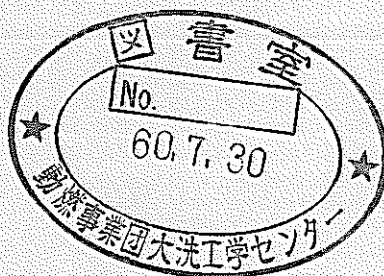


区分変更	
変更後資料番号	〃
決裁年月日	平成 13 年 7 月 31 日

「もんじゅ」一次主循環ポンプ(モックアップ)の試験(XⅢ)

低液位・無シールガス運転試験(2)



1985年5月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
	N941 85-79
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)



「もんじゅ」一次主循環ポンプ(モックアップ)の試験(XⅢ)

低液位・無シールガス運転試験(2)

小池 茂*, 藤川 俊美*, 広瀬 文隆*,
松本 精夫*, 中本香一郎*

要 旨

「もんじゅ」一次主循環ポンプ(モックアップ)について、ナトリウム中静圧軸受の交換及び低液位対流防止板装着後、ポンプ内の最低液位(ESL)試験及び軸封無シールガス試験を実施し、以下の知見を得た。

- (1) ポンプ内の最低液位での運転、最低液位での無シールガス運転及び通常液位での無シールガス運転を実施し、一次系配管破損時及び格納容器隔離時におけるポンプの健全性が確認できた。
- (2) 最低液位での運転で、アウターケーシング及びインナーケーシング周方向温度差が最大となる時間、安定するまでに要する時間及びその位置を確認した。
- (3) アウターケーシング及びインナーケーシングの周方向最大温度差は、時間とともに増大し、液位が低下するほど大きく、かつ温度差が最大となるまでの時間も早くなることが判った。
- (4) 最低液位での運転で確認したアウターケーシングの最大変位量は、ポンプの許容変位量以下であり、運転上問題とならない。
- (5) 低液位対流防止板を装着した方が、アウターケーシング及びインナーケーシング周方向温度差が最大となる時間が長くなり、かつアウターケーシング変位量もゆっくり増加するなど、ケーシング変形が緩和され低液位対流防止板の装着は有効である。
- (6) 最低液位の状態でポンプモータを停止し、また、再起動したところ、問題なく立ち上げられることを確認した。

* 大洗工学センター機器構造開発部高速増殖炉機器開発室



MONJU Primary Prototype Pump Test

Shigeru Koike*, Toshimi Fujikawa*,
Fumitaka Hirose*, Seio Matsumoto*
and Koichiro Nakamoto*

Abstract

In-sodium test was carried out for MONJU primary prototype pump, having a new hydrostatic bearing and convection suppressing fin. The test parameters were sodium level in the pump and flow of the seal gas. The test results are summarized as follows.

- (1) The pump operated satisfactorily on each condition of low sodium level with and without seal gas and normal sodium level without seal gas. This shows the pump has the soundness even in the cases of primary piping broken and the seal gas stopped.
- (2) It was obtained from the low sodium level test that each time of radial temperature difference for both inner and outer casings was its maximum and stable respectively.
- (3) It was approved that the maximum radial temperature differences for both inner and outer casings were increased with the time passing and sodium level falling, and also approved that the time which the temperature differences became their maximum were short with sodium level falling.
- (4) Maximum displacement of outer casing was smaller than the approved value at the lowest sodium level test, so it seems there is no problem on the real pump operation.
- (5) The test showed that convection suppressing fin was useful why the displacement of the casings were suppressed, because the times of the maximum radial temperature differences of the casings were late and

* FBR Components Development Section Systems and Components Division O-arai Engineering Center.

displacement of outer casing was increased slowly.

- (6) It was approved that the pony motor of the pump was stopped and started again satisfactorily at the lowest sodium level.

目 次

1. 緒 言	1
2. 試験装置	3
2.1 大型ポンプ試験装置	3
2.2 モックアップポンプの構造及び仕様	3
3. 試験方法	5
3.1 試験条件	5
3.2 測定項目	6
3.3 計測方法	6
4. 試験結果	8
4.1 低液位運転試験	8
4.1.1 低液位試験 (−770mm)	8
4.1.2 " (−1300mm)	9
4.1.3 " (−2270mm)	10
4.1.4 " (−2700mm)	11
4.2 低液位・無シールガス運転試験	12
4.2.1 低液位 (−2700mm)・無シールガス試験	12
4.3 無シールガス運転試験	14
4.3.1 通常液位・無シールガス試験	14
5. 考 察	16
5.1 低液位試験 (−770mm〜−2700mm)	16
5.2 低液位 (−2700mm)・無シールガス試験	21
5.3 通常液位無シールガス試験	21
6. 結 言	23
7. 謝 辞	25
8. 参考文献	26

List of Tables

Table 2-1	Specification of Pump and Drive Motor	27
	駆動電動機的主要仕様	
Table 3-1	Positions of Thermocouples on Casing	28
	ポンプケーシング温度計測点一覧表	
Table 4-1	Variation Rate of Casing Temperatures on Low Sodium Level Test (-770mm)	29
	低液位試験(-770mm)ケーシング温度変化率	
Table 4-2	Variation Rate of Casing Temperatures on Low Sodium Level Test (-1300mm)	30
	低液位試験(-1300mm)ケーシング温度変化率	
Table 4-3	Variation Rate of Casing Temperatures on Low Sodium Level Test (-2270mm)	31
	低液位試験(-2270mm)ケーシング温度変化率	
Table 4-4	Variation Rate of Casing Temperatures on Low Sodium Level Test (-2700mm:EsL)	32
	低液位試験(-2700mm:EsL)ケーシング温度変化率	
Table 4-5	Variation Rate of Casing Temperatures on Low Sodium Level Test without Seal Gas (-2700mm)	33
	低液位試験(-2700mm)・無シールガス試験のケーシング温度変化率	

List of Figures

Fig. 2-1	Flow Diagram of Sodium Pump Test Loop	34
	大型ナトリウムポンプ試験装置系統図	
Fig. 2-2	Whole Cross Section of MONJU Primary Proto- type Pump	35
	「もんじゅ」1次主循環ポンプ(モックアップ)構造断面図	
Fig. 2-3	Flow Diagram of the Shaft Sealing	36
	モックアップ軸封系統図	
Fig. 3-1	Data Processing System by Mini-computer Systems 45	37
	ミニコンピュータシステム45データ収録方法	
Fig. 3-2	Electric Power Measuring System of Driving Motor	38
	駆動用電動機の電力計測方法	
Fig. 3-3	Systematic Composition of Mini-computer NOVA3	39
	ミニコンピュータNOVA3のシステム構成	
Fig. 3-4	Thermocouple Positions in the Pump	40
	ポンプケーシング熱電対取付位置図	
Fig. 3-5	Composition of Displacement Meter for Outer- casing	41
	アウターケーシング変位計機器構成	
Fig. 3-6	Setting of Displacement Meter	42
	変位計取付図	
Fig. 3-7	On-line Data Processing System	43
	オンラインデータ分散処理システム構成	
Fig. 4-1	Temperature Variation on Outer-casing for Low Sodium Level Test (-770mm)	44
	低液位試験(-770mm)アウターケーシング温度変化	

Fig. 4-2	Temperature Variation on Inner-casing for Low Sodium Level Test (-770mm)	45
	低液位試験(-770mm)インナーケーシング温度変化	
Fig. 4-3	Radial Temperature Distribution on Outer- casing for Low Sodium Level Test (-770mm) ...	46
	低液位試験(-770mm)アウターケーシング周方向温度分布	
Fig. 4-4	Radial Temperature Distribution on Inner- casing for Low Sodium Level Test (-770mm) ...	47
	低液位試験(-770mm)インナーケーシング周方向温度分布	
Fig. 4-5	Maximum and Minimum Radial Temperatures on Casing at the Start of Low Sodium Level Test (-770mm)	48
	低液位試験(-770mm)開始時のケーシング周方向最大, 最小 温度	
Fig. 4-6	Radial Temperature Difference on Casing at the Start of Low Sodium Level Test (-770mm) .	49
	低液位試験(-770mm)開始時のケーシング周方向温度差	
Fig. 4-7	Maximum and Minimum Radial Temperatures on Casing for Low Sodium Level Test (-770mm) (at the Peak)	50
	低液位試験(-770mm)ケーシング周方向最大, 最小温度 (ピーク時)	
Fig. 4-8	Radial Temperature Difference on Casing for Low Sodium Level Test (-770mm) (at the Peak)	51
	低液位試験(-770mm)ケーシング周方向温度差(ピーク時)	
Fig. 4-9	Maximum and Minimum Radial Temperatures on Casing at the Finish of Low Sodium Level Test (-770mm)	52
	低液位試験(-770mm)終了時のケーシング周方向最大, 最小 温度	

Fig. 4-10	Radial Temperature Difference on Casing at the Finish of Low Sodium Level Test (-770mm)	53
	低液位試験(-770mm)終了時のケーシング周方向温度差	
Fig. 4-11	Variation of Outer-casing Displacement for Low Sodium Level Test (-770mm)	54
	低液位試験(-770mm)アウターケーシング変位変化	
Fig. 4-12	Temperature Variation on Outer-casing for Low Sodium Level Test (-1300mm)	55
	低液位試験(-1300mm)アウターケーシング温度変化	
Fig. 4-13	Temperature Variation on Inner-casing for Low Sodium Level Test (-1300mm)	56
	低液位試験(-1300mm)インナーケーシング温度変化	
Fig. 4-14	Radial Temperature Distribution on Outer-casing for Low Sodium Level Test (-1300mm) ..	57
	低液位試験(-1300mm)アウターケーシング周方向温度分布	
Fig. 4-15	Radial Temperature Distribution on Inner-casing for Low Sodium Level Test (-1300mm) ..	58
	低液位試験(-1300mm)インナーケーシング周方向温度分布	
Fig. 4-16	Maximum and Minimum Radial Temperatures on Casing at the Start of Low Sodium Level Test (-1300mm)	59
	低液位試験(-1300mm)開始時のケーシング周方向最大, 最小温度	
Fig. 4-17	Radial Temperature Difference on Casing at the Start of Low Sodium Level Test (-1300mm)	60
	低液位試験(-1300mm)開始時のケーシング周方向温度差	
Fig. 4-18	Maximum and Minimum Radial Temperatures on Casing for Low Sodium Level Test (-1300mm) (at the Peak)	61
	低液位試験(-1300mm)ケーシング周方向最大, 最小温度 (ピーク時)	

Fig. 4-19	Radial Temperature Difference on Casing for Low Sodium Level Test (-1300mm) (at the Peak)	62
	低液位試験(-300mm)ケーシング周方向温度差(ピーク時)	
Fig. 4-20	Maximum and Minimum Radial Temperatures on Casing at the Finish for Low Sodium Level Test (-1300mm)	63
	低液位試験(-300mm)終了時のケーシング周方向最大, 最小 温度	
Fig. 4-21	Radial Temperature Difference on Casing at the Finish of Low Sodium Level Test (-1300mm)	64
	低液位試験(-300mm)終了時のケーシング周方向温度差	
Fig. 4-22	Variation of Outer-casing Displacement for Low Sodium Level Test (-1300mm)	65
	低液位試験(-300mm)アウターケーシング変位変化	
Fig. 4-23	Temperature Variation on Outer-casing for Low Sodium Level Test (-2270mm)	66
	低液位試験(-2270mm)アウターケーシング温度変化	
Fig. 4-24	Temperature Variation on Inner-casing for Low Sodium Level Test (-2270mm)	67
	低液位試験(-2270mm)インナーケーシング温度変化	
Fig. 4-25	Radial Temperature Distribution on Outer- casing for Low Sodium Level Test (-2270mm) ..	68
	低液位試験(-2270mm)アウターケーシング周方向温度分布	
Fig. 4-26	Radial Temperature Distribution on Inner- casing for Low Sodium Level Test (-2270mm) ..	69
	低液位試験(-2270mm)インナーケーシング周方向温度分布	
Fig. 4-27	Maximum and Minimum Radial Temperatures on Casing at the Start of Low Sodium Level Test (-2270mm)	70
	低液位試験(-2270mm)開始時のケーシング周方向最大, 最小 温度	

- Fig. 4-28 Radial Temperature Difference on Casing at the Start of Low Sodium Level Test (-2270mm). 71
低液位試験(-2270mm)開始時のケーシング周方向温度差
- Fig. 4-29 Maximum and Minimum Radial Temperatures on Casing for Low Sodium Level Test (-2270mm) (at the Peak) 72
低液位試験(-2270mm)ケーシング周方向最大、最小温度
(ピーク時)
- Fig. 4-30 Radial Temperature Difference on Casing for Low Sodium Level Test (-2270mm) (at the Peak) 73
低液位試験(-2270mm)ケーシング周方向温度差(ピーク時)
- Fig. 4-31 Maximum and Minimum Radial Temperatures on Casing at the Finish of Low Sodium Level Test (-2270mm) 74
低液位試験(-2270mm)終了時のケーシング周方向最大、最小温度
- Fig. 4-32 Radial Temperature Difference on Casing at the Finish of Low Sodium Level Test (-2270mm) 75
低液位試験(-2270mm)終了時のケーシング周方向温度差
- Fig. 4-33 Variation of Outer-casing Displacement for Low Sodium Level Test (-2270mm) 76
低液位試験(-2270mm)アウターケーシング変位変化
- Fig. 4-34 Temperature Variation on Outer-casing for Low Sodium Level Test (-2700mm) (1/3, 2/3, 3/3) 77
低液位試験(-2700mm)アウターケーシング温度変化
(1/3, 2/3, 3/3)
- Fig. 4-35 Temperature Variation on Inner-casing for Low Sodium Level Test (-2700mm) (1/3, 2/3, 3/3) 80
低液位試験(-2700mm)インナーケーシング温度変化
(1/3, 2/3, 3/3)

- Fig. 4-36 Radial Temperature Distribution on Outer-casing for Low Sodium Level Test (-2700mm) (1/5, 2/5, 3/5, 4/5, 5/5) 83
低液位試験(-2700mm)アウターケーシング周方向温度分布
(1/5, 2/5, 3/5, 4/5, 5/5)
- Fig. 4-37 Radial Temperature Distribution on Inner-casing for Low Sodium Level Test (-2700mm) (1/5, 2/5, 3/5, 4/5, 5/5) 88
低液位試験(-2700mm)インナーケーシング周方向温度分布
(1/5, 2/5, 3/5, 4/5, 5/5)
- Fig. 4-38 Maximum and Minimum Temperatures on Casing at the Start of Low Sodium Level Test (-2700mm) 93
低液位試験(-2700mm)開始時のケーシング最大, 最小温度
- Fig. 4-39 Temperature Difference on Casing at the Start of Low Sodium Level Test (-2700mm) 94
低液位試験(-2700mm)開始時のケーシング温度差
- Fig. 4-40 Maximum and Minimum Temperatures on Casing for Low Sodium Level Test (-2700mm) (at the Peak) 95
低液位試験(-2700mm)ケーシング最大, 最小温度
(ピーク時)
- Fig. 4-41 Maximum Temperature Difference on Casing for Low Sodium Level Test (-2700mm) (at the Peak). 96
低液位試験(-2700mm)ケーシング最大温度差(ピーク時)
- Fig. 4-42 Maximum and Minimum Temperatures on Casing at the Finish of Low Sodium Level Test (-2700mm) 97
低液位試験(-2700mm)終了時のケーシング最大, 最小温度

Fig. 4-43	Temperature Difference on Casing on Low Sodium Level at the Finish of Low Sodium Level Test (-2700mm)	98
	低液位試験(-2700mm)終了時点のポンプケーシング温度差	
Fig. 4-44	Variation of Outer-casing Displacement for Low Sodium Level Test (-2700mm)	99
	低液位試験(-2700mm)アウターケーシング変位変化	
Fig. 4-45	Variation of Outer-casing Displacement for Low Sodium Level Test (-2700mm)	100
	低液位試験(-2700mm)アウターケーシング変位変化	
Fig. 4-46	Maximum Outer-casing Displacement for Low Sodium Level Test (-2700mm) (at the Peak)....	101
	低液位試験(-2700mm)アウターケーシング最大変位 (ピーク時)	
Fig. 4-47	Outer-casing Displacement at the finish of Low Sodium Level Test (-2700mm)	102
	低液位試験(-2700mm)終了時アウターケーシング変位	
Fig. 4-48	Temperature Variation on Outer-casing for Low Sodium Level Test without Seal Gas (-2700mm) (1/3, 2/3, 3/3)	103
	低液位(-2700mm)・無シールガス試験アウターケーシング温度変化 (1/3, 2/3, 3/3)	
Fig. 4-49	Temperature Variation on Inner-casing for Low Sodium Level Test without Seal Gas (-2700mm) (1/3, 2/3, 3/3)	106
	低液位(-2700mm)・無シールガス試験インナーケーシング温度変化 (1/3, 2/3, 3/3)	
Fig. 4-50	Radial Temperature Distribution on Outer-casing for Low Sodium Level Test without Seal Gas (-2700mm) (1/5, 2/5, 3/5, 4/5, 5/5).....	109
	低液位(-2700mm)・無シールガス試験アウターケーシング周方向 温度分布(1/5, 2/5, 3/5, 4/5, 5/5)	

- Fig. 4-51 Radial Temperature Distribution on Inner-casing for Low Sodium Level Test without Seal Gas (-2700mm) (1/5, 2/5, 3/5, 4/5, 5/5) 114
低液位(-2700mm)・無シールガス試験インナーケーシング周方向
温度分布(1/5, 2/5, 3/5, 4/5, 5/5)
- Fig. 4-52 Maximum and Minimum Temperatures on Casing at the Start of Low Sodium Level Test without Seal Gas (-2700mm) 119
低液位(-2700mm)・無シールガス試験開始時ケーシング最大,
最小温度
- Fig. 4-53 Temperature Difference on Casing at the Start of Low Sodium Level Test without Seal Gas (-2700mm) 120
低液位(-2700mm)・無シールガス試験開始時ケーシング
温度差
- Fig. 4-54 Maximum and Minimum Temperatures on Casing for Low Sodium Level Test without Seal Gas (-2700mm) (at the Peak) 121
低液位(-2700mm)・無シールガス試験ケーシング最大, 最小温度
(ピーク時)
- Fig. 4-55 Maximum Temperature Difference on Casing for Low Sodium Level Test without Seal Gas (-2700mm) (at the Peak) 122
低液位(-2700mm)・無シールガス試験ケーシング最大温度差
(ピーク時)
- Fig. 4-56 Maximum and Minimum Temperatures on Casing at the finish of Low Sodium Level Test without Seal Gas (-2700mm) 123
低液位(-2700mm)・無シールガス試験終了時ケーシング最大,
最小温度

- Fig. 4-57 Temperature Difference on Casing at the finish of Low Sodium Level Test without Seal Gas (-2700mm) 124
低液位(-2700mm)・無シールガス試験終了時ケーシング温度差
- Fig. 4-58 Variation of Outer-casing Displacement for Low Sodium Level Test without Seal Gas (-2700mm) 125
低液位(-2700mm)・無シールガス試験アウターケーシング変位変化
- Fig. 4-59 Temperature Variation on Outer-casing for Normal Sodium Level Test without Seal Gas (1/3, 2/3, 3/3) 126
通常液位・無シールガス試験アウターケーシング温度変化
(1/3, 2/3, 3/3)
- Fig. 4-60 Temperature Variation on Inner-casing for Normal Sodium Level Test without Seal Gas (1/3, 2/3, 3/3) 129
通常液位・無シールガス試験インナーケーシング温度変化
(1/3, 2/3, 3/3)
- Fig. 4-61 Radial Temperature Distribution on Outer-casing for Normal Sodium Level Test without Seal Gas (1/3, 2/3, 3/3) 132
通常液位・無シールガス試験アウターケーシング周方向温度分布
(1/3, 2/3, 3/3)
- Fig. 4-62 Radial Temperature Distribution on Inner-casing for Normal Sodium Level Test without Seal Gas (1/3, 2/3, 3/3) 135
通常液位・無シールガス試験インナーケーシング周方向温度分布
(1/3, 2/3, 3/3)

Fig. 4-63	Maximum and Minimum Temperatures on Casing at the Start of Normal Sodium Level Test without Seal Gas	138
	通常液位・無シールガス試験開始時ケーシング最大, 最小温度	
Fig. 4-64	Temperature Difference on Casing at the Start of Normal Sodium Level Test without Seal Gas	139
	通常液位・無シールガス試験開始時ケーシング温度差	
Fig. 4-65	Maximum and Minimum Temperatures on Casing at the finish of Normal Sodium Level Test without Seal Gas	140
	通常液位・無シールガス試験・終了時ケーシング最大, 最小温度	
Fig. 4-66	Temperature Difference on Casing for Normal Sodium Level Test without Seal Gas	141
	通常液位・無シールガス試験終了時ケーシング温度差	
Fig. 4-67	Variation of Outer-casing Displacement for Normal Sodium Level Test without Seal Gas ..	142
	通常液位・無シールガス試験アウターケーシング変位変化	
Fig. 5-1	Temperature Distribution on Outer-casing (8.OF at the Maximum Temperature Difference).	143
	アウターケーシング温度分布 (8.OF 温度差最大時)	
Fig. 5-2	Temperature Distribution on Inner-casing (at 8.OF Maximum Temperature Difference)	144
	インナーケーシング温度分布 (8.OF 温度差最大時)	
Fig. 5-3	Variations of Outer-casing Displacement and 8.OF Temperature Difference	145
	アウターケーシング変位及び8.OF 温度差の変化	
Fig. 5-4	Variations of R-DO, CAG and 4.OF on Outer- casing	146
	アウターケーシング R. DO, CAG, 4.OF 温度差の変化	

Fig. 5-5	Temperature Distribution on Outer-casing (at R-DO Maximum Temperature Difference) ... 147	アウターケーシング温度分布 (R. DO温度差最大時)
Fig. 5-6	Temperature Distribution on Inner-casing (at R-DO Maximum Temperature Difference) ... 148	インナーケーシング温度分布 (R. DO温度差最大時)
Fig. 5-7	Variation of Outer Casing Displacement on Low Sodium Level Test without Seal Gas (-2700mm) 149	低液位 (-2700mm) ・無シールガス試験アウターケーシング 変位変化
Fig. 5-8	Variations of Radial Temperature Difference on Outer-casing before and after Improve- ment 150	ポンプ改造前及び改造後のアウターケーシング 8.OF 周方向温度差 の変化
Fig. 5-9	Comparison of 8.OF Maximum Temperature Differences on Outer-casing before and after Improvement 151	ポンプ改造前/後のアウターケーシング 8.OF 最大温度差の比較
Fig. 5-10	Comparison of Appeared Time of 8.OF Maximum Temperature Differences on Outer-casing before and after Improvement 152	ポンプ改造前/後のアウターケーシング 8.OF 最大温度差発生 時間の比較
Fig. 5-11	Comparison of Variations of Outer-casing Displacement before and after Improvement .. 153	ポンプ改造前及び改造後のアウターケーシング変位変化の比較
Fig. 5-12	Comparison of Radial Temperature Distribu- tions on Outer-casing before and after Improvement 154	ポンプ改造前及び改造後のアウターケーシング周方向温度分布の 比較

Fig. 5-13	Comparison of Radial Temperature Distributions on Inner-casing before and after Improvement	155
	ポンプ改造前及び改造後のインナーケーシング周方向温度分布の比較	
Fig. 5-14	Comparison of Temperature Distributions on Outer-casing before and after Improvement (at 8.OF Maximum)	156
	ポンプ改造前及び改造後のアウターケーシング温度分布の比較 (8.OF 最大時)	
Fig. 5-15	Comparison of Temperature Distributions on Inner-casing before and after Improvement (at 8.OF Maximum)	157
	ポンプ改造前及び改造後のインナーケーシング温度分布の比較 (8.OF 最大時)	

1. 緒 言

「もんじゅ」一次主循環ポンプ用試験ポンプ（以下、モックアップポンプと称す）の大型ポンプ試験装置が、1977年（昭和52年）6月に大洗工学センター・ナトリウム機器構造試験室（現高速増殖炉機器開発室）に設置され、ナトリウム中試験が開始された。しかし、試験開始後、間もなくナトリウム自由液面上部のインナーケーシングとアウターケーシングにより形成される不活性ガス二重円筒アニュラス空間部で、温度差に起因した自然対流が発生し、ケーシングが変形してナトリウム中のベアリングが固着⁽¹⁾した。このため第1回目のインナーケーシングの引き抜き、分解及び改造が実施され、生体遮蔽体及び熱遮蔽板に短冊バッフル状の自然対流防止板（以下、高液位対流防止板と称す）の装着と、ベアリングスリーブに対して面圧が増加するようなベアリングブッシュに改良された。以後、1978年1月末日からナトリウム中試験が再開され、1981年12月のループ計画停止まで耐久試験を主体に性能試験、起動・停止試験、コストダウン試験、低温運転試験及び低速駆動装置性能試験が実施され、ポンプの運転手法及び健全性の確認が実証されてきた。

このナトリウム試験中に、高液位対流防止板の効果を、実機ポンプの緊急スクラム時の崩壊熱除去運転時にも反映することになり、このため本モードの運転に必要な低速回転駆動装置（ポニーモータ）が1980年10月に設置された。緊急スクラムモードのポンプ内最低液位（EsL）の運転試験に先立ち、上記ポニーモータと第1回目の改造で改良したモックアップポンプを用いて、ナトリウム液位降下時のポンプ特性及び問題点摘出のため、1982年12月のループ計画停止まで低液位予備試験が実施された。この予備試験はナトリウム液位を軸受上端+530mmまで下げて実施された。この予備試験を低液位運転試験1⁽²⁾と題し、既に報告されている。

「もんじゅ」の実機ポンプは、原子炉の通常、緊急スクラム時の崩壊熱除去運転時の熱輸送システム駆動源にもなっている。このうち、緊急スクラムは事故事象によりプラントを安全に停止させるものであるが、数ある事故事象の中に一次系配管破損によるスクラムがあり、この事故事象により原子炉内のナトリウムが低下した場合、ポンプ内のナトリウム液位も低下する。この結果、ポンプ内の不活性ガス空間が増大し、インナーケーシングとアウターケーシングにより形成される二重円筒アニュラス空間部で温度差に起因した自然対流が発生し、非軸対称な温度分布を形成してケーシングが変形する恐れが予想された。

一方、原子炉容器内のナトリウム液位が炉内の最低液位（EsL）に達した場合、ポンプ内の最低液位（EsL）が現状のベアリングスリーブ及びベアリングブッシュ（以下、静圧軸受という）まわりの構造では更に低下し、ナトリウム中の静圧軸受が露出するような状態が予想された。これらはナトリウム中に静圧軸受を使用する長軸型自然液面式循環ポンプにとって最も厳しいものと考えられる。この2つの対策は部分モデル実験により良好な対策案を本モックアップポンプに採用して、ナトリウム中で「もんじゅ」プラントの運転モードで計画されている一次系配管破損時の崩壊熱除去運転を模擬して運転することにより、実機ポンプの健全性を確認する必要がある。

そこで、前者の対策案に対しては、ナトリウム自由液面下部のインナーケーシングとアウターケーシングにより形成される二重円筒アニュラス空間部に、リング状（円板状）の自然対流防止板（以下、低液位対流防止板と称す）を装着する。後者に対しては、オーバーフロー量（液位の立上がり）を増加させることにより対処するため、戻り穴のないベアリングスリーブに交換し、かつオーバーフロー量削減対策として設置された絞り板を撤去することになり、1983年3月から第2回目のインナーケーシングの引き抜き、洗浄、分解及び改造⁽³⁾が実施された。

この改造後のモックアップポンプに、製作当初実流量の約 $\frac{1}{4}$ に抑制された特殊インペラを装着して、1983年9月に交換した静圧軸受の初期の流力特性の確認としてメーカ工場で水中試験を実施し、同年11月に大型ポンプ試験装置でナトリウム中の試運転が実施された。これらの水中及びナトリウム中の試運転では、ポンプのQ-H特性、ポンプ効率、軸動力及びオーバーフロー流量を測定し、ナトリウム中では更に通常液位でのケーシング温度分布を測定して、ポンプの運転性能及び健全性が確認された。これらの試験結果については既報⁽³⁾で報告されているので参照されたい。

以後、1984年12月のループ計画停止まで、「もんじゅ」プラントの一次系配管破損を模擬したポンプ内最低液位（EsL）の運転試験及び格納容器の隔離時を想定した最低液位での軸封無シールガス運転試験ならびに通常液位での軸封無シールガス運転試験を実施し、ポンプの運転性能や健全性を確認した。

本報告書は、第2回目に改良したモックアップポンプによる上記試験を“低液位・無シールガス運転試験(2)”と題し、まとめたものであり、改良前に実施した低液位運転試験(1)を通して、本報告書が最終報告となるものである。

2. 試 験 装 置

2.1 大型ポンプ試験装置

大型ポンプ試験装置は主循環系、低液位ナトリウム循環系、カバーガス系、ドレン系、ナトリウム注入系及び供給系より構成される。主循環系の主配管は「常陽」一次系モックアップの実流量($21\text{ m}^3/\text{min} \times 12^{\text{B}} \times \text{N}_2$ ガス予熱)の配管系を流用したので、「もんじゅ」実機プラントの実流量を循環するだけの配管系を有していない。しかし配管系の途中には、「もんじゅ」の一次冷却系相当の圧損が得られ、ポンプの運転に必要なオリフィス、流量調節弁(V9-1)及び冷却器等が設置されている。このため、モックアップポンプ本体は軸長、軸径等基本的には「もんじゅ」実機ポンプの寸法及び性能を満足する実寸大モデルとして設計製作されている。しかし、ポンプスピードを定格回転数(850 rpm)で、ナトリウム中試験を実施できるような特殊インペラが設計、製作されモックアップポンプに装着された。

「ナトリウム供給系は、起動時に主循環系へナトリウムを供給する他、モックアップポンプ運転時はオーバフローしたナトリウムを受け入れ、実機オーバフローコラムの機能をもたせた自由液面型の加熱器が設置されている。

また、ナトリウム注入系は、ポンプ低速運転時のナトリウム温度の維持をする他、ポンプ内のナトリウム液位低下時に自由液面型の加熱器を隔離して、無液面型加熱器に切換えてナトリウム温度を維持する低液位ナトリウム循環系が設置されている。

大型ポンプ試験装置の系統図をFig. 2-1に示す。

2.2 モックアップポンプの構造及び仕様

モックアップポンプは堅型自由液面式遠心ポンプ(ハラム型)であり、インペラ、ディフューザ、回転軸、静圧軸受、軸封機構、 r 線生体遮蔽体、熱遮蔽板、液面計、ケーシング及びリークジャケット等から構成されている。

ポンプは駆動モータにより駆動される回転軸の先端にインペラ(羽根)が装着され、堅型のケーシング(胴内)に納められている。ケーシングはインナーケーシングとアウターケーシングより形成される二重円筒構造であり、ケーシング内にはナトリウム自由液面が設けてある。ナトリウム自由液面上部は不活性ガス(アルゴンガス)で覆われており、このアルゴンガスが回転軸に添ってポンプ外に漏れ出すことを防止するため、ポンプ上部軸封部に軸封機構(メカニカルシール)が設けられている。メカニカルシールにはプレッシャーユニットから $2 \sim 3\text{ kg/cm}^2\text{g}$ の油が供給され、アルゴンガスが外に漏洩しないように外気と遮断されている。また、ケーシングには予熱や運転中の温度及び変位の監視のため、熱電対と変位計が取付けられている。アウターケーシングの外側にはポンプの予熱(N_2 ガス予熱)及びナトリウム漏洩受けを兼ねたリークジャケットが設けてあり、メンテナンス時には配管に接続されたアウターケーシングとリークジャケット

を残してインナーケーシングのみを引き抜くことができる。

冷却器出口側からモックアップポンプに流れてきたナトリウムは、アウターケーシング下部よりポンプに入りインペラによって加圧され、ディフューザを通り高圧室に入り吐出口より流出する。高圧ナトリウムの一部はポンプ本体下部のナトリウム中静圧軸受に供給される。静圧軸受から流出したナトリウムは、ポンプ内液位を一定に保つために設けられたオーバフローノズルより流出する。ナトリウム自由液面上部はアルゴンガスで覆われ、このアルゴンガスと外気とは軸封機構でシールされている。ポンプ上部にはリジットカップリングを介して駆動用電動機（主モータ 550 kW）が取付けられている。通常運転時のポンプの流量は主モータ（サイリスタモータ）の回転数制御により行われ、回転数制御範囲は約 10～100% 可変である。

「もんじゅ」実機プラントの運転モードを模擬してポンプ駆動電源を喪失させるとポンプ回転数は慣性降下し、過渡時の冷却を行うモードになる。主モータ上部にはオーバーランニングクラッチ及び減速機ギヤを介して低速駆動装置（ポニーモータ 22 kW）がある。ポニーモータは実機では非常用電源でも運転され、事故時に健全ループの流量を確保する。本ポンプは事故時、例えば一次系配管破損時に原子炉容器内のナトリウム液位が炉内の最低液位（EsL）に低下した状態でも健全ループをポニーモータで循環する必要があることや、ポンプ内の一次ナトリウムから放射能を遮蔽する必要があること等から長軸のポンプとなる。ポンプの大きさ（ケーシング）は直径が約 1.6 m、高さは上部フランジ（フロアレベル）まで約 7.8 m、可動部を含むと高さは約 16.7 m にもなり、このポンプで約 397℃ のナトリウムを約 1 時間に約 1260 m³ 循環させるモックアップポンプである。

モックアップポンプはケーシング、軸長及び軸径等基本的には「もんじゅ」実機ポンプと同一仕様で、ほぼ実寸大モデルのポンプである。また、1977年6月のナトリウム中試験運転開始後間もなく、ケーシングが熱変形を起こし、ナトリウム中静圧軸受が固着⁽¹⁾したため、固定側の静圧軸受の交換及びナトリウム自由液面上部不活性ガス二重円筒アニュラス空間部の生体遮蔽体ならびに熱遮蔽板に短冊バツフル状の高液位対流防止板が装着された。更に、このポンプは1983年3月に計画停止後第2回目のインナーケーシングの引き抜き、分解及び改造⁽³⁾が実施され、ナトリウム自由液面下部のナトリウム中二重円筒アニュラス空間部にリング状（円板状）の低液位対流防止板の装着及び回転側の静圧軸受を交換する等、改良が加えられたポンプである。

モックアップポンプの構造断面図を Fig. 2-2、軸封シールガス系統図を Fig. 2-3、駆動電動機の主要仕様を Table 2-1 に示す。

3. 試 験 方 法

低液位・無シールガス運転試験(2)は、低液位対流防止板の装着、静圧軸受(回転側)の交換及び絞り板等を撤去し改良したポンプで、循環ナトリウム温度400℃での低液位運転試験、低液位・無シールガス運転試験及び循環ナトリウム温度250℃での無シールガス運転試験を実施した。以下にその方法を記す。

なお、改良の加えられたポンプでQ-H、ポンプ効率、オーバフロー量等、初期の性能確認としてメーカ工場において水中試験が実施され、大型ポンプ試験装置においてナトリウム中性能試験が実施されている。詳細については既報(3)で報告されているので参照されたい。

3.1 試験条件

(1) 低液位運転試験

循環ナトリウム温度400℃、ポンプ回転数850rpmの定格モード運転から、系統ドレン弁V9-13により主モータがトリップし、ポンプが慣性降下して主モータからポニーモータに切換え(回転数850→85.7rpm、ナトリウム温度：自然放冷400→200℃、ただし静圧軸受上端+100mmの低液位試験については実機プラントを想定して15℃/hの温度変化とする)した後、低液位モード運転(10%回転、ナトリウム温度200℃)を行う。ポンプ内の液位は通常液位に対して-770mm、-1300mm、-2270mm、-2700mm(静圧軸受上端からそれぞれ2030mm、1500mm、530mm、100mm)の4段階について実施し、ケーシングの温度分布及びアウターケーシングの変位量を計測する。なお、ポンプ内最低液位(EsL)の試験は-2700mmである。

- (a) ナトリウム温度 400℃→200℃
- (b) ポンプ回転数 85.7rpm(ポニーモータ運転)
- (c) カバーガス圧力 100mmAq
- (d) 軸封ガス流量 2.0ℓ/min

(2) 低液位・無シールガス運転試験

循環ナトリウム温度400℃、ポンプ回転数850rpmの定格モード運転から軸封シールガスを停止し、系統ドレン弁V9-13により主モータがトリップし、慣性降下してモータからポニーモータに切換え(回転数850→85.7rpm、ナトリウム温度：400℃→180℃、15℃/h)した後、低液位モード運転(静圧軸受上端+100mm、ポニーモータ運転、ナトリウム温度180℃)を行う。

- (a) ナトリウム温度 400℃→180℃(15℃/h)
- (b) ポンプ回転数 85.7rpm(ポニーモータ運転)
- (c) カバーガス圧力 100mmAq

(d) 軸封ガス流量 0 l/min

(3) 無シールガス運転試験

循環ナトリウム温度 400°C 、ポンプ回転数 850 rpm の定格モード運転から軸封シールガスを停止し、主モータを手動トリップで電源を切り、慣性降下して主モータからポニーモータに切換え（回転数 $850 \rightarrow 85.7 \text{ rpm}$ 、ナトリウム温度： $400 \rightarrow 250^\circ\text{C}$ 、 15°C/h ）した後、通常ナトリウム液位の低速モード運転（ポニーモータ運転、ナトリウム温度 250°C ）を行う。

3.2 測定項目

(a) 主循環流量	電磁流量計	(Fx 9-6)
(b) ポンプ入口圧力	NaK置換圧力計	(Px 9-2)
(c) ポンプ出口圧力	"	(Px 9-4)
(d) ポンプ入口温度	CA熱電対	(Tx 9-2)
(e) ポンプ回転数	ポンプ直結タコメータ	(Nx 9-1, 9-2)
(f) オーバフロー流量	電磁流量計	(Fx 9-2)
(g) カバーガス圧力	NaK置換圧力計	(Px 9-3)
(h) ポンプNaレベル	誘導式液面計	(Lx 9-11, 12)
(i) 加熱器Naレベル	"	(Lx 9-13)
(j) 軸封ガス流量	差圧式流量計	(FE 9-4)
(k) 駆動用電動機電力、電流		
(l) ポンプケーシング温度	CA熱電対	
(m) アウターケーシング変位	接触式ダイヤルゲージ	

3.3 計測方法

データの測定方法は、モックアップポンプ試験装置のデータ処理装置を使用した。このデータ処理装置は大別して、ポンプ運転特性のデータ処理装置とポンプケーシング温度及び変位監視のデータ処理装置から成る。

前者は、Fig. 3-1に示すようにデジタル小形多点温度記録計（YODAC-8）と、ミニコンピュータ（システム45）及びX-Yプロッターで構成され、システム45で必要な計算処理がなされた後、タイプアウトされた。駆動用電動機の電力及び電流測定はFig. 3-2に示すような方法で計測した。

後者は、Fig. 3-3に示すようにA/D変換機、ミニコンピュータNOVA3、X-Yプロッター等から構成され、Table 3-1及びFig. 3-4に示すポンプのケーシングの温度ならびにFig. 3-5、3-6に示すアウターケーシングの変位（DC信号）データをミニコンピュータNOVA3に入力し、必要な計算処理あるいは磁気テープにデータを記録した。Table 3-1

及びFig. 3-4に示す熱電対の取付点数ならびに取付位置は、ポンプ低液位試験時のアウターケーシングとインナーケーシングにより形成する二重円筒アニュラス空間部の温度分布を監視し、適確に把握する目的で、従来の通常液位に対して設定されていた熱電対取付位置を低液位運転用に変更し追加したものである。この熱電対の取付点数及び位置の根拠については、既報(3)に詳細に記述してあるので参照されたい。また、Fig. 3-5, 3-6に示すアウターケーシング変位置量の計測に関する詳細については、既報(1)に述べてあるので参照されたい。

これらのデータの再生には、Fig. 3-7に示すオンラインデータ分散処理システムを使用した。このシステムはA/D変換機、分散処理装置、ミニコンピュータYHP2197Aとオンライン装置の大型計算機M380及びレーザプリンタから構成される。このうちデータ再生はオンラインにより大型計算機で必要なデータが処理された後、レーザプリンターにタイプアウトされた。

なお、1984年9月にミニコンピュータNOVA3からミニコンピュータYHP2197Aにプログラムが変換され、ポンプケーシングの温度及びアウターケーシングの変位データを収録できるようになった。

4. 試験結果

4.1 低液位運転試験

4.1.1 低液位試験（-770mm）

循環ナトリウム温度400℃、定格モード運転（850rpm×通常液位）から、ポンプ内のナトリウム液位を約770mm低下させ、循環ナトリウム温度200℃までの自然冷却と、低速モード運転（ポニーモータ運転：85.7rpm×200℃）により、約71時間運転した時のポンプケーシングの温度分布及びケーシングの変位をFig. 4-1～4-11に示す。

Fig. 4-1, 4-2は試験開始から終了までのアウターケーシング及びインナーケーシングのそれぞれ軸方向、周方向各代表位置での温度変化であり、各軸方向位置での温度変化率をTable 4-1にまとめた。図より循環ナトリウム温度が400℃から自然冷却により200℃まで降温した時間は約40時間であり、温度変化率は5.0（℃/h）である。また、表より平均温度変化率はカバーガス領域で-0.063～-2.85（℃/h）、ナトリウム中で-2.9（℃/h）、最大は8^Bオーバフローノズル廻りで3.1（℃/h）となっている。

Fig. 4-3, 4-4にアウターケーシング及びインナーケーシングのそれぞれ軸方向各位置での周方向温度分布を示す。図よりアウターケーシング8.OF及びインナーケーシングL1（L1の計測位置はアウターケーシングの8.OFとほぼ同等）で、周方向AがB～Hより低く、時間の経過とともにその差が増大し、再び減少している。

アウターケーシング8.OF及びインナーケーシングL1以外の各位置で、ナトリウム自由液面上部カバーガス領域のケーシング周方向の温度分布については、低液位運転中も試験開始（通常液位時）と同じような傾向のばらつきを示し、かつ時間の経過とともに温度差が減少している。また、ナトリウム自由液面下部ナトリウム領域のケーシング周方向の温度分布は、試験開始時より変化が見られるが、時間の経過とともに減少しているのがわかる。一方、インナーケーシング軸方向の各位置での温度変化は、循環ナトリウム温度の降温とともに、循環ナトリウムに最も近いB.Hが早く温度降下を示し、次にL5～L1の順に現われる。循環ナトリウム温度が200℃保持（一定）に達した以降は、逆にB.Hが最も高く、次にL5～L1の順に低くなるのがわかる。

Fig. 4-5～4-10は、ケーシング軸方向の各位置で生じた周方向最大、最小温度及び温度差を示す。これによるとアウターケーシング及びインナーケーシングともに変化が見られた。図からも分かるように試験開始時のケーシング周方向最大温度差は、アウターケーシングのCAG（C-G方向）で18℃、インナーケーシングのR.CE（B-F方向）で18℃であったのが、時間の経過とともに減少しており、約71時間後の試験終了時には同一方向にそれぞれ7℃、9℃となった。一方、アウターケーシング8.OF及びインナーケーシングL1の位置では、試験開始時にそれぞれ7℃（C-E方向）、0℃（A～H）であった周方向の温度差が、

低液位運転試験の時間の経過とともに増大し、最大温度差（ピーク）を示したのが約15時間後であり、それぞれ48℃（A-C方向）、22℃（A-D方向）に変化している。また、ピーク後には再び減少し、約71時間後の試験終了時には、同一方向にそれぞれ15℃、2℃に変化した。

次にアウターケーシング変位変化をFig. 4-11に示す。図は変位のX、Y成分の時間変化を表わしており、X成分が正の方向に大きく移動しているのに対し、Y成分は正と負を小さくきみにゆっくりと移動している。試験開始71時間で $(X, Y) = (-0.91, -0.02 \text{ mm})$ となり、変位量は0.4mmであった。最大変位を示したのは、試験開始から数えて約32時間後であり、このとき変位量は0.51mmであった。この時間は循環ナトリウム温度200℃まで自然冷却した時間とほぼ一致するが、ケーシング周方向の最大温度差約48℃の生じた経過時間の約2倍である。

4.1.2 低液位試験（-1300mm）

循環ナトリウム温度400℃、定格モード運転（850rpm×通常液位）から、ポンプ内のナトリウム液位を約1300mm低下させ、循環ナトリウム温度200℃までの自然冷却と、低速モード運転（ポニーモータ運転：85.7rpm×200℃）により、約51時間運転後のポンプケーシングの温度分布及びケーシングの変位をFig. 4-12～4-22に示す。

Fig. 4-12, 4-13は試験開始から終了までのアウターケーシング及びインナーケーシングのそれぞれ軸方向、周方向各代表位置での温度変化であり、各軸方向位置での温度変化率をTable 4-2にまとめた。図より循環ナトリウム400℃が自然冷却により、200℃まで降温した時間は約34時間であり、温度変化率は5.9（℃/h）である。また、表より平均温度変化率はカバーガス領域で-0.025～-3.4（℃/h）、ナトリウム中で-3.97（℃/h）、最大は8.0F廻りで-4.3（℃/h）となっている。

Fig. 4-14, 4-15にアウターケーシング及びインナーケーシングのそれぞれ軸方向各位置での周方向温度分布を示す。図より前項4.1.1項の試験結果と同様にアウターケーシング8.0F及びインナーケーシングL1で、周方向AがB～H方向より低く、時間の経過とともにその差が増加し、再び減少している。その他、各位置でのケーシング周方向温度分布及び軸方向温度変化の傾向は、前述4.1.1項の試験結果と同様である。

Fig. 4-16～4-21は、ケーシング軸方向の各位置で生じたケーシング周方向最大、最小温度及び温度差を示す。図よりアウターケーシング及びインナーケーシングともに変化が見られ、試験開始時のケーシング周方向最大温度差は、アウターケーシングのCAG（D-G方向）で16℃、インナーケーシングのR.CE（B-E方向）で18℃であったのが、時間の経過とともに減少しており、約51時間後の試験終了時にはそれぞれCAG（A-G方向）で10℃、R.CE（B-E方向）で12℃となった。一方、アウターケーシング8.0F及びインナーケーシングL1の位置では、試験開始時にそれぞれ11℃（A-C方向）、1℃（B-F方向）であ

った周方向の温度差が、低液位運転試験の時間の経過とともに増大し、最大温度差（ピーク）を示したのが約14時間後であり、それぞれ48℃（A-C方向）、22℃（A-D方向）に変化している。また、ピーク後には再び減少し、約51時間後の試験終了時には、同一方向にそれぞれ18℃、4℃に変化した。

次にアウターケーシング変位変化をFig. 4-22に示す。図よりアウターケーシング変位のX、Y成分の変化をみると、X成分は負の方向に移動し、8時間後に正の方向に向きをかえ、ゆっくり正の方向へ移動しつづける。一方、Y成分も負の方向に移動し、4時間後に正の方向に向きをかえ、6時間からは動きを止め、12時間後から正の方向へゆっくり移動しつづけており、試験開始後51時間で $(X, Y) = (-0.88\text{mm}, -0.09\text{mm})$ となり、変位量は0.31mmであった。最大変位を示したのは、試験開始から約39時間後で0.37mmであった。

4.1.3 低液位試験（-2270mm）

循環ナトリウム温度400℃、定格モード運転（850rpm×通常液位）から、ポンプ内のナトリウム液位を約2270mm低下させ、循環ナトリウム温度200℃までの自然冷却と、低速モード運転（ポニーモータ運転：85.7rpm×200℃）により、約50時間運転した時のポンプケーシングの温度分布及びケーシングの変位をFig. 4-23～4-33に示す。

Fig. 4-23、4-24は試験開始から終了までのアウターケーシング及びインナーケーシングのそれぞれ軸方向、周方向各代表位置での温度変化であり、各軸方向位置での温度変化率をTable 4-3にまとめた。図より循環ナトリウム400℃が自然冷却により、200℃まで降温した時間は約30時間であり、温度変化率は6.7（℃/h）である。また、表より平均温度変化率はカバーガス領域で-0.006～-3.82（℃/h）、ナトリウム中で-4.1（℃/h）、最大は8.OF廻りで-4.3（℃/h）となっている。

Fig. 4-25、4-26にアウターケーシング及びインナーケーシングのそれぞれ軸方向各位置での周方向温度分布を示す。図より前項4.1.1項の試験結果と同様にアウターケーシング8.OF及びインナーケーシングL1で、周方向AがB～H方向より低く、時間の経過とともにその差が増大し、再び減少していく傾向を示す。その他の各位置でのケーシング周方向温度分布及び軸方向温度変化の傾向は、前述4.1.1項の試験結果と同様である。

Fig. 4-27～Fig. 4-32は、ケーシング軸方向の各位置で生じたケーシング周方向最大、最小温度及び温度差を示す。図よりアウターケーシング及びインナーケーシングともに変化が見られ、試験開始時のケーシング周方向最大温度差は、アウターケーシングのCAG（C-G方向）で17℃、インナーケーシングのR. CE（B-F方向）で17℃であったのが、時間の経過とともに減少しており、約50時間後の試験終了時にはそれぞれ同一方向に8℃、11℃となった。一方、アウターケーシング8.OF、4.OF及びインナーケーシングL1の位置では、試験開始時にそれぞれ7℃（C-E方向）、2℃（C-E方向）、0℃（A～H）であった周方向の温度差が、低液位運転試験の時間の経過とともに増大し、最大温度差（ピーク）を示し

たのが約10時間後で、それぞれ5.2℃(A-C方向)、9℃(C-E)、2.3℃(A-D方向)に変化している。また、ピーク後には再び減少し、約50時間後の試験終了時には、それぞれ1.1℃(A-E方向)、8℃(C-G方向)、3℃(A-E方向)に変化した。

次にアウターケーシング変位変化をFig. 4-33に示す。図よりアウターケーシング変位のX、Y成分の変化をみると、X成分は正の方向にゆっくり移動し、Y成分は正と負を小さく往復しながら、正の方向へゆっくり移動しつづけている。試験開始後50時間で低液位運転を中止し、ポンプ内のナトリウム液位を通常液位に復帰したため、それ以降の変位量は計測できなかったが、この時点での(X, Y) = (-0.75mm, -0.06mm)となり、変位量は0.55mmであった。図からも分かるように本試験での変位は、更に増加する傾向である。

4.1.4 低液位試験(-2700mm)

循環ナトリウム温度400℃、定格モード運転(850rpm×通常液位)から、ポンプ内のナトリウム液位を約2700mm(ポンプ内最低液位:EsL)低下させ、循環ナトリウム200℃までの強制冷却(温度変化:15℃/h)と、低速モード運転(ポニーモータ運転:85.7rpm×200℃)により、約840時間(35日)運転した時のポンプケーシングの温度分布及びケーシングの変位をFig. 4-34~4-47に示す。

Fig. 4-34, 4-35は試験開始から終了までのアウターケーシング及びインナーケーシングのそれぞれ軸方向、周方向各代表位置での温度変化であり、各軸方向位置での温度変化率をTable 4-4にまとめた。図より循環ナトリウム400℃を強制冷却し、約15℃/hで降温したとき、200℃へ達した時間は約15時間であった。このときの温度変化率は13.3(℃/h)である。また、表より平均温度変化率はカバーガス領域で-0.026~-0.292(℃/h)、ナトリウム中で-0.25(℃/h)、最大はL1廻りで-0.31(℃/h)となっている。

Fig. 4-36, 4-37にアウターケーシング及びインナーケーシングのそれぞれ軸方向各位置での周方向温度分布を示す。図より、前記4.1.1項の試験結果と同様にアウターケーシング8.OF及びインナーケーシングL1で、周方向AがB~H方向より低く、時間の経過とともにその差が増大し、再び減少している。その他の各位置でのケーシング周方向温度分布及び軸方向温度変化の傾向も、前述した4.1.1項の試験結果と同様に、ナトリウム自由液面上部カバーガス領域のケーシング周方向の温度分布については、低液位運転中も試験開始時(通常液位時)と同じような傾向のばらつきを示し、かつ時間の経過とともに温度差が減少している。また、ナトリウム自由液面下部ナトリウム領域のケーシング周方向の温度分布は、ナトリウム液位の低下により温度変化が見られるが、時間の経過とともに減少していくのがわかる。一方、インナーケーシング軸方向の各位置での温度変化は、循環ナトリウムに最も近いB.Hが一早く温度降下を示し、次にL5~L1の順に現われる。L5~L1が循環ナトリウム温度200℃に集合(近づく)するのに、試験開始から約53時間後であり、ここを境にして逆にB.Hが最

も高くなり、次にL5～L1の順に低くなる。ケーシング軸方向の各位置がはっきり現われるのは約143時間後である。

Fig. 4-38～4-43に、ケーシング軸方向の各位置で生じた周方向最大、最小温度及び温度差を示す。図よりアウターケーシング及びインナーケーシングともに変化が見られ、試験開始時のケーシング周方向最大温度差は、アウターケーシングのCAG(D-G方向)で19℃、インナーケーシングのR.CE(B-F方向)で18℃であったのが、時間の経過とともに減少し、CAGについては約150時間後に再び増加傾向を示す。約840時間後の試験終了時にはそれぞれ7℃(B-G方向)、1℃(D-G方向)となった。また、アウターケーシング4.OF及びインナーケーシングL5(L5は4.OFとほぼ同じ高さ)の位置では、試験開始時にそれぞれ1℃(A-F方向)、6℃(C-D方向)であった周方向の温度差が、約840時間後の試験終了時にはそれぞれ25℃(C-E方向)、16℃(C-G方向)と大きくなっている。

一方、アウターケーシング8.OF及びインナーケーシングL1の位置では、試験開始時にそれぞれ7℃(C-F方向)、3℃(A-F方向)であった周方向の温度差が、低液位運転試験の経過とともに増大し、最大温度差(ピーク)を示したのが約9時間後で、それぞれ50℃(A-C方向)、24℃(A-E方向)に変化している。ピーク後には再び減少し、約840時間後の試験終了時には、それぞれ8℃(A-E方向)、6℃(A-B方向)に変化した。また、アウターケーシングR.DOの位置では、試験開始時に7℃(B-G方向)であった周方向の温度差が、時間の経過とともに減少し、試験開始から約50時間で3℃となり、約90時間後から再び大きくなった。試験開始から約360時間で最大温度差が10℃(D-G方向)となり、その後は約840時間後の試験終了まで温度差に大きな変化はなかった。

次にアウターケーシング変位変化をFig. 4-44～4-47に示す。Fig. 4-44はY軸変位量のスパンを10mmとし、Fig. 4-45はそのスパンを1mmとして、アウターケーシング変位のX、Y成分の変化を表わしたものである。図よりX成分は正の方向に大きく移動しており、約300時間からは動きを止め、約840時間の試験終了まで大きな動きはなかった。Y成分も約130時間までは正の方向へゆっくり移動しており、その後はほぼ横ばいである。Fig. 4-46に示すように最大変位が現われたのは、試験開始から約564時間後であり、変位量は1.31mmとなった。また、Fig. 4-47に示すように約840時間後の試験終了時点で(X, Y) = (-0.16mm, 0.0mm)となり、変位量は1.19mmであった。

4.2 低液位・無シールガス運転試験

4.2.1 低液位(-2700mm)・無シールガス試験

循環ナトリウム温度400℃、定格モード運転(850rpm×通常液位)から、ポンプ内のナトリウム液位を約2700mm低下させ、軸封シールガスの停止、循環ナトリウム温度180

℃までの強制冷却（温度変化：15℃/h）と、低速モード運転（ポニーモータ運転：85.7 rpm×180℃）により、約1627時間（68日）運転した時のポンプケーシングの温度分布及びケーシングの変位をFig. 4-48～4-58に示す。

Fig. 4-48, 4-49は試験開始から終了までのアウターケーシング及びインナーケーシングのそれぞれ軸方向、周方向各代表位置での温度変化であり、各軸方向位置での温度変化率をTable 4-5にまとめた。図より循環ナトリウム400℃を強制冷却し、約15℃/hの温度変化で降温したとき、180℃へ達した時間は約18時間であった。このときの温度変化率は12.2（℃/h）である。また、表より平均温度変化率はカバーガス領域で-0.02～-0.164（℃/h）、ナトリウム中で-0.14、最大はL1まわりで-0.164となっている。

Fig. 4-50, 4-51にアウターケーシング及びインナーケーシングのそれぞれ軸方向各位置での周方向温度分布を示す。図より前記4.1.4項の試験結果と同様にアウターケーシング8.OF及びインナーケーシングL1で周方向AがB～H方向より低く、時間の経過とともにその差が増大し、再び減少している。その他の各位置でのケーシング周方向温度分布及び軸方向温度変化も4.1.4項の試験結果と同様であった。

Fig. 4-52～4-57にケーシング軸方向の各位置で生じた周方向最大、最小温度及び温度差を示す。図よりアウターケーシング及びインナーケーシングともに変化が見られ、試験開始時のケーシング周方向最大温度差は、アウターケーシングのCAG（C-G方向）で17℃、インナーケーシングのR.CE（B-E方向）で17℃であったのが、時間の経過とともに減少し、CAGについては約120時間後に再び増加傾向を示す。約1627時間の試験終了時にはCAG（B-G方向）で10℃、R.CE（B-G方向）で3℃となった。また、アウターケーシング4.OFの位置では、試験開始時に1℃（C-E方向）であった周方向の温度差が、約1627時間後の試験終了時には約22℃（E-G方向）となっている。一方、アウターケーシング8.OF及びインナーケーシングL1の位置では、試験開始時にそれぞれ7℃（C-E方向）、1℃（A-C方向）であった周方向の温度差が、低液位運転時間の経過とともに増大し、最大温度差（ピーク）を示したのが約9時間後で、それぞれ47℃（A-C方向）、17℃（A-D方向）に変化している。ピーク後には再び減少し、約1627時間後の試験終了時には、それぞれ6℃（A-G方向）、2℃（A-E方向）に変化した。また、アウターケーシングR.DOの位置では、試験開始時に8℃（B-G方向）であった周方向の温度差が、時間の経過とともに減少しており、約40時間から再び大きくなり、試験開始から約360時間で最大温度差12℃（B-F方向）を示した。その後は約1627時間後の試験終了まで温度差はほぼ一定であった。

次にアウターケーシング変位変化をFig. 4-58に示す。変位計測については本試験中に瞬停によるミニコンピュータの停止あるいは雷の影響によるミニコンピュータ及びポニーモータの停止があり、この時点でアウターケーシングの変位計がリセットされ計測が中断された。

このため、Fig. 4-58の変位変化は、これらの影響を受けなかった試験開始から約60時間までの変位変化を示すものである。これによると、プロットされた時間はわずかであるが、X成分及びY成分ともに移動する傾向は、前記した4.1.4項の試験結果と同様である。

4.3 無シールガス運転試験

4.3.1 通常液位・無シールガス試験

循環ナトリウム温度400℃、定格モード運転(850rpm×通常液位)から、軸封シールガスを停止させ、循環ナトリウム温度250℃までの強制冷却温度変化:15℃/h)と、低速モード運転(ポニーモータ運転:85.7rpm×250℃)により、約1584時間(66日)運転した時のポンプケーシングの温度分布及びケーシングの変位をFig. 4-59~4-67に示す。

Fig. 4-59, 4-60は試験開始から終了までのアウターケーシング及びインナーケーシングのそれぞれ軸方向、周方向各代表位置での温度変化である。図より循環ナトリウム400℃を強制冷却し、約15℃/hで降温させた時、250℃へ達した時間は約12時間であった。この時の温度変化率は12.5(℃/h)である。

Fig. 4-61, 4-62にアウターケーシング及びインナーケーシングのそれぞれ軸方向各位置での周方向温度分布を示す。図よりナトリウム自由液面上部カバーガス領域(R.UP~H.9)のケーシング周方向の温度分布については、試験開始時と同じような傾向のばらつきを示し、低速モード運転を継続することにより温度差が減少している。また、ナトリウム自由液面下部ナトリウム領域(L1~L5, 8.OF~4.OF~B.H)のケーシング周方向の温度分布は、循環ナトリウム温度とほぼ同じであり、軸方向各位置とも特に変化は見られない。

Fig. 4-63~Fig. 4-66に、ケーシング軸方向の各位置で生じた周方向最大、最小温度及び温度差を示す。図よりアウターケーシング及びインナーケーシングともに変化が見られ、試験開始時のケーシング周方向最大温度差は、アウターケーシングのCAG(D-G方向)で19℃、インナーケーシングR.CE(B-E方向)で21℃であったのが、時間の経過とともに減少し、約1584時間後の試験終了時にはそれぞれ3℃(B-G方向)、4℃(E-G方向)となった。また、アウターケーシングR.DOの位置では、試験開始時に9℃(B-F方向)であった周方向の温度差が、約500時間後に最大温度差12℃(D-G方向)を示し、約1584時間後の試験終了時には11℃(A-G方向)となり、わずかではあるが、この位置が最大温度差となっている。

次にアウターケーシング変位変化をFig. 4-67に示す。

本図はコンピュータを一時停止したため、試験開始後約480時間をプロットしたケーシングの変位変化である。アウターケーシング変位のX, Y成分の変化を見ると、X成分は正の方向へ大きく移動し、約160時間後からゆっくりと正の方向へ移動しつづける。Y成分は約

120時間までゆっくりと正の方向へ移動し、その後は正と負を小さく移動している。試験開始時間で $(X, Y) = (-0.51 \text{ mm}, 0.04 \text{ mm})$ となり、変位量は 0.93 mm であった。

5. 考 察

5.1 低液位試験(−770mm〜−2700mm)

モックアップポンプの静圧軸受の交換及び低液位対流防止板装着後(改造後と称す)の改良したポンプを用いて、循環ナトリウム温度400℃、定格モード運転(主モータ運転:850rpm×通常液位)から、ポンプ内のナトリウム液位を通常液位より770mm, 1300mm, 2270mm, 2700mm低下させ、低速モード運転(ポニーモータ運転:85.7rpm×200℃)を1ヶ月以上実施(−770mm〜−2700mm試験と称す)した。

また、循環ナトリウム温度400℃、定格モード運転(主モータ運転:850rpm×通常液位)から、ポンプ内のナトリウム液位を2700mm低下させ、軸封シールガスの停止、循環ナトリウム温度180℃までの強制冷却(温度変化15℃/h)と、低速モード運転(ポニーモータ運転:85.7rpm×180℃)を2ヶ月以上実施(−2700mm無シールガス試験と称す)した。

既報の低液位運転試験⁽¹⁾(予備試験と称す)その1では、ナトリウム液位を770mm〜2270mm低下させたとき、増大するカバーガス領域でのケーシング周方向の温度分布及びアウターケーシングとインナーケーシングから形成する二重円筒アニュラス空間部でのカバーガスの対流等、メカニズムについて明らかにし、報告されている。

本節では既報で実施できなかったポンプ内の最低液位(−2700mm:EsL)運転試験及び低液位対流防止板の装着効果について、予備試験の結果と比較検討して考察する。

4章の試験結果は、低液位対流防止板装着前(改造前と称す)の予備試験結果と同様に、アウターケーシング8.OFの位置で、ケーシング周方向の最大温度差を示した。Fig.5-1,5-2は、前回予備試験で確認できなかった−2700mm試験の結果(アウターケーシングにmax 4Tを生じたとき)を示す。

図より8.OF付近のアウターケーシングとインナーケーシングにより形成する二重円筒アニュラス空間部でのカバーガス自然対流については、周方向Eで上昇流が生じ、180°対向するオーバーフローノズル取付け位置のA方向で下降流が生じていることが分かる。これはアウターケーシングとインナーケーシングの軸方向の同位置(同じ高さ)での温度を比較するとインナーケーシングの方が高いため、アウターケーシングについて見れば、カバーガス上昇流で加熱され、下降流で冷却されていることになる。Fig.5-2に示すインナーケーシングのL1(アウターケーシング8.OFの位置とほぼ同じ高さ)も同じような温度分布を示した。この傾向は熱電対を低液位試験用に変更追加後⁽³⁾、初めて確認されたものである。また、アウターケーシングCAGのG方向で温度差が生じているのは、Gがカバーガスノズル取付け位置であるため、ガスの流出入により部分的に低くなったと考えられる。

一方、インナーケーシングR.CEのB-E方向及びアウターケーシングR.UP〜R.DOまでのB-G方向に大きな温度差が生じたのは、既報⁽³⁾でも述べたようにγ線遮蔽体に装着されている

短冊バツフル状の対流防止板の一部破損が考えられる。これらの結果から、前者の8.O F付近の周方向温度差の生じる原因の一つとして、カバーガスの出入が複雑にしているものの、ポンプの構造上の非軸対称（オーバフローノズル、カバーガスノズル）な温度分布が生じ、二重円筒アニユラス部で温度差に起因した自然対流が発生しているものと推定できる。

次に、ガス対流の定常化に要する時間について論ずる。Fig. 5-3 はケーシング変位及び周方向最大温度差（ ΔT ）と試験開始からの時間の関係を示す、図より8.O F位置での ΔT は、低液位運転の時間とともに増大し、770mm～2700mmの液位低下では9～15時間で ΔT の最大値47～52℃を示した。-2700mm試験について見れば、試験開始9時間で ΔT は50℃となり、130～150時間で ΔT が完全に安定している。その後は ΔT が横ばいで保持されており、試験終了時での ΔT は10℃以下と小さい。また、 ΔT の最大値は液位が低下するほど大きく、その発生時間も早い。すなわち、ポンプ内のナトリウムインベントリが減少して、カバーガス空間が増大するほど ΔT が大きく、かつ早く発生することがわかった。図中、試験開始360時間から ΔT が、-2700mm試験より-2700mm無シールガス試験の方が小さいのは、軸封シールガスを停止しており、オーバフローノズルのガスの流出入がないことも1つの要因であると考えられる。

アウターケーシングの変位は、液位が低下するほど変位量が大きく、-2700mm試験についてみれば、時間とともにゆっくり増加し、試験開始30時間からゆるやかに減少している。その後60時間で一旦最小となりそこから再び増加をはじめ、200時間で安定しあとはほぼ横ばいである。安定した時間はアウターケーシング8.O Fの位置での ΔT が安定した時間とほぼ一致している。

アウターケーシングの最大変位を示したのは、試験開始564時間後で変位量は1.31mmであり、許容変位量2.5mm以下であった。

次に、アウターケーシングの実測値と簡易計算値を比較して、その計算値の精度を確認した後、インナーケーシングの変位量を把握してみる。-2700mm試験の最大変位を示した、アウターケーシング軸方向各位置での最大及び最小温度差を用いて、既報⁽²⁾で行った簡易解析モデルと計算方法により、アウターケーシングの変位量を求めると1.37mmとなる。簡易計算の方が実測値の5%増であるがよく一致しているといえる。この方法によりインナーケーシング軸方向各位置での最大及び最小温度差を用いて、インナーケーシングの変位量を求めると0mmである。インナーケーシング軸方向各位置での周方向で温度差は生じているものの、軸対称の位置即ち180°対向する最大、最小温度の和は等しいことが判った。このことにより、アウターケーシングは非軸対称（オーバフローノズル、カバーガスノズル）なため、周方向の温度差がケーシングの変形に寄与しているものといえる。以上の検討により、アウターケーシングの変位量がポンプの許容変位量内であったため、約2400時間のボニーモータ運転が可能であったといえる。

次に、アウターケーシング変位量の増加について検討してみる。Fig. 5-3よりケーシングの変形に寄与すると考えられる8.O F位置での温度差は小さくなる一方で、アウターケーシングの変位量が増加

するのは、8.OF以外の周方向で温度差が生じているものと考えられる。Fig. 5-4 に-2700mm試験及び-2700mm無シールガス試験でのアウターケーシングR.DO, CAG, 4.OF位置での温度差の変化を示す。図より、-2700mm無シールガス試験のCAGは、試験開始に17℃であったのが、時間の経過とともに小さくなり、約120時間で2℃となる。以後再び増加の傾向を示し、約300時間で9℃となり、試験終了時まで保持しつづける。4.OFの位置では試験開始時に1℃であったのが、時間の経過とともに大きくなり、約250時間で23℃、約830時間で最大温度差24℃を示し、以後試験終了時まで保持されている。一方、R.DOの位置では、試験開始時に7℃であったのが、時間の経過とともに減少し、50~60時間で3℃となる。以後再び大きくなり、約360時間で最大温度差12℃を示し、以後試験終了時まで保持しつづける。4.OFの位置でケーシングの変形に与える影響は、ナトリウム液面と変位計取付け位置の距離及び4.OF位置までの距離が短いため、ケーシングの変形にそれほど寄与するものではないと推定できる。このことから、アウターケーシングの変位量の増加の原因の1つとして、変位計取付け位置から距離があって、かつ周方向の最大温度差が発生している位置が上げられる。

Fig. 5-5, 5-6 は、アウターケーシング及びインナーケーシングR.DOの位置で、試験開始後360時間に最大温度差を示したそれぞれ周方向の温度分布である。図よりアウターケーシングR.DO, G方向の温度が180°反対のC方向より高いため、周方向Gで上昇流が生じ、C方向で下降流が生じていることがわかる。また、アウターケーシングとインナーケーシングの軸方向位置での温度を比較すると、インナーケーシングの方が高い。このためアウターケーシングについてみれば、カバーガス上昇流で加熱され、下降流で冷却されることになる。インナーケーシングでもその現象による温度差が現れている。このことによりインナーケーシングとアウターケーシングの二重円筒アニュラス空間部で温度差に起因した自然対流が発生し、非軸対称な温度分布を形成し、アウターケーシングの変位量を増加あるいは保持しているものと推定できる。

ここでもう一つ注目すべきことは、Fig. 5-4 からわかるように-2700mm無シールガス試験の循環ナトリウム180℃の方が200℃に比し、R.DO位置での温度差が約12℃とそれより約2℃大きいことがわかる。一般に、回転軸に沿って流入するシールガスは、停止している方が周方向の温度差がつきにくいと考えられる。Fig. 5-3 の8.OFの位置ではそのような傾向となっている。しかし、R.DOの位置ではその逆である。これは、第4章のFig. 4-50からも分かるように、例えばR.UPの周方向分布は、雰囲気温度と一度バランスした後、ケーシング軸方向の熱伝導により若干ではあるが高くなる傾向であることから、循環ナトリウム温度が大きく起因していることが考えられる。このことにより、ポンプは循環ナトリウム温度が低い方が厳しいものと推定される。

そこで、アウターケーシングR.DO位置での周方向の温度分布が、ケーシング変形に起因していると考えた場合、長期に至るポンプの健全性の推定と循環ナトリウムの温度が更に下った場合の健全性について推定してみる。

