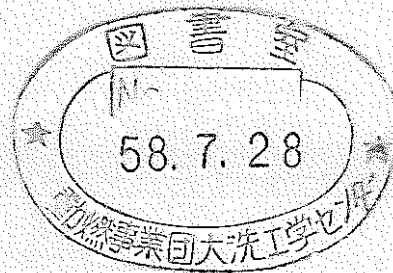


高速炉蒸気発生器伝熱管の中リーク・ウェステージ
破 損 伝 播 試 験(Ⅱ)



1983年3月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
T	N 941 83-38
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

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)

高速炉蒸気発生器伝熱管の中リーク・ウェステージ破損伝播試験(Ⅱ)

報告者 藤井 啓次* 佐藤 稔*
田辺 裕美* 大後 美道**

要 旨

高速増殖炉の蒸気発生器内で中規模の水リークが発生した場合のナトリウム-水反応試験で、今までに行なわれたことのない試験条件や結論の出ていない項目について、動燃大洗工学センター内の大リーク・ナトリウム-水反応試験装置(SWAT-1)を用いて合計6回の試験を行なった。

試験項目は、1) 溶接部ウェステージ試験、2) トロイダルウェステージ試験、3) カバーガス中水リーク試験、4) ナトリウム-水反応域の管外熱伝達率測定試験で、試験結果、溶接部と母材部で耐ウェステージ性に差のないこと、トロイダルウェステージでは管内径相当の孔が明く可能性のあること、カバーガス中の水リークでは、ウェステージ率はナトリウム中の水リークの1/10以下であることが分った。また、ナトリウム-水反応域の管外熱伝達率を求めることができた。

* 高速炉安全工学部プラント安全工学室

** 高速増殖炉開発本部システ設計グループ

Mar. 1983

Intermediate Leak Wastage Test of Heat Transfer Tube
of LMFBR'S Steam Generator (II)

Keiji Fujii*, Minoru Sato*,
Hiromi Tanabe* and Yoshimichi Daigo**

Abstract

Sodium-water reaction tests were conducted at Oarai Engineering Center, PNC by using SWAT-1 (Large Sodium Water Reaction Test Rig) in the range of medium steam leak rate. These tests include, (1) determination of wastage rate on weld joint of heat transfer tube, (2) evaluation of toroidal wastage on cooling heat transfertube, (3) evaluation of wastage due to steam leak into cover gas phase, and (4) determination of heat transfer rate from jet flame to heat transfer tube, all of which have not been studied in the early tests.

From the present tests results, the following conclusions were yield.

1. No difference was observed in wastage rate between weld metal and base metal of 2 1/4Cr-1Mo tube material.
2. The maximum secondary leak size of torroidal shape damage should be considered 1/2 DEG failure.
3. In case of water leak event in cover gas space, the ring shape wastage was examined in all tubes at sodium free surface level, but the wastage rate is much smaller than the direct impingement wastage in sodium.
4. The value of outer surface heat transfer coefficient was obtained.

* Plant Safety Section, FBR Safety Engineering Division, O-arai Engineering Center, PNC.

** Fast Breeder Reactor Development Project, PNC.

SWAT－1 試験実施者

総括者	佐藤 稔(プラント安全工学室長)
注水試験担当	山田 敏雄(プラント安全工学室)
	大高 仁護(現 流動伝熱試験室)
	佐々木 和 一(プラント安全工学室)
	宇佐美 正 行(")
	渡 辺 智 夫(")
	川 部 浩 康(")
試験計画担当	藤 井 啓 次(")
	田 辺 裕 美(")
	大 後 美 道(高速増殖炉開発本部)

目 次

1. はじめに	1
2. 試験装置	2
3. 溶接部に対するウェステージ試験(Run 4108)	3
3.1 試験目的	3
3.2 試験体	3
3.3 計測系	3
3.4 試験条件	3
3.5 試験結果	4
4. トロイダルウェステージの再現性試験(Run 4109, 4111)	5
4.1 試験目的	5
4.2 試験体	5
4.3 計測系	6
4.4 試験条件	6
4.5 試験結果	6
5. カバーガス中水リーク試験(Run 4110)	9
5.1 試験目的	9
5.2 試験体	9
5.3 計測系	10
5.4 試験条件	10
5.5 試験結果	10
6. ナトリウム-水反応ジェットの高伝達率測定試験(Run 4112, 4113)	12
6.1 試験目的	12
6.2 試験体	12
6.3 計測系	13
6.4 試験条件	14
6.5 試験結果	14
7. むすび	16
8. 謝 辞	17
9. 参考文献	18

Appendix

A. Run 4108 測定データ

- B. Run 4109 測定データ
- C. Run 4111 測定データ
- D. Run 4110 測定データ
- E. Run 4112 (ケース1) 測定データ
- F. Run 4112 (ケース2) 測定データ
- G. Run 4113 測定データ
- H. 非定常熱伝導解析コードのプログラムリスト

表 リ ス ト

Table 2.3.1	試 験 条 件	19
Table 3.3.1	Run 4108 熱電対取付位置	20
Table 4.3.1	Run 4109 熱電対取付位置	21
Table 4.3.2	Run 4111 熱電対取付位置	22
Table 4.5.1	トロイダルウェステージ試験結果	23
Table 6.2.1	熱伝達率測定用試験体主要仕様	24
Table 6.3.1	Run 4112, 4113 熱電対取付位置	25
Table 6.5.1	熱伝達率の解析に用いた条件	27

図 リ ス ト

Fig. 2.2.1	SWAT-1 Facility Flow Diagram.....	28
Fig. 2.2.2	SWAT-1 Test Vessel.....	29
Fig. 3.1.1	Micro-Vickers Hardness of No.16 Tube.....	31
Fig. 3.2.1	Tube Bundle Configuration of Run 4108.....	32
Fig. 3.2.2	Configuration of Test Tubes.....	33
Fig. 3.2.3	Water Injection Nozzle Assembly.....	34
Fig. 3.5.1	Multiple Wastage of Tubes and Maximum Reaction Temperature.....	35
Fig. 3.5.2	Cross-Sectional View of Tubes after Test.....	81
Fig. 3.5.3(a)	Wastage Map of Tube No.7 (Run 4108).....	36
Fig. 3.5.3(b)	Wastage Map of Tube No.7 (Run 4108).....	37
Fig. 3.5.3(c)	Wastage Map of Tube No.7 (Run 4108).....	38
Fig. 3.5.3(d)	Wastage Map of Tube No.7 (Run 4108).....	39
Fig. 3.5.3(e)	Wastage Map of Tube No.7 (Run 4108).....	40
Fig. 4.2.1	Tube Bundle Configuration of Run 4109.....	41
Fig. 4.2.2	Tube Bundle Configuration of Run 4111.....	42
Fig. 4.5.2	Multiple Wastage of Tubes and Maximum Reaction Temperature (Run 4109).....	43
Fig. 4.5.3	Multiple Wastage of Tubes and Maximum Reaction Temperature (Run 4111).....	44
Fig. 4.5.4	Wastage Map of No.14 Tube (Run 4109).....	45
Fig. 4.5.5	Wastage Map of No.11 Tube (Run 4111).....	46
Fig. 5.2.1	Tube Bundle Configuration and Thermocouples Locations (Run 4110).....	47
Fig. 5.4.1	Pre-Test Examination using N ₂ Gas and Water.....	83
Fig. 5.5.1	Maximum Temperature (Run 4110).....	48
Fig. 5.5.2(a)	Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4110).....	49
Fig. 5.5.2(b)	Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4110).....	50
Fig. 5.5.2(c)	Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4110).....	51
Fig. 5.5.2(d)	Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4110).....	52
Fig. 5.5.3	Target Tubes Suffered Ring Shape Wastage.....	83
Fig. 5.5.4	Wastage Maps (Run 4110).....	53
Fig. 6.2.1	Tube Bundle Configuration of Run 4112 and Run 4113.....	55
Fig. 6.2.2	Test Internals Assembly of Run 4112.....	83

