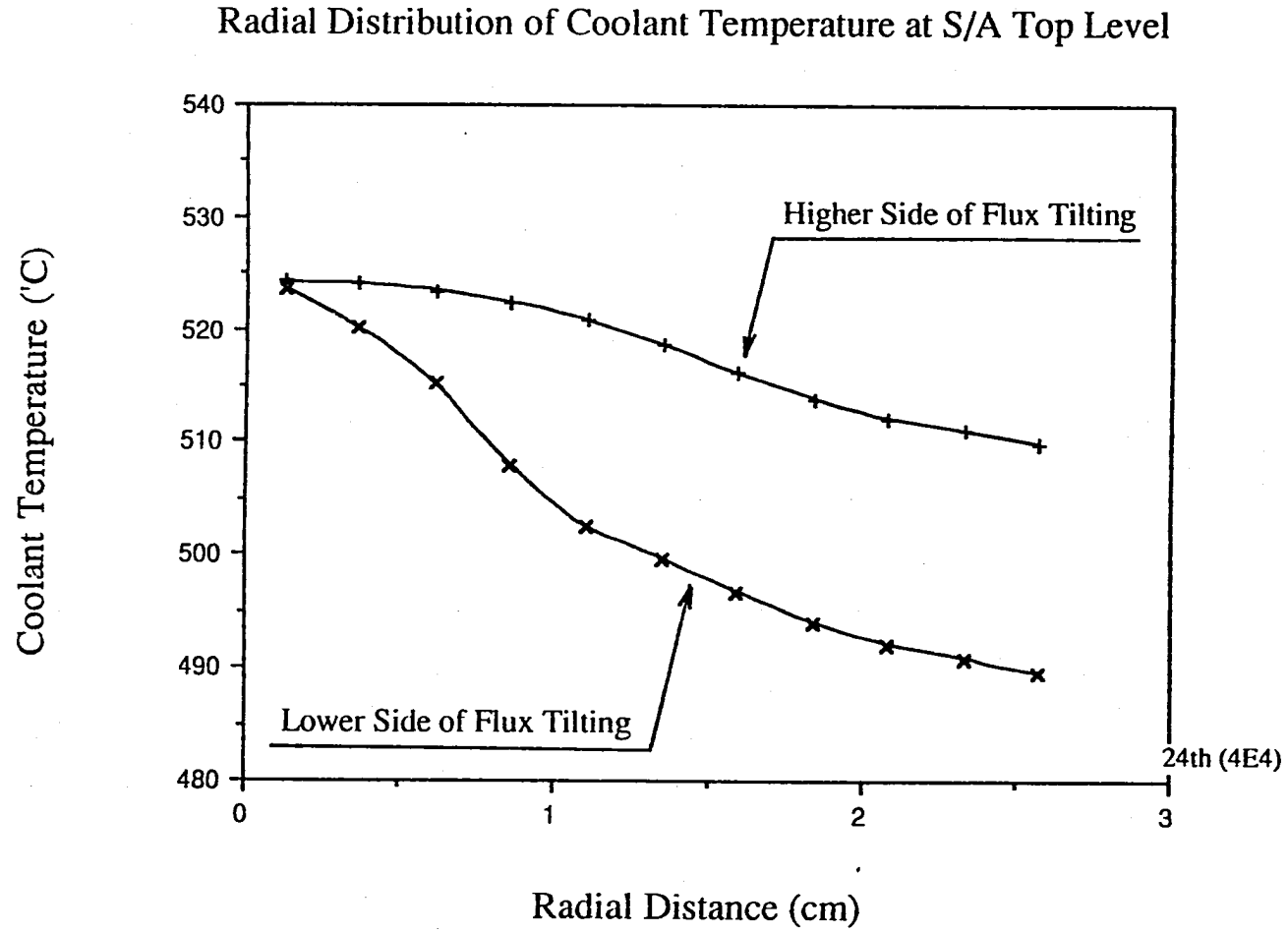


Fig.3.52 ハンドリングヘッド上端面における半径方向温度分布 (4E4)

Radial Distribution of Axial Velocity Component at S/A Top Level

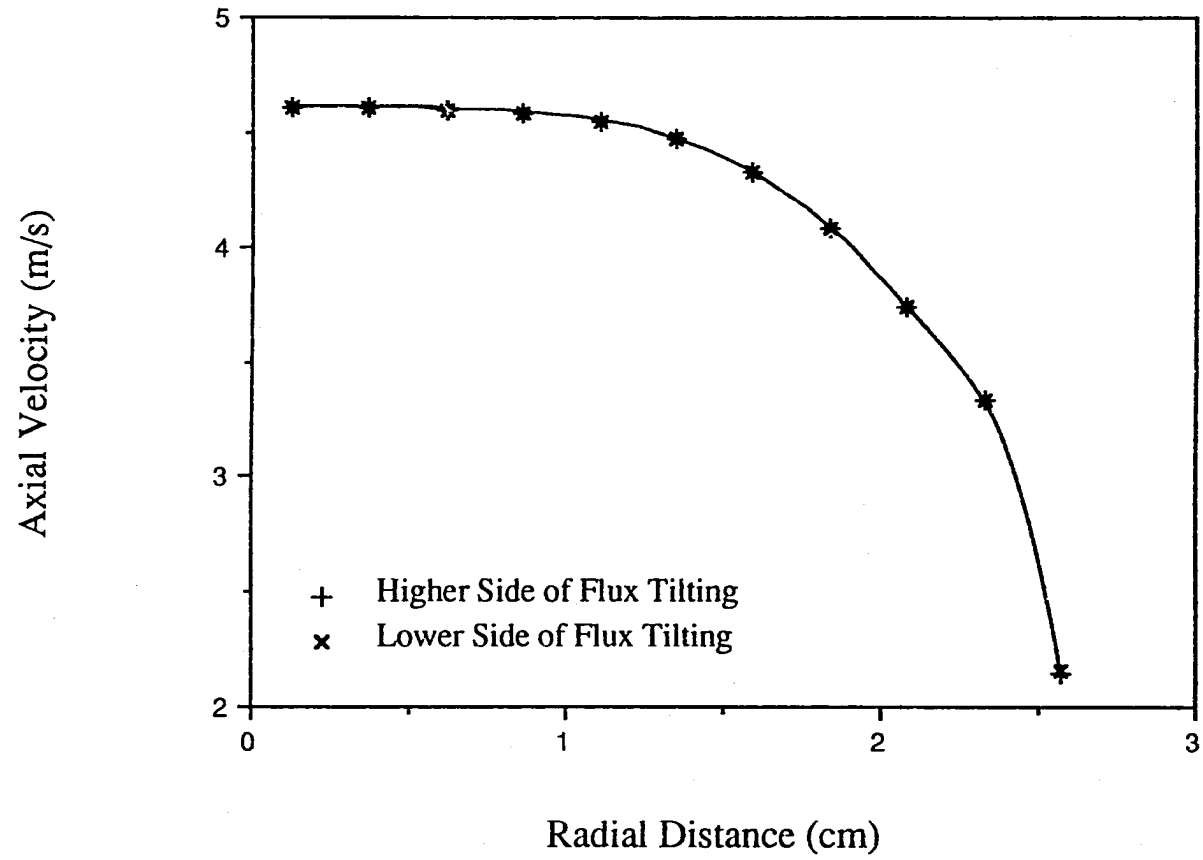


Fig.3.53 ハンドリングヘッド上端面における軸方向流速成分半径方向分布 (4E4)

## Radial Distribution of Turbulent Kinetic Energy at S/A Top Level

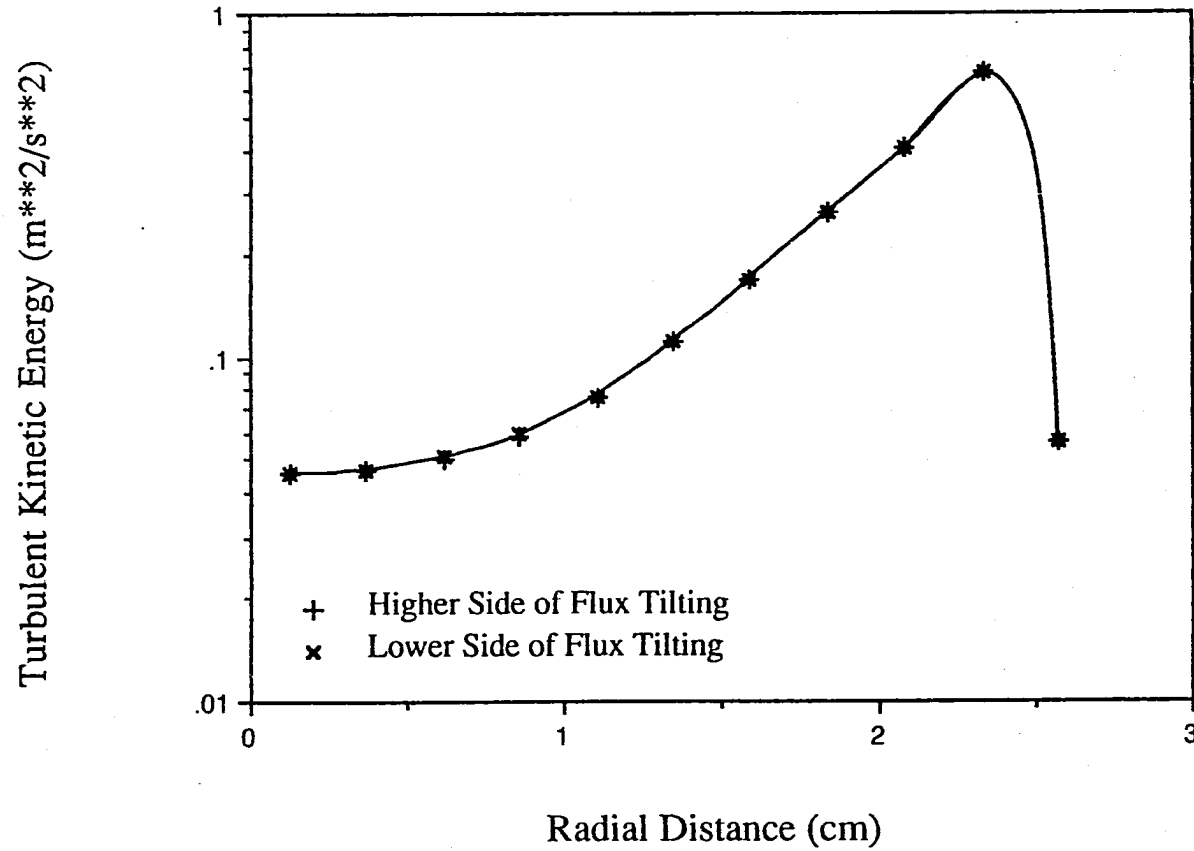


Fig.3.54 ハンドリングヘッド上端面における乱流運動エネルギーの半径方向分布 (4E4)

## Radial Distribution of Dissipation Rate of Turbulent Kinetic Energy at S/A Top Level

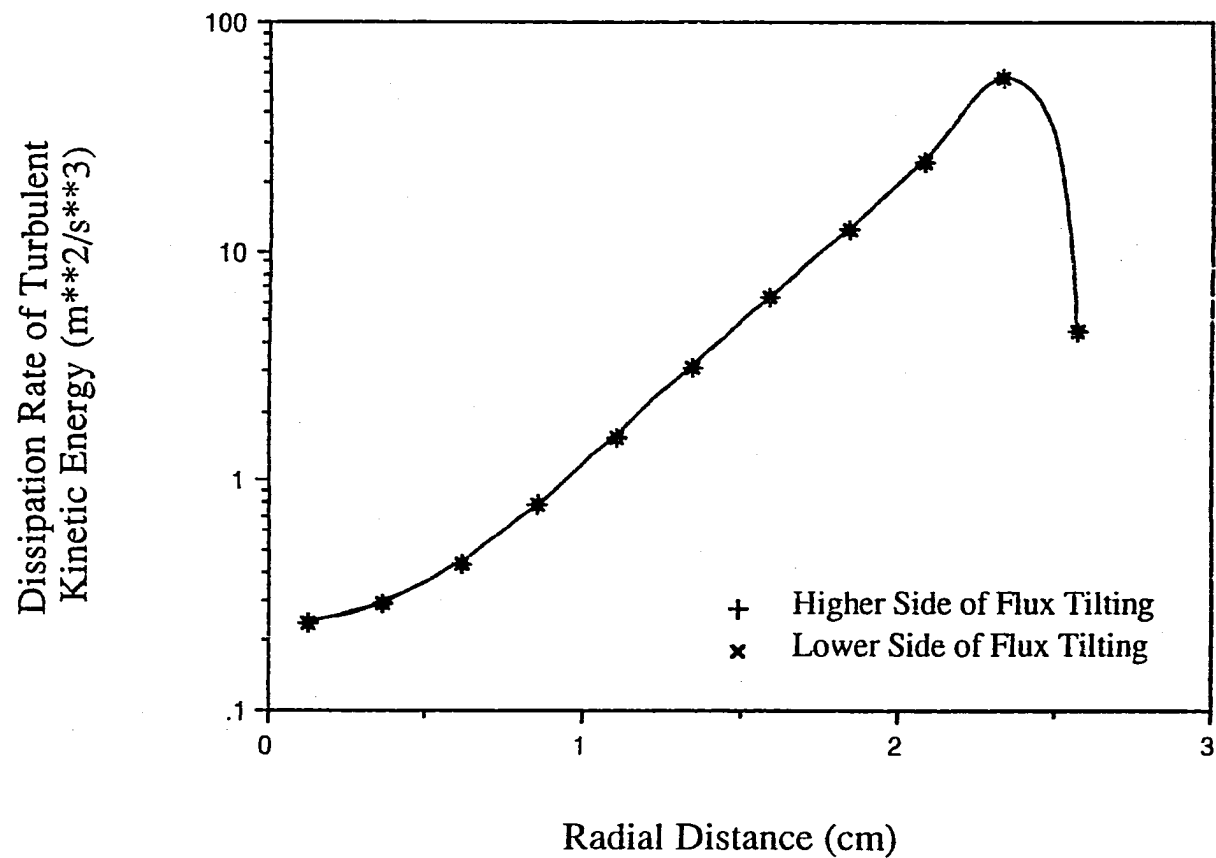


Fig.3.55 ハンドリングヘッド上端面における  
乱流運動エネルギー散逸率の半径方向分布 (4E4)



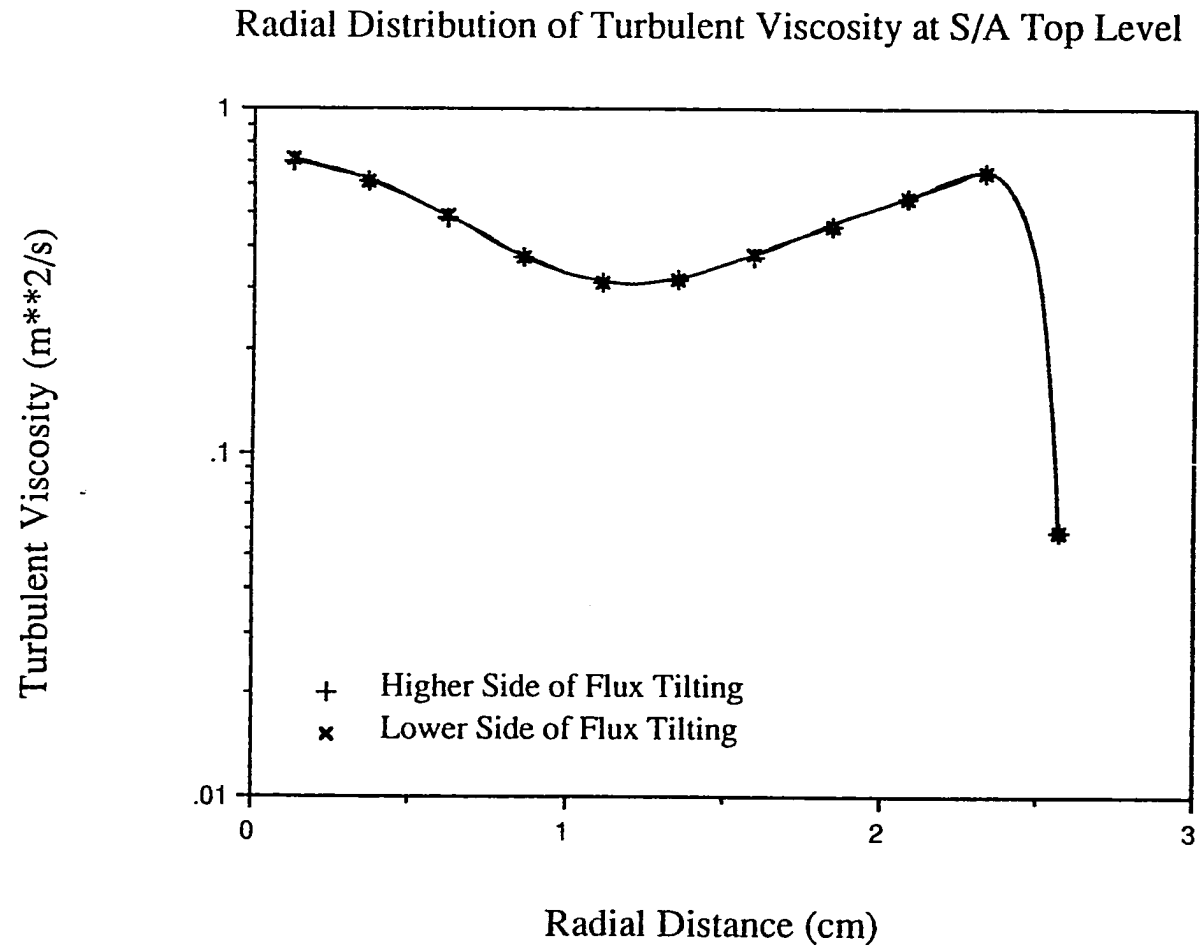


Fig.3.56 ハンドリングヘッド上端面における乱流粘性係数の半径方向分布 (4E4)

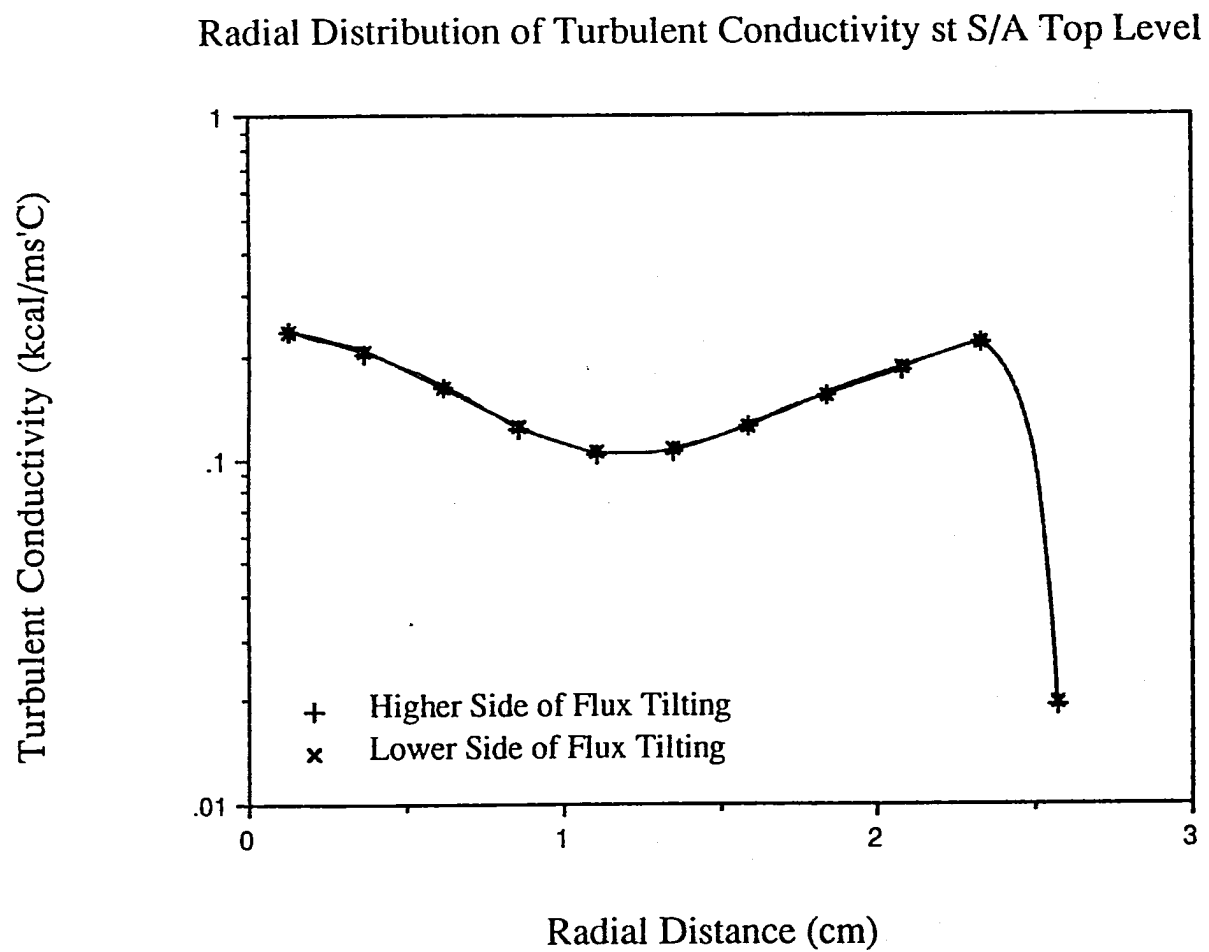


Fig.3.57 ハンドリングヘッド上端面における乱流熱伝導度の半径方向分布 (4E4)

Radial Distribution of Reynolds Stress at S/A Top Level

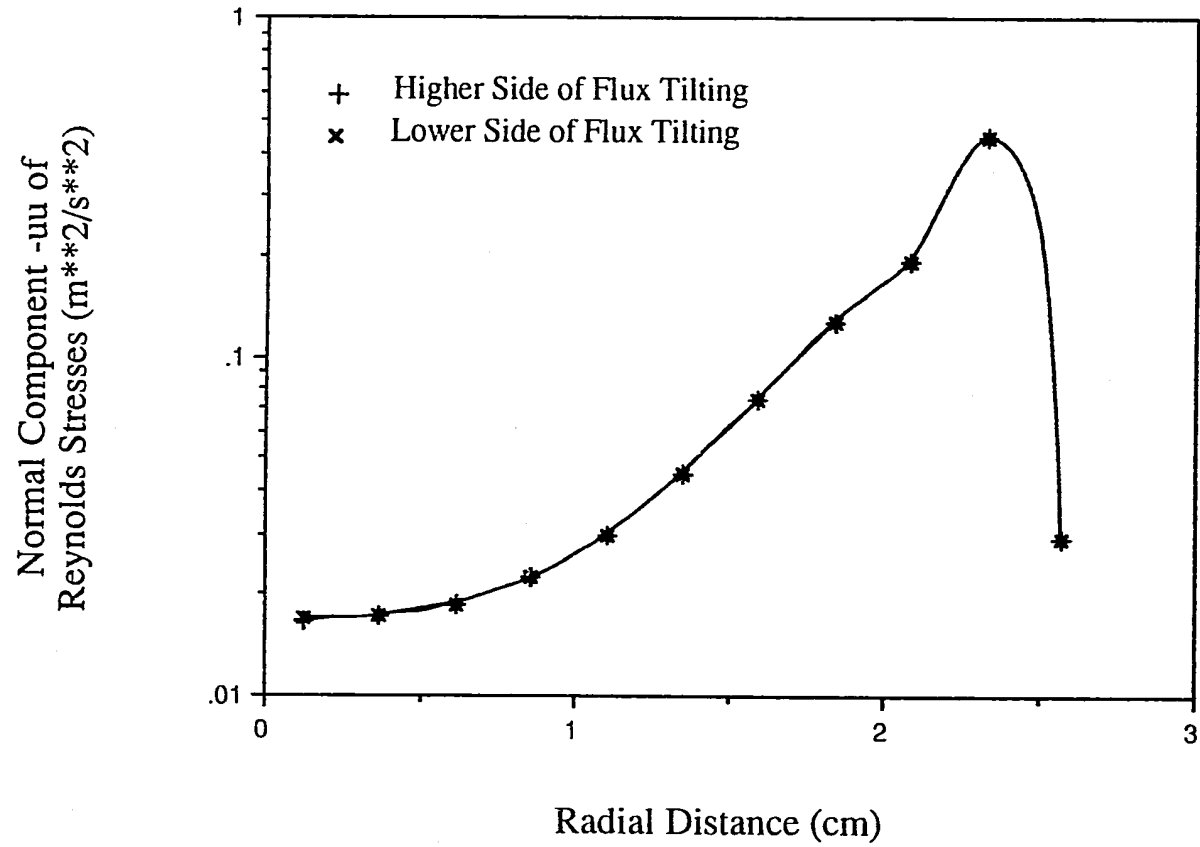


Fig.3.58 ハンドリングヘッド上端面における  
レイノルズ応力成分 (-uu) の半径方向分布 (4E4)

Radial Distribution of Reynolds Stress at S/A Top Level

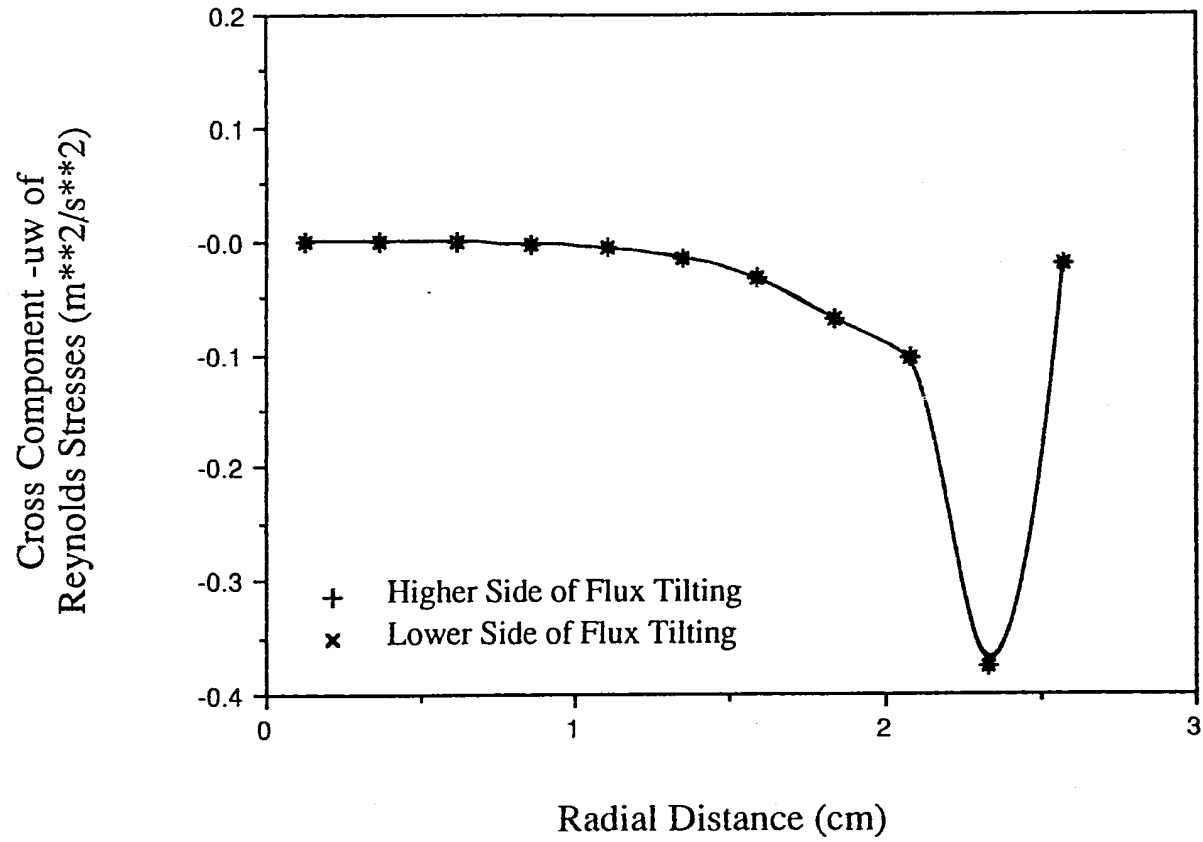


Fig.3.59 ハンドリングヘッド上端面における  
レイノルズ応力成分 (-uw) の半径方向分布 (4E4)

Radial Distribution of Reynolds Stress at S/A Top Level

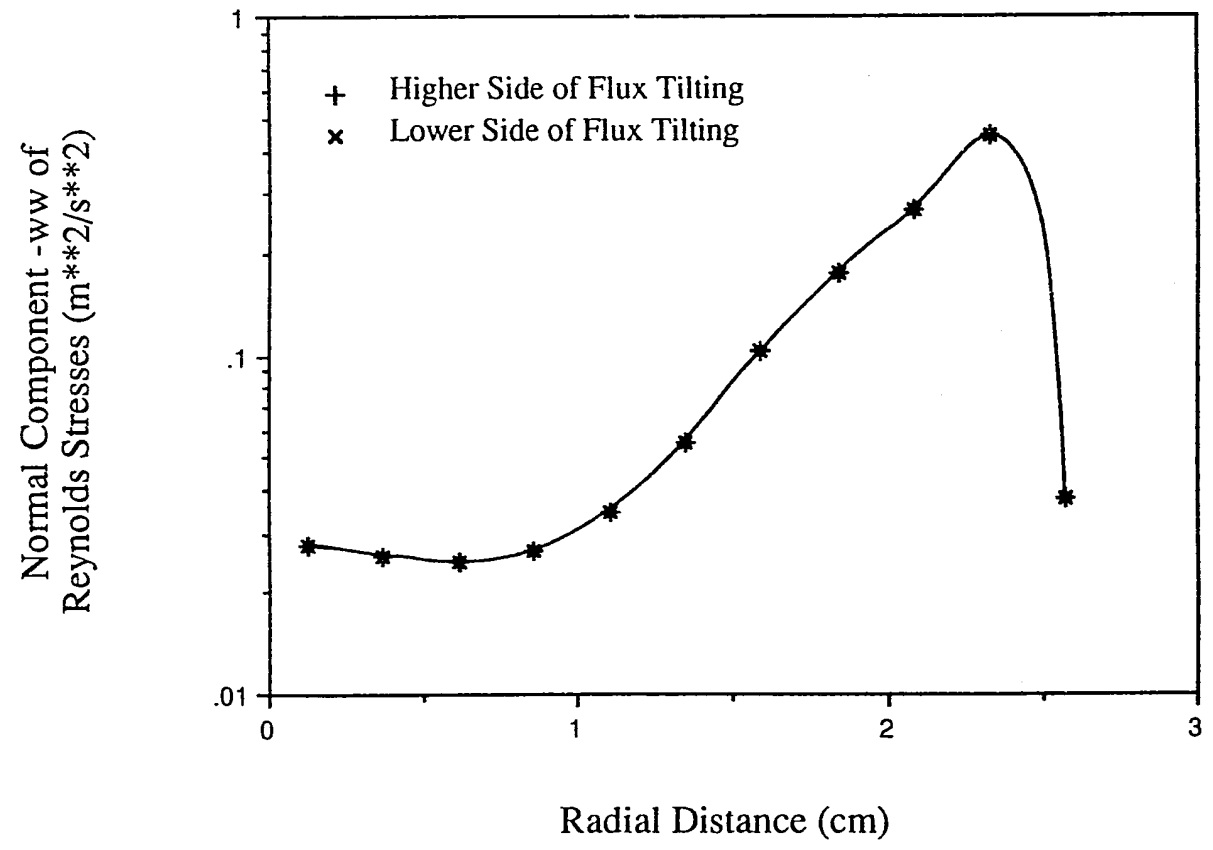


Fig.3.60 ハンドリングヘッド上端面における  
レイノルズ応力成分 (-ww) の半径方向分布 (4E4)

Radial Distribution of Turbulent Heat Flux at S/A Top Level

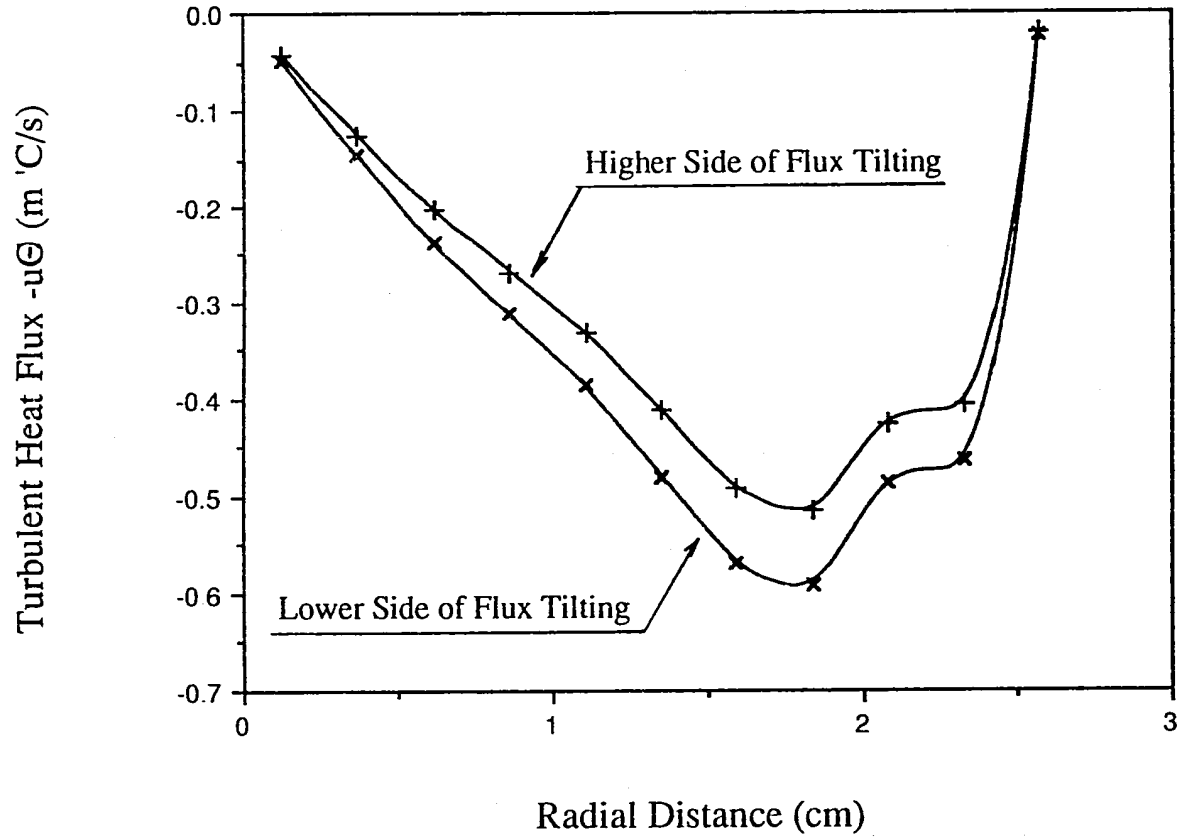


Fig.3.61 ハンドリングヘッド上端面における乱流熱流束 (-uθ) の半径方向分布 (4E4)

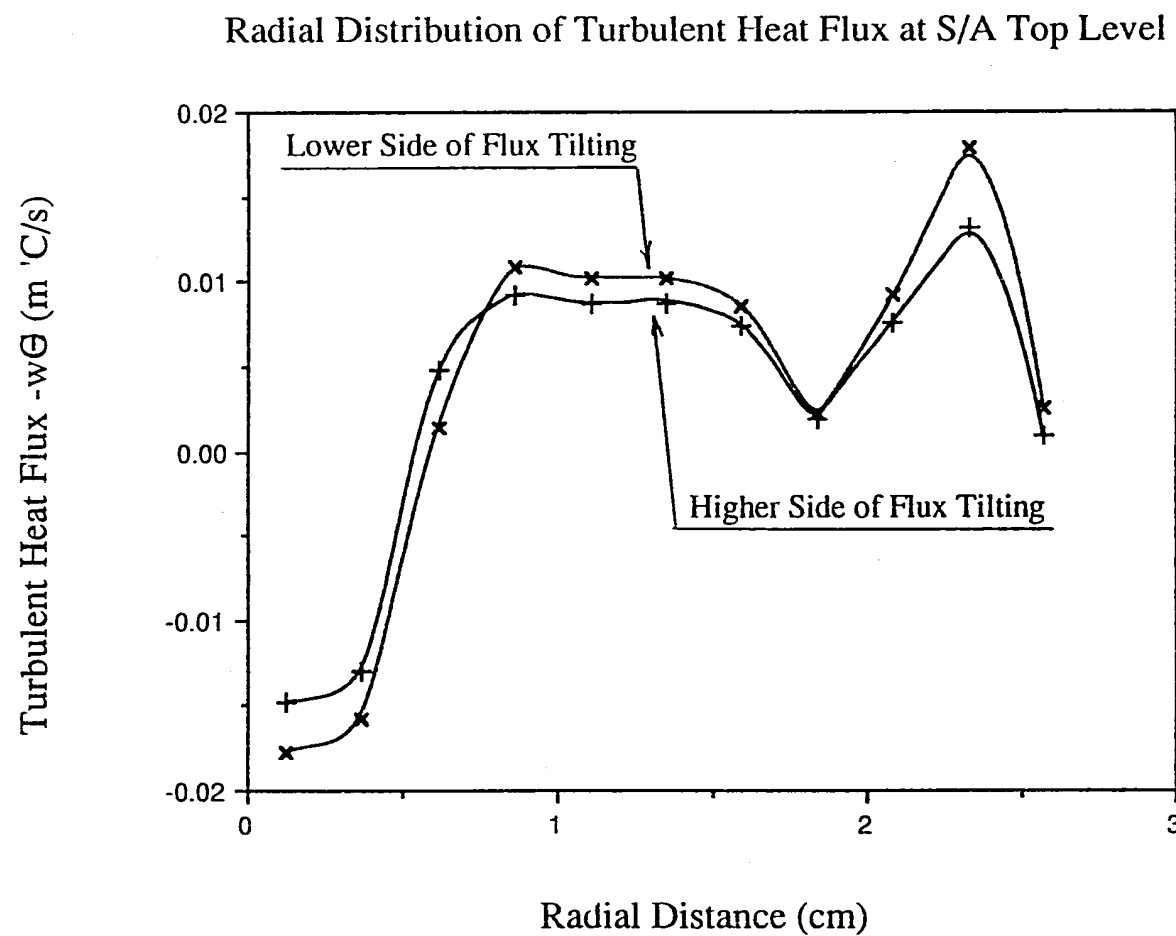


Fig.3.62 ハンドリングヘッド上端面における乱流熱流束 ( $-w\theta$ ) の半径方向分布 (4E4)

Radial Distribution of Coolant Temperature Fluctuation at S/A Top Level

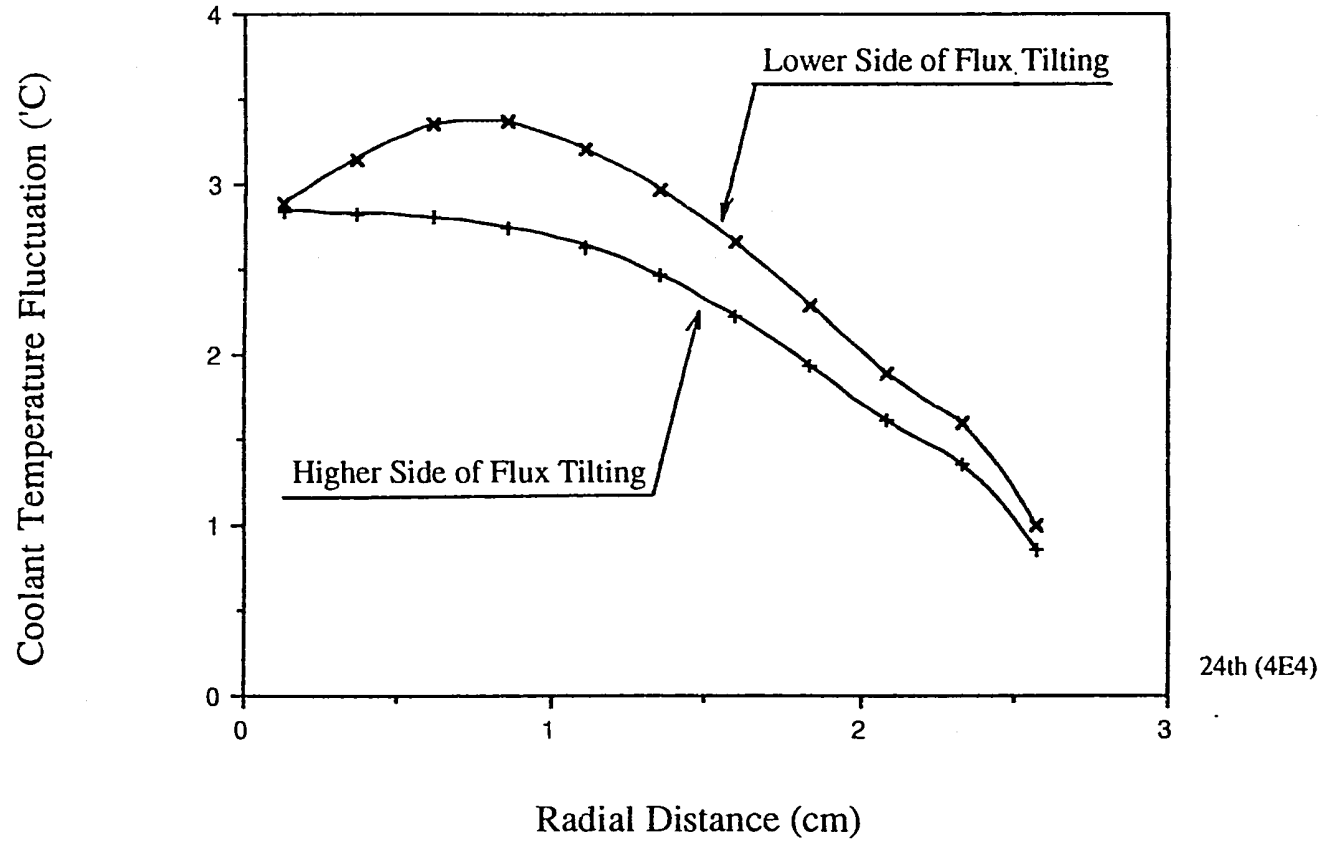


Fig.3.63 ハンドリングヘッド上端面における温度ゆらぎ強度の半径方向分布 (4E4)



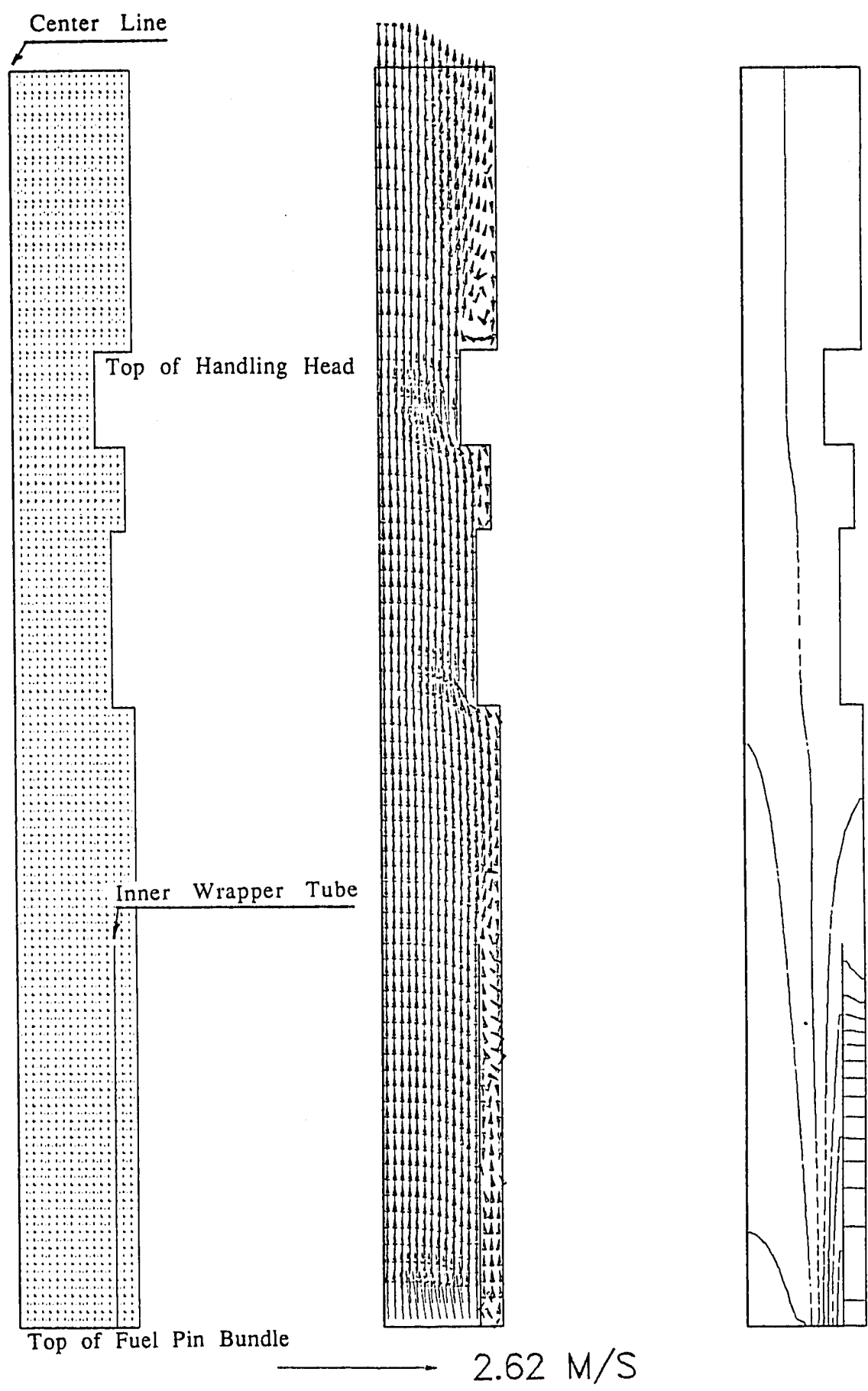


Fig.3.64 流速ベクトル図および等温線図 (3E3)

