

溶接容器型モデル供試体熱過渡強度試験

第6報 熱過渡強度試験

1993年6月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

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

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

溶接容器型モデル供試体熱過渡強度試験 第6報 熱過渡強度試験

梅田 寿雄*¹、菊池 政之*¹

要 旨

(1) 〔目的〕

本試験の目的は、大型構造モデルの熱過渡下におけるクリープ疲労破損データを得て、安全裕度の適性化に必要な強度評価法を開発し、高速炉機器の耐熱応力設計法を確立することにある。本報では溶接容器型モデル供試体熱過渡強度試験に係る一連の報告書の第6報として、熱過渡強度試験結果について述べる。

(2) 〔供試体〕

本溶接容器型モデル供試体は、大型高速炉の構造設計において課題となる典型的な形状および応力分布をモデル化した形状を有するとともに、一部に大型高速炉用候補材料の一つとされているSUS316FR鋼を採用している。

(3) 〔熱過渡条件〕

試験は、構造物強度確性試験施設(TTS)を使用して実施した。供試体内を流動するナトリウムの温度条件は、低温側250℃/1時間、高温側600℃/2時間(3時間/サイクル)であり、温度変化速度は、40℃/秒とした。

(4) 〔試験結果〕

試験対象部である上部Yピースでき裂が発生し、1055サイクルで熱過渡強度試験を終了した。これにより他の試験対象部においてもき裂発生データを取得できた可能性が高いと言える。

(5) 〔温度分析〕

供試体に取付けた熱電対197点の温度データを分析して、ナトリウム流動下における構造物の温度変化挙動を得た。供試体設計時に実施した流動伝熱解析による温度変化挙動は、相対的に試験値側の温度応答が早い結果となった。

(6) 〔き裂観察〕

試験の中間に実施したストロースコープを用いたき裂観察では、き裂を的確に捕らえることができた。供試体外表面の接近可能な部位であれば有効であり、次期供試体においても適用可能である。

*1：大洗工学センター、構造工学室

Thermal Transient Strength Test of a Welded Vessel Model
vol.6 Thermal Transient Test

UMEDA. H. *¹、KIKUCHI. M. *¹

Abstract

1. OBJECT

The object of this test is to obtain structural failure data of a typical structural model representing FBR components subjected to thermal loadings in order to develop more rationalized structural strength evaluation methods. This report provides the experimental results.

2. TEST MODEL

The Welded Vessel Model has noteworthy typical shapes and stress distributions as can be found in the structural design of Large Type Fast Breeder Reactor, and the modified austenitic stainless steel, SUS316FR, which is hopeful for LFBR is incorporated.

3. THERMAL TRANSIENT TEST CONDITION

Thermal creep-fatigue test was conducted with the Thermal Transient Test Facility for Structures(TTS). The test model was subjected to cyclic thermal transient of 250 °C - 600°C by sodium. The cycle time of one thermal transient was 3hrs, in which 250°C sodium flowed into the model for 1hr and 600 °C sodium for 2hrs. The thermal transient was as severe as the by temperature change rate of 40 °C/sec.

4. TEST RESULTS

The Thermal Transient Test was completed at 1055 cycle due to crack observation on the upper Y-junction.

5. TEMPERATURE TRANSIENT

The temperature data was obtained which was necessitated for the subsequent thermal stress analysis. The observed temperture transients were steeper than analyses.

6. CRACK OBSERVATION

Observation method with use of "STRAW SCOPE" during the test was effective for identification of crack initiation.

* 1 : Structural Engineering Section, O-arai Engineering Center.

目 次

1. はじめに	1
2. 供試体	2
3. 熱過渡強度試験	3
3.1 試験方法	3
3.2 計測方法	3
3.3 試験経緯	6
4. 熱過渡挙動の分析	9
4.1 温度変化挙動	9
4.2 変位挙動	17
5. 考察	18
6. 結論	21
謝辞	22
参考文献	23

図表リスト

Table. 3- 1	T T S試験条件&実績	24
Photo. 3- 1	上部Yピース フルト・ハット・コーナー部(60°)横方向倍率×100 縦方向倍率× 50	25
Photo. 3- 2	上部Yピース フルト・ハット・コーナー部(60°)横方向倍率×300 縦方向倍率×150	25
Fig. 1- 1	溶接容器型モデルによる研究フロー	1
Fig. 2- 1	溶接容器型モデル供試体 構造図	27
Fig. 2- 2	溶接容器型モデル供試体 鳥瞰図	28
Fig. 3- 1	T T Sフローシート	29
Fig. 3- 2	溶接容器型モデル供試体 計装取付図	30
Fig. 3- 3	上部Yピース拡大図	31
Fig. 3- 4	ストロースコープ観察図	32
Fig. 3- 5	ストロースコープ構成図	33
Fig. 4- 1	主流路温度再現性確認熱電対取付位置図	34
Fig. 4- 2	INN-010 各サイクル比較図	35
Fig. 4- 3	USN-01A 各サイクル比較図	36
Fig. 4- 4	IUN-02A 各サイクル比較図	37
Fig. 4- 5	USN-02A 各サイクル比較図	38
Fig. 4- 6	IRN-020 各サイクル比較図	39
Fig. 4- 7	IRN-01A 各サイクル比較図	40
Fig. 4- 8	OFN-01A 各サイクル比較図	41
Fig. 4- 9	LSN-03A 各サイクル比較図	42
Fig. 4- 10	LSN-04A 各サイクル比較図	43
Fig. 4- 11	OTN-02A 各サイクル比較図	44
Fig. 4- 12	板厚方向温度分布 入口ノズル(1)	45
Fig. 4- 13	板厚方向温度分布 入口ノズル(2)	46
Fig. 4- 14	板厚方向温度分布 入口ノズル(3)	47
Fig. 4- 15	板厚方向温度分布 入口ノズル(4)	48
Fig. 4- 16	板厚方向温度分布 入口ノズル(5)	49
Fig. 4- 17	板厚方向温度分布 入口ノズル(6)	50
Fig. 4- 18	板厚方向温度分布 入口ノズル(7)	51
Fig. 4- 19	板厚方向温度分布 上部鏡板	52
Fig. 4- 20	板厚方向温度分布 上部Yピース(1)	53
Fig. 4- 21	板厚方向温度分布 上部Yピース(2)	54
Fig. 4- 22	板厚方向温度分布 上部Yピース(3)	55
Fig. 4- 23	板厚方向温度分布 上部Yピース(4)	56
Fig. 4- 24	板厚方向温度分布 上部Yピース(5)	57
Fig. 4- 25	板厚方向温度分布 上部Yピース(6)	57
Fig. 4- 26	板厚方向温度分布 上部Yピース(7)	58
Fig. 4- 27	板厚方向温度分布 上部Yピース(8)	58
Fig. 4- 28	板厚方向温度分布 上部胴(1)	59
Fig. 4- 29	板厚方向温度分布 上部胴(2)	60
Fig. 4- 30	板厚方向温度分布 上部胴(3)	61

Fig. 4- 31	板厚方向温度分布	上部胴(4)	62
Fig. 4- 32	板厚方向温度分布	上部胴(5)	62
Fig. 4- 33	板厚方向温度分布	中子支持板(1)	63
Fig. 4- 34	板厚方向温度分布	中子支持板(2)	64
Fig. 4- 35	板厚方向温度分布	中子支持板(3)	65
Fig. 4- 36	板厚方向温度分布	下部胴	66
Fig. 4- 37	板厚方向温度分布	支持Yピース(1)	67
Fig. 4- 38	板厚方向温度分布	支持Yピース(2)	68
Fig. 4- 39	板厚方向温度分布	支持Yピース(3)	69
Fig. 4- 40	板厚方向温度分布	支持Yピース(4)	70
Fig. 4- 41	板厚方向温度分布	支持Yピース(5)	71
Fig. 4- 42	板厚方向温度分布	支持Yピース(6)	71
Fig. 4- 43	板厚方向温度分布	支持Yピース(7)	72
Fig. 4- 44	板厚方向温度分布	支持Yピース(8)	72
Fig. 4- 45	板厚方向温度分布	下部鏡板(1)	73
Fig. 4- 46	板厚方向温度分布	下部鏡板(2)	74
Fig. 4- 47	板厚方向温度分布	出口ノズル(1)	75
Fig. 4- 48	板厚方向温度分布	出口ノズル(2)	76
Fig. 4- 49	板厚方向温度分布	出口ノズル(3)	77
Fig. 4- 50	板厚方向温度分布	出口ノズル(4)	78
Fig. 4- 51	板厚方向温度分布	出口ノズル(5)	79
Fig. 4- 52	板厚方向温度分布	出口ノズル(6)	80
Fig. 4- 53	板厚方向温度分布	中子(1)	81
Fig. 4- 54	板厚方向温度分布	中子(2)	82
Fig. 4- 55	板厚方向温度分布	中子(3)	83
Fig. 4- 56	板厚方向温度分布	中子(4)	84
Fig. 4- 57	板厚方向温度分布	中子(5)	85
Fig. 4- 58	板厚方向温度分布	中子(6)	86
Fig. 4- 59	板厚方向温度分布	中子(7)	87
Fig. 4- 60	板厚方向温度分布	中子(8)	88
Fig. 4- 61	板厚方向温度分布	中子(9)	89
Fig. 4- 62	板厚方向温度分布	中子(10)	90
Fig. 4- 63	板厚方向温度分布	中子(11)	91
Fig. 4- 64	板厚方向温度分布	中子(12)	92
Fig. 4- 65	板厚方向温度分布	中子(13)	93
Fig. 4- 66	板厚方向温度分布	中子(14)	94
Fig. 4- 67	板厚方向温度分布	中子(15)	95
Fig. 4- 68	軸方向温度分布	主流路(1)	96
Fig. 4- 69	軸方向温度分布	主流路(2)	97
Fig. 4- 70	軸方向温度分布	ライナ表面	98
Fig. 4- 71	軸方向温度分布	構造材内表面(1)	99
Fig. 4- 72	軸方向温度分布	構造材内表面(2)	100
Fig. 4- 73	軸方向温度分布	構造材内表面(3)	101
Fig. 4- 74	軸方向温度分布	構造材外表面(1)	102
Fig. 4- 75	軸方向温度分布	構造材外表面(2)	103
Fig. 4- 76	軸方向温度分布	構造材外表面(3)	104
Fig. 4- 77	軸方向温度分布	構造材外表面(4)	105
Fig. 4- 78	軸方向温度分布	構造材外表面(5)	106
Fig. 4- 79	軸方向温度分布	構造材外表面(6)	107

Fig. 4- 80	軸方向温度分布 構造材外表面(7)	108
Fig. 4- 81	偏流確認 ナトリウム主流路(1)	109
Fig. 4- 82	偏流確認 ナトリウム主流路(2)	110
Fig. 4- 83	偏流確認 ナトリウム主流路(3)	111
Fig. 4- 84	偏流確認 ナトリウム主流路(4)	112
Fig. 4- 85	偏流確認 容器内表面(1)	113
Fig. 4- 86	偏流確認 容器内表面(2)	114
Fig. 4- 87	偏流確認 容器内表面(3)	115
Fig. 4- 88	偏流確認 容器内表面(4)	116
Fig. 4- 89	偏流確認 容器内表面(5)	117
Fig. 4- 90	偏流確認 容器内表面(6)	118
Fig. 4- 91	偏流確認 容器内表面(7)	119
Fig. 4- 92	偏流確認 容器内表面(8)	120
Fig. 4- 93	偏流確認 容器外表面(1)	121
Fig. 4- 94	偏流確認 容器外表面(2)	122
Fig. 4- 95	偏流確認 容器外表面(3)	123
Fig. 4- 96	チップ有無温度応答 容器内表面(1)	124
Fig. 4- 97	チップ有無温度応答 容器内表面(2)	125
Fig. 4- 98	チップ有無温度応答 容器内表面(3)	126
Fig. 4- 99	チップ有無温度応答 容器内表面(4)	127
Fig. 4-100	チップ有無温度応答 容器内表面(5)	128
Fig. 4-101	チップ有無温度応答 容器内表面(6)	129
Fig. 4-102	316FRと304との温度応答比較(1)	130
Fig. 4-103	316FRと304との温度応答比較(2)	131
Fig. 4-104	316FRと304との温度応答比較(3)	132
Fig. 4-105	流動解析結果との比較	133
Fig. 4-105(1)	流動解析結果との比較(上部プレナム・コールド)	134
Fig. 4-105(2)	流動解析結果との比較(下部プレナム・コールド)	135
Fig. 4-105(3)	流動解析結果との比較(上部プレナム・ホット)	136
Fig. 4-105(4)	流動解析結果との比較(下部プレナム・ホット)	137
Fig. 4-106	溶接容器型モデル供試体 変位データ(1)	138
Fig. 4-107	溶接容器型モデル供試体 変位データ(2)	139
Fig. 4-108	溶接容器型モデル供試体 変位データ(3)	140

1. はじめに

本報告書は、「溶接容器型モデル供試体熱過渡強度試験」の一連の試験研究のうち、構造物強度確性試験施設（TTS）による当該モデルの熱過渡強度試験結果をまとめたものである。試験研究のフローはFig. 1-1に示す通りである。

上記熱過渡強度試験の目的および反映先は以下の通り。

<目的>

- ①たが締め応力場の熱クリープ疲労データ取得
- ②異なる溶接施工法の熱クリープ疲労データ取得
- ③従来材であるSUS304と新規材料である改良SUS316鋼（SUS316FR）との強度の比較

<反映先>

- ①たが締め応力場に対するクリープ疲労評価法の合理化
- ②溶接部評価法開発
- ③SUS316FR鋼の適用性検討

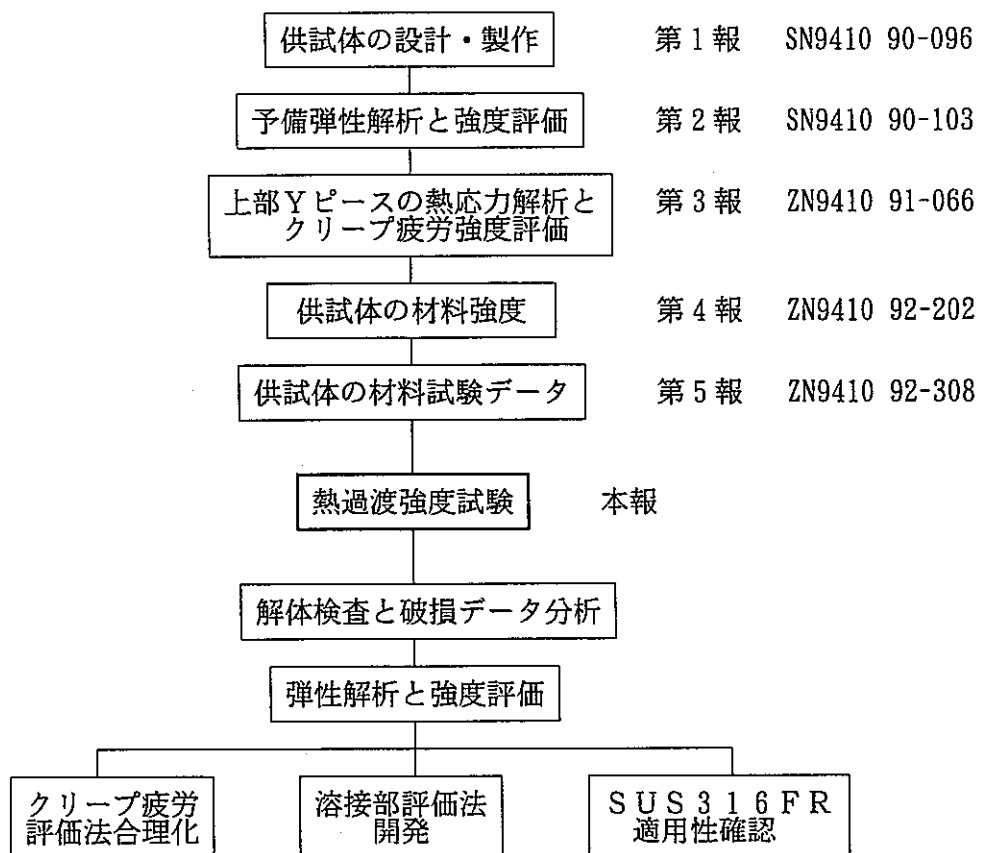


Fig. 1-1 溶接容器型モデルによる研究フロー

2. 供 試 体

供試体は、FBR大型炉の構造設計において課題となる典型的な形状および応力分布をモデル化した形状を有する。すなわち液面近傍に類似した周方向膜応力と軸方向曲げ応力成分を有する応力場におけるクリープ疲労強度データを取得するためのYピース構造、たが締め効果による周方向膜応力と軸方向曲げ応力を発生させるリング接合、相対的温度差による熱応力下における構造強度データを取得するための出・入口ノズルを有する。また、FBR大型炉において重要となる溶接継手（GTAW、SMAW、EBWの突き合わせ溶接、T字型継手および隅肉溶接）を評価対象部位に採用している。尚、一部に大型炉候補材料の一つとされている改良SUS316鋼（SUS316FR）を採用している。構造図をFig. 2-1に、鳥瞰図をFig. 2-2にそれぞれ示す。構造詳細は既報^[1]による。

試験評価対象部位は、入口ノズル、出口ノズル、上部Yピース、本体リング、スカートYピース、中子（なかご）リング、中子支持板（中子取付部）および中子の一部に採用しているSUS316FR鋼である。

3. 熱過渡強度試験

3.1 試験方法

試験は、供試体に高温ナトリウムと低温ナトリウムを交互に流入させることにより熱過渡荷重を負荷し、クリープ疲労損傷を生じさせて強度データを取得するものである。ナトリウムの主流は、供試体 (Fig. 2-1) の入口ノズルから流入し、中子と容器本体胴に挟まれたアニュラス部を流れ下り、途中、中子支持フランジに設けられた貫通孔を通過した後容器下部の出口ノズルより流出する。容器内面および中子外面に設けられたサーマルライナの内部と中子内部はナトリウムスタグナント部となる。熱過渡条件は、高温側ナトリウム温度が600℃、低温側ナトリウム温度が250℃ (温度差350℃)、600℃ \leftrightarrow 250℃の最大温度変化速度は40℃/secである。1サイクルの時間を180分 (低温保持時間60分、高温保持時間120分) として1200回繰り返すことを目標とした。ナトリウムの流速は1 m³/minとした。

600℃ \leftrightarrow 250℃の熱サイクル中において、供試体温度が供試体の予熱制御に影響されないように、供試体はもちろん、供試体入口配管の予熱設定温度を200℃とした (試験温度精度の維持を考慮した)。

TTSの概要、試験方法、運転方法の詳細は既報^[2]による。TTSのフローシートをFig. 3-1に示す。

3.2 計測方法

試験中、供試体の温度と変位を適宜計測した。温度測定にはCA型熱電対を、変位測定にはLVD T (Linear Variable Displacement Transducer) を用いた。内面温度測定用熱電対の信号は計装ノズルから取り出したリード線から、端子盤を介して計装セルのアンプへ送られ増幅される。外面温度測定用熱電対および変位計の信号は直接端子盤を介して計装セルのアンプへ送られ増幅される。これらの信号は、データ集録処理ネットワークシステム (DASNET) にてA/D変換した後ディスクに記録したとともに、同時にオンラインでモニターした。ディスクに記録したデータを任意に別のディスクに転送し、オフラインで処理した。

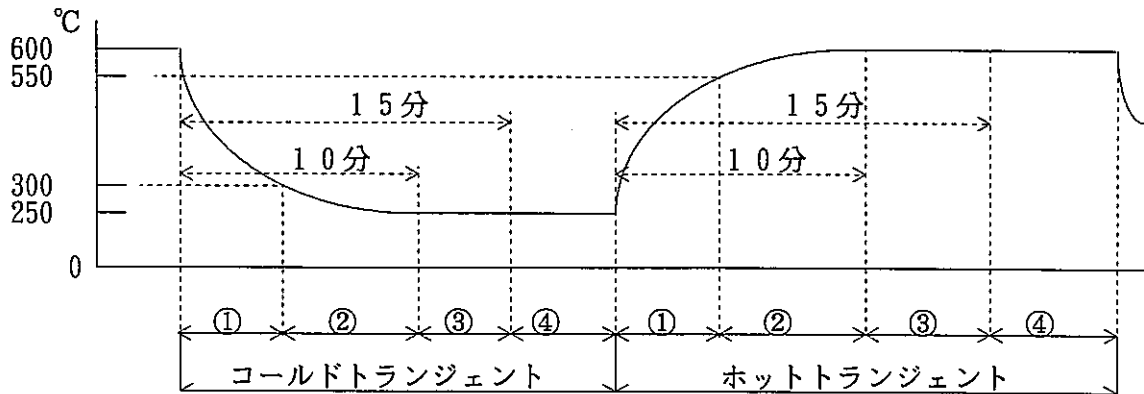
データのサンプリング周期は以下の通りである。

(1) コールドトランジェント (高温 \Rightarrow 低温)

①開始から供試体入口温度が300℃になるまで	500 msec
②①終了からコールド開始後10分まで	1 sec
③②終了からコールド開始後15分まで	10 sec
④③終了からコールドトランジェント終了まで	1 min

(2)ホットランジェント (低温⇒高温)

- ①開始から供試体入口温度が550℃になるまで 500 msec
- ②①終了からコールド開始後10分まで 1 sec
- ③②終了からコールド開始後15分まで 10 sec
- ④③終了からホットランジェント終了まで 1 min



供試体の計装取付図をFig. 3-2に示す。熱電対TAG. No.の付番要領、熱電対の取付部位、被測定物および取付角度は以下の通りである。

<熱電対付番>

○○ ○ - ○○ ○ ○
 (部位) (被測定物) - (番号) (角度) (チップ*有無)

*チップ：熱電対先端に溶接棒を溶接したもの

付番例

- INI-01A ⇒ 入口ノズル内表面0° 方向取付
- IUM-01B ⇒ 中子上部ライナ表面45° 方向取付
- LSO-16ET ⇒ 下部スカート外表面180° 方向取付 (チップ付)

<取付部位>

- IN ----- Inlet Nozzle (入口ノズル)
- US ----- Upper Skirt (上部スカート)
- OR ----- Outer Ring (外部リング)
- OF ----- Outer Flange (外部フランジ)
- LS ----- Lower Skirt (下部スカート)
- OT ----- Outlet Nozzle (出口ノズル)
- IU ----- Inner Vessel Upper Parts (中子上部)
- IR ----- Inner Ring (内部リング)
- IF ----- Inner Flange (内部フランジ)

I L ----- Inner Vessel Lower Parts (中子下部)

<被測定物>

- N ----- ナトリウム
- I ----- 内表面
- O ----- 外表面
- S ----- 構造側ライナ表面
- M ----- 主流路側ライナ表面

<取付角度>

- O ----- 中央部
- A ----- 0°
- B ----- 45°
- C ----- 90°
- D ----- 135°
- E ----- 180°
- F ----- 225°

3.2.1 温度の計測

熱過渡強度試験における熱過渡の計測、供試体内流況確認および構造強度評価対象部位の温度変化挙動の計測を主旨として、供試体内・外面に熱電対を取付けた。使用した熱電対はCA型シース径1φの非接地型で、内表面に128点、外表面に69点取付けた。内表面に取付けた熱電対シース部は計装ノズルからフリーズシールメタル方式にて取り出した。内表面用熱電対は予め30mm長さのチップ（溶接棒）をその先端に溶接しておき、供試体に取り付ける際にそのチップを溶かして取付けた。更に测温接点部を0.3mm厚のSUS箔（5mm×15mm）で覆い、それをスポット溶接にて固定した。ナトリウム主流路用熱電対はチップなしのものを、外面用熱電対は5mmのチップ付のものを使用した。これらの取付けに際しては、取付位置に测温接点が位置するよう考慮した。

3.2.2 変位の計測

熱過渡強度試験時における供試体の半径方向変位を供試体外表面の4点で測定した。使用した変位計はSheavitz社のLVDT GCA-121-500である。供試体の変位は、供試体に溶接された座からスーパーアンバー線、SUSワイヤ（編み込み）を介してLVDTに伝達される。

変位計の最大ストロークは30mmであるが、直線性を考慮して測定範囲を25mmとし、プラス側に12.5mm変位した時が+10V、マイナス側に12.5mm変位した時が-10Vになるようにアンプと変位計本体を校正した。これによる最大

誤差は0.03%である。

3.3 試験経緯

試験実績をTable. 3-1に示す。平成4年3月9日から5月29日まで600サイクルの試験を行い、中間検査を実施した。平成4年9月18日から再開して1055サイクル実施した時点で、試験対象部である供試体入口ノズルおよび上部Yピース部に生じたき裂が進展して板厚を貫通した。

3.3.1 上部Yピース観察

試験対象部である上部Yピースコーナー部（大気側）の観察を、構造工学室で使用している伝熱管き裂進展観察用ストロースコープにより実施した結果を以下に述べる。上部Yピース部の拡大図をFig. 3-3に示す。

(1) 観察目的

目標試験サイクル数1200の中間の600サイクルにおいて、試験対象部外表面でのき裂の有無を確認し、最終試験サイクル数を決定する条件の一つとする。

(2) 観察方法および観察位置

Fig. 3-4に示す観察孔からストロースコープを挿入し、ビデオ撮影・記録を実施する。観察位置は、60°の観察孔部である。

(3) 観察時ナトリウムループ状態

ナトリウムドレン後の常温状態で、供試体は外表面保温施工をしたままである。

(4) ストロースコープの構成と仕様

①構成

構成図をFig. 3-5に示す。

- (a) CCDエンドスコープユニット（ストロースコープ、MX-ST）
- (b) 画像コントロールユニット（マイクロハイスコープ、KH-2200）
- (c) 高解像度モニター（PVM-2040Q）
- (d) 画像記録再生機（業務用ビデオ、AG-7300）
- (e) 画像プリンター（カラービデオプリンタ、UP-5000）
- (f) キャラクタージェネレーター（漢字ビデオタイトラ、XV-J770）

②仕様

(a) CCDエンドスコープユニット

- ・先端部外径 9.3 mm
- ・先端部有効長 940 mm
- ・視野角度 55°
- ・観察距離 5~40 mm

(b)画像コントロールユニット

・電源&消費電力	AC100V 50/60Hz 200W
・メインコントロールボックス	撮像素子 1/2 CCD有効画素数 682*492 解像度 430TV本以上

(c)高解像度モニター

・電源&消費電力	AC90~110V 50/60Hz 120W
・映像信号系	周波数 ライン入力7MHz以上(-3dB) Y/C入力8MHz以上(-3dB)
・画像系	H直線性 8%以下 V直線性 7%以下 CRT EBU蛍光体

(d)画像記録再生機(ビデオ)

・電源&消費電力	AC100V 50/60Hz 80W
・録画方式	回転2ヘッドアジマス記録
・テープ速度	33.35mm/秒
・水平解像度	VHS 白黒300本、カラー240本 S-VHS 400本以上(白黒/カラー)
・S/N	46dB以上

(e)画像プリンター(カラービデオプリンタ)

・電源&消費電力	AC100V 50/60Hz 200W
・プリント方式	昇華熱転写型
・プリント画素数	720*468PELS
・プリント階調	256階調処理
・プリント時間	1分
・信号方式	EIA方式準拠

(f)キャラクタージェネレーター(漢字ビデオタイーラ)

・電源&消費電力	AC100V 50/60Hz 12W
・映像入出力	1Vp-p 75Ω不平衡 同期負
・S映像入出力	1Vp-p 75Ω不平衡 同期負

(5) 観察結果

Photo. 3-1、3-2 (3-2は3-1の拡大) にビデオ撮影後の画像写真を示す。写真中の→印がき裂および切削加工傷である。切削加工傷(切削後の表面粗さは25Sであるが、切削加工溝の深さについては供試体解体検査時に確認する予定)のピッチとストロースコープの倍率から、き裂の幅および長さを以下のように定めた。

Photo. 3-1の横方向倍率100(縦方向倍率50)およびPhoto. 3-2の横方向倍率300(縦方向倍率150)から切削加工傷のピッチを0.1mm(3-2図示)とした。よって、き裂幅は最大部で10ミクロンであり、き裂長さは0.98mmである。詳細観察は解体・検査後に委ねるものとするが、き裂発生位置は本観察より切削加工傷からと考えられるが、観察位置詳細が不明であり上部鏡板とYピースとの周溶接部(熱影響部含む)あるいはYピース縦溶接部の可能性も高い。

以上の結果から、き裂の発生を確認したものの最終試験サイクル数の決定には至らず観察段階では予定通り1200サイクル負荷を目標に実施することとした。

今回の観察では、熱過渡強度試験前の観察を実施しなかったことや観察基準位置を選定していなかったことから、き裂発生の詳細部位の確認ができなかった。

(6) 試験終了後の観察

当該コーナー部に設置した孔明きタイプのナトリウム漏洩検出器発信後(試験サイクル数1055終了後)に観察した結果、円周上の0°位置に、線状き裂(3~5mm)を確認した。供試体洗浄を優先するためストロースコープ等による詳細な観察は実施しなかった。

(7) 今後の試験への反映

今回使用したストロースコープは、強度評価上損傷値が高く供試体外表面の観察が可能で、しかも、浸透探傷試験や超音波探傷試験等の非破壊試験が実施困難な箇所において、熱過渡強度試験前・中・後で活用することにより、き裂発生状況の確認およびき裂進展観察に有効なものである。

4. 熱過渡挙動の分析

本章では、供試体の温度変化挙動および変位挙動を示す。

熱過渡（ $600^{\circ}\text{C} \longleftrightarrow 250^{\circ}\text{C}$ ）の繰り返し（1055サイクル）に対する、供試体主流路および滞留部の熱電対温度データの再現性を確認した。Fig. 4-1に再現性確認対象とした熱電対の取付位置を、Fig. 4-2～11に代表的なサイクルにおける温度変化挙動を示す。ここでは60、100、250、500、700、1000サイクルのコールドトランジェント（図中左側）とホットトランジェント（図中右側）について、0～300秒の変化挙動を示す。各部位の温度変化挙動を各サイクル毎に比較した結果、大きな違いは見られないことから、熱過渡強度試験結果として1055サイクルのほぼ中間である500サイクル時の温度データについて述べる。入口ノズル中心部に取付けたINN-010については挙動が不安定なため（熱過渡強度試験途中で断線したと考えられる）無視した（Fig. 4-2）。

4.1 温度変化挙動

温度のデータは強度試験対象部の板厚方向温度分布、すなわち、内部（ナトリウム中）温度、外部（大気中）温度および供試体各部温度と、供試体全体としての軸方向温度分布に分けられる。入口ノズルから出口ノズルまでの主流路熱電対のうち、INN-02A、IUN-02A～04E、OFN-01A・02E、OFN-03A・04E、LSN-01A・02A・ILN-01Aについては流動上の特徴があることから、それに着目して報告する。その他サーマルライナ内へのナトリウム流れ込み確認、中子内滞留ナトリウム温度応答確認およびチップ付熱電対の応答比較確認並びにSUS316FR材の温度応答について併せて報告する。本項ではこれらの温度変化挙動を順次述べる。

熱過渡強度試験時の供試体内ナトリウム流況に関しては、TTSにおける従来の試験結果から、基本的に次のような知見が得られている。コールドトランジェント（低温ナトリウムの流動）時は、低温ナトリウムが冷塊となり直線的に落下しながら密度の小さい（浮力が大）高温ナトリウムと混じり合い、高温ナトリウムの上昇流が発生し、温度ゆらぎが生じる。これに対しホットトランジェント（高温ナトリウムの流動）時は、密度が大きい（浮力が小）低温ナトリウムが密度の小さい高温ナトリウムによってスムーズに押し出される、いわゆるピストンフローとなる。

尚、ここでは低温（ 250°C ）ナトリウムが供試体を循環する60分間（コールドトランジェント、以下コールドと略す。 $600^{\circ}\text{C} \rightarrow 250^{\circ}\text{C}$ ）と、それに続いて高温（ 600°C ）ナトリウムが供試体を循環する120分間（ホットトランジェント、以下ホットと略す。 $250^{\circ}\text{C} \rightarrow 600^{\circ}\text{C}$ ）の熱過渡のうち、基本的にそれぞれ定常状態になるま

での15分間について示したものである。

温度データはデータ集録ネットワークシステム(DASNET)で集録し、PC-H98用にコンバート後マイクロソフトエクセルにより処理した。

4.1.1 板厚方向温度分布 (Fig. 4-12~68)

板厚方向温度分布の分析を入口ノズル、上部鏡板、上部Yピース、上部胴、中子支持板、下部胴、支持Yピース、下部鏡板、出口ノズル、中子について行った。

(1) 入口ノズル (Fig. 4-12~18)

主流路および内表面についてはコールドおよびホットともに温度ゆらぎが見られる。特に主流路(INN-010、INN-02A)は、コールド側で最大80℃の温度ゆらぎがある(Fig. 4-12、16)。INN-02Aについては、入口ノズルからの噴流と上部プレナムでの旋回流との合流点であるため温度ゆらぎが大きくなっていると考えられる。入口ノズルセーフエンド内滞留部では、温度ゆらぎや温度応答遅れ等が見られた(Fig. 4-13~15)。特にINN-03Aのコールド開始から6分までがステップ的に温度変化していた(Fig. 4-14)。これはガス抜き孔(口径5φ、0°、120°、240°)からのナトリウムの流れ込みによるものと言える。ただし、セーフエンド頂部では外表面温度に近い応答を示しており、頂部のみガス層を形成している可能性がある(Fig. 4-12)。

外表面の温度応答については、入口ノズルセーフエンド内滞留ナトリウムの温度応答に依存しており、特異な温度変化は見られない。

コールドおよびホット開始1分後の内・外表面温度差は、セーフエンド頂部近傍でコールドおよびホットともに180℃、テーパー中央部でコールド240℃、ホット190℃である。これについてもナトリウムの流れ込みの影響が現れている(Fig. 4-12、14)。

(2) 上部鏡板 (Fig. 4-19)

ナトリウム主流側のUSN-01A、USM-01Aはコールド側で最大50℃の温度ゆらぎがあるものの、ホット側はほとんどなかった。温度変化幅はコールド開始1分後で600℃→350℃(ΔT250℃)、ホット開始1分後で250℃→560℃(ΔT310℃)であり、コールド側では当該ナックル部で澱みが生じ、ホット側ではピストンフローの影響上コールドより応答が早くなっていると考えられる。

サーマルライナー内構造物表面のUSI-01Aとライナー表面のUSM-01Aの最大温度差は、コールドについては開始1分後の150℃、ホットについては開始1分後の100℃であり、ホット側で終始温度差が小さい。これは、ホットでは浮力の影響でピストンフローとなるのに対し、コールドでは主流のナトリウムが

下方へ直線的に流れることで、上鏡部は澱みやすくなり温度差が大きくなるものである。また、サーマルライナー内構造物表面のUSI-01Aと外表面のUSO-19ATの温度差については、コールド開始2分後で最大80℃、ホット開始1分後で最大120℃であるが、ホット開始2分以降の温度差が極端に小さくなっている。これは、コールドではライナー内へのナトリウムの流れ込みにより高温ナトリウムとの交換が速やかに行われ、ホットでは低温ナトリウムのライナー内での澱みにより温度応答が遅くなっているものと考えられる。

(3) 上部Yピース (Fig. 4-20~27)

ナトリウム主流側のUSN-03E、USM-02Aはコールド側で最大80℃の温度ゆらぎがあるものの、ホット側では大きな温度ゆらぎは見られず、温度変化幅もコールドおよびホット共ほとんど同じであった。また、構造側サーマルライナー表面のUSM-01Aについて、コールドでは開始1分後で600℃→340℃(ΔT260℃)に対し、ホットでは開始1分後で250℃→440℃(ΔT190℃)であり、コールド側の方が温度応答が早い(Fig. 4-22)。

サーマルライナー内構造物表面(USI-02A、03A、04A)と外表面(USO-01AT、02AT、03AT)の上流側2点の温度差については、コールド&ホットともに最大100℃前後であった。外表面Yピースコーナー部のUSO-03ATについては、最大170℃であり熱過渡開始後15分を経過しても内外温度差が縮まらずに推移している(Fig. 4-20、21)。USO-03ATに関しては、大気への放熱の影響が大きいからと言える(Fig. 4-23)。

外表面のUSO-15AT(0°)と15ET(180°)のコールドおよびホットで温度変化に違いのないことから、この部位で偏流はないと言える(Fig. 4-22)。USO-03ATについてはコールドおよびホットともに放熱の影響が見られる(Fig. 4-23)。

外表面温度のうち、Fig. 4-24~27については温度応答が緩やかなことから、1サイクル分のデータを示した。外表面での板厚方向温度差はほとんどない。

(4) 上部胴 (Fig. 4-28~32)

上部胴においても、ナトリウム主流路(ORN-01A)およびサーマルライナー表面(ORM-01A)の温度ゆらぎが見られる。ただし、温度応答に関してはコールド側で主流路とライナー表面がほとんどおなじ応答にもかかわらず、ホット側ではライナー表面の温度応答が若干遅くなっている。また、ホット側の温度応答がコールド側より若干早くなっている(コールド開始1分後600℃→350℃、ΔT250℃に対し、ホット開始1分後250℃→550℃、ΔT300℃)。温度応答の違いについてはコールドとホットのナトリウムの流動の違いに起因してい

るものと考えられる (Fig. 4-30)。流動の違いによるコールドおよびホットでの温度応答の違いは、構造材表面のUSI-07A、ORI-01ATにも見られる (Fig. 4-28、29)。

内・外面での最大温度差は、コールドおよびホットともに開始1分後で100℃前後である (Fig. 4-28、29)。

Fig. 4-31、32は温度応答が緩やかなことから1サイクル分を示した。本体リングでの板厚方向温度差は見られない。径方向温度分布ではコールドおよびホットともに放熱の影響が見られる。

(5) 中子支持板 (Fig. 4-33~35)

中子支持板構造材表面0°、45°、225°の3箇所の温度応答は、コールドおよびホットともにほとんど同様であるが、支持板中央であるIFO-06BとIFO-07FおよびOFI-05Bが他の熱電対より若干早い応答を示している (Fig. 4-33~35)。

(6) 下部胴 (Fig. 4-36)

構造材表面の温度変化幅は、コールド開始2分後で590℃→460℃ (ΔT 130℃) に対し、ホット開始2分後では250℃→400℃ (ΔT 150℃) であり、さほど違いはない。内外面最大温度差は、コールドおよびホットともに開始2分後の80℃であった (Fig. 4-36)。

(7) 支持Yピース (Fig. 4-37~44)

ナトリウム主流路 (LSN-03A、LSM01A) における温度ゆらぎ幅は、コールドで最大50℃に対し、ホットでは最大20℃であった。この温度ゆらぎは、中子支持板を境にした上部プレナムと下部プレナムにて、ナトリウム流れが二分化していることで下部プレナム内へ流入した時点で新たに温度ゆらぎが発生したためと考えられる。ライナー表面の温度応答については、コールド開始1分後で590℃→440℃ (ΔT 150℃) に対し、ホット開始1分後で250℃→450℃ (ΔT 200℃) であり、ホット側で早くなっている (Fig. 4-38)。

構造材表面の熱過渡開始2分後の温度変化幅は、コールドおよびホットともに全chほとんど150℃である (Fig. 4-37、39、40)。

外表面温度のうち、Fig. 4-41~44については温度応答が緩やかなことから、1サイクル分のデータを示した。外表面での板厚方向温度差はほとんどない。また、軸方向温度分布ではコールドおよびホットともに放熱の影響が見られる。

(8) 下部鏡板 (Fig. 4-45、46)

この部位においてもナトリウム主流路側で20℃~30℃の温度ゆらぎが見られる。主流路とライナー表面の温度応答は、コールドでは同様であるが、ホットではラ

ライナ表面温度が $20^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 早い。ナトリウム主流路 (LSN-04A) と構造材表面 (LSI-07A) の温度差は、コールドで最大 80°C であるが、ホットでは最大 160°C とコールド側が小さい。この理由としてこの部位では主流のナトリウムが、ホット時には供試体中心側を流れるのに対し、コールド時には供試体本体側を流れることでライナー内への流れ込みが大きくなったためと考えられる (Fig. 4-46)。内外面温度差は、コールドおよびホットともに最大 70°C であった (Fig. 4-45)。

(9) 出口ノズル (Fig. 4-47~52)

ナトリウム主流路での熱過渡開始1分後の温度変化幅が、コールドおよびホットともに $\Delta T 200^{\circ}\text{C}$ と一様であるにもかかわらず、ナトリウム主流路 (OTN-01A) と構造材表面 (OTI-01A) の温度差が、コールド側で最大 80°C に対し、ホットでは最大 150°C と大きい。これはコールド側でライナー内へのナトリウムの流れ込みが多く、ホット側では少ないためと考えられる。密度差のアンバランスも考えられる (Fig. 4-47)。ただし下流のOTN-02AとOTI-05Aにおいては、コールド&ホット時の温度差はほとんど見られない (Fig. 4-52)。これは、下鏡板に近い部位での主流のナトリウムは、コールドで構造材表面を、ホットでは供試体中心部を流れるためであり、出口ノズル下流では流路面積が小さいことからナトリウムの流れが一様になるからであると考えられる。

出口ノズル内表面とセーフエンド内滞留部の温度差は、コールドおよびホットともに最大 100°C であった。入口ノズルセーフエンドではガス抜き孔からのナトリウムの流れ込みが顕著であったが、本部位にはドレン孔等を設けていないことからナトリウムの流れ込みによる温度変化は見られない (Fig. 4-48~52)。

(10) 中子 (Fig. 4-53~67)

① ナトリウム主流路側 (Fig. 4-53~56)

コールドおよびホットともに最大 80°C の温度ゆらぎが見られる。温度ゆらぎはライナー表面および構造材表面 (ライナーの内側) においても見られる。

② 板厚方向 (Fig. 4-55~66)

中子外表面 (ナトリウム流路側) と中子内表面 (ナトリウム滞留側) の温度差は、軸方向各部とも最大 150°C 前後 (コールドおよびホットとも) であった。

③ ナトリウム滞留側 (Fig. 4-55~67)

ナトリウム滞留部内の温度変化は、内表面および中子中心ともに開始3分後に $\Delta T 150^{\circ}\text{C}$ 前後 (コールド&ホットともに) であった。半径方向の温度応答については、中心部が一番遅いがほとんど違いはない。

4.1.2 軸方向温度分布 (Fig. 4-68~80)

軸方向温度分布は、ナトリウム主流路、ライナ表面および構造材内・外表面に分けて説明する。図はコールドおよびホットについて、それぞれの開始から0秒(■)、20秒(□)、40秒(◆)、60秒(◇)、180秒(▲)、360秒(△)、900秒(●)での温度分布を示してある。また、図中の高さ(mm)は供試体ベースプレートからの距離を示す。

(1) ナトリウム主流路 (Fig. 4-68、69)

ナトリウムの主流は、入口ノズル中心部から中子頂部を通り、上部・下部プレナムの中央部を通して出口ノズルへと流れる。温度応答については、コールドおよびホットともに上部プレナムの上鏡板ナックル部で澱みによる温度応答遅延が見られる。下部プレナムにおいても、コールド時に中子支持板下流に見られる。

(2) ライナ表面 (Fig. 4-70)

主流のナトリウムは、入口ノズルから中子頂部へと流れ、中子上鏡板を滑りながら下部胴へと流れ下り、中子支持板貫通孔から下部プレナムへと流れる。よって、コールドおよびホットともに入口ノズルコーナーおよび上鏡板で温度応答が遅くなっている。ただし、コールドにおいて下部プレナムの温度応答が早くなっている。

(3) 構造材内表面 (Fig. 4-71~73)

本体側においては、基本的には上部からピストンフローに近い流れであるが、コールドではライナ表面同様本体胴の温度応答が早く、ホットでは中子支持板貫通孔近傍の温度応答が早くなっている。

中子外表面(ナトリウム主流側)においては、中子支持板貫通孔近傍(IFO-02B、10B)を除き、軸方向温度差がほとんどなく一様に温度変化している。

中子内表面(ナトリウム滞留側)においても軸方向温度差が小さく、一様に温度変化している。

これらから、中子胴部ではナトリウムの主流がアニュラス部中央を流れ、またライナの間隙からのナトリウムの流れ込みが少なく、構造材表面は熱伝導による温度変化が主体であると考えられる。

(4) 構造材外表面 (Fig. 4-74~80)

構造材内表面からの熱伝導による温度応答であり、供試体外表面に取付けた予熱ヒータの影響は見られない。

4.1.3 偏流確認 (Fig. 4-81~95)

供試体の強度評価を軸対称応力場であることを前提として実施する際に、ナトリウムの流動が偏っていないか(温度挙動そのものも軸対称であるかどうか)を確認するものである。偏流の確認は、ナトリウム主流路、容器内・外表面について実施する。

(1) ナトリウム主流路 (Fig. 4-81~84)

入口ノズル中心部から中子頂部にぶつかった主流のナトリウムが、中子鏡板を滑るように流れ下り、上部アニュラス部および下部アニュラス部の中央を流れ下る過程における偏流は見当たらない。ただし、中子支持板貫通孔近傍においては、コールド開始1分までに偏流が見られる。

IUN-02A・03C・04E ⇒ 偏流なし

OFN-01A・02E ⇒ コールド開始1分まで大きな違い、他は一樣

OFN-03A・04E ⇒ コールド開始1分まで大きな違い、他は一樣

LSN-01A・LSN-02A・ILN-01A ⇒ 偏流なし

(2) 容器内表面 (Fig. 4-85~92)

主流のナトリウムがライナ内へ流れ込むことによる温度応答の違いが一部見られるが、偏流によるものではない。ただし、入口ノズルコーナー部については0°方向取付の熱電対がコールドのみ最大60°Cの温度差がある。これは入口ノズルのガス抜き孔の一つが0°方向にありコールドのみ流れ込みが大きいものと考えられる。

INI-07A・08E ⇒ コールド時ナトリウム流れ込みによる温度応答の違い

USI-04A・05E ⇒ ホット時に若干流れ込み、ほとんど一樣

ORI-03A・04E ⇒ ほとんど一樣

IRO-02B・03F ⇒ 偏流なし

IRO-04B・05F ⇒ 偏流なし

IRO-06B・07F ⇒ 偏流なし

OFI-01A・02E ⇒ コールド&ホットともに若干の流れ込み

IFO-02B・03F ⇒ ほとんど一樣

IFO-04B・05F ⇒ 偏流なし

IFO-06B・07F ⇒ 偏流なし

IFO-08B・09F ⇒ 偏流なし

IFO-10B・11F ⇒ ほとんど一樣

IFI-03B・04F ⇒ 偏流なし

LSI-03A・04E ⇒ ほとんど一樣

(3) 容器外表面 (Fig. 4-93~95)

外表面熱電対は、偏流の影響なし。

INO-07AT・08AT ⇒ 偏流なし

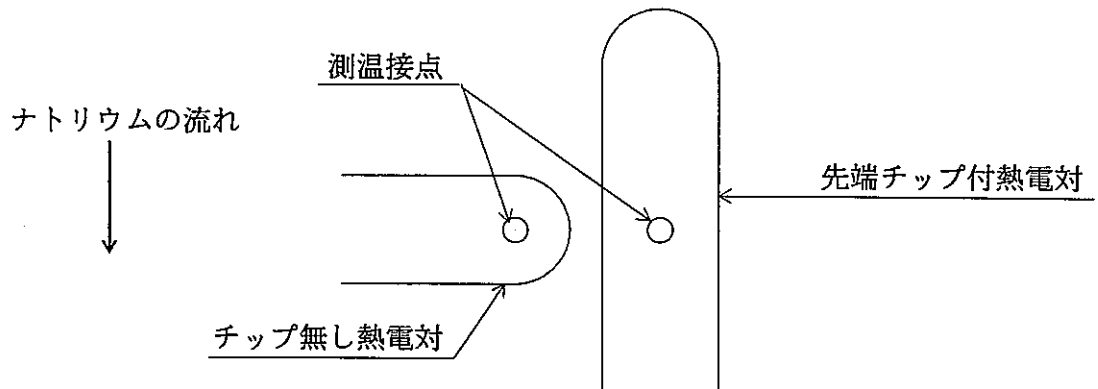
USO-15AT・15ET ⇒ 偏流なし

USO-16AT・16ET ⇒ 偏流なし

4.1.4 チップ有無熱電対の温度応答 (Fig. 4-96~101)

(1) 容器内表面

1φの熱電対先端に30mm長さのチップ(溶接棒)を付けたものと、そうでないものとの温度応答を比較した。ただし、チップ付もチップなしも测温接点間の距離を2mm以下となるよう取付方法を考慮した(下図参照)。結果、温度応答にほとんど違いはないことが分かった。



LSM-01A・01AT ⇒ 違いなし。

LSI-03A・03AT ⇒ 違いなし。

ORM-01A・01AT ⇒ 違いなし。

IRM-01B・01BT ⇒ 違いなし。

ILO-01B・01BT ⇒ コールド違いなし、ホット最大50℃の違いあり。

ILI-01B・01BT ⇒ 違いなし。

4.1.5 SUS316FRとSUS304との温度応答比較 (Fig. 4-102~104)

下記中子外表面に取付けた熱電対のTag. No.において、Bは45°に取付けてあり材質はSUS316FR、Fは225°に取付けてあり材質はSUS304である。両者に温度応答の違いは見られない。

IRO-02B・03F ⇒ 変化なし。

IRO-04B・05F ⇒ 変化なし。

IRO-06B・07F ⇒ 変化なし。

4.1.6 温度分析のまとめ

(1) 温度応答結果から、ナトリウムの主流は、入口ノズルから流入し中子頂部に当たり、中子鏡板を滑りながら上部アニュラス中央を流れ下がり、中子支持板貫通孔を

- 通って下部アニュラス中央を通り出口ノズルへと流出する。
- (2) 入口ノズルのガス抜き孔や本体ライナ間からのナトリウムの流れ込みが見られたが、強度評価に影響をおよぼす偏流はなく、試験対象部に数°C～40°C/secの熱過渡が繰り返し負荷された。
 - (3) 中子の軸方向温度分布は、ナトリウム主流路側および滞留側ともに温度差が少なく、ほぼ一様な結果となった。これは、主流のナトリウムの流れに起因しているものと推定される。
 - (4) 熱電対先端チップの有無の違いによる温度応答を比較した結果、測温接点に距離がなければほとんど違いのないことがわかった。

4.2 変位挙動 (Fig. 4-106～108)

熱過渡強度試験時における供試体の半径方向変位を確認するため、その変位の測定をした。変位データの集録は2ペンレコーダ2台で行った。予熱昇温～試験～予熱降温に亘る間の全てのデータを確認してから一部を抜粋、代表値をマイクロソフトエクセルに手入力して処理した。

供試体の半径方向変位挙動はほぼ想定した通りであり、特異な挙動は確認されなかったが、135°方向変位が若干大きかった。

5. 考 察

設計時に実施した流動解析値について、試験値に基づき考察する（F i g. 4-105）。

上部プレナムと下部プレナムに分けて、それぞれコールドおよびホットの比較をF i g. 4-105(1)~(4)に示す。コールドおよびホットの温度変化図中の実線が試験時温度であり、○△□等のシンボルが設計時に行った流動解析結果である。引き出し線により示されたT a g. Noが該当熱電対であり、T a g. Noの後の（ ）内シンボルと対比する。右図の供試体半断面図の熱電対取付位置においては、●印が該当熱電対の取付位置であり、T a g. Noの後の（ ）内シンボルが流動解析ポイントである。結果、以下のことが言える。

- ①上部プレナムの中子頂部についてはコールドおよびホットともに一致している。
- ②上部プレナムの中子鏡板近傍主流部についてはコールド時試験側が早く、ホット時はほぼ一致している。
- ③上部プレナムの上鏡板ライナ表面についてはコールドおよびホットともに試験側が早く、特にホット側で浮力の影響等で相当早くなっている。コールドの50秒までの結果では上鏡板ライナ表面より下流の胴ライナ表面側の温度応答が早い結果となっており、この時間帯で冷塊が直線的に落下しているのがわかる。
- ④上部プレナムの胴部ライナ表面についてはコールドおよびホットともに試験側の温度応答が早い。
- ⑤下部プレナムのコールドについては100秒まで試験側の温度応答が早く、それ以降は一致している。解析上は下部プレナム内での温度差はないにもかかわらず、試験結果は中子胴部より下流の下鏡板ライナ表面の方が早くなっていることから、中子支持貫通孔から直線的に落下していることがわかる。
- ⑥下部プレナムのホットについては下鏡板ライナ表面で解析値の方がはやくなっている。他の部位では試験側の温度応答が早くなっているが、100秒以降は解析側が早くなっている。

以上①~⑥より、総じて試験側の温度応答が早い結果となった。

次に、設計時に実施した流動解析上での流況と各部の温度挙動全般から推定した流況を比較する。両者の流況は下図の通り。

コールドでは、入口ノズルから流入したナトリウムは、中子頂部から中子鏡板を滑るように流れ、上部アニュラス中央を通る。下部アニュラス部では、中子支持板貫通孔から流入したナトリウムは下部アニュラス中央を流れ、出口ノズルへ流出する。コールドにおける流動解析上の流況は、上部アニュラスでは中子鏡板からそのまま中子胴を流れ、中子支持板を境にして上昇流が発生する。また、下部アニュラスでは構造材表面を流れる。

ホットでは、入口ノズルから流入したナトリウムはまず中子頂部に当たり、中子鏡板か

ら下方へ流れるラインと、中子頂部に当たったナトリウムが上鏡板へ流れるラインにわか
れる。下部アニュラス部では、中子支持板貫通孔から流入したナトリウムが下部アニュラ
ス中央を通り、出口ノズルへ流出する。

6. 結 論

溶接容器型モデル供試体の熱過渡強度試験を実施した結果、以下の知見を得た。

- (1) 熱過渡強度試験の中間に実施したストロースコープによるき裂観察は、外表面の損傷値が大きく接近可能な部位であれば、開放部が小さくてすむことから超音波探傷試験および浸透探傷試験より有効であると言える。
- (2) 試験前に実施した流動解析による熱過渡時の温度変化挙動は、相対的に試験値側の温度応答が早い結果となった。
- (3) 試験対象部である上部Yピースコーナーからき裂発生を確認したことから、他の試験対象部においてもき裂発生の可能性が大きいと言える。
- (4) 温度挙動に関しては、TTSにおける従来の試験結果同様以下のことが言える。コールドランジェント時は、低温ナトリウムが冷塊となり直線的に落下しながら密度の小さい（浮力が大）高温ナトリウムと混じり合い、高温ナトリウムの上昇流が発生し、温度ゆらぎが生じる。これに対しホットランジェント時は、密度が大きい（浮力が小）低温ナトリウムが密度の小さい高温ナトリウムによってスムーズに押し出される（ピストフロー）。

謝 辞

本試験は大洗工学センターナトリウム機器構造第一試験室に設置されている構造物強度確性試験施設を用いて実施した。当該建屋を管理されている機器システム開発室の田辺裕美室長およびナトリウム施設の運転管理を担当されている機器構造開発部運転管理Grに御尽力戴いた。また、本報告書のデータ収集、整理、図形処理等を常陽産業(株)田中宏氏に御協力戴いた。更に開発部の岩田耕司部代、材料室の渡士克己室代および現三菱原子力(株)の町田秀夫氏には試験全般に渡り助言して戴いた。ここに感謝致します。

参 考 文 献

- (1) 町田他；溶接容器型モデル熱過渡強度試験
第1報 供試体の設計・製作
PNC SN9410 90-096 1990. 6
- (2) 中西他；構造物強度確性試験施設の概要
PNC SN941 84-170 1984. 12
- (3) 梅田他；熱応力緩和構造モデル(2)熱過渡強度試験
第2報 熱過渡強度試験・解体検査
PNC ZN9410 91-253 1991. 1

Table. 3- 1 T T S試験条件&実績

*1 試験開始から終了まで
*2 予熱ONからOFFまで

供試体名	試験条件			機械荷重 (ton)	回数 & 温度				Na漏洩	ループ 不具合	試験実績									
	H温度(°C) 保持(min)	C温度(°C) 保持(min)	min/cycle		予熱	充填	昇温	ドレン (緊急)			*1 期間	*2 期間	サイクル数							
溶接容器モデル供試体	600 120	250 60	180	-	2回	6回	2回	6回	供試体 入口ノズル 溶接部		H. 4 3/ 9	H. 4 2/18	1055							
																		H. 4 9/18	H. 4 8/19	
													合計							
													1055							