-2700mm無シールガス試験の変位は、電源喪失事故があり、途中から計測できなかったが、計測中断後に再計測したデータと、計測中断時点のデータの平均値を加え修正してプロットした変位変化をFig. 5-7に示す。

図より最大変位を示した時間は修正値データであるためここではひかえるが、約2ヶ月以上にわたって耐久性を確認しており、変位量の増加程度の推定には使用できるものと考ええる。

アウターケーシング変位量程度の推定としては、-2700mm試験の変位増加傾向とほぼ同様であるため、そこで-2700mm試験で試験開始後アウターケーシングの最大変位量を示した約564時間を仮に用いて、この時のケーシング軸方向の各位置での温度分布を、既報⁽²⁾の簡易解析モデルと計算方法により、アウターケーシングの変位量を求めると1.56mmを得た。この変位量は修正値データの約5%増、-2700mm試験実測値の約20%増であるとともに、循環ナトリウム温度180℃のときの最大変位量と推定できる。また、この5%増は-2700mm試験の実測値と簡易計算値と比較した5%ともよく一致しており、更に信頼性の高いことが裏付けられるものである。なお、-2700mm試験では確認できなかった試験開始840時間以後も大きな変位の変化が見られず、2467時間(3ヶ月以上)にわたるポンプの健全性が確認できたことから、長期間にわたるボニーモータ運転、例えば約6ヶ月以上は問題ないと推定できる。

一方、循環ナトリウム温度が、例えば約140℃のボニーモータ運転を実施した場合の推定として、-2700mm試験で最大変位を示したケーシング軸方向の各位置での温度分布を使用して、既報の簡易解析モデルと計算方法により、アウターケーシングの変位量を求めると1.68mmを得た。この変位量は-2700mm無シールガス試験の最大変位量の約8%増であるが、許容変位量2.5mm以下であり十分安全であると推定できる。しかし、本簡易解析モデルは-2700mm試験のケーシング軸方向R.DO位置での最大温度差を示した線膨張係数を仮定しており、更に実機ポンプとモックアップポンプの雰囲気条件も異なるため、本考察はあくまでも目安である。以上のように変位量増加について検討を行ったが、ケーシングの変形に寄与すると考えられる周方向温度分布は、ポンプの製作が同一手法であっても、そのポンプの非軸対称性(カバーガスノズル、オーバーフローノズル)や、大型化によっても異なることが判明した。これらはポンプ固有のものであると考えられるため、モックアップポンプの試験結果を参考にして、実機ポンプの製作に反映することが望ましい。

次に、低液位対流防止板の装着効果について論ずる。Fig. 5-8は、ポンプ改造前及び改造後の770~2700mm試験のアウターケーシング8.OF位置での周方向温度差変化の比較であり、Fig. 5-9、5-10は液位と同位置での周方向最大温度差及び最大温度差発生時間の関係を示す。図より、アウターケーシング8.OF位置での周方向最大温度差 ΔT は時間とともに増加し、また液位が低下するにつれてその差も大きくなり、発生時間も早くなる。改造前と改造後を比較すると ΔT は、一部突出したデータを除けば改造後の方が3~6℃大きくなる。また、 ΔT の最大値(ピーク)までに要する時間は、改造前はバラツキがあるものの、改造後の方が比較的安定して、

ピーク時間は1～3時間長くなった。改造後の4Tが大きくなる原因としては、ナトリウム自由液面下部のインナーケーシングとアウターケーシングの二重円筒アニユラス空間方向を8区分し、リング状の対流防止板を7枚装着したことにより、8.OF近傍のカバーガス対流の空間が減少し、オーバフローノズルでのガス冷却が局所的に行われるためと考えられる。また、ガス対流の定常化に要する時間が長くなった原因についても、対流防止板の装着により、ケーシング軸方向の熱伝達が小さくなったためと推定できる。

Fig. 5-11は、ポンプ改造前及び改造後のアウターケーシング変位変化の比較を示す。図からも分かるように改造前の変位量は、試験開始10～15時間で大きく移動し、20時間後から一旦小さくなり、再び大きくなる傾向でこの現象がはっきり現われるのに対し、改造後の変位量は時間の経過とともに、ゆっくり移動しており、上下の変動も改造前ほど大きくない。これは対流防止板の装着により、ケーシング軸方向各位置でのガス対流が抑制されたためと考えられる。

Fig. 5-12, 5-13は、ポンプ改造前及び改造後のそれぞれアウターケーシングとインナーケーシング各位置での周方向温度分布の比較を示す。同図は改造前及び改造後の試験で共通している-2270mm試験の周方向温度分布を比較したものである。図よりケーシング各位置での周方向の温度差は、アウターケーシング及びインナーケーシングともに、改造前の方がはるかに小さいことが判った。Fig. 5-14, 5-15は-2270mm試験でアウターケーシング8.OF位置の最も大きい温度差を示した試験開始10時間後の比較データである。図より周方向の温度差が改造前より特に大きく現れたのは、アウターケーシングについてはR.UP及びC.A.Gの位置でその差が約6℃、インナーケーシングについてはR.CE及びR.DOの位置で約10℃、L1の位置で24℃、L3及びL5の位置で約6℃である。

低液位対流防止板装着後のポンプケーシング温度分布は、改造前より大きくなったが、ガス対流の定常化に要する時間が長くなるとともに、液位低下の過渡時にアウターケーシングの変位量がゆるやか（冗長性）になるなど、ナトリウム中に静圧軸受を有するポンプに与える影響が緩和され、低液位対流防止板の装着は有効であると言える。

また、静圧軸受（回転側）の交換によって、770mm～2700mm低液位試験の静圧軸受まわりのナトリウムの流れは、静圧軸受の下方約70%はリークフローがインペラの吸込側へ流れ、潤滑材としての機能をはたすが、静圧軸受の上方約30%の位置からはスタグナントになるため、静圧軸受の固定側上端に取付けた軸受温度とポンプ入口温度との間に、特にナトリウム液位低下の過渡時（自然または強制冷却）に最大25℃の温度差が生じた。実機ポンプについては軸受温度計（インターロック用）の取付位置または設定範囲を検討する必要がある。

なお、ケーシングに寄与すると考えられる周方向の温度分布は、同一ポンプであっても一旦改造あるいは定検で引き抜きを実施した場合、引き抜き前と同一の温度分布が得られず再現性のないことが判った。今後ポンプが大型化すると更に再現性が低下するものと考えられるため、ポンプの引き抜き、挿入を何回か実施し、その再現性を確認することが望ましい。

5.2 低液位（-2700mm）・無シールガス試験

循環ナトリウム温度400℃、定格モード運転（主モータ運転：850rpm×通常液位）から、ポンプ内のナトリウム液位を2700mm低下させ、軸封シールガスの停止、循環ナトリウム温度180℃までの強制冷却（温度変化：15℃/h）と、低速モード運転（ポニーモータ運転：85.7rpm×180℃）を2ヶ月以上実施した。

低液位（-2700mm）試験の検討については前節5.1で述べた通りである。本試験は上記した試験結果の他に、ポニーモータ電流の計測、静圧軸受まわりの異音及び変位計測等、状況を監視したが特に異常は認められず、1627時間（2ヶ月以上）にわたるポンプの健全性が確認できた。

なお、本試験中数回にわたる電源喪失のためポニーモータが停止したが、ポンプ内の最低液位（-2700mm）の状態再起動したところ、問題なく立ち上げられることが確認できた。

5.3 通常液位無シールガス試験

循環ナトリウム温度400℃、定格モード運転（主モータ運転：850rpm×通常液位）から、軸封シールガスを停止させ、循環ナトリウム温度250℃までの強制冷却（温度変化：15℃/h）と、低速モード運転（ポニーモータ運転：85.7rpm×250℃）を2ヶ月以上実施した。

4章の結果で見られるように、試験開始時のケーシング周方向最大温度差は、アウターケーシングCAGの位置で19℃、インナーケーシングR・CEの位置で21℃あったのが、時間とともに減少し試験開始60時間後には逆に、アウターケーシングR・DOの位置が高くなる傾向で、500時間後で最大温度差12℃を示し、試験終了まで最大温度差を維持しつづけている。この温度差の傾向は前節5.1の低液位運転試験結果のケーシング周方向R・DO位置で12℃を維持しつづけた傾向と同様である。

なお、H9より上方は対流防止板の効果により温度分布が抑制されているわけであるが、試験結果でも分かるように、ナトリウム自由液面上部カバーガス領域の二重円筒アニュラス空間で温度差に起因した自然対流が発生しているものと考えられる。このガスの対流によりナトリウム自由液面表面（約250℃）から、ナトリウムベーパーが回転軸に沿って上方に上がり、軸封シール部までナトリウム蒸着があるはずである。既報のポンプ解体検査⁽³⁾によると、軸封シールガスを流して約23000時間運転した後のナトリウムの付着状況は、ケーシング軸方向R・DOの位置までナトリウムの付着を確認している。この位置は回転軸側の高さでいうと、 r 線遮蔽体低部より内側（上方）へ500mm入ったところである。シールガスを停止するとこの位置より更に上昇するはずであるが、回転軸の回転による風力と、ケーシングと回転軸のギャップ5mmからしてほとんど蒸着はないと推定できる。

前節5.3の低液位（-2700mm）・無シールガス運転で1627時間、本節の本試験で1584時間の合計3211時間（4ヶ月以上）にわたる無シールガス運転を実施したところ、異常も認

められずポンプの健全性が確認できた。今後ポンプ軸封部を解体し、そのナトリウム蒸着を把握し最終的な判断をする必要がある。

6. 結 言

「もんじゅ」一次主循環ポンプ（モックアップ）の静圧軸受の交換及び低液位対流防止板を装着して改良したポンプを用いて、実機プラントの運転モードで計画されている一次系配管破損時の崩壊熱除去運転及び格納容器隔離時を想定した軸封無シールガス運転を模擬して運転することにより、実機ポンプの健全性を確認することを目的として、ポンプ内の最低液位（-2700mm:ESL）運転、最低液位での無シールガス運転及び通常液位での無シールガス運転を実施するとともに、以下の知見を得た。

- (1) ポンプ内の最低液位（ESL）運転を840時間（1ヶ月以上）、最低液位（ESL）での無シールガス運転を1627時間（2ヶ月以上）及び通常液位での無シールガス運転を1584時間（2ヶ月以上）実施するとともに、ポンプの健全性が確認できた。
- (2) 低液位（-770～-2700mm）運転でのケーシング周方向最大温度差は、アウターケーシング8.OFの位置に生じ、運転開始9～15時間後に最大47～52℃を示し、130～150時間で安定した。
- (3) 低液位（-2700mm）運転開始150時間後から、ケーシング周方向最大温度差は、ナトリウム自由液面上部アウターケーシングでは8.OFの位置から逆にR.DOの位置に生じ、360時間後に最大12℃を示し、450時間で安定した。また、自由液面下部では同4.OFの位置に生じ、150時間後に最大27℃を示し、350時間で安定した。
- (4) アウターケーシング8.OF位置での周方向最大温度差は、時間とともに増大し、液位が低下するほど大きく、かつその発生時間も早くなることが判った。
- (5) 本低液位運転において確認されたアウターケーシングの最大変位量は、運転開始560時間後に1.31mmを示し、許容変位量2.5mm以下であった。
- (6) 低液位対流防止板の装着前（改造前）と装着後（改造後）のケーシング周方向の温度分布を比較したところ、アウターケーシング8.OFが最大るとき、アウターケーシングR.UP及びCAGの位置で6℃、インナーケーシングR.CE及びR.DOの位置で10℃、L1の位置で24℃、L3及びL5の位置で6℃となり、改造後の方がアウターケーシング及びインナーケーシングともに周方向の温度差が大きくなった。しかし、低液位対流防止板の装着効果を比較したところ、アウターケーシング8.OFの位置での周方向最大温度差は装着後の方が3～6℃と大きくなったが、その発生時間は1～3時間長くなり、かつアウターケーシングの変位量もゆっくり移動する傾向（冗長性）を示し、過渡時のポンプに与えるケーシングの変形が緩和するなど、低液位対流防止板の装着は有効であった。
- (7) 数回にわたる電源喪失のため、ポンプモータが停止したが、ポンプ内の最低液位の状態再起動したところ、問題なく立ち上げられることが確認できた。
- (8) 静圧軸受回転側の交換によって、低液位運転時の軸受まわりのナトリウムの流れが変わるため、

軸受温度とポンプ入口温度間に、特に過渡時に最大25℃の温度差が生じた。実機ポンプについては軸受温度計（インターロック用）の取付位置または設定、範囲を検討する必要がある。

- (9) 静圧軸受回転側の交換と低液位対流防止板を装着し改良したポンプの方が、アウターケーシング及びインナーケーシングともに周方向の温度差が大きくなった。今後ポンプの大型化に伴い、ポンプの引き抜き、挿入特性を把握し再現性を確認することが望ましい。

7. 謝 辞

最後に、本試験の実施及びとりまとめに際し、御指導戴いた旧高速炉機器開発部厚母栄夫部長ならびに本試験の立案、実施、結果の検討に助言を戴いたFBR本部機器ブロック岡林邦夫主幹、天田健一研究員、また試験実施に協力して戴いた関係各位に感謝の意を表します。

8. 参 考 文 献

- (1) 矢吹知治, 他, 「もんじゅ」1次主循環ポンプ(モックアップ)の試験Ⅲ) ポンプケーシングの温度分布と変形, PNC SN941 79-44
- (2) 荒 邦章, 他, 「もんじゅ」1次主循環ポンプ(モックアップ)の試験Ⅹ) 低液位運転試験(1), PNC N941 84-154
- (3) 小池 茂, 他, 「もんじゅ」1次主循環ポンプ(モックアップ)の試験Ⅹ) インナーケーシングの引き抜き, 洗浄, 分解及び改造(2), PNC SN941 85-28

Table2-1 Specification of pump and Drive Motor

駆動電動機の主要仕様

ポンプの主要仕様

型 式	縦型自由液面式遠心ポンプ (Hallam 型)
定 格 揚 程	90mNa (実機94mNa)
定 格 温 度	390℃ (実機397℃)
定 格 流 量	21m ³ /min at 390℃* ¹ (実機99.6m ³ /min at 397℃)
予 熱 温 度	200℃ (N ₂ ガス予熱)
軸 封 方 式	油循環複式メカニカルシール
潤 滑 油 圧 力	2~3kg/cm ² g
潤 滑 油	JIS添加タービン油#90
軸 封 ガ ス	アルゴンガス
軸封ガス循環量	1.7ℓ/min
定 格 回 転 数	850rpm (実機837rpm)
回 転 方 向	時計方向 (電動機側から見て)
回転数制御範囲	85~850rpm
流量制御方式	回転数制御
液面制御方式	オーバーフローライン溢流式
ポンプサイズ	9.25m(H)×1.8m(φ)
シャフトサイズ	8.042m(L)×550mm(φ)
口 径	32 ^B (吸込側ノズル), 24 ^B (吐出側ノズル) (オーバーフローノズル8 ^B , 4 ^B)
使 用 材 質	主にSUS 304

駆動電動機の主要仕様

型 式	開放縦軸他力通風防滴凸極式非可逆回転型ACサイリスタモータ
定 格 出 力	550kW at 850rpm* ¹ (実機2000kW at 837rpm)
回転数制御方式	サイリスタ方式 (実機MFG方式)
電 源	サイリスタ3相交流 50Hz 510V
極 数	6極
絶 縁 種 別	F種

* 1 ; 特殊インペラ

Table 3-1 Positions of Thermocouples on Casing
ポンプケーシング温度計測点一覧表

	Outer case								Inner case							
	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G	H
R. UP	○	○	○	○	○	○	○	○								
R. CE	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
R. DO	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
CAG	○	○	○	○	○	○	○	○								
H1									○	○	○	○	○	○	○	○
H3	○	○	○	○	○	○	○	○								
H5									○		○		○		○	
H9									○	○	○	○	○	○	○	○
L1									○	○	○	○	○	○	○	○
8.OF	○		○		○		○									
L2									○	○	○	○	○	○	○	○
L3									○	○	○	○	○	○	○	○
L4									○	○	○	○	○	○	○	○
4.OF	○		○		○		○									
L5									○	○	○	○	○	○	○	○
B. H											○				○	

Table 4-1 Variation Rate of Casing Temperatures on Low Sodium Level Test(-770mm)

低液位試験(-770mm)ケーシング温度変化率

試験時間 71時間

試験温度 400℃→200℃

ポンプ 軸方向 位 置	アウターケーシング			インナーケーシング		
	試験開始時 温度(℃)	試験終了時 温度(℃)	平均温度変化率 (℃/hr)	試験開始時 温度(℃)	試験終了時 温度(℃)	平均温度変化率 (℃/hr)
R. UP	49.4	44.9	-0.063	-	-	-
R. CE	115.4	96.9	-0.261	102.4	95.4	-0.099
R. DO	147.6	114.6	-0.465	157.9	129.3	-0.403
CAG	212.3	137.3	-1.056	-	-	-
H1	-	-	-	232.9	152.1	-1.138
H3	287.4	153.4	-1.887	-	-	-
H5	-	-	-	305.0	164.8	-1.975
H9	-	-	-	375.9	173.5	-2.851
L1	-	-	-	403.0	181.0	-3.127
8.OF	397.0	170.3	-3.193	-	-	-
L2	-	-	-	402.4	190.1	-2.990
L3	-	-	-	402.0	192.6	-2.949
L4	-	-	-	402.1	192.9	-2.946
4.OF	397.8	191.3	-2.908	-	-	-
L5	-	-	-	402.0	192.6	-2.949
B. H	-	-	-	401.0	193.5	-2.923

Table 4-2 Variation Rate of Casing Temperatures on Low Sodium Level Test(-1300mm)

低液位試験(-1300mm)ケーシング温度変化率

試験時間 51時間

試験温度 400℃→200℃

ポンプ 軸方向 位 置	アウターケーシング			インナーケーシング		
	試験開始時 温度(℃)	試験終了時 温度(℃)	平均温度変化率 (℃/hr)	試験開始時 温度(℃)	試験終了時 温度(℃)	平均温度変化率 (℃/hr)
R. UP	45.4	44.1	-0.025	-	-	-
R. CE	107.5	100.1	-0.145	93.3	95.1	+0.035
R. DO	138.9	121.6	-0.339	148.6	135.5	-0.257
CAG	203.1	150.8	-1.025	-	-	-
H1	-	-	-	223.1	167.1	-1.098
H3	280.9	168.3	-2.208	-	-	-
H5	-	-	-	298.0	185.3	-2.210
H9	-	-	-	369.4	195.5	-3.410
L1	-	-	-	402.1	200.4	-3.955
8.OF	391.8	174.5	-4.261	-	-	-
L2	-	-	-	402.0	195.6	-4.047
L3	-	-	-	401.0	195.9	-4.022
L4	-	-	-	401.1	198.1	-3.980
4.OF	397.8	195.5	-3.967	-	-	-
L5	-	-	-	400.8	198.0	-3.976
B. H	-	-	-	401.0	198.5	-3.971

Table 4-3 Variation Rate of Casing Temperatures on Low Sodium Level Test(-2270mm)

低液位試験(-2270mm)ケーシング温度変化率

試験時間 50時間
試験温度 400℃→200℃

ポンプ 軸方向 位置	アウターケーシング			インナーケーシング		
	試験開始時 温度(℃)	試験終了時 温度(℃)	平均温度変化率 (℃/hr)	試験開始時 温度(℃)	試験終了時 温度(℃)	平均温度変化率 (℃/hr)
R. UP	50.4	49.4	-0.020	-	-	-
R. CE	114.8	106.9	-0.158	102.1	101.8	-0.006
R. DO	147.0	129.0	-0.360	157.0	143.1	-0.278
CAG	210.5	158.8	-1.034	-	-	-
H1	-	-	-	230.4	175.5	-1.098
H3	283.4	177.0	-2.128	-	-	-
H5	-	-	-	301.3	194.8	-2.130
H9	-	-	-	370.1	205.6	-3.29
L1	-	-	-	402.0	211.0	-3.820
8.OF	395.0	179.3	-4.314	-	-	-
L2	-	-	-	401.3	202.9	-3.968
L3	-	-	-	401.0	194.4	-4.134
L4	-	-	-	401.1	190.6	-4.210
4.OF	396.3	174.5	-4.436	-	-	-
L5	-	-	-	401.0	191.1	-4.198
B. H	-	-	-	400.0	193.5	-4.13

Table 4-4 Variation Rate of Casing Temperatures on Low Sodium Level Test (-2700mm:EsL)

低液位試験(-2700mm:EsL) ケーシング温度変化率

試験時間 840時間

試験温度 400℃→200℃

ポンプ 軸方向 位置	アウターケーシング			インナーケーシング		
	試験開始時 温度(℃)	試験終了時 温度(℃)	平均温度変化率 (℃/hr)	試験開始時 温度(℃)	試験終了時 温度(℃)	平均温度変化率 (℃/hr)
R. UP	52	30	-0.026	-	-	-
R. CE	119	51	-0.082	107	47	-0.071
R. DO	152	61	-0.108	163	64	-0.118
CAG	215	81	-0.160	-	-	-
H1	-	-	-	236	86	-0.179
H3	289	108	-0.215	-	-	-
H5	-	-	-	307	112	-0.232
H9	-	-	-	377	132	-0.292
L1	-	-	-	403	145	-0.307
8.OF	397	140	-0.307	-	-	-
L2	-	-	-	402	153	-0.296
L3	-	-	-	402	156	-0.293
L4	-	-	-	402	165	-0.282
4.OF	398	161	-0.255	-	-	-
L5	-	-	-	403	175	-0.271
B. H	-	-	-	401	195	-0.245

Table 4-5 Variation Rate of Casing Temperatures on Low Sodium Level Test without Seal Gas (-2700mm)

低液位試験(-2700mm)・無シールガス試験のケーシング温度変化率

試験時間 1627時間, (-2700mm)

試験温度 400℃→180℃

ポンプ 軸方向 位 置	アウターケーシング			インナーケーシング		
	試験開始時 温度 (℃)	試験終了時 温度 (℃)	平均温度変化率 (℃/hr)	試験開始時 温度 (℃)	試験終了時 温度 (℃)	平均温度変化率 (℃/hr)
R. UP	72.3	39.9	-0.020	-	-	-
R. CE	140.4	57.4	-0.051	129.9	55.1	-0.047
R. DO	170.9	66.4	-0.064	182.6	68.9	-0.070
CAG	229.3	82.8	-0.090	-	-	-
H1	-	-	-	248.6	86.4	-0.100
H3	296.3	103.4	-0.119	-	-	-
H5	-	-	-	313.8	107.0	-0.127
H9	-	-	-	373.5	123.6	-0.154
L1	-	-	-	401.8	134.8	-0.164
8.OF	396.0	131.3	-0.163	-	-	-
L2	-	-	-	401.4	141.8	-0.160
L3	-	-	-	401.3	144.5	-0.158
L4	-	-	-	401.1	151.4	-0.153
4.OF	396.8	149.0	-0.152	-	-	-
L5	-	-	-	400.8	162.3	-0.147
B. H	-	-	-	400.0	178.0	-0.136

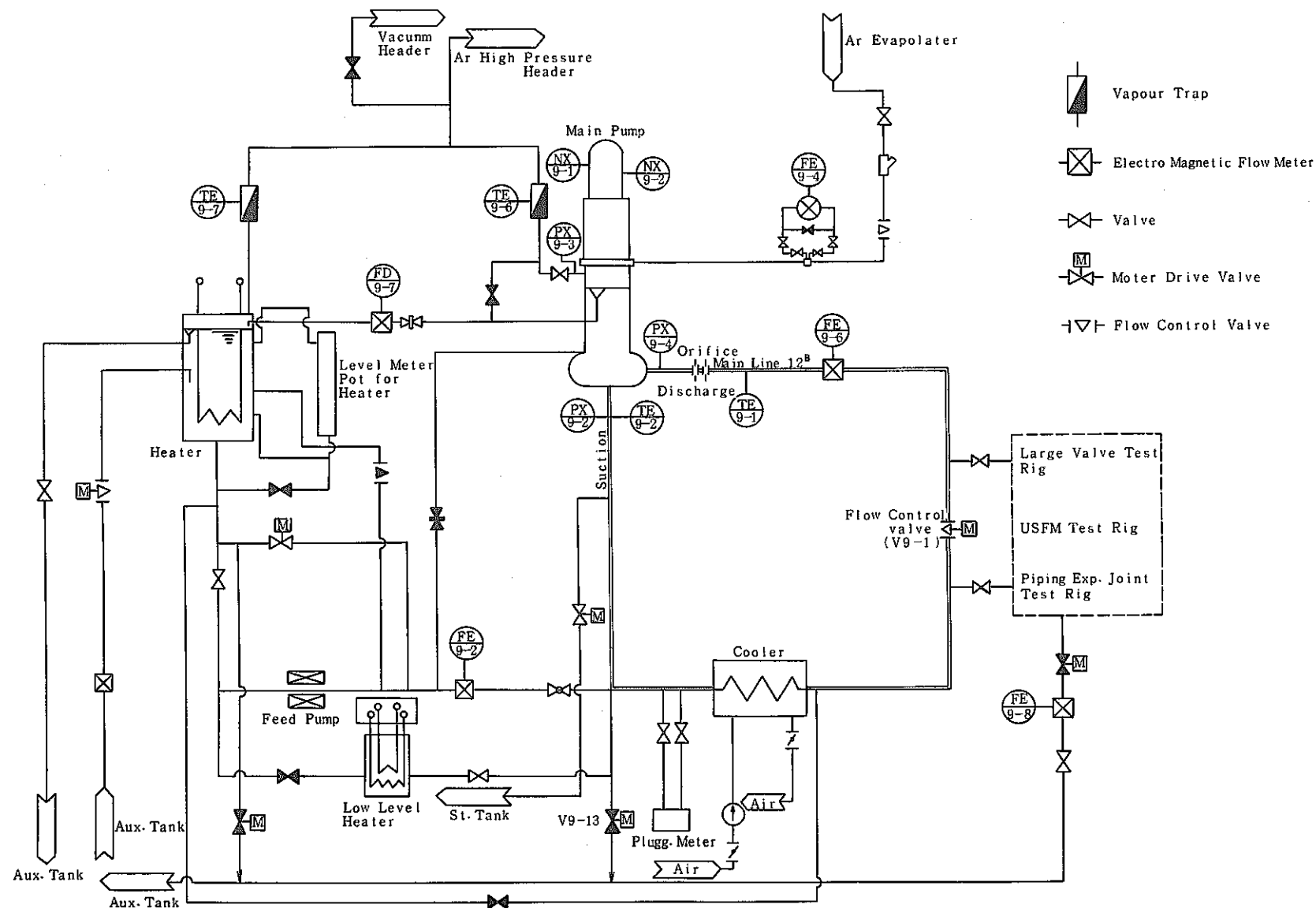


Fig. 2-1 Flow Diagram of Sodium Pump Test Loop

大型ナトリウムポンプ試験装置系統図

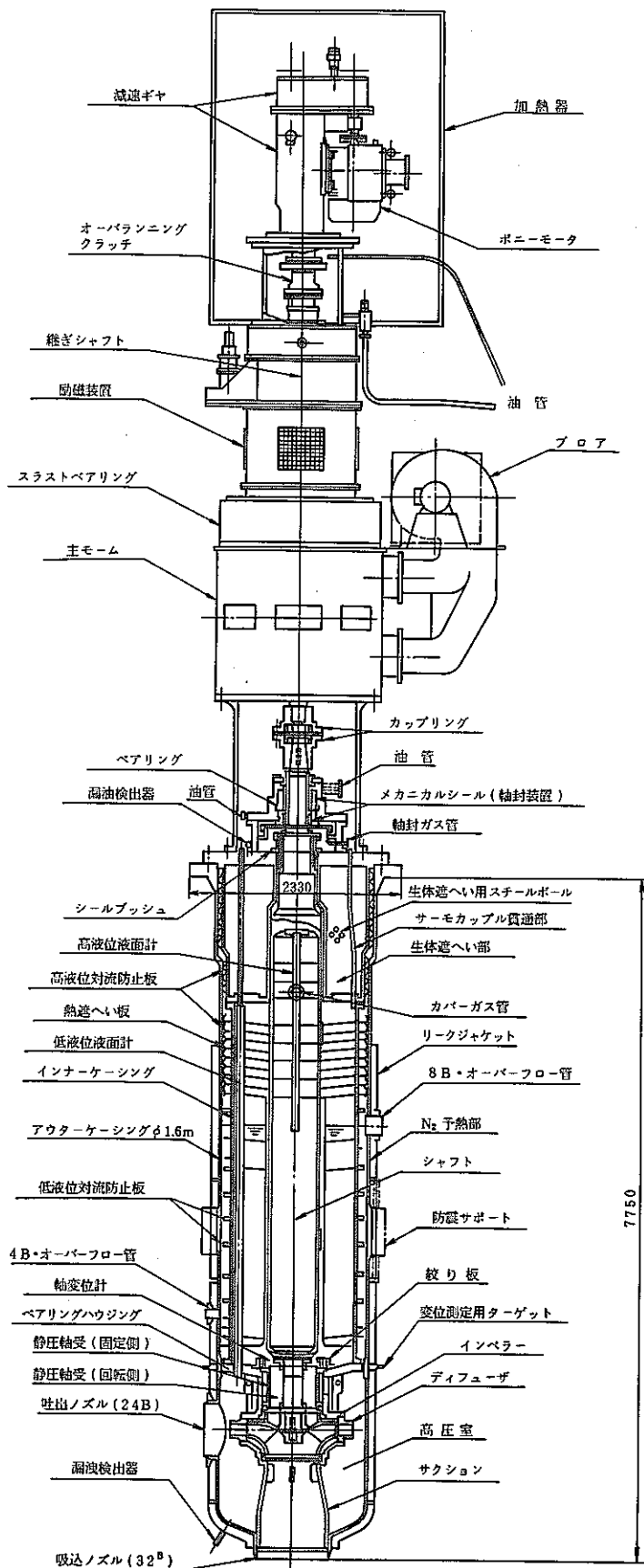
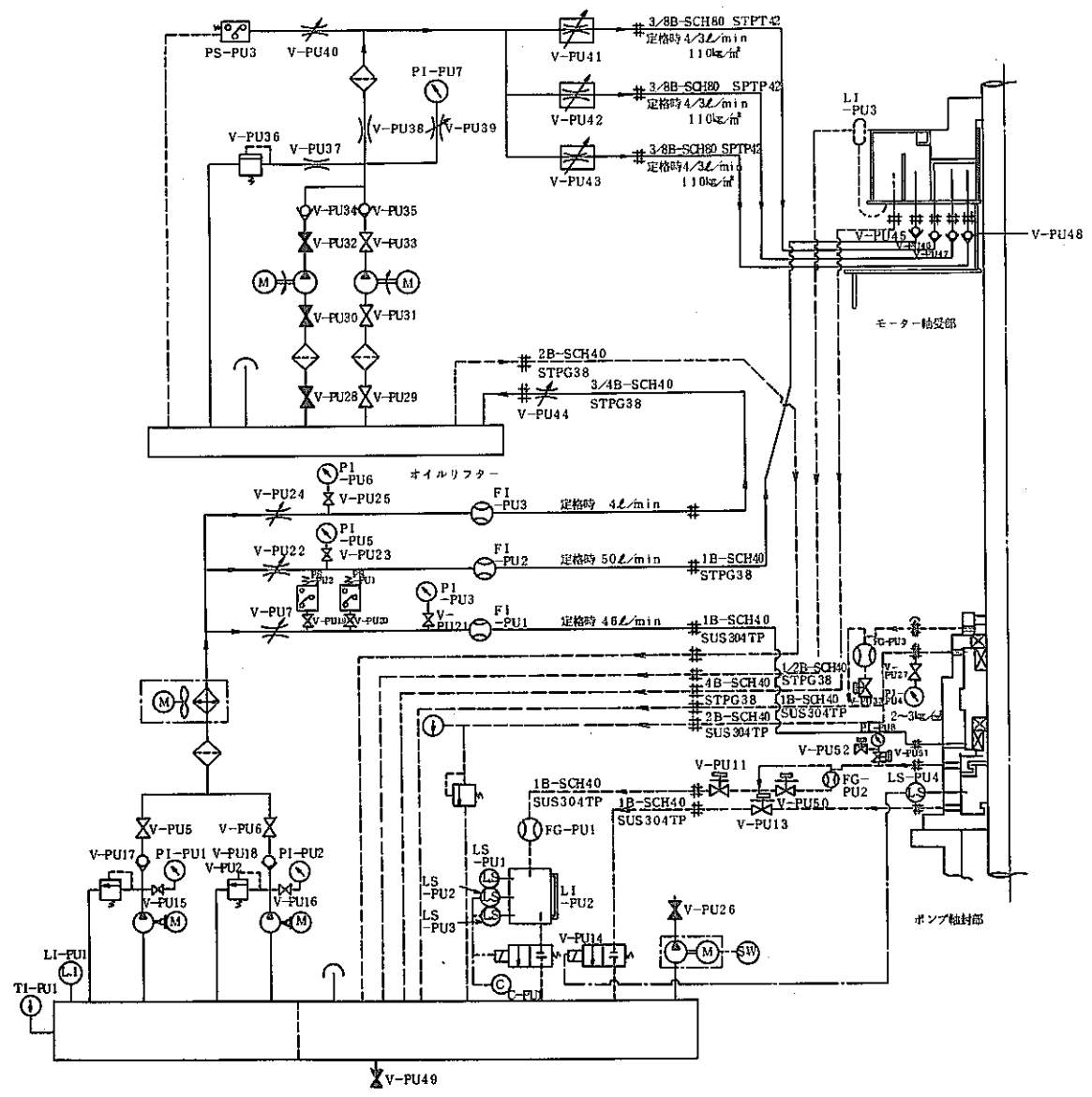


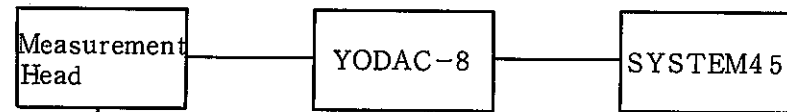
Fig.2-2 Whole Cross section of MONJU Primary Prototype Pump
「もんじゅ」1次主循環ポンプ (モックアップ) 構造断面図



系統図表示記号			
記号	名称	記号	名称
○	回転継手	⊕	ポンプ
井	井	⊖	モーター
◇	チェックバルブ	⊙	回数計
安全井	安全井	◇	冷却器
固定絞り	固定絞り	—	給油ライン
可変絞り井	可変絞り井	---	戻り油ライン
流量調整弁	流量調整弁	⌒	通気管路
真空バルブ	真空バルブ		
ソレノイドバルブ	ソレノイドバルブ		
圧力計	圧力計		
圧カスイッチ	圧カスイッチ		
流量計	流量計		
温度計	温度計		
レベルスイッチ	レベルスイッチ		
液面計	液面計		
フィルター	フィルター		

機器設定一覧表		
記号	名称	設定値
V-PU1	安全弁	10kg/cm ²
V-PU2	安全弁	10kg/cm ²
V-PU12	ソレノイドバルブ	F, C
V-PU14	ソレノイドバルブ	F, C
V-PU36	安全弁	110kg/cm ²
PS-PU1	圧カスイッチ	0.5MPa
PS-PU2	圧カスイッチ	0.5MPa
PS-PU3	圧カスイッチ	0.5MPa
LS-PU1	レベルスイッチ	10L
LS-PU2	レベルスイッチ	8L
LS-PU3	レベルスイッチ	5L
LS-PU4	レベルスイッチ	48L
TS-PU1	接点付温度計	75℃

Fig.2-3 Flow Diagram of the Shaft Sealing
モックアップ軸封系統図



Main Flow Rate[0~25m³/min](Fx9-6)
 Pump Inlet Pressure[-1~2kg/cm²g](Px9-2)
 Pump Outlet Pressure[-1~10kg/cm²g](Px9-4)
 Pump Inlet Temperature[0~600°C](Tx9-2)
 Pump Speed[0~1000rpm](Nx9-1, 9-2)
 Over Flow Rate[0~1.5m³/min](Fx9-2)
 Cover Gas Pressure[-1~1kg/cm²g](Px9-3)
 Pump Na Level[-100~60cm](Lx9-11)
 Heater Na Level[-105~25cm](Lx9-13)
 Pump Current[0~1000A](Ax9-1)

[]: Span

(): Measuring Apparatus

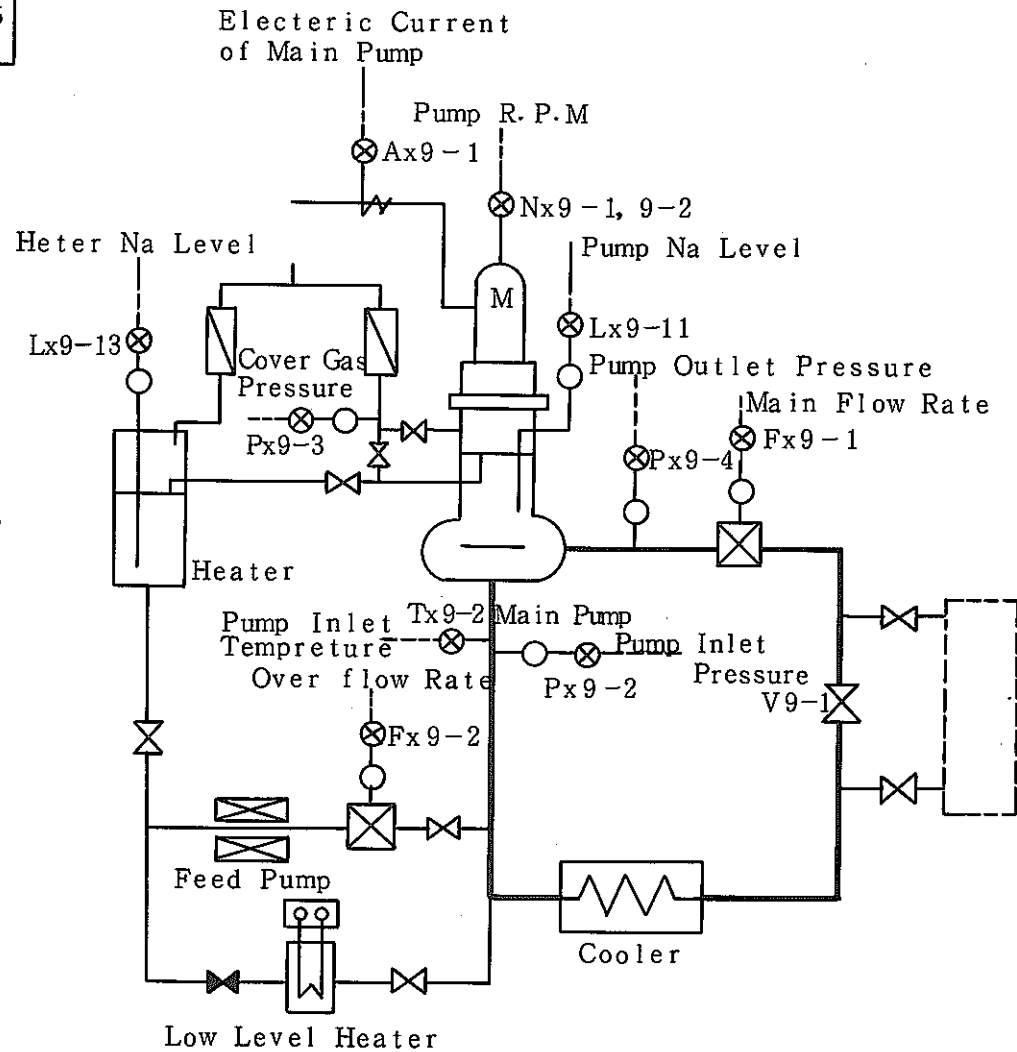


Fig.3-1 Data processing system by using of mini-computer System45

ミニコンピュータシステムデータ45 データ収録方法

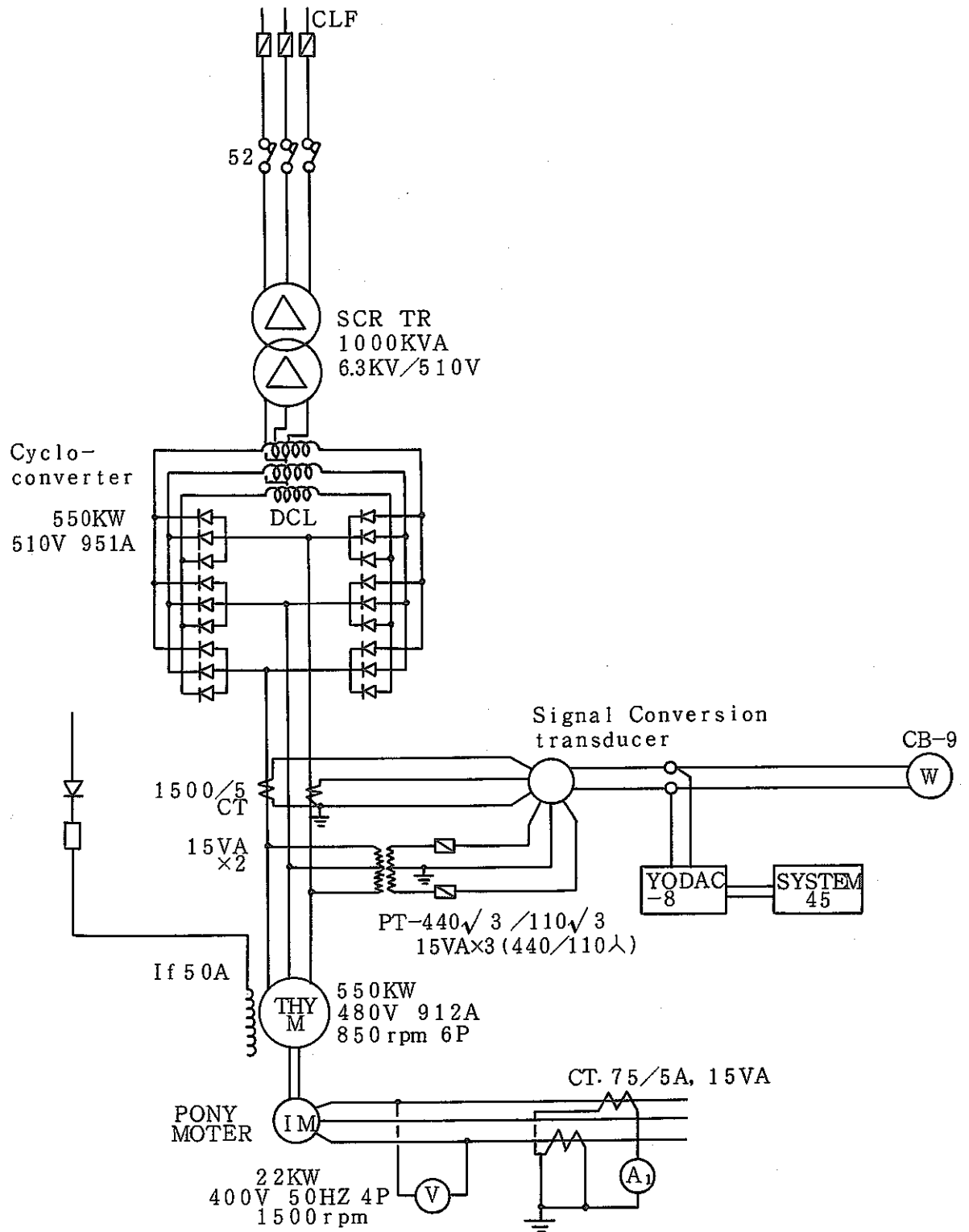
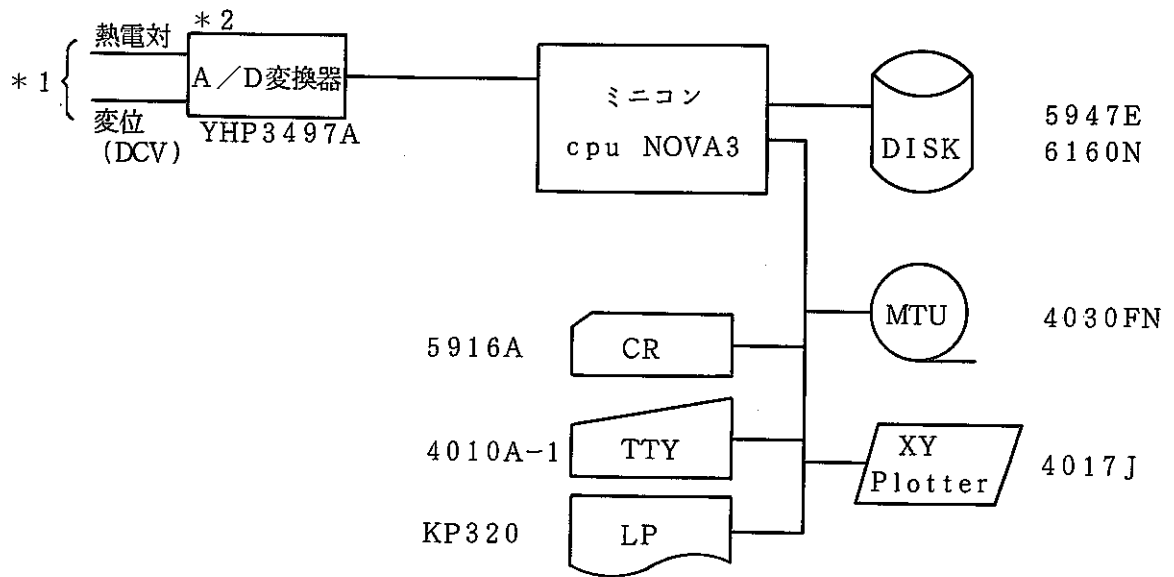


Fig.3-2 Electric Power Measuring System of Driving Motor
駆動用電動機の電力計測方法



*1 入力信号仕様

種 類	点数	測定範囲
熱伝対 (クロメル-アルメル)	160点	0~600℃
軸変位DCV	8点	DC±200mVmax

*2 A/D変換器仕様

CA熱電対約160点と直流±200mV8点の入力信号を100点/秒程度の速度で測定できる。

Fig. 3-3 Systematic Composition of Mini-Computer NOVA3
ミニコンピュータNOVA3のシステム構成

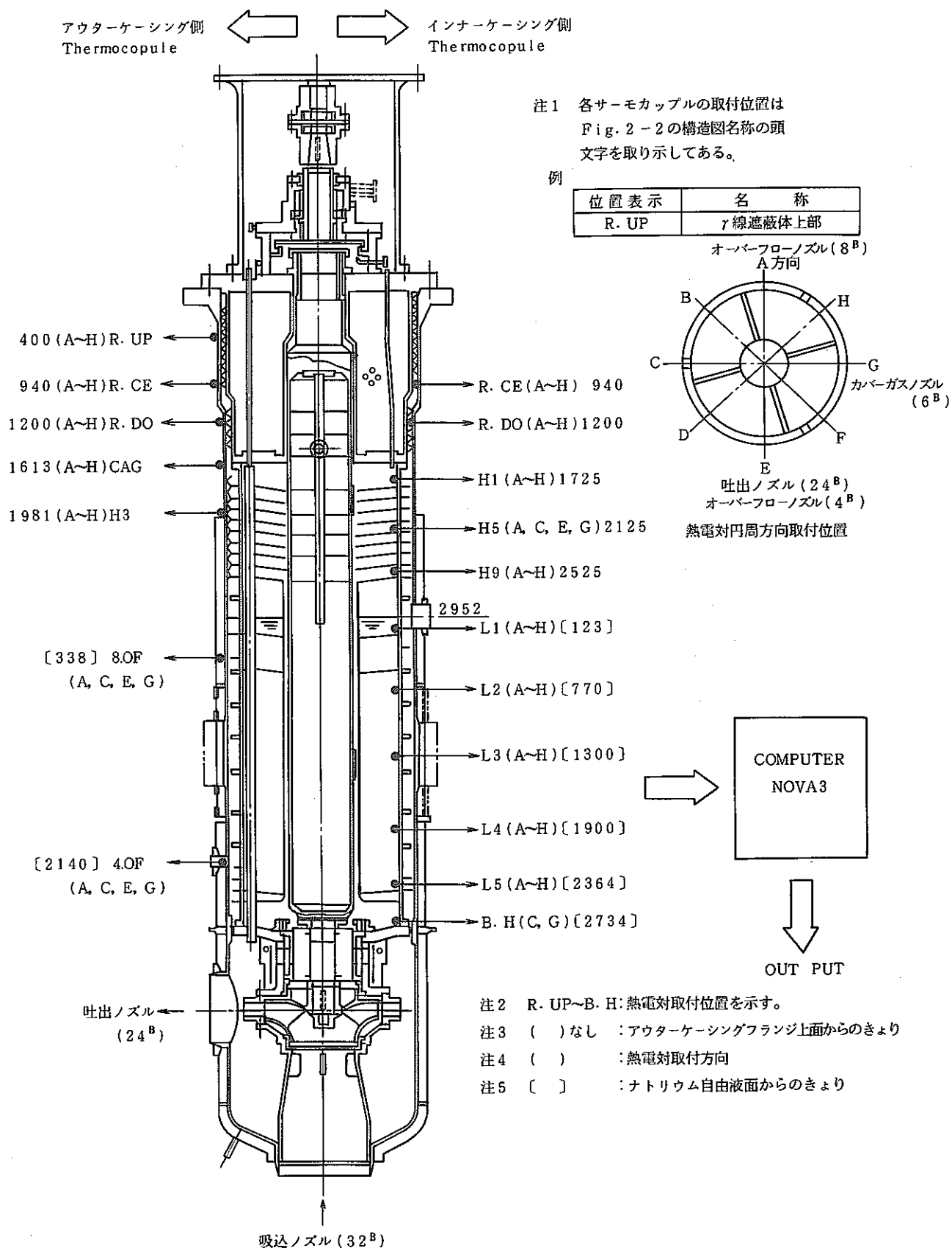


Fig. 3-4 Thermocouple Positions in the Pump
 ポンプケーシング熱電対取付位置図

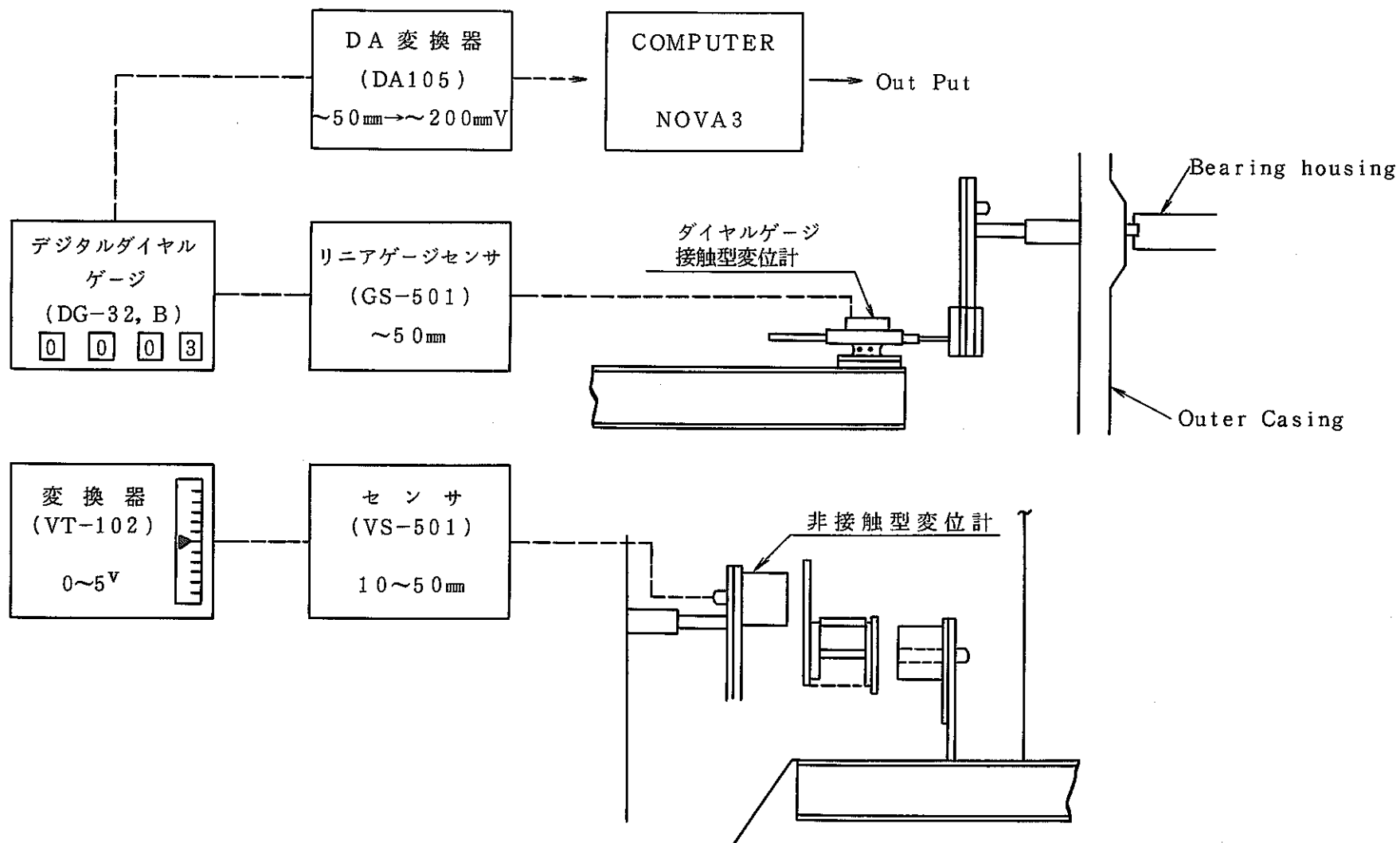


Fig. 3-5 Composition of Displacement Meter for Outer-Casing
 アウターケーシング変位計機器構成

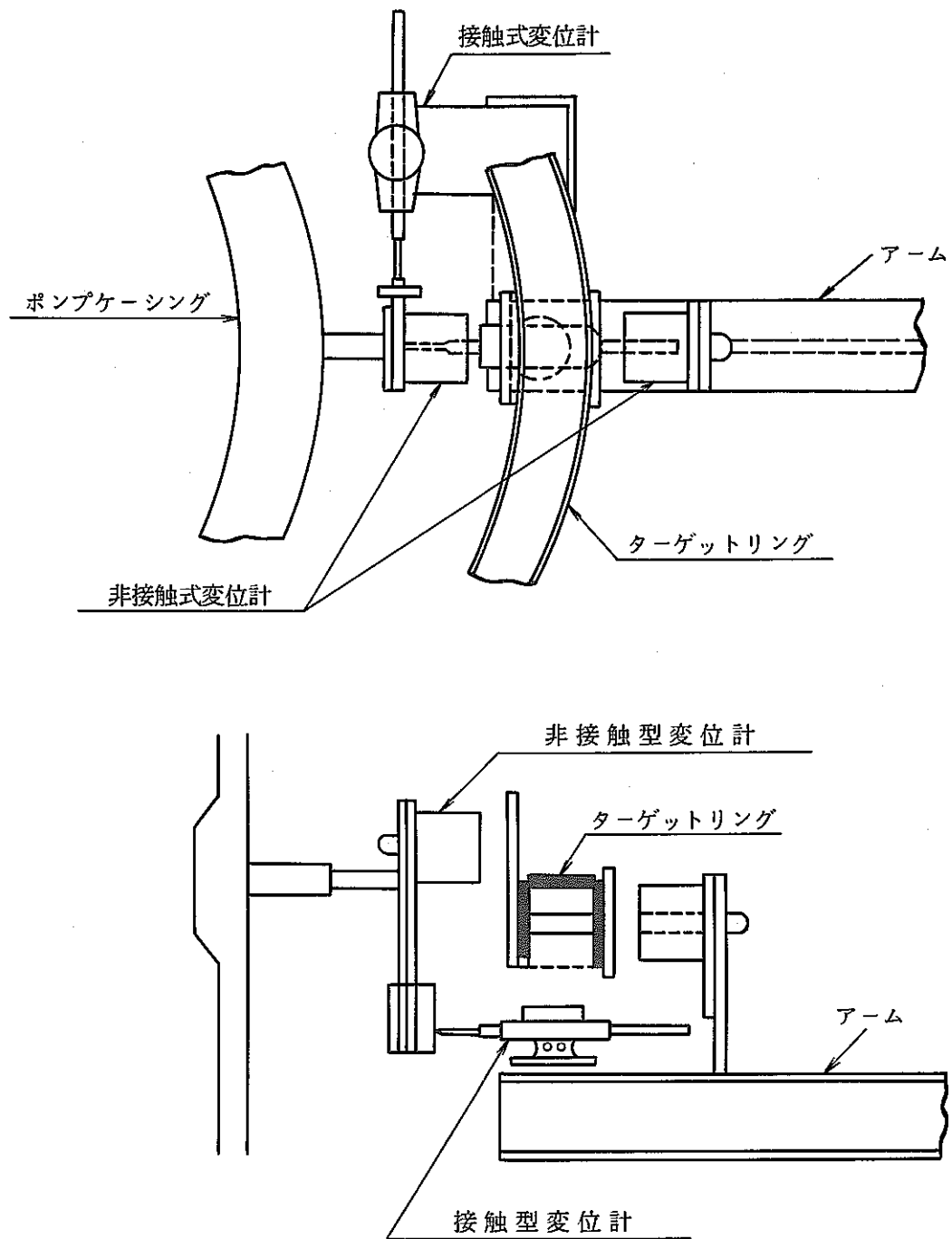


Fig. 3-6 Setting of Displacement Meter
変位計取付図

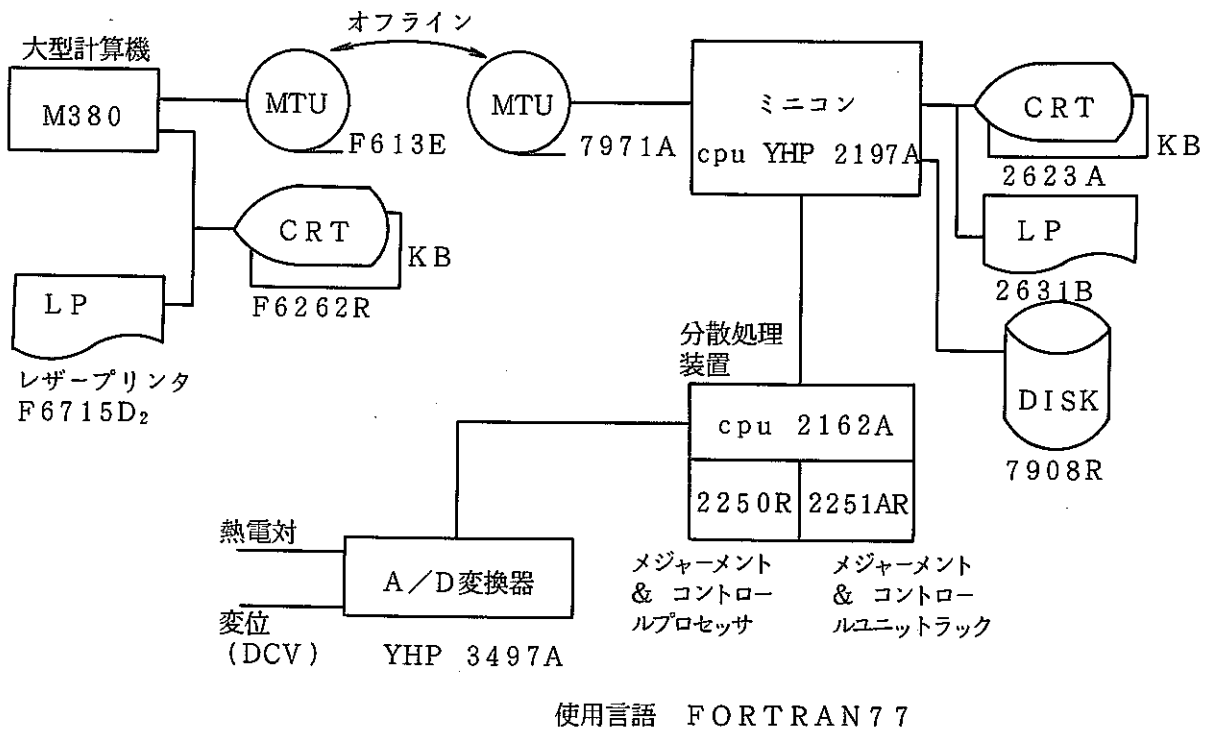


Fig. 3-7 On-line Data Processing System
オンラインデータ分散処理システム構成

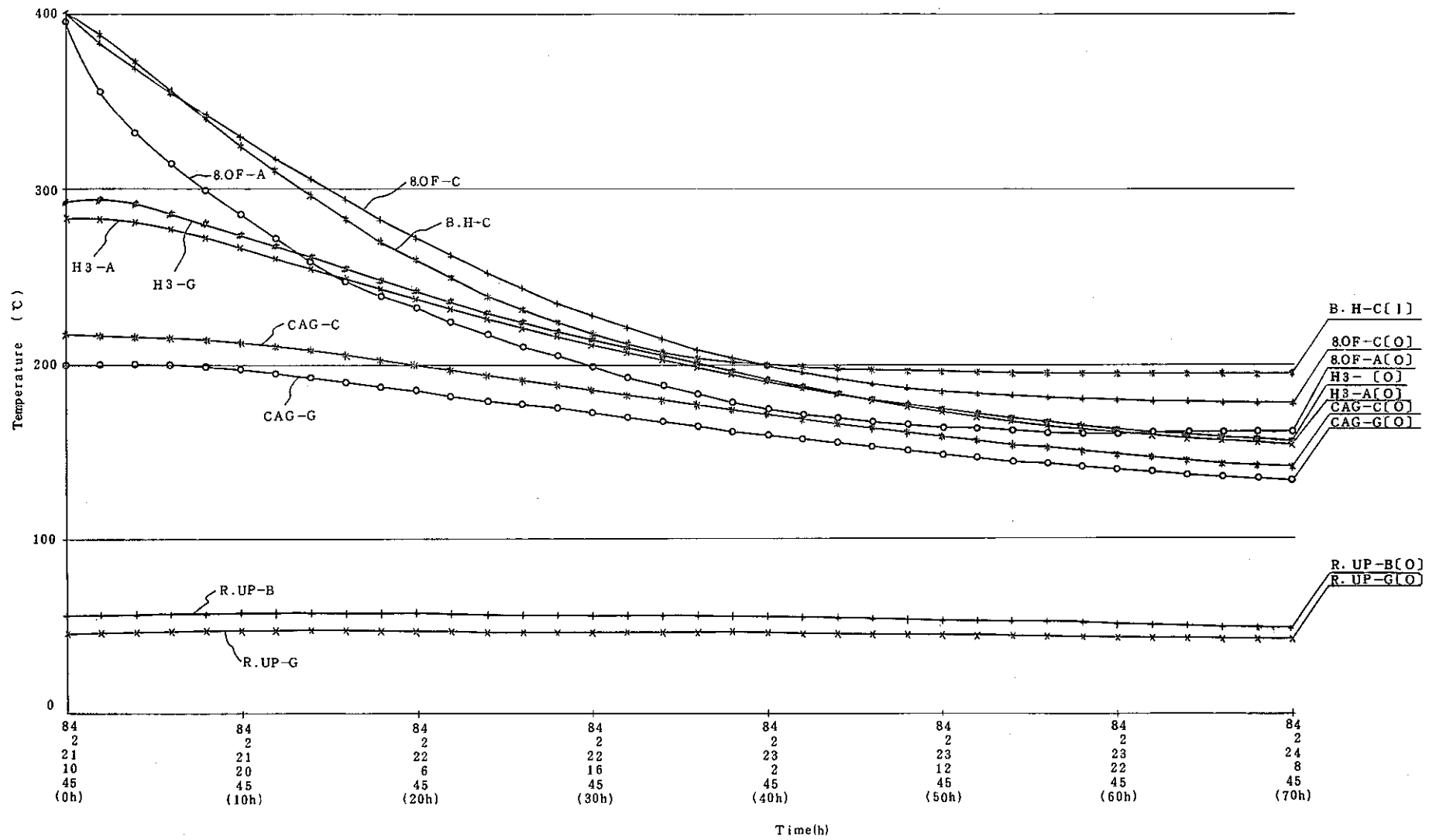


Fig. 4-1 Temperature Variation on Outer-casing for Low Sodium Level Test (-770mm)

低液位試験 (-770mm) アウターケーシング温度変化

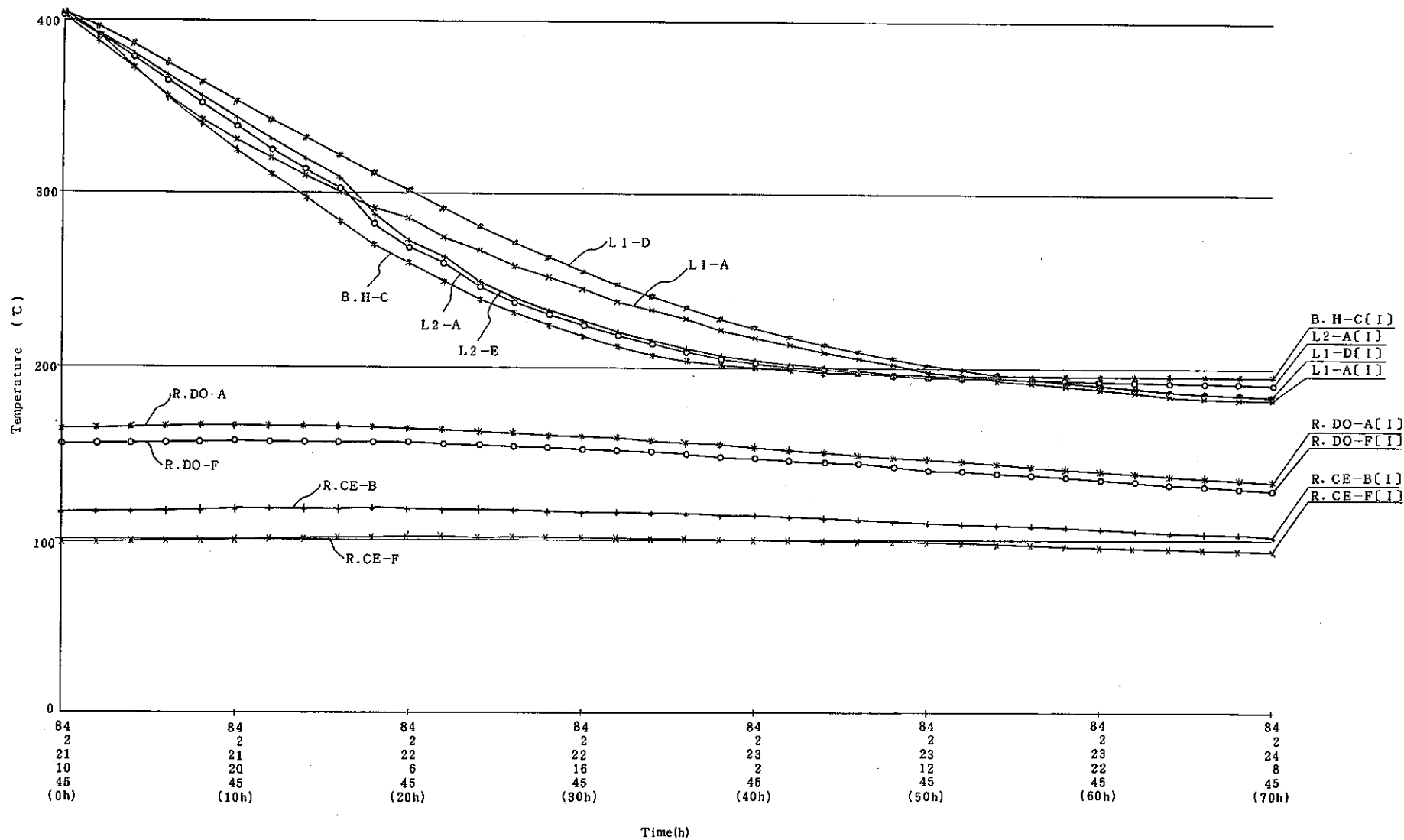


Fig. 4-2 Temperature Variation on Inner-casing for Low Sodium Level Test (-770mm)

低液位試験(-770mm) インナーケーシング温度変化

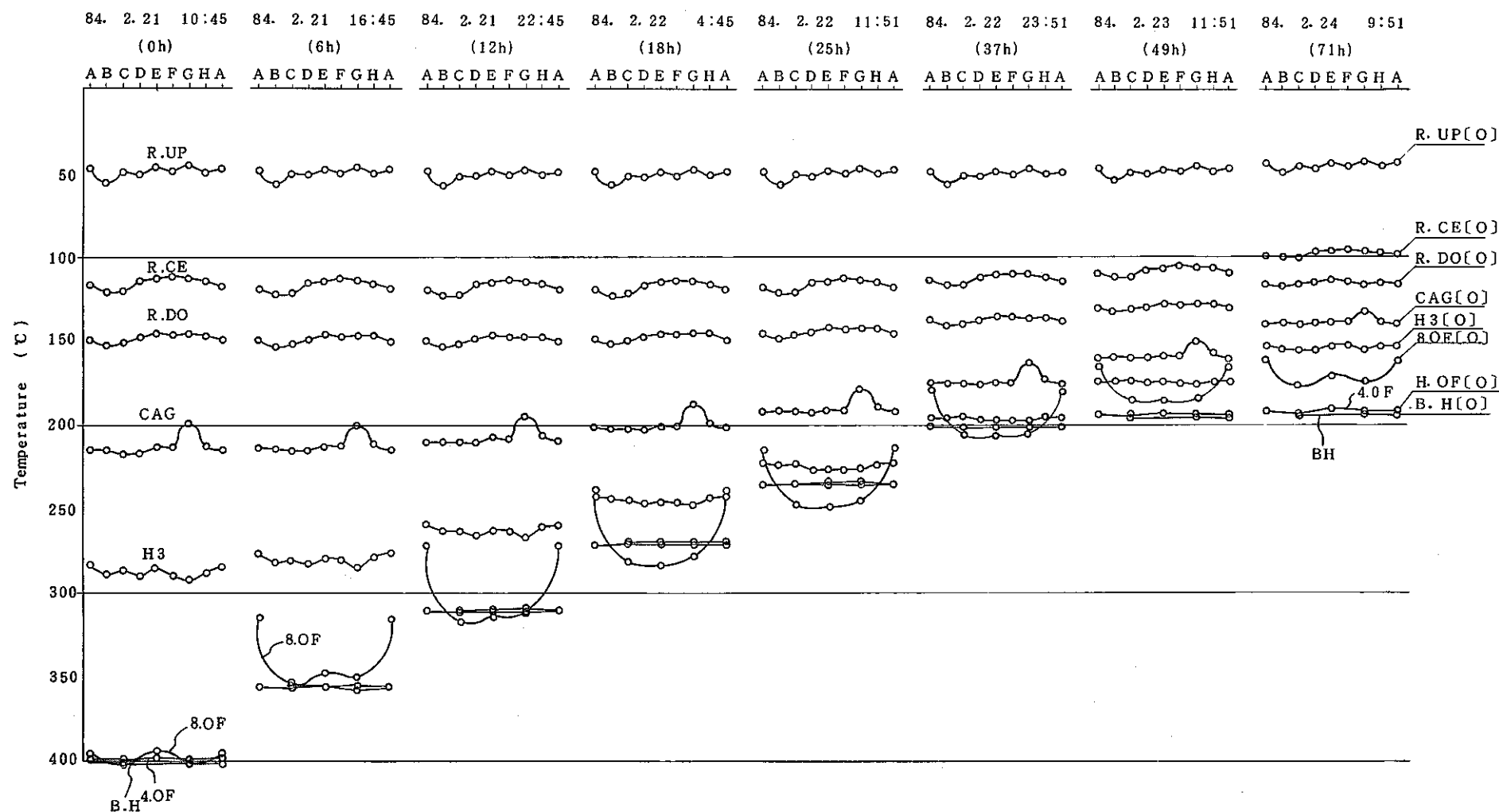


Fig. 4-3 Radial Temperature Distribution on Outer-casing for Low Sodium Level Test (-770mm)