Fig. 6.5.1(a)	Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4112 Case-1).....	57
Fig. 6.5.1(b)	Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4112 Case-1).....	59
Fig. 6.5.1(c)	Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4112 Case-1).....	61
Fig. 6.5.1(d)	Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4112 Case-1).....	63
Fig. 6.5.2(a)	Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4112 Case-2).....	65
Fig. 6.5.2(b)	Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4112 Case-2).....	67
Fig. 6.5.2(c)	Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4112 Case-2).....	69
Fig. 6.5.2(d)	Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4112 Case-2).....	71
Fig. 6.5.3(a)	Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4113).....	73
Fig. 6.5.3(b)	Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4113).....	75
Fig. 6.5.3(c)	Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4113).....	77
Fig. 6.5.3(d)	Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4113).....	79
Fig. 6.5.4(a)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4112 Case-1).....	85
Fig. 6.5.4(b)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4112 Case-1).....	86
Fig. 6.5.4(c)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4112 Case-1).....	87
Fig. 6.5.4(d)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4112 Case-1).....	88
Fig. 6.5.4(e)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4112 Case-1).....	89
Fig. 6.5.4(f)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4112 Case-1).....	90
Fig. 6.5.4(g)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4112 Case-1).....	91
Fig. 6.5.4(h)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4112 Case-1).....	92
Fig. 6.5.4(i)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4112 Case-1).....	93

Fig. 6.5.4(j)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4112 Case-1).....	94
Fig. 6.5.4(k)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4112 Case-1).....	95
Fig. 6.5.5(a)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4112 Case-2).....	96
Fig. 6.5.5(b)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4112 Case-2).....	97
Fig. 6.5.5(c)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4112 Case-2).....	98
Fig. 6.5.5(d)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4112 Case-2).....	99
Fig. 6.5.5(e)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4112 Case-2).....	100
Fig. 6.5.5(f)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4112 Case-2).....	101
Fig. 6.5.5(g)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4112 Case-2).....	102
Fig. 6.5.5(h)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4112 Case-2).....	103
Fig. 6.5.5(i)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4112 Case-2).....	104
Fig. 6.5.5(j)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4112 case-2).....	105
Fig. 6.5.5(k)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4112 Case-2).....	107
Fig. 6.5.5(l)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4112 Case-2).....	109
Fig. 6.5.5(m)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4112 Case-2).....	111
Fig. 6.5.6(a)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4113).....	113
Fig. 6.5.6(b)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4113).....	115
Fig. 6.5.6(c)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4113).....	117
Fig. 6.5.6(d)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4113).....	118

Fig. 6.5.6(e)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4113).....	119
Fig. 6.5.6(f)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4113).....	120
Fig. 6.5.6(g)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4113).....	121
Fig. 6.5.6(h)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4113).....	122
Fig. 6.5.6(i)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4113).....	123
Fig. 6.5.6(j)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4113).....	124
Fig. 6.5.6(k)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4113).....	125
Fig. 6.5.6(l)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4113).....	126
Fig. 6.5.6(m)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4113).....	127
Fig. 6.5.6(n)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4113).....	128
Fig. 6.5.6(o)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4113).....	129
Fig. 6.5.6(p)	Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements (Run 4113).....	130
Fig. 6.5.7(a)	Outer Surface Heat Transfer Coefficient (Run 4112 Case-1).....	131
Fig. 6.5.7(b)	Outer Surface Heat Transfer Coefficient (Run 4112 Case-2).....	132
Fig. 6.5.7(c)	Outer Surface Heat Transfer Coefficient (Run 4113).....	133

1. は じ め に

高速増殖炉用蒸気発生器はナトリウムと水の熱交換器であり、万一伝熱管に孔が明き、水リークが発生すると、噴出した水とナトリウムが激しく反応し、高温の反応生成物(H_2 , $NaOH$ 等)のジェットとなる。この反応生成物のジェットはエロージョン及びコロージョン作用が強く、ジェットが衝突する伝熱管を損耗(ウェステージ)する。またリーク規模が大きくなると、反応ジェットの高温域が広がり、伝熱管が高温ラプチャする可能性もでてくる。

水リーク検出システムの故障により、水リーク事故が早期に検知できない場合を想定すると、ウェステージや高温ラプチャにより伝熱管が次々と破損して大リーク事故に進展する可能性が考えられる。このため、大リーク・ナトリウム-水反応試験装置(SWAT-1)及び蒸気発生器安全性総合試験装置(SWAT-3)を用いて伝熱管の破損伝播試験が行なわれている。

SWAT-1のRun 82~4106試験では、ウェステージ率、二次破損孔径に及ぼす各種パラメータの影響(ナトリウム温度、ノズルターゲット間距離、リーク率等)を調べた。¹⁾

SWAT-3のRun 8~15試験では、ターゲット管に水を入れて実際に破損伝播を発生させ、破損規模が拡大していく様子を調べた。^{2)~4)}

また、SWAT-3のRun 16, 17試験では、高温ラプチャによる破損伝播の可能性の有無の実証及びナトリウム-水反応ジェットの伝熱管に対する熱伝達率の測定を行なった。⁵⁾

本報告書で述べるSWAT-1のRun 4108~4113試験では、従来の試験だけでは結論の出せなかった項目や、今までに行なわれたことのない試験条件について試験を行なった。

試験項目を下記に示す。

- 溶接部ウェステージ試験(Run 4108)
- トロイダルウェステージの再現性試験(Run 4109, 4111)
- カバーガス中水リーク試験(Run 4110)
- 反応ジェットの伝熱管に対する熱伝達率測定試験(Run 4112, 4113)

2. 試 験 装 置

試験装置は Run 84 から Run 4107 の中リーク・ウェステージ試験と同様，大リーク・ナトリウム-水反応試験装置 (SWAT-1) を用いた。SWAT-1 のフローシートを Fig. 2.2.1 に示す。本装置は，原型炉 SG の約 1/7 スケール・モデルで，Fig. 2.2.2 に示す内径 400 mm，高さ 2580 mm の反応容器，5B の放出系配管，内容積 1.2 m³ の収納容器，容量 18 ℓ の水加熱器等で構成されている。試験は反応容器の中に試験体を挿入して行なった。

尚，試験装置の詳細については今までに発表された SWAT-1 試験の報告書¹⁾ を参照されたい。

3. 溶接部に対するウェステージ試験(Run4108)

3.1 試験目的

蒸気発生器伝熱管の水リークは溶接部で発生することが多い。この場合、リークジェットが隣接伝熱管の溶接部をウェステージする可能性があるが、溶接部に対してはウェステージ試験は行なわれたことがない。溶接部はFig. 3.1.1に示すように母材部より硬く、また金相的にも異なっており、耐ウェステージ性でも差の出る可能性がある。溶接部と母材部で耐ウェステージ性に大きな差が出れば破損伝播にも影響を及ぼす。

本試験では蒸発器伝熱管(STBA 24)の溶接部に対するウェステージ試験を行ない、溶接部の耐ウェステージ性を調べることを目的とした。

3.2 試験体

試験体は従来の中リーク・ウェステージ試験同様、“もんじゅ”蒸発器の伝熱管配列を模擬したもので、注水ノズル、ガス加圧管及びダミー管より構成されている。伝熱管配列をFig. 3.2.1に示す。ガス加圧管及びダミー管は材質がSTBA 24で呼び径3.1.8mm、公称肉厚3.8mmのものを使用した。ガス加圧管の全てとダミー管7本の中央部は実機の蒸発器の伝熱管と同様の施工方法により溶接された。Fig. 3.2.2にこれらのガス加圧管及びダミー管の概略寸法及び溶接施工要領を示す。

注水ノズルはFig. 3.2.3に示すラプチャ型で口径は1.8mmである。

3.3 計測系

反応域での温度分布を調べ、ウェステージ現象との関連を見るために、管束部に38点の熱電対を設置した。Table 3.3.1にこれらの熱電対の取付位置を示す。

ガス加圧管の二次破損時間を知るため、各々の管に圧力計を設けた。

注水率の測定のためタービン流量計及び水加熱器液位計を設けた。

これら以外にも試験条件の設定や参考データを得るため各種の計測器を使用した。これらの計測項目についてはAppendix AのTable A.1に示す。

3.4 試験条件

試験条件は、Run 82～4107の中リーク・ウェステージ試験との比較が容易なように、できるだけこれらの試験と同一とした。従って、水側条件は125 kg/cm²gの飽和水とし、ナトリウム温度は400℃とした。また、注水ノズル口径は、数本の伝熱管がウェステージされるものの中から1.8mmを選んだ。注水は二次破損が発生するまで続けることにした。ガス加圧管の圧力は“も

んじゅ、蒸発器の水側圧力と同じ $150 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ とした。

これらの設定値に対し、実際の試験で測定された値を Table 1.1.1 に示す。これらの値の中には、温度制御誤差、配管圧損、ナトリウム-水反応によって発生する熱等により設定値とは差が生じたものもある。