Radial Distribution of Coolant Temperature at S/A Top Level

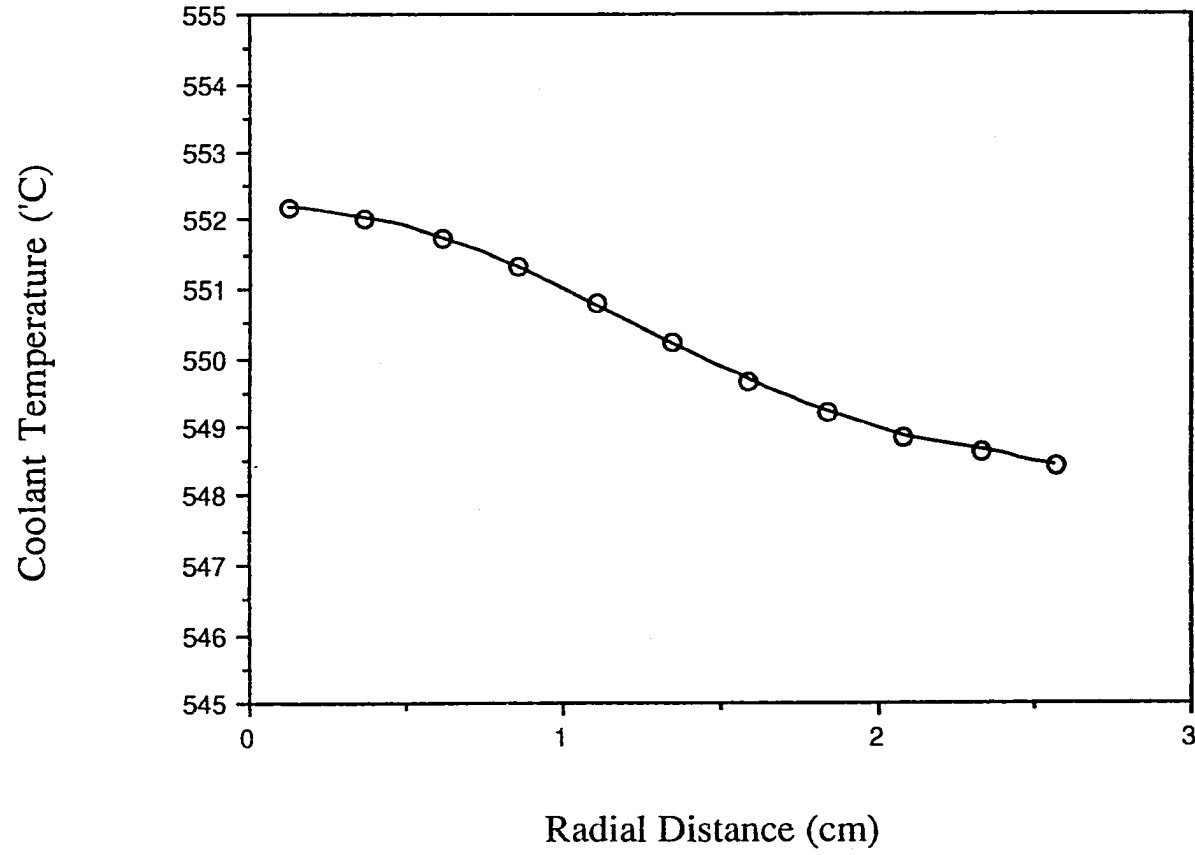


Fig.3.65 ハンドリングヘッド上端面における半径方向温度分布 (3E3)

Radial Distribution of Axial Velocity Component at S/A Top Level

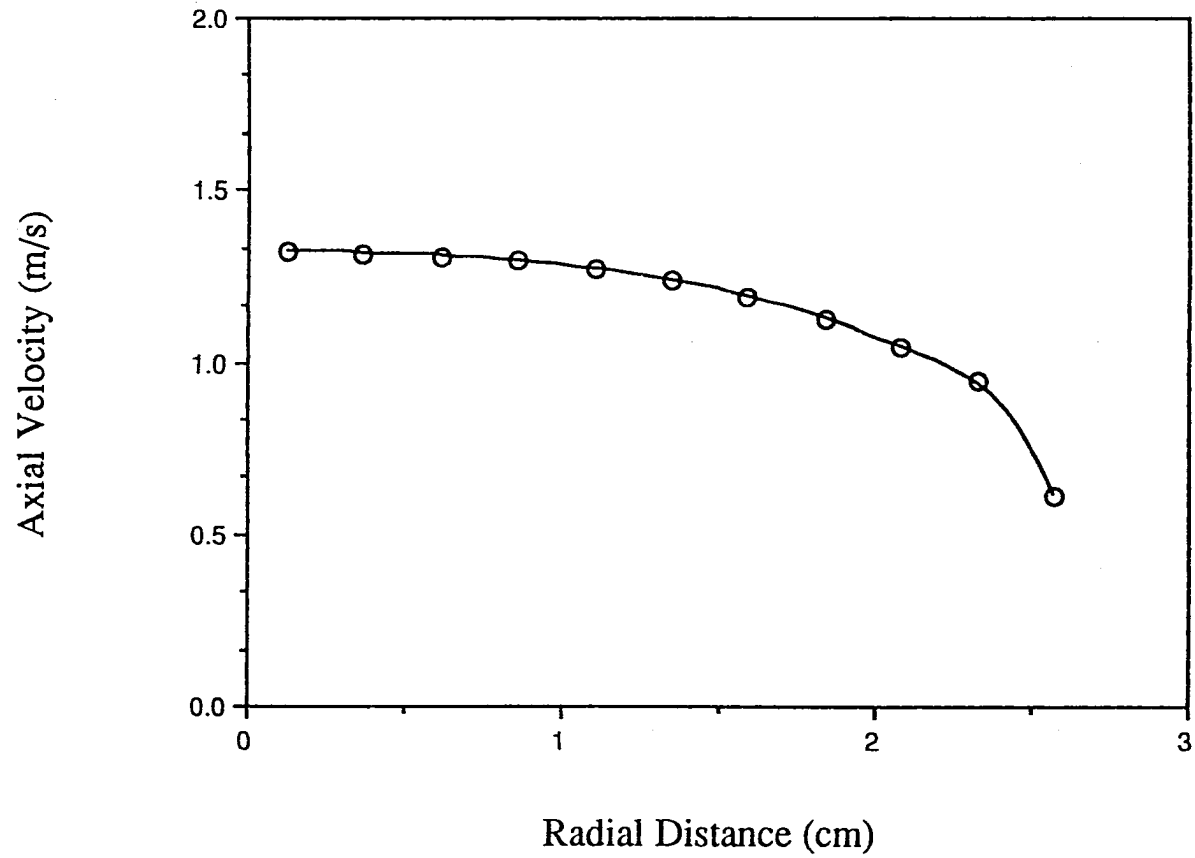


Fig.3.66 ハンドリングヘッド上端面における軸方向流速成分半径方向分布 (3E3)

## Radial Distribution of Turbulent Kinetic Energy and Its Dissipation Rate

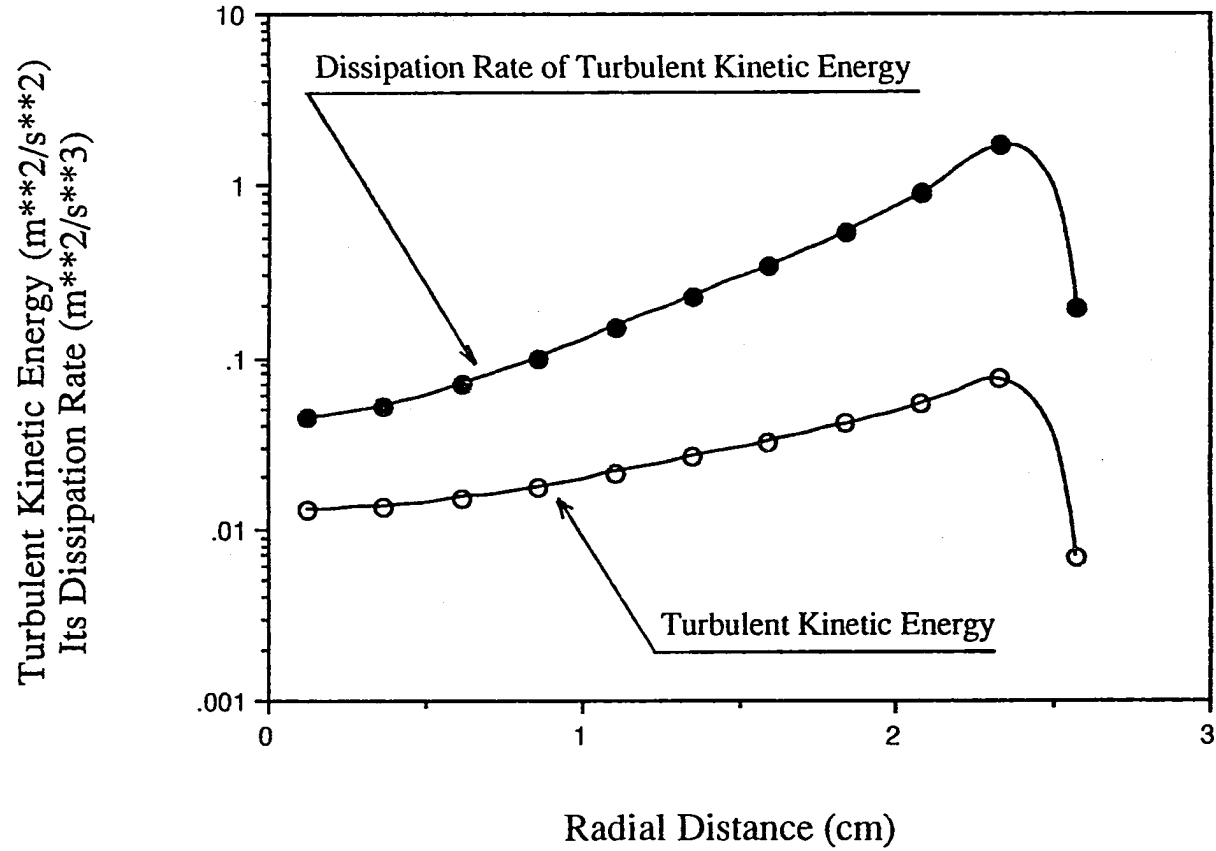


Fig.3.67 ハンドリングヘッド上端面における  
乱流運動エネルギーおよびその散逸率の半径方向分布 (3E3)

Radial Distributions of Turbulent Viscosity and Turbulent Conductivity at S/A Top Level

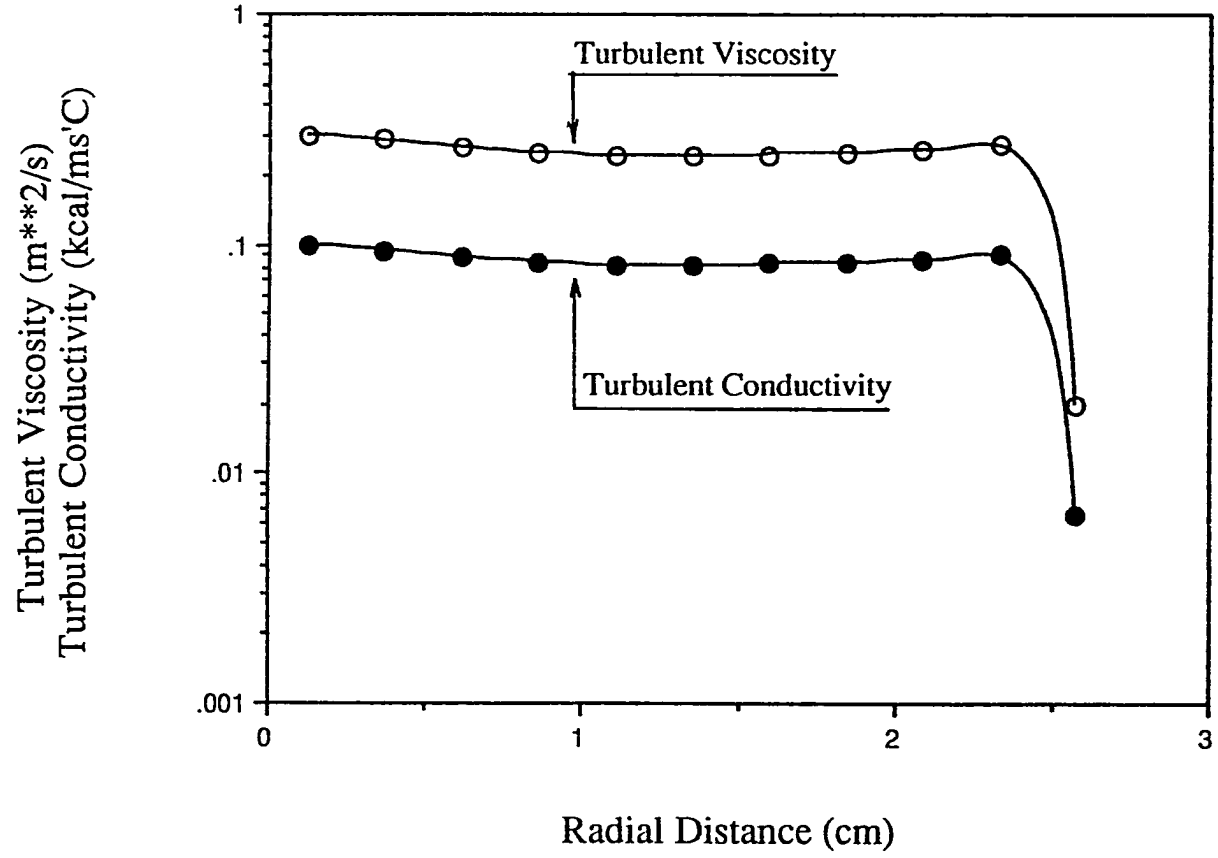


Fig.3.68 ハンドリングヘッド上端面における  
乱流粘性係数および乱流熱伝導度の半径方向分布 (3E3)

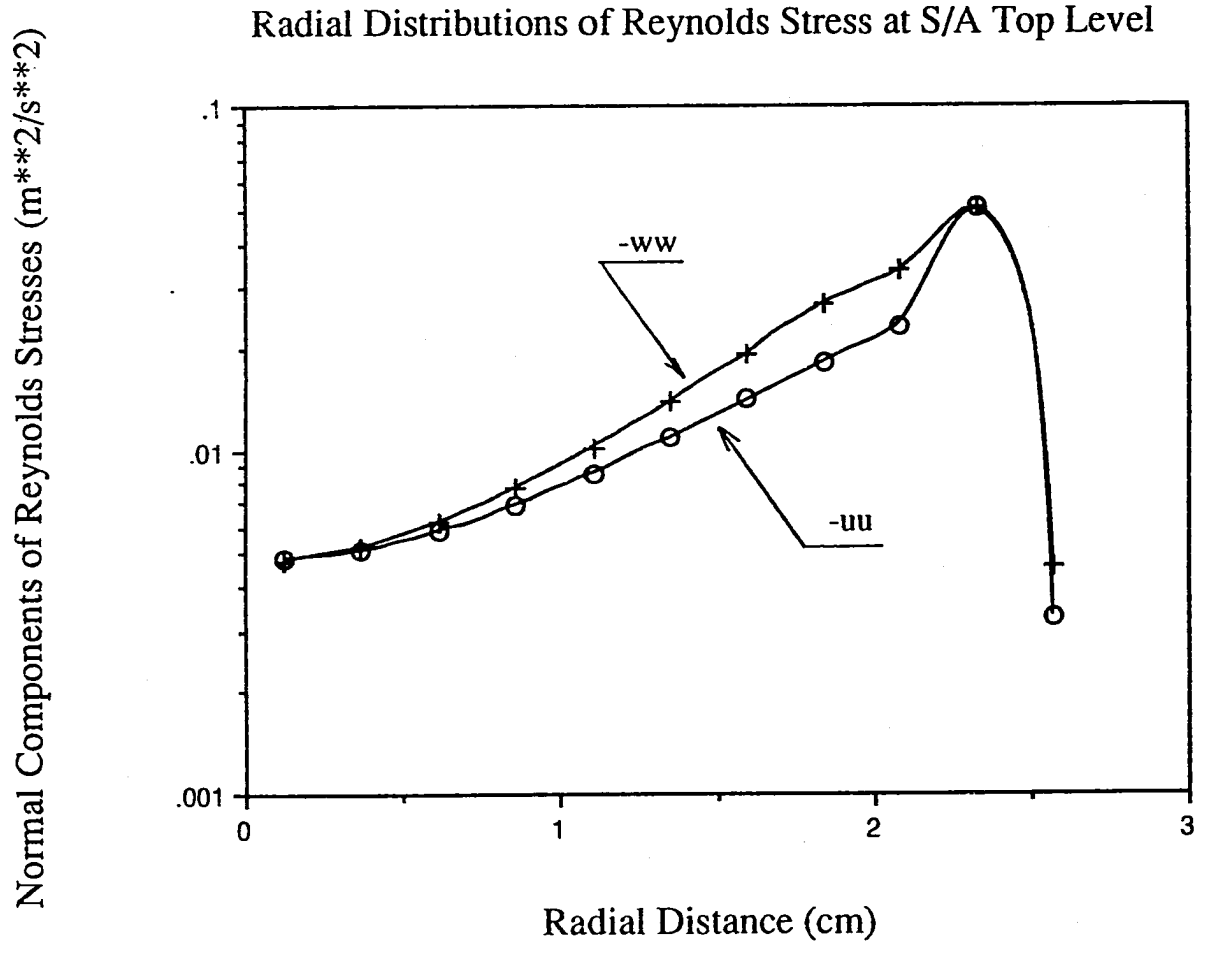


Fig.3.69 ハンドリングヘッド上端面における  
レイノルズ応力成分 (-uu , -ww) の半径方向分布 (3E3)

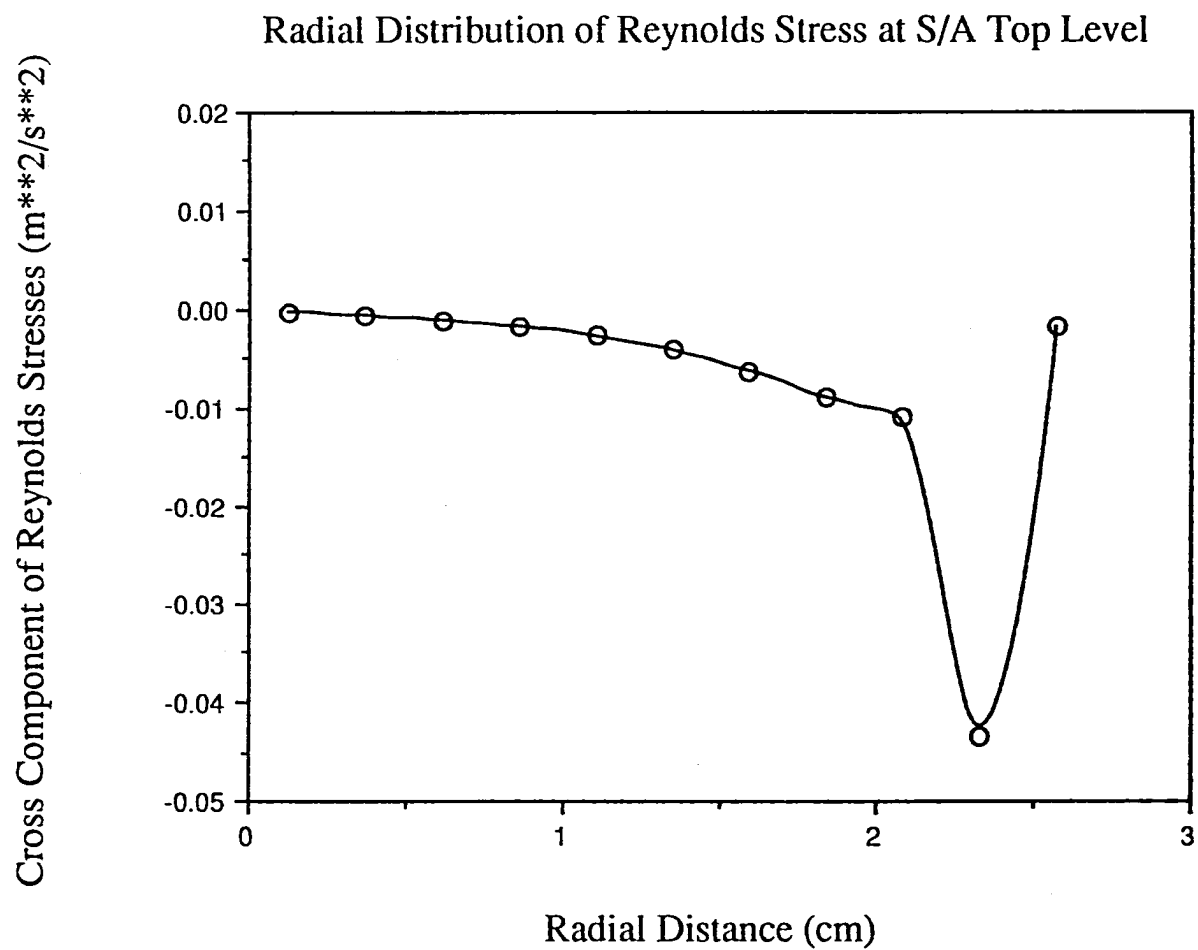


Fig.3.70 ハンドリングヘッド上端面における  
レイノルズ応力成分 (-uv) の半径方向分布 (3E3)

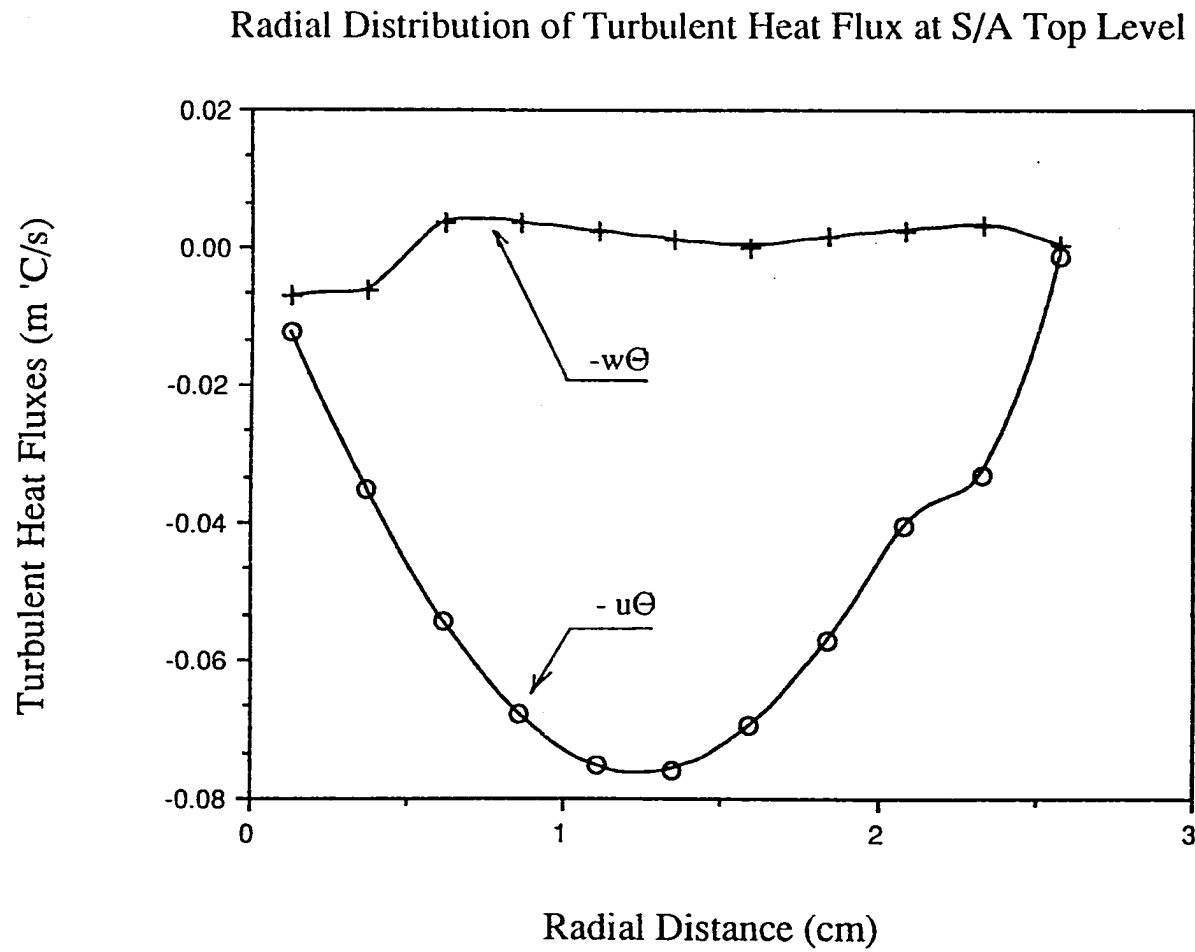


Fig.3.71 ハンドリングヘッド上端面における乱流熱流束の半径方向分布 (3E3)



## Radial Distribution of Coolant Temperature Fluctuation at S/A Top Level

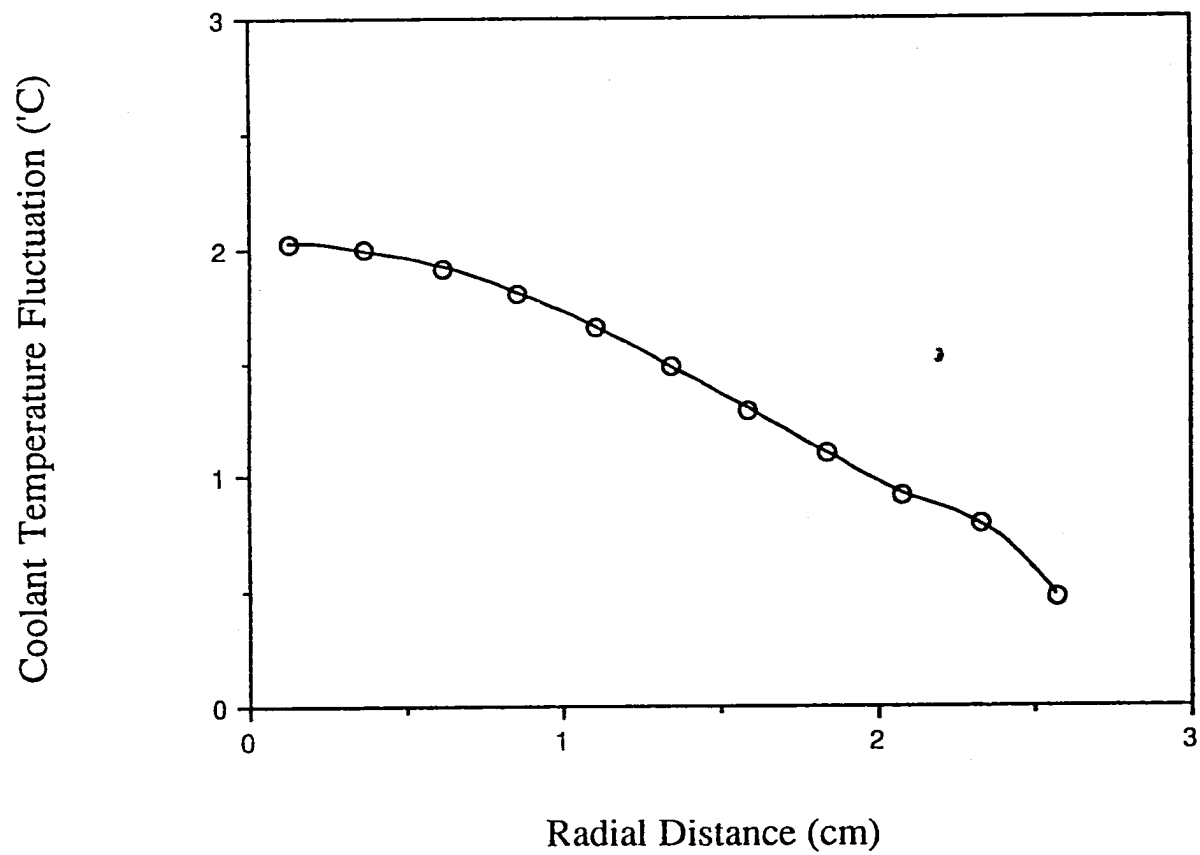


Fig.3.72 ハンドリングヘッド上端面における温度ゆらぎ強度の半径方向分布 (3E3)

## 第4章 試験解析

### 4.1 解析モデル

本解析で対象は、第24定格運転サイクルから第27定格運転サイクルまでに測定された全温度ゆらぎデータの内、第26サイクル試験(93/1/14収録)を対象とする。解析対象領域は、半径方向に対し、炉心アドレス(3E3)中心軸より隣接する燃料集合体のラッパ管外側境界までとし、軸方向に対し、燃料集合体ハンドリングヘッド上端面から上部熱遮蔽板下端面までとする。本解析で用いたメッシュ分割図をFig.4.1に示す。また以下に、本解析で用いた主要計算条件を列記する。

座標系	: $r - \theta - z$ 3次元円筒座標
メッシュ分割	: $38^i \times 78^j \times 77^k$ , 総計 130620 セル
時間積分法	: 完全陰解法
対流項差分法	: 運動量式. . . . . 1次風上差分法 エネルギー式. . . . . 1次風上差分法 乱流量式. . . . . 1次風上差分法
乱流モデル	: 応力代数式モデル

### 4.2 境界条件

各燃料集合体ハンドリングヘッド上端面における熱流動条件は、前章で得られた半径方向温度分布を用い、集合体の発熱量および流量に対して線型内挿することにより算出した。本解析で用いた平均流速、平均温度条件を以下に示す。

アドレス	発熱量(MW)	集合体流量 (kg/s)	平均流速 (m/s)	平均温度 (°C)
(2E2)	1.927	8.589	4.169	555.3
(2F1)	1.912	8.589	4.156	545.7
(3E2)	1.826	7.751	3.762	555.5
(3F1)	1.500	7.745	3.724	523.2
(4E3)	1.351	7.044	3.385	521.4
(4E4)	1.332	7.043	3.382	518.7
(3E3)	0.641	3.025	1.460	535.7

### 4.3 解析結果

Fig.4.2 に各軸方向高さ (K=11,21,31,41,52) における、流速ベクトルの半径方向分布

を示す。ここで、K=11は炉心出口温度計ウエル下端を、K=21,31,41は熱電対が設置されている軸方向の位置（Fig.2.3,2.4参照）を、またK=52はフローホールの軸方向中心高さ位置を示す。図より、K=31の高さまでは、径方向の流れは一定の方向を向いておらず、渦が生じていることが分かる。これは、おのおのハンドリングヘッド上端から流出する冷却材が、相互に干渉を起こしているためであると考えられる。K=41の高さではフローホールへ向かう流れが主流となるため冷却材は一定方向を向いている。K=52においても同様である。

Fig.4.3に各軸方向高さにおける、平均温度の半径方向分布を示す。等値線の間隔は2.5℃である。図より、炉心アドレス(3F1)、(4E4)、(4E3)の上部にあたる位置ではハンドリングヘッド上端の温度差が小さいため、温度分布に差がみられない。一方、炉心アドレス(4E3)、(3E2)の上部では、その境界部に大きな温度差を生じていることがわかる。この温度境界も上部に向かうにつれてフローホール側に輸送され、K=52においてはフローホール位置に非常に大きな温度差が生じていることがわかる。また、フローホールの下部にあたる部分（炉心アドレス(3E2)の存在する方向）は温度の高い冷却材が占有しており、比較的低い温度の冷却材はそれより上部に巻き込まれていることがわかる。

Fig.4.4に各軸方向高さにおける、水平断面の温度ゆらぎ強度分布を示す。本プロット図は、解析により得られた値( $\theta'^2$ )に平方根をとったものである。等値線間隔は1.0℃である。K=21,31,41での結果より、温度差の大きい炉心アドレス(4E3)、(3E2)の境界領域では、温度ゆらぎ強度も大きくなっていることが分かる（約5℃～6℃の温度ゆらぎ強度）。フローホールが存在するK=52の位置では比較的溫度の高い冷却材と溫度の低い冷却材が衝突する場所において温度ゆらぎ強度が高い。

Fig.4.5に各軸方向高さにおける、水平断面の乱流粘性係数の分布を示す。本プロット図では、得られた値に対し $1.0 \times 10^6$ を乗じ、その後常用対数をとったものである。プロット間隔は1.0である。図より得られた値は、ほぼ1～6の間にあり、上記の逆操作を施すことにより乱流粘性係数はほぼ $10^{-5} \sim 1.0$  (Pa・s)の範囲であることがわかる。これは、分子粘性係数 $2.3 \times 10^{-4}$  (Pa・s)と比較すると最大で約4350倍にあたり、解析の対象としている現象が乱流域のものであることを裏付けている。

Fig.4.6～Fig.4.11に各周方向位置における流速ベクトル図、平均温度、温度ゆらぎ強度( $=\theta'^2$ )の垂直断面での分布を示す。平均温度のプロット間隔は5.0℃、温度ゆらぎ強度のプロット間隔は1.0℃である。

Fig.4.6は、フローホール断面を含む周方向位置でのものであり、流体がフローホールを通過して流出する様子がよくわかる。また、フローホール周辺では冷却材の温度差は大きい。一方、温度ゆらぎ強度は、冷却材の混合が発生するフローホール周辺よりやや下側に位置する温度計装ウエル近傍において最も大きい。

Fig.4.7は、炉心アドレス(4E4)、(3E3)、(2E2)のハンドリングヘッドを含む周方向断面に

あたる位置での結果である。おのおのハンドリングヘッド上端より流出した、温度の異なる冷却材の混合のようすがわかる。温度ゆらぎ強度は、ハンドリングヘッド直上の冷却材温度差の大きい部位において大きい。この傾向は他の周方向断面でも同様である。

以上示した水平分布、軸方向分布から、温度ゆらぎ強度が大きい値を示す場所は、ハンドリングヘッド直上の冷却材が剪断混合を起こす部位とフローホールから冷却材が流出する際に縮流混合を起こす部位の2箇所が存在することがわかる。

Fig.4.12, Fig.4.13 に各周方向位置における乱流粘性係数の垂直断面分布を示す。図中の数値は Fig.4.5 と同様な処理が施されたものである。プロット間隔は1.0である。乱流粘性係数については、計装プラグ内の中央部とその壁面部との差が大きいことがわかる。

#### [平均温度、温度ゆらぎ強度の半径方向分布]

Fig4.14 ~ Fig4.16 に、 $K=21,31,41$  の各高さにおける平均温度および温度ゆらぎ強度の半径方向分布を示す。各図中の横軸は温度計装ウエル中心軸から計装プラグ内壁までの距離を示す。周方向の位置は、 $J=26,52,72$  とした。

$K=21$  (Fig.4.14) の結果では、温度計装ウエル側において、その下部に位置する集合体(炉心アドレス (3E3)) からの冷却材の影響を直接受けるため、集合体出口温度  $535.7^{\circ}\text{C}$  に近い値を示し、且つ周方向の温度差も小さくなる。しかし、計装プラグ壁面に近づくとつれ、周辺6体のハンドリングヘッドより流出する冷却材温度の影響をうけるようになるため、それぞれの半径方向位置での平均温度は、その直下に位置する集合体出口温度に近い値となる。すなわち、 $J=26$  の計装プラグ壁面近傍においては、炉心アドレス (3F1) と (4E4) の直上に位置するため、これらの集合体出口温度  $523.18^{\circ}\text{C}$ 、 $518.74^{\circ}\text{C}$  に近い値をとる。

温度ゆらぎ強度は、 $J=52$  の位置の計装プラグ壁面近傍で約  $5.5^{\circ}\text{C}$  のピークを示す。これはその下部に位置する集合体間での温度差 ((3E2)-(4E3))が、 $34.1^{\circ}\text{C}$  ( $555.52^{\circ}\text{C}$ 、 $521.42^{\circ}\text{C}$ ) と大きいためである。

$K=31$  (Fig.4.15) においては、温度計装ウエル側で  $K=21$  よりも流体温度が低い値となった。また、温度ゆらぎ強度は  $K=21$  と比較すると半径方向の分布が小さくなっていることがわかる。

$K=41$  (Fig.4.16) においては、平均温度に関し、 $J=26$  を除き、下流側へ向かうに従って、半径方向分布が小さくなる傾向を示す。温度ゆらぎ強度も同様である。

#### [平均温度、温度ゆらぎ強度の周方向分布]

Fig.4.17 ~ Fig.4.20 にそれぞれ、 $I=10,14,17,20$  の位置における周方向の平均温度および温度ゆらぎ強度の周方向分布を示す。同図の横軸は  $J=1$  を  $0$  度にとり左回りに  $1$  周 ( $360$  度) させたものである。軸方向の位置は、 $K=21,31,41$  とした。

$I=10$  (Fig.4.17) の結果では、平均温度について、 $K=21$  の高さではほぼ一定であるが、 $K=31,41$  において、周方向に温度分布が発生していることがわかる。すなわち、 $K=31,41$

の高さでは各集合体からの冷却材が同位置で混合していることを示唆している。温度ゆらぎ強度も同様の傾向を示すが、ピークの発生位置が異なっている。

I=14 (Fig.4.18) では、平均温度について、K=21 の高さですでに周方向に温度分布ができていくことがわかる。温度ゆらぎ強度についても、K=21 の高さにおいて分布を有している。しかし、上部に向かうにしたがい、その分布は緩慢となる。

I=17 (Fig.4.19) では、軸方向高さの違いによる平均温度の差はほとんど見られない。また温度ゆらぎ強度も各軸方向位置で非常に近い挙動を示す。

I=20 (Fig.4.20) における結果では、さらにこの傾向が強まる。

#### [平均温度、温度ゆらぎ強度の軸方向分布]

Fig.4.21～Fig.4.24に、I=10,14,17,20 の位置における平均温度および温度ゆらぎ強度の軸方向分布を示す。同図の横軸は平均温度あるいは温度ゆらぎ強度を、縦軸はハンドリングヘッド上端からの軸方向距離を示す。周方向位置はJ=26,52,58 である。

I=10 (Fig.4.21) においては、炉心アドレス (3E3) から冷却材の影響をうけるため、その下端近傍で軸方向にはほぼ等しい温度が、軸方向上部に向かうに従い、大きな分布を示すようになる。J=26 では炉心アドレス (3F1), (4E4) (それぞれハンドリングヘッド上端温度は523.18℃, 518.74℃) の直上に位置するため、この影響を受けて平均温度は6cm～10cmで一旦下がる。これに対しJ=52では炉心アドレス (2E2), (3E2) (それぞれハンドリングヘッド上端温度555.32℃, 555.52℃) の影響を受けて平均温度は上昇する。温度ゆらぎ強度は、J=52における軸方向高さ13cmで最も大きいピーク値約4.7℃をとる。これは平均温度の勾配が最も大きいためである。

I=14 (Fig.4.22) においては、平均温度に関しI=10と定性的にはほぼ等しい結果となる。ただし、軸方向下端における温度が、周方向位置により異なっている。また、温度ゆらぎ強度もJ=52の位置において最も大きいピーク値をとっている。

I=17,20 (Fig.4.23～Fig.4.24) では炉心アドレス (3E3) から遠ざかるため、軸方向温度分布はその周方向位置に最も近い集合体出口温度に近い値をとる。ただしJ=52においては軸方向位置が高くなるにつれて平均温度が急激に上昇する。温度ゆらぎ強度もJ=52がJ=26, 78に比べ平均的に高い。

#### 4.4 計装プラグ内熱流動特性

本解析により、計装プラグ内の熱流動場が明らかにされた。Fig.4.25に、解析結果より推定される第26サイクル試験時の流況を示す。図における斜線部は、全体的に温度の高い部位を示し、そうでない部位は比較的温度の低い部位を示す。K=11において、炉心アドレス (3E3) から流出する冷却材は、温度計装ウエルに衝突し、放射状に広がる。また、これより上部に向かうと、炉心アドレス (3E2) と (4E3) から流出する冷却材の温度差が34.1℃ (それぞれ555.52℃, 521.42℃) と大きいため、これらの冷却材が位置する部位に

において温度ゆらぎ強度も大きい ( $k=21,31$ 近傍)。さらに上部では、冷却材はフローホールに向かって傾き始める。この時、炉心アドレス (2E2),(3E2)からの比較的高温の冷却材は、(4E3)から流出してくる比較的低温の冷却材におおいかぶさるように傾き交差する。したがって、 $K=52$ においては、フローホール半径方向中心を軸として、比較的高温の冷却材と低温の冷却材と2分され、(4E3)から流入した比較的低温の冷却材は、垂直方向の流れから水平方向の流れが支配的となり、反対側へ輸送される。この時、高温冷却材と低温冷却材の交差する部位において、温度ゆらぎ強度も大きい値をもつ。

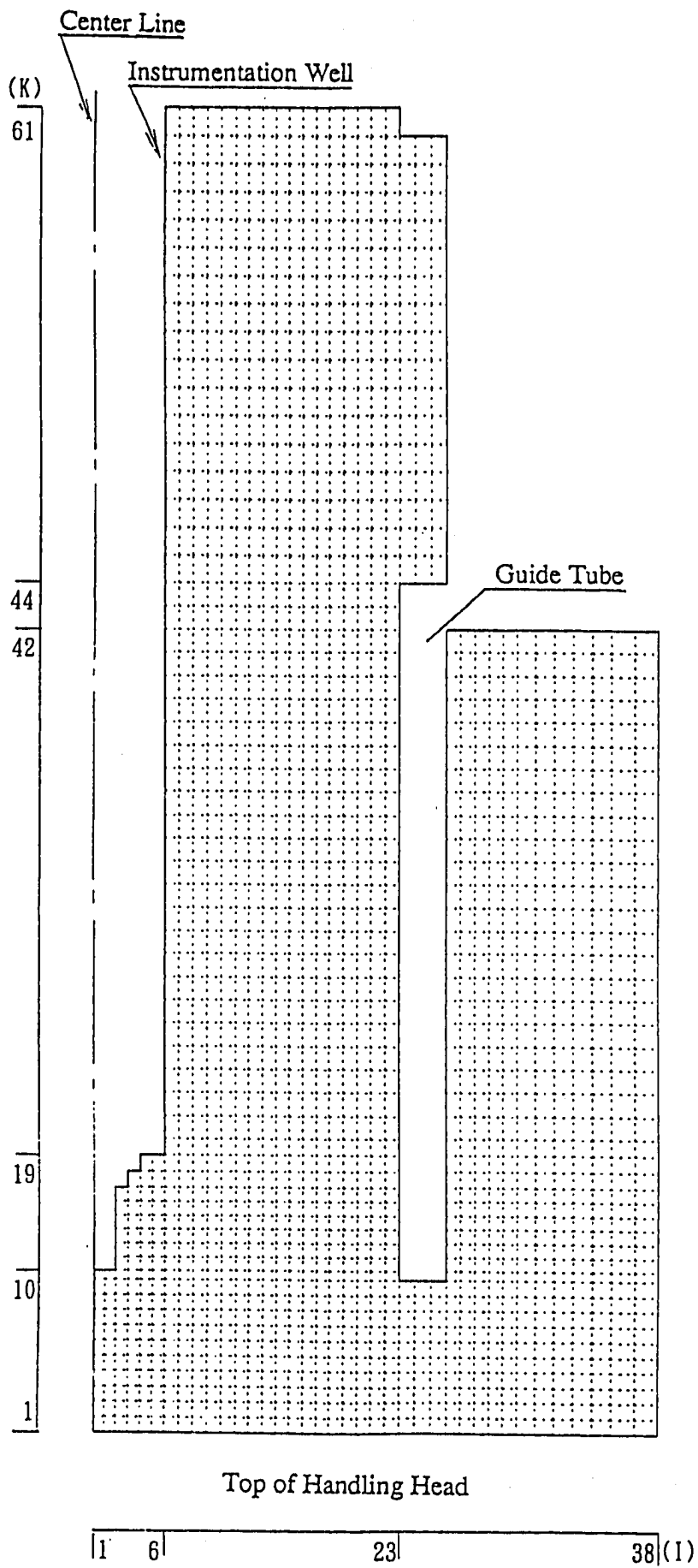


Fig.4.1 メッシュ分割図(1)