Photo. 3-1 上部Yピース フルトヘッドコーナー部(60°)横方向倍率×100 縦方向倍率× 50

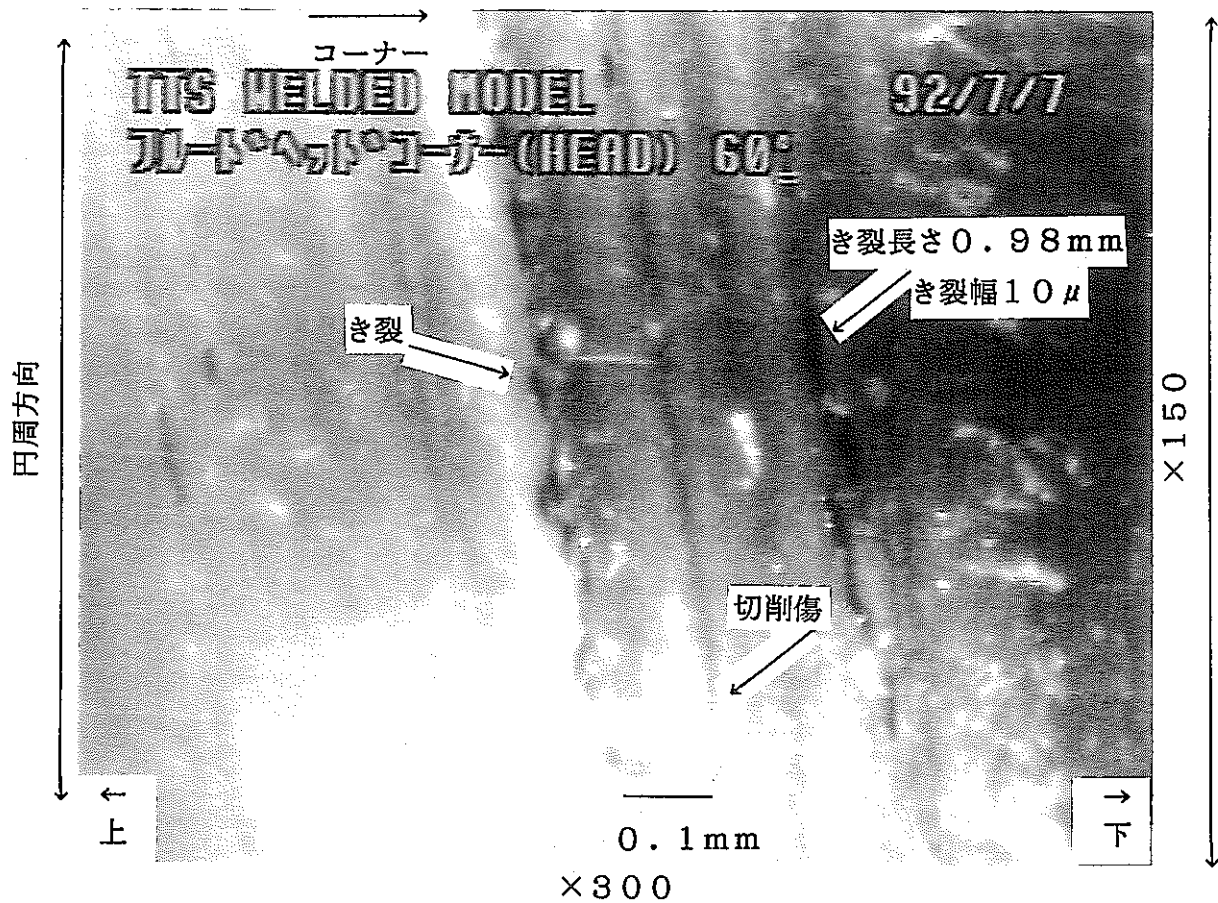


Photo. 3-2 上部Yピース フルトヘッドコーナー部(60°)横方向倍率×300 縦方向倍率×150

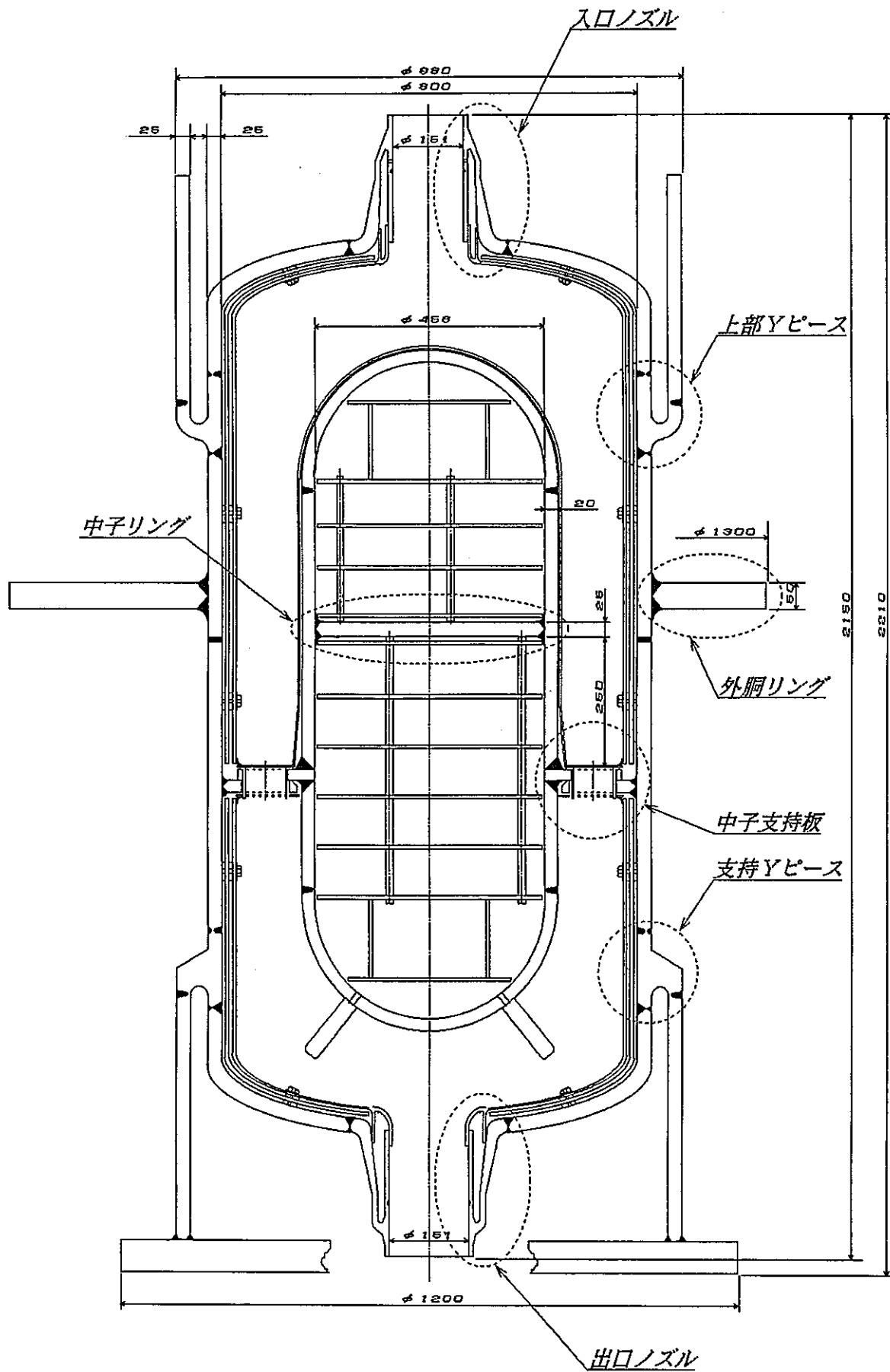


Fig. 2-1 溶接容器型モデル供試体構造図

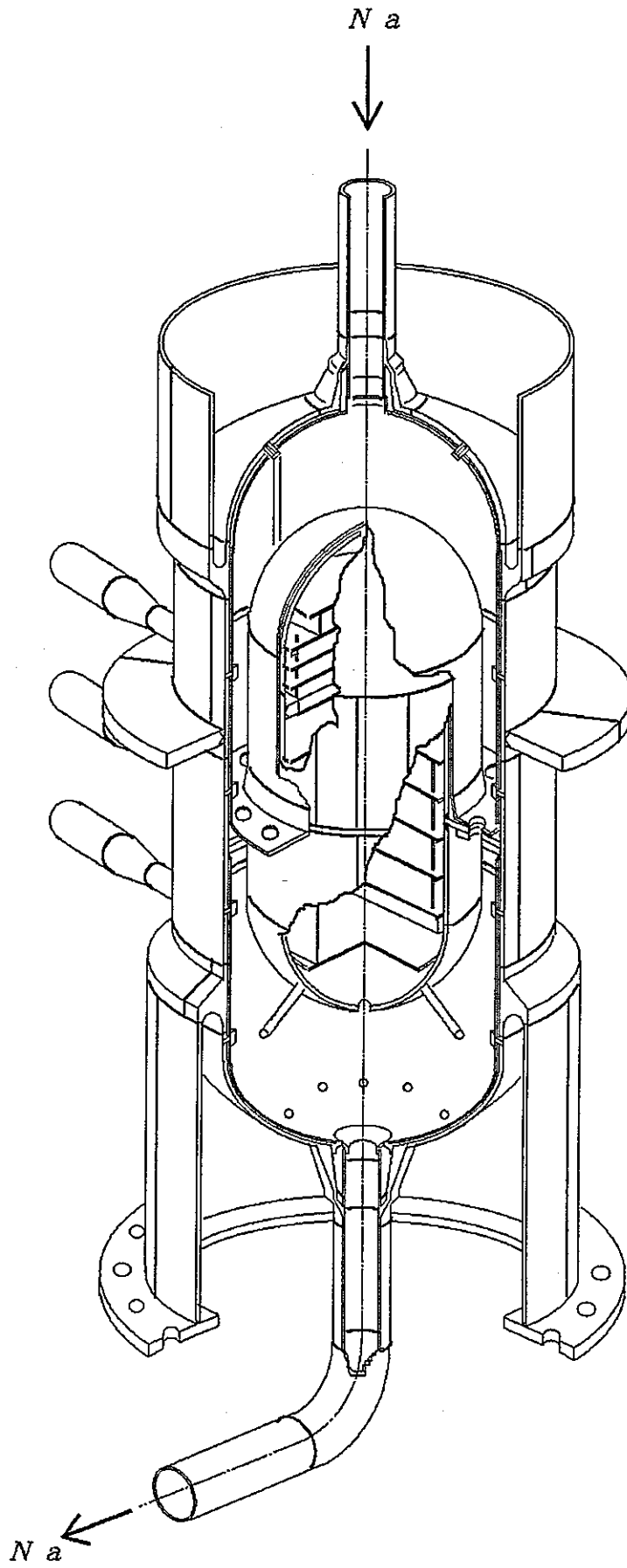


Fig. 2-2 溶接容器型モデル供試体鳥瞰図

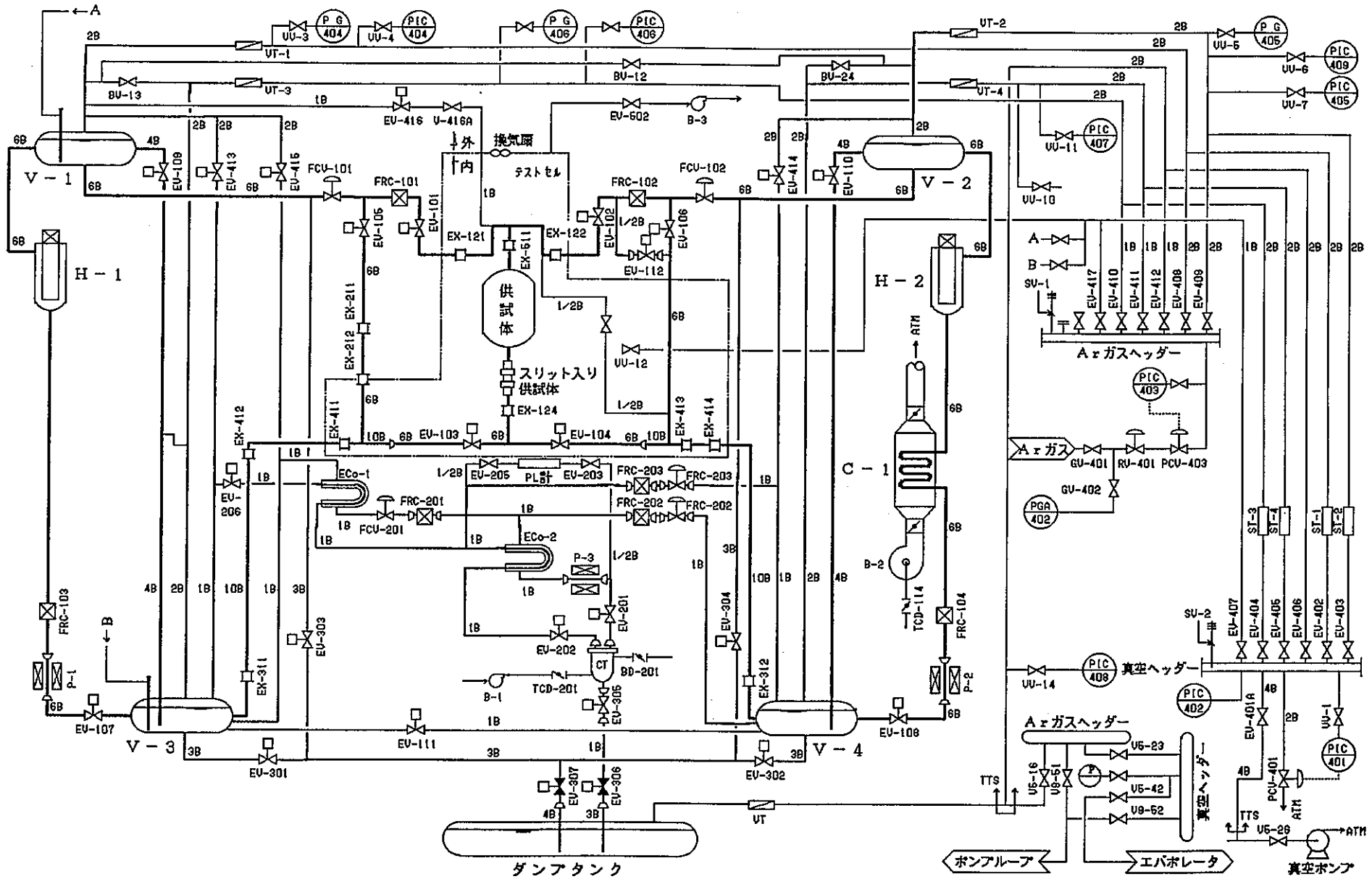


Fig. 3-1 TTSフローシート

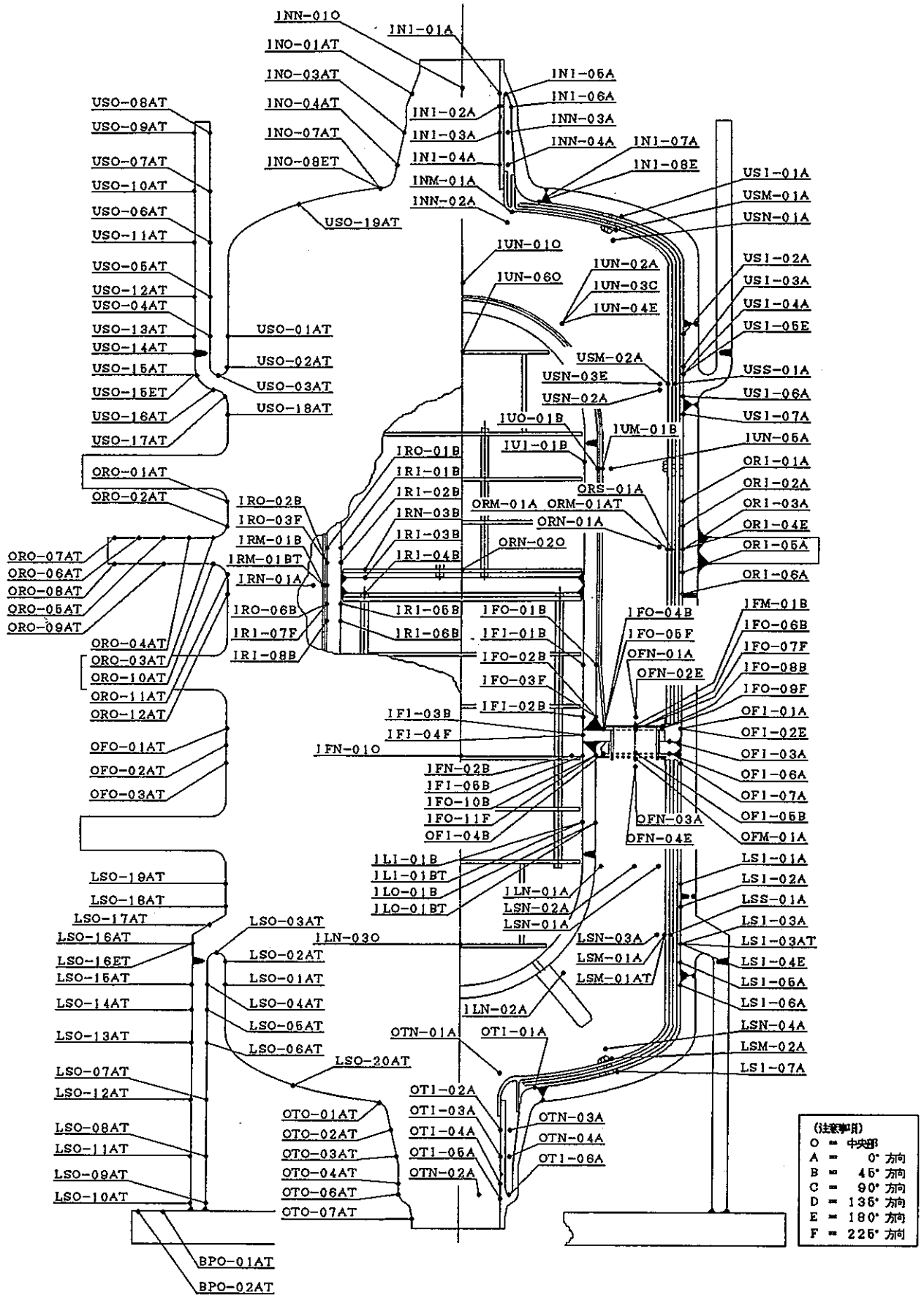


Fig. 3-2 溶接容器型供試体 計装取付図

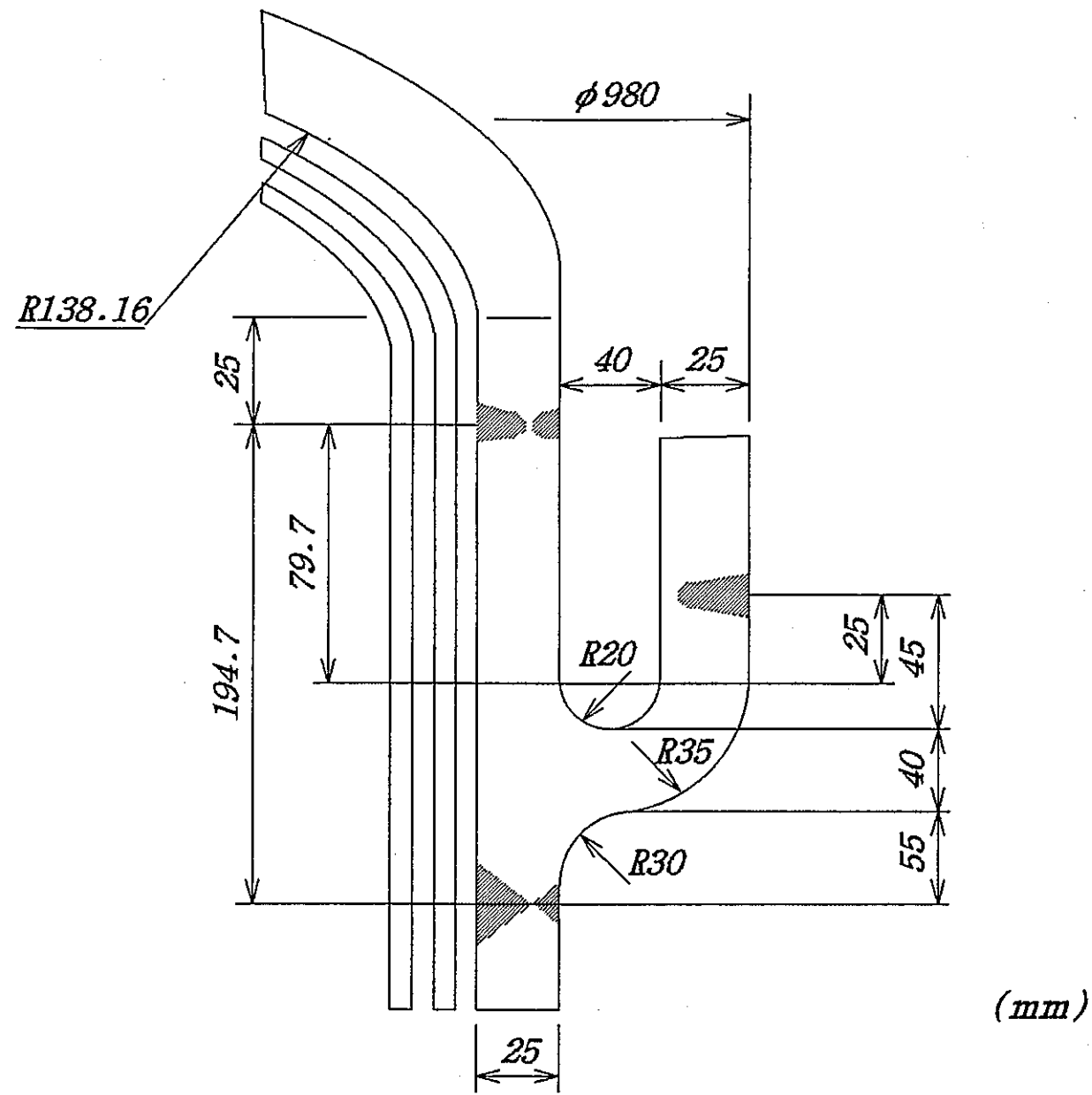


Fig. 3-3 上部Yピース拡大図

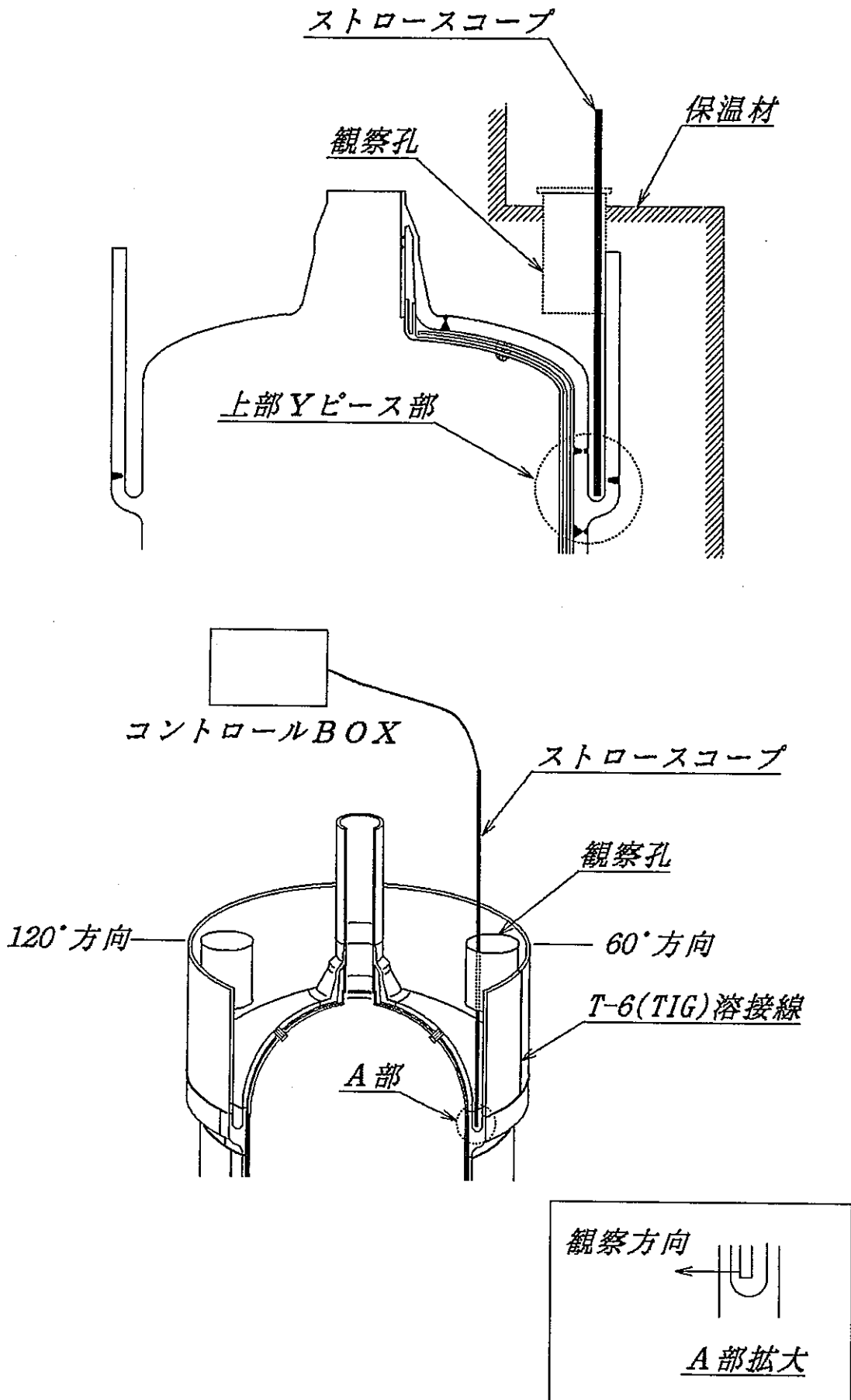


Fig. 3-4 ストロースコープ観察図

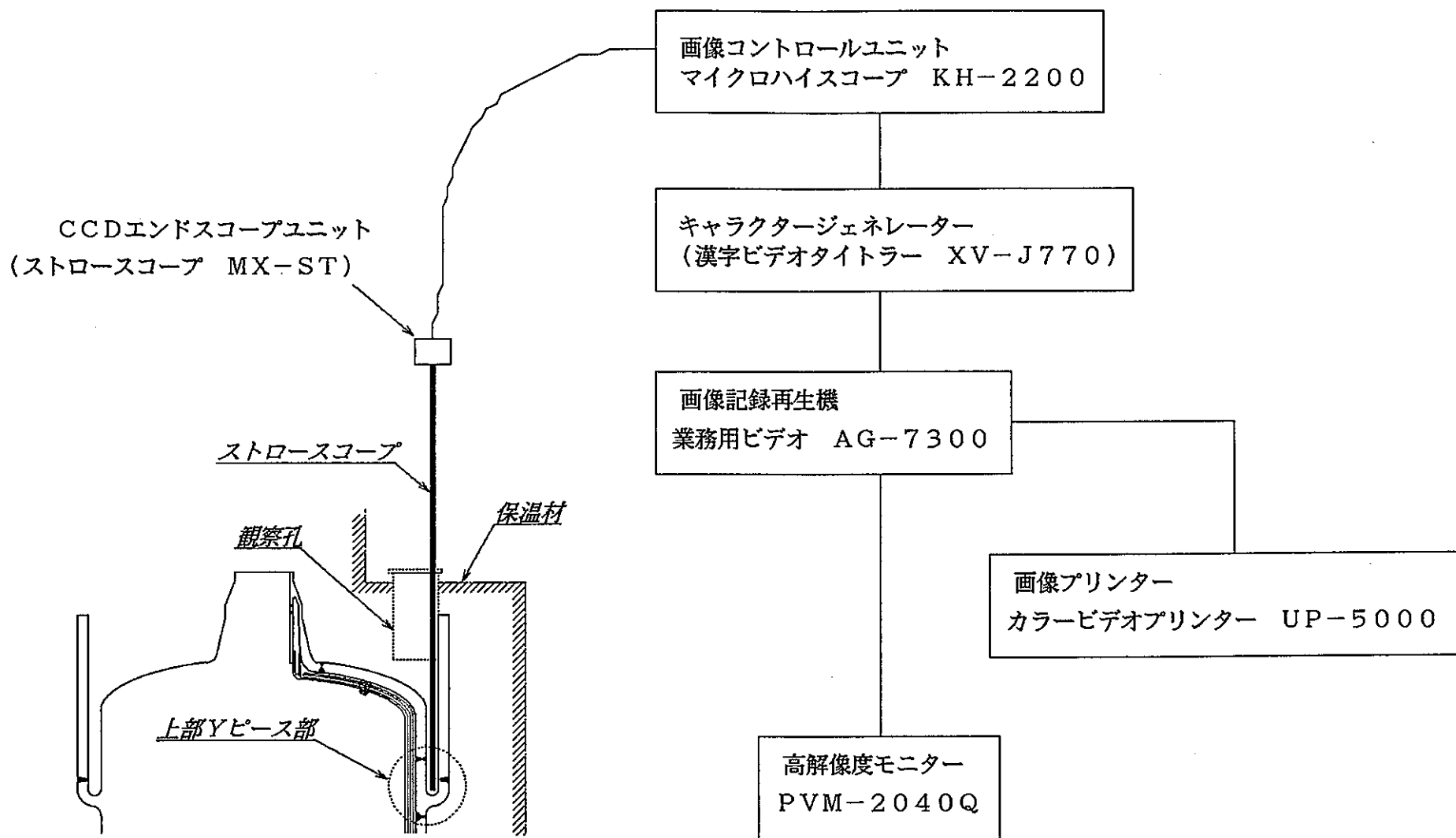


Fig. 3-5 ストロースコープ 構成図

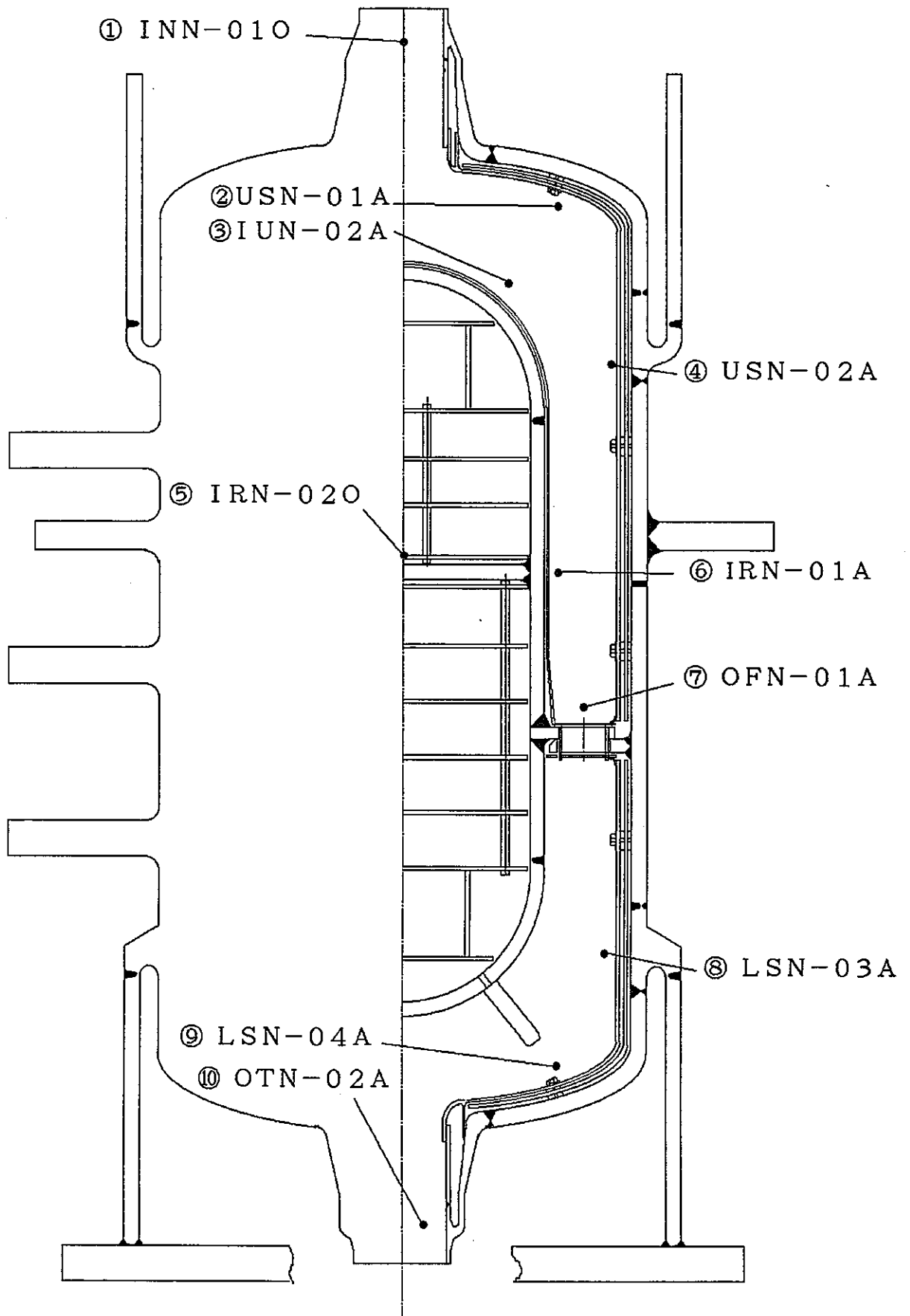


Fig. 4- 1 主流路温度再現性確認熱電対取付位置図

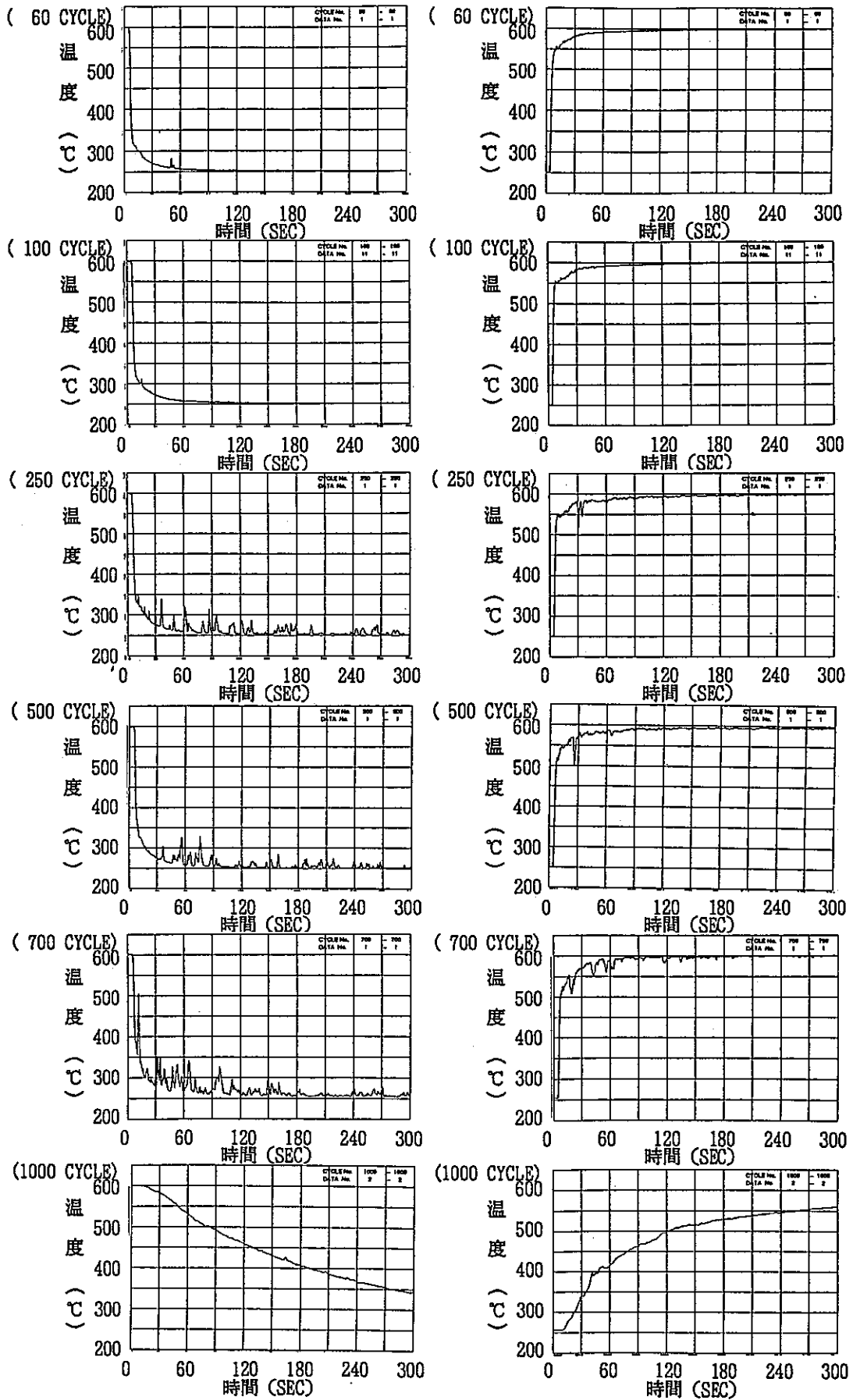


Fig. 4- 2 INN-010 各サイクル比較図

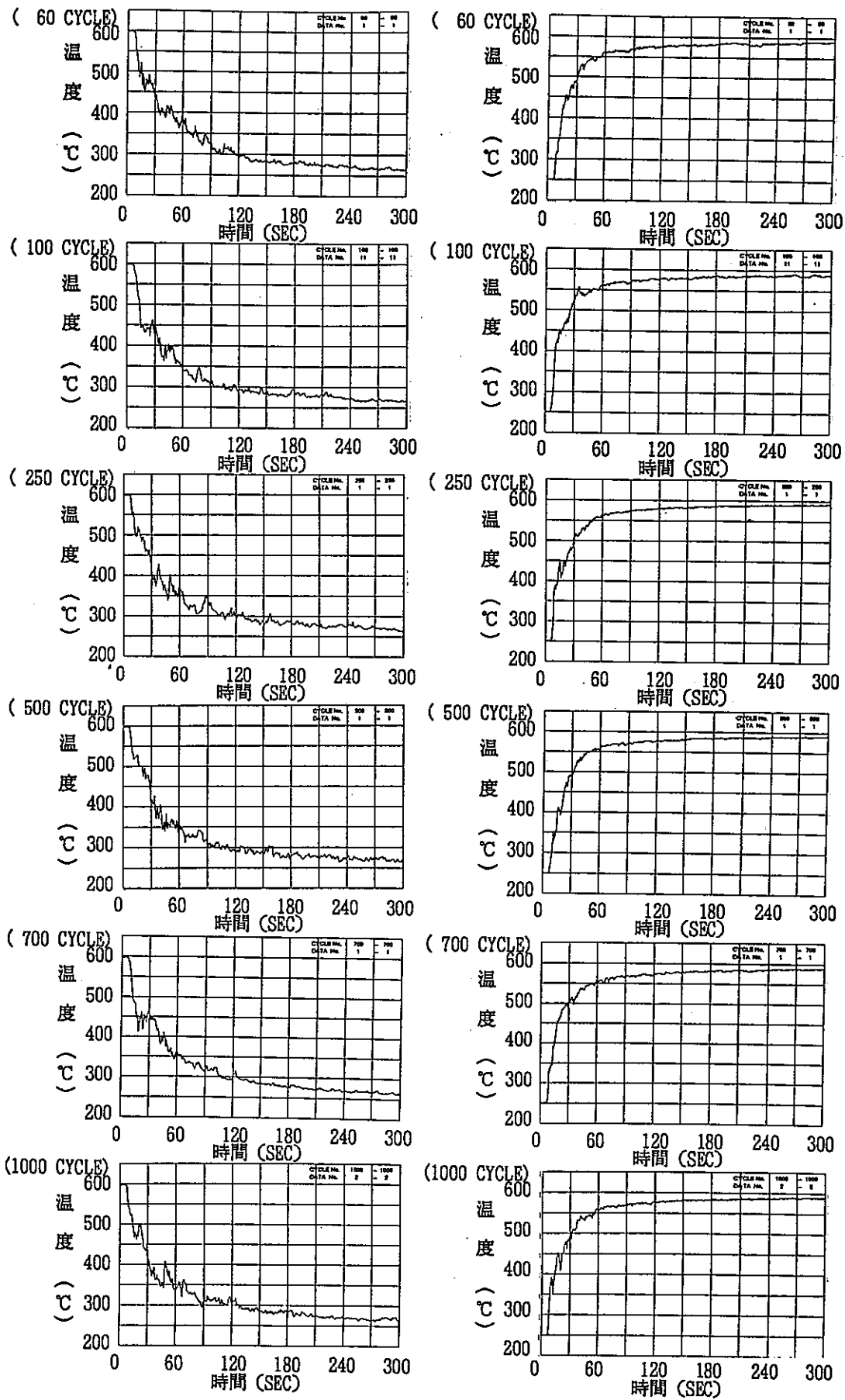


Fig. 4- 3 USN-01A 各サイクル比較図

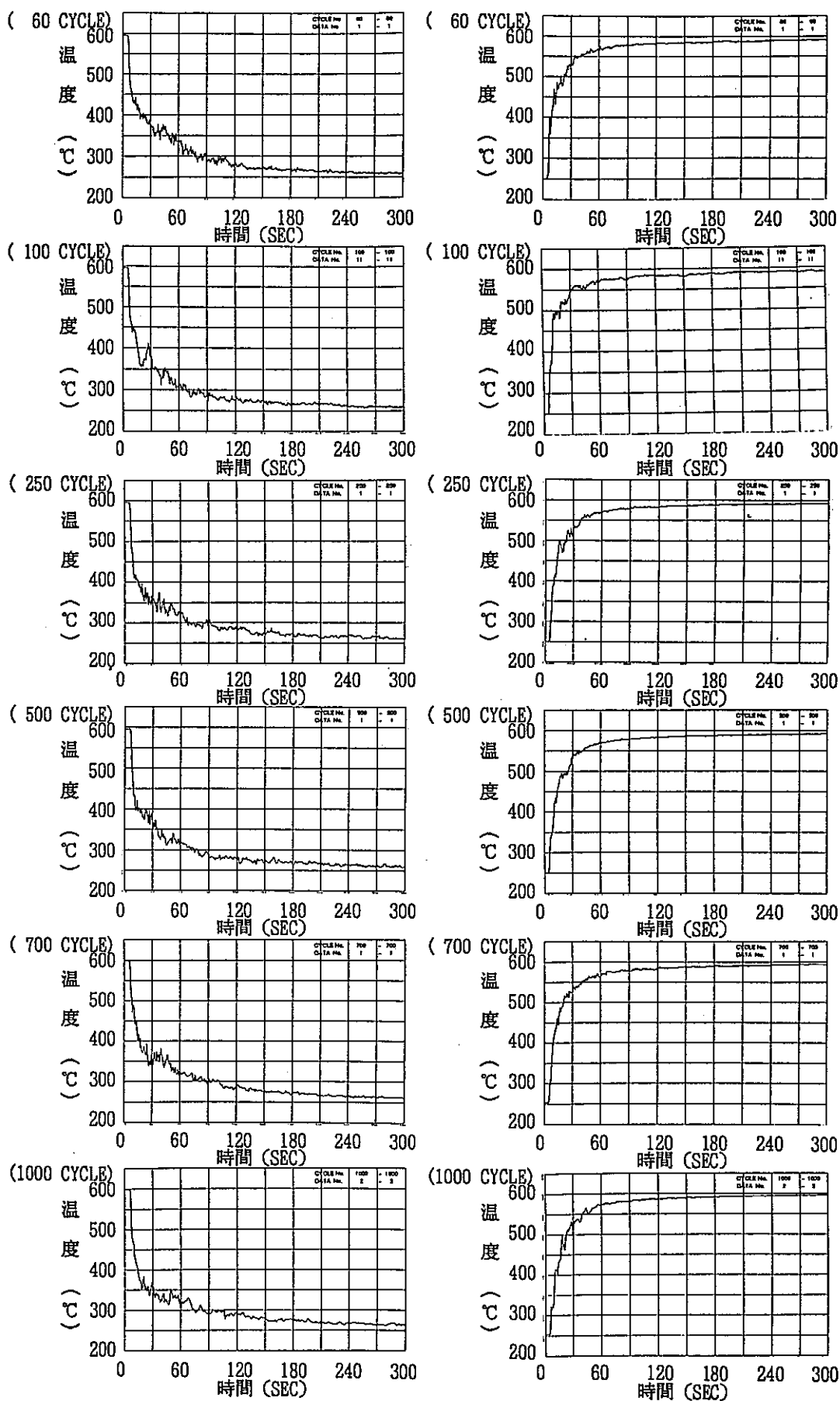


Fig. 4- 4 IUN-02A 各サイクル比較図

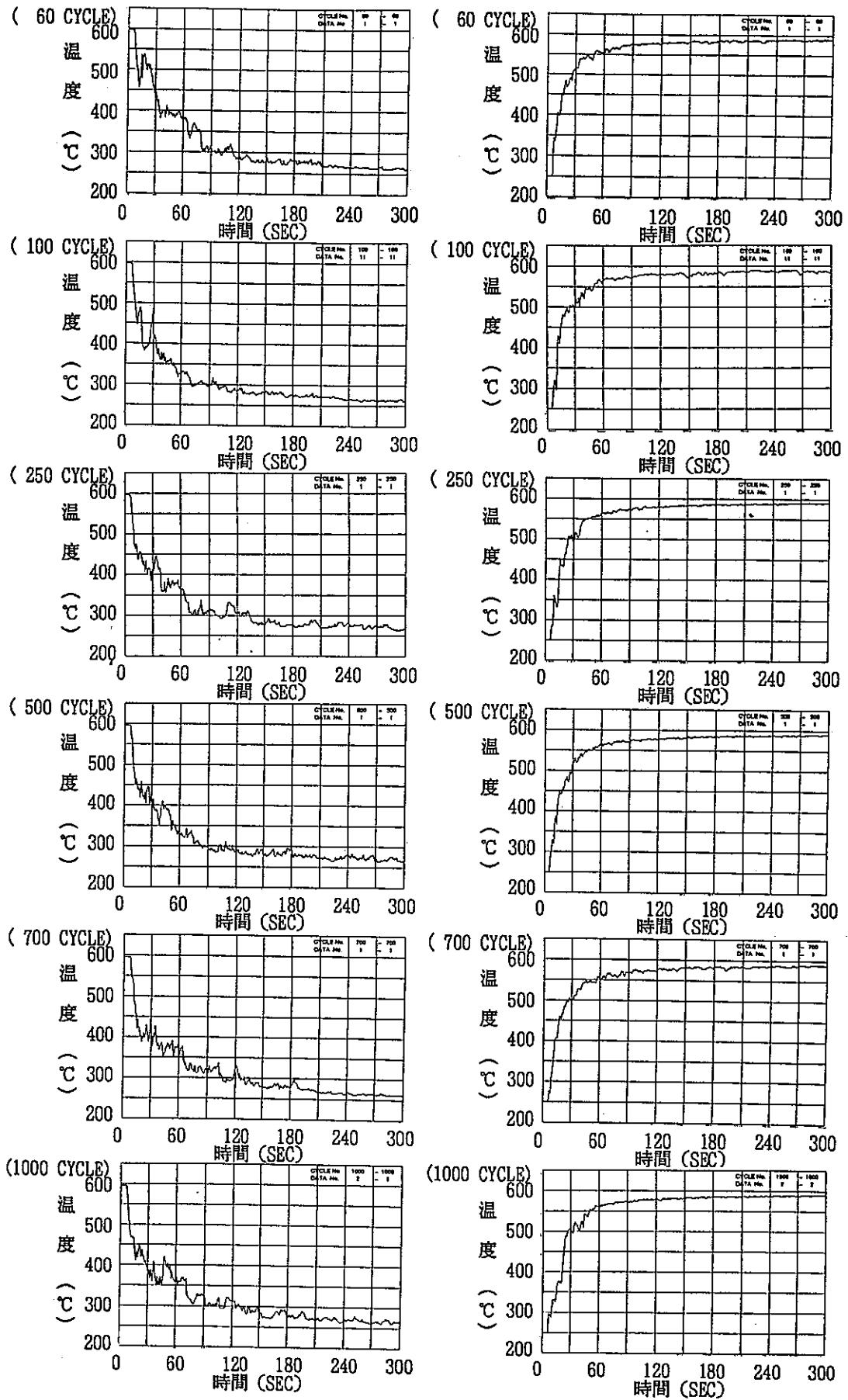


Fig. 4- 5 USN-O2A 各サイクル比較図

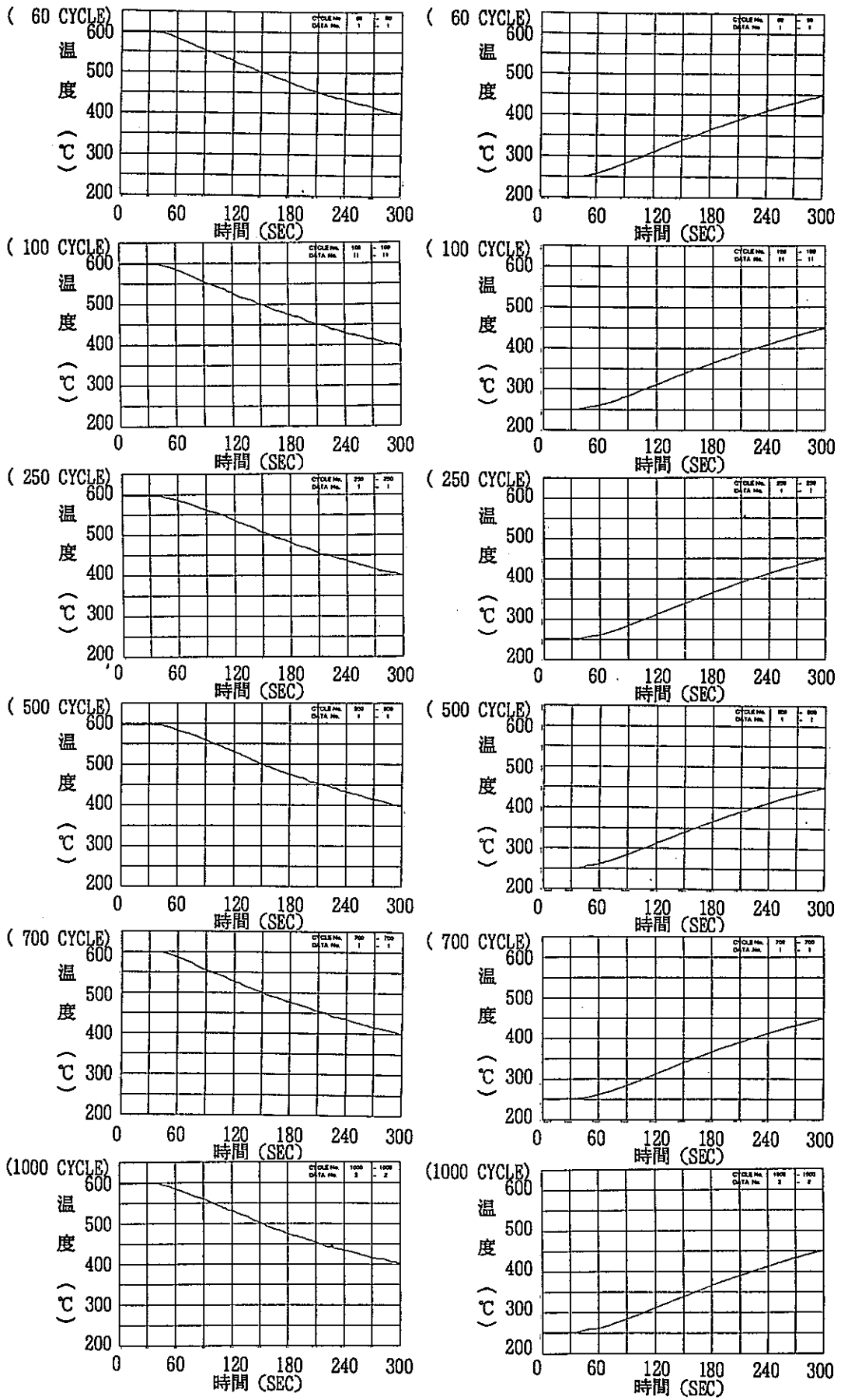


Fig. 4- 6 IRN-020 各サイクル比較図

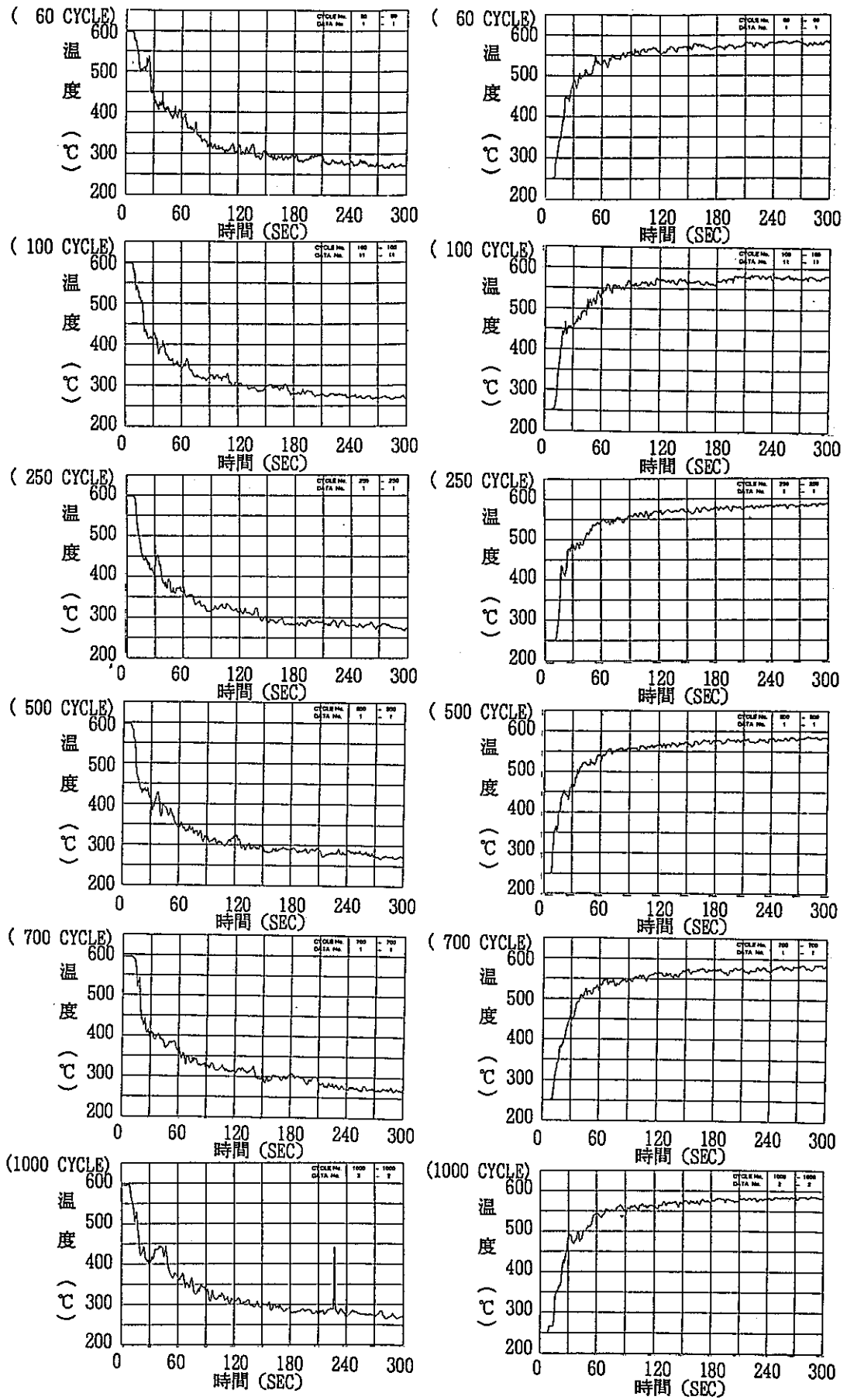


Fig. 4- 7 IRN-01A 各サイクル比較図

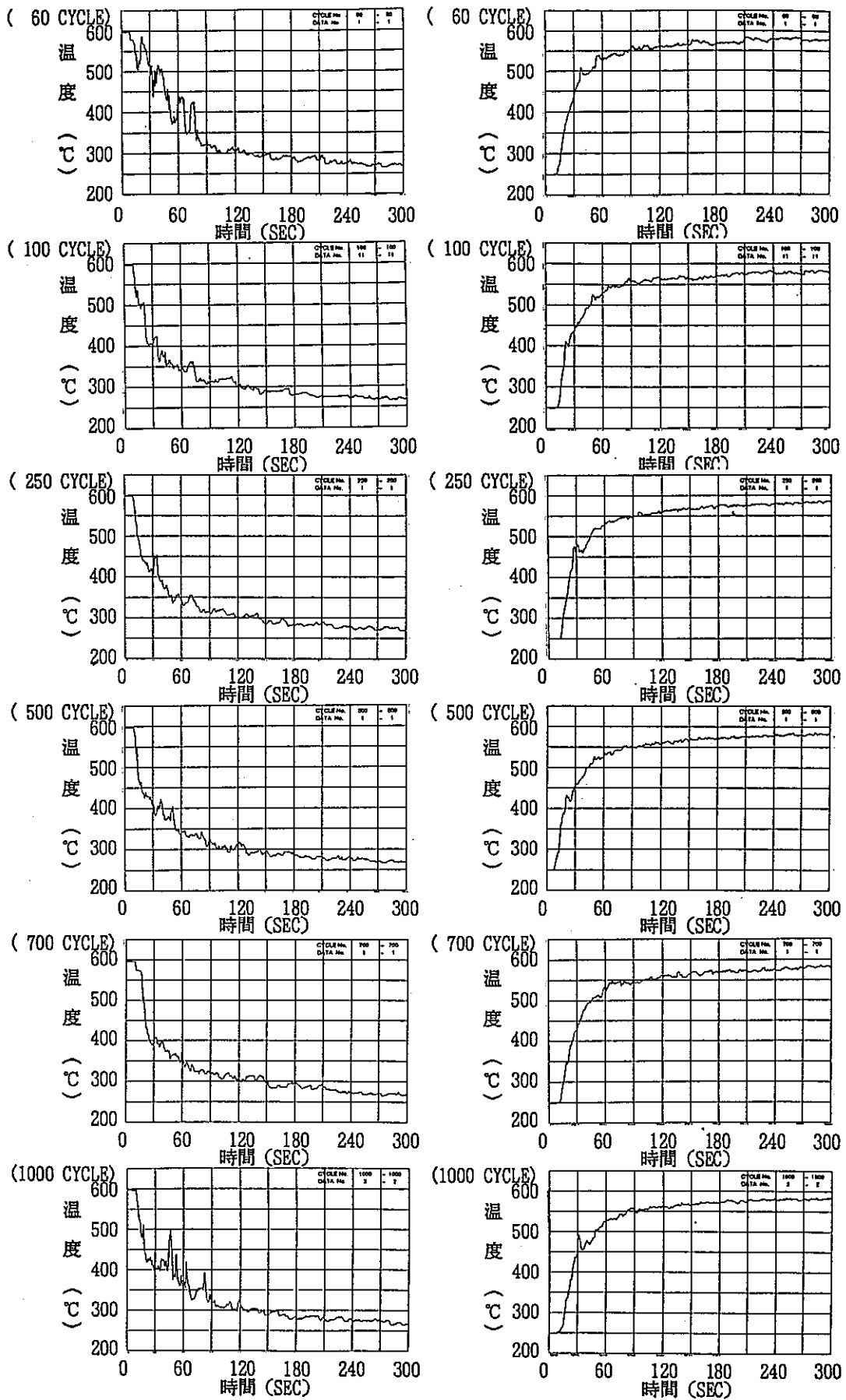


Fig. 4- 8 OFN-O1A 各サイクル比較図

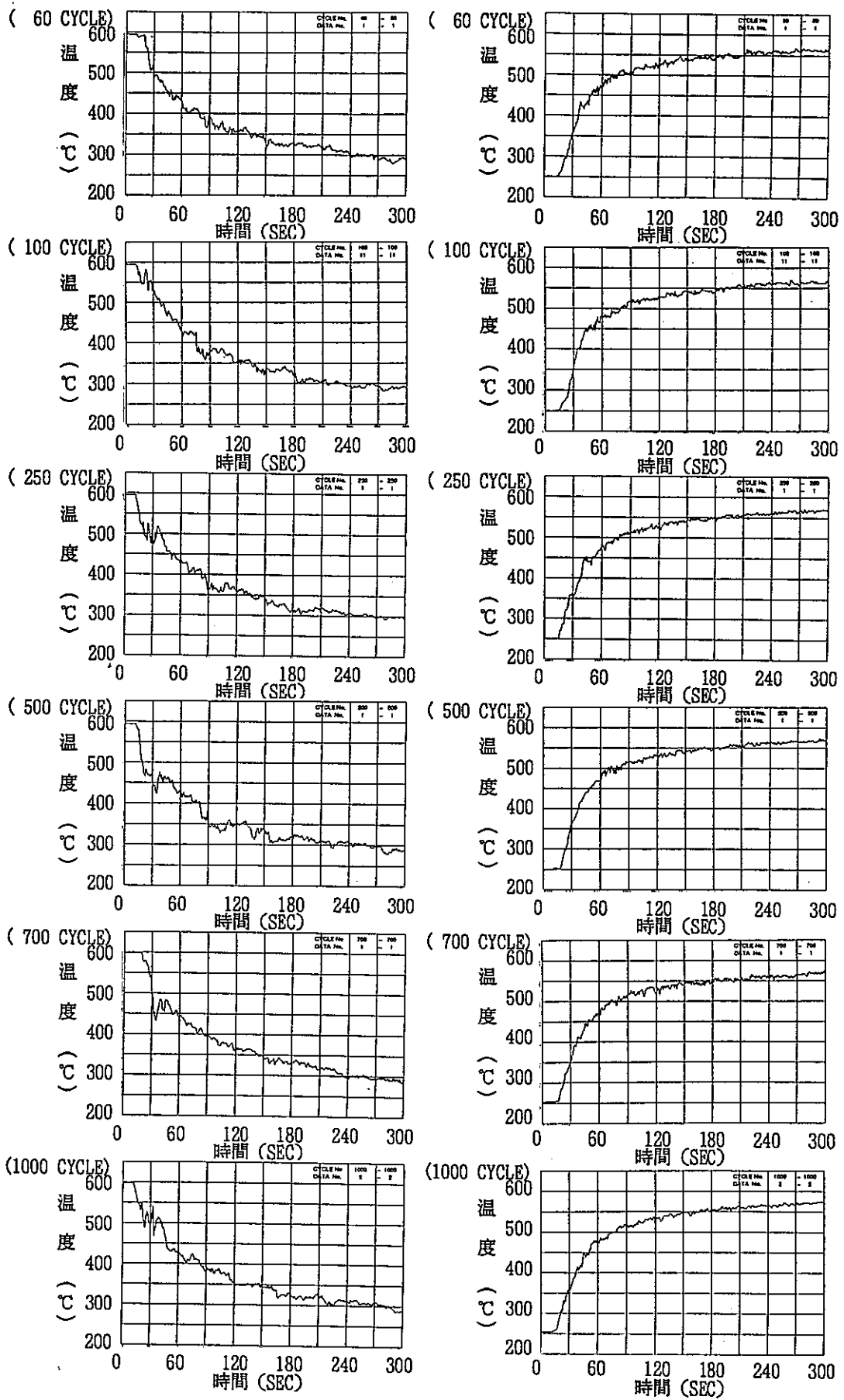


Fig. 4- 9 LSN-03A 各サイクル比較図

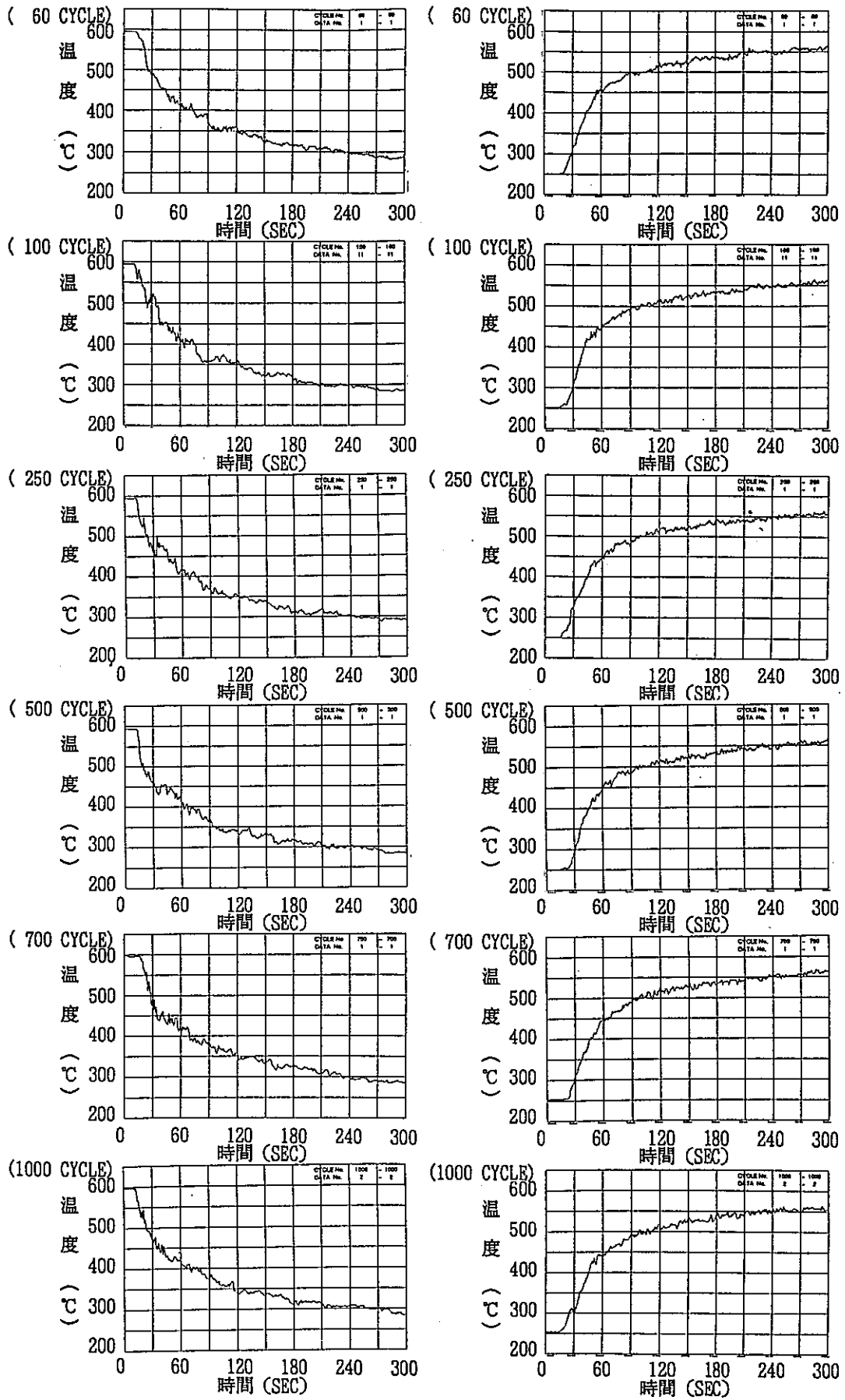


Fig. 4-10 LSN-O4A 各サイクル比較図

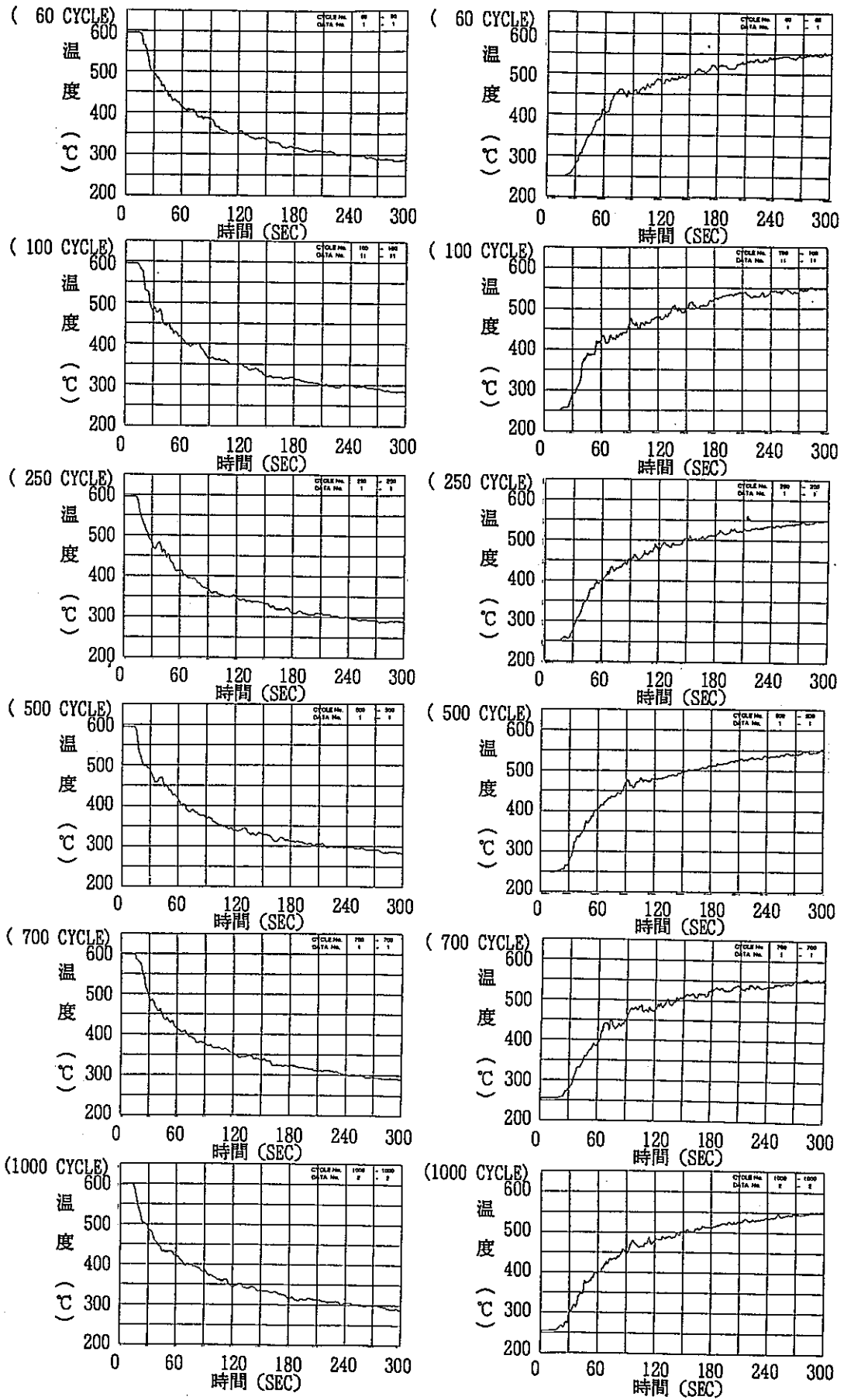


Fig. 4- 11 OTN-02A 各サイクル比較図

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

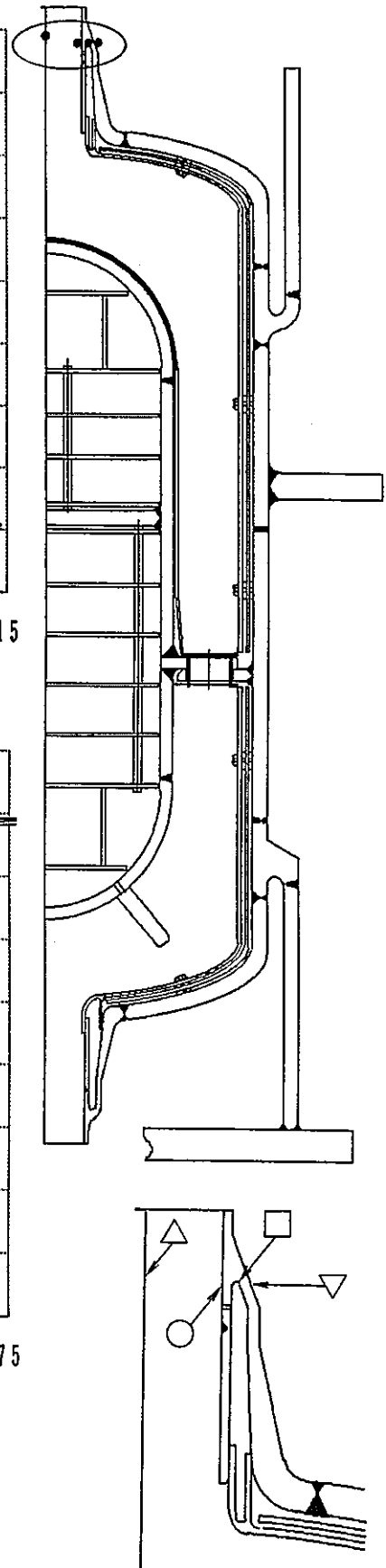
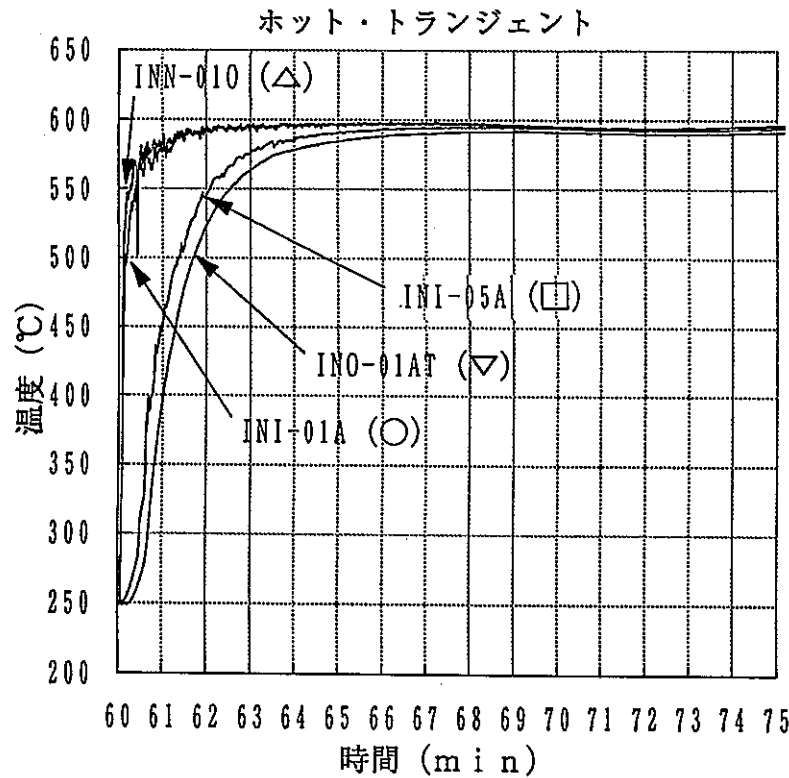
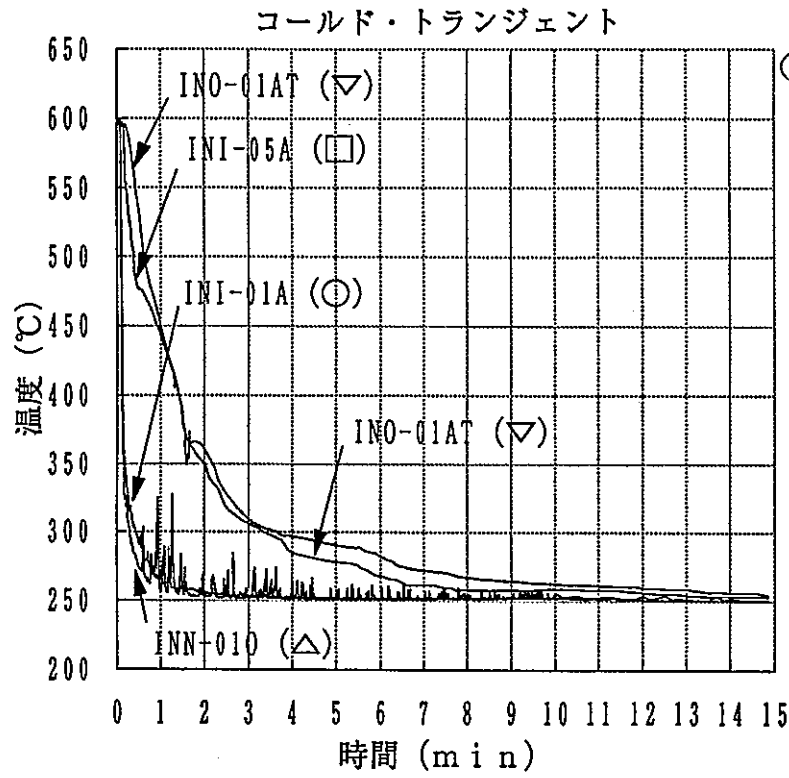


Fig. 4- 12 板厚方向温度分布 入口ノズル(1)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

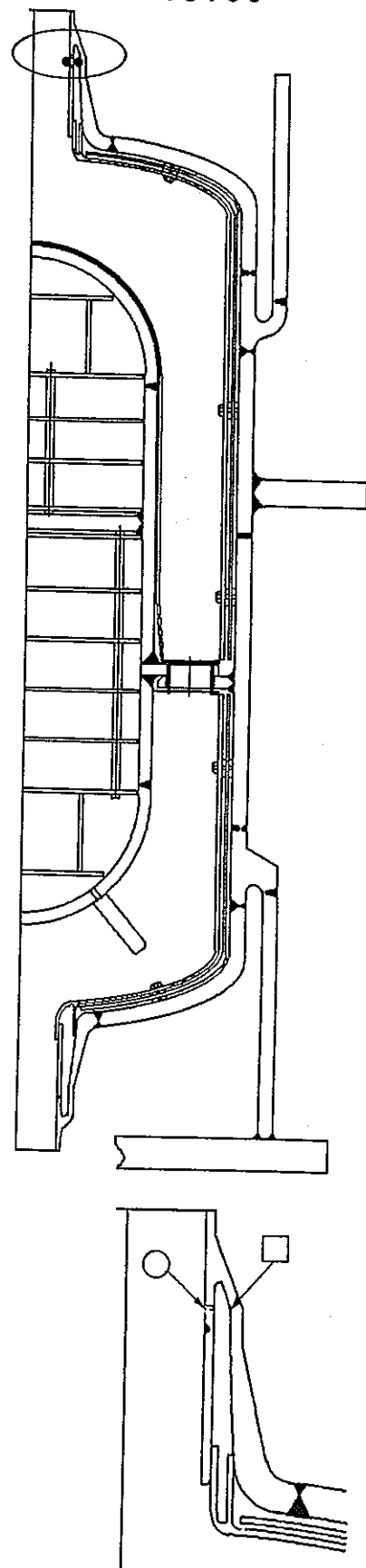
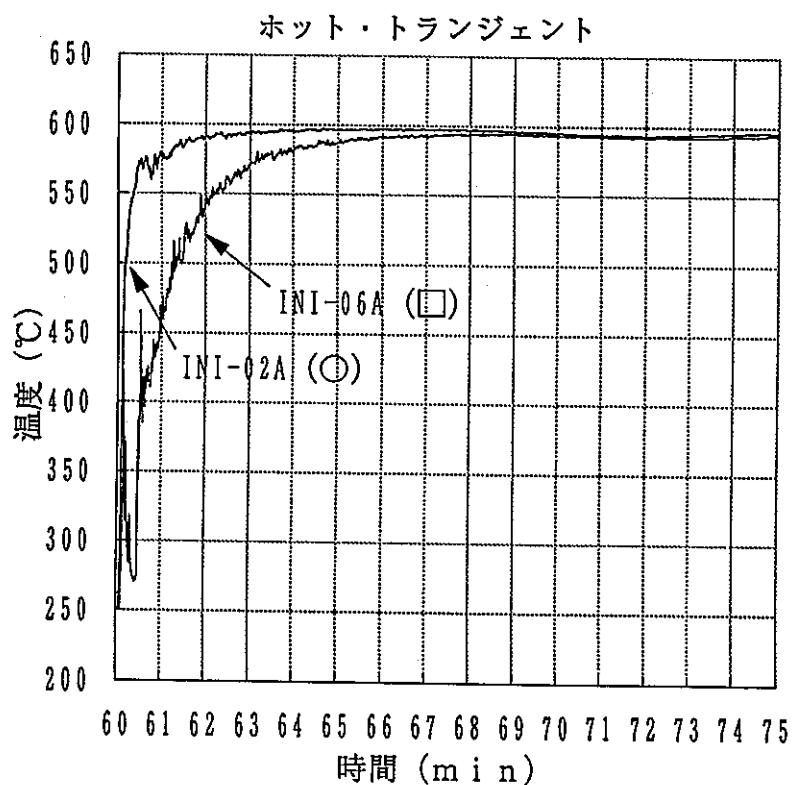
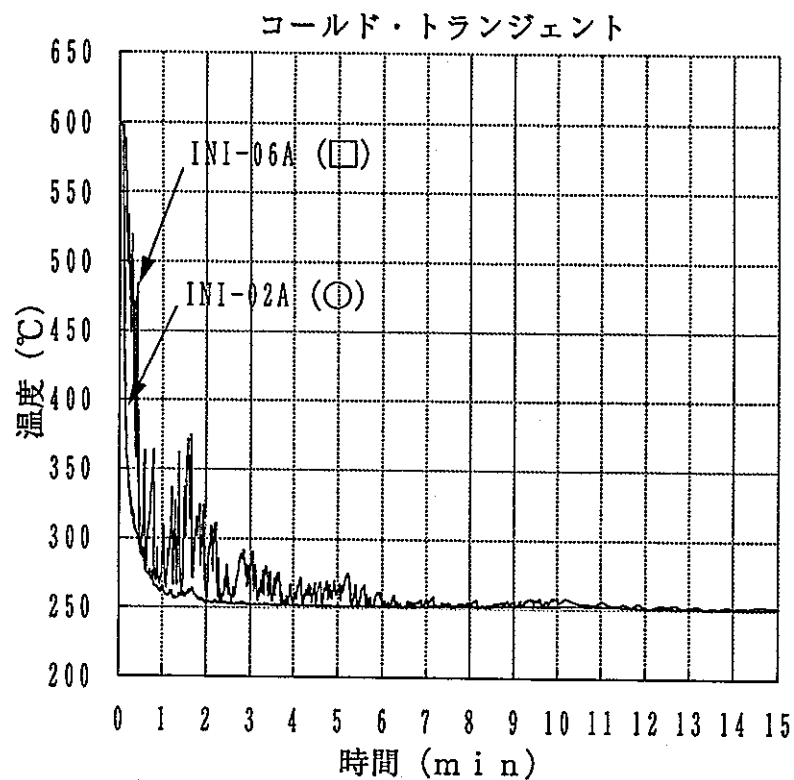


Fig. 4-13 板厚方向温度分布 入口ノズル(2)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

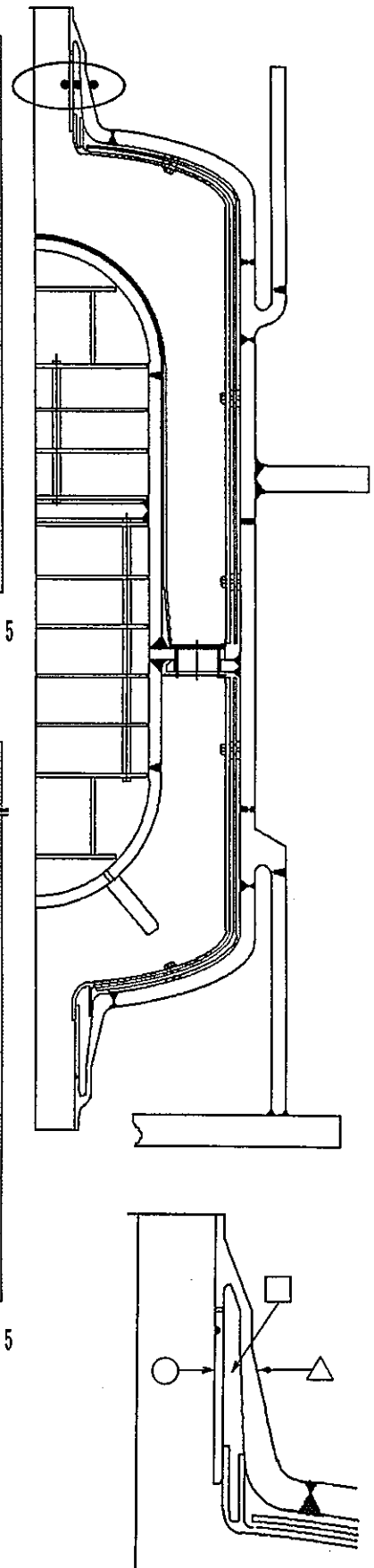
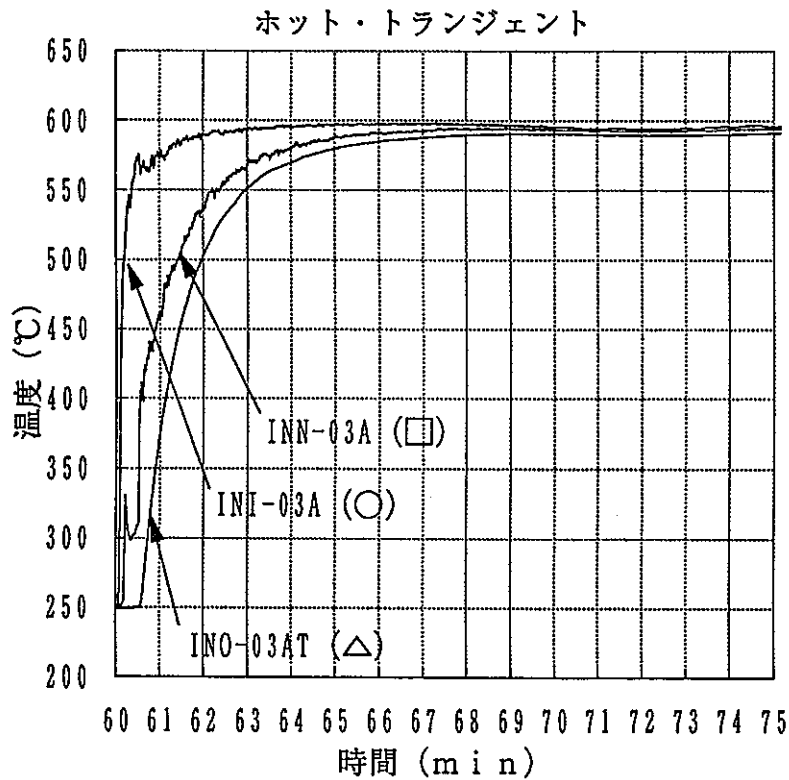
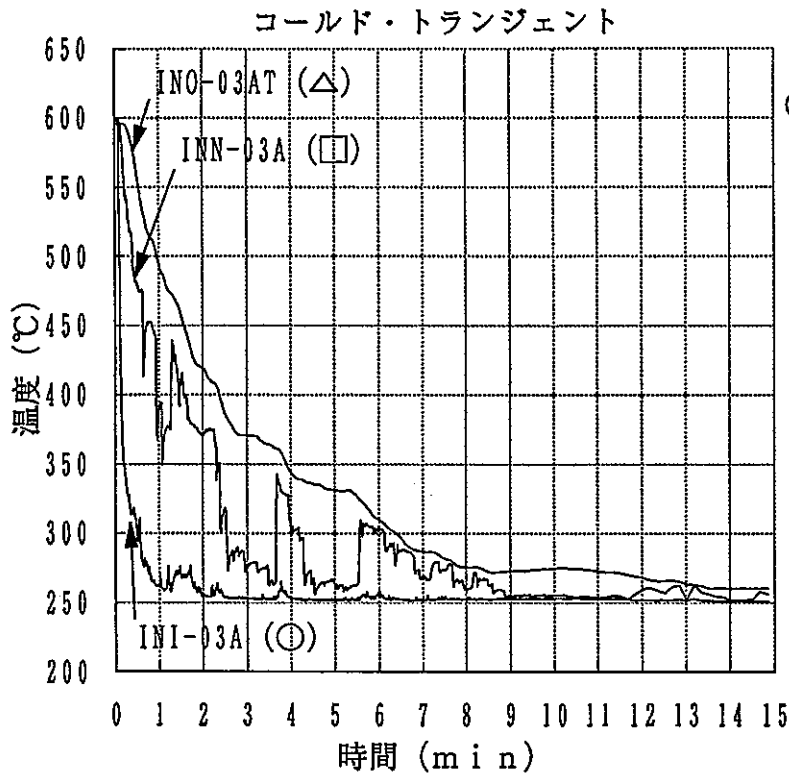


Fig. 4-14 板厚方向温度分布 入口ノズル(3)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

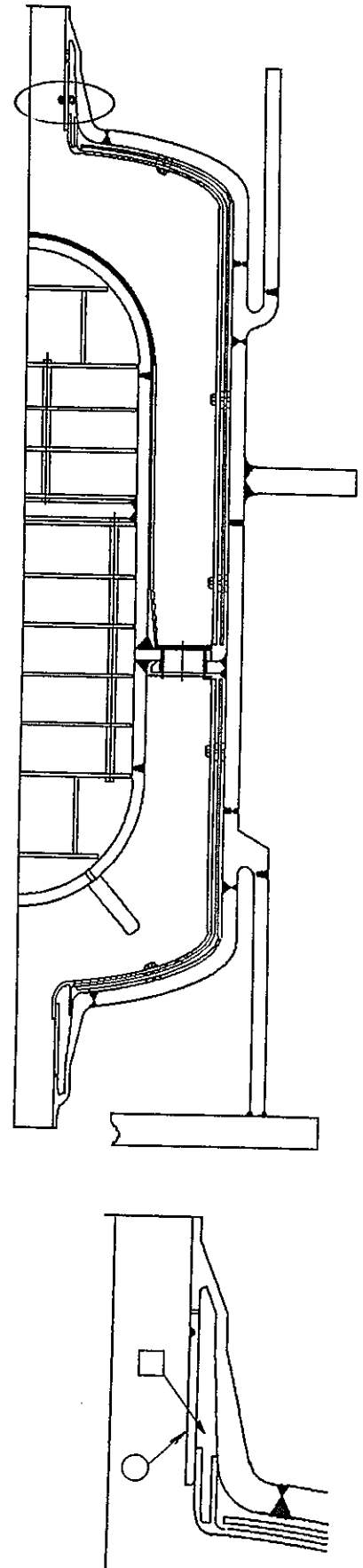
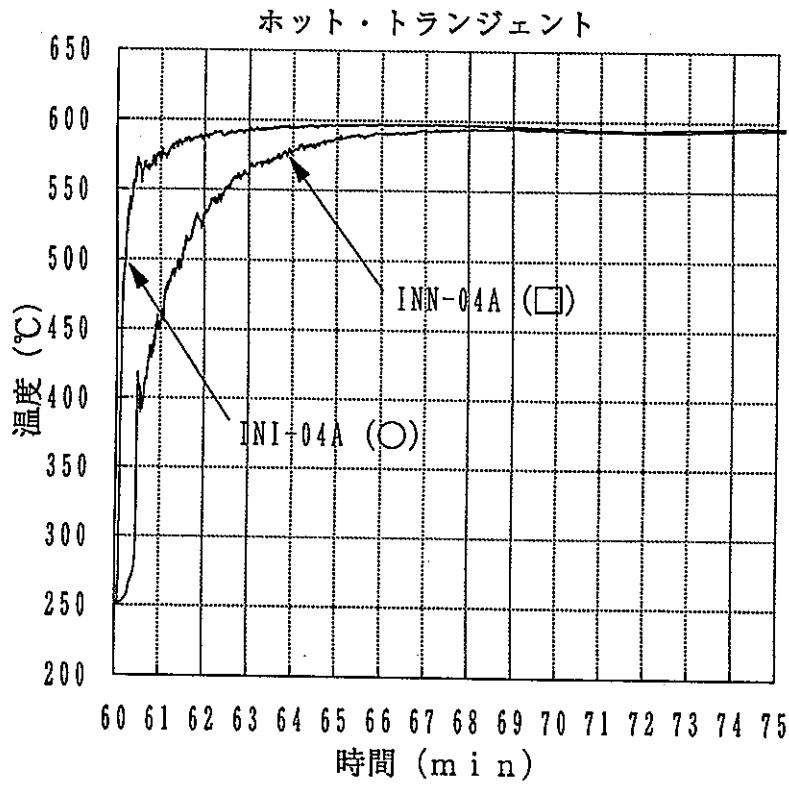
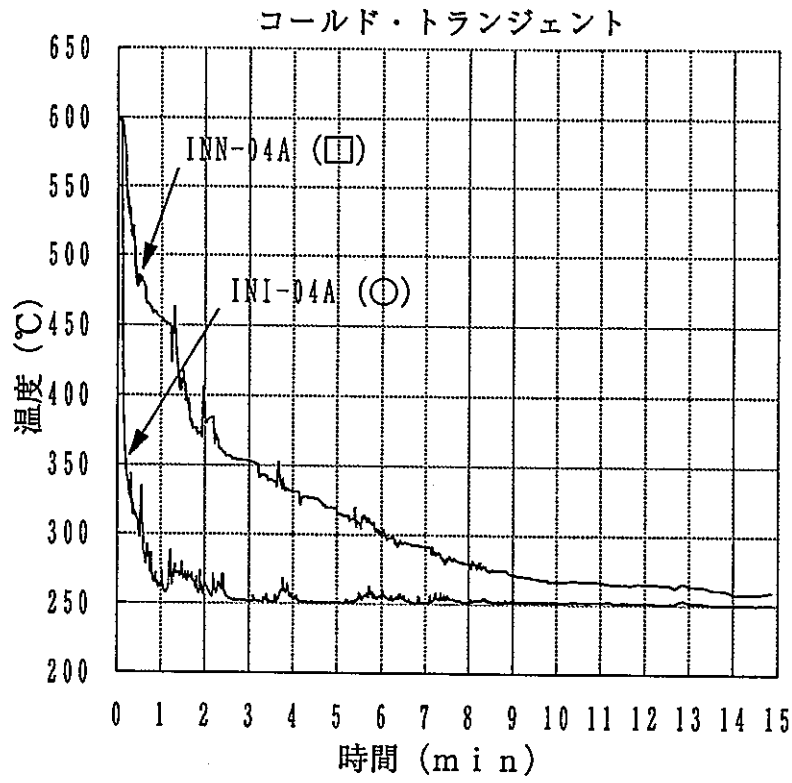


Fig. 4- 15 板厚方向温度分布 入口ノズル(4)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

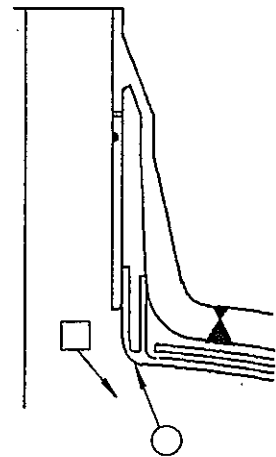
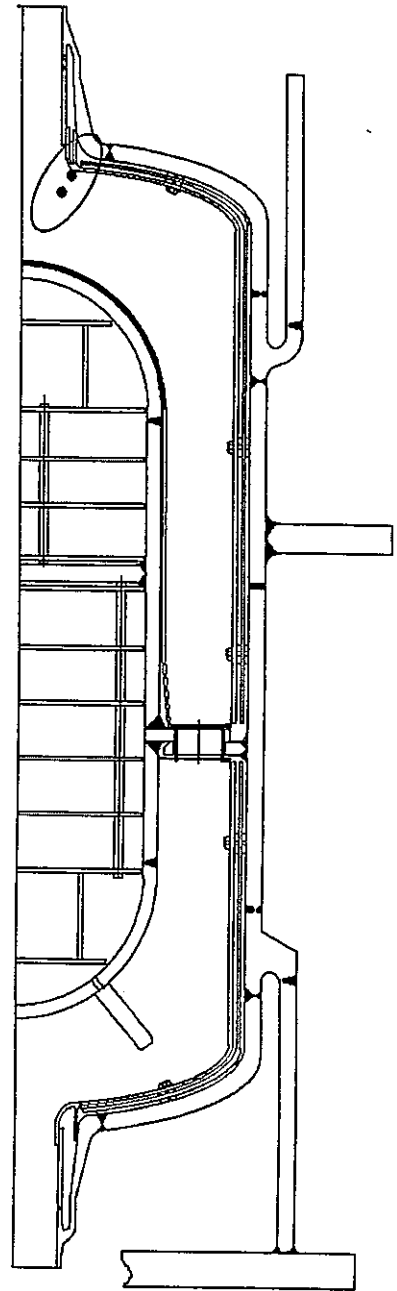
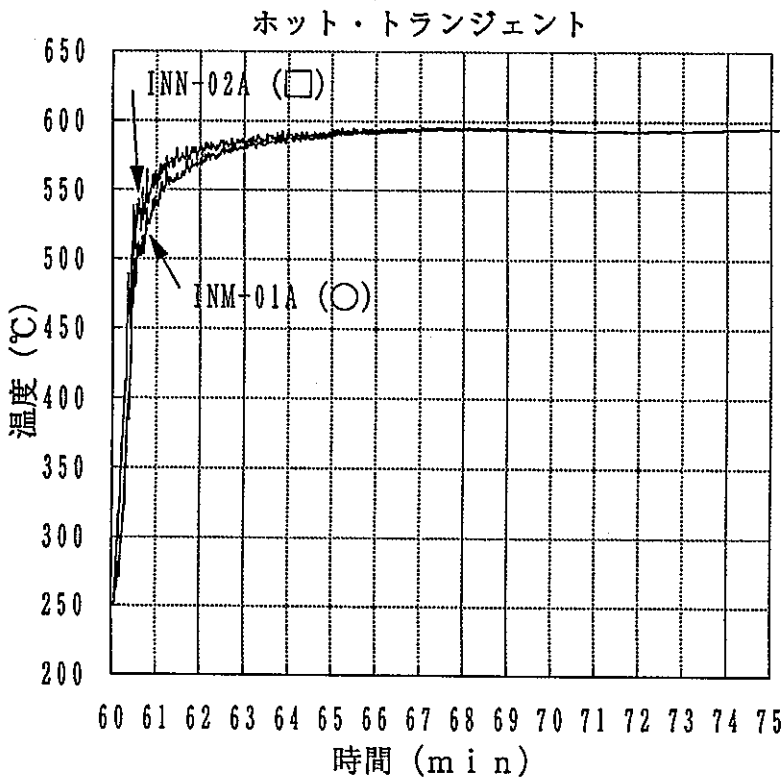
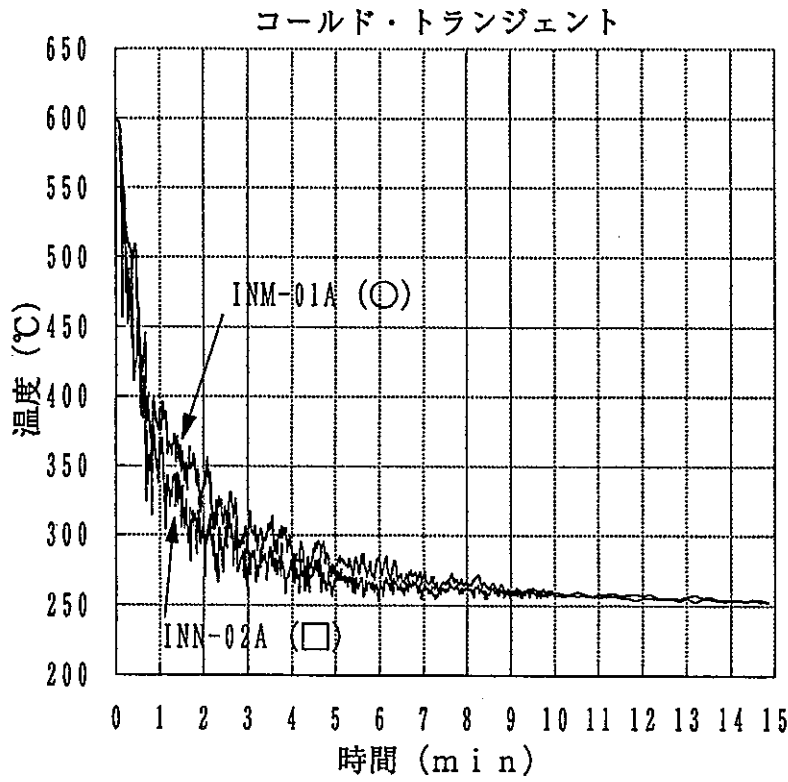


Fig. 4- 16 板厚方向温度分布 入口ノズル(5)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

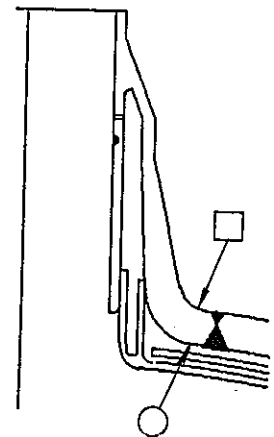
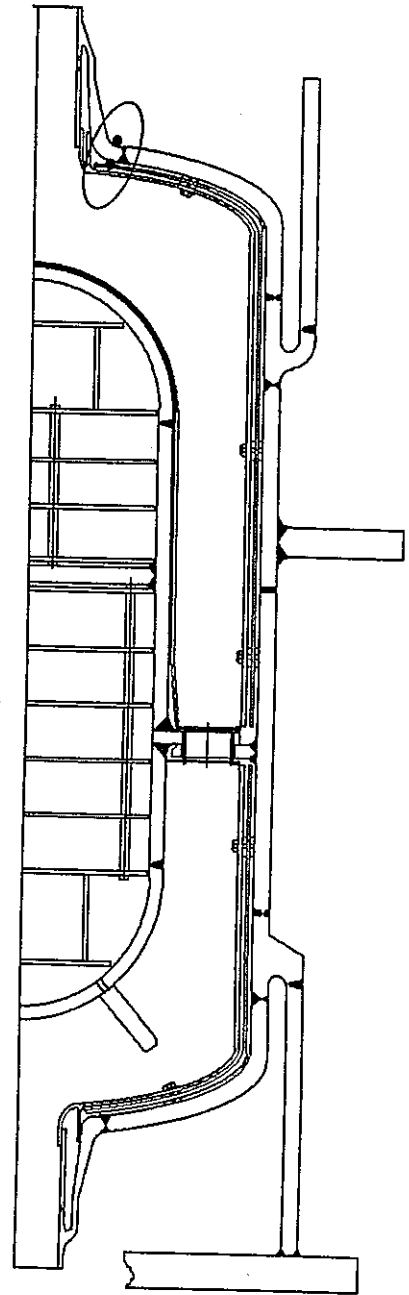
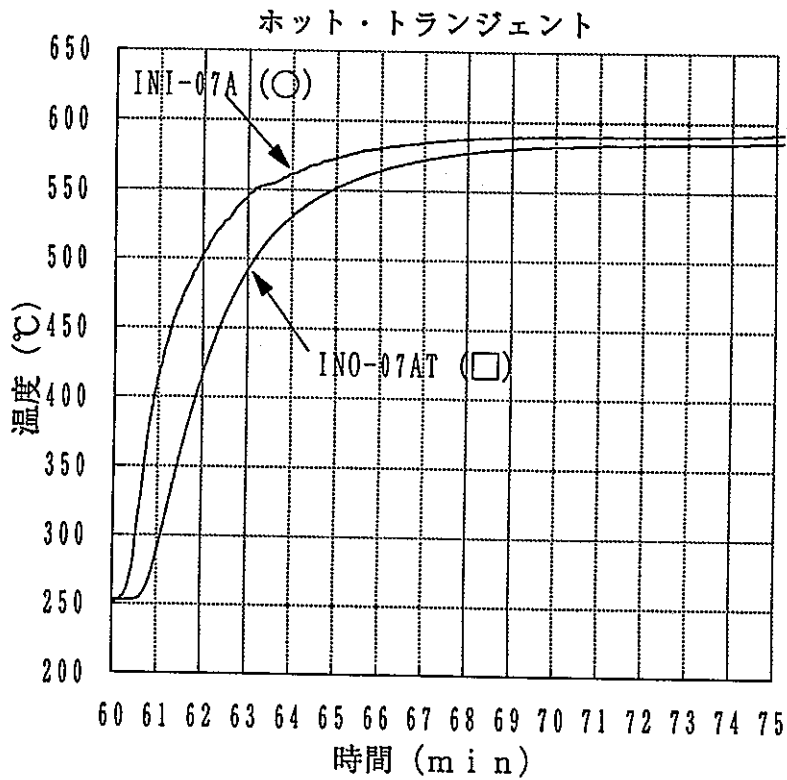
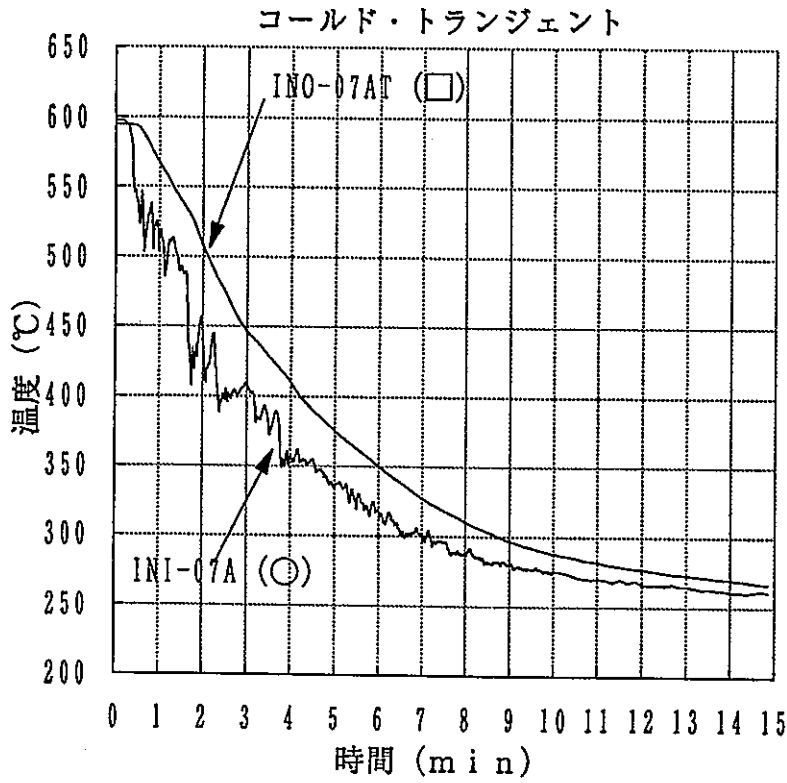


Fig. 4-17 板厚方向温度分布 入口ノズル(6)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

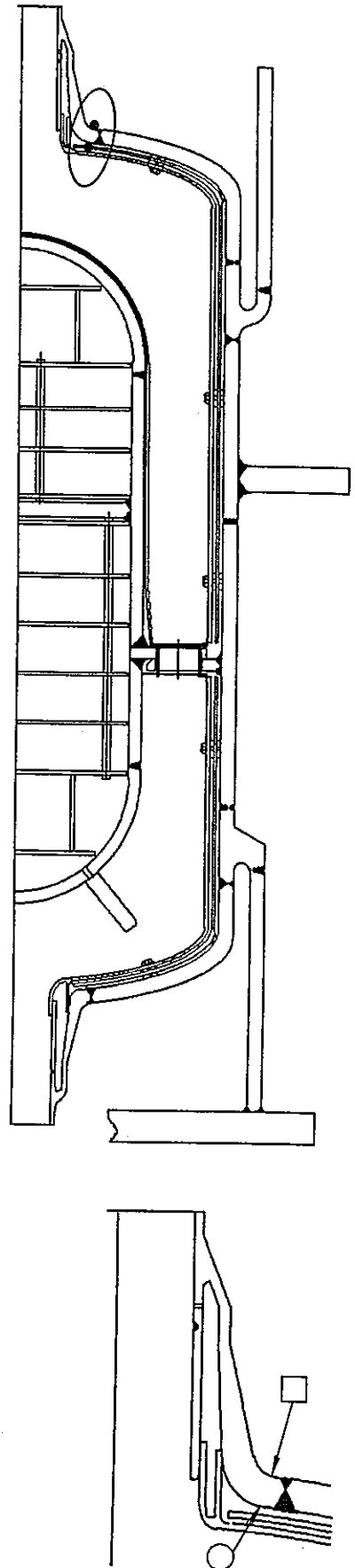
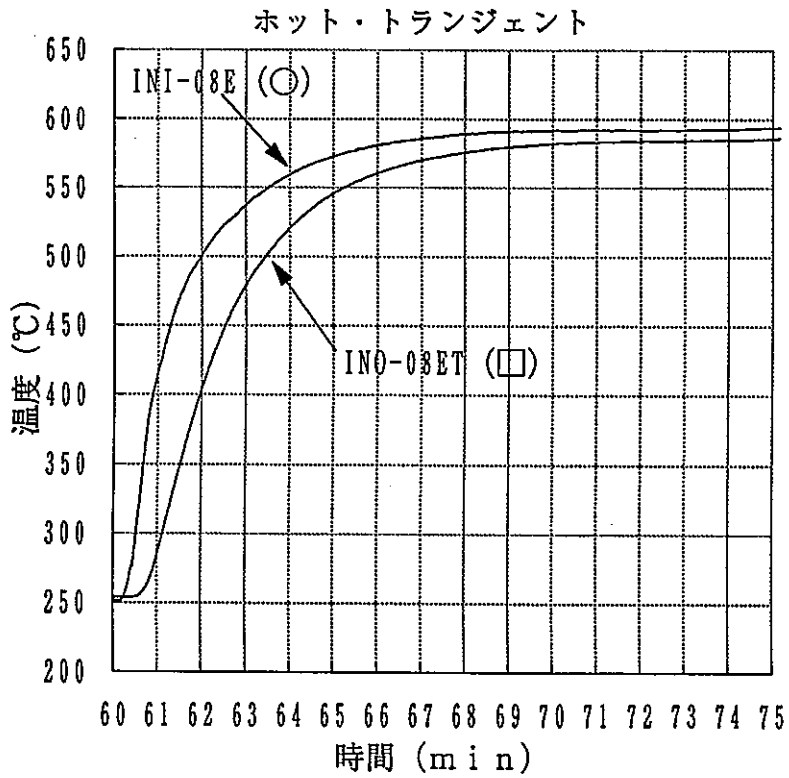
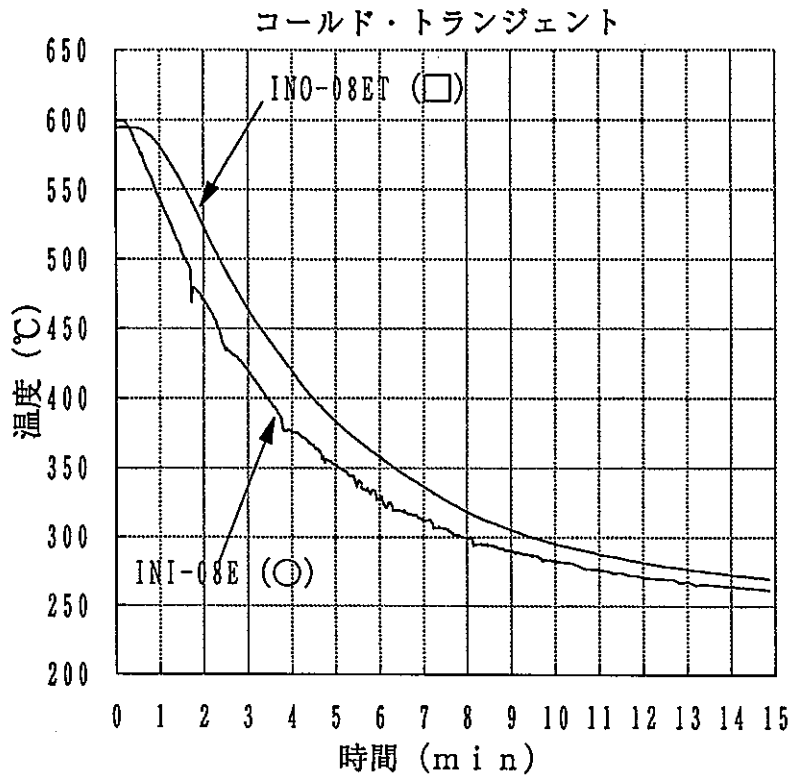