3.5 試験結果

注水開始後 72 秒で、ガス加圧管 No. 12 の圧力が急激に低下し、貫通孔の発生が確認されたので注水を停止した。試験中の平均注水率は 46.8 g/sec であった。

Fig. 3.5.1 は管束部に設置した各熱電対の注水試験中の最高温度及び試験後の検査結果によるウェステージ量を、伝熱管配列図中に記入したものである。

本図より、温度分布はこれまでの中リーク・ウェステージ試験とほぼ同じであることが分る。また、温度の高い所がウェステージが大きいことも、これまでの試験結果と同じである。

Fig. 3.5.2 に伝熱管 No. 12, 16, 17 の外観写真及び、これらのウェステージ部の断面マクロ写真を示す。伝熱管 No. 12 の断面マクロ写真より、No. 12 の中心部には未反応水が当たったため、ジェット中心部はあまり減肉されず、その周囲の反応部がウェステージされる、いわゆるトロイダルウェステージが発生したことが分る。このため、貫通孔はジェットの中心が当たる溶接部ではなく母材部に発生した。一方、No. 17 の伝熱管は溶接部も母材部と同様滑らかにウェステージされている。

Fig. 3.5.3(a)~(e) に管 No. 7, 8, 12, 14, 17 のウェステージマップをそれぞれ示す。溶接部は余盛があるため、母材部と同等にウェステージされたとしても、No. 7 や 8 の伝熱管のようにウェステージ部で若干凸になっている。一方、No. 14 や 17 のようにウェステージ量が 2 mm 以上になると溶接部の凸はほとんど無くなっている。これらのことから、溶接部と母材部で耐ウェステージ性に差の無いことが推定される。

伝熱管 No. 12, 16, 17 については詳細な材料検査を行なったので近日中に報告する予定である。

尚、本試験で測定されたデータは全て Appendix A に添付している。

4. トロイダルウェステージの再現性試験(Run4109, 4111)

4.1 試験目的

Run 84 試験は平均注水率が 32.9g/secであったが、トロイダルウェステージの外径が伝熱管内径とほぼ一致したため、二次破損で Fig. 4.5.1 に示すような 1/2 DEG 相当の孔が明いた。この二次破損孔はピット型の二次破損孔径の数倍で、リーク率にすると 10 倍以上になり、この形状の孔の発生の有無は破損伝播に影響を与える。

Run 84 試験では、ターゲット管はN₂ガスが封入されただけで、試験中は反応ジェットにより高温になったが、実機の伝熱管は管内が水・蒸気で冷却されており、それほど高温にならない。このため、材料の機械的破壊により破損孔が拡大する、このような孔は発生しにくいと考えられる。

本試験は、ターゲット管が水・蒸気で冷却される条件でトロイダルウェステージを発生させ、1/2 DEG 相当の孔が明くかどうかを確認するため行なった。

4.2 試験体

Run 4109の伝熱管配列を Fig. 4.2.1 に示す。本試験体は注水ノズル、ターゲット管及びダミー管より構成されている。ターゲット管及びダミー管は材質が STBA 24 で呼び径 25.4 mm, 肉厚 3.2 mm のものを使用した。注水ノズルは 1.2 mm のラプチャー型を使用し、ノズル-ターゲット間距離は 62 mm とした。これらは RUN 84 と同一の値である。

ターゲット管は、管内を冷却するため、水加熱器の水が流れるようにした。管内に流入した水は 1.2 mm のオリフィスで流量を絞り戸外へ放出した。

本試験ではターゲット管に水を流したため、二次破損が発生すると大きなスパイク圧が発生する可能性があり、反応容器保護のため内部にスリーブを設けた。このため試験体は小さくせざるを得なくなり、管の長さを Run 84 の 220 mm から 160 mm に小さくした。また、ダミー管の本数も 30 本から 23 本に減らした。

Fig. 4.2.2 に Run 4111 の伝熱管配列を示す。本試験体も Run 4109 と同様の構成であるが、伝熱管口径を 31.8 mm にしたため、管ピッチを 50 mm, ダミー管本数を 16 とした。Fig. 4.2.3 に Run 4111 の試験体の写真を示す。

4.3 計測系

前章と同様の考えで計測系を設けたが、本試験ではターゲット管に水が流れており、管内の圧力低下により二次破損を発見することは難しいので、二次破損の発見には温度ディスプレイ^{注4.3-1)}と加速度計を使用することにした。

また、二次破損により大きなスパイク圧が発生する可能性があるため、反応容器及び保護スリーブに歪ゲージを設け、装置の健全性の評価が行なえるようにした。

Table 4.3.1 及び 4.3.2 に Run 4109 及び 4111 の管束部の熱電対の取付位置を示す。また、Appendix B の Table B.1 に Run 4109 の計測項目を、Appendix C の Table C.1 に Run 4111 の計測項目をまとめて示す。

注 4.3.1 試験体回りの温度分布測定値を色別により 2 次元的にブラウン管上に表示するもの。

4.4 試験条件

試験条件は Run 4109 及び 4111 共、Run 84 と同一とした。即ち、水側条件は $125 \text{ kg/cm}^2 \text{g}$ の飽和水とし、ナトリウム温度は 390°C 、注水ノズル口径は 1.2 mm とした。注水は二次破損が発生するまで続けることにした。

これらの設定値に対し、試験で実際に測定された値を Table 2.3.1 に示す。これらの値も従来の試験同様、設定値とのずれがある。

4.5 試験結果

Table 4.5.1 に Run 4109、4111 及び Run 84 の試験結果を示す。

平均注水率は Run 4109 及び 4111 とともに Run 84 よりも約 20% 少なくなっている。これは、今回の試験ではターゲット管にも水加熱器より冷却水を流したため、水加熱器内の圧力降下が大きかったことによる。

二次破損時間は両試験とも Run 84 より長くなっているが、ウェステージ率では Run 4111 は Run 84 とほぼ同じである。これらの試験は Run 84 とはリーク率が多少異なるため、これらのデータのみからウェステージ率に対する管内冷却効果の有無は判断できない。

Fig. 4.5.1 に Run 4109 及び 4111 のターゲット管の破損状況の写真を Run 84 のターゲット管とともに示す。両試験とも、これらの写真から分るように、ターゲット管にトロイダルウェステージは発生したが、Run 84 のように大きくはならなかった。

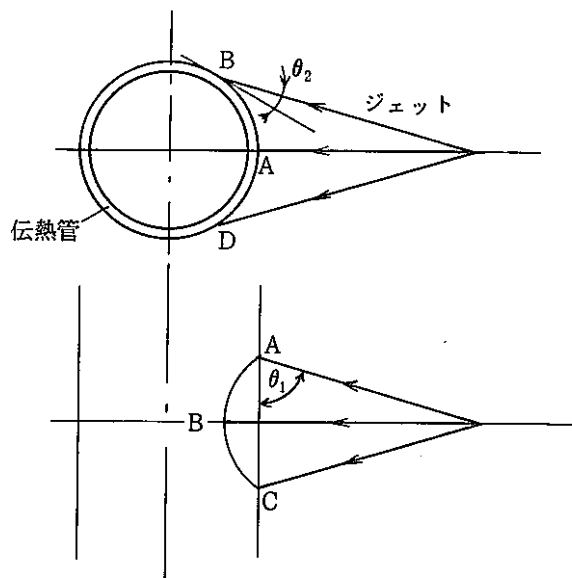
Fig. 4.5.2 は Run 4109 の伝熱管のウェステージ状況及び二次破損発生までの最高温度を示したものである。伝熱管 Na17 のウェステージは、本試験では 0.36 mm であったが、Run 84 では 1.56 mm であった。一方、Na15 は、本試験の 1.09 mm に対し、Run 84 では 0.49 mm と減少している。このことより、本試験と Run 84 では、ターゲット管に当るジェットの向きが若干ずれ

ていたと考えられる。

Fig. 4.5.3は前図と同様にRun 4111について示したものである。本試験ではターゲット管より後方の伝熱管にはウェステージはあまり発生していなかったが、伝熱管口径や伝熱管配列が変わっており、Run 84とは比較できない。

Fig. 4.5.4及び4.5.5にRun 4109及び4111のターゲット管のウェステージマップをそれぞれ示す。これらの図よりトロイダル径を求めると、Run 4109で21.7mm、Run 4111で21.0mmとなる。これらの値はRun 84のトロイダル径19mmより少し大きい、Run 4111の場合、管内径は23.4mmであり、トロイダル径はこの値より小さい。