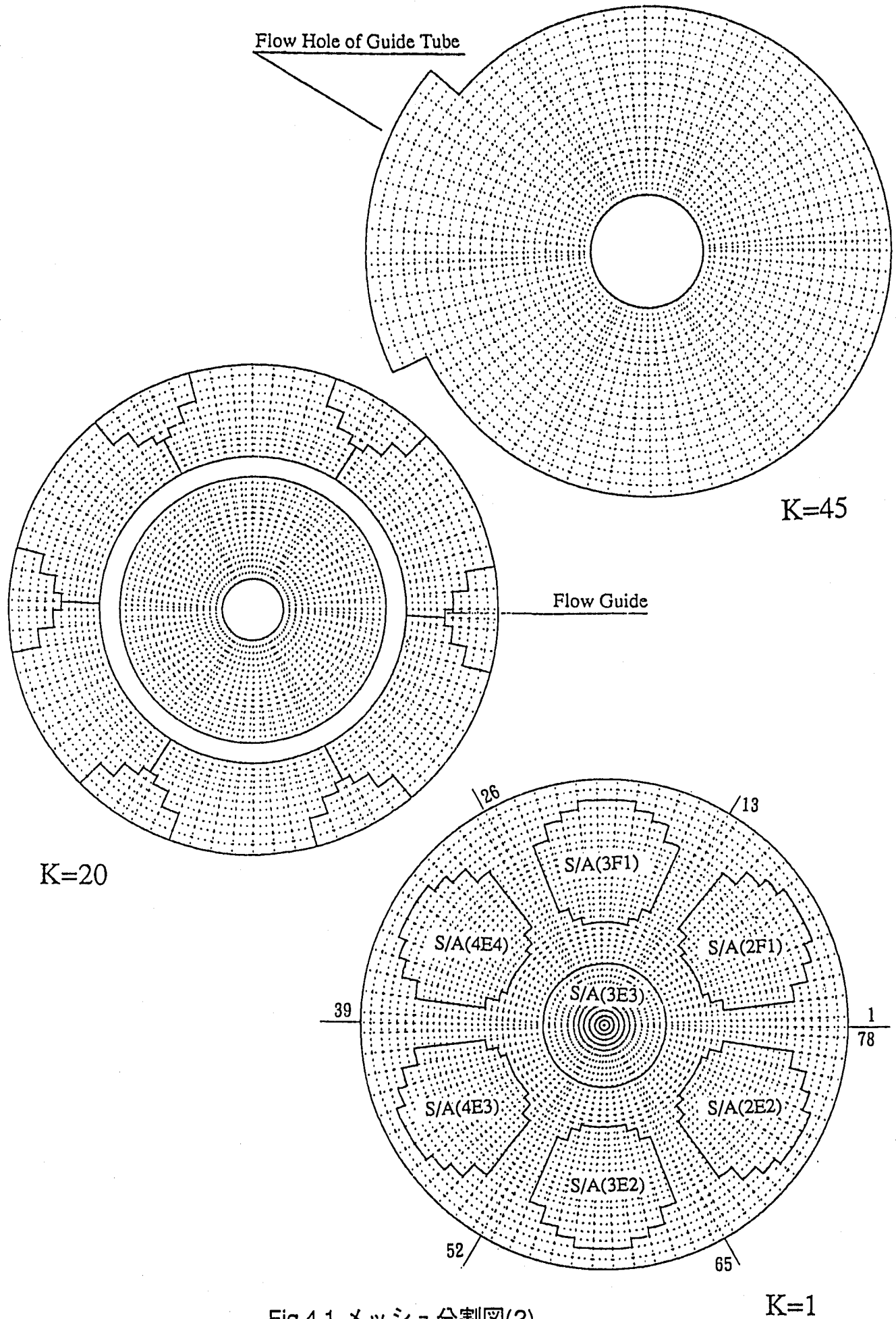


Fig.4.1 メッシュ分割図(2)



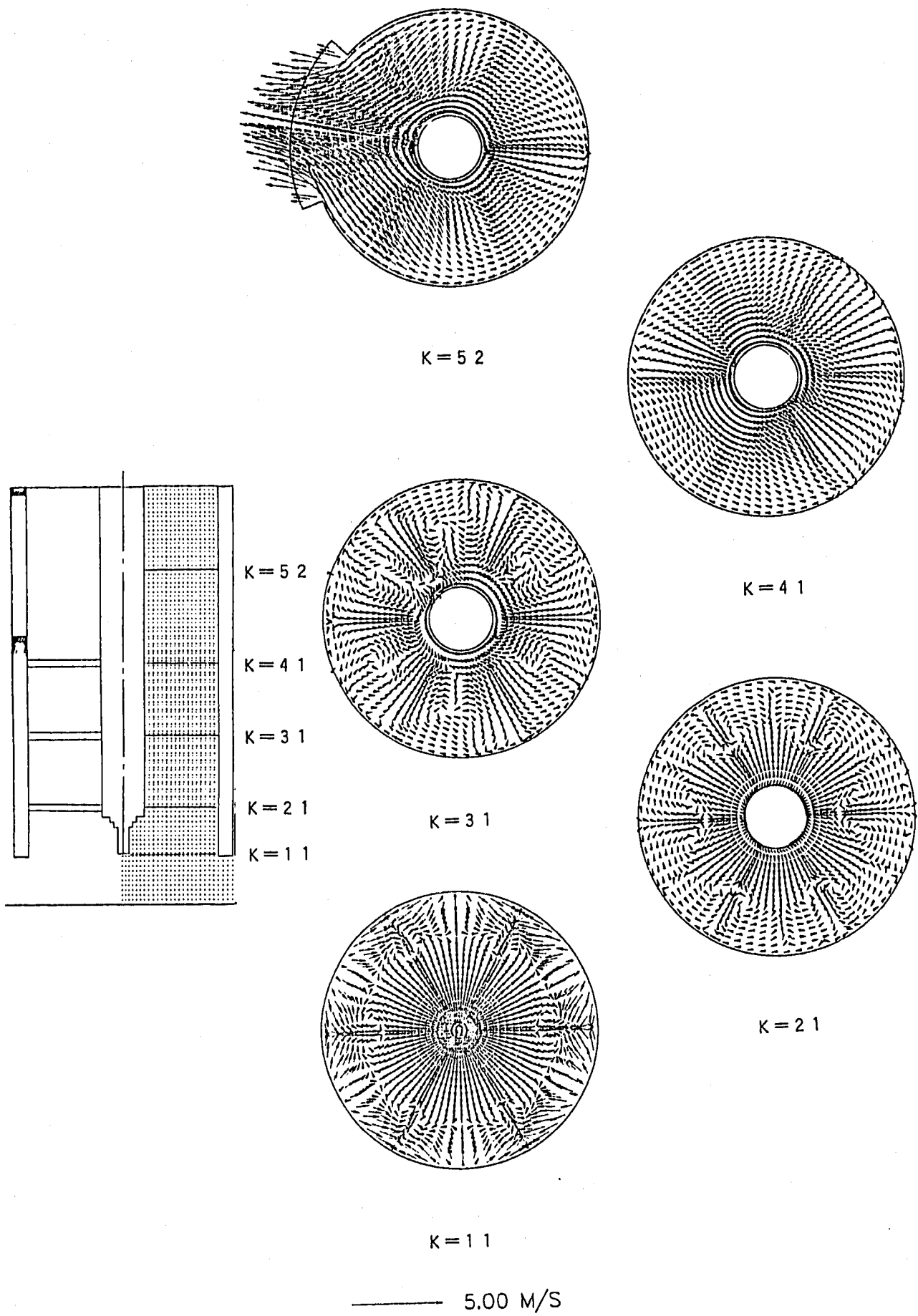


Fig.4.2 各軸方向高さにおける流速ベクトル

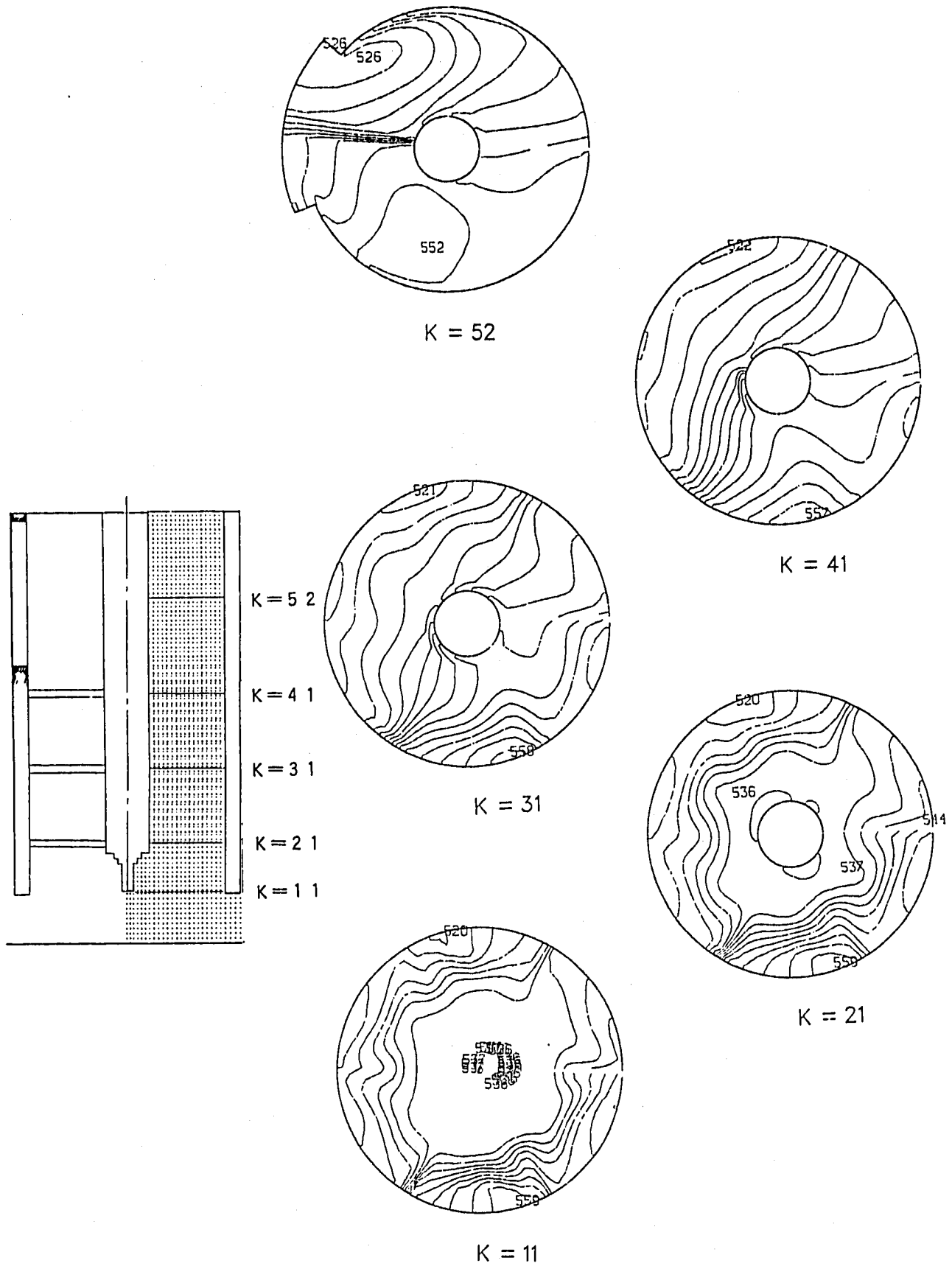


Fig.4.3 各軸方向高さにおける平均温度分布

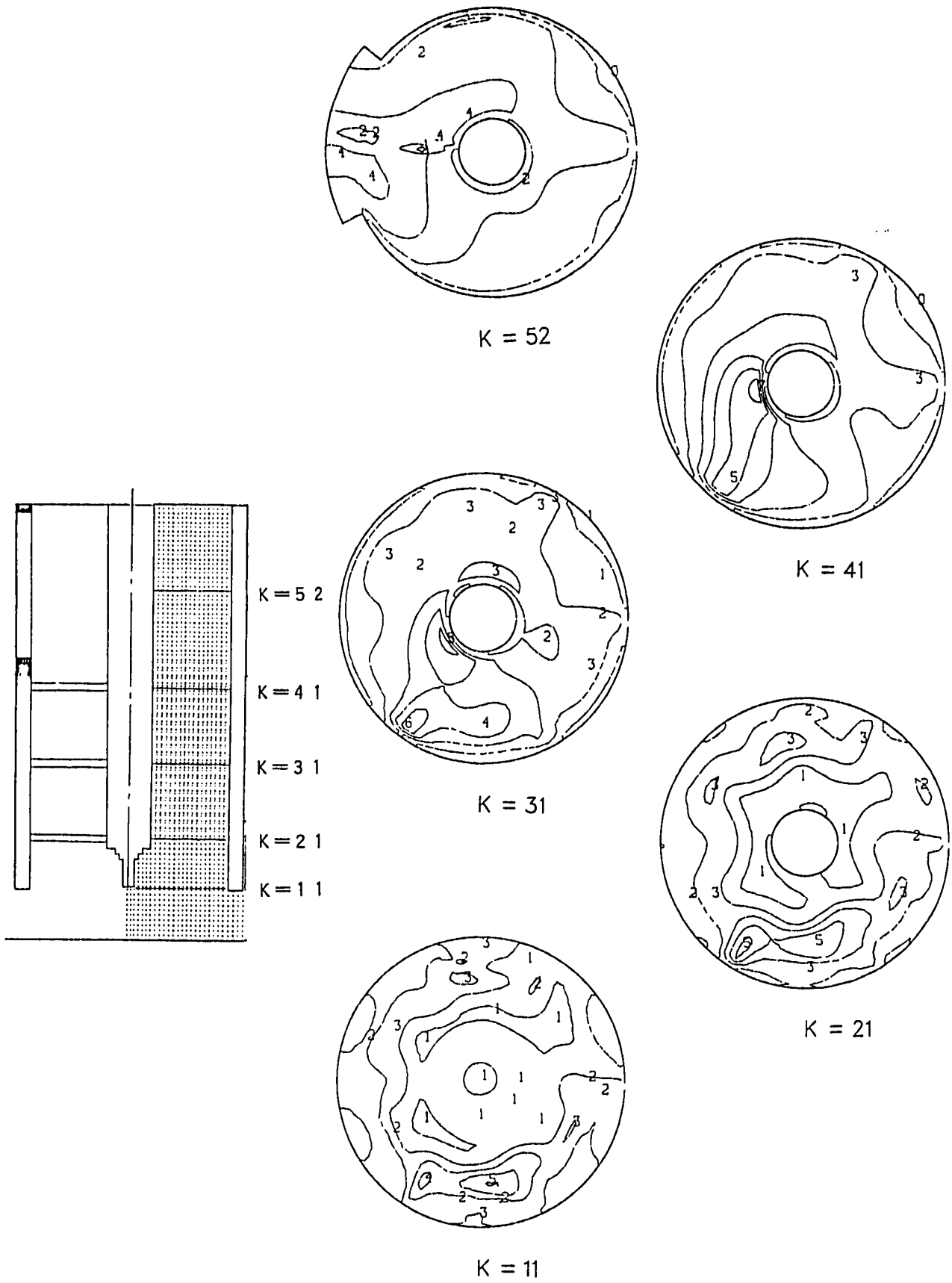


Fig.4.4 各軸方向高さにおける温度ゆらぎ強度分布

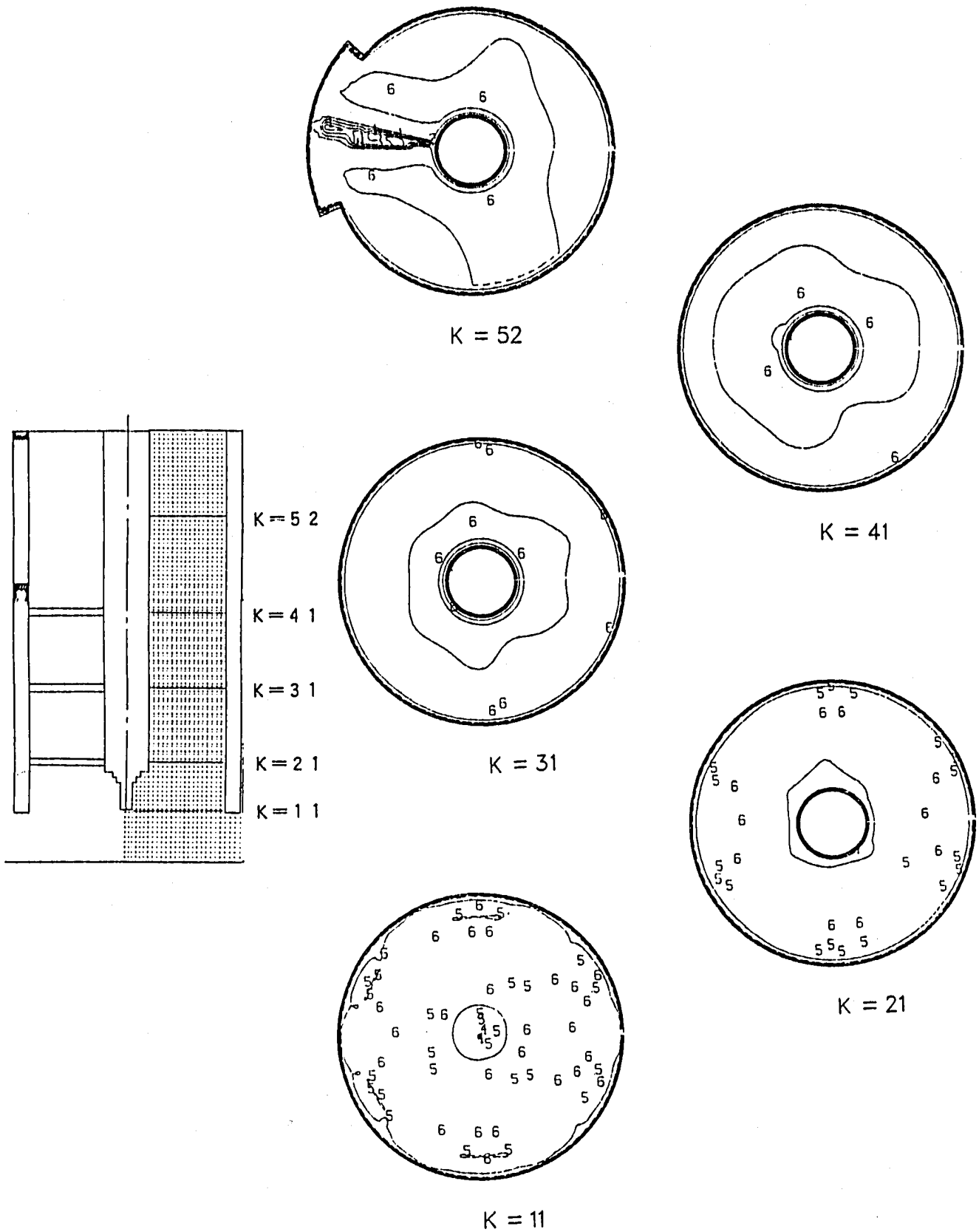


Fig.4.5 各軸方向高さにおける乱流粘性係数分布

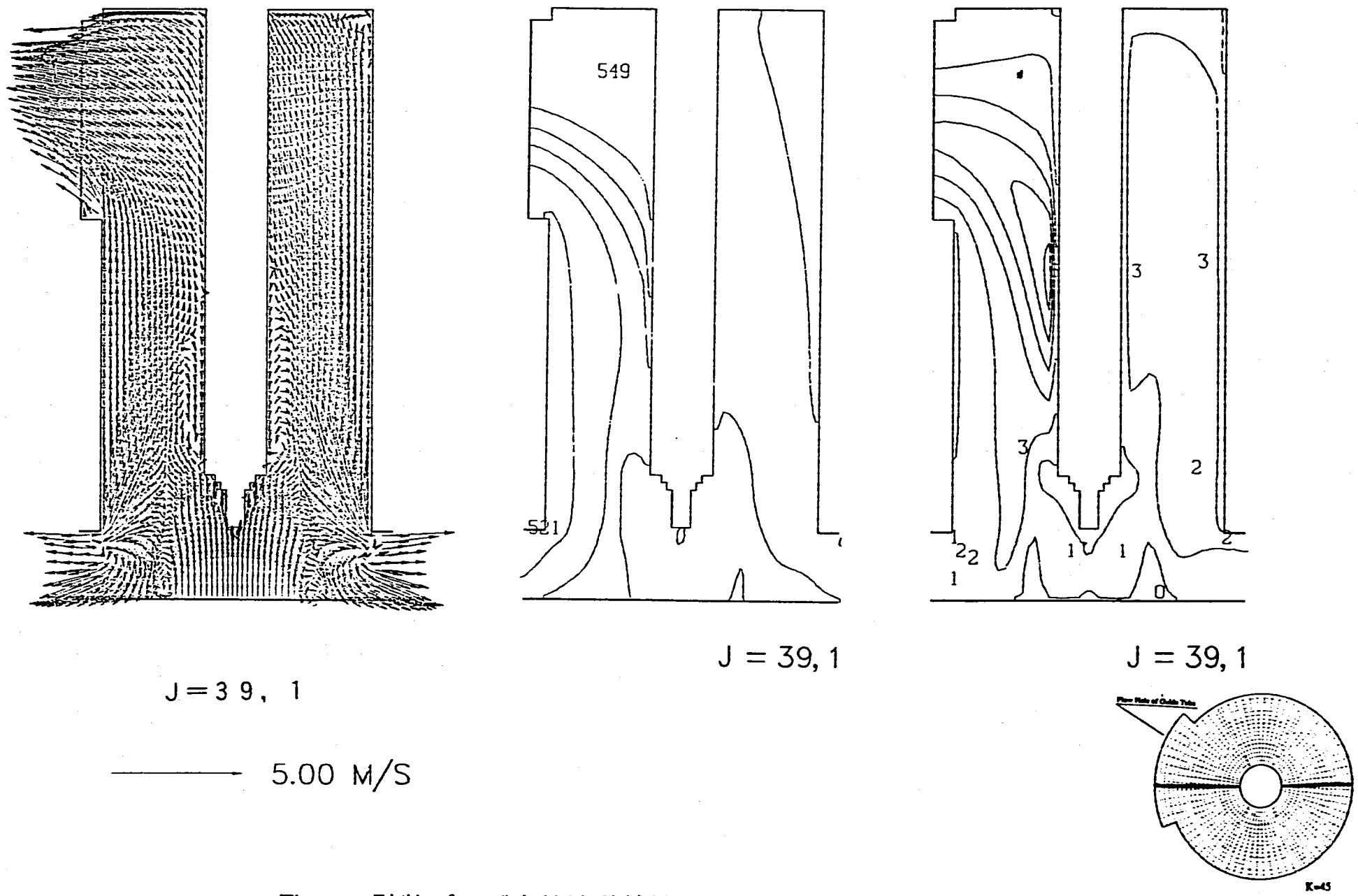
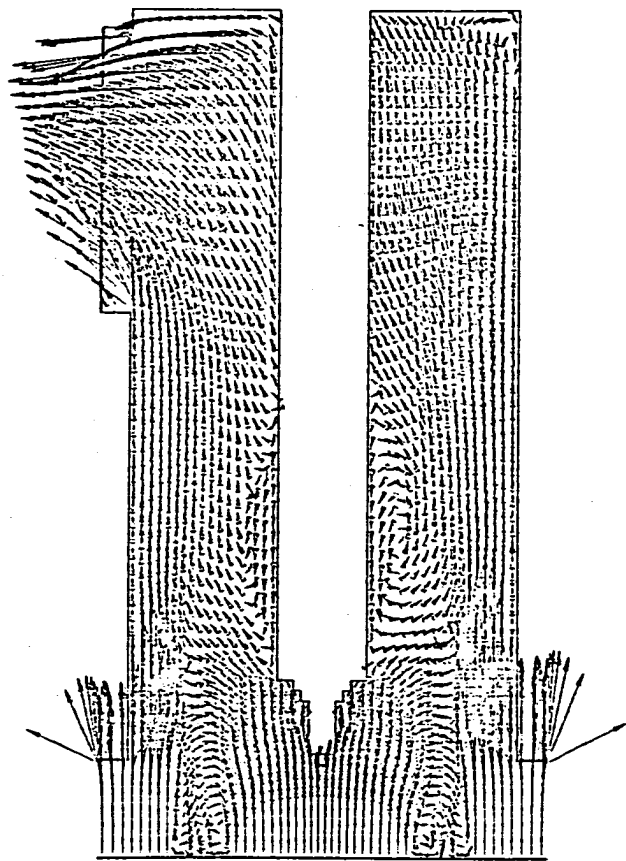


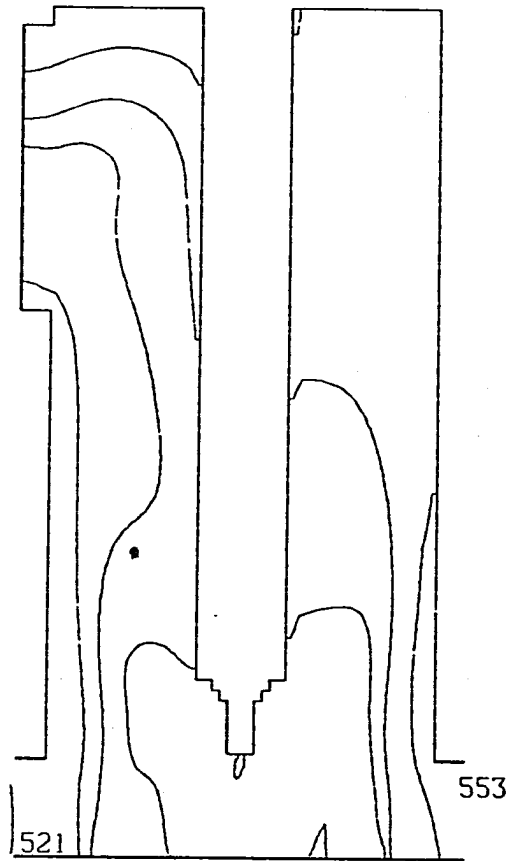
Fig.4.6 計装プラグ内熱流動特性 (J=39,1)  
 (a) 流速ベクトル、(b)平均温度、(c) 温度ゆらぎ強度分布

K-45

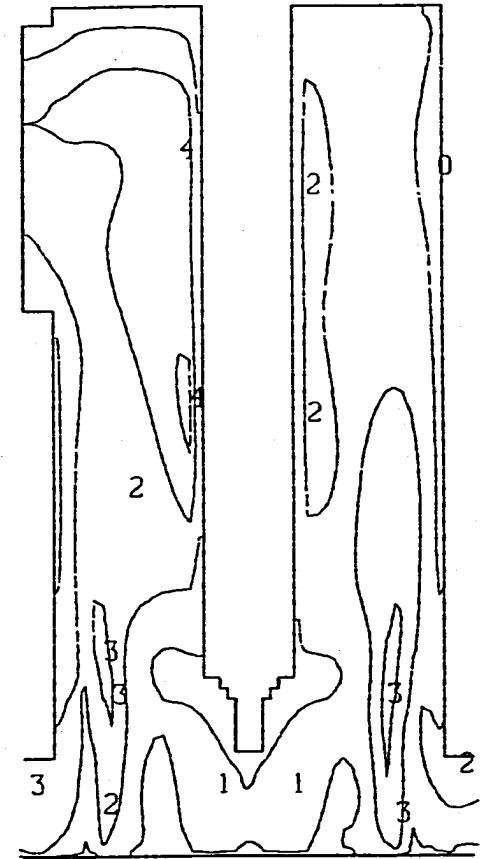


$J = 33, 72$

→ 5.00 M/S



$J = 33, 72$



$J = 33, 72$

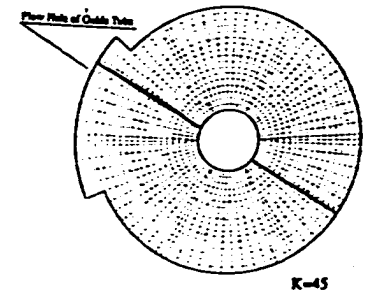
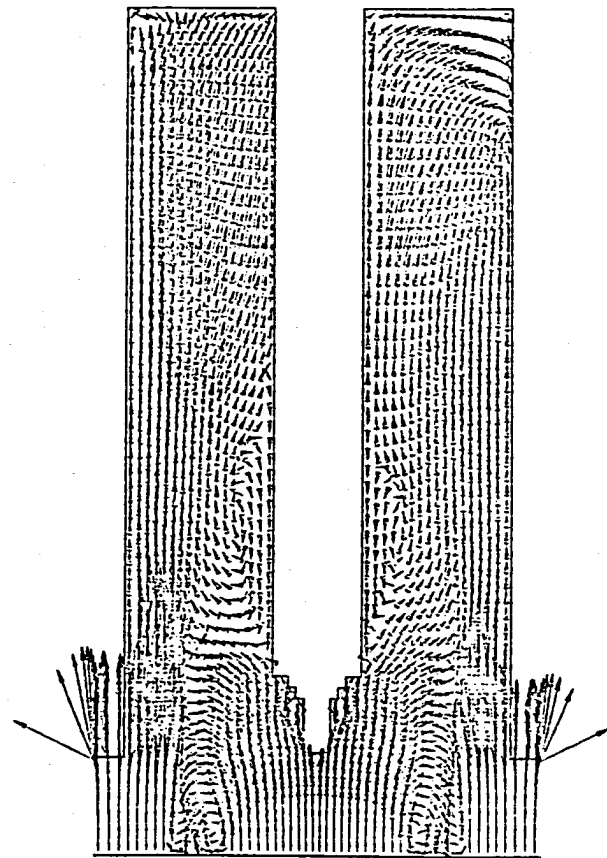


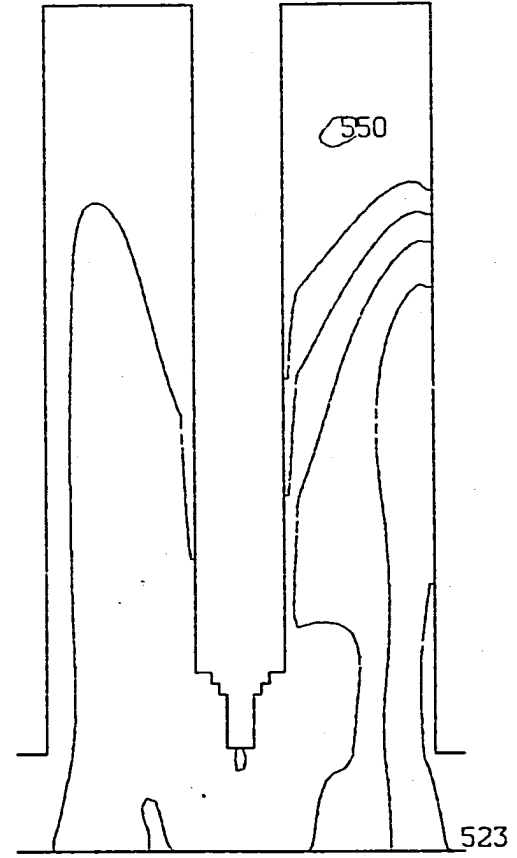
Fig.4.7 計装プラグ内熱流動特性 ( $J=33,72$ )

(a) 流速ベクトル、(b) 平均温度、(c) 温度ゆらぎ強度分布

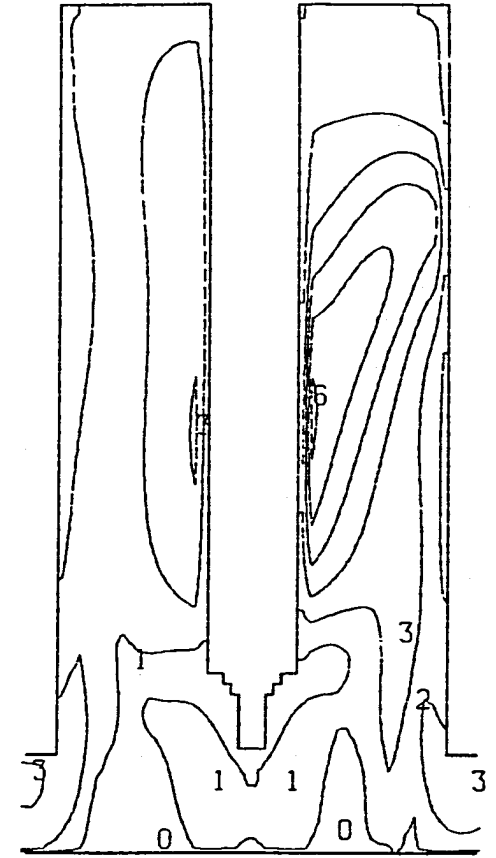


$J = 7, 46$

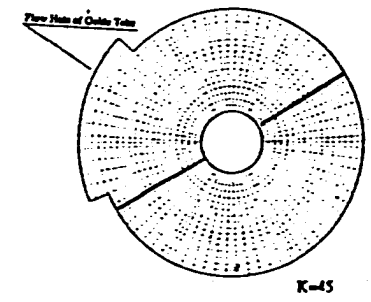
→ 5.00 M/S



$J = 7, 46$



$J = 7, 46$



K-45

Fig.4.8 計装プラグ内熱流動特性 ( $J=7,46$ )  
 (a) 流速ベクトル、(b) 平均温度、(c) 温度ゆらぎ強度分布

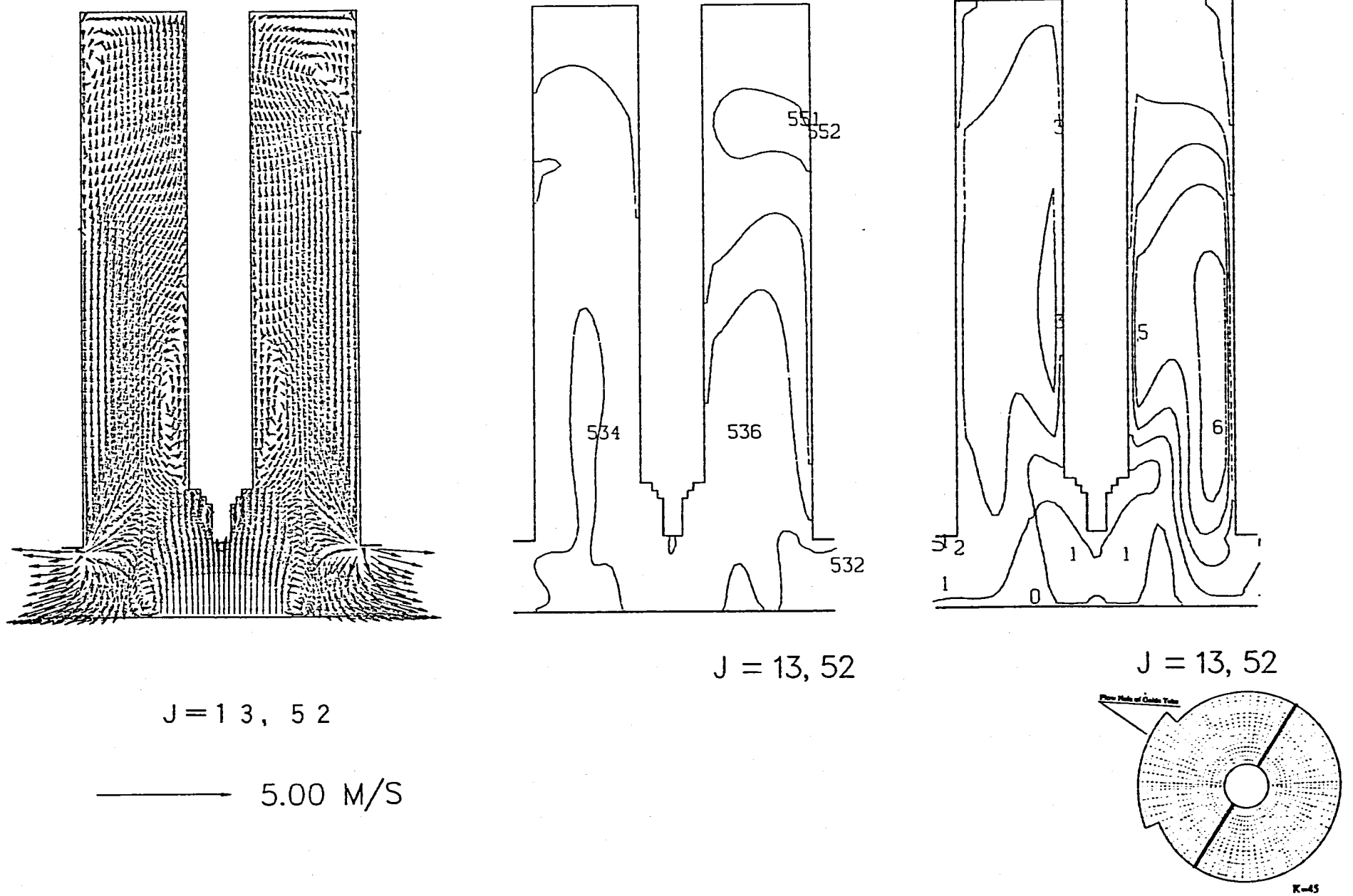


Fig.4.9 計装プラグ内熱流動特性 (J=13,52)  
 (a) 流速ベクトル、(b) 平均温度、(c) 温度ゆらぎ強度分布



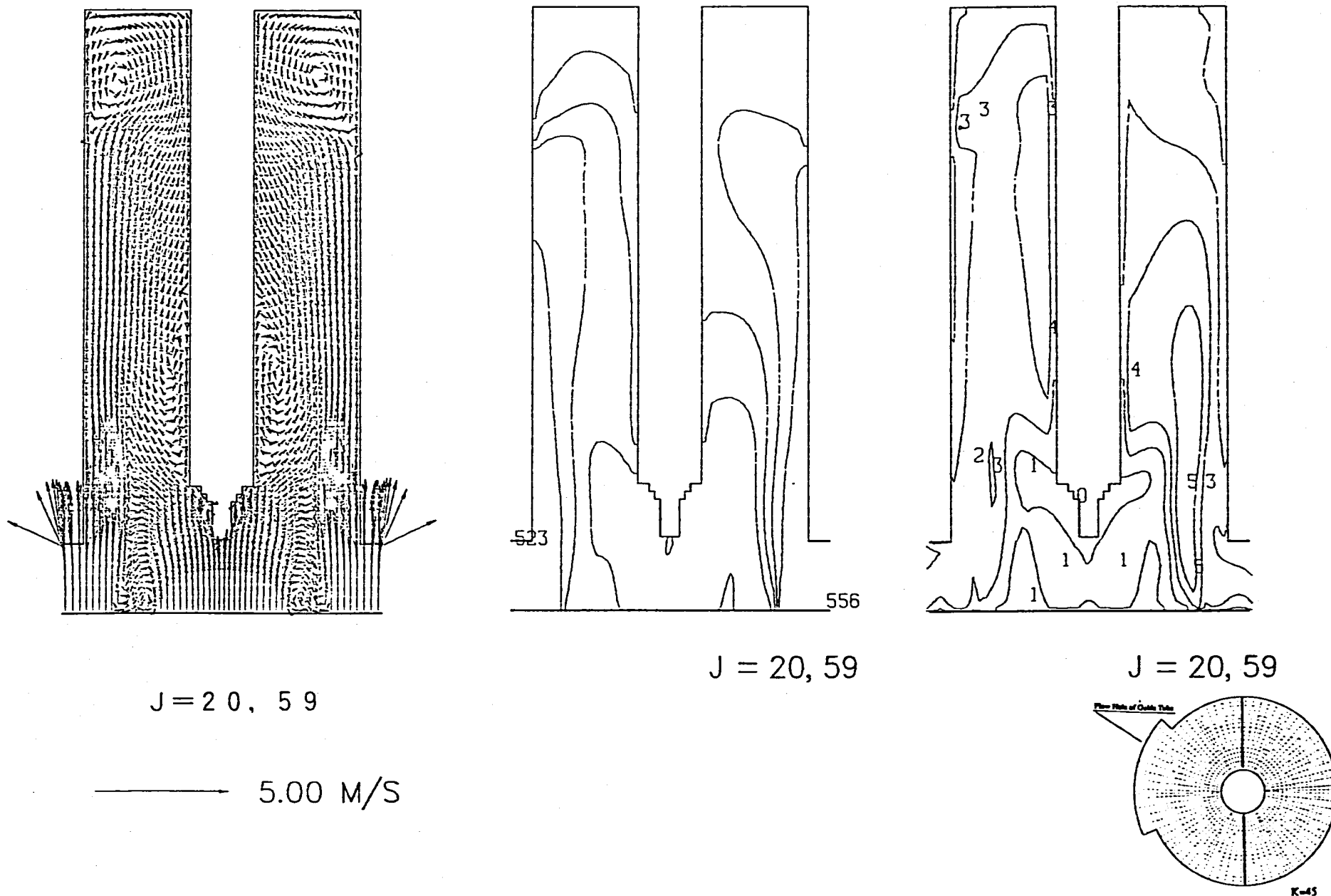
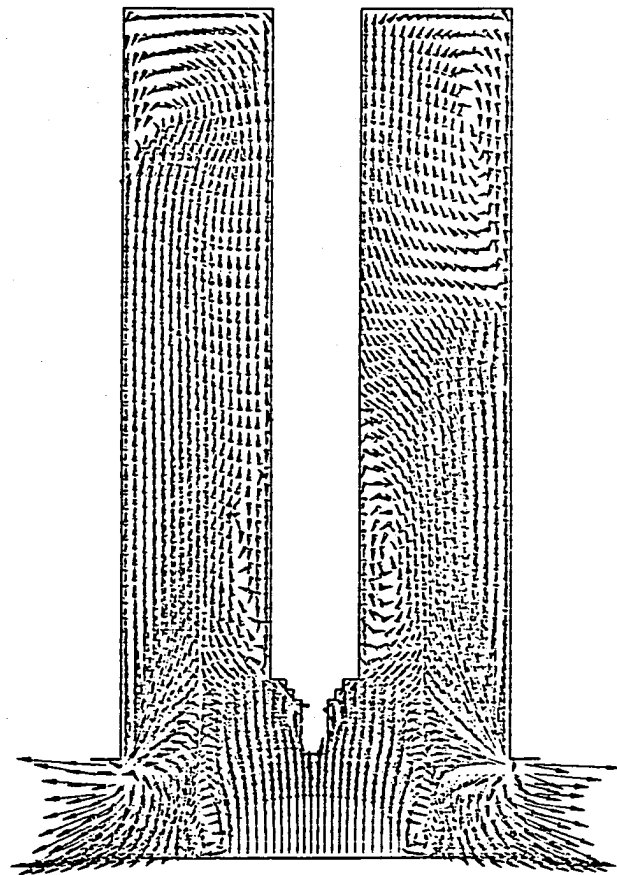