Fig. 4- 18 板厚方向温度分布 入口ノズル(7)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

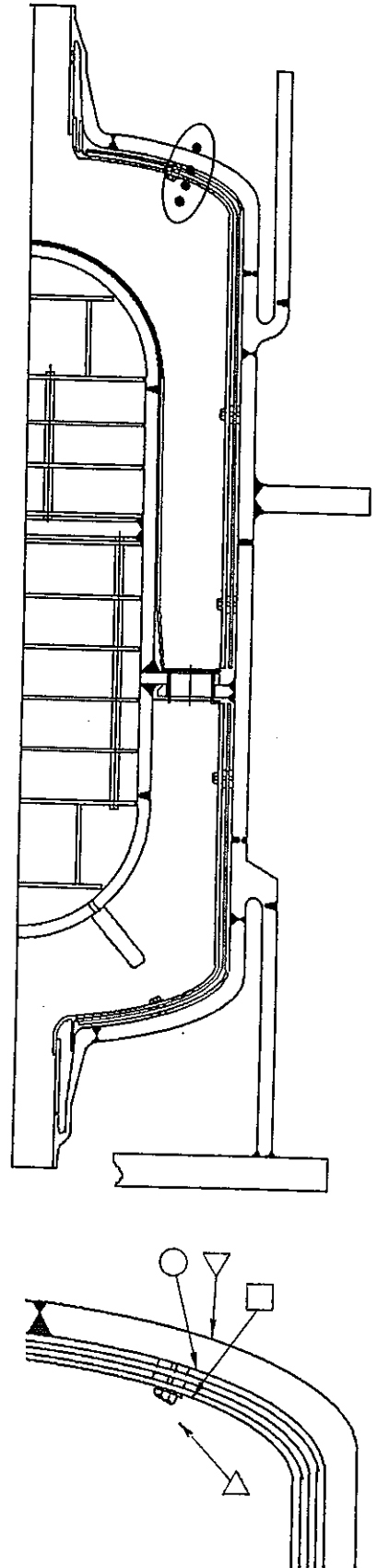
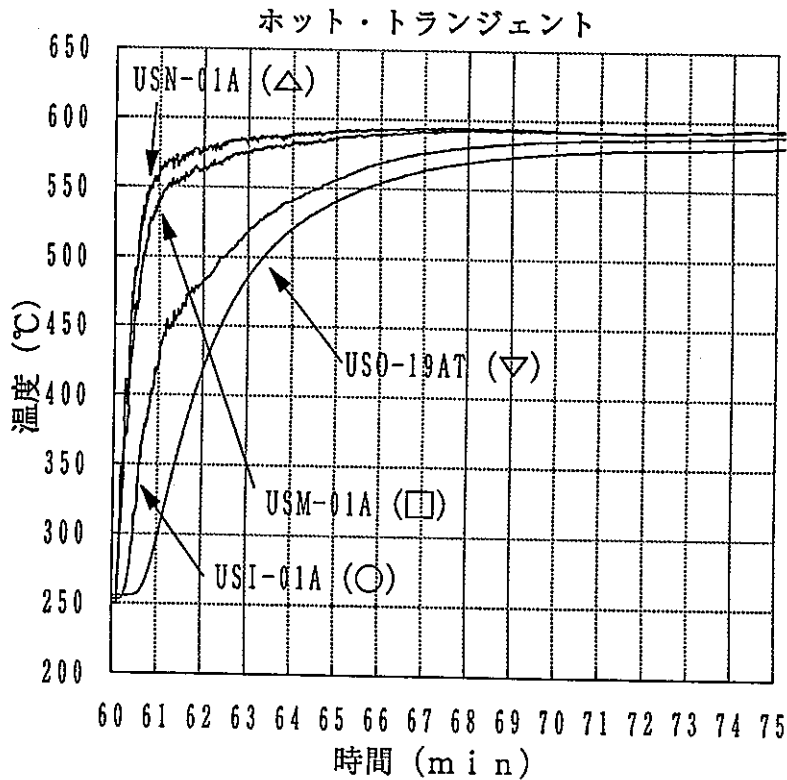
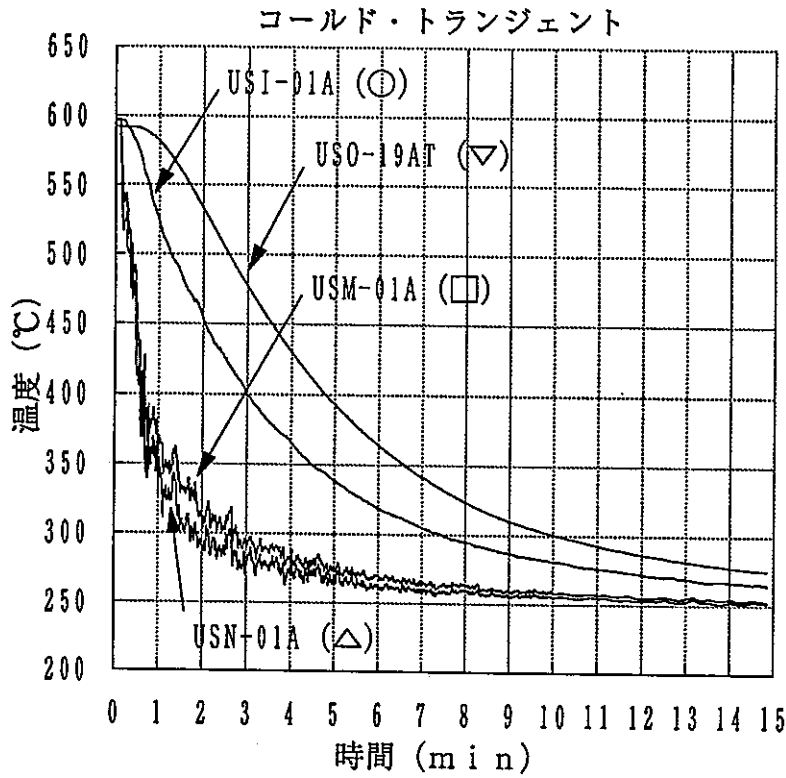


Fig. 4- 19 板厚方向温度分布 上部鏡板

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

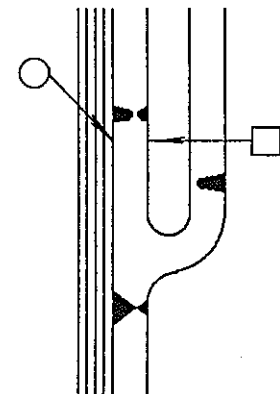
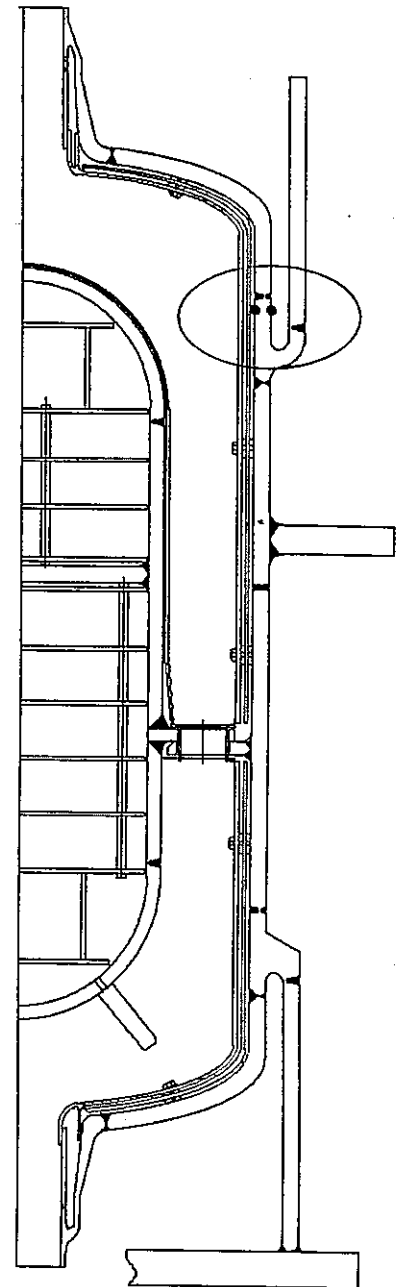
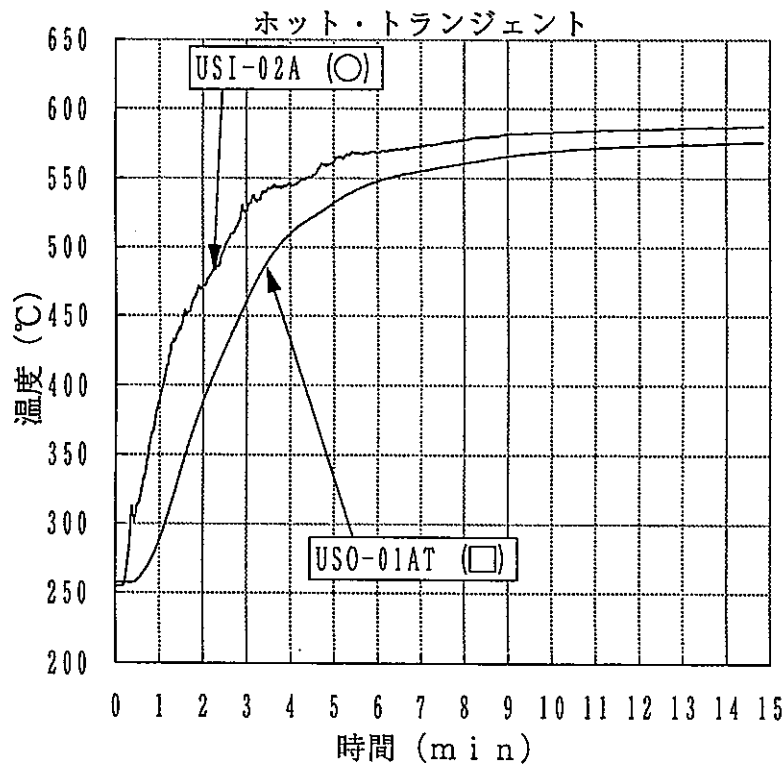
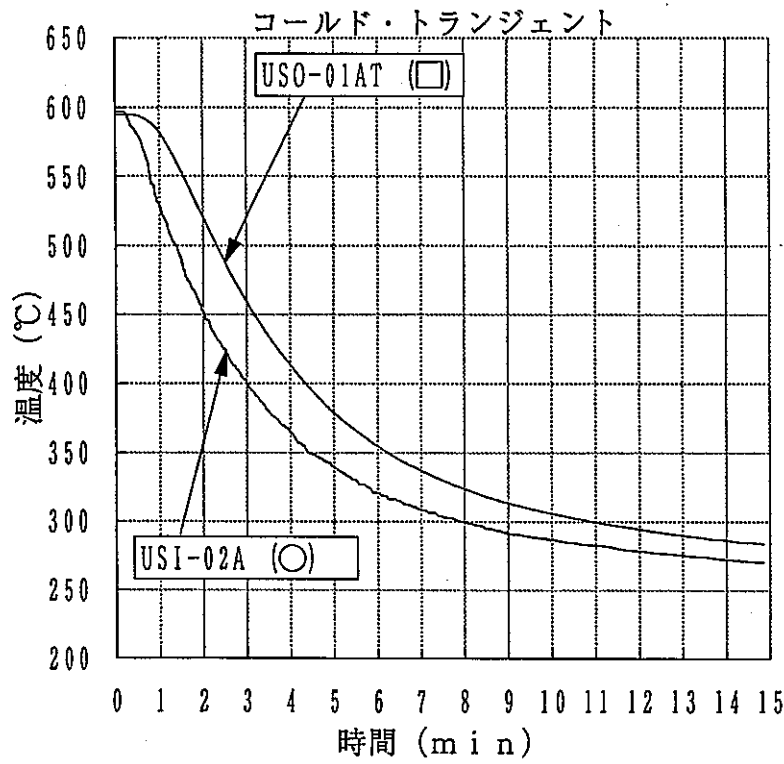


Fig. 4- 20 板厚方向温度分布 上部Yピース(1)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

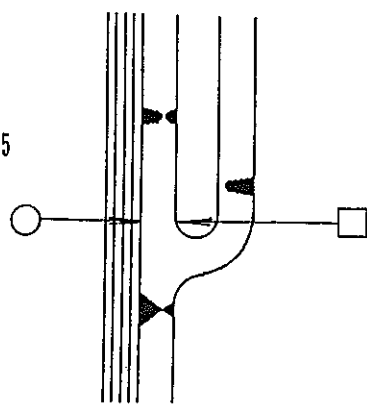
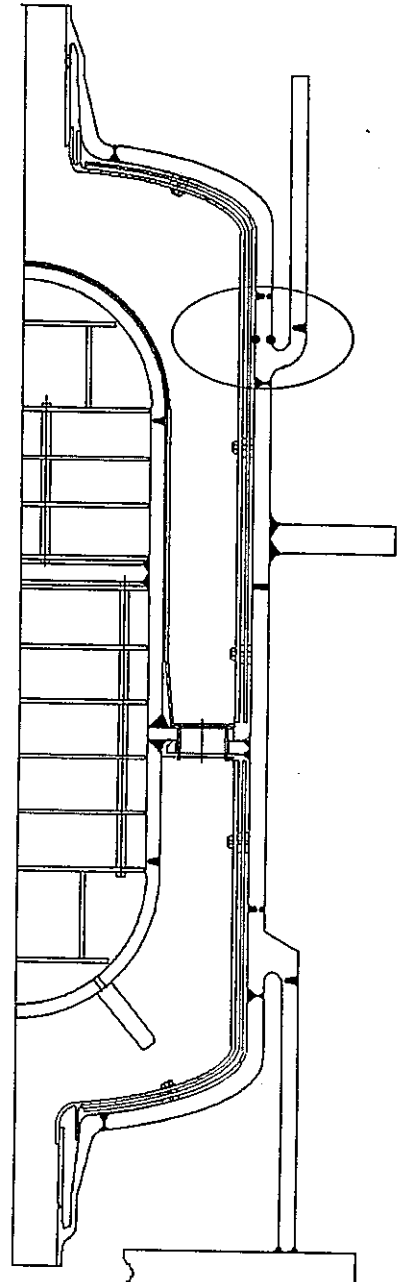
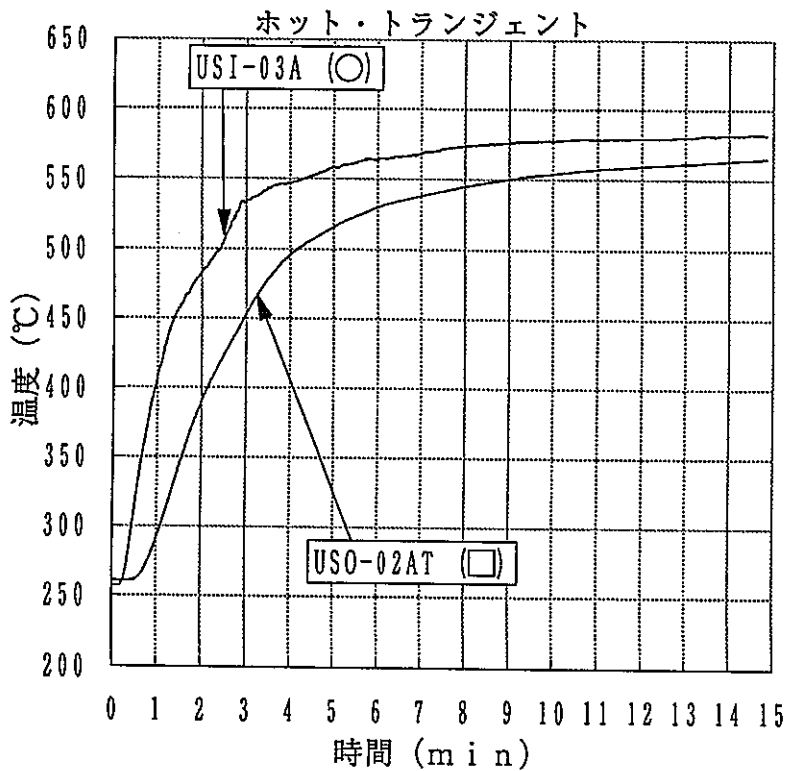
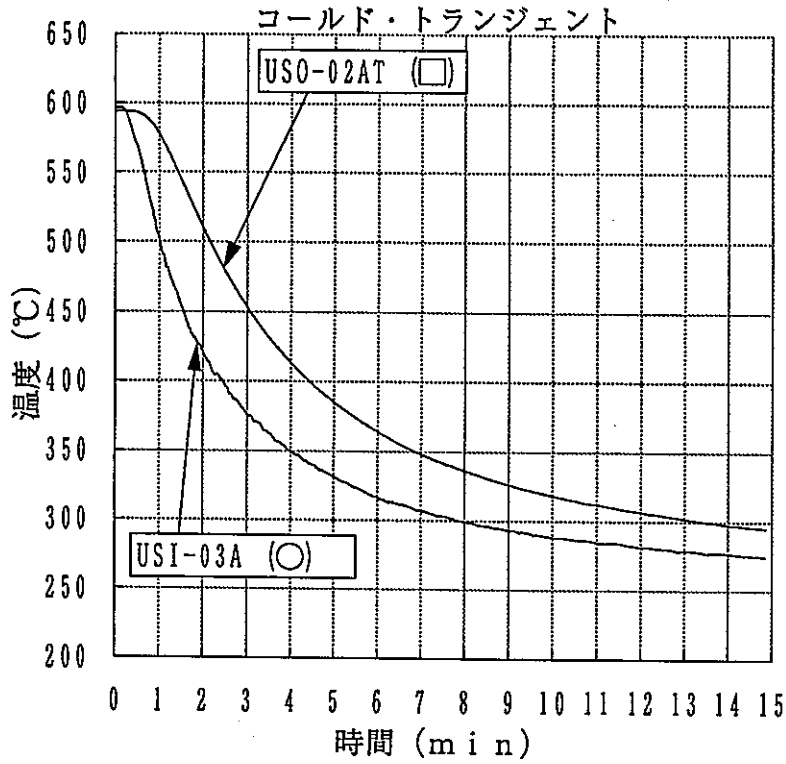


Fig. 4- 21 板厚方向温度分布 上部Yピース(2)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

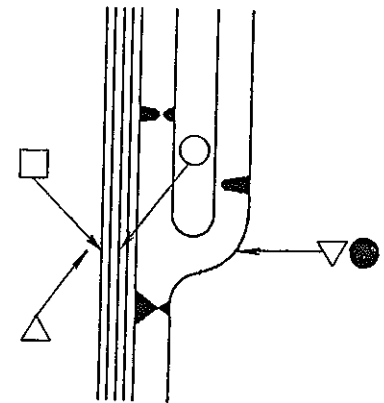
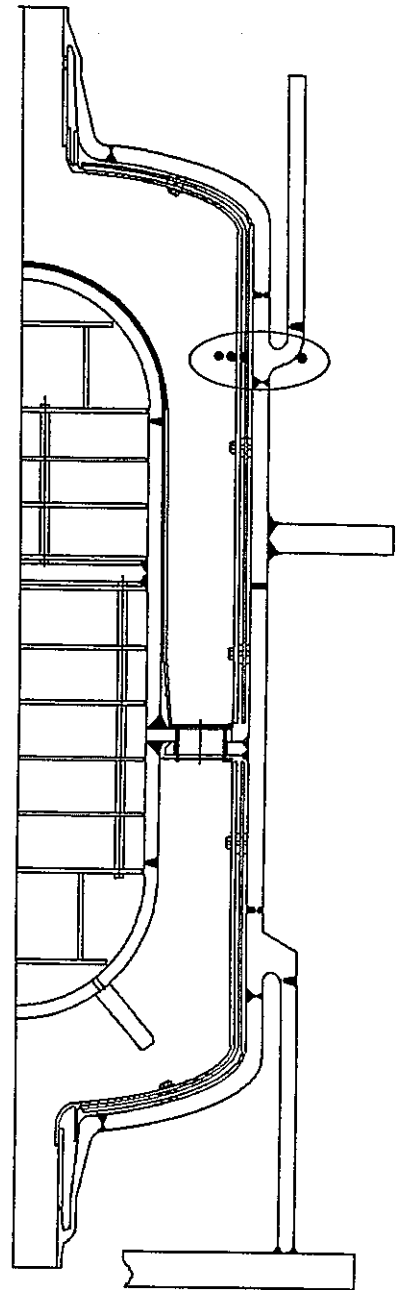
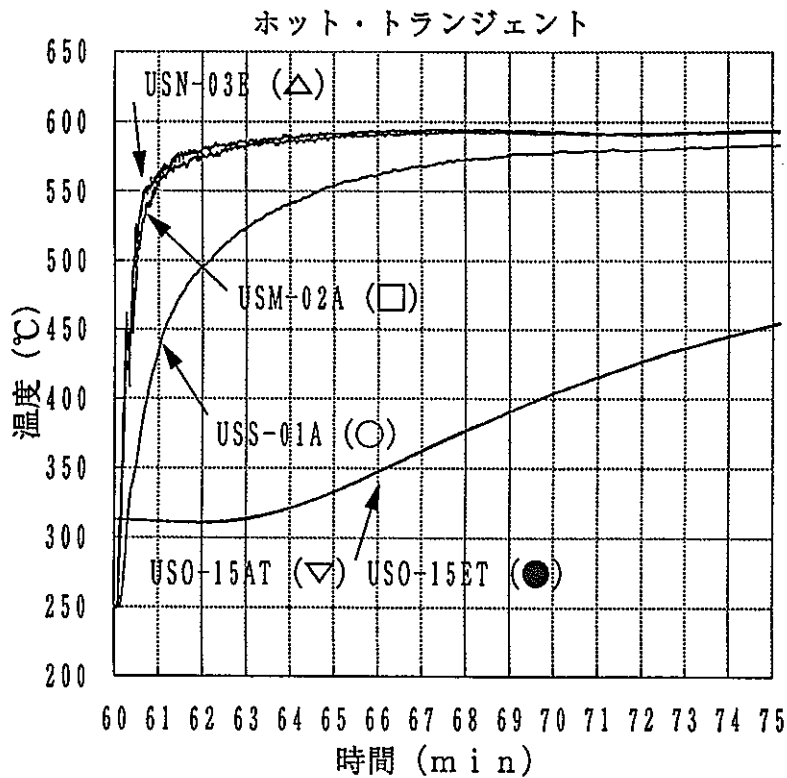
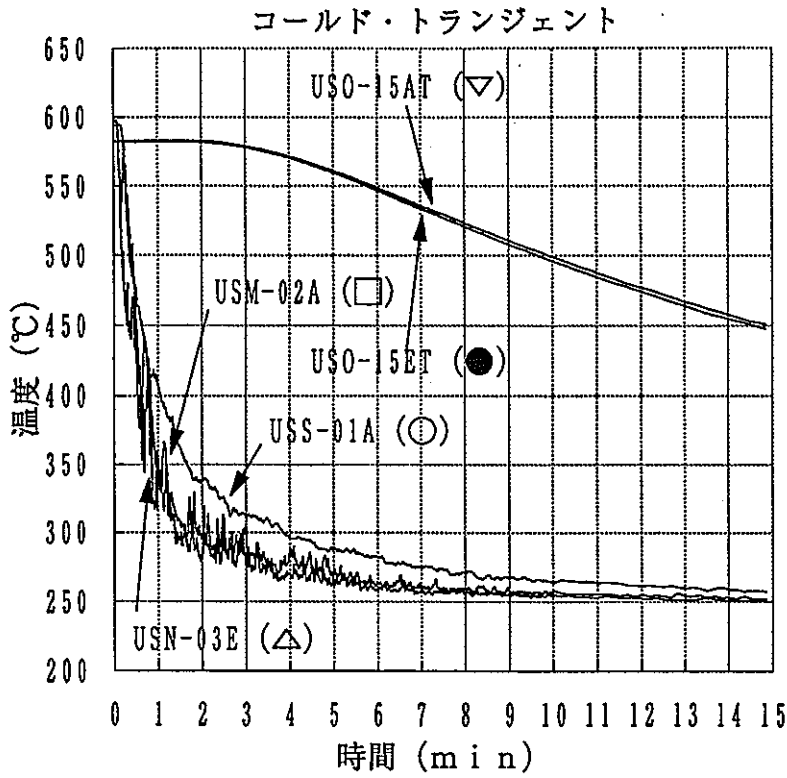


Fig. 4-22 板厚方向温度分布 上部Yピース(3)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

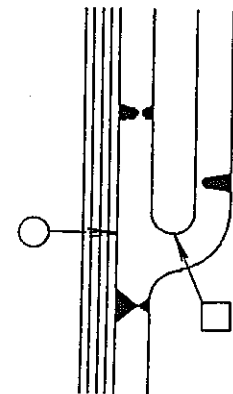
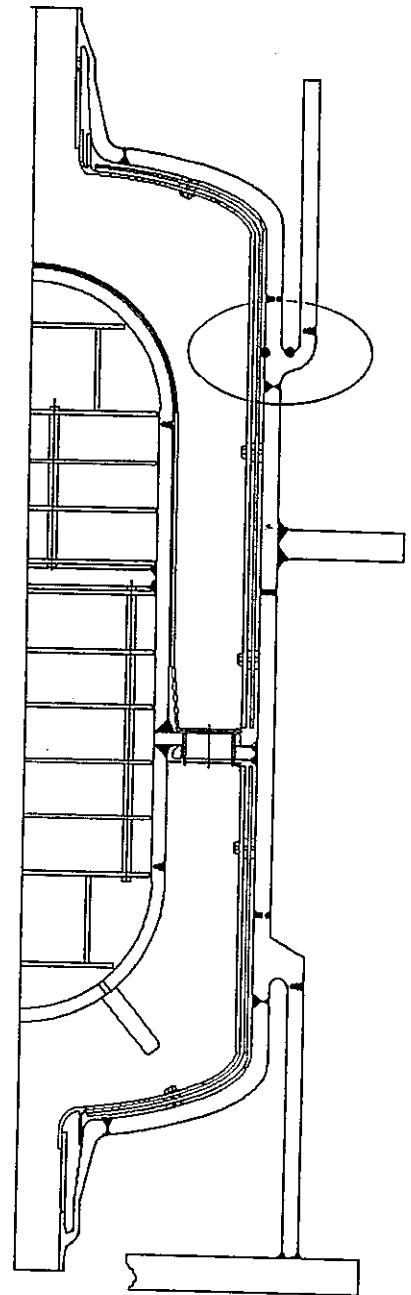
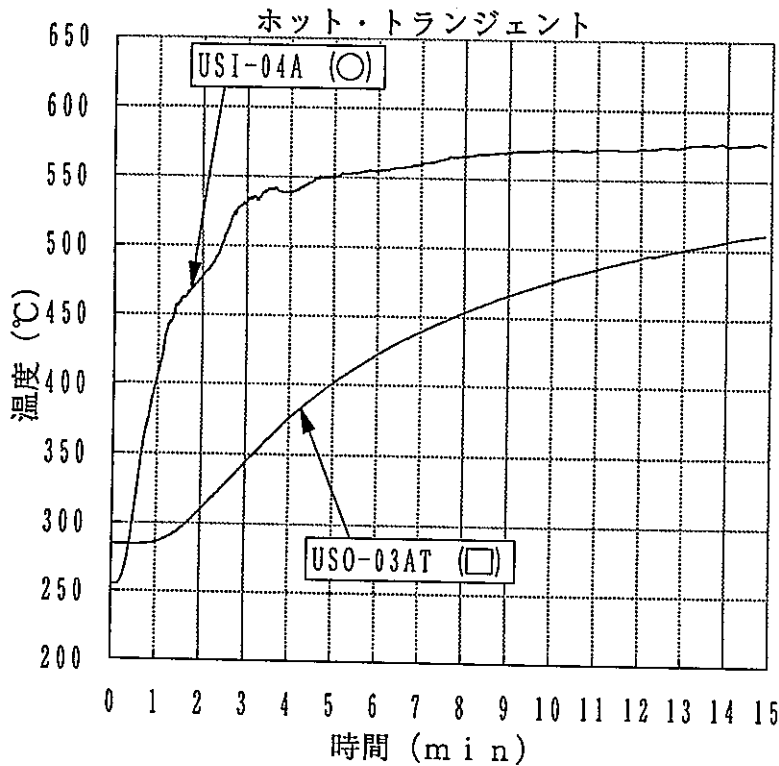
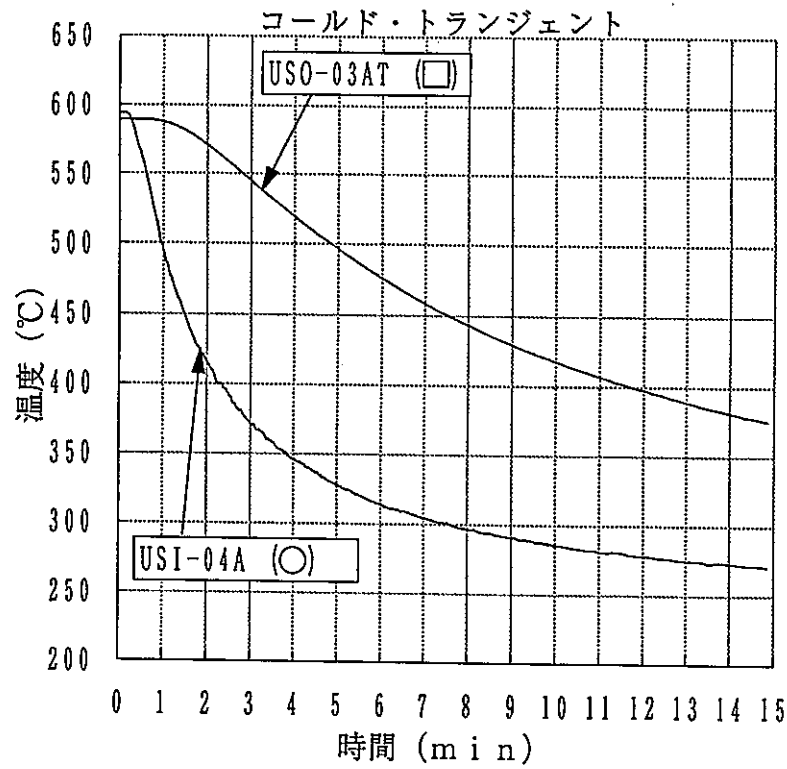


Fig. 4- 23 板厚方向温度分布 上部Yピース(4)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

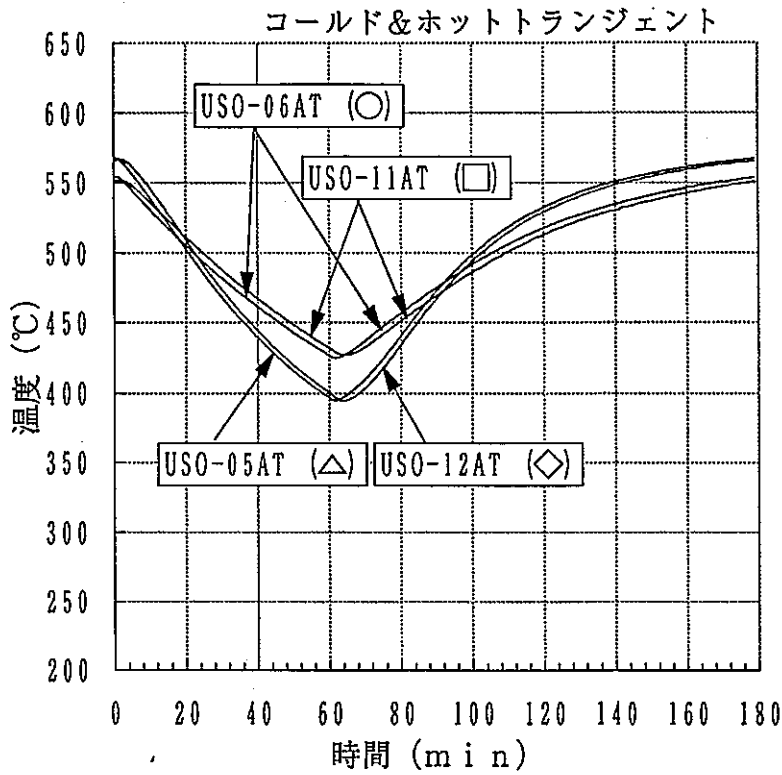


Fig. 4-24 板厚方向温度分布 上部Yピース(5)

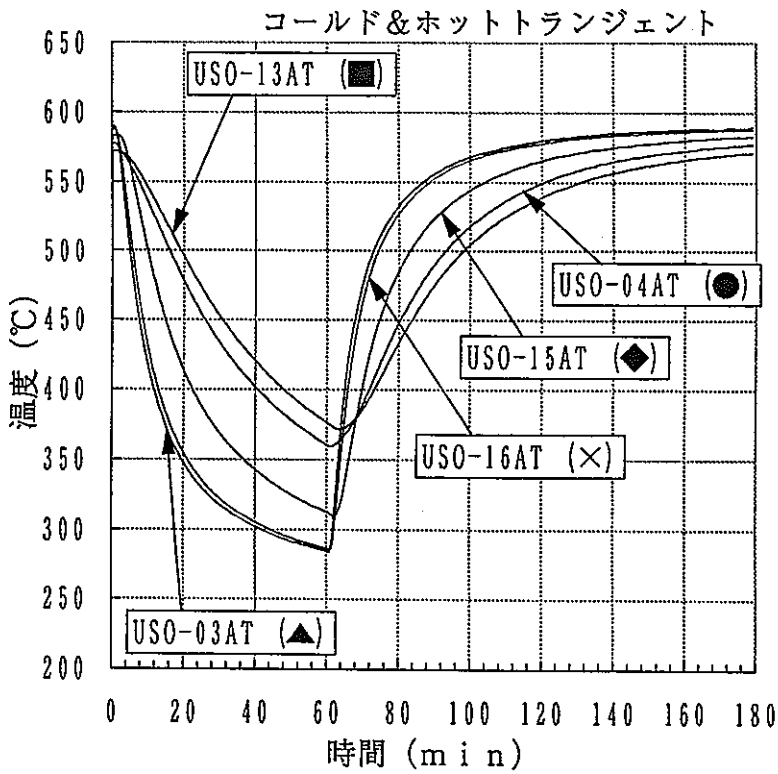
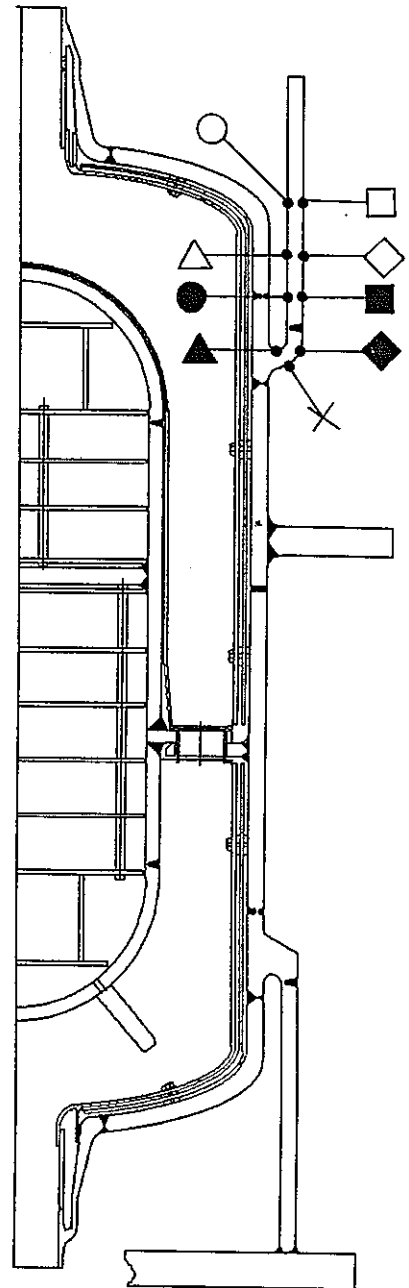


Fig. 4-25 板厚方向温度分布 上部Yピース(6)



サイクル数=500cycle
 時 刻=平成4年5月10日
 18:00~

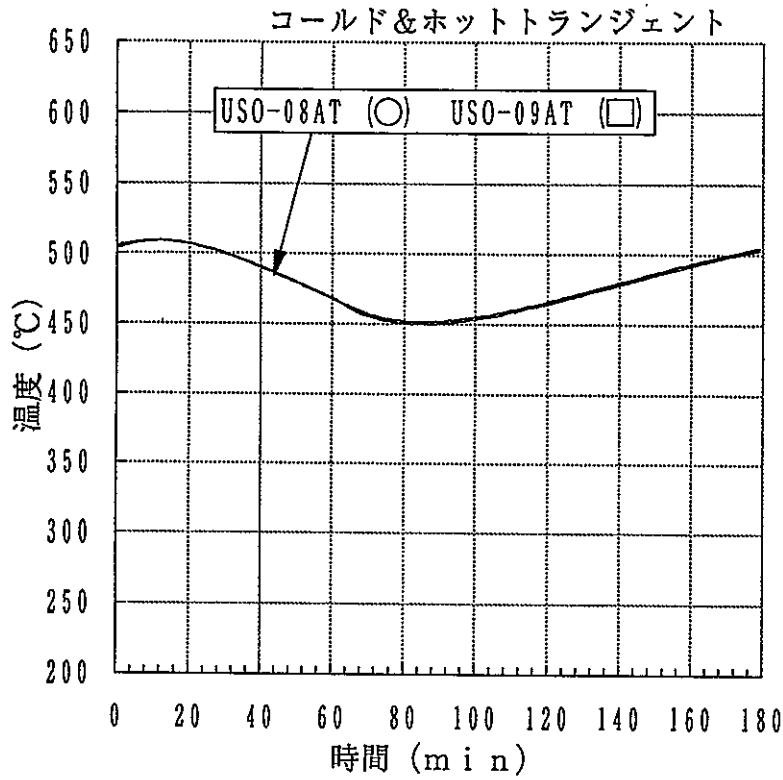


Fig. 4- 26 板厚方向温度分布 上部Yピース (7)

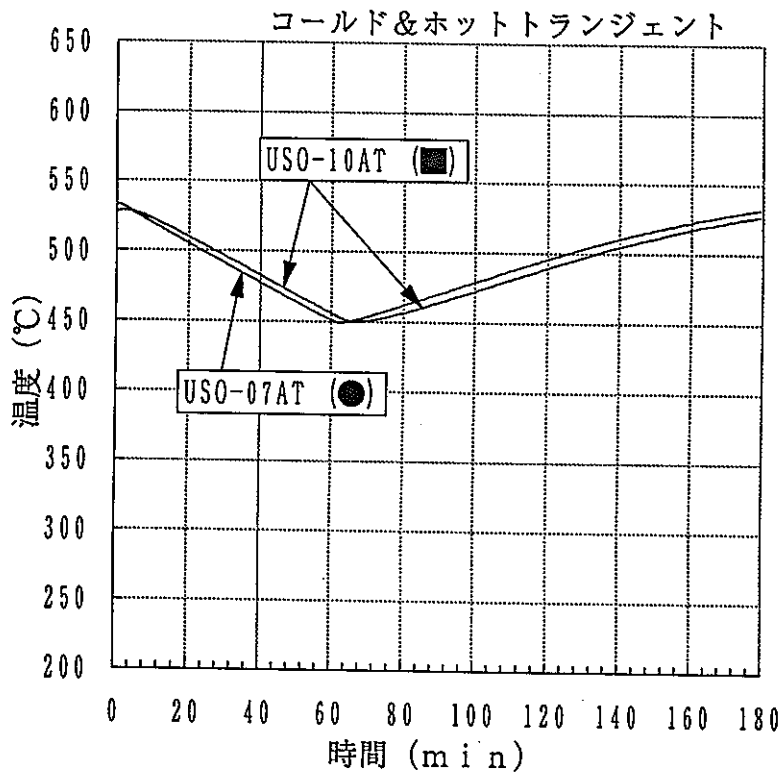
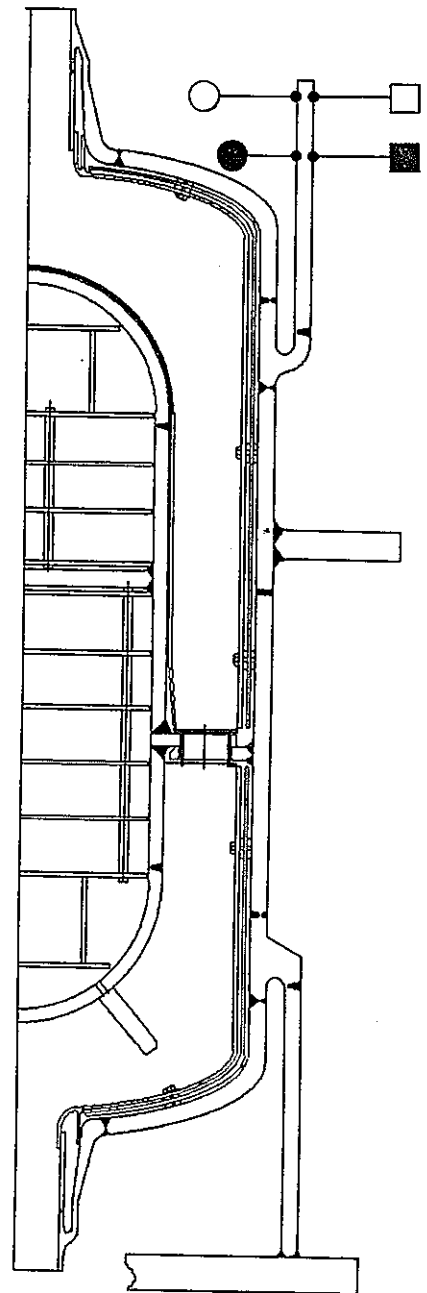


Fig. 4- 27 板厚方向温度分布 上部Yピース (8)



サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

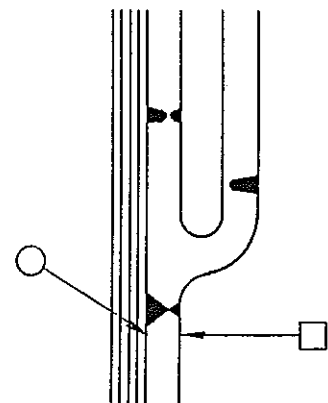
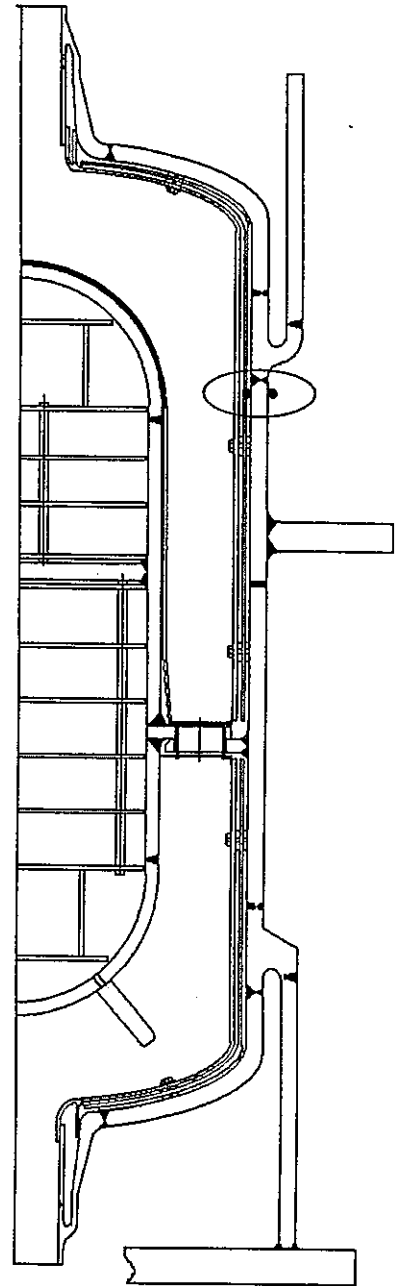
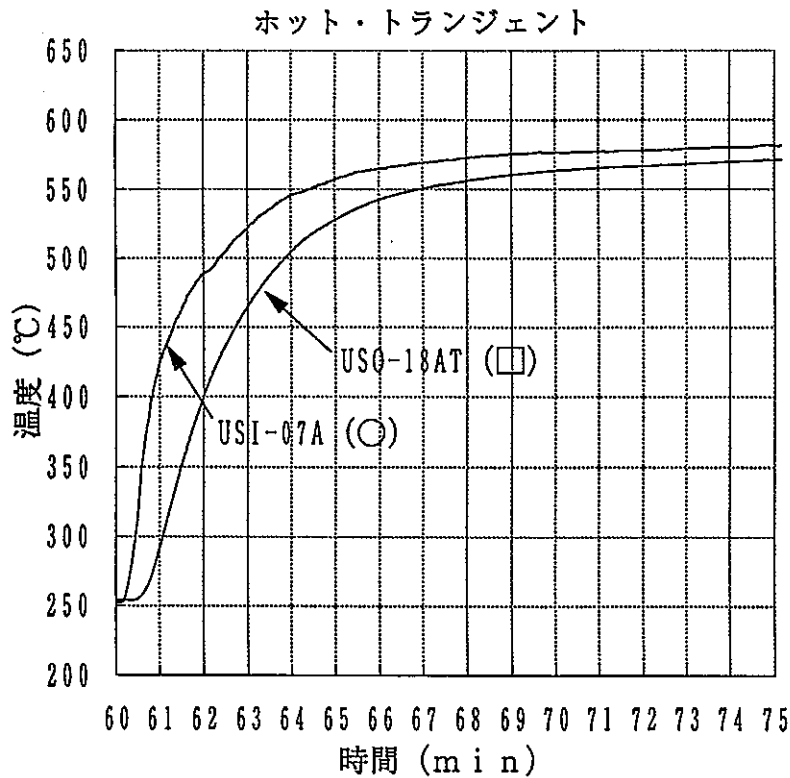
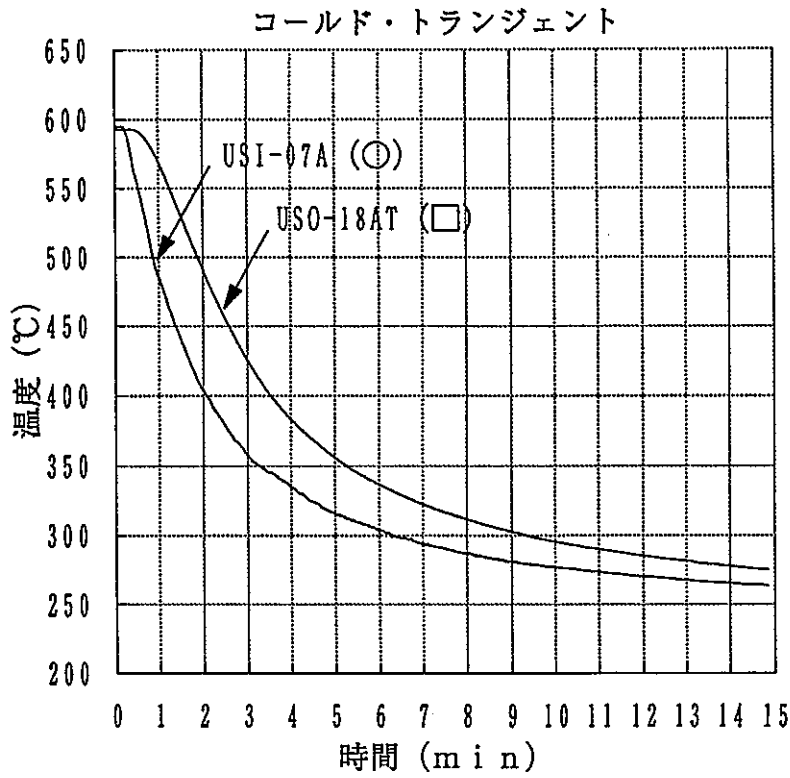


Fig. 4- 28 板厚方向温度分布 上部胴(1)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

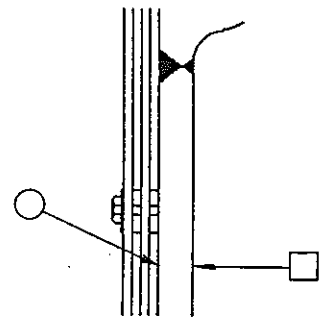
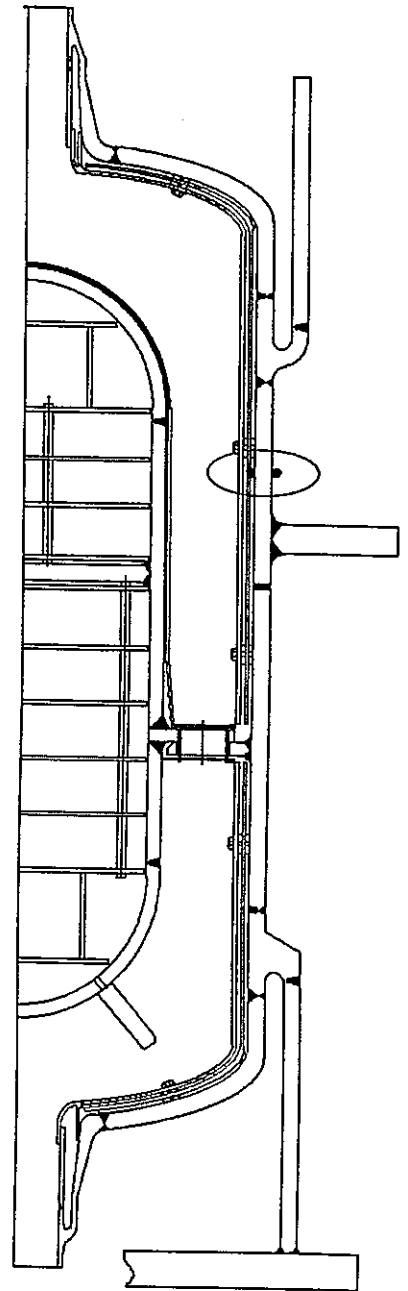
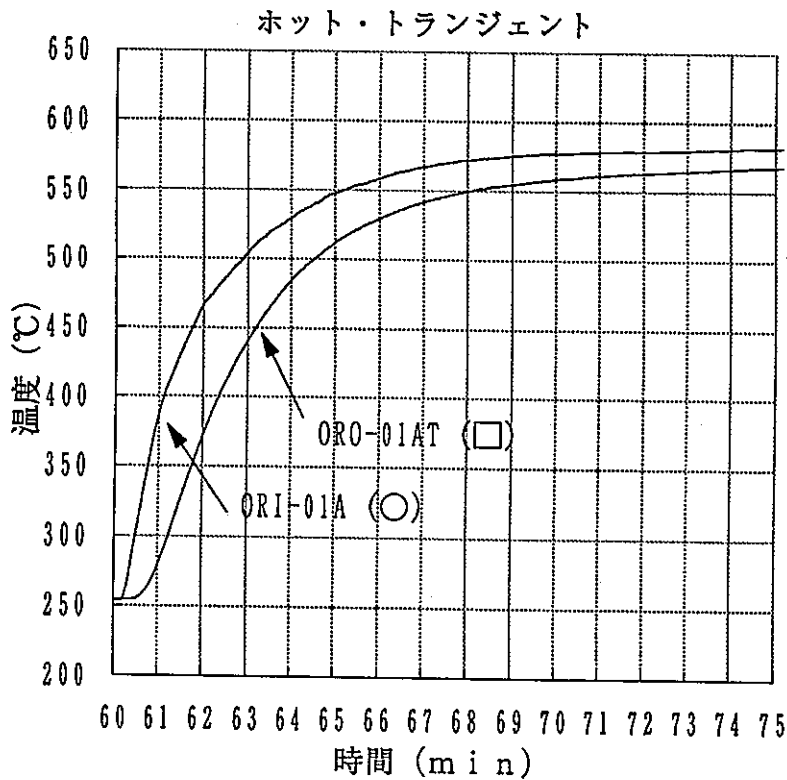
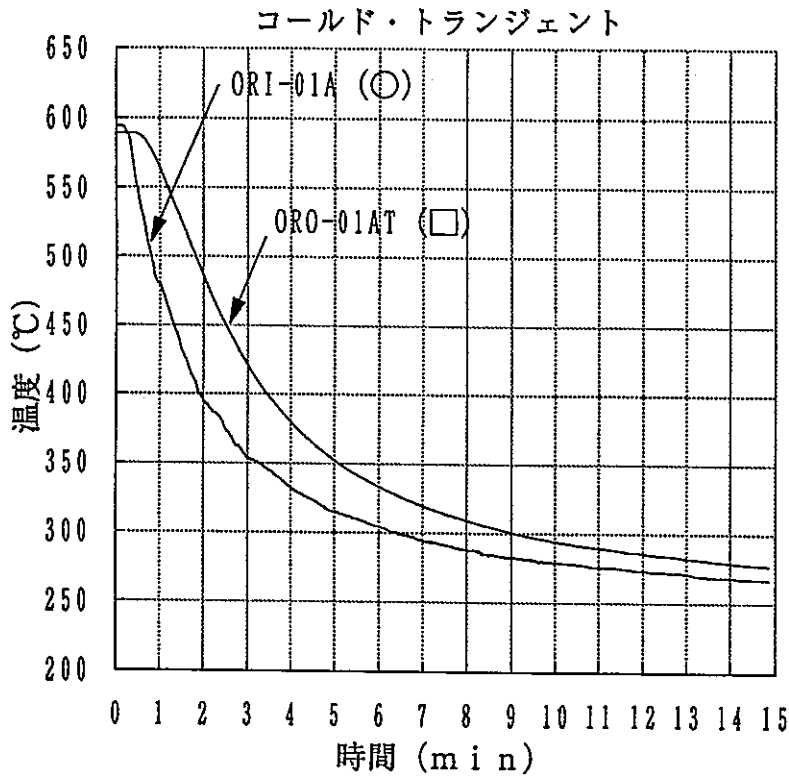


Fig. 4- 29 板厚方向温度分布 上部胴(2)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

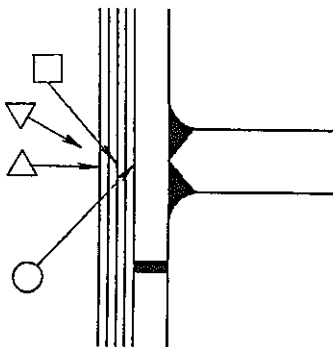
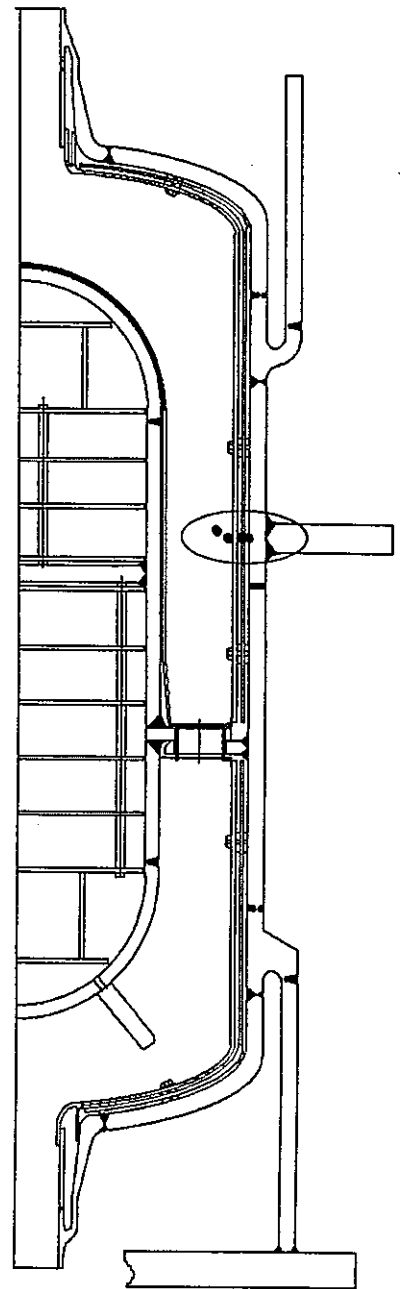
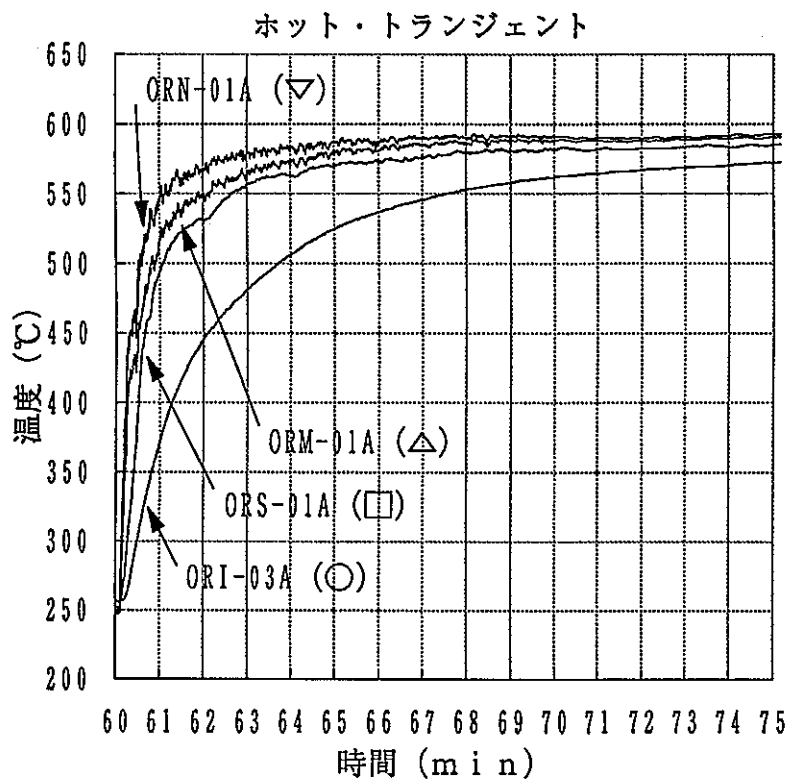
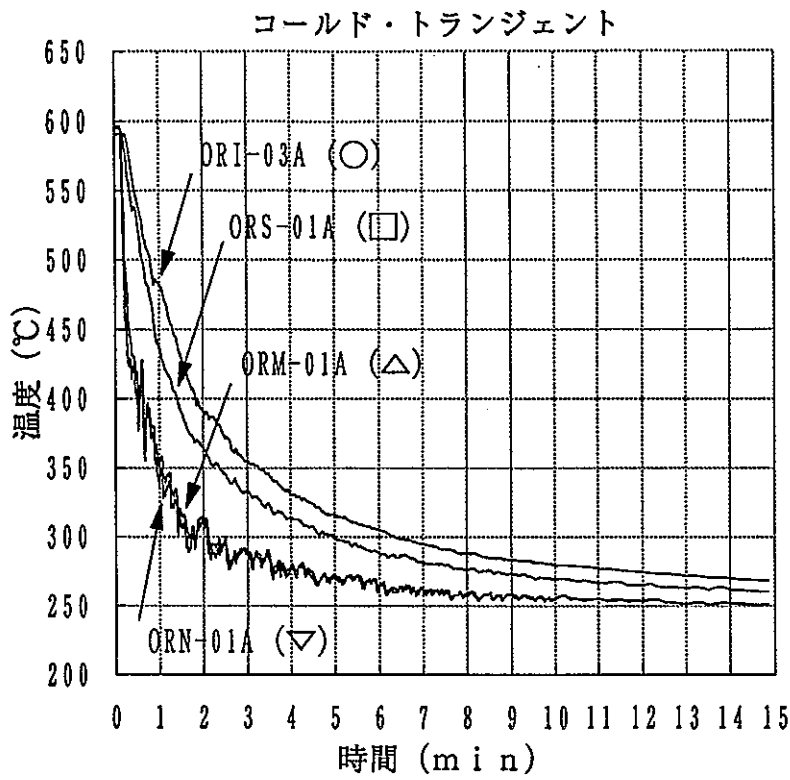


Fig. 4- 30 板厚方向温度分布 上部胴(3)

サイクル数=500 cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

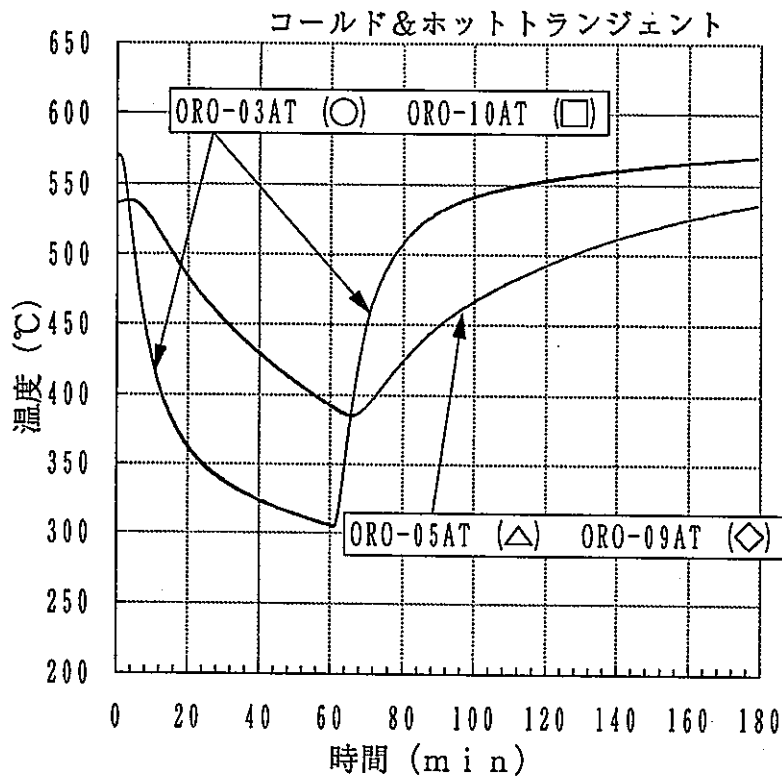


Fig. 4-31 板厚方向温度分布 上部胴(4)

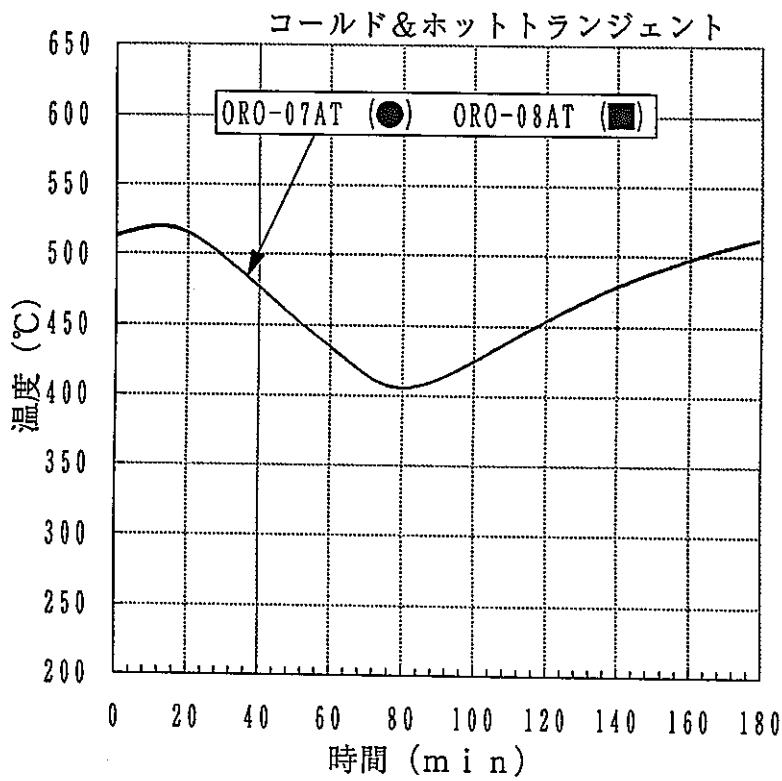
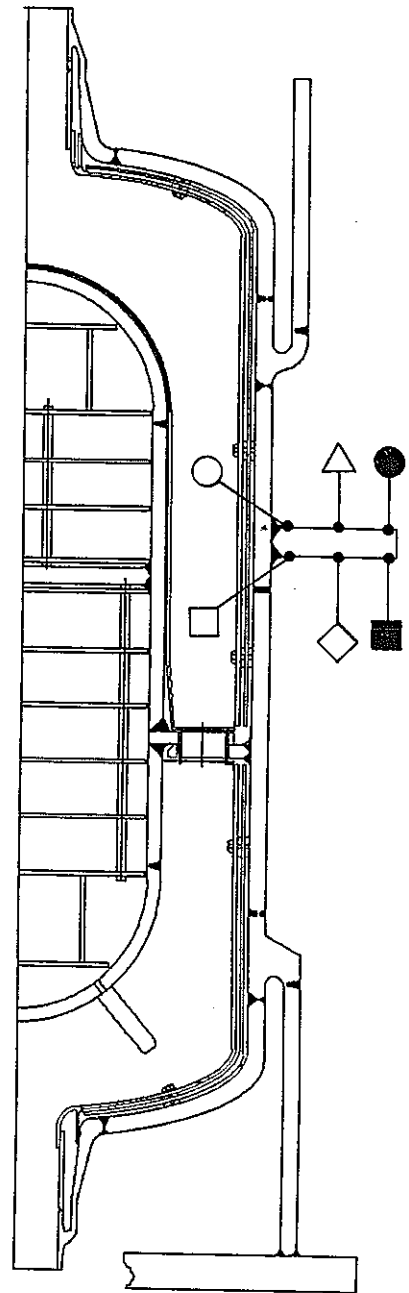


Fig. 4-32 板厚方向温度分布 上部胴(5)



サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

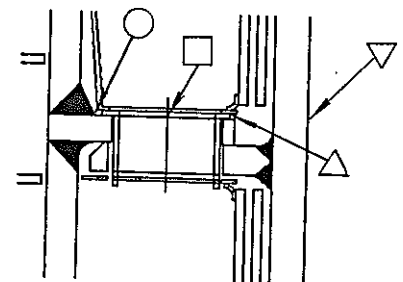
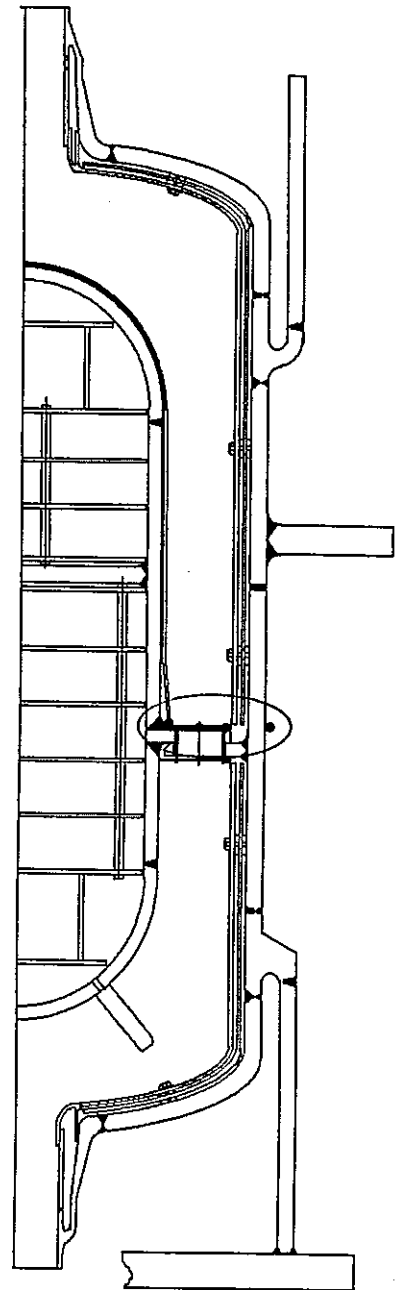
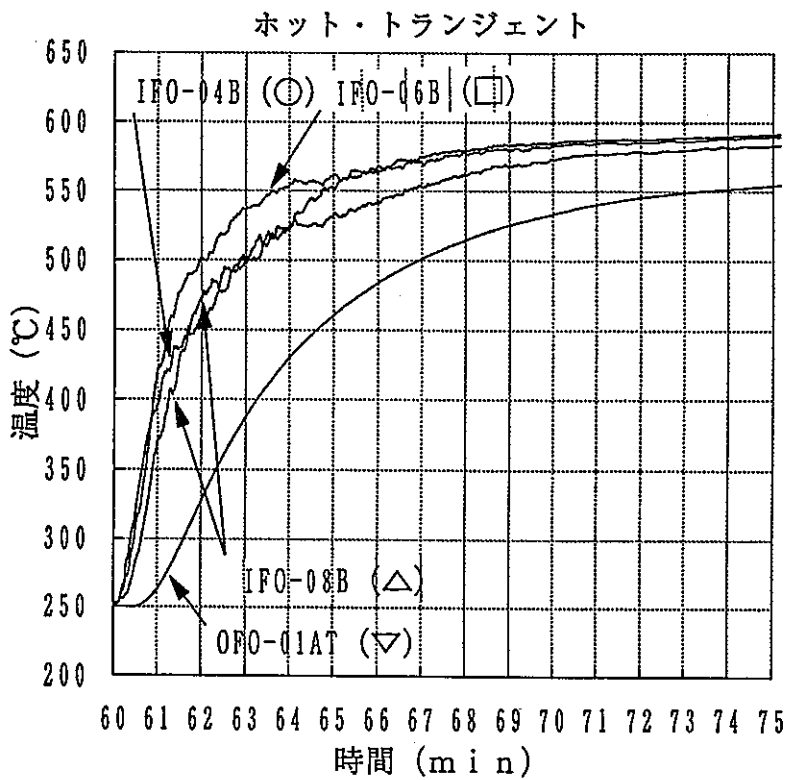
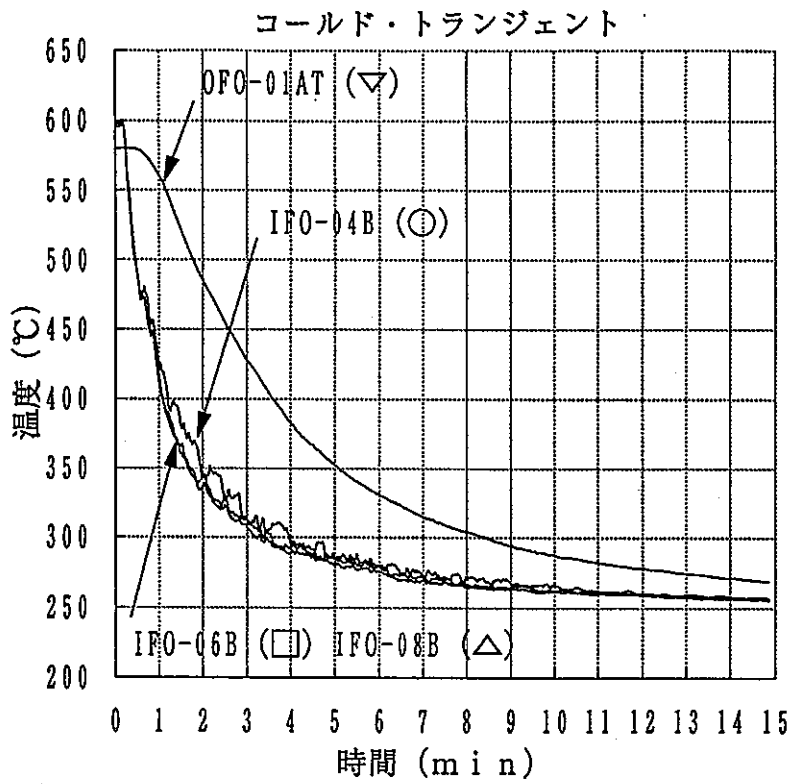


Fig. 4- 33 板厚方向温度分布 中子支持板(1)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

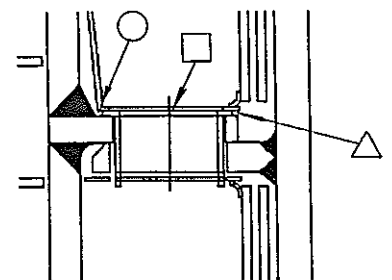
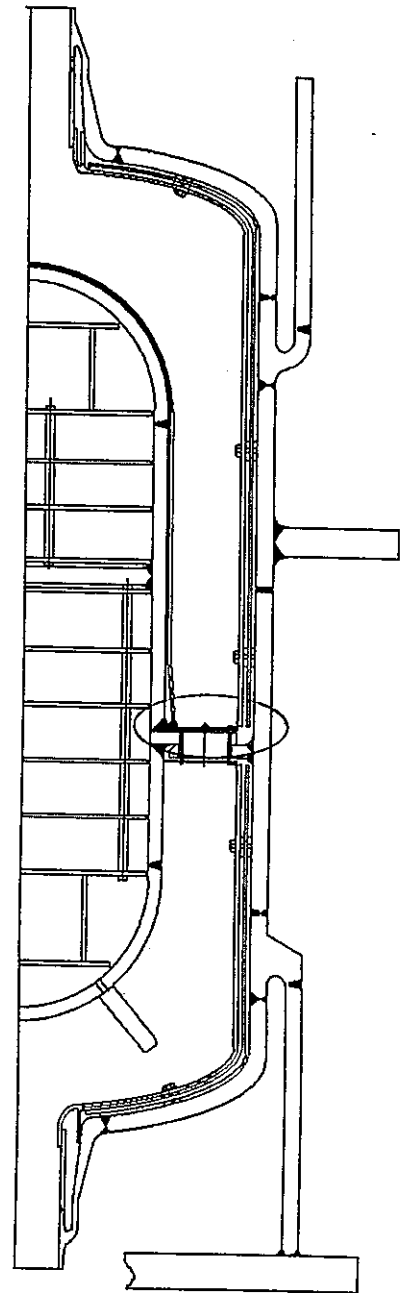
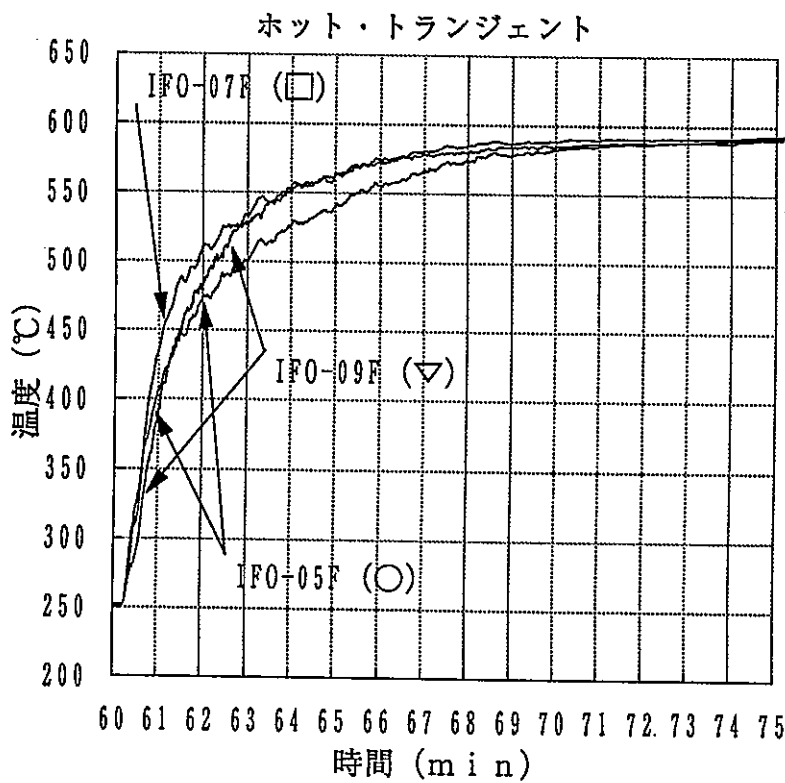
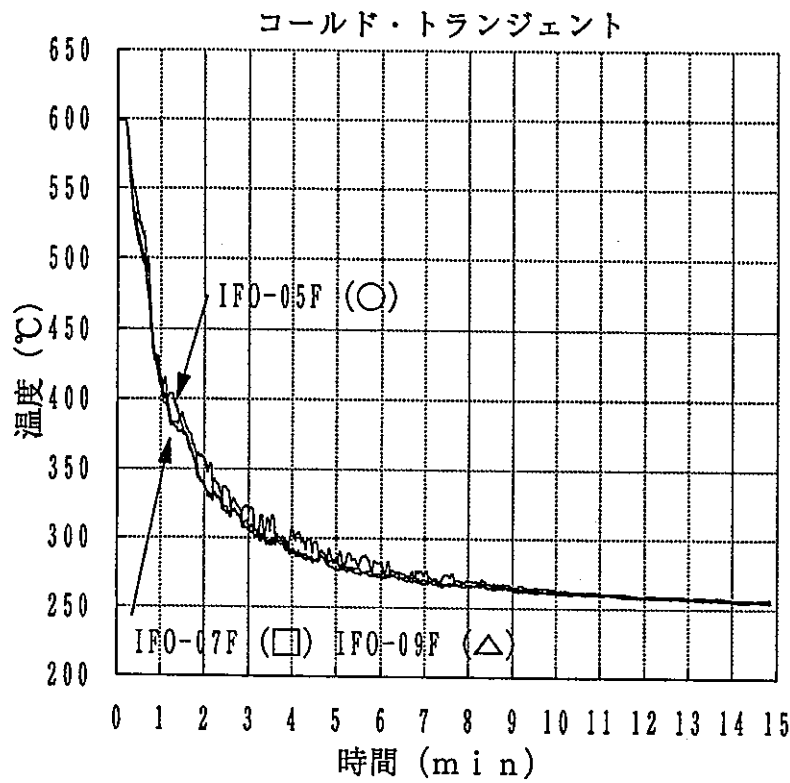


Fig. 4-34 板厚方向温度分布 中子支持板(2)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

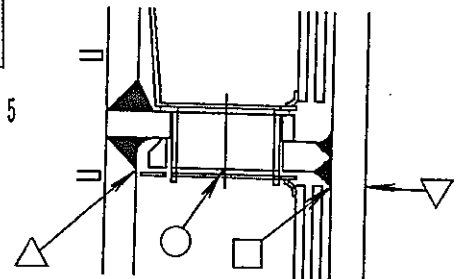
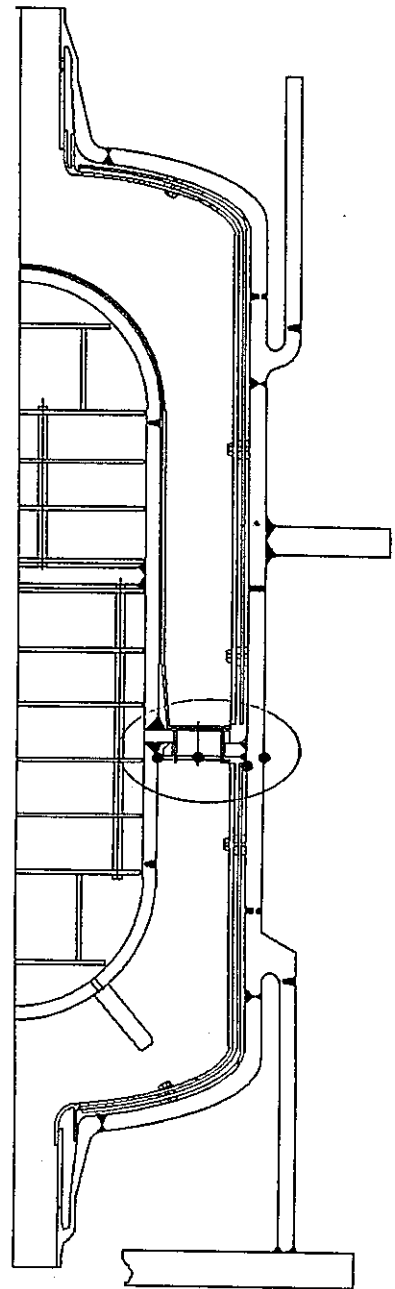
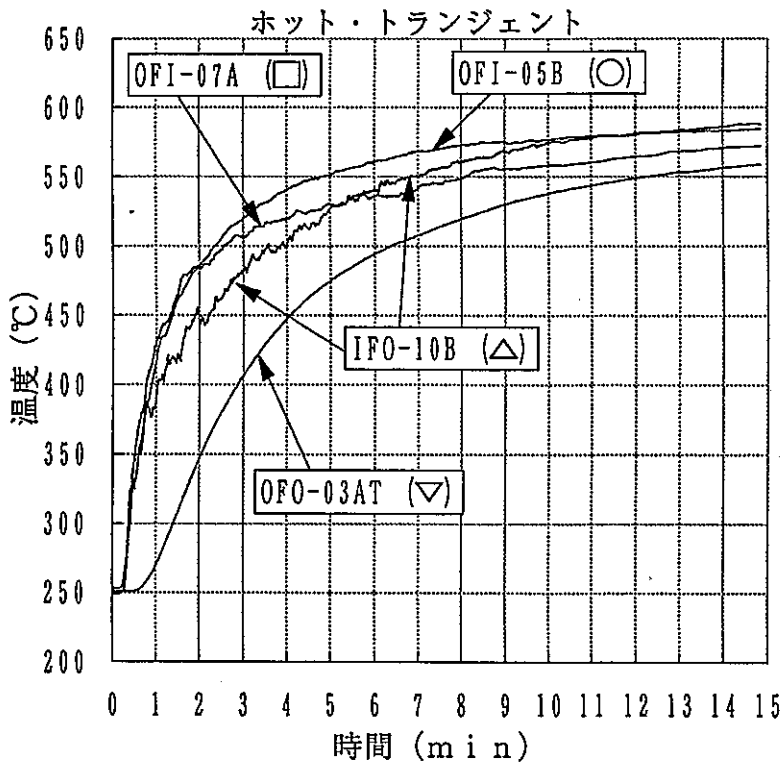
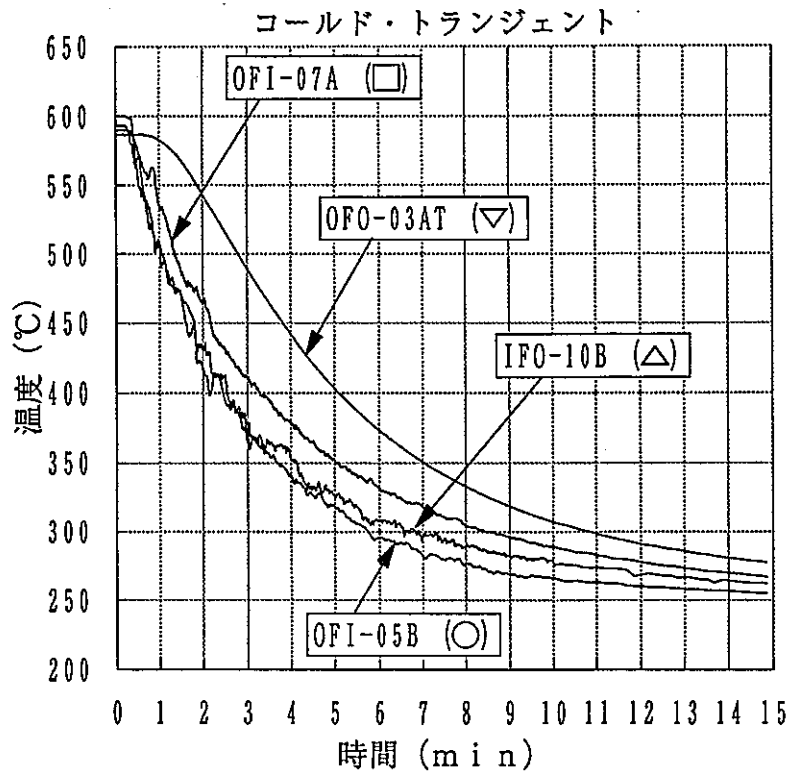


Fig. 4- 35 板厚方向温度分布 中子支持板(3)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