リーク・ジェットがターゲット管に垂直に当たる場合でも当たる部分により、左図のA点及びB点のように、衝突角が異なる。ウェステージ率は衝突角により異なるため、トロイダルウェス



ジのように衝突角の差が大きい場合には、貫通孔が同時に全周にわたり発生することはないと考えられる。また、一旦、貫通孔が発生すると、この孔より噴出するジェットにより、一次リークのジェットは乱されるため、トロイダル部のウェステージはあまり進行しなくなる。とりあえず最初の貫通孔が発生した時点で、トロイダル部の伝熱管の残存肉厚が内圧に耐えられるかどうかを検討することでトロイダル部に1/2 DEG規模の孔が明くかどうか概略の判断ができる。

Run 4109ではトロイダル部の残存肉厚の最大値は1.7mmで、Run 4111では1.4mmであった。また、残存肉厚部の応力はRun 4109で約12kg/mm²、Run 4111では約13kg/mm²であった。STBA 24の短時間の引張強さは700℃で14~16kg/mm²、800℃で5~10kg/mm²である。今回の試験ではトロイダル部の温度は測定していないが、従来のデータでは、この程度のリーク率であれば800~900℃である。従って、今回の試験でも管内を冷却しなかったらRun 84のようにトロイダル部は大きく破損していたと考えられる。

今回の試験では冷却水が飽和水で、核沸騰状態になったため管内の熱伝達率は大きかった。しかし、実機では、管内の熱伝達率は運転状態及び場所により異なり、今回のように大きな熱伝達率が期待できない場合もある。また、管内圧力も今回の試験より高く153kg/cm²gで、トロイダル部の応力にすると約17kg/mm²になる。このような実機条件を考慮すると、トロイダル径がほぼ伝熱管内径に等しい場合は、実機においても二次破損規模は1/2 DEGとなる可能性があると考えられる。

なお、Run 4109 及び 4111 で測定したデータは、温度上昇が大きく測定値が信頼できない
ひずみのデータ (S-1 ~S-10 及び S1101 ~S1104) を除き、全て Appendix B 及び C
に添付している。

5. カバーガス中水リーク試験(Run4110)

5.1 試験目的

“もんじゅ”蒸気発生器には上部にカバーガス空間があり、水リークの可能性の高いと考えられる管-管板溶接部もカバーガス中にある。カバーガス空間で水リークが発生した場合、ガス空間は蒸気でおおわれ、ナトリウム液面で反応が生じて、全伝熱管がナトリウム液面近傍でウェステージされる可能性がある。

本試験はカバーガス空間で水リークが発生した場合のウェステージ現象を把握するため行なった。

5.2 試験体

試験体は“もんじゅ”蒸発器のダウンカマー部の伝熱管配列を模擬した。伝熱管配列をFig. 5.2.1に示す。また、試験体組立時の写真をFig. 5.2.2に示す。

試験体は注水ノズル、ガス加圧管及びダミー管より構成されている。注水ノズルはラプチャ型で、ノズル口径0.7 mmのものを使用した。ノズルはナトリウム液面の上50 mmの位置にあり、水平で0°方向を向いており、リークジェットがNo 5の伝熱管に垂直に当るようになっている。

ガス加圧管及びダミー管は材質がSTBA 24で呼び径31.8 mm、公称肉厚3.8 mmのものを使用した。

ガス加圧管No 2, 3, 5, 6には二次破損時間を知るため約5 kg/cm²gのN₂ガスを封入した。これらの伝熱管はウェステージ測定が目的であり、内圧により膨出しないようガス圧は低くした。一方、No 7, 8, 9には、試験中に伝熱管が高温ラプチャするかどうかを調べるため、室温状態で100 kg/cm²gのN₂ガスを封入した。この圧力は試験条件では約225 kg/cm²gまで上昇し、伝熱管の応力状態が“もんじゅ”の蒸発器の応力とほぼ等しくなる。^{注5.2-1)}

注5.2-1 “もんじゅ”の蒸発器の伝熱管の設計圧力は163 kg/cm²gで肉厚は製作公差及び腐食代を除いた3.13 mmである。本試験で使用した伝熱管は素管のまま使用したため肉厚は4.2 mmある。従って内圧を225 kg/cm²gにしないと“もんじゅ”の蒸発器の伝熱管と応力的に等しくならない。

5.3 計測系

3章と同様の考えで計測系を設けた。Fig. 5.2.1の伝熱管配列図中に管束部の熱電対の取付位置を示している。また、Appendix DのTable D.1に全ての計測項目をまとめて示す。

5.4 試験条件

試験条件は“もんじゅ”蒸発器のダウンカマー部での水リークを模擬し、注水条件は153 kg/cm²g, 240℃とした。ナトリウム温度は、ナトリウム-水反応により温度が上昇するため、試験装置が設計温度を越えないよう400℃とした。

ノズル口径及び取付位置は、ノズル前方の伝熱管には蒸気ジェットが衝突するが、ジェットはノズル後方まで回り込まないように、N₂ガスと水を用いた予備試験により決定した。Fig. 5.4.1に予備試験の写真を示す。こうすることで、ノズル前方の高速ジェットにさらされる場合と、ノズル後方の静かな蒸気流による場合の両方のウェステージが観察できる。

注水時間は反応容器がウェステージされないように2分間に制限した。

5.5 試験結果

注水は予定通り2分間続けられたが、二次破損は発生しなかった。平均注水率は、ほぼ計算通りの37.5 g/secだった。

Fig. 5.5.1は各熱電対の最高温度を伝熱管配列図中に示したものである。本図より、ナトリウム液面下10 mmでは試験体全体が700℃以上になったことが分る。また、これらの値の最高値はNo.9の伝熱管のナトリウム液面上20 mmの所に設けられたT1158の900℃であった。

Fig. 5.5.2(a)~(c)はナトリウム液面及び液面より10 mm又は20 mm上のカバーガス中の温度を、Fig. 5.5.2(d)はナトリウム液面下10 mmの温度を示したものである。

ガス中の温度で、伝熱管No.5の回りの熱電対はほぼ蒸気の温度を示しているのに対し、No.6の回りでは激しく変動している。このことより、No.5及び6のまわりには激しい蒸気の流れがあり、No.6には蒸気の流れにより飛ばされたナトリウムの液滴が衝突し、そこで反応していることが分る。一方、ノズルの後方の温度変動は緩やかであり、蒸気の流れはあまり早くないと考えられる。

ナトリウム液面の温度でも、ノズル前方では蒸気温度を示したものや800℃以上の反応温度を示したものがあり、蒸気の流れの影響が強く出ている。一方、ノズル後方ではほぼ単調に上昇しており、反応は激しいものでないことが推定できる。

ナトリウム液面下10 mmの温度では、各点は比較的緩やかに上昇しているが、ノズル前方ではT1105, T1107のように高サイクルで変動している。

一方、ノズル後方ではあまり変動していない。また、T1109とT1108で示されているように、液面の温度と液面下10 mmの温度差は小さく20℃以下である。

試験後の解体検査で、全伝熱管(ガス加圧管及びダミー管)にナトリウム液面近傍で2~7 mm

の幅のウェステージがほぼ全周にわたり発生していることが分った。室温で $100 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ の内圧をかけたガス加圧管は、試験中 $257 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ まで上昇したが、外見上からは膨出は発生していなかった。

Fig. 5.5.3 に試験後の伝熱管の外観写真を示す。また、Fig. 5.5.4 に全伝熱管のウェステージマップを示す。これらの図よりウェステージがほぼ同一レベルで輪状に発生していることが分る (Na.5 や Na.9 で輪の形が乱れているのは熱電対の跡が付いたためである)。各伝熱管の最大ウェステージ量は $0.098 \sim 0.199 \text{ mm}$ であり (Fig. 5.5.4 中の MIN の値)、ノズル前方の蒸気の流れの激しい所の方がノズル後方のものより大きい。安全側に、これらのウェステージが全て注水試験中に生じた^{注5.5-1)}として最大ウェステージ率を求めると $1.7 \times 10^{-3} \text{ mm/sec}$ となる。この値はナトリウム中のターゲットウェステージの $1/10$ 以下であり、カバーガス中の水リーク検出系が正常に作動していれば二次破損の発生は防止できる。