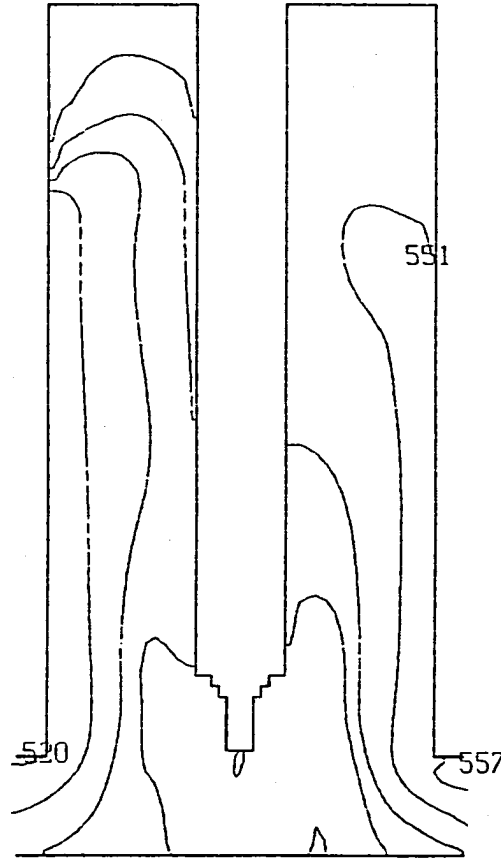
Fig.4.10 計装プラグ内熱流動特性 (J=20,59)

(a) 流速ベクトル、(b) 平均温度、(c) 温度ゆらぎ強度分布

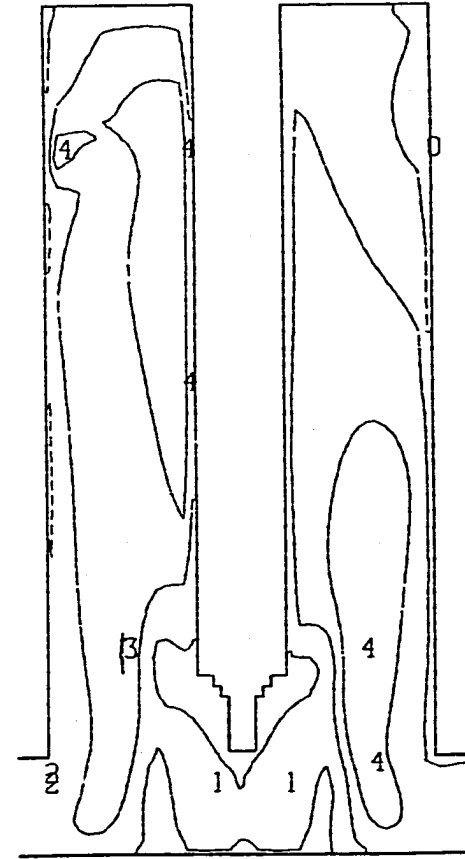


J = 26, 65

→ 5.00 M/S



J = 26, 65



J = 26, 65

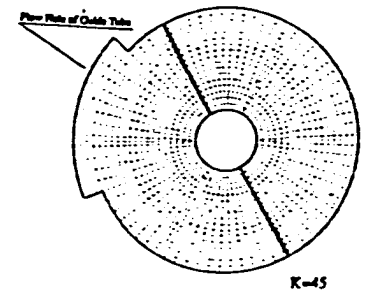
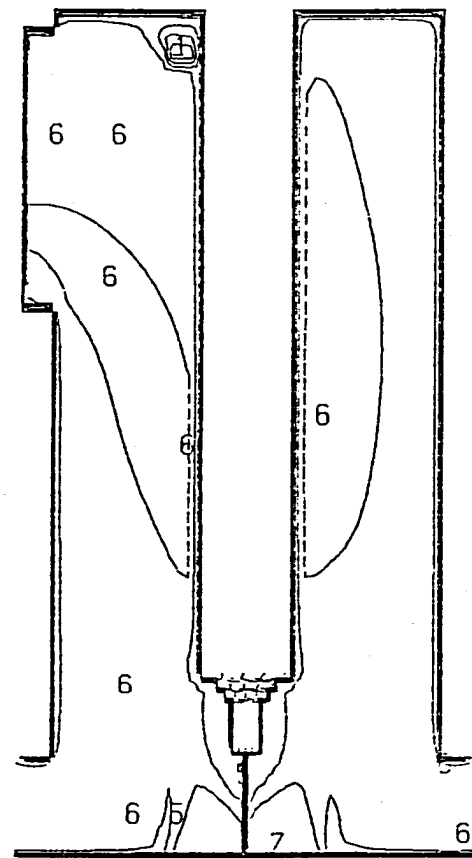
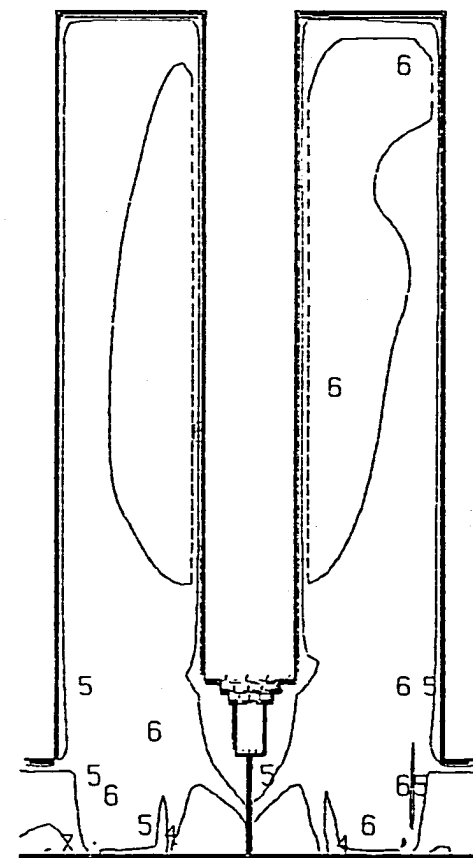


Fig.4.11 計装プラグ内熱流動特性 (J=26,65)

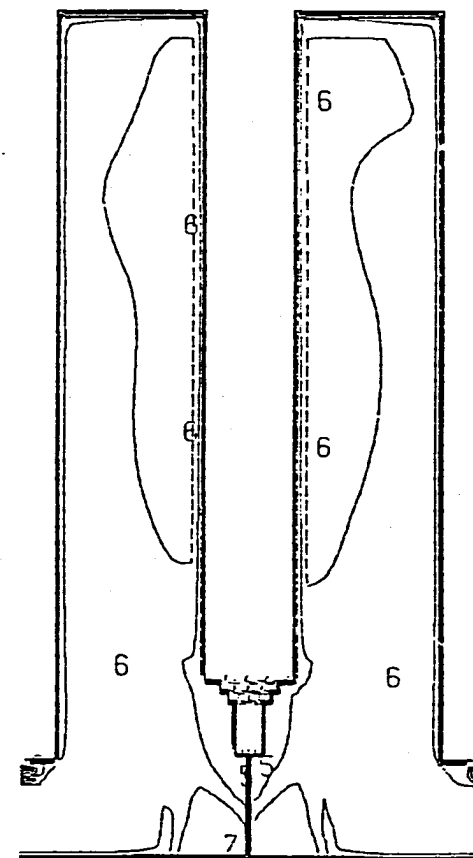
(a) 流速ベクトル、(b) 平均温度、(c) 温度ゆらぎ強度分布



J = 39,1



J = 7,46



J = 13,52

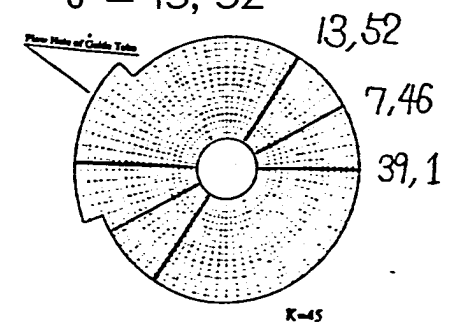
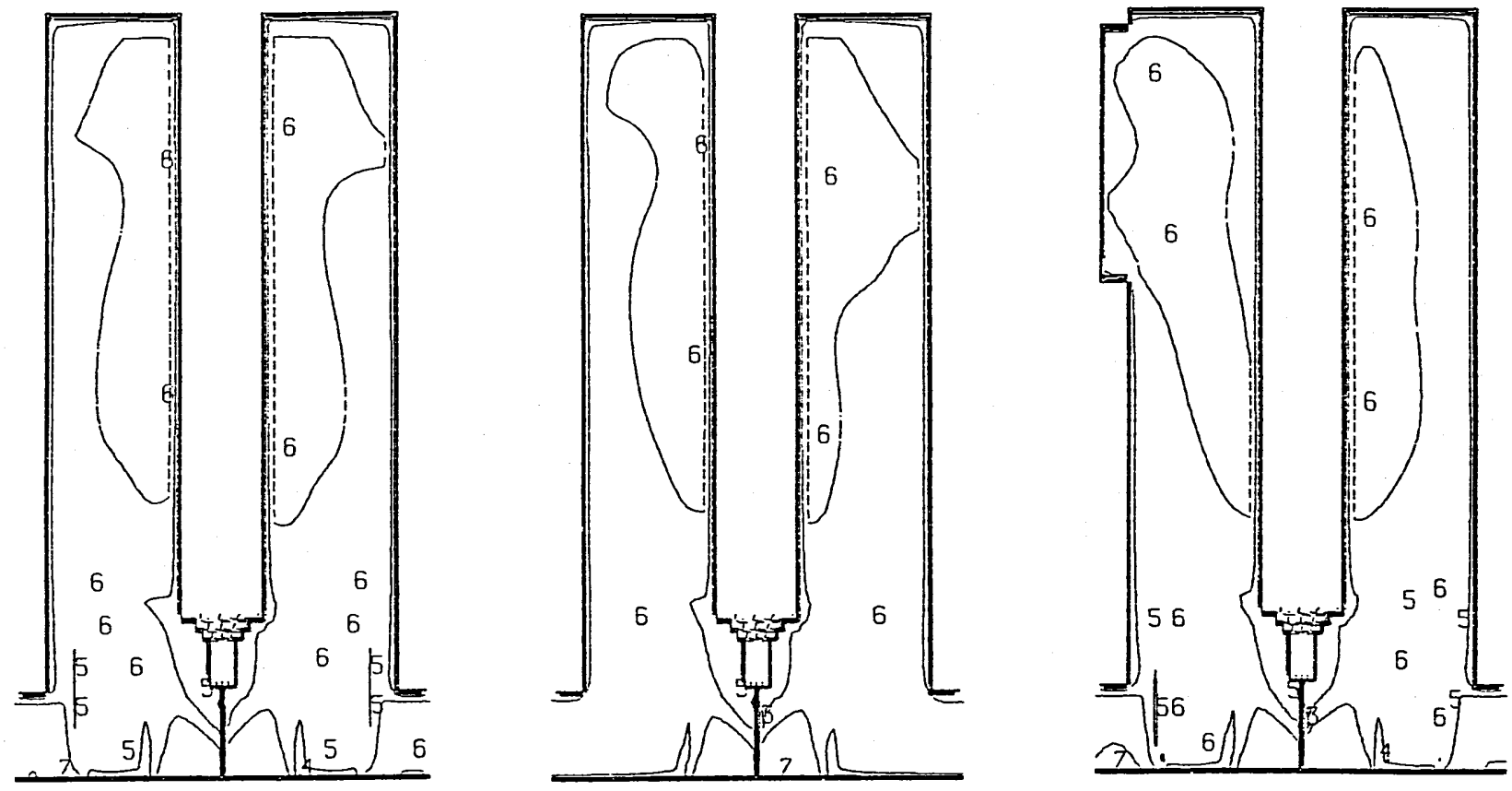


Fig.4.12 計装プラグ内乱流粘性係数



$J = 20, 59$

$J = 26, 65$

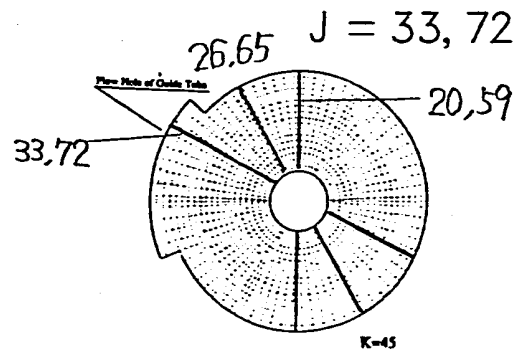
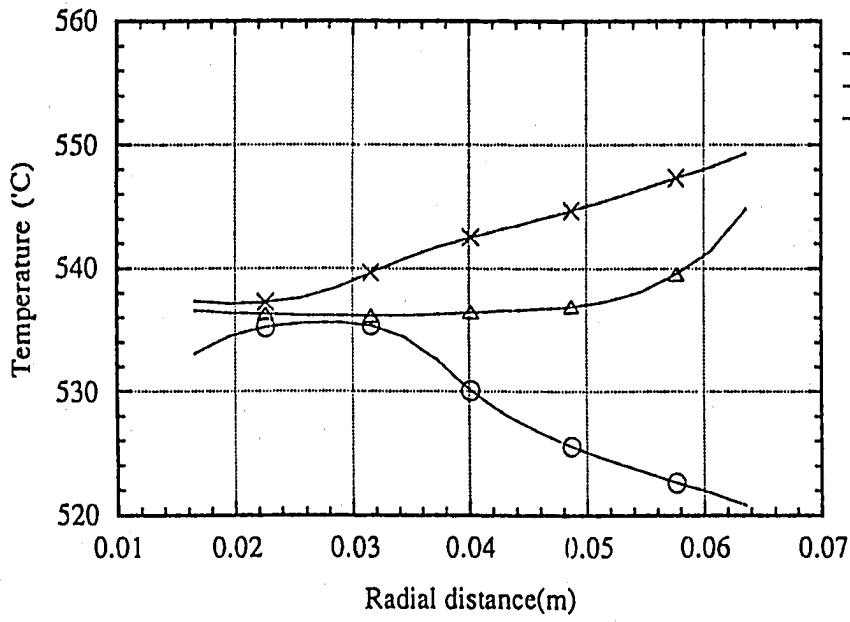


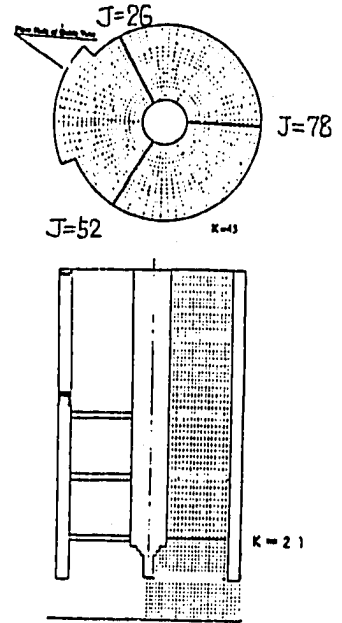
Fig.4.13 計装プラグ内乱流粘性係数

### Radial Distribution of Coolant Temperature

(I=7,23,K=21)

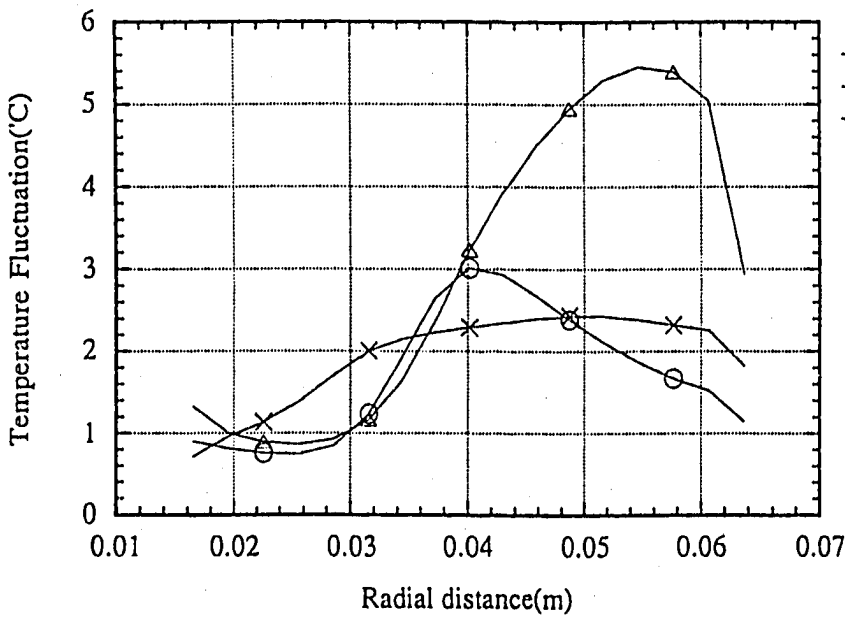


○ J=26  
△ J=52  
× J=78



### Radial Distribution of Coolant Temperature Fluctuation

(I=7,23,K=21)

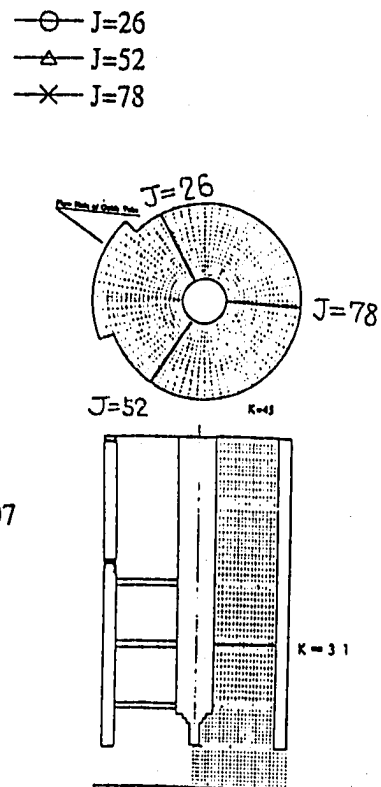
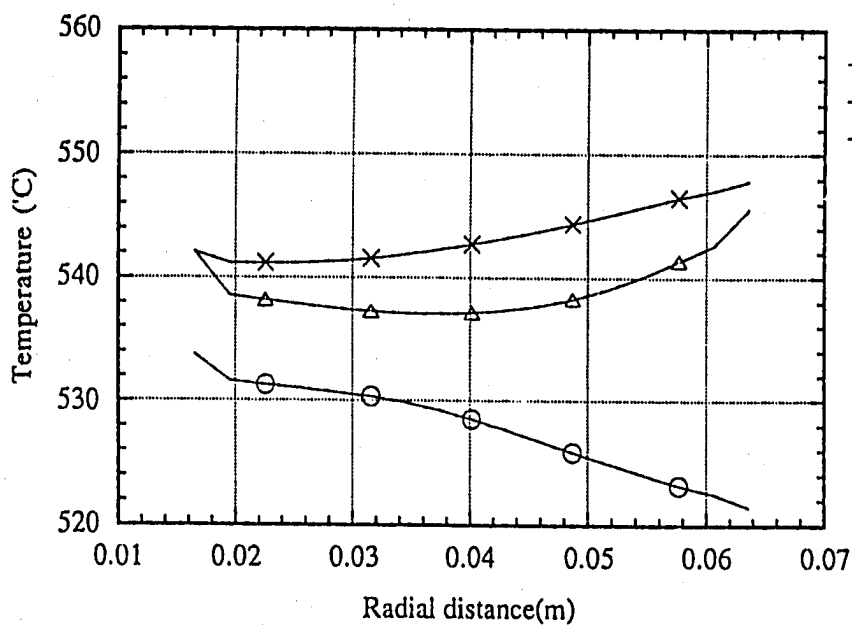


○ J=26  
△ J=52  
× J=78

Fig.4.14 平均温度、温度ゆらぎ強度半径方向分布 (K=21)

### Radial Distribution of Coolant Temperature

(I=7,23,K=31)



### Radial Distribution of Coolant Temperature Fluctuation

(I=7,23,K=31)

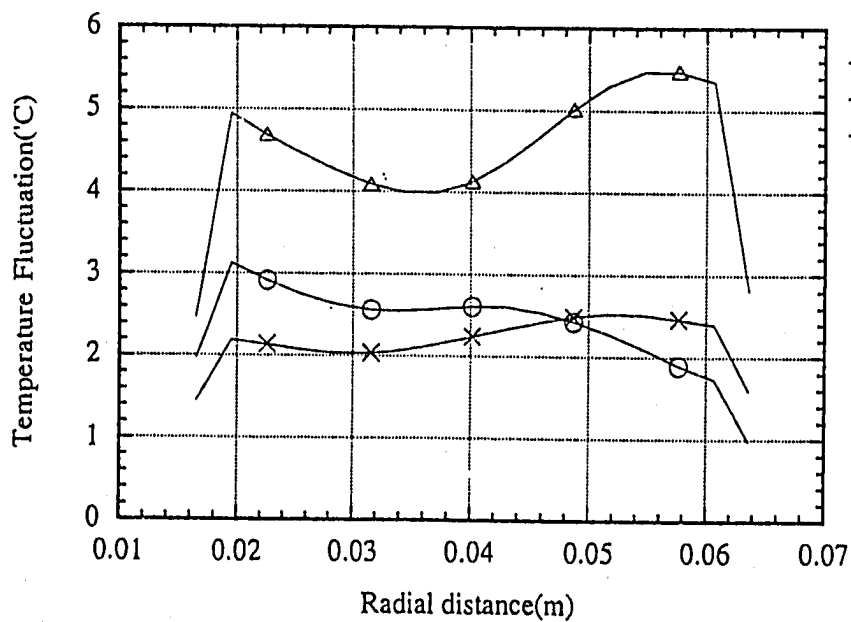
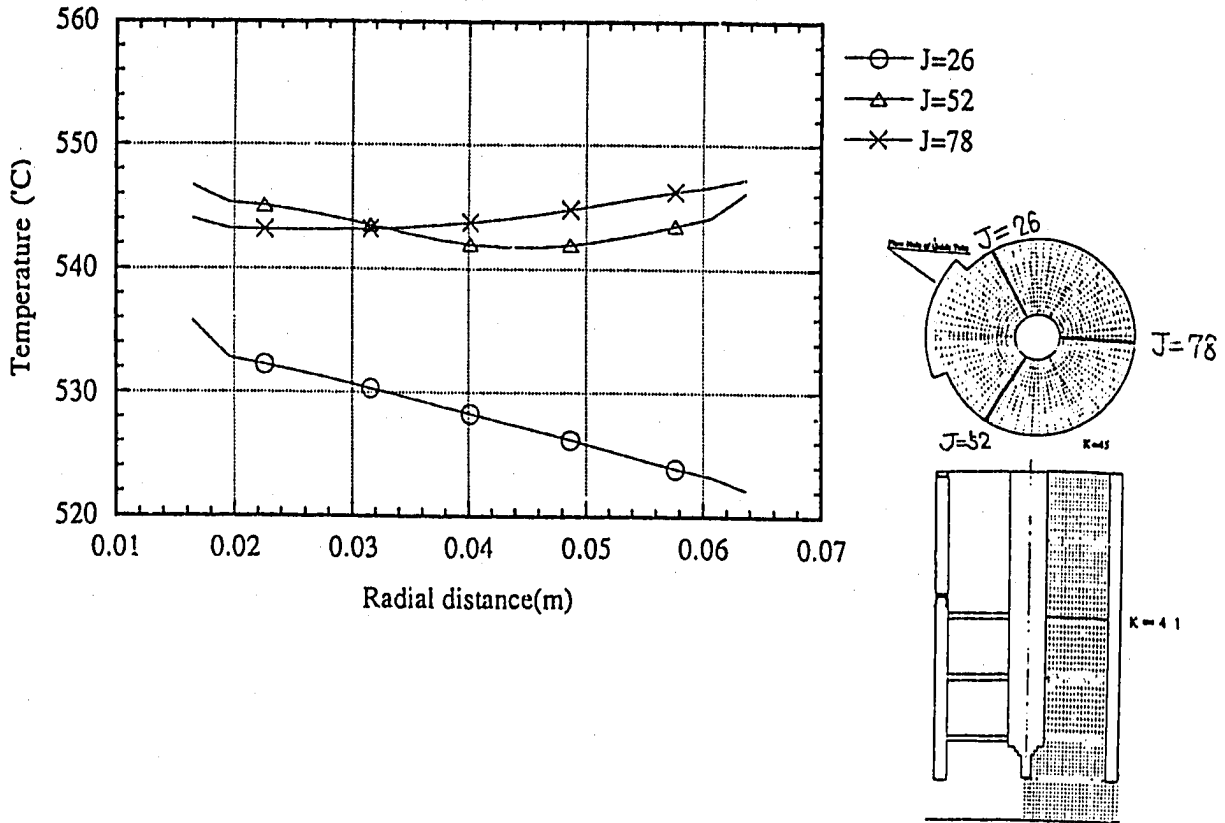


Fig.4.15 平均温度、温度ゆらぎ強度半径方向分布 (K=31)

### Radial Distribution of Coolant Temperature

(I=7,23,K=41)



### Radial Distribution of Coolant Temperature Fluctuation

(I=7,23,K=41)

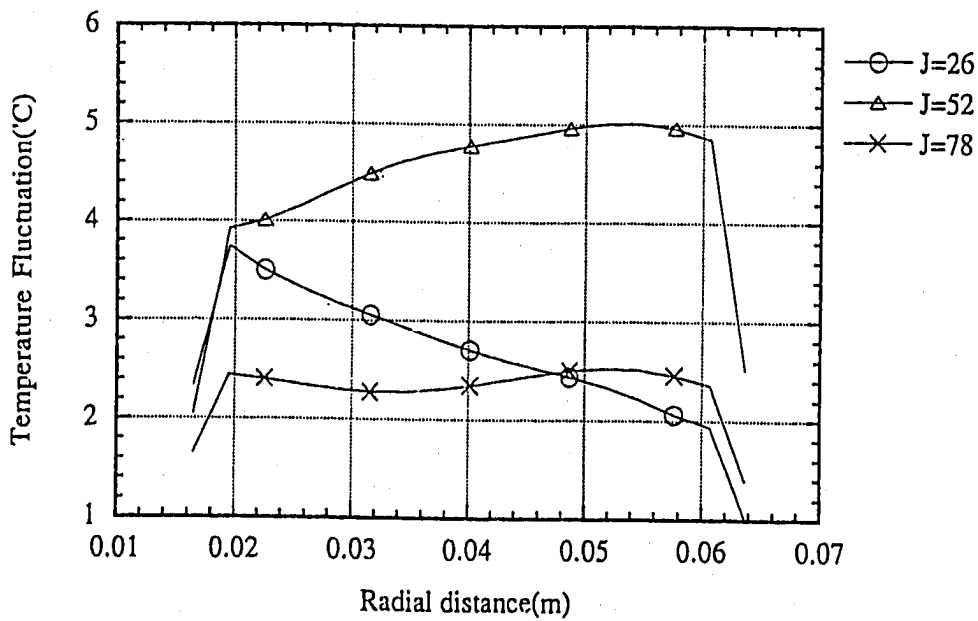
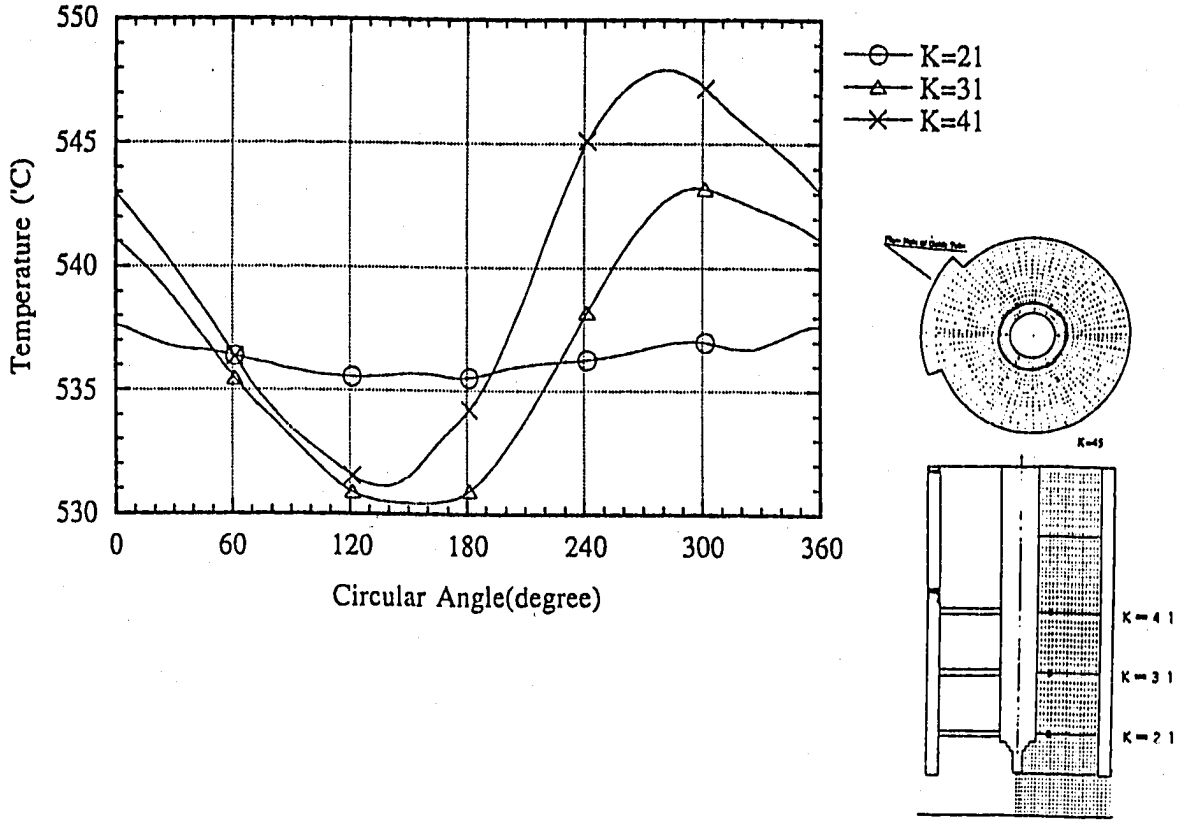


Fig.4.16 平均温度、温度ゆらぎ強度半径方向分布 (K=41)

### Circular Distribution of Coolant Temperature

(I=10, J=1,78)



### Circular Distribution of Coolant Temperature Fluctuation

(I=10, J=1,78)

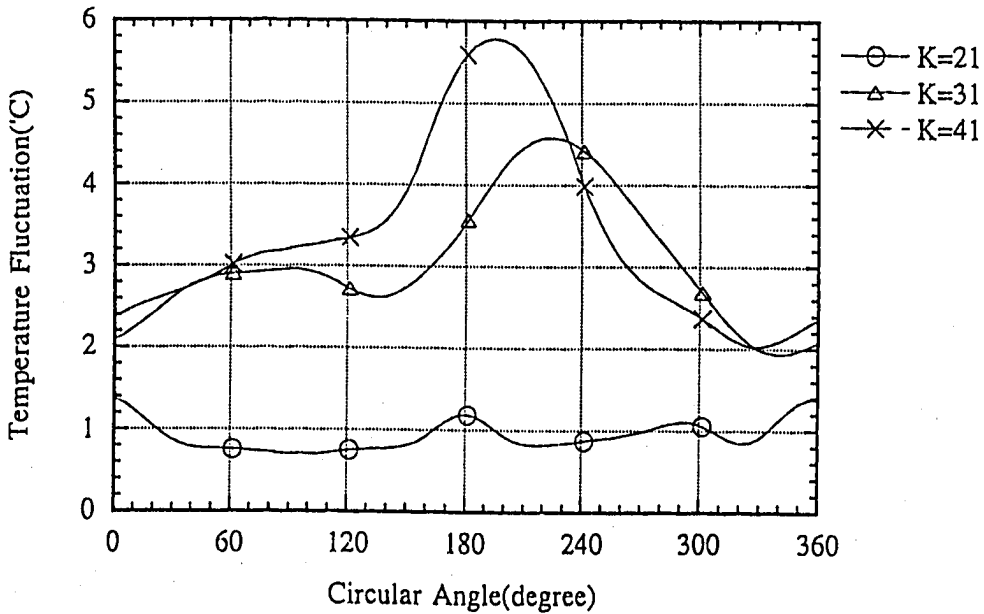
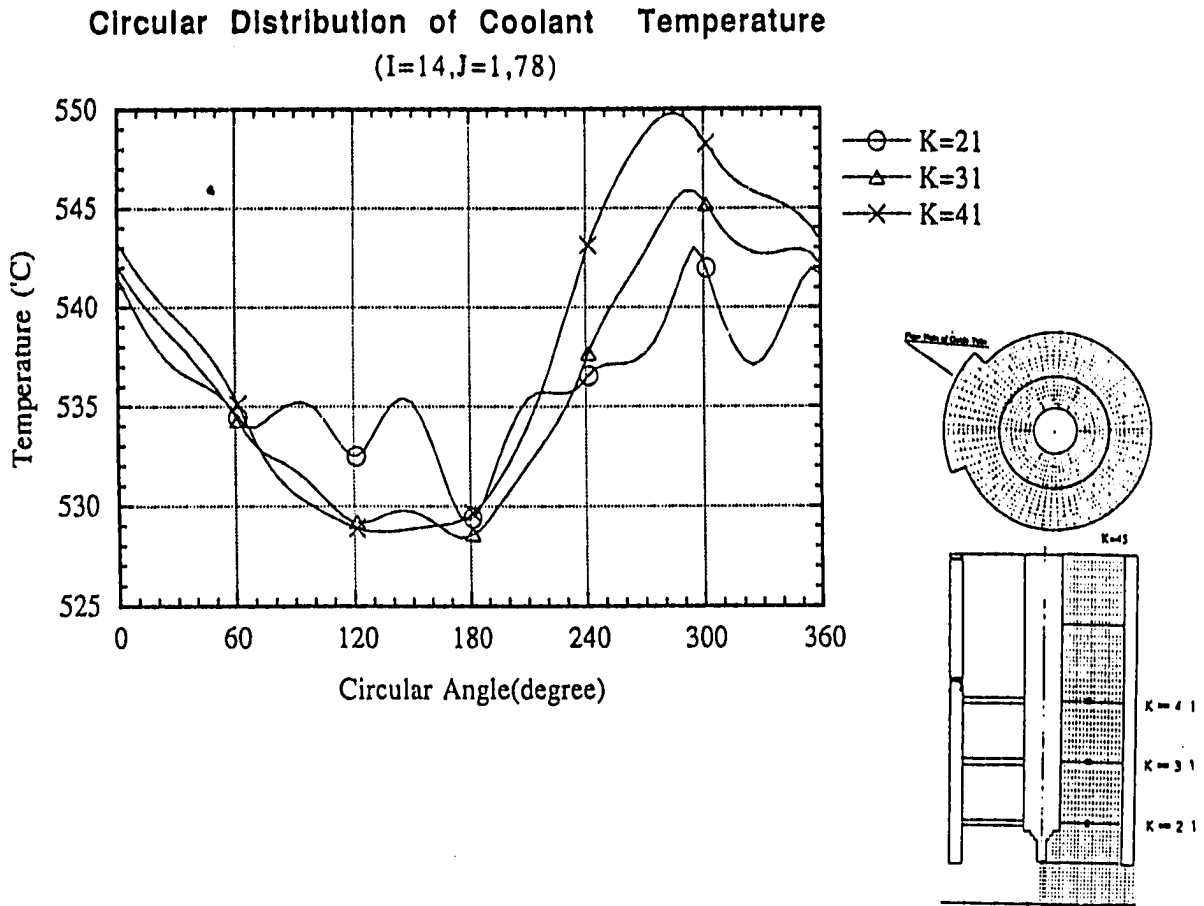


Fig.4.17 平均温度、温度ゆらぎ強度周方向分布 (I=10)





### Circular Distribution of Coolant Temperature Fluctuation (I=14, J=1,78)

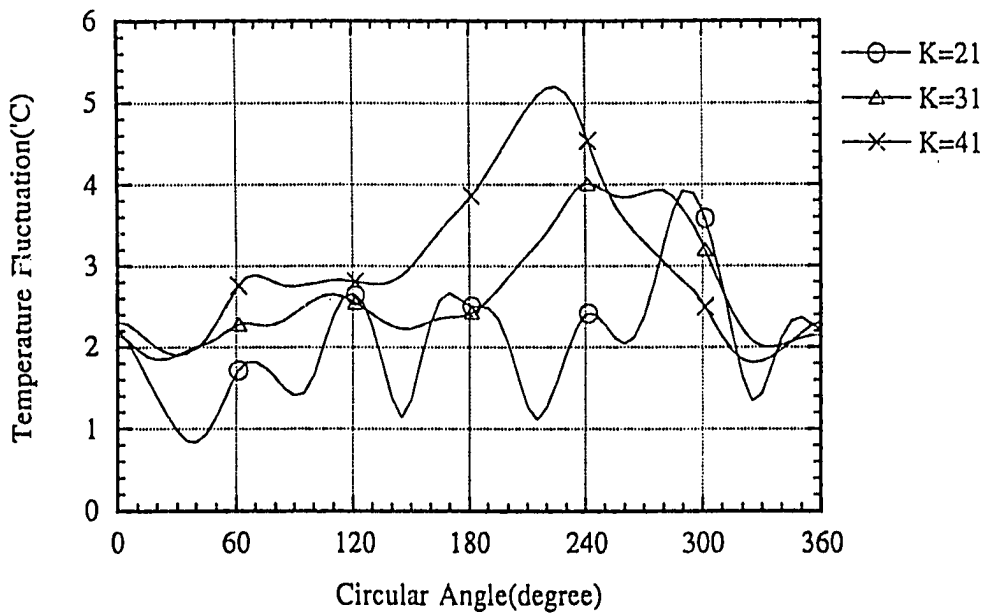
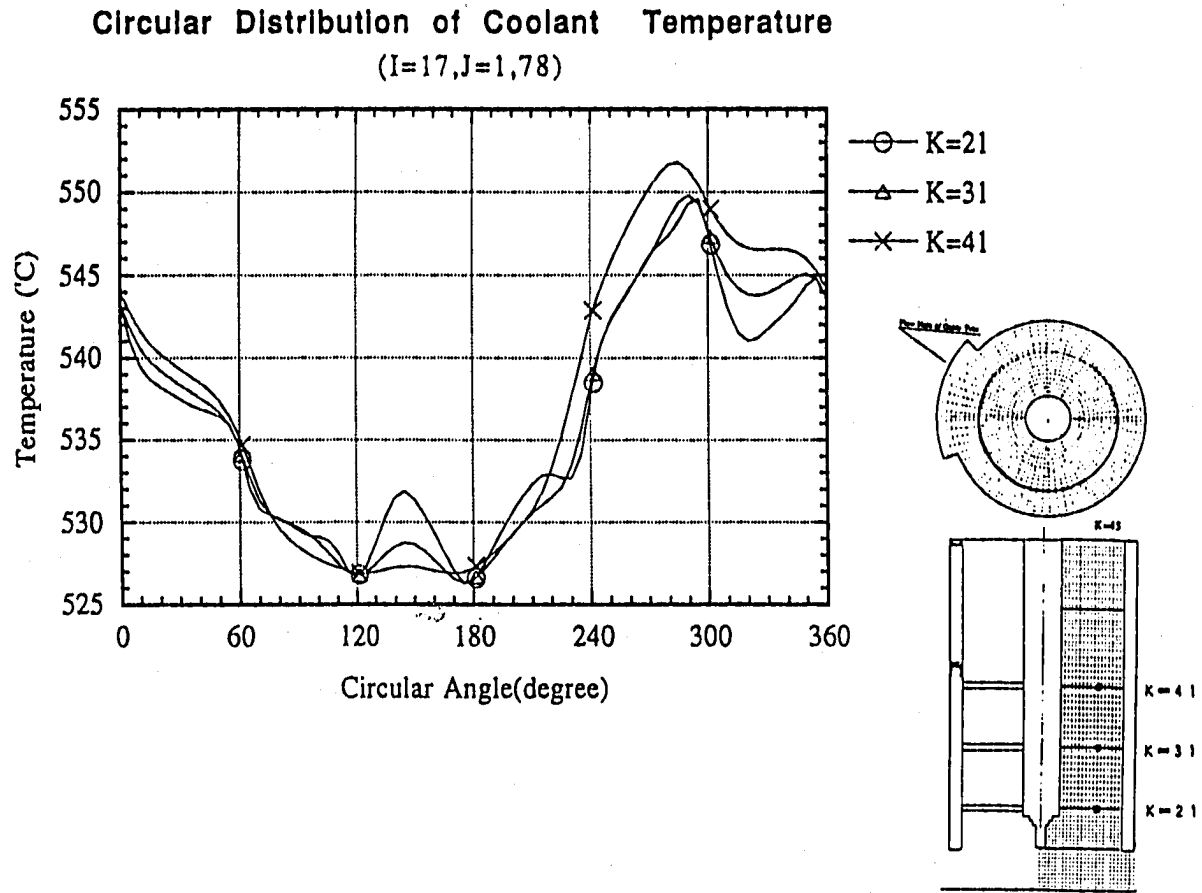


Fig.4.18 平均温度、温度ゆらぎ強度周方向分布 (I=14)



### Circular Distribution of Coolant Temperature Fluctuation (I=17, J=1,78)

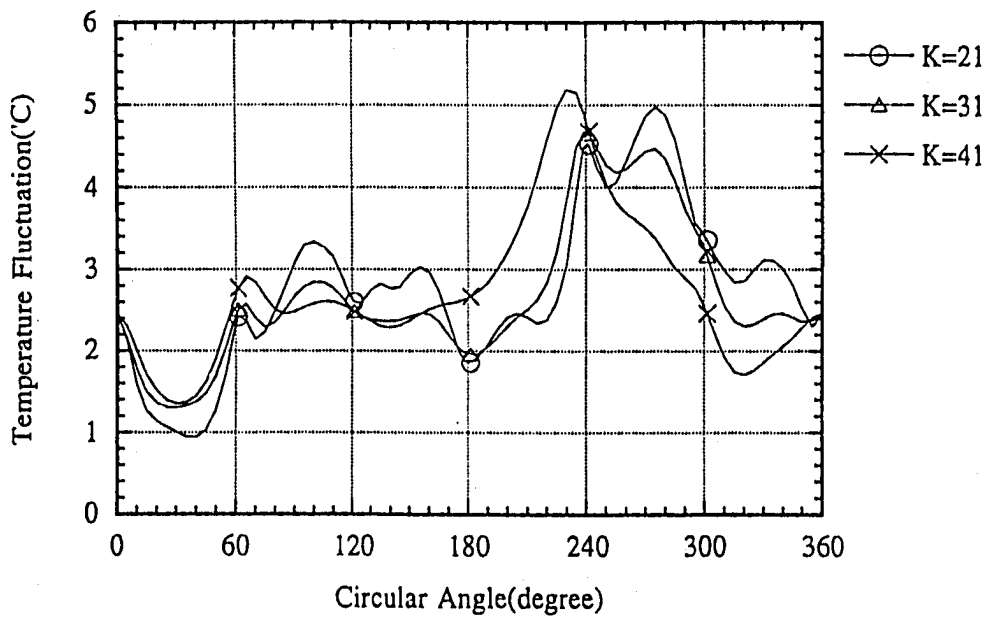
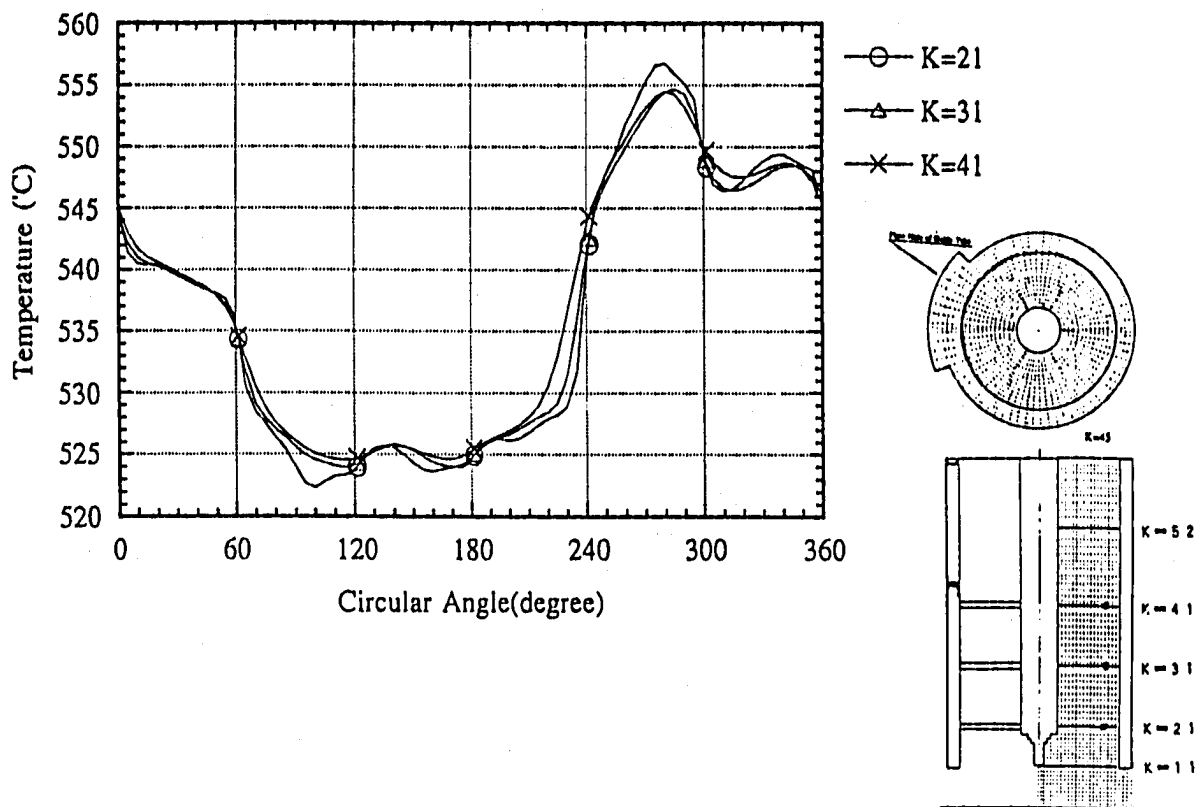