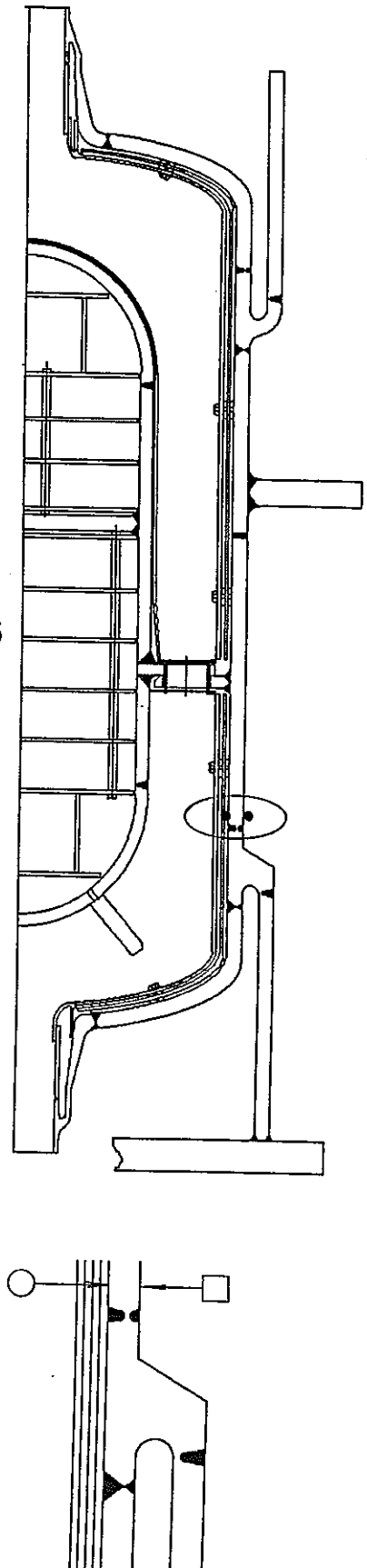
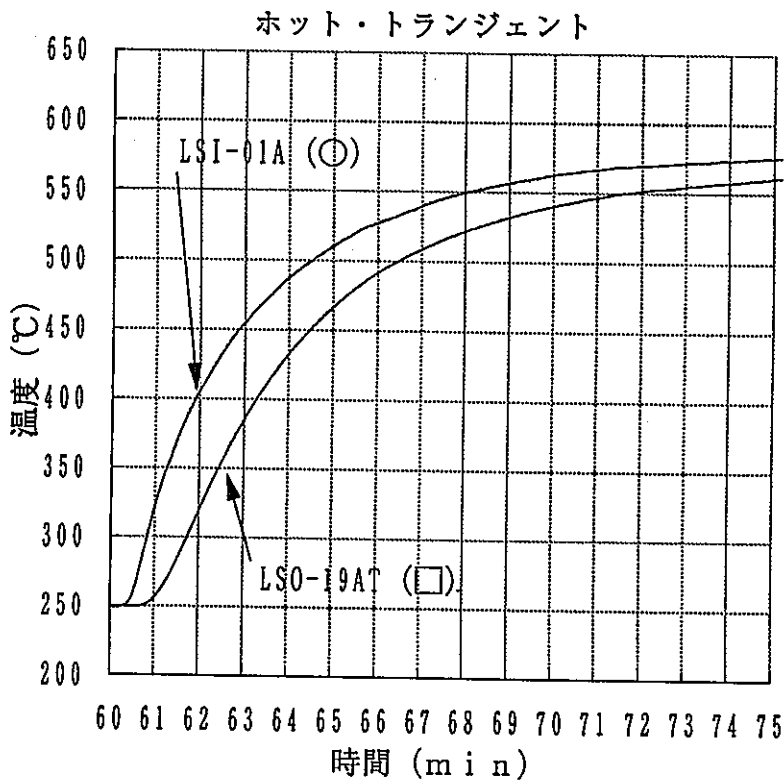
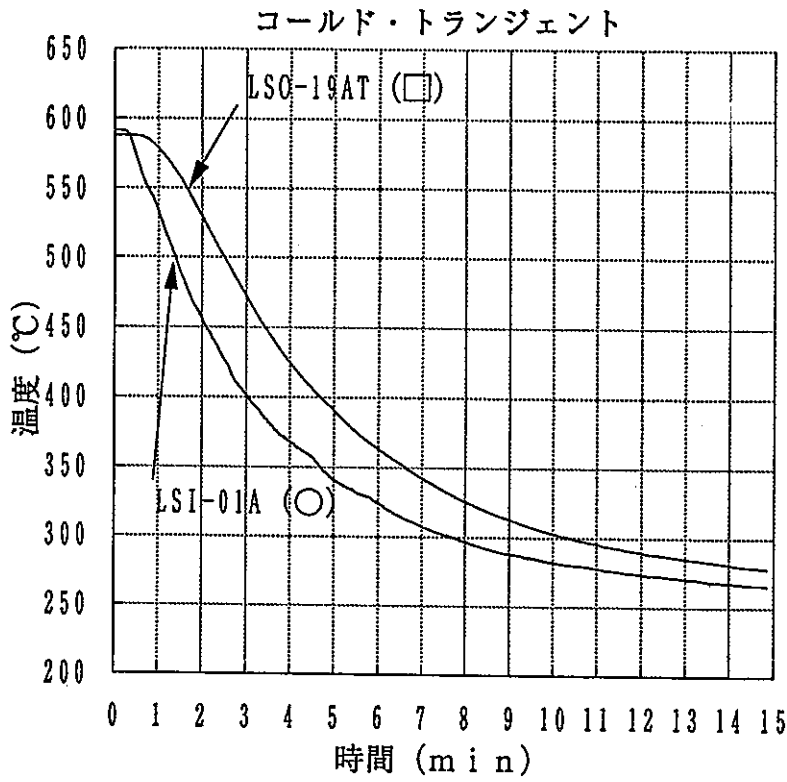


Fig. 4-36 板厚方向温度分布 下部胴

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

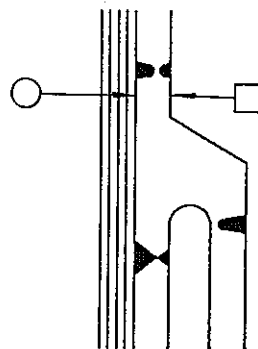
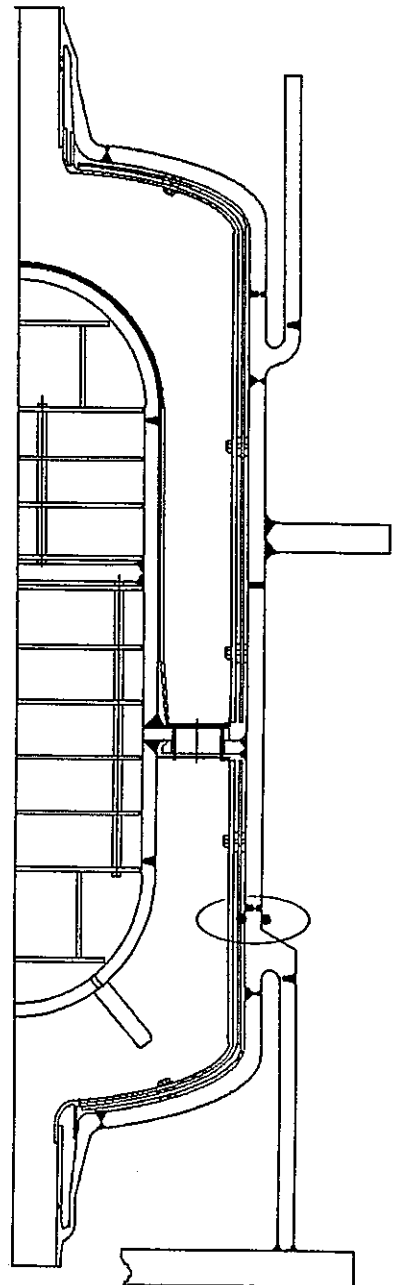
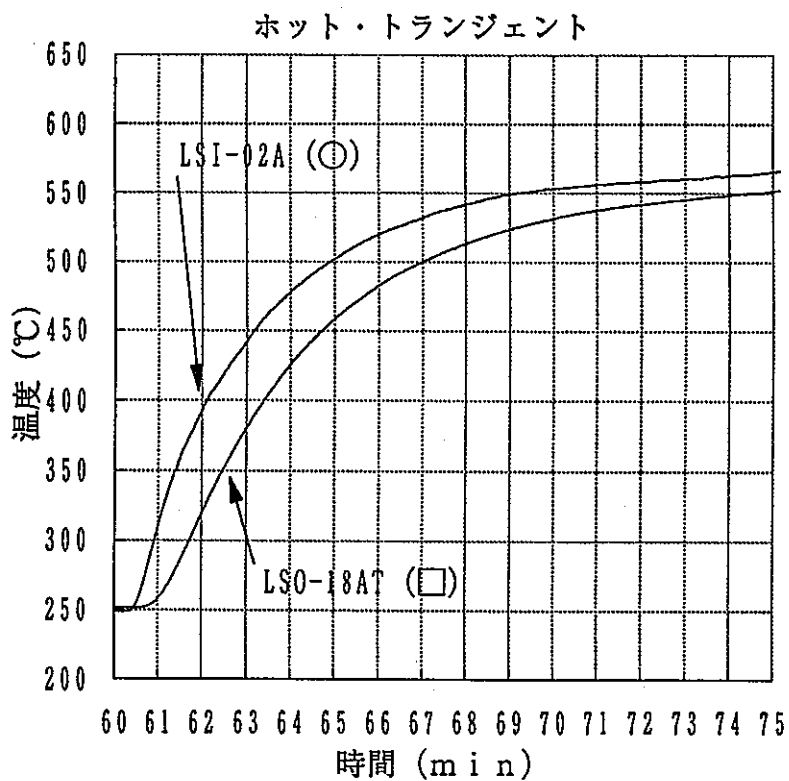
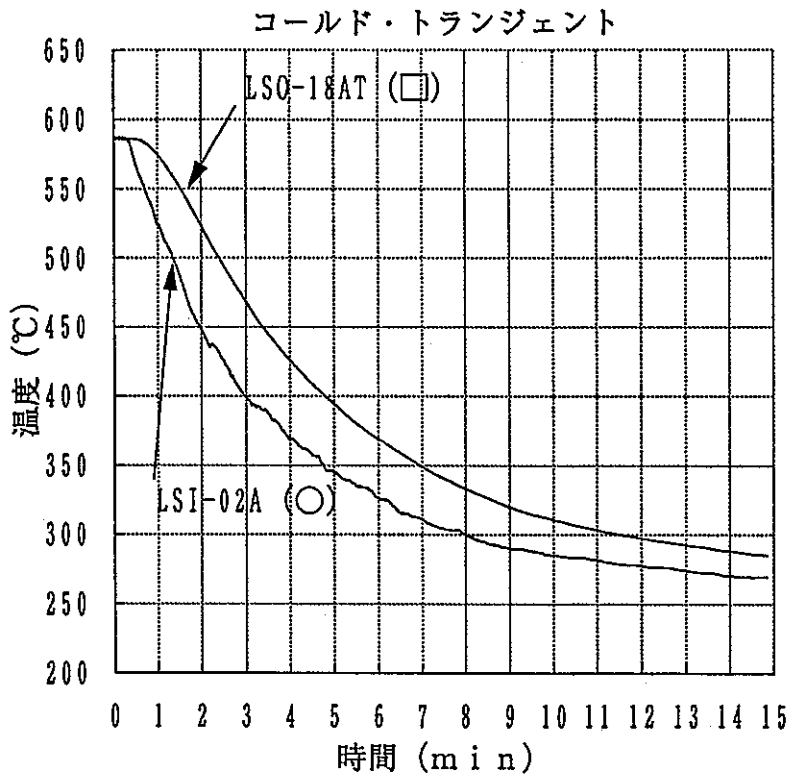


Fig. 4- 37 板厚方向温度分布 支持Yピース(1)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

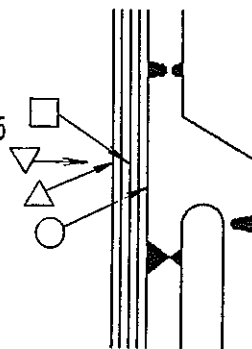
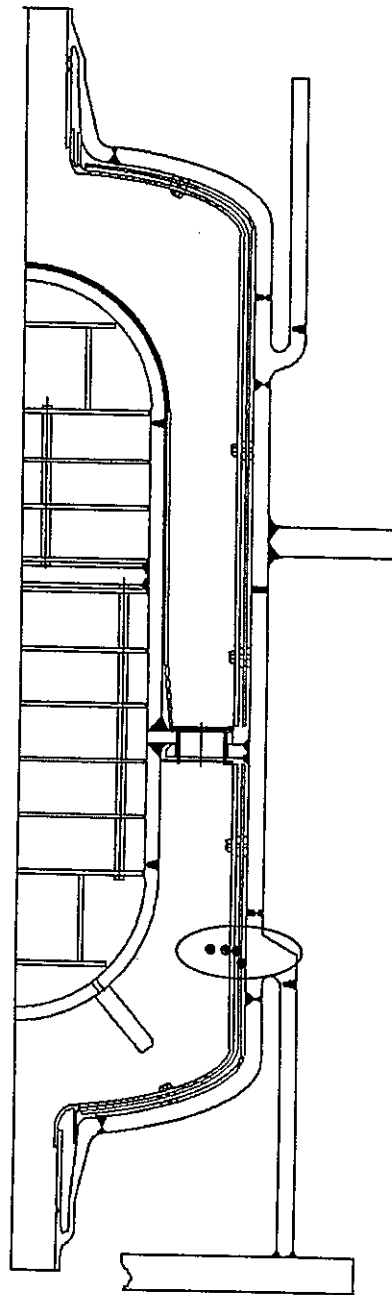
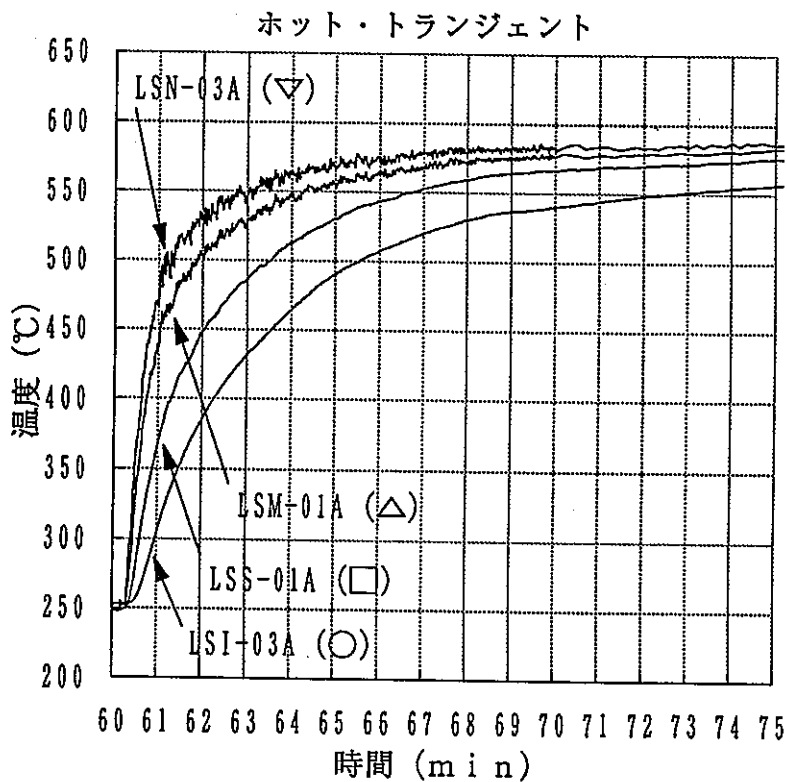
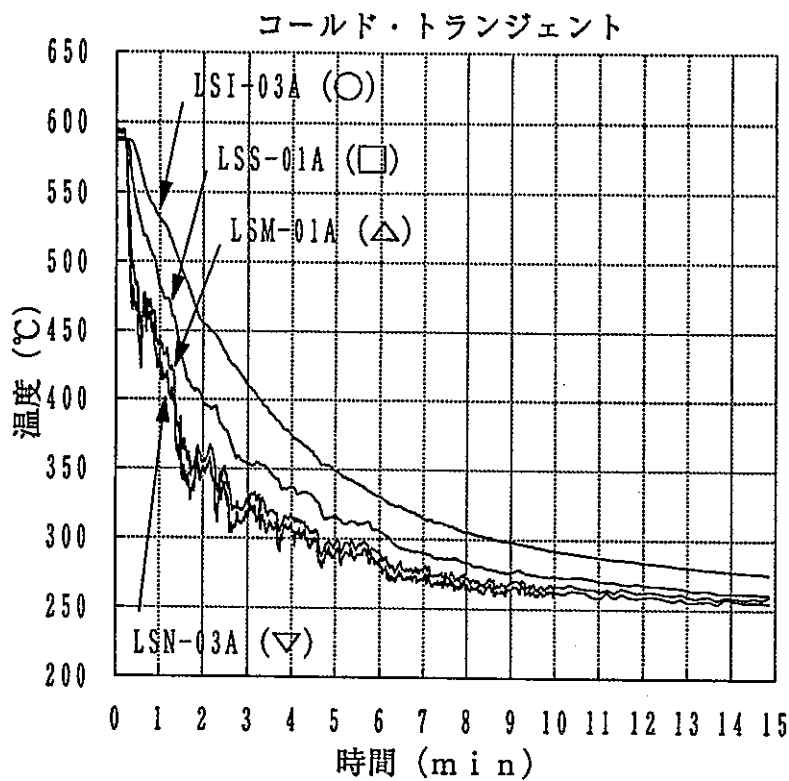


Fig. 4-38 板厚方向温度分布 支持Yピース(2)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

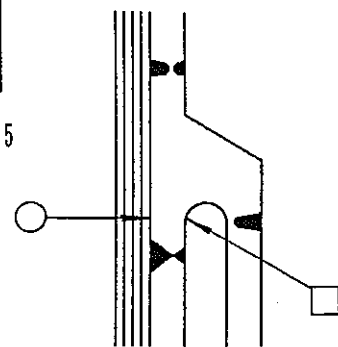
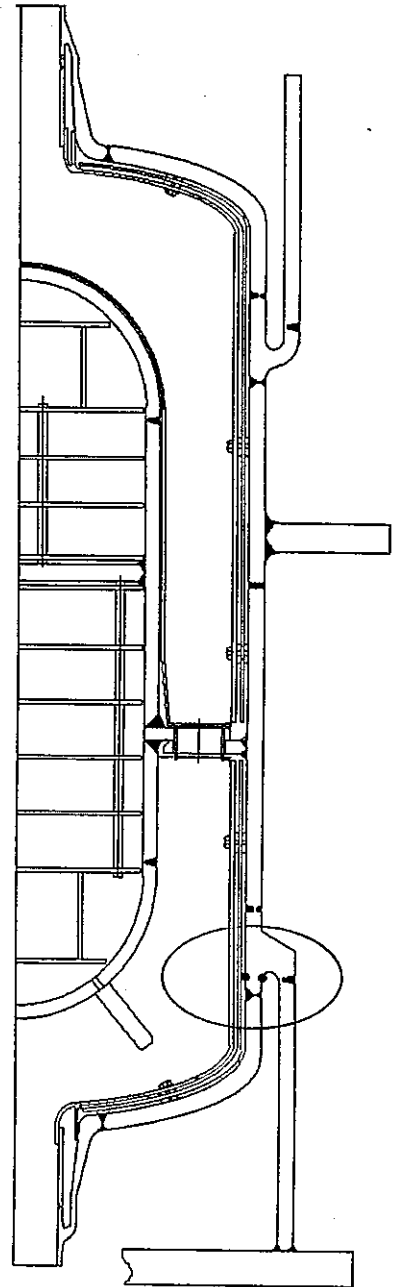
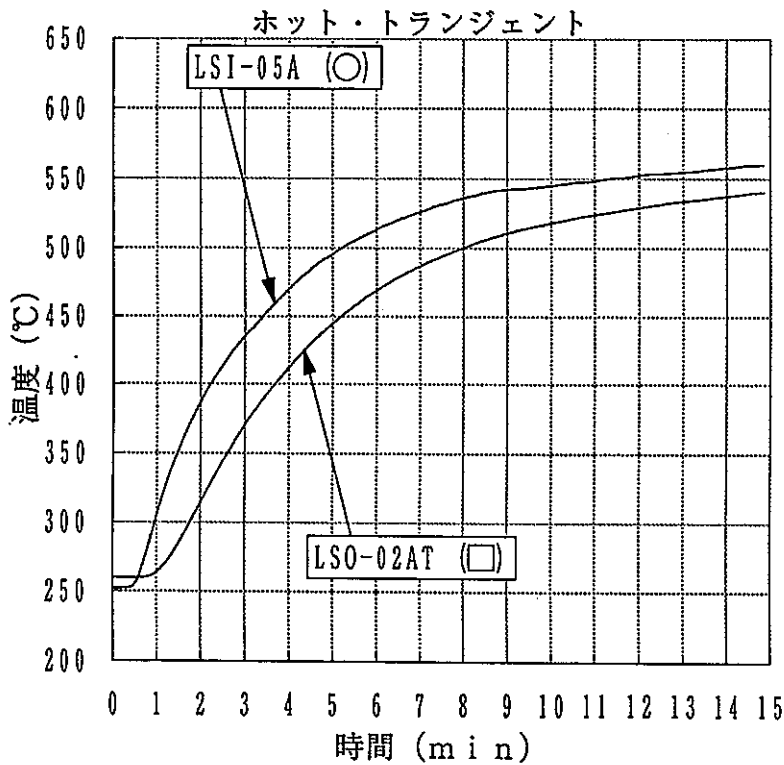
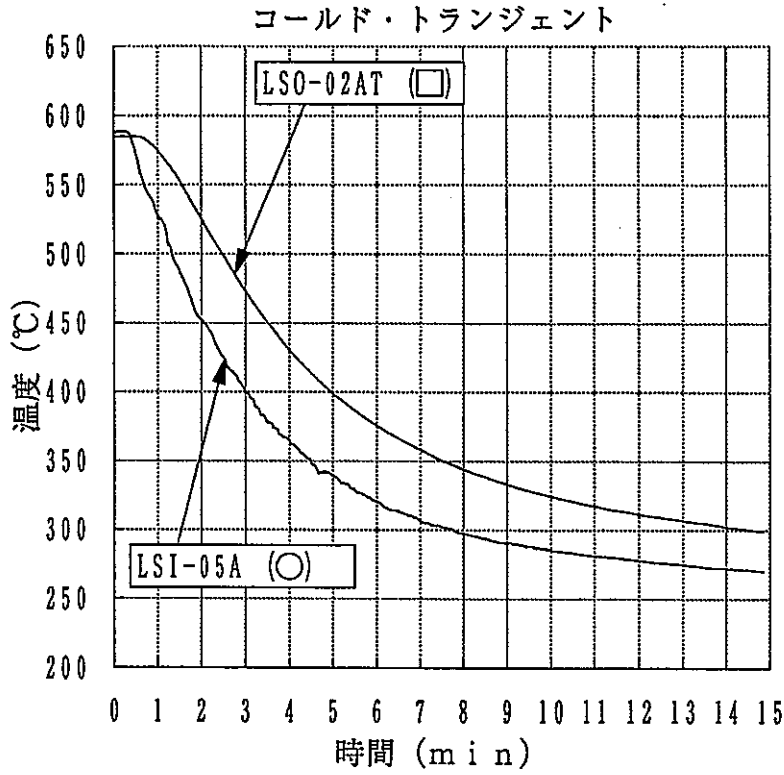


Fig. 4- 39 板厚方向温度分布 支持Yピース(3)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

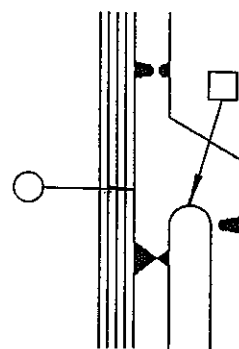
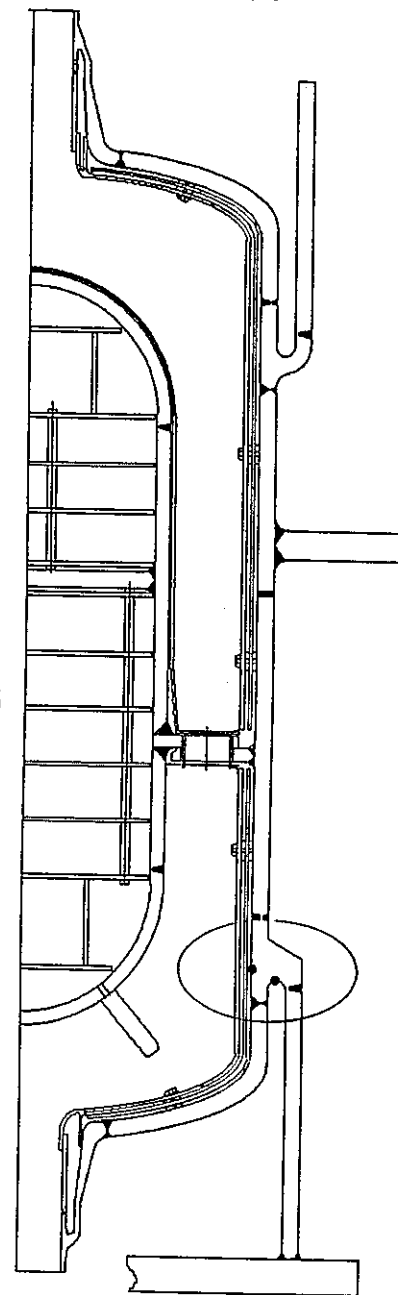
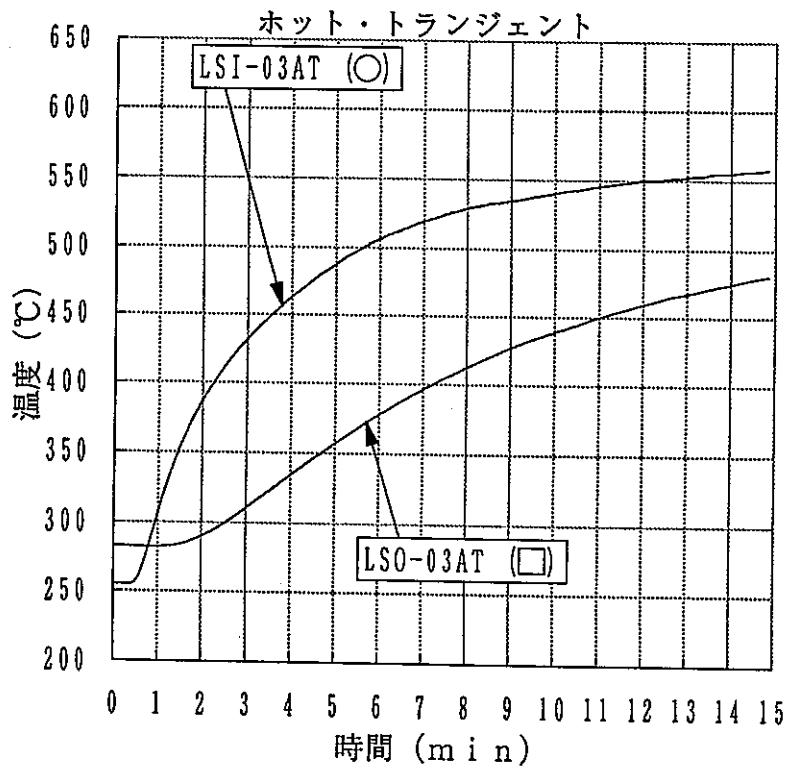
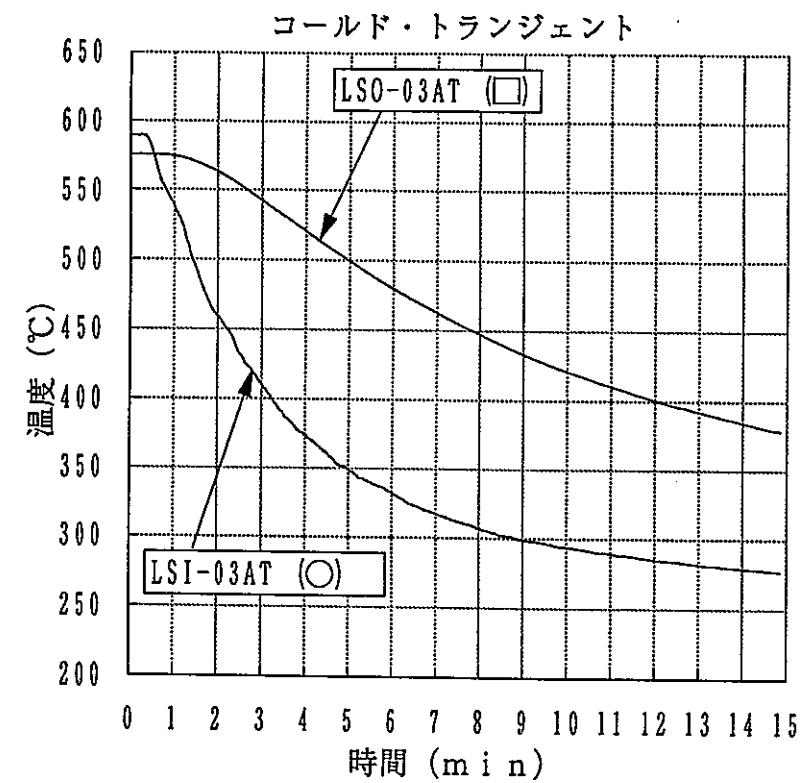


Fig. 4- 40 板厚方向温度分布 支持Yピース(4)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

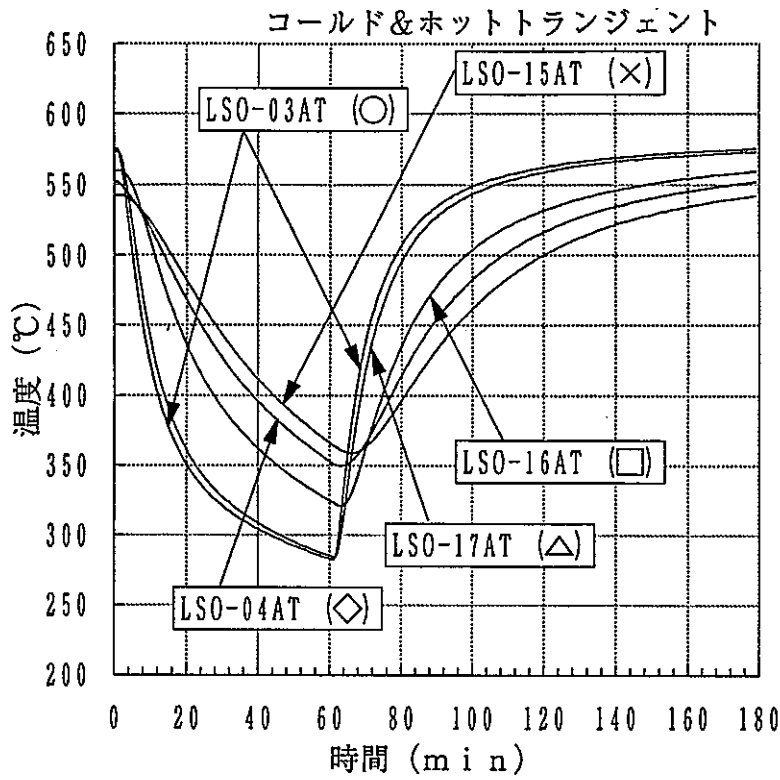


Fig. 4- 41 板厚方向温度分布 支持Yピース(5)

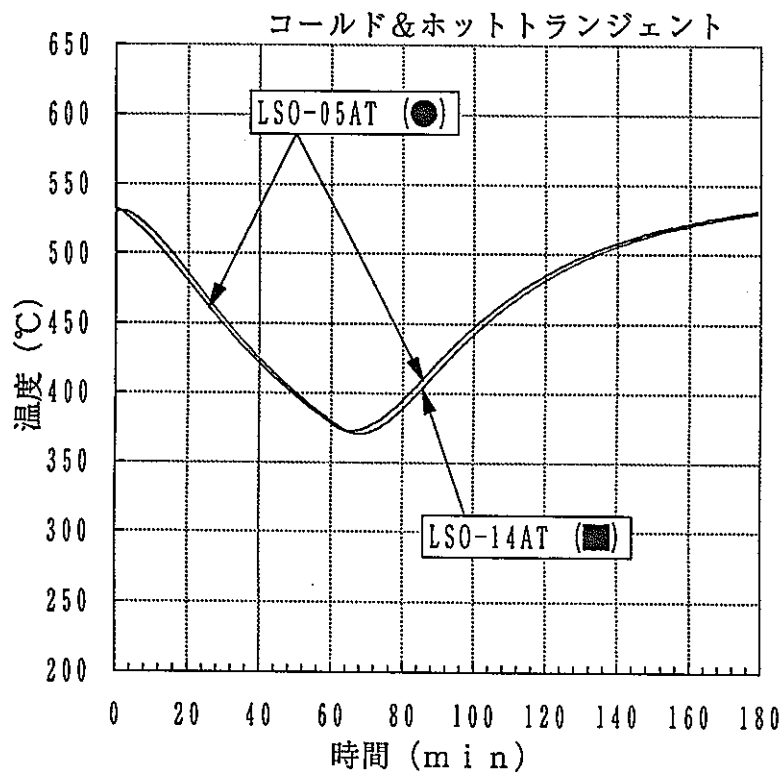
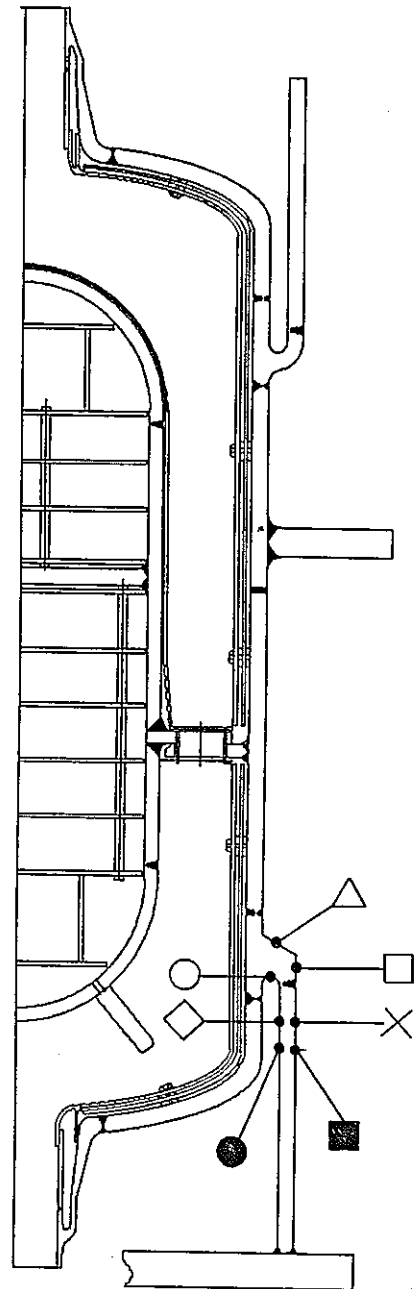


Fig. 4- 42 板厚方向温度分布 支持Yピース(6)



サイクル数=500cycle
時刻=平成4年5月10日
18:00~

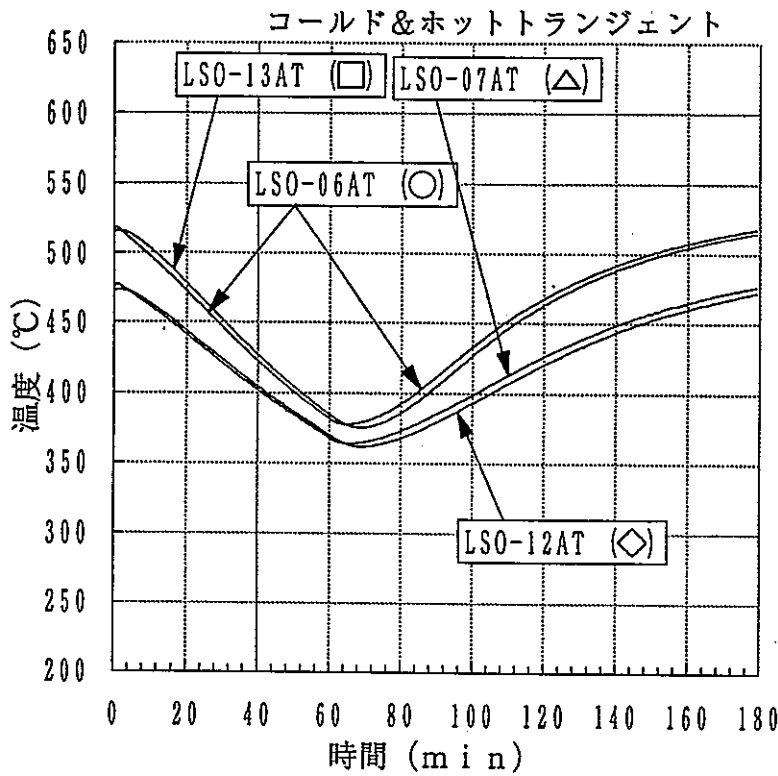


Fig. 4-43 板厚方向温度分布 支持Yピース(7)

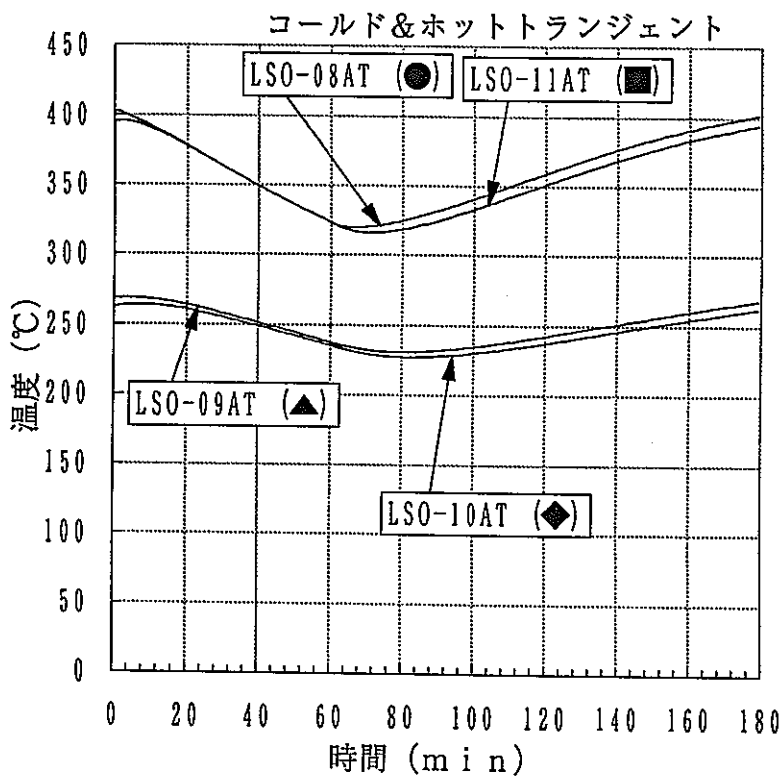
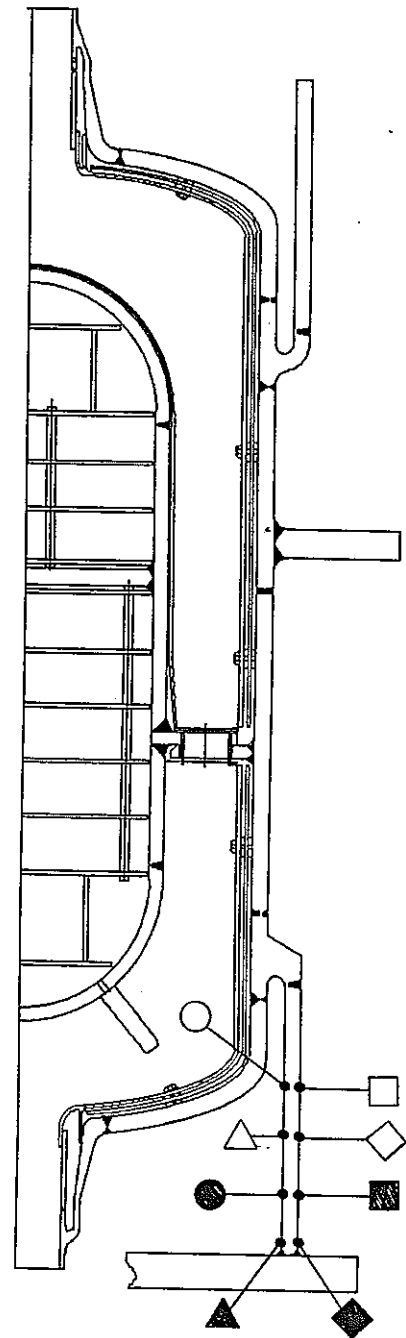


Fig. 4-44 板厚方向温度分布 支持Yピース(8)



サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

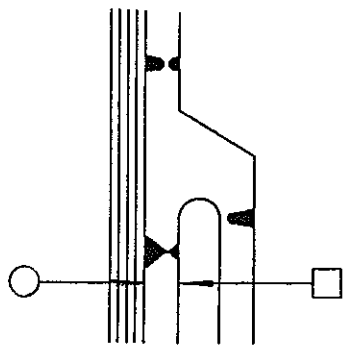
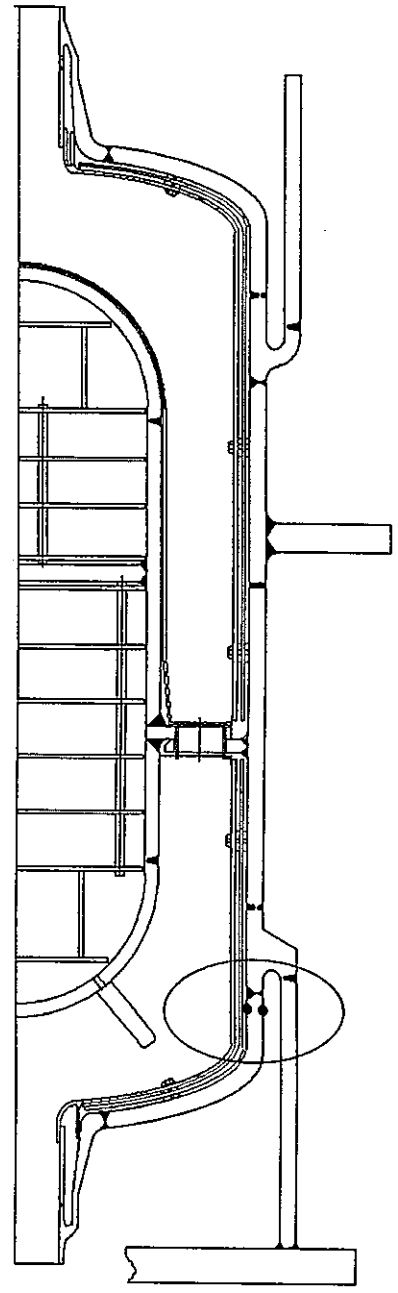
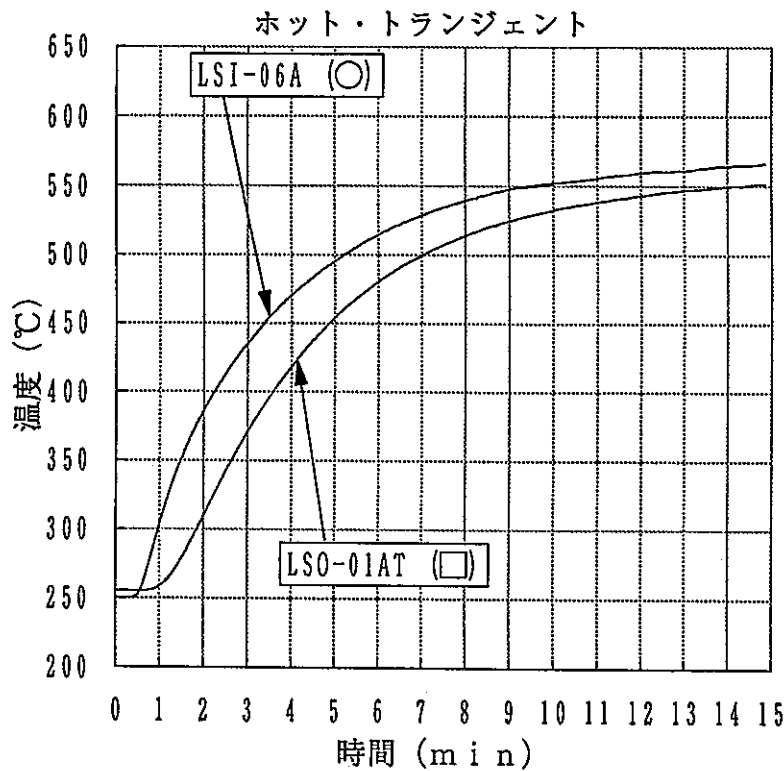
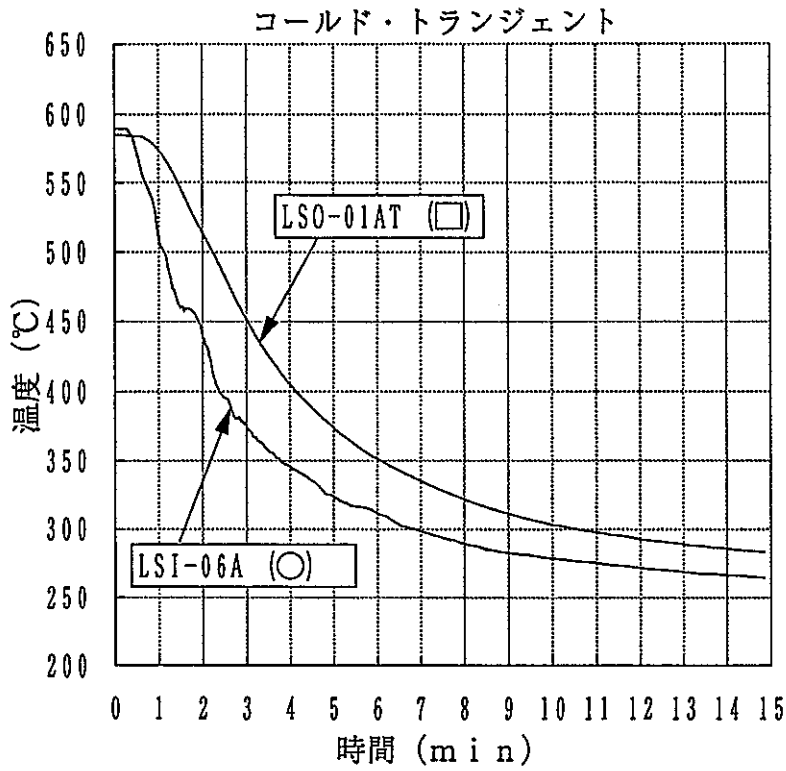


Fig. 4- 45 板厚方向温度分布 下部鏡板(1)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

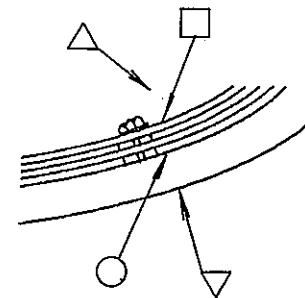
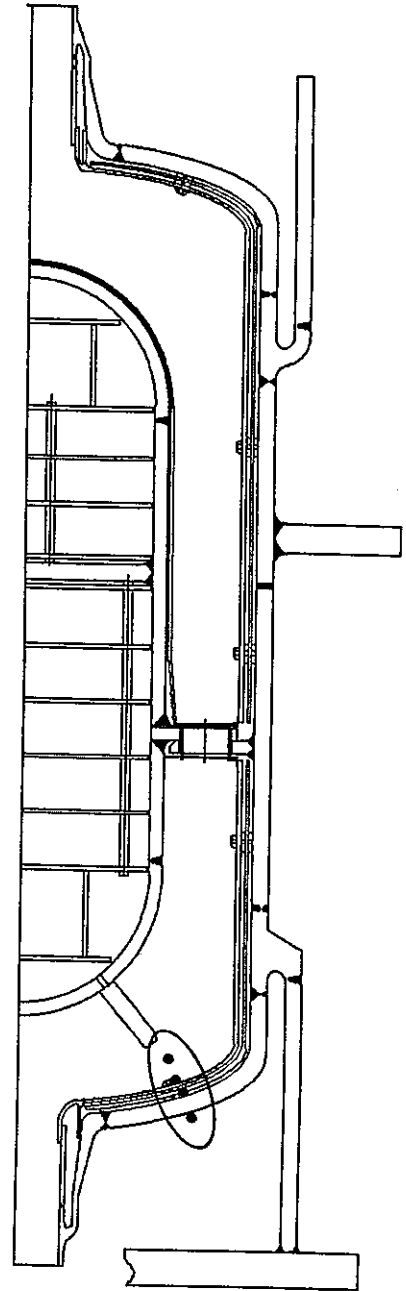
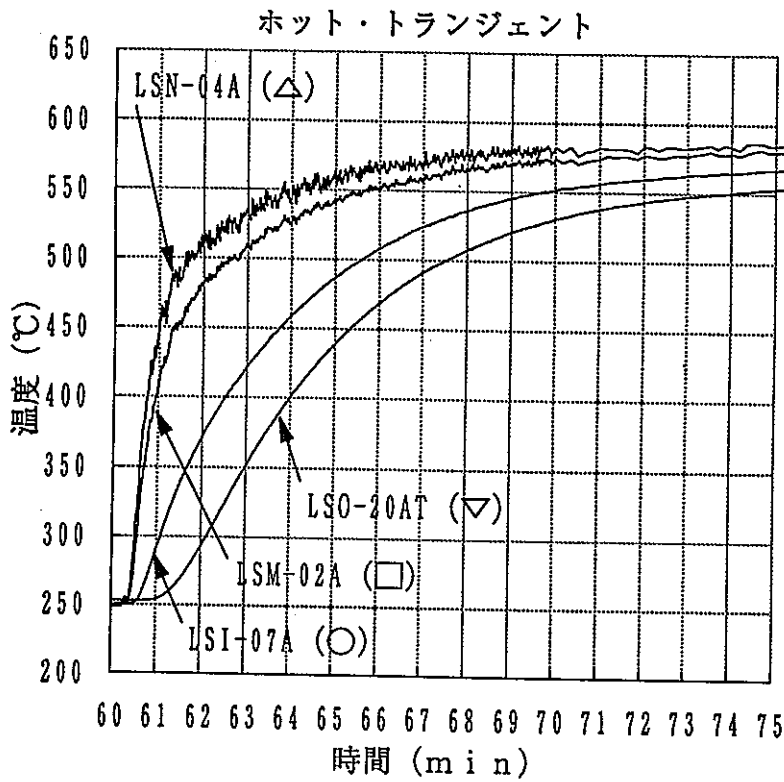
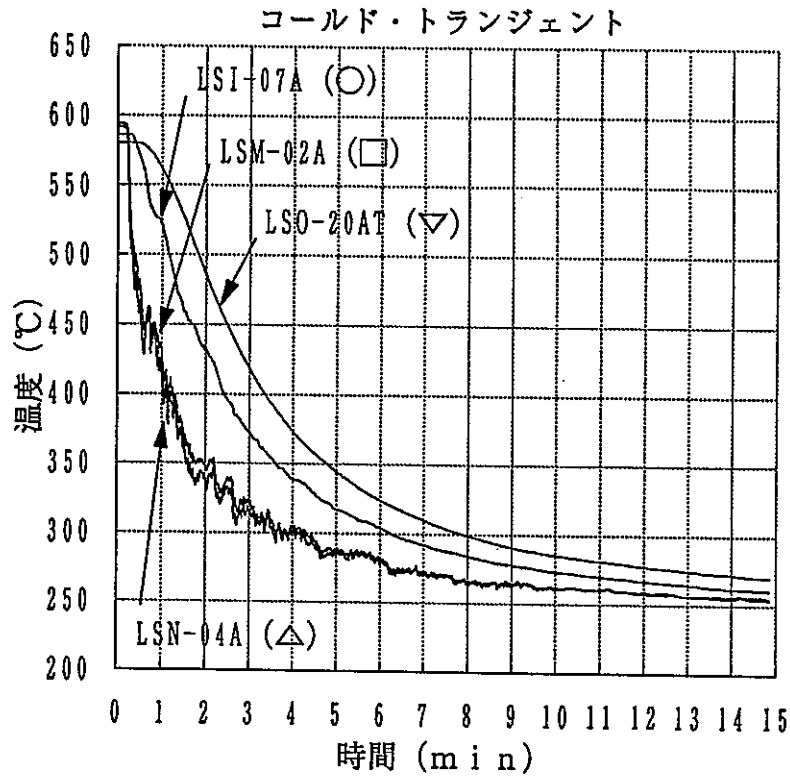


Fig. 4-46 板厚方向温度分布 下部鏡板(2)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

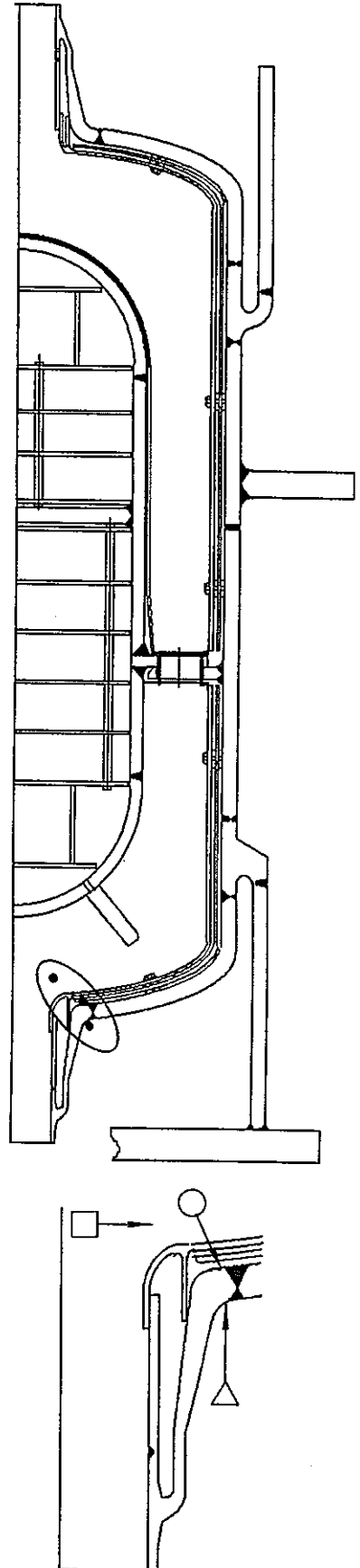
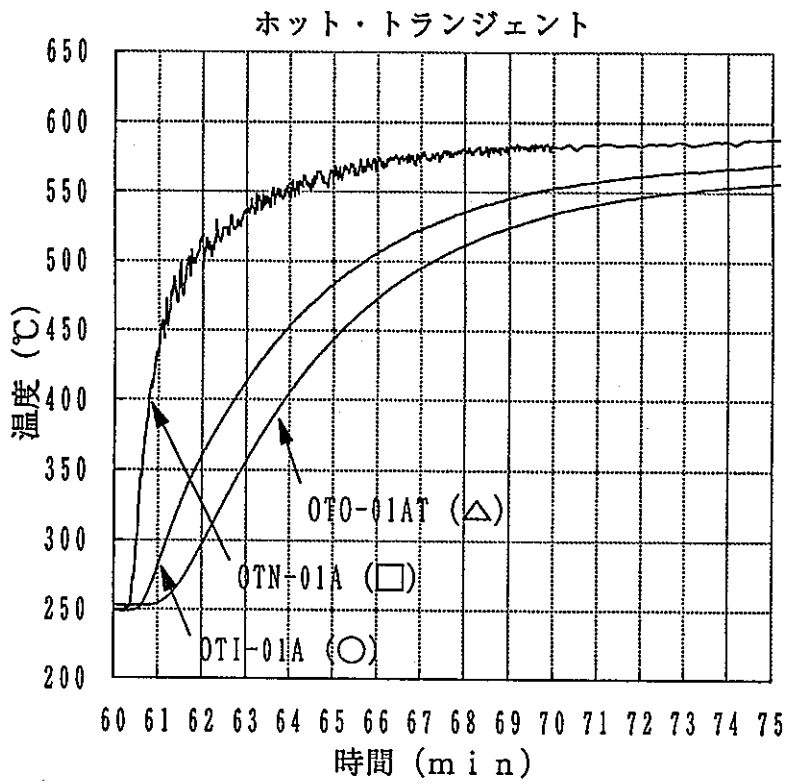
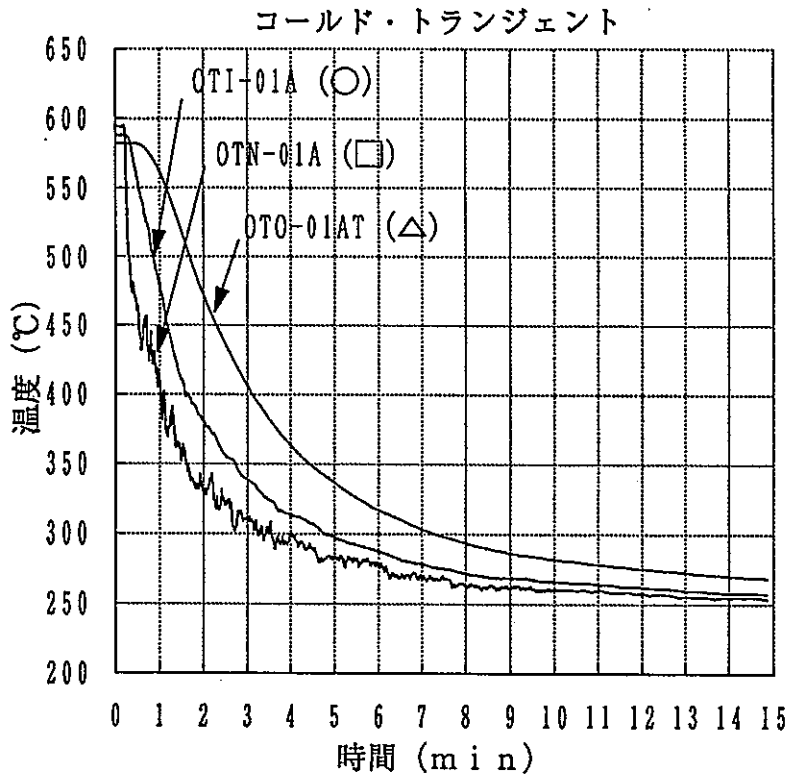


Fig. 4- 47 板厚方向温度分布 出口ノズル(1)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

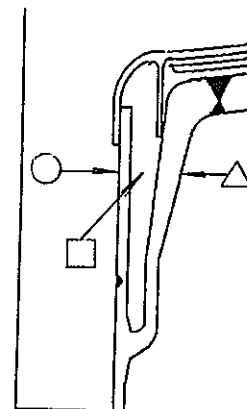
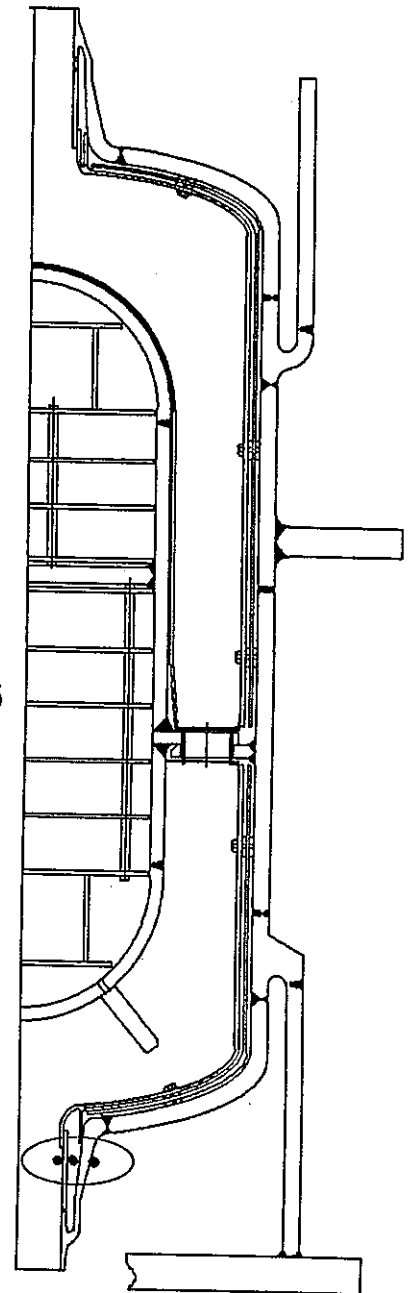
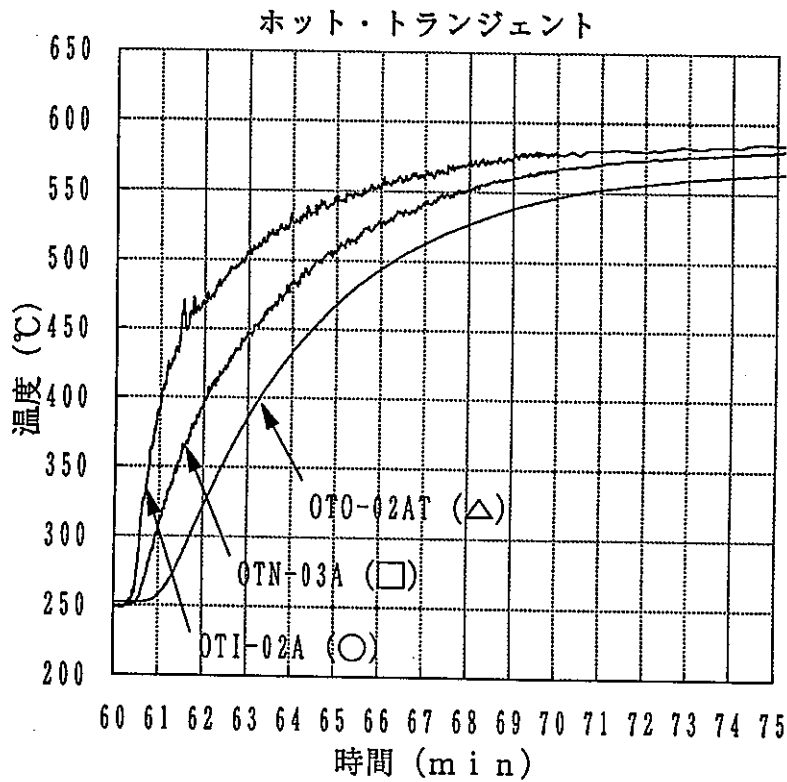
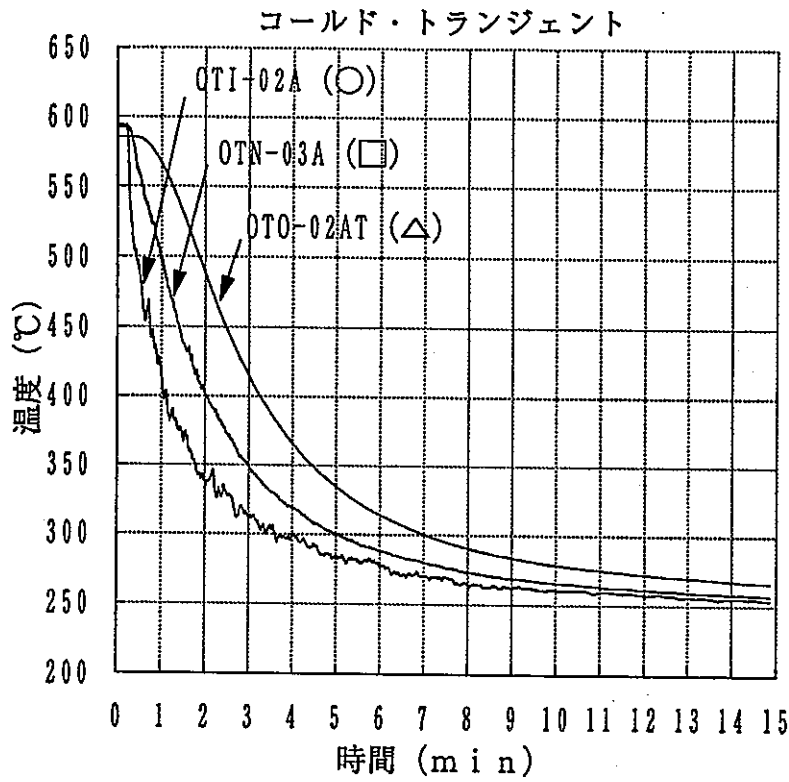


Fig. 4- 48 板厚方向温度分布 出口ノズル(2)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

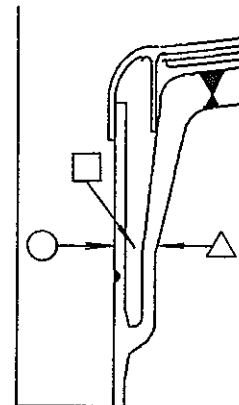
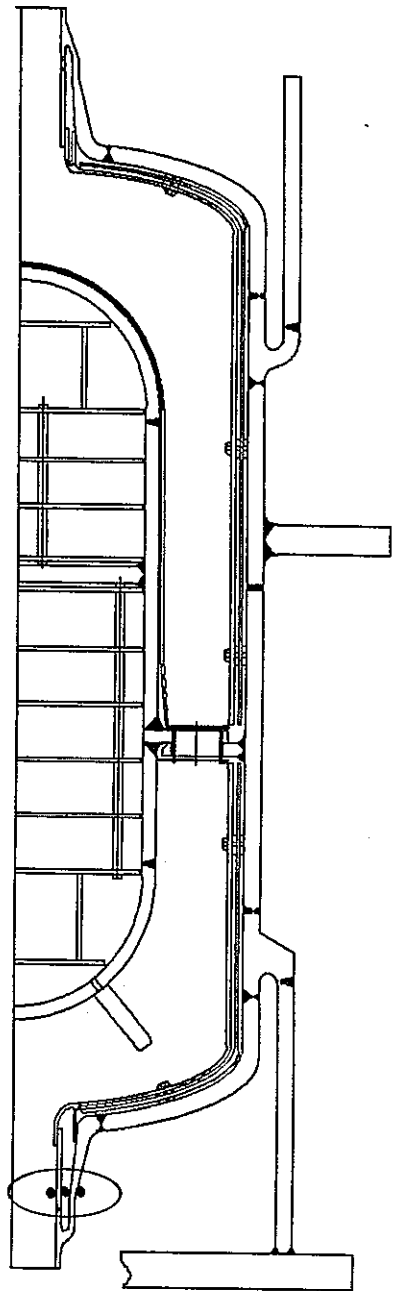
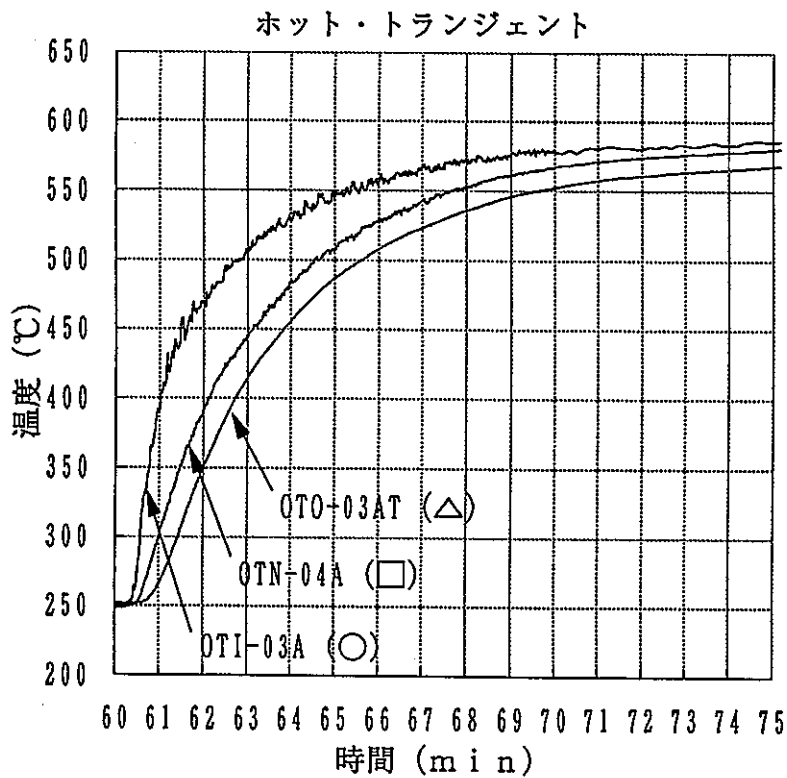
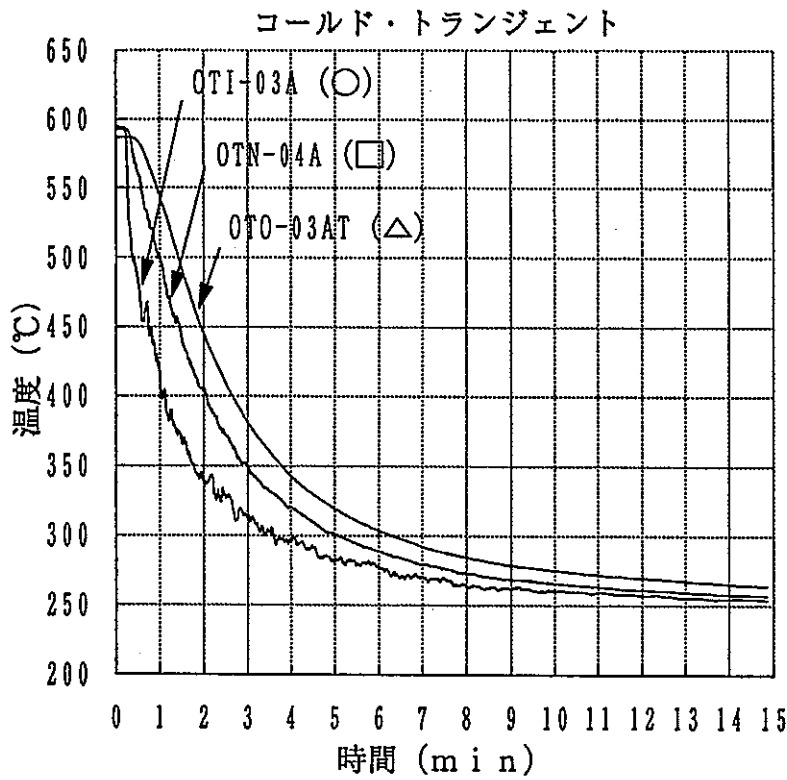


Fig. 4- 49 板厚方向温度分布 出口ノズル(3)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

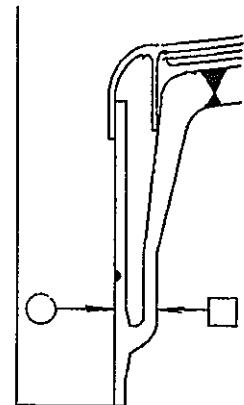
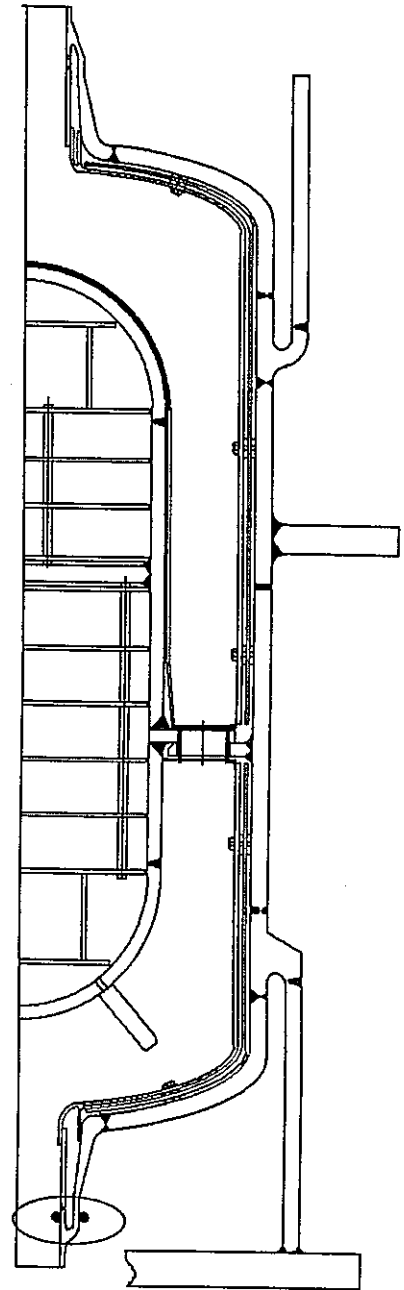
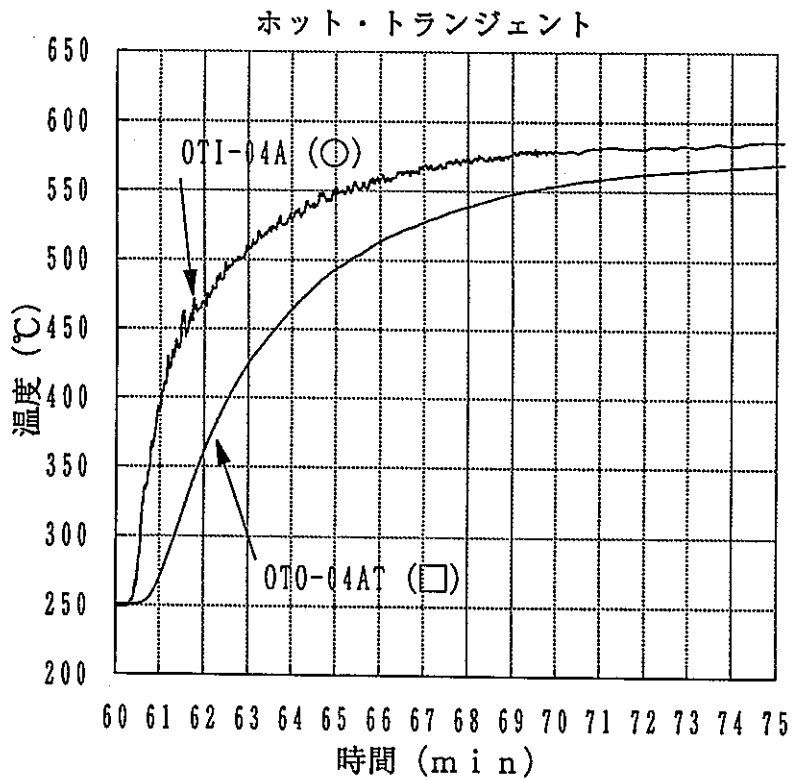
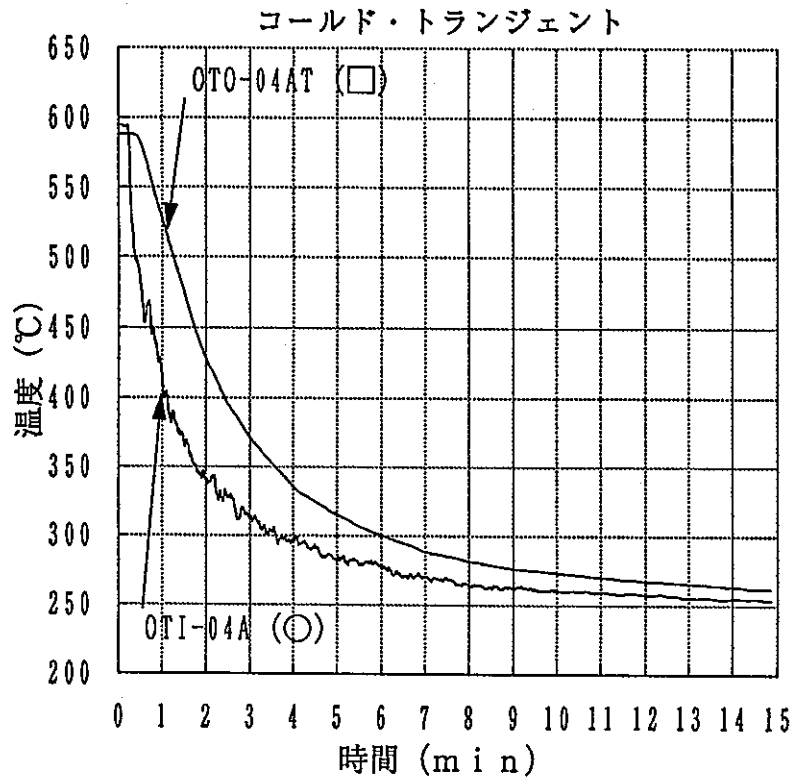


Fig. 4- 50 板厚方向温度分布 出口ノズル(4)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

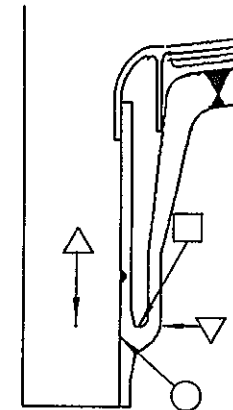
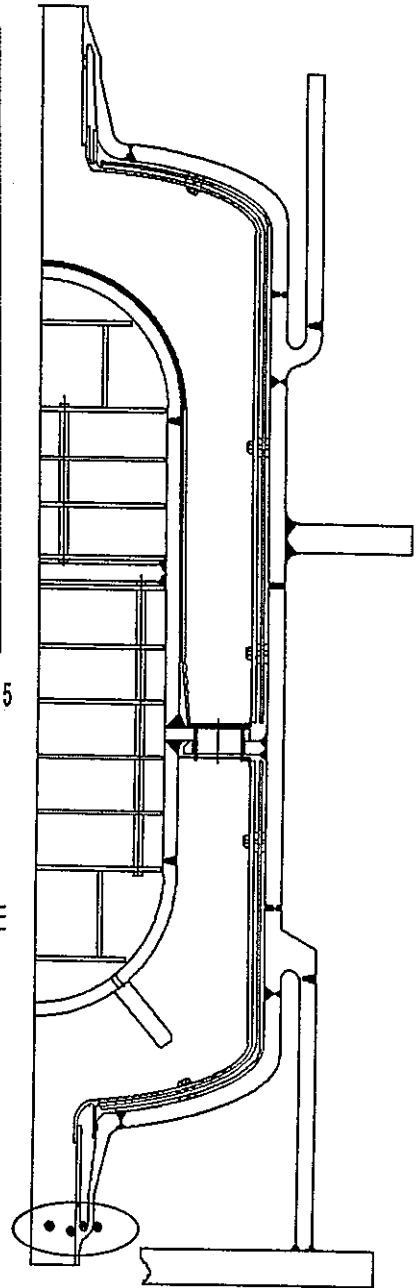
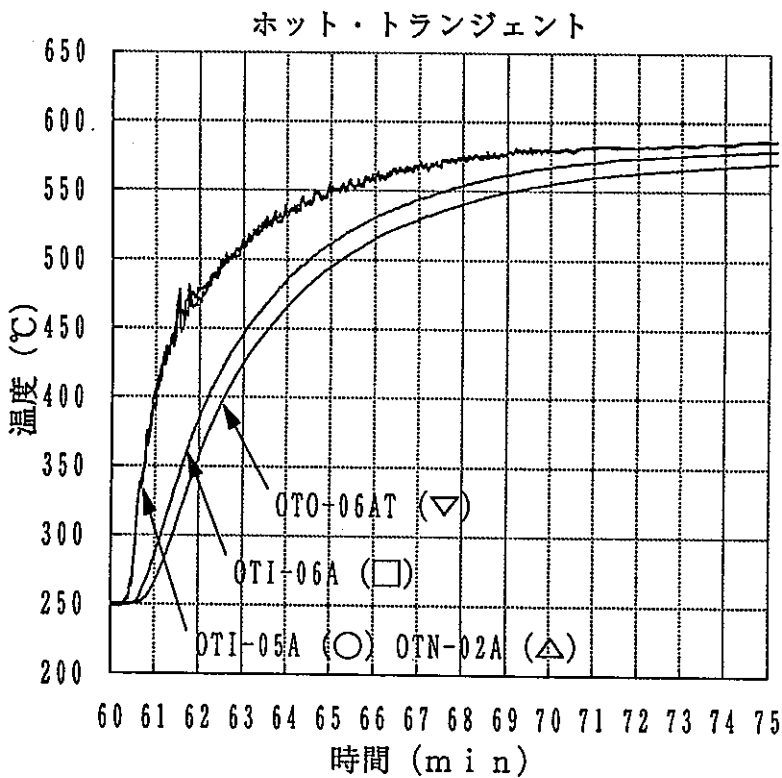
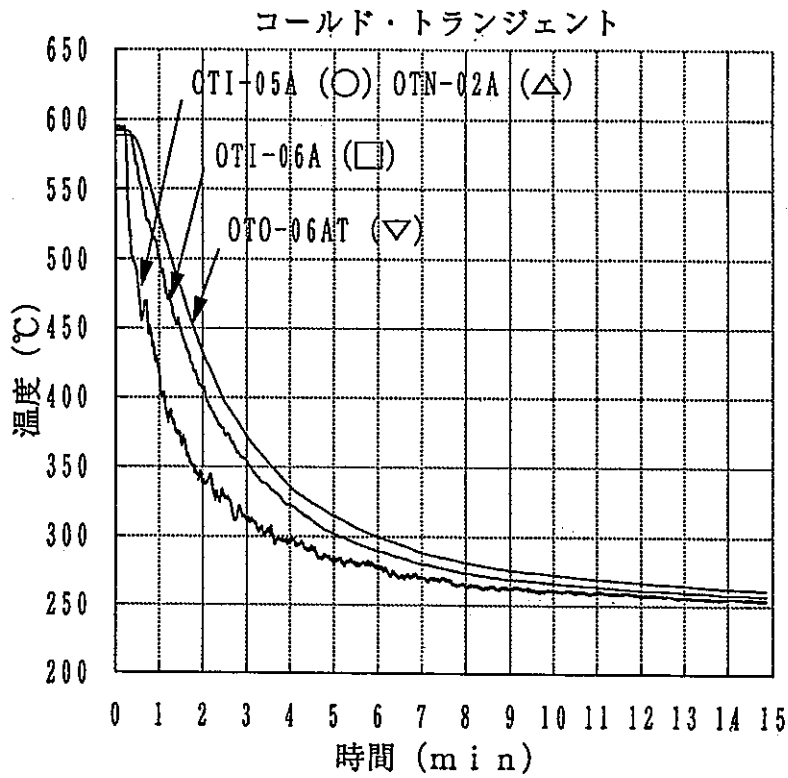


Fig. 4- 51 板厚方向温度分布 出口ノズル(5)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