低液位試験 (-770mm) アウターケーシング周方向温度分布

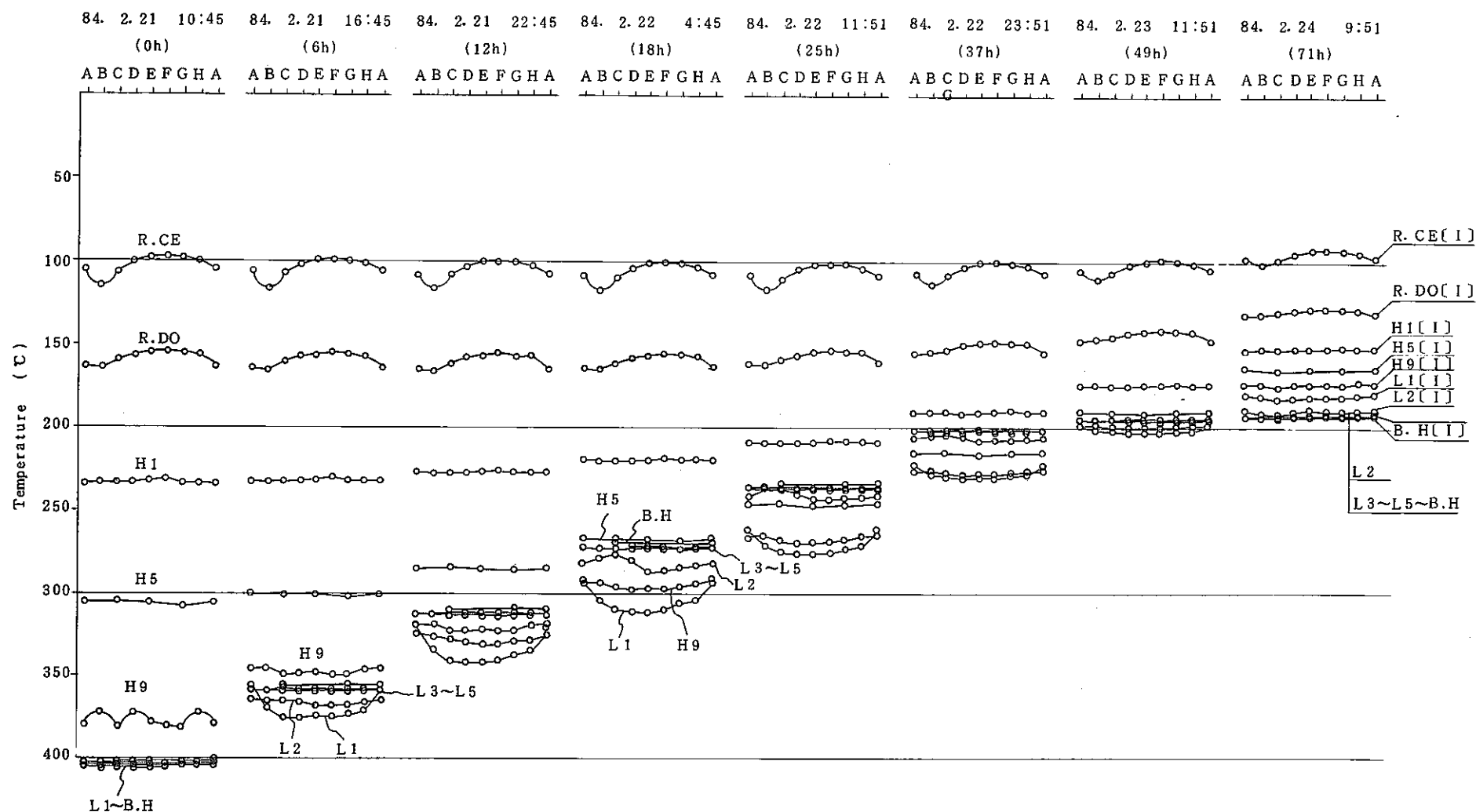


Fig. 4-4 Radial Temperature Distribution on Inner-casing for Low Sodium Level Test (-770mm)

低液位試験 (-770mm) インナーケーシング周方向温度分布

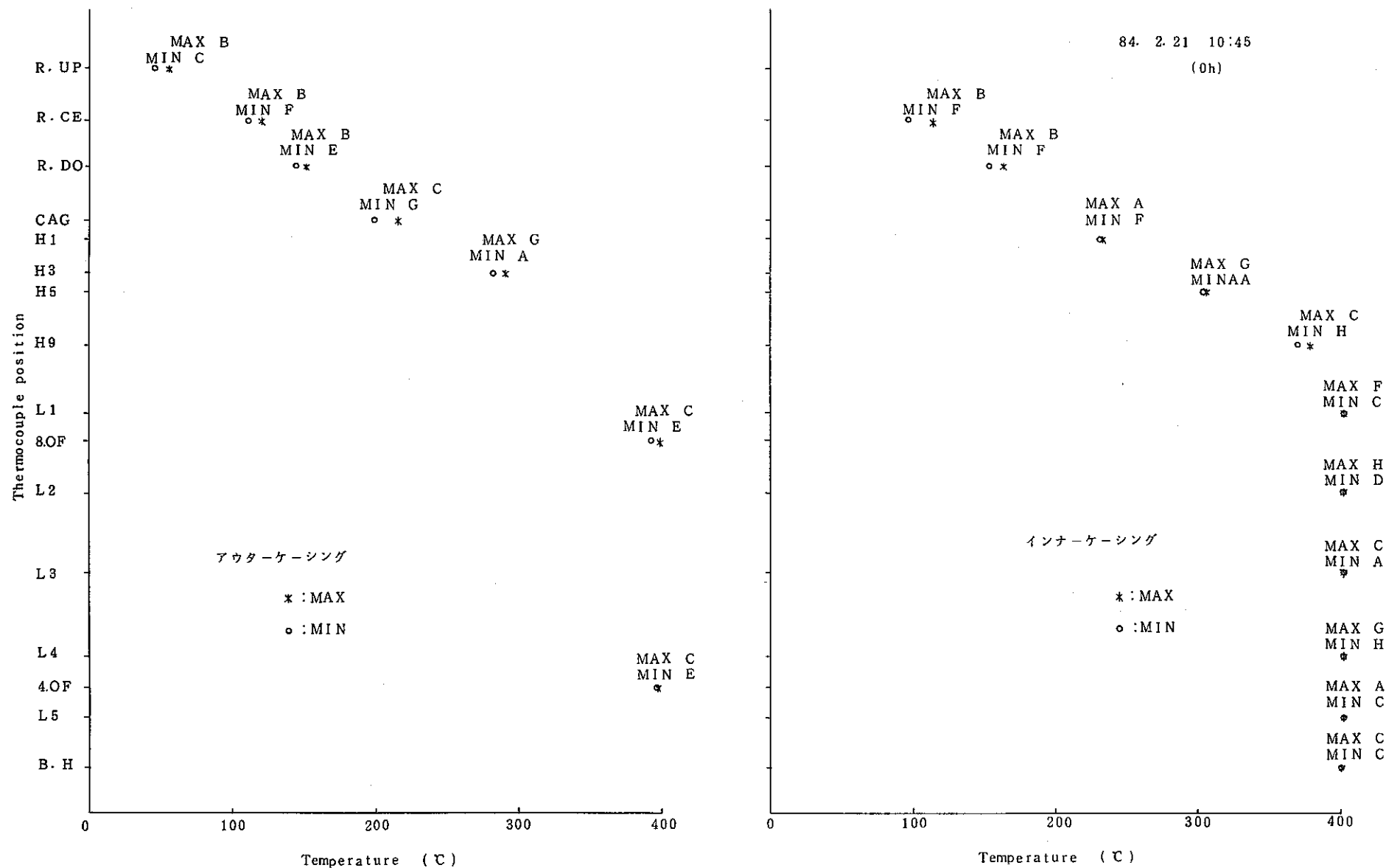


Fig. 4-5 Maximum and Minimum Radial Temperatures on Casing at the Start of Low Sodium Level Test (-770mm)

低液位試験 (-770mm) 開始時のケーシング周方向最大最小温度

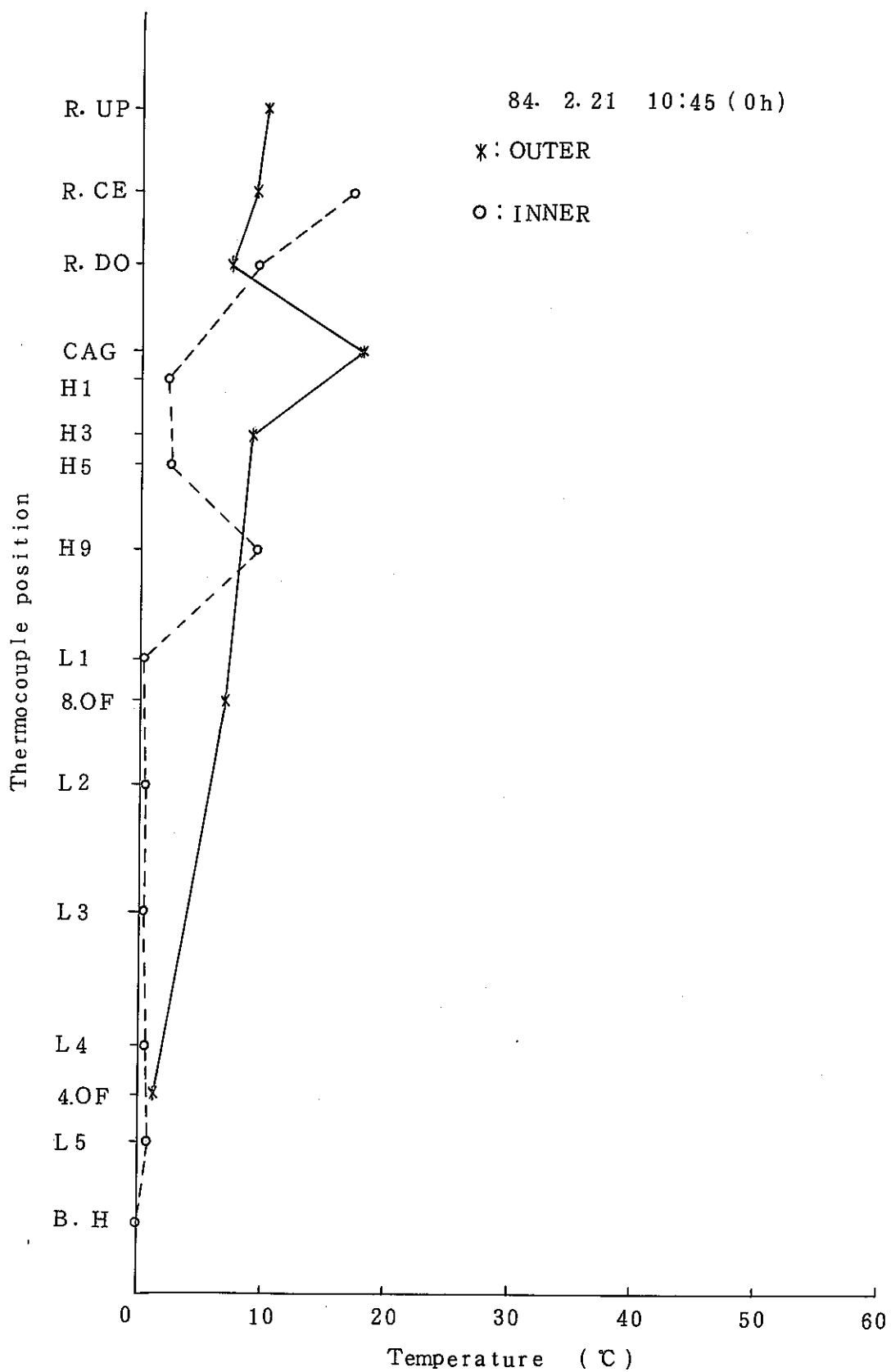


Fig. 4-6 Radial Temperature Difference on Casing at the Start of Low Sodium Level Test (-770mm)
低液位試験(-770mm)開始時のケーシング周方向温度差

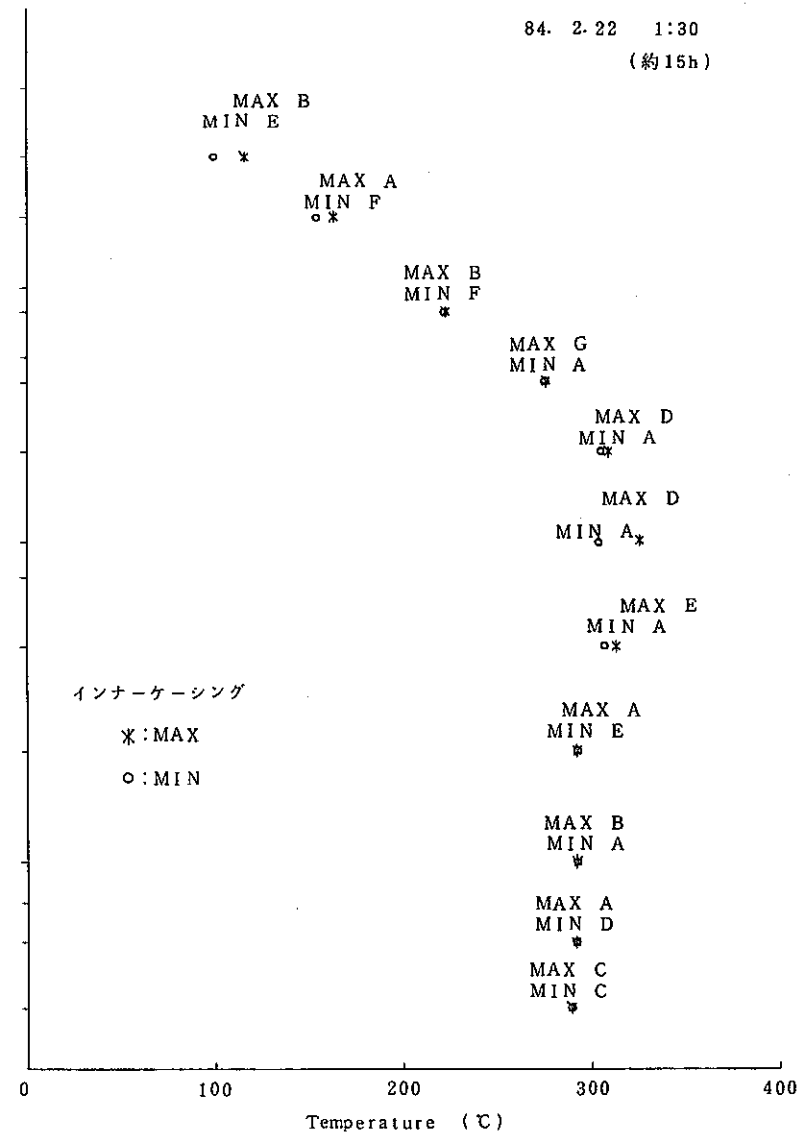
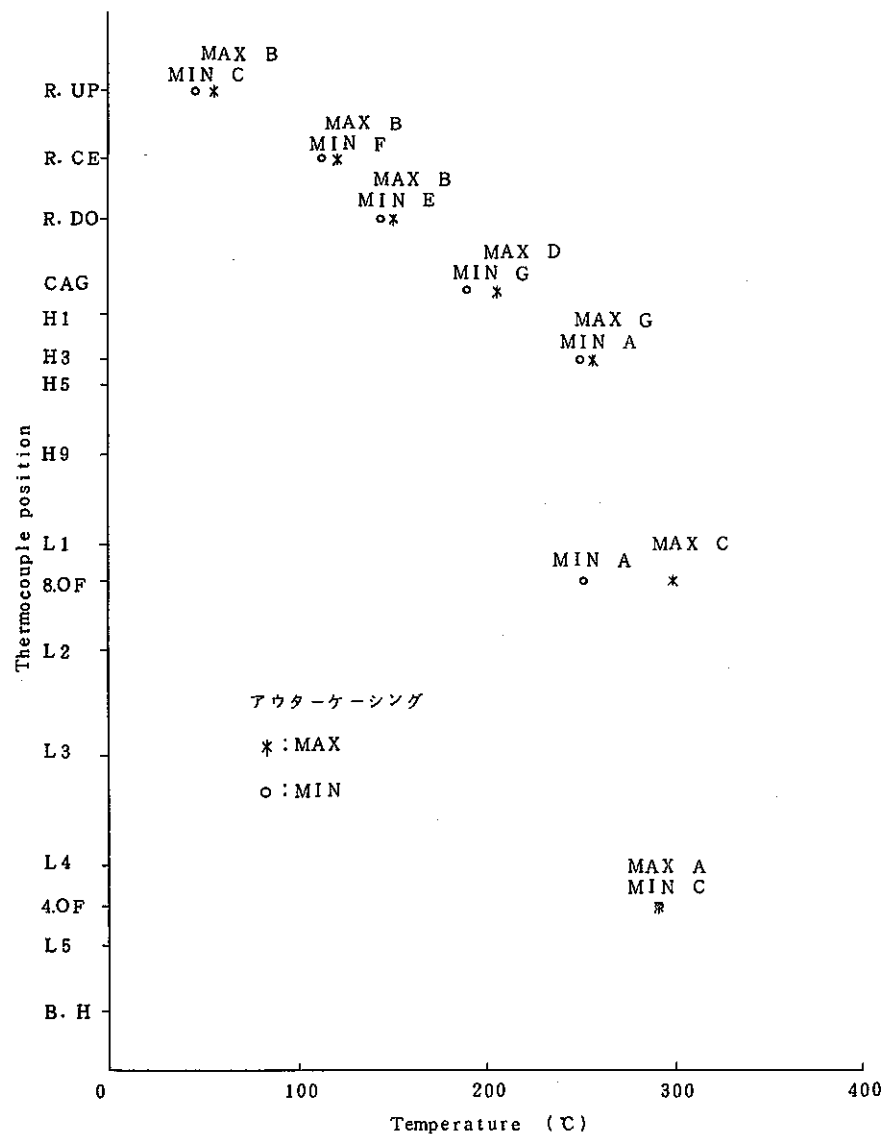


Fig. 4-7 Maximum and Minimum Radial Temperatures on Casing for Low Sodium Level Test (-770mm) (at the Peak)

低液位試験 (-770mm) ケーシング周方向最大、最小温度 (ピーク時)

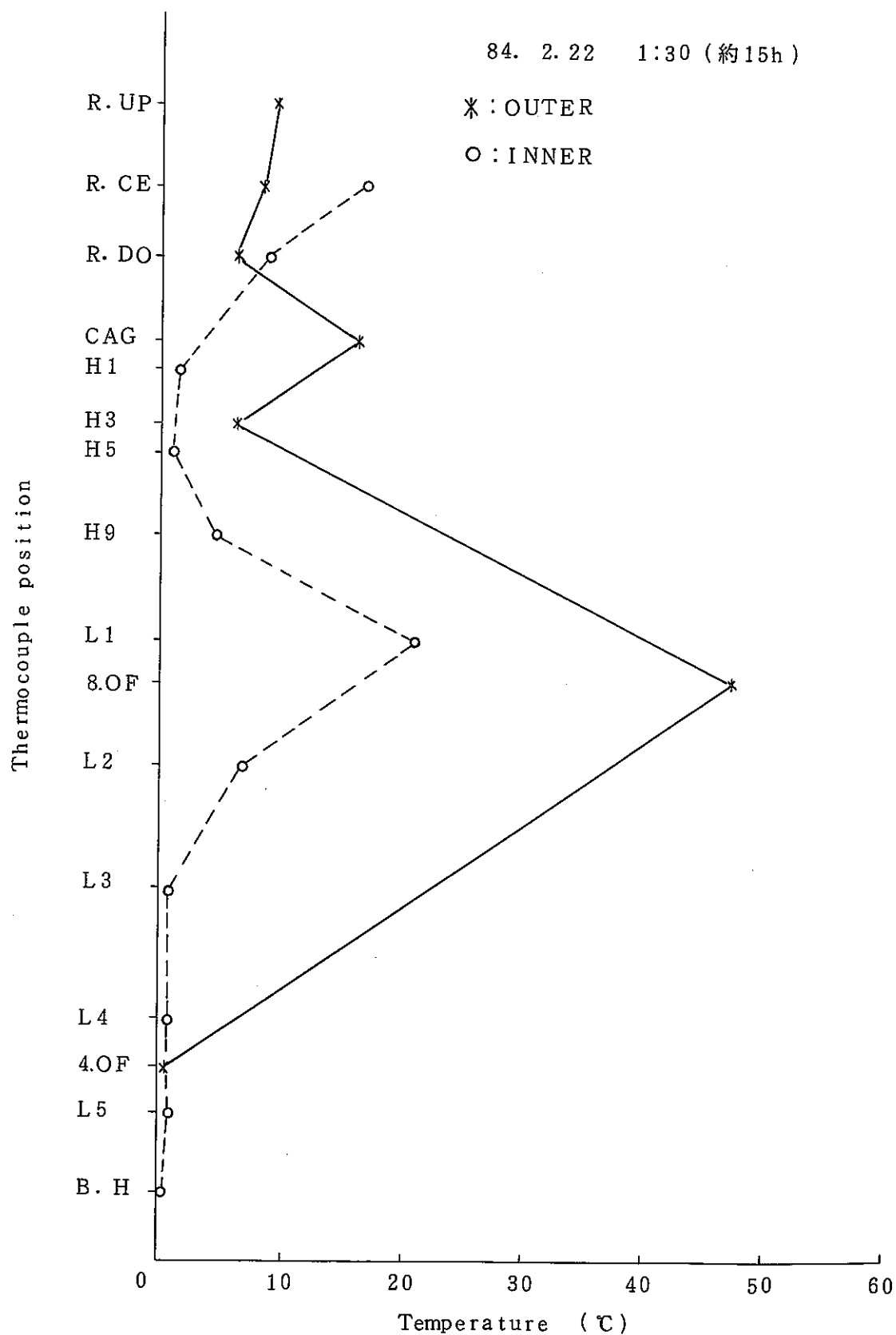


Fig. 4-8 Radial Temperature Difference on Casing for
Low Sodium Level Test (-770mm) (at the Peak)
低液位試験 (-770mm) ケーシング周方向温度差 (ピーク時)

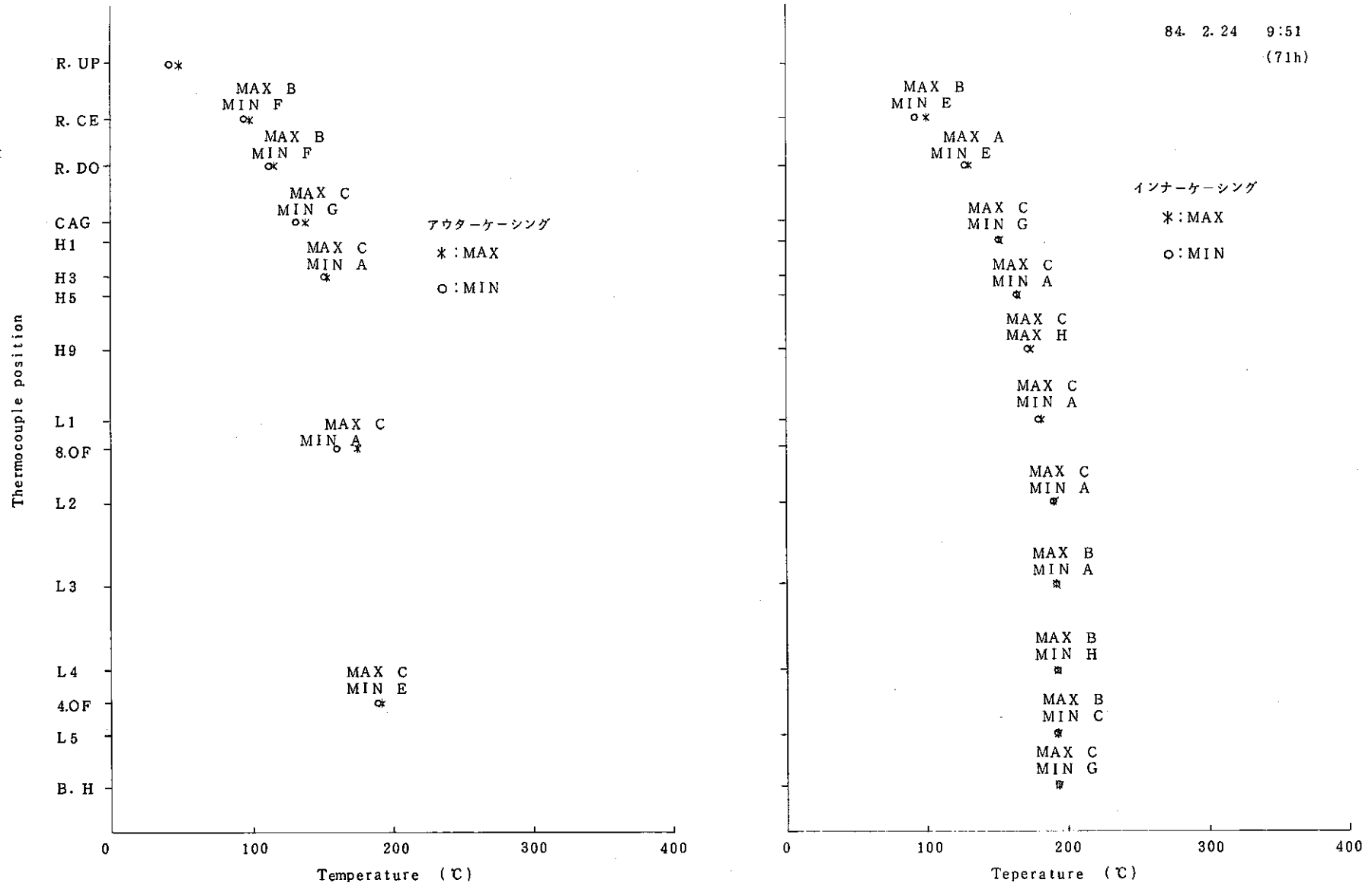


Fig. 4-9 Maximum and Minimum Radial Temperatures on Casing at the finish of Low Sodium Level Test (-770mm)

低液位試験(-770mm)終了時のケーシング周方向最大, 最小温度

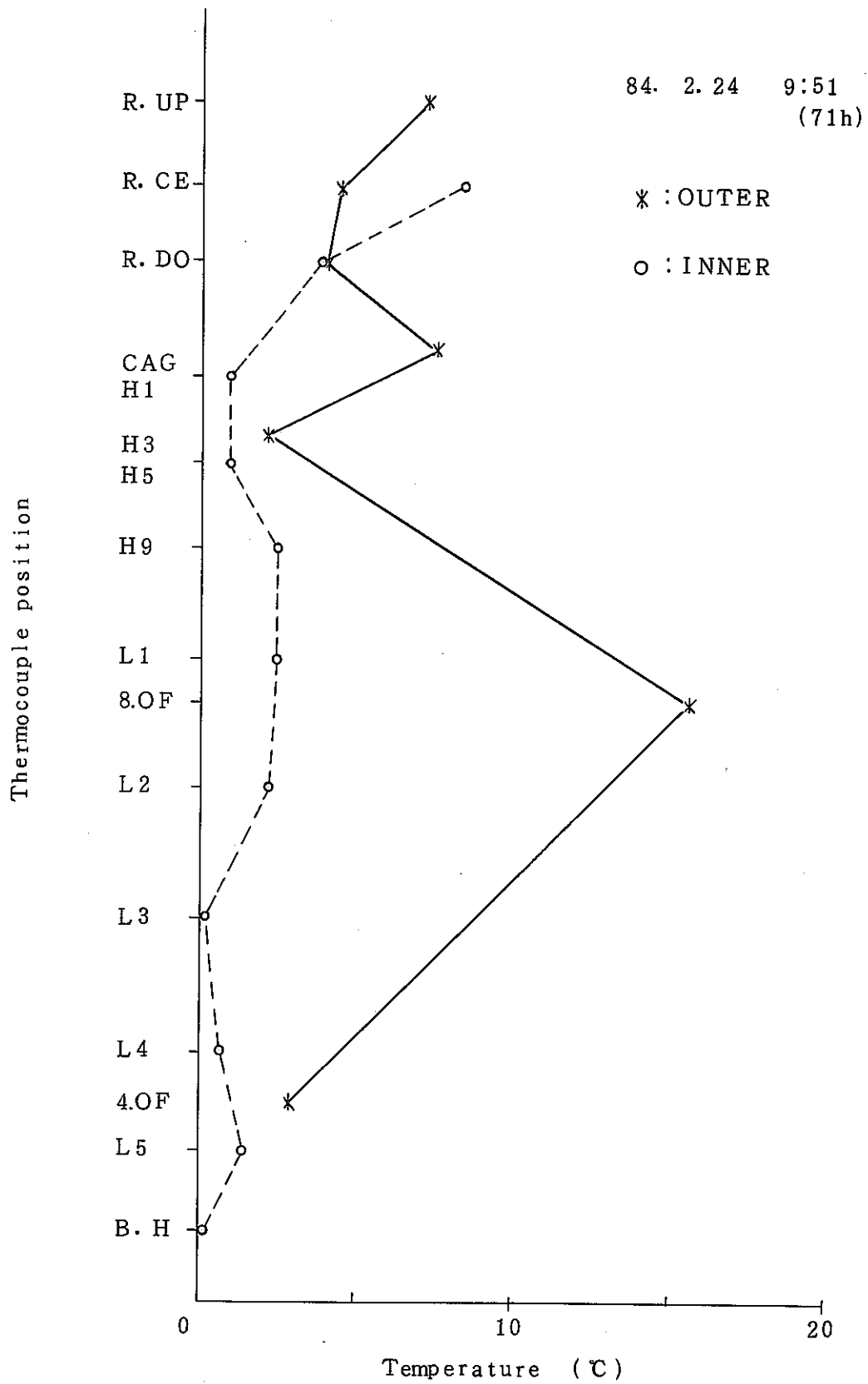


Fig. 4-10 Radial Temperature Difference on Casing at the finish of Low Sodium Level Test (-770mm)

低液位試験(-770mm)終了時のケーシング周方向温度差

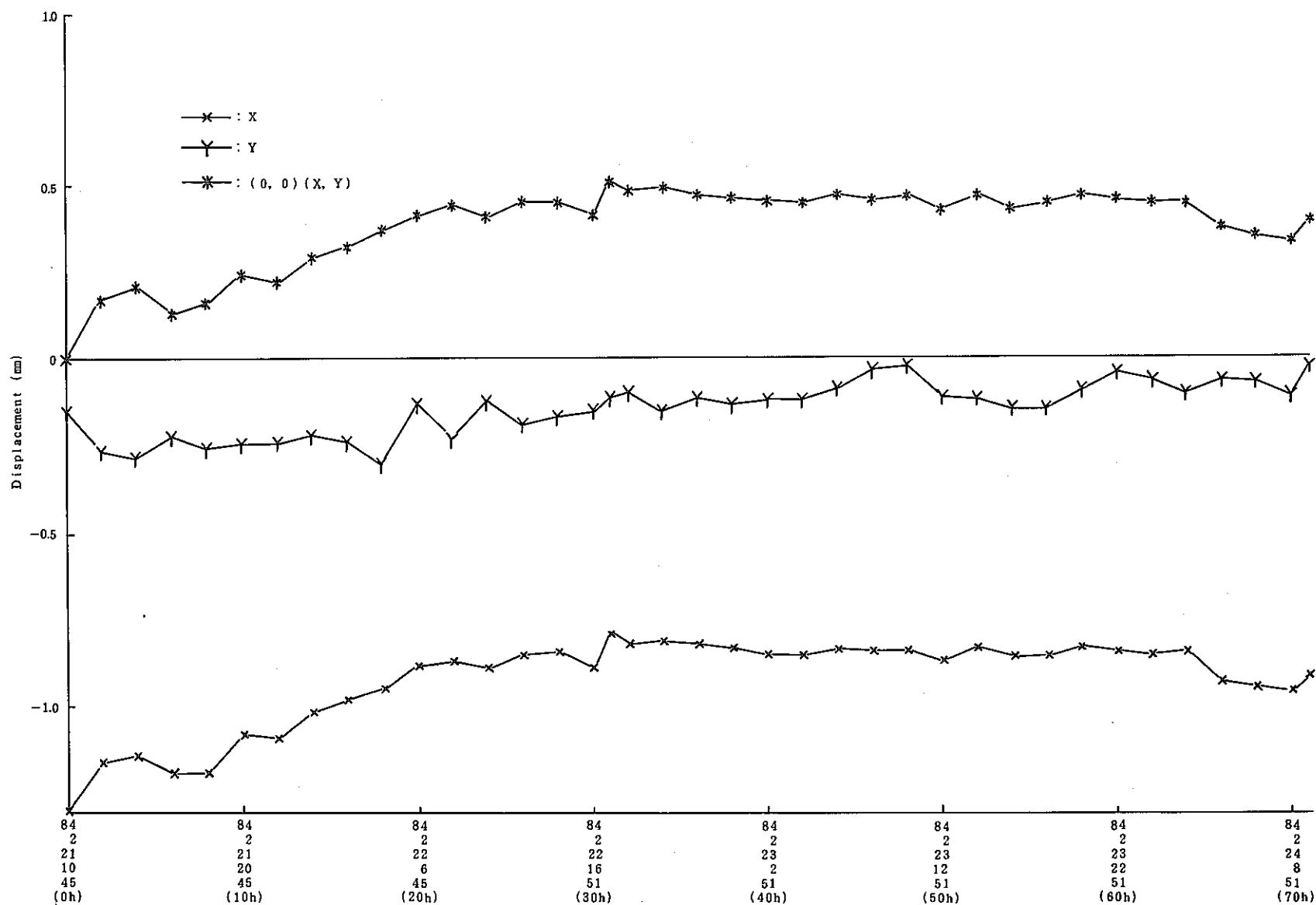


Fig. 4-11 Variation of Outer-casing Displacement for Low Sodium Level Test (-770mm)

低液位試験 (-770mm) アウターケーシング変位変化

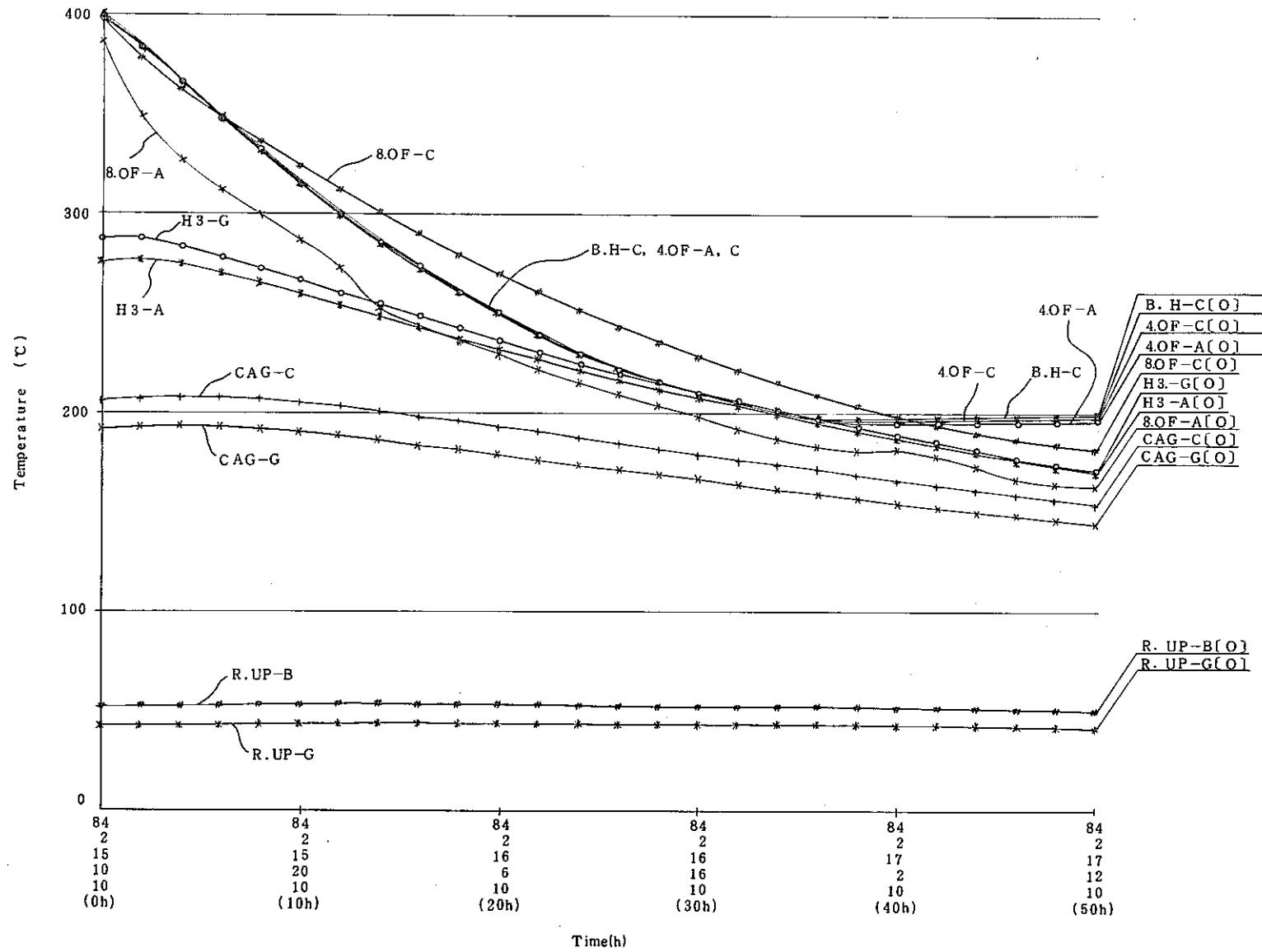


Fig. 4-12 Temperature Variation on Outer-casing for Low Sodium Level Test (-1300mm)
 低液位試験(-1300mm) アウターケーシング温度変化

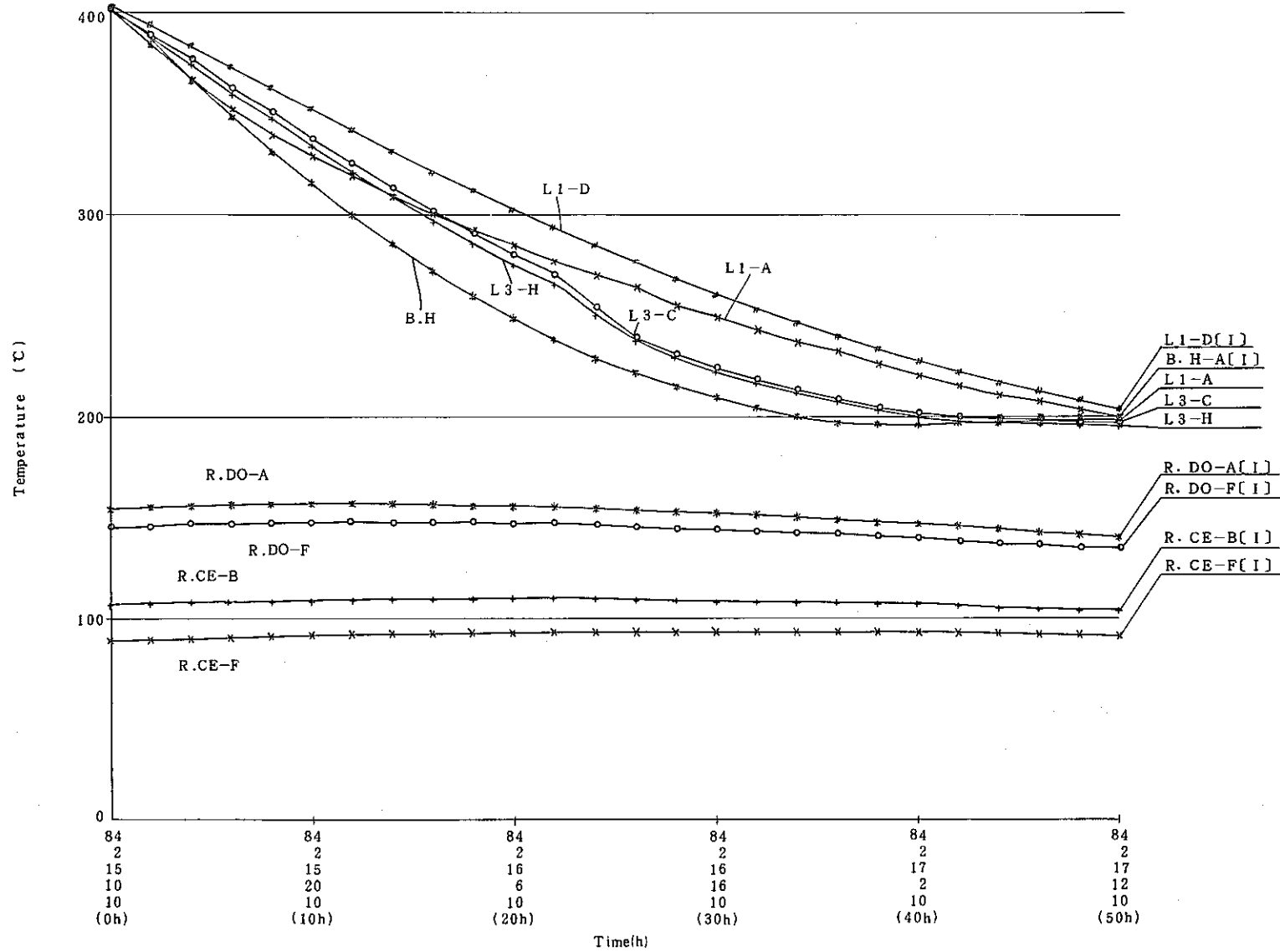


Fig. 4-13 Temperature Variation on Inner-casing for Low Sodium Level Test (-1300mm)

低液位試験(-1300mm) インナーケーシング温度変化

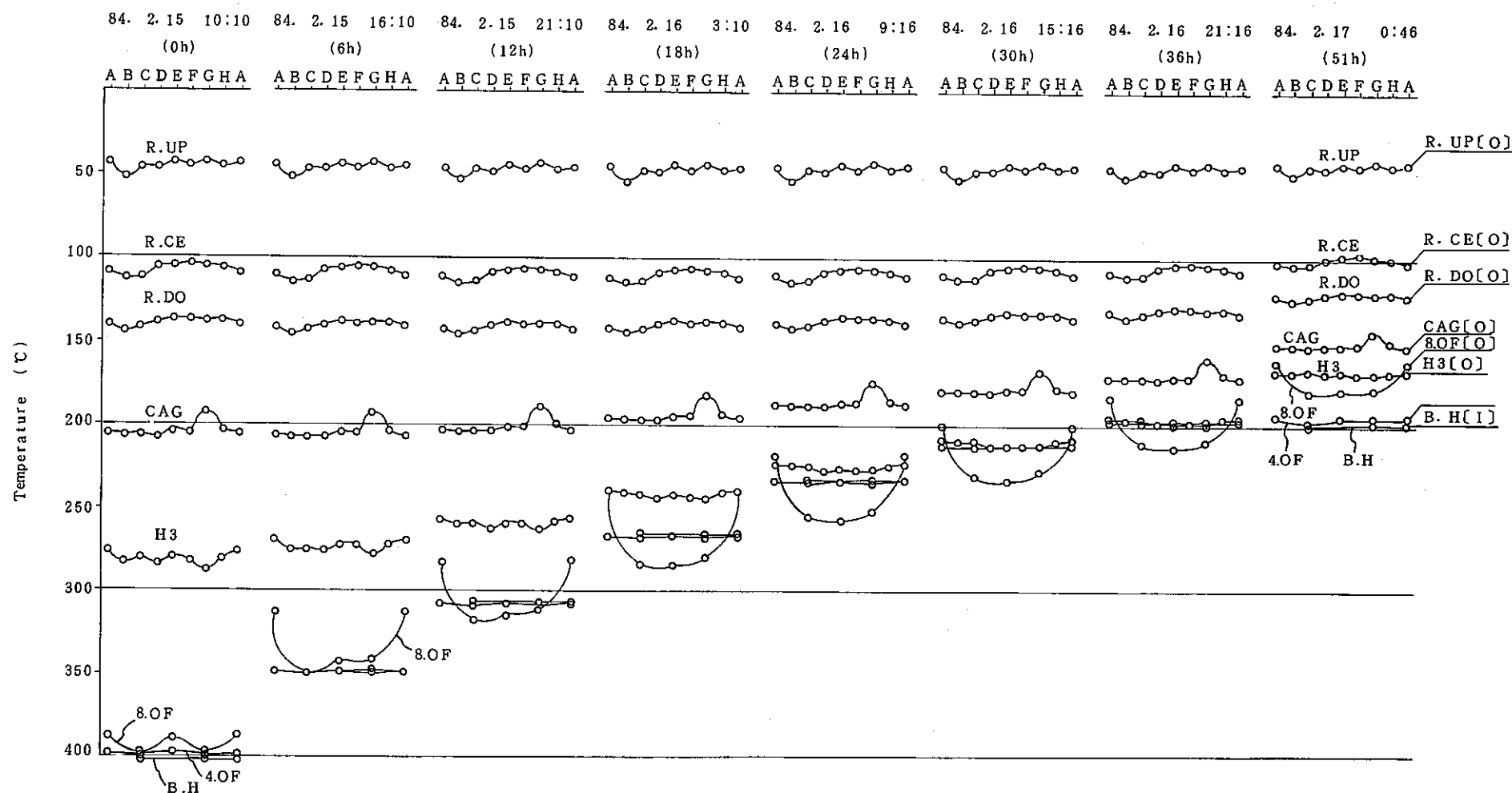


Fig. 4-14 Radial Temperature Distribution on Outer-casing for Low Sodium Level Test (-1300mm)
 低液位試験 (-1300mm) アウターケーシング周方向温度分布

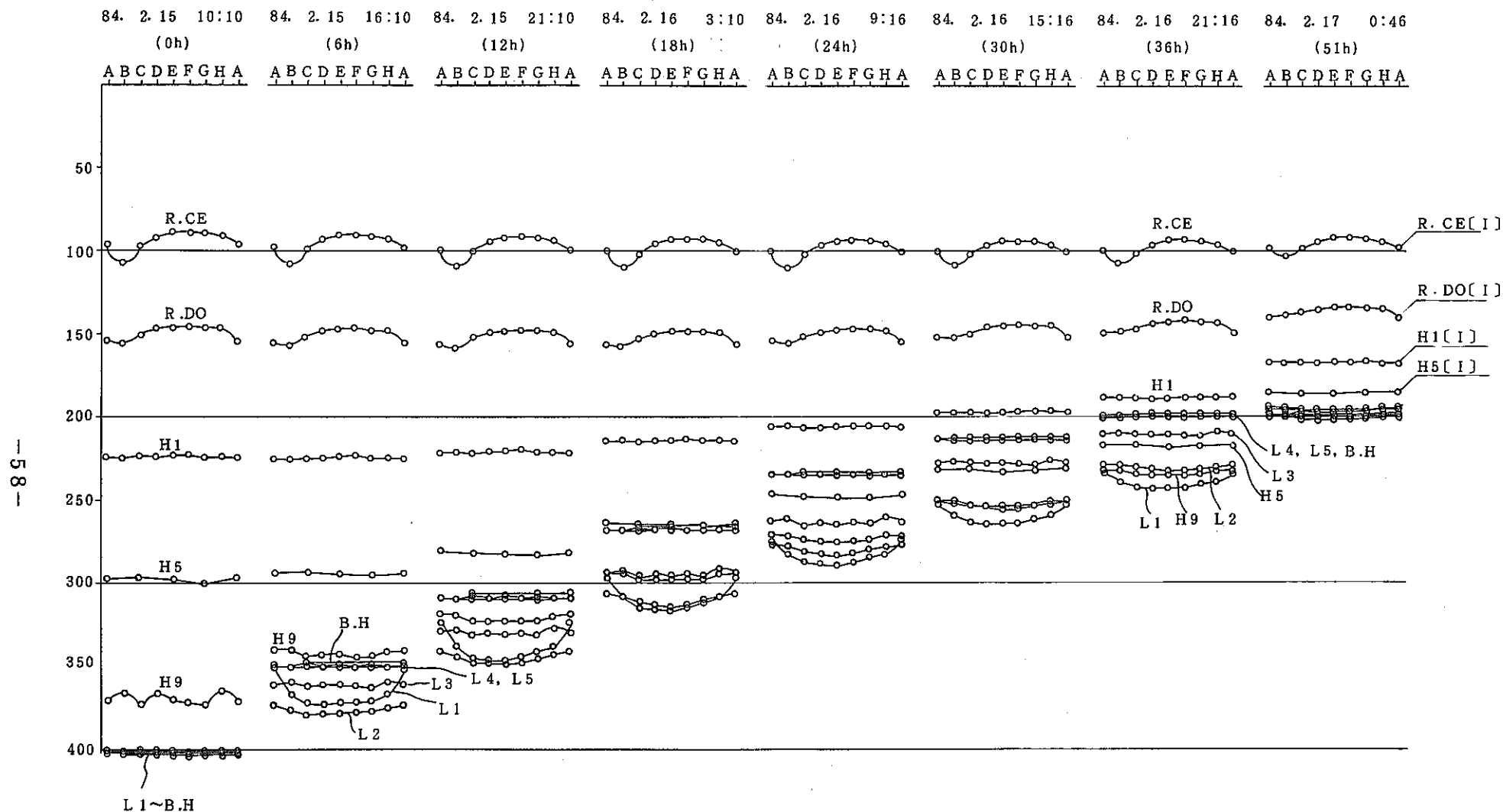


Fig. 4-15 Radial Temperature Distribution on Inner-casing for Low Sodium Level Test (-1300mm)

低液位試験 (-1300mm) インナーケーシング周方向温度分布

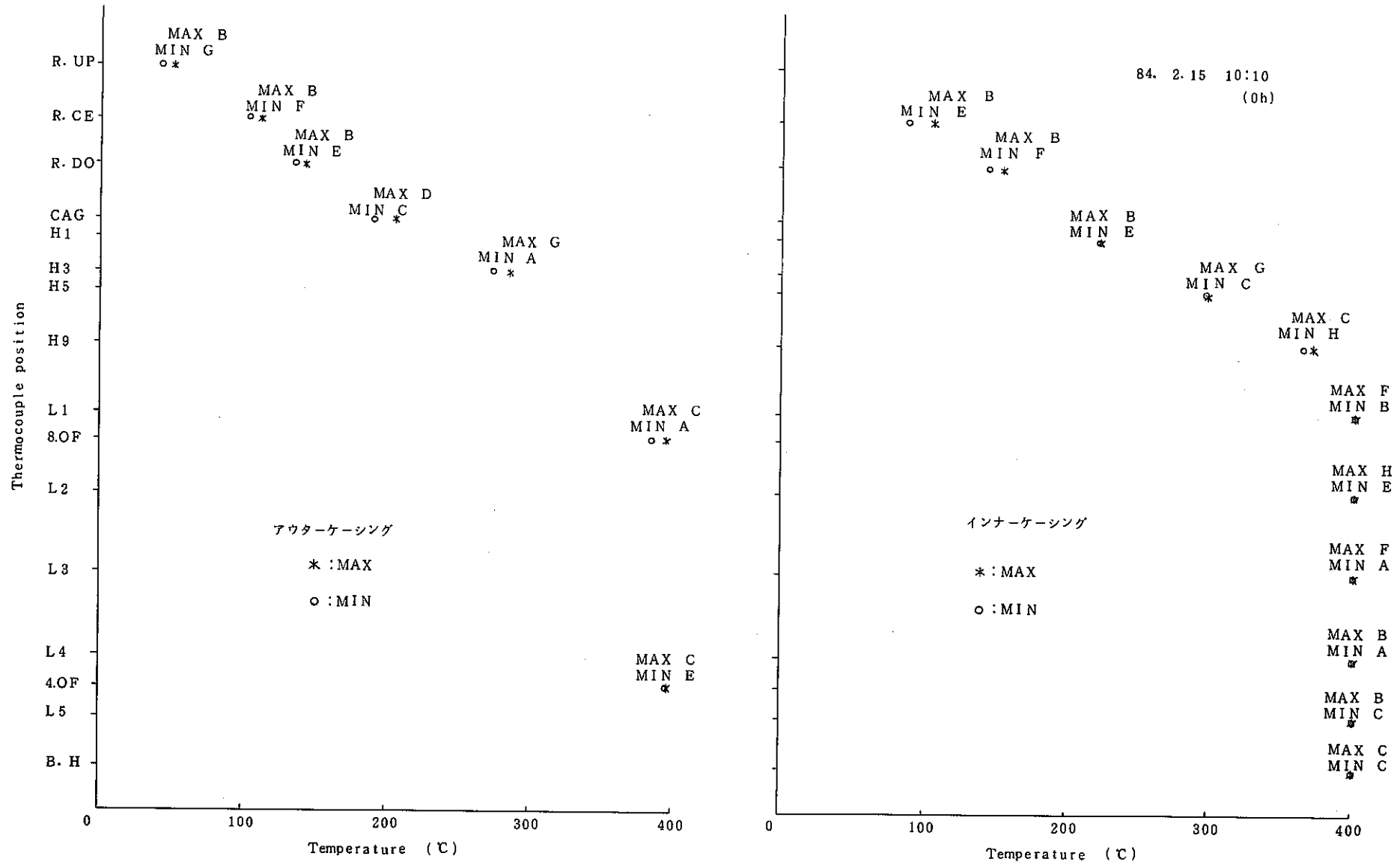


Fig. 4-16 Maximum and Minimum Radial Temperatures on Casing at the Start of Low Sodium Level Test (-1300mm)

低液位試験 (-1300mm) 開始時のケーシング周方向最大, 最小温度

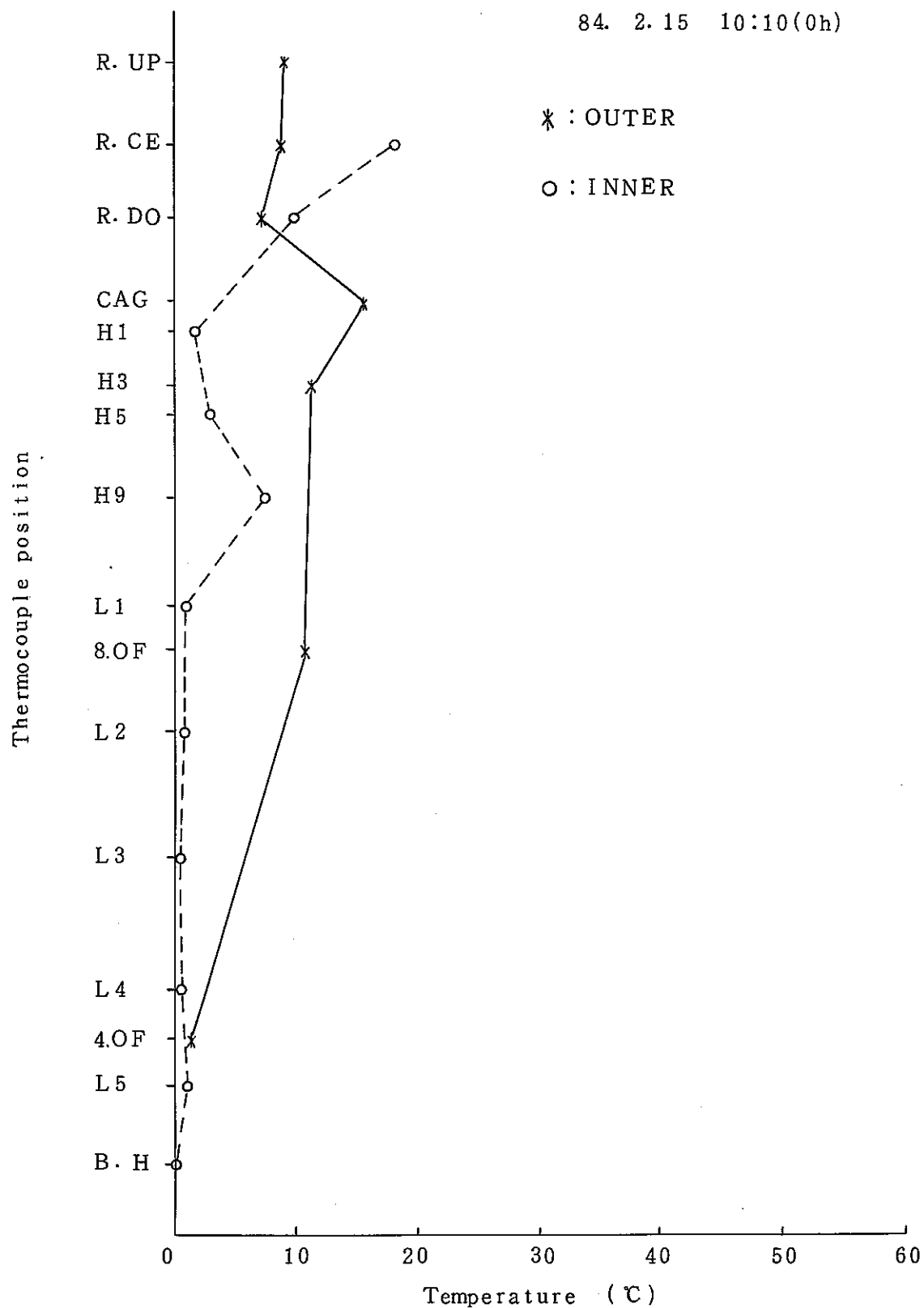
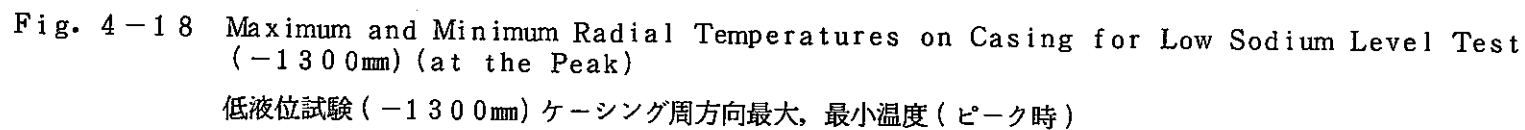


Fig. 4-17 Radial Temperature Difference on Casing at the Start of Low Sodium Level Test (-1300mm)

低液位試験(-1300mm)開始時のケーシング周方向温度差



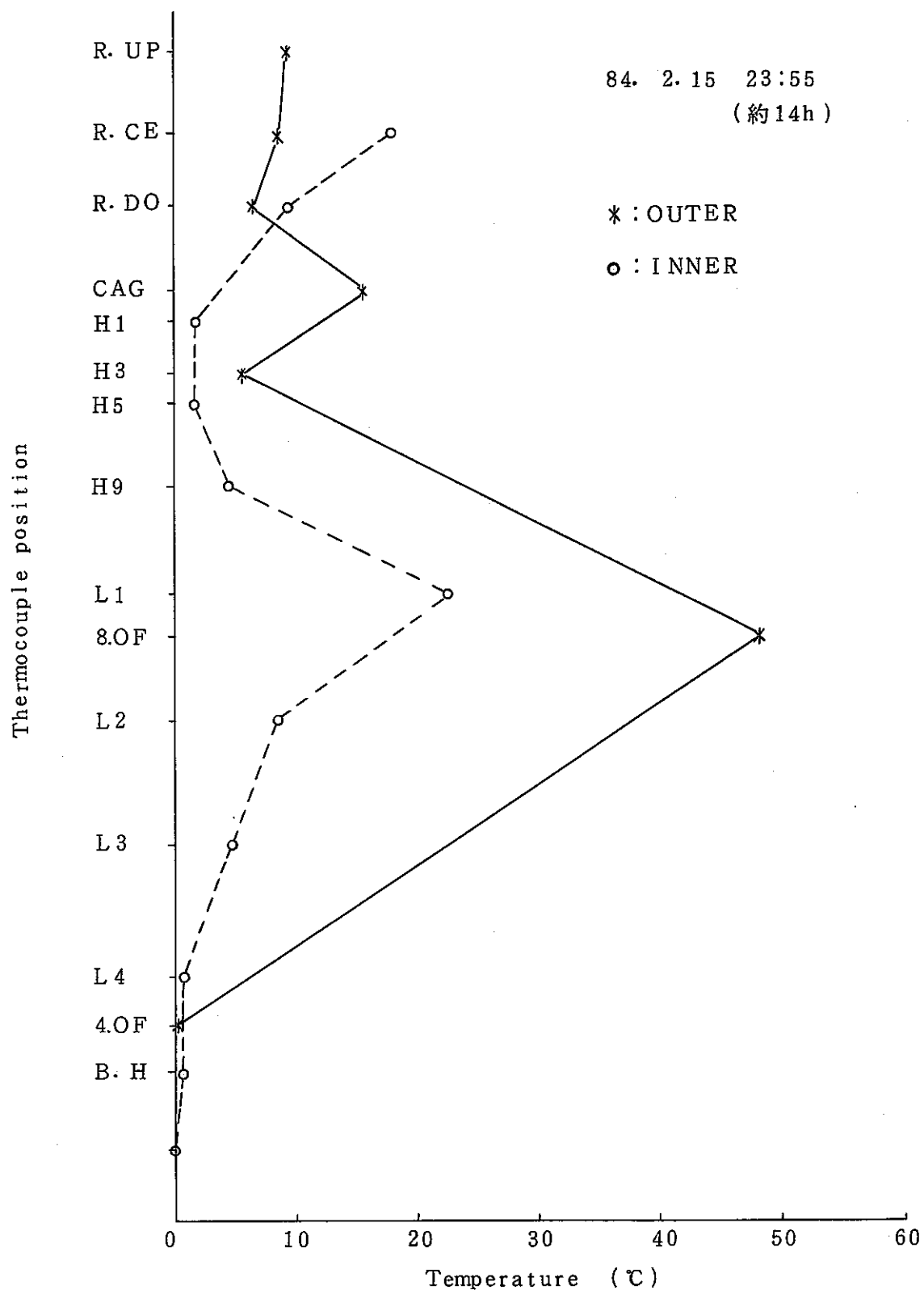


Fig. 4-19 Radial Temperature Difference on Casing for
Low Sodium Level Test (-1300mm) (at the Peak)
低液位試験(-1300mm) ケーシング周方向温度差(ピーク時)

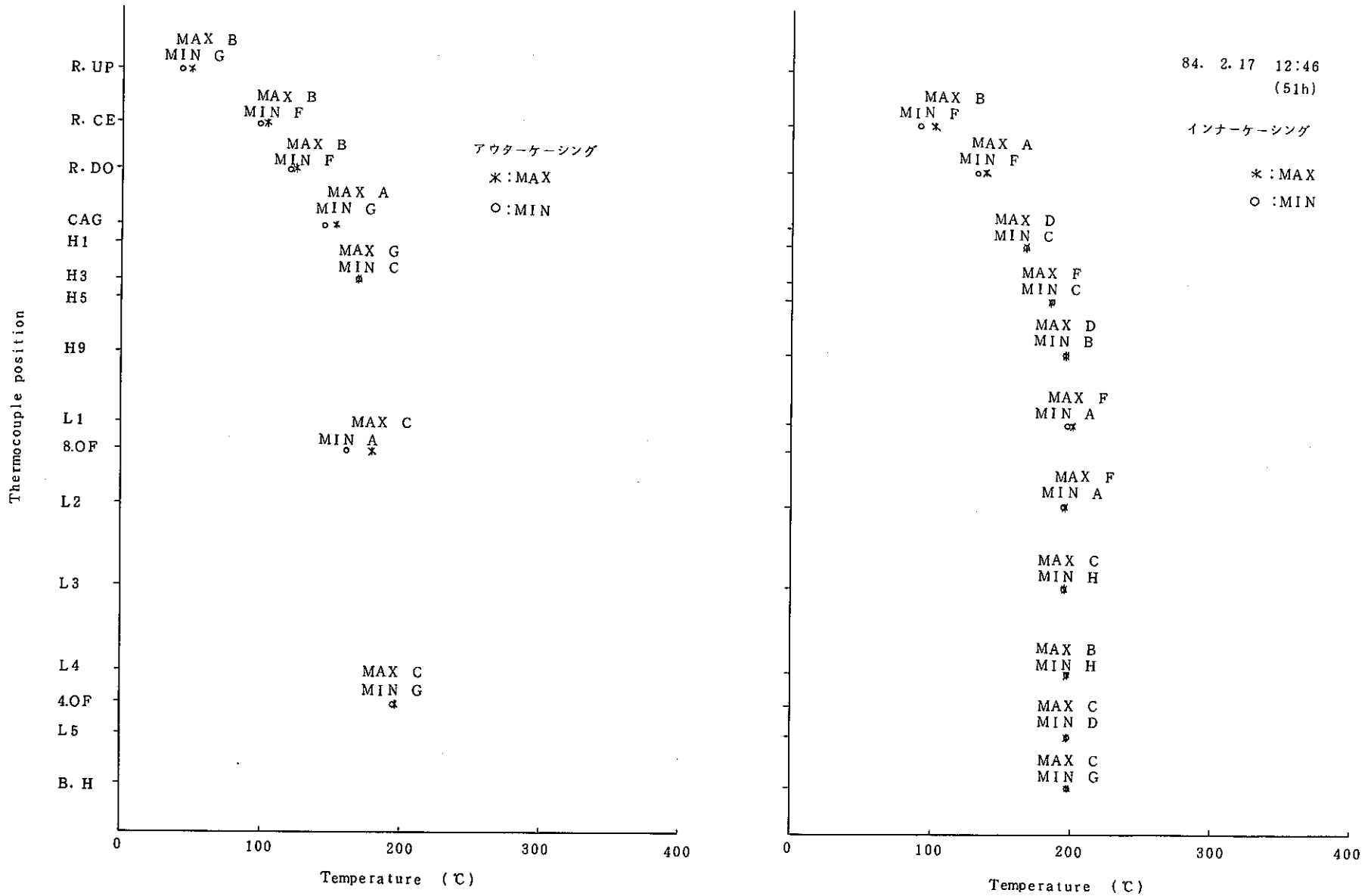


Fig. 4-20 Maximum and Minimum Radial Temperatures on Casing at the finish for Low Sodium Level Test (-1300mm)

低液位試験 (-1300mm) 終了時のケーシング周方向最大, 最小温度

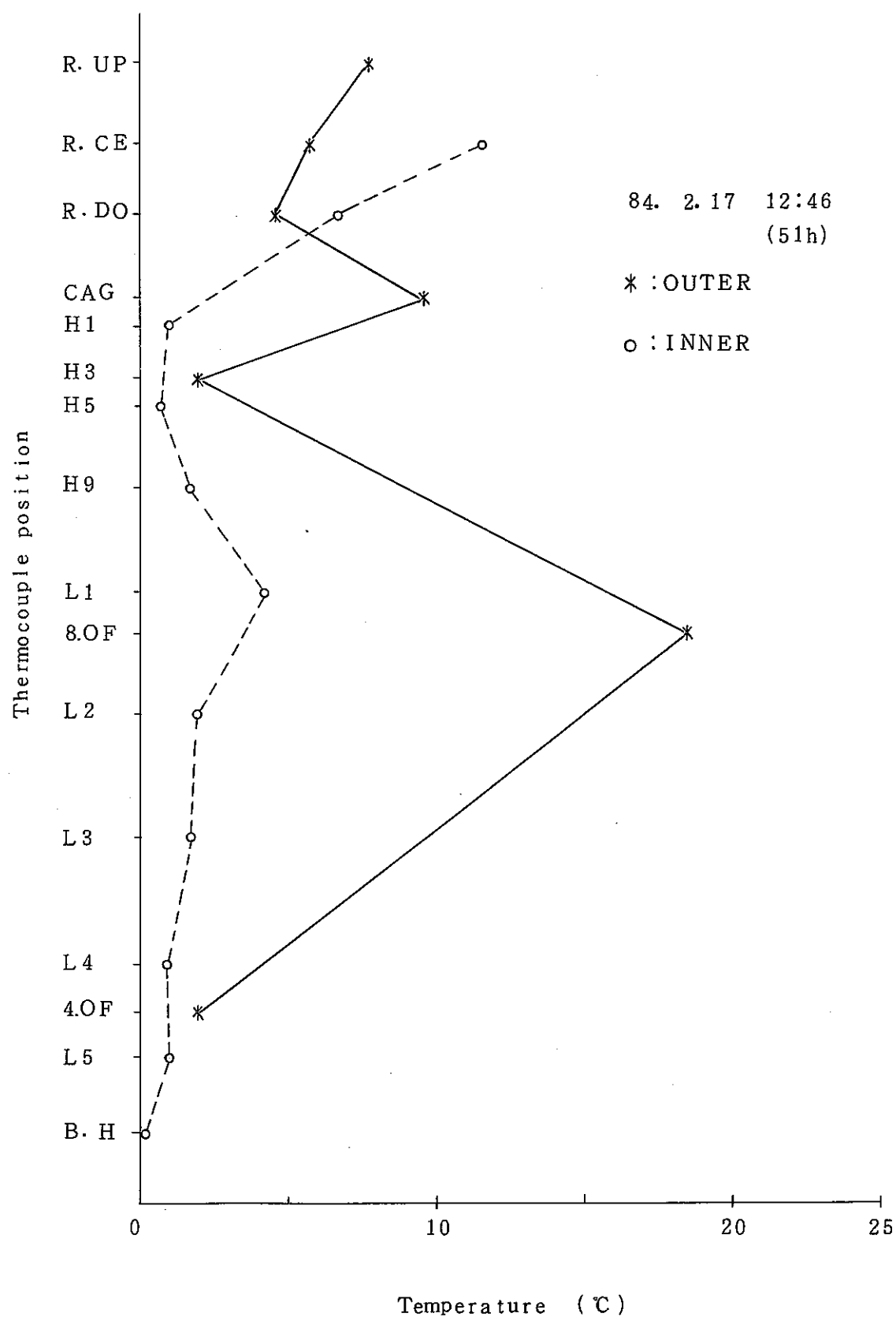


Fig. 4-21 Radial Temperature Difference on Casing at the finish of Low Sodium Level Test (-1300mm)
低液位試験(-1300mm)終了時のケーシング周方向温度差