Fig.4:19 平均温度、温度ゆらぎ強度周方向分布 (I=17)

**Circular Distribution of Coolant Temperature**  
(I=20,J=1,78)



**Circular Distribution of Coolant Temperature Fluctuation**  
(I=20,J=1,78)

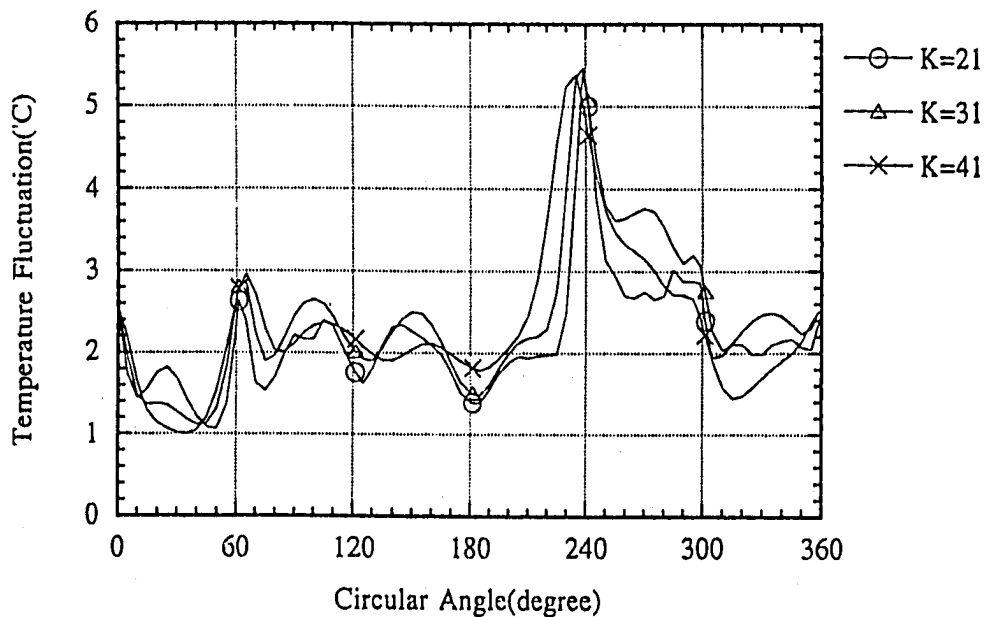
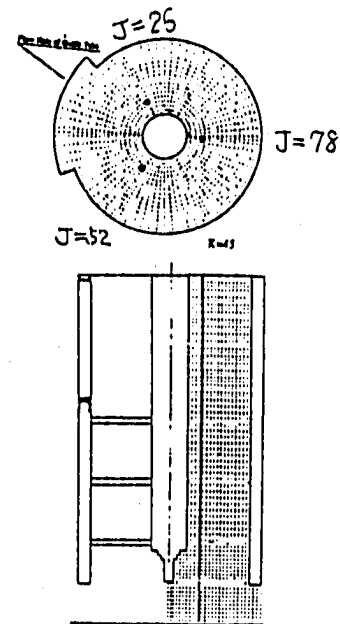
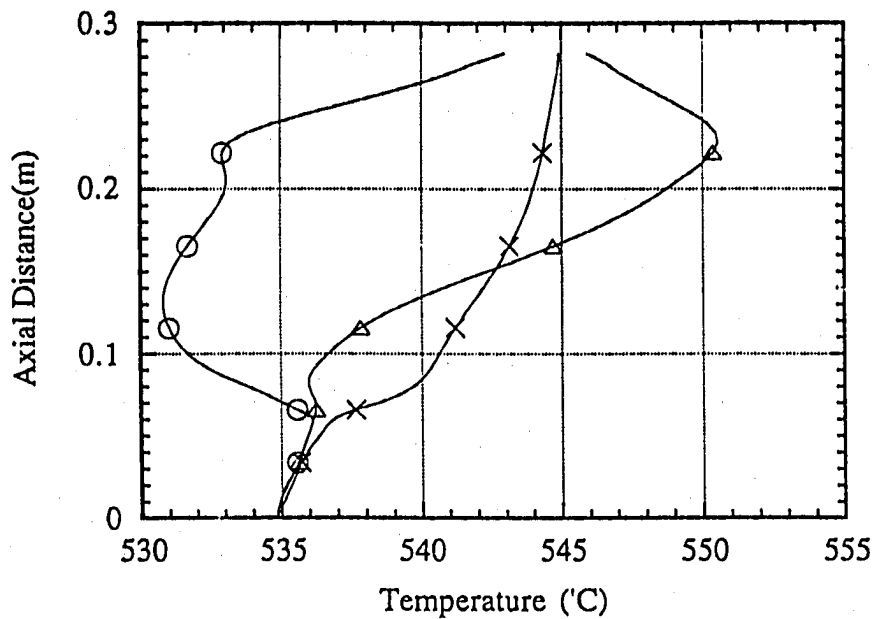


Fig.4.20 平均温度、温度ゆらぎ強度周方向分布 (I=20)

### Axial Distribution of Coolant Temperature

(I=10, K=1,61)



### Axial Distribution of Coolant Temperature Fluctuation

(I=10, K=1,61)

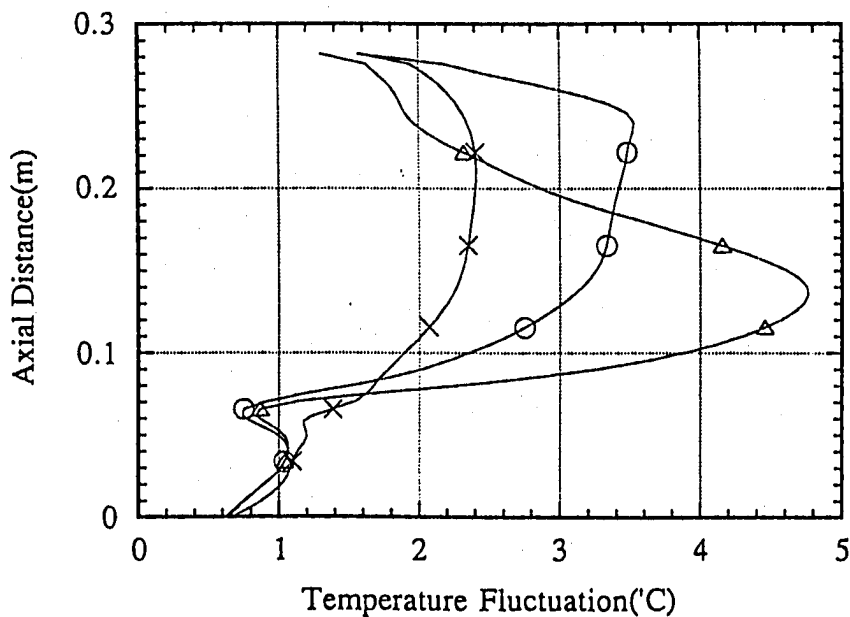
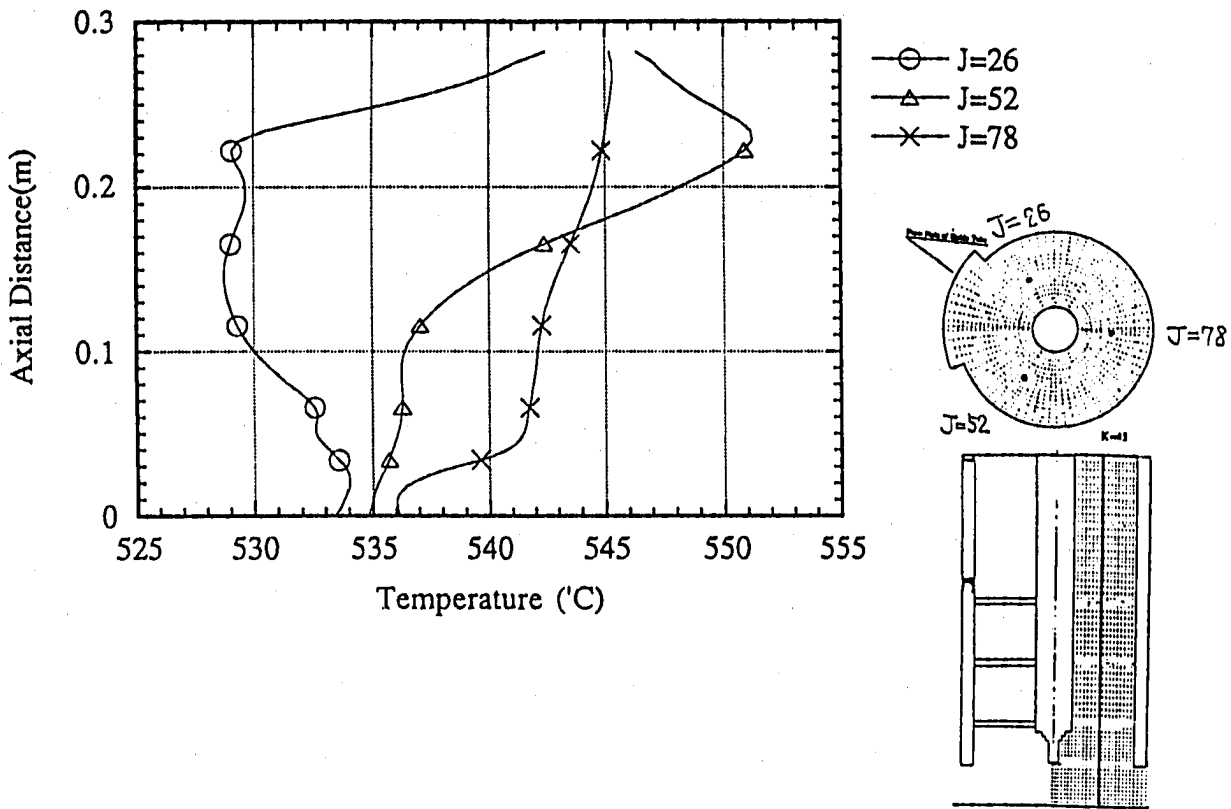


Fig.4.21 平均温度、温度ゆらぎ強度軸方向分布 (I=10)

### Axial Distribution of Coolant Temperature

(I=14, K=1,61)



### Axial Distribution of Coolant Temperature Fluctuation

(I=14, K=1,61)

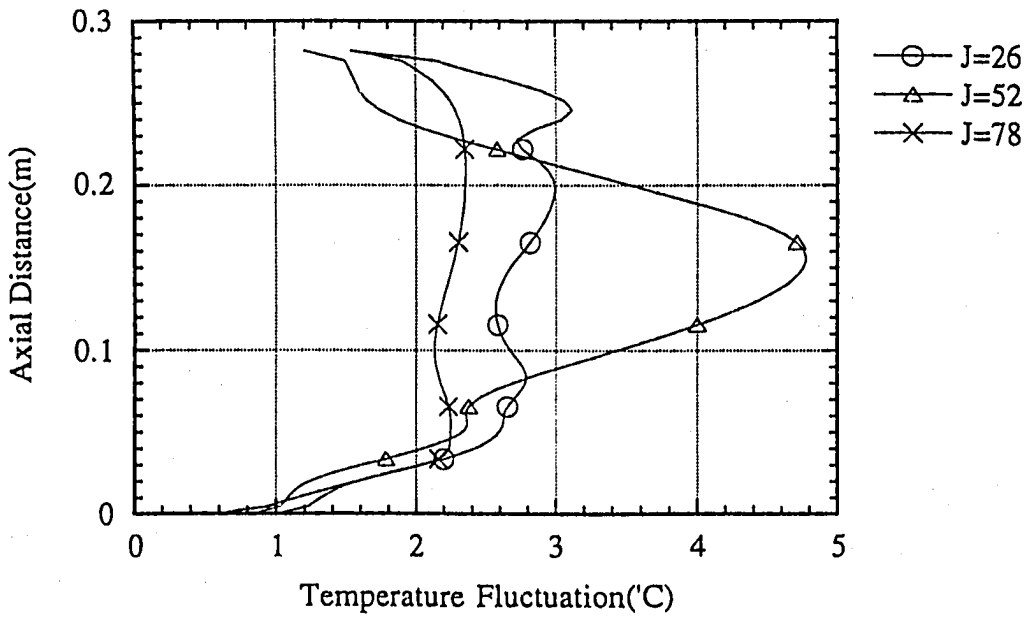
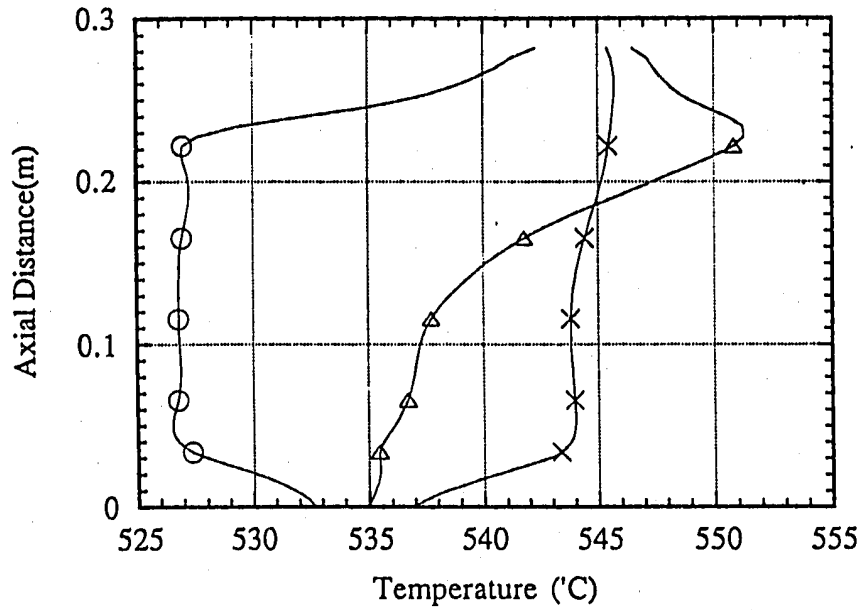


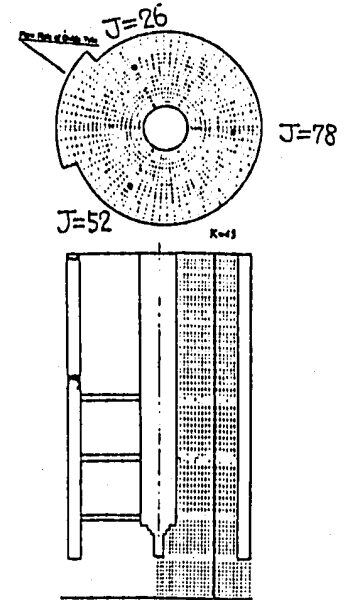
Fig.4.22 平均温度、温度ゆらぎ強度軸方向分布 (I=14)

### Axial Distribution of Coolant Temperature

(I=17, K=1, 61)

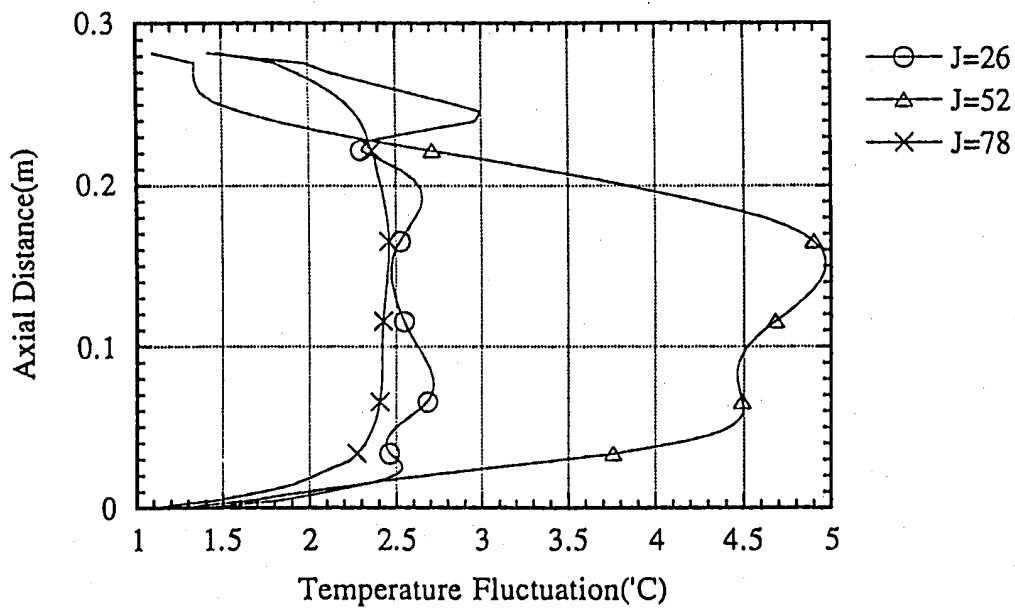


○ J=26  
 △ J=52  
 × J=78



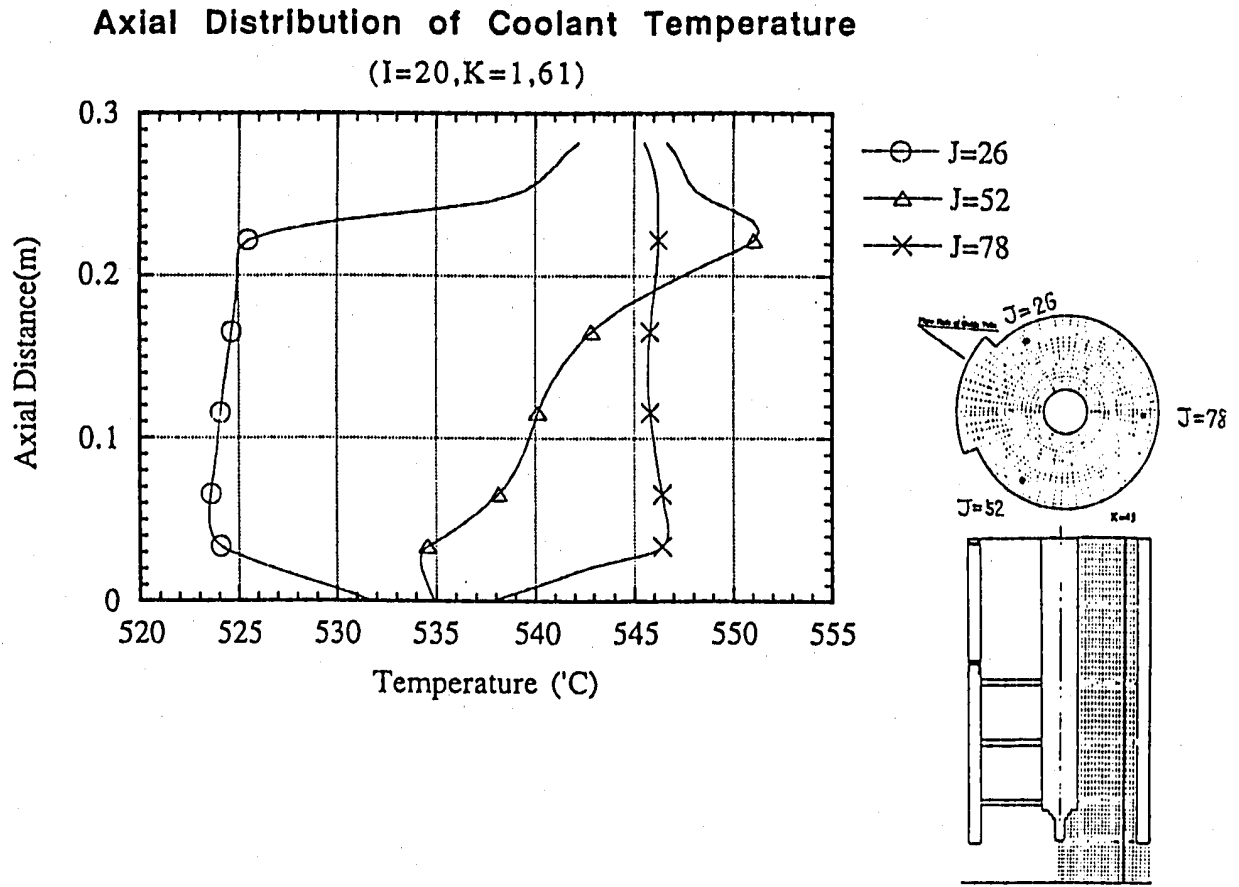
### Axial Distribution of Coolant Temperature Fluctuation

(I=17, K=1, 61)



○ J=26  
 △ J=52  
 × J=78

Fig.4.23 平均温度、温度ゆらぎ強度軸方向分布 (I=17)



### Axial Distribution of Coolant Temperature Fluctuation (I=20, K=1,61)

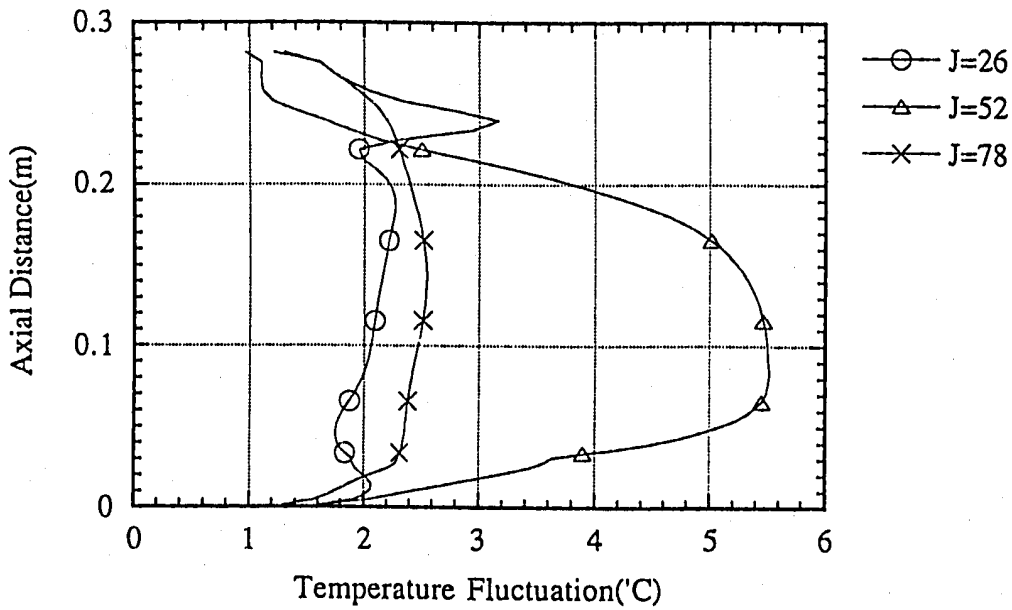


Fig.4.24 平均温度、温度ゆらぎ強度軸方向分布 (I=20)

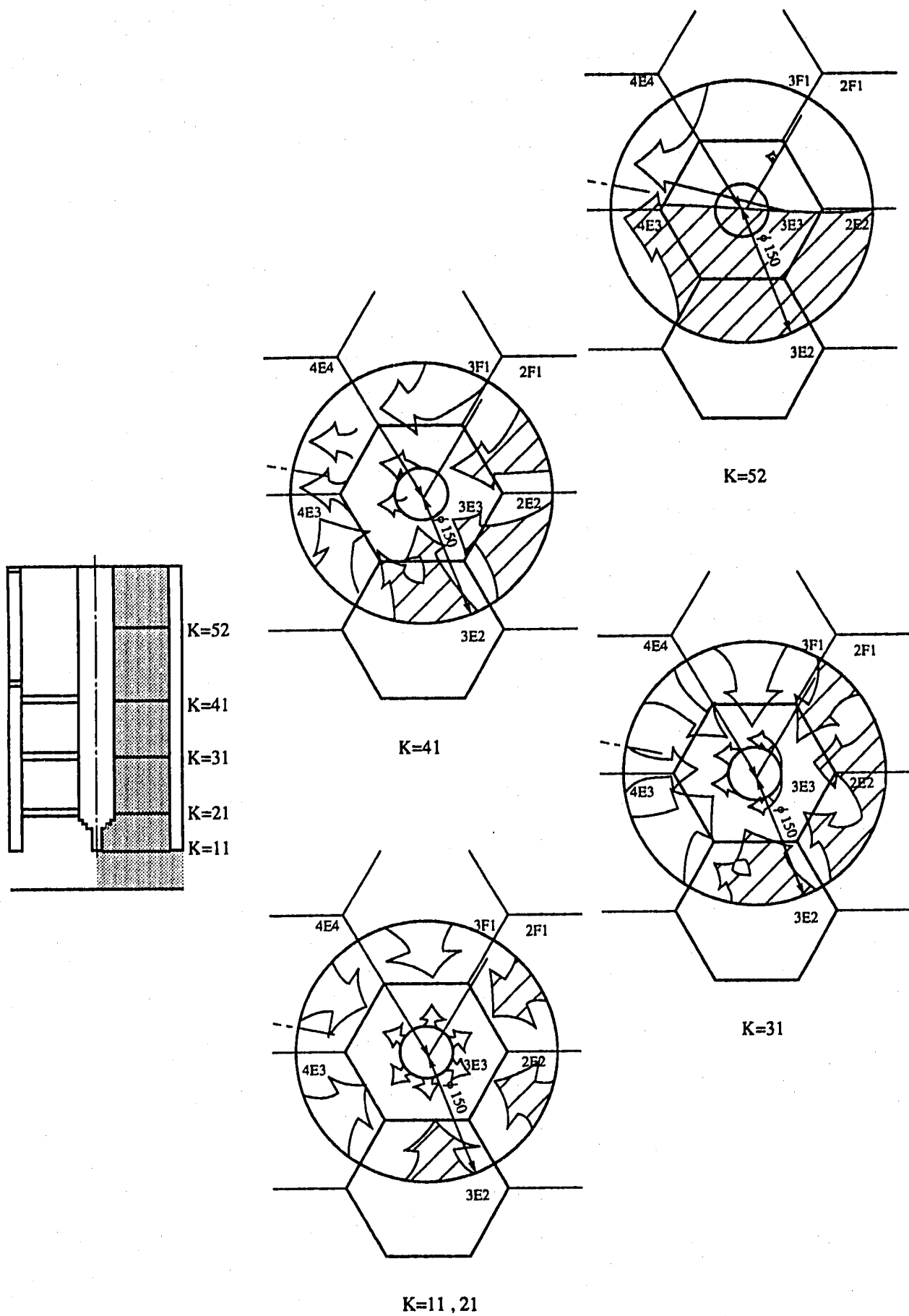


Fig.4.25 第26サイクル試験における流況推定図



## 第5章 考 察

### 5. 1 試験結果との比較

Fig.5.1に、J=26（炉心330度方向）、K=21における平均温度および温度ゆらぎ強度の半径方向分布の試験結果との比較を示す。同図の横軸は、炉心出口温度計ウエル中心軸からの半径方向距離を示す。また、温度ゆらぎ強度は解析により得られた値( $\theta^2$ )に平方根を取ったものをプロットしている。同図より、解析結果の方が試験結果に比べ、平均温度、温度ゆらぎ強度共に高いことがわかる。平均温度に関しては、温度計ウエル側で解析結果と試験結果との差が大きく、10℃以上の温度差が生じている。また、温度ゆらぎ強度に関しては、試験結果がすべて1℃以下であるのに対し、解析では径方向距離4cmの位置において、約3℃のピーク値をとっている。これは炉心アドレス(3E3)以外の集合体から流出する冷却材が同位置でミキシングすることによるためであるが、試験結果ではこの傾向は顕著に見られない。

Fig.5.2に、J=26（炉心330度方向）、K=31における半径方向の平均温度分布および温度ゆらぎ強度分布の試験結果との比較を示す。結果より分かる通り、解析では、平均温度に関し、温度計ウエル側から計装プラグ壁面にかけてほぼ直線的に温度が下がっているが、試験結果では計装プラグ近傍において一旦温度が上昇している。温度ゆらぎ強度に関しても、解析結果のほうが試験結果に比べ、平均的に高い温度ゆらぎ強度を示していることがわかる。

Fig.5.3に、J=26（炉心330度方向）、K=41における半径方向の平均温度分布および温度ゆらぎ強度分布の試験結果との比較を示す。結果より分かる通り、計装プラグ側3点に関しては解析結果と試験結果はよく一致しているがその分布は大きく異なっている。温度ゆらぎ強度に関しても、試験結果の方は1℃以内の範囲にあるのに対し、解析結果のピーク値は約3.8℃であり、解析結果の方が大きな値を示す結果となった。

Fig.5.4に、J=13（炉心30度方向）、I=23における軸方向の平均温度および温度ゆらぎ強度分布の試験結果との比較を示す。平均温度、温度ゆらぎ強度共に、解析結果の方が試験結果に比べ値が大きい。

Fig.5.5に、J=59（炉心180度方向）、I=23における軸方向の平均温度および温度ゆらぎ強度分布の試験結果との比較を示す。平均温度に関し、解析結果はフローホール高さに至るまで温度勾配はほとんどないが、試験結果はこの温度勾配が大きく、軸方向上部に向かうにしたがって平均温度が約15℃下がっていることがわかる。また、温度ゆらぎ強度に関しても、この位置について試験結果の方が解析結果よりも高い値となった。

以上に示した実験結果との比較より分かる通り、解析により得られた平均温度および温度ゆらぎ強度の分布は、実験結果と大きく異なるものとなった。このような差異を生じさせる要因は、今回の解析で用いた計算モデル（メッシュ分割法など）、数学モデル（離散化手法など）および物理モデル（乱流モデルなど）を含めた広い項目に及ぶと考えられる。

しかし、時間平均量である平均温度分布が実験結果と大幅に異なる傾向を示した事実は、上記の解析モデルの設定以外に、その原因が存在していることを示唆していると考えるのが妥当であろう。すなわち、数値粘性による悪影響の発生が懸念される1次風上差分法を今回の解析に用いたとは言え、時間平均量である温度分布そのものが大きく変化するとは考え難く、また、仮に今回の解析で使用した乱流モデルに不備が存在していたとしても、平均温度などの時間平均量に対する影響は極めて小さいものであると考えられる。したがって、両者に不一致を生じさせる主要因は、今回の解析で考慮できなかった要素、例えば

- (1) 整流格子周辺に生じるクロスフローによる外乱効果
- (2) 入口境界条件であるハンドリングヘッド部での半径方向温度分布の妥当性

などがその候補として挙げられる。

(1) の要素は、実炉でのサーマルストライピング解析を行う上で考慮すべき解析範囲に係わるものであり、評価対象部位に対して何体(列)の燃料集合体を考慮して解析を行えば、その外乱を含めた現実的な評価が行えるかという問題である。今回の解析では、計装プラグが装荷されている(3E3)集合体を取り囲む6体(1列)をその解析範囲としたため、これよりも外側に位置する集合体からのクロスフロー効果は取り入れられていないことになる。

(2) の要素は、解析上の境界条件となるハンドリングヘッド部での半径方向温度分布の与え方に係わるものである。すなわち、実炉においては、同位置での温度分布を測定する手段は無く、何等かの方法によって規定する必要がある。しかし、同位置での温度分布は、その上流側の状態、例えば燃料ピン束の湾曲(熱膨張やスウェリング)や発熱分布(勾配)などによって大きく変化する。今回の一連の解析では、第3章においてこの規定を数値計算により行ったものの、これを行う上では、燃料ピンが湾曲なく垂直に林立していると仮定した。

以上の要因が解析結果に与える影響は、現時点において明かではないが、実炉でのサーマルストライピング現象を解析的に実施してゆく上で極めて重要なものであることから、今後早急に定量化作業を行う必要がある。なお、実験結果との不一致の主原因が、使用した物理モデルに無いことを裏付ける意味から、次節では乱流入口境界条件が解析結果に与える影響を定量化する。

## 5. 2 入口境界条件の影響

各燃料集合体ハンドリングヘッド上端面に入口境界条件として与える温度ゆらぎ強度が、この下流側での温度ゆらぎ強度分布に与える影響を定量化することを目的として、感度解析を実施した。本解析は、当該位置における温度ゆらぎ強度境界条件、として以下に示す3ケースについて実施した。

1.  $\theta^2 = 10^6$  (°C)<sup>2</sup> (Case - 1)
2.  $\theta^2 = 10^5$  (°C)<sup>2</sup> (Case - 2)
3.  $\theta^2 = 10^7$  (°C)<sup>2</sup> (Case - 3)

Fig.5.6 ~ Fig.5.11に各ケース間での、平均温度分布、温度ゆらぎ強度分布の比較を示す。なお図中における平均温度は、本条件における全温度差 $\Delta T (= T_H - T_c)$ を用い、次式により規格化した冷却材温度 $T_N$ である。

$$T_N = (T - T_c) / (T_H - T_c)$$

ここで、

$T_H$ : 最大温度 (3E2 平均温度)

$T_c$ : 最小温度 (4E4 平均温度)

また、温度ゆらぎ強度は、次式により規格化した温度ゆらぎ幅 $\theta_N$ である。

$$\theta_N = (\theta^2)^{0.5} / (T_H - T_c)$$

Fig.5.6~Fig.5.8に、平均温度および温度ゆらぎ強度の半径方向分布について、各ケースを比較する。図より明らかなように、各ケース間での違いはほとんどみられない。

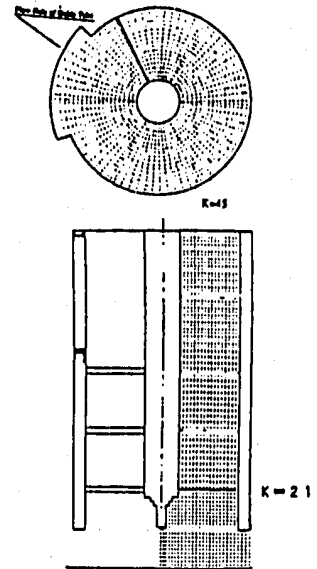
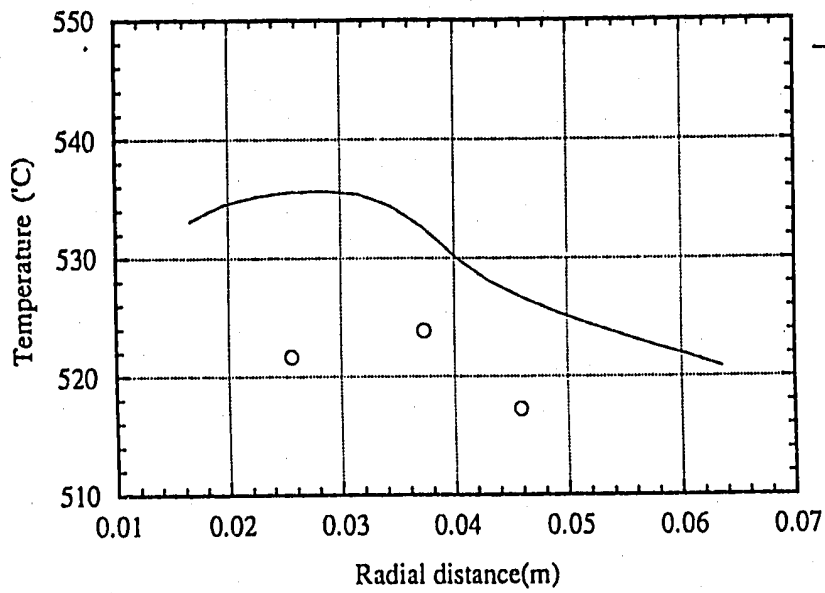
Fig.5.9に、平均温度および温度ゆらぎ強度周方向分布の、各ケースにおける比較を示す。半径方向分布での傾向と同様に各ケース間での違いはほとんどない。

Fig.5.10~Fig.5.11に、軸方向における平均温度および温度ゆらぎ強度の分布について各ケースを比較する。同図では、ハンドリングヘッド上端部近傍においてCase-2の温度ゆらぎ幅が他のケースに比べ、やや大きいことがわかる。またその差も計装プラグ壁面へ近づくほど大きくなる。しかしながら、ハンドリングヘッド上端より10cm上部においては、その差もほとんど解消されており、定性的、定量的な違いはほとんど見られない。

以上より、入口境界条件の与え方は温度ゆらぎ強度分布に大きく影響しないと結論づけられる。

Radial Distribution of Coolant Temperature

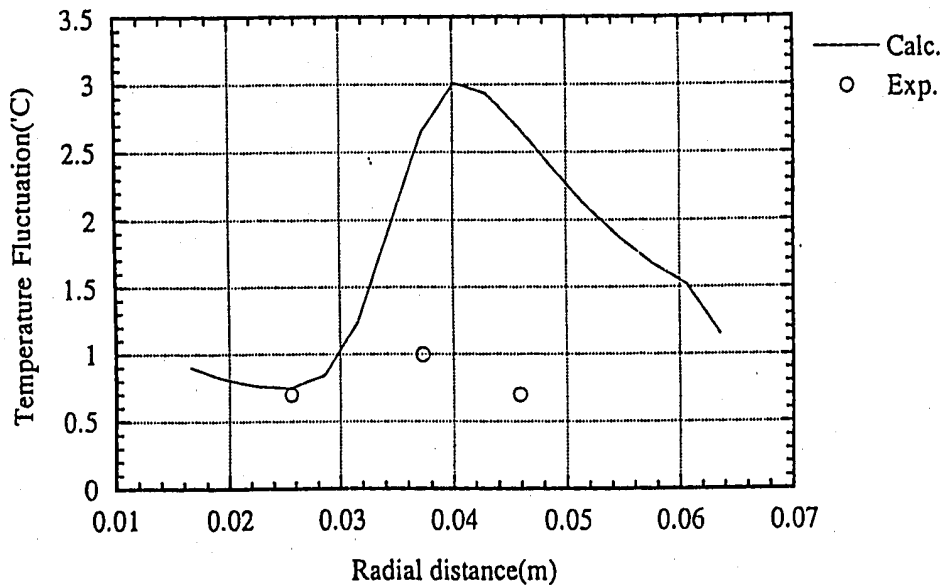
(I=7,23,J=26,K=21)



(a)

Radial Distribution of Coolant Temperature Fluctuation

(I=7,23,J=26,K=21)

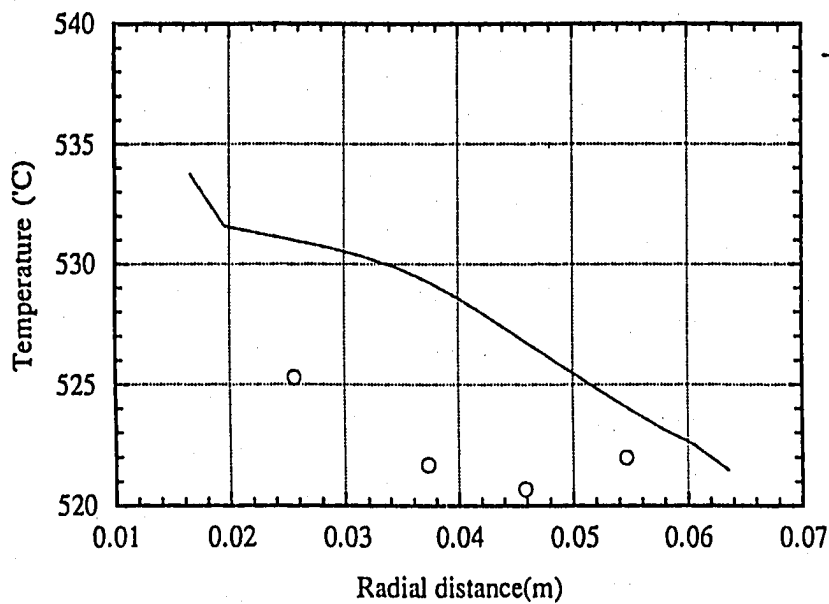


(b)

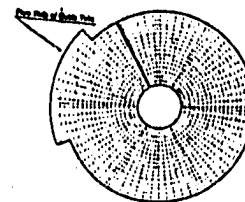
Fig.5.1 計装プラグ内熱流動特性、試験結果との比較  
(a) 平均温度、(b) 温度ゆらぎ強度

### Radial Distribution of Coolant Temperature

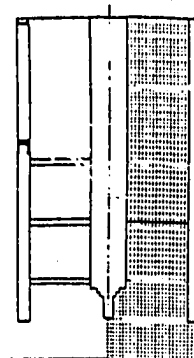
(I=7,23,J=26,K=31)



(a)



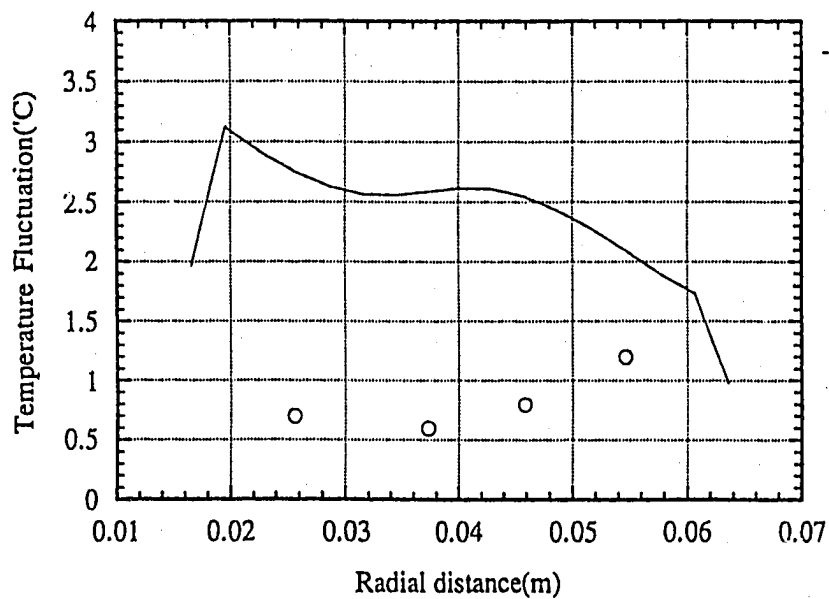
K=43



K=31

### Radial Distribution of Coolant Temperature Fluctuation

(I=7,23,J=26,K=31)