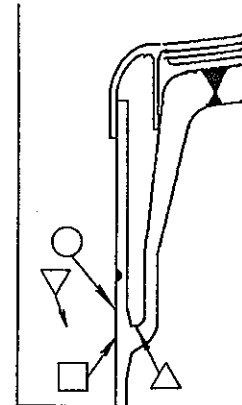
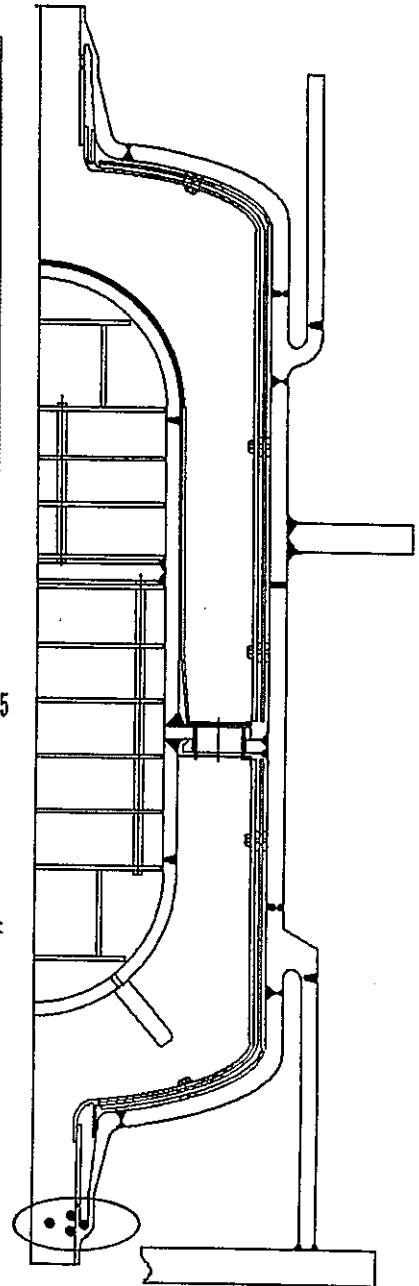
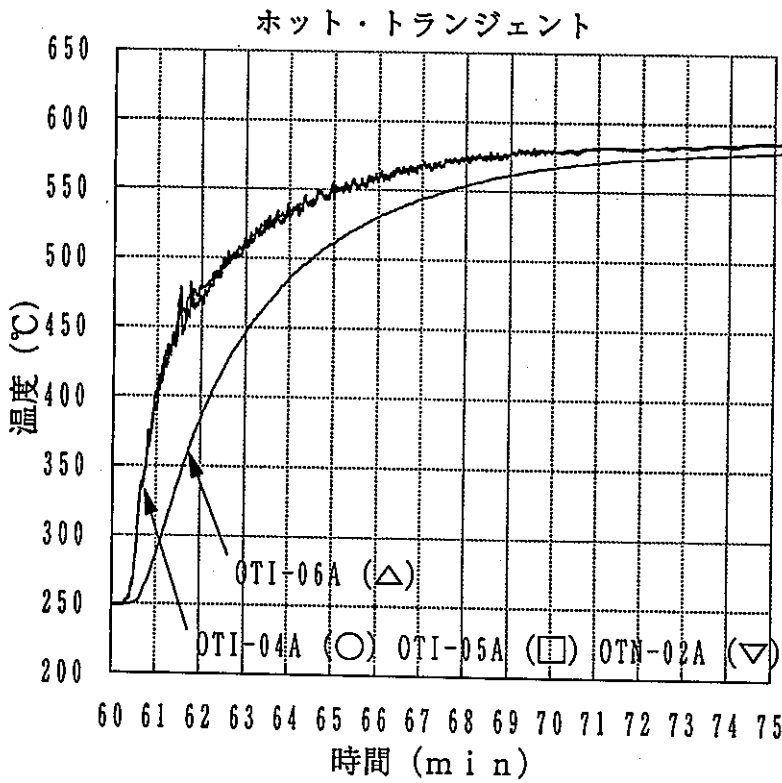
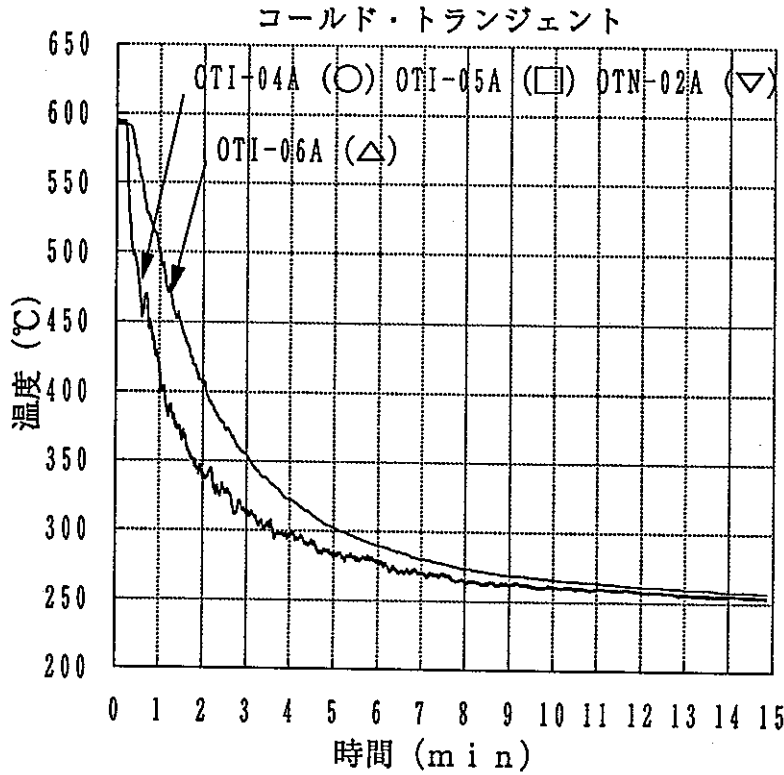


Fig. 4-52 板厚方向温度分布 出口ノズル(6)

サイクル数=500 cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

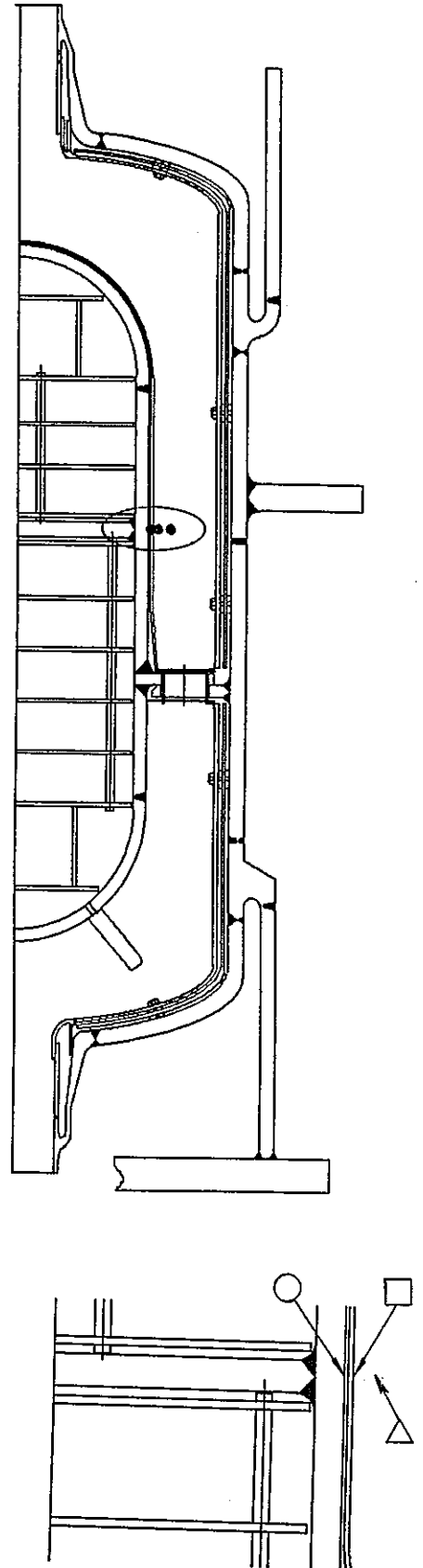
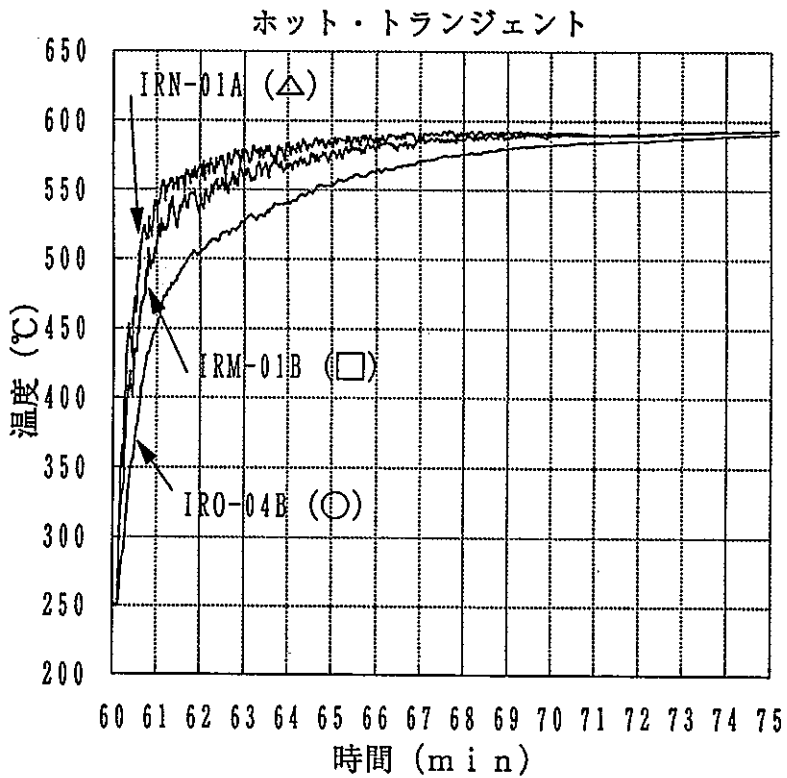
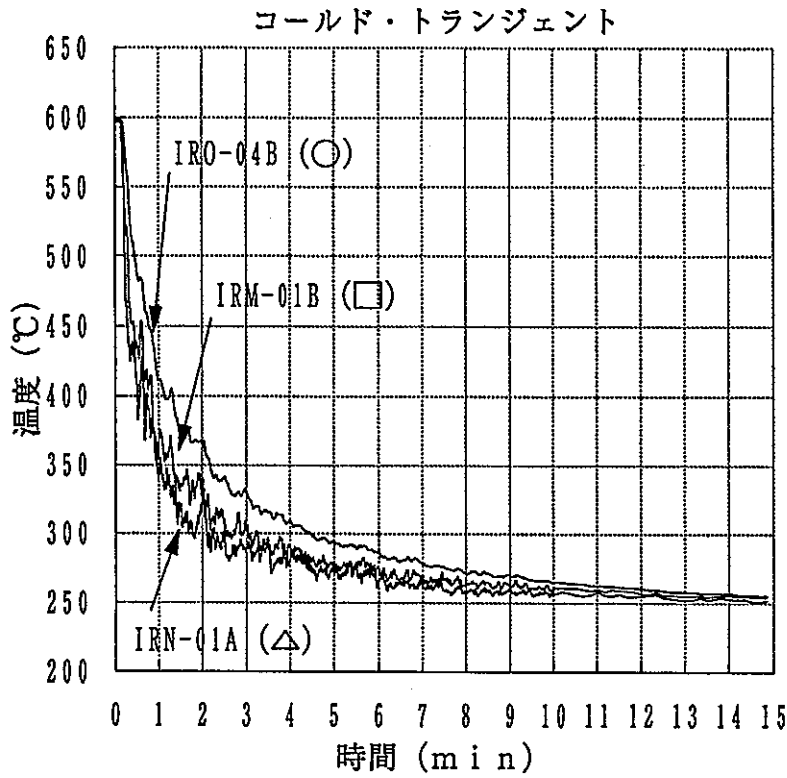


Fig. 4- 53 板厚方向温度分布 中子(1)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

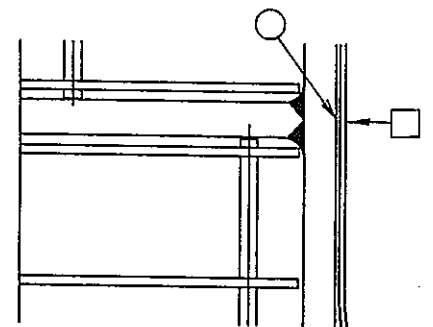
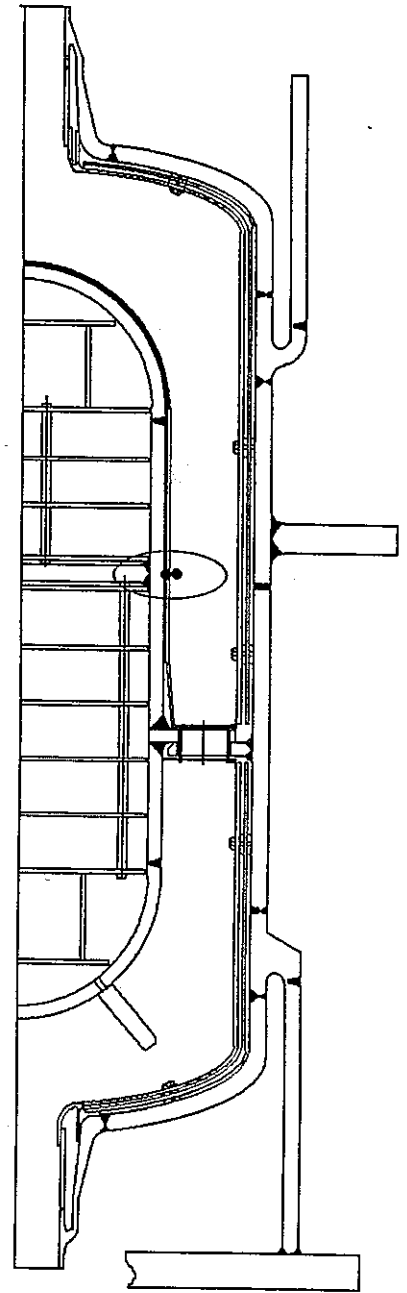
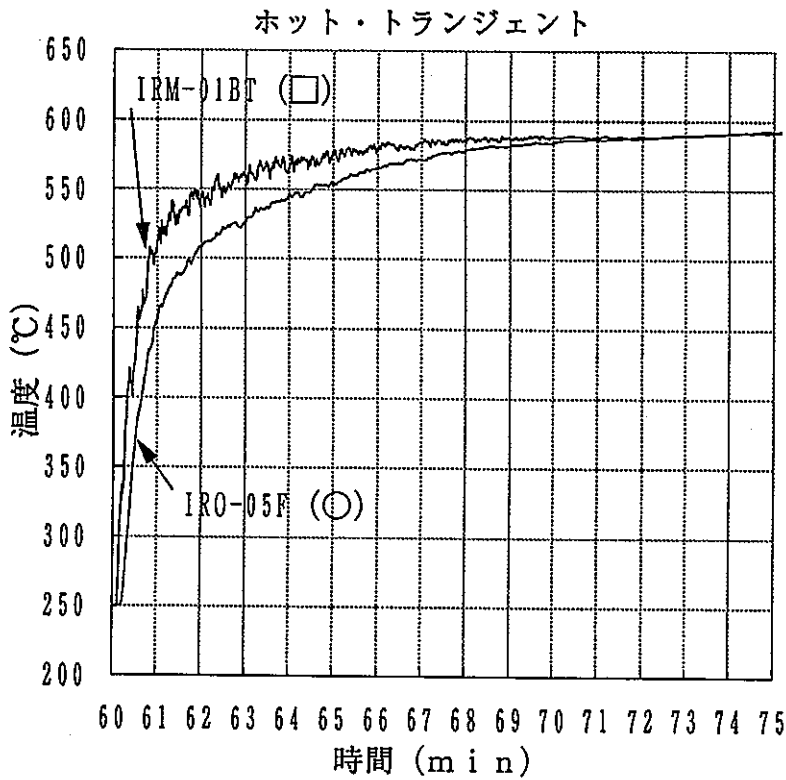
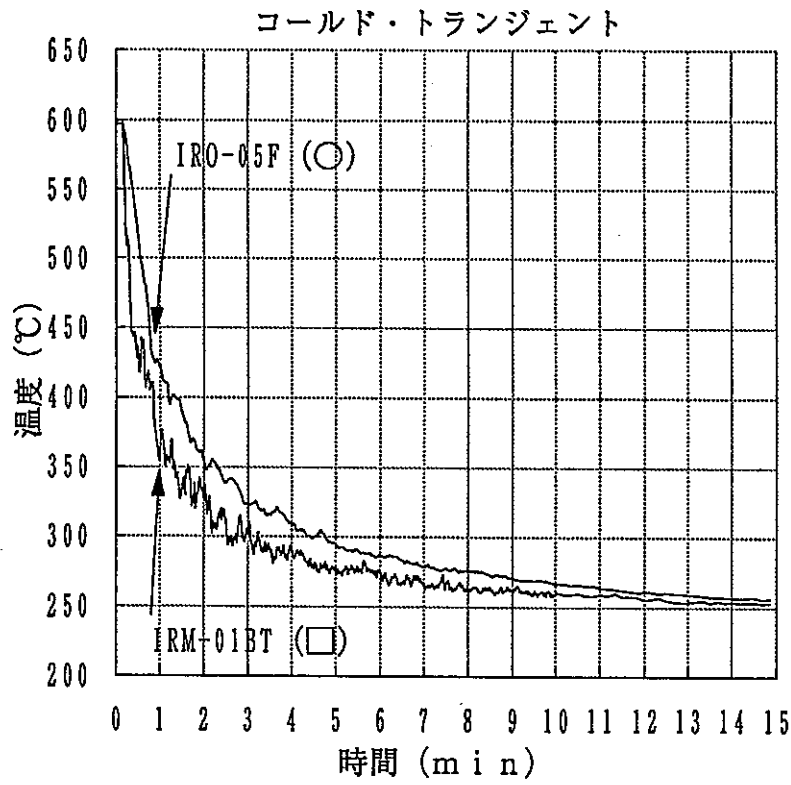


Fig. 4-54 板厚方向温度分布 中子(2)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

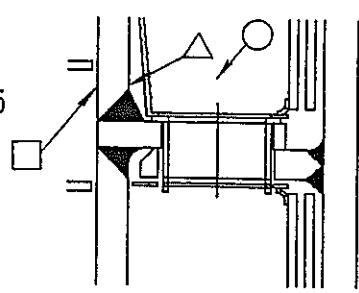
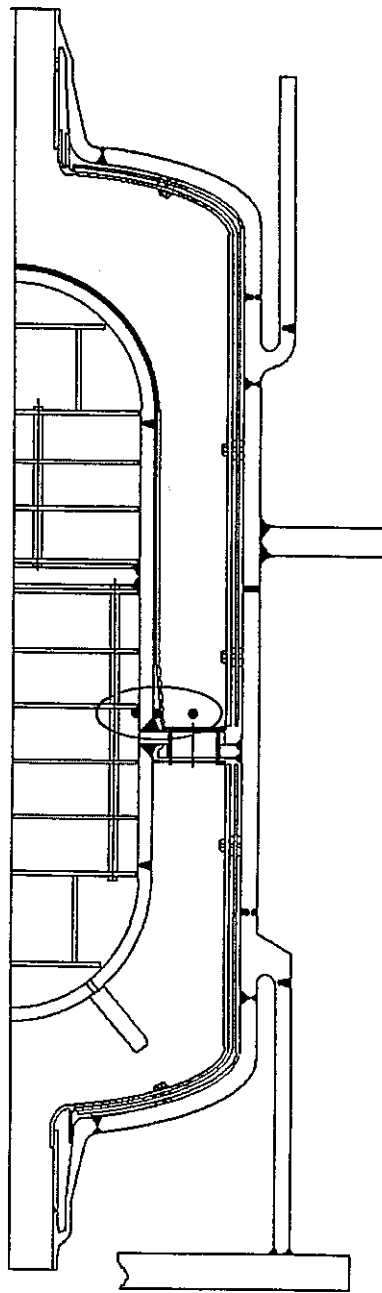
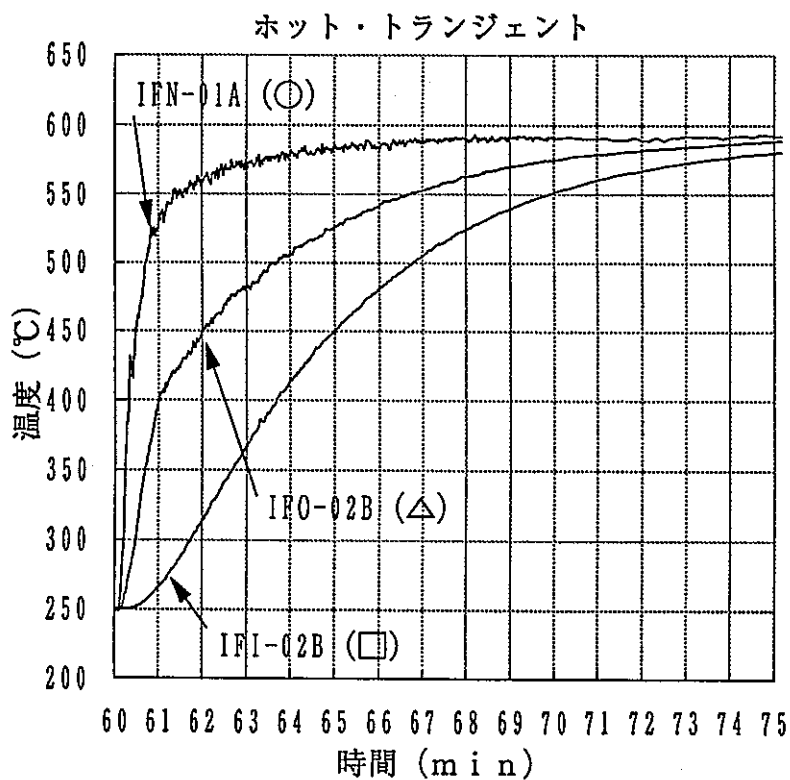
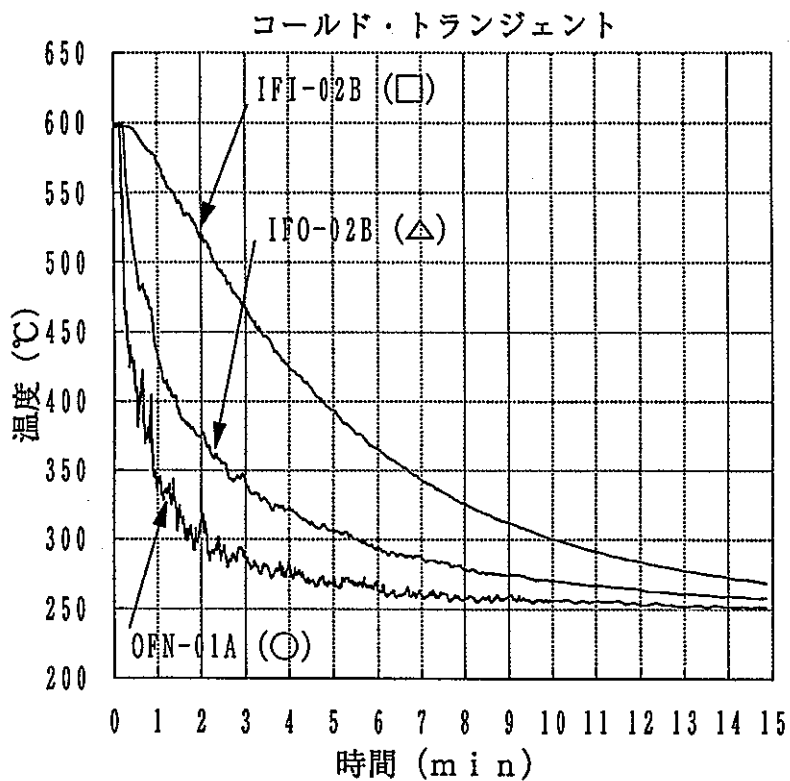


Fig. 4-55 板厚方向温度分布 中子(3)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

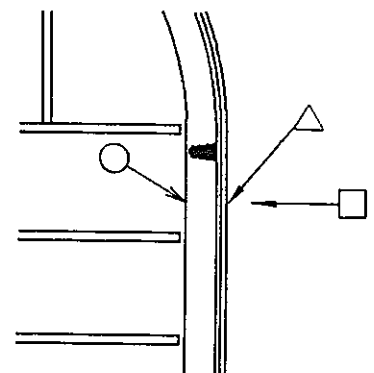
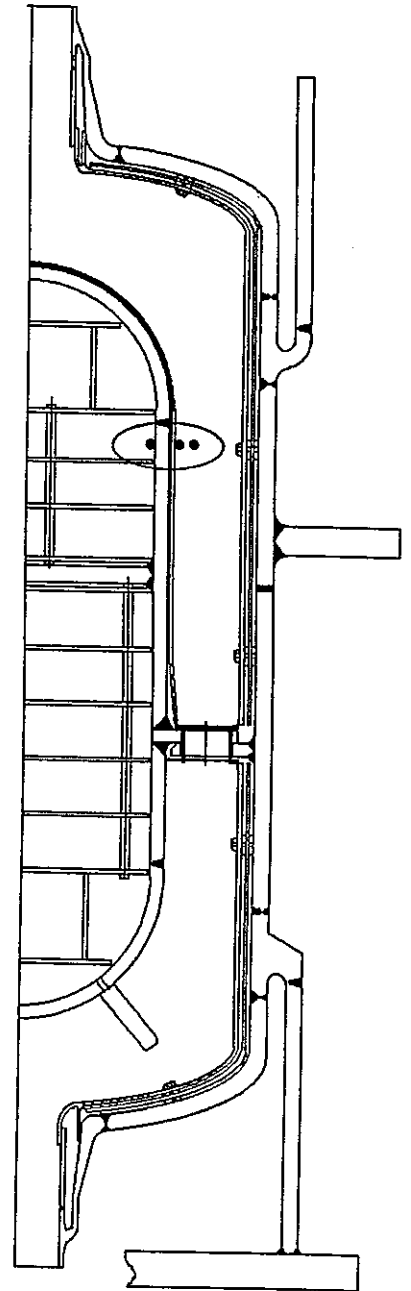
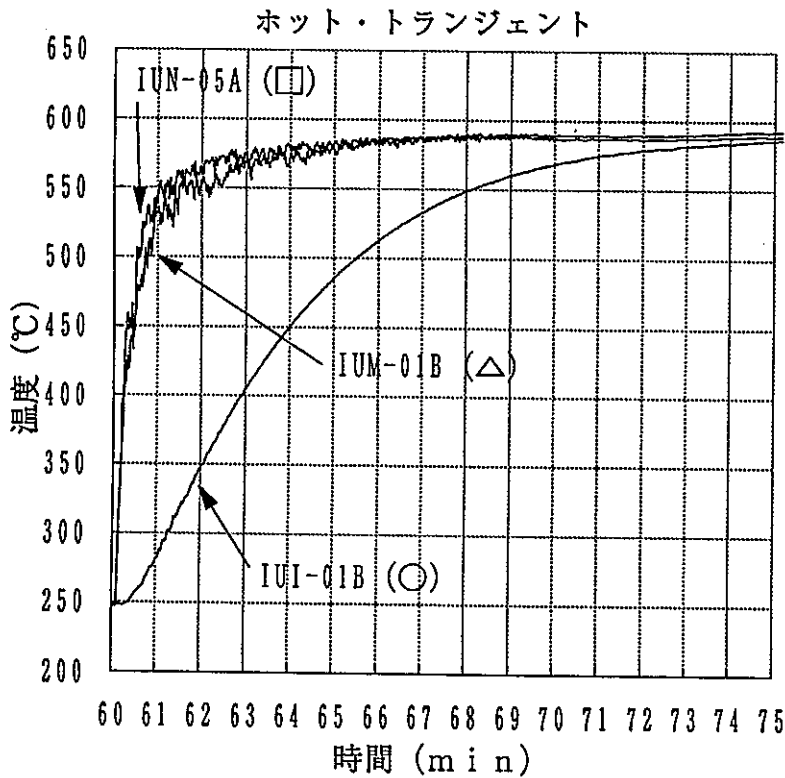
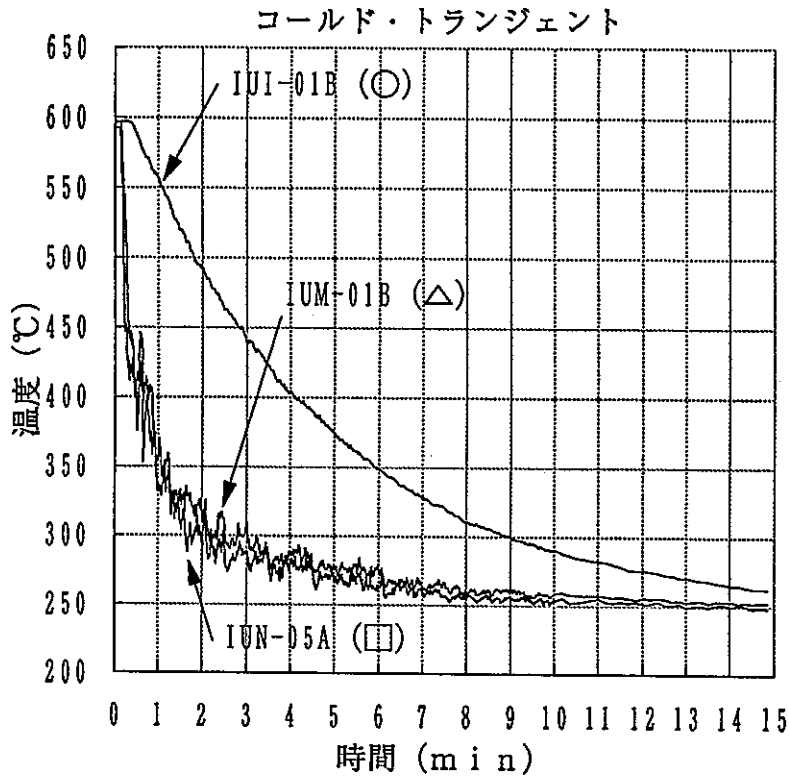


Fig. 4- 56 板厚方向温度分布 中子(4)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

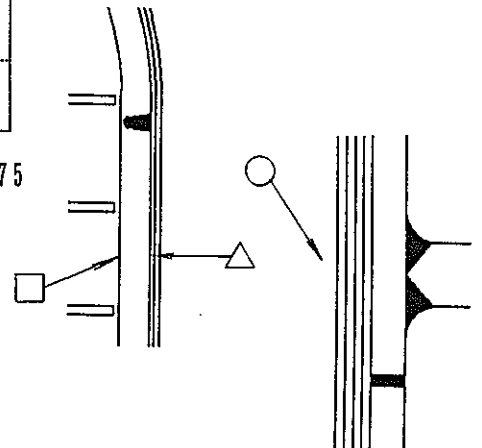
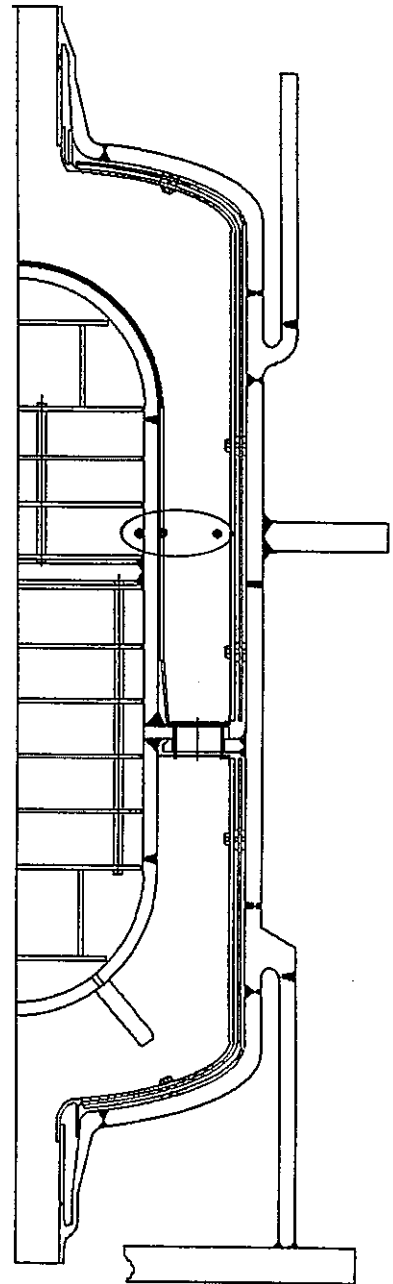
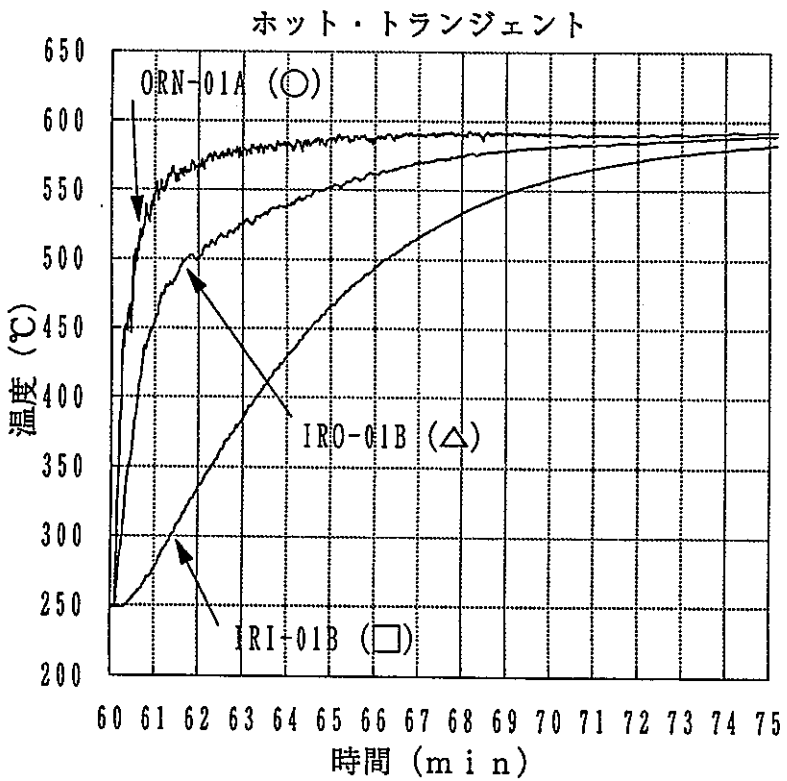
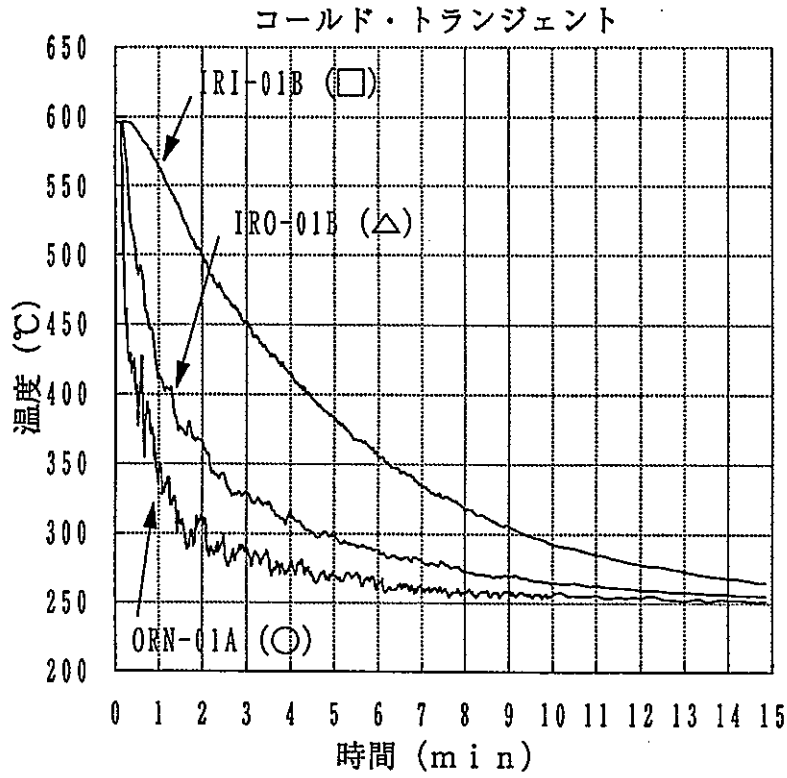


Fig. 4- 57 板厚方向温度分布 中子(5)

サイクル数=500 cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

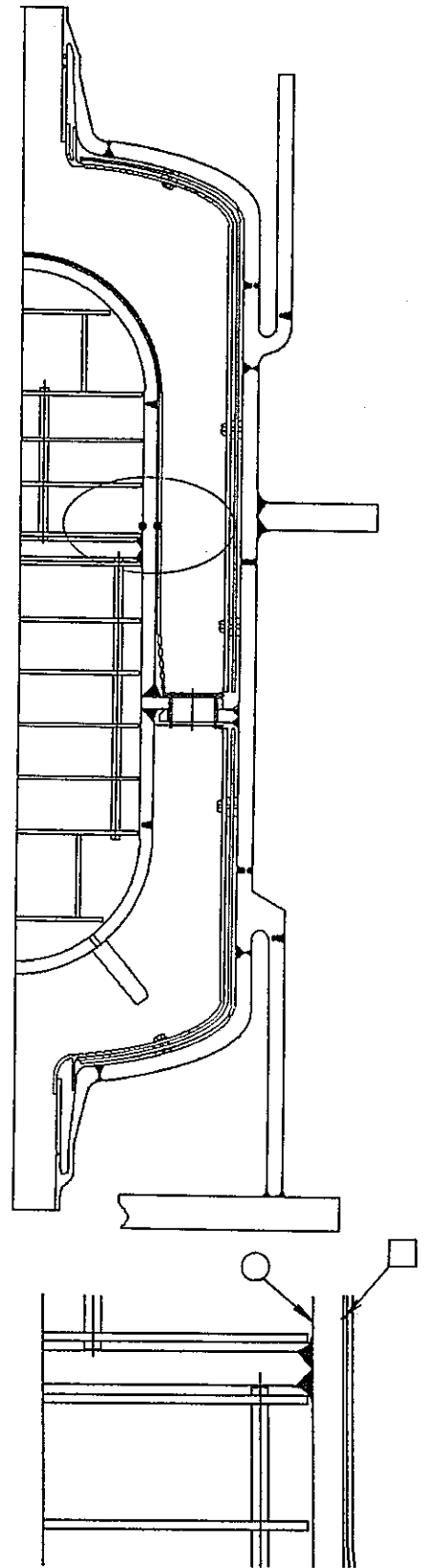
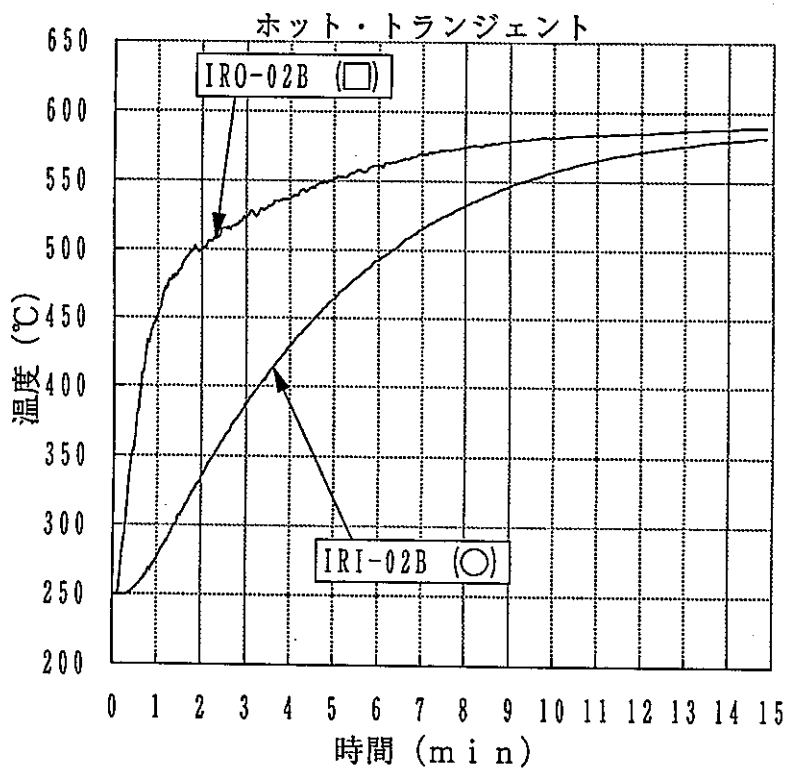
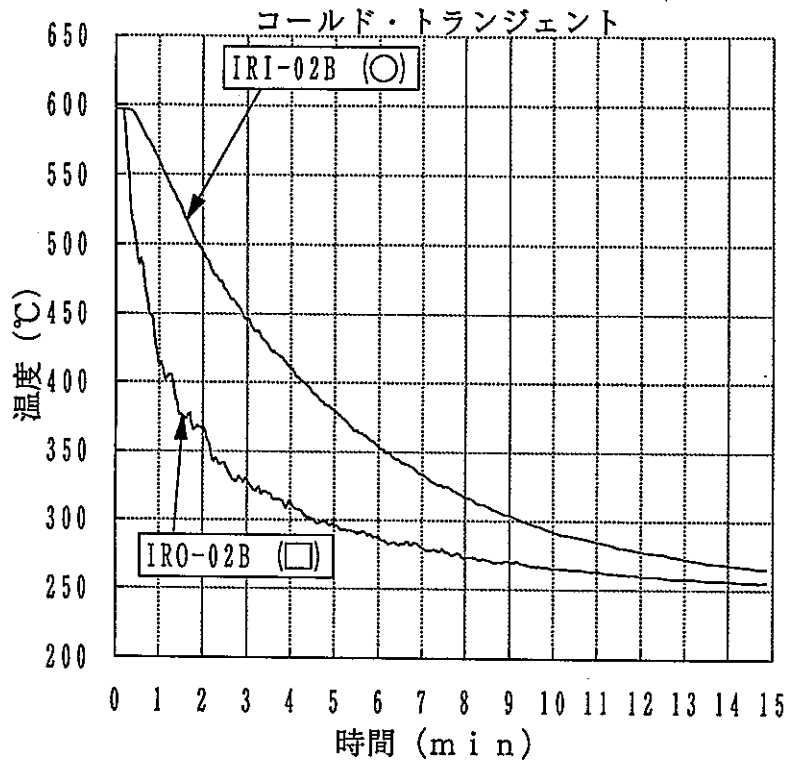


Fig. 4- 58 板厚方向温度分布 中子(6)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

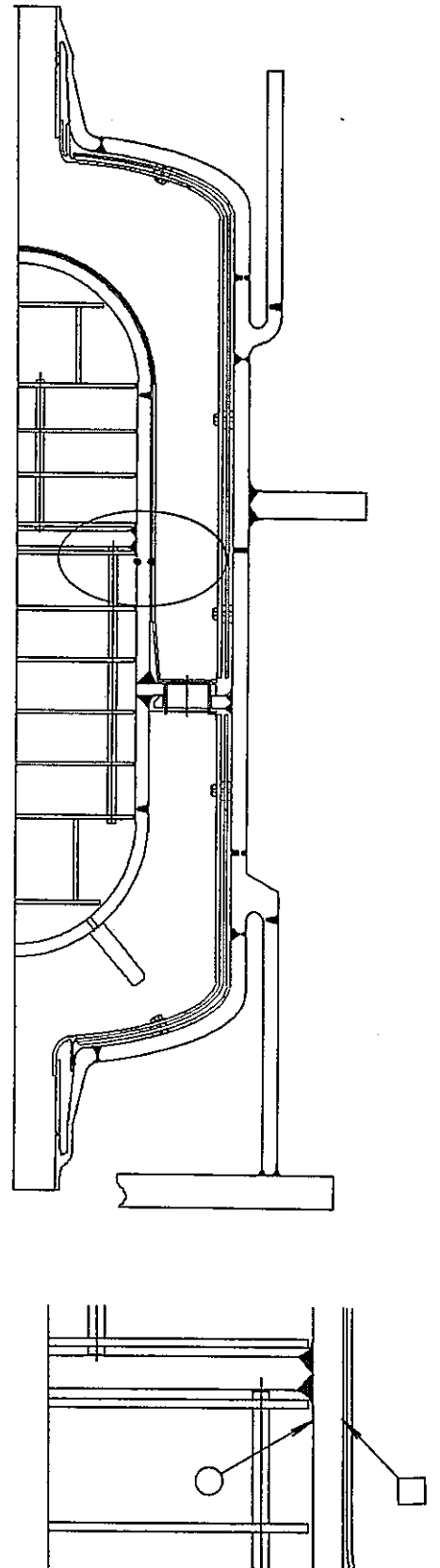
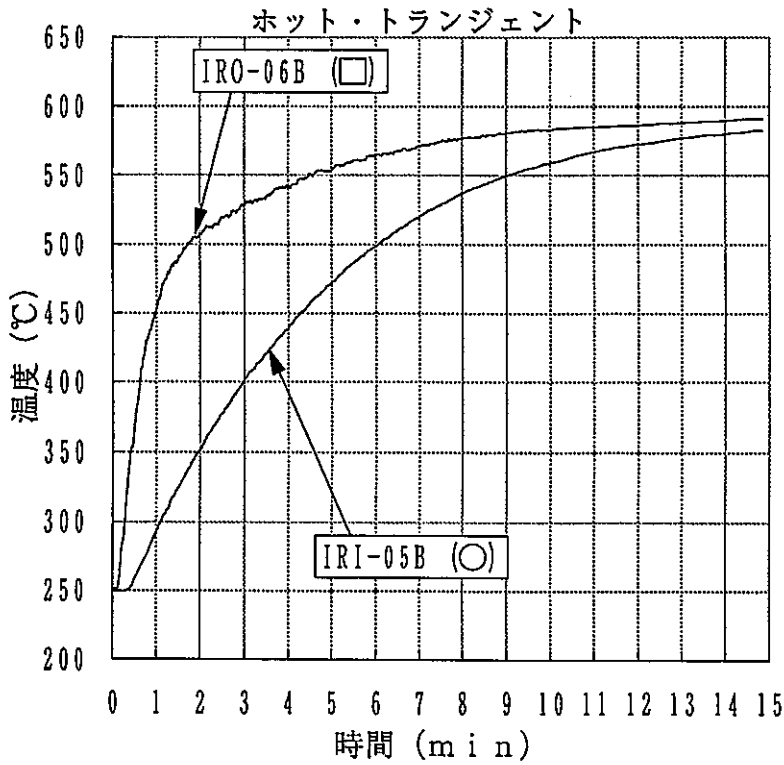
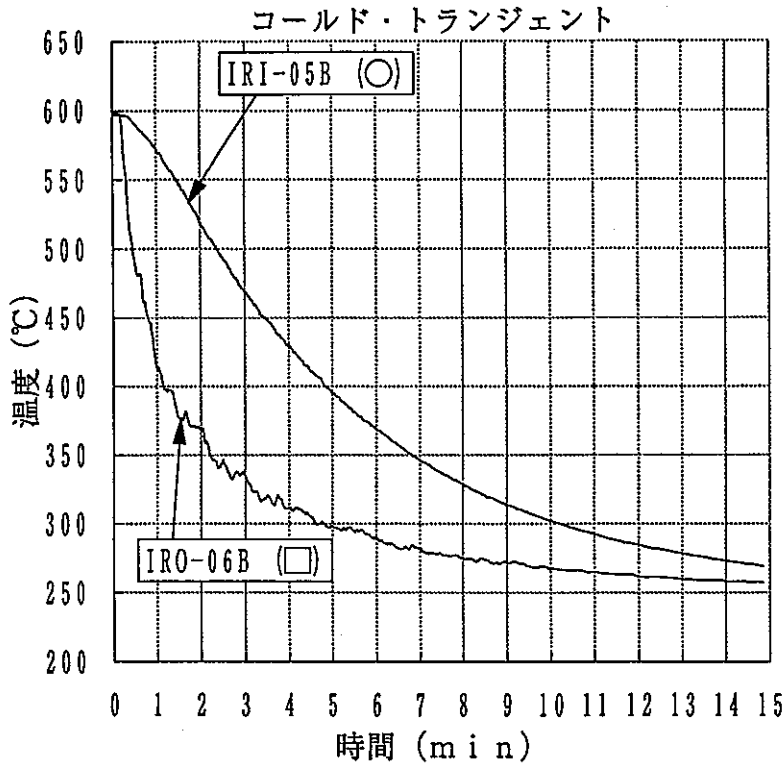


Fig. 4- 59 板厚方向温度分布 中子(7)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

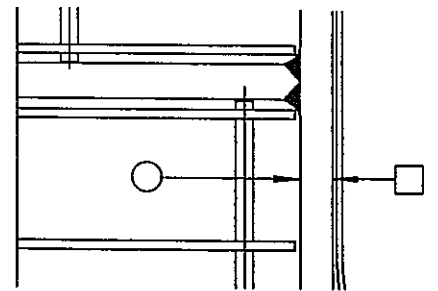
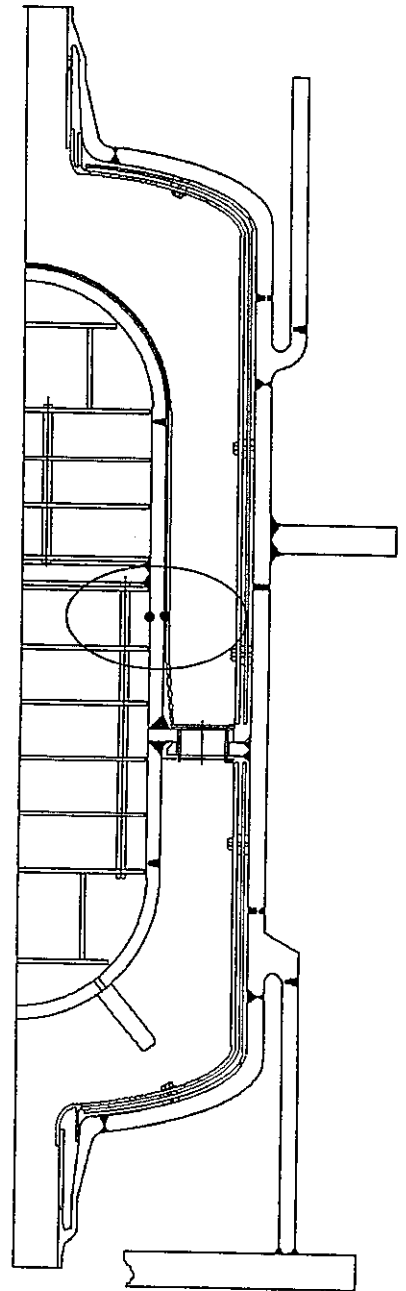
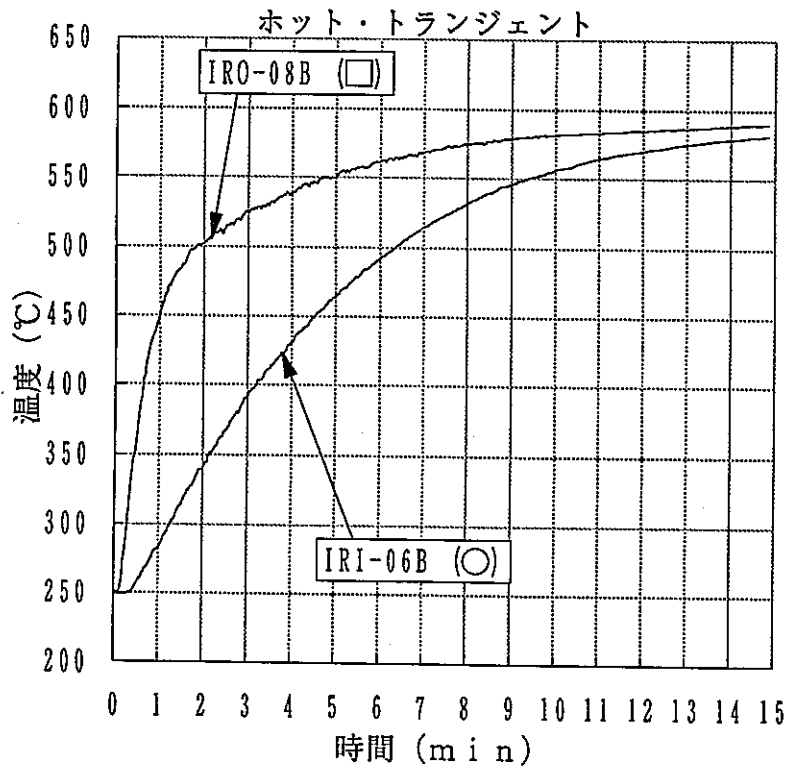
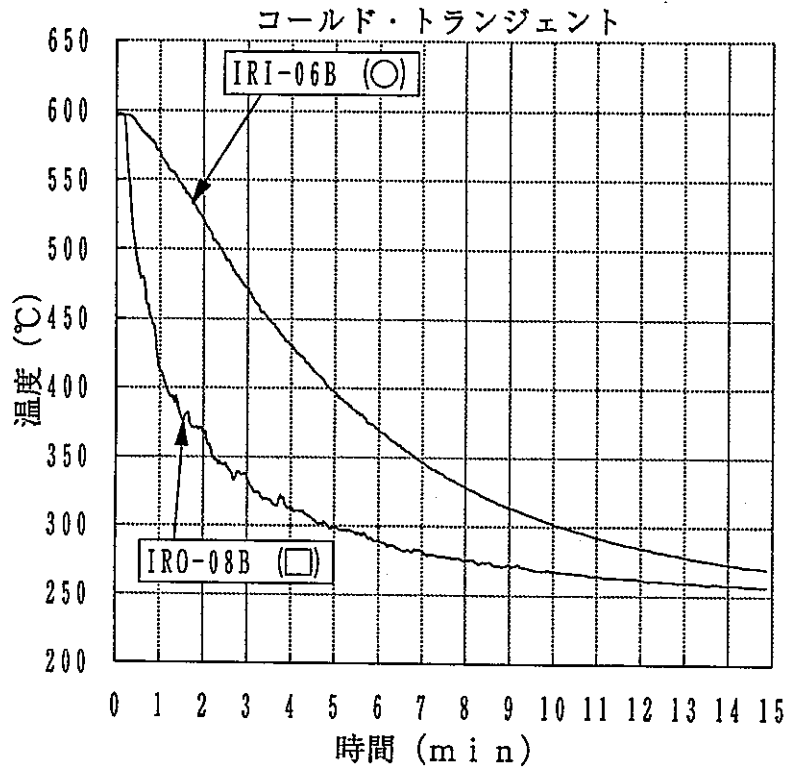


Fig. 4- 60 板厚方向温度分布 中子(8)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

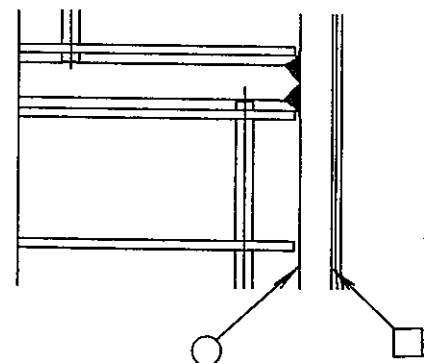
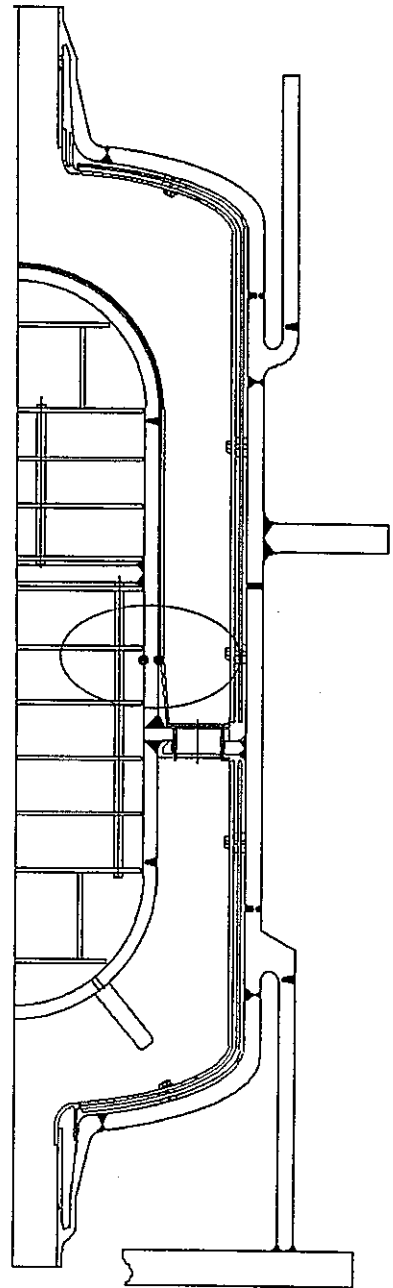
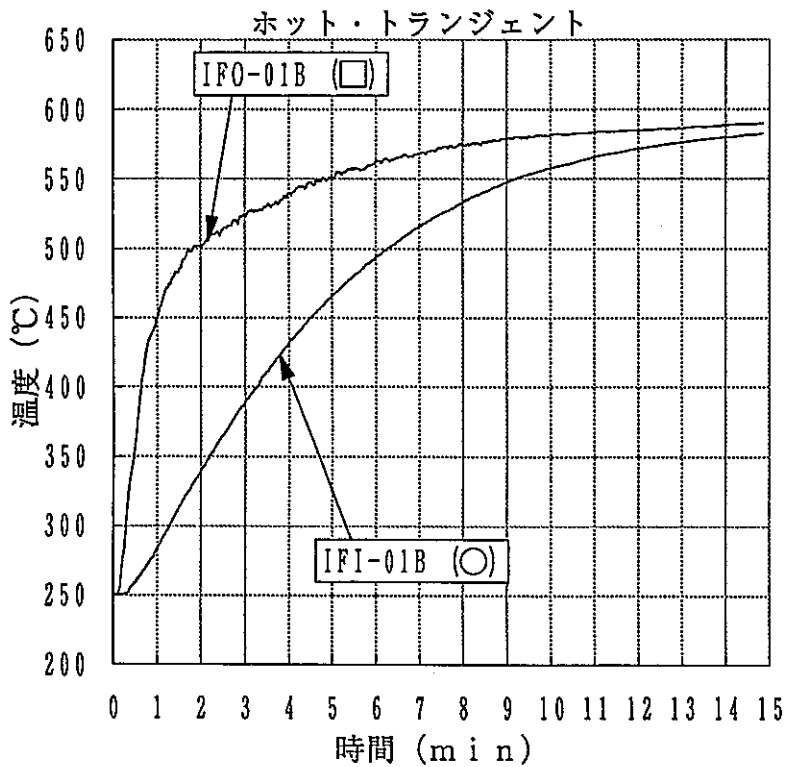
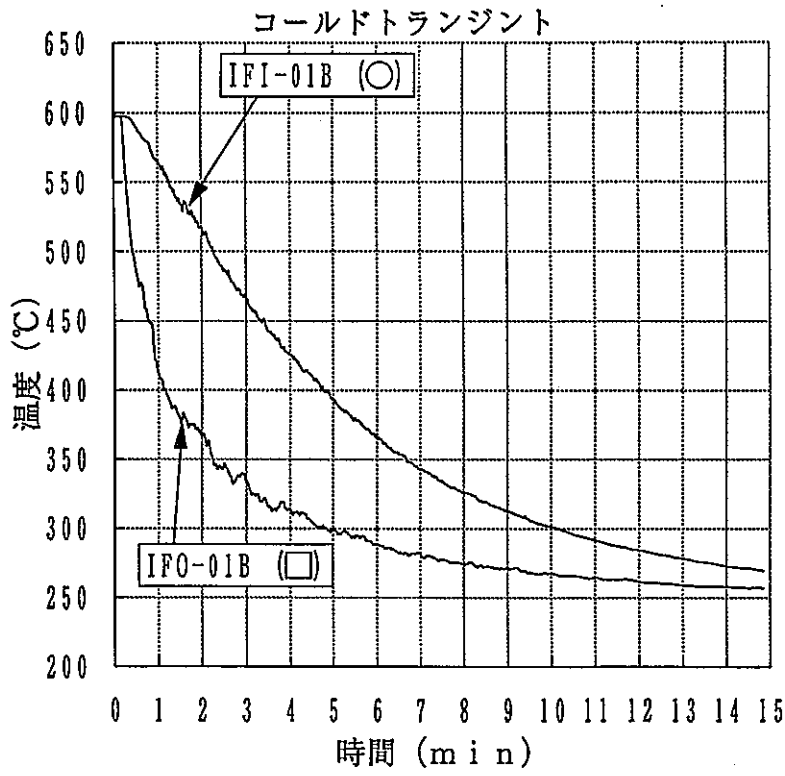


Fig. 4- 61 板厚方向温度分布 中子(9)

サイクル数=500 cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

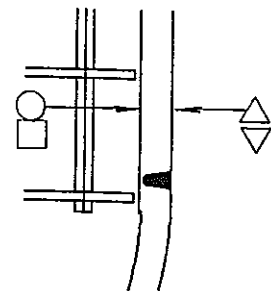
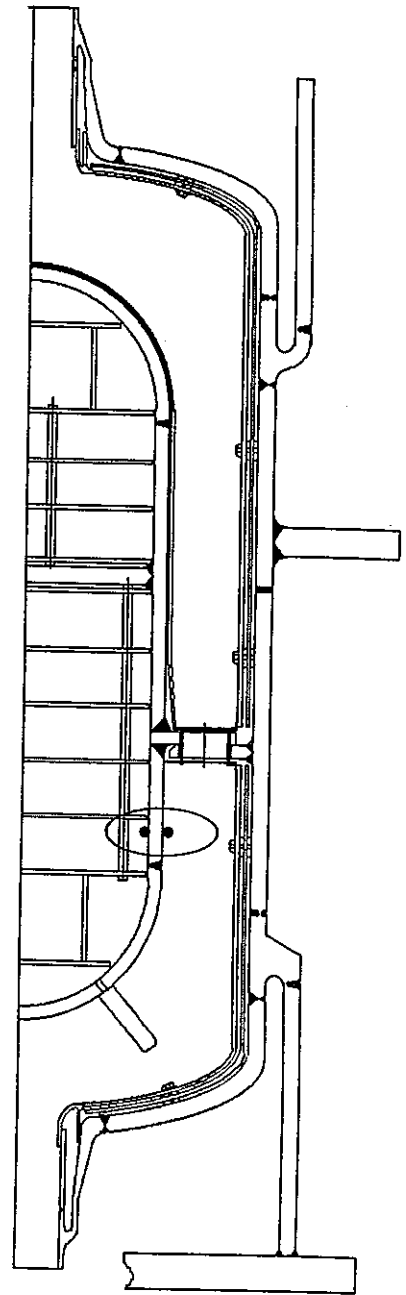
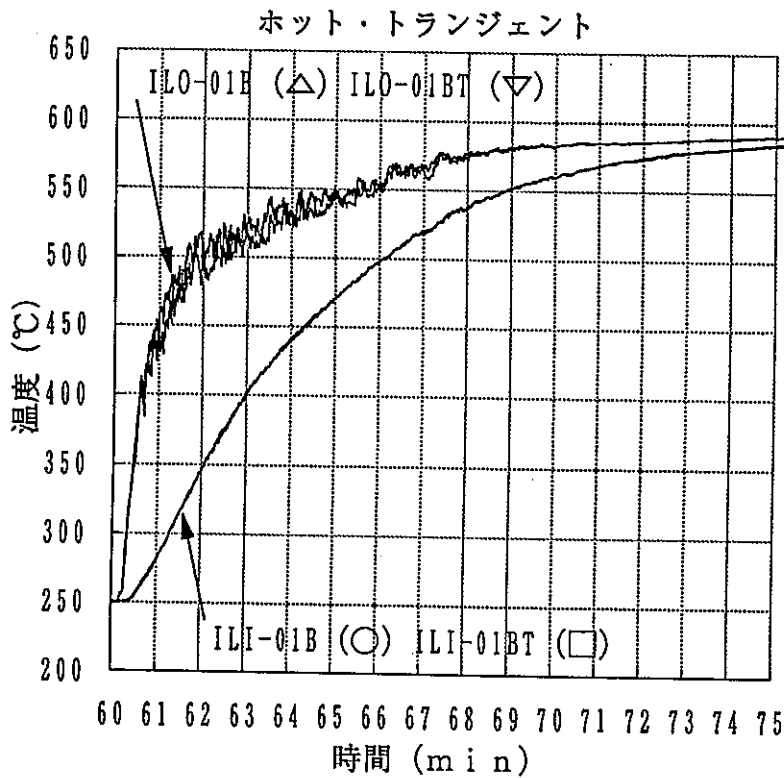
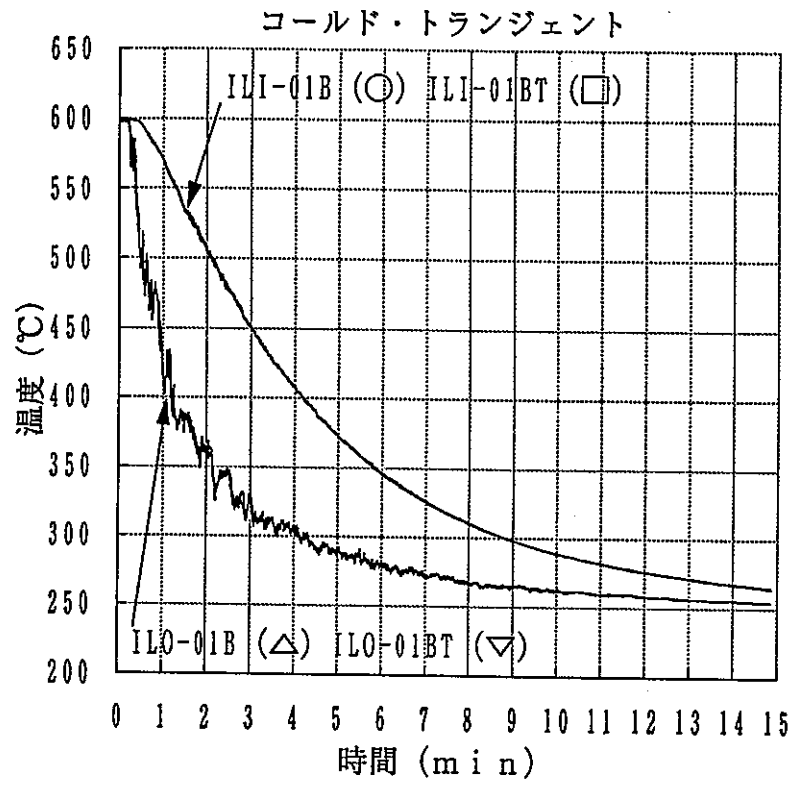


Fig. 4- 62 板厚方向温度分布 中子(10)

サイクル数=500 cycle
 時 刻=平成4年5月10日
 18:00~

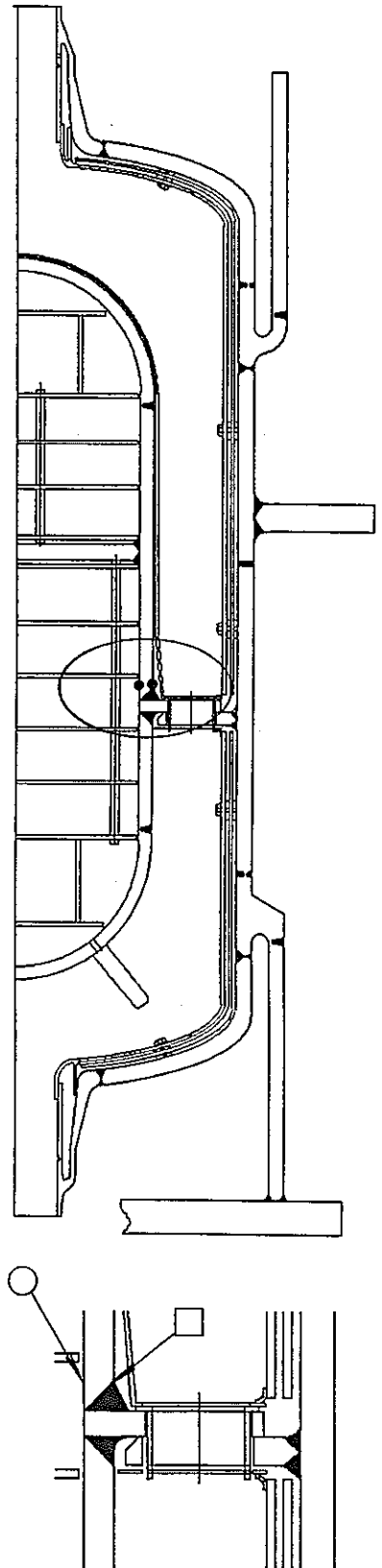
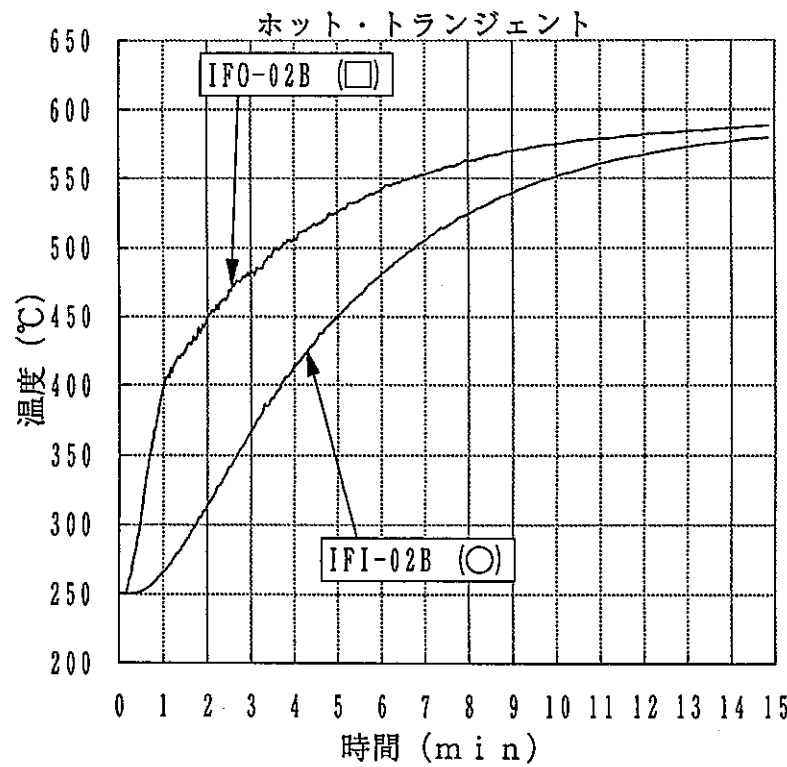
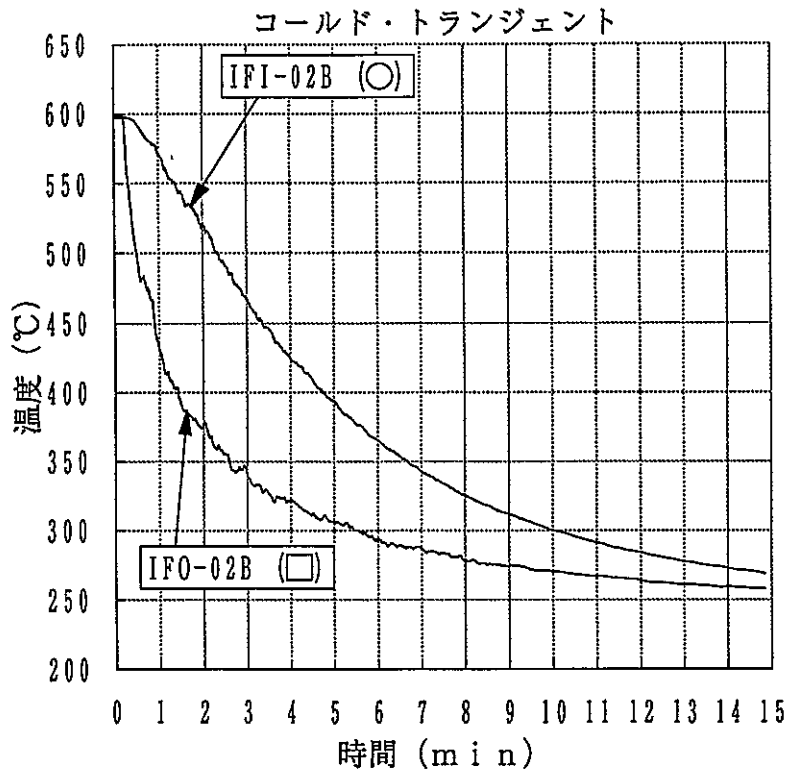


Fig. 4- 63 板厚方向温度分布 中子(11)

サイクル数=500 cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

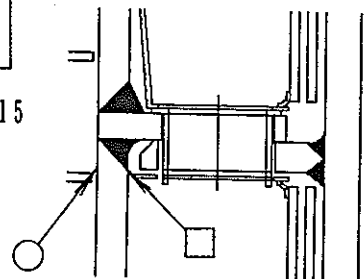
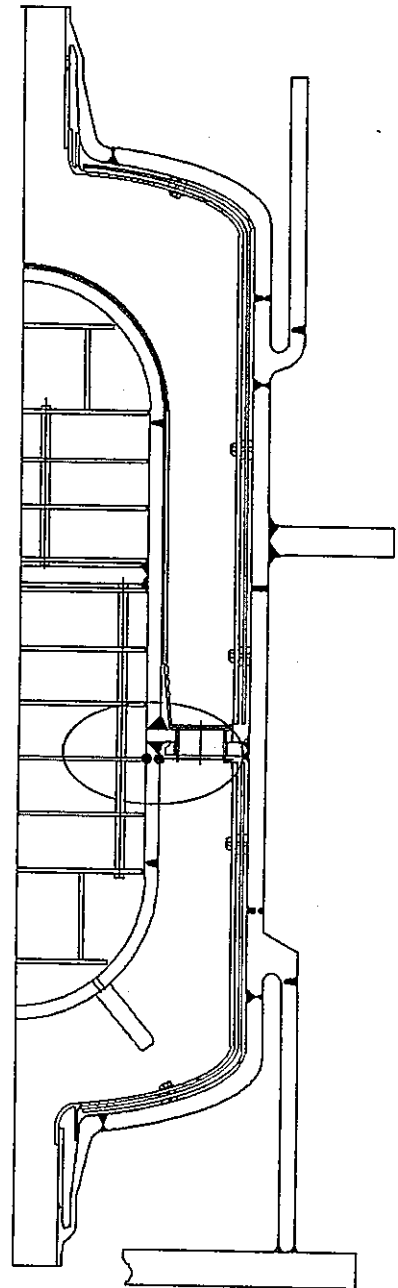
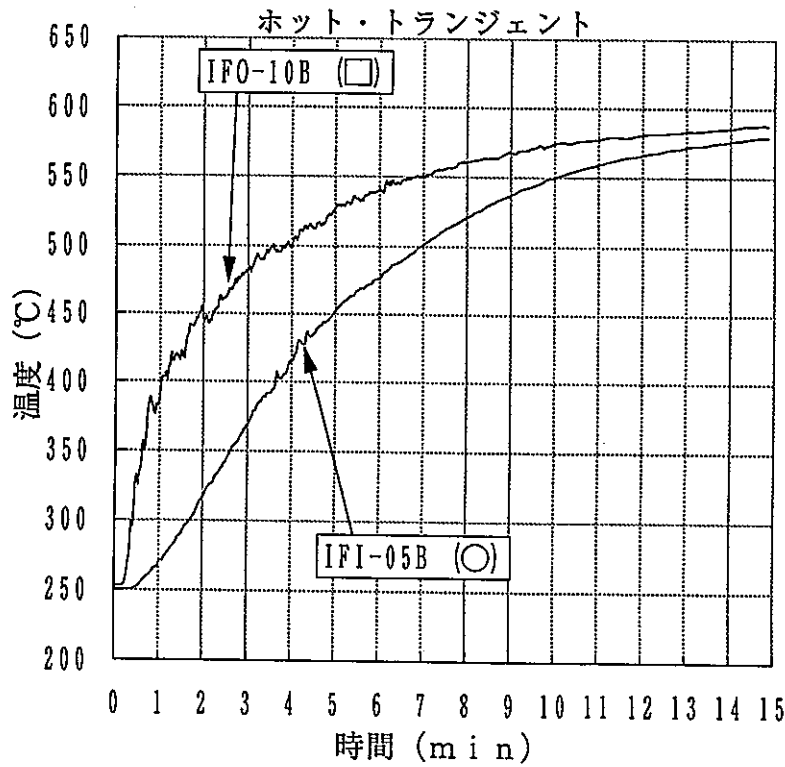
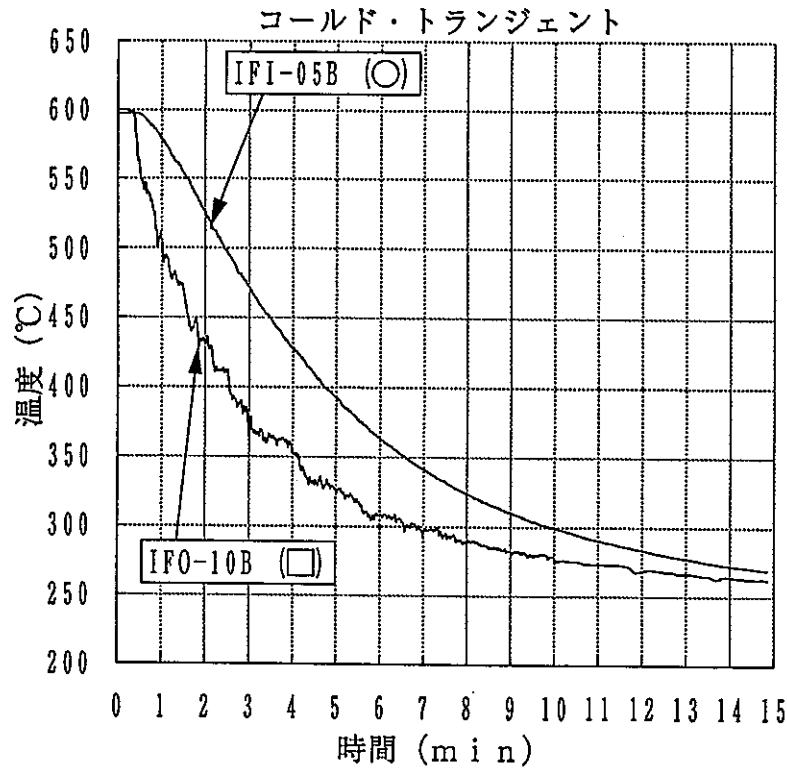


Fig. 4- 64 板厚方向温度分布 中子(12)

サイクル数=500 cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

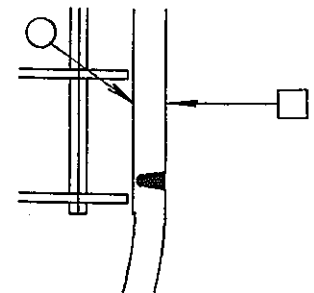
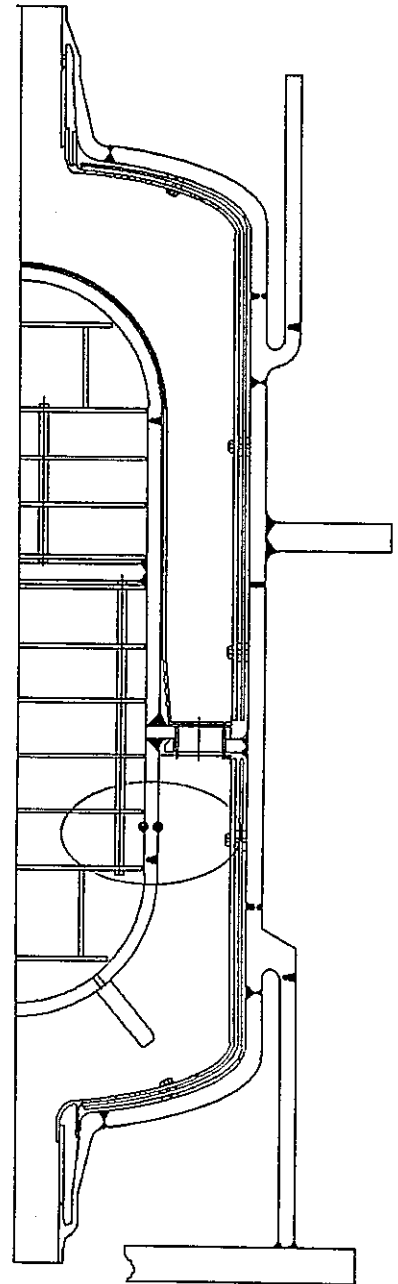
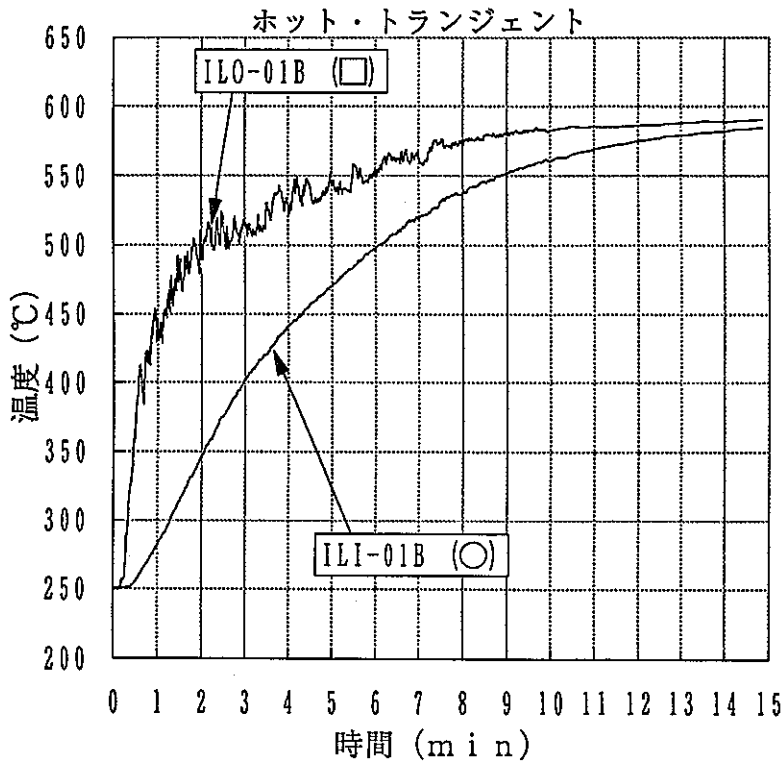
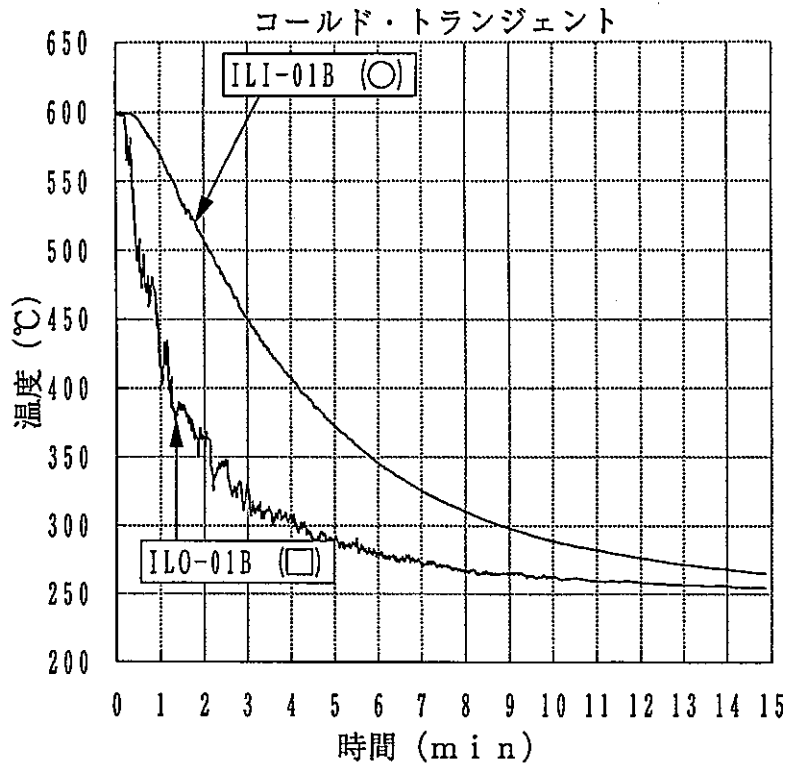