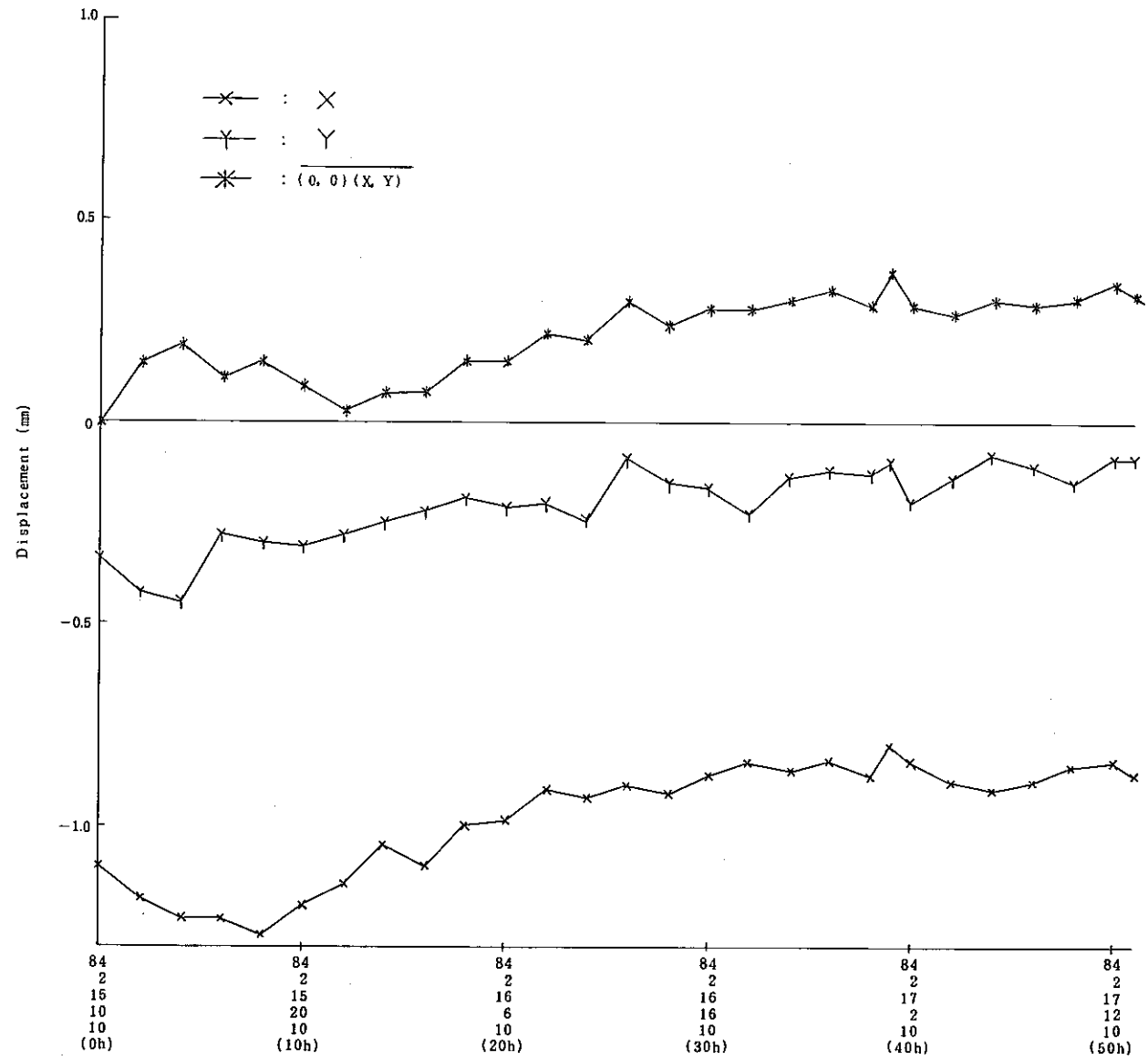


Fig. 4-22 Variation of Outer-casing Displacement for Low Sodium Level Test (-1300mm)
低液位試験(-1300mm)アウターケーシング変位変化

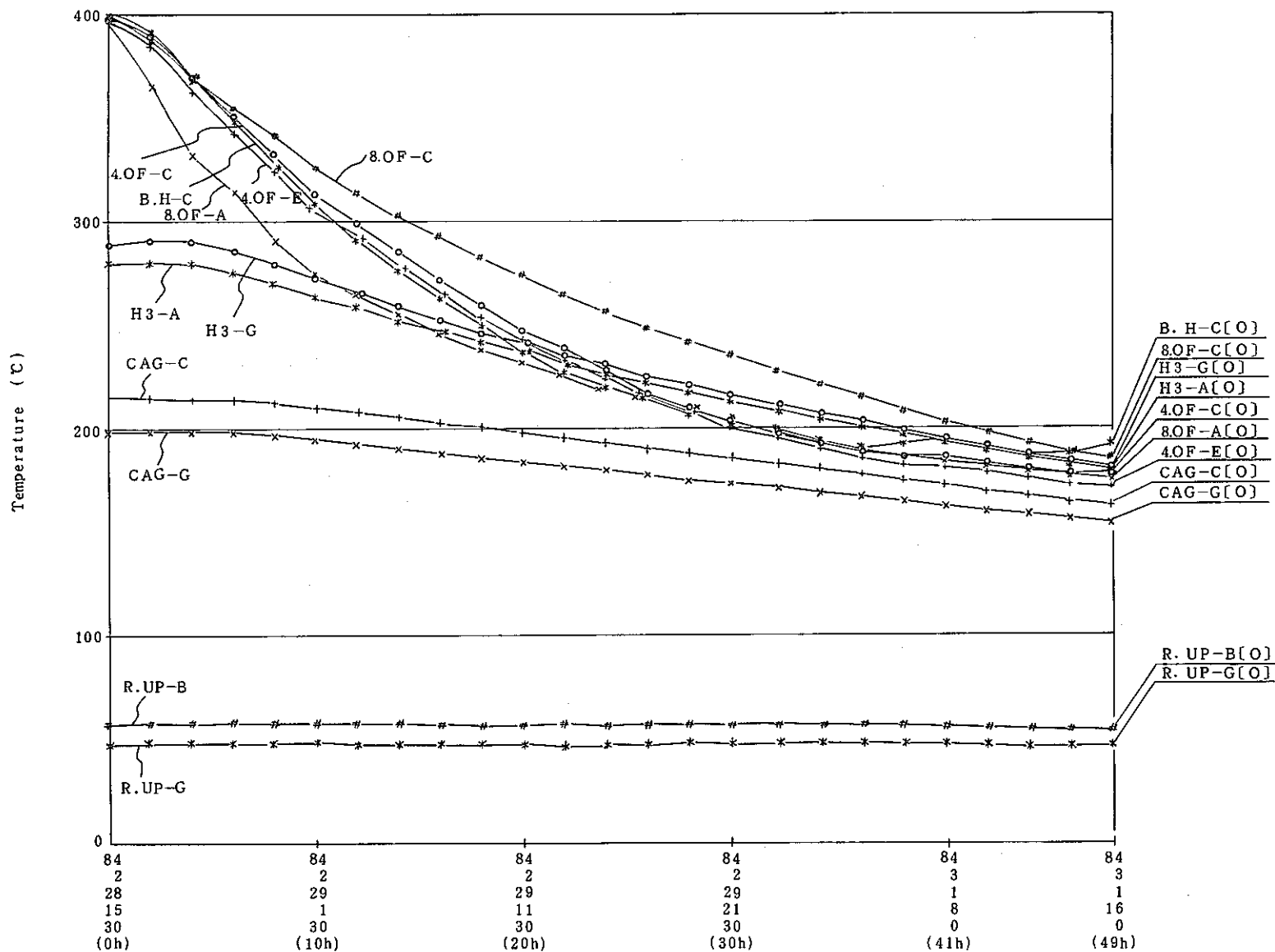


Fig. 4-23 Temperature Variation on Outer-casing for Low Sodium Level Test (-2270mm)

低液位試験(-2270mm) アウターケーシング温度変化

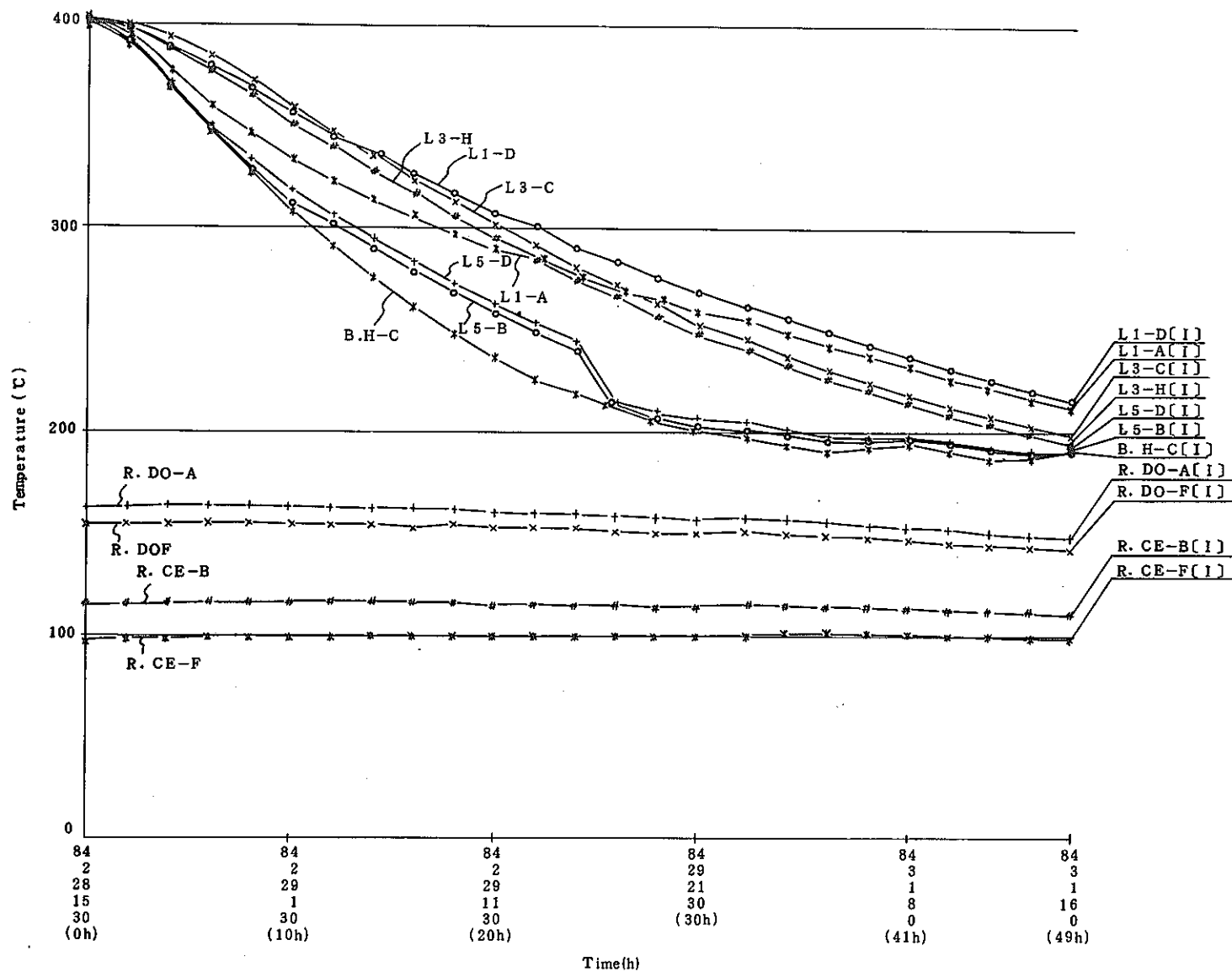


Fig. 4-24 Temperature Variation on Inner-casing for Low Sodium Level Test (-2270mm)

低液位試験(-2270mm) インナーケーシング温度変化

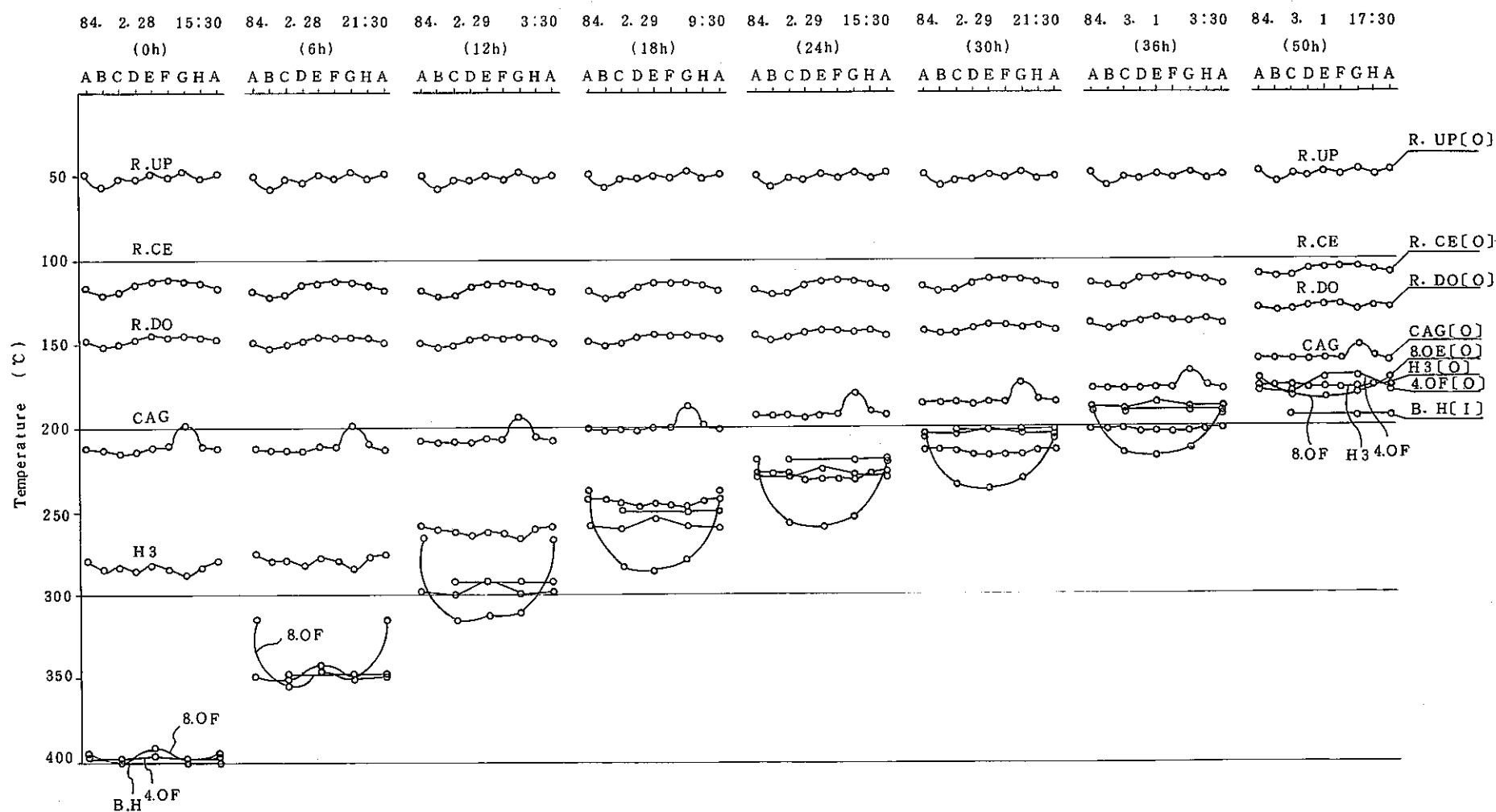


Fig. 4-25 Radial Temperature Distribution on Outer-casing for Low Sodium Level Test (-2270mm)

低液位試験(-2270mm)アウターケーシング周方向温度分布

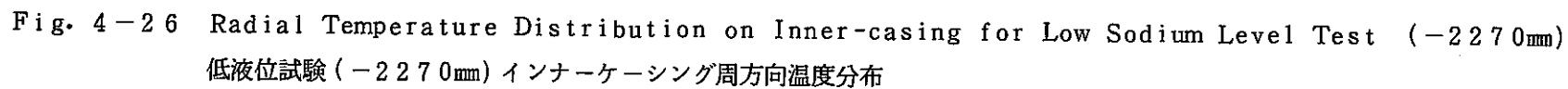


Fig. 4-26 Radial Temperature Distribution on Inner-casing for Low Sodium Level Test (-2270mm)

低液位試験（-2270mm）インナーケーシング周方向温度分布

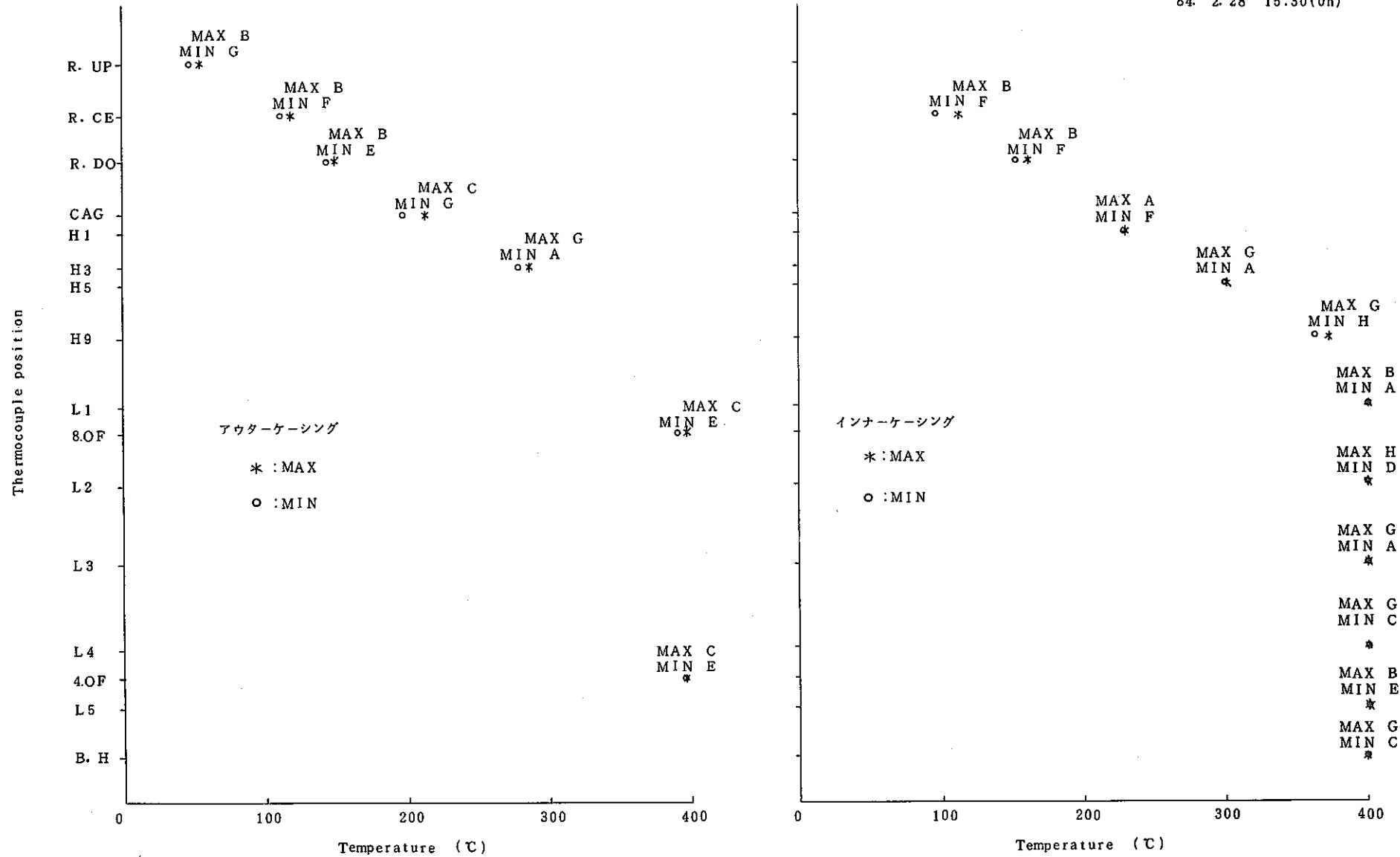


Fig. 4-27 Maximum and Minimum Radial Temperatures on Casing at the Start of Low Sodium Level Test (-2270mm)

低液位試験(-2270mm)開始時のケーシング周方向最大, 最小温度

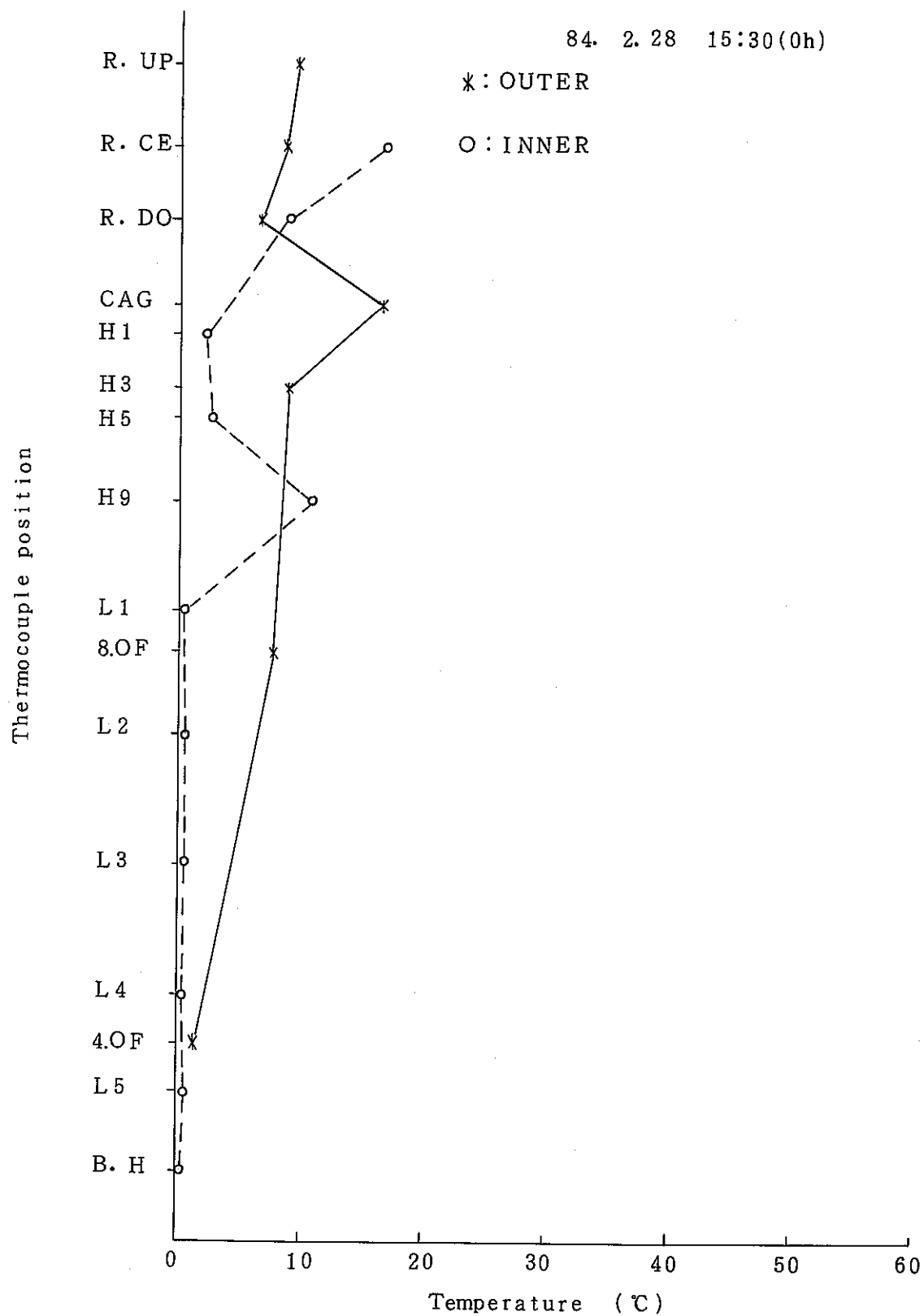


Fig. 4-28 Radial Temperature Difference on Casing at the Start of Low Sodium Level Test (-2270mm)

低液位試験(-2270mm)開始時のケーシング周方向温度差

84. 2. 29 1: 0(10h)

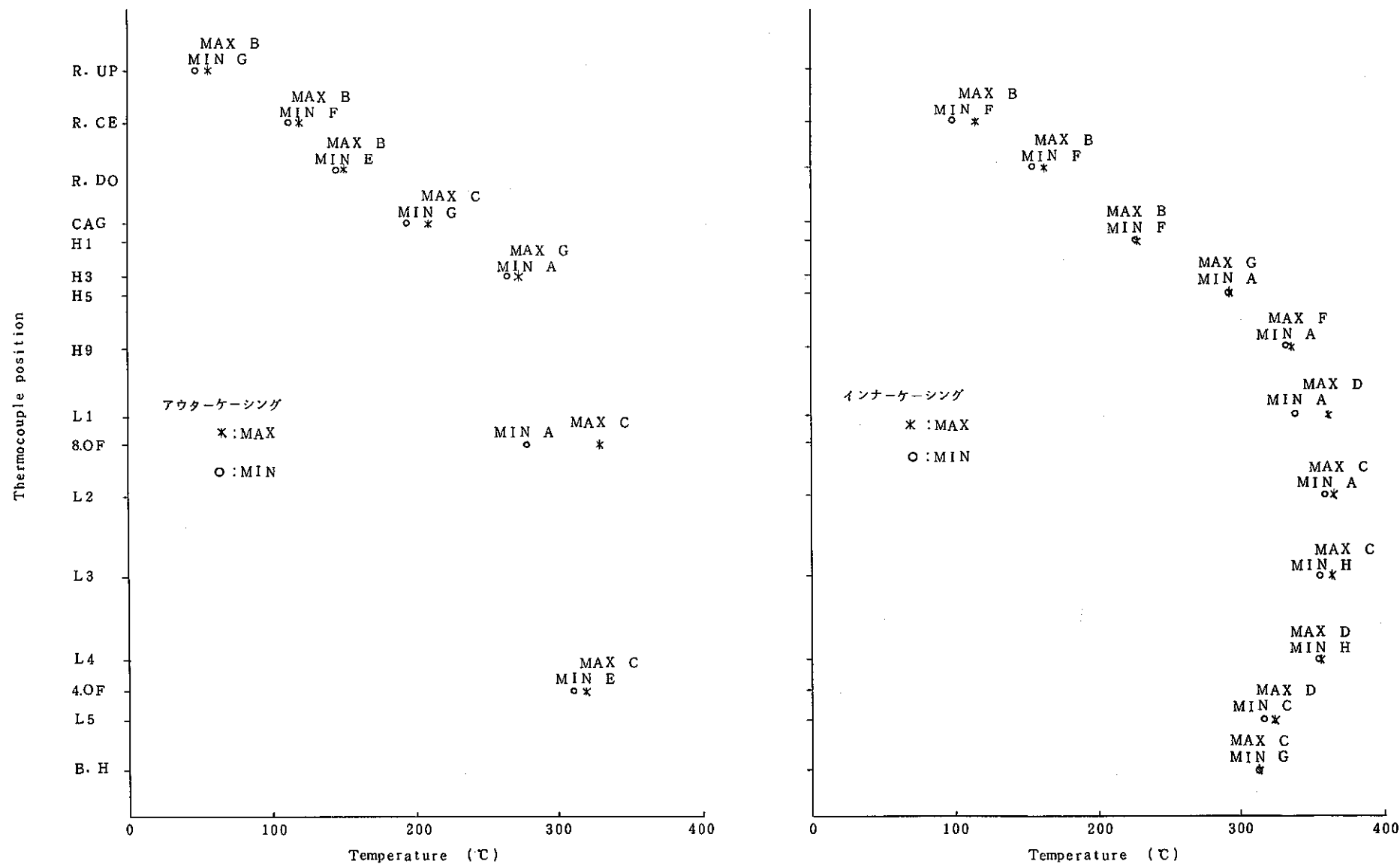


Fig. 4-29 Maximum and Minimum Radial Temperatures on Casing for Low Sodium Level Test
(-2270mm) (at the Peak)

低液位試験(-2270mm) ケーシング周方向最大, 最小温度 (ピーク時)

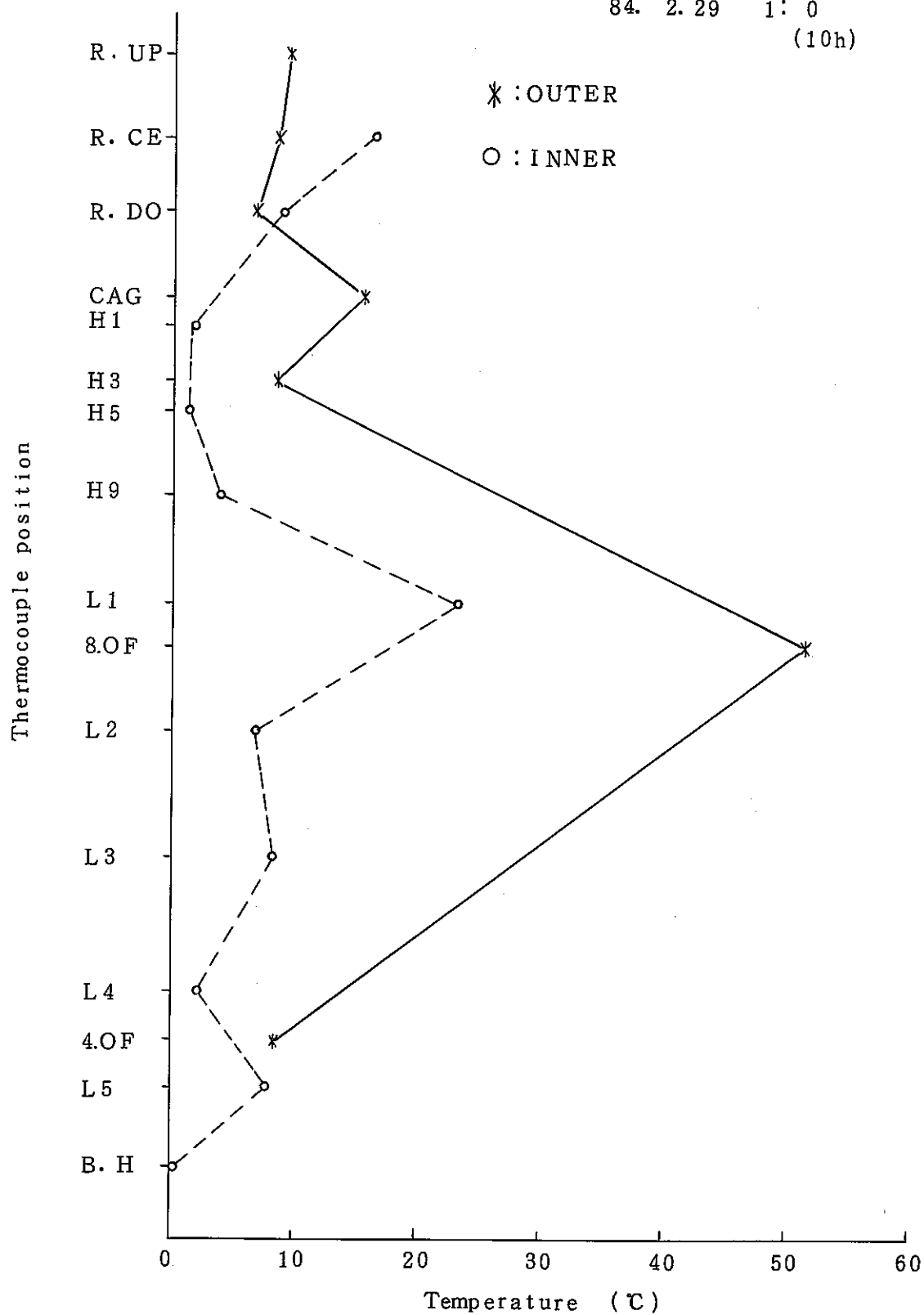
84. 2. 29 1: 0
(10h)

Fig. 4-30 Radial Temperature Difference on Casing for
Low Sodium Level Test (-2270mm) (at the Peak)
低液位試験(-2270mm) ケーシング周方向温度差(ピーク時)

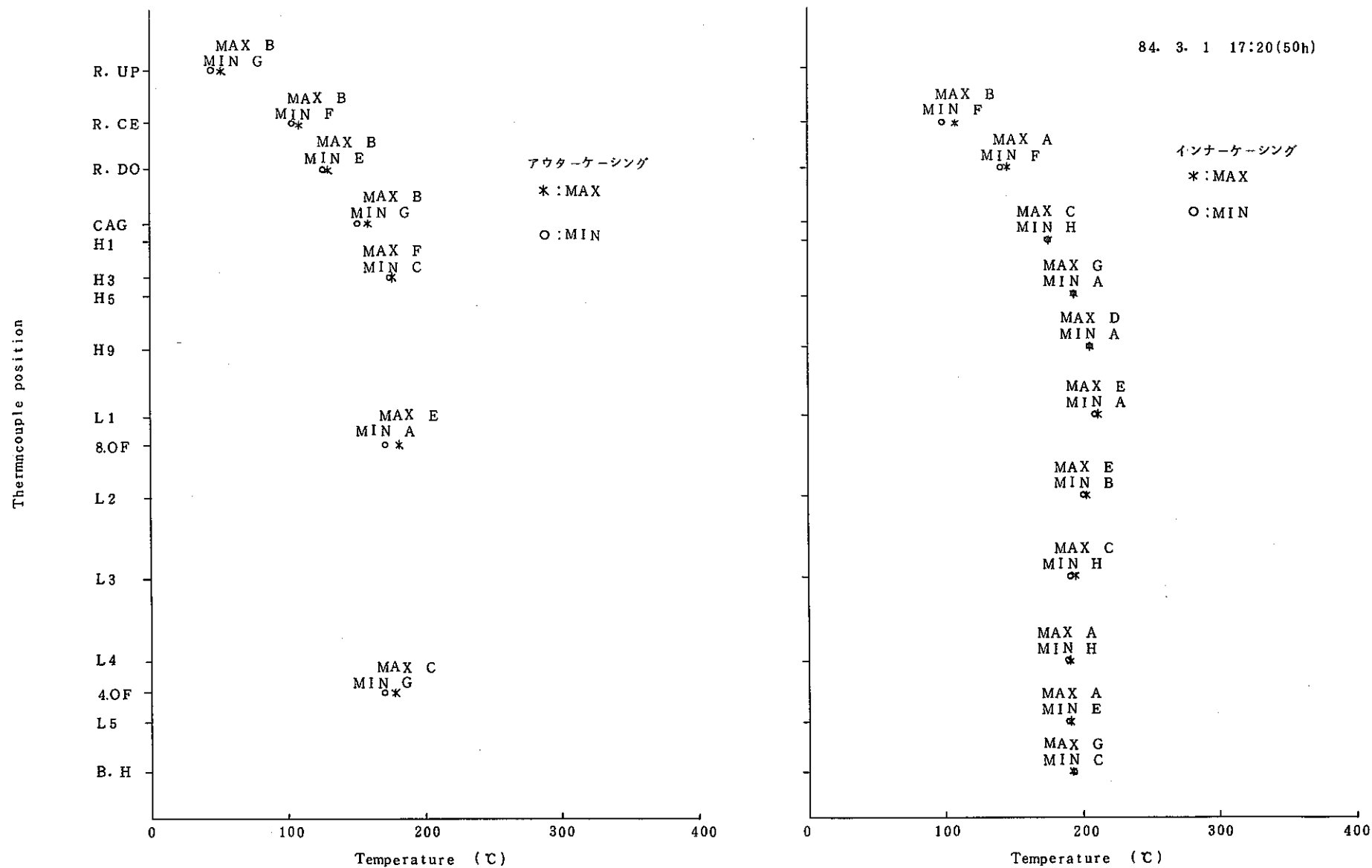


Fig. 4-31 Maximum and Minimum Radial Temperatures on Casing at the finish of Low Sodium Level Test (-2270mm)
低液位試験(-2270mm)終了時のケーシング周方向最大, 最小温度

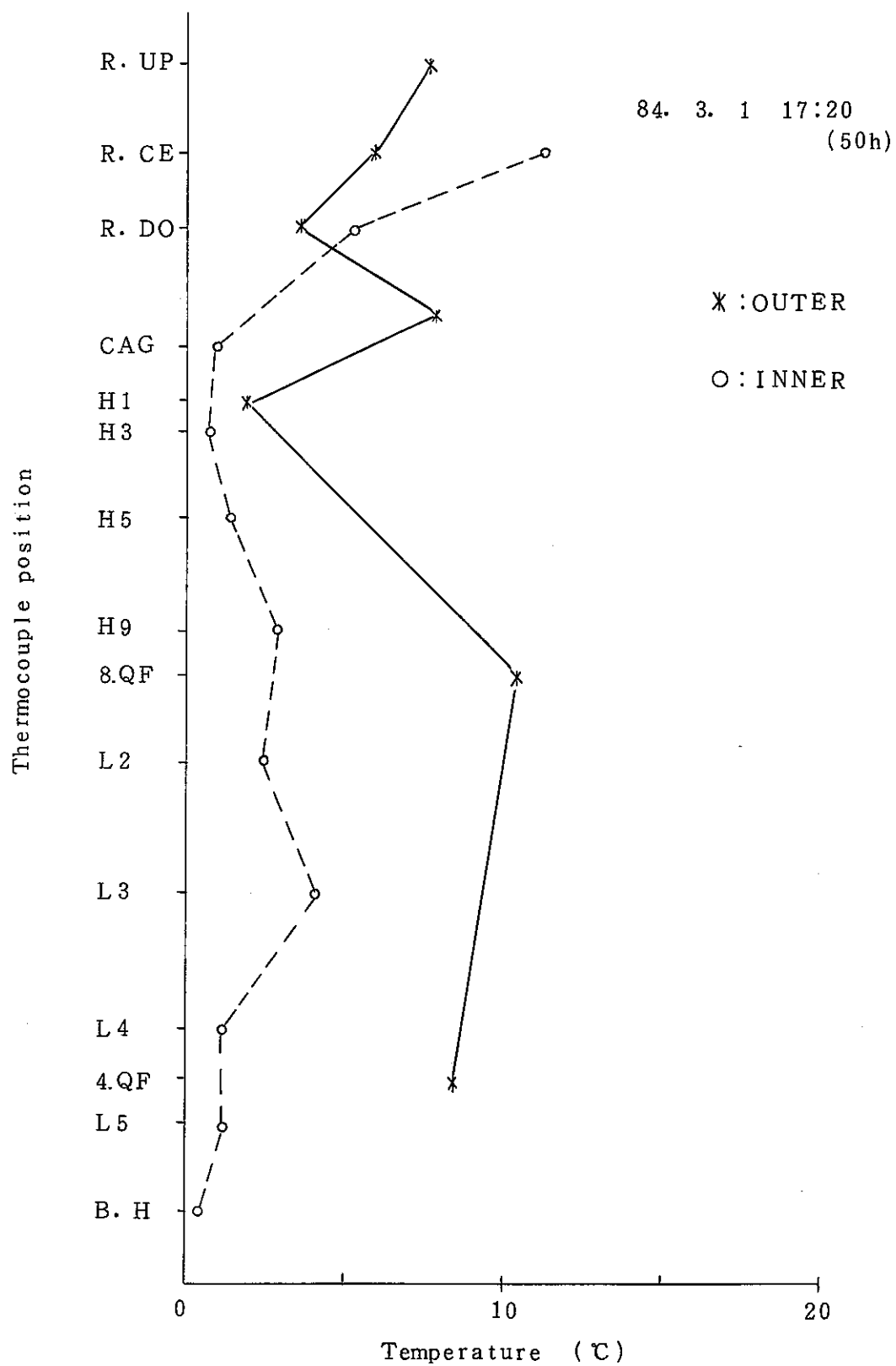


Fig. 4-32 Radial Temperature Difference on Casing at the finish of Low Sodium Level Test (-2270mm)

低液位試験(-2270mm)終了時のケーシング周方向温度差

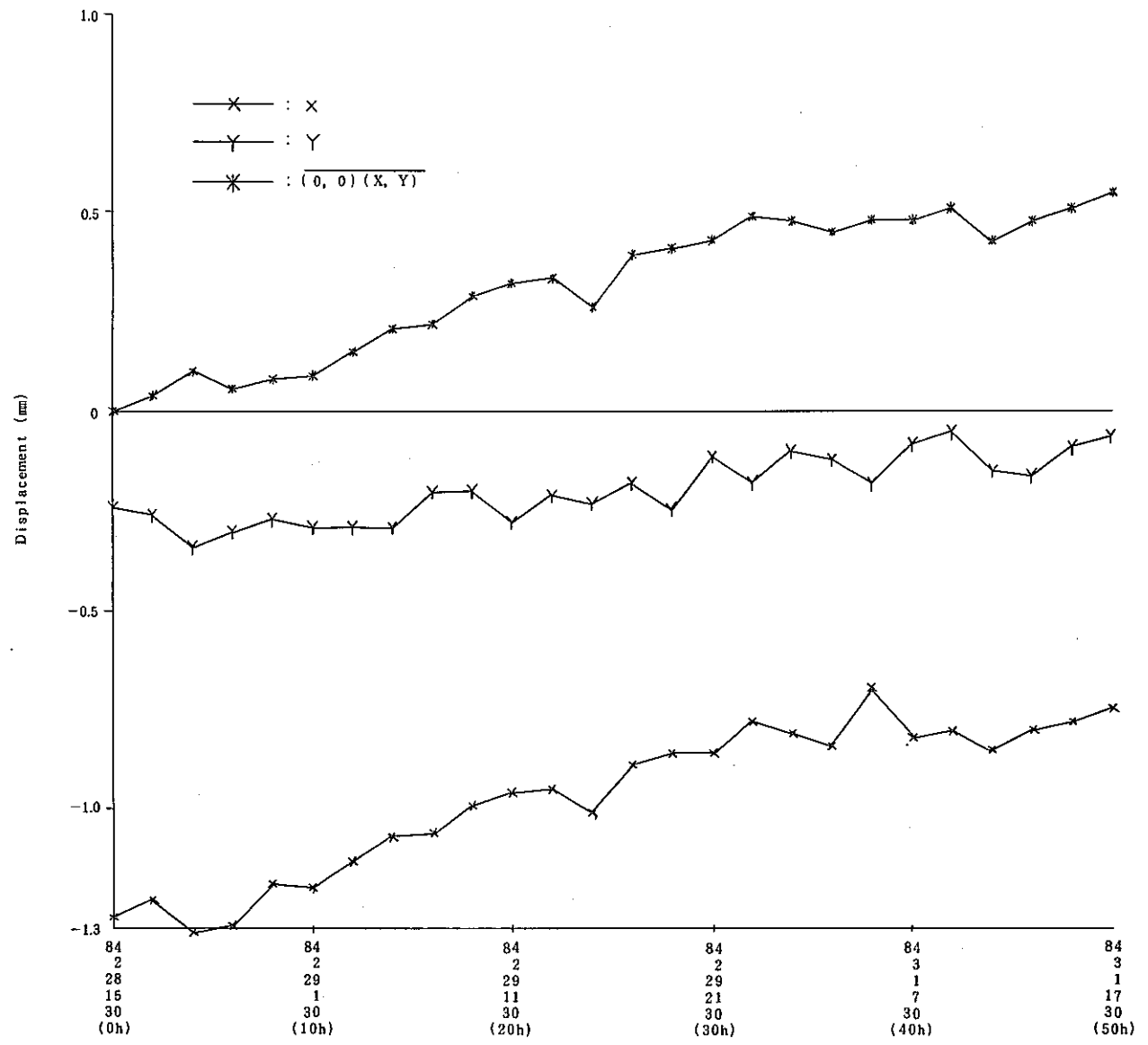


Fig. 4-33 Variation of Outer-casing Displacement for Low Sodium Level Test (-2270mm)
低液位試験(-2270mm) アウターケーシング変位変化

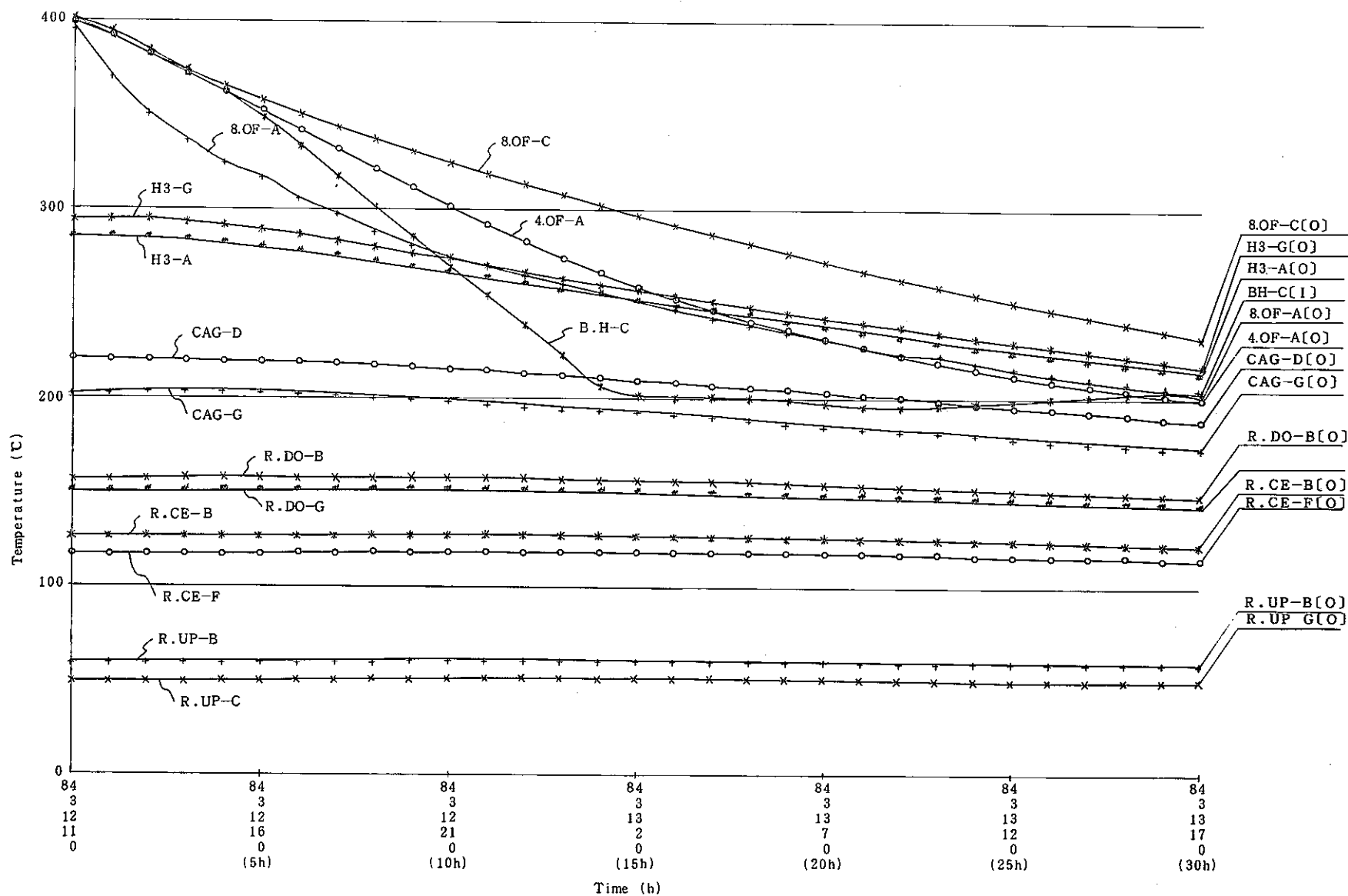


Fig.4-34 Temperature Variation on Outer-casing for Low Sodium Level Test (-2700mm) (1/3)
 低液位試験 (-2700mm) アウターケーシング温度変化 (1/3)

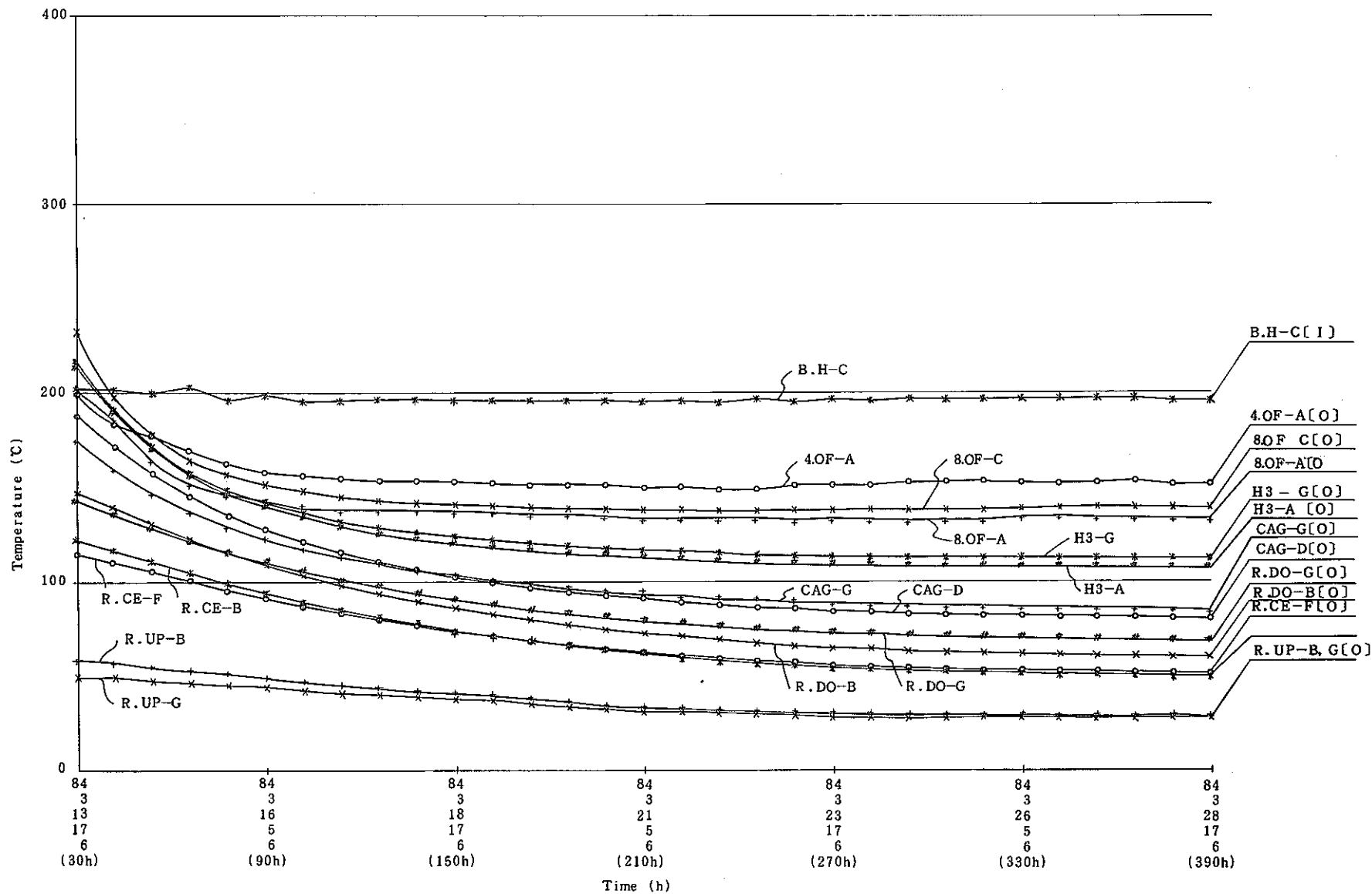


Fig.4-34 Temperature Variation on Outer-casing for Low Sodium Level Test (-2700mm) (2/3)

低液位試験 (-2700mm) アウターケーシング温度変化 (2/3)

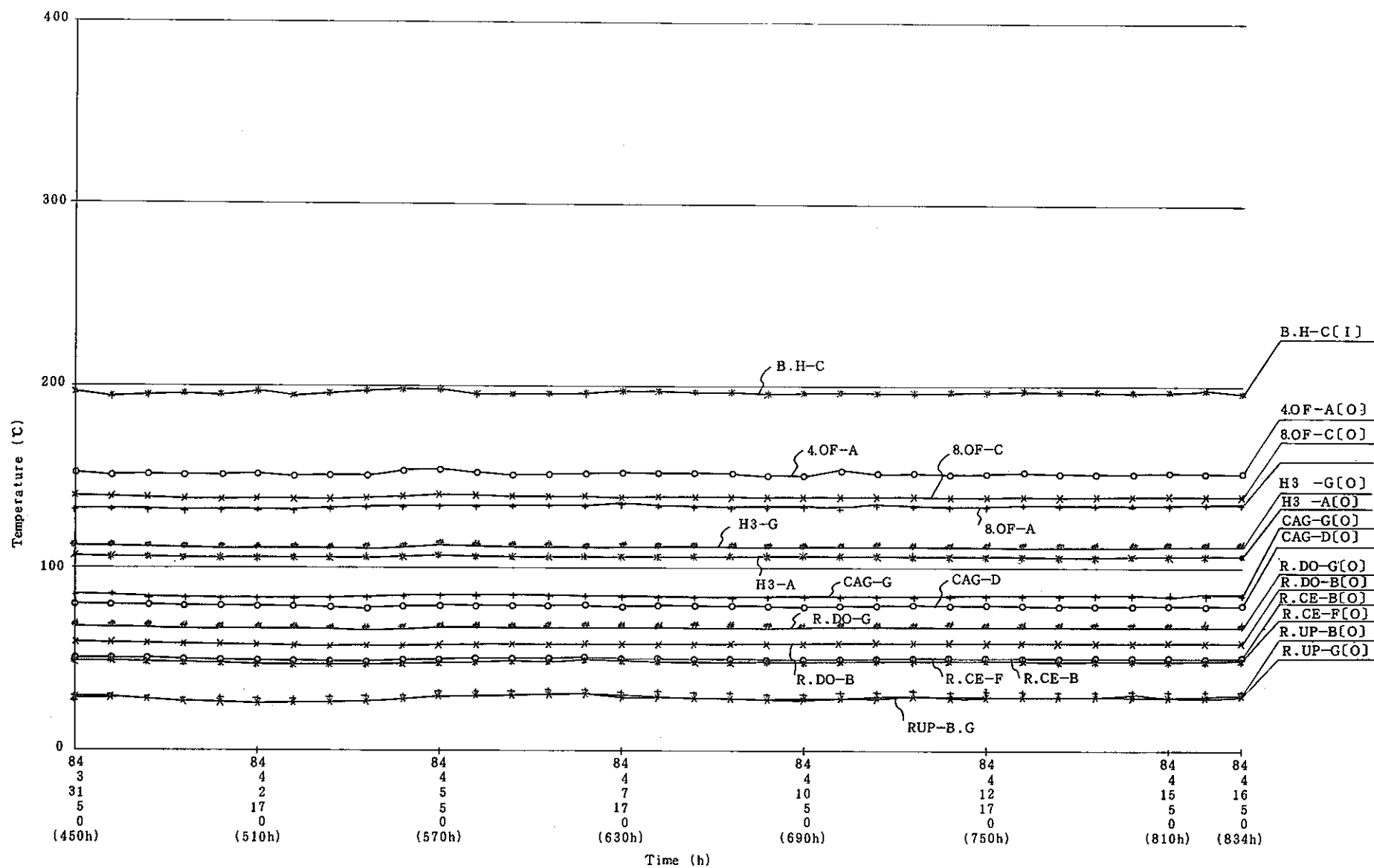


Fig.4 - 3 4 Temperature Variation on Outer-casing for Low Sodium Level Test (-2700mm) (3/3)

低液位試験 (-2700mm) アウターケーシング温度変化 (3/3)

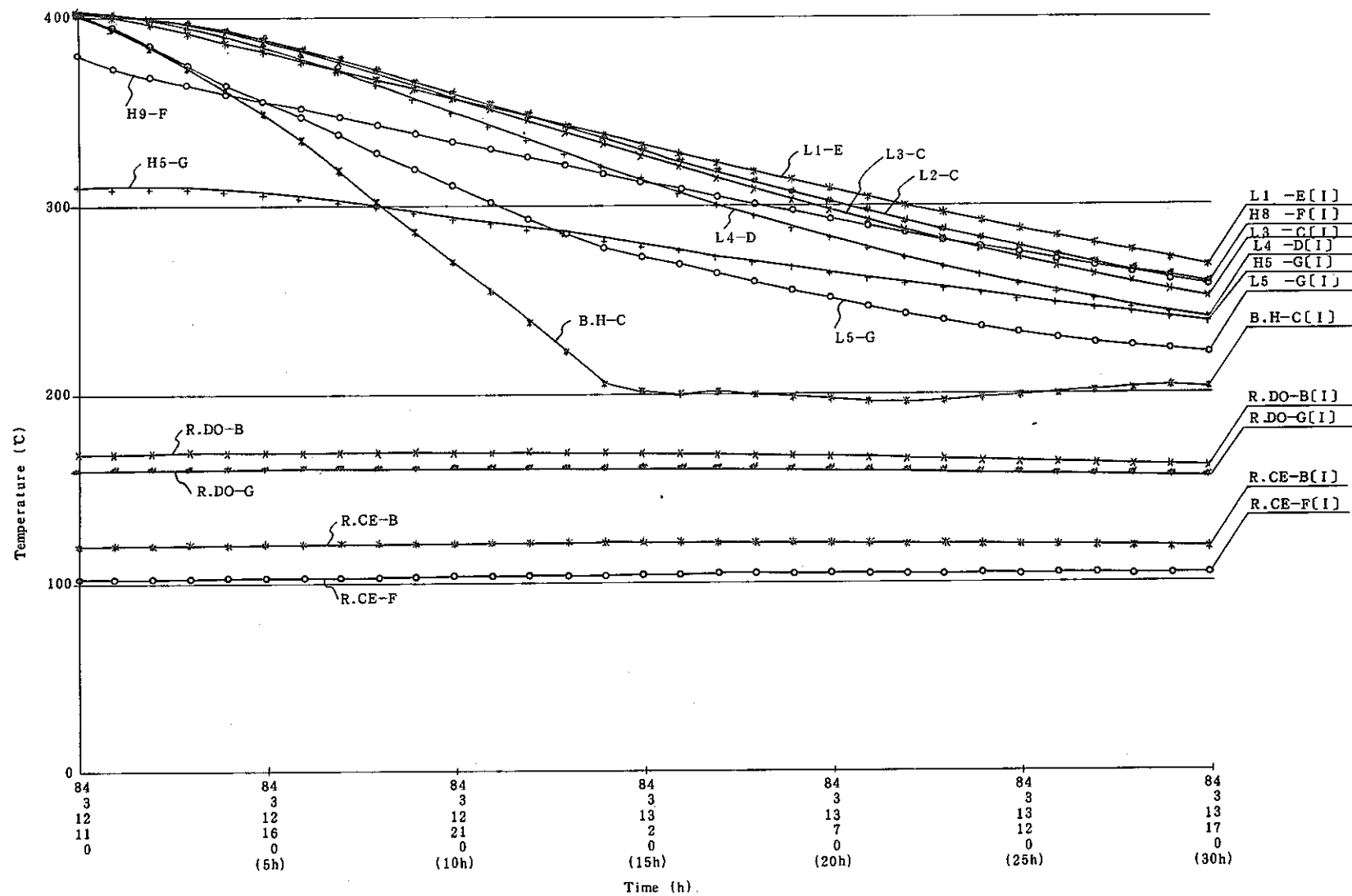


Fig.4-35 Temperature Variation on Inner-casing for Low Sodium Level Test (-2700mm) (1/3)
 低液位試験 (-2700mm) インナーケーシング温度変化 (1/3)

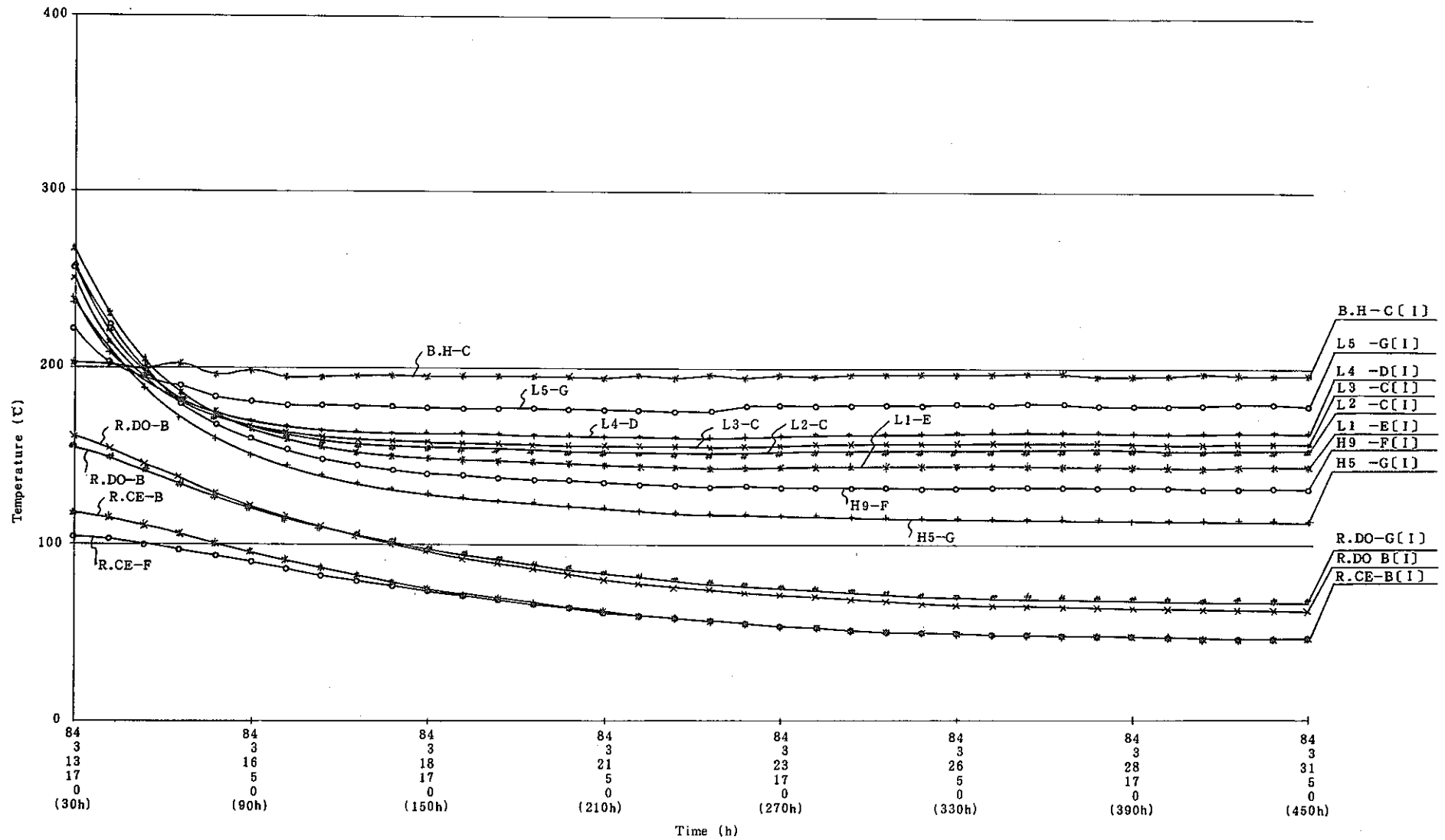


Fig.4-35 Temperature Variation on Inner-casing for Low Sodium Level Test (-2700mm) (2/3)

低液位試験 (-2700mm) インナーケーシング温度変化 (2/3)

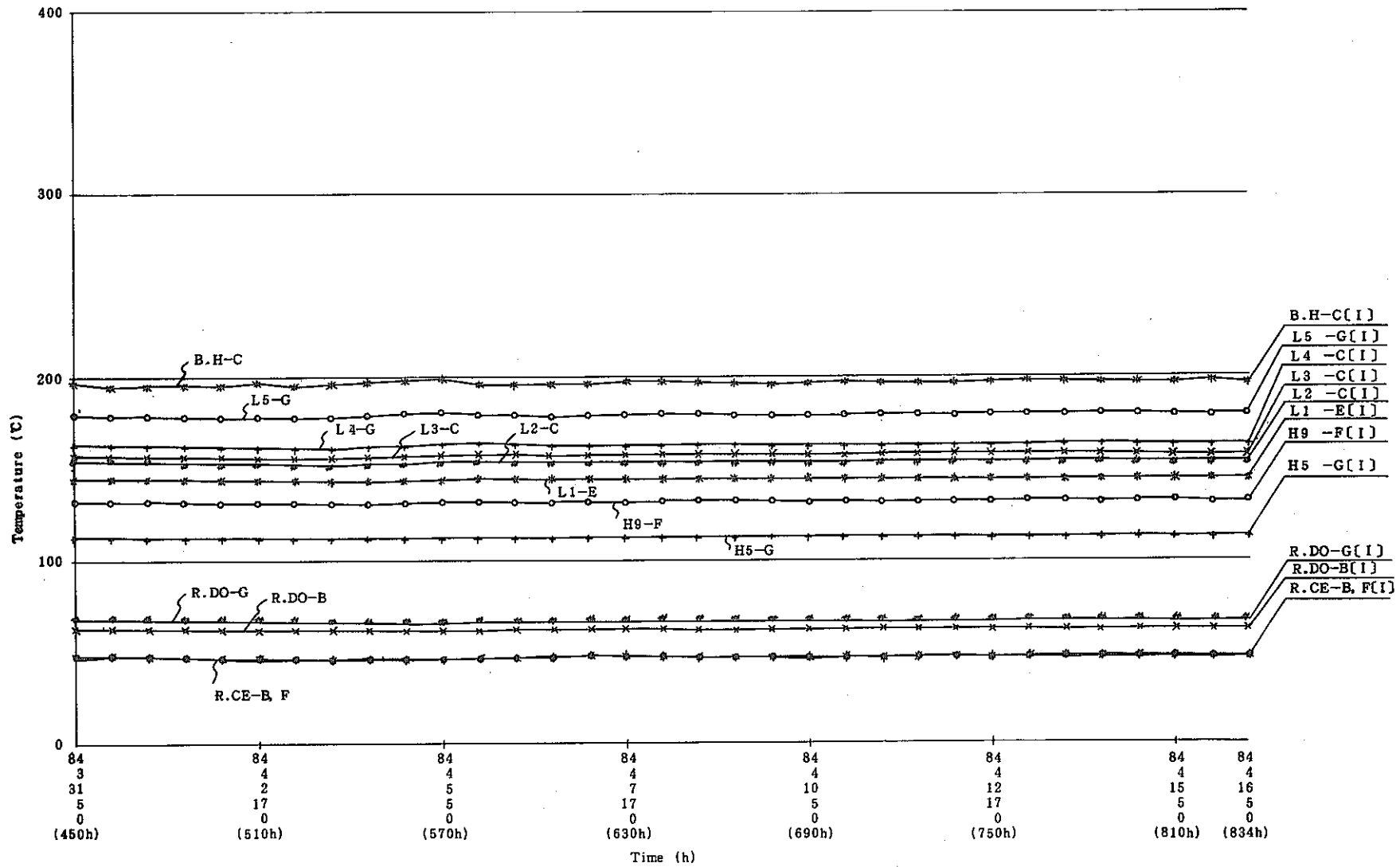


Fig.4-35 Temperature Variation on Inner-casing for Low Sodium Level Test (-2700mm) (3/3)
低液位試験 (-2700mm) インナーケーシング温度変化 (3/3)

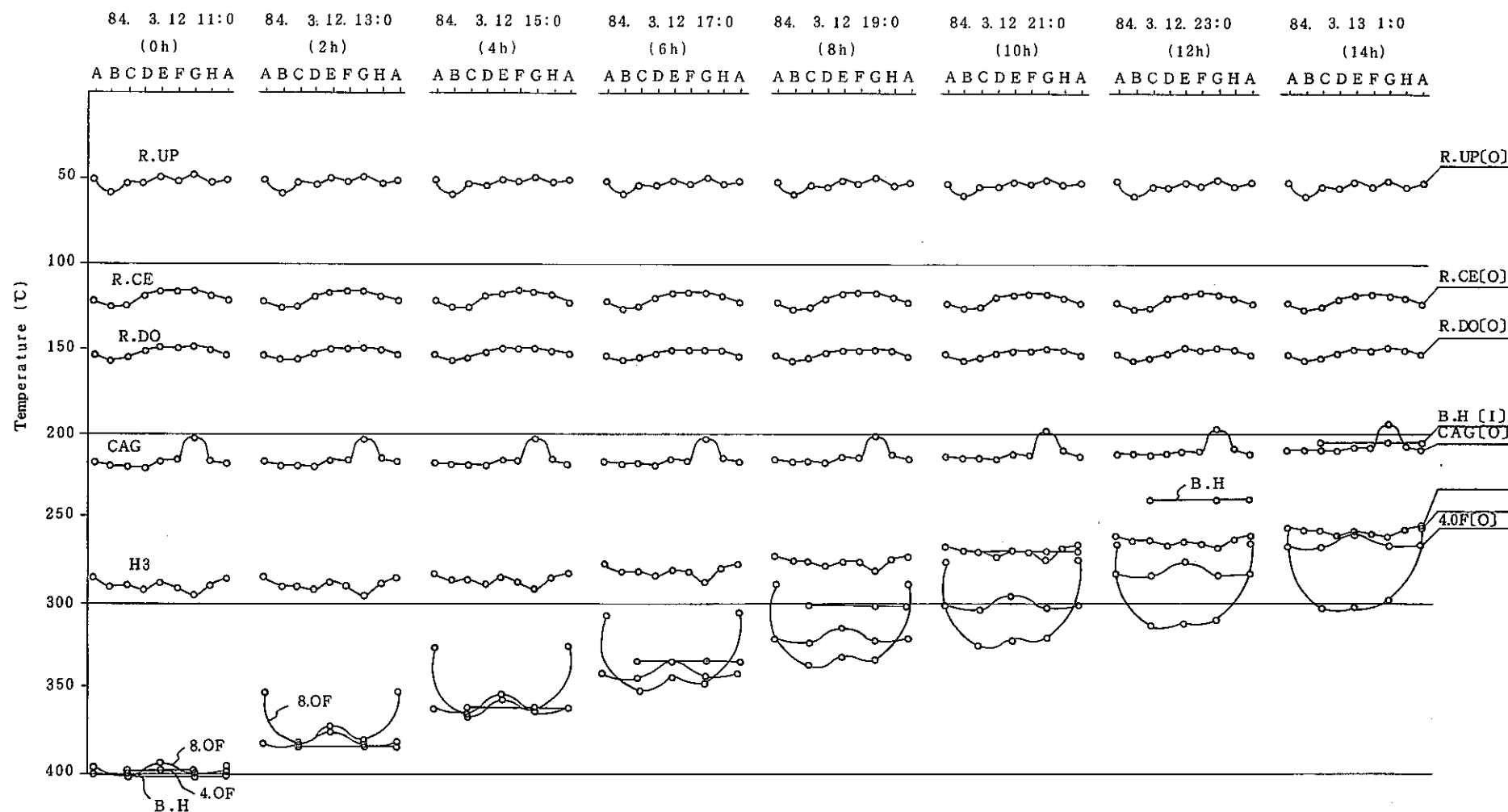


Fig.4-36 Radial Temperature Distribution on Outer-casing for Low Sodium Level Test(-2700mm) (1/5)