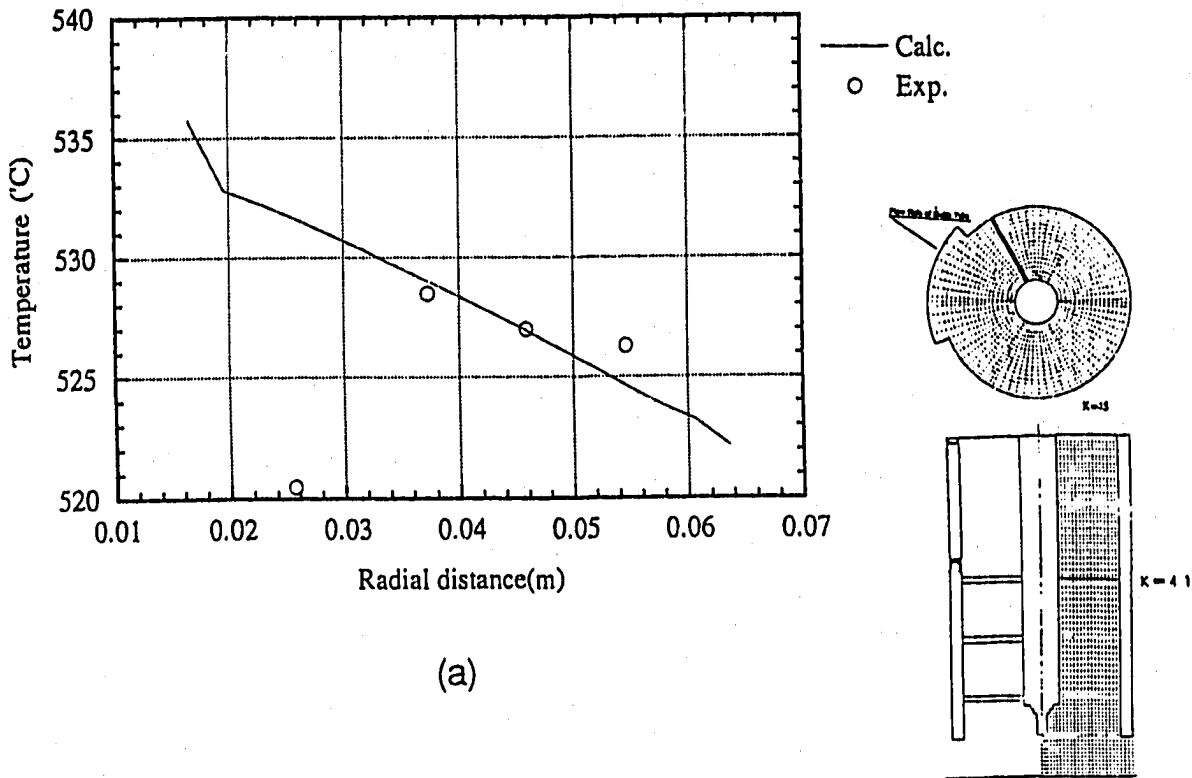


(b)

Fig.5.2 計装プラグ内熱流動特性、試験結果との比較  
(a) 平均温度、(b) 温度ゆらぎ強度

**Radial Distribution of Coolant Temperature**

(I=7,23,J=26,K=41)



**Radial Distribution of Coolant Temperature Fluctuation**

(I=7,23,J=26,K=41)

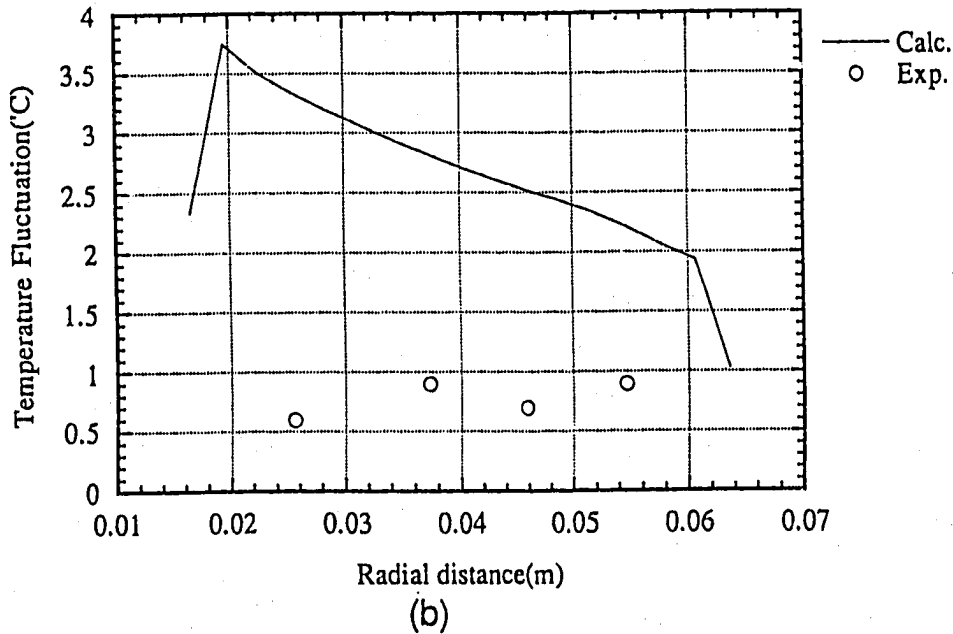


Fig.5.3 計装プラグ内熱流動特性、試験結果との比較  
(a) 平均温度、(b) 温度ゆらぎ強度

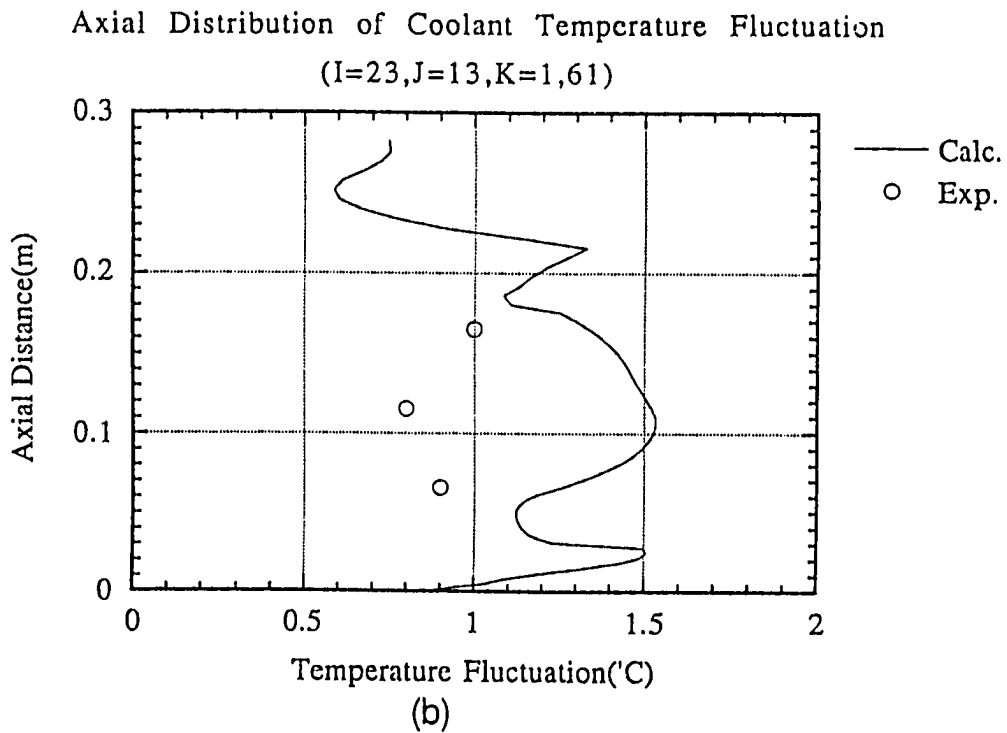
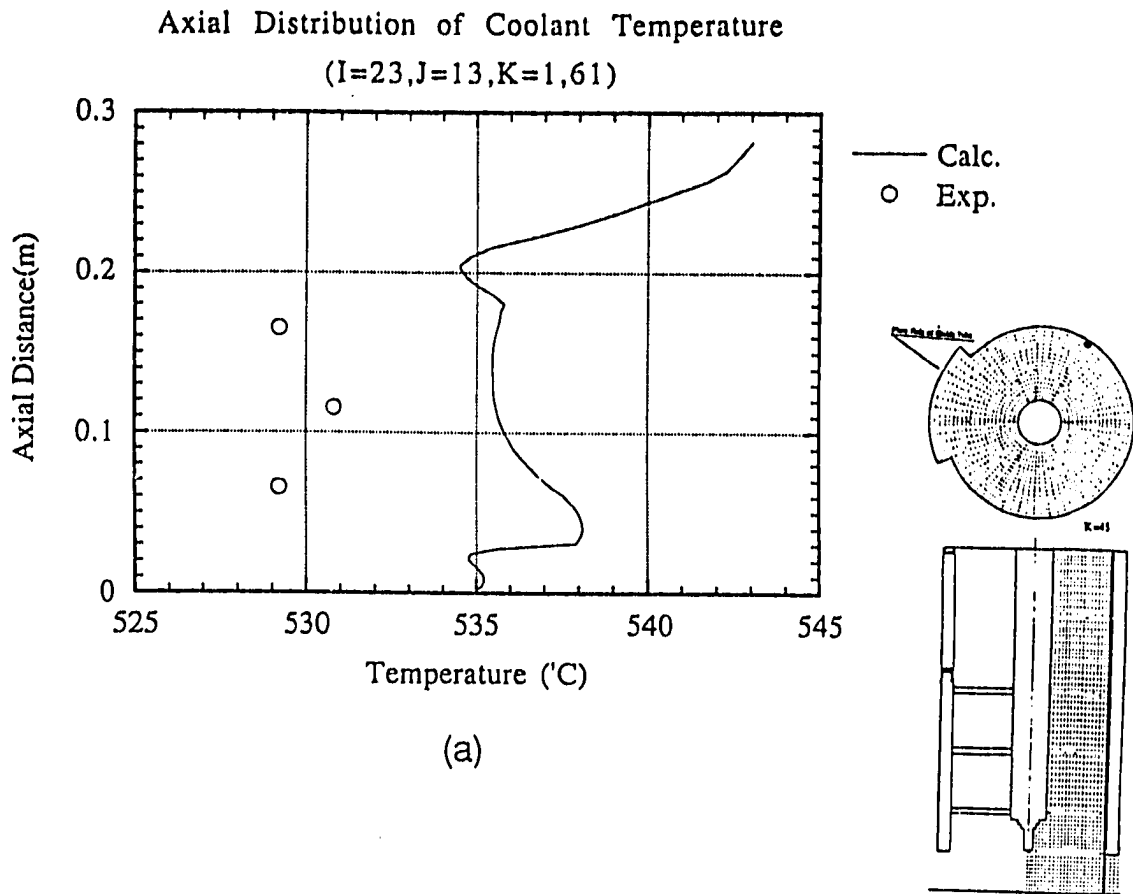


Fig.5.4 計装プラグ内熱流動特性、試験結果との比較  
(a) 平均温度、(b) 温度ゆらぎ強度

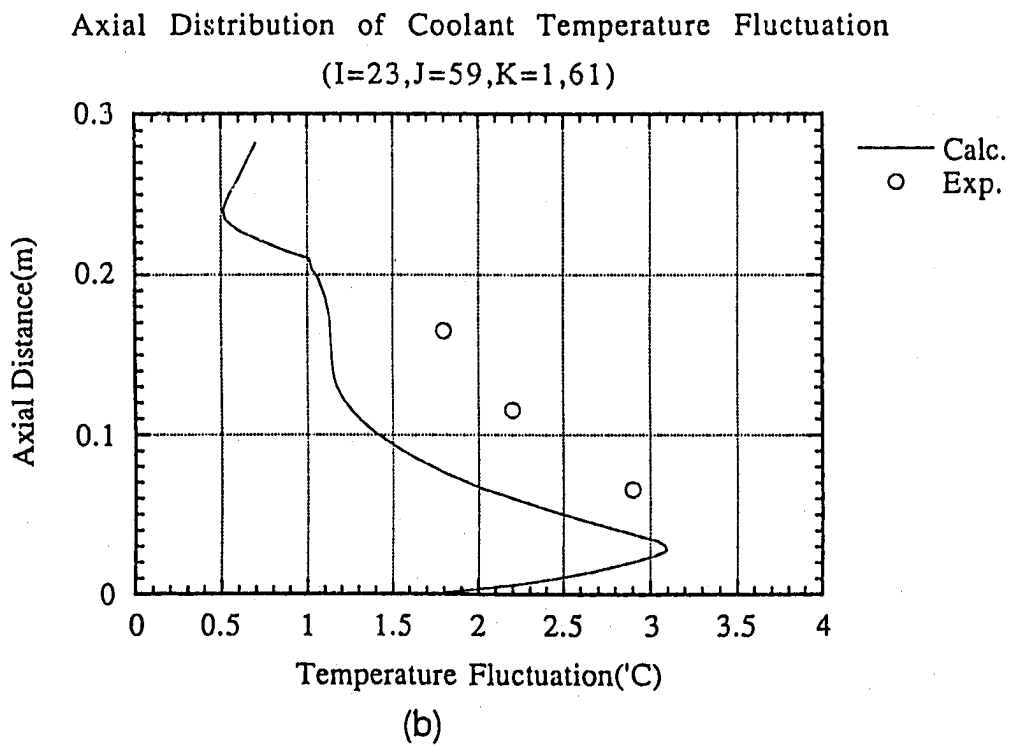
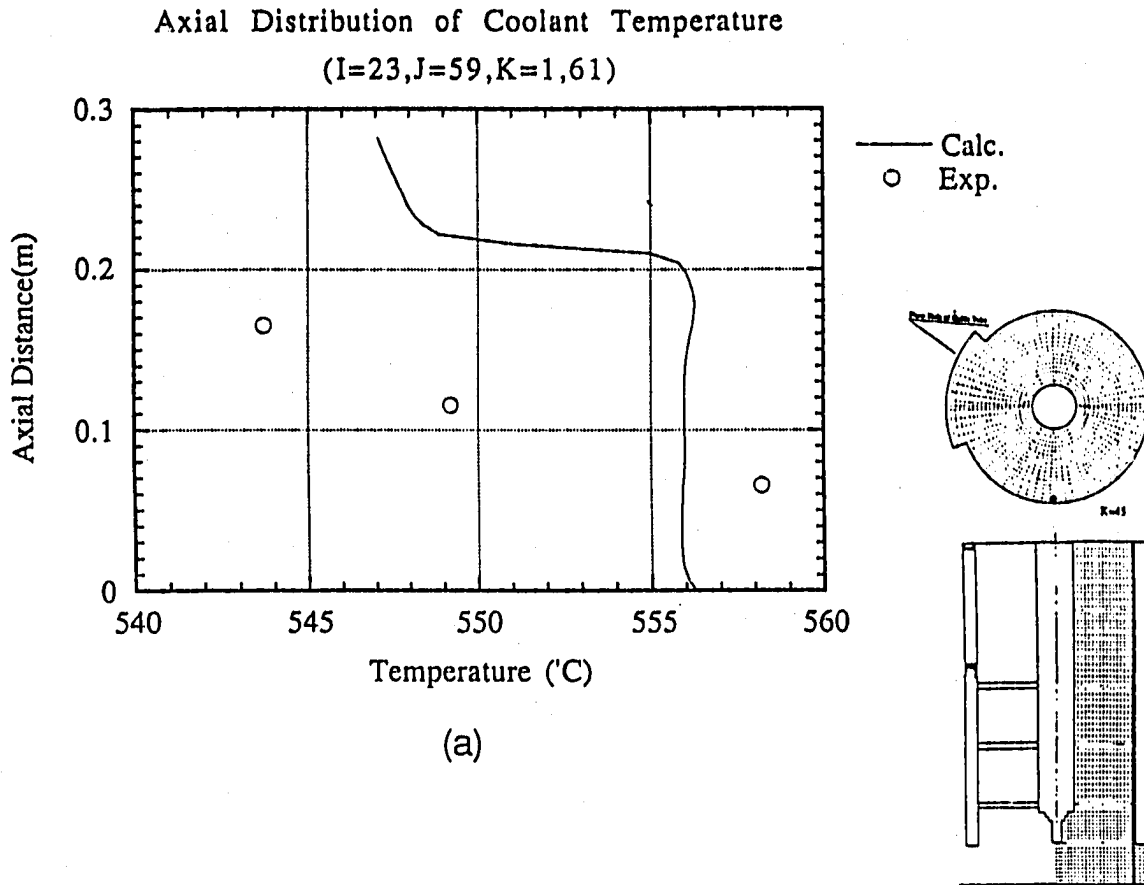
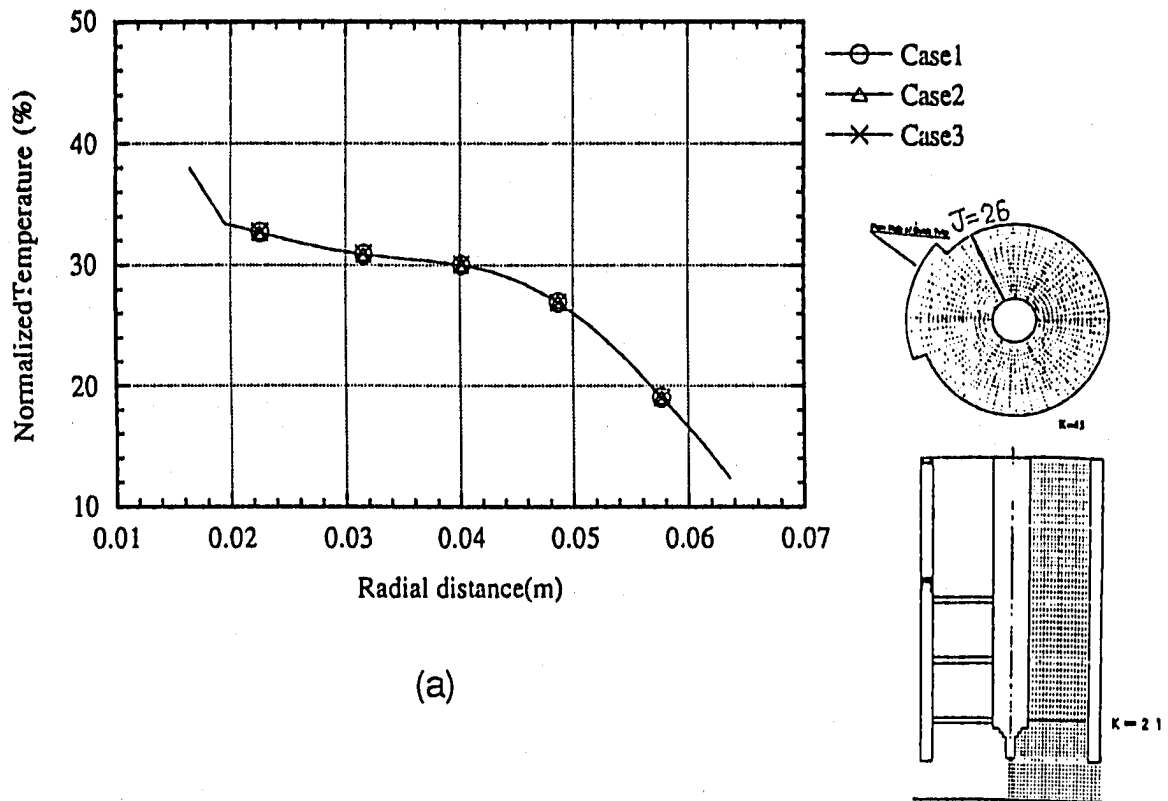


Fig.5.5 計装プラグ内熱流動特性、試験結果との比較  
(a) 平均温度、(b) 温度ゆらぎ強度



### Radial Distribution of Coolant Temperature

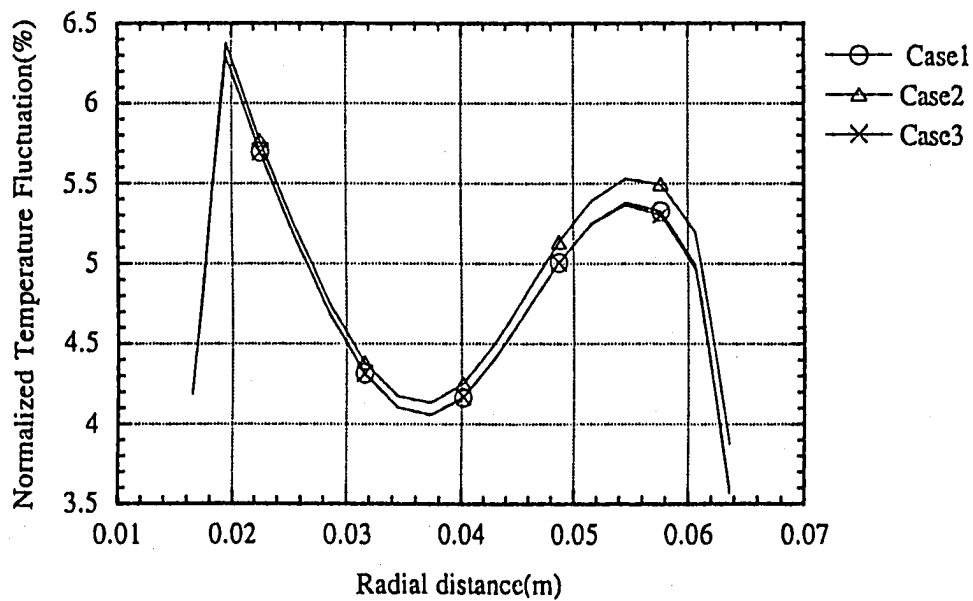
(I=7,23,J=26,K=21)



(a)

### Radial Distribution of Coolant Temperature Fluctuation

(I=7,23,J=26,K=21)

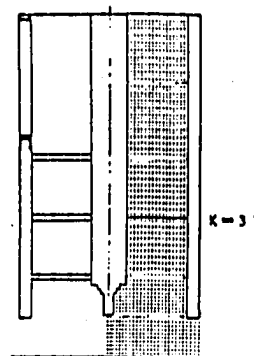
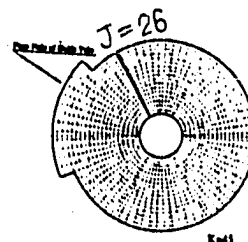
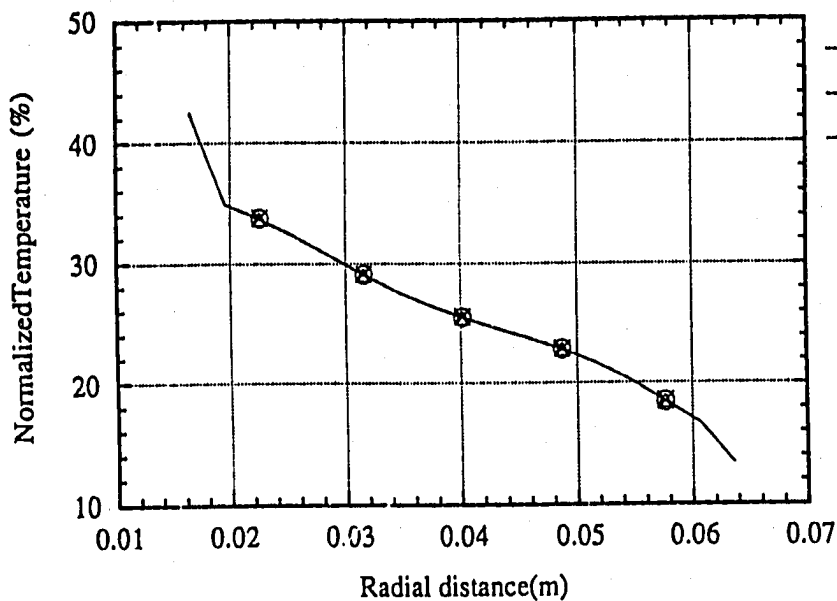


(b)

Fig.5.6 各ケースにおける計装プラグ内熱流動特性の比較  
(a) 平均温度、(b) 温度ゆらぎ強度

### Radial Distribution of Coolant Temperature

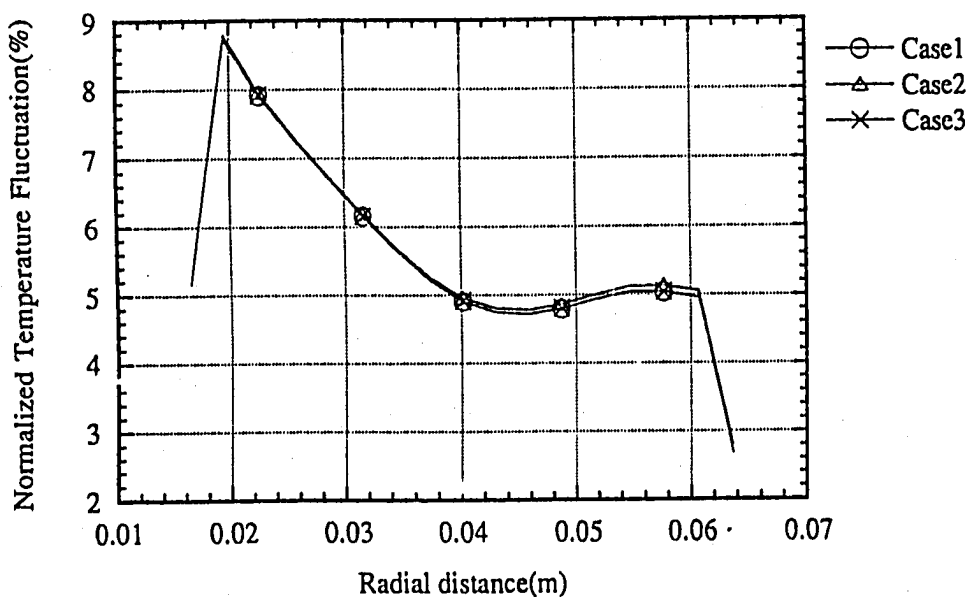
(I=7,23,J=26,K=31)



(a)

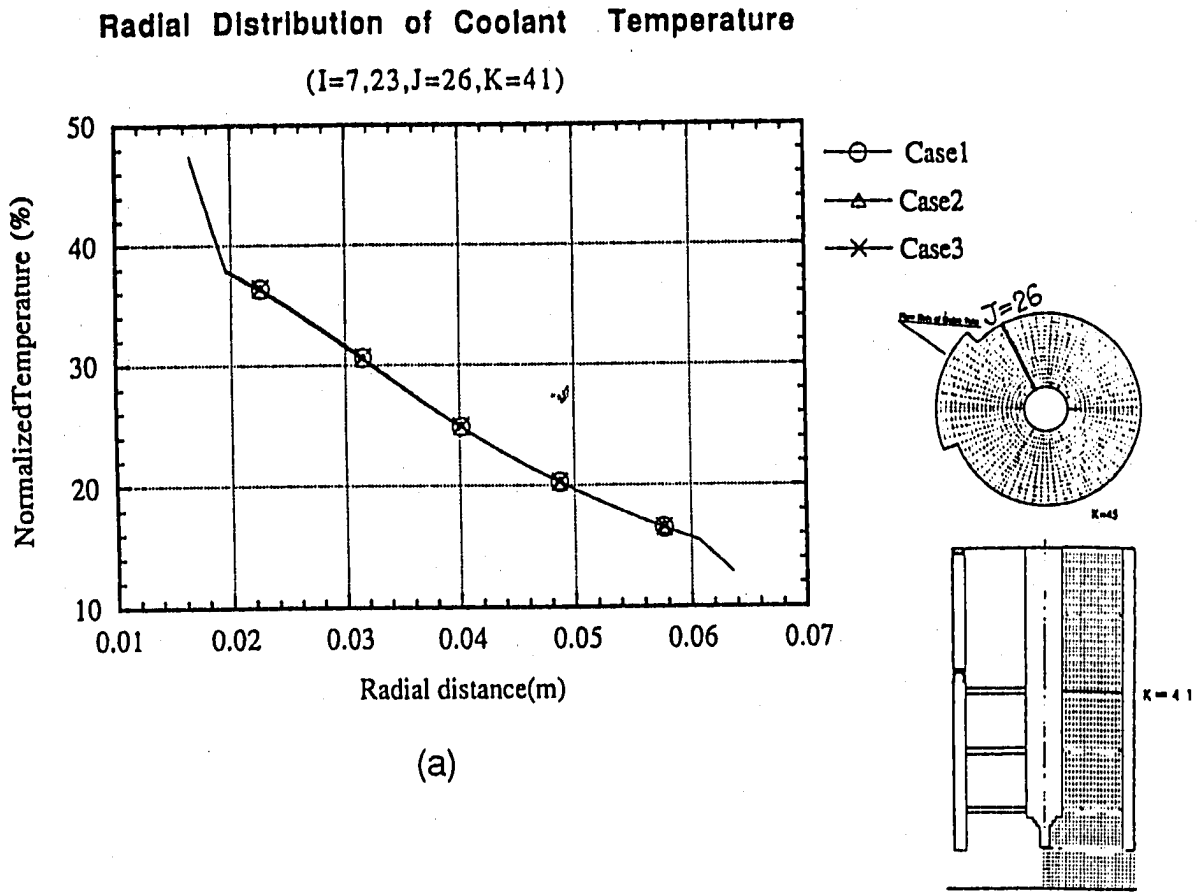
### Radial Distribution of Coolant Temperature Fluctuation

(I=7,23,J=26,K=31)



(b)

Fig.5.7 各ケースにおける計装プラグ内熱流動特性の比較  
(a) 平均温度、(b) 温度ゆらぎ強度



### Radial Distribution of Coolant Temperature Fluctuation

(I=7,23,J=26,K=41)

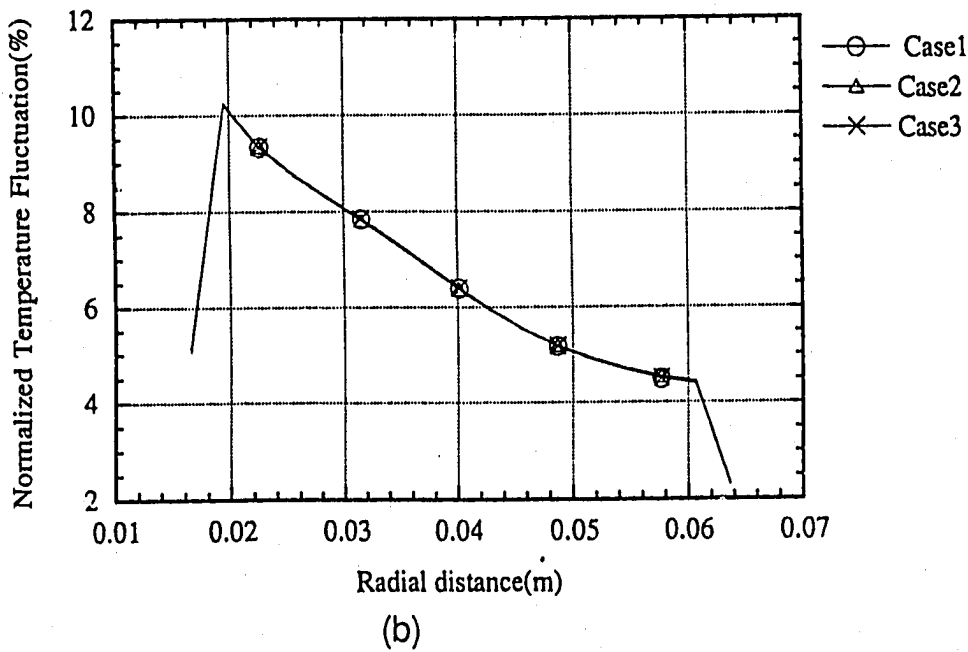
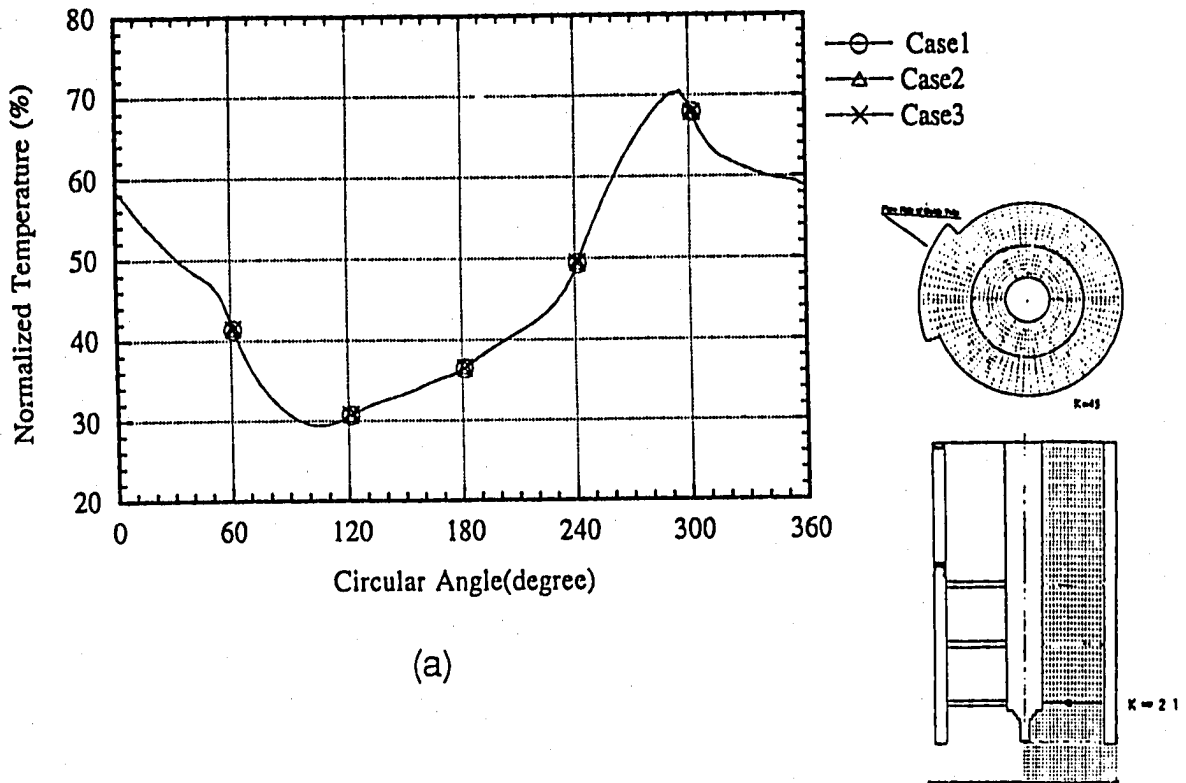


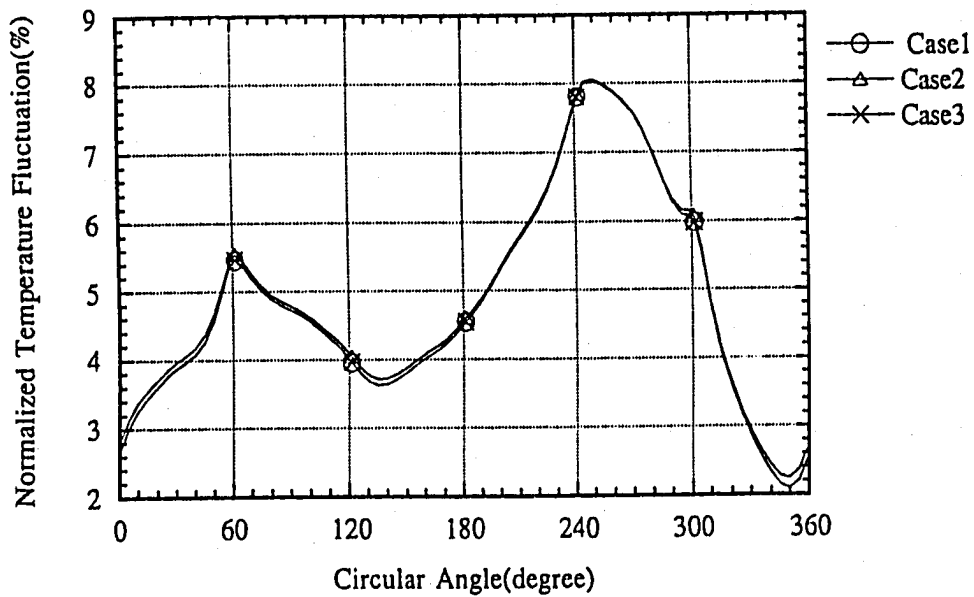
Fig.5.8 各ケースにおける計装プラグ内熱流動特性の比較  
(a) 平均温度、(b) 温度ゆらぎ強度

**Circular Distribution of Coolant Temperature**  
(I=14,K=21)



(a)

**Circular Distribution of Coolant Temperature Fluctuation**  
(I=14,K=21)



(b)

Fig.5.9 各ケースにおける計装プラグ内熱流動特性の比較  
(a) 平均温度、(b) 温度ゆらぎ強度

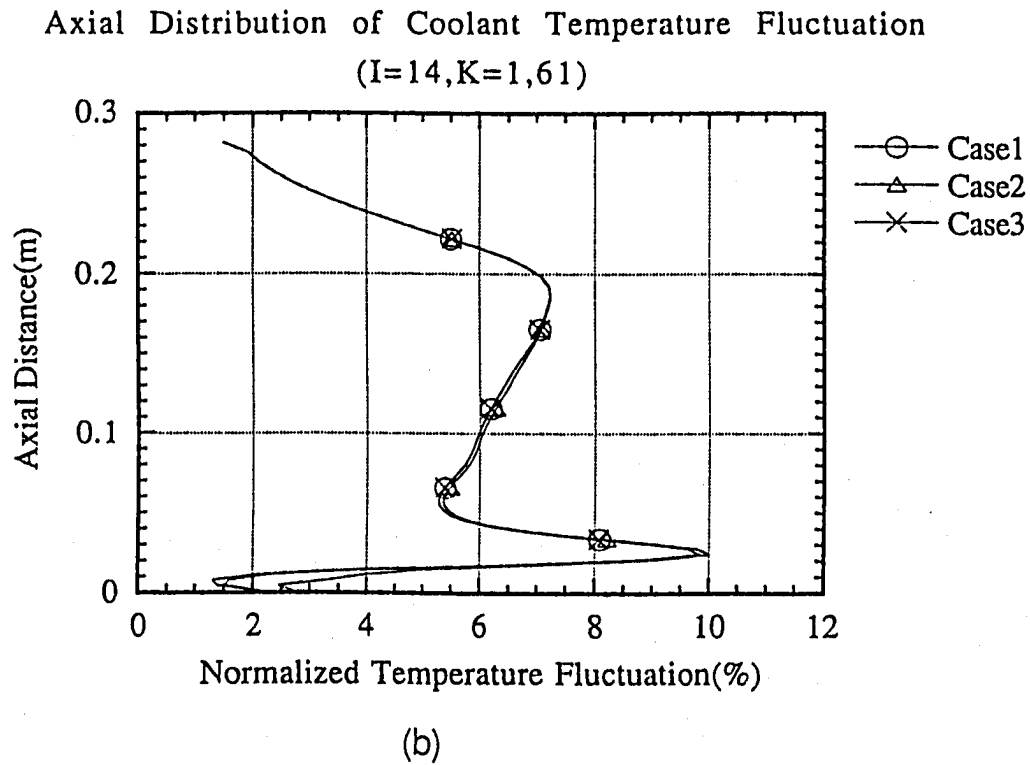
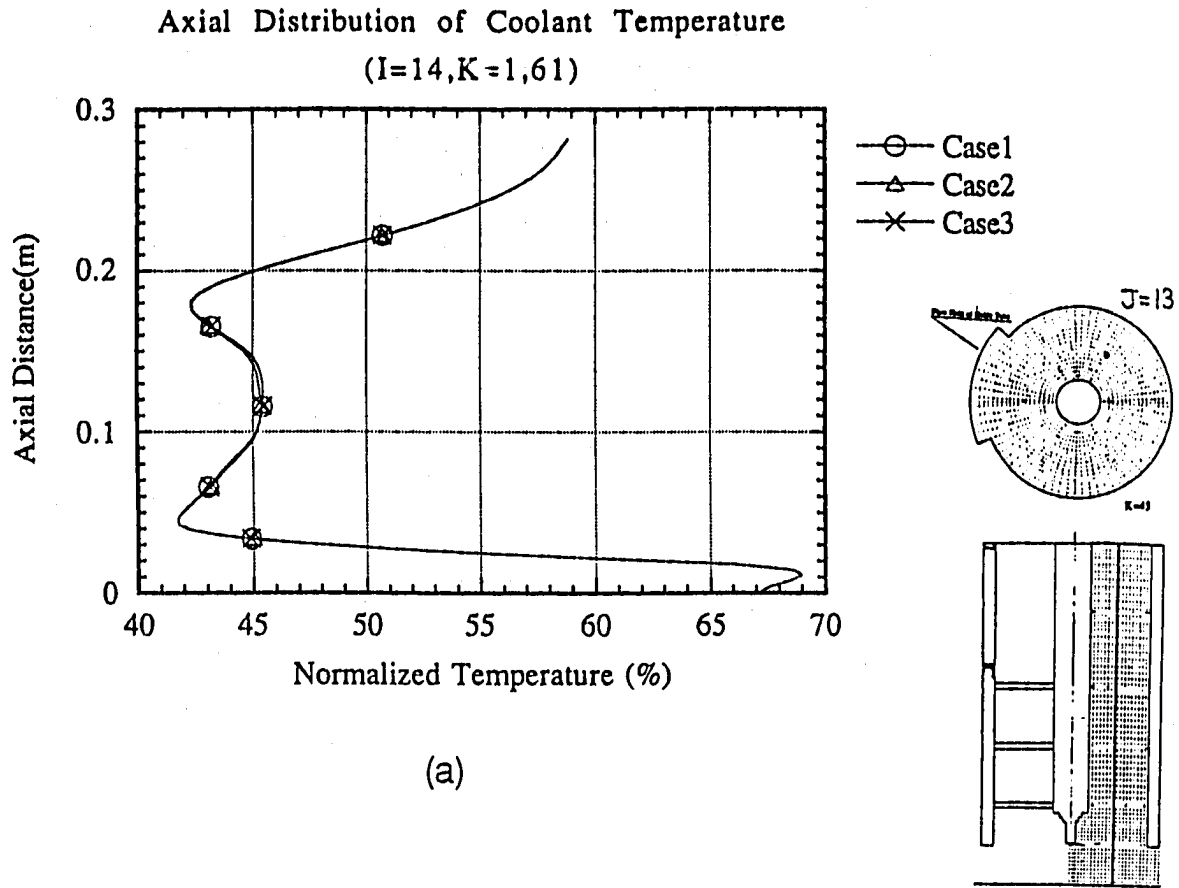