Fig. 4- 65 板厚方向温度分布 中子(13)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

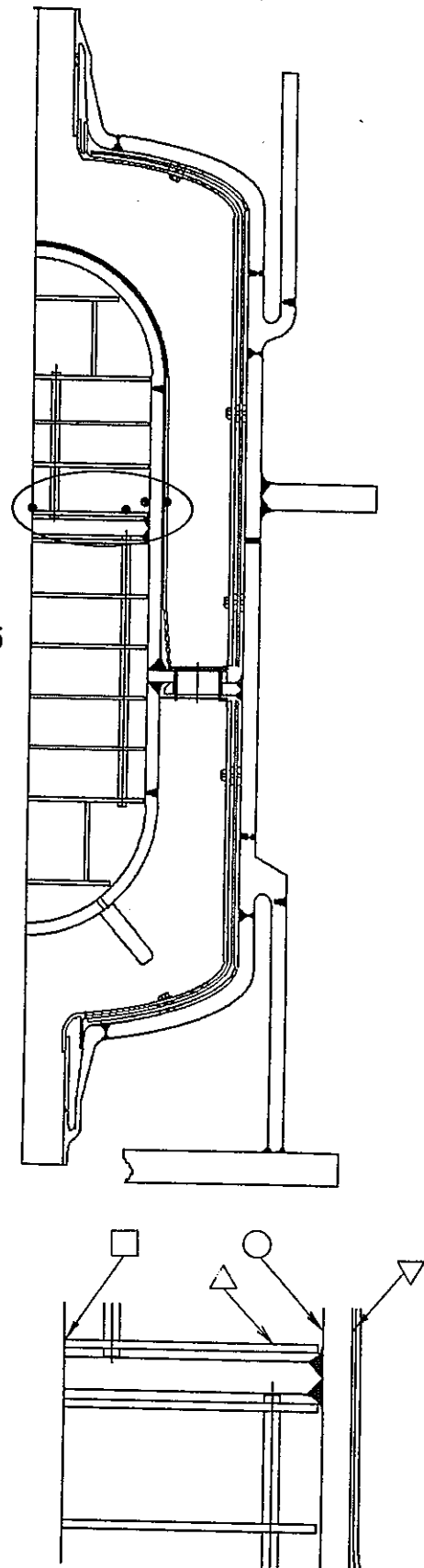
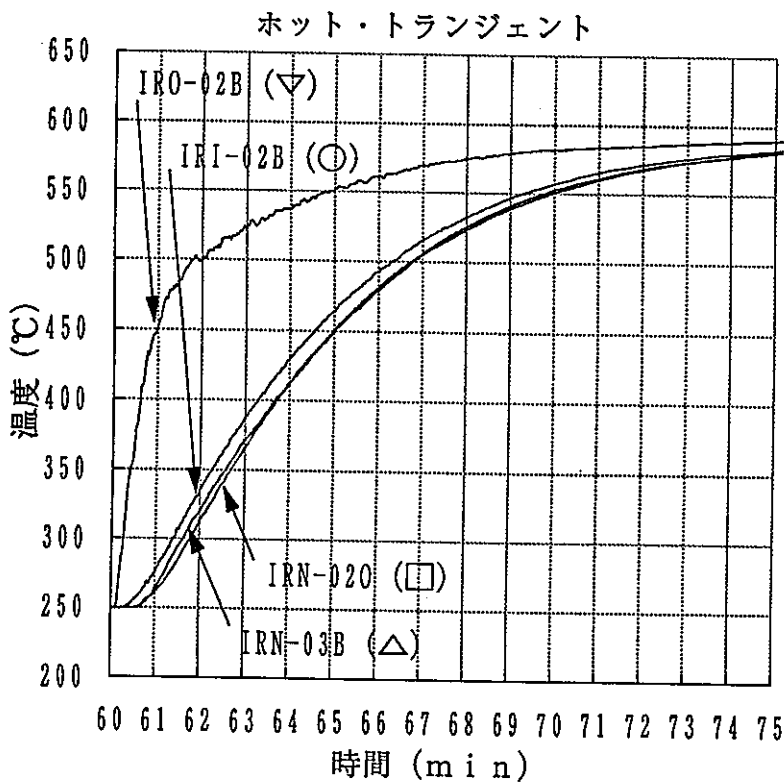
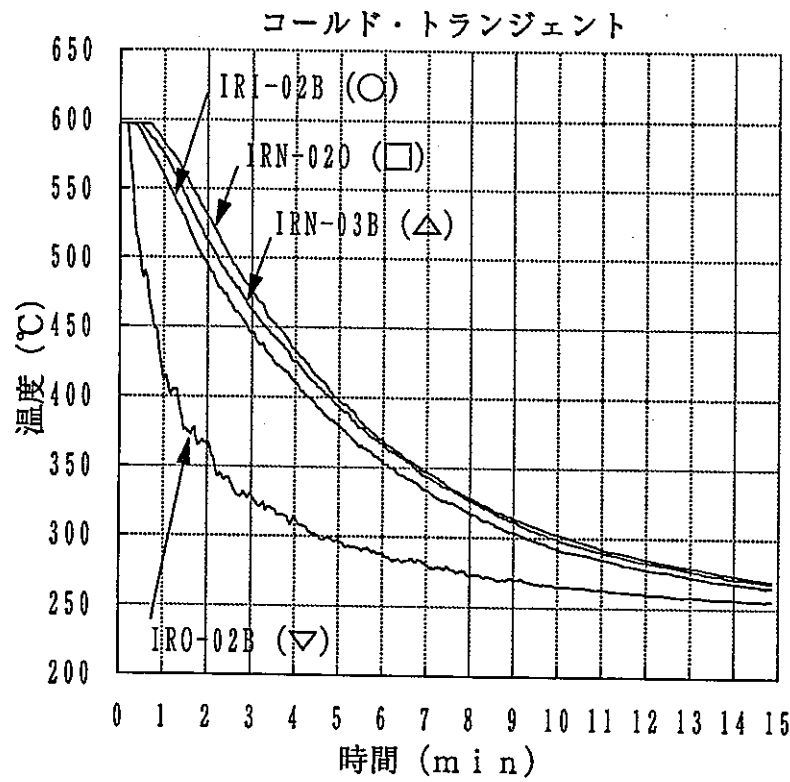


Fig. 4-66 板厚方向温度分布 中子(14)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

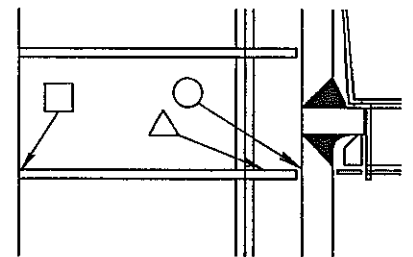
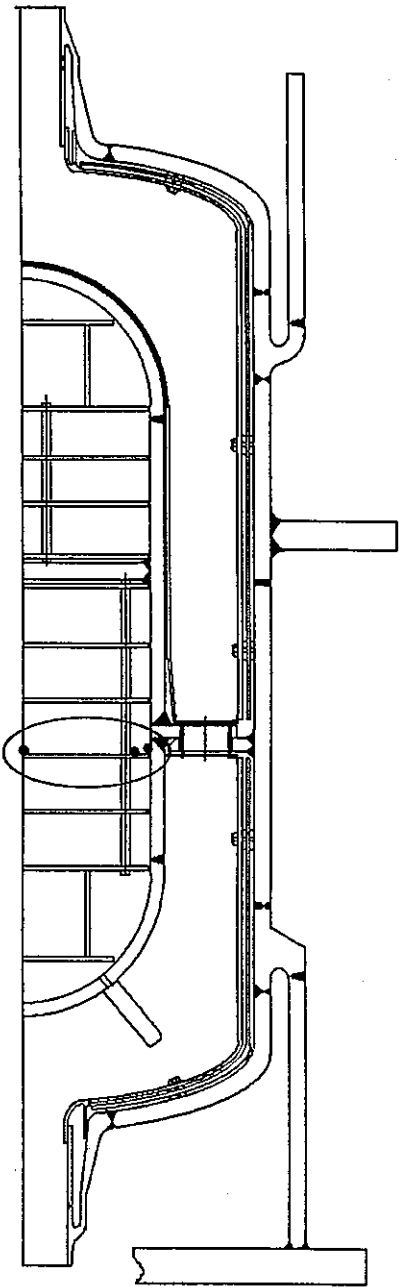
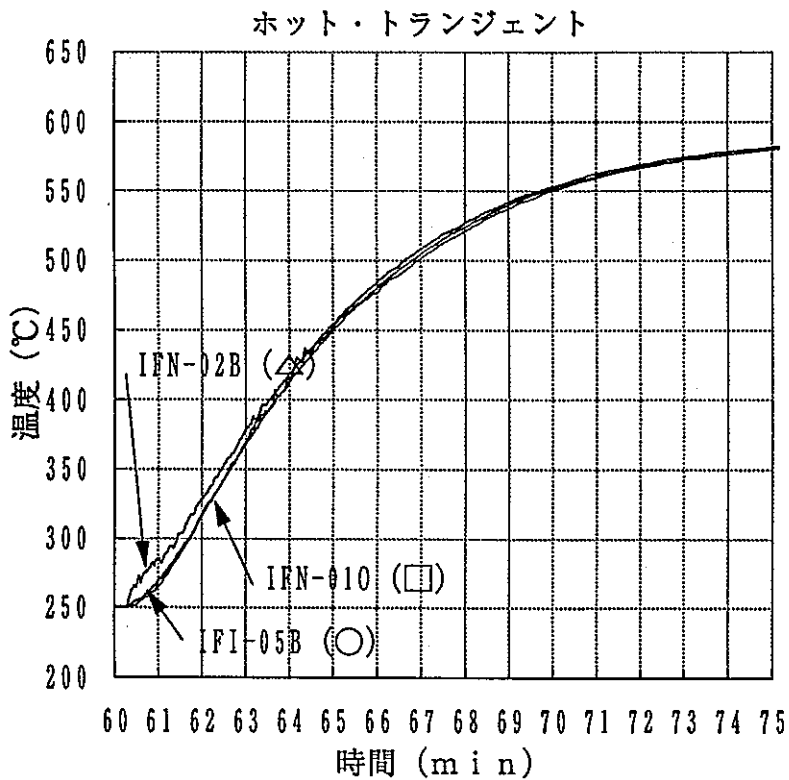
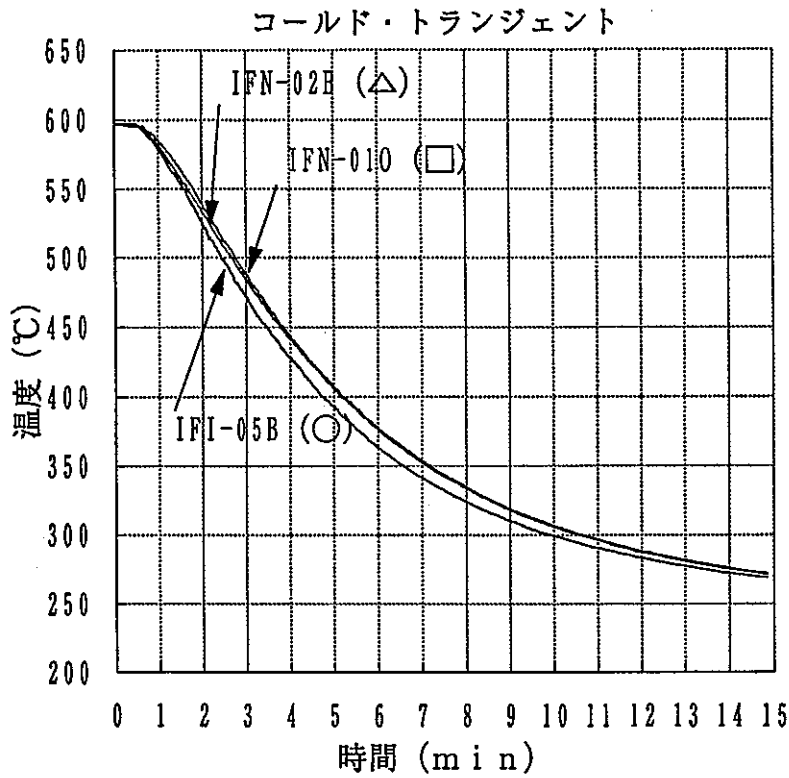
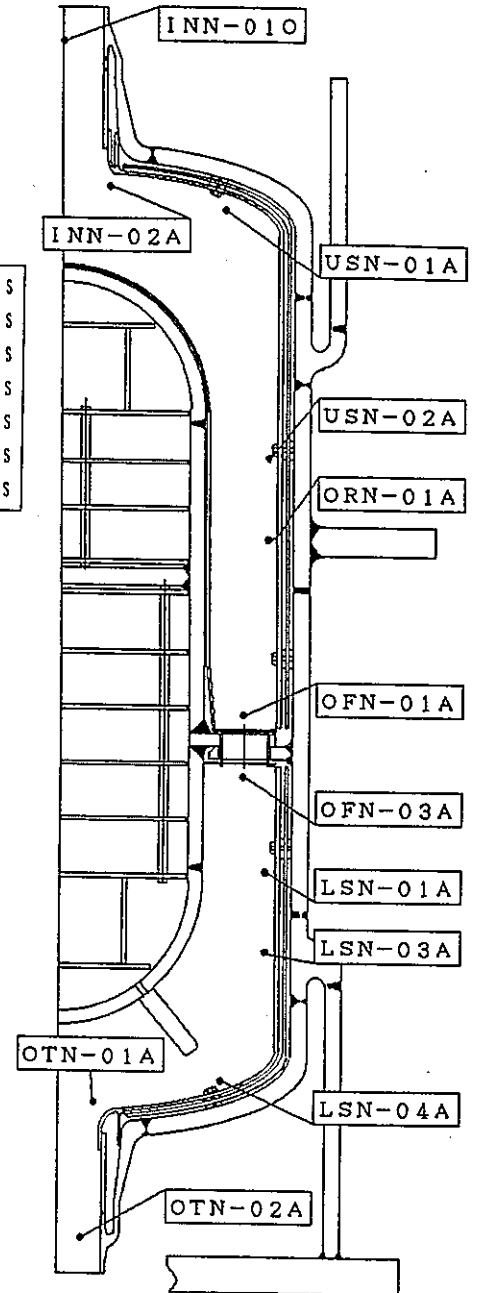
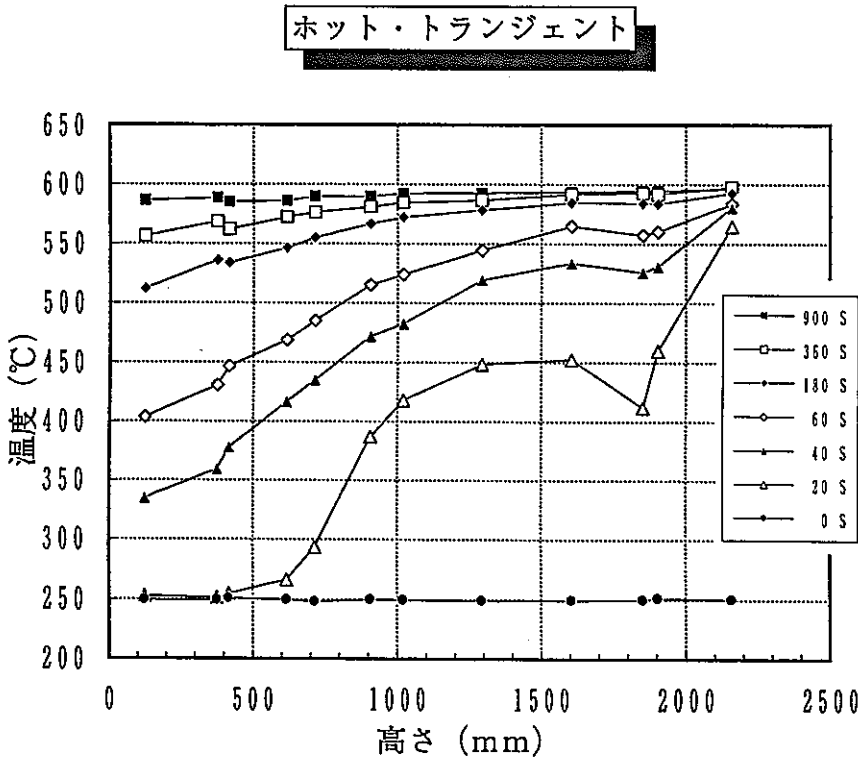
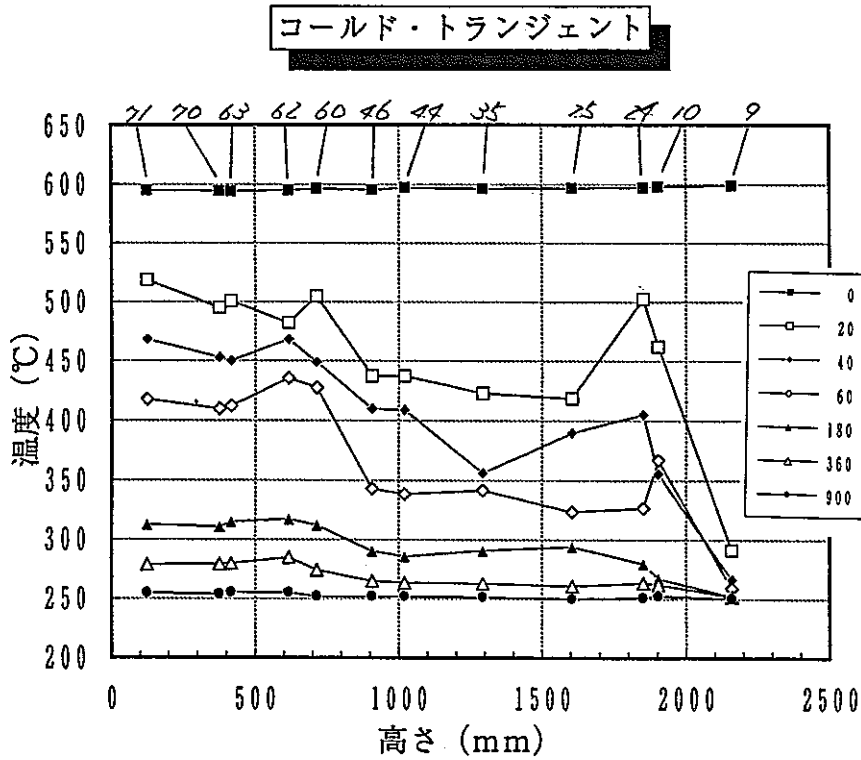


Fig. 4- 67 板厚方向温度分布 中子(15)

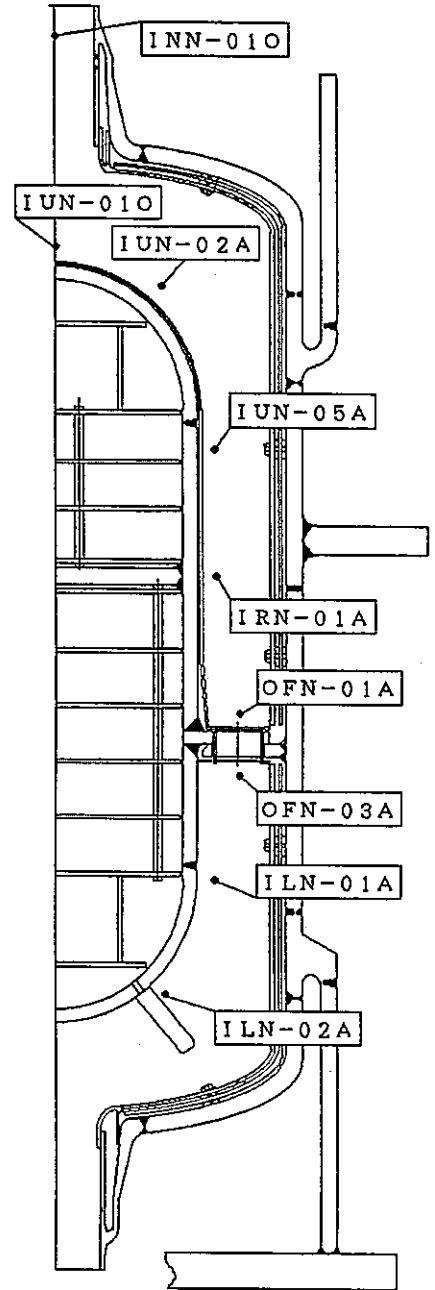
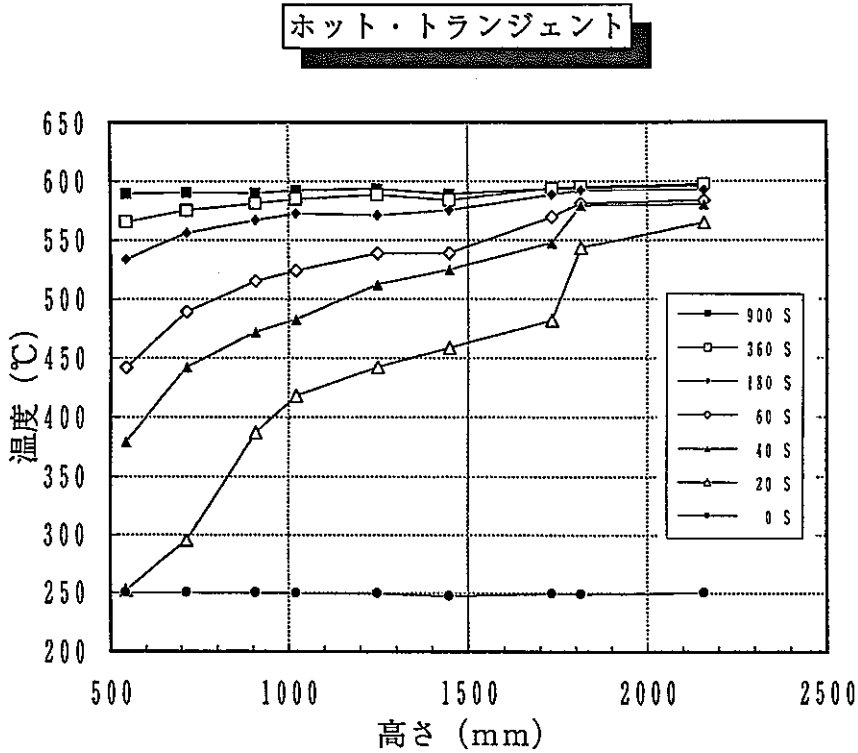
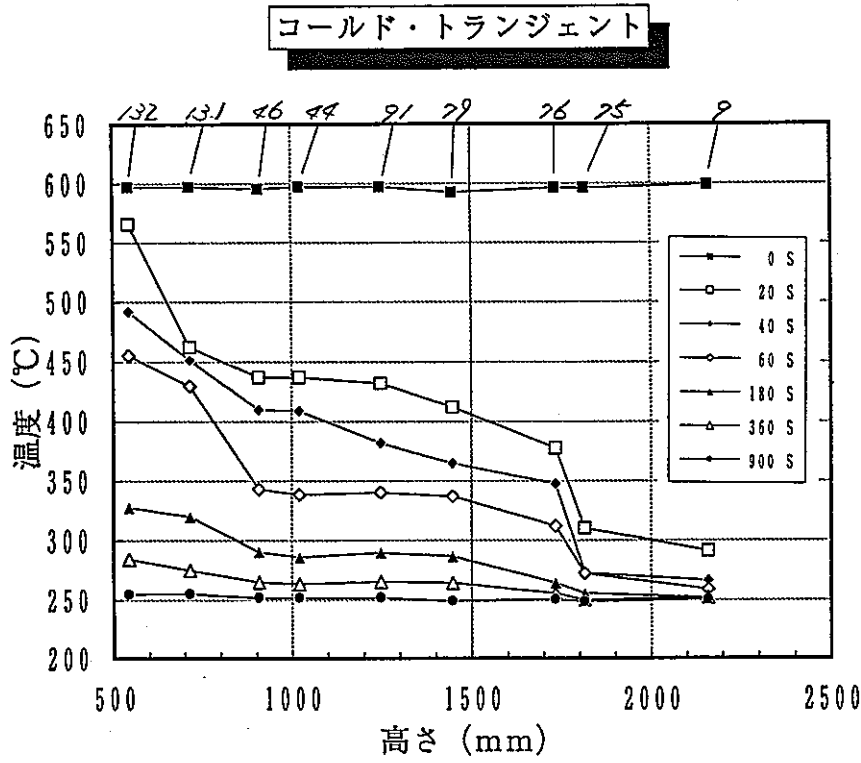
サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~



CHNo.	TE No.
9	INN-010
10	-02A
24	USN-01A
25	-02A
35	ORN-01A
44	OFN-01A
46	-03A
60	LSN-01A
62	-03A
63	-04A
70	OTN-01A
71	-02A

Fig. 4- 68 軸方向温度分布 主流路(1)

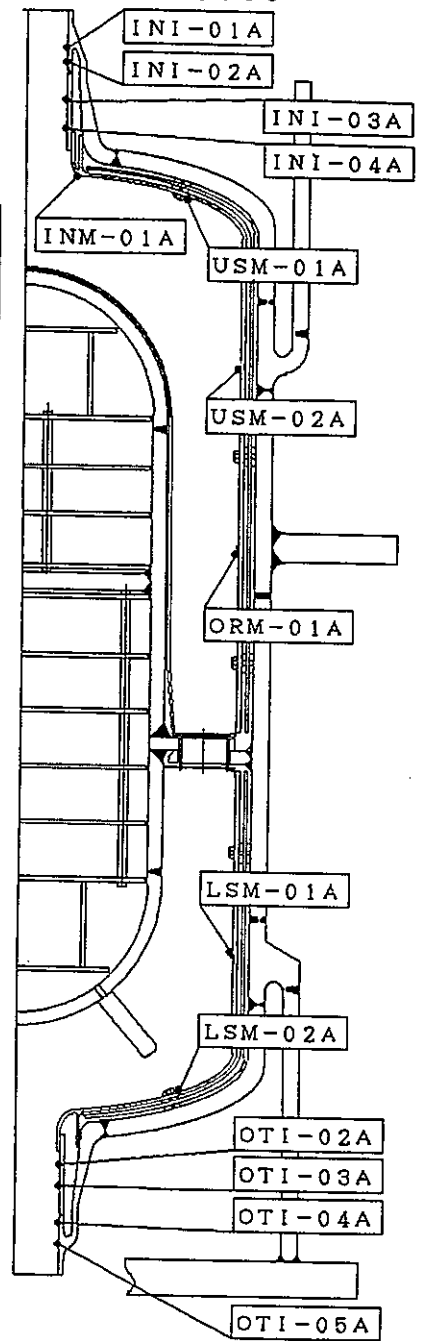
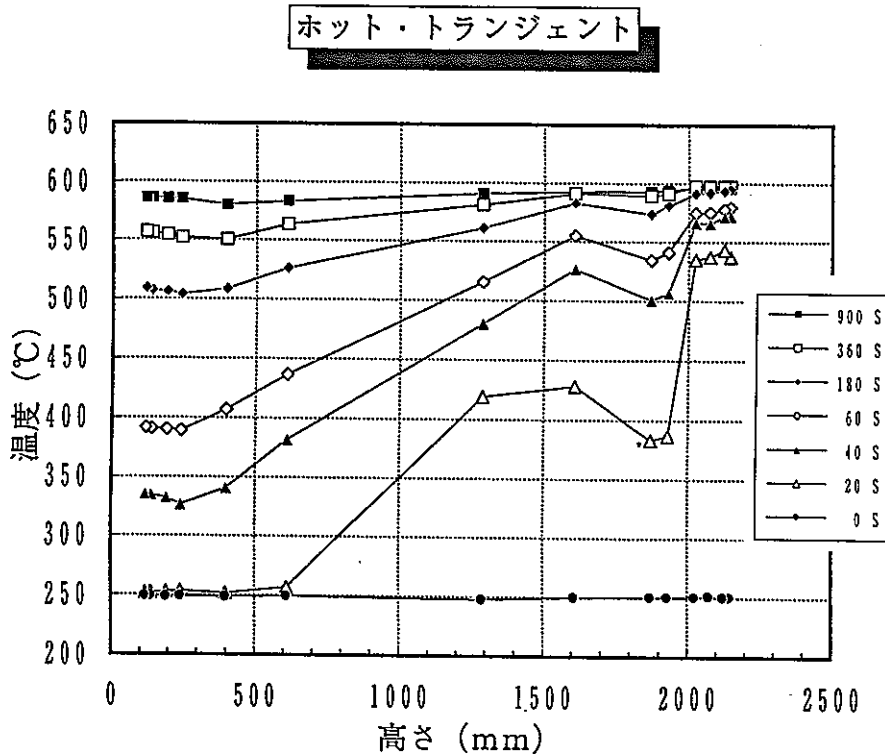
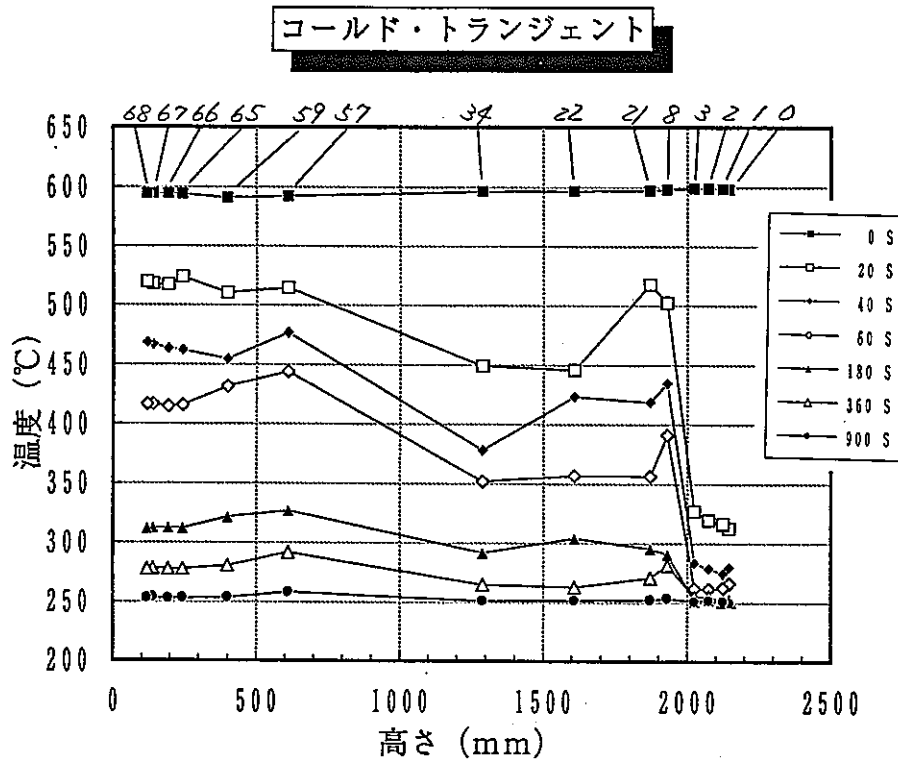
サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~



CHNo.	TE No.
9	INN-010
75	IUN-010
76	-02A
79	-05A
91	IRN-01A
44	OFN-01A
46	-03A
131	ILN-01A
132	-02A

Fig. 4-69 軸方向温度分布 主流路(2)

サイクル数=500cycle
 時 刻=平成4年5月10日
 18:00~



CHNo.	TE No.
0	INI-01A
1	-02A
2	-03A
3	-04A
8	INM-01A
21	USM-01A
22	-02A
34	ORM-01A
57	LSM-01A
59	-02A
65	OTI-02A
66	-03A
67	-04A
68	-05A

Fig. 4-70 軸方向温度分布 ライナ表面

サイクル数=500cycle
 時 刻=平成4年5月10日
 18:00~

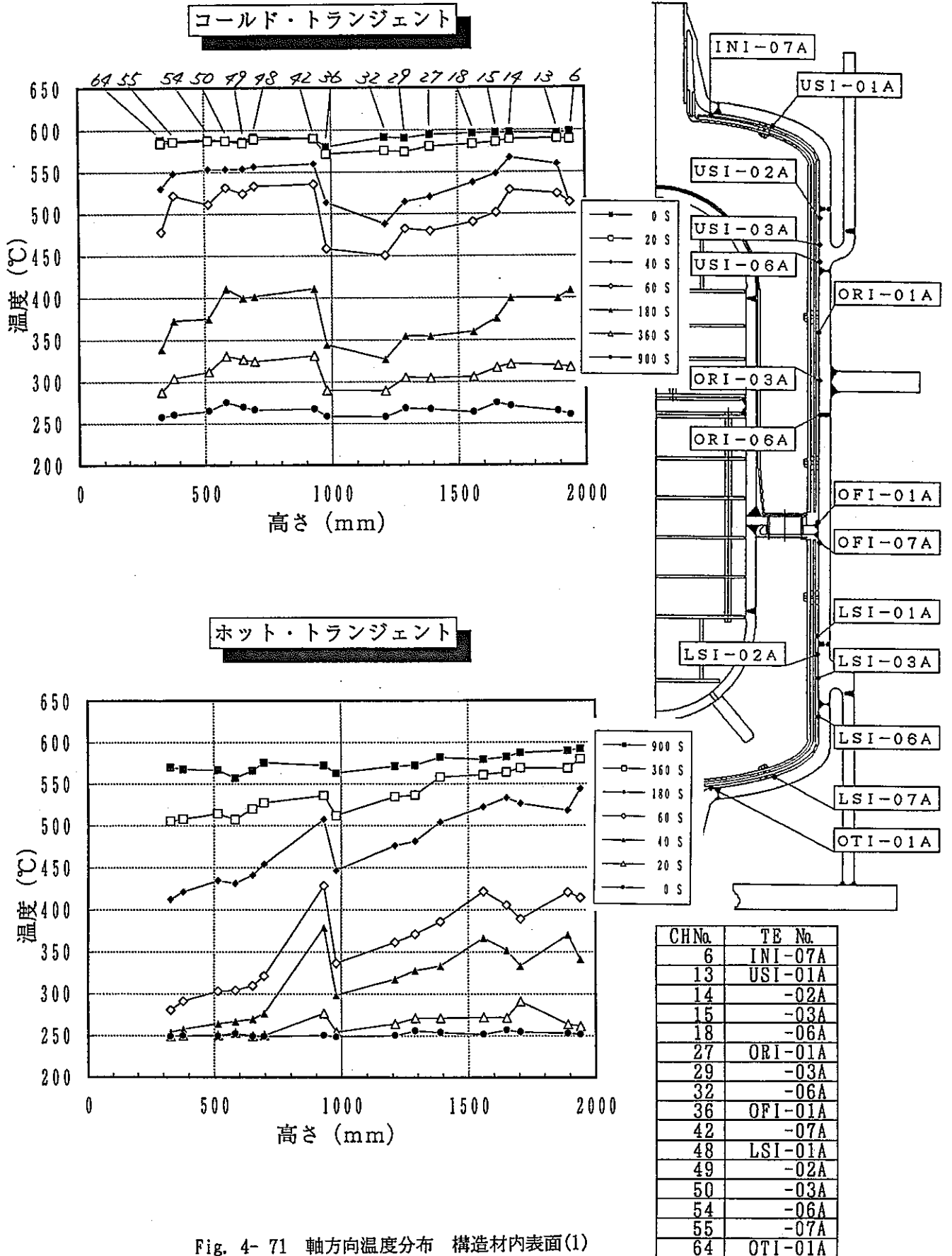
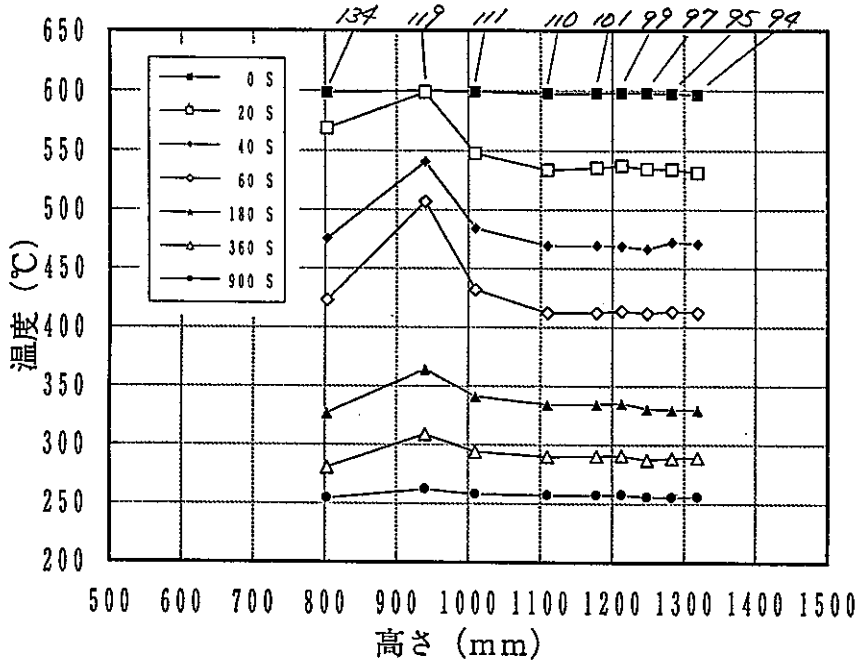


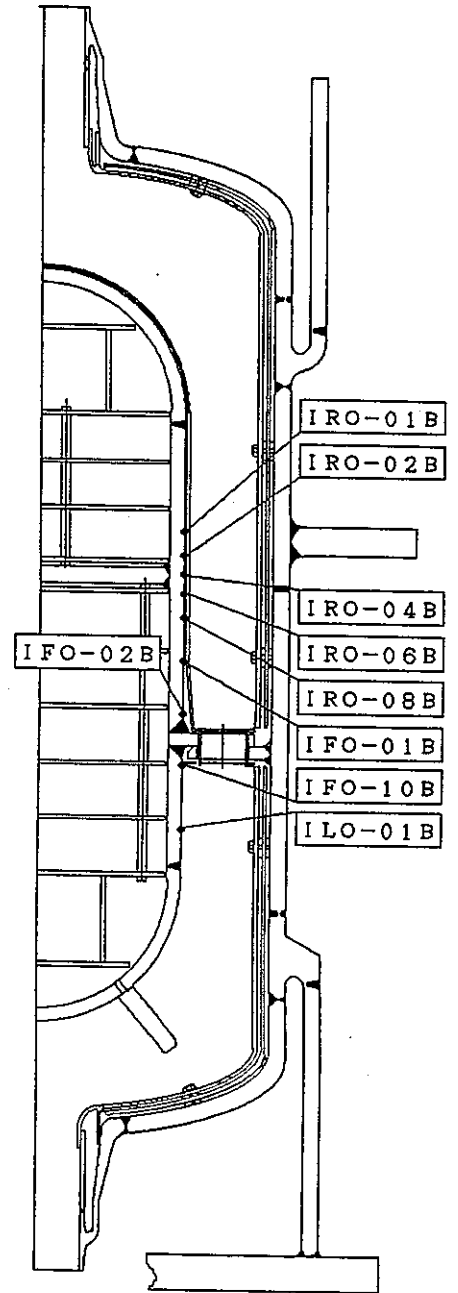
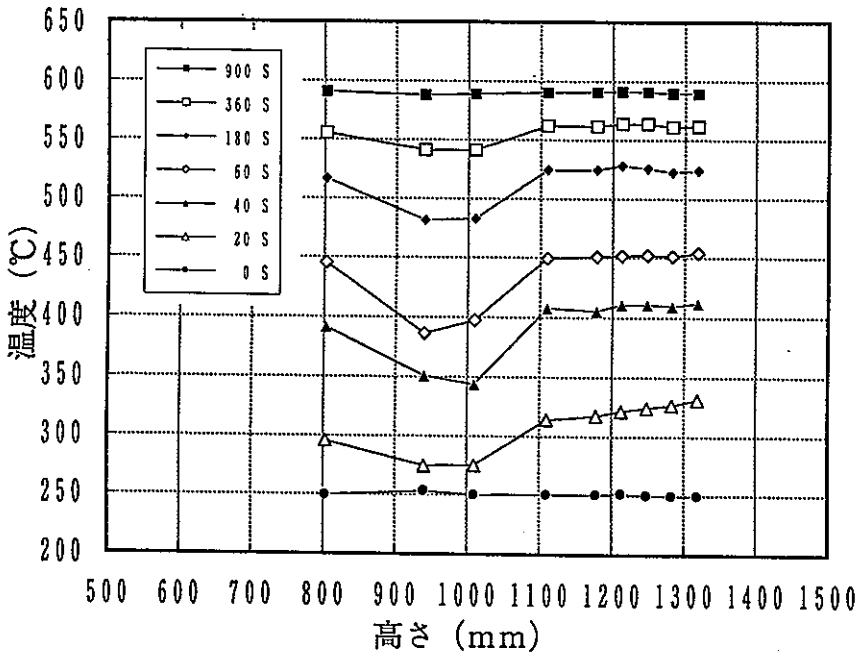
Fig. 4-71 軸方向温度分布 構造材内表面(1)

サイクル数=500 cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

コールド・トランジェント



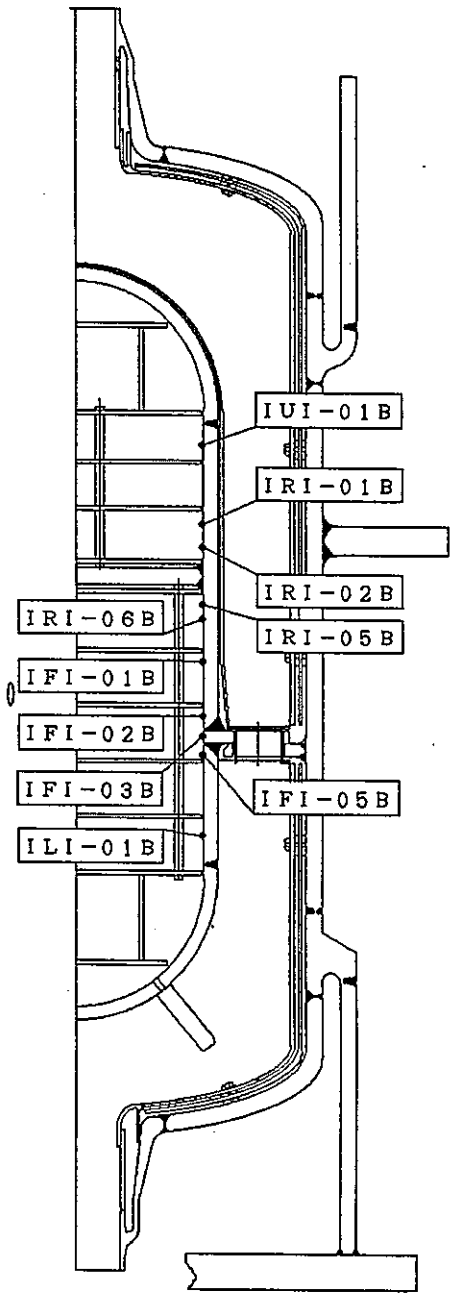
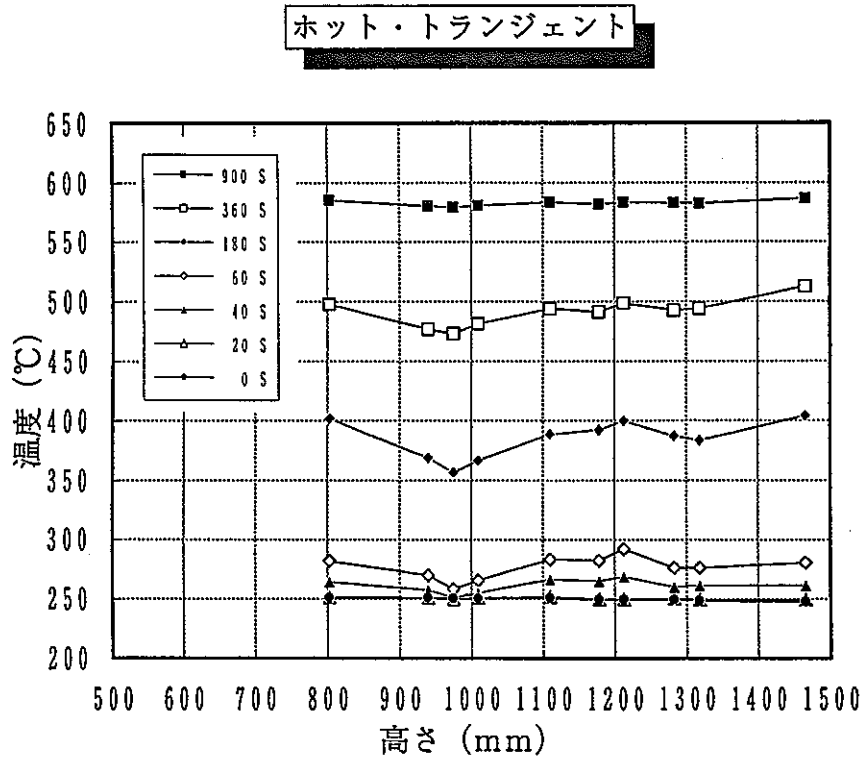
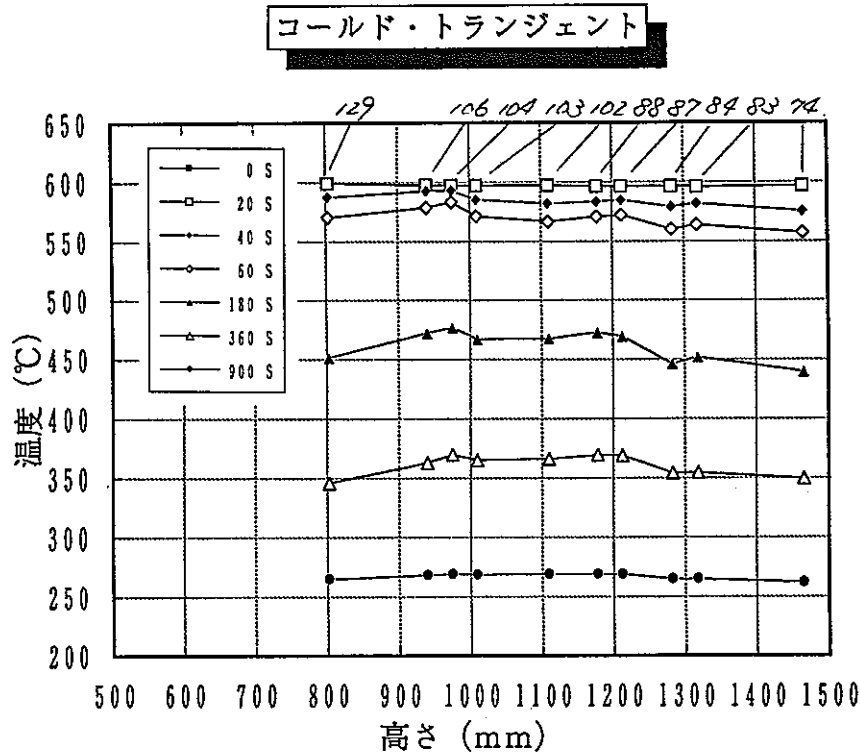
ホット・トランジェント



CHNo.	TE No.
94	IRO-01B
95	-02B
97	-04B
99	-06B
101	-08B
110	IFO-01B
111	-02B
119	-10B
134	ILO-01B

Fig. 4-72 軸方向温度分布 構造材内表面(2)

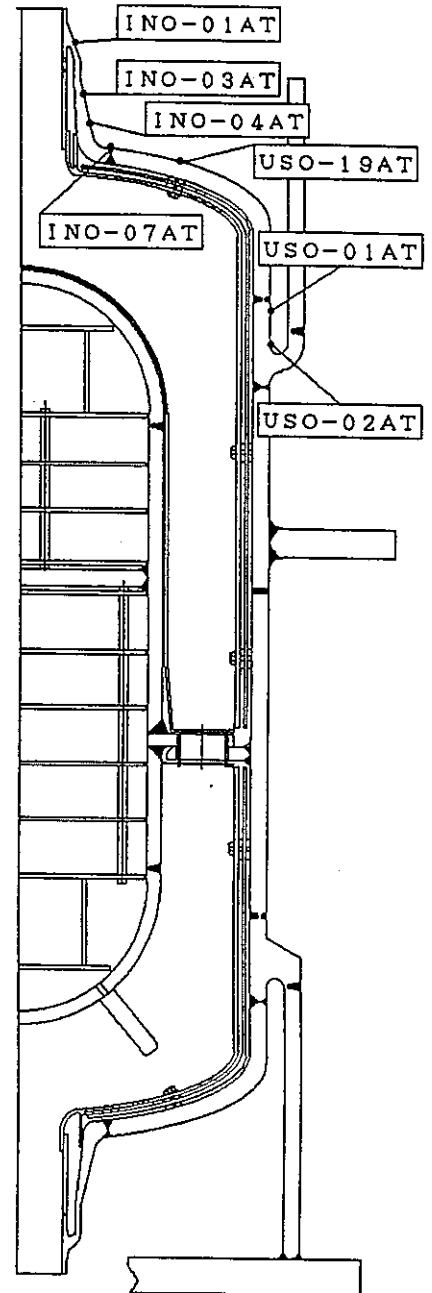
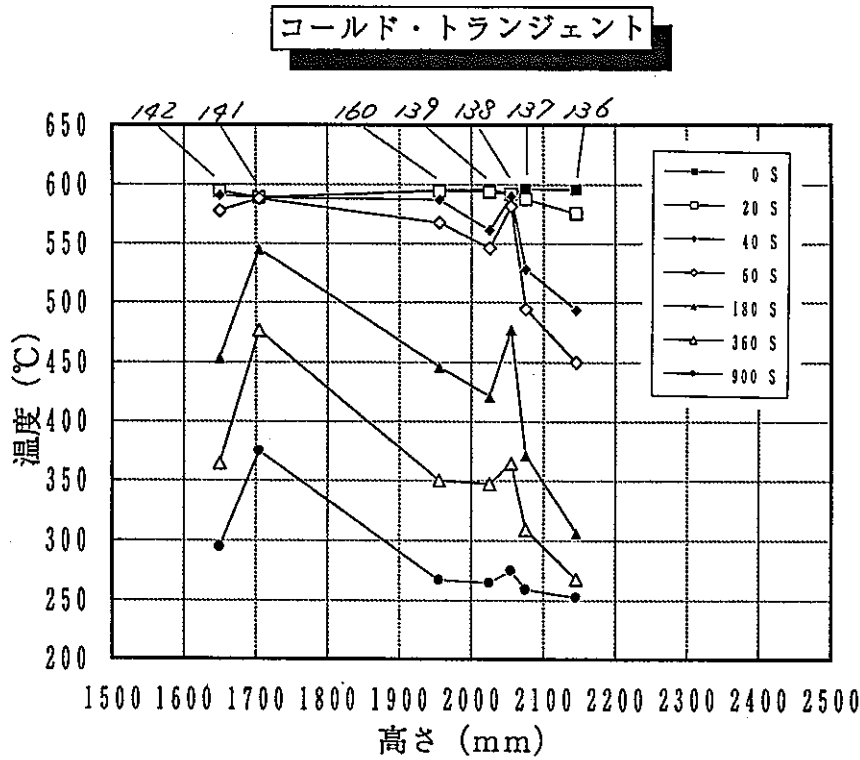
サイクル数=500 cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~



CHNo.	TE No.
74	IUI-01B
83	IRI-01B
84	-02B
87	-05B
88	-06B
102	IFI-01B
103	-02B
104	-03B
106	-05B
129	ILI-01B

Fig. 4-73 軸方向温度分布 構造材内表面(3)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~



CHNo.	TE No.
136	INO-01AT
137	-03AT
138	INO-04AT
139	-07AT
160	USO-19AT
141	USO-01AT
142	-02AT

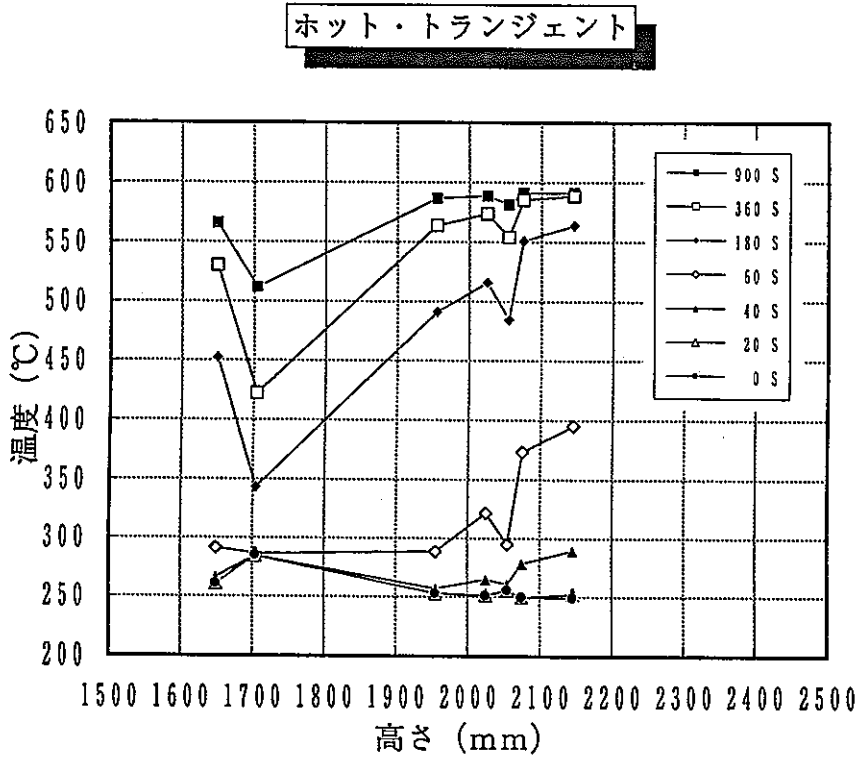
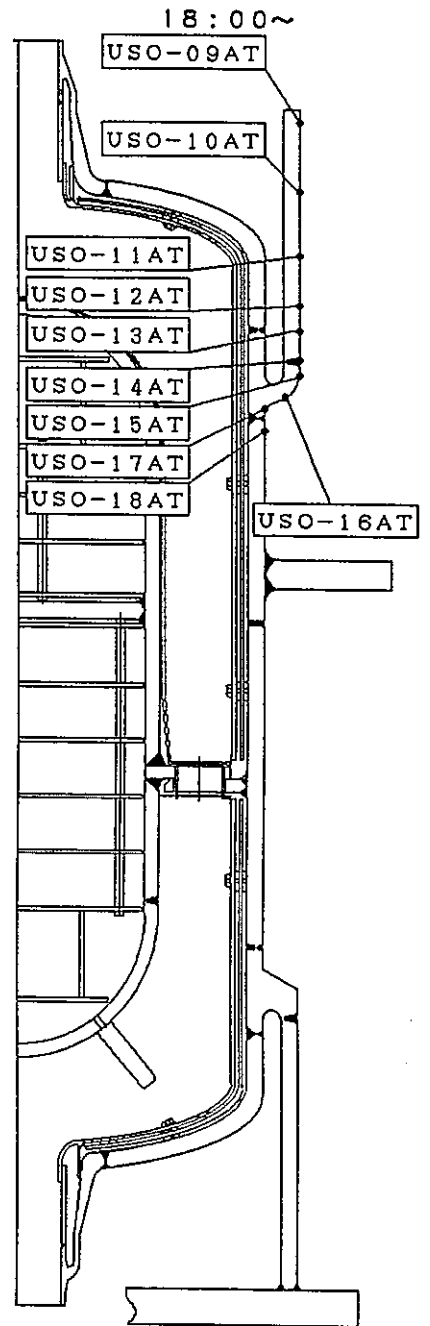
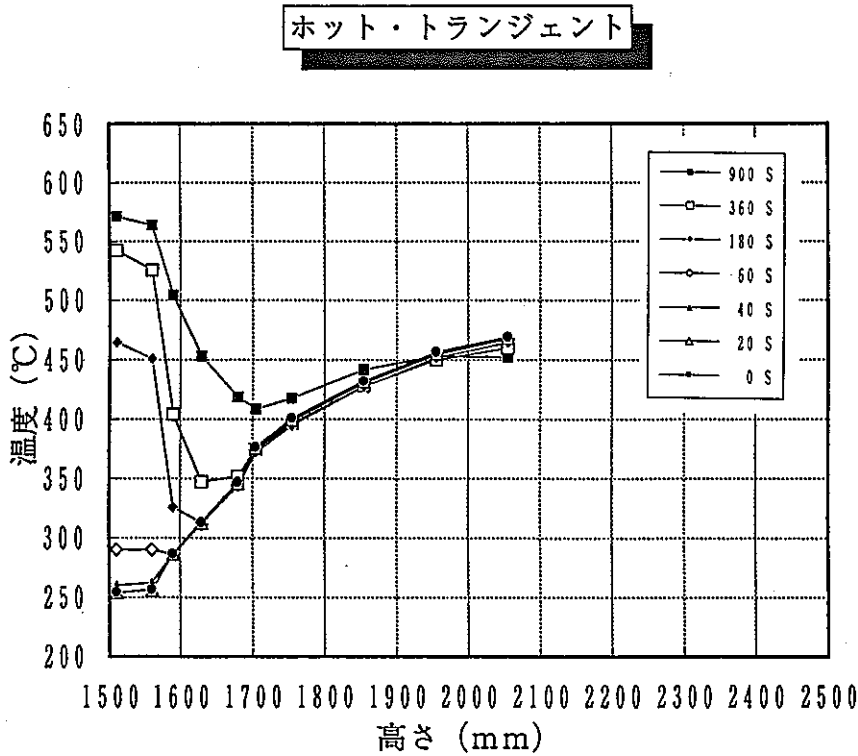
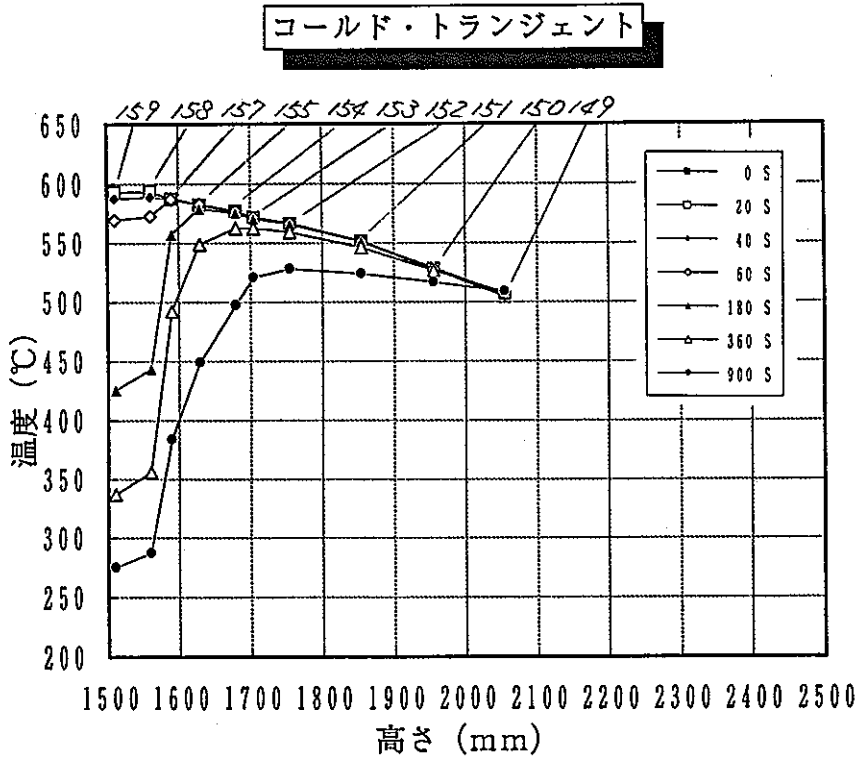


Fig. 4-74 軸方向温度分布 構造材外表面(1)

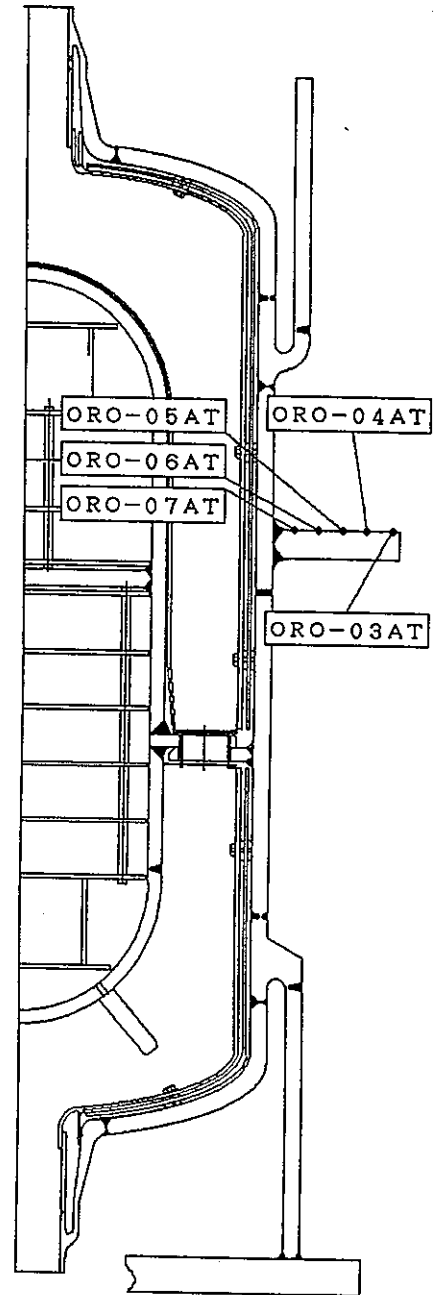
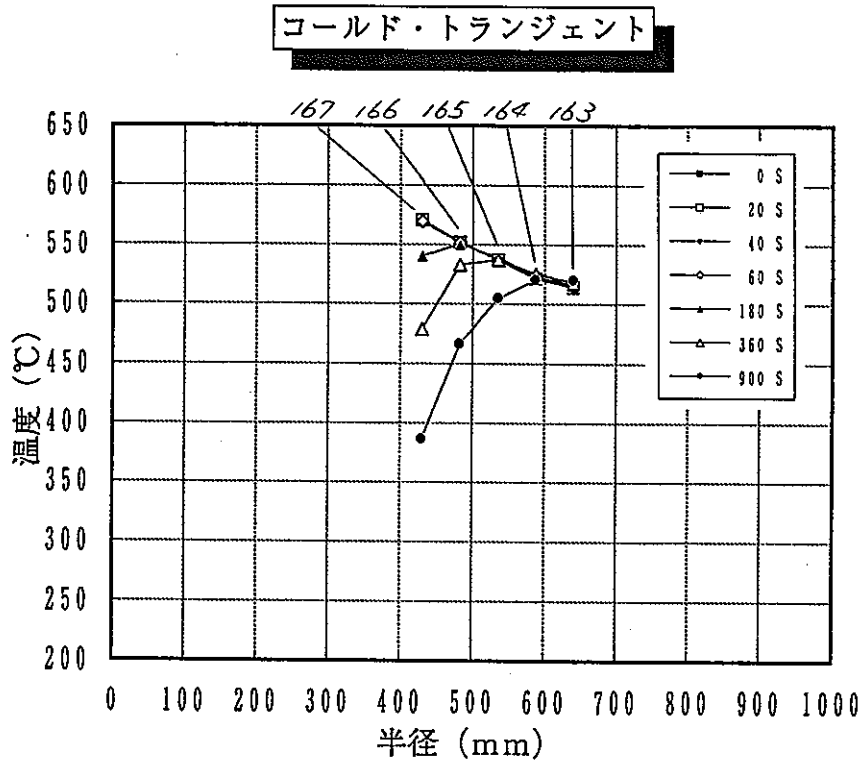
サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日



CHNo.	TE No.
149	USO-09AT
150	-10AT
151	-11AT
152	-12AT
153	-13AT
154	-14AT
155	-15AT
157	-16AT
158	-17AT
159	-18AT

Fig. 4-75 軸方向温度分布 構造材外表面(2)

サイクル数=500cycle
 時 刻=平成4年5月10日
 18:00~



CHNo.	TE No.
163	ORO-03AT
164	-04AT
165	-05AT
166	-06AT
167	-07AT

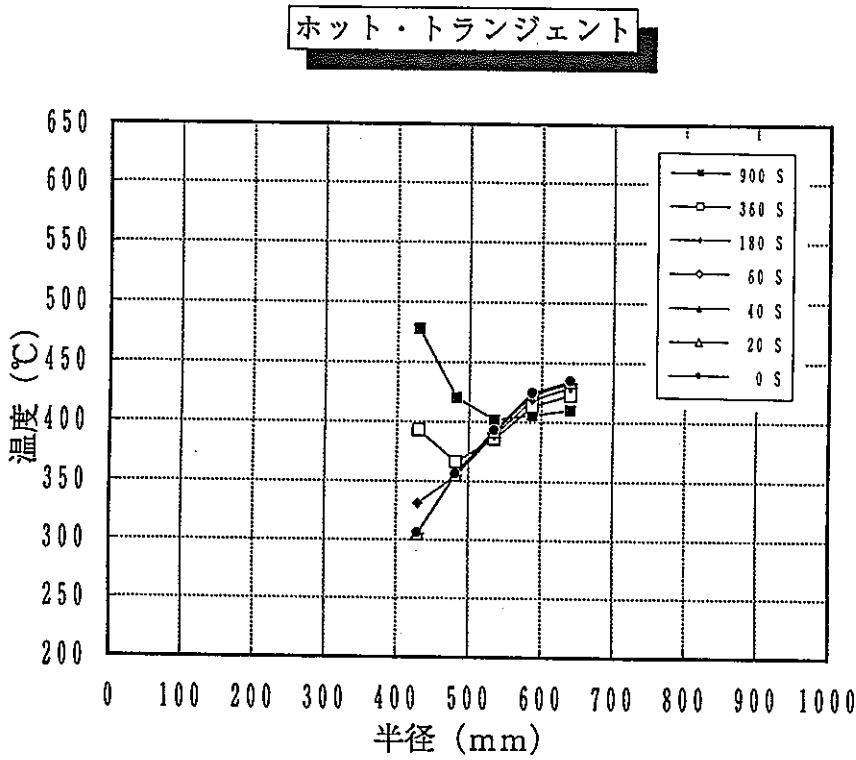
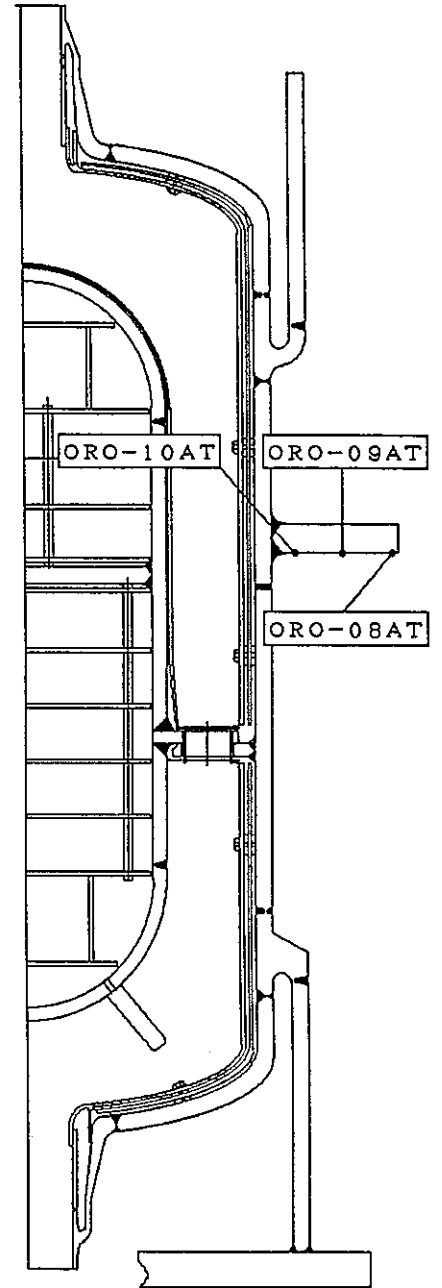
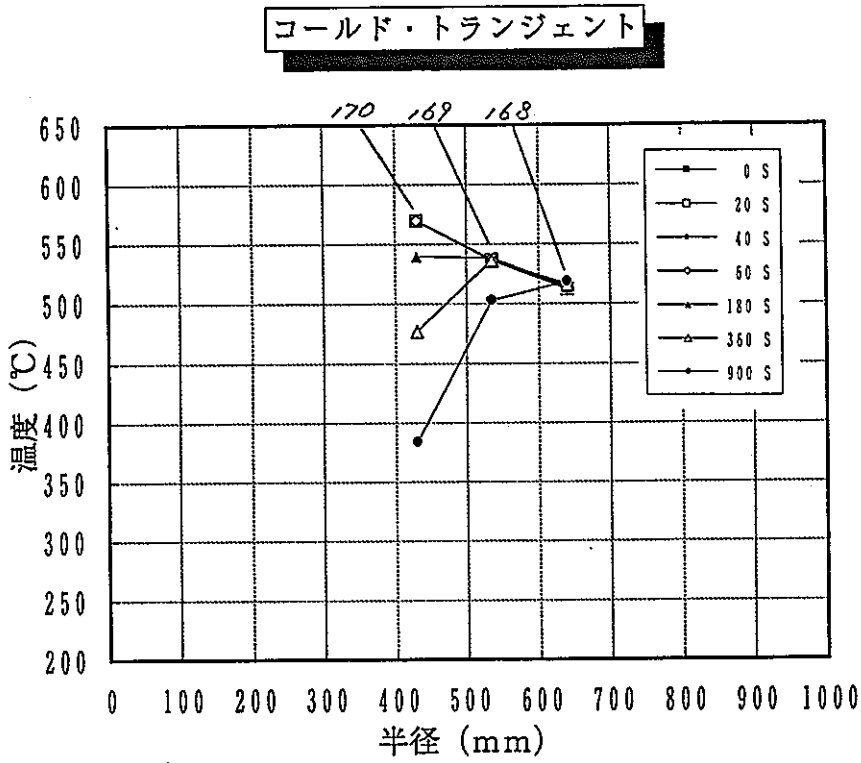


Fig. 4-76 軸方向温度分布 構造材外表面(3)

サイクル数=500 cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~



CHNo.	TE No.
168	ORO-08AT
169	-09AT
170	-10AT

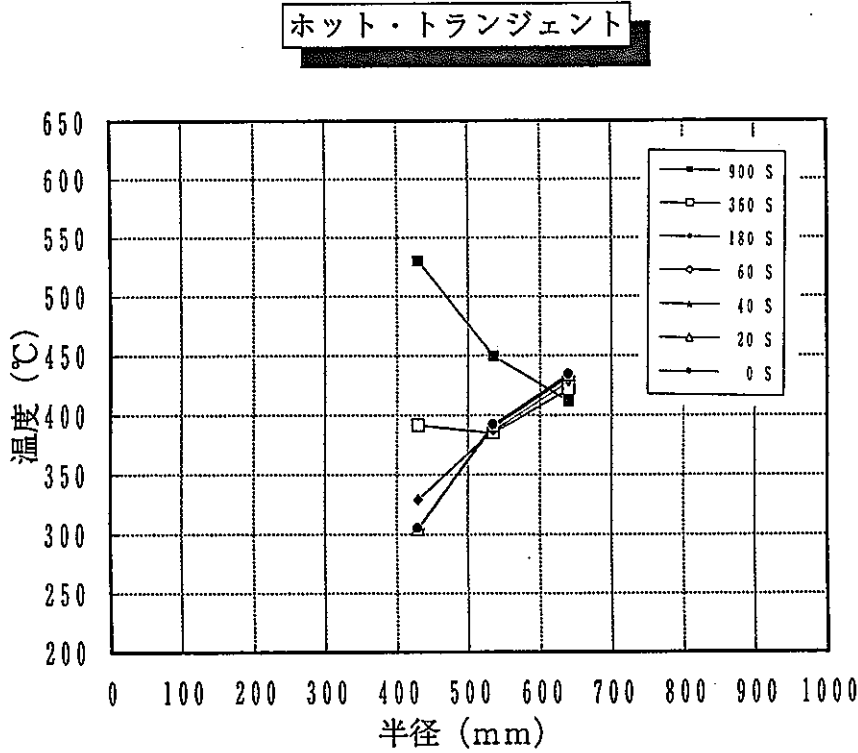
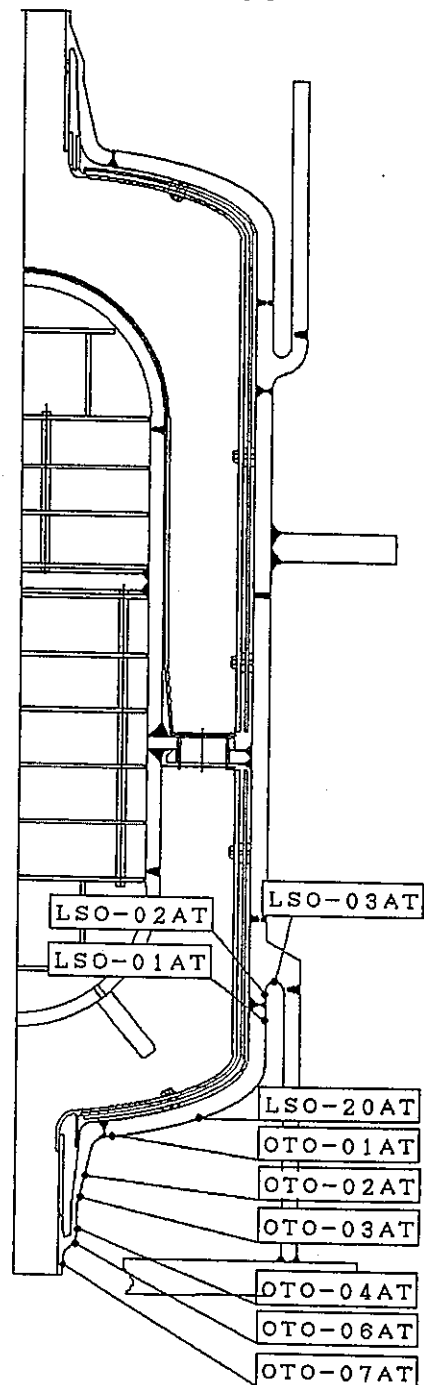
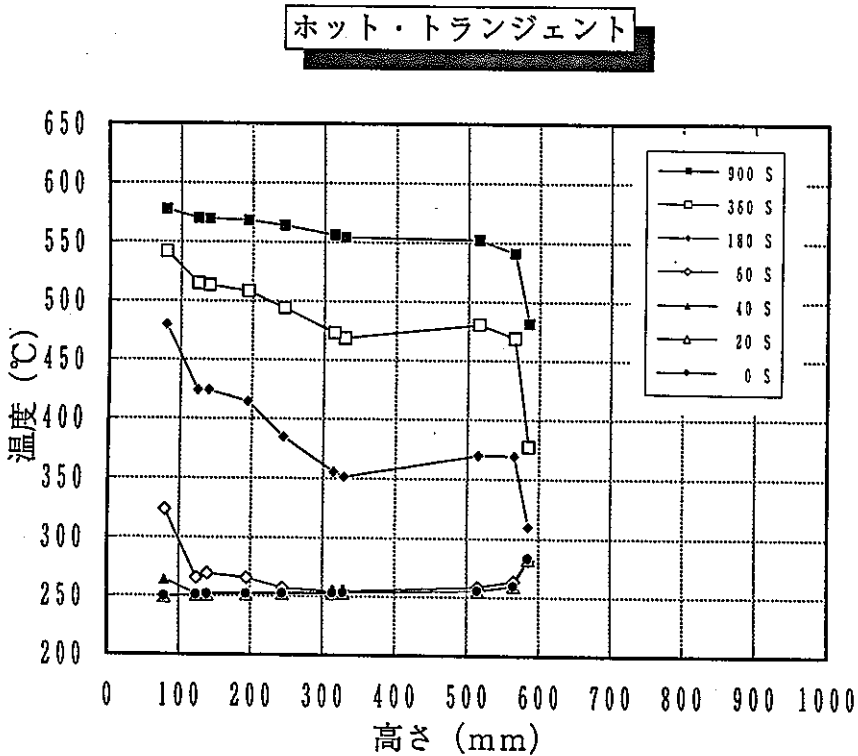
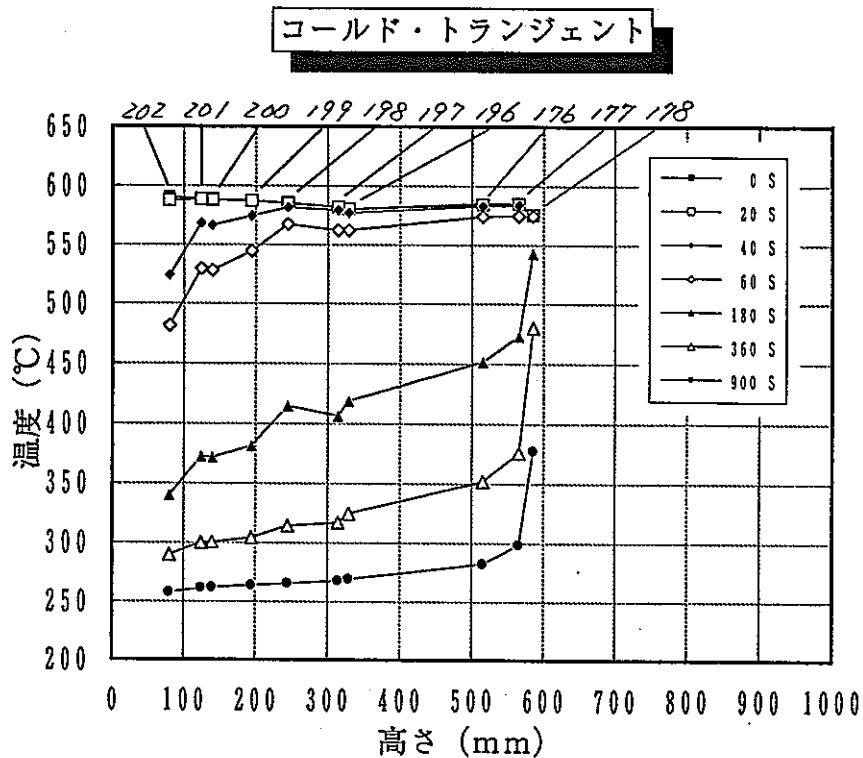


Fig. 4-77 軸方向温度分布 構造材外表面(4)

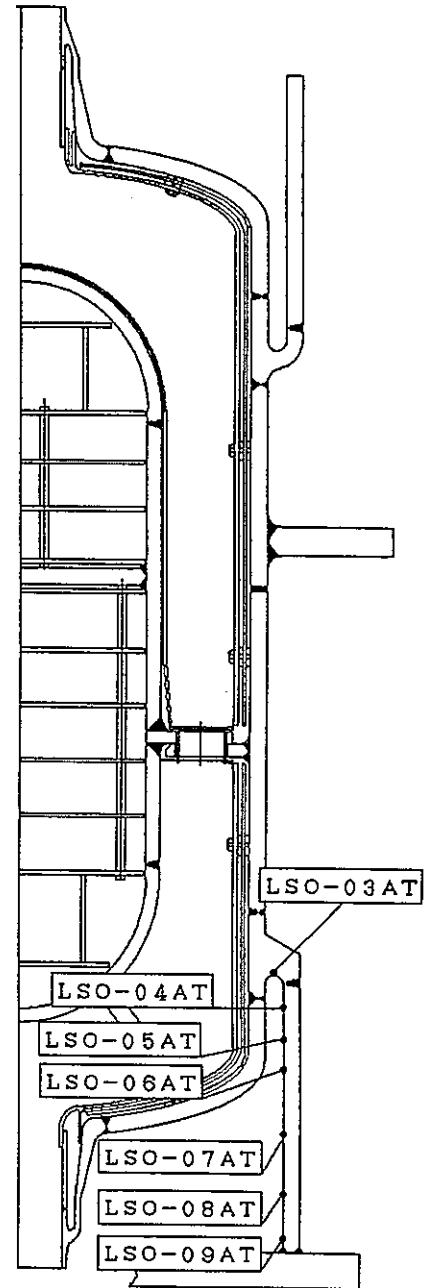
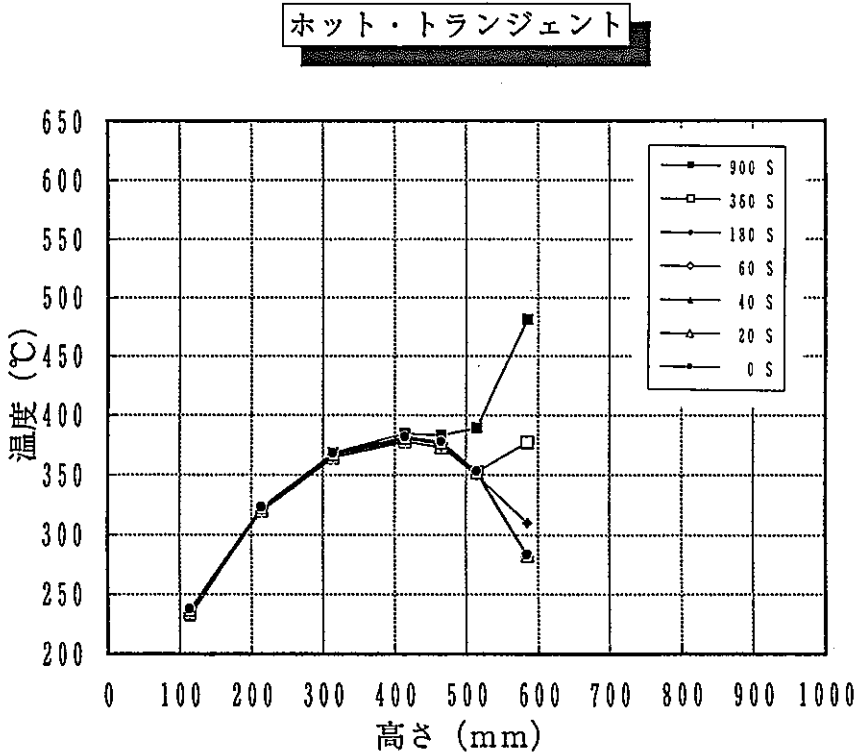
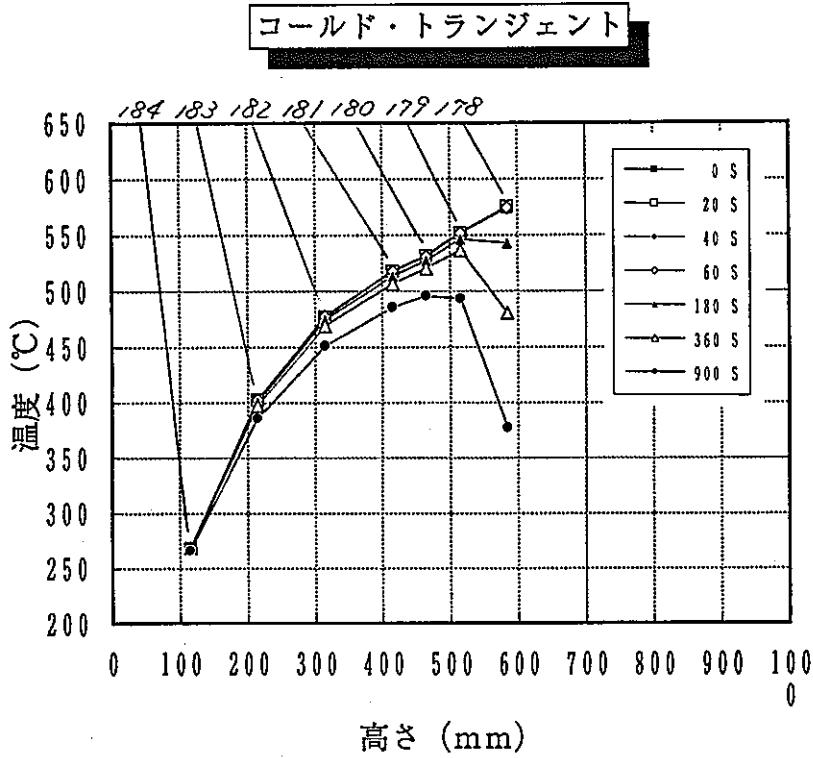
サイクル数=500 cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~



CHNo.	TE No.
178	LSO-03AT
177	-02AT
176	-01AT
196	-20AT
197	OTO-01AT
198	-02AT
199	-03AT
200	-04AT
201	-06AT
202	-07AT

Fig. 4-78 軸方向温度分布 構造材外表面(5)