低液位試験 (-2700mm) アウターケーシング周方向温度分布 (1/5)

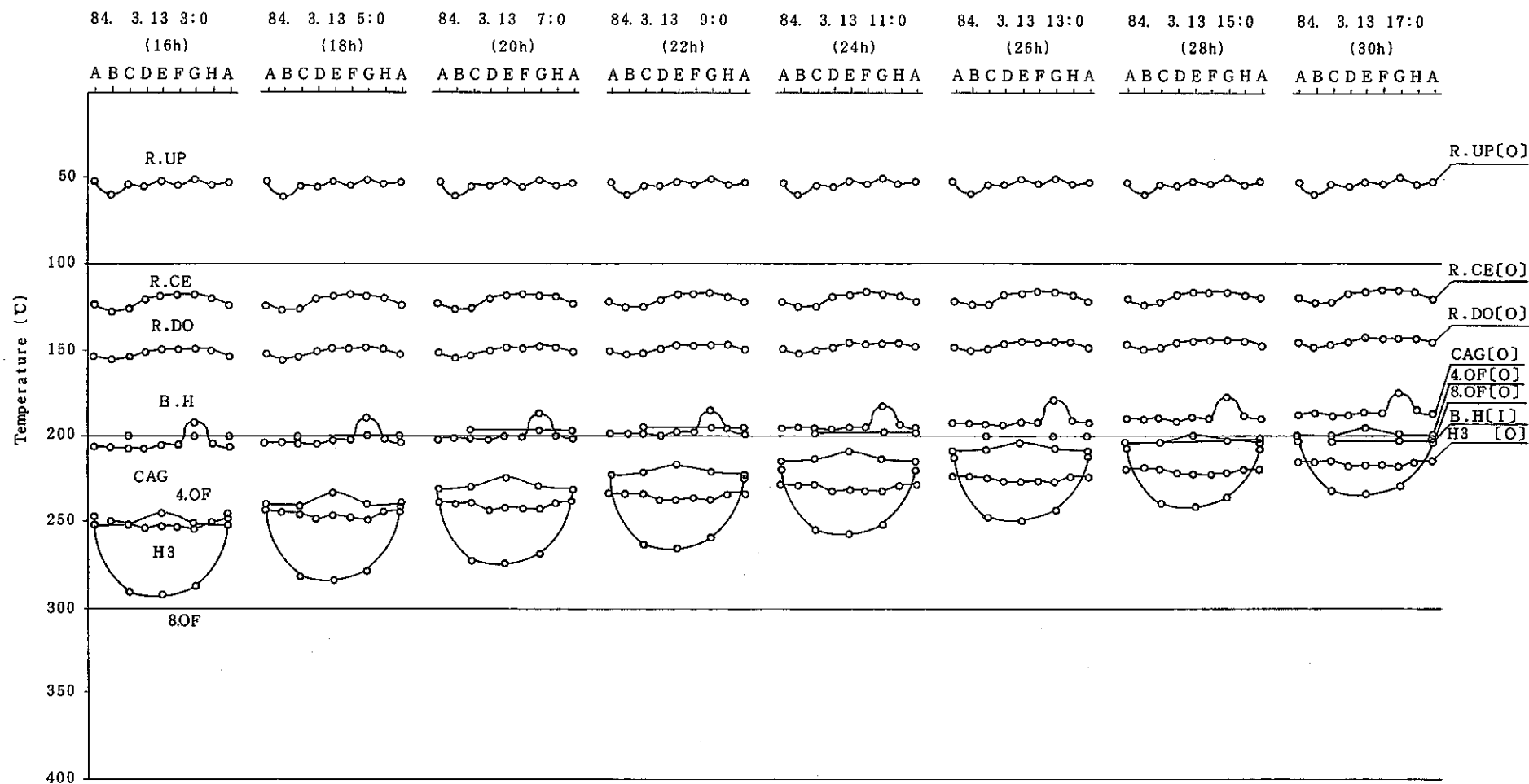


Fig.4-36 Radial Temperature Distribution on Outer-casing for Lov Sodium Level Test(-2700)(2/5)

低液位試験 (-2700mm) アウターケーシング周方向温度分布 (2/5)

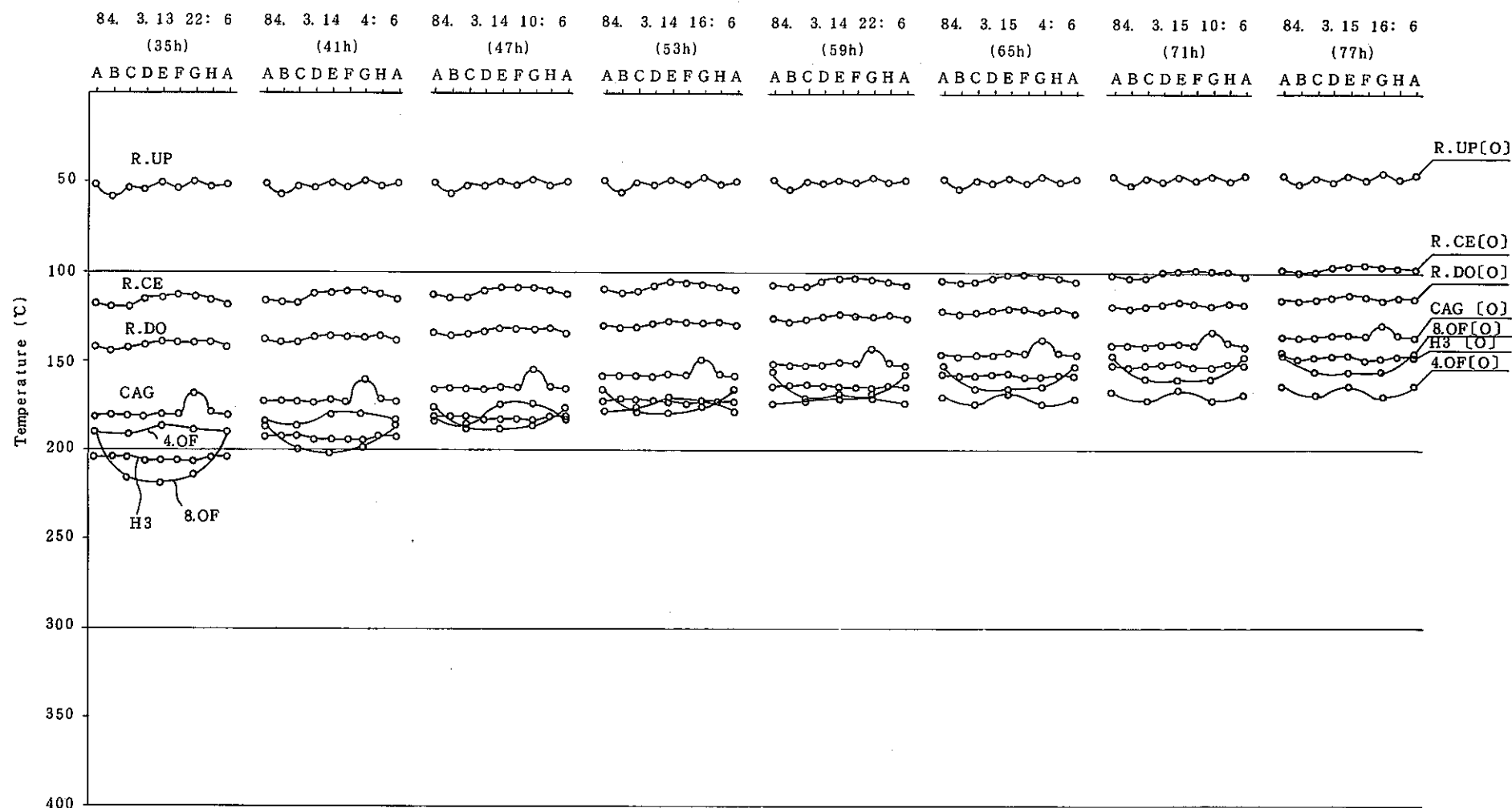


Fig.4-36 Radial Temperature Distribution on Outer-casing for Low Sodium Level Test(-2700mm) (3/5)
 低液位試験 (-2700mm) アウターケーシング周方向温度分布 (3/5)

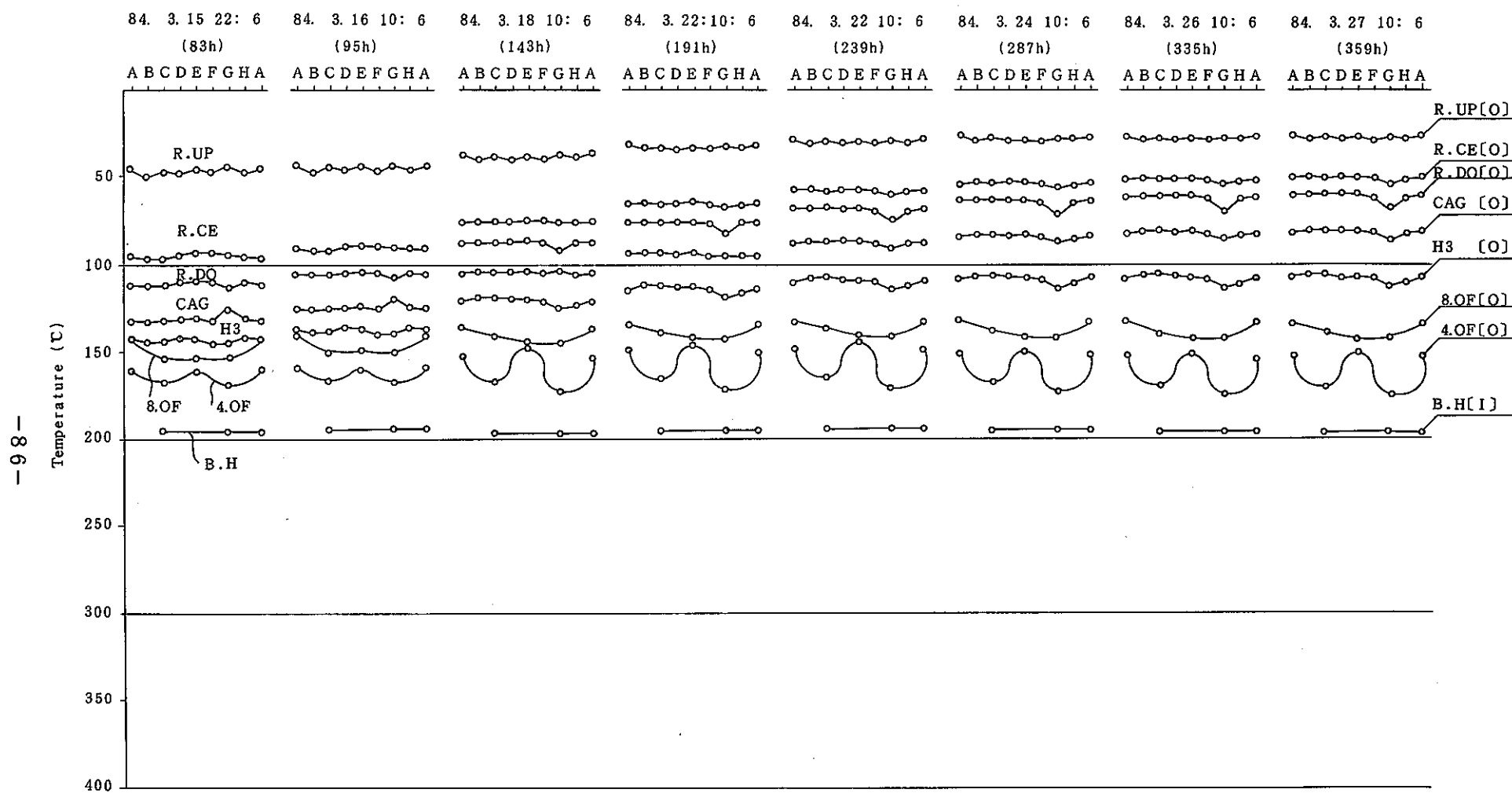


Fig.4-36 Radial Temperature Distribution on Outer-casing for Low Sodium Level Test(-2700mm) (4/5)

低液位試験 (-2700mm) アウターケーシング周方向温度分布 (4/5)

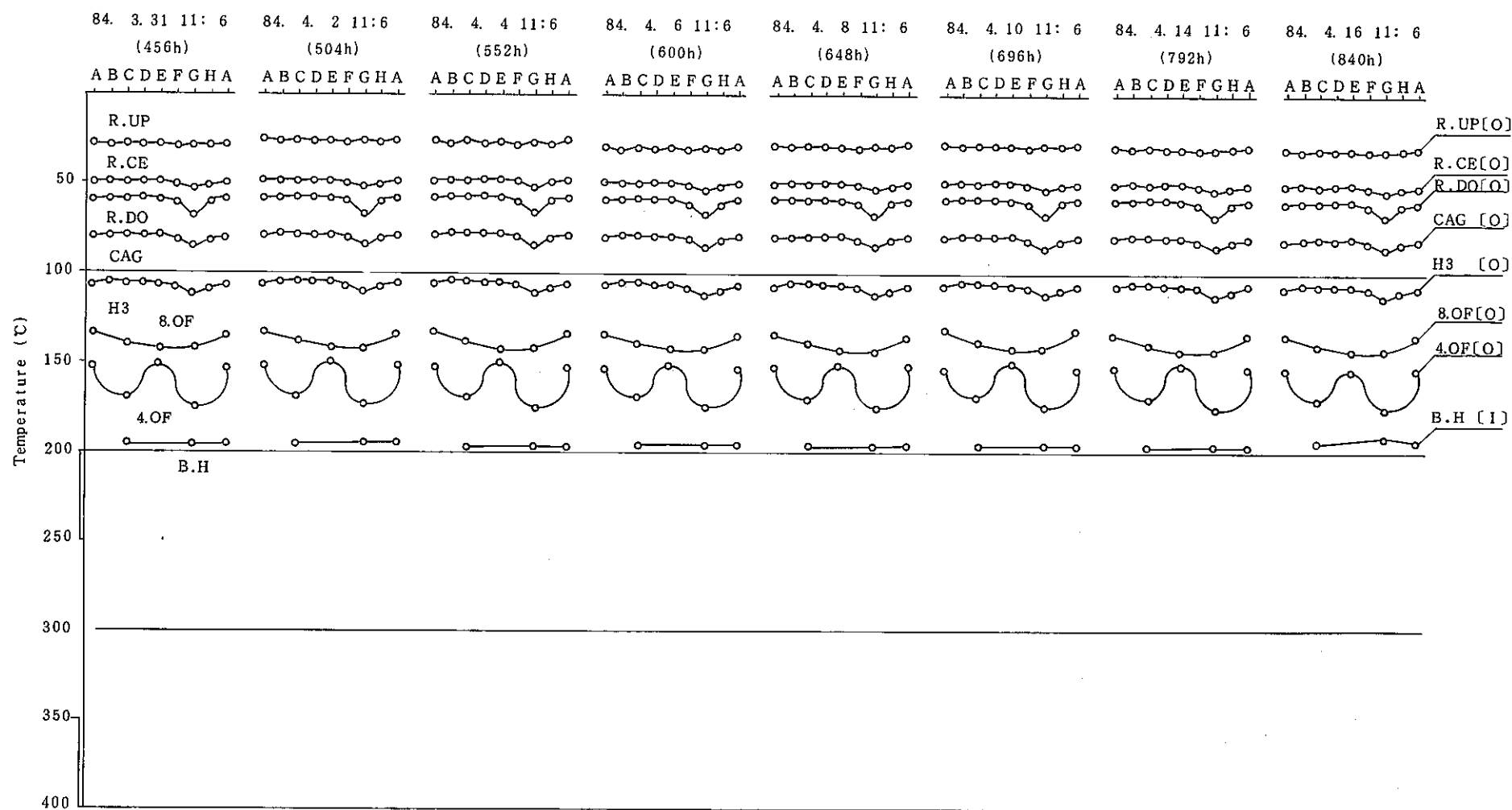


Fig.4-36 Radial Temperature Distribution on Outer-casing for Low Sodium Level Test(-2700mm) (5/5)

低液位試験 (-2700mm) アウターケーシング周方向温度分布 (5/5)

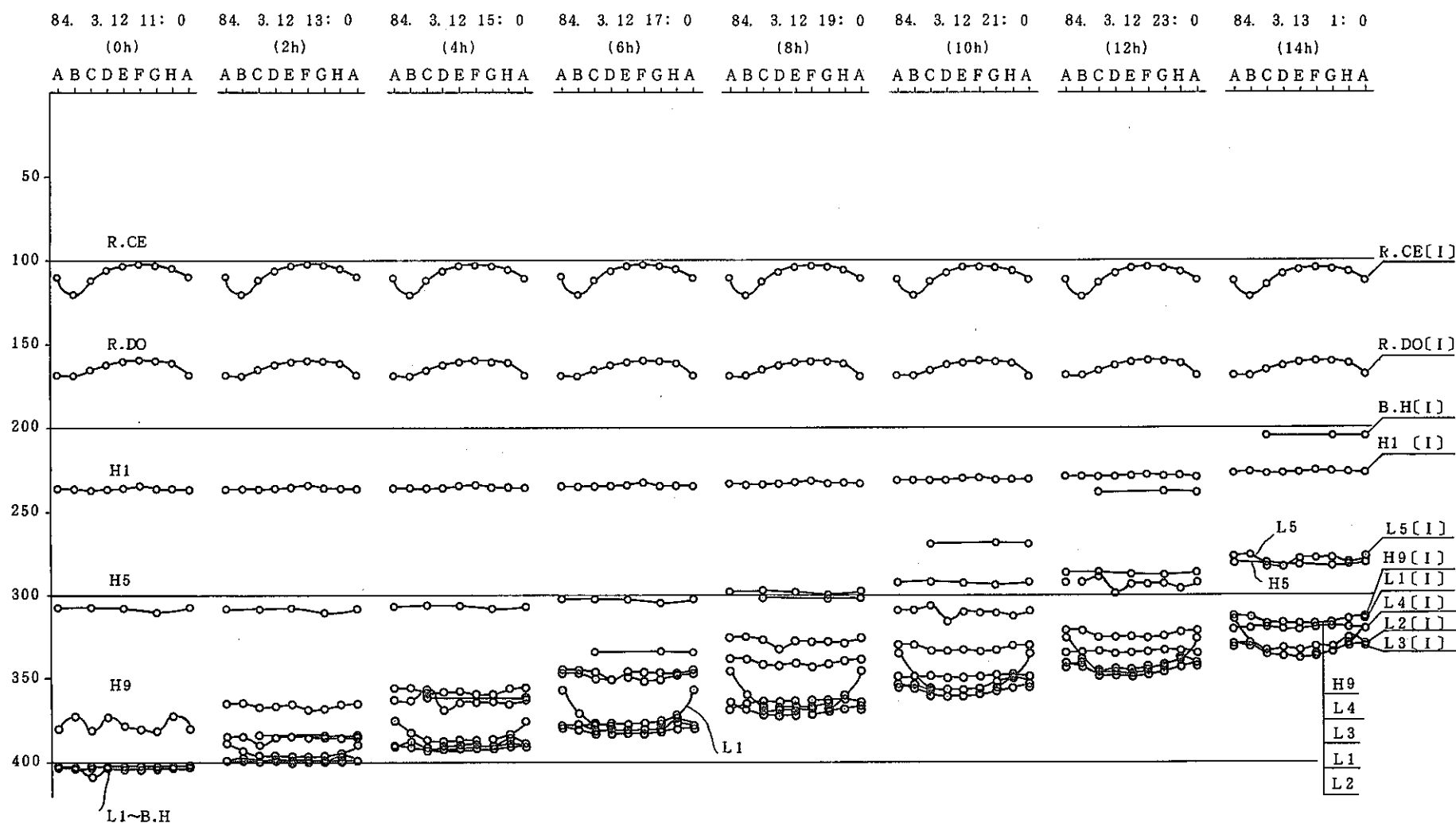


Fig.4-37 Radial Temperature Distribution on Inner-casing for Low Sodium Level Test(-2700mm) (1/5)
低液位試験 (-2700mm) インナーケーシング周方向温度分布 (1/5)

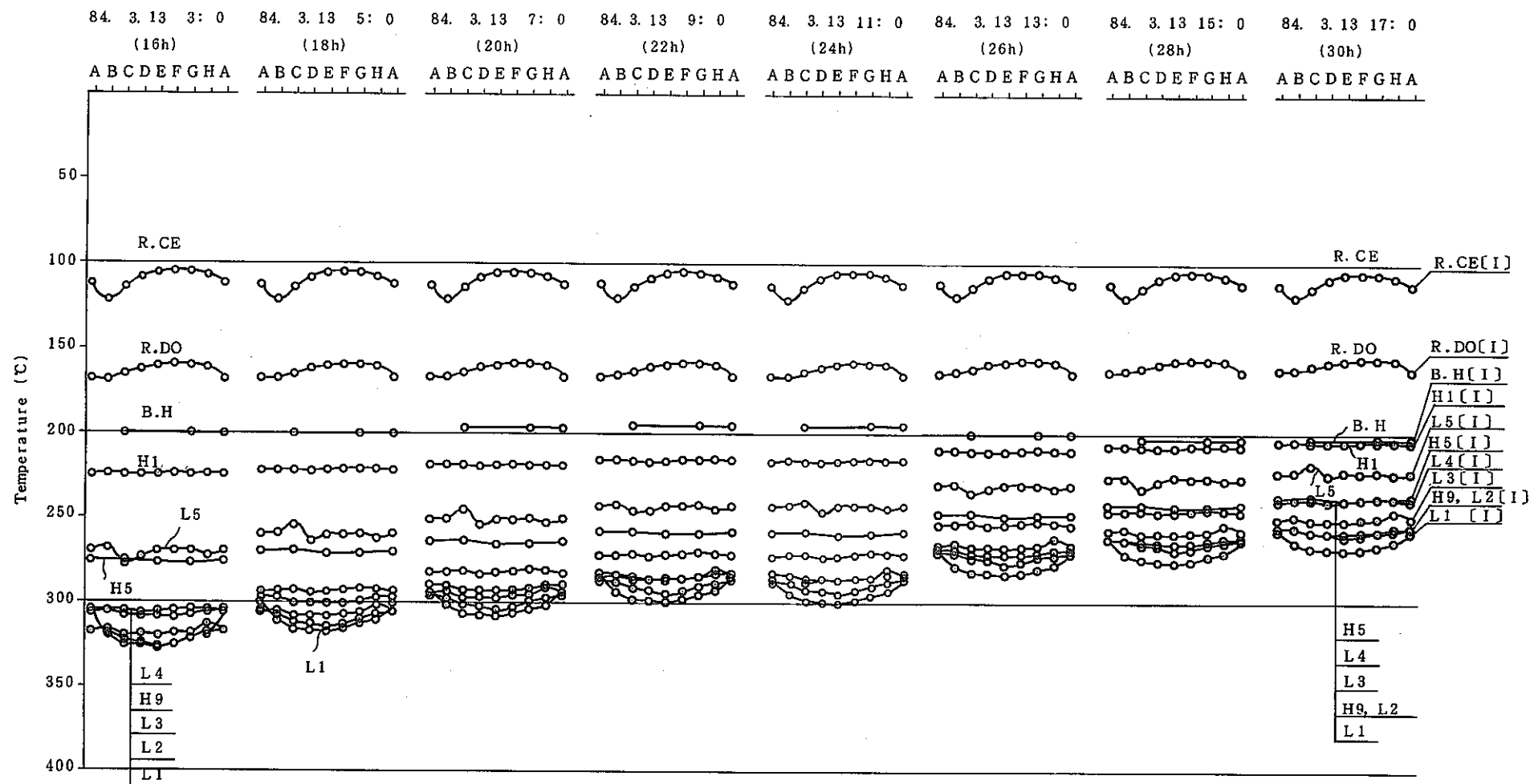


Fig.4-37 Radial Temperature Distribution on Inner-casing for Low Sodium Level Test(-2700mm) (2/5)

低液位試験 (-2700mm) インナーケーシング周方向温度分布 (2/5)

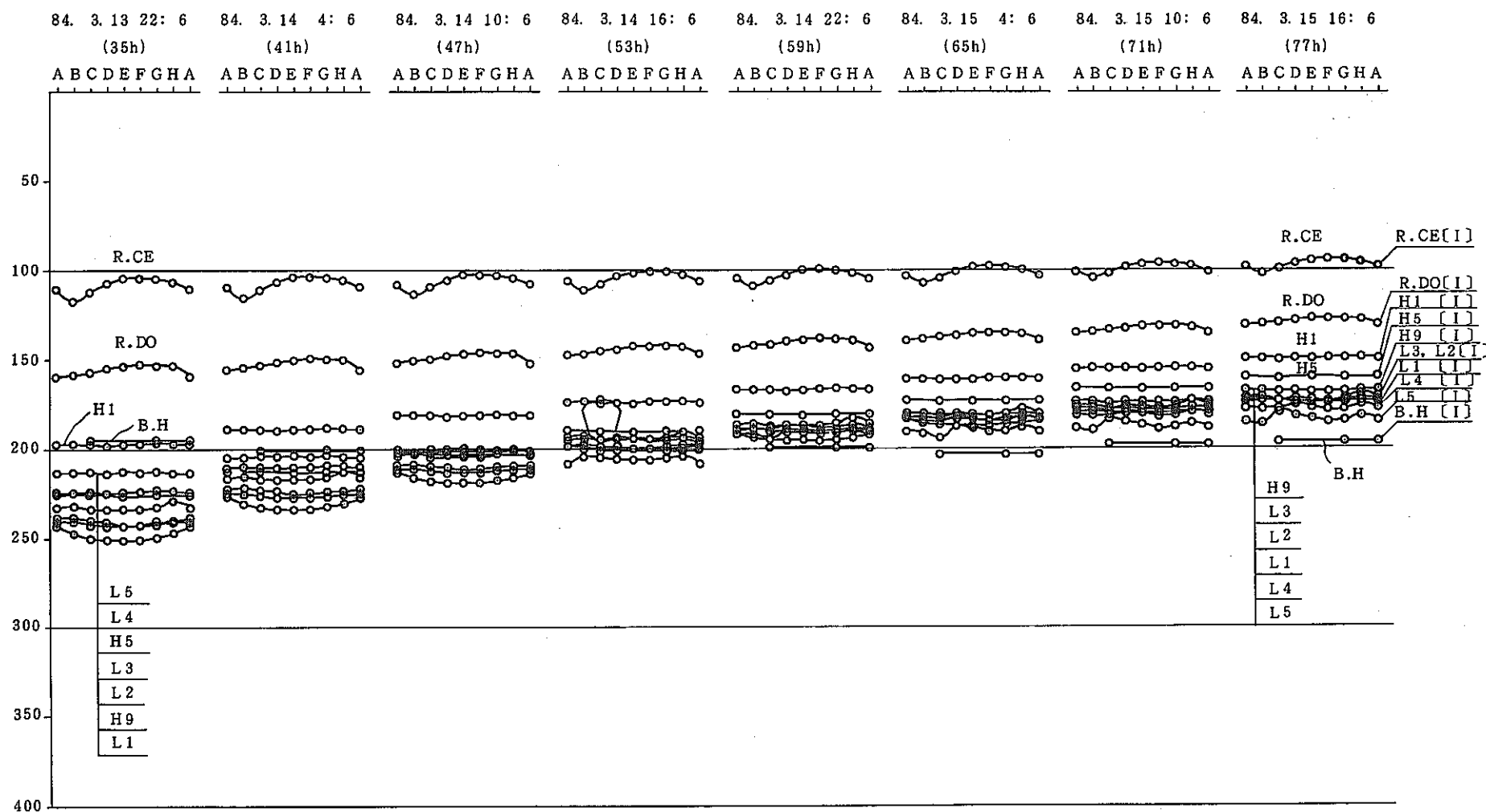


Fig.4-37 Radial Temperature Distribution on Inner-casing for Low Sodium Level Test(-2700mm) (3/5)

低液位試験 (-2700mm) インナーケーシング周方向温度分布 (3/5)

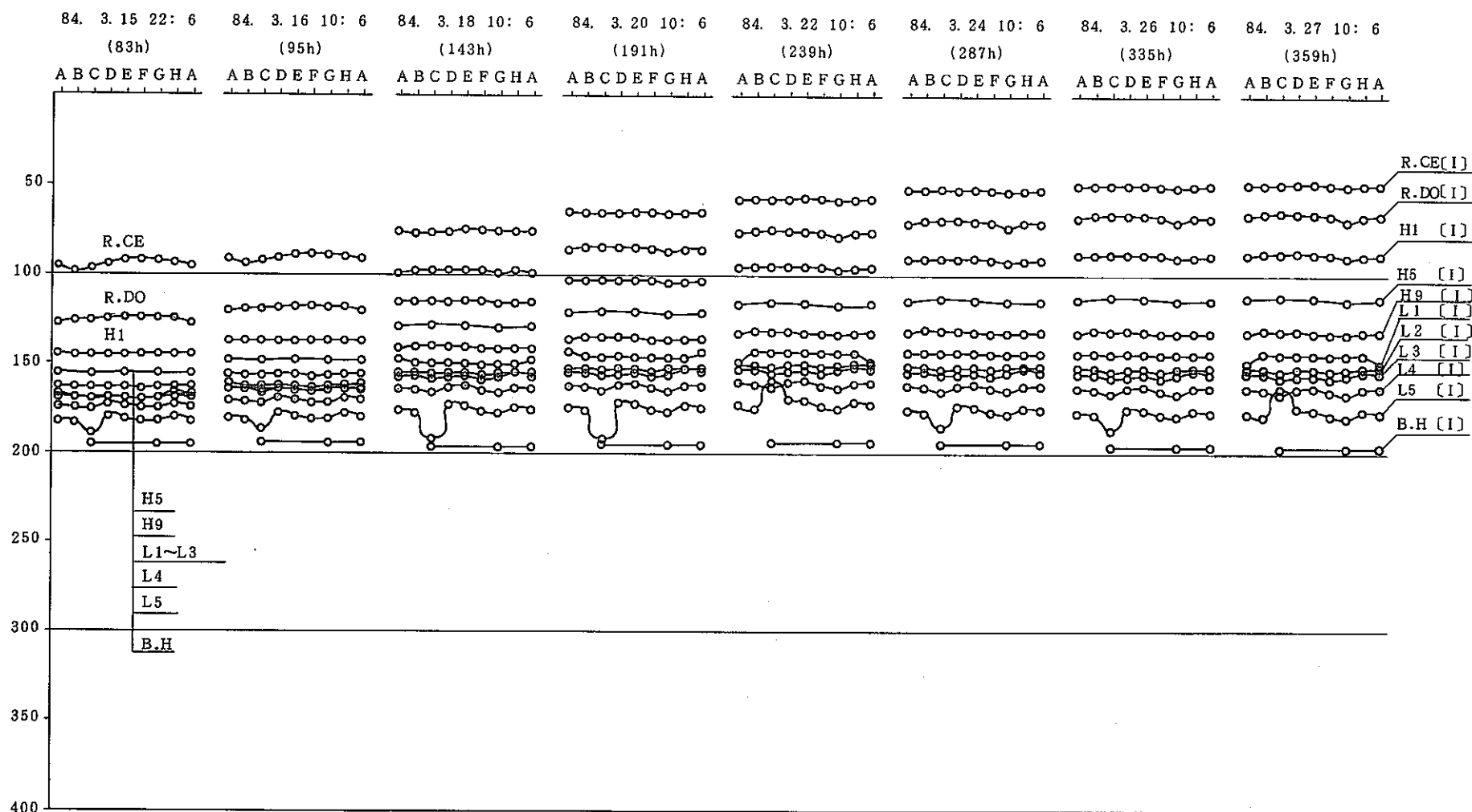


Fig.4-37 Radial Temperature Distribution on Inner-casing for Low Sodium Level Test(-2700mm) (4/5)

低液位試験 (-2700mm) インナーケーシング周方向温度分布 (4/5)

- 92 -

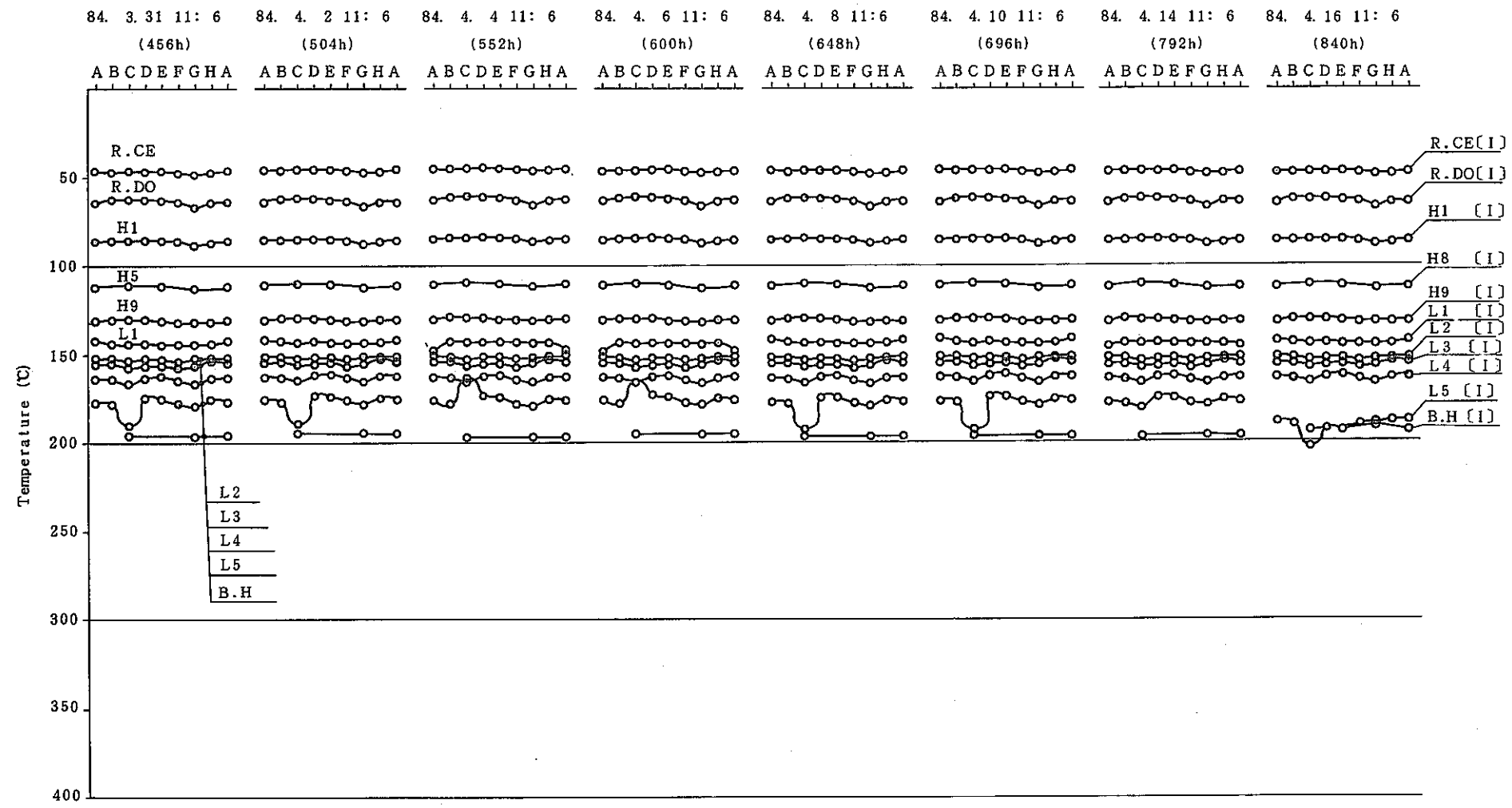


Fig.4-37 Radial Temperature Distribution on Inner-casing for Low Sodium Level Test (-2700mm) (5/5)
 低液位試験 (-2700mm) インナーケーシング周方向温度分布 (5/5)

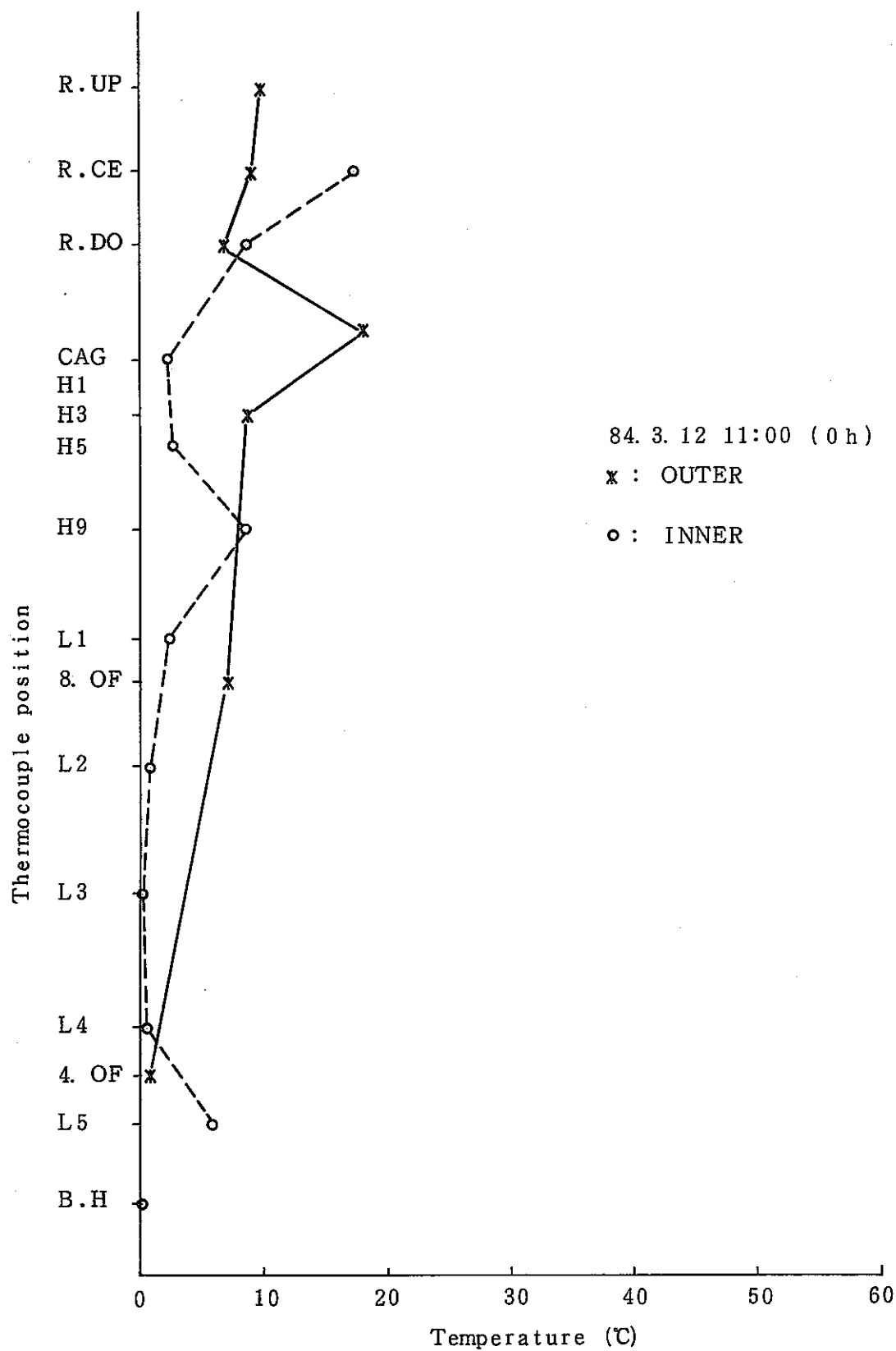


Fig. 4-39 Temperature Difference on Casing at the Start of Low Sodium Level Test (-2700 mm)

低液位試験 (-2700 mm) 開始時のケーシング温度差

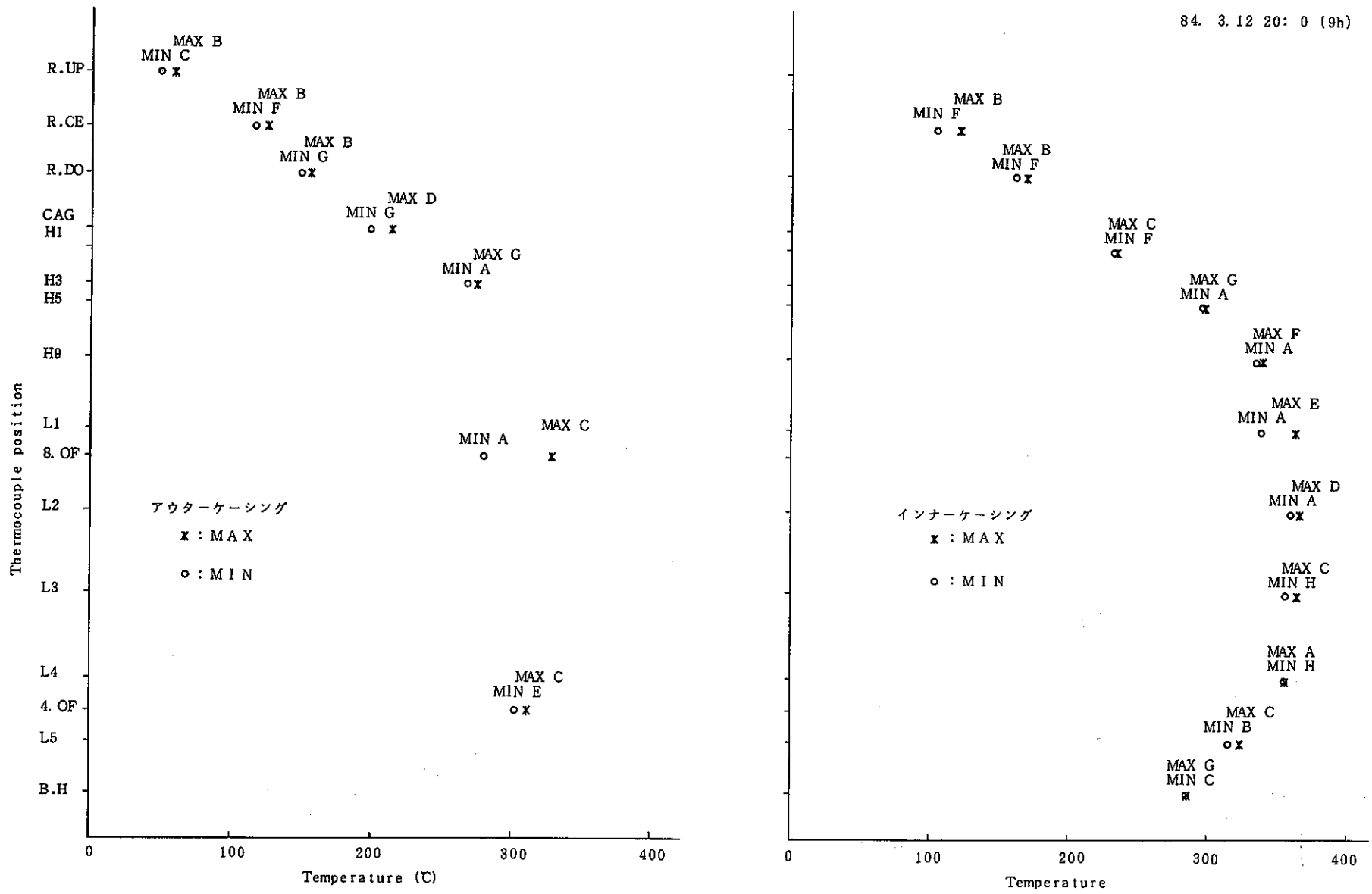


Fig.4-40 Maximum and Minimum Temperatures on Casing for Low Sodium Level Test (-2700mm) (at the Peak)

低液位試験 (-2700mm) ケーシング最大, 最小温度 (ピーク時)

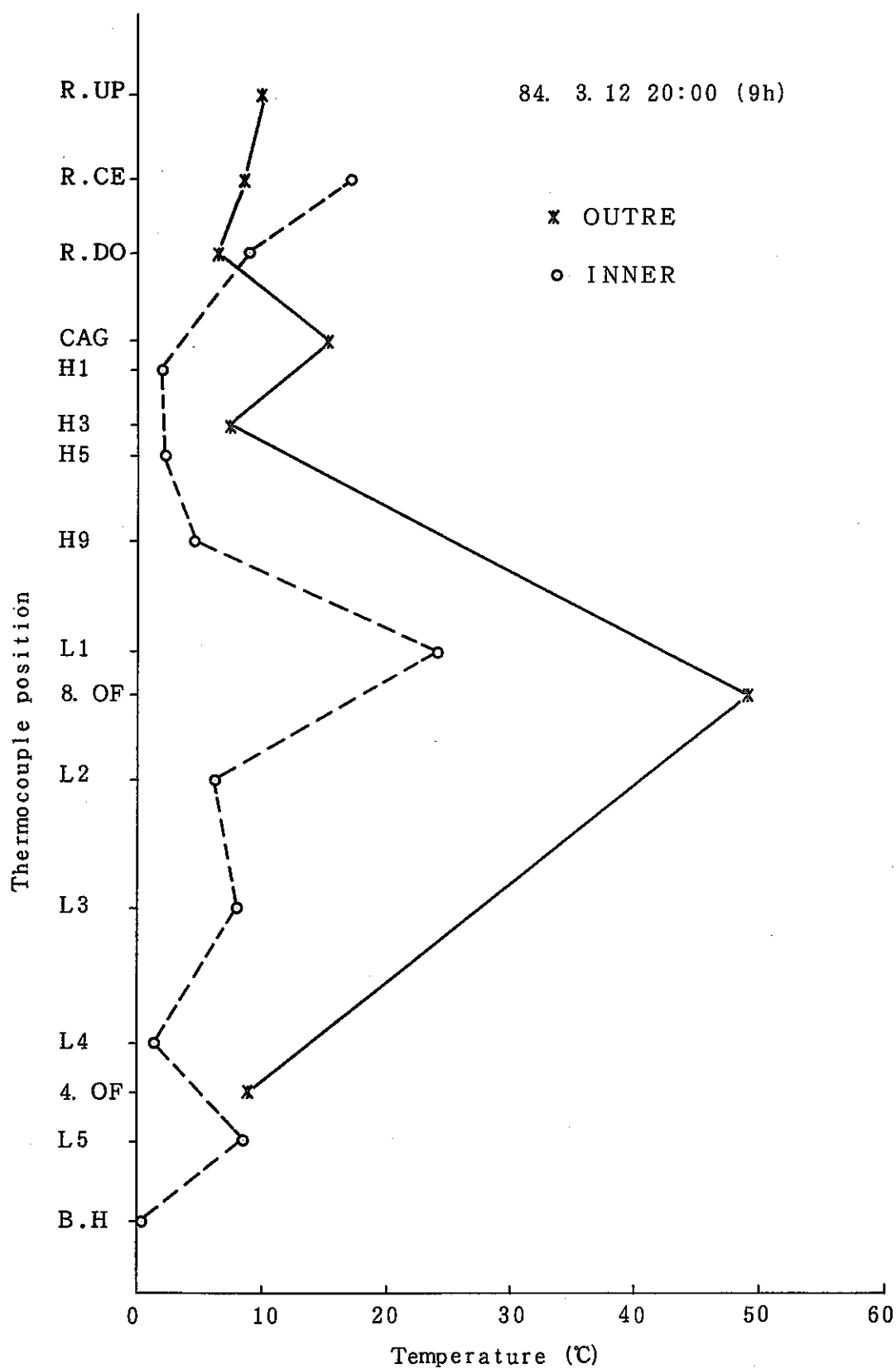


Fig. 4-41 Maximum Temperature Difference on Casing for Low Sodium Level Test (-2700mm) (at the peak)

低液位試験 (-2700 mm) ケーシング最大温度差 (ピーク時)

84. 4. 16 10:36 (840h)

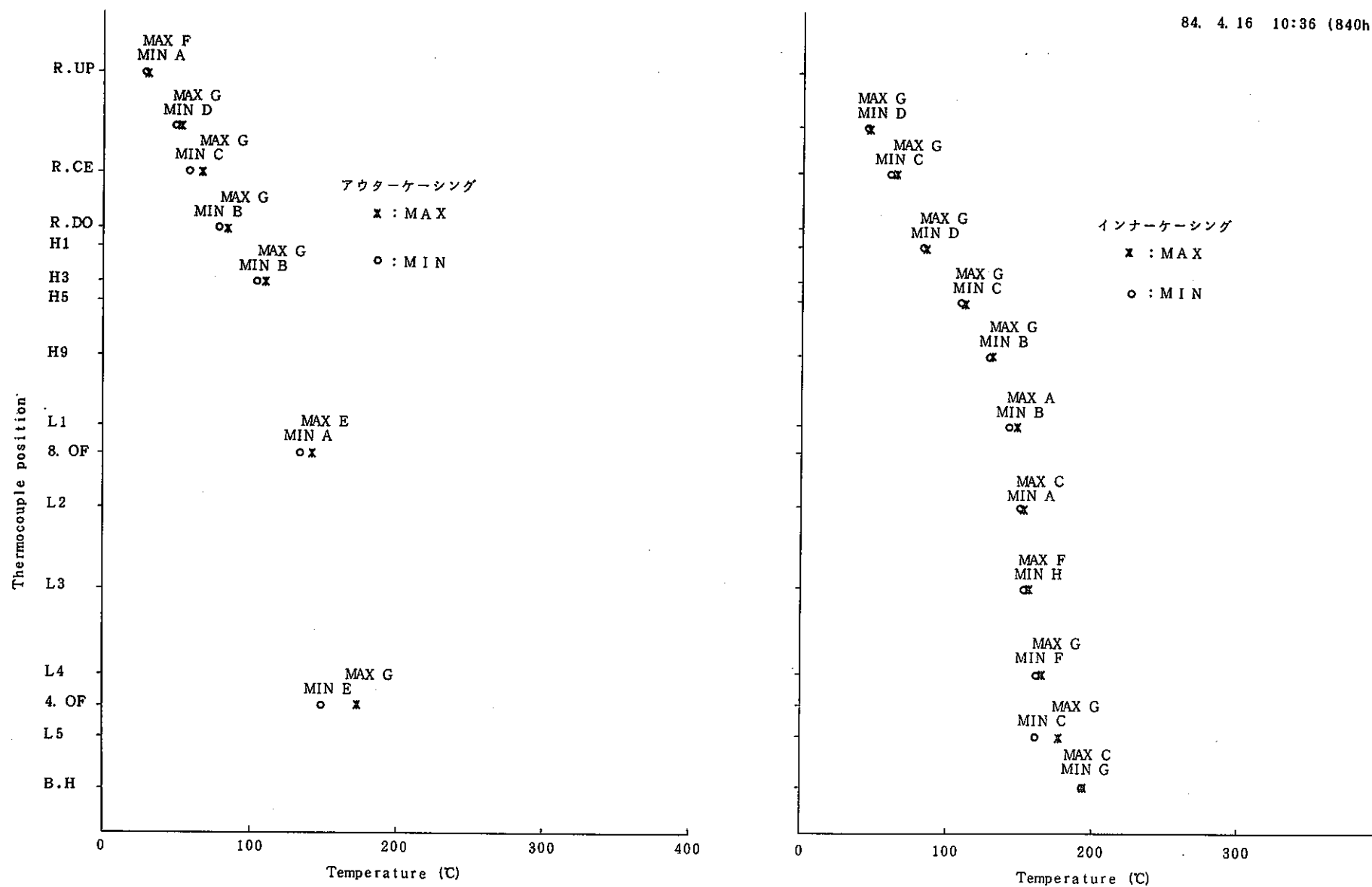


Fig.4-42 Maximum and Minimum Temperatures on Casing at the finish of Low Sodium Level Test (-2700mm)

低液位試験 (-2700mm) 終了時のケーシング最大, 最小温度

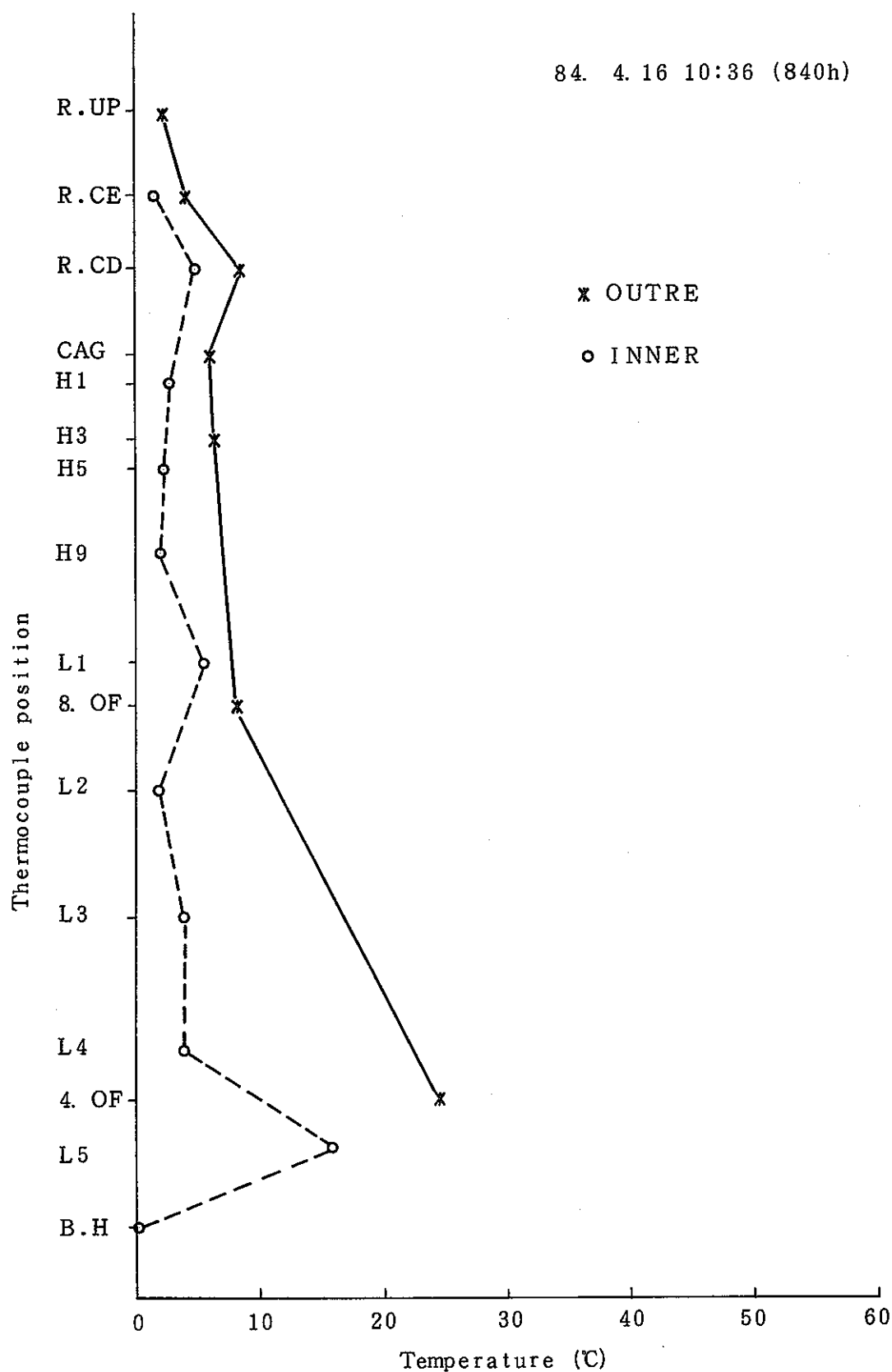


Fig. 4-43 Temperature Difference on Casing on Low Sodium Level at the finish of Low Sodium Level Test (-2700mm)

低液位試験 (-2700 mm) 終了時点のポンプケーシング温度差

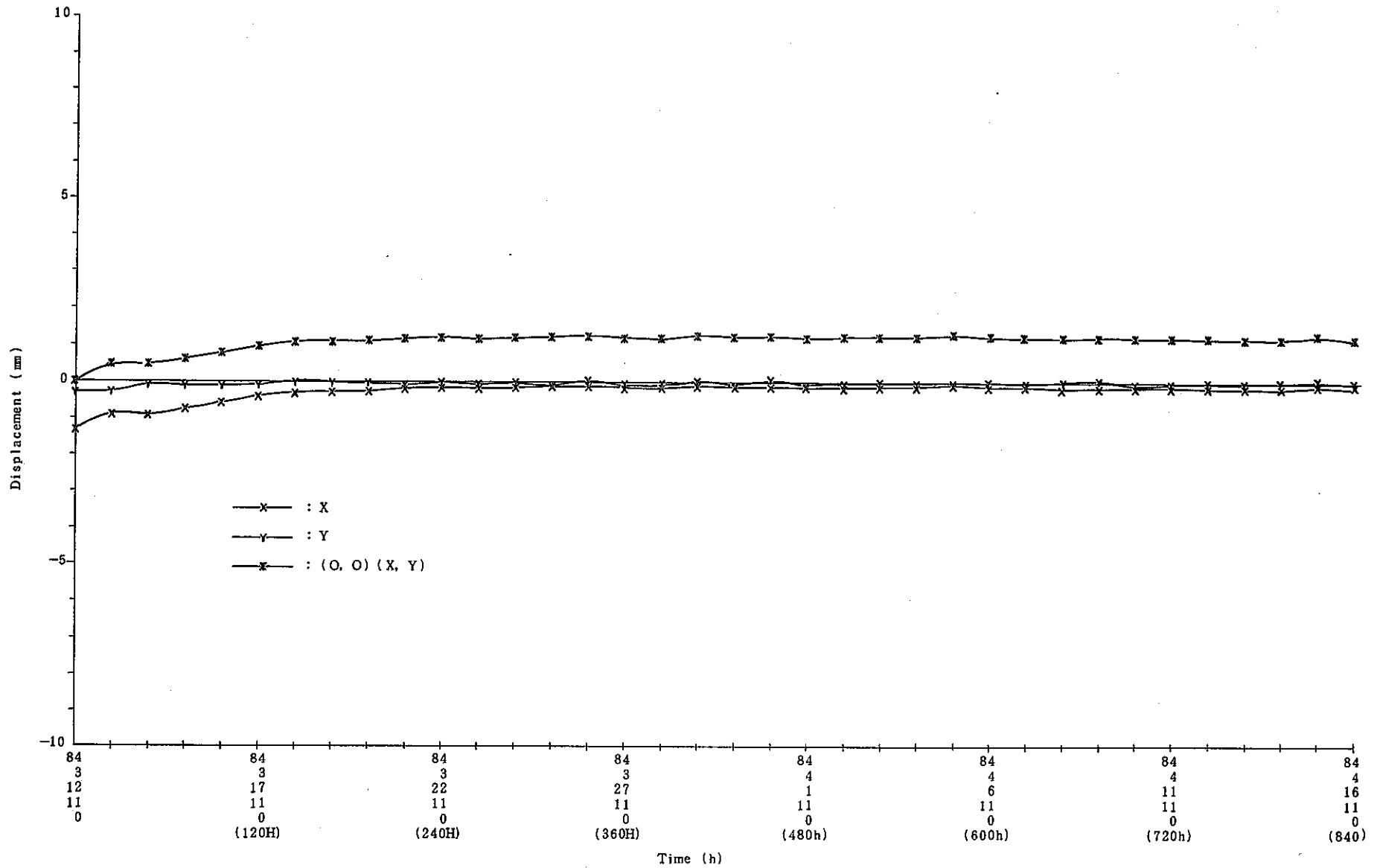


Fig.4-44 Variation of Outer-casing Displacement for Low Sodium Level Test(-2700mm)
 低液位試験(-2700mm)アウターケーシング変位変化

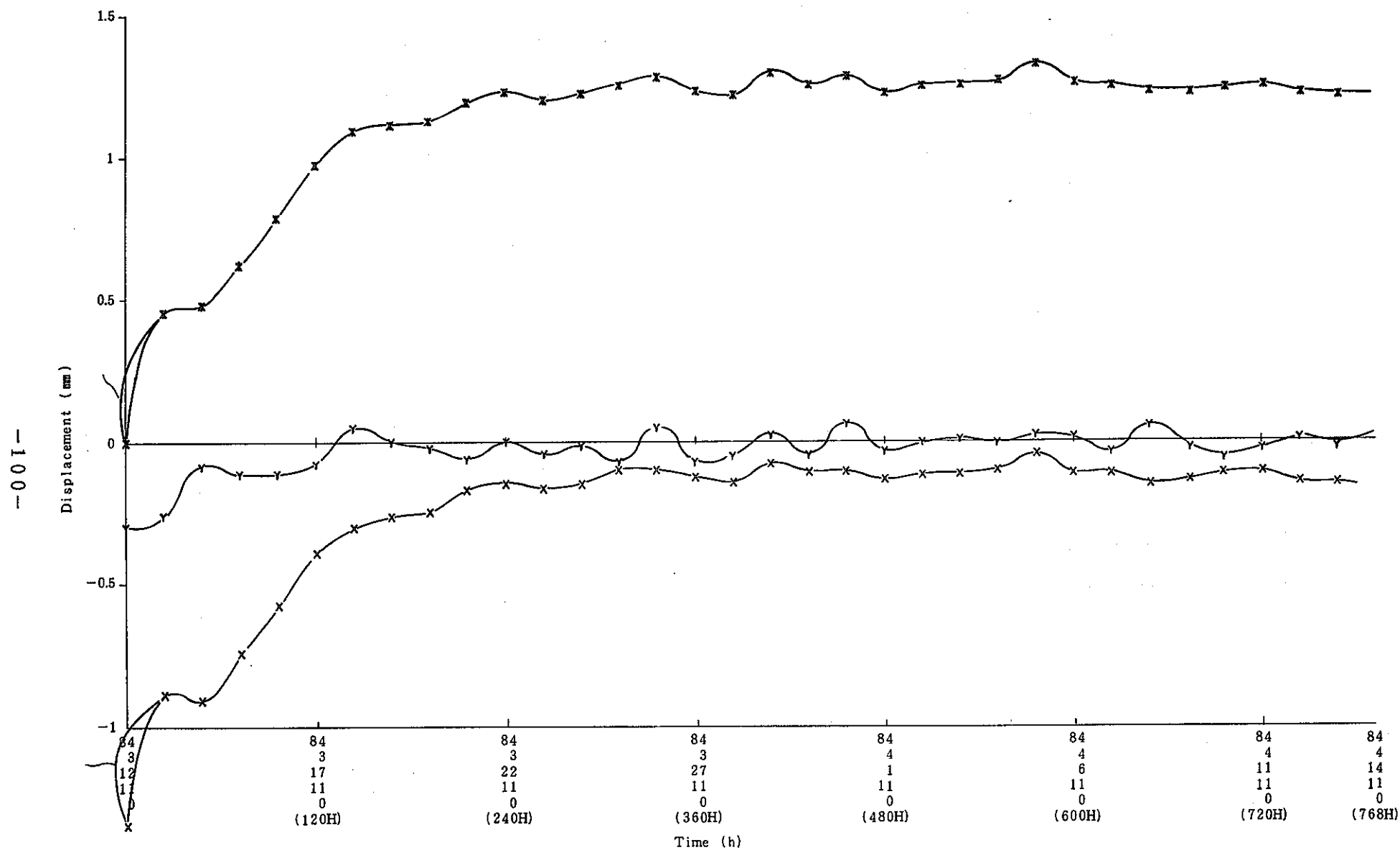


Fig.4-45 Variation of Outer-casing Displacement for Low Sodium Level Test(-2700mm)

低液位試験 (-2700mm) アウターケーシング変位変化

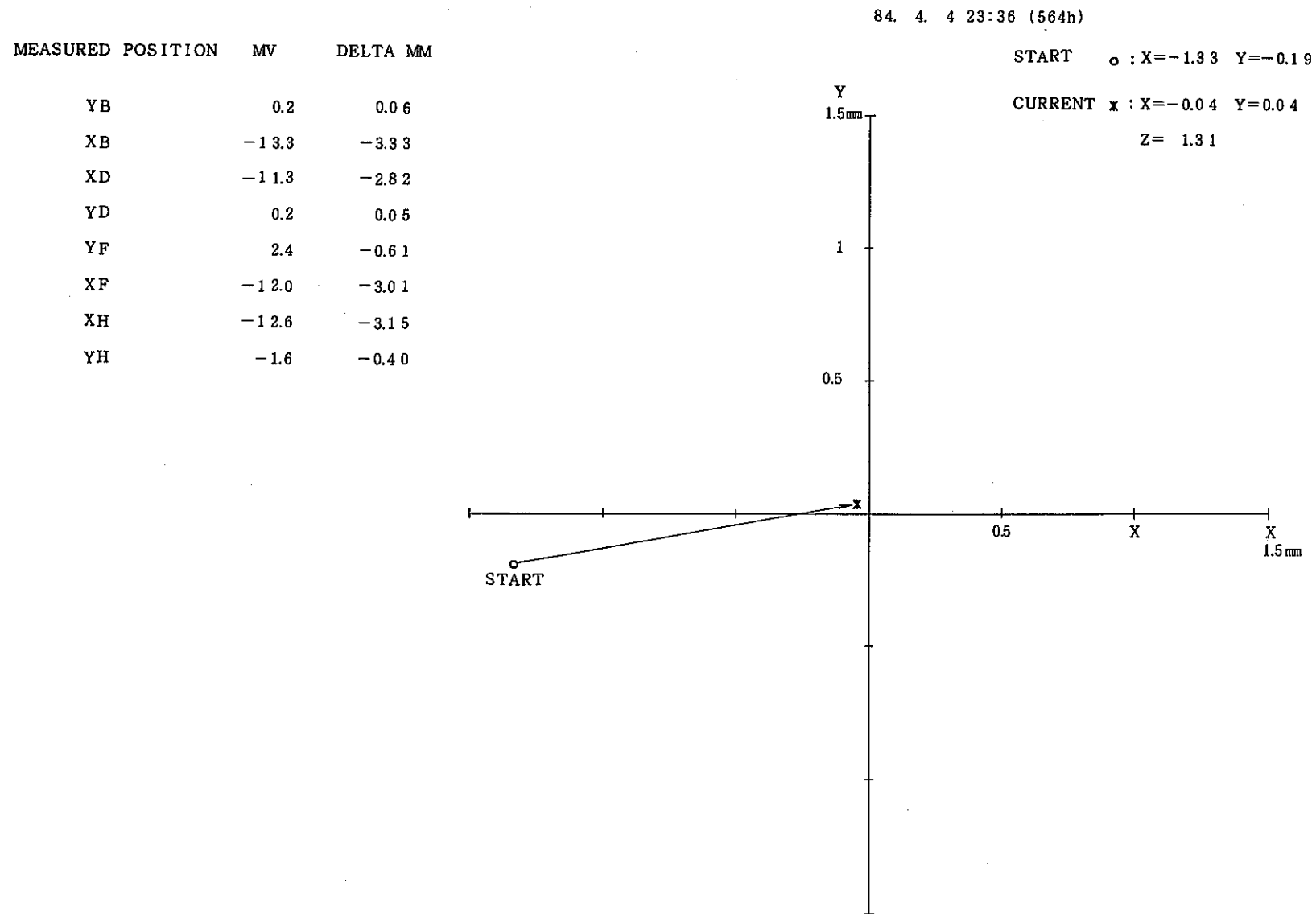


Fig.4-46 Maximum Outer-casing Displacement for Low Sodium Level Test(-2700mm) (at the Peak)
 低液位試験 (-2700mm) アウターケーシング最大変位 (ピーク時)

84. 4. 16 10:36 (840h)