尚、Run 4110 で測定したデータは全て Appendix D に添付している。

注 5.5.1 注水試験中は液面変動があるため、このように 5 mm 以内のレベル差でウェステージが発生していることには疑問がある。このような形状のウェステージは注水停止から残水ブローまでの約 3 分間の静かな蒸気によるウェステージと、試験後からナトリウムダンプまでの約 20 時間の NaOH の腐食作用により発生した可能性もある。

6. ナトリウム水反応ジェットの高伝達率測定試験(Run4112, 4113)

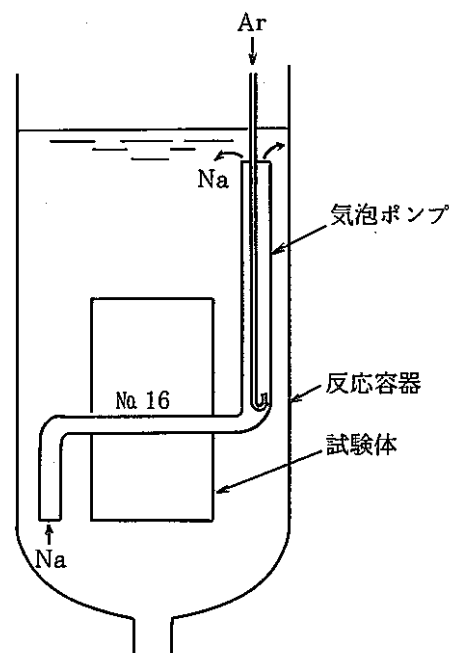
6.1 試験目的

水リーク率が大きくなり、ナトリウム-水反応ジェットの高伝達率が伝熱管を包む程になると、高温による材料強度の低下が原因で、伝熱管が内圧により破裂する可能性が出てくる。もし、反応ジェットの高伝達率作用のみにより伝熱管が破裂するとすれば、破損伝播はウェスティングによるものとは異なったものとなり、蒸気発生器の設計基準事故にも影響を与える可能性もある。従って、反応ジェットの高伝達率作用による伝熱管破裂の可能性の有無を検討する必要がある。

我国では多数のナトリウム-水反応試験が行なわれ、貴重なデータが蓄積されているが、伝熱管の高温ラプチャの可能性を解析的に検討するため必要な、反応ジェットの高伝達率は測定されたことがない。また外国でも、Interatom で大リーク試験時に測定されたデータ⁶⁾があるのみで、しかもこのデータは500℃以上の高温時間が0.23秒と短く、このデータのみで高温ラプチャの解析条件を決定することはできない。このため、SWAT-3 Run 16, 17 試験は、反応ジェットの高伝達率の測定及び高温ラプチャの可能性の有無の実証を主目的に行なわれた。

本試験では、Run 16, 17 試験でカバーされていない中リーク規模で、高温ラプチャの可能性が否定できないようなリーク率に対する高伝達率を測定することを目的とした。これらの測定結果は、Run 16, 17 試験の結果と共に、伝熱管の高温ラプチャの可能性の検討に反映される。

6.2 試験体



試験体は“もんじゅ”蒸発器の伝熱管配列を模擬したもので、主要仕様をTable 6.2.1に、伝熱管配列をFig. 6.2.1に示す。また試験体の組立時の写真をFig. 6.2.2に示す。

試験体は注水ノズル、計測管及びダミー管より構成されている。計測管及びダミー管は材質がSTBA 24で呼び径31.8mm、公称肉厚3.8mmのものを使用した。注水ノズルは他の試験と同じラプチャ型を使用した。計測管Na 12, 15, 19は管内に空気を封入し、断熱状態を模擬した。一方計測管Na 16は左図のような気泡ポンプにより、管内にナトリウムを流し、反応ジェットの高伝達率と管内を流れるナトリウムの熱

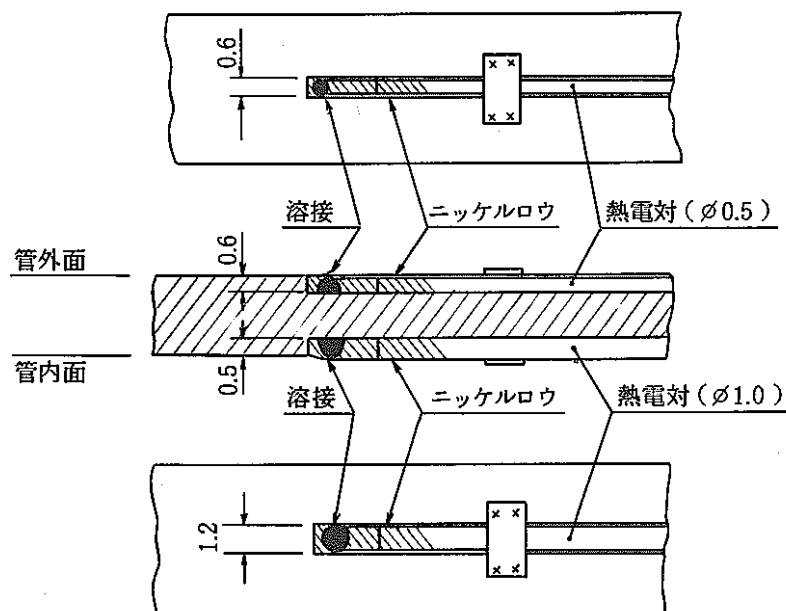
伝達率との比較が行なえるようにした。

6.3 計測系

管束内でのナトリウム-水反応ジェットの温度状態は常に変動している。また、反応ジェットの中心部には $150^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$ の未反応域があり、それから数mm～数cm離れた所には 800°C 以上の高温の反応域が存在するように、場所による温度変化が大きい。

このため、定常状態の熱伝達率を測定することはできない。従って、本試験では、ジェット温度及び管壁温度の測定値より、非定常熱伝導解析により熱伝達率を求めることにした。

従って熱伝達率測定のための計測系は計測用伝熱管に取り付けた熱電対のみである。これらの熱電対の取付位置をTable 6.3.1に示す。ジェット温度及び管内に空気を封入した管の内面の温度測定には直径1.0mmの熱電対を使用し、ジェットまたはナトリウムに接する管表面の温度測定には、熱電対を完全に管内に埋め込んでしまうため、0.5mmの熱電対を使用した。これらの熱電対はノイズを防止するため非接地式を使用した。表面温度測定用の熱電対は、応答時間の遅れ及び測定誤差を少なくするため、下図のように溝に埋め込み、先端を管に溶接した後、隙間にニッ



ケルロウを流し込んだ。ジェット温度測定用の熱電対は管外面に針金で取り付けた。

熱電対以外に、注水率の測定や試験条件の設定のために流量計、圧力計等各種の計測器を使用した。これらの計測項目についてはRun 4112はAppendix EのTable E・1に、Run 4113はAppendix FのTable G・1にまとめて示す。

6.4 試験条件

試験条件では、まず注水率を決定し、次にそれに適した蒸気条件及びナトリウム温度を“もんじゅ”蒸発器の運転条件より選定した。注水率は、高温破裂の可能性のあるリーク率でSWAT-3のRun 16, 17試験でカバーされていない範囲(100~1000g/sec)を補うため、Run 4112では100g/secと300g/secを、また、Run 4113では600g/secを目標とした。蒸気条件は、Run 4112では注水を2回行うため、条件設定の容易な飽和水状態とした。

一方Run 4113では、流量が大きいため、小さなノズル口径で大きな流量が得られるサブクール状態を選定した。ノズル口径はこれらの蒸気条件で前記の注水率が得られるように決定した。ナトリウム温度はこれらの蒸気条件に対応した“もんじゅ”蒸発器のナトリウム温度350℃とした。注水時間は、ウェステージ損傷が過大とならない時間内で、解析をする場合問題とならないよう10秒とした。

これらの設定値に対し、実際の試験で測定された値をTable 2.3.1に示す。これらの値は、これまでの試験と同様、温度制御誤差、配管圧損、ナトリウム-水反応熱等により設定値と異なったものになっている。

6.5 試験結果

Run 4112ケース1、ケース2及びRun 4113のジェット温度の測定結果をFig. 6.5.1(a)~(d)、Fig. 6.5.2(a)~(d)及びFig. 6.5.3(a)~(d)にそれぞれ示す。