Fig.5.10 各ケースにおける計装プラグ内熱流動特性の比較  
(a) 平均温度、(b) 温度ゆらぎ強度

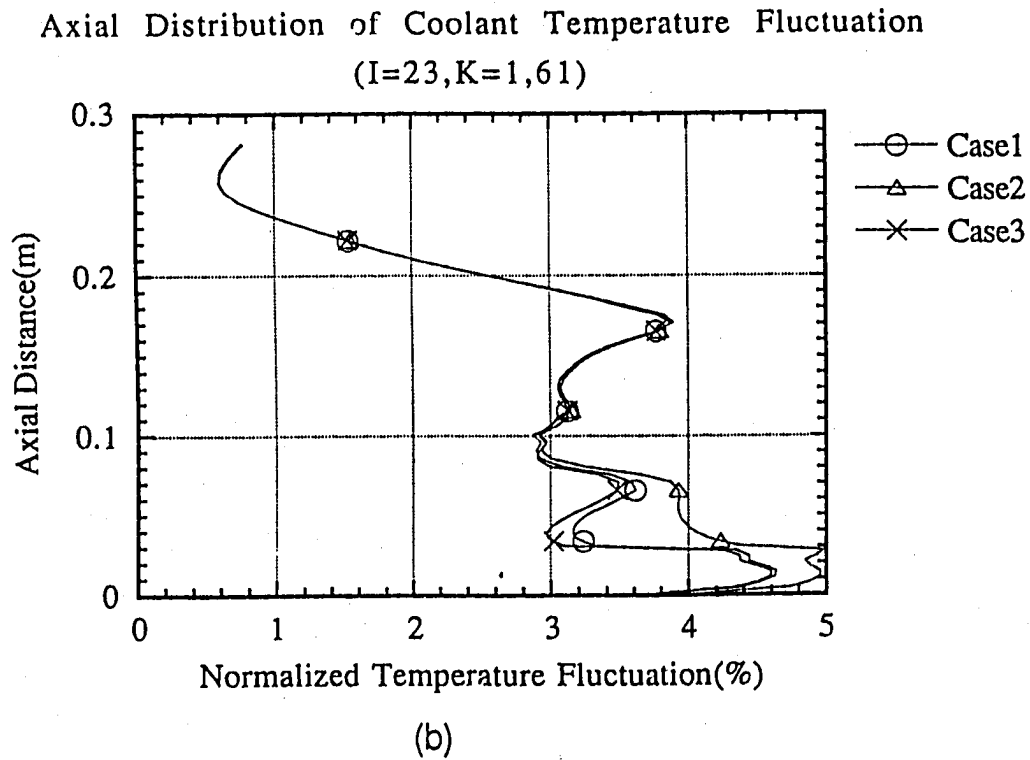
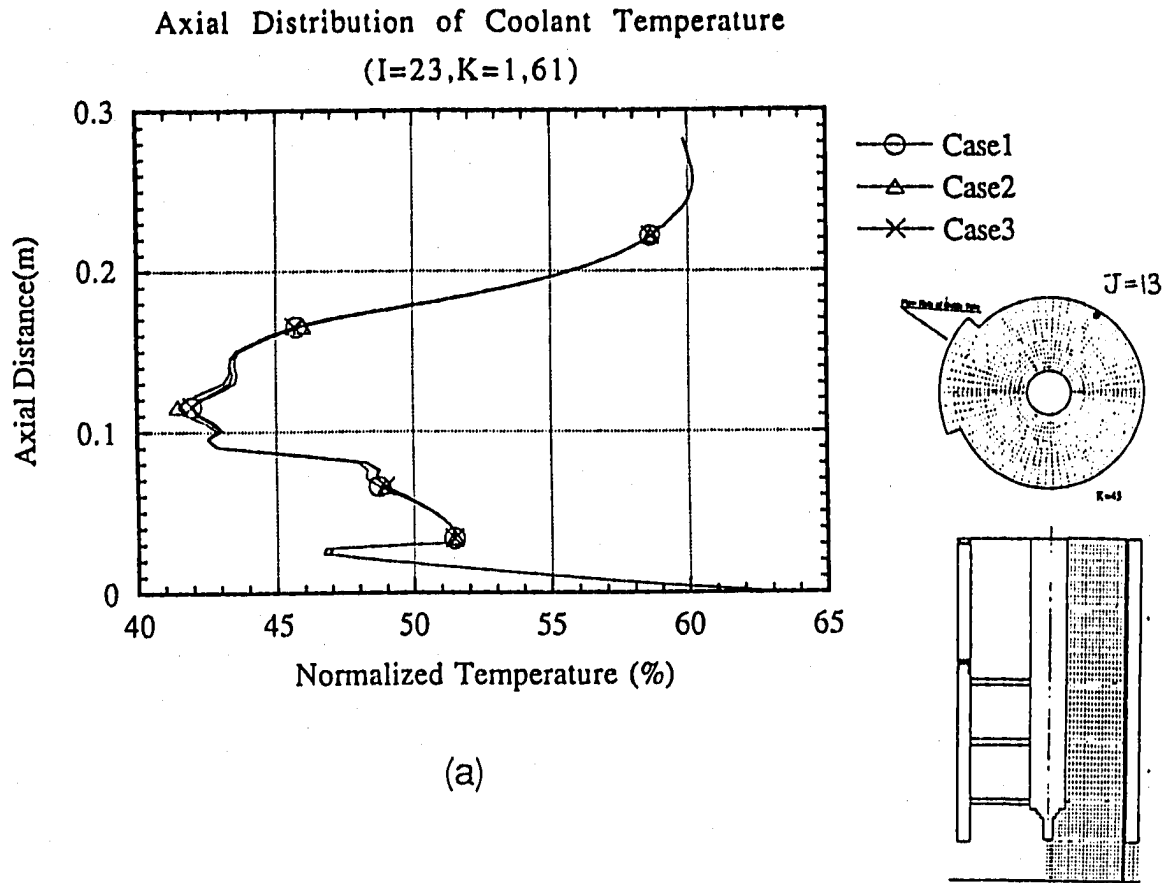


Fig.5.11 各ケースにおける計装プラグ内熱流動特性の比較  
(a) 平均温度、(b) 温度ゆらぎ強度

## 第6章 結 言

実プラントにおけるサーマルストライピング現象の解析を单相多次元熱流動解析コードAQUAを用いて実施した。この結果、AQUAコードによる温度ゆらぎ強度の値は、試験結果を大きめに評価することが明らかとなった。このような差異を発生させる要因として、

- (1) 整流格子周辺に生じるクロスフローによる外乱効果
- (2) 入口境界条件であるハンドリングヘッド部での半径方向温度分布の妥当性

が考えられ、今後早急に定量化作業を実施する予定である。

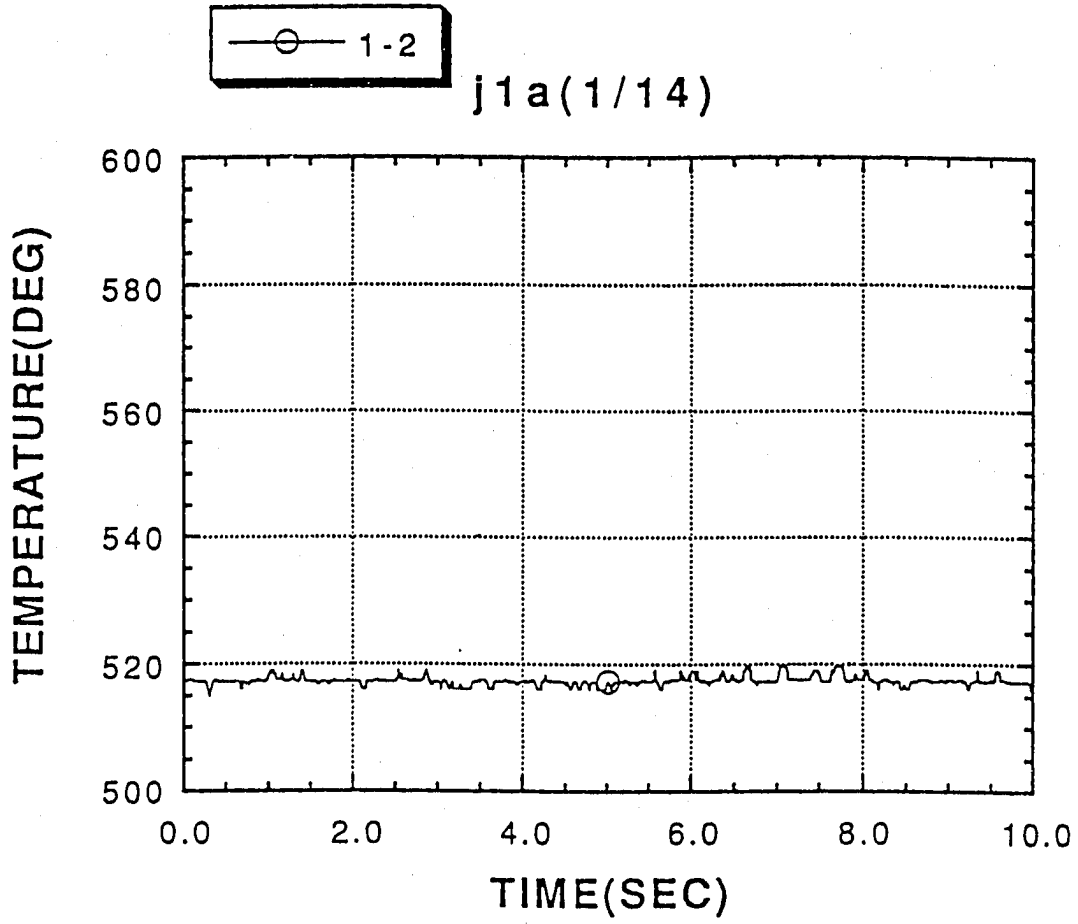
参考文献

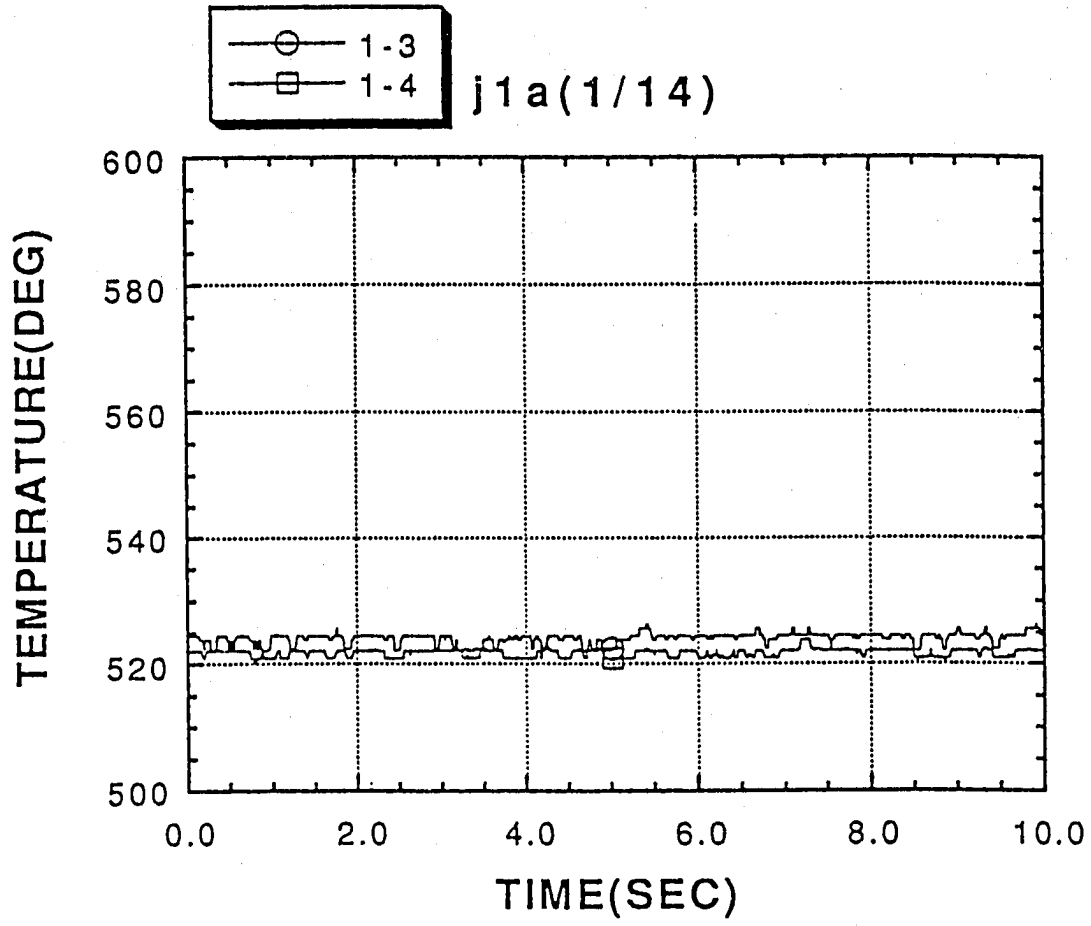
- 1) 村松、二ノ方、冷却材温度ゆらぎ現象の解析的評価手法の開発(I)、温度ゆらぎ強度評価手法の開発、PNC 資料、N9410 90-029, 1990 年 4 月
- 2) 村松、二ノ方、冷却材温度ゆらぎ現象の解析的評価手法の開発(II)、温度ゆらぎ強度評価手法の検証と実機体系予備解析、PNC 資料、N9410 91-119, 1991 年 3 月
- 3) 対「常陽」打合せ資料、平成 5 年 6 月
- 4) 村松、田村他、「常陽」渦電流式温度流速計の炉内特性試験 (II)、PNC 資料、N941 82-176, 1982 年 8 月
- 5) 前川、村松他、単相多次元熱流動解析コード AQUA、数値計算説明書、PNC 資料、N9520 87-012, 1987 年 5 月
- 6) 村松、二ノ方、原子炉容器内冷却材の温度成層化の評価 (第 4 報)、応力代数式乱流モデルの検討、PNC 資料、N9410 89-132, 1989 年 9 月
- 7) 村松、計算力学と CAE シリーズ、4. ファジィ推論、第 3 章 熱流動解析コードの運用効率化、培風館、1991 年
- 8) 金城他、「常陽」制御棒移設炉心の炉心特性計算、PNC 資料、SJ9214 90-001, 1990 年 3 月

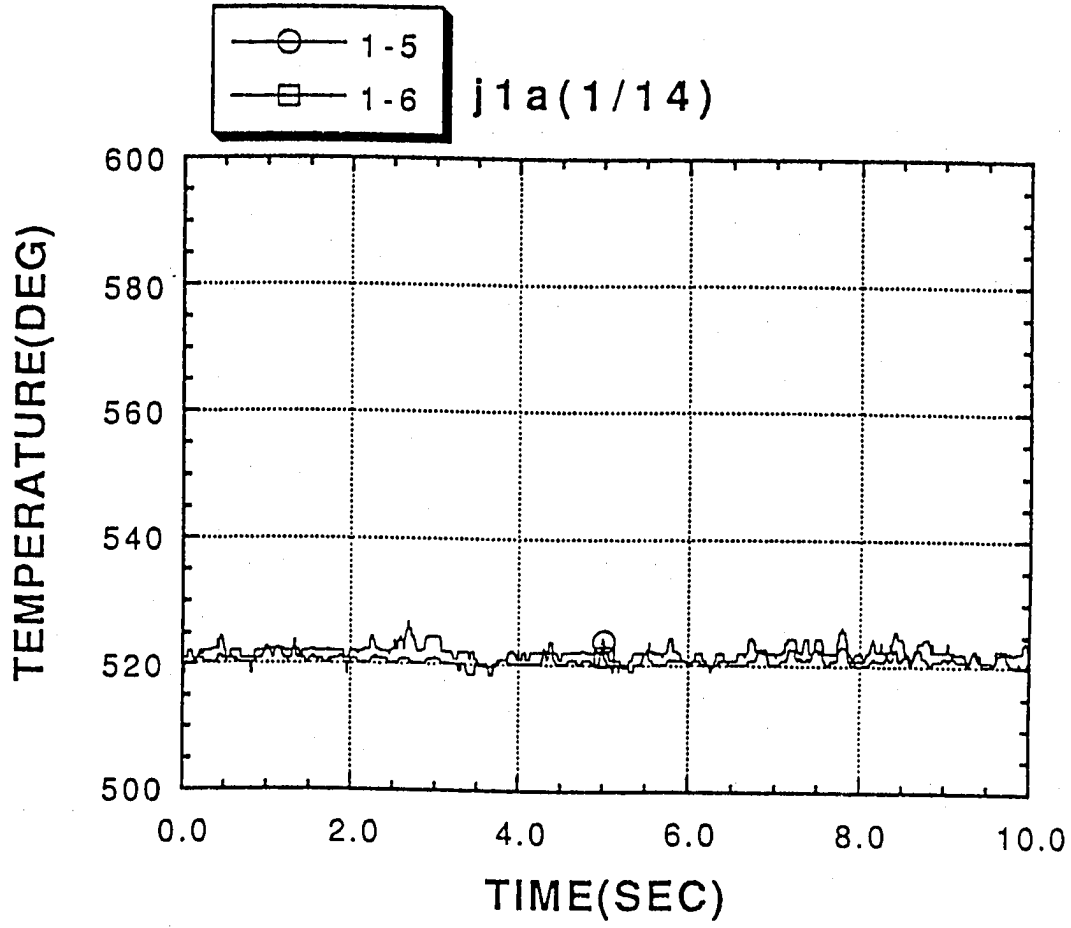


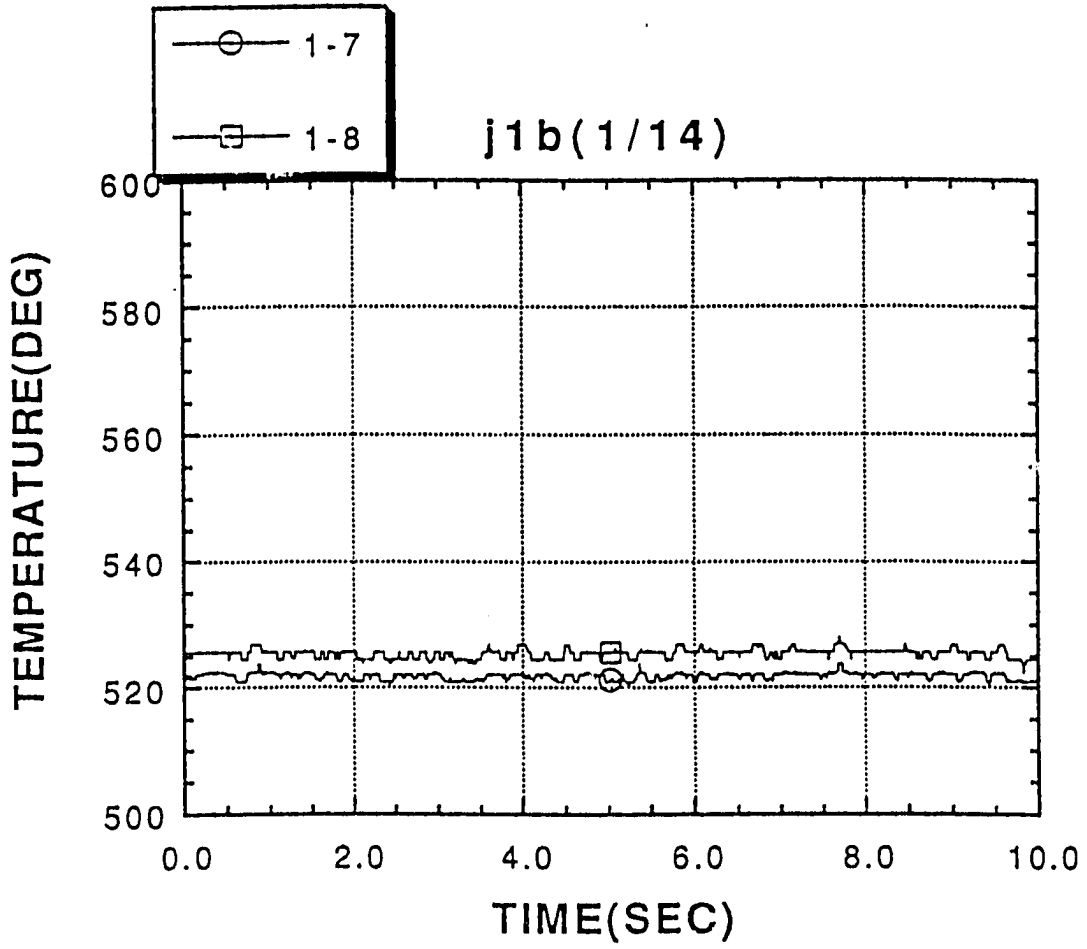
## A p p n d i x

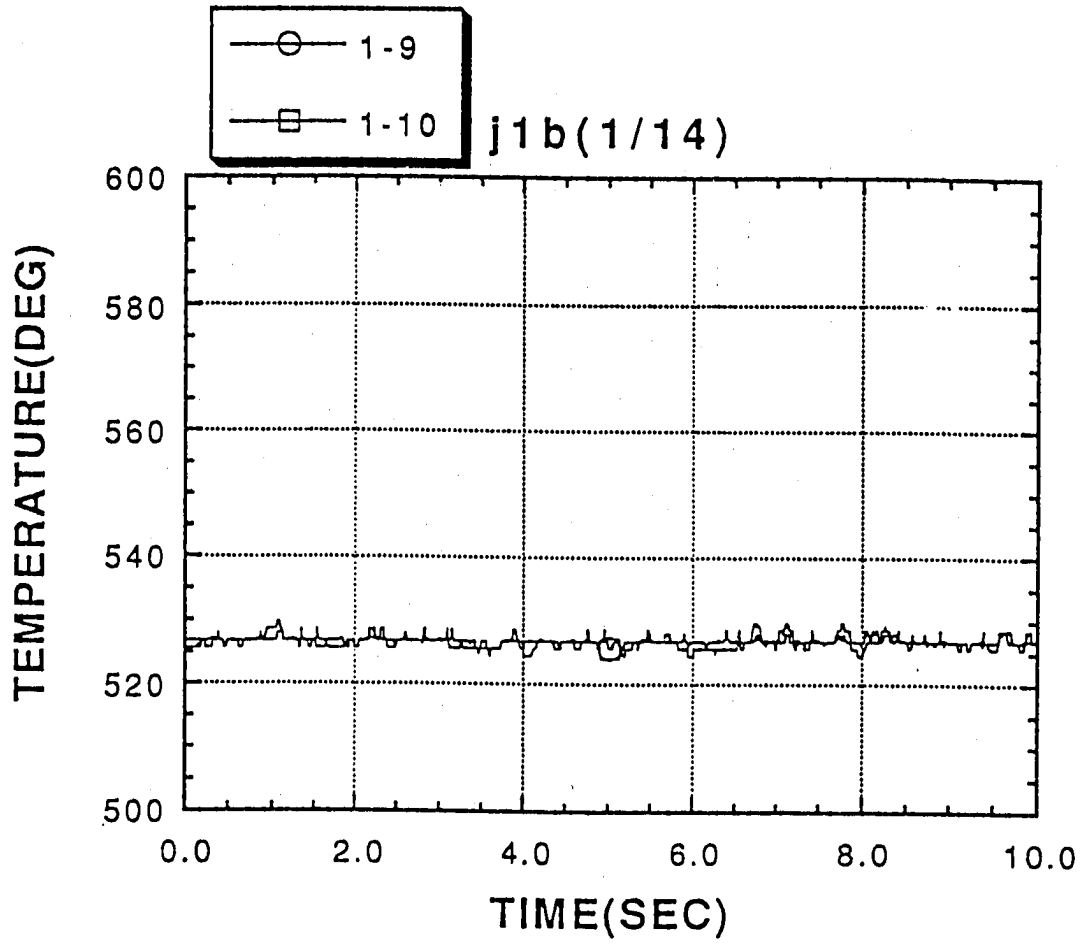
- A. 温度ゆらぎグラフ（東芝による統計処理結果）
- B. 本解析で用いた入力データ

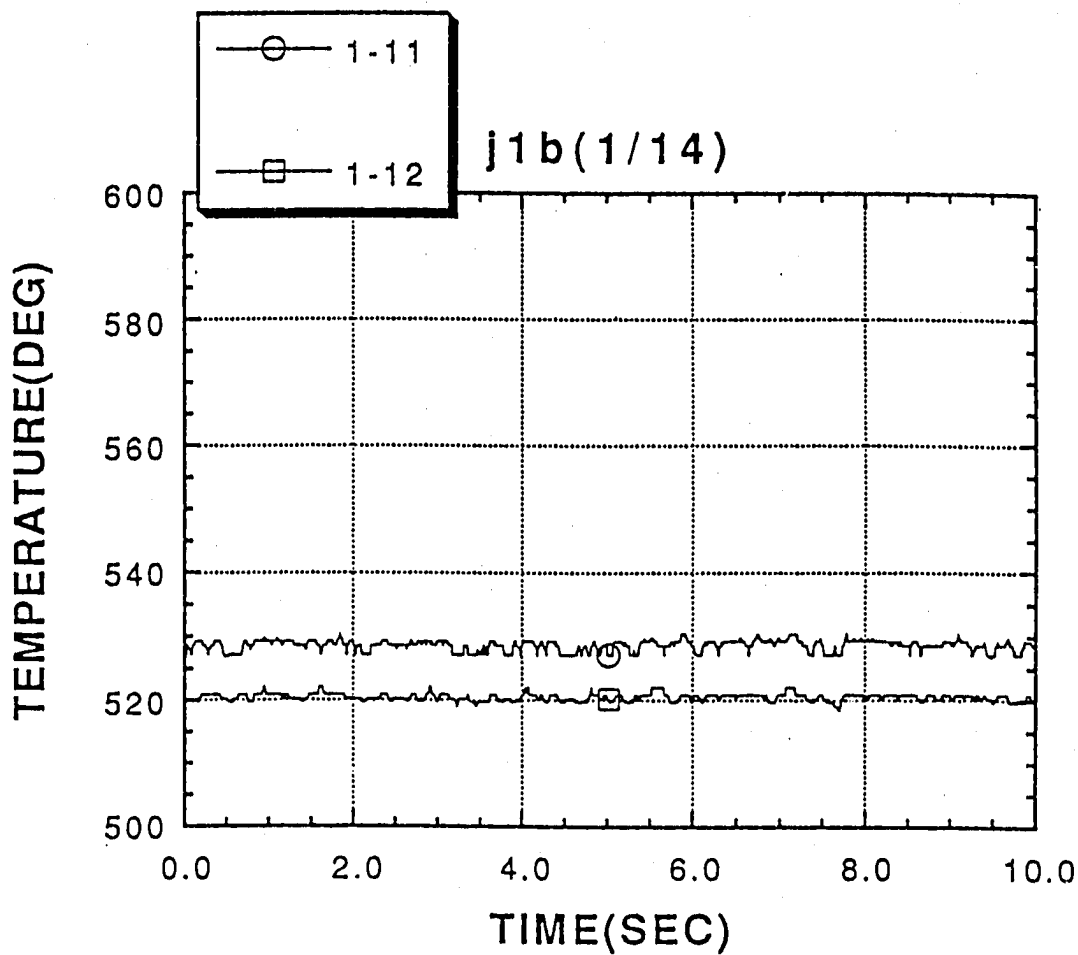


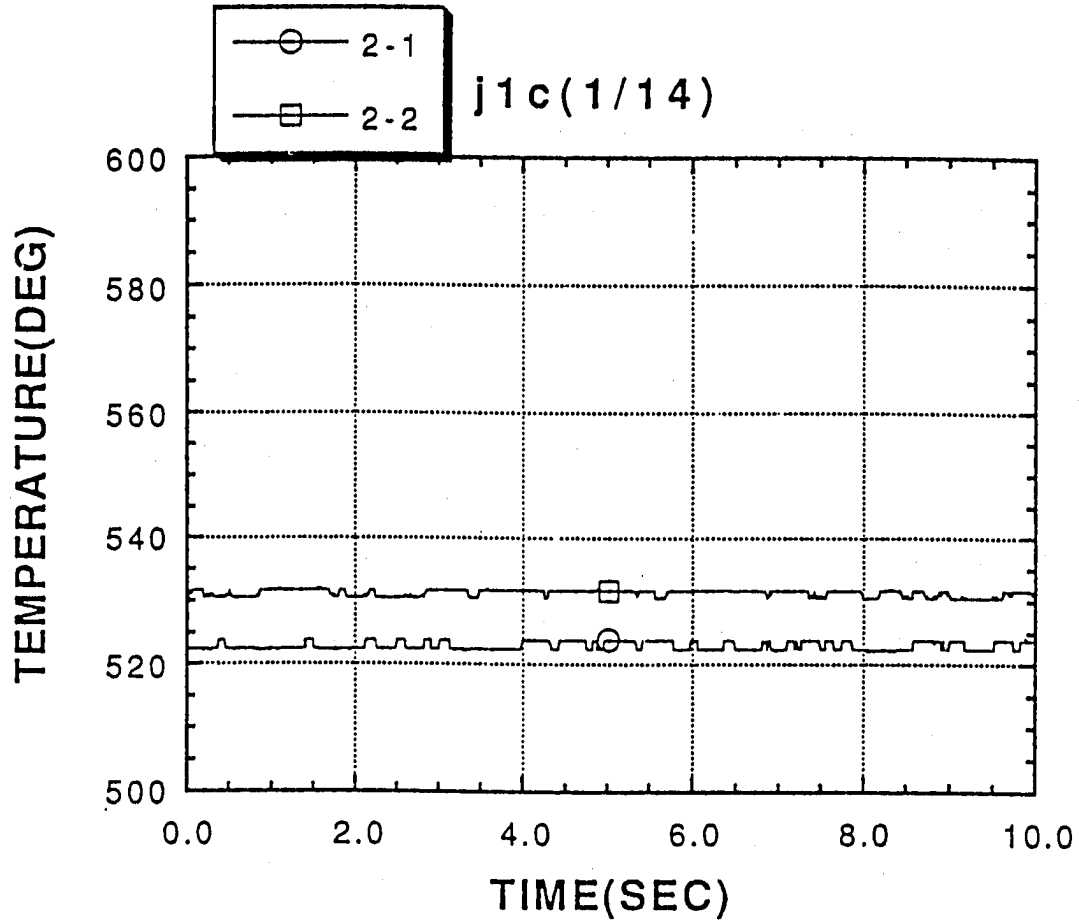




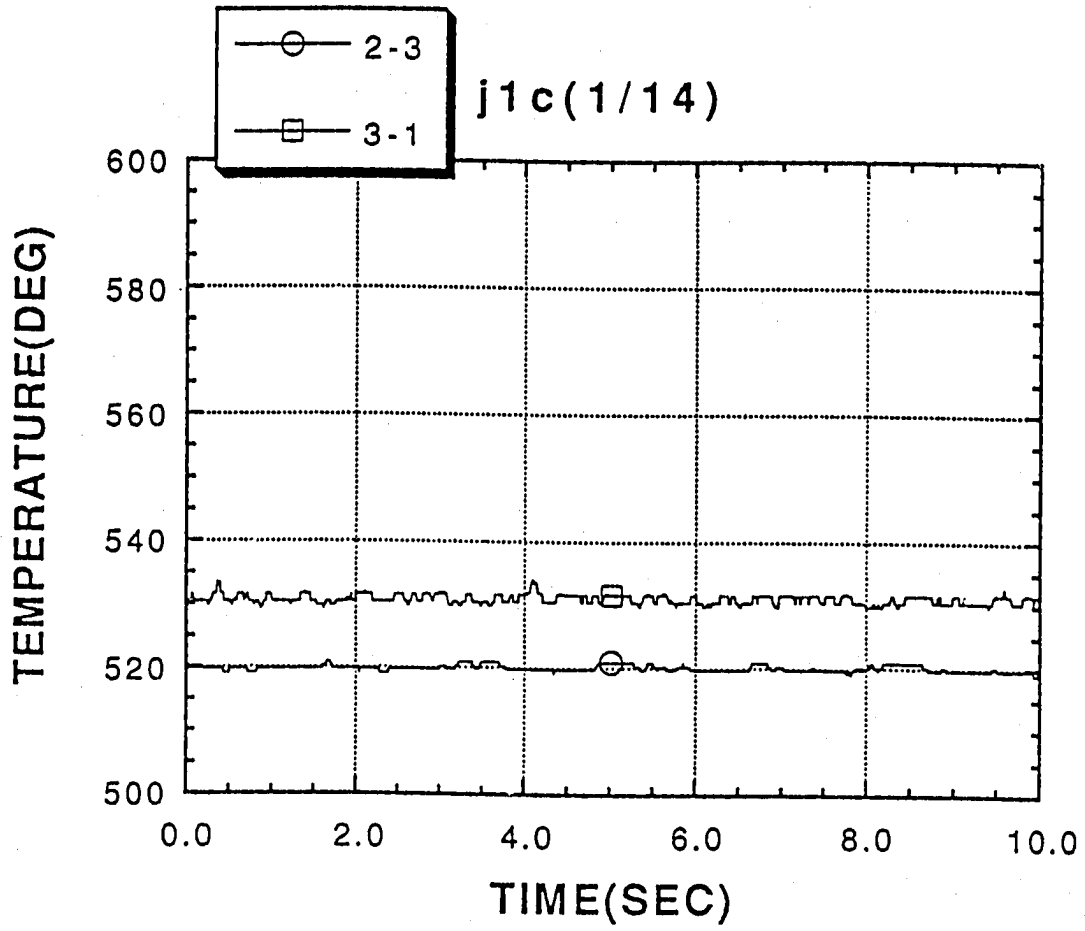


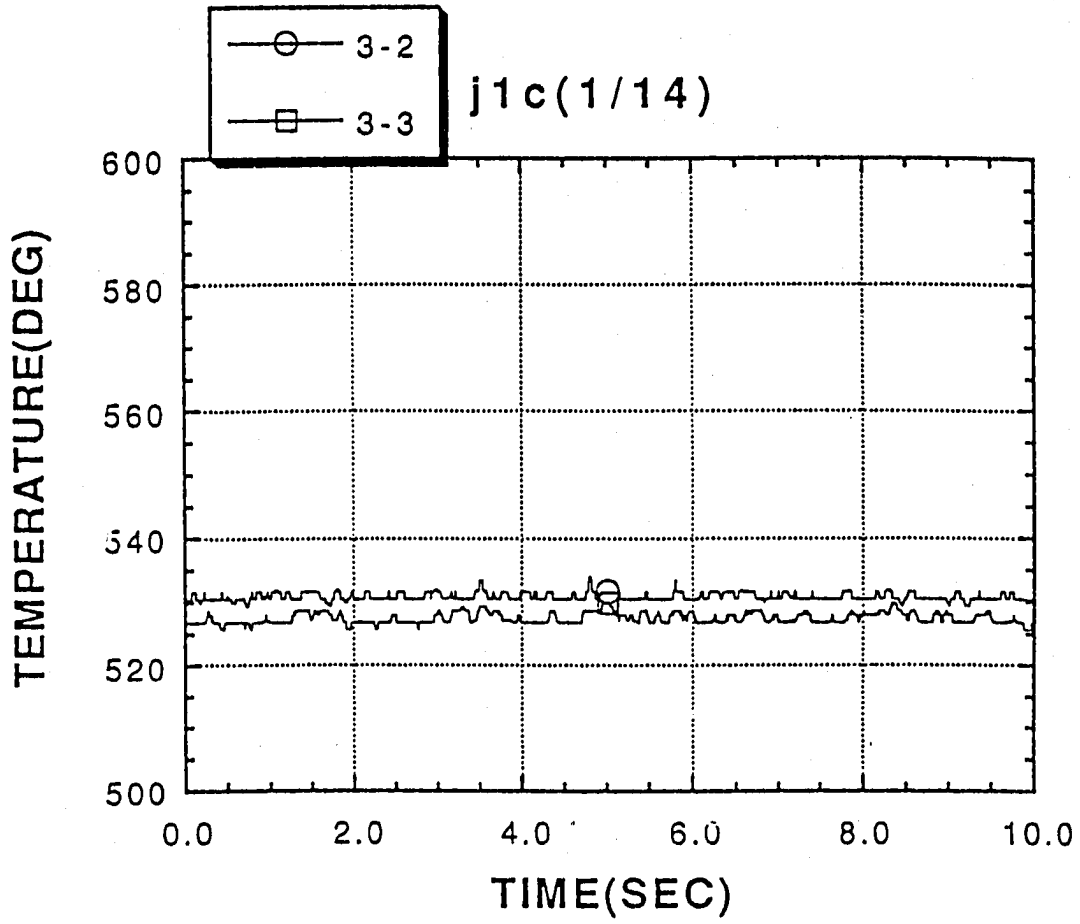


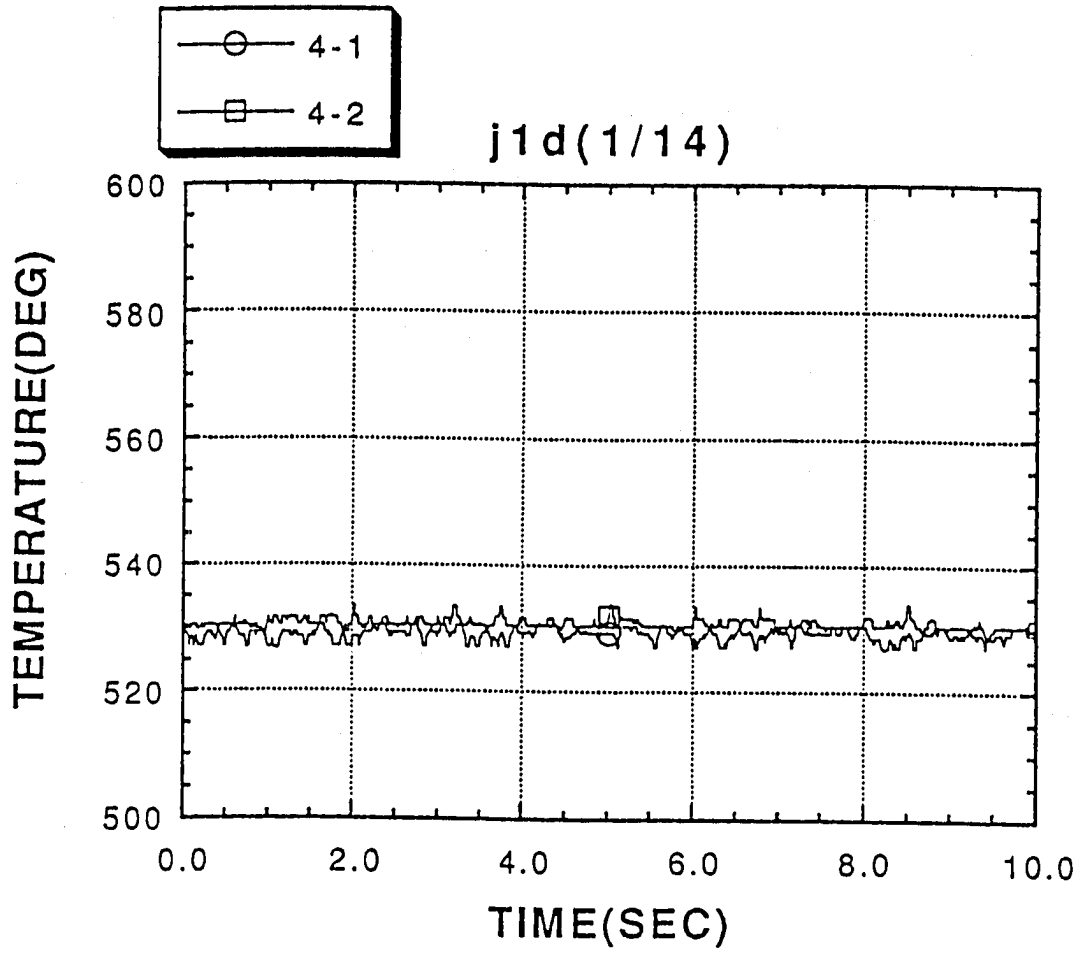


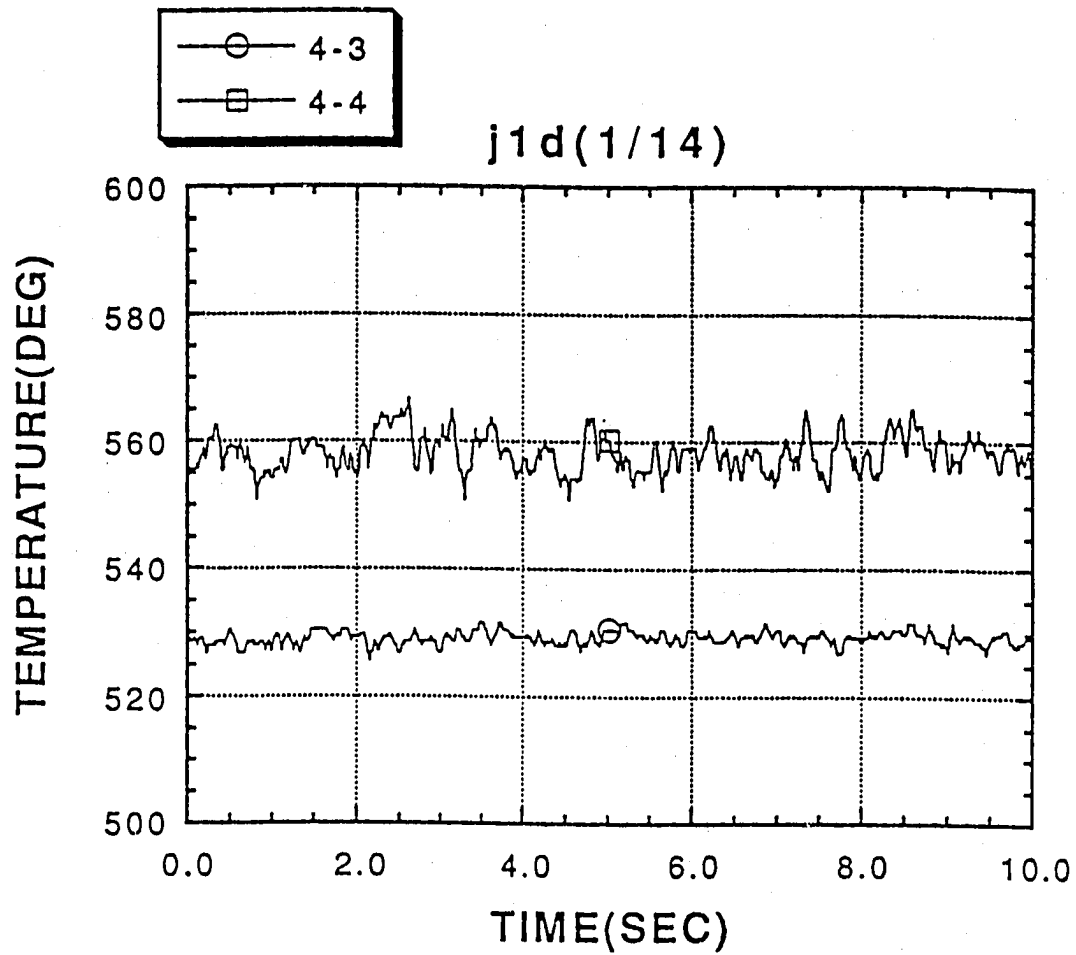


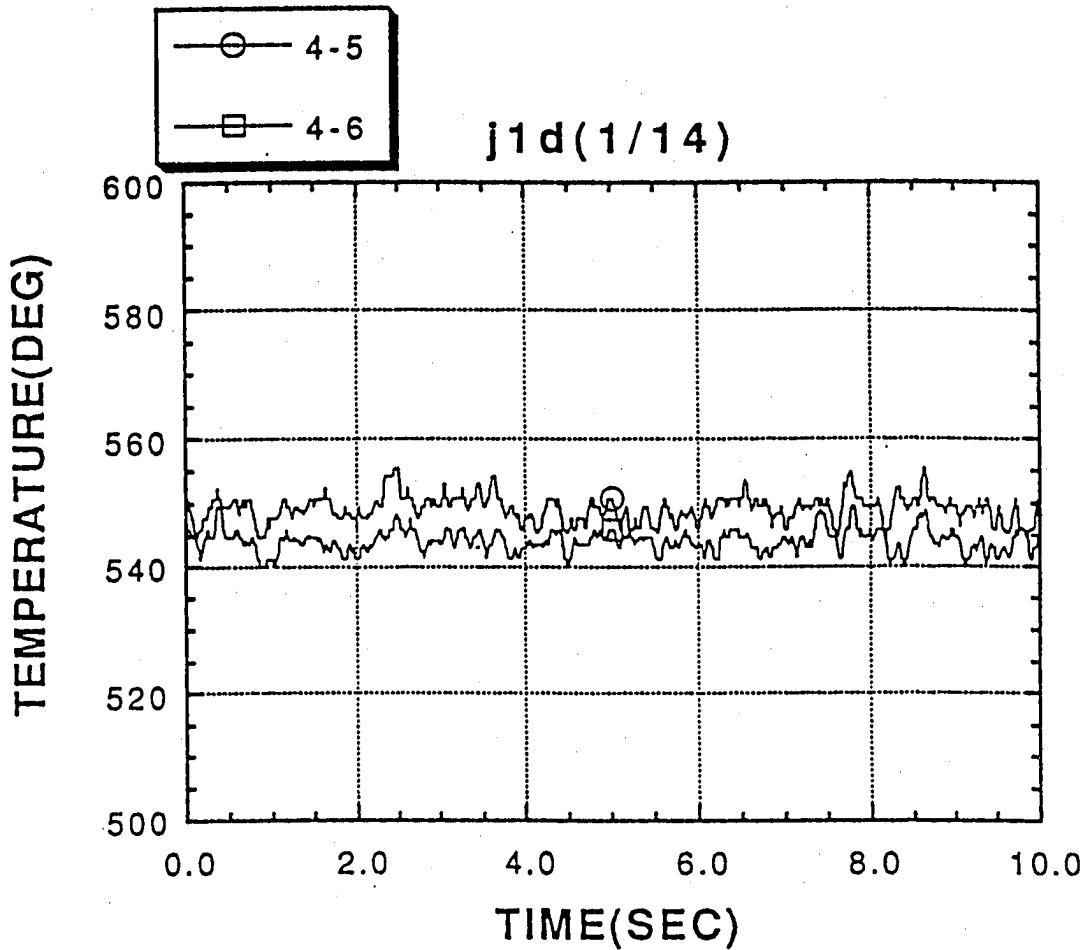


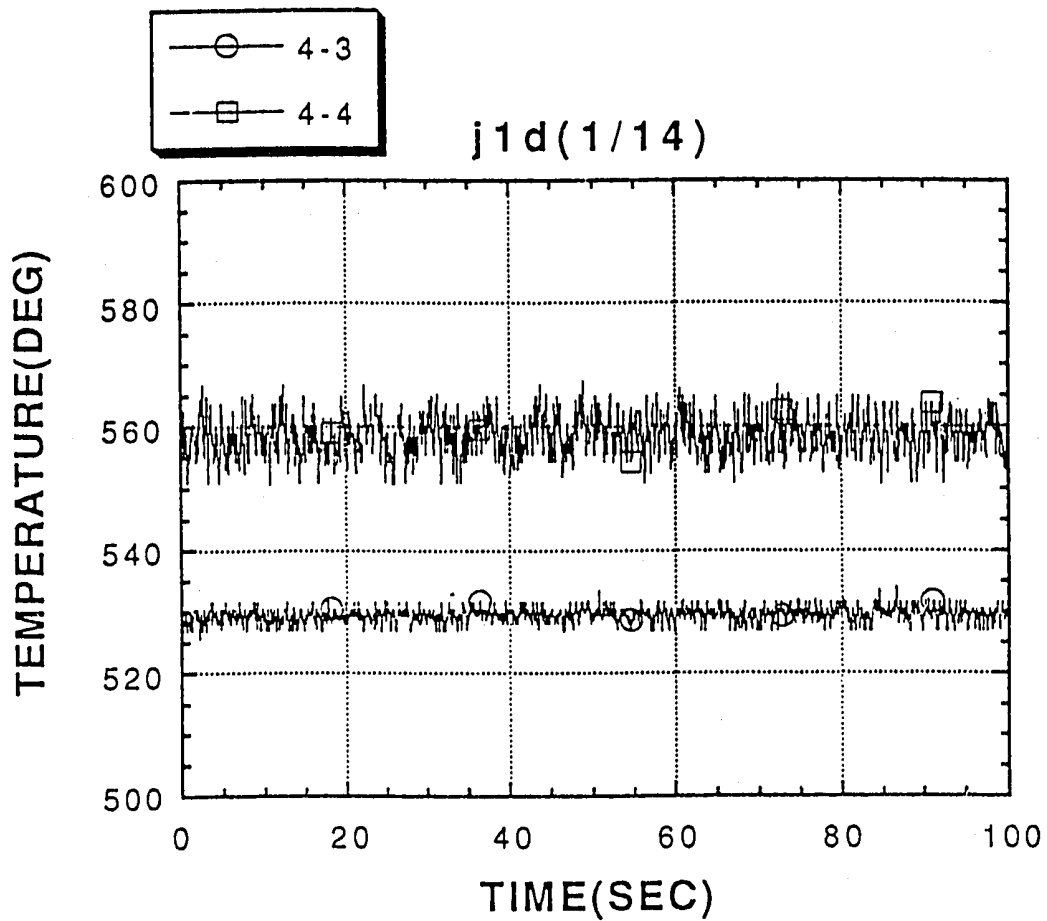












100secデータ

```

*****
*
*   --- THERMAL STRIPING ANALYSIS FOR JOYO IN-PILE EX. ---
*   ( 26 CYCLE EXPERIMENT )
*   --- FULL SIZE MODEL ANALYSIS ---
*
*   . CHANGED TEMPERATURE AND VELOCITY PROFILE
*
*           REVISED BY E.HATSUNOTO   1993.10.20
*
*           D.S.HANE   POG10B2.AQUA.RSH.LOAD
*   COPIED FROM :POG1JA1.AQUA.DATA(JYO#01)
*
*****