MEASURED POSITION MV DFLTA MM

YB	1.2	0.29
XB	-12.2	-3.06
XD	-10.3	-2.57
YD	0.6	0.16
YF	-2.2	-0.56
XF	-11.8	-2.95
XH	-12.5	3.13
YH	-1.0	-0.26

o : X=-1.33 Y=-0.19

x : X=-0.16 Y=-0.00

Z= 1.19

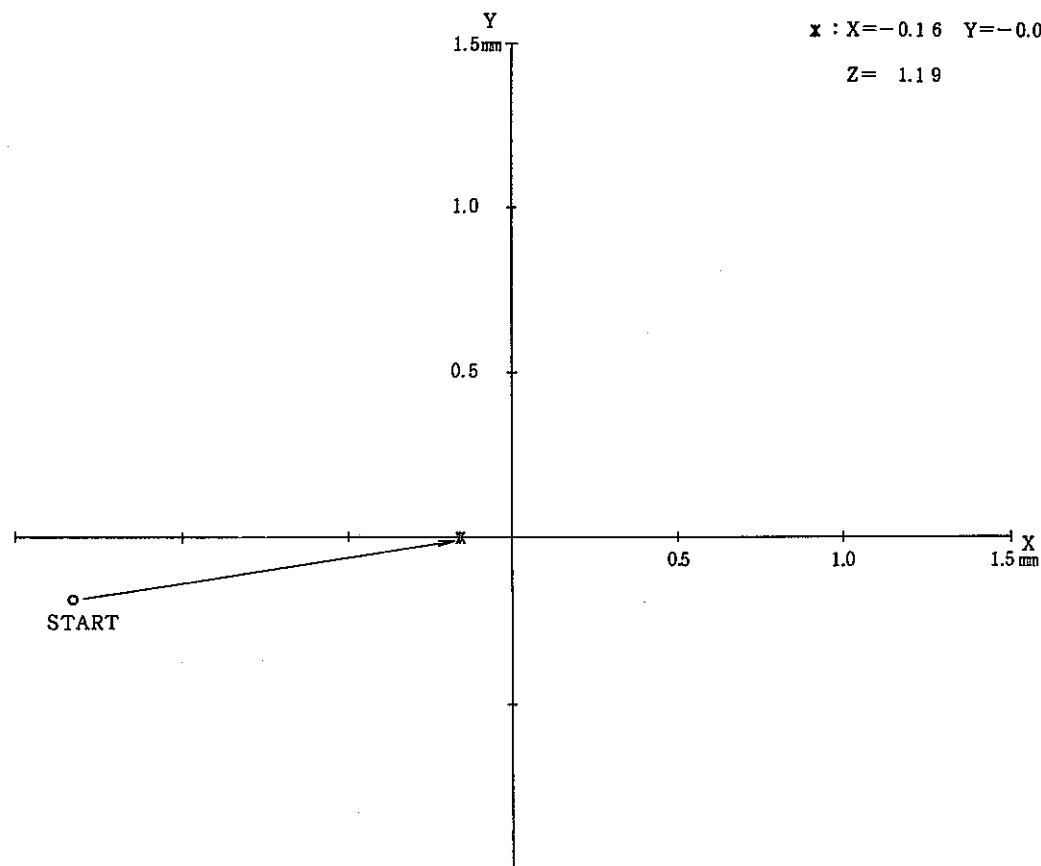


Fig.4-47 Outer-casing Displacement at the finish of Low Sodium Lever Test(-2700mm)

低液位試験(-2700mm)終了時アウターケーシング変位

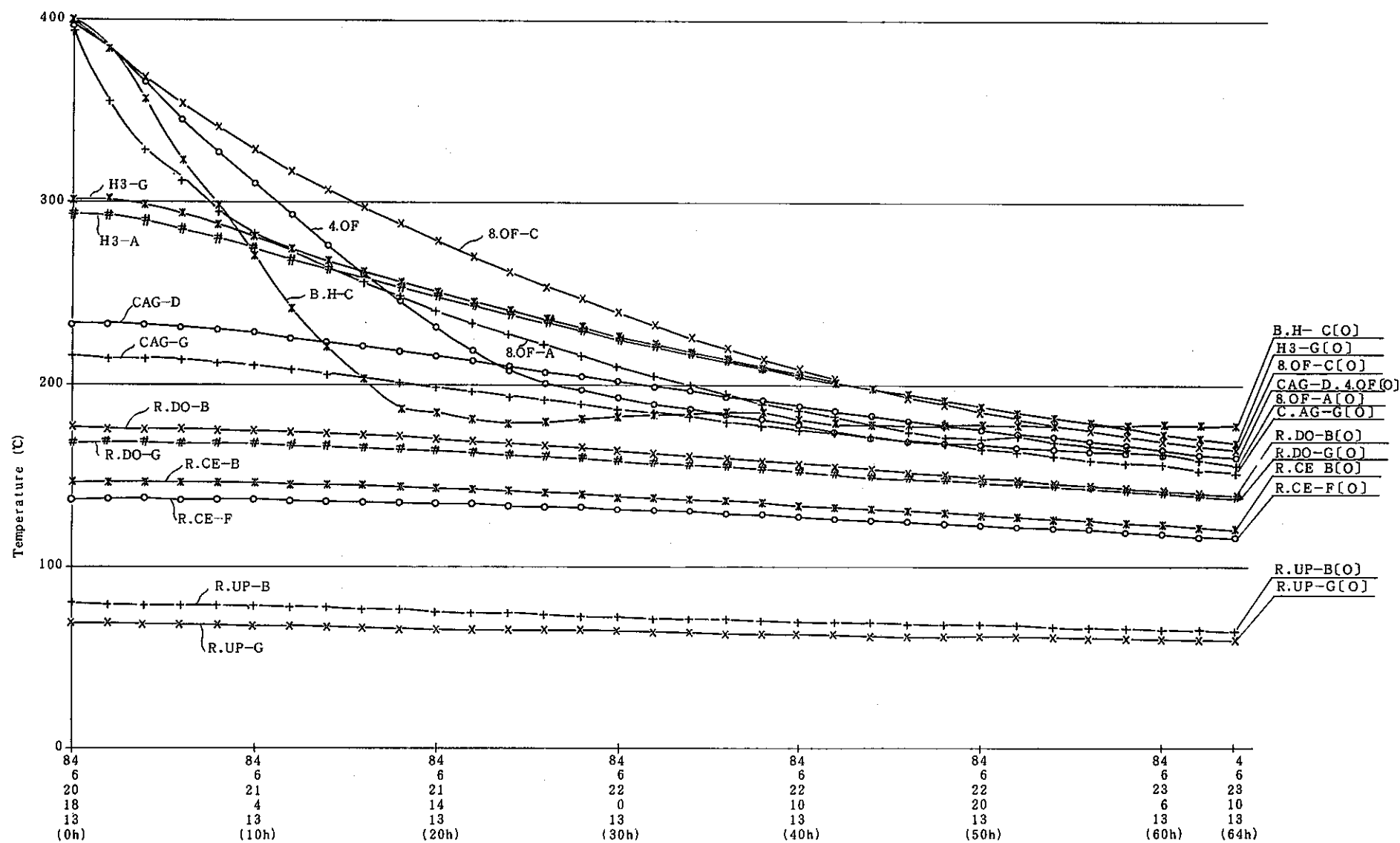


Fig.4-48 Temperature Variation on Outer-casing for Low Sodium Level Test Without Seal Gas(-2700mm) (1/3)

低液位 (-2700mm) ・無シールガス試験アウターケーシング温度変化 (1/3)

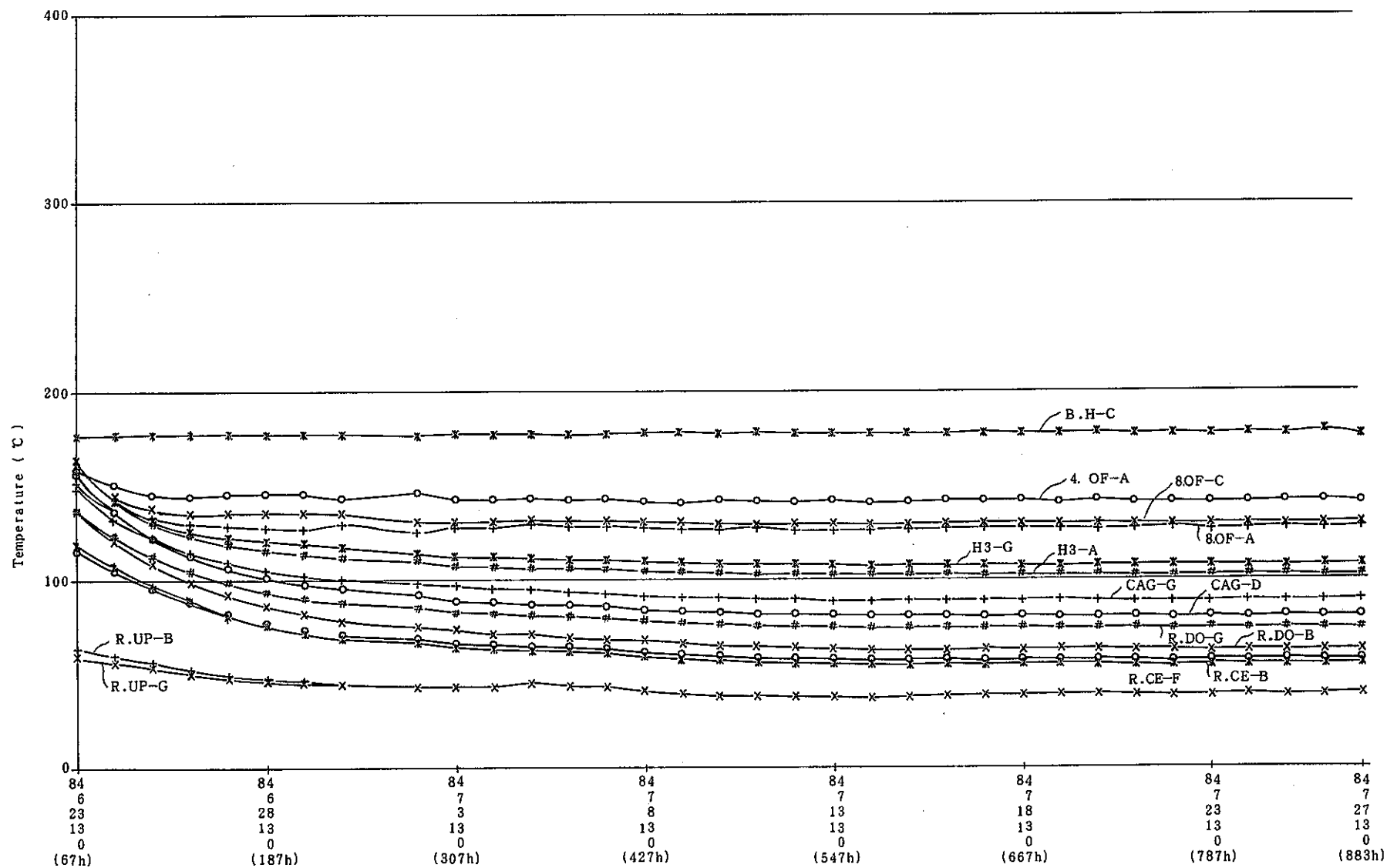


Fig.4-48 Temperature Variation on Outer-casing for Low Sodium Level Test Without Seal Gas (-2700mm) (2/3)

低液位 (-2700mm)・無シールガス試験アウターケーシング温度変化 (2/3)

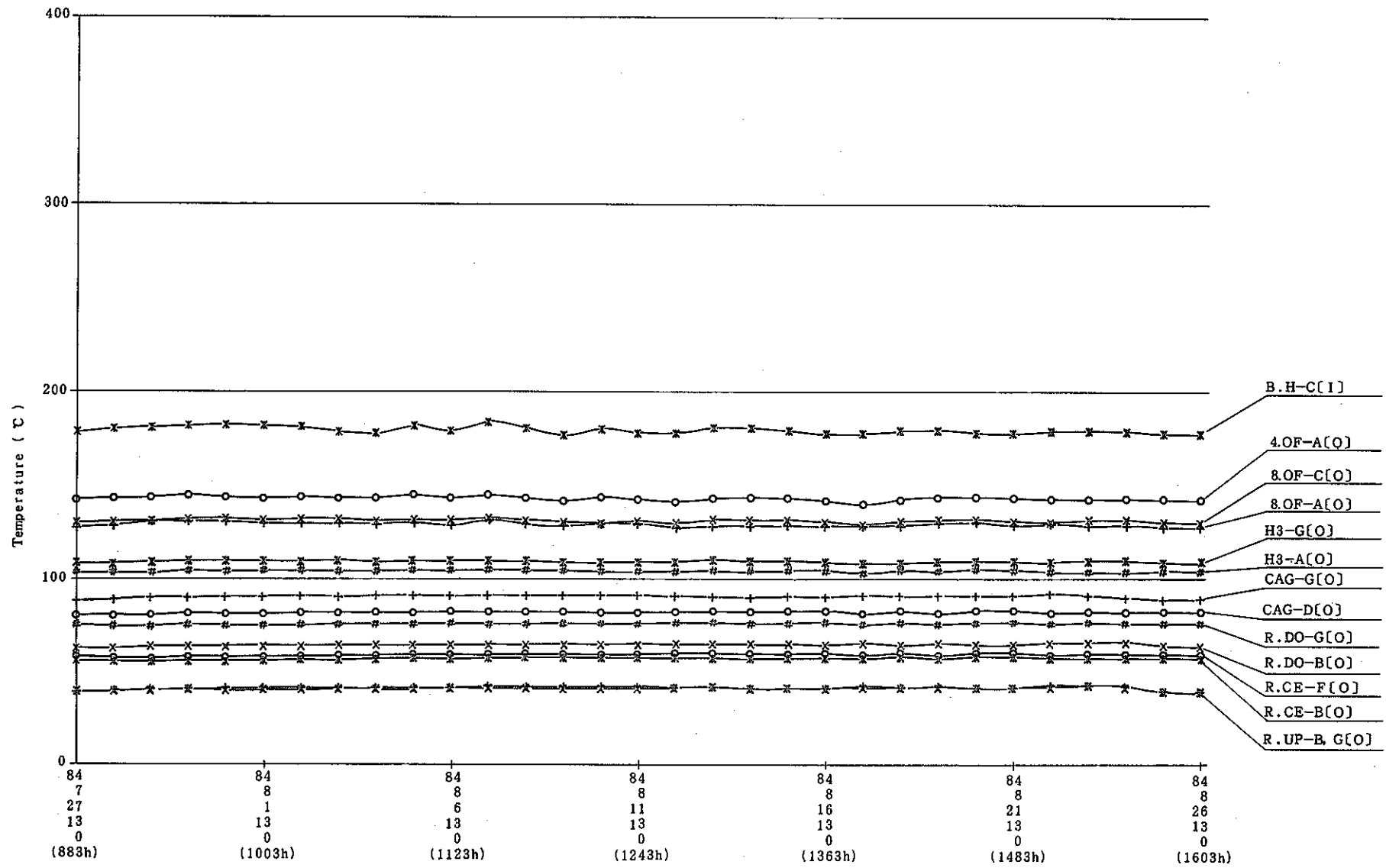


Fig.4-48 Temperature Variation on Outer-casing for Low Sodium Level Test Without Seal Gas (-2700mm) (3/3)

低液位 (-2700mm)・無シールガス試験アウターケーシング温度変化 (3/3)

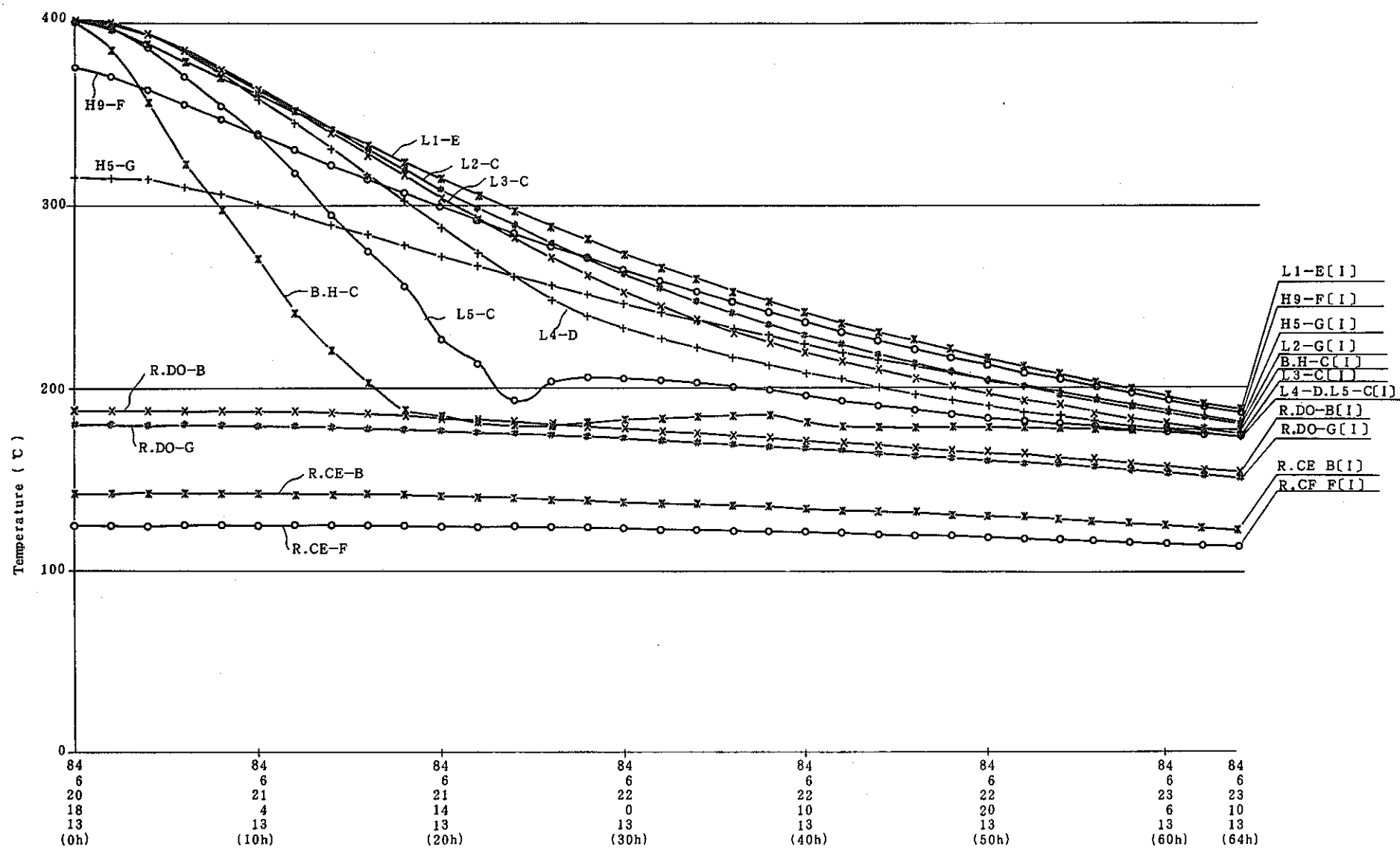


Fig.4-49 Temperature Variation on Inner-casing for Low Sodium Level Test Without Seal Gas (-2700mm) (1/3)

低液位 (-2700mm) ・無シールガス試験インナーケーシング温度変化 (1/3)

-107-

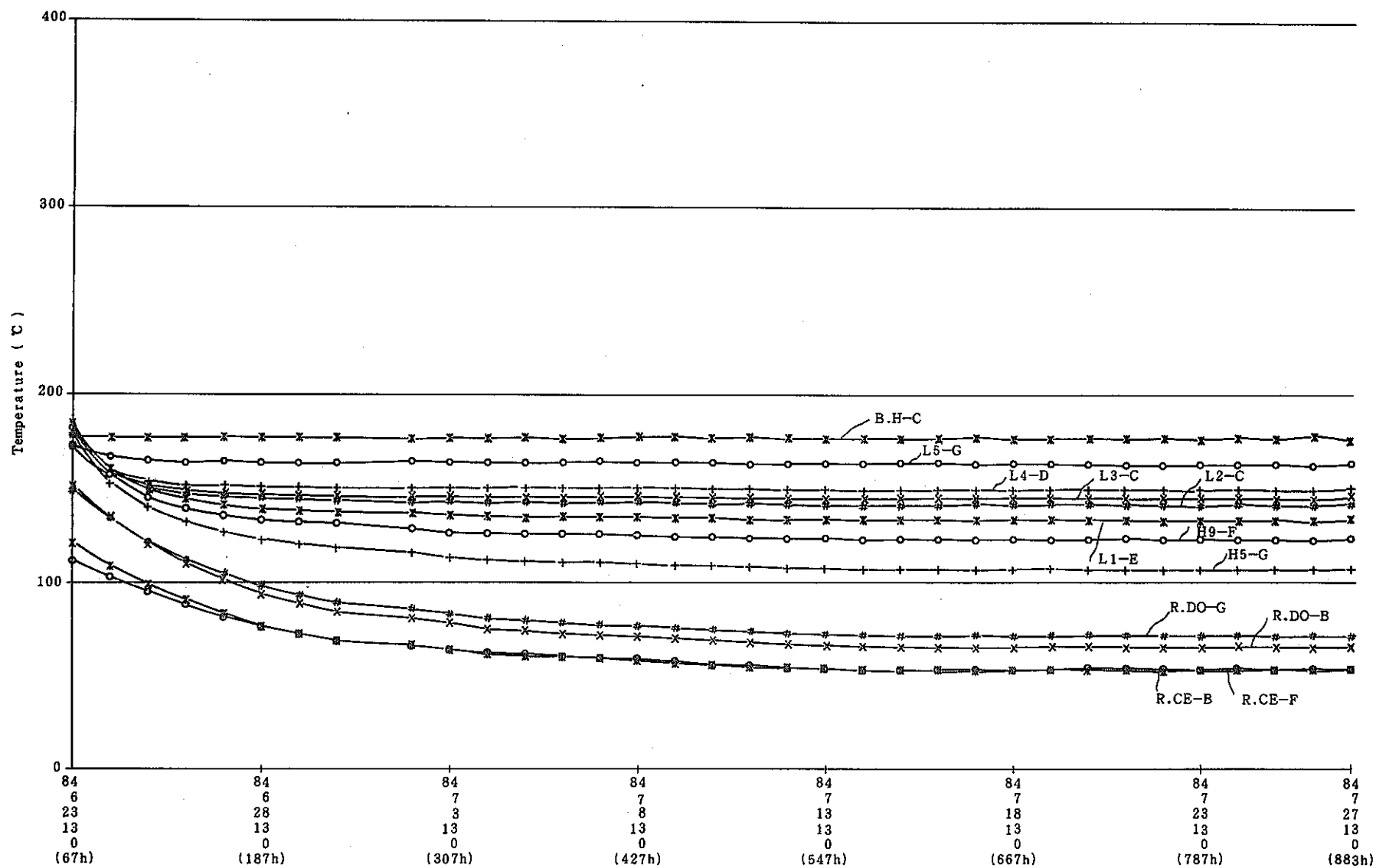


Fig.4-49 Temperature Variation on Inner-casing for Low Sodium Level Test Without Seal Gas (-2700mm) (2/3)

低液位 (-2700mm) ・無シールガス試験インナーケーシング温度変化 (2/3)

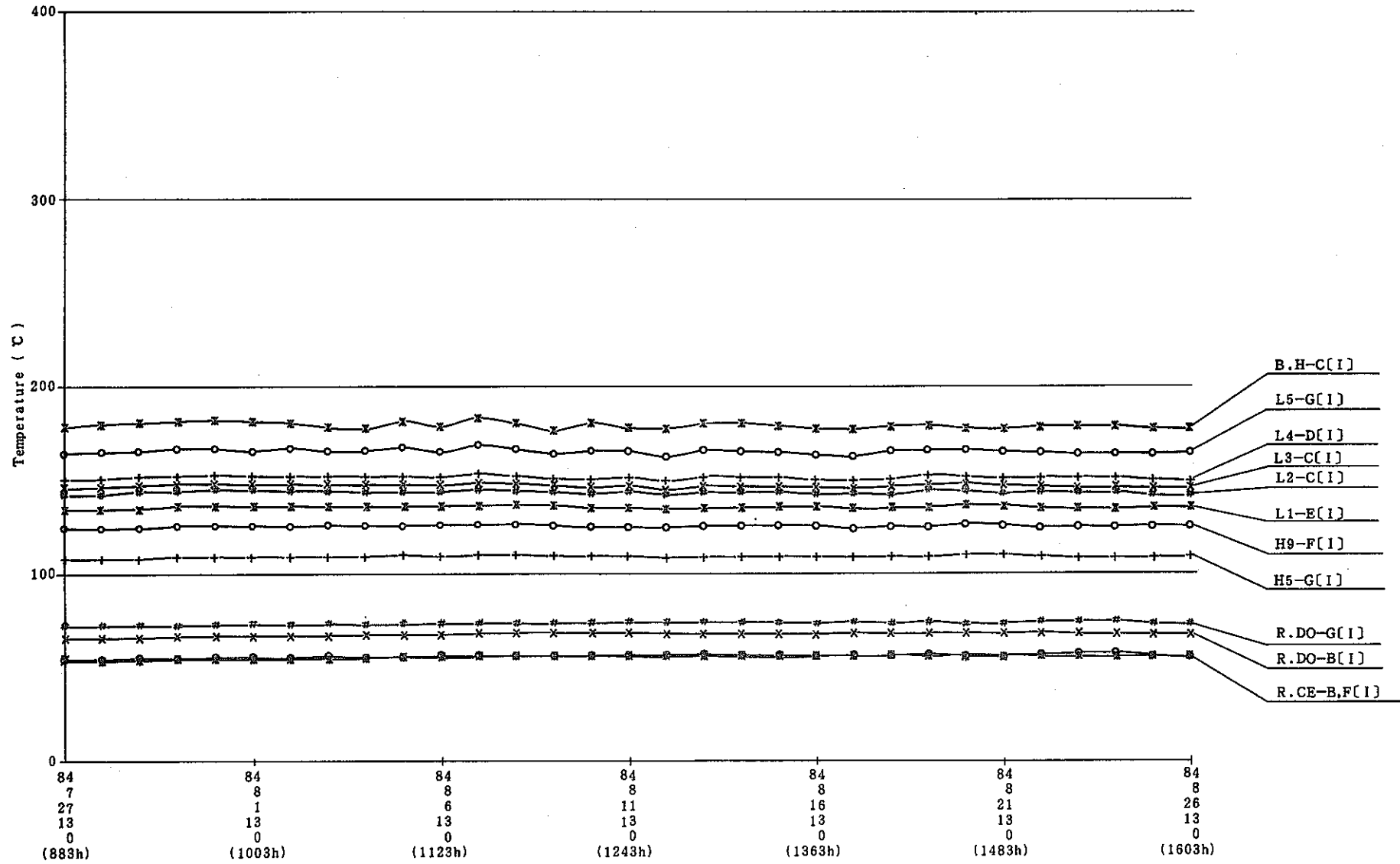


Fig.4-49 Temperature Variation on Inner-casing for Low Sodium Level Test Without Seal Gas(-2700mm) (3/3)

低液位 (-2700mm) ・無シールガス試験インナーケーシング温度変化 (3/3)

-109-

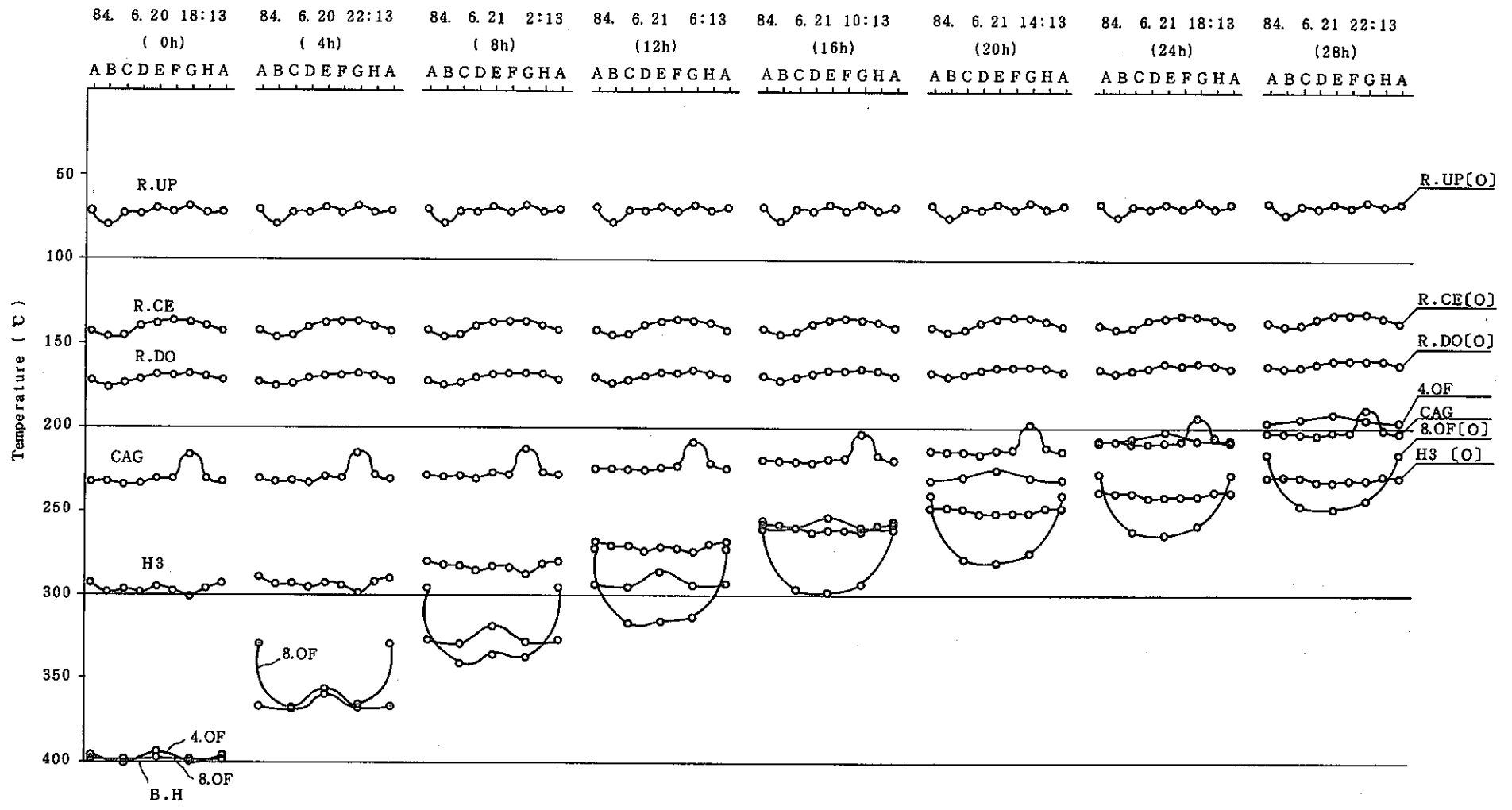


Fig.4-50 Radial Temperature Distribution on Outer-casing for Low Sodium Level Test Without seal Gas(-2700mm) (1/5)

低液位 (-2700mm)・無シールガス試験アウターケーシング周方向温度分布 (1/5)

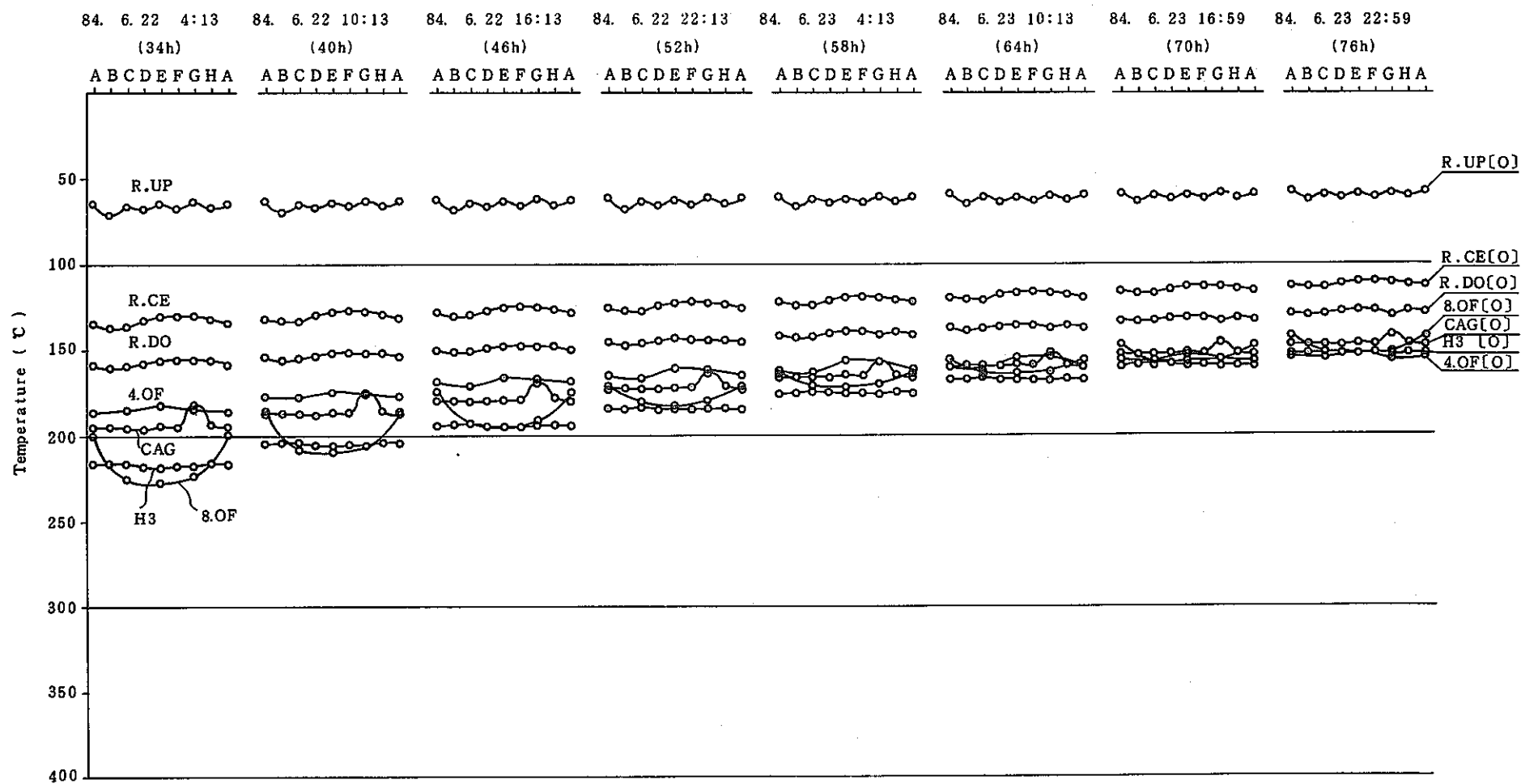


Fig.4-50 Radial Temperature Distribution on Outer-casing for Low Sodium Level Test Without Seal Gas(-2700mm) (2/5)

低液位 (-2700 mm) ・ 無シールガス試験アウターケーシング周方向温度分布 (2/5)

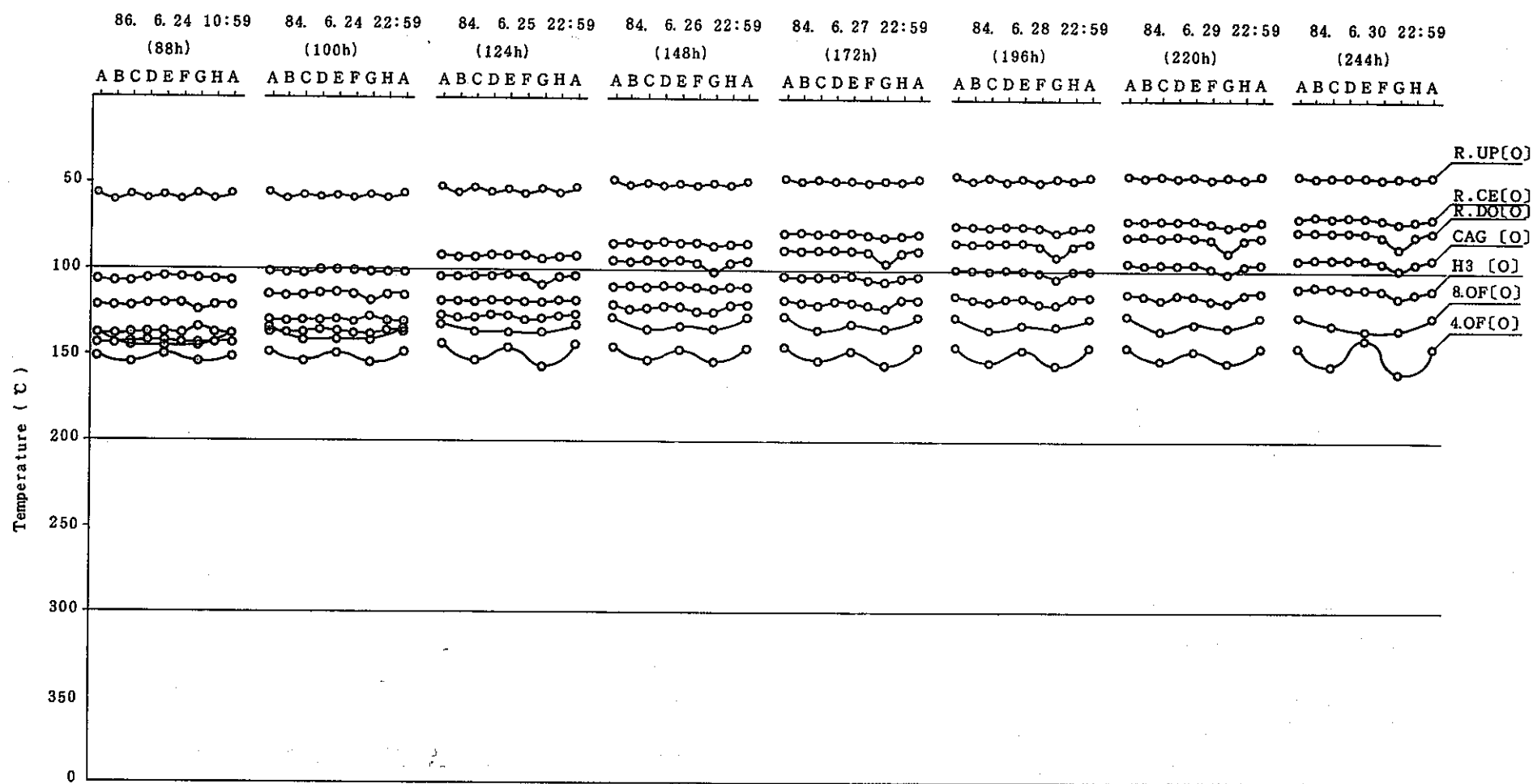


Fig.4-50 Radial Temperature Distribution on Outer-casing for Low Sodium Level Test Without Seal Gas(-2700mm) (3/5)

低液位 (-2700mm) ・無シールガス試験アウターケーシング周方向温度分布 (3/5)

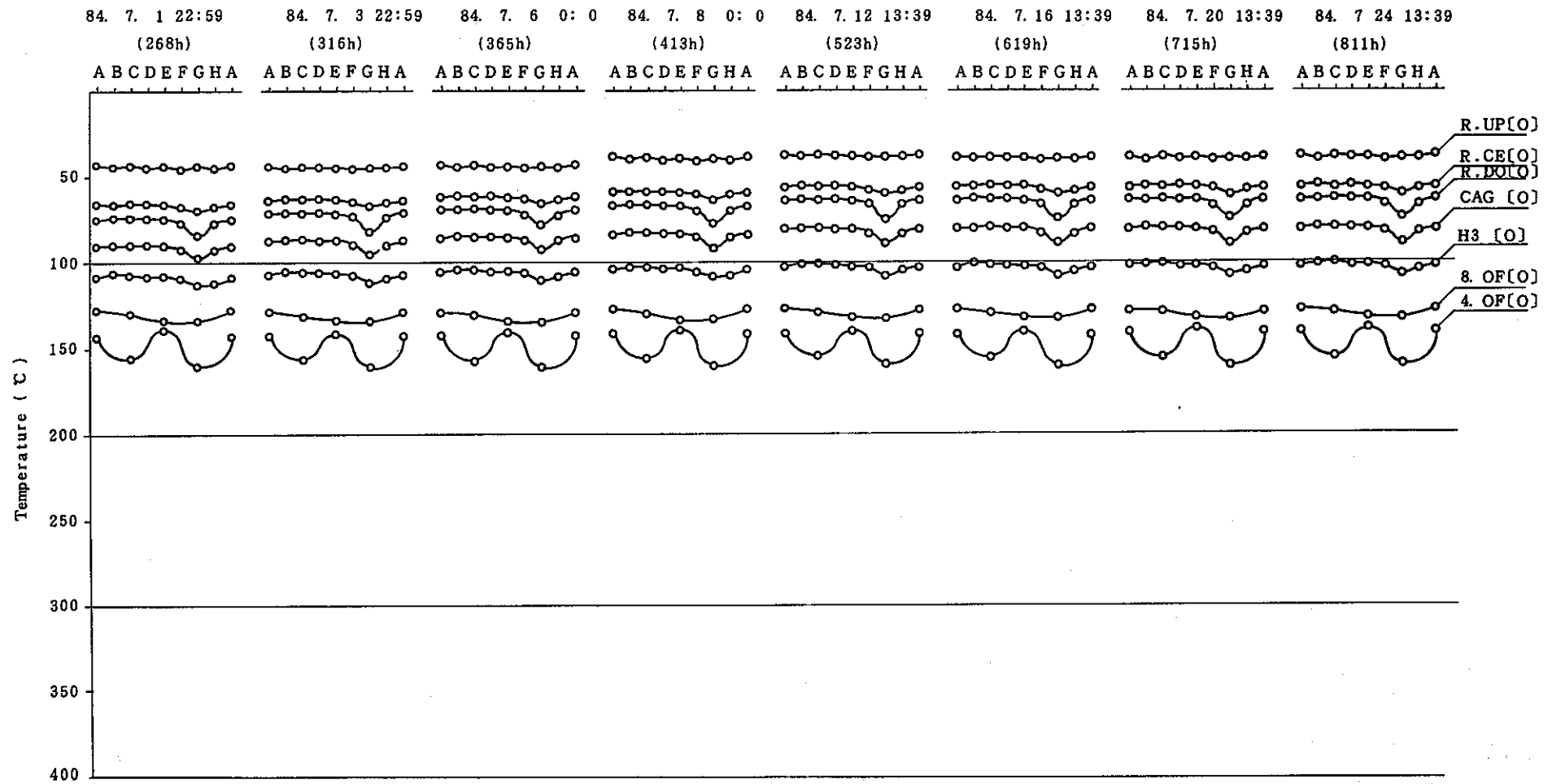


Fig.4-50 Radial Temperature Distribution on Outer-casing for Low Sodium Level Test Without Seal Gas(-2700mm) (4/5)

低液位 (-2700mm) ・無シールガス試験アウターケーシング周方向温度分布 (4/5)

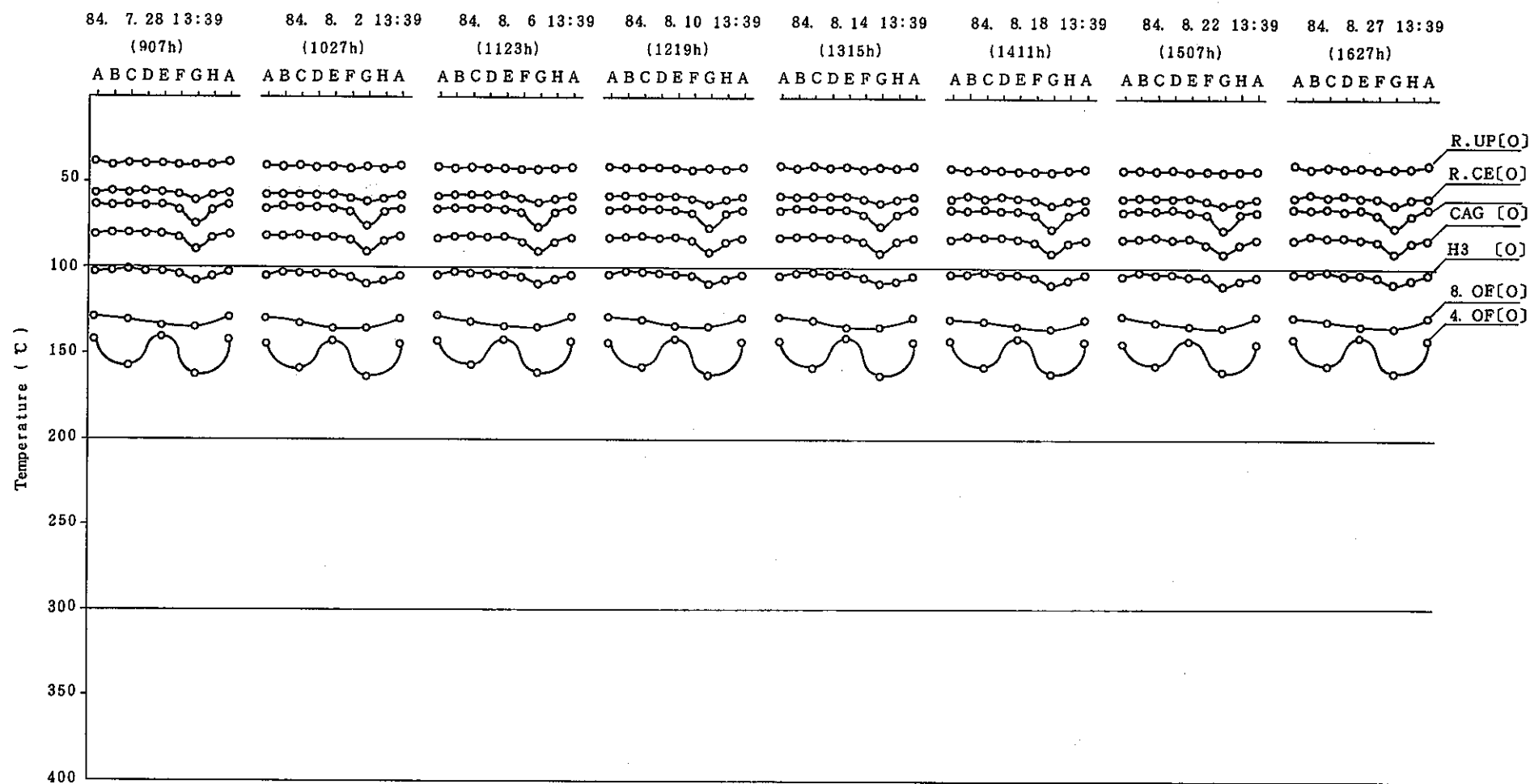


Fig.4-50 Radial Temperature Distribution on Outer-casing for Low Sodium Level Test Without Seal Gas(-2700mm) (5/5)

低液位(-2700mm)・無シールガス試験アウターケーシング周方向温度分布(5/5)

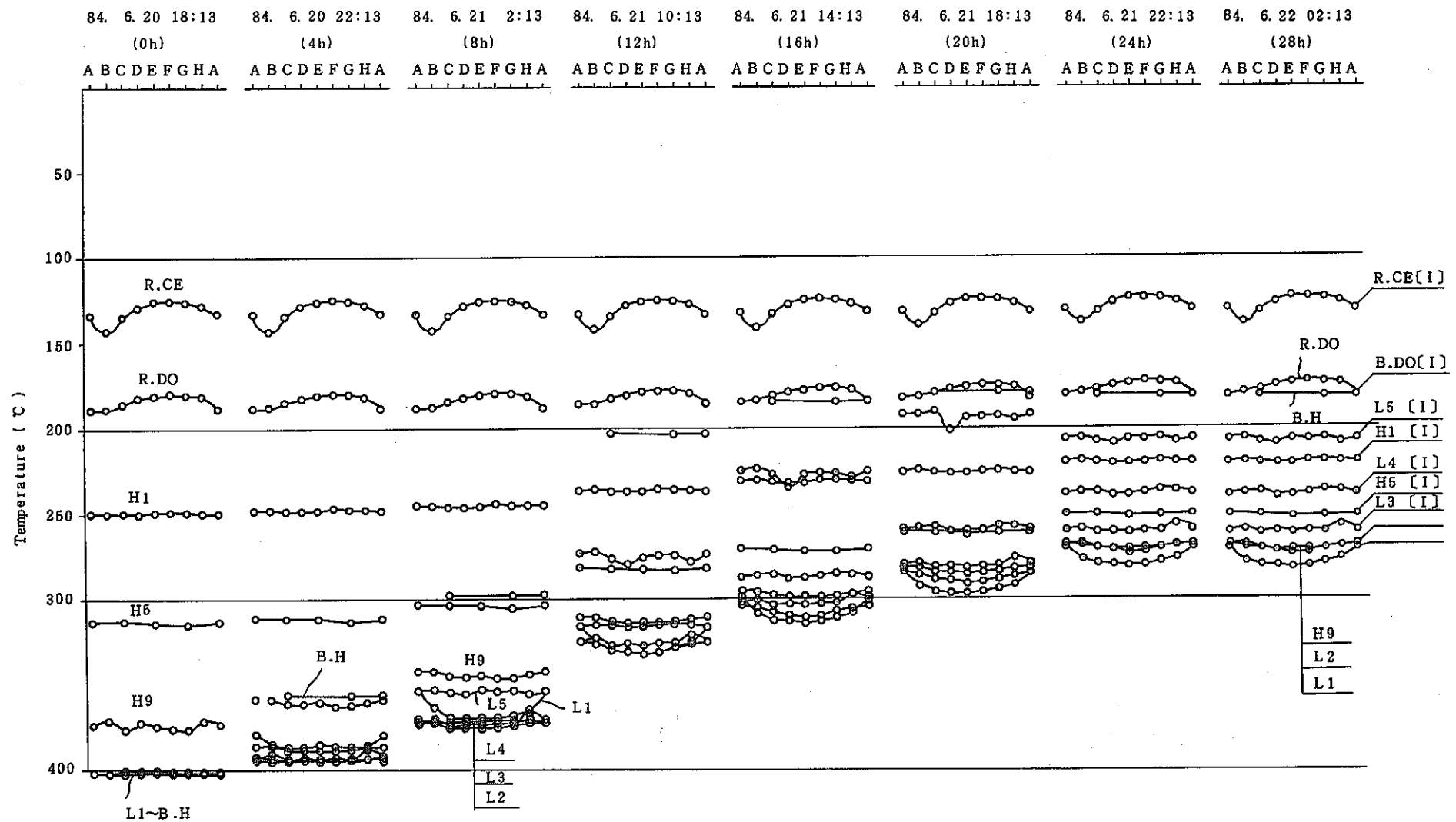


Fig.4-51 Radial Temperature Distribution on Inner-casing for Low Sodium Level Test Without Seal Gas (-2700mm) (1/5)

低液位 (-2700mm) ・無シールガス試験インナーケーシング周方向温度分布 (1/5)

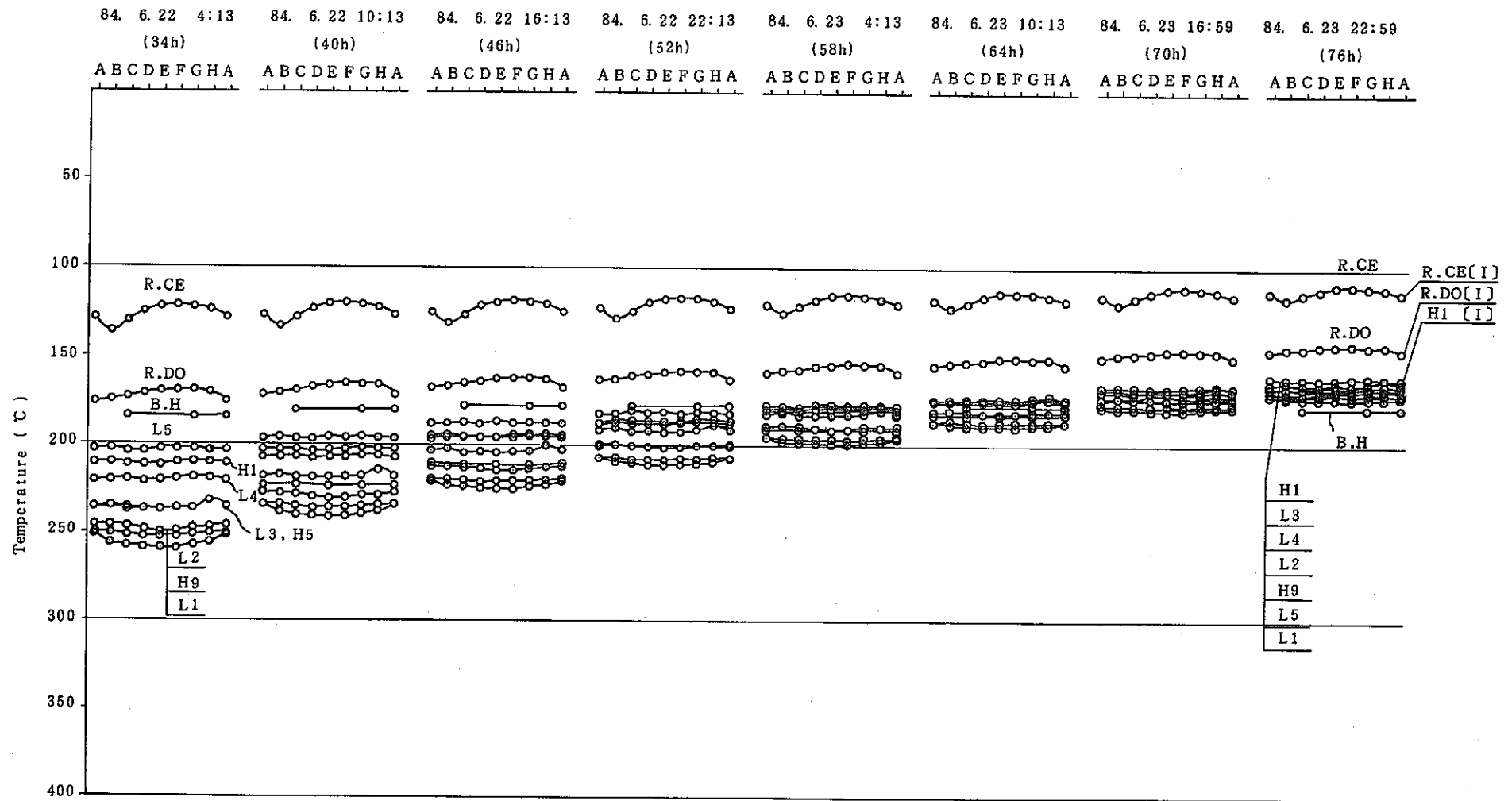


Fig.4-51 Radial Temperature Distribution on Inner-casing for Low Sodium Level Test Without seal Gas(-2700mm) (2/5)

低液位(-2700mm)・無シールガス試験インナーケーシング周方向温度分布(2/5)

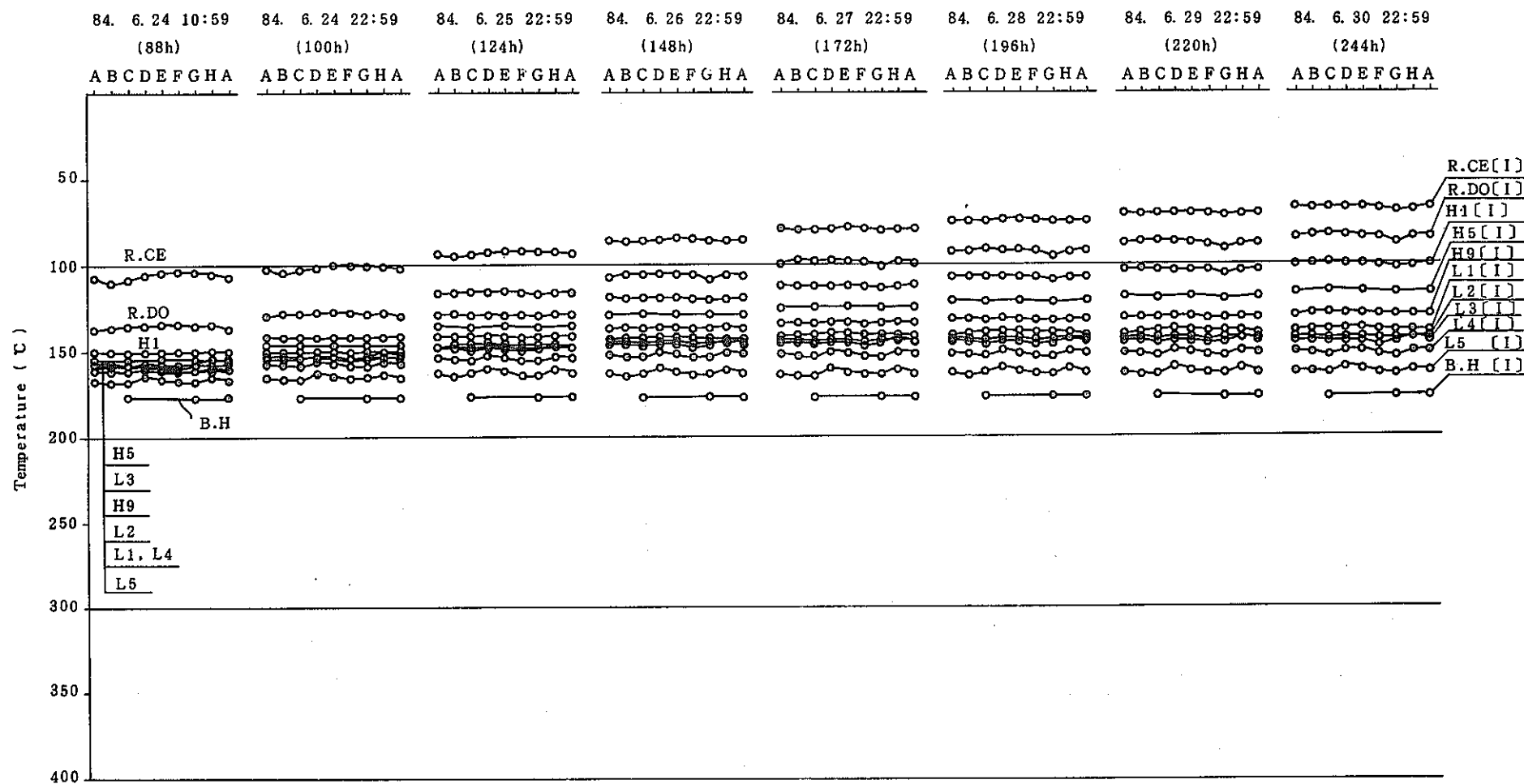


Fig. 4-51 Radial Temperature Distribution on Inner-casing for Low Sodium Level Test Without Seal Gas (-2700mm) (3/5)

低液位 (-2700mm) ・ 無シールガス試験インナーケーシング周方向温度分布 (3/5)

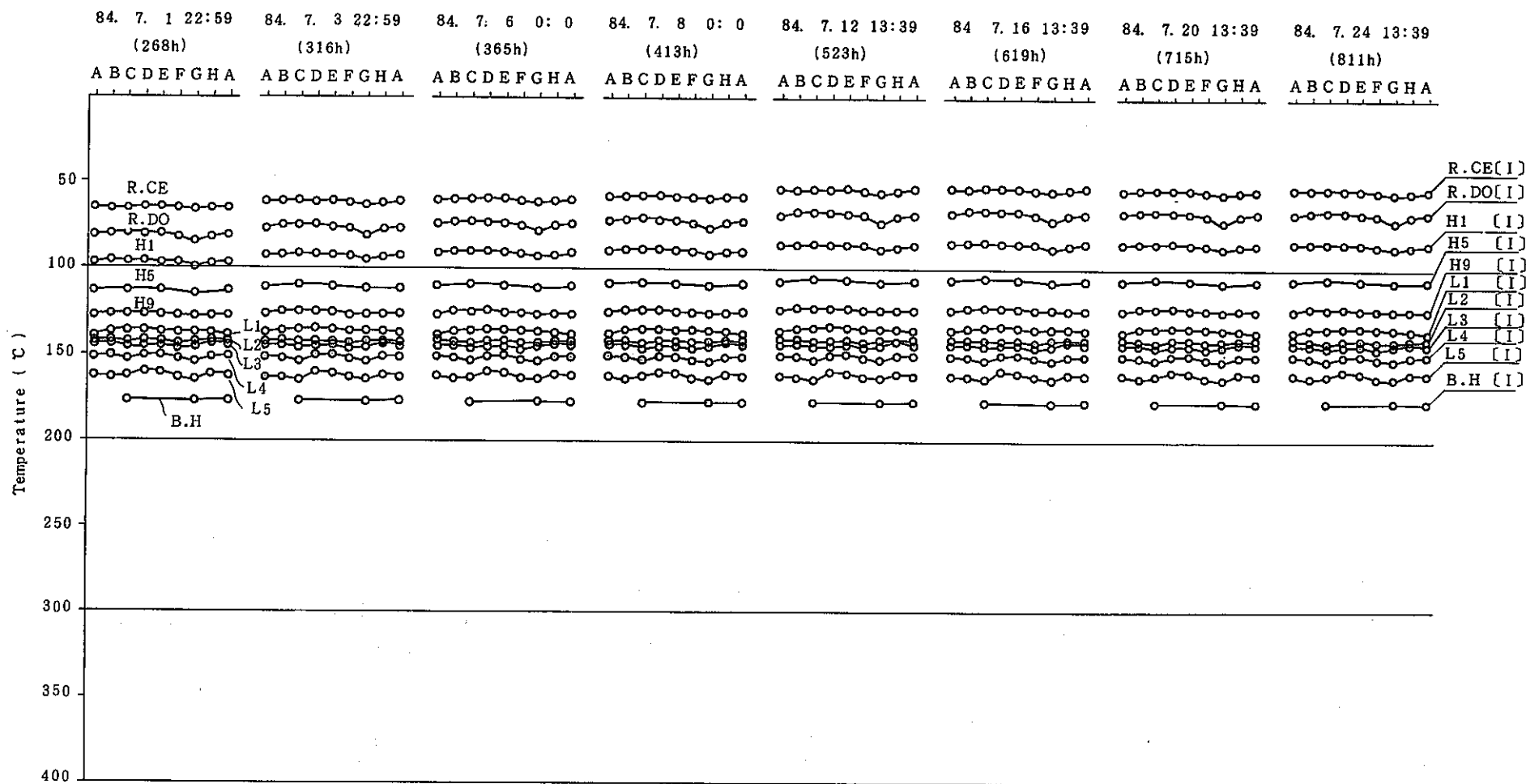


Fig.4-51 Radial Temperature Distribution on Inner-casing for Low Sodium Level Test Without Seal Gas (-2700mm) (4/5)

低液位 (-2700mm)・無シールガス試験インナーケーシング周方向温度分布 (4/5)

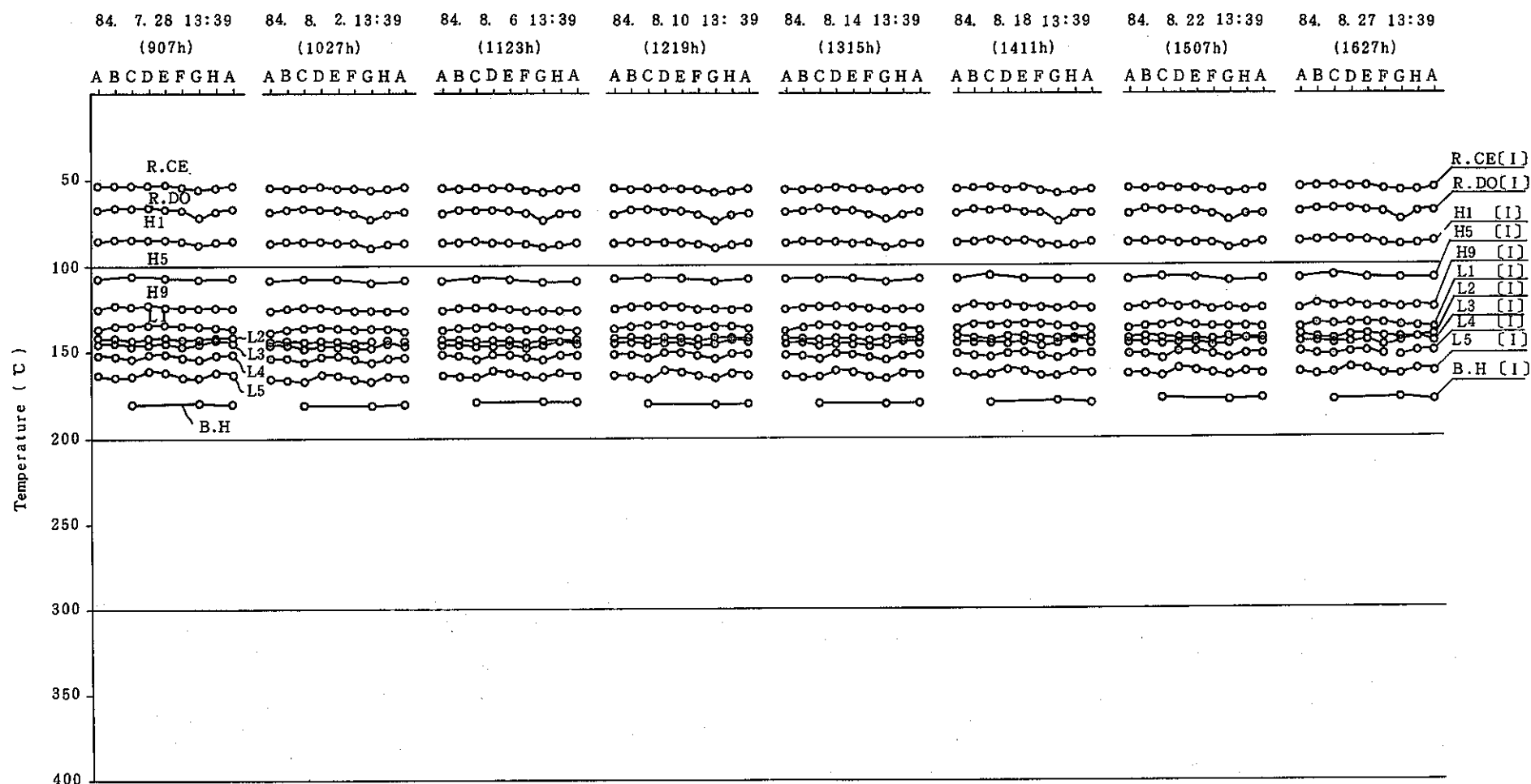
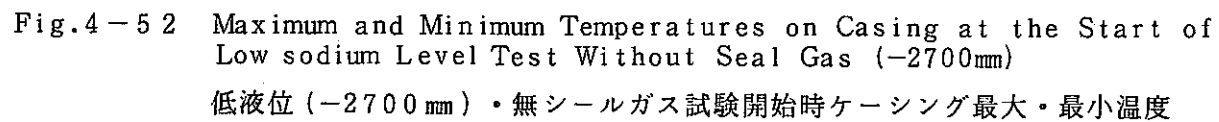


Fig.4-51 Radial Temperature Distribution on Inner-casing for Low Sodium Level Test Without Seal Gas (-2700mm) (5/5)

低液位 (-2700mm) ・無シールガス試験インナーケーシング周方向温度分布 (5/5)



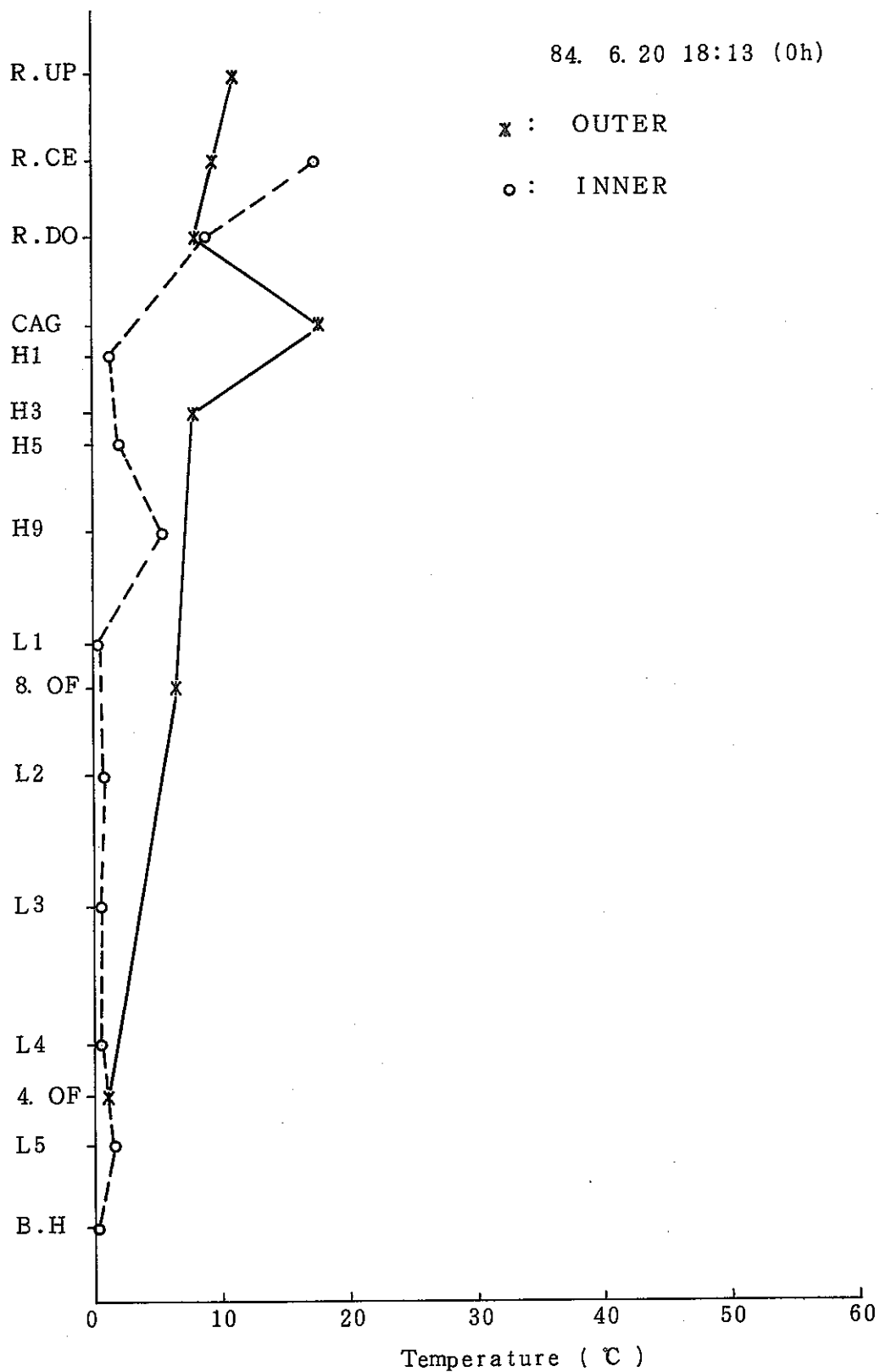


Fig. 4-53 Temperature Difference on Casing at the Start of Low Sodium Level Test Without Seal Gas (-2700mm)
低液位 (- 2700 mm) ・無シールガス試験開始時ケーシング温度差