これらの試験では、注水率がTable 2.3.1に示したように目標値を大巾に下廻り、全ケースとも100g/sec台であった。このためFig. 6.5.1~6.5.3で分るように温度は全般に低く、全て1000℃以下であった。また、高温域も狭く、ジェットが伝熱管全周をおおうことはなかった。

熱伝達率は、円周座標1次元階差式を用いた非定常熱伝導解析コードを作成し計算した。本コードは流体温度と熱伝達率から管壁の温度変化を計算するものである。(プログラムリストをAppendix Hに示す)

従って、熱伝達率は温度データから直接求めるのではなく、流体温度の測定値と熱伝達率の仮定値から管内面温度を計算し、この計算値と内面温度の測定値を比較することにより求めた。

解析条件をTable 6.5.1に示す。

これらの解析条件により求めた各測定点に対する計算結果をRun 4112ケース1はFig. 6.5.4(a)~(k)に、Run 4112ケース2はFig. 6.5.5(a)~(m)に、Run 4113はFig. 6.5.6(a)~

(注6.5-1)
(p) に示す。

管内断熱の場合の計算結果では Fig. 6.5.6(a') や Fig. 6.5.6(b') のように全体を通じて測定値とよく一致しているものもあるが、一般的に注水初期の2, 3秒のみ一致するだけで、それ以降あまり一致しないものが多い。

これは、解析コードが周方向及び軸方向の温度分布を考慮できないことや、熱伝達率を一定にしているためと考えられる。

管内をナトリウムで冷却したNo 16の計測管では、管内のナトリウム温度が予想以上に上昇したため、管内ナトリウム温度と管壁温度の測定値が対応している管中心の一点のデータ(T1151～T1153及びT1159)しか使用できなかった。

Fig. 6.5.5(h)及びFig. 6.5.6(k)はRun 4112 ケース2及びRun 4113の管内冷却管に対する解析結果である。(Run 4112 ケース1は内面温度とナトリウム温度が対応しないため添付していない) これらの図では、内面温度の測定値は管外熱伝達率 $30000 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ$ とほぼ一致している。

Fig. 6.5.7(a)～(c)は注水開始後2秒以内に限った場合(注6.5-2)に計算値と測定値が一致するような熱伝達率の値を前述の Fig. 6.5.4～6.5.6より求め、伝熱管配列上に示したものである。これらの図より、熱伝達率はジェットの当る場所では $8000 \sim 40000 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ で、ジェットが直接当たらない影の部分では $3000 \sim 13000 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ であることが分る。

Interatom の値 $8600 \sim 10840 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ はこれらの範囲に含まれている。

尚、Run 4112 (ケース1), 4112 (ケース2) 及び4113で測定したデータは全て Appendix E, F 及びGに添付している。

注6.5-1 ○ジェット温度が初期ナトリウム温度以下の場合や、ジェット温度と管内面温度が明らかに対応しない場合は解析を行っていない。

○No 12の計測管の内面の熱電対は管壁に溶接しただけで、ニッケルロウ付けはしていなかった。このため応答遅れが大きく、今回はこれらのデータについては解析を行わなかった。

注6.5-2 内面温度が上昇すると、輻射や熱伝導により他の加熱部からの影響が大きくなり、今回使用した計算コードでは誤差が大きくなりすぎる。このため、熱伝達率の値は注水から2秒間のみの管内面温度変化より判断することにした。尚、ジェット温度が急激に低下する場合は熱伝達率も大きく変化するため、この場合は、2秒以内であっても温度が低下するまでの値のみ有効とした。

7. む す び

SWAT-1 試験装置を用いた今回の 6 回の中リーク・ナトリウム-水反応試験で、今まで不明だったことや結論の出せなかった項目の多くが明確になった。以下にこれらの試験結果を示す。

- (1) STBA 24 の溶接部と母材部では耐ウェステージ性に差はない。
- (2) 伝熱管に内径とほぼ等しいトロイダルウェステージが発生する場合、ターゲット管内を冷却した今回の 2 回の試験では、破損孔は Run 84 のように大きくならなかった。しかし、トロイダル部の残存肉厚から検討すると、応力的には非常に厳しい。実機の場合、このような特殊条件では二次破損孔径は $1/2$ DEG になりうると考えるべきである。
- (3) カバーガス中で水リークが発生した場合、全伝熱管のほぼ全周に輪状のウェステージが発生する。この場合のウェステージ率は $1.7 \times 10^{-3} \text{ mm/sec}$ 以下であり、カバーガス中水リーク検出系が正常に作動していれば二次破損の発生は防止できる。
- (4) ナトリウム-水反応ジェットにさらされる場所の熱伝達率は $8000 \sim 40000 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ で、ジェットが直接当たらない影の部分では $3000 \sim 12000 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ であった。但し、今回の試験ではリーク率が $100 \sim 139 \text{ g/sec}$ と小さかったため加熱される範囲が狭く、この程度のリーク率ではウェステージなしには高温ラプチャは発生しないと考えられる。

8. 謝 辞

最後に、本報告書をまとめるに当たって、試験グループ各位の作成資料を引用させていただいた。また内容に関しては、姫野嘉昭、黒羽光男、広井 博、奥村泰伸、三宅 収、の各氏に貴重な助言をいただいた。なお、本試験装置の製作・組立、実験データの整理等は東興機械工業（株）派遣員の手で行なわれた。末筆ながら御協力いただいた各位に感謝の意を表する。

9. 参 考 文 献

- (1) 田辺裕美, 錦見正和, 山田敏雄, 佐々木和一, 渡辺智夫, 佐藤 稔, 「高速炉蒸気発生器伝熱管の中リーク・ウェステージ破損試験」 PNC SN 941 80-27 (1980. 2)
- (2) 田辺裕美, 佐藤 稔, 錦見正和, 大後美道, 「蒸気発生器安全性総合試験装置(SWAT - 3) による破損伝播試験Ⅰ」 PNC SN941 81-05 (1981. 1)
- (3) 田辺裕美, 佐藤 稔, 大後美道, 「蒸気発生器安全性総合試験装置(SWAT - 3) による破損伝播試験Ⅱ」 PNC SN941 82-42 (1982. 2)
- (4) 田辺裕美, 佐藤 稔, 藤井啓次, 大後美道, 「蒸気発生器安全性総合試験装置(SWAT - 3) による破損伝播試験Ⅲ」 PNC SN941 82-99 (1982. 3)
- (5) 近刊予定
- (6) K. Dumm, N. J. van Waveren, " Experimentelle Untersuchungen zur Sicherheit der SNR - Geradrohrdampferzeuger bei Natrium - Wasser - Reaktionen „
Engineering of Fast Reactors for Safe and Reliable Operation, Oct. 1972.

Table 2.3.1 試験条件

Run No		4108	4109	4110	4111	4112 ケース1	4112 ケース2	4113
初期ナトリウム 温	℃	390	383	382	385	345	366	356
初期水加熱器 温	℃	311	311	215	315	319	310	317
初期水加熱器 圧	kg/cm ² G	121	119	157	125	144	129	153
平均注水率	g/sec	46.8	26.8	37.5	25.7	111	100	139
ノズル孔径 D	mm ϕ	1.8	1.2	0.7	1.2	2.0	3.0	3.0
ノズル・ターゲ ット間距離 L	mm	120	62.5	43.2	62.0	54.7	62.0	62.0
L/D	-	66.7	52	61.7	51.7	27.4	17.7	20.7
伝熱管材質	-	STBA24	←	←	←	←	←	STBA24
伝熱管口径	mm ϕ	31.8	25.4	31.8	←	←	←	31.8
衝突角度	-	垂直	←	←	←	←	←	垂直
注水方式	-	ラブチャ型	←	←	←	←	←	ラブチャ型
備考		溶接部 ウェステージ試験	トロイダル ウェステージ試験	カバーガス中 水リーク試験	トロイダル ウェステージ試験	熱伝達率 測定試験	熱伝達率 測定試験	熱伝達率 測定試験

Table 3.3.1 Run 4108 熱電対取付位置

Tag No.	Tube No.	角 度 (°)	中心よりの ずれ (mm)	Tag No.	Tube No.	角 度 (°)	中心よりの ずれ (mm)
T 1101	1	0	0	T 1124	14	180	0
2	2	90		25	14	270	
3	6	0		26	15	270	
4	6	90		27	16	90	
5	7	0		28	16	180	
6	7	90		29	17	90	
7	8	0		T 1130	17	180	
8	8	90		31	18	180	
9	8	270		32	19	270	
T 1110	9	0		33	20	90	
11	9	90		34	21	90	
12	9	270		35	21	180	
13	11	0		36	22	180	
14	11	90		37	23	90	
15	11	180		38	23	180	0
16	12	0	0				
17	12	90	10				
18	12	180	0				
19	12	98	内部TC 0				
T 1120	13	90					
21	13	180					
22	13	270					
23	14	90	0				