サイクル数=500 cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

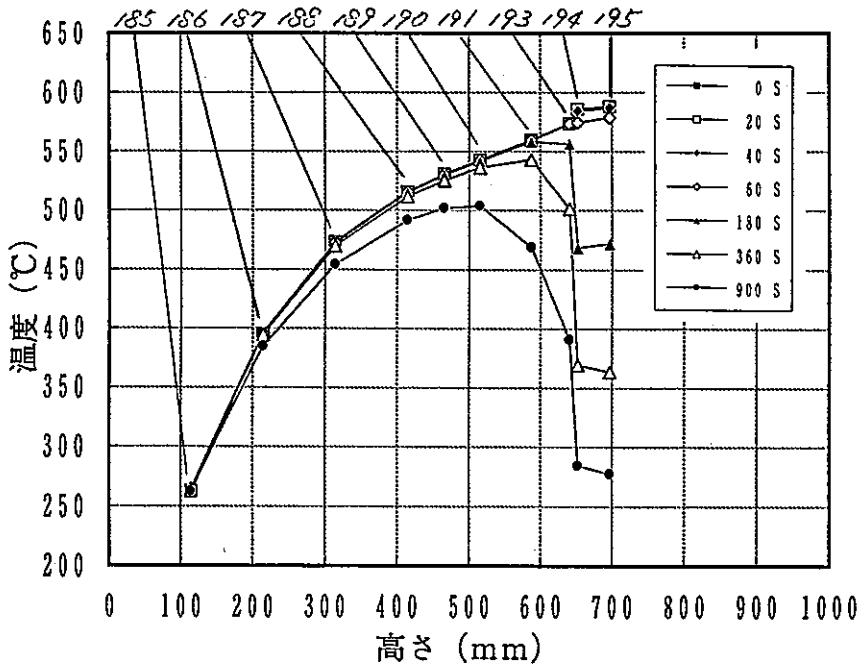


CHNo.	TE No.
178	LSO-03AT
179	-04AT
180	-05AT
181	-06AT
182	-07AT
183	-08AT
184	-09AT

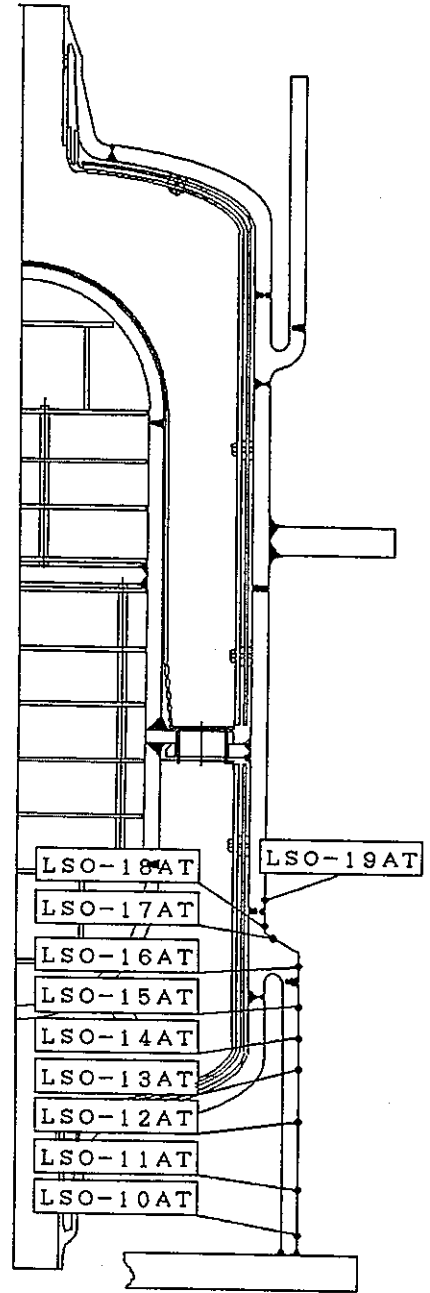
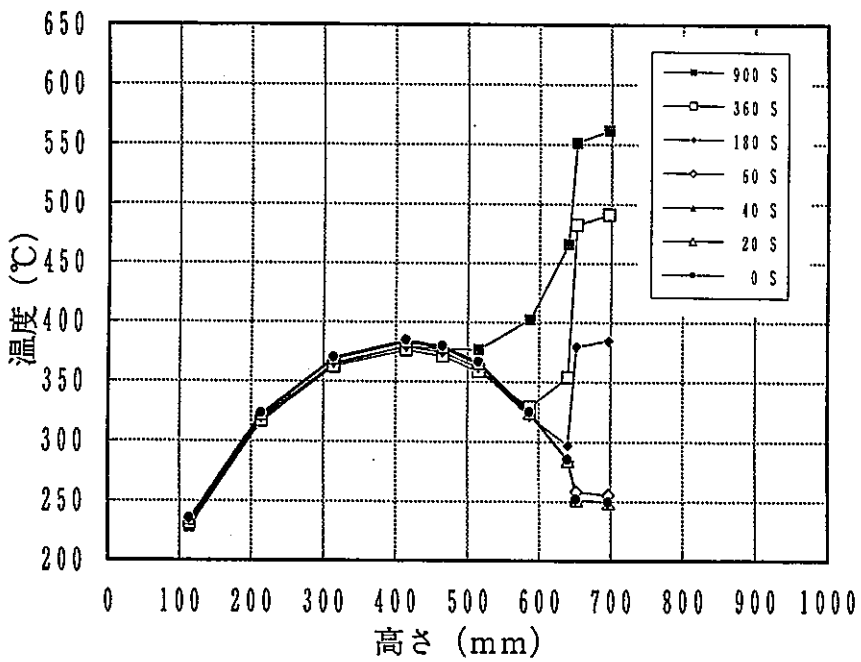
Fig. 4-79 軸方向温度分布 構造材外表面(6)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

コールド・トランジェント



ホット・トランジェント



CHNo.	TE No.
185	LSO-10AT
186	-11AT
187	-12AT
188	-13AT
189	-14AT
190	-15AT
191	-16AT
193	-17AT
194	-18AT
195	-19AT

Fig. 4- 80 軸方向温度分布 構造材外表面(7)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

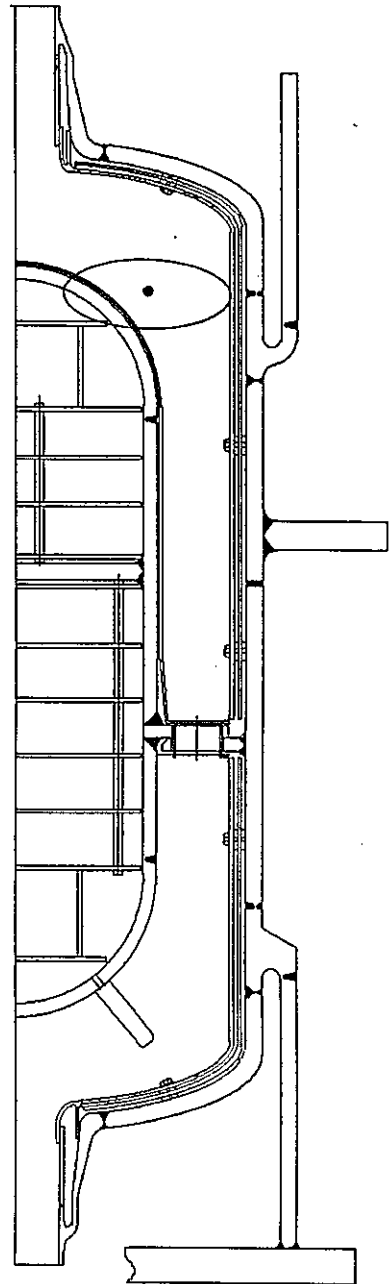
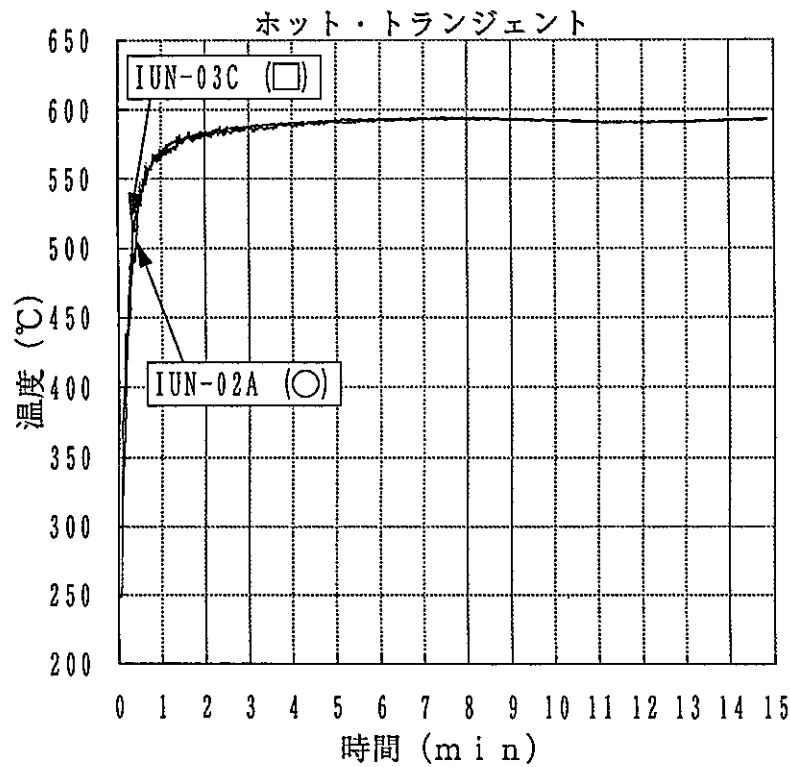
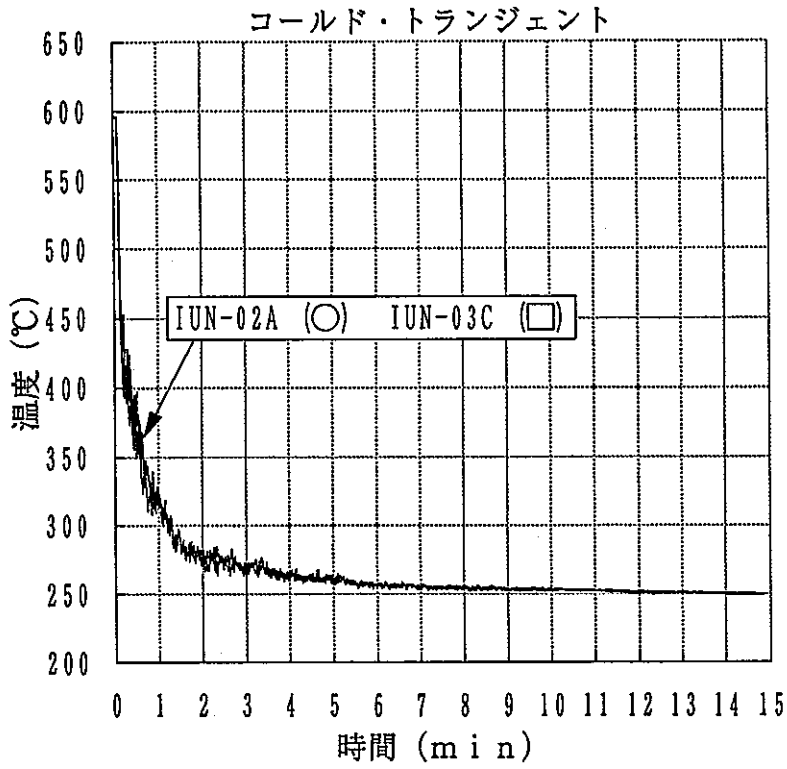


Fig. 4- 81 偏流確認 ナトリウム主流路(1)

サイクル数=500 cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

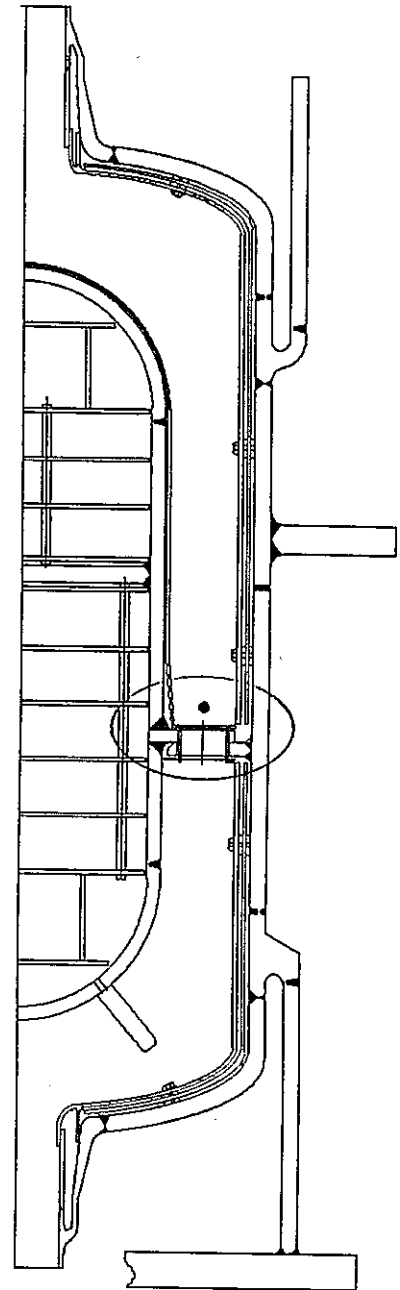
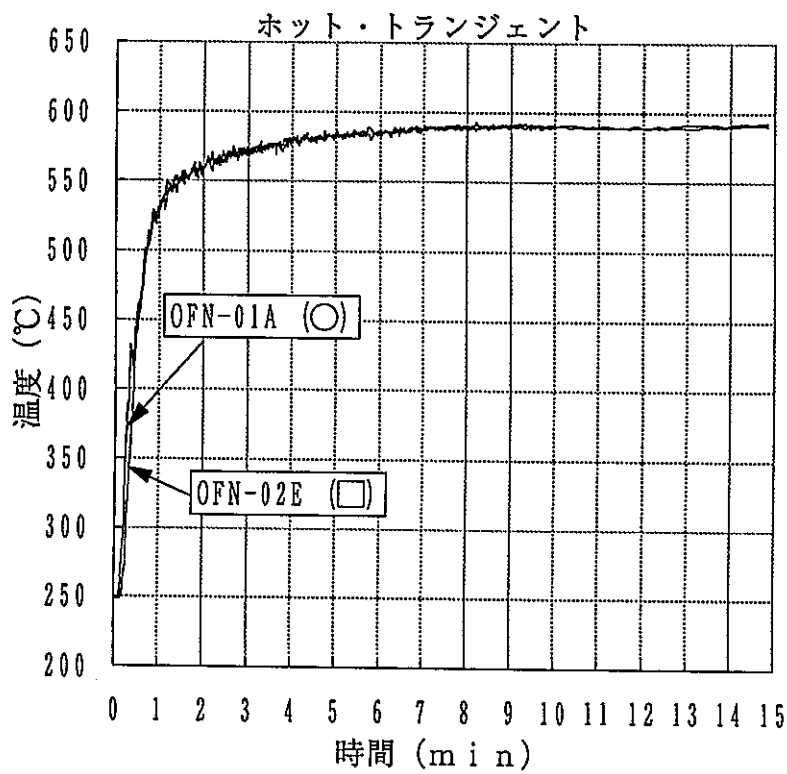
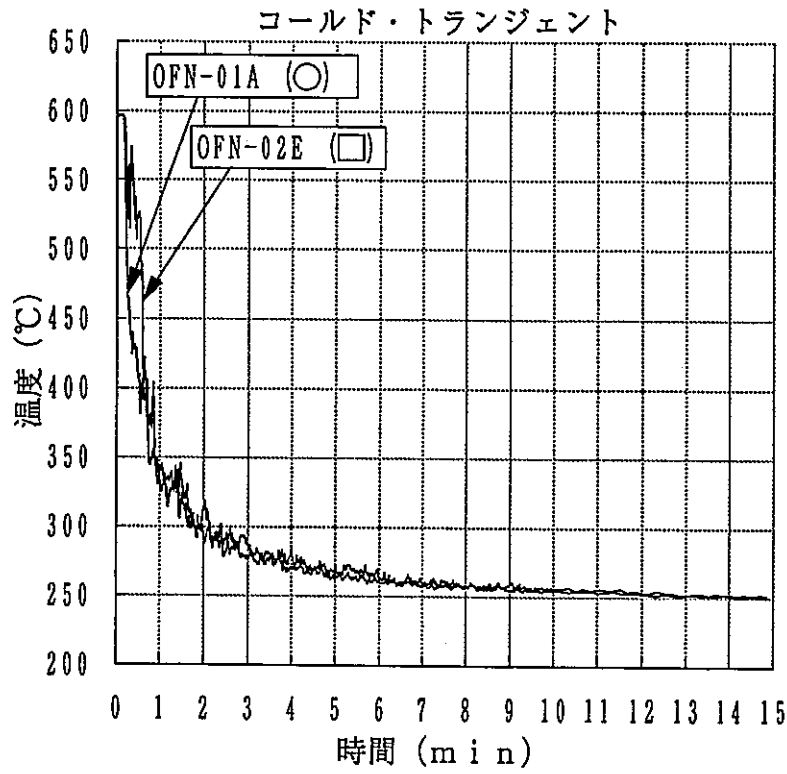


Fig. 4- 82 偏流確認 ナトリウム主流路(2)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

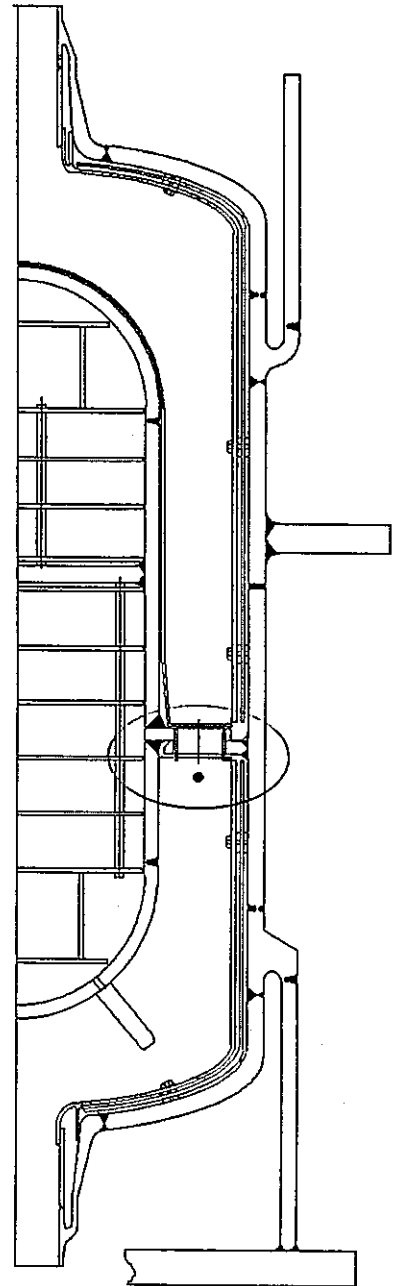
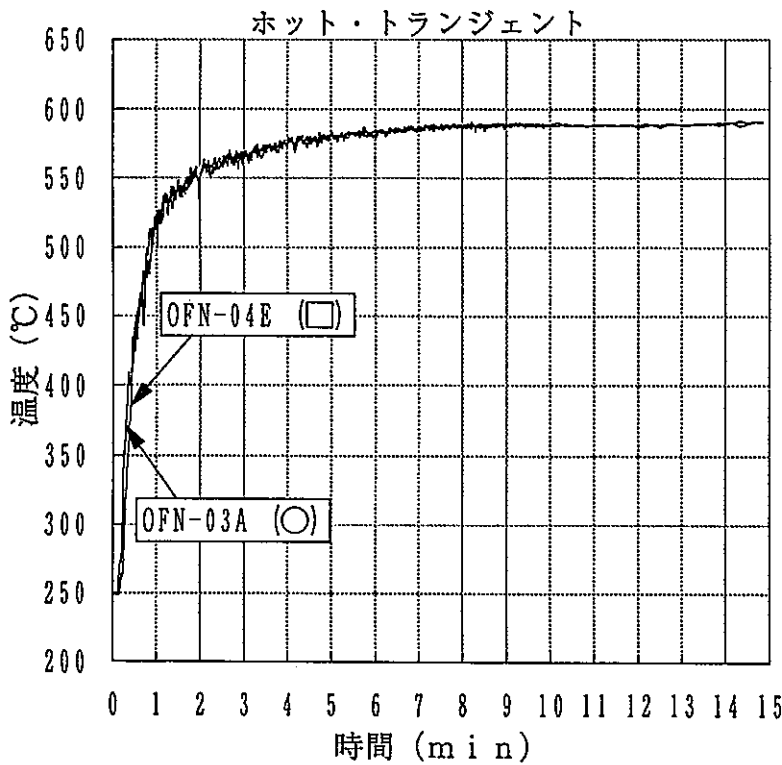
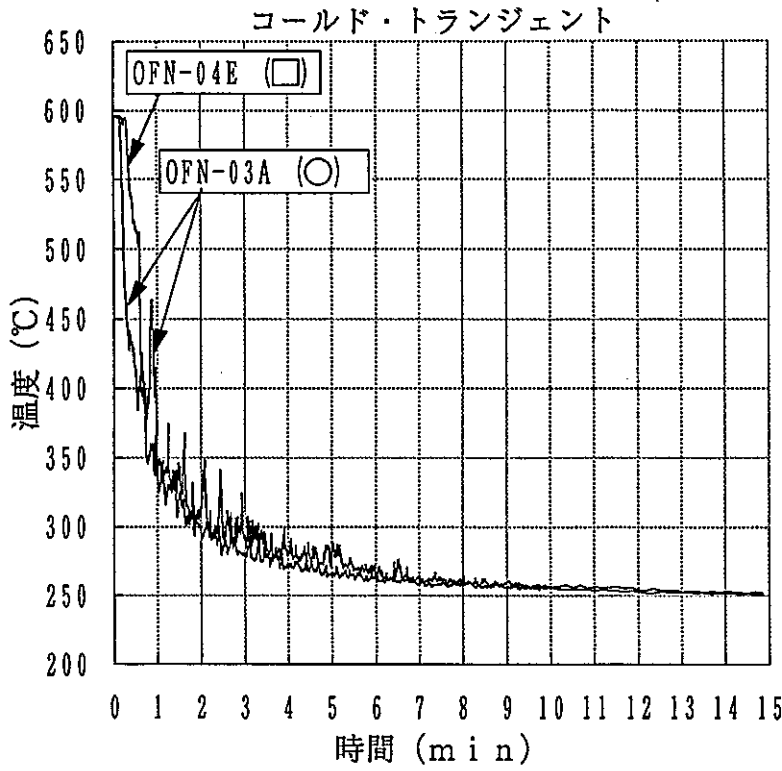


Fig. 4- 83 偏流確認 ナトリウム主流路(3)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

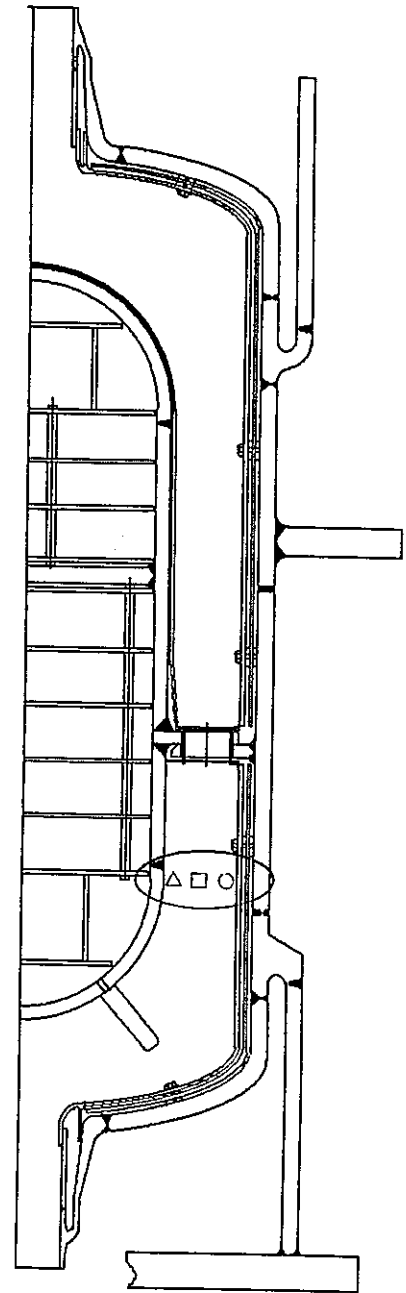
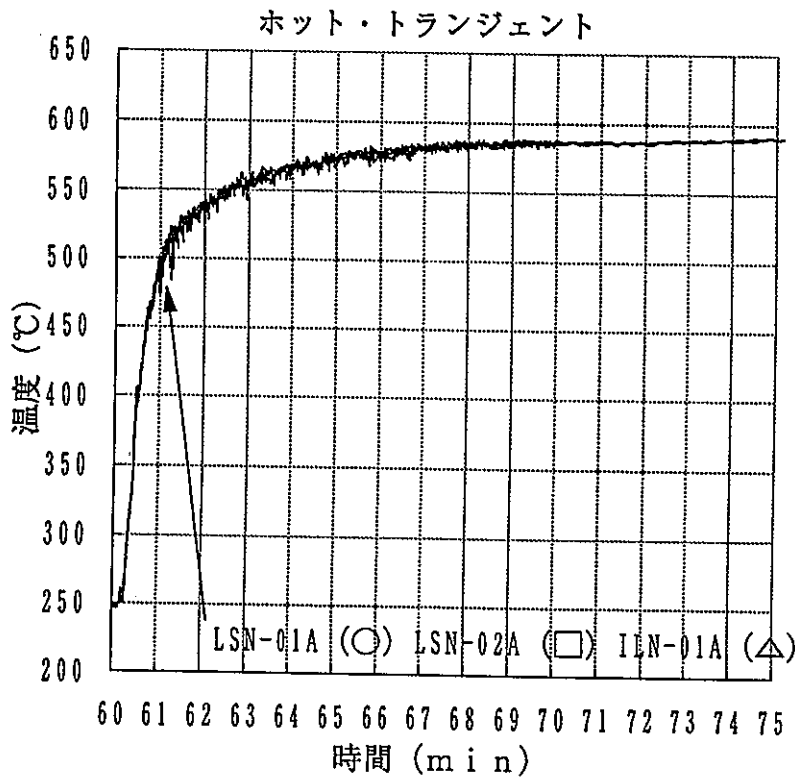
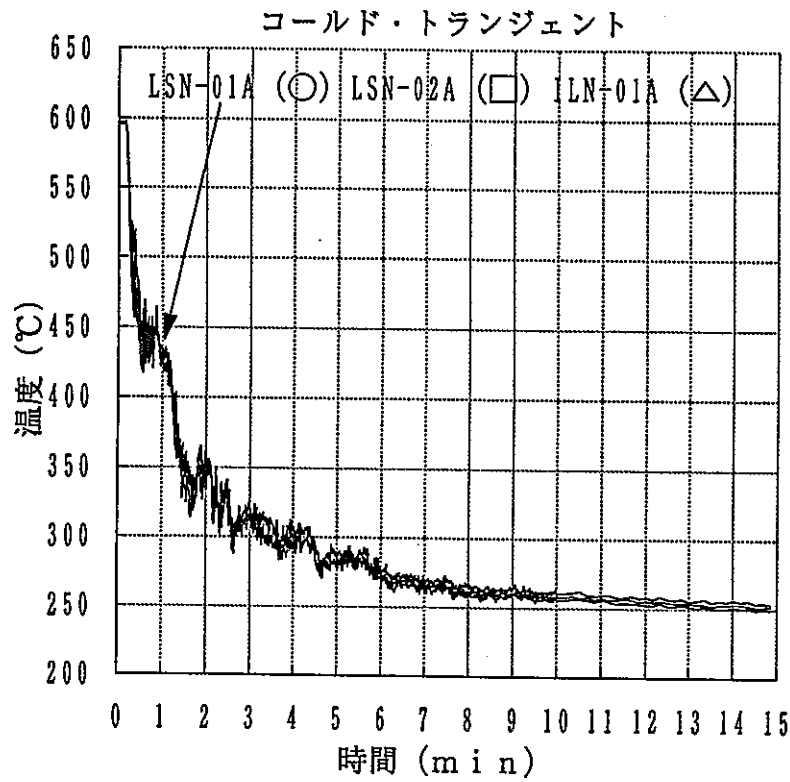


Fig. 4- 84 偏流確認 ナトリウム主流路(4)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

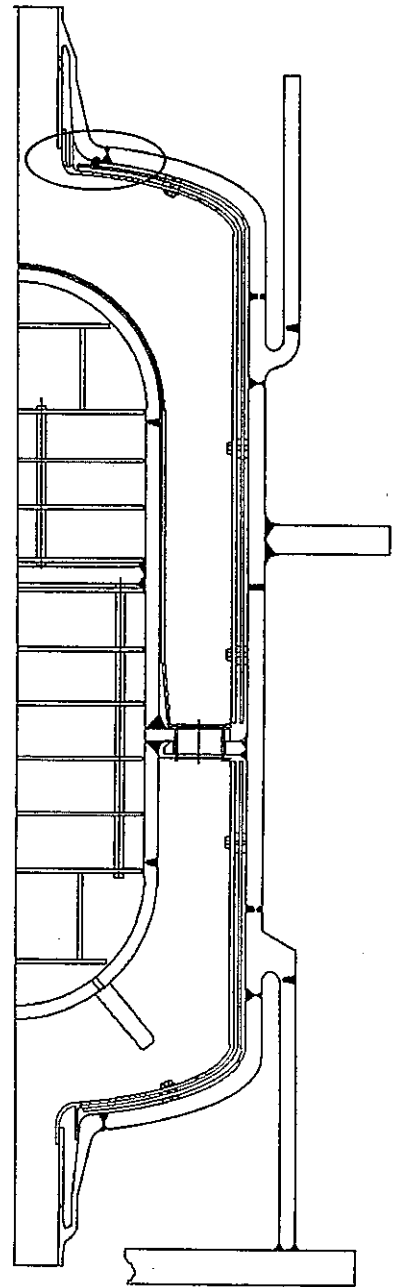
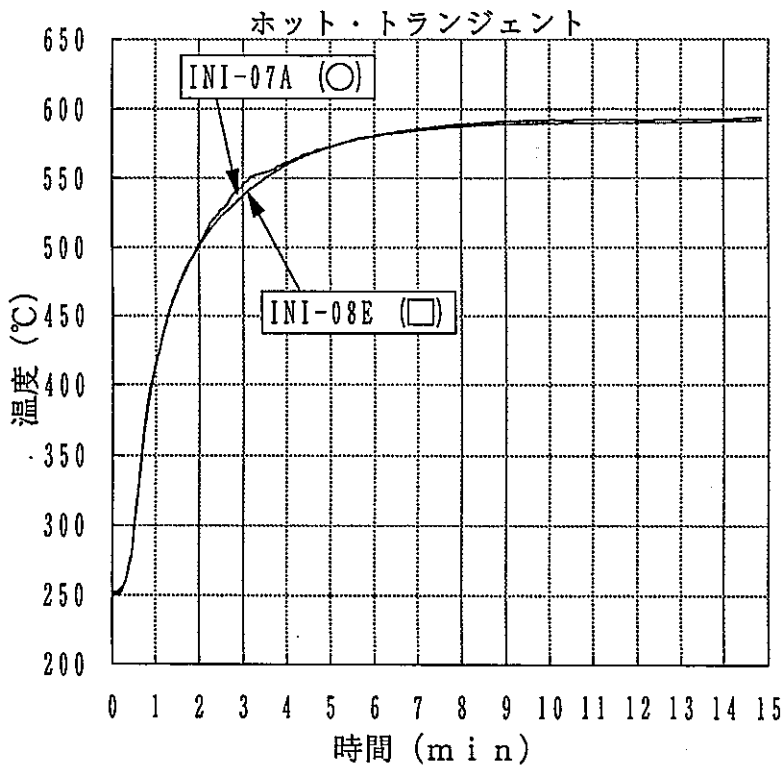
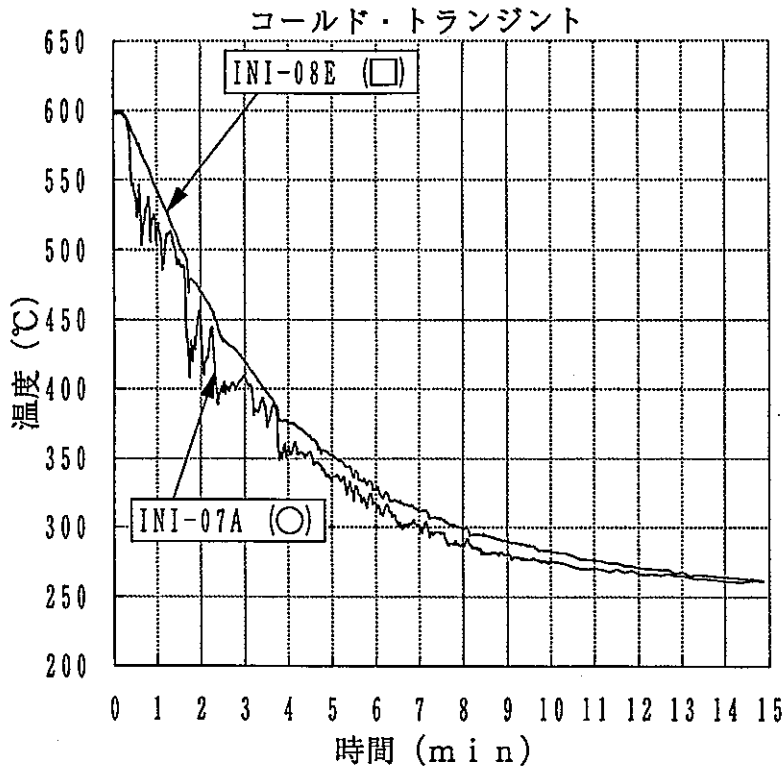


Fig. 4- 85 偏流確認 容器内表面(1)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

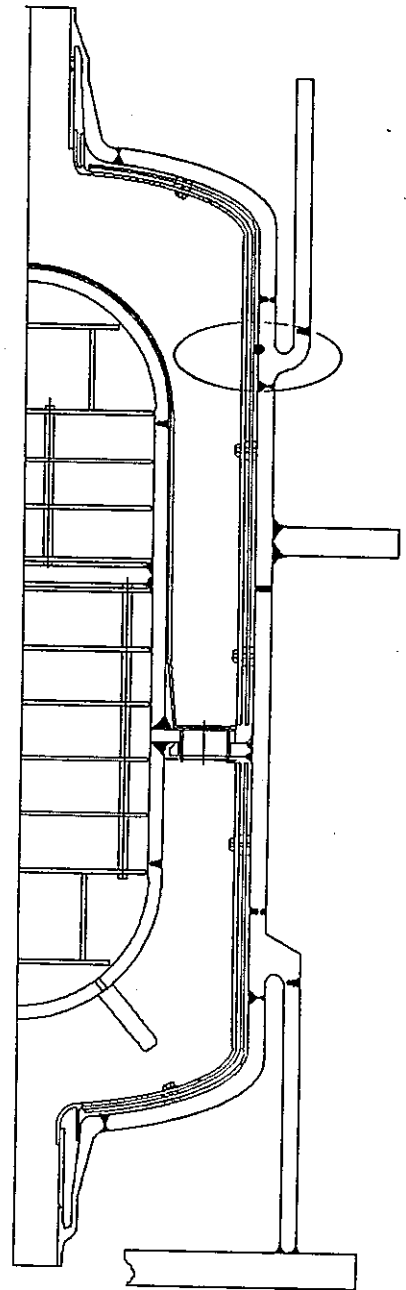
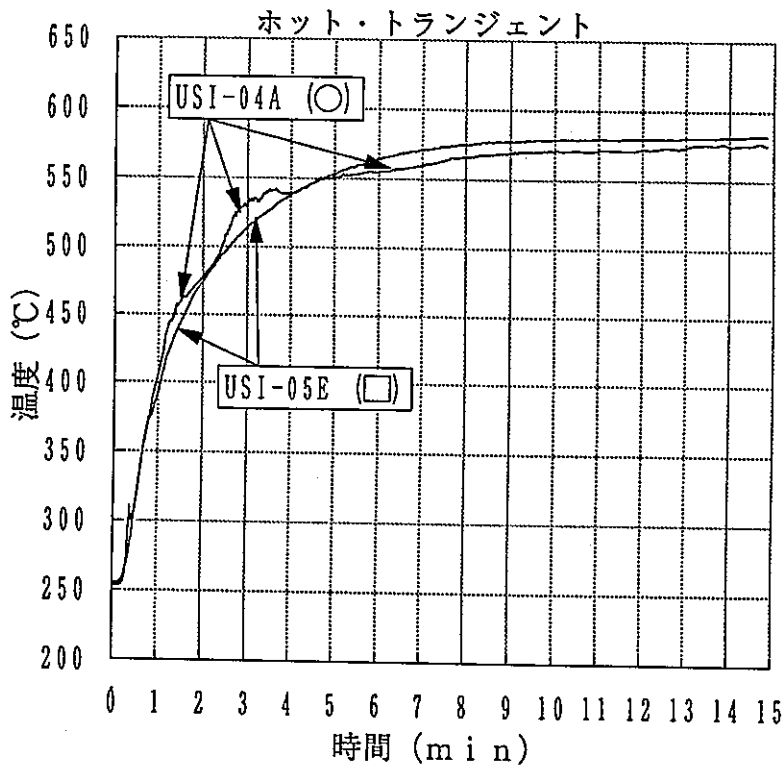
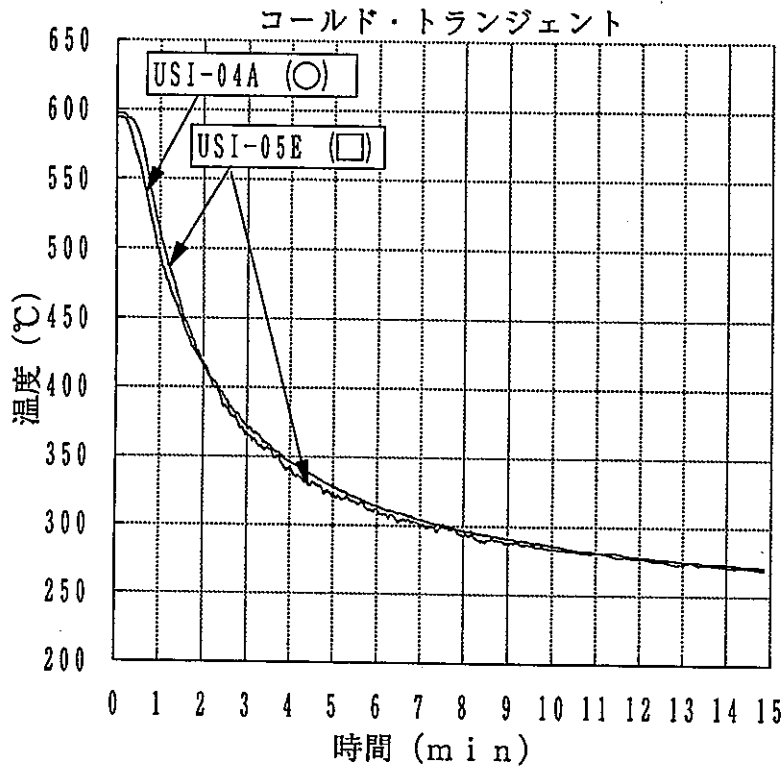


Fig. 4- 86 偏流確認 容器内表面(2)

サイクル数=500 cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

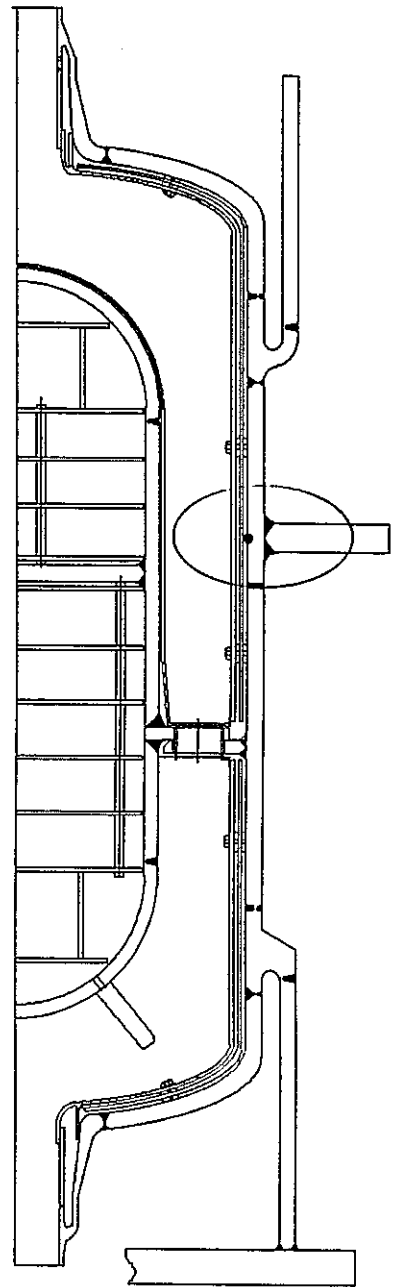
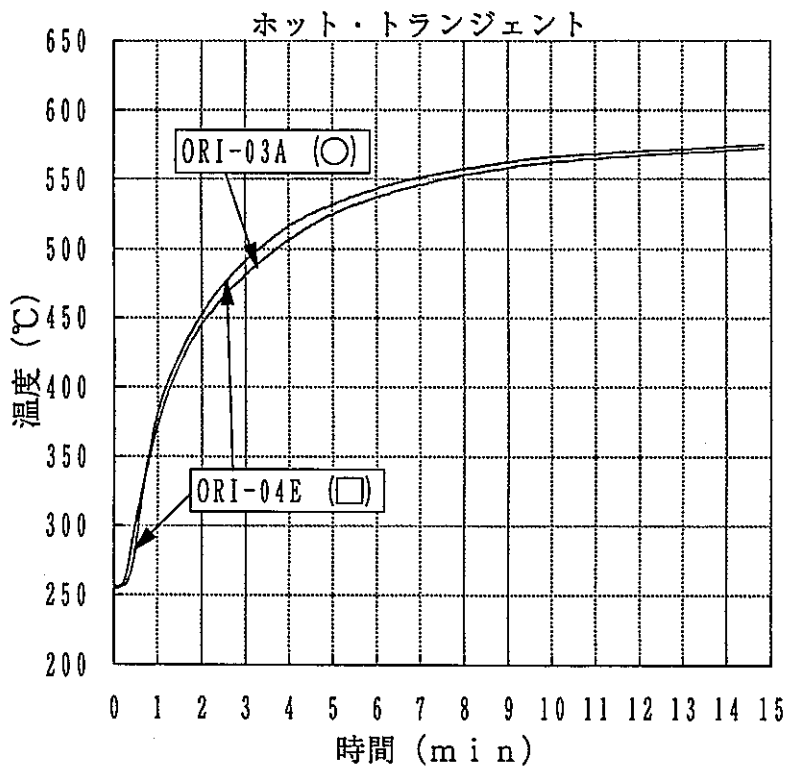
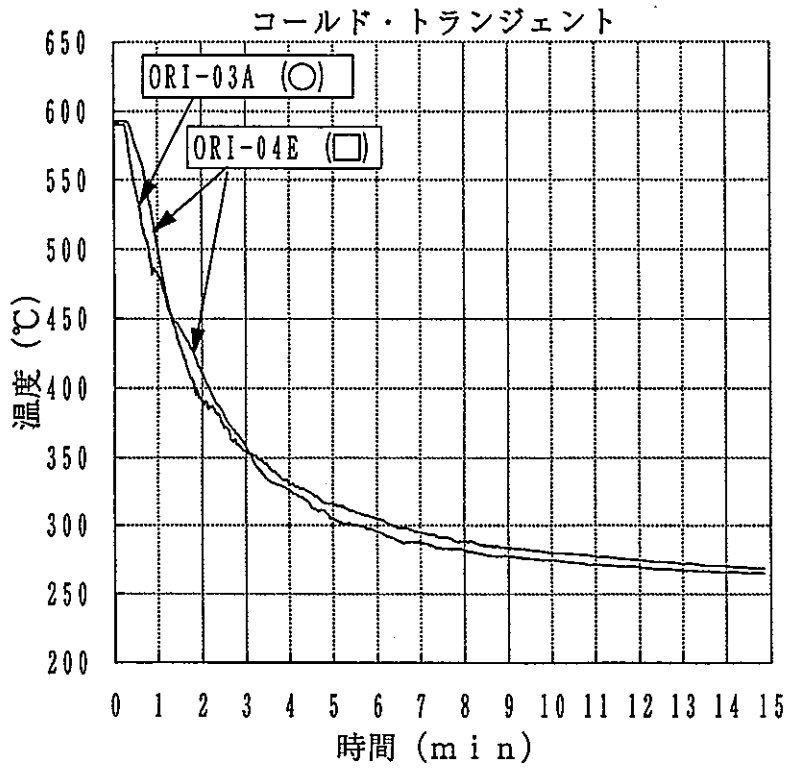


Fig. 4- 87 偏流確認 容器内表面 (3)

サイクル数=500 cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

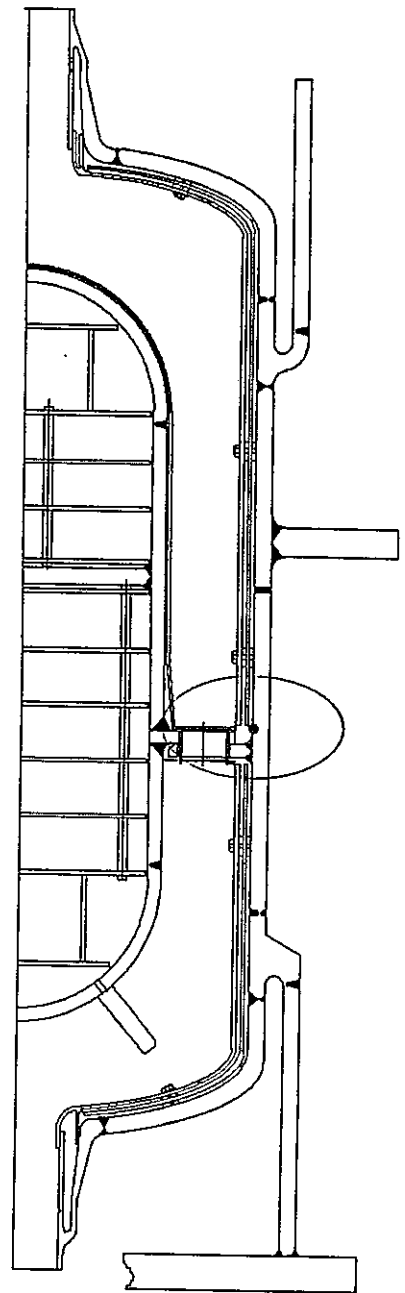
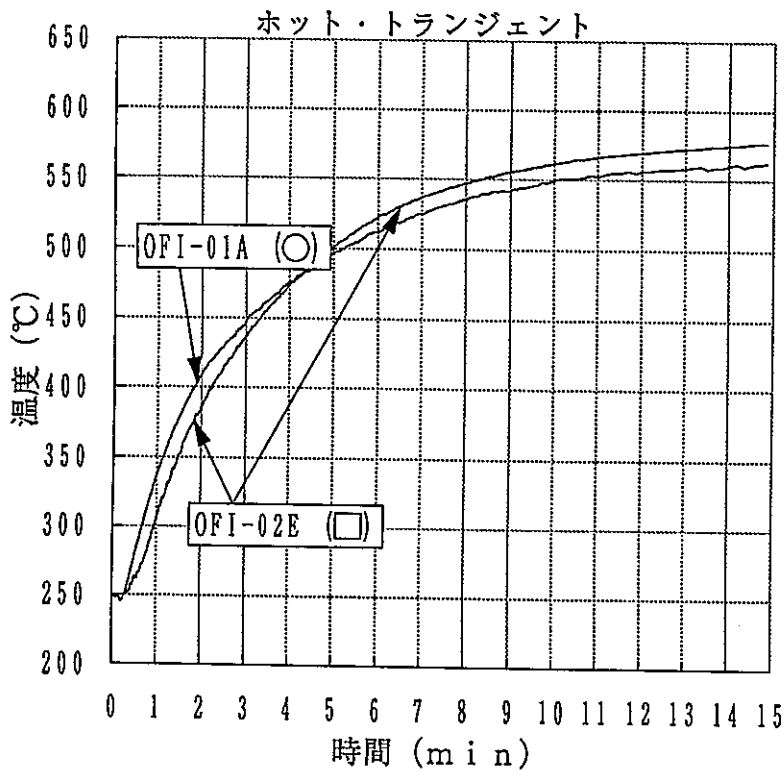
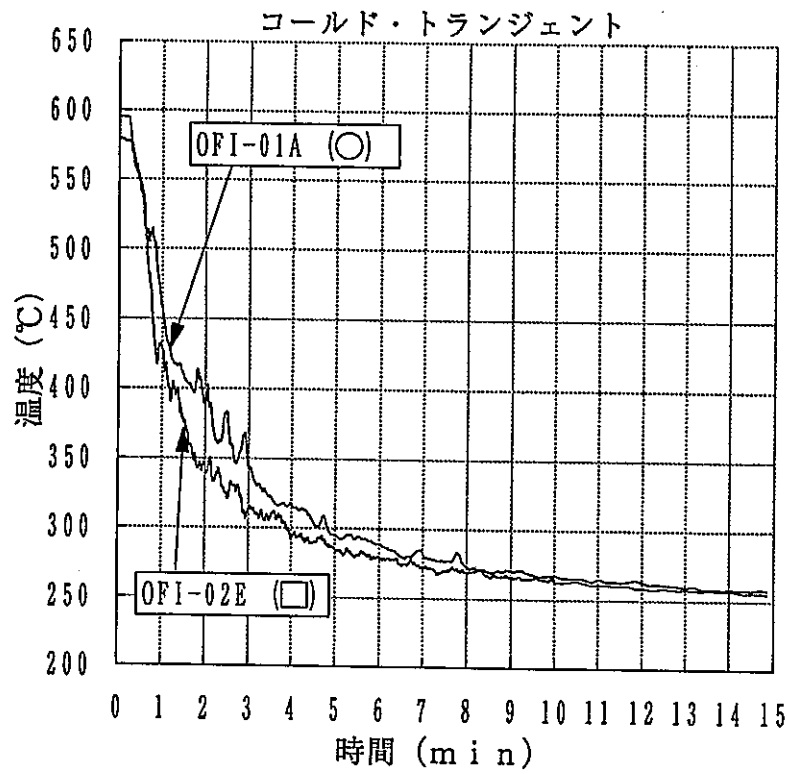


Fig. 4- 88 偏流確認 容器内表面(4)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

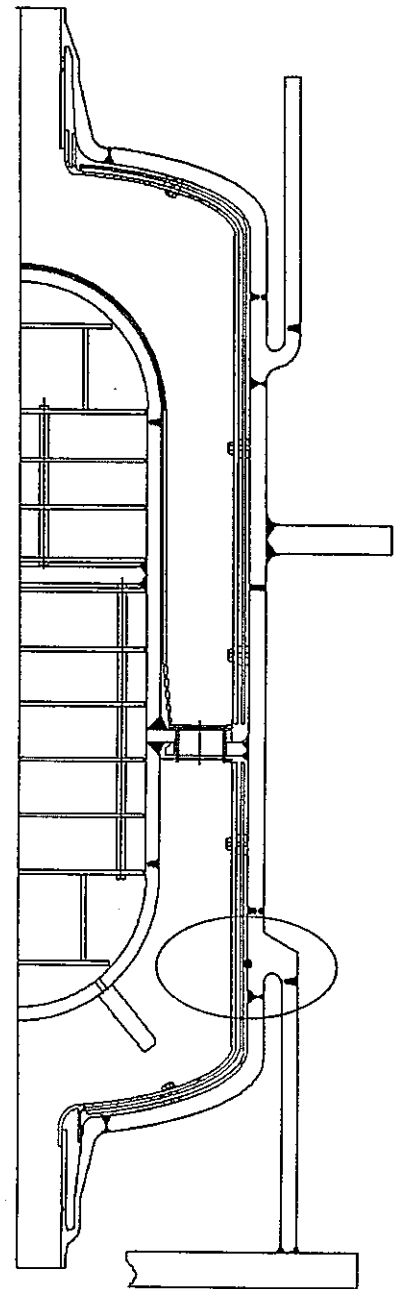
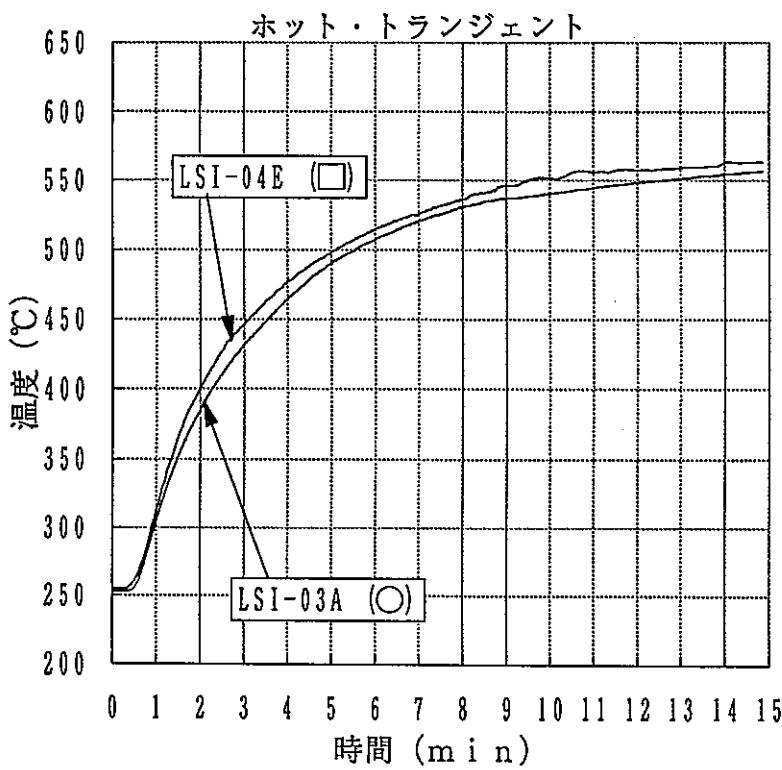
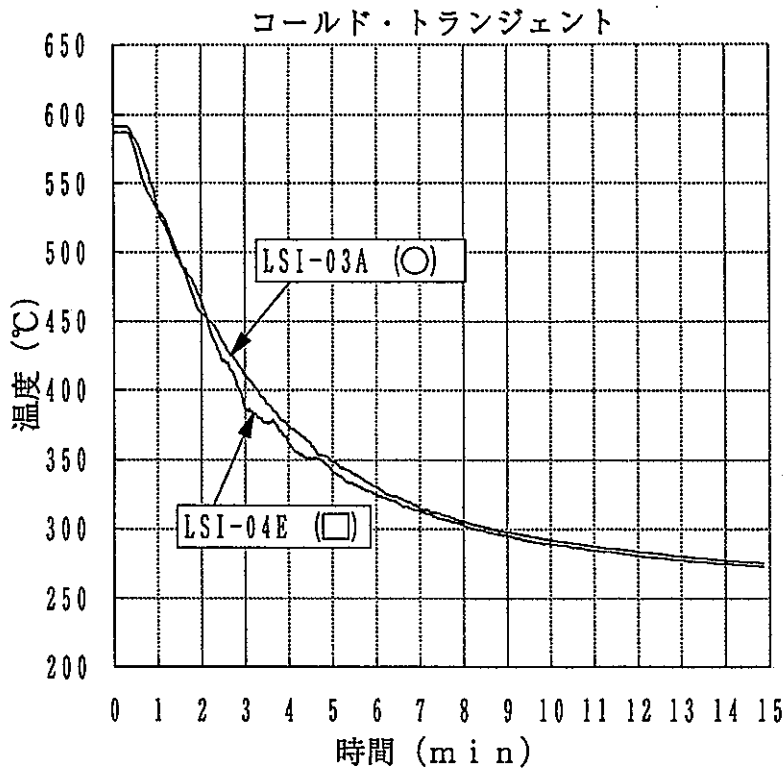


Fig. 4- 89 偏流確認 容器内表面(5)

サイクル数=500 cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

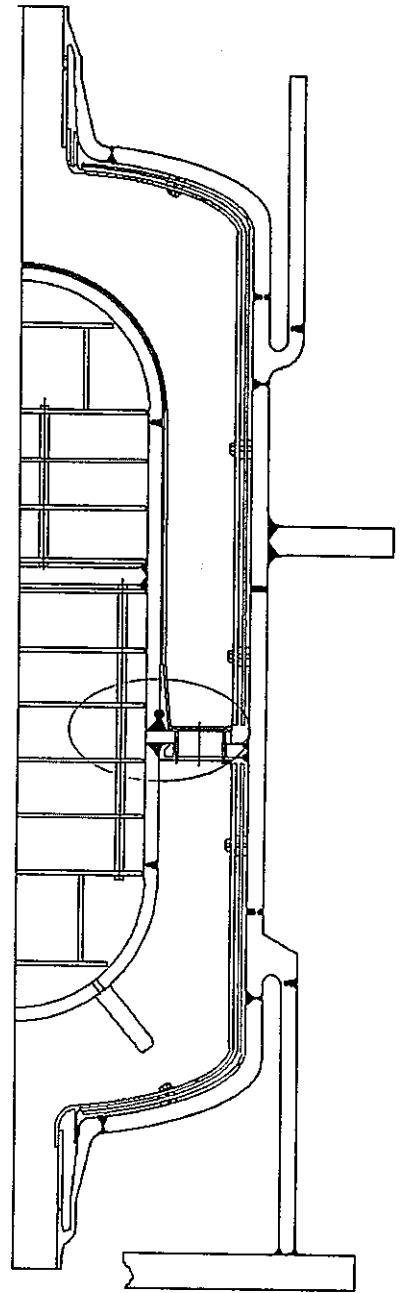
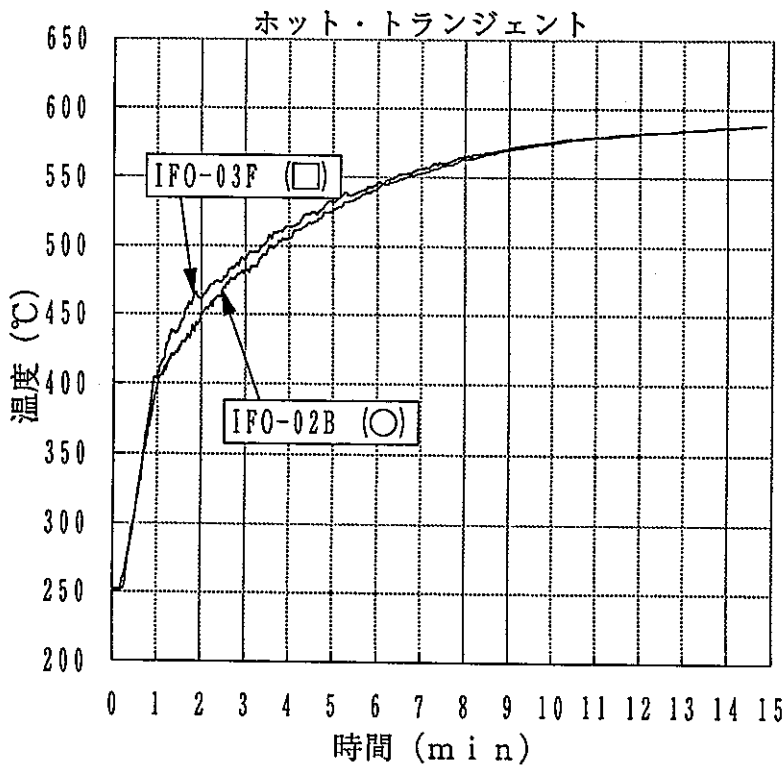
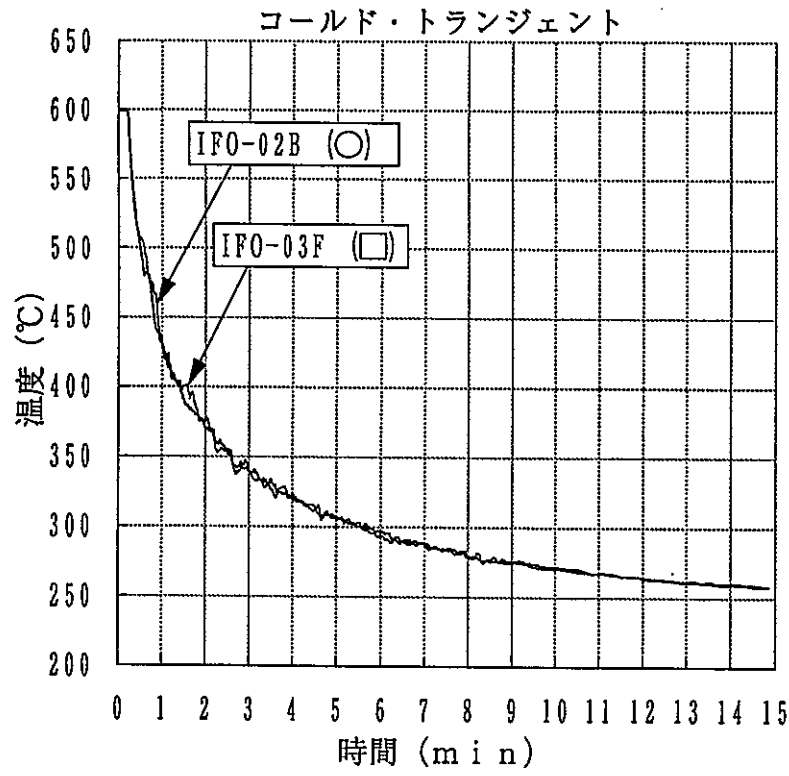


Fig. 4- 90 偏流確認 容器内表面 (6)

サイクル数=500 cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

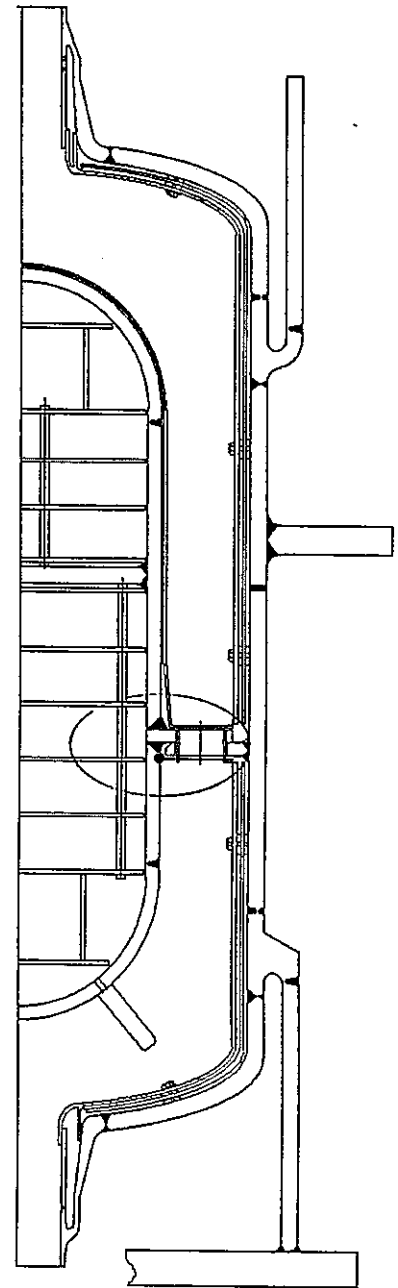
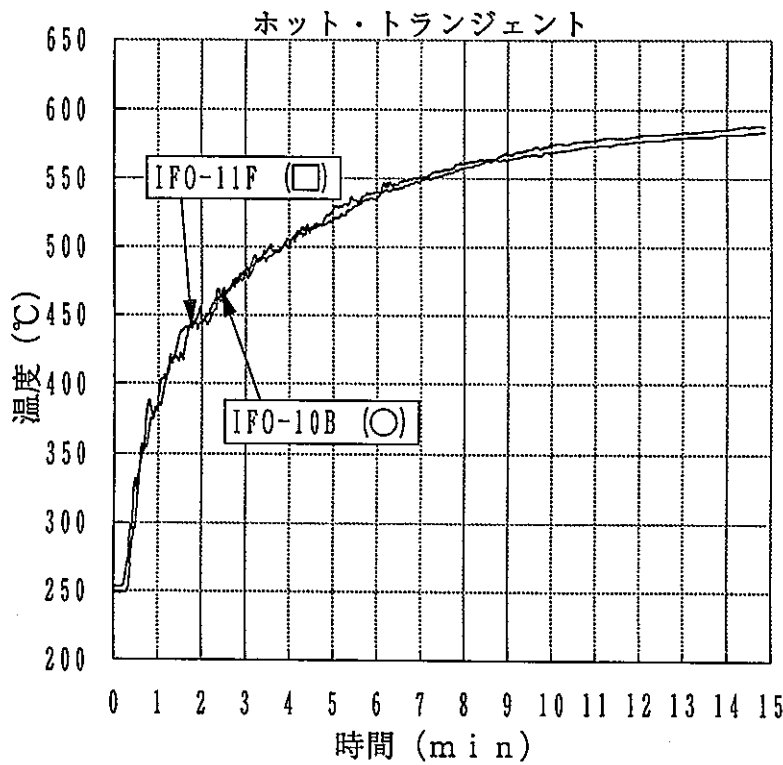
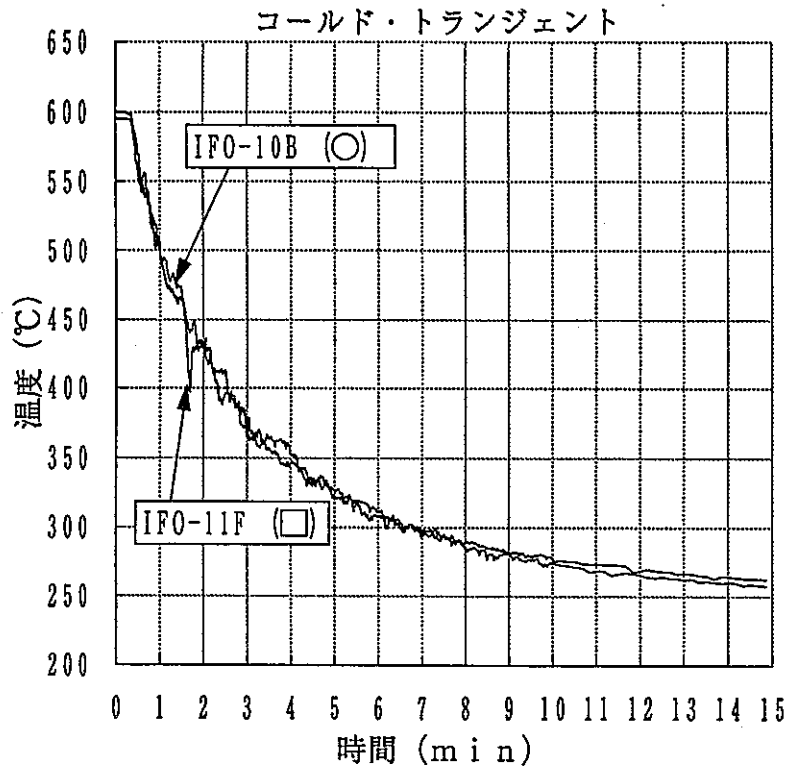


Fig. 4- 91 偏流確認 容器内表面 (7)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

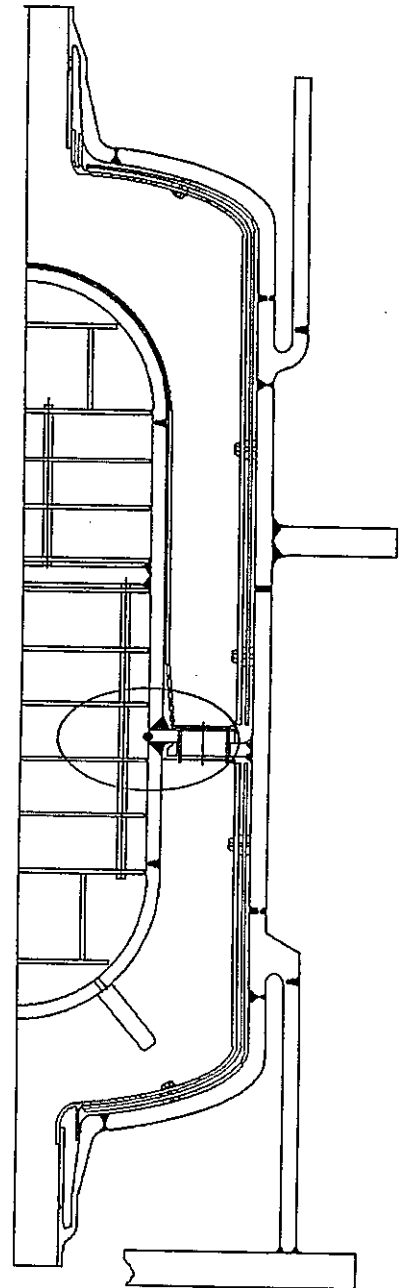
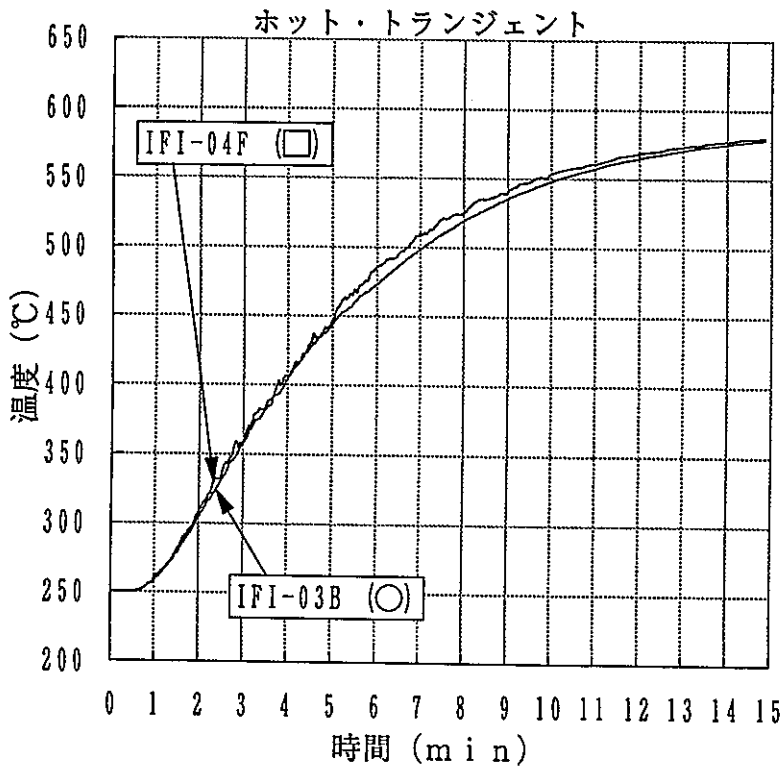
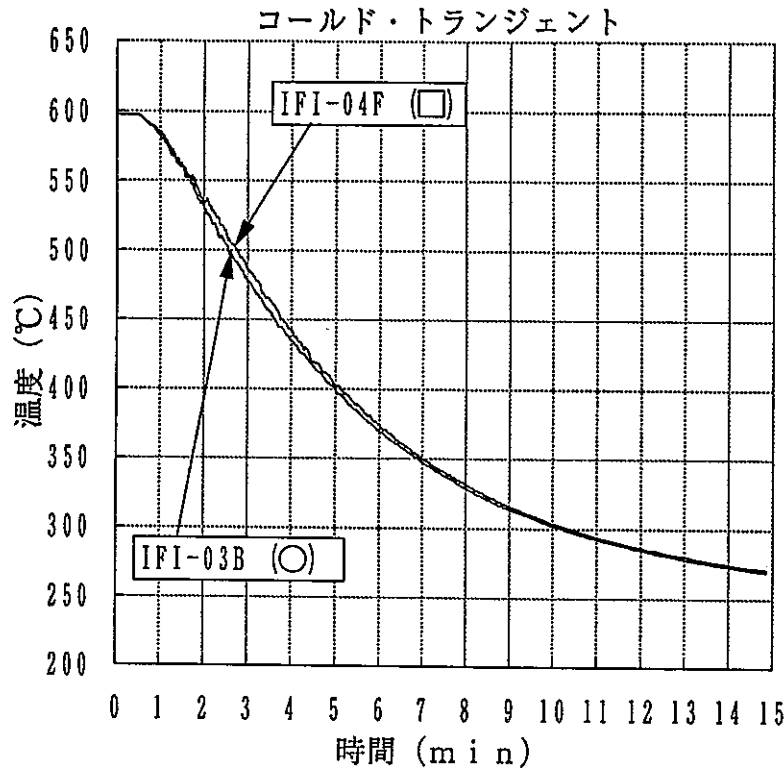


Fig. 4- 92 偏流確認 容器内表面(8)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

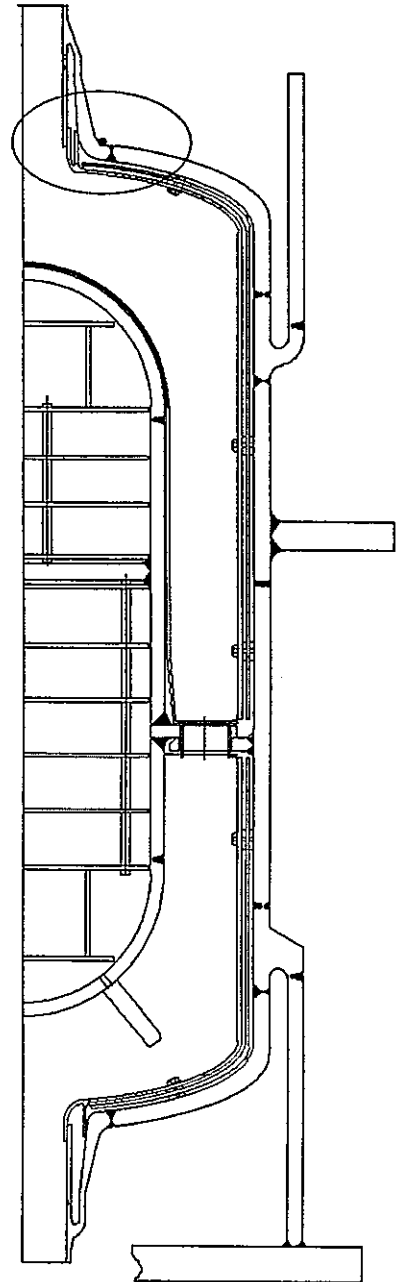
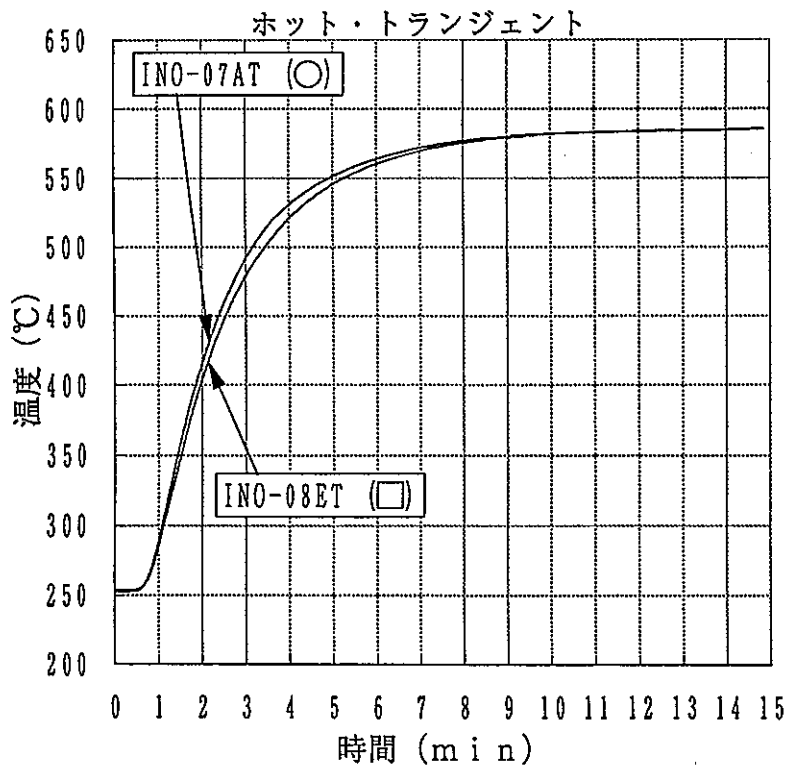
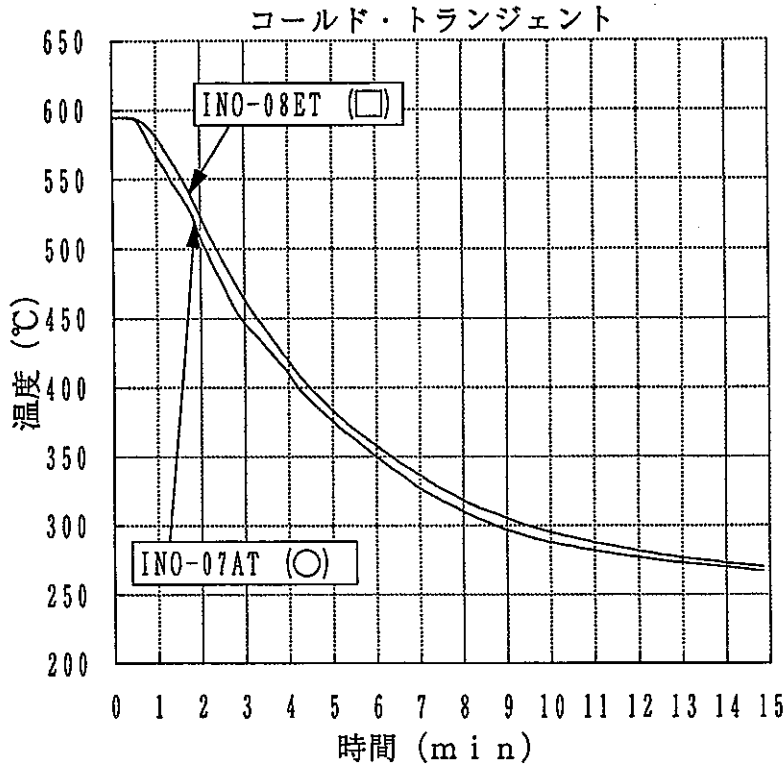


Fig. 4- 93 偏流確認 容器外表面(1)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

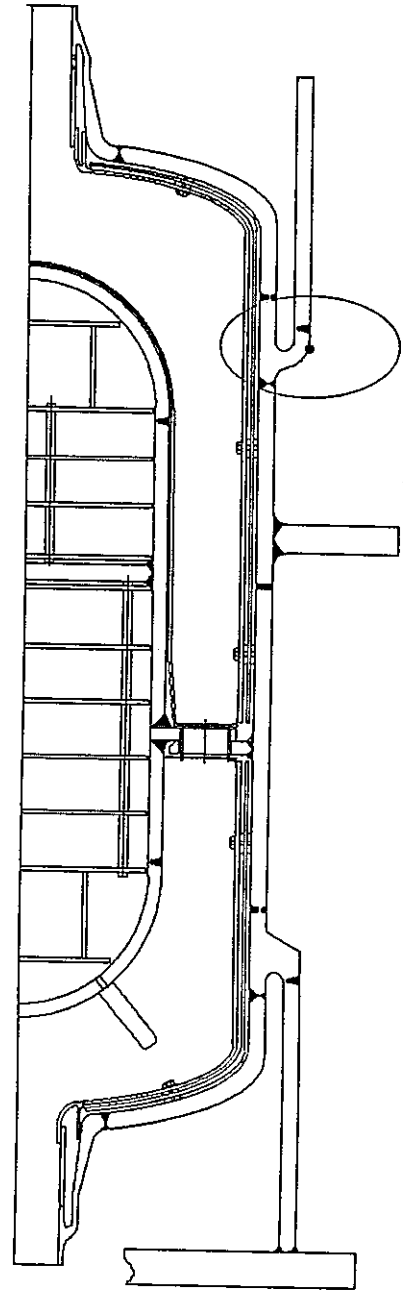
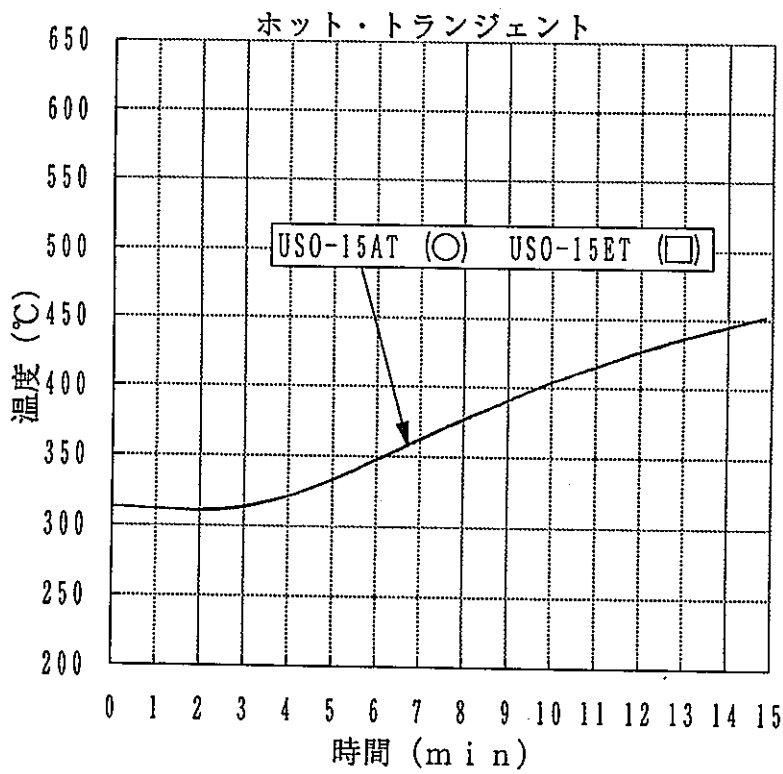
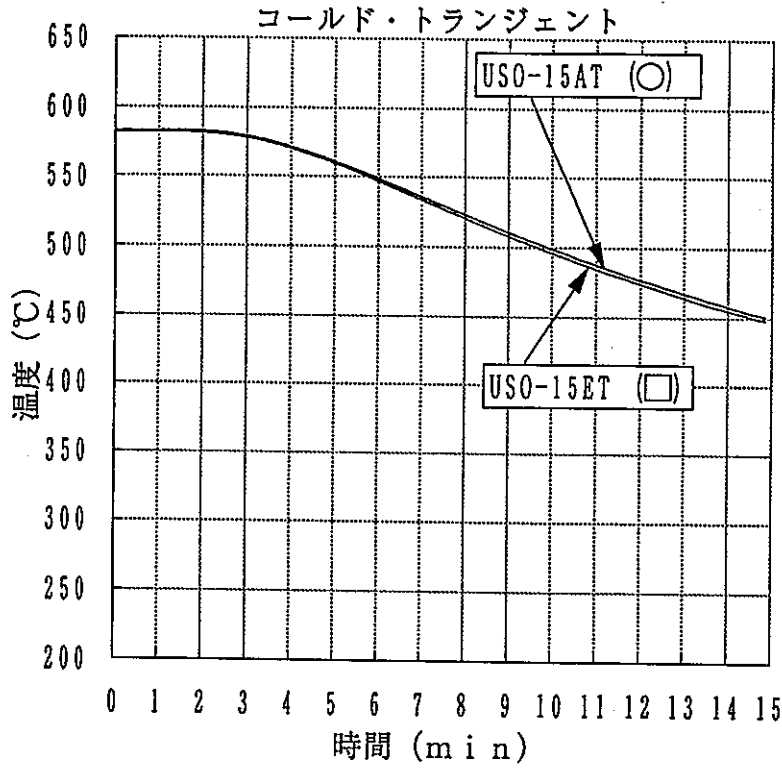


Fig. 4- 94 偏流確認 容器外表面(2)