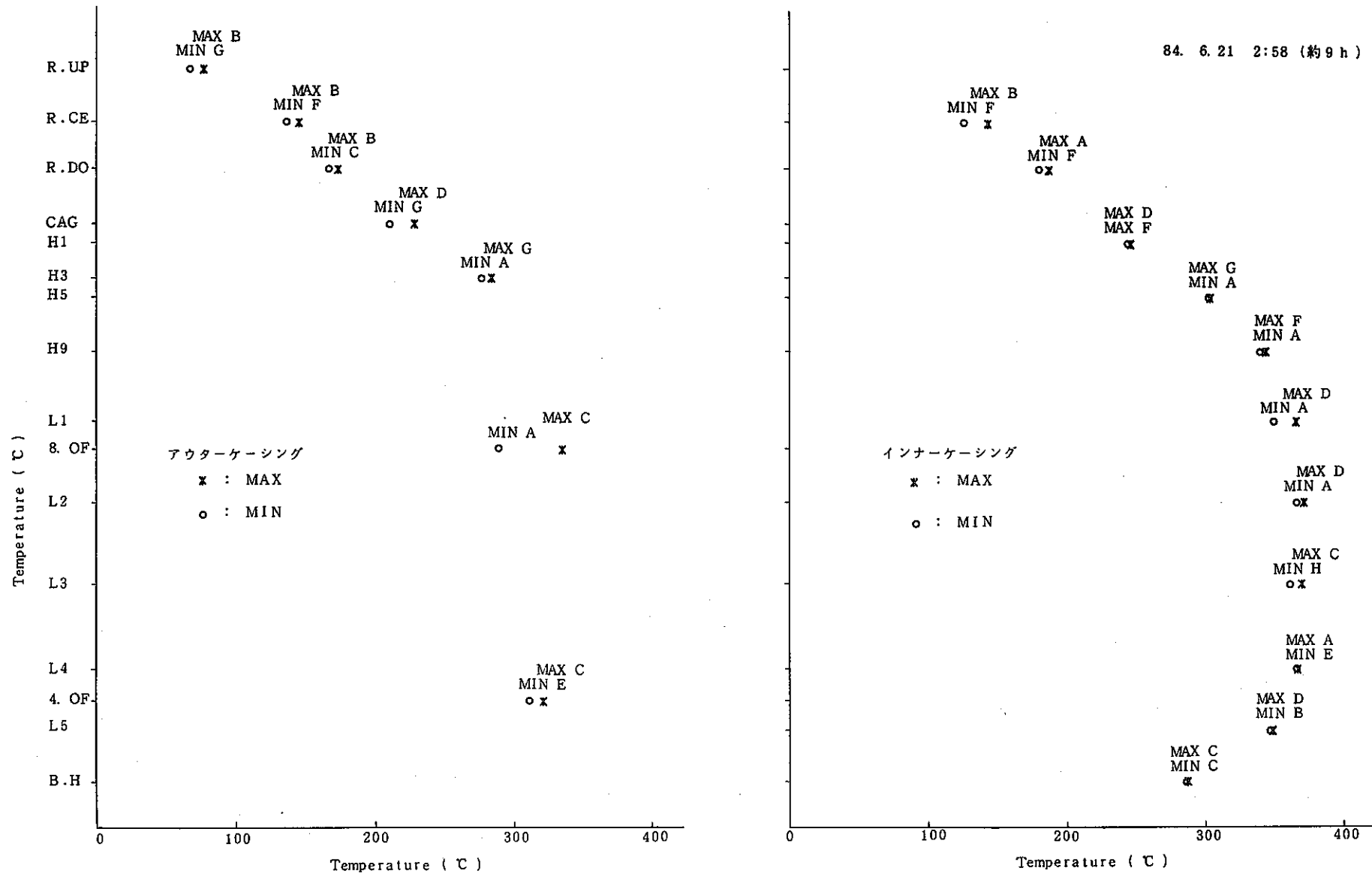


Fig.4-54 Maximum and Minimum Temperatures on Casing for Low Sodium Level Test Seal Gas (-2700mm) (at the Peak)

低液位 (-2700mm) ・無シールガス試験ケーシング最大, 最小温度 (ピーク時)

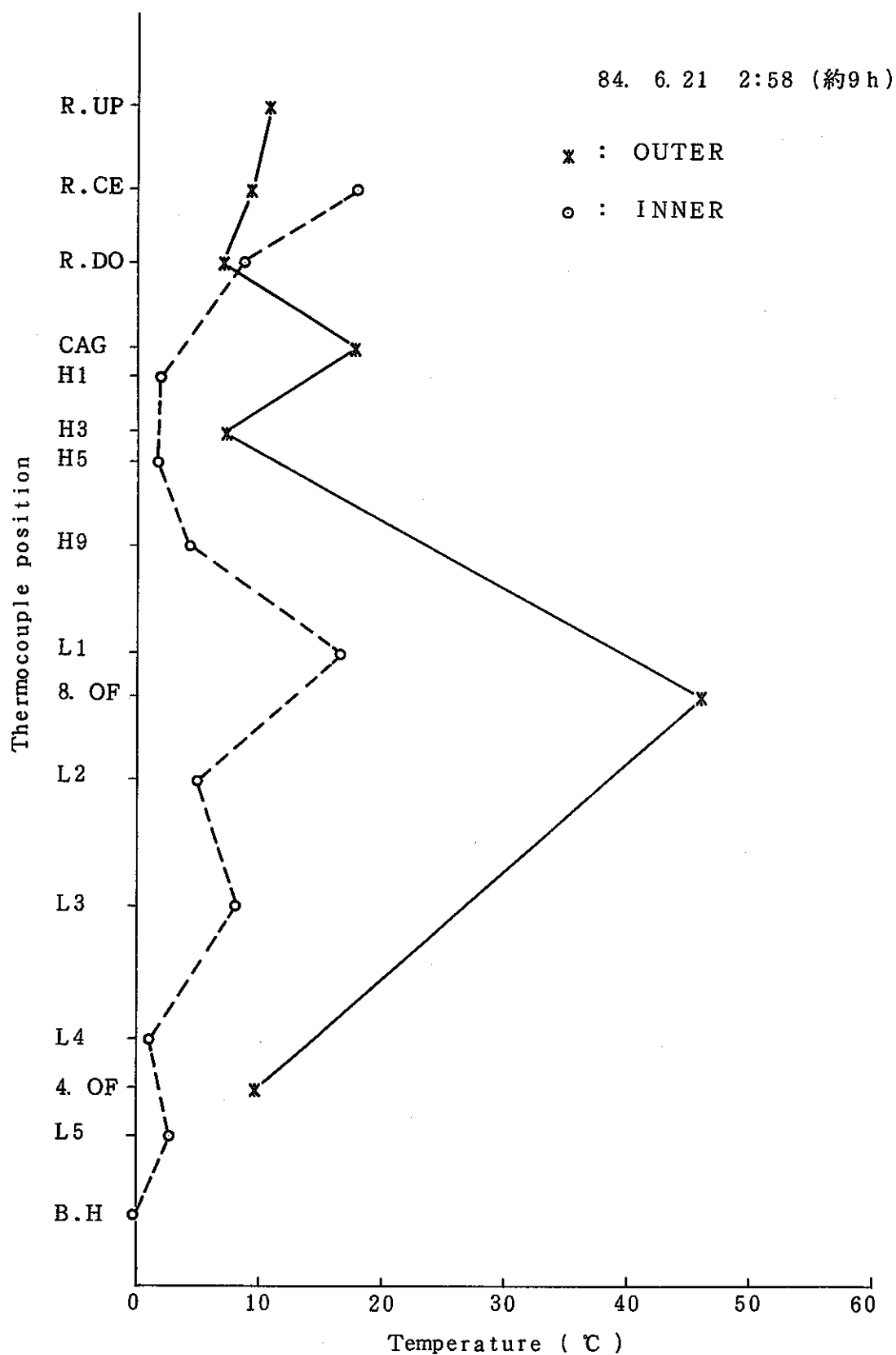


Fig. 4-55 Maximum Temperature Difference on Casing for Low Sodium Level Test Without Seal Gas (-2700mm) (at the Peak)
 低液位 (-2700mm) ・無シールガス試験ケーシング最大温度差 (ピーク時)

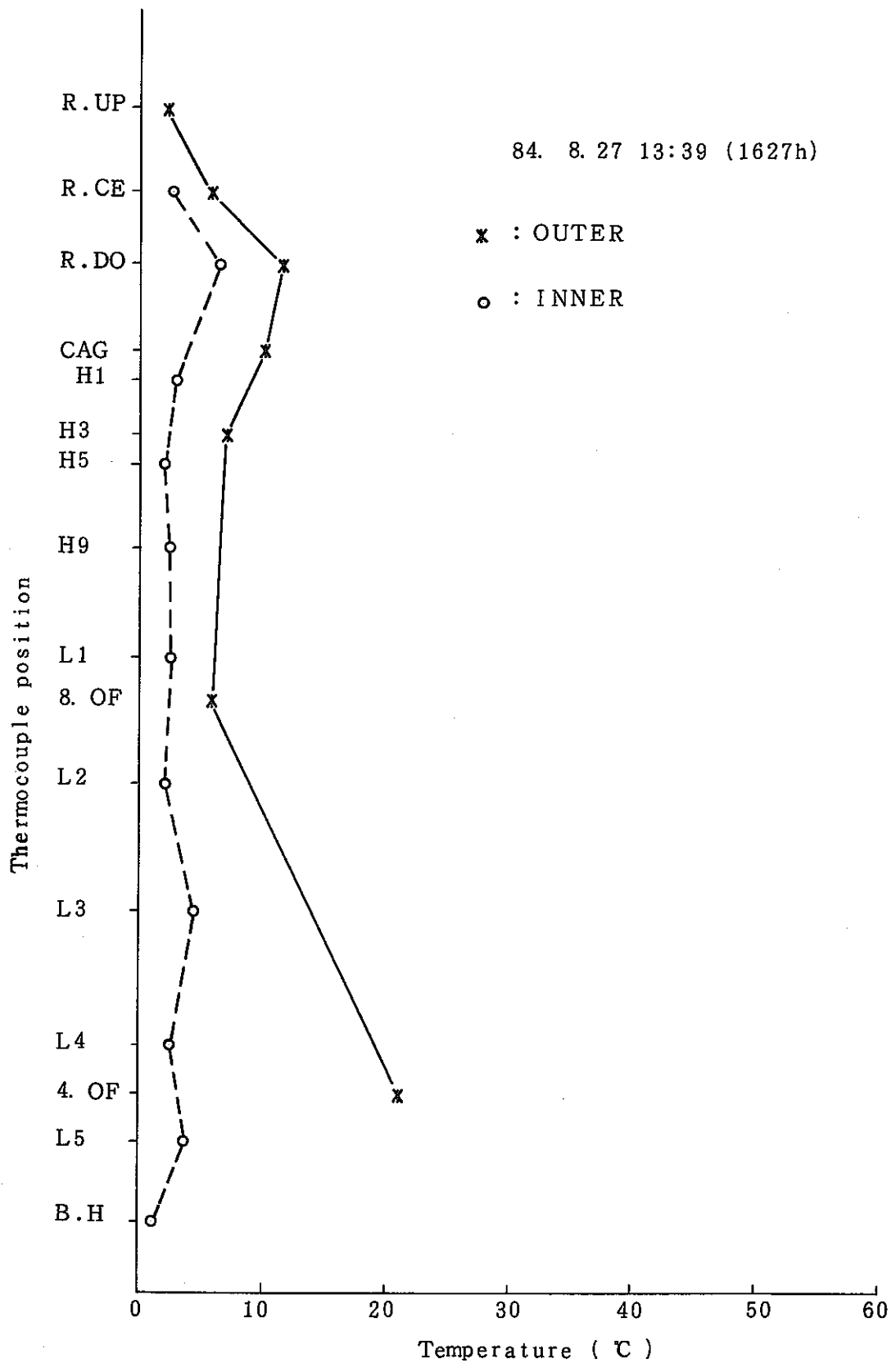


Fig. 4-57 Temperature Difference on Casing at the Finish of Low Sodium Level Test Without Seal Gas (-2700mm)

低液位 (-2700mm) ・無シールガス試験終了時ケーシング温度差

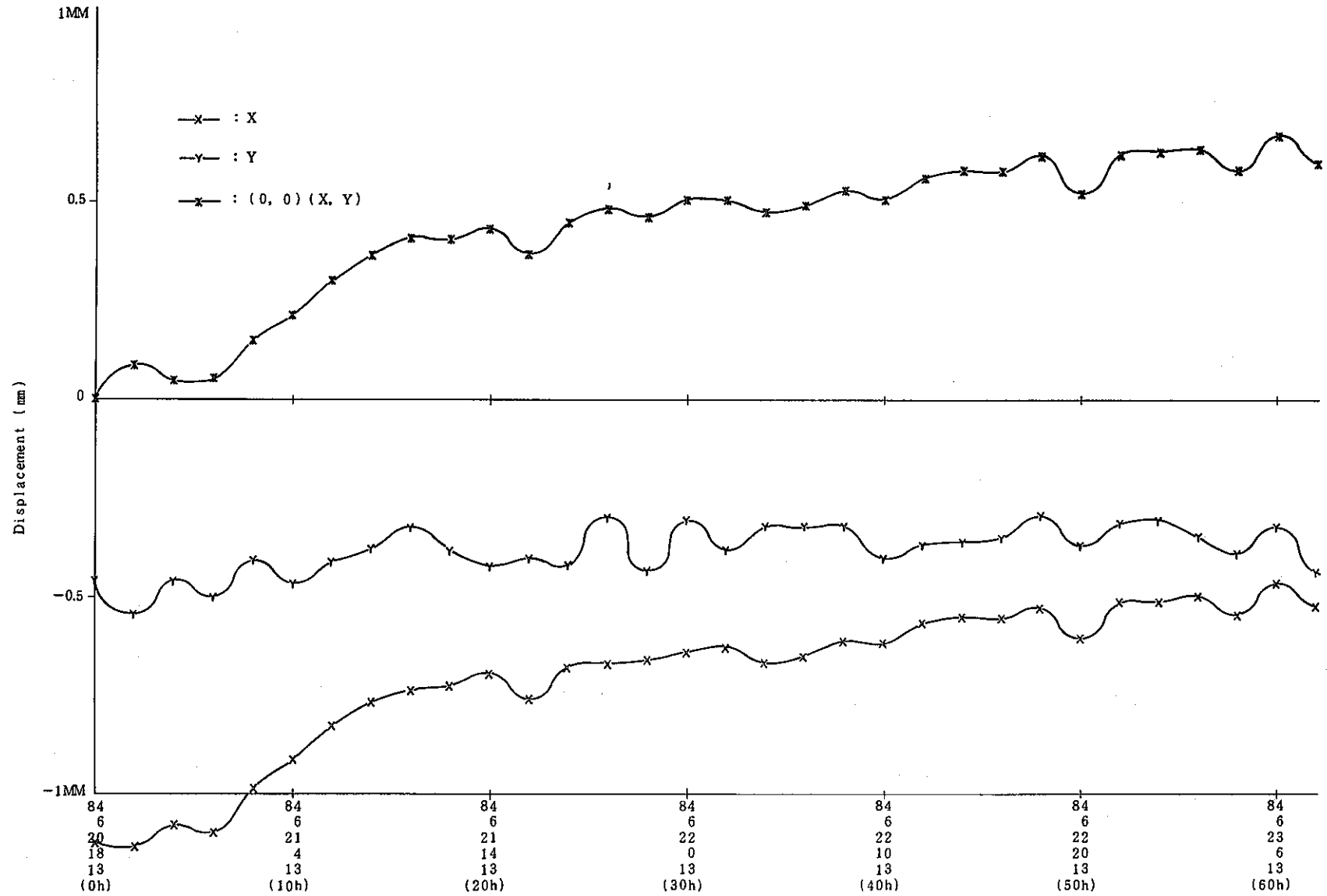


Fig.4-58 Variation of Outer-casing Displacement for Low Sodium Level Test Without Seal Gas(-2700mm)

低液位(-2700mm)・無シールガス試験アウターケーシング変位変化

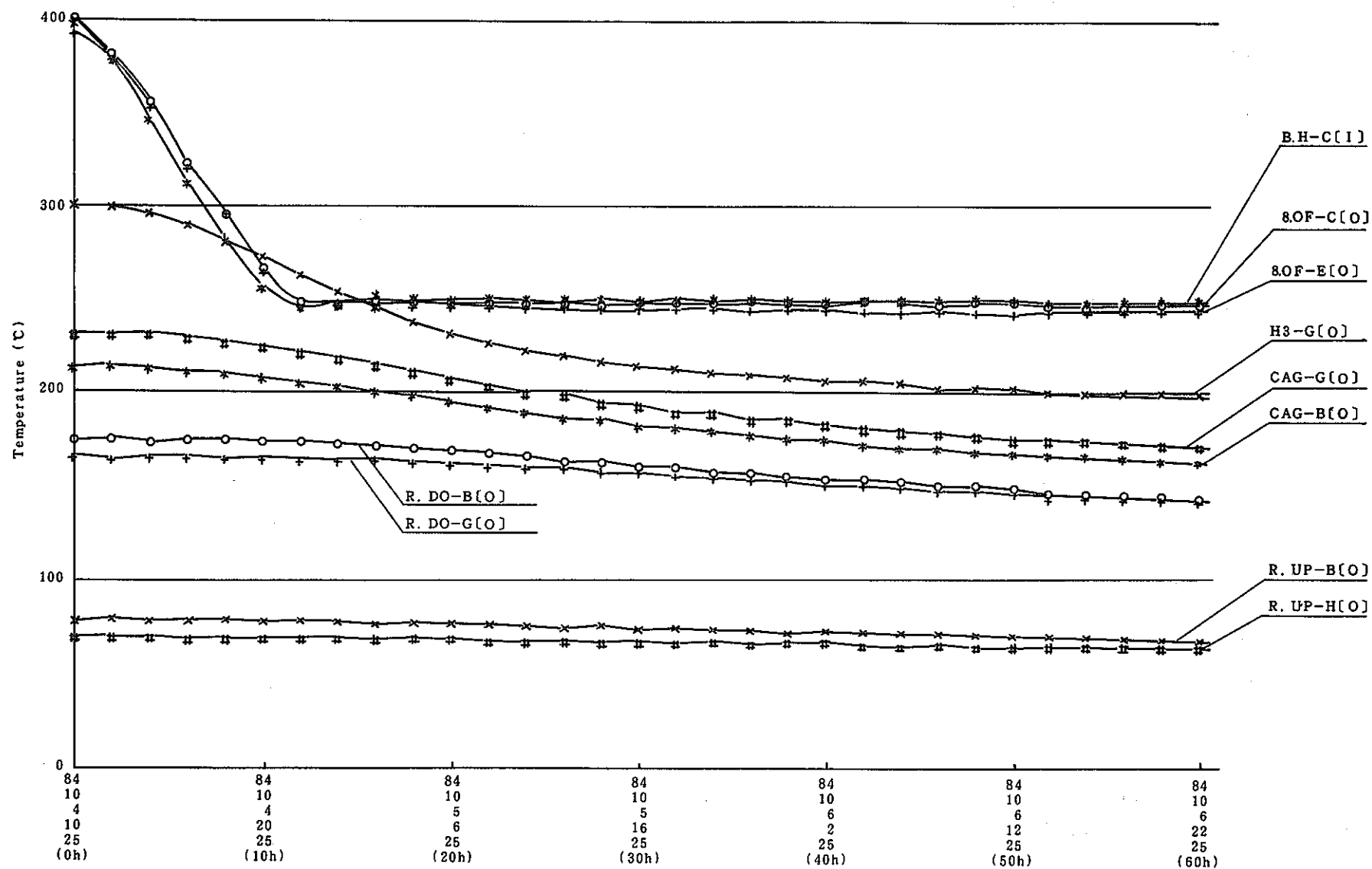


Fig. 4-59 Temperature Variation on Outer-casing for Normal Sodium Level Test without seal gas (1/3)
通常液位・無シールガス試験アウターケーシング温度変化 (1/3)

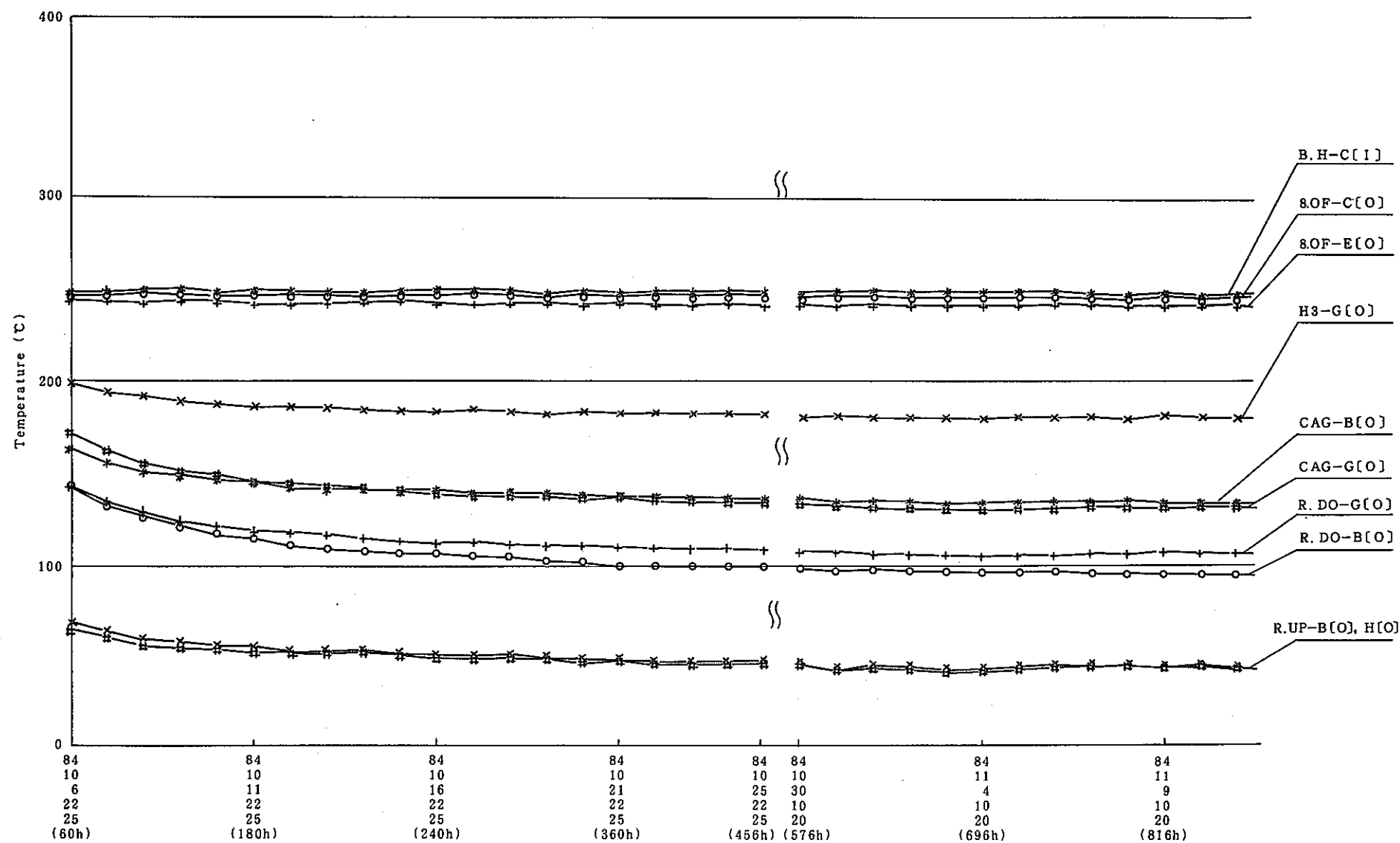


Fig. 4-59 Temperature Variation on Outer-casing for Normal Sodium Level Test without seal gas (2/3)

通常液位・無シールガス試験アウターケーシング温度変化 (2/3)

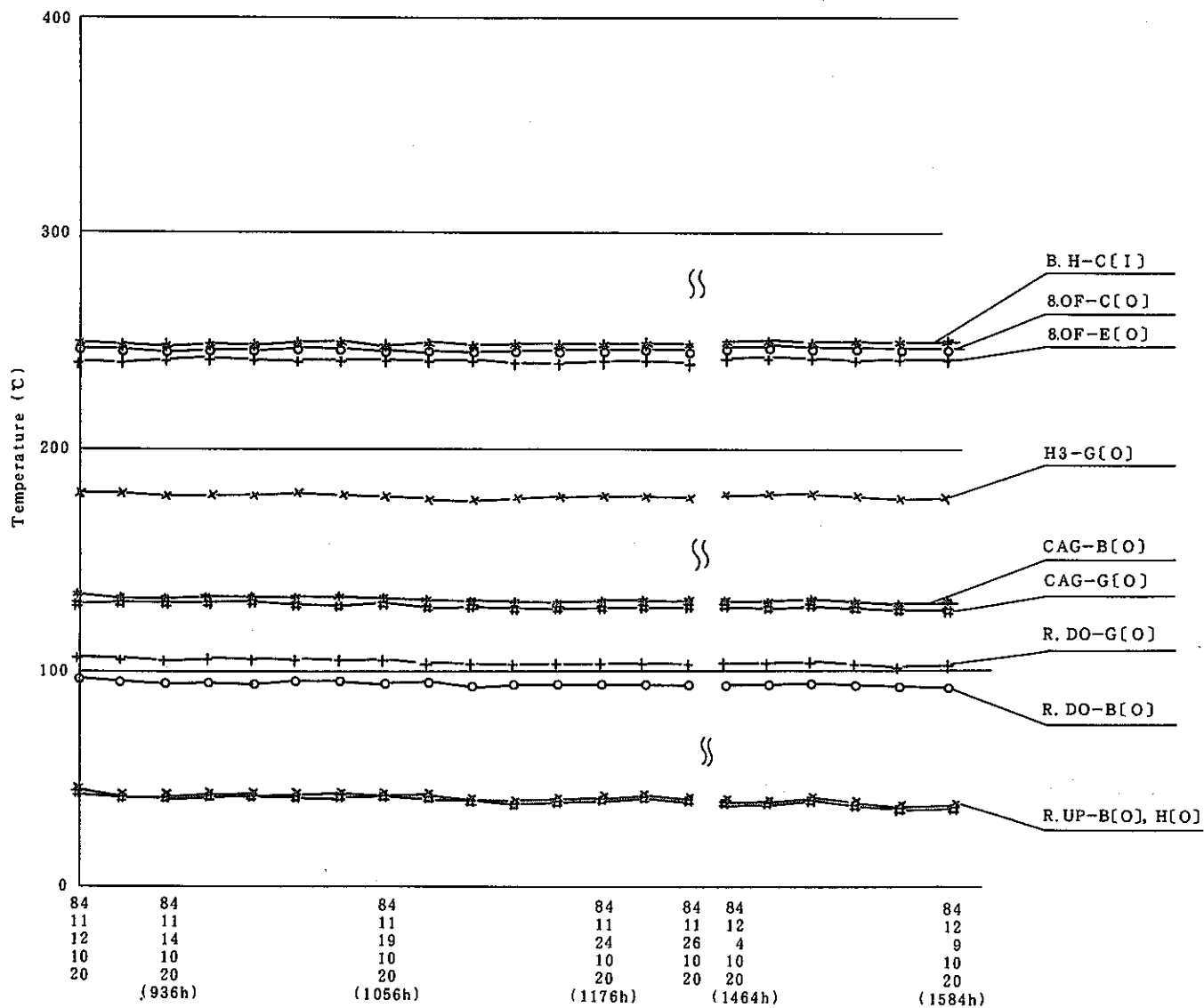


Fig. 4-59 Temperature Variation on Outer-casing for Normal Sodium Level Test without seal gas (3/3)
通常液位・無シールガス試験アウターケーシング温度変化 (3/3)

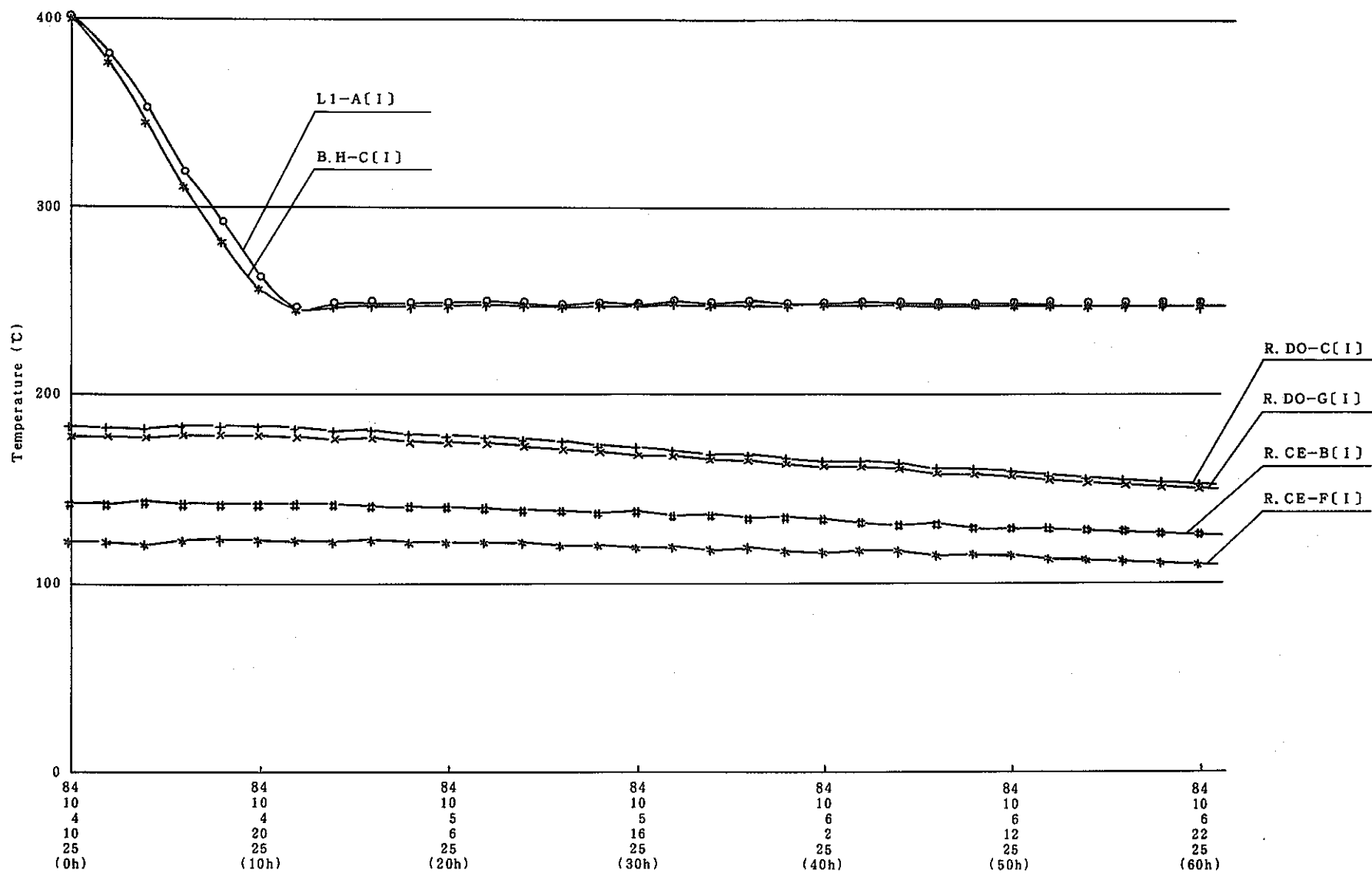


Fig. 4-60 Temperature Variation on Inner-casing for Normal Sodium Level Test without seal gas (1/3)
通常液位・無シールガス試験インナーケーシング温度変化 (1/3)

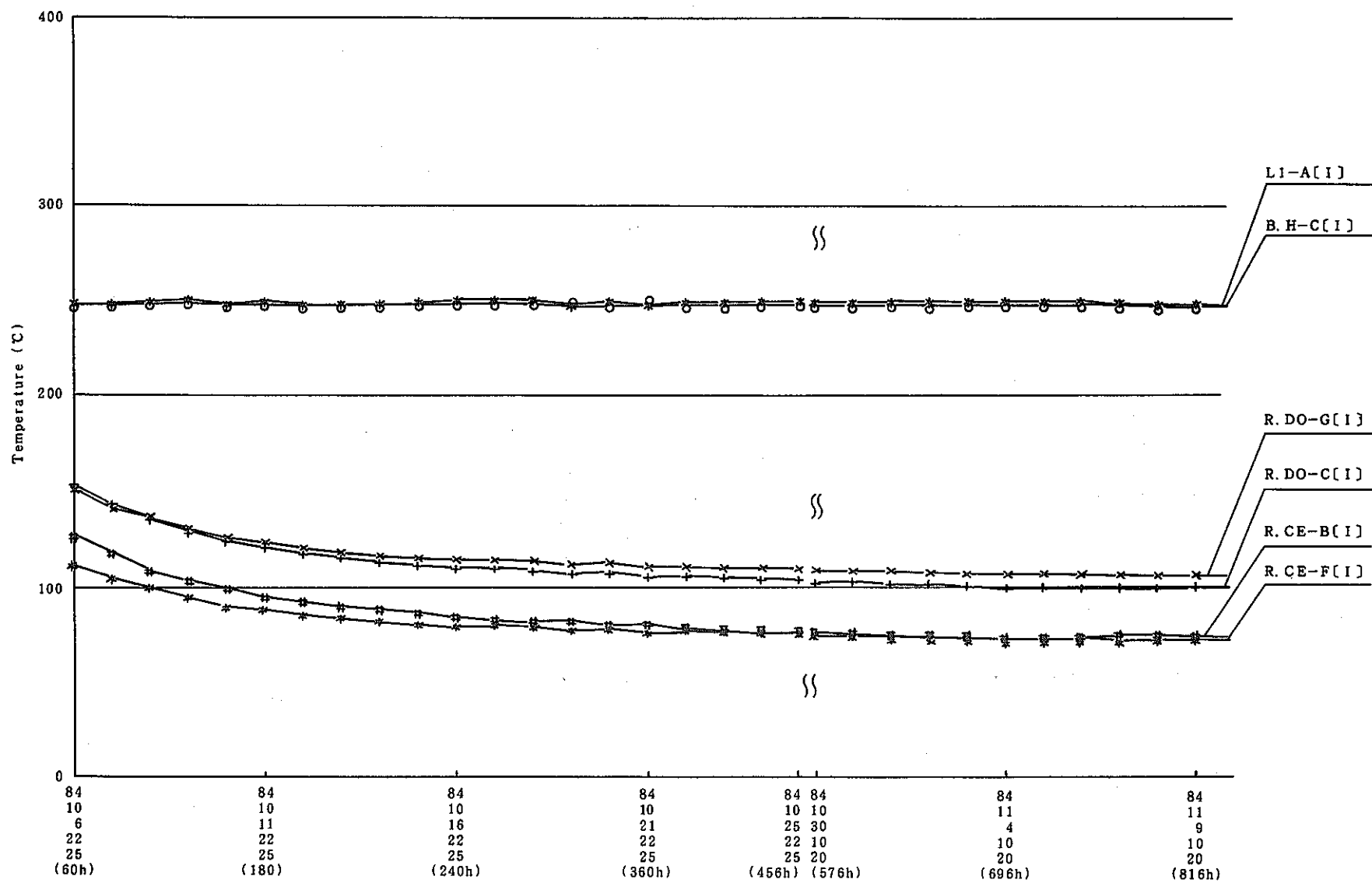


Fig. 4-60 Temperature Variation on Inner-casing for Normal Sodium Level Test without seal gas (2/3)
通常液位・無シールガス試験インナーケーシング温度変化 (2 / 3)

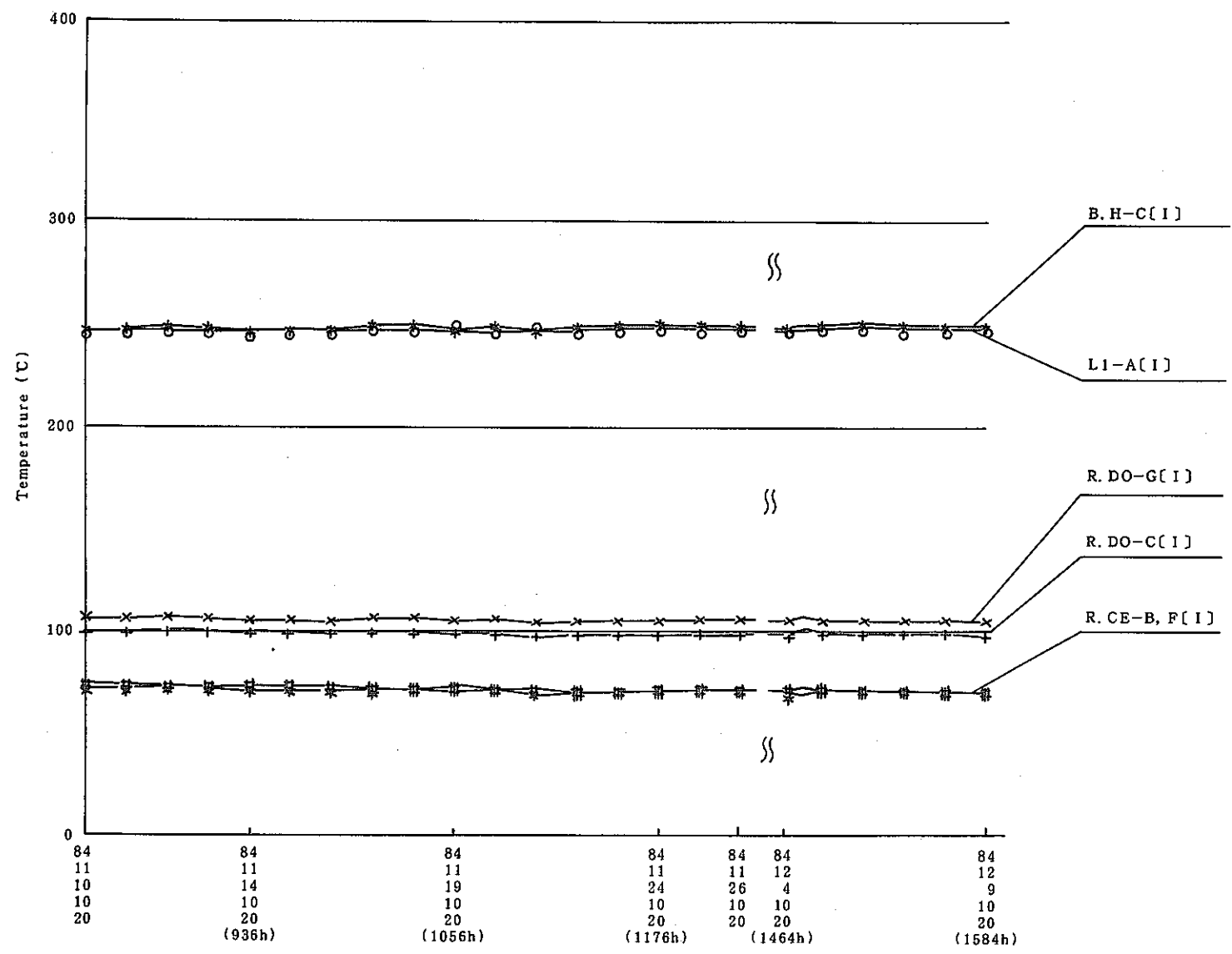


Fig. 4-60 Temperature Variation on Inner-casing for Normal Sodium Level Test without seal gas (3/3)
通常液位・無シールガス試験インナーケーシング温度変化 (3/3)

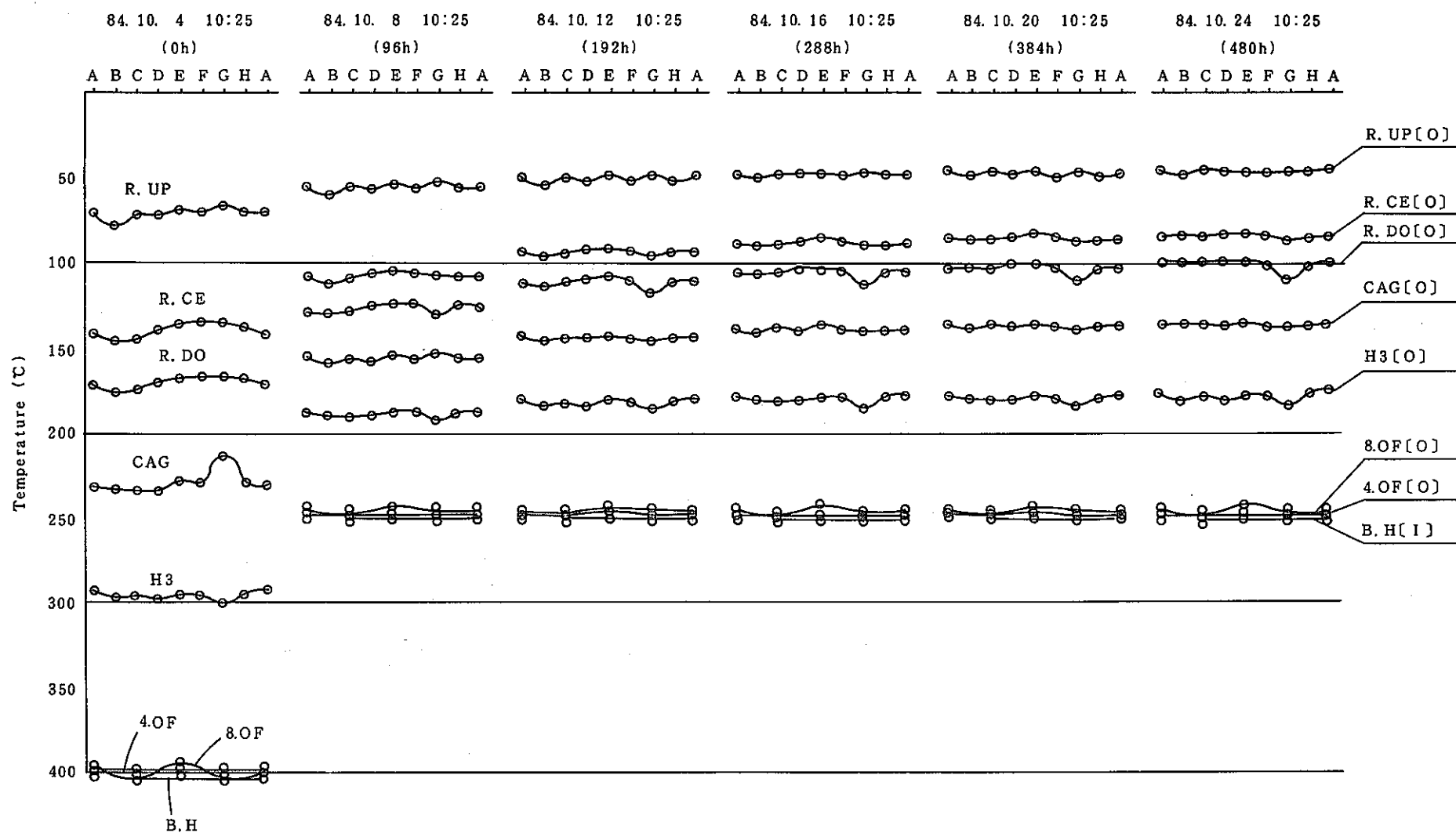


Fig. 4-61 Radial Temperature Distribution on Outer-casing for Normal Sodium Level Test without seal gas (1/3)
 通常液位・無シールガス試験アウターケーシング周方向温度分布 (1/3)

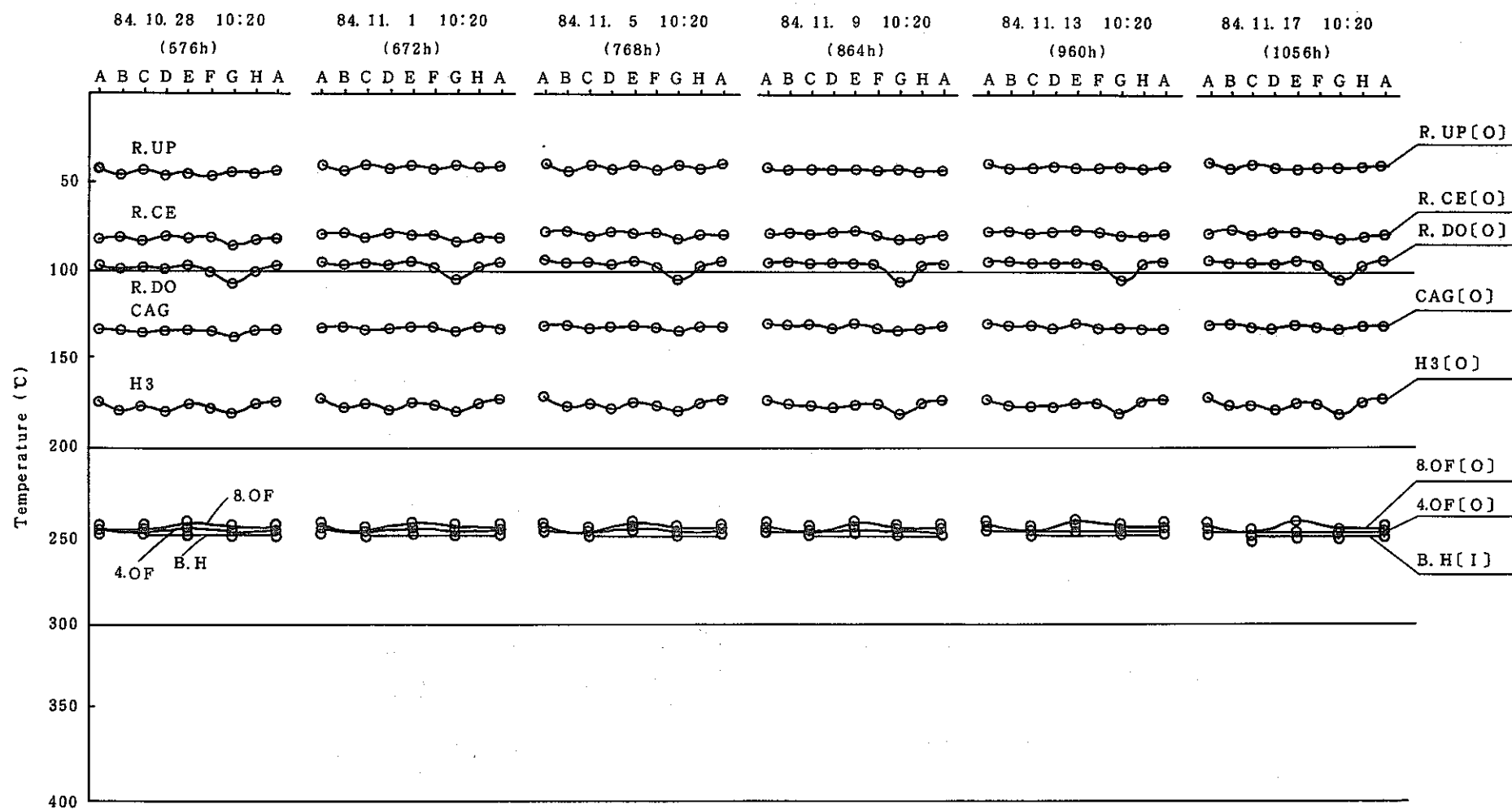


Fig. 4-61 Radial Temperature Distribution on Outer-casing for Normal Sodium Leve Test without seal gas (2/3)

通常液位・無シールガス試験アウターケーシング周方向温度分布 (2/3)

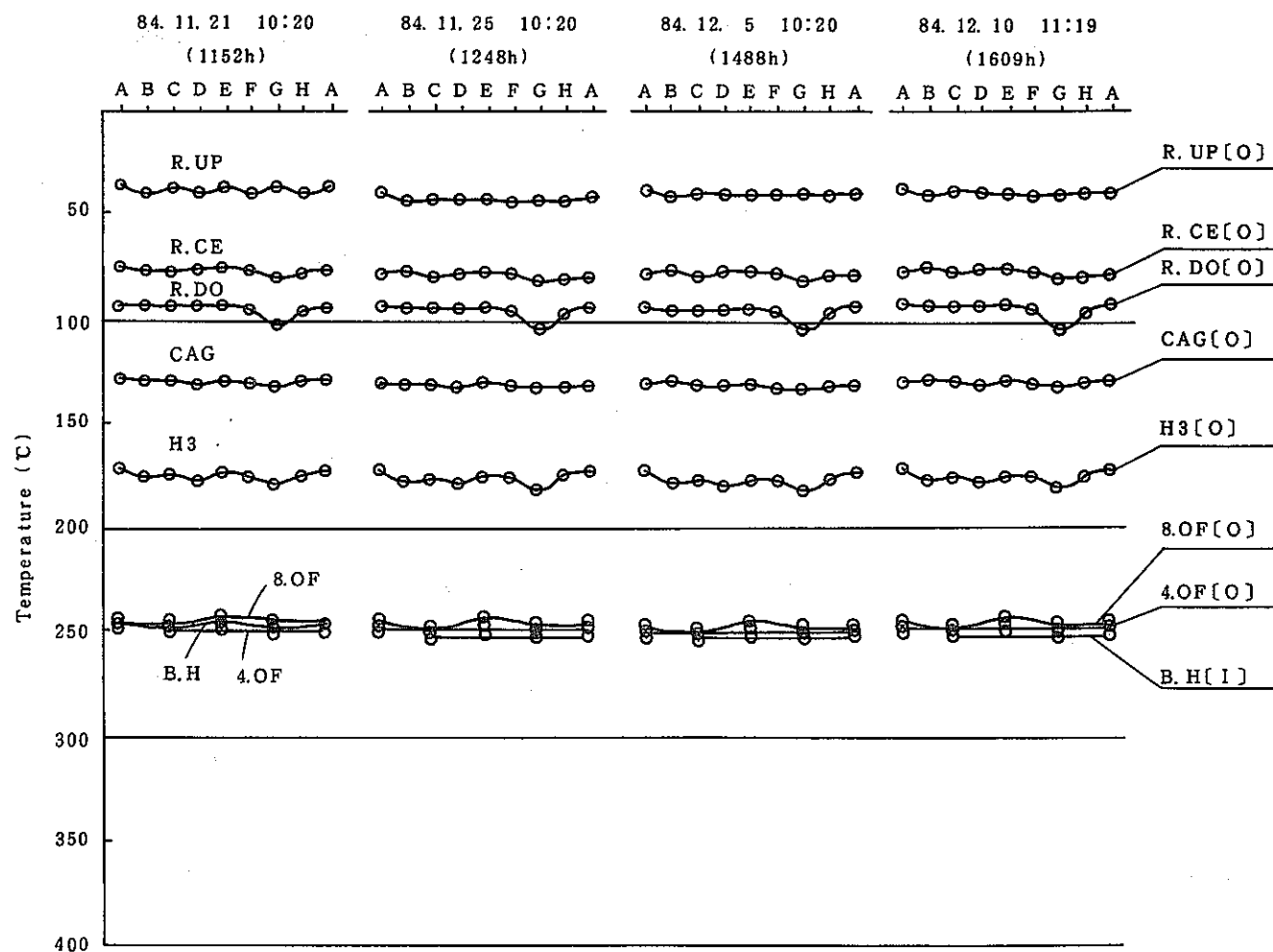


Fig. 4-61 Radial Temperature Distribution on Outer-casing for Normal Sodium Level Test without seal gas (3/3)
通常液位・無シールガス試験アウターケーシング周方向温度分布 (3/3)

-135-

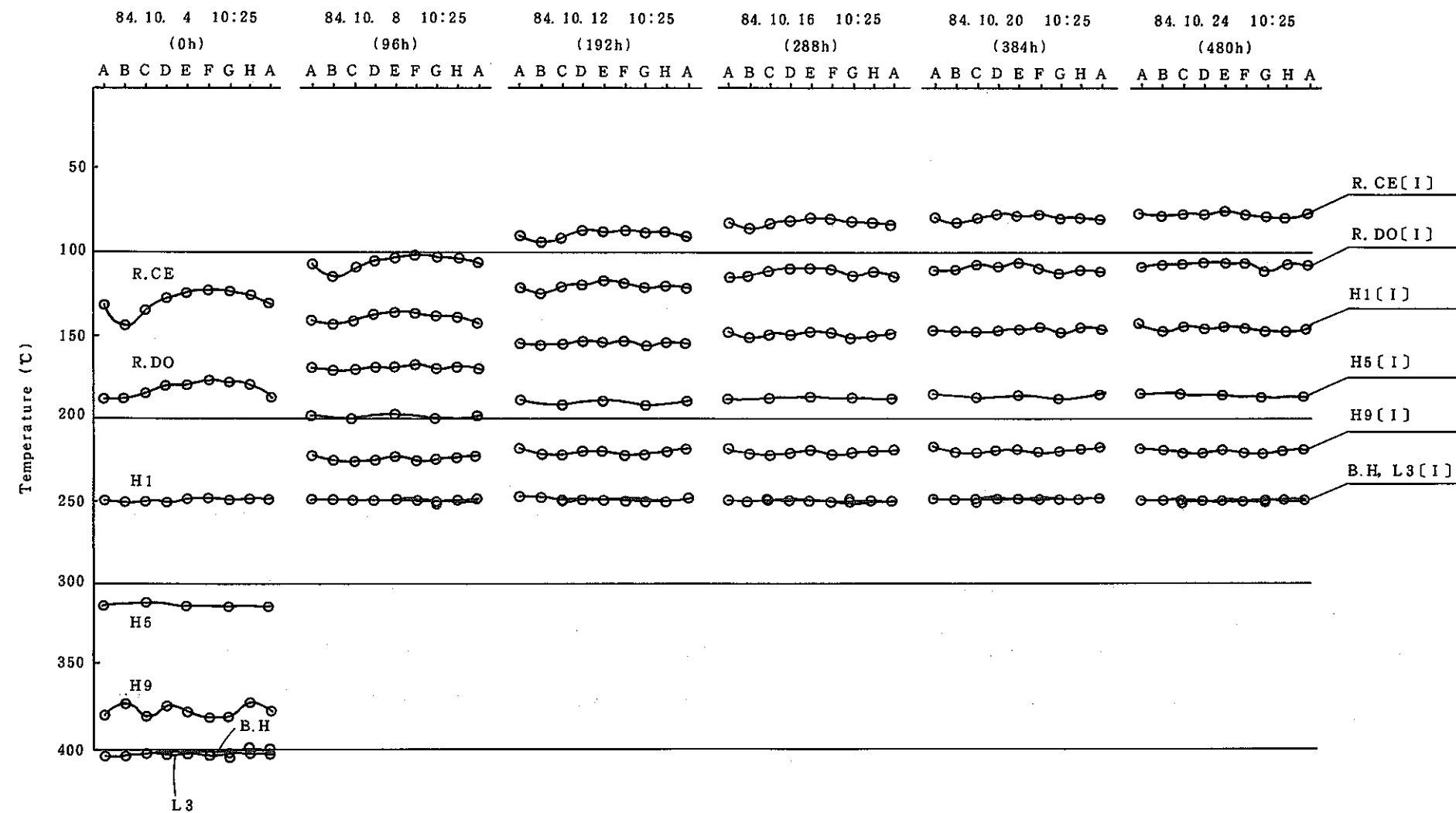


Fig. 4-62 Radial Temperature Distribution on Inner-casing for Normal Sodium Level Test without seal gas (1/3)
通常液位・無シールガス試験インナーケーシング周方向温度分布 (1/3)

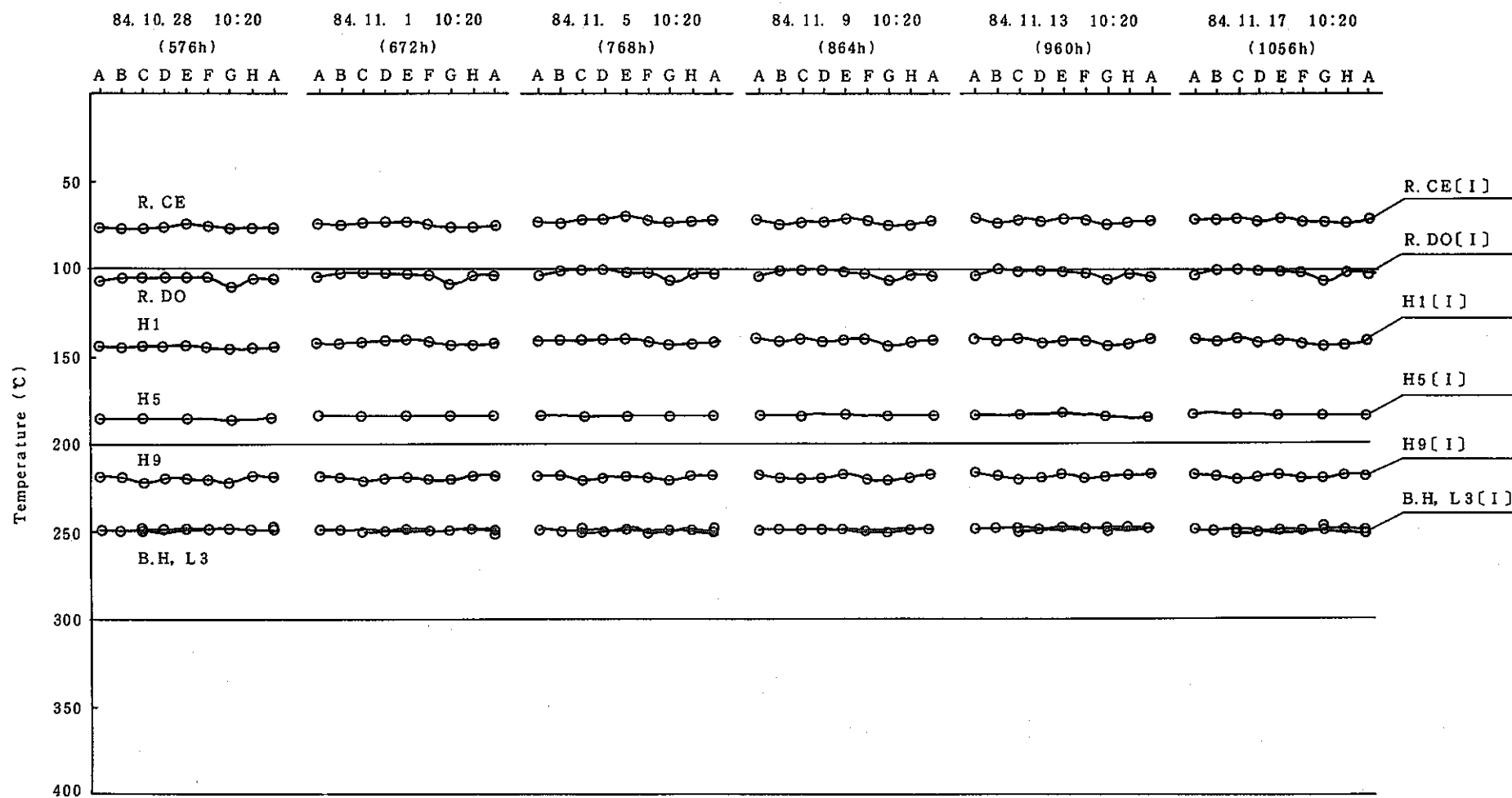


Fig. 4-62 Radial Temperature Distribution on Inner-casing for Normal Sodium Level Test without seal gas (2/3)

通常液位・無シールガス試験インナーケーシング周方向温度分布 (2/3)

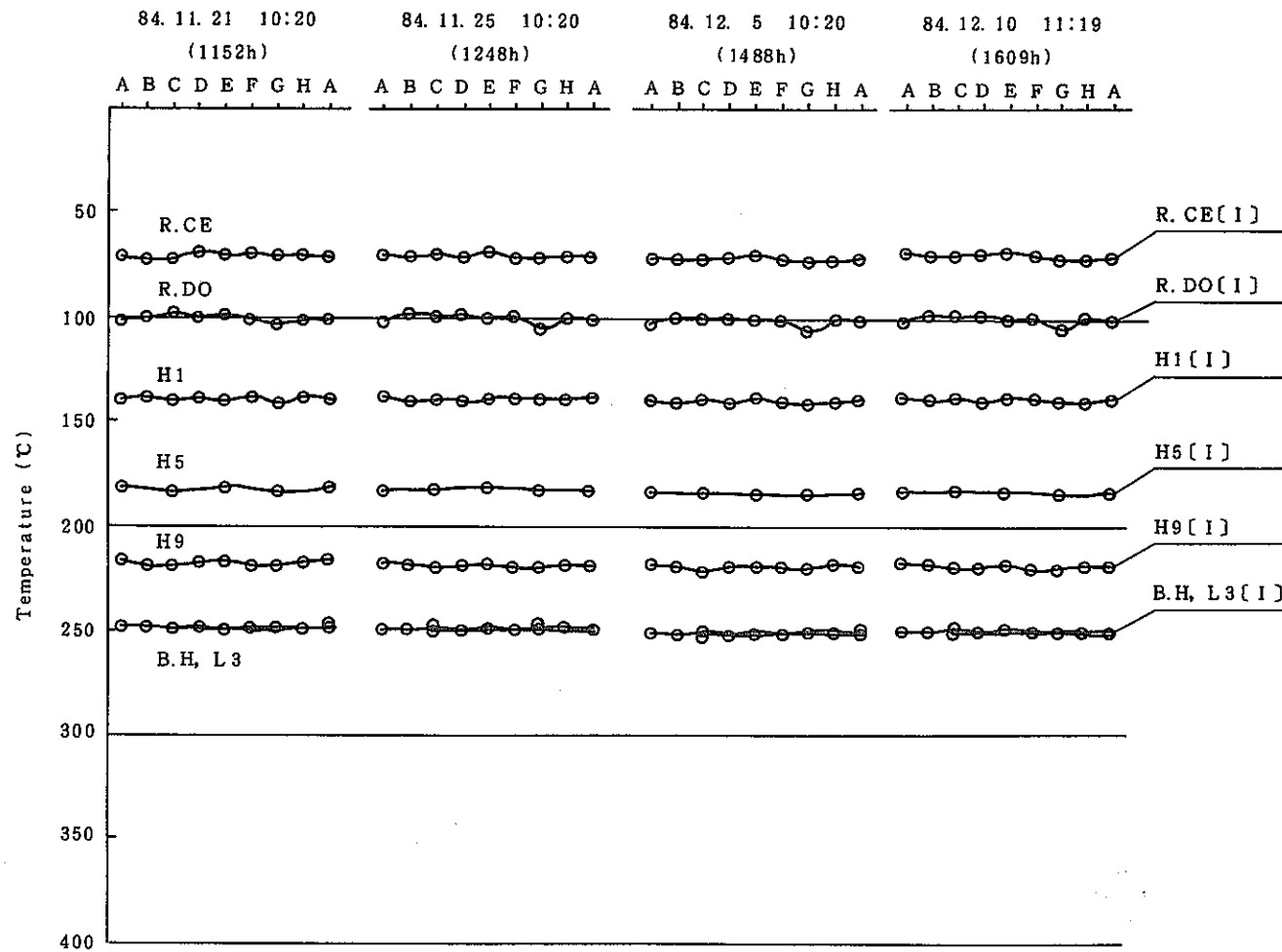


Fig. 4-62 Radial Temperature Distribution on Inner-casing for Normal Sodium Level Test without seal gas (3 / 3)
通常液位・無シールガス試験インナーケーシング周方向温度分布 (3 / 3)

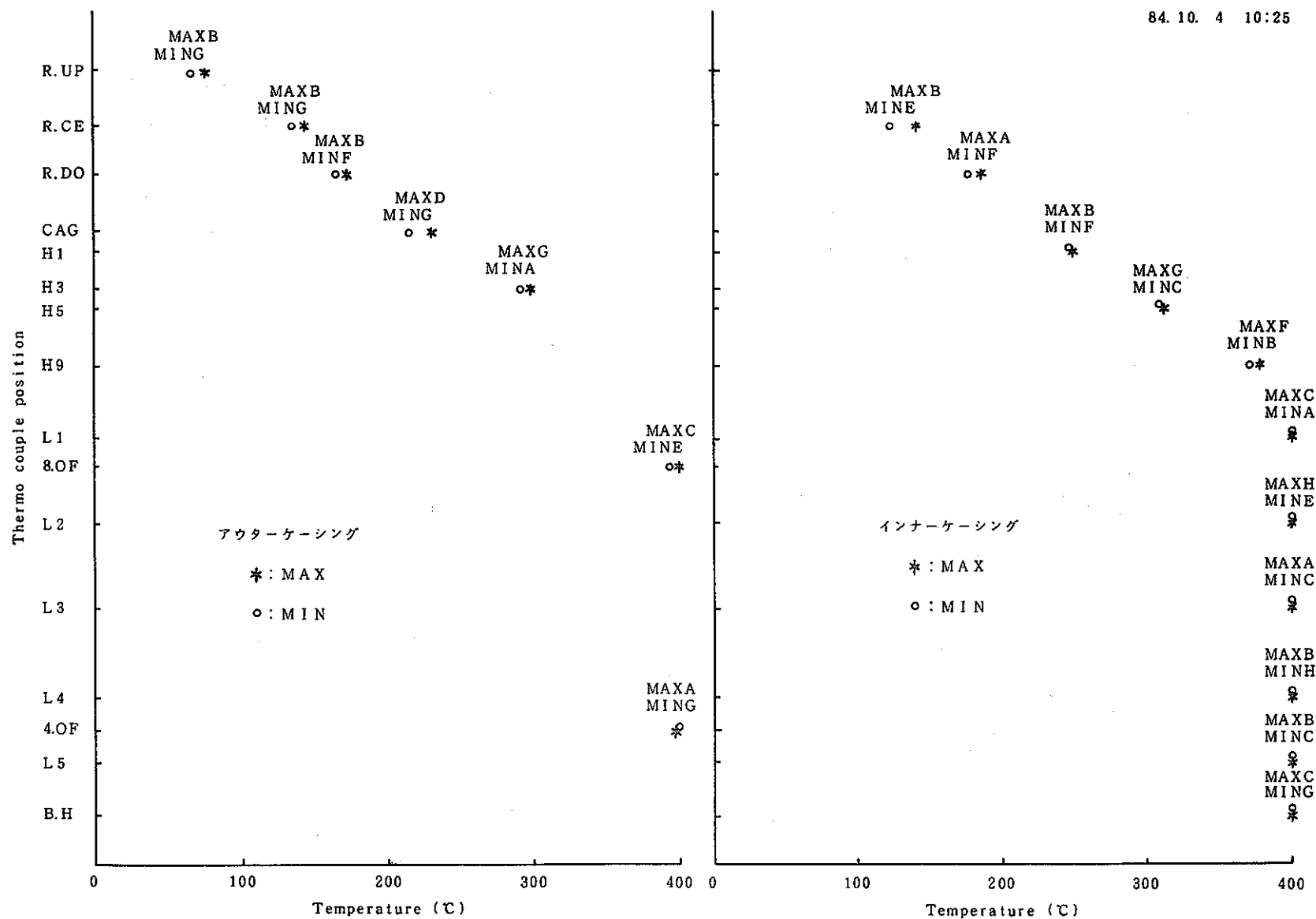


Fig. 4-63 Maximum and Minimum Temperatures on Casing at the Start of Normal Sodium Level Test without seal gas
通常液位・無シールガス試験開始時ケーシング最大、最小温度

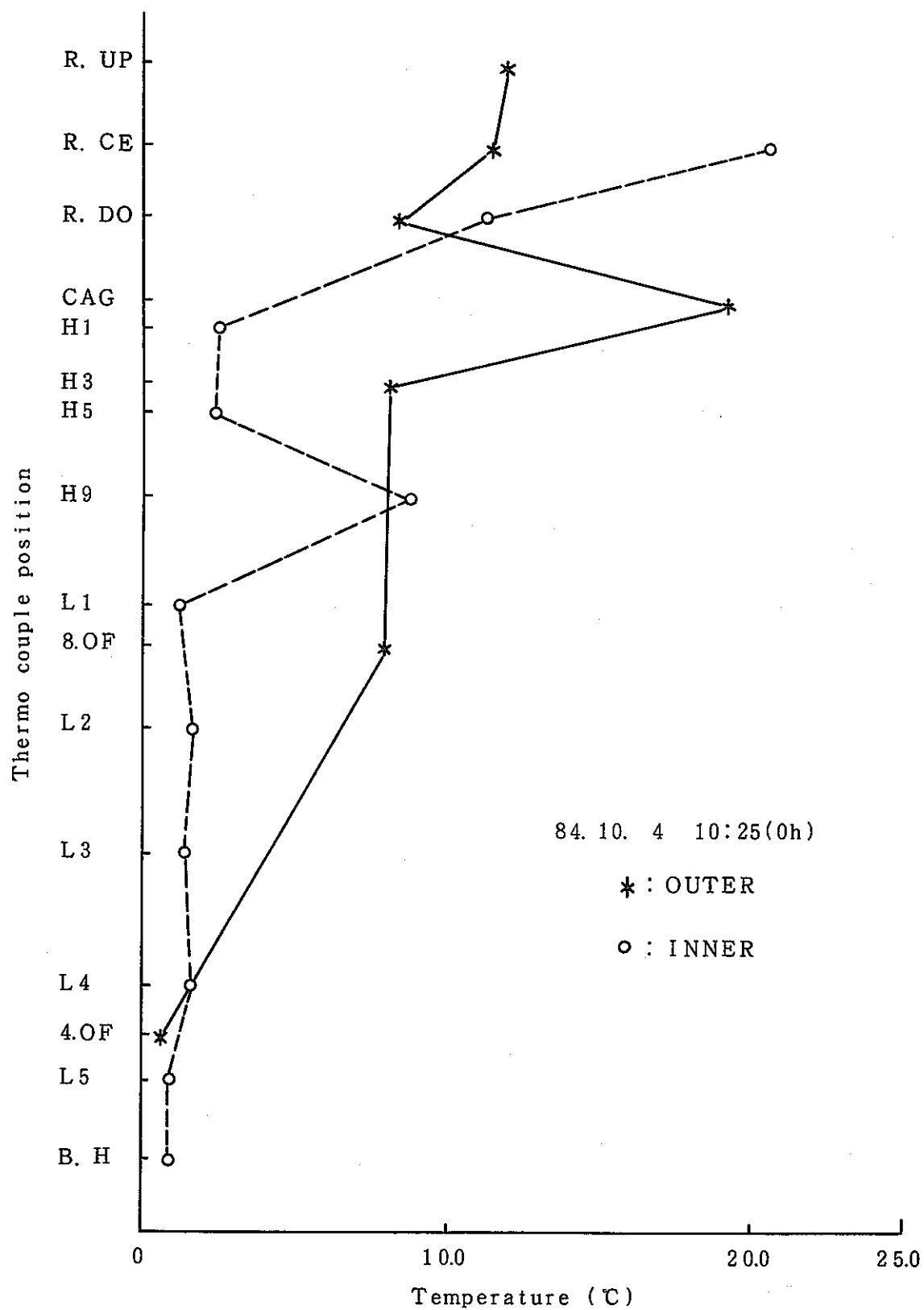


Fig. 4-64 Temperature Difference on Casing at the Start of Normal Sodium Level Test without seal gas
通常液位・無シールガス試験開始時ケーシング温度差