Table 4.3.1 Run 4109 熱電対取付位置

Tag No.	Tube No.	角 度(°)	中心よりの ずれ (mm)	Tag No.	Tube No.	角 度(°)	中心よりの ずれ (mm)
T 1101	5	0	0	T 1124	(管内)	↑	20
T 1102	7	0	↑	T 1125		↑	0
T 1103	8	270	↑	T 1126		↓	40
T 1104	10	0	↓	T 1127		180	60
T 1105	↑	180	↓	T 1128	↓	90	25
T 1106		90	0	T 1129	14 (管内)	90	55
T 1107	↓	90	30	T 1130	15	0	0
T 1108	10	90	60	T 1131	15	270	↑
T 1109	11	0	0	T 1132	15	180	
T 1110	↑	270	0	T 1133	16	90	
T 1111		270	30	T 1134	17	0	
T 1112		270	60	T 1135	17	180	
T 1113	↓	180	0	T 1136	18	↑	
T 1114	11	90	↑	T 1137	20	↓	↓
T 1115	12	270		T 1138	21	180	0
T 1116	13	0					
T 1117	↑	180	↓				
T 1118	↓	90	0				
T 1119	13	90	30				
T 1120	14	0	30				
T 1121	14 (管内)	0	30				
T 1122	↑	270	25				
T 1123		180	20				

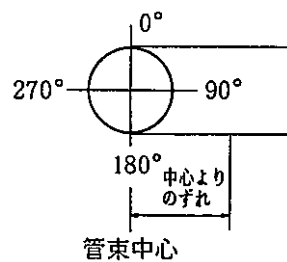


Table 4.3.2 Run 4111 熱電対取付位置

Tag No	Tube No	角 度(°)	中心よりの ずれ (mm)	Tag No	Tube No	角 度(°)	中心よりの ずれ (mm)
T 1101	5	0	0	T 1132	↓ (管内)	270	
T 1102	6	0	↑	T 1133	12	180	
T 1103	7	270	↑	T 1134	13	0	
T 1104	8	0	↓	T 1135	↑	180	
T 1105	↑	180	↓	T 1136	↓ (管内)	180	
T 1106	↓	90	0	T 1137	↓	90	
T 1107	↓	90	30	T 1138	13 (管内)	90	
T 1108	8	90	60	T 1139	14	180	
T 1109	9	0	0	T 1140	15	180	
T 1110	↑	270	0	T 1141	16	180	
T 1111	↑	270	30	T 1150	12	0	
T 1112	↓	270	60	T 1151	12	270	
T 1113	↓	180	0	T 1152	13	180	↓
T 1114	9	90	↑	T 1153	13	90	0
T 1115	10	0	↓				
T 1116	↑	180	↑				
T 1117	↓	90	0				
T 1118	10	90	30				
T 1119	11	0	30				
T 1120	11 (管内)	0	30				
T 1121	11	270	25				
T 1122	11	180	20				
T 1123	↑	↑	40				
T 1124	↑	↑	60				
T 1125	(管内)	↓	0				
T 1126	(管内)	180	20				
T 1127	↓	90	25				
T 1128	11	90	55				
T 1129	12	0	0				
T 1130	↑ (管内)	0	↑				
T 1131	↑	270	↑				

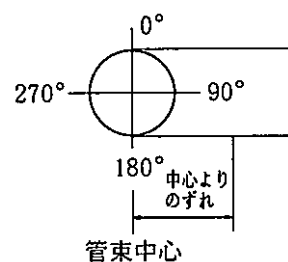
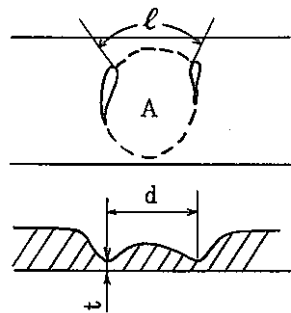


Table 4.5.1 トロイダルウェステージ試験結果

項 目	RUN 4109	RUN 4111	RUN 84
平 均 注 水 率 (g/sec)	2 6.8	2 5.7	3 2.9
二 次 破 損 時 間 (sec)	8 5	8 9	7 1.6
ウ ェ ス テ ー ジ 率 (mm/sec)	0.0 3 4 9	0.0 4 2 5	0.0 4 1 5
ト ロ イ ダ ル 径 (ターゲッ管内径) d (mm)	2 1.7	2 1.0	1 9.0
破損時のターゲッ管内 圧 力 P (kg/cm ² g)	1 0 7	1 1 5	1 5 0
トロイダル外周部の 最 大 残 存 肉 厚 (mm)	1.7	1.4	—
トロイダル外周部の 残 存 断 面 積 S (mm ²)	4 4	3 5	—
ト ロ イ ダ ル 面 積 A (mm ²)	5 0 0	4 0 0	—
トロイダル外周の応力 σ (kg/mm ²)	1 2	1 3	—



$$S = t_1 \times l_1 + t_2 \times l_2 + \dots + t_n \times l_n$$

$$\sigma = \frac{A \times P}{S}$$

Table 6.2.1 熱伝達率測定用試験体主要仕様

項 目		RUN 4 1 1 2		RUN 4 1 1 3
計 測 管	材 質	S T B A 2 4		←
	外 径×板 厚	3 1.8 mm×3.8 mm (公称値)		←
	長 さ	2 2 0 mm		←
	個 数	N ₂ ガス封入管 3 (No. 12, 15, 19)		←
		Na 冷却管 (No. 16) 1		←
注 水 ノ ズ ル	型 式	ラプチャ型		←
	材 質	S U S 3 0 4		←
	寸 法	3 1.8 mm ϕ ×220 mm ℓ		←
	ノ ズ ル 口 径	2.0 mm	3.5 mm	3.0 mm
	個 数	1	1	1
ダ ミ ー 管	材 質	S T B A 2 4		←
	外 径×板 厚	3 1.8 mm×3.8 mm (公称値)		←
	試 験 部 長 さ	2 2 0 mm		←
	個 数	1 8		1 9

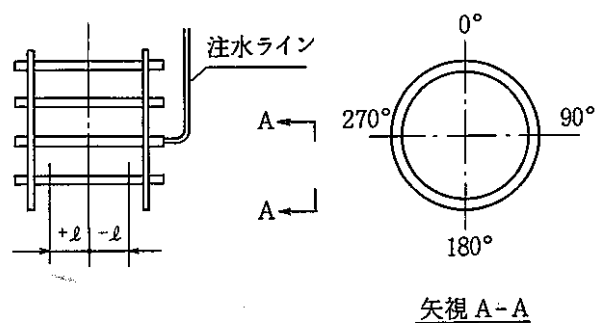
Table 6.3.1 Run 4112, 4113 熱電対取付位置 (1/2)

TC 番号	Tube No	TC 管内外 設置の別	中心から の距離 ℓ (mm)	設置角度 (°)	取付方法	TC 外 径
T-1101	11	外	0	0	針 金	1.0
T-1102	"	↑	↑	180	↑	↑
T-1103	11	↓	↓	90	↓	↓
T-1104	12	↓	↓	0	↓	↓
T-1105	↑	外	↓	270	針 金	↓
T-1106	↑	内	0	↑	溶 接	↓
T-1107	↑	外	25	↓	針 金	↓
T-1108	↑	内	25	↓	溶 接	↓
T-1109	↑	外	50	↓	針 金	↓
T-1110	↓	内	50	270	溶 接	↓
T-1111	↓	外	0	180	針 金	↓
T-1112	12	"	↑	90	"	↓
T-1113	15	外	↓	0	針 金	↓
T-1114	↑	内	0	↑	ニッケル ろ	↓
T-1115	↑	外	25	↓	針 金	↓
T-1116	↑	内	25	↓	ニッケル ろ	↓
T-1117	↑	外	50	↓	針 金	↓
T-1118	↑	内	50	0	ニッケル ろ	↓
T-1119	↑	外	0	270	針 金	↓
T-1120	↑	↑	0	225	↑	↓
T-1121	↓	↓	-25	180	↓	↓
T-1122	15	外	0	180	針 金	1.0