サイクル数=500cycle
時刻=平成4年5月10日
18:00~

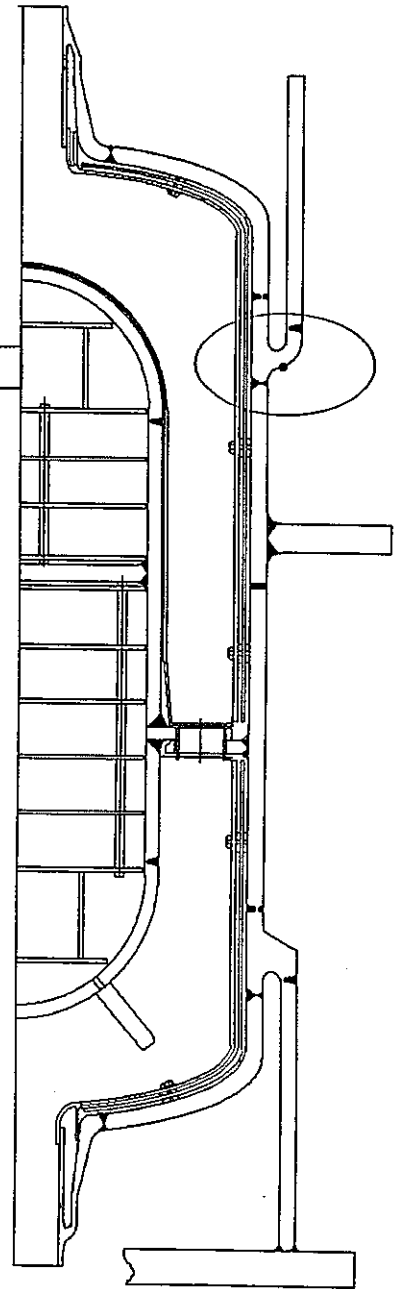
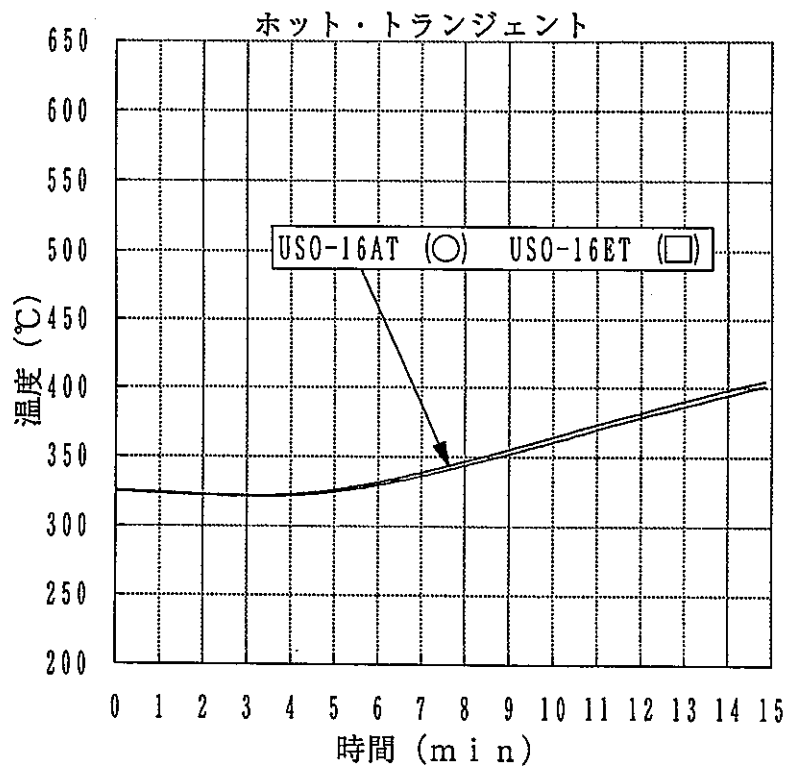
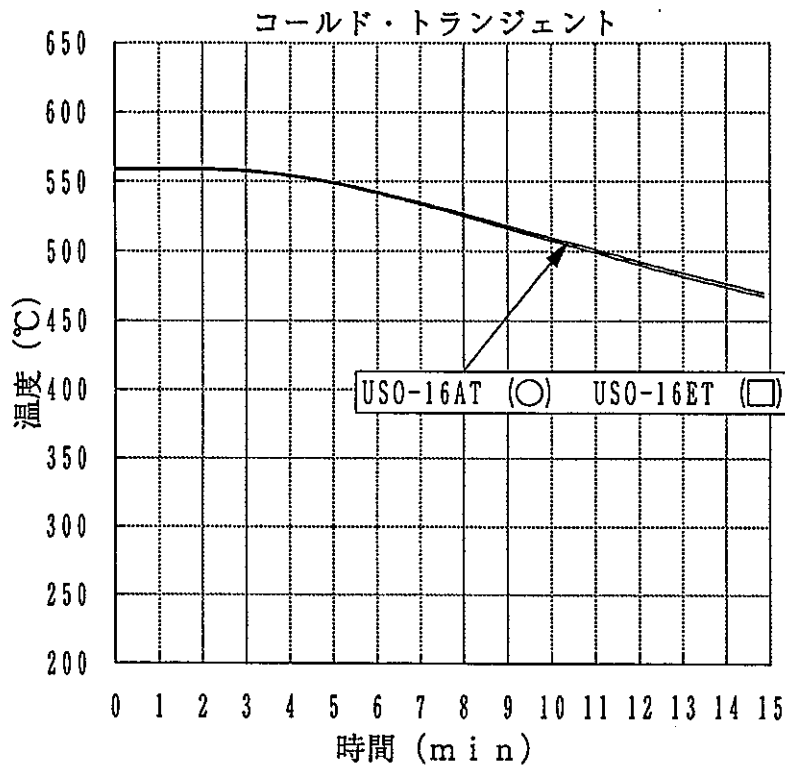


Fig. 4- 95 偏流確認 容器外表面(3)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

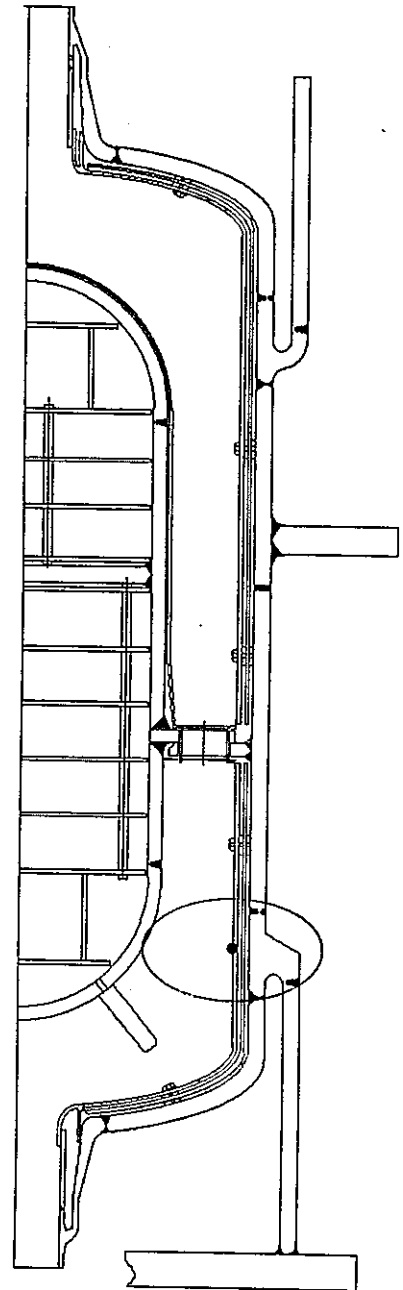
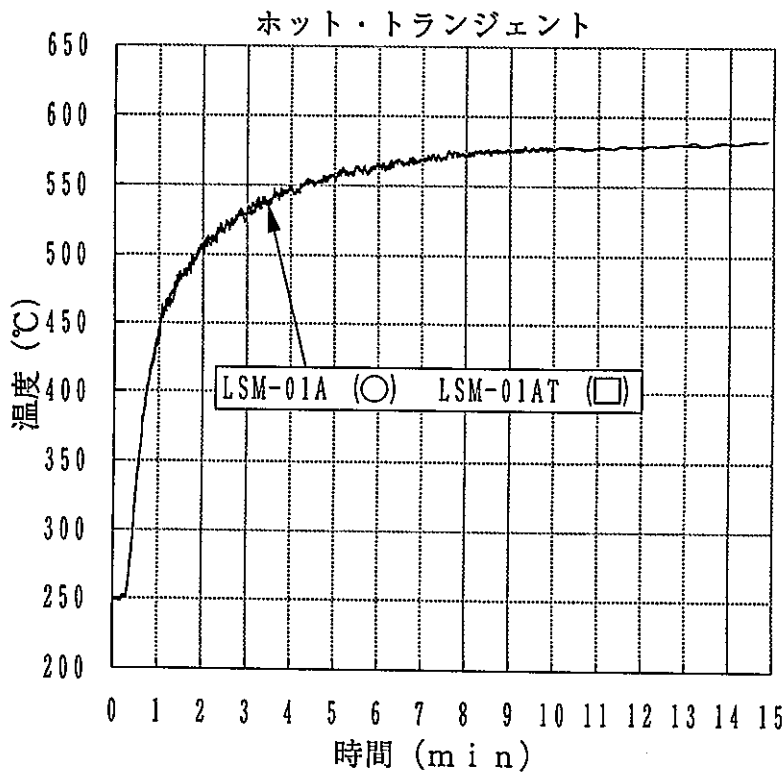
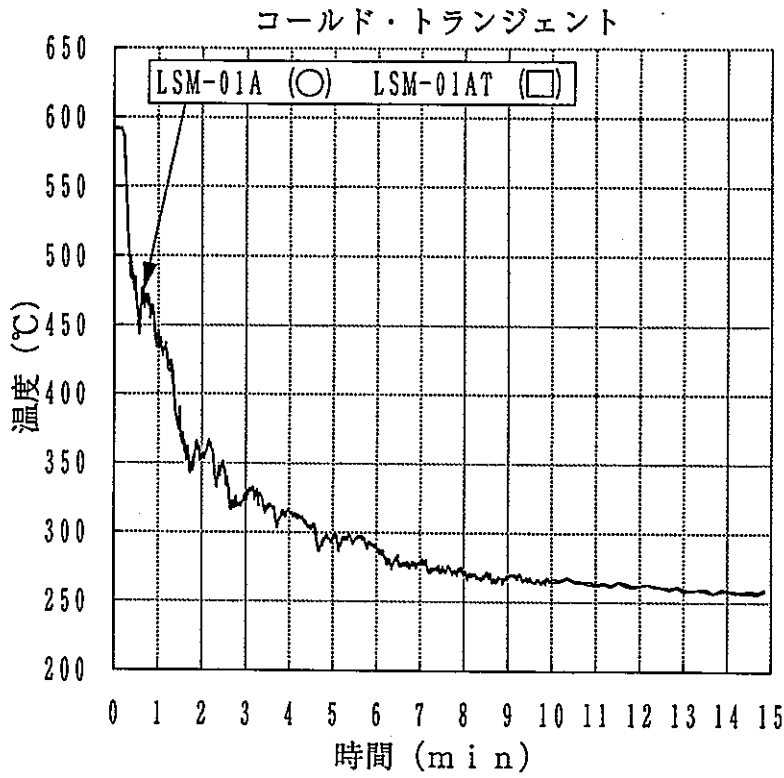


Fig. 4-96 チップ有無温度応答 容器内表面(1)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

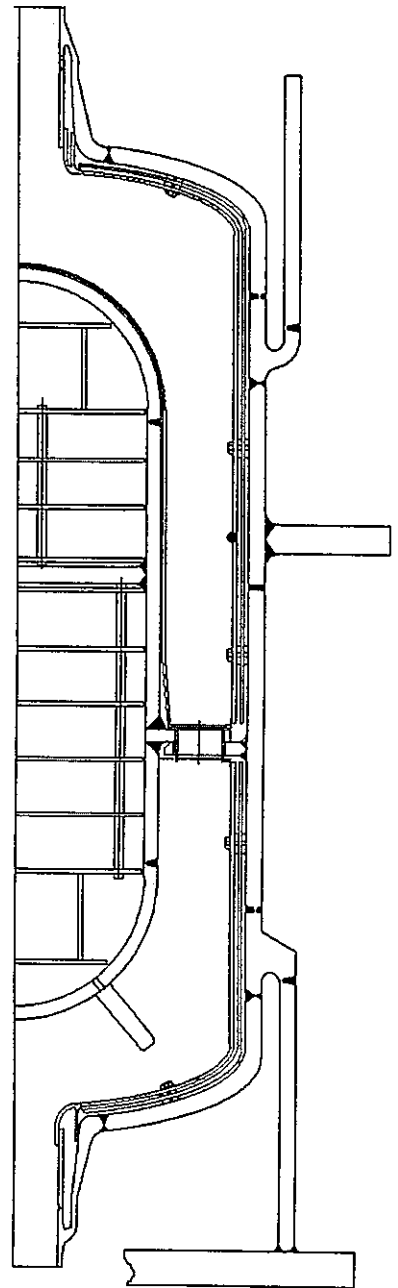
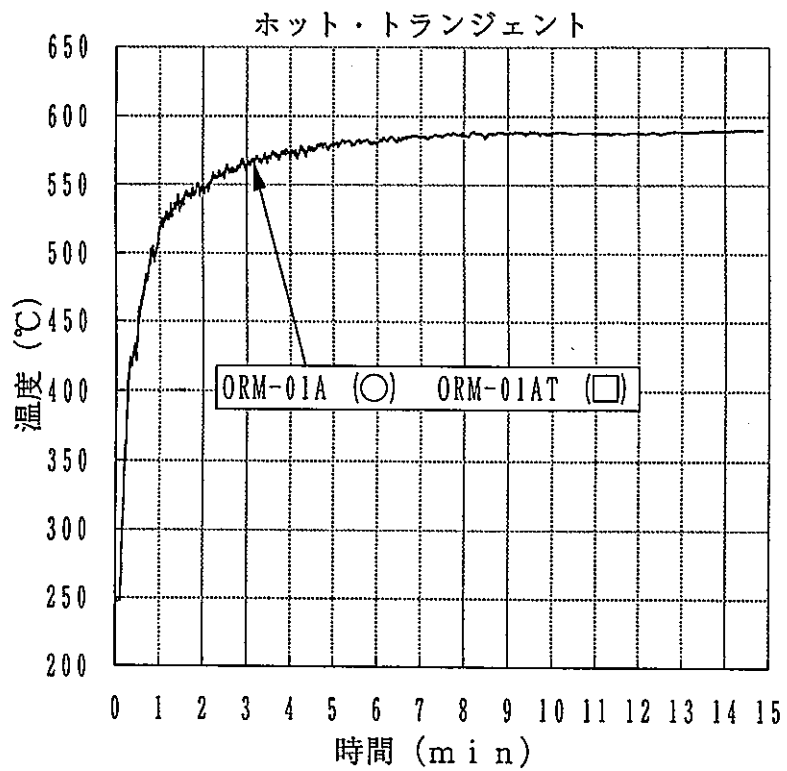
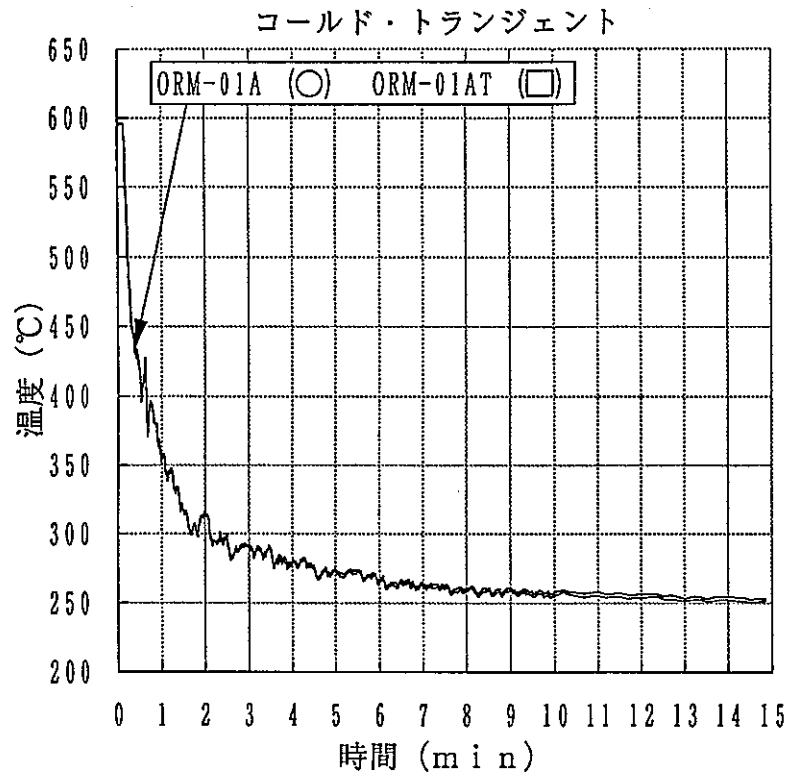


Fig. 4- 97 チップ有無温度応答 容器内表面(2)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

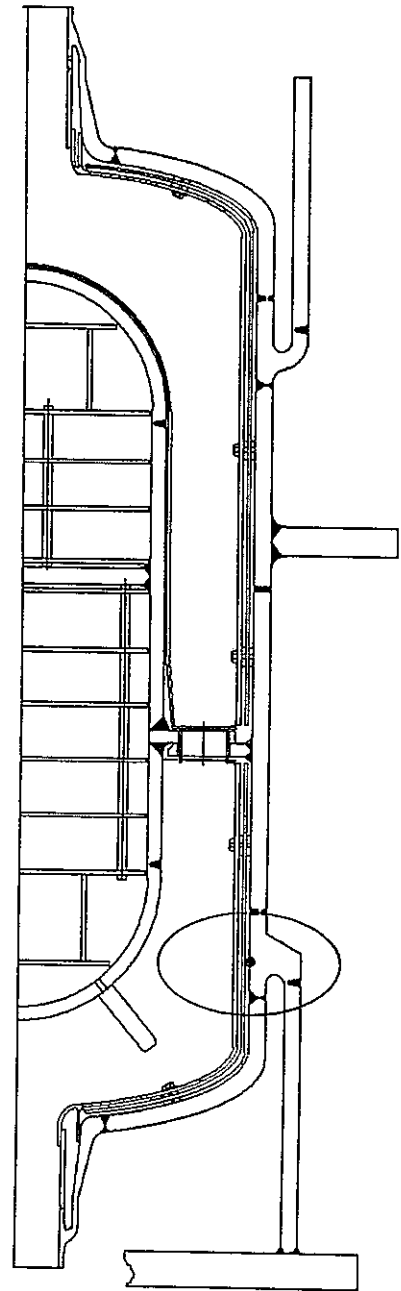
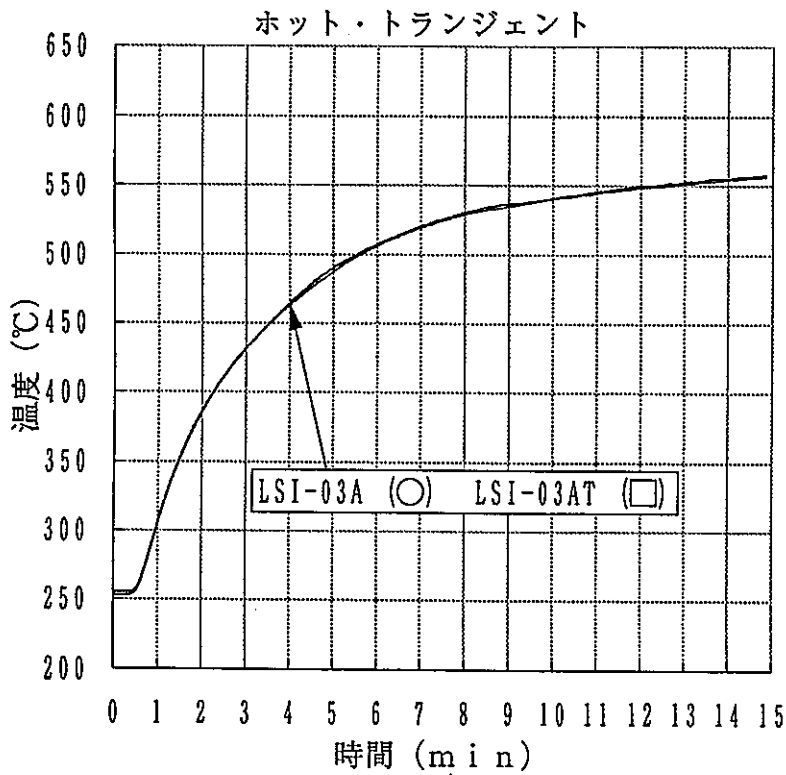
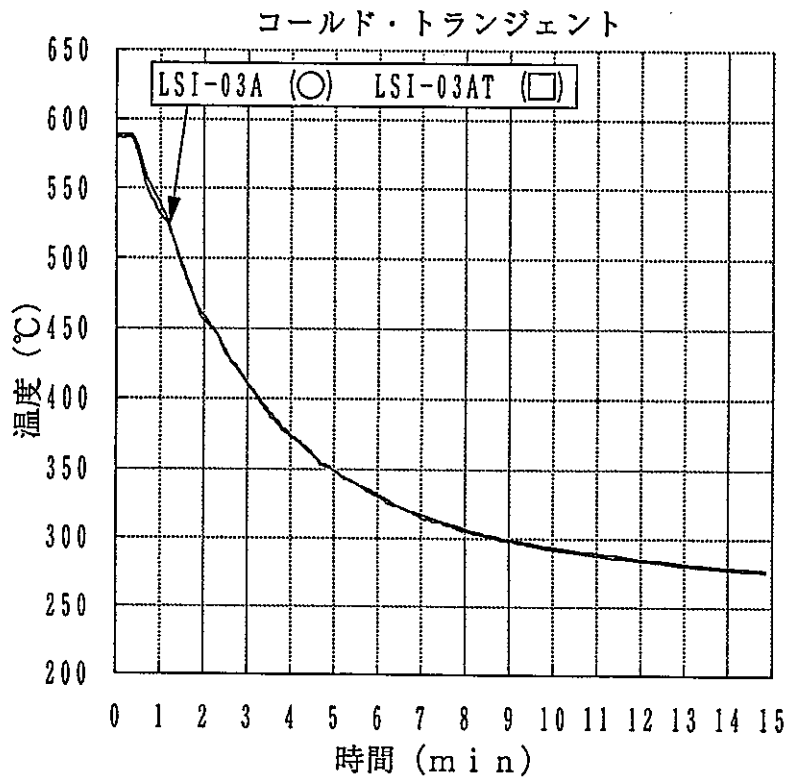


Fig. 4- 98 チップ有無温度応答 容器内表面(3)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

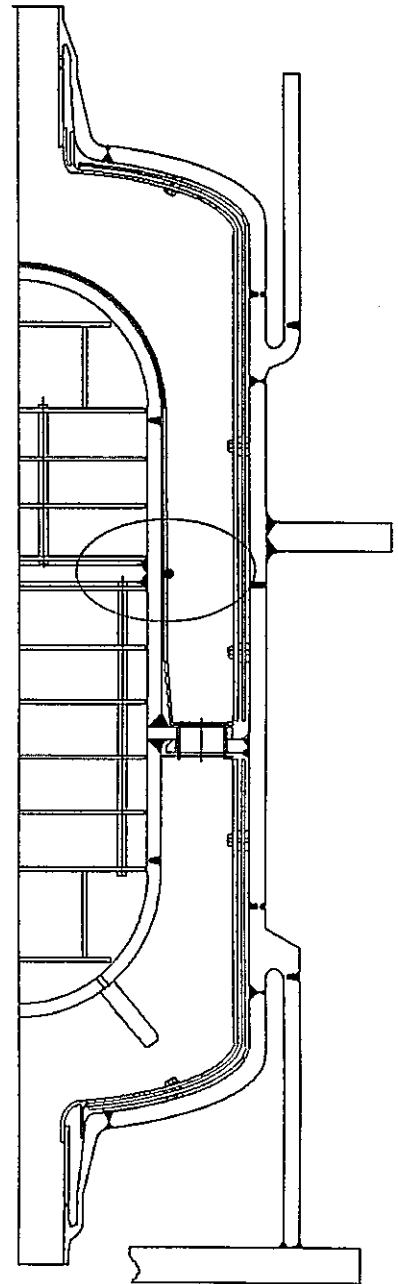
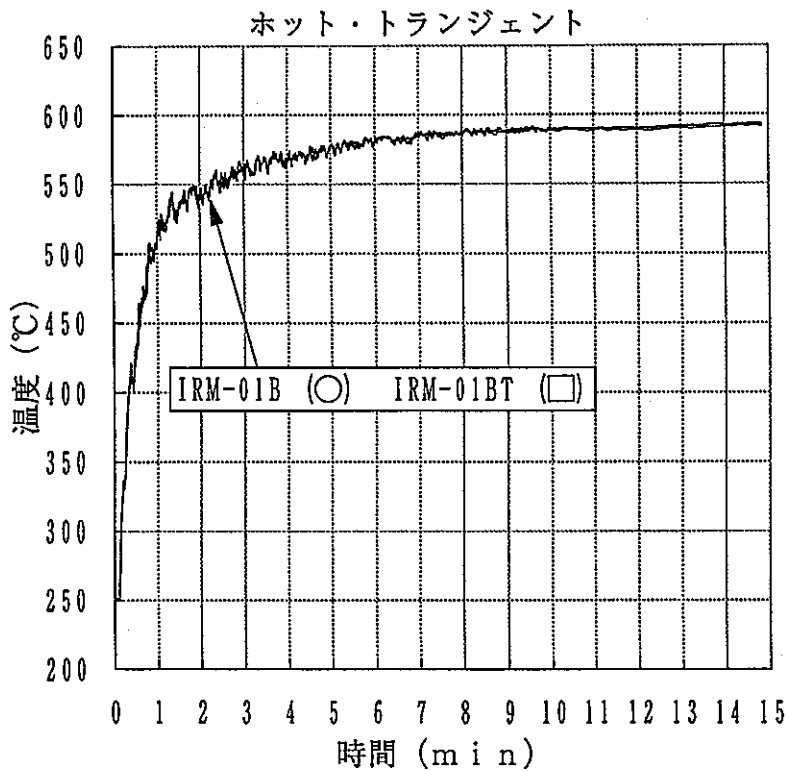
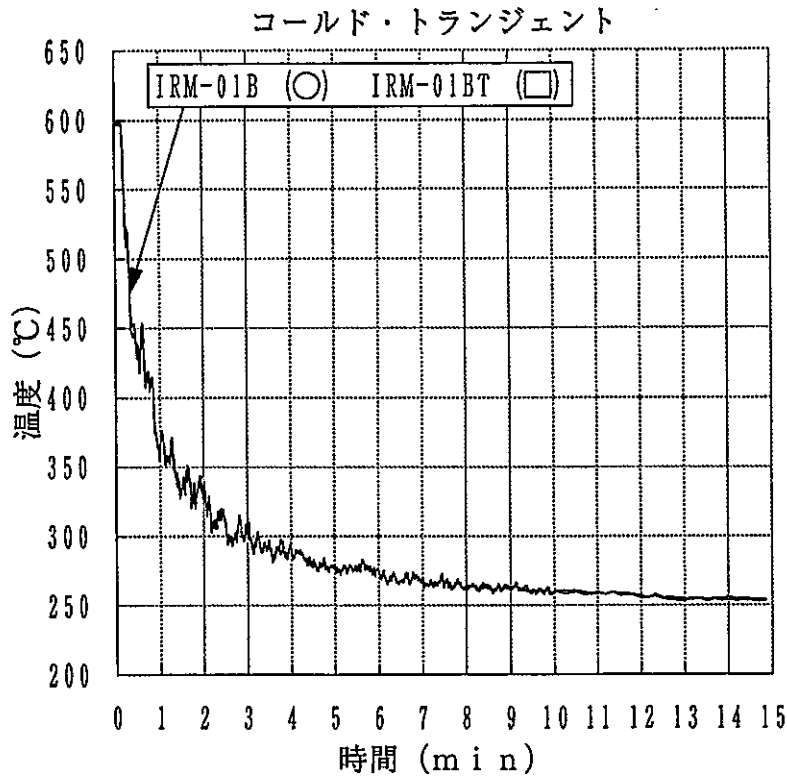


Fig. 4- 99 チップ有無温度応答 容器内表面(4)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

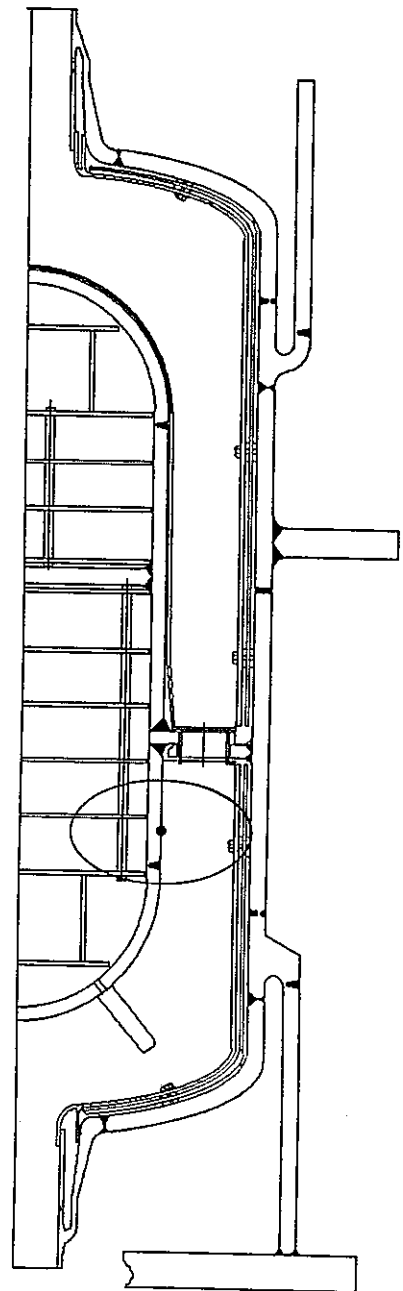
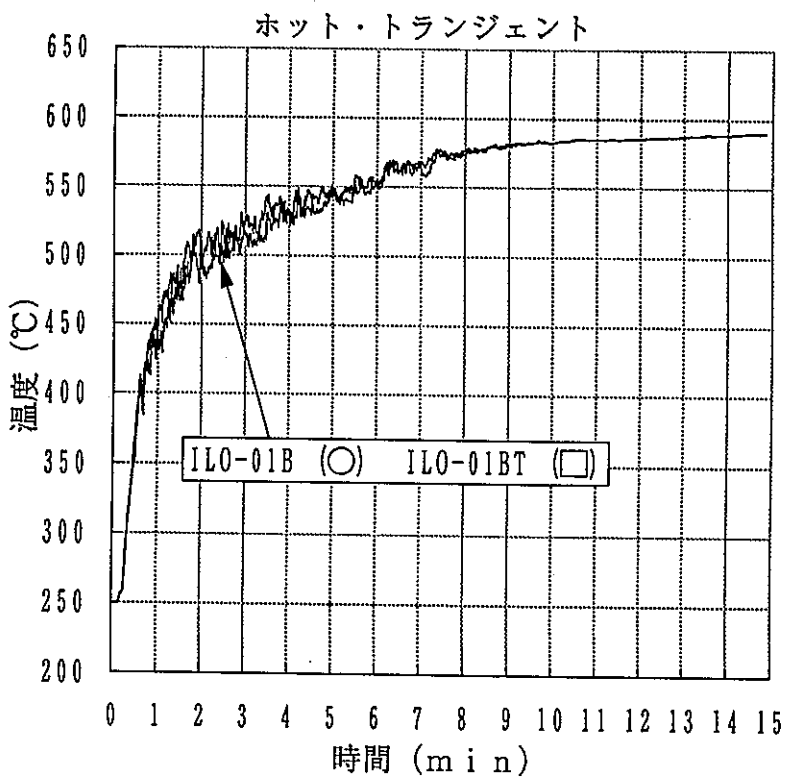
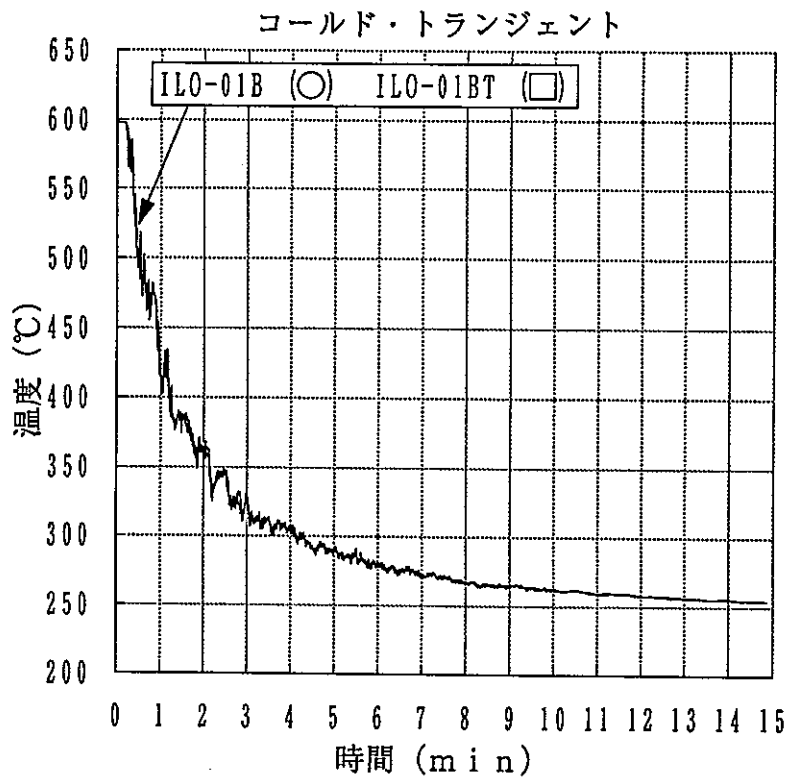


Fig. 4-100 チップ有無温度応答 容器内表面(5)

サイクル数=500 cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~

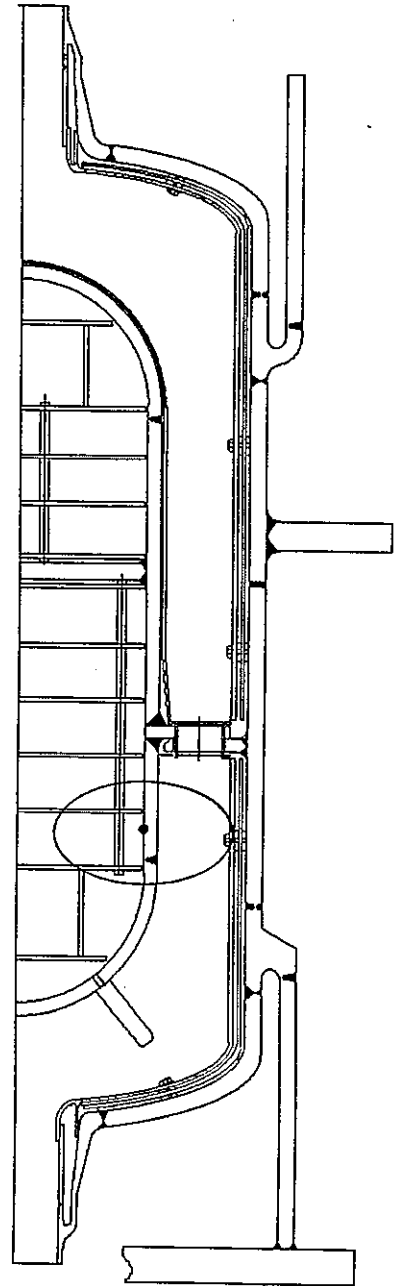
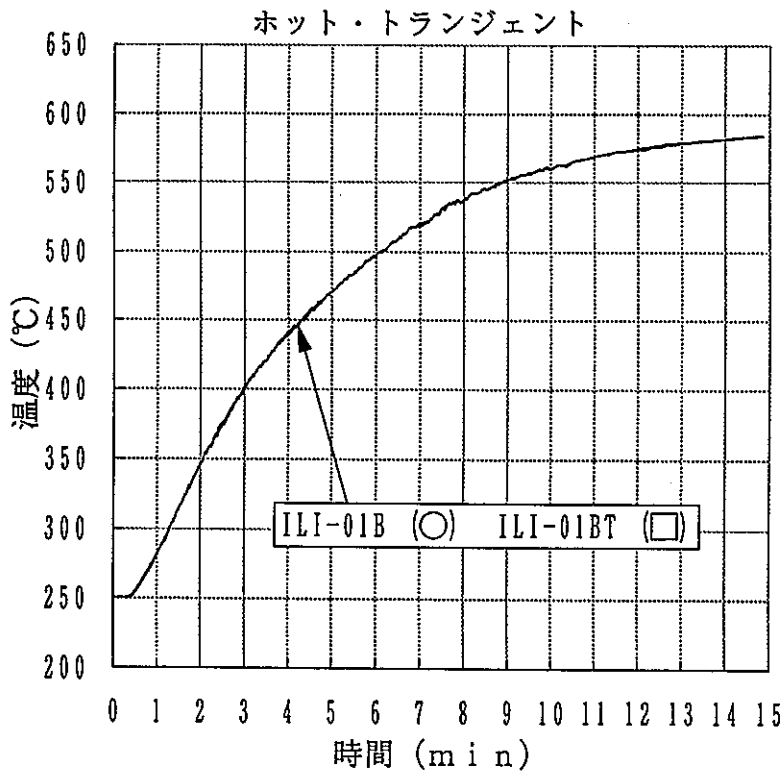
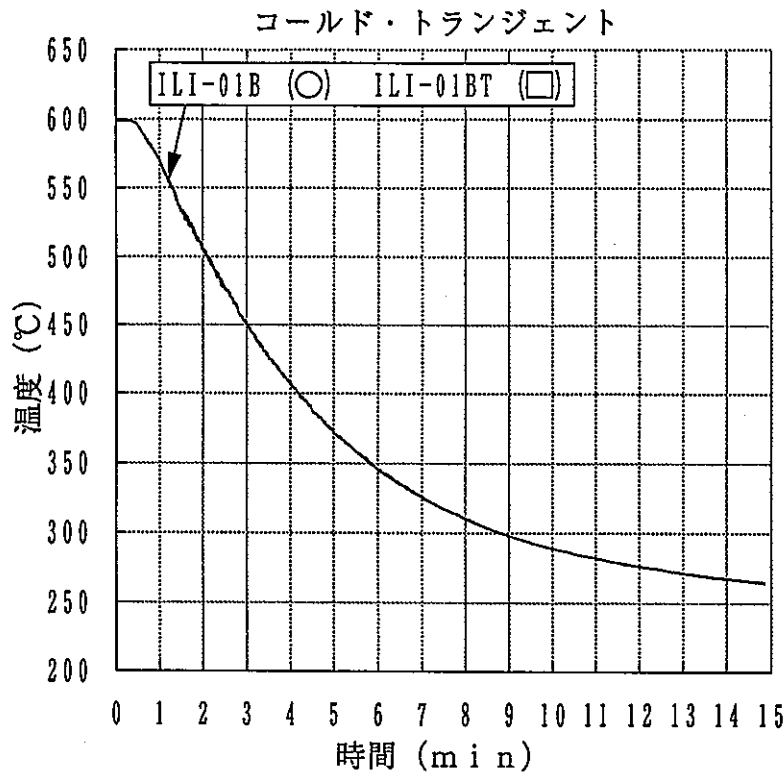
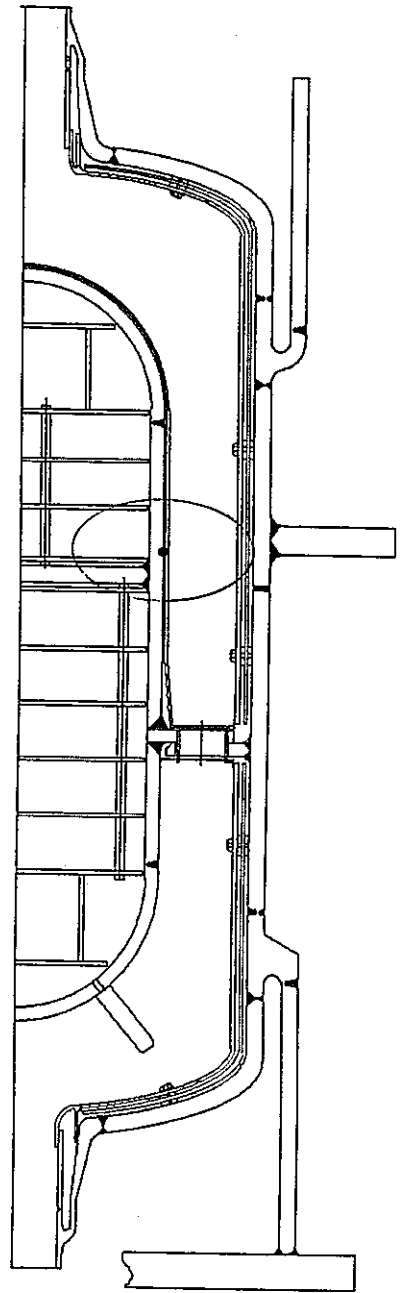
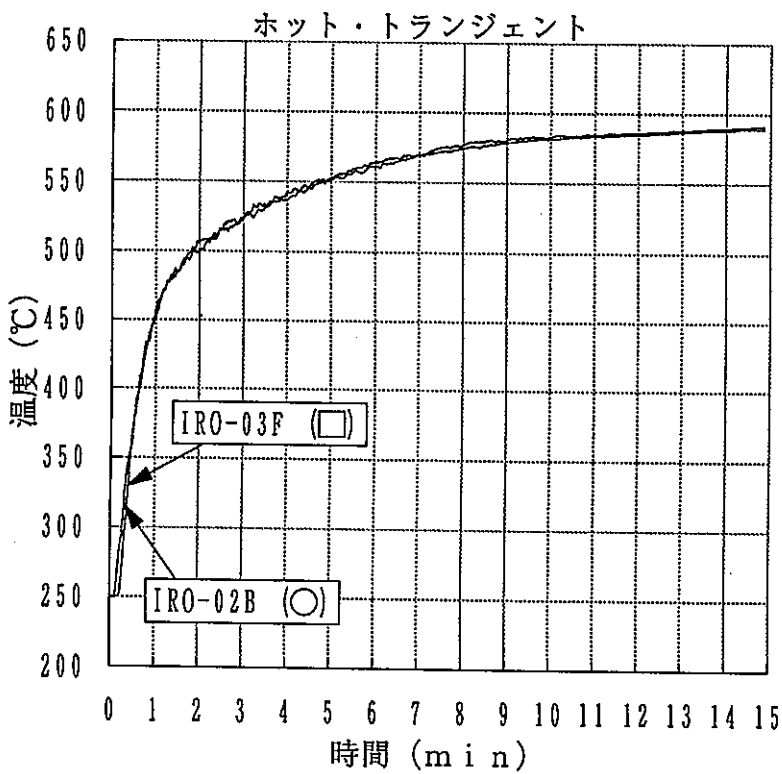
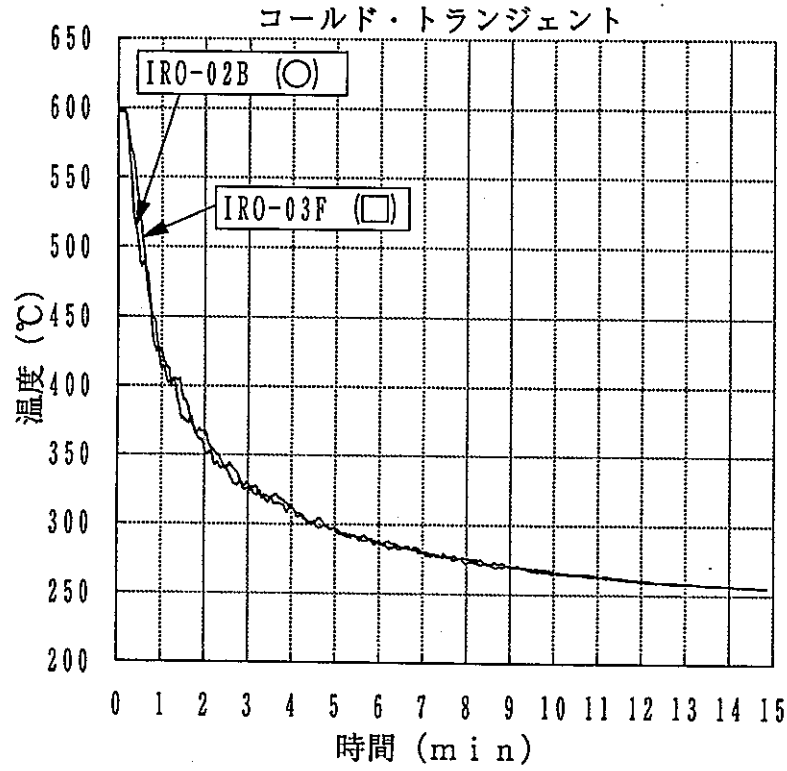


Fig. 4-101 チップ有無温度応答. 容器内表面(6)

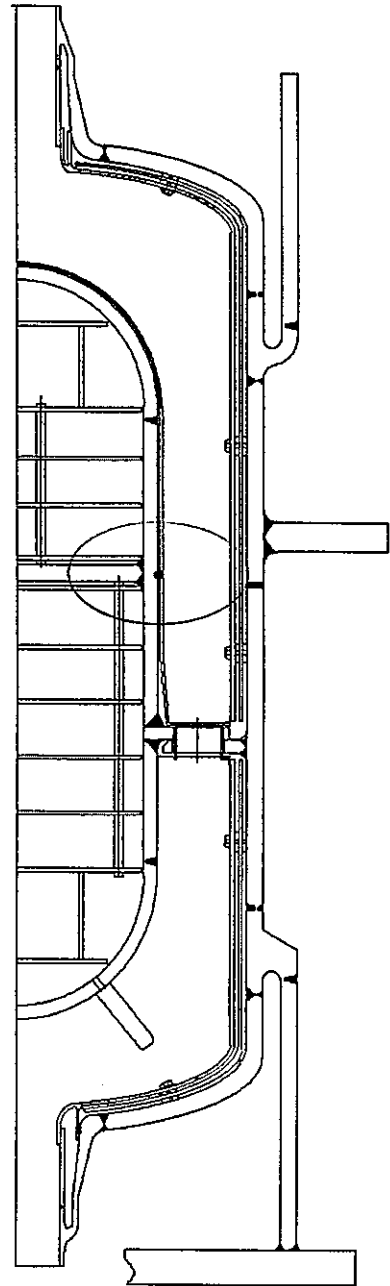
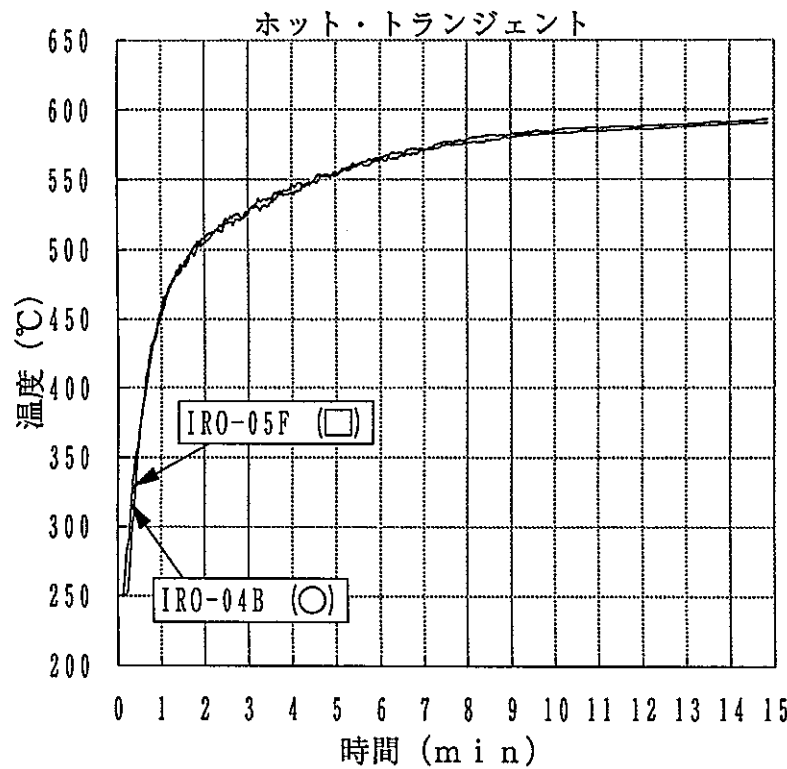
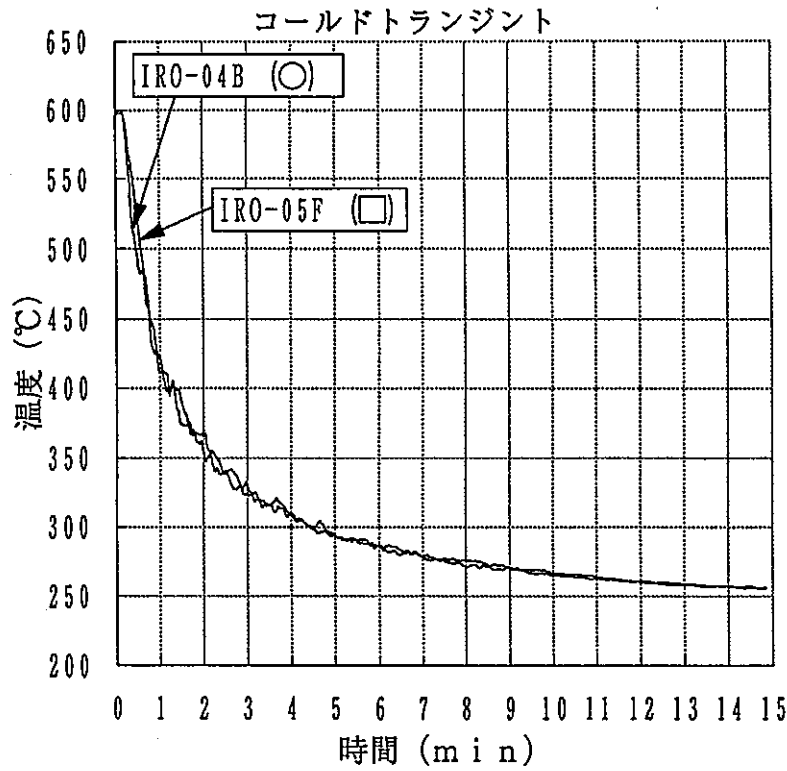
サイクル数=500 cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~



IRO-02B (SUS304)
 IRO-03F (SUS316FR)

Fig. 4-102 316FRと304との温度応答比較(1)

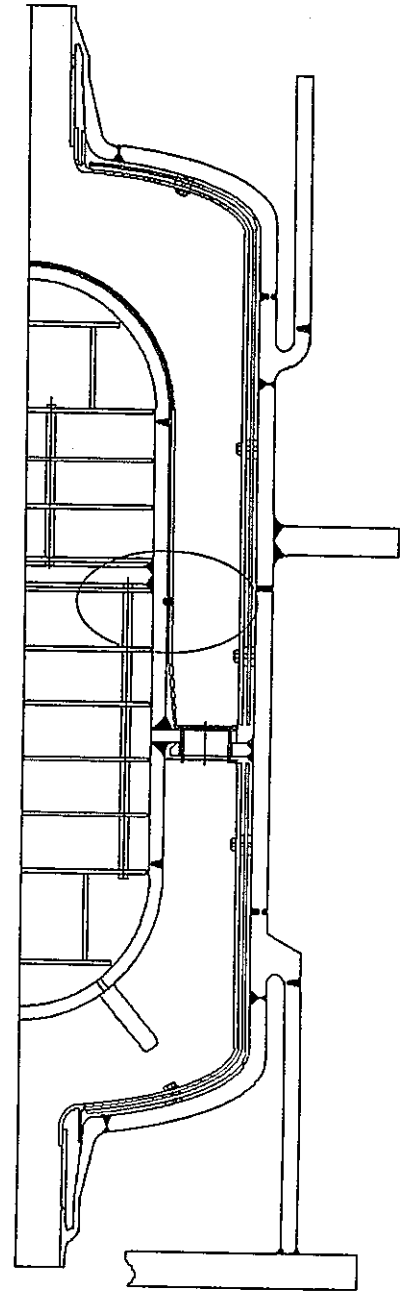
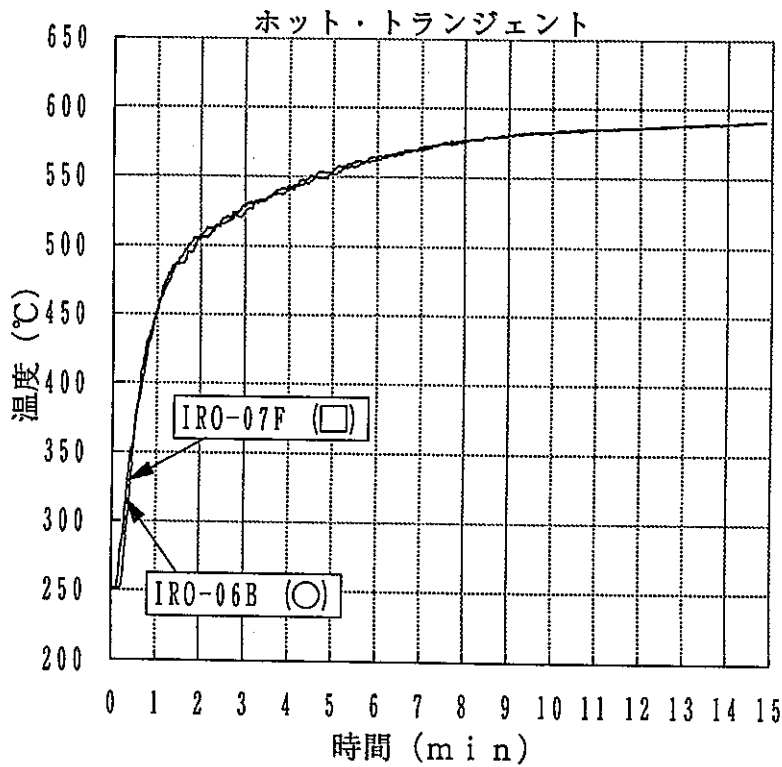
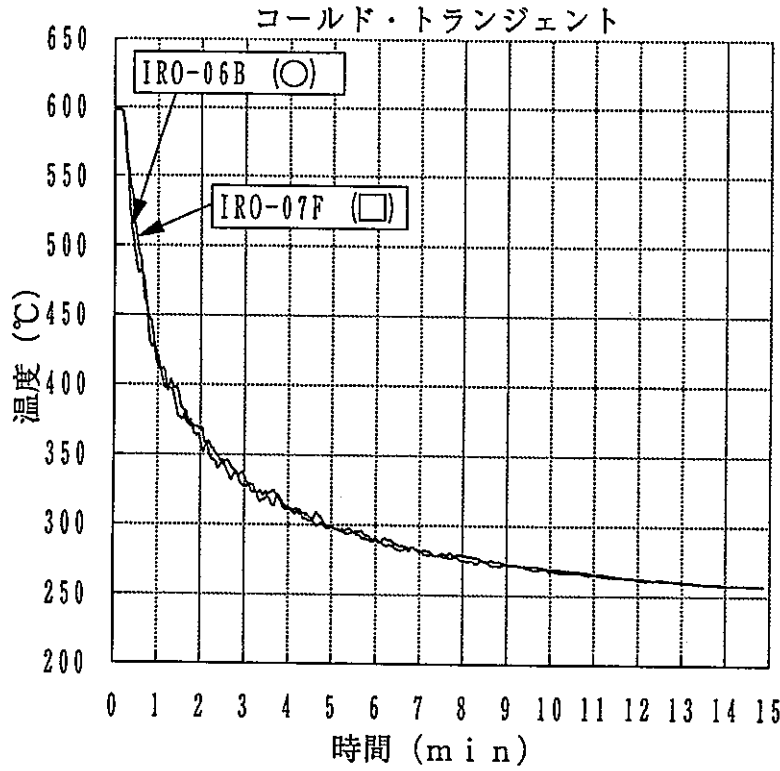
サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~



IRO-04B (SUS304)
 IRO-05F (SUS316FR)

Fig. 4-103 316FRと304との温度応答比較(2)

サイクル数=500cycle
 時刻=平成4年5月10日
 18:00~



IRO-06B (SUS304)
 IRO-07F (SUS316FR)

Fig. 4-104 316FRと304との温度応答比較(3)

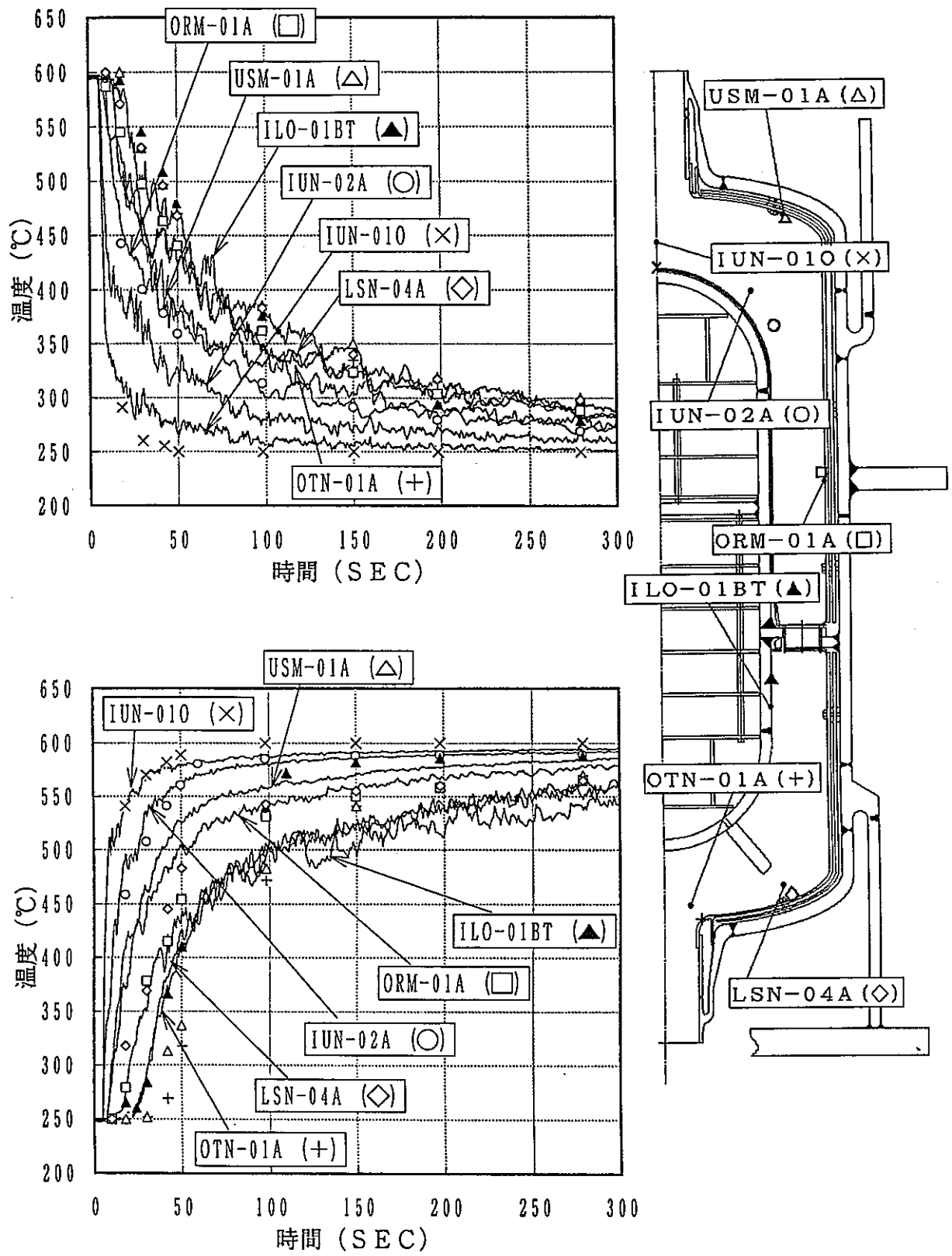


Fig. 4-105 流動解析結果との比較

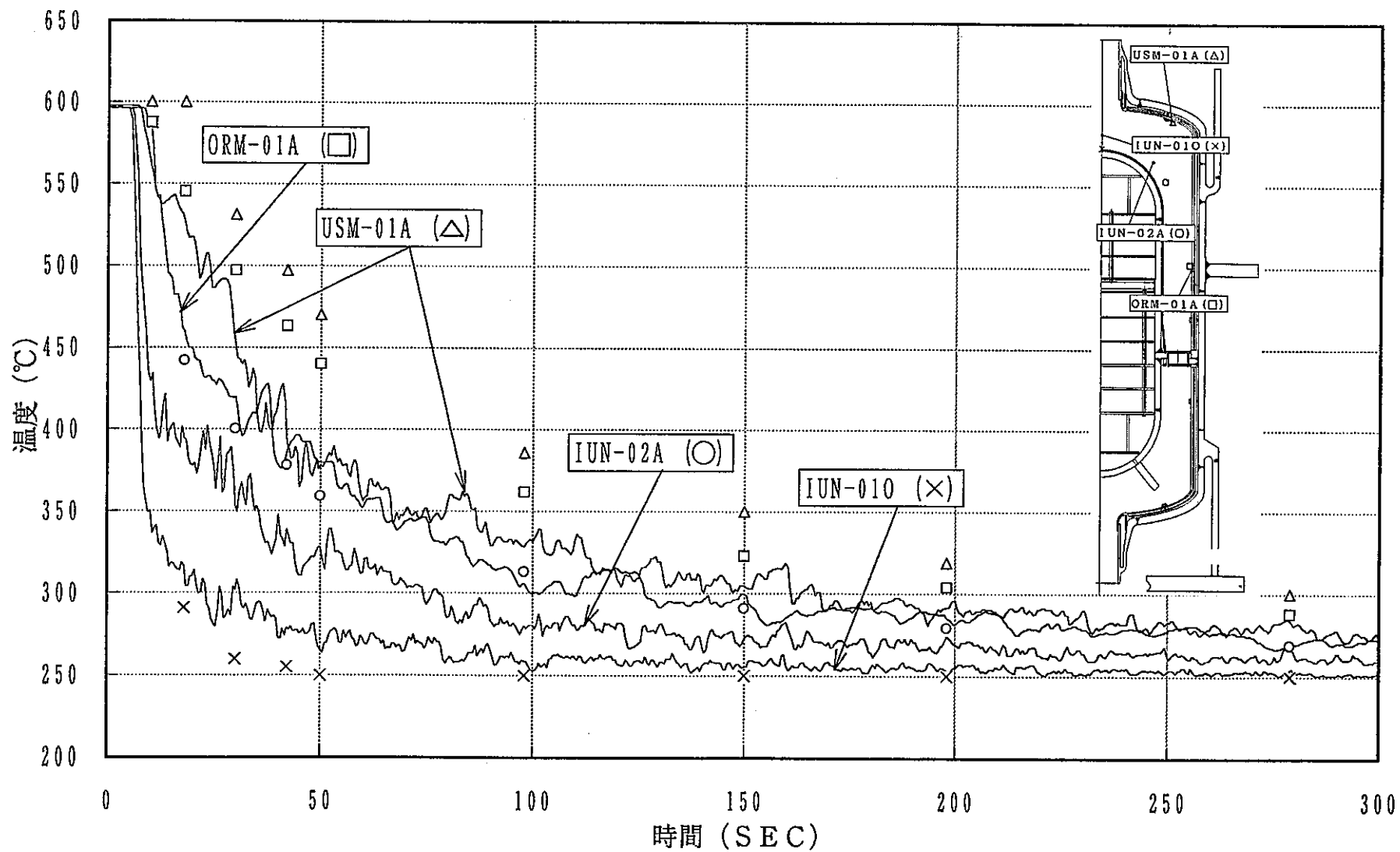


Fig. 4-105 (1) 流動解析結果との比較 (上部アルナム・コールド)

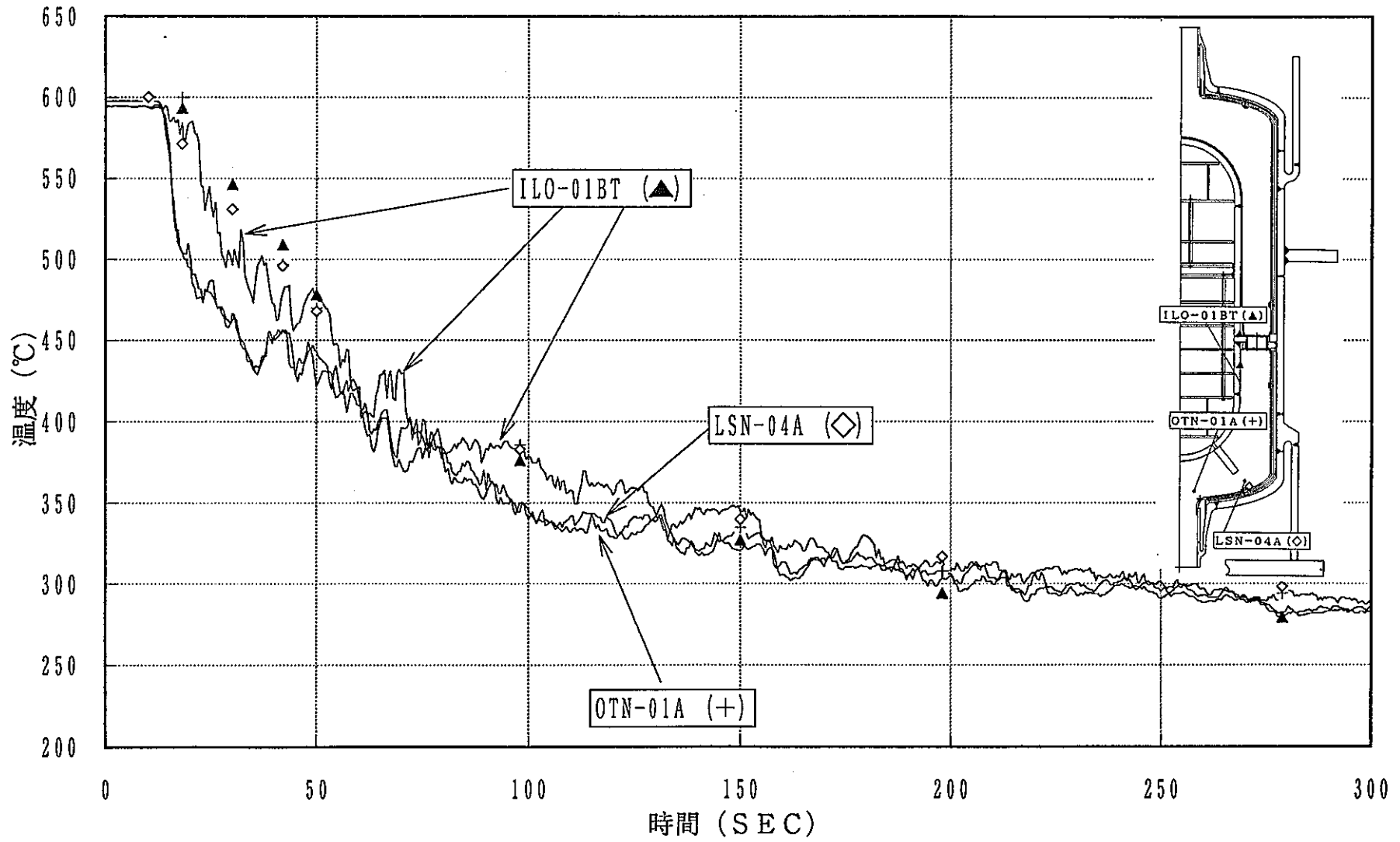


Fig. 4-105 (2) 流動解析結果との比較 (下部フルナム・コールド)

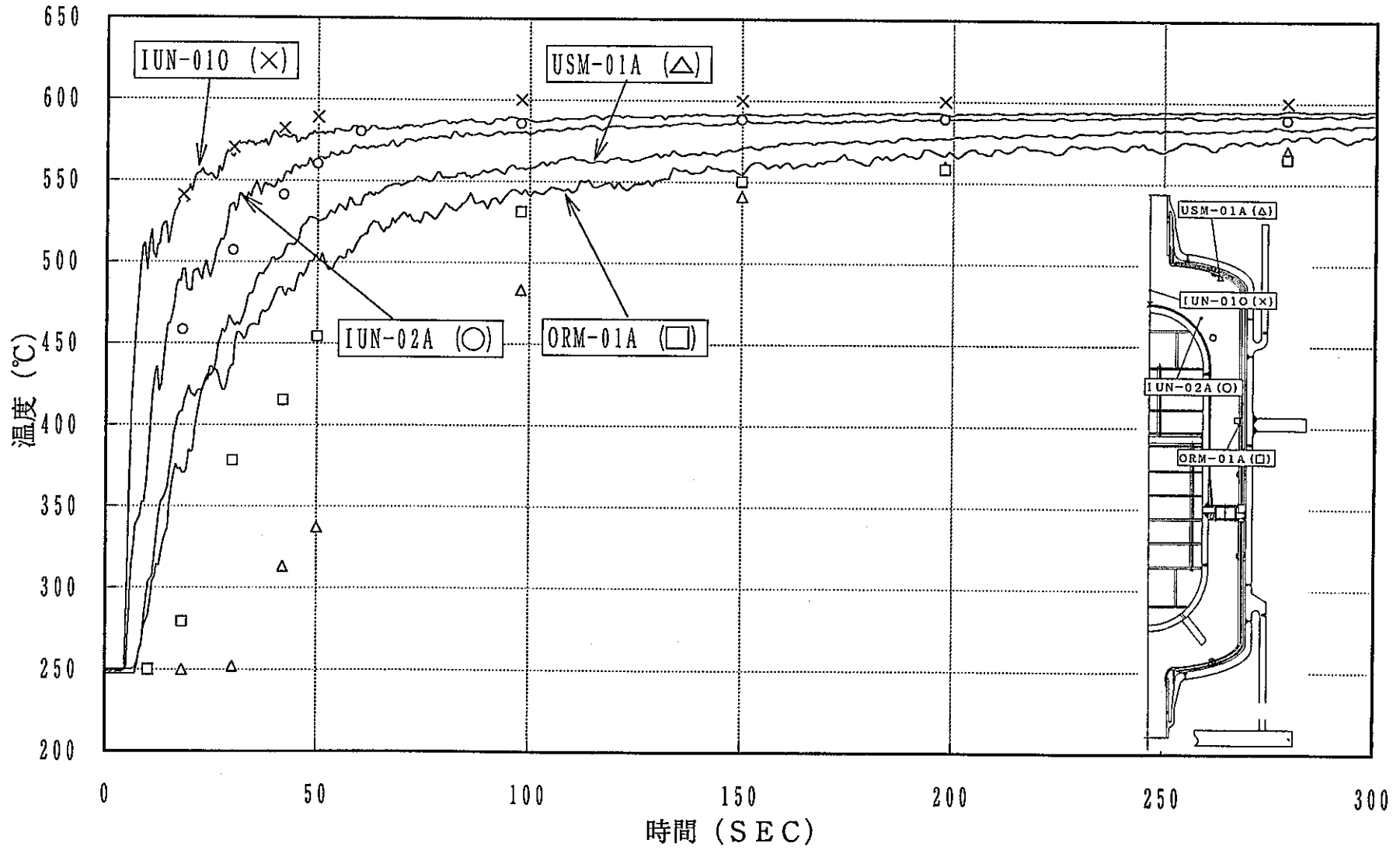


Fig. 4-105 (3) 流動解析結果との比較 (上部沸騰・ホット)

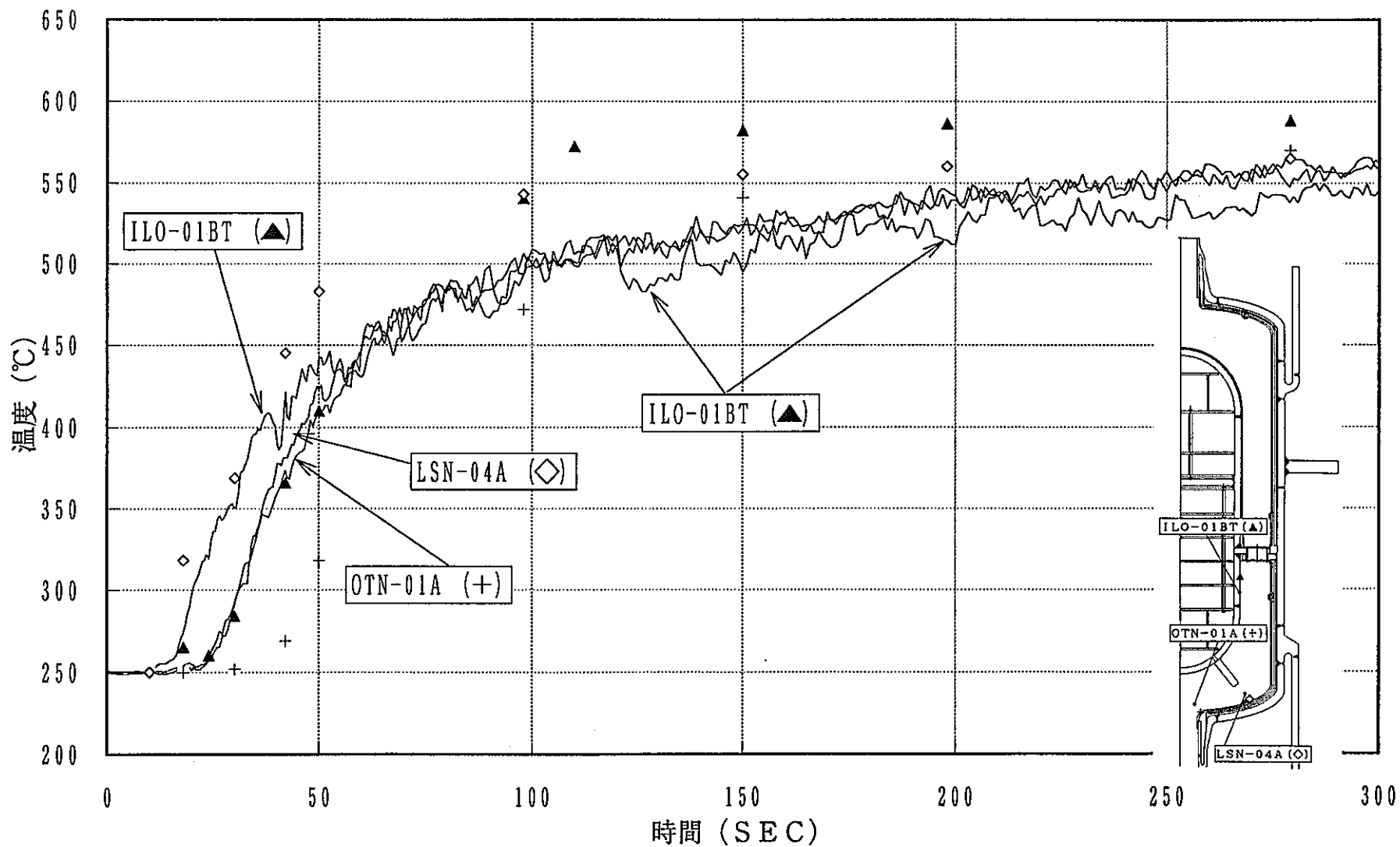


Fig. 4-105 (4) 流動解析結果との比較 (下部プレナム・ホット)

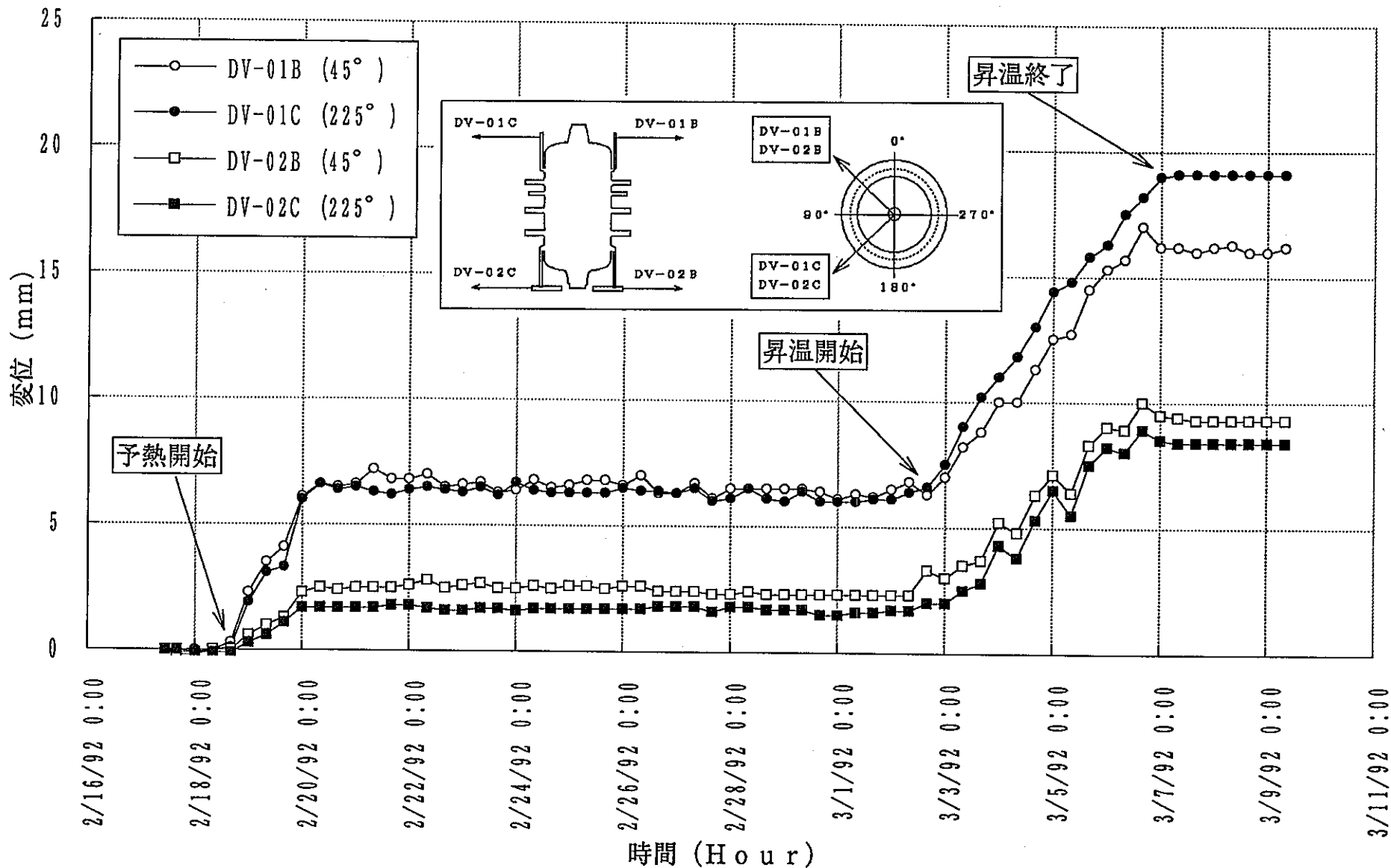


Fig. 4-106 溶接容器型モデル供試体 変位データ(1)

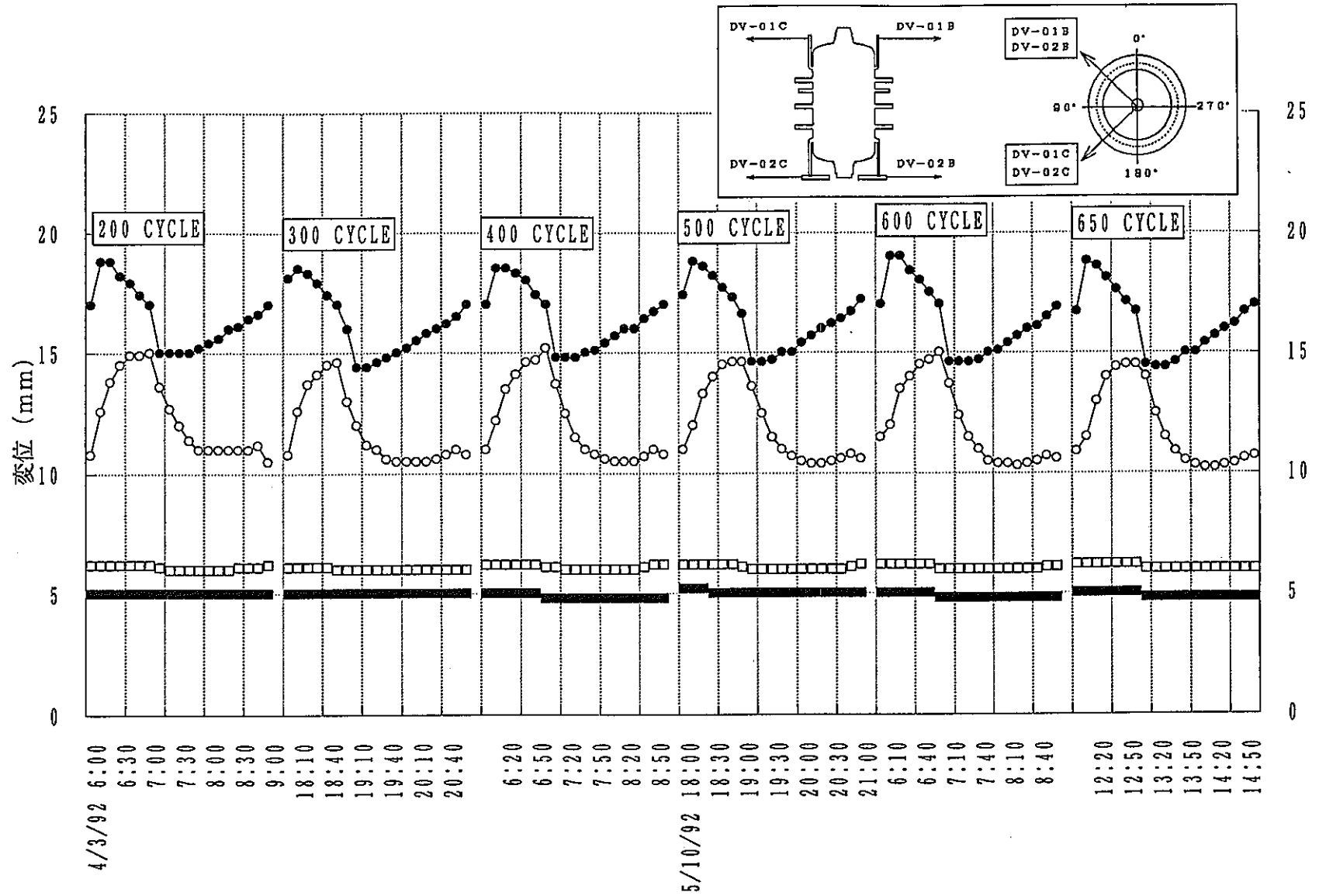


Fig. 4-107 溶接容器型モデル供試体 変位データ(2)

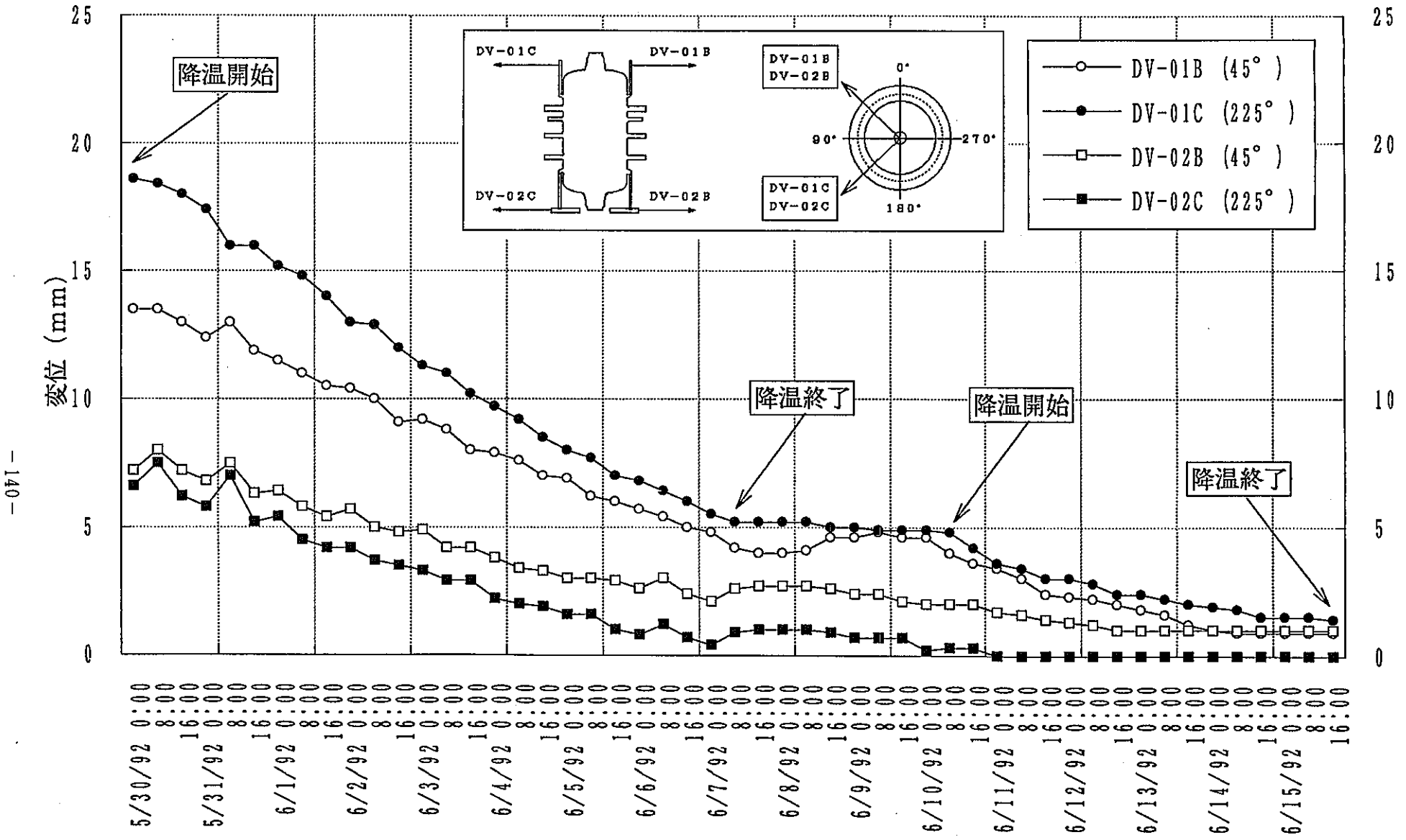


Fig. 4-108 溶接容器型モデル供試体 変位データ(3)