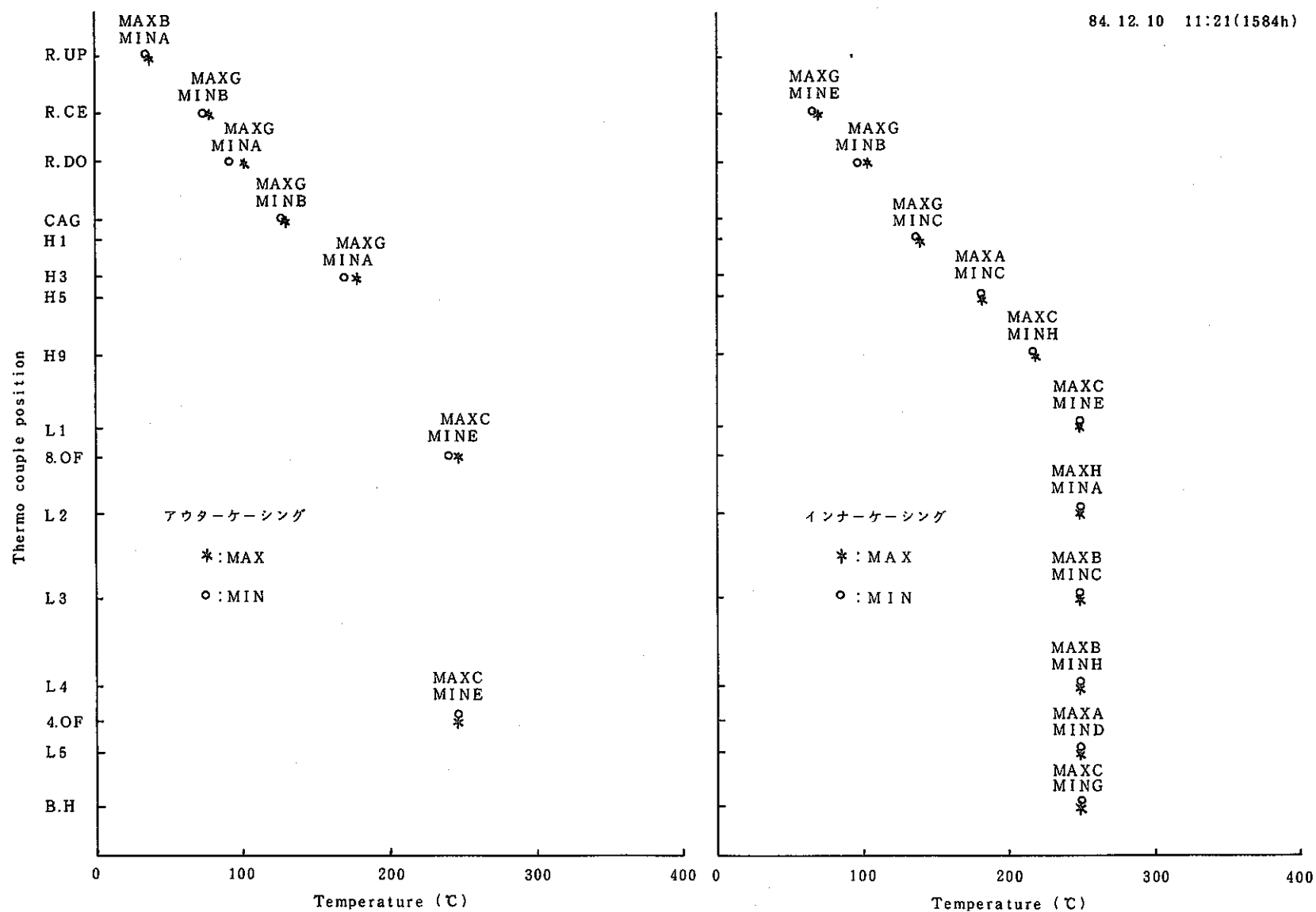


Fig. 4-65 Maximum and Minimum Temperatures on Casing at the finish of Normal Sodium Level Test without seal gas
通常液位・無シールガス試験終了時ケーシング最大, 最小温度

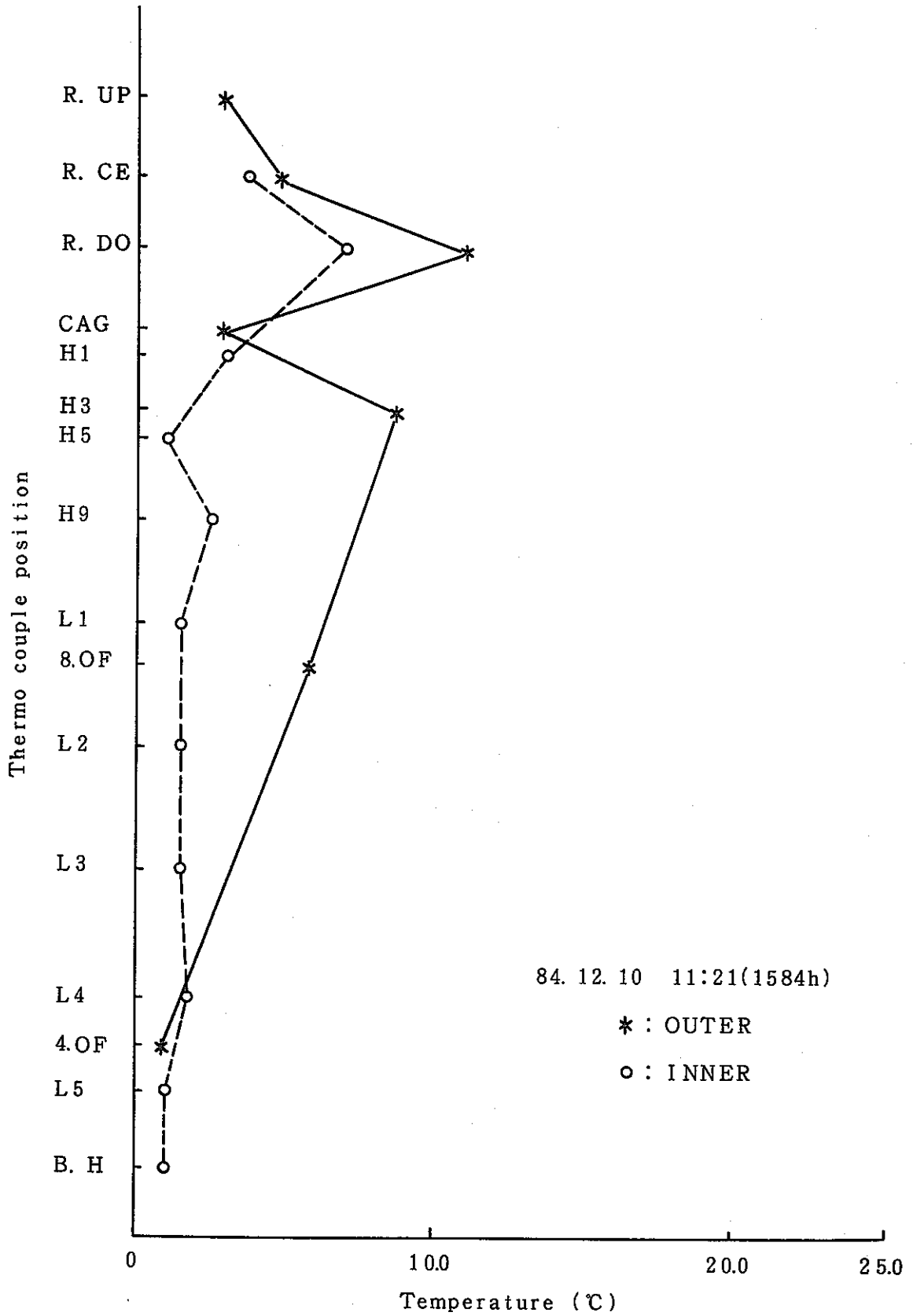


Fig. 4-66 Temperature Difference on Casing for Normal Sodium Level Test without seal gas
通常液位・無シールガス試験終了時ケーシング温度差

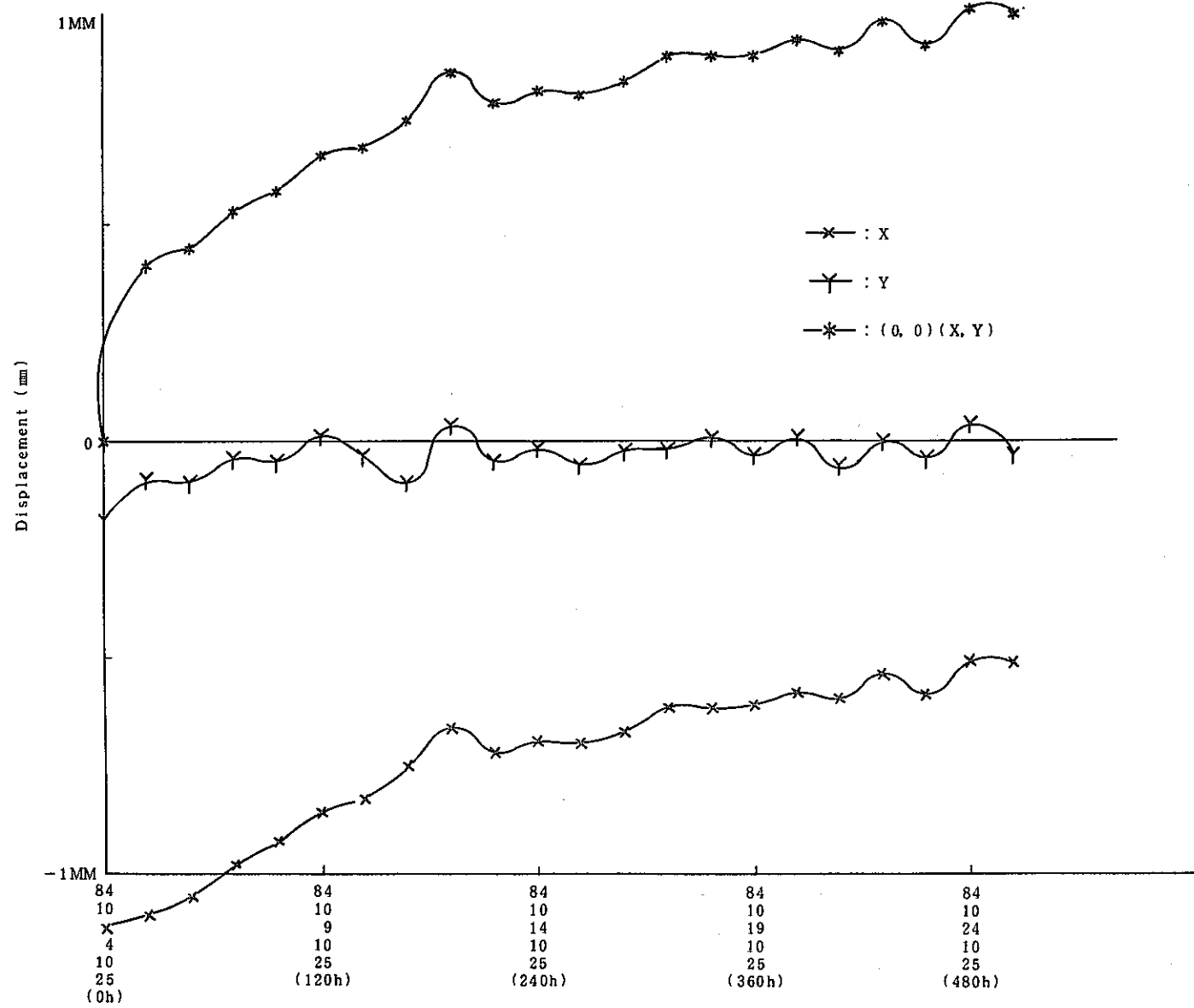


Fig. 4-67 Variation of Outer-casing Displacement for Normal Sodium Level Test without seal gas
通常液位・無シールガス試験アウターケーシング変位変化

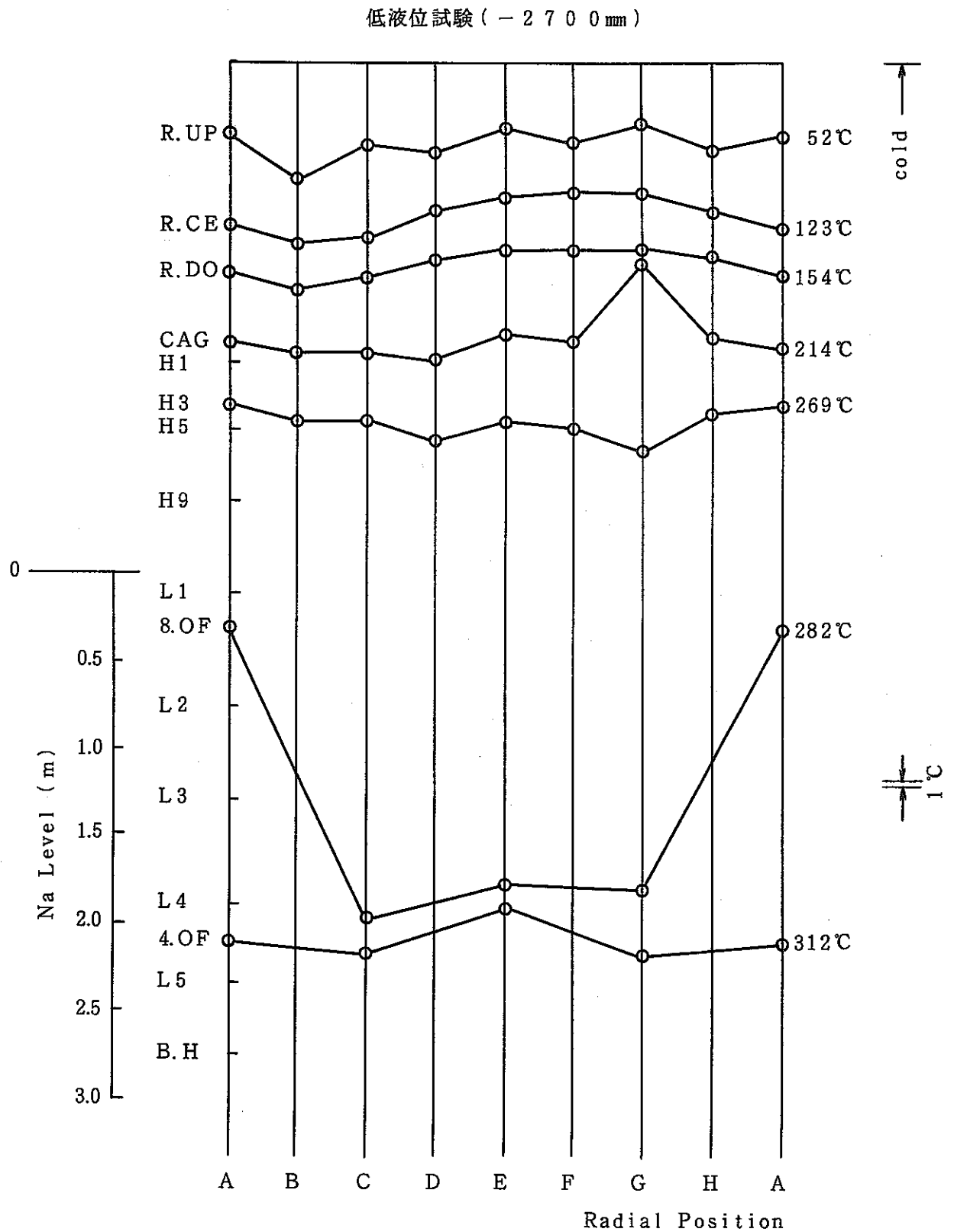


Fig. 5 - 1 Temperature Distribution on Outer-casing
(8.OF at the Maximum Temperature Difference)
アウターケーシング温度分布 (8.OF 温度差最大時)

低液位試験 (- 2 7 0 0 mm)

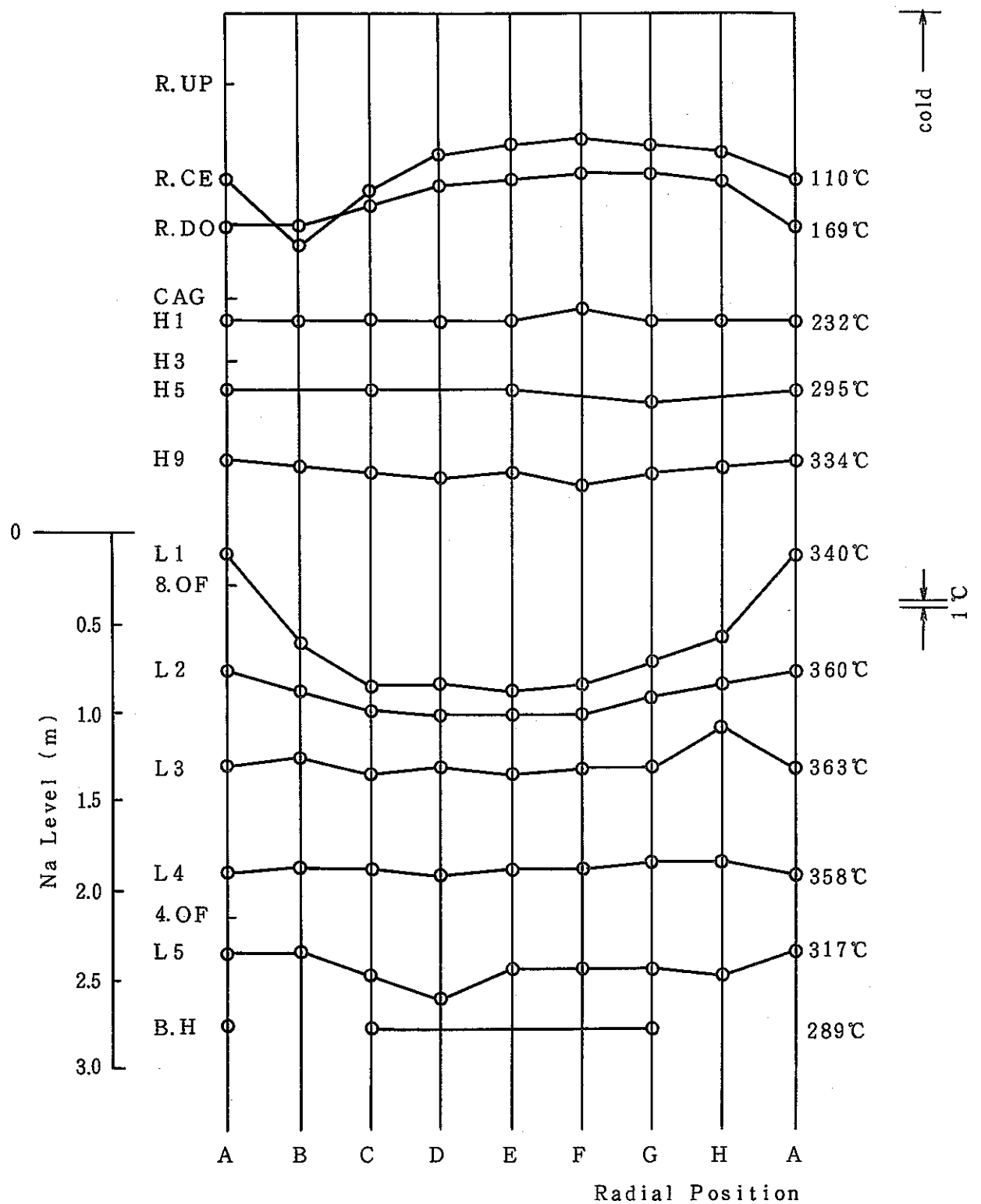


Fig. 5 - 2 Temperature Distribution on Inner-casing
(at 8.OF Maximum Temperature Difference)
インナーケーシング温度分布 (8.OF 温度差最大時)

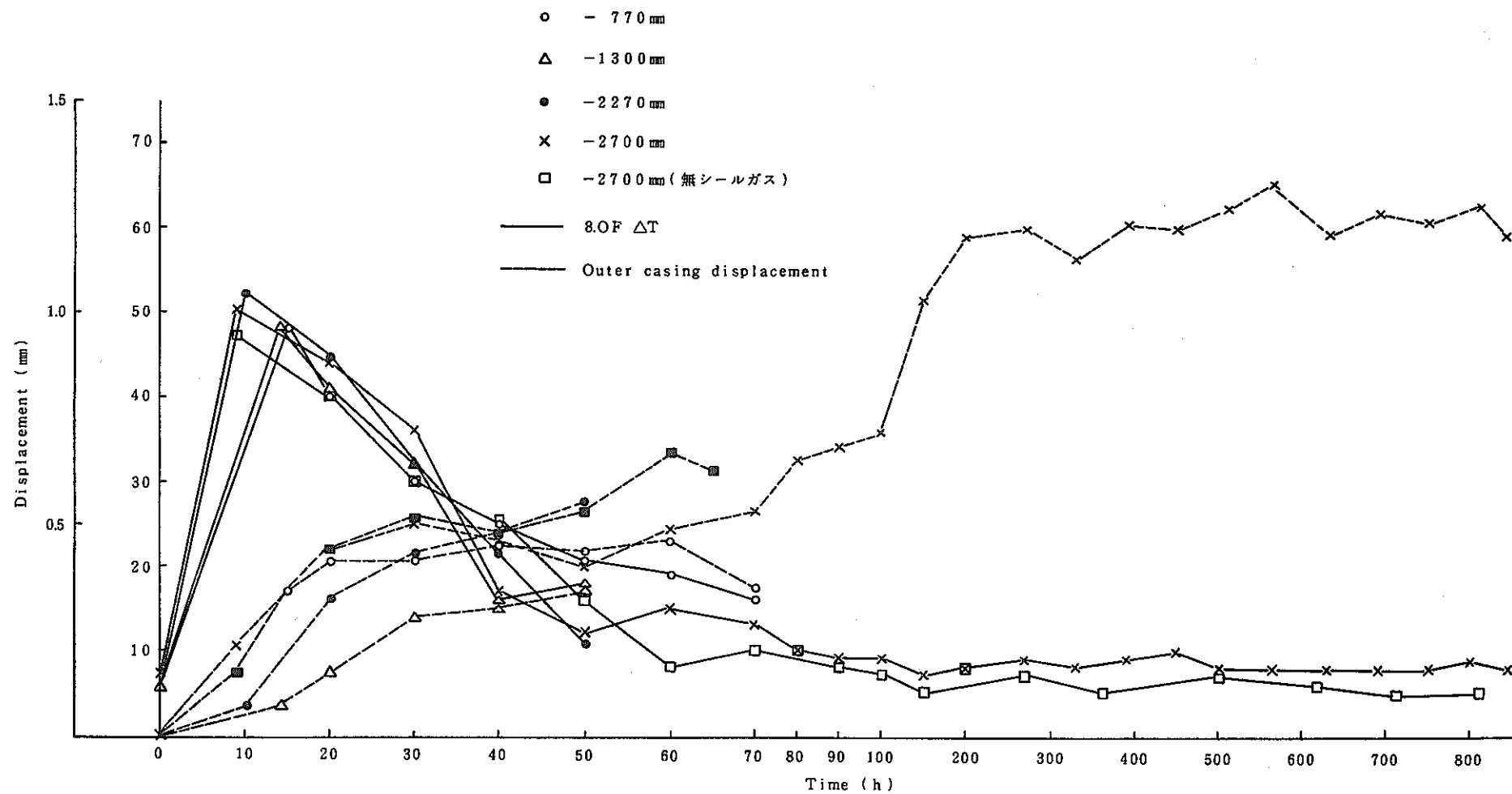


Fig. 5-3 Variations of Outer-casing Displacement and 8.OF Temperature Difference
 アウターケーシング変位及び8.OF温度差の変化

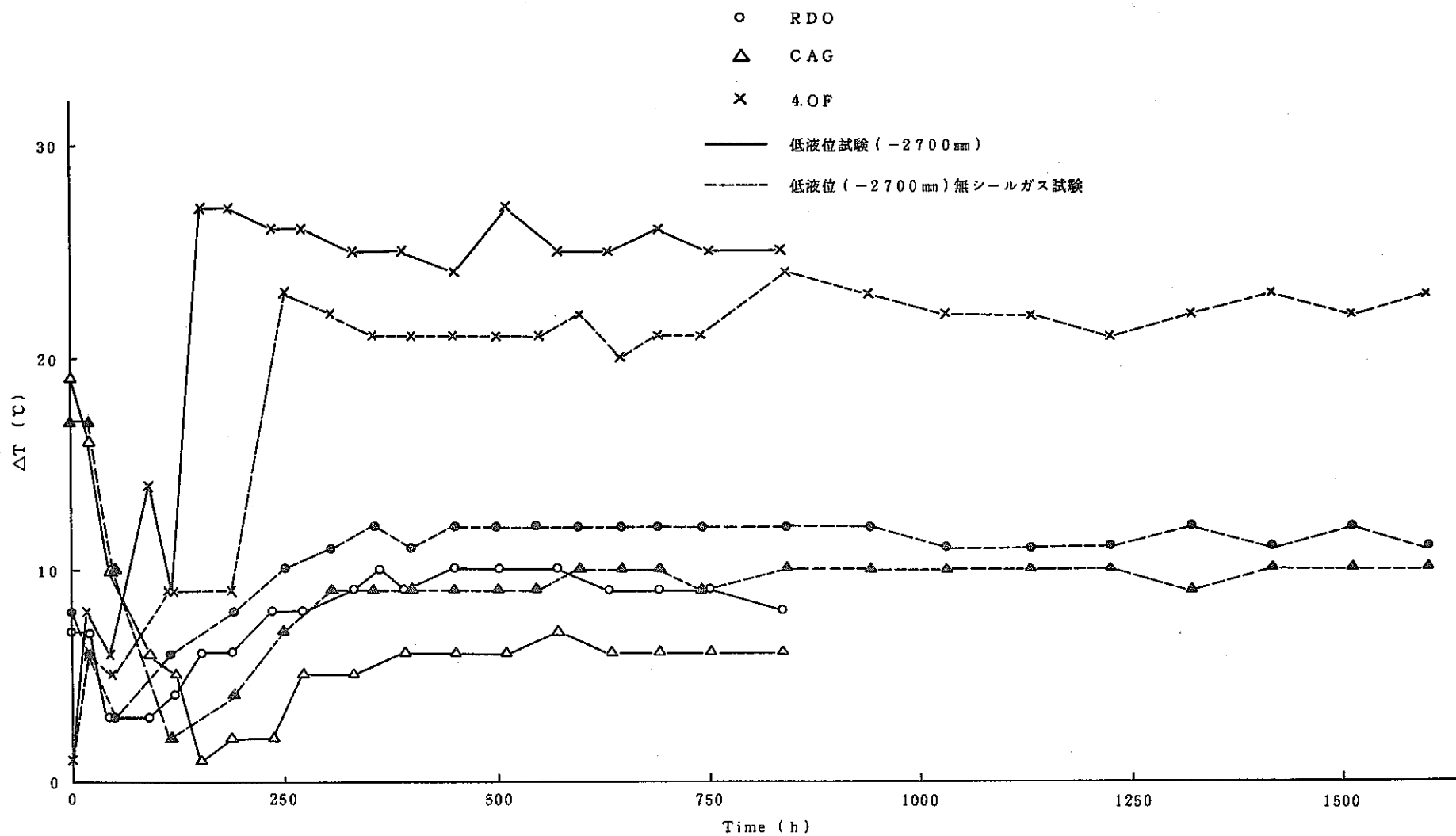


Fig. 5-4 Variations of R.DO, CAG and 4.OF on Outer-casing
 アウターケーシング R.DO, CAG, 4.OF 温度差の変化

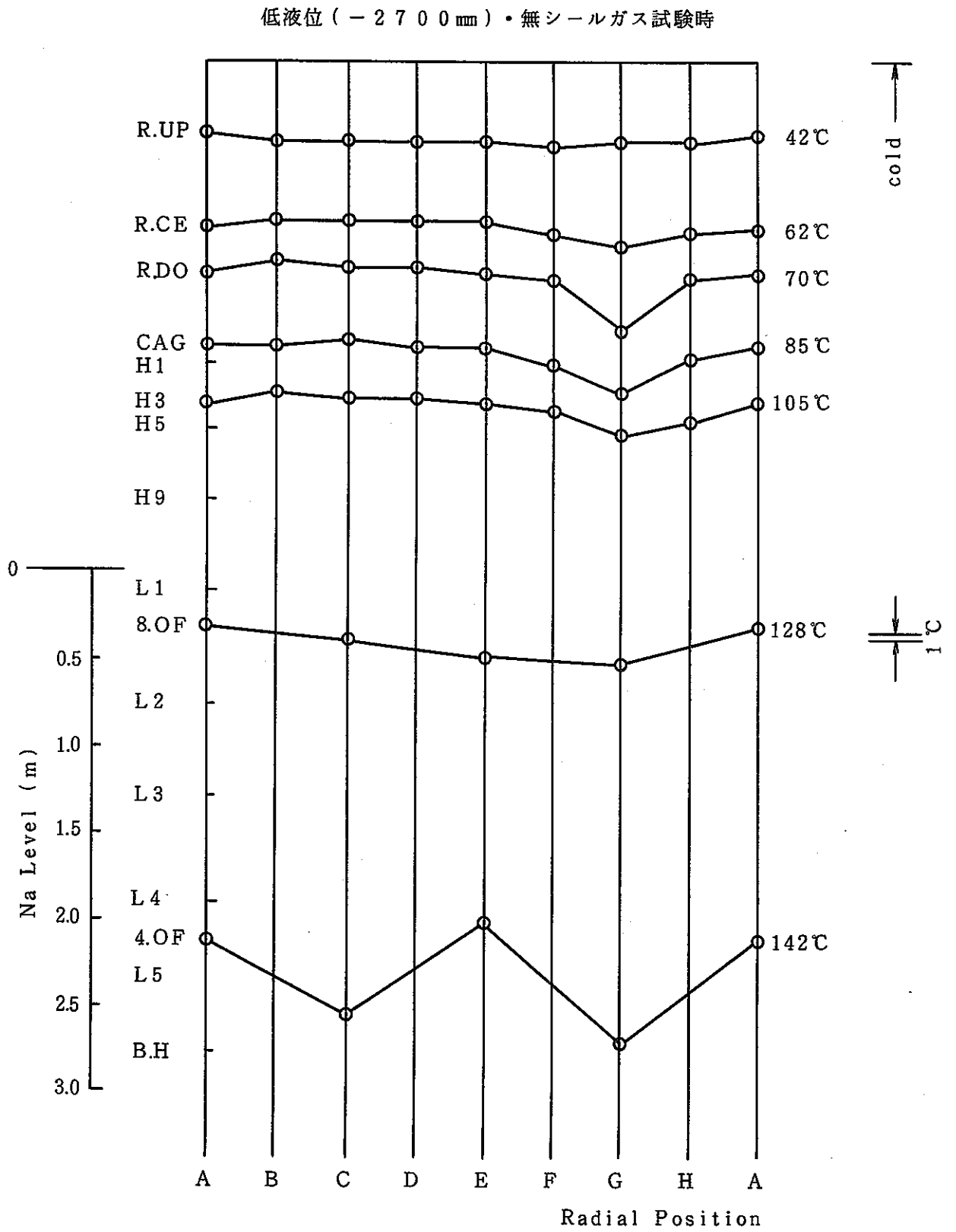


Fig. 5 - 5 Temperature Distribution on Outer-casing
(at R. DO Maximum Temperature Difference)
アウターケーシング温度分布 (R. DO 温度差最大時)

低液位 (- 2 7 0 0 mm) ・ 無シールガス 試験時

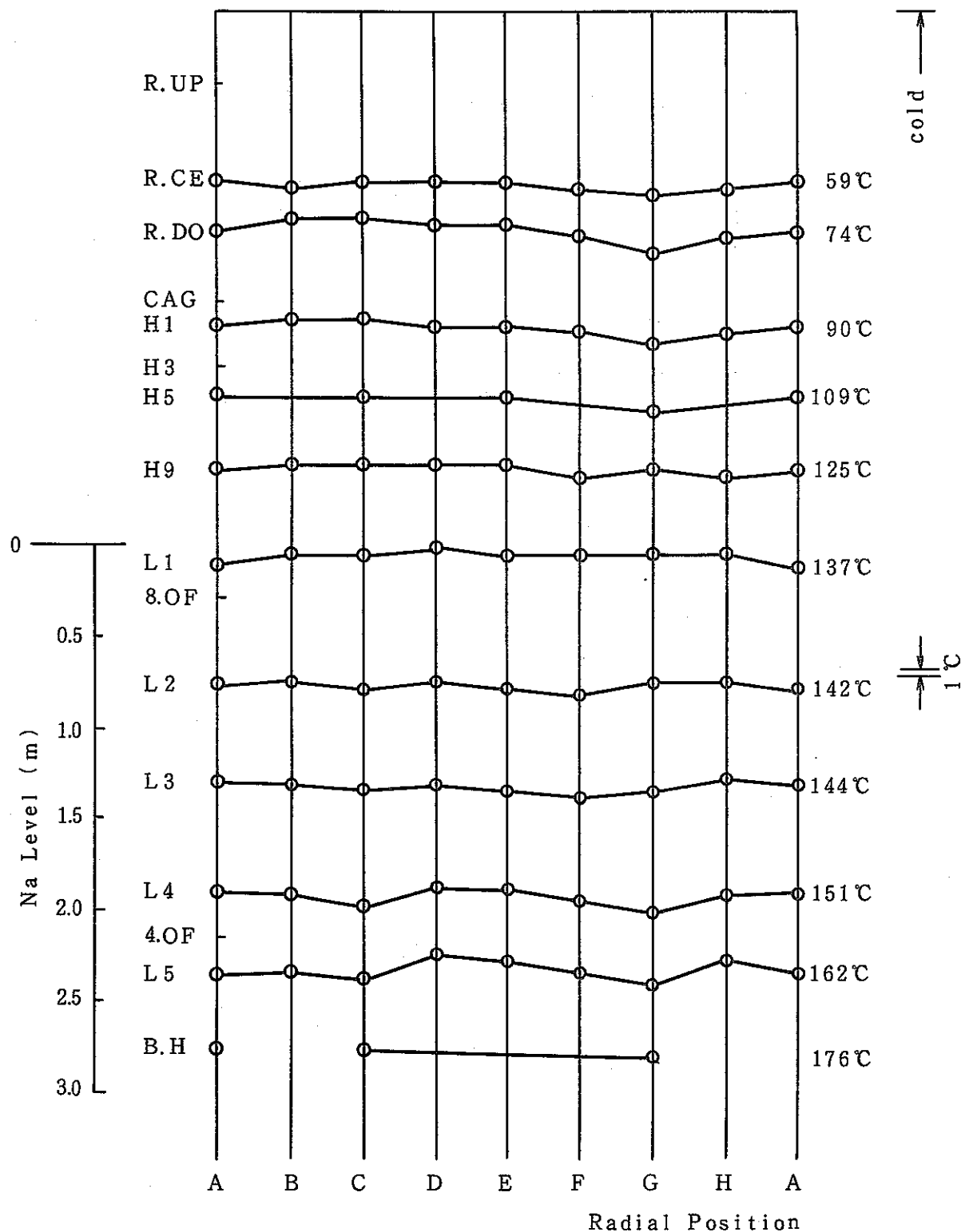


Fig. 5-6 Temperature Distribution on Inner-casing
(at R.DO Maximum Temperature Difference)
インナーケーシング温度分布 (R.DO 温度差最大時)

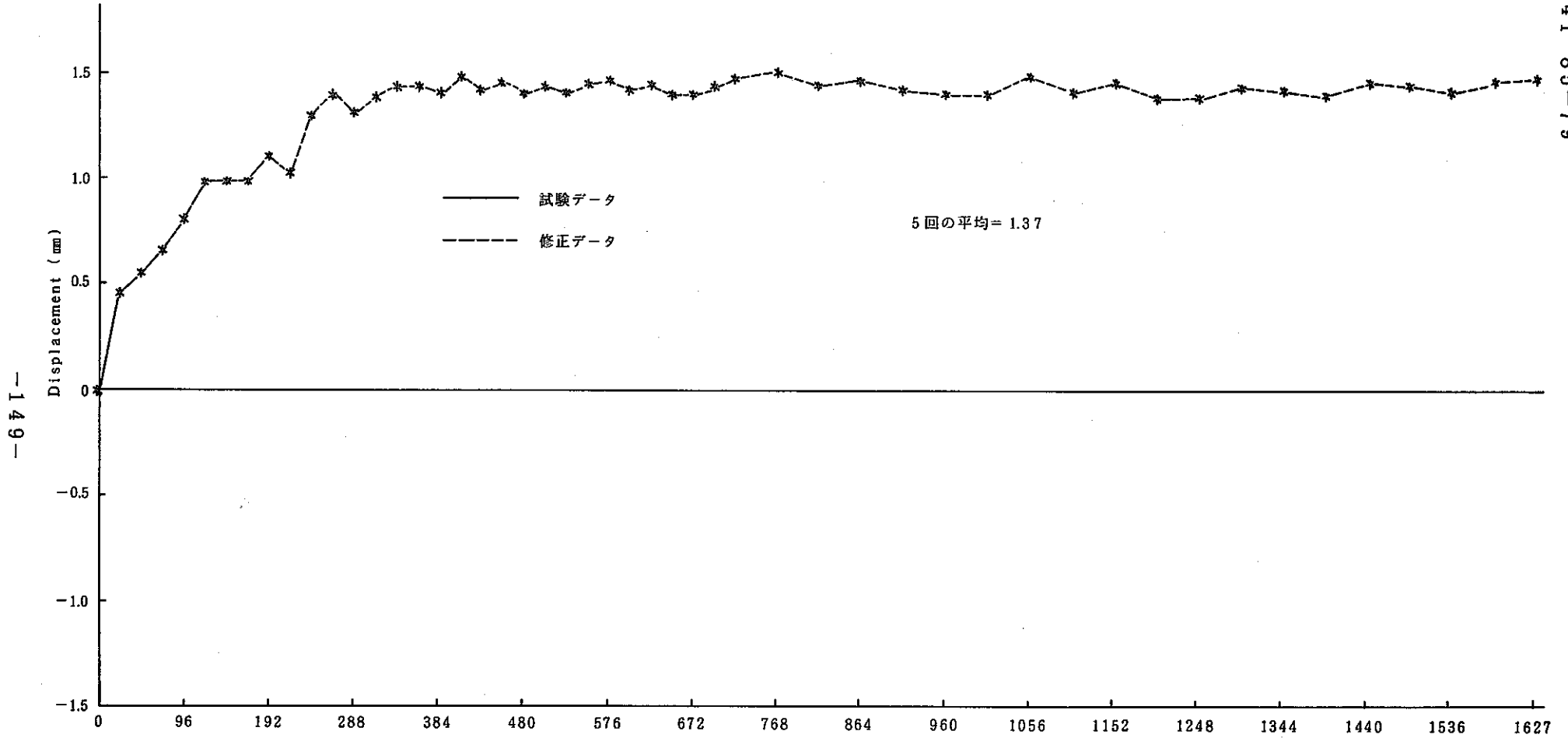


Fig. 5-7 Variation of Outer Casing Displacement on Low Sodium Level Test without seal gas (-2700mm)

低液位(-2700mm)・無シールガス試験アウターケーシング変位変化

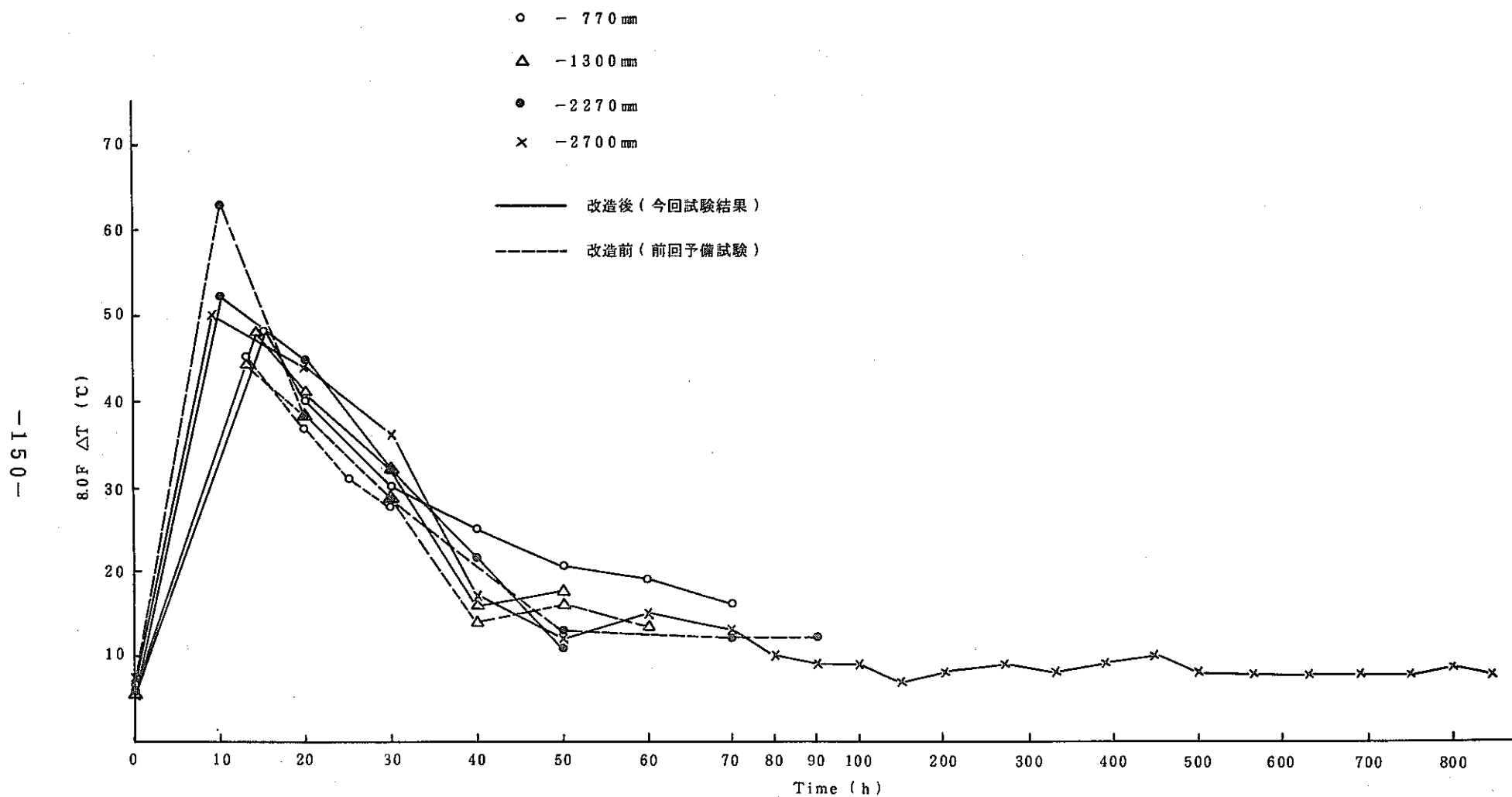


Fig. 5-8 Variations of 8.OF Radial Temperature Difference on Outer-casing before and after Improvement
 ポンプ改造前及び改造後のアウターケーシング 8.OF 周方向温度差の変化

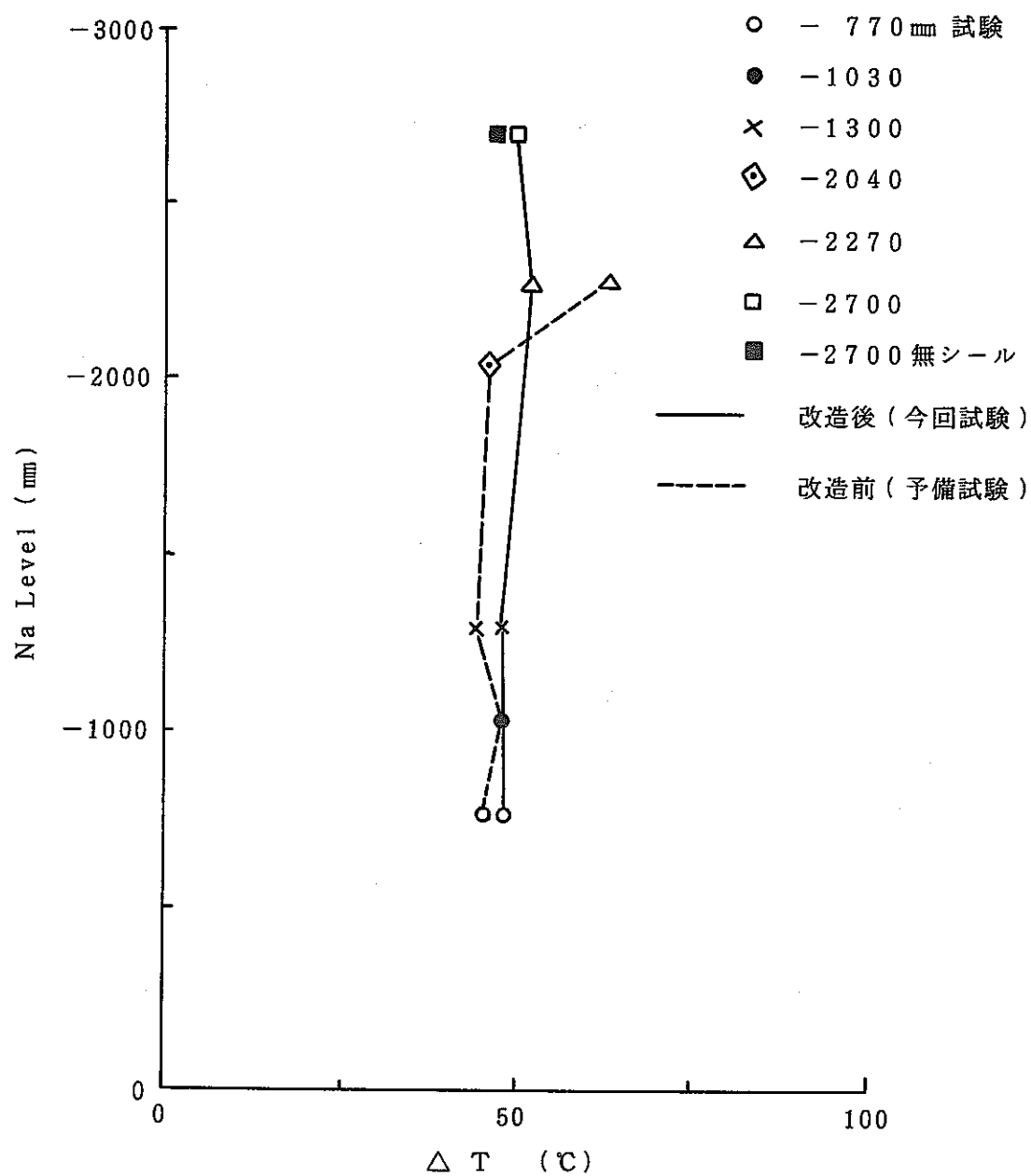


Fig. 5-9 Comparison of 8.OF Maximum Temperature Differences on Outer-casing before and after Improvement

ポンプ改造前／後のアウターケーシング 8.OF 最大温度差の比較

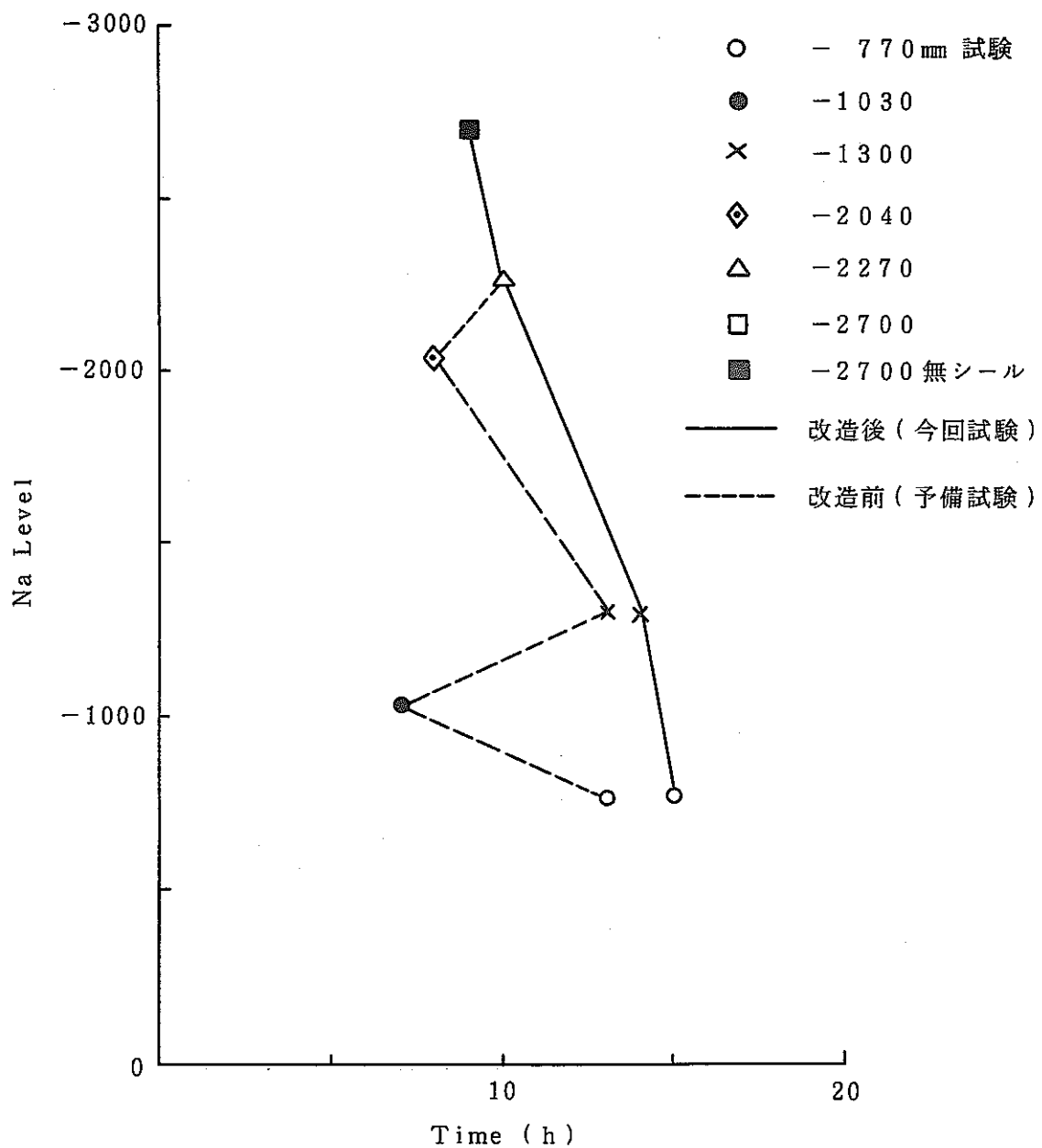


Fig. 5-10 Comparison of Appeared Time of 8.OF Maximum Temperature Differences on Outer-casing before and after Improvement
ポンプ改造前／後のアウターケーシング 8.OF 最大温度差発生時間の比較

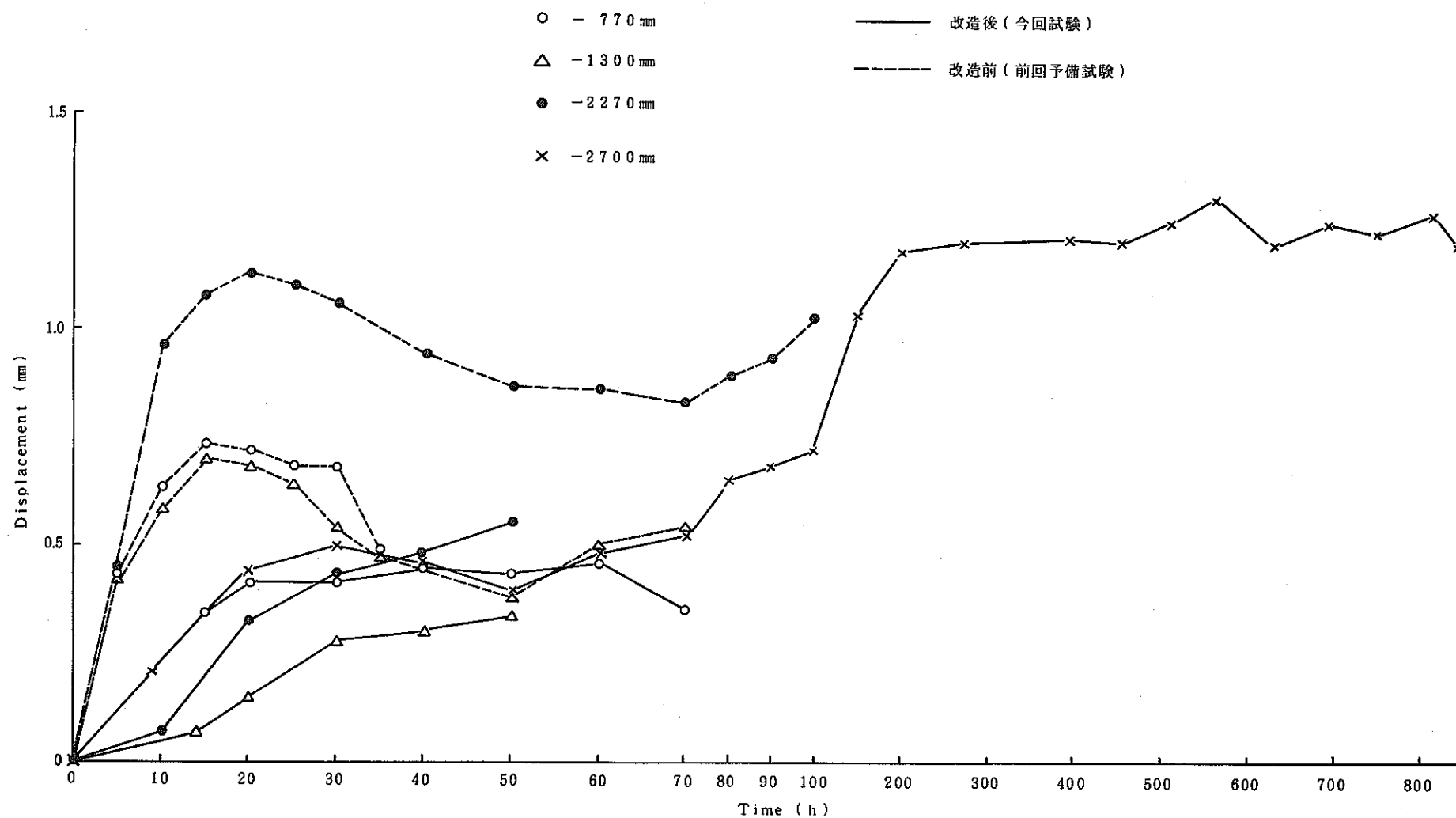


Fig. 5-11 Comparison of Variations of Outer-casing Displacement before and after Improvement
ポンプ改造前及び改造後のアウターケーシング変位変化の比較

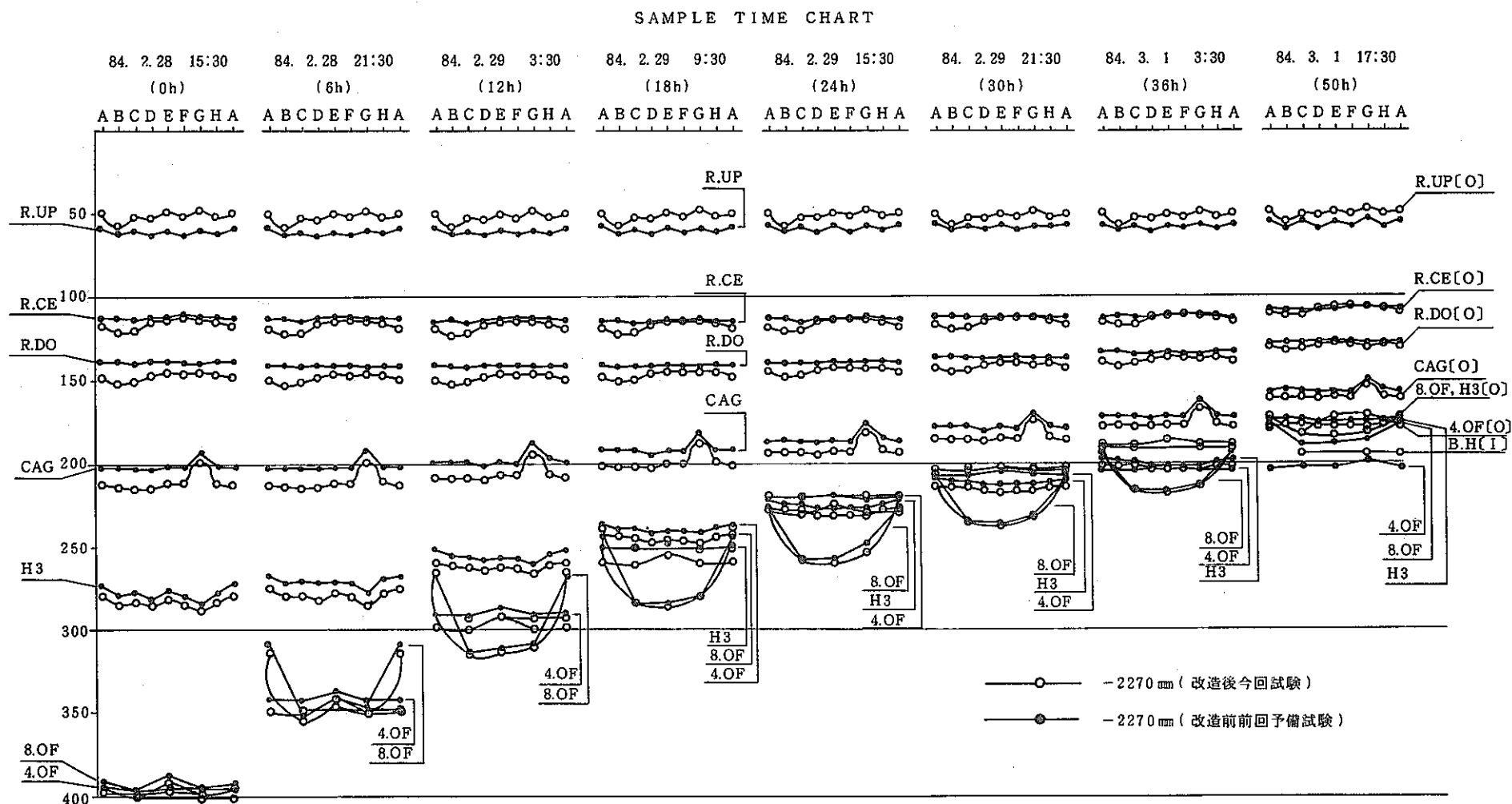


Fig. 5-12 Comparison of Radial Temperature Distributions on Outer-casing before and after Improvement
ポンプ改造前及び改造後のアウターケーシング周方向温度分布の比較

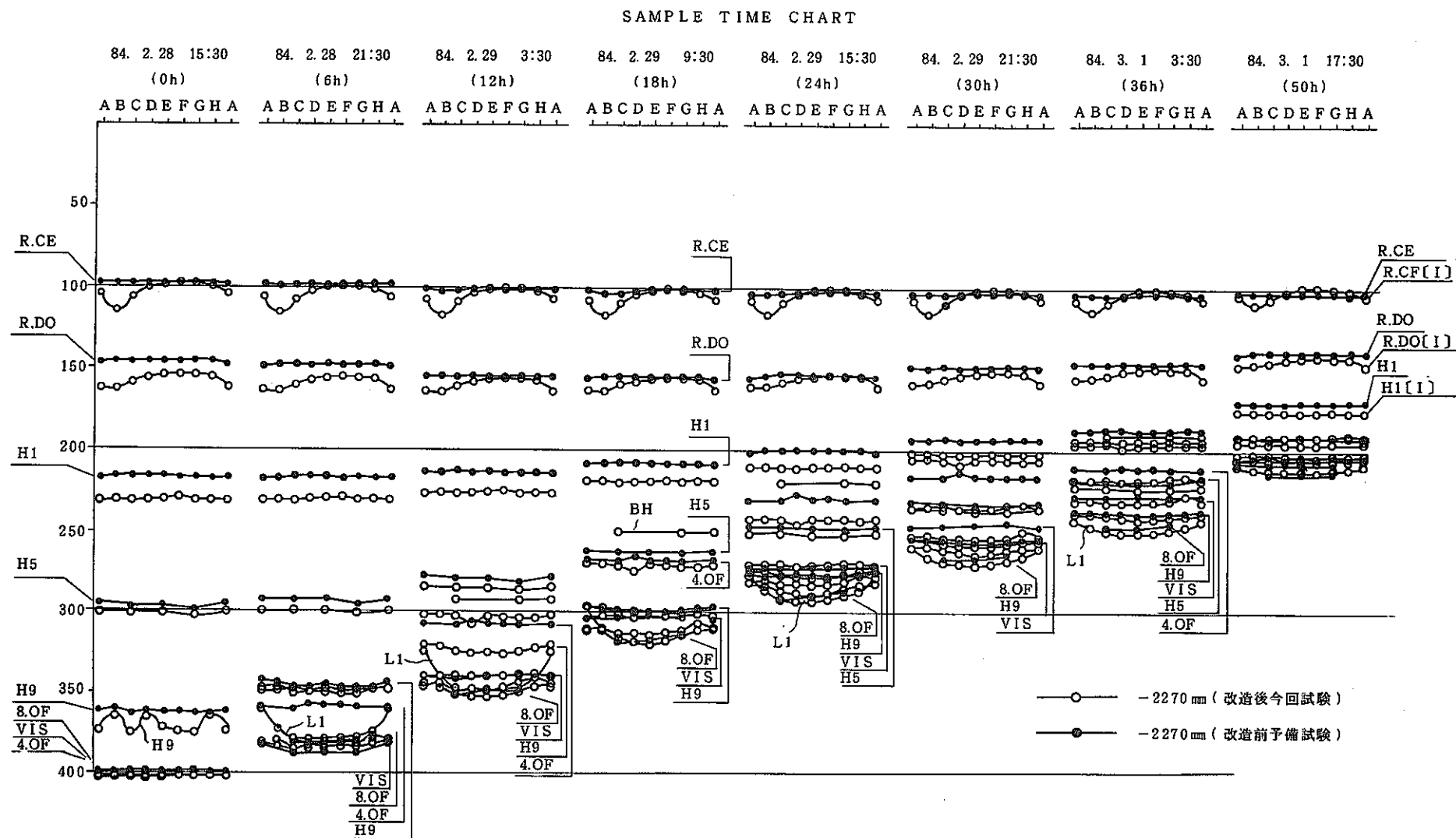


Fig. 5-13 Comparison of Radial Temperature Distributions on Inner-casing before and after Improvement
 ポンプ改造前及び改造後のインナーケーシング周方向温度分布の比較

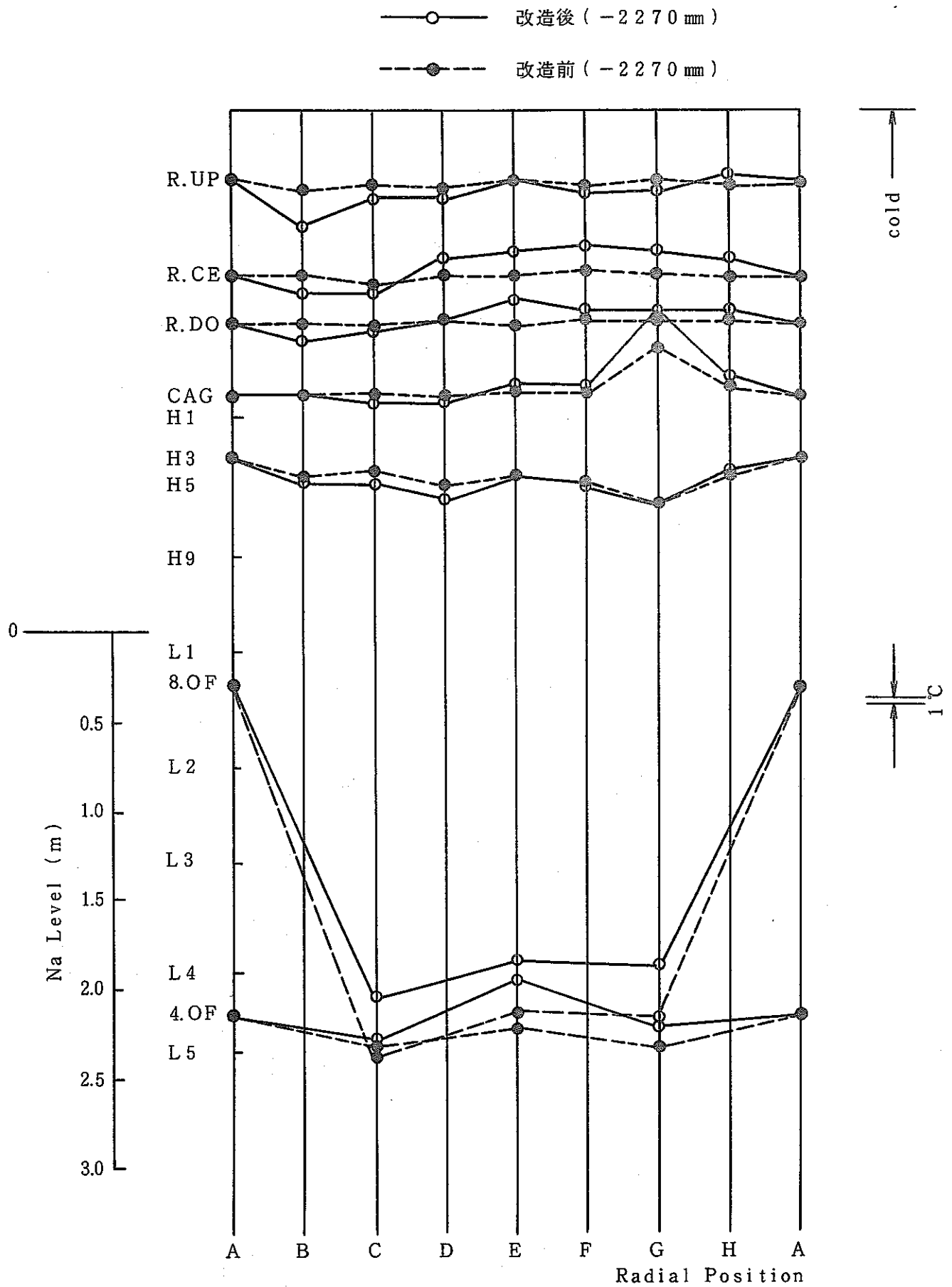


Fig. 5-14 Comparison of Temperature Distributions on Outer-casing before and after Improvement. (at 8.OF Maximum)

ポンプ改造前及び改造後のアウターケーシング温度分布の比較 (8.OF 最大時)

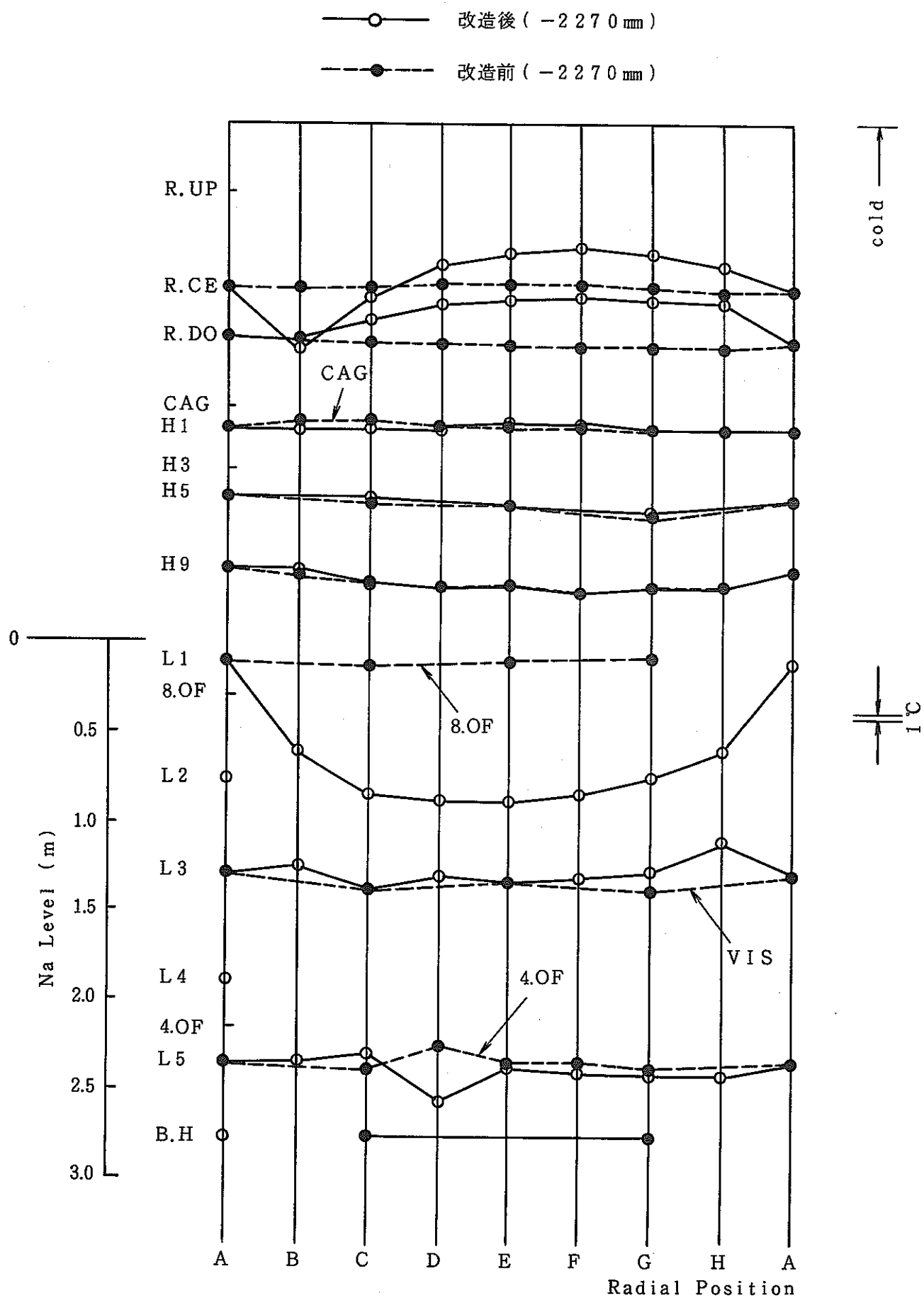


Fig. 5-15 Comparison of Temperature Distributions on Inner-casing before and after Improvement. (at 8.OF Maximum)

ポンプ改造前及び改造後のインナーケーシング温度分布の比較 (8.OF 最大時)