TC 番号	Tube No	TC 管内外 設置の別	中心から の距離 ℓ (mm)	設置角度 (°)	取付方法	TC 外 径
T-1123	15	外	0	180	ニッケル ろ	0.5
T-1124	↑	内	0	↑	ニッケル ろ	1.0
T-1125	↑	外	25	↓	針 金	↑
T-1126	↑	内	25	↓	ニッケル ろ	↑
T-1127	↑	外	50	↓	針 金	↑
T-1128	↑	内	50	↓	ニッケル ろ	↑
T-1129	↑	外	75	180	針 金	↓
T-1130	↑	"	0	135	針 金	1.0
T-1131	↑	外	"	↑	ニッケル ろ	0.5
T-1132	↑	内	0	↓	ニッケル ろ	1.0
T-1133	↑	外	25	↓	針 金	↑
T-1134	↑	内	25	↓	ニッケル ろ	↑
T-1135	↑	外	50	↓	針 金	↑
T-1136	↑	内	50	135	ニッケル ろ	↑
T-1137	↑	外	-25	90	針 金	↓
T-1138	↑	"	0	↑	針 金	1.0
T-1139	↑	外	"	↓	ニッケル ろ	0.5
T-1140	↑	内	0	↓	ニッケル ろ	1.0
T-1141	↑	外	25	↓	針 金	↑
T-1142	↑	内	25	↓	ニッケル ろ	↑
T-1143	↓	外	50	↓	針 金	↓
T-1144	15	内	50	90	ニッケル ろ	1.0

Table 6.3.1 Run 4112, 4113 熱電対取付位置 (2/2)

TC 番号	Tube No	TC 管 内 外 設置の別	中心から の 距 離 ℓ (mm)	設置角度 ($^{\circ}$)	取付方法	TC の 外 径
T-1145	15	外	75	90	針 金	1.0
T-1146	16	外	0	0	針 金	1.0
T-1147	↑	外	0	270	針 金	1.0
T-1148		内	0	↑	ニッケル ろ	0.5
T-1149		外	25	↓	針 金	1.0
T-1150		内	25	270	ニッケル ろ	0.5
T-1151		外	0	225	針 金	1.0
T-1152		外	0	↑	ニッケル ろ	0.5
T-1153		内	0		ニッケル ろ	0.5
T-1154		外	25		針 金	1.0
T-1155		内	25		ニッケル ろ	0.5
T-1156	↓	外	50	↓	針 金	1.0
T-1157	16	内	50	225	ニッケル ろ	0.5



TC 番号	Tube No	TC 管 内 外 設置の別	中心から の 距 離 ℓ (mm)	設置角度 ($^{\circ}$)	取付方法	TC の 外 径
T-1158	16	内	-90	225	バンド	1.0
T-1159	↑	内	0	"	"	↑
T-1160		内	+90	225	バンド	↓
T-1161		外	0	180	針 金	1.0
T-1162		内	0	↑	ニッケル ろ	0.5
T-1163		外	25	↓	針 金	1.0
T-1164	↓	内	25	180	ニッケル ろ	0.5
T-1165	16	外	0	90	針 金	1.0
T-1166	19	外	↑	315	"	↑
T-1167	↑	外		225	針 金	
T-1168		内		225	ニッケル ろ	↓
T-1169		外		180	針 金	1.0
T-1170		外	↓	↑	ニッケル ろ	0.5
T-1171		内	0		ニッケル ろ	1.0
T-1172		外	25		針 金	↑
T-1173		内	25		ニッケル ろ	
T-1174		外	50	↓	針 金	
T-1175		内	50	180	ニッケル ろ	
T-1176		外	0	135	針 金	
T-1177	↓	内	0	135	ニッケル ろ	↓
T-1178	19	外	0	45	針 金	1.0

Table 6.5.1 熱伝達率の解析に用いた条件

1. 管内熱伝達率	
○ 空気封入管	0.1 Kcal/m ² h℃と仮定する。
○ ナトリウム冷却管	T 1151, 1152, 1153, 1159の測定値より求める。
2. 管外熱伝達率	パラメータとする。
3. 初期伝熱管温度	初期ナトリウム温度の測定値
4. 温度分布	軸方向, 周方向とも考慮しない。
5. STBA 24の物性値	ASME Sec. III Div.1 Table I-4.0 の値を使用する。
6. 伝熱管外径	31.8 mm
7. 伝熱管板厚	各熱電対取付部の測定値 (3.99 ~ 4.18 mm)
8. タイムメッシュ	0.001 秒
9. 径方向メッシュ	0.2 mm

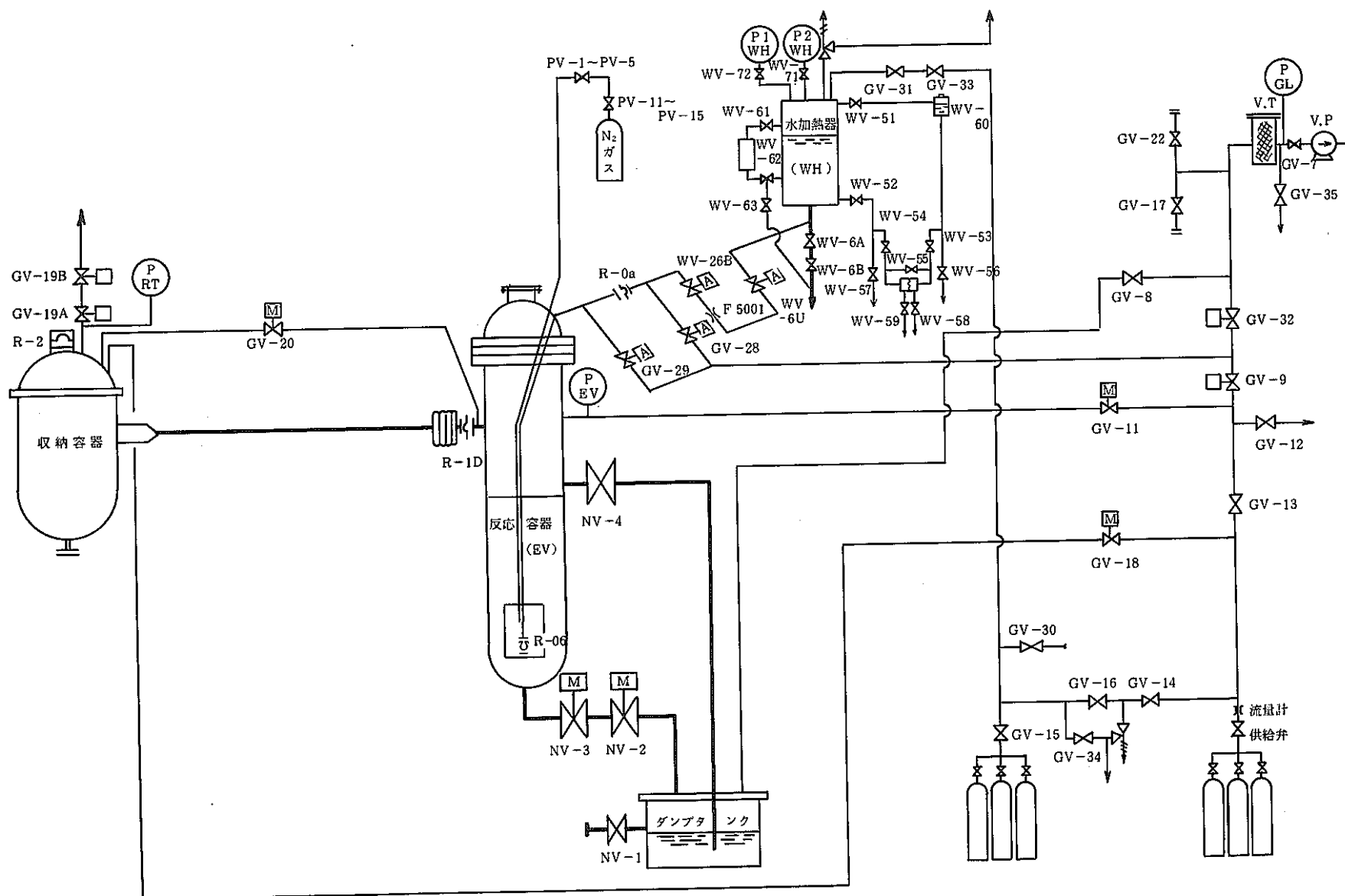