```

```

&GEOM  IGEON=-1,NL1=30000,NM1=131000,ISYNCH=3,IFITEN=3,
        IFRES=1, IMAI=38, JMAX=78, KMAX= 61, MSURF=88,
        DX=2*0.00225, 4*0.002625, 5*0.00303, 7*0.002857,
        5*0.00300, 3*0.003330, 5*0.00300, 5*0.004000,
        2*0.00500,
        DY= 0.04363323, 11*0.08726646, 2*0.04363323,
        11*0.08726646, 2*0.04363323, 11*0.08726646,
        0.04363323, 0.04363323, 11*0.08726646,
        2*0.04363323, 11*0.08726646, 2*0.04363323,
        11*0.08726646, 0.04363323,
        DZ=10*0.00330, 0.002000, 6*0.003000, 3*0.003500,
        22*0.00498, 2*0.0050, 16*0.006000, 0.006120,
        XNORHL= 45*0., 0., 1., 2*-1., 0., 0., 1., 33*0., -1., 0., -1.,
        YNORHL= 45*0., 1., 0., 2* 0., 1., -1., 0., 33*0., 0., 0., 0.,
        ZNORHL= 45*1., -1., 0., 2* 0., 0., 0., 0., 33*1., 0., -1., 0.,
        ITURKE= 40,IFPC=0,

```

```

&END
REG -1.      34 34 4 4 1 1 1 2F1-1,+2.
REG -1.      35 35 5 5 1 1 1 1
REG -1.      36 36 6 6 1 1 1 1
REG -1.      33 33 4 4 1 1 2 2F1-2,+2
REG -1.      34 34 5 5 1 1 2
REG -1.      35 35 6 6 1 1 2
REG -1.      36 36 7 7 1 1 2
REG -1.      32 32 3 4 1 1 3 2F1-3,+2
REG -1.      33 33 5 5 1 1 3
REG -1.      34 34 6 6 1 1 3
REG -1.      35 35 7 7 1 1 3
REG -1.      36 36 8 8 1 1 3
REG -1.      31 31 3 4 1 1 4 2F1-4,+2
REG -1.      32 32 5 5 1 1 4
REG -1.      33 33 6 6 1 1 4
REG -1.      34 34 7 7 1 1 4
REG -1.      35 35 8 8 1 1 4
REG -1.      30 30 3 4 1 1 5 2F1-5,+2
REG -1.      31 31 5 5 1 1 5
REG -1.      32 32 6 6 1 1 5
REG -1.      33 33 7 7 1 1 5
REG -1.      34 34 8 8 1 1 5
REG -1.      35 35 9 9 1 1 5
REG -1.      29 29 3 4 1 1 6 2F1-6,+2
REG -1.      30 30 5 5 1 1 6
REG -1.      31 31 6 6 1 1 6
REG -1.      32 32 7 7 1 1 6
REG -1.      33 33 8 8 1 1 6
REG -1.      34 34 9 9 1 1 6
REG -1.      28 28 3 4 1 1 7 2F1-7,+2
REG -1.      29 29 5 5 1 1 7
REG -1.      30 30 6 6 1 1 7
REG -1.      31 31 7 7 1 1 7
REG -1.      32 32 8 8 1 1 7
REG -1.      33 33 9 9 1 1 7
REG -1.      25 27 3 3 1 1 8 2F1-8,+2
REG -1.      26 27 4 4 1 1 8
REG -1.      26 28 5 5 1 1 8
REG -1.      27 29 6 6 1 1 8
REG -1.      28 30 7 7 1 1 8
REG -1.      30 31 8 8 1 1 8
REG -1.      32 32 9 9 1 1 8
REG -1.      33 34 10 10 1 1 8
REG -1.      24 24 3 4 1 1 9 2F1-9,+2
REG -1.      25 25 4 5 1 1 9
REG -1.      26 26 6 6 1 1 9
REG -1.      27 27 7 7 1 1 9
REG -1.      28 29 8 8 1 1 9
REG -1.      30 31 9 9 1 1 9
REG -1.      32 32 10 10 1 1 9
REG -1.      22 23 3 3 1 1 10 2F1-10,+2
REG -1.      23 23 4 5 1 1 10
REG -1.      24 24 5 6 1 1 10

```

REG -1.	25	25	6	7	1	1	10	
REG -1.	26	26	7	8	1	1	10	
REG -1.	27	27	8	8	1	1	10	
REG -1.	28	29	9	9	1	1	10	
REG -1.	30	31	10	10	1	1	10	
REG -1.	32	32	11	11	1	1	10	
REG -1.	21	22	4	5	1	1	11	2F1-11,+2
REG -1.	22	23	6	6	1	1	11	
REG -1.	23	24	7	7	1	1	11	
REG -1.	24	25	8	8	1	1	11	
REG -1.	26	27	9	9	1	1	11	
REG -1.	27	29	10	10	1	1	11	
REG -1.	30	31	11	11	1	1	11	
REG -1.	20	20	4	6	1	1	12	2F1-12,+2
REG -1.	21	21	6	7	1	1	12	
REG -1.	22	22	7	8	1	1	12	
REG -1.	23	23	8	8	1	1	12	
REG -1.	24	25	9	9	1	1	12	
REG -1.	25	26	10	10	1	1	12	
REG -1.	27	29	11	11	1	1	12	
REG -1.	19	19	5	7	1	1	13	2F1-13,+2
REG -1.	20	20	7	8	1	1	13	
REG -1.	21	21	8	9	1	1	13	
REG -1.	22	23	9	9	1	1	13	
REG -1.	23	24	10	10	1	1	13	
REG -1.	24	26	11	11	1	1	13	
REG -1.	19	19	8	9	1	1	14	2F1-14,+2
REG -1.	20	20	9	10	1	1	14	
REG -1.	21	22	10	10	1	1	14	
REG -1.	22	23	11	11	1	1	14	
REG -1.	29	32	16	16	1	1	15	3F1-1,+2
REG -1.	22	28	16	16	1	1	16	3F1-2,+2
REG -1.	26	34	17	17	1	1	16	
REG -1.	20	25	17	17	1	1	17	3F1-3,+2
REG -1.	24	35	18	18	1	1	17	
REG -1.	19	23	18	18	1	1	18	3F1-4,+2
REG -1.	19	36	19	19	1	1	18	
REG -1.	19	36	20	20	1	1	19	3F1-5,+2
REG -1.	19	36	21	21	1	1	20	3F1-5,+2
REG -1.	19	23	22	22	1	1	20	
REG -1.	24	35	22	22	1	1	21	3F1-7,+2
REG -1.	20	27	23	23	1	1	21	
REG -1.	28	34	23	23	1	1	22	3F1-8,+2
REG -1.	22	28	24	24	1	1	22	
REG -1.	29	32	24	24	1	1	23	3F1-9,+2
REG -1.	22	23	29	29	1	1	24	4E4-1,+2
REG -1.	20	21	30	30	1	1	24	
REG -1.	19	20	31	31	1	1	24	
REG -1.	24	25	29	29	1	1	25	4E4-2,+2
REG -1.	22	23	30	30	1	1	25	
REG -1.	21	21	31	31	1	1	25	
REG -1.	19	20	32	32	1	1	25	
REG -1.	19	19	33	33	1	1	25	
REG -1.	26	27	29	29	1	1	26	4E4-3,+2
REG -1.	24	25	30	30	1	1	26	
REG -1.	22	23	31	31	1	1	26	
REG -1.	21	22	32	32	1	1	26	
REG -1.	20	21	33	33	1	1	26	
REG -1.	19	20	34	34	1	1	26	
REG -1.	19	19	35	35	1	1	26	
REG -1.	28	30	29	29	1	1	27	4E4-4,+2
REG -1.	26	27	30	30	1	1	27	
REG -1.	24	25	31	31	1	1	27	
REG -1.	23	24	32	32	1	1	27	
REG -1.	22	23	33	33	1	1	27	
REG -1.	21	22	34	34	1	1	27	
REG -1.	20	21	35	36	1	1	27	
REG -1.	31	32	29	29	1	1	28	4E4-5,+2
REG -1.	28	30	30	30	1	1	28	
REG -1.	26	28	31	31	1	1	28	
REG -1.	25	26	32	32	1	1	28	
REG -1.	24	25	33	33	1	1	28	
REG -1.	23	24	34	34	1	1	28	
REG -1.	22	23	35	35	1	1	28	
REG -1.	22	22	36	37	1	1	28	
REG -1.	31	32	30	30	1	1	29	4E4-6,+2
REG -1.	29	30	31	31	1	1	29	
REG -1.	27	28	32	32	1	1	29	
REG -1.	26	27	33	33	1	1	29	
REG -1.	25	26	34	34	1	1	29	
REG -1.	24	25	35	35	1	1	29	
REG -1.	23	24	36	37	1	1	29	
REG -1.	33	34	30	30	1	1	30	4E4-7,+2
REG -1.	31	33	31	31	1	1	30	



REG -1.	29	32	32	32	1	1	30	
REG -1.	28	30	33	33	1	1	30	
REG -1.	27	29	34	34	1	1	30	
REG -1.	26	28	35	35	1	1	30	
REG -1.	25	27	36	36	1	1	30	
REG -1.	25	26	37	37	1	1	30	
REG -1.	34	35	31	31	1	1	31	4E4-8,+2
REG -1.	33	34	32	32	1	1	31	
REG -1.	31	33	33	33	1	1	31	
REG -1.	30	31	34	34	1	1	31	
REG -1.	29	30	35	35	1	1	31	
REG -1.	28	29	36	36	1	1	31	
REG -1.	27	29	37	37	1	1	31	
REG -1.	35	36	32	32	1	1	32	4E4-9,+2
REG -1.	34	35	33	33	1	1	32	
REG -1.	32	34	34	34	1	1	32	
REG -1.	31	33	35	35	1	1	32	
REG -1.	30	32	36	36	1	1	32	
REG -1.	30	31	37	37	1	1	32	
REG -1.	36	36	33	33	1	1	33	4E4-10,+2
REG -1.	35	36	34	34	1	1	33	
REG -1.	34	35	35	35	1	1	33	
REG -1.	33	34	36	36	1	1	33	
REG -1.	32	32	37	37	1	1	33	
REG -1.	1	1	1	78	1	1	34	3E3-1,+2
REG -1.	2	2	1	78	1	1	35	3E3-2,+2
REG -1.	3	3	1	78	1	1	36	3E3-3,+2
REG -1.	4	4	1	78	1	1	37	3E3-4,+2
REG -1.	5	5	1	78	1	1	38	3E3-5,+2
REG -1.	6	6	1	78	1	1	39	3E3-6,+2
REG -1.	7	7	1	78	1	1	40	3E3-7,+2
REG -1.	8	8	1	78	1	1	41	3E3-8,+2
REG -1.	9	9	1	78	1	1	42	3E3-9,+2
REG -1.	10	10	1	78	1	1	43	3E3-10,+2
REG -1.	11	11	1	78	1	1	44	3E3-11,+2
REG -1.	12	18	1	78	1	1	45	BASE PLATE,+2
REG -1.	19	38	1	2	1	1	45	
REG -1.	19	38	40	41	1	1	45	
REG -1.	19	21	3	3	1	1	45	
REG -1.	19	21	42	42	1	1	45	
REG -1.	33	38	3	3	1	1	45	
REG -1.	33	38	42	42	1	1	45	
REG -1.	19	19	4	4	1	1	45	
REG -1.	19	19	43	43	1	1	45	
REG -1.	35	38	4	4	1	1	45	
REG -1.	35	38	43	43	1	1	45	
REG -1.	36	38	5	5	1	1	45	
REG -1.	36	38	44	44	1	1	45	
REG -1.	37	38	6	8	1	1	45	
REG -1.	37	38	45	47	1	1	45	
REG -1.	36	38	9	9	1	1	45	
REG -1.	36	38	48	48	1	1	45	
REG -1.	19	19	10	10	1	1	45	
REG -1.	19	19	49	49	1	1	45	
REG -1.	35	38	10	10	1	1	45	
REG -1.	35	38	49	49	1	1	45	
REG -1.	19	21	11	11	1	1	45	
REG -1.	19	21	50	50	1	1	45	
REG -1.	33	38	11	11	1	1	45	
REG -1.	33	38	50	50	1	1	45	
REG -1.	19	38	12	15	1	1	45	
REG -1.	19	38	51	54	1	1	45	
REG -1.	19	21	16	16	1	1	45	
REG -1.	19	21	55	55	1	1	45	
REG -1.	33	38	16	16	1	1	45	
REG -1.	33	38	55	55	1	1	45	
REG -1.	19	19	17	17	1	1	45	
REG -1.	19	19	56	56	1	1	45	
REG -1.	35	38	17	17	1	1	45	
REG -1.	35	38	56	56	1	1	45	
REG -1.	36	38	18	18	1	1	45	
REG -1.	36	38	57	57	1	1	45	
REG -1.	37	38	19	21	1	1	45	
REG -1.	37	38	58	60	1	1	45	
REG -1.	36	38	22	22	1	1	45	
REG -1.	36	38	61	61	1	1	45	
REG -1.	19	19	23	23	1	1	45	
REG -1.	19	19	62	62	1	1	45	
REG -1.	35	38	23	23	1	1	45	
REG -1.	35	38	62	62	1	1	45	
REG -1.	19	21	24	24	1	1	45	
REG -1.	19	21	63	63	1	1	45	
REG -1.	33	38	24	24	1	1	45	
REG -1.	33	38	63	63	1	1	45	

REG -1.	19	38	25	28	1	1	45	
REG -1.	19	38	64	67	1	1	45	
REG -1.	19	21	29	29	1	1	45	
REG -1.	19	21	68	68	1	1	45	
REG -1.	33	38	29	29	1	1	45	
REG -1.	33	38	68	68	1	1	45	
REG -1.	19	19	30	30	1	1	45	
REG -1.	19	19	69	69	1	1	45	
REG -1.	35	38	30	30	1	1	45	
REG -1.	35	38	69	69	1	1	45	
REG -1.	36	38	31	31	1	1	45	
REG -1.	36	38	70	70	1	1	45	
REG -1.	37	38	32	34	1	1	45	
REG -1.	37	38	71	73	1	1	45	
REG -1.	36	38	35	35	1	1	45	
REG -1.	36	38	74	74	1	1	45	
REG -1.	19	19	36	36	1	1	45	
REG -1.	19	19	75	75	1	1	45	
REG -1.	35	38	36	36	1	1	45	
REG -1.	35	38	75	75	1	1	45	
REG -1.	19	21	37	37	1	1	45	
REG -1.	19	21	76	76	1	1	45	
REG -1.	33	38	37	37	1	1	45	
REG -1.	33	38	76	76	1	1	45	
REG -1.	19	38	38	39	1	1	45	
REG -1.	19	38	77	78	1	1	45	
REG -1.	24	26	31	44	45	45	45	FLOW HOLE,+Z
REG -1.	1	2	1	78	11	11	46	WELL,-Z
REG -1.	3	3	1	78	17	17	46	
REG -1.	4	4	1	78	18	18	46	
REG -1.	5	6	1	78	19	19	46	
REG -1.	24	26	1	78	10	10	46	GUIDE TUBE,-Z
REG -1.	24	26	31	44	60	60	46	FLOW HOLE,-Z
REG -1.	7	23	1	78	61	61	46	THERMAL SHIELD,-Z
REG -1.	3	3	1	78	12	17	47	WELL,+X
REG -1.	4	4	1	78	18	18	47	
REG -1.	5	5	1	78	19	19	47	
REG -1.	7	7	1	78	20	61	47	
REG -1.	27	27	1	78	11	42	47	GUIDE TUBE,+X
REG -1.	33	33	1	1	11	42	47	FLOW GUIDE ,+X
REG -1.	34	34	2	2	11	42	47	
REG -1.	36	36	3	3	11	42	47	
REG -1.	36	36	11	11	11	42	47	
REG -1.	34	34	12	12	11	42	47	
REG -1.	33	33	13	14	11	42	47	
REG -1.	34	34	15	15	11	42	47	
REG -1.	36	36	16	16	11	42	47	
REG -1.	36	36	24	24	11	42	47	
REG -1.	34	34	25	25	11	42	47	
REG -1.	33	33	26	27	11	42	47	
REG -1.	34	34	28	28	11	42	47	
REG -1.	36	36	29	29	11	42	47	
REG -1.	36	36	37	37	11	42	47	
REG -1.	34	34	38	38	11	42	47	
REG -1.	33	33	39	39	11	42	47	
REG -1.	33	33	40	40	11	42	47	
REG -1.	34	34	41	41	11	42	47	
REG -1.	36	36	42	42	11	42	47	
REG -1.	36	36	50	50	11	42	47	
REG -1.	34	34	51	51	11	42	47	
REG -1.	33	33	52	53	11	42	47	
REG -1.	34	34	54	54	11	42	47	
REG -1.	36	36	55	55	11	42	47	
REG -1.	36	36	63	63	11	42	47	
REG -1.	34	34	64	64	11	42	47	
REG -1.	33	33	65	66	11	42	47	
REG -1.	34	34	67	67	11	42	47	
REG -1.	36	36	68	68	11	42	47	
REG -1.	36	36	76	76	11	42	47	
REG -1.	34	34	77	77	11	42	47	
REG -1.	33	33	78	78	11	42	47	
REG -1.	23	23	1	30	11	61	48	GUIDE TUBE,-X
REG -1.	23	23	31	44	11	44	48	
REG -1.	23	23	31	44	61	61	48	
REG -1.	23	23	45	78	11	61	48	
REG -1.	32	32	1	1	11	42	48	FLOW GUIDE,-X
REG -1.	33	33	2	2	11	42	48	
REG -1.	35	35	3	3	11	42	48	
REG -1.	38	38	4	10	11	42	48	
REG -1.	35	35	11	11	11	42	48	
REG -1.	33	33	12	12	11	42	48	
REG -1.	32	32	13	14	11	42	48	
REG -1.	33	33	15	15	11	42	48	
REG -1.	35	35	16	16	11	42	48	

REG -1.	38	38	17	23	11	42	48	
REG -1.	35	35	24	24	11	42	48	
REG -1.	33	33	25	25	11	42	48	
REG -1.	32	32	26	27	11	42	48	
REG -1.	33	33	28	28	11	42	48	
REG -1.	35	35	29	29	11	42	48	
REG -1.	38	38	30	36	11	42	48	
REG -1.	35	35	37	37	11	42	48	
REG -1.	33	33	38	38	11	42	48	
REG -1.	32	32	39	39	11	42	48	
REG -1.	32	32	40	40	11	42	48	
REG -1.	33	33	41	41	11	42	48	
REG -1.	35	35	42	42	11	42	48	
REG -1.	38	38	43	49	11	42	48	
REG -1.	35	35	50	50	11	42	48	
REG -1.	33	33	51	51	11	42	48	
REG -1.	32	32	52	53	11	42	48	
REG -1.	33	33	54	54	11	42	48	
REG -1.	35	35	55	55	11	42	48	
REG -1.	38	38	56	62	11	42	48	
REG -1.	35	35	63	63	11	42	48	
REG -1.	33	33	64	64	11	42	48	
REG -1.	32	32	65	66	11	42	48	
REG -1.	33	33	67	67	11	42	48	
REG -1.	35	35	68	68	11	42	48	
REG -1.	38	38	69	75	11	42	48	
REG -1.	35	35	76	76	11	42	48	
REG -1.	33	33	77	77	11	42	48	
REG -1.	32	32	78	78	11	42	48	
REG -1.	38	38	1	3	11	42	49	OUTLET,-X
REG -1.	35	38	11	16	11	42	49	
REG -1.	38	38	24	29	11	42	49	
REG -1.	38	38	37	39	11	42	49	
REG -1.	38	38	40	42	11	42	49	
REG -1.	38	38	50	55	11	42	49	
REG -1.	38	38	63	68	11	42	49	
REG -1.	38	38	76	78	11	42	49	
REG -1.	24	26	31	31	45	60	50	GUIDE TUBE,+Y
REG -1.	33	33	2	2	11	42	50	FLOW GUIDE,+Y
REG -1.	34	35	3	3	11	42	50	
REG -1.	36	38	4	4	11	42	50	
REG -1.	36	38	11	11	11	42	50	
REG -1.	34	35	12	12	11	42	50	
REG -1.	33	33	13	13	11	42	50	
REG -1.	33	33	15	15	11	42	50	
REG -1.	34	35	16	16	11	42	50	
REG -1.	36	38	17	17	11	42	50	
REG -1.	36	38	24	24	11	42	50	
REG -1.	34	35	25	25	11	42	50	
REG -1.	33	33	26	26	11	42	50	
REG -1.	33	33	28	28	11	42	50	
REG -1.	34	35	29	29	11	42	50	
REG -1.	36	38	30	30	11	42	50	
REG -1.	36	38	37	37	11	42	50	
REG -1.	34	35	38	38	11	42	50	
REG -1.	33	33	39	39	11	42	50	
REG -1.	33	33	41	41	11	42	50	
REG -1.	34	35	42	42	11	42	50	
REG -1.	36	38	43	43	11	42	50	
REG -1.	36	38	50	50	11	42	50	
REG -1.	34	35	51	51	11	42	50	
REG -1.	33	33	52	52	11	42	50	
REG -1.	33	33	54	54	11	42	50	
REG -1.	34	35	55	55	11	42	50	
REG -1.	36	38	56	56	11	42	50	
REG -1.	36	38	63	63	11	42	50	
REG -1.	34	35	64	64	11	42	50	
REG -1.	33	33	65	65	11	42	50	
REG -1.	33	33	67	67	11	42	50	
REG -1.	34	35	68	68	11	42	50	
REG -1.	36	38	69	69	11	42	50	
REG -1.	36	38	76	76	11	42	50	
REG -1.	34	35	77	77	11	42	50	
REG -1.	33	33	78	78	11	42	50	
REG -1.	27	32	1	1	11	42	50	F/G JOINT,+Y
REG -1.	27	32	14	14	11	42	50	
REG -1.	27	32	27	27	11	42	50	
REG -1.	27	32	40	40	11	42	50	
REG -1.	27	32	53	53	11	42	50	
REG -1.	27	32	66	66	11	42	50	
REG -1.	24	26	44	44	45	60	51	GUIDE TUBE,-Y
REG -1.	33	33	1	1	11	42	51	FLOW GUIDE,-Y
REG -1.	34	35	2	2	11	42	51	
REG -1.	36	38	3	3	11	42	51	

REG -1.	36	38	10	10	11	42	51	
REG -1.	34	35	11	11	11	42	51	
REG -1.	33	33	12	12	11	42	51	
REG -1.	33	33	14	14	11	42	51	
REG -1.	34	35	15	15	11	42	51	
REG -1.	36	38	16	16	11	42	51	
REG -1.	36	38	23	23	11	42	51	
REG -1.	34	35	24	24	11	42	51	
REG -1.	33	33	25	25	11	42	51	
REG -1.	33	33	27	27	11	42	51	
REG -1.	34	35	28	28	11	42	51	
REG -1.	36	38	29	29	11	42	51	
REG -1.	36	38	36	36	11	42	51	
REG -1.	34	35	37	37	11	42	51	
REG -1.	33	33	38	38	11	42	51	
REG -1.	33	33	40	40	11	42	51	
REG -1.	34	35	41	41	11	42	51	
REG -1.	36	38	42	42	11	42	51	
REG -1.	36	38	49	49	11	42	51	
REG -1.	34	35	50	50	11	42	51	
REG -1.	33	33	51	51	11	42	51	
REG -1.	33	33	53	53	11	42	51	
REG -1.	34	35	54	54	11	42	51	
REG -1.	36	38	55	55	11	42	51	
REG -1.	36	38	62	62	11	42	51	
REG -1.	34	35	63	63	11	42	51	
REG -1.	33	33	64	64	11	42	51	
REG -1.	33	33	66	66	11	42	51	
REG -1.	34	35	67	67	11	42	51	
REG -1.	36	38	68	68	11	42	51	
REG -1.	36	38	75	75	11	42	51	
REG -1.	34	35	76	76	11	42	51	
REG -1.	33	33	77	77	11	42	51	
REG -1.	27	32	13	13	11	42	51	F/G JOINT,*Y
REG -1.	27	32	26	26	11	42	51	
REG -1.	27	32	39	39	11	42	51	
REG -1.	27	32	52	52	11	42	51	
REG -1.	27	32	65	65	11	42	51	
REG -1.	27	32	78	78	11	42	51	
REG -1.	1	1	1	72	1	11	52	CENTER LINE
REG -1.	32	32	42	42	1	1	53	4E3-1 ,+2
REG -1.	33	34	43	43	1	1	53	
REG -1.	34	35	44	44	1	1	53	
REG -1.	35	36	45	45	1	1	53	
REG -1.	36	36	46	46	1	1	53	
REG -1.	30	31	42	42	1	1	54	4E3-2 ,+2
REG -1.	30	32	43	43	1	1	54	
REG -1.	31	33	44	44	1	1	54	
REG -1.	32	34	45	45	1	1	54	
REG -1.	34	35	46	46	1	1	54	
REG -1.	35	36	47	47	1	1	54	
REG -1.	27	29	42	42	1	1	55	4E3-3 ,+2
REG -1.	28	29	43	43	1	1	55	
REG -1.	29	30	44	44	1	1	55	
REG -1.	30	31	45	45	1	1	55	
REG -1.	31	33	46	46	1	1	55	
REG -1.	33	34	47	47	1	1	55	
REG -1.	34	35	48	48	1	1	55	
REG -1.	25	26	42	42	1	1	56	4E3-4 ,+2
REG -1.	25	27	43	43	1	1	56	
REG -1.	26	28	44	44	1	1	56	
REG -1.	27	29	45	45	1	1	56	
REG -1.	28	30	46	46	1	1	56	
REG -1.	29	32	47	47	1	1	56	
REG -1.	31	33	48	48	1	1	56	
RFC -1.	33	34	49	49	1	1	56	
REG -1.	23	24	42	42	1	1	57	4E3-5 ,+2
REG -1.	23	24	43	43	1	1	57	
REG -1.	24	25	44	44	1	1	57	
REG -1.	25	26	45	45	1	1	57	
REG -1.	26	27	46	46	1	1	57	
REG -1.	27	28	47	47	1	1	57	
REG -1.	29	30	48	48	1	1	57	
REG -1.	31	32	49	49	1	1	57	
REG -1.	22	22	42	45	1	1	58	4E3-6 ,+2
REG -1.	22	23	44	44	1	1	58	
REG -1.	23	24	45	45	1	1	58	
REG -1.	24	25	46	46	1	1	58	
REG -1.	25	26	47	47	1	1	58	
REG -1.	26	28	48	43	1	1	58	
REG -1.	28	30	49	49	1	1	58	
REG -1.	31	32	50	50	1	1	58	
REG -1.	20	21	43	43	1	1	59	4E3-7 ,+2
REG -1.	20	21	44	44	1	1	59	

REG -1.	21	22	45	45	1	1	59	
REG -1.	22	23	46	46	1	1	59	
REG -1.	23	24	47	47	1	1	59	
REG -1.	24	25	48	48	1	1	59	
REG -1.	26	27	49	49	1	1	59	
REG -1.	28	30	50	50	1	1	59	
REG -1.	19	19	44	45	1	1	60	4E3-8 ,+2
REG -1.	20	20	45	46	1	1	60	
REG -1.	21	21	46	47	1	1	60	
REG -1.	22	22	47	48	1	1	60	
REG -1.	23	23	48	48	1	1	60	
REG -1.	24	25	49	49	1	1	60	
REG -1.	26	27	50	50	1	1	60	
REG -1.	19	19	46	47	1	1	61	4E3-9 ,+2
REG -1.	20	20	47	47	1	1	61	
REG -1.	21	21	48	48	1	1	61	
REG -1.	22	23	49	49	1	1	61	
REG -1.	24	25	50	50	1	1	61	
REG -1.	19	20	48	48	1	1	62	4E3-10 ,+2
REG -1.	20	21	49	49	1	1	62	
REG -1.	22	23	50	50	1	1	62	
REG -1.	29	32	55	55	1	1	63	3E2-1 ,+2
REG -1.	22	28	55	55	1	1	64	3E2-2 ,+2
REG -1.	28	34	56	56	1	1	64	
REG -1.	20	27	56	56	1	1	65	3E2-3 ,+2
REG -1.	24	35	57	57	1	1	65	
REG -1.	19	23	57	57	1	1	66	3E2-4 ,+2
REG -1.	19	36	58	58	1	1	66	
REG -1.	19	36	59	59	1	1	67	3E2-5 ,+2
REG -1.	19	36	60	60	1	1	68	3E2-6 ,+2
REG -1.	19	23	61	61	1	1	68	
REG -1.	24	35	61	61	1	1	69	3E2-7 ,+2
REG -1.	20	25	62	62	1	1	69	
REG -1.	26	34	62	62	1	1	70	3E2-8 ,+2
REG -1.	22	28	63	63	1	1	70	
REG -1.	29	32	63	63	1	1	71	3E2-9 ,+2
REG -1.	22	23	68	68	1	1	72	2E2-1
REG -1.	20	22	69	69	1	1	72	
REG -1.	19	20	70	70	1	1	72	
REG -1.	19	19	71	71	1	1	72	
REG -1.	24	26	68	68	1	1	73	2E2-2 ,+2
REG -1.	23	24	69	69	1	1	73	
REG -1.	21	23	70	70	1	1	73	
REG -1.	20	21	71	71	1	1	73	
REG -1.	19	20	72	72	1	1	73	
REG -1.	19	19	73	74	1	1	73	
REG -1.	27	29	68	68	1	1	74	2E2-3 ,+2
REG -1.	25	26	69	69	1	1	74	
REG -1.	24	25	70	70	1	1	74	
REG -1.	22	23	71	71	1	1	74	
REG -1.	21	22	72	72	1	1	74	
REG -1.	20	21	73	73	1	1	74	
REG -1.	20	20	74	74	1	1	74	
REG -1.	20	20	75	75	1	1	74	
REG -1.	30	31	68	68	1	1	75	2E2-4 ,+2
REG -1.	27	29	69	69	1	1	75	
REG -1.	26	27	70	70	1	1	75	
REG -1.	24	25	71	71	1	1	75	
REG -1.	23	24	72	72	1	1	75	
REG -1.	22	23	73	73	1	1	75	
REG -1.	21	22	74	74	1	1	75	
REG -1.	21	22	75	75	1	1	75	
REG -1.	32	32	68	68	1	1	76	2E2-5 ,+2
REG -1.	30	31	69	69	1	1	76	
REG -1.	28	29	70	70	1	1	76	
REG -1.	26	27	71	71	1	1	76	
REG -1.	25	26	72	72	1	1	76	
REG -1.	24	25	73	73	1	1	76	
REG -1.	23	24	74	74	1	1	76	
REG -1.	23	23	75	75	1	1	76	
REG -1.	22	23	76	76	1	1	76	
REG -1.	32	32	69	69	1	1	77	2E2-6 ,+2
REG -1.	30	31	70	70	1	1	77	
REG -1.	28	29	71	71	1	1	77	
REG -1.	27	27	72	72	1	1	77	
REG -1.	26	26	73	73	1	1	77	
REG -1.	25	25	74	74	1	1	77	
REG -1.	24	25	75	75	1	1	77	
REG -1.	24	24	76	76	1	1	77	
REG -1.	33	34	69	69	1	1	78	2E2-7 ,+2
REG -1.	32	32	70	70	1	1	78	
REG -1.	30	31	71	71	1	1	78	
REG -1.	28	30	72	72	1	1	78	
REG -1.	27	29	73	73	1	1	78	

REG -1.	26	28	74	74	1	1	78	
REG -1.	26	27	75	75	1	1	78	
REG -1.	25	27	76	76	1	1	78	
REG -1.	33	33	70	70	1	1	79	2E2-8,+2
REG -1.	32	32	71	71	1	1	79	
REG -1.	31	31	72	72	1	1	79	
REG -1.	30	30	73	73	1	1	79	
REG -1.	29	29	74	74	1	1	79	
REG -1.	28	28	75	75	1	1	79	
REG -1.	28	28	76	76	1	1	79	
REG -1.	34	34	70	70	1	1	80	2E2-9,+2
REG -1.	33	33	71	71	1	1	80	
REG -1.	32	32	72	72	1	1	80	
REG -1.	31	31	73	73	1	1	80	
REG -1.	30	30	74	74	1	1	80	
REG -1.	29	29	75	76	1	1	80	
REG -1.	35	35	70	70	1	1	81	2E2-10,+2
REG -1.	34	34	71	71	1	1	81	
REG -1.	33	33	72	72	1	1	81	
REG -1.	32	32	73	73	1	1	81	
REG -1.	31	31	74	74	1	1	81	
REG -1.	30	30	75	76	1	1	81	
REG -1.	35	35	71	71	1	1	82	2E2-11,+2
REG -1.	34	34	72	72	1	1	82	
REG -1.	33	33	73	73	1	1	82	
REG -1.	32	32	74	74	1	1	82	
REG -1.	31	31	75	76	1	1	82	
REG -1.	36	36	71	71	1	1	83	2E2-12,+2
REG -1.	35	35	72	72	1	1	83	
REG -1.	34	34	73	73	1	1	83	
REG -1.	33	33	74	74	1	1	83	
REG -1.	32	32	75	76	1	1	83	
REG -1.	36	36	72	72	1	1	84	2E3-13,+2
REG -1.	35	35	73	73	1	1	84	
REG -1.	34	34	74	74	1	1	84	
REG -1.	33	33	75	75	1	1	84	
REG -1.	36	36	73	73	1	1	85	2E3-14,+2
REG -1.	35	35	74	74	1	1	85	
REG -1.	34	34	75	75	1	1	85	
REG -1.	26	26	31	44	45	60	86	FLOW HOLE OUT -X
REG -1.	27	32	1	13	42	42	87	OUTLET -2 (1)
REG -1.	33	33	2	12	42	42	87	
REG -1.	34	35	3	11	42	42	87	
REG -1.	36	38	4	10	42	42	87	
REG -1.	27	32	14	26	42	42	87	(2)
REG -1.	33	33	15	25	42	42	87	
REG -1.	34	35	16	24	42	42	87	
REG -1.	36	38	17	23	42	42	87	
REG -1.	27	32	27	39	42	42	87	(3)
REG -1.	33	33	28	38	42	42	87	
REG -1.	34	35	29	37	42	42	87	
REG -1.	36	38	30	36	42	42	87	
REG -1.	27	32	40	52	42	42	87	(4)
REG -1.	33	33	41	51	42	42	87	
REG -1.	34	35	42	50	42	42	87	
REG -1.	36	38	43	49	42	42	87	
REG -1.	27	32	53	65	42	42	87	(5)
REG -1.	33	33	54	64	42	42	87	
REG -1.	34	35	55	63	42	42	87	
REG -1.	36	38	56	62	42	42	87	
REG -1.	27	32	66	78	42	42	87	(6)
REG -1.	33	33	67	77	42	42	87	
REG -1.	34	35	68	76	42	42	87	
REG -1.	36	38	69	75	42	42	87	
REG -1.	33	33	1	1	42	42	87	(A)
REG -1.	34	35	1	2	42	42	87	
REG -1.	36	38	1	3	42	42	87	
REG -1.	33	33	78	78	42	42	87	
REG -1.	34	35	77	78	42	42	87	
REG -1.	36	38	76	78	42	42	87	
REG -1.	33	33	13	14	42	42	87	(B)
REG -1.	34	35	12	15	42	42	87	
REG -1.	36	38	11	16	42	42	87	
REG -1.	33	33	26	27	42	42	87	(C)
REG -1.	34	35	25	28	42	42	87	
REG -1.	36	38	24	29	42	42	87	
REG -1.	33	33	39	40	42	42	87	(D)
REG -1.	34	35	38	41	42	42	87	
REG -1.	36	38	37	42	42	42	87	
REG -1.	33	33	52	53	42	42	87	(E)
REG -1.	34	35	51	54	42	42	87	
REG -1.	36	38	50	55	42	42	87	
REG -1.	33	33	65	66	42	42	87	(F)
REG -1.	34	35	64	67	42	42	87	

```

REG -1.          36 38 63 68 42 42 87
REG -1.          38 38 1 78 1 10 88 OUTLET,-X (CROSS FLOW)
END
&DATA MTMAX=1, IOTIME=0, IT=1, 1,
IFENER=0, RDTIME=0.1, TREST=800.0,
IFNHO=2, IFHMO=0, IFHTB=1,
IDISP=0, MTSNRY= 1,
ITNAXP=500,
DT(1)=0.1000000,
KFLOW= 44=1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, -3, 33=1, -1, -1, 1,
KTEMP= 44=1, 8=400, 33=1, 400, 400, 400,
TEMP( 1)=553.41, VELOC( 1)=2.199,
TEMP( 2)=553.31, VELOC( 2)=2.961,
TEMP( 3)=553.00, VELOC( 3)=3.448,
TEMP( 4)=552.90, VELOC( 4)=4.169,
TEMP( 5)=551.97, VELOC( 5)=4.553,
TEMP( 6)=550.74, VELOC( 6)=4.665,
TEMP( 7)=548.99, VELOC( 7)=4.674,
TEMP( 8)=547.35, VELOC( 8)=4.689,
TEMP( 9)=544.26, VELOC( 9)=4.674,
TEMP(10)=541.79, VELOC(10)=4.665,
TEMP(11)=540.35, VELOC(11)=4.553,
TEMP(12)=538.81, VELOC(12)=4.169,
TEMP(13)=537.99, VELOC(13)=3.448,
TEMP(14)=537.06, VELOC(14)=2.199,
TEMP(15)=528.93, VELOC(15)=1.903,
TEMP(16)=528.83, VELOC(16)=3.331,
TEMP(17)=528.01, VELOC(17)=3.855,
TEMP(18)=526.39, VELOC(18)=4.089,
TEMP(19)=523.95, VELOC(19)=4.105,
TEMP(20)=520.70, VELOC(20)=4.089,
TEMP(21)=518.06, VELOC(21)=3.855,
TEMP(22)=515.93, VELOC(22)=3.331,
TEMP(23)=514.40, VELOC(23)=1.903,
TEMP(24)=525.83, VELOC(24)=1.819,
TEMP(25)=525.53, VELOC(25)=2.729,
TEMP(26)=524.73, VELOC(26)=3.066,
TEMP(27)=523.73, VELOC(27)=3.630,
TEMP(28)=522.33, VELOC(28)=3.832,
TEMP(29)=520.22, VELOC(29)=3.891,
TEMP(30)=517.52, VELOC(30)=3.891,
TEMP(31)=514.81, VELOC(31)=3.832,
TEMP(32)=513.31, VELOC(32)=3.066,
TEMP(33)=512.30, VELOC(33)=1.819,
TEMP(34)=538.19, VELOC(34)=1.888,
TEMP(35)=538.00, VELOC(35)=1.874,
TEMP(36)=537.80, VELOC(36)=1.859,
TEMP(37)=537.32, VELOC(37)=1.830,
TEMP(38)=536.93, VELOC(38)=1.816,
TEMP(39)=536.25, VELOC(39)=1.801,
TEMP(40)=535.86, VELOC(40)=1.758,
TEMP(41)=535.27, VELOC(41)=1.700,
TEMP(42)=534.98, VELOC(42)=1.511,
TEMP(43)=534.78, VELOC(43)=1.264,
TEMP(44)=534.49, VELOC(44)=0.784,
TEMP(53)=514.95, VELOC(53)=1.821,
TEMP(54)=515.96, VELOC(54)=3.069,
TEMP(55)=517.47, VELOC(55)=3.836,
TEMP(56)=520.19, VELOC(56)=3.895,
TEMP(57)=522.91, VELOC(57)=3.895,
TEMP(58)=525.02, VELOC(58)=3.836,
TEMP(59)=526.44, VELOC(59)=3.634,
TEMP(60)=527.44, VELOC(60)=3.069,
TEMP(61)=528.25, VELOC(61)=2.732,
TEMP(62)=528.55, VELOC(62)=1.821,
TEMP(63)=546.20, VELOC(63)=1.923,
TEMP(64)=547.82, VELOC(64)=3.365,
TEMP(65)=550.08, VELOC(65)=3.894,
TEMP(66)=552.89, VELOC(66)=4.131,
TEMP(67)=556.34, VELOC(67)=4.147,
TEMP(68)=558.93, VELOC(68)=4.131,
TEMP(69)=560.65, VELOC(69)=3.894,
TEMP(70)=561.51, VELOC(70)=3.365,
TEMP(71)=561.62, VELOC(71)=1.923,
TEMP(72)=546.46, VELOC(72)=2.206,
TEMP(73)=547.41, VELOC(73)=3.458,
TEMP(74)=548.25, VELOC(74)=4.182,
TEMP(75)=549.82, VELOC(75)=4.567,
TEMP(76)=551.28, VELOC(76)=4.680,
TEMP(77)=553.79, VELOC(77)=4.688,
TEMP(78)=556.93, VELOC(78)=4.703,
TEMP(79)=558.61, VELOC(79)=4.688,
TEMP(80)=560.39, VELOC(80)=4.680,
TEMP(81)=561.64, VELOC(81)=4.567,

```

```
TEMP(82)=562.59, VELOC(82)=4.182,  
TEMP(83)=562.69, VELOC(83)=3.458,  
TEMP(84)=563.00, VELOC(84)=2.970,  
TEMP(85)=563.11, VELOC(85)=2.206,  
TEMPO= 500.0, GRAV2=-9.807,  
NTPLOT=-9999,  
NTPRNT=-9999,  
ISTPR =012007, 032007, 052007, 142007, 202007, 212007,  
232007, 242007, 252007, 262007, 272007, 282007,  
292007, 302007, 312007, 322007,  
NTHPR =012007, 032007, 052007, 142007, 202007, 212007,  
232007, 242007, 252007, 262007, 272007, 282007,  
292007, 302007, 312007, 322007,  
&END  
&TURB  
HYDIN=1.0E10,  
&END  
END  
END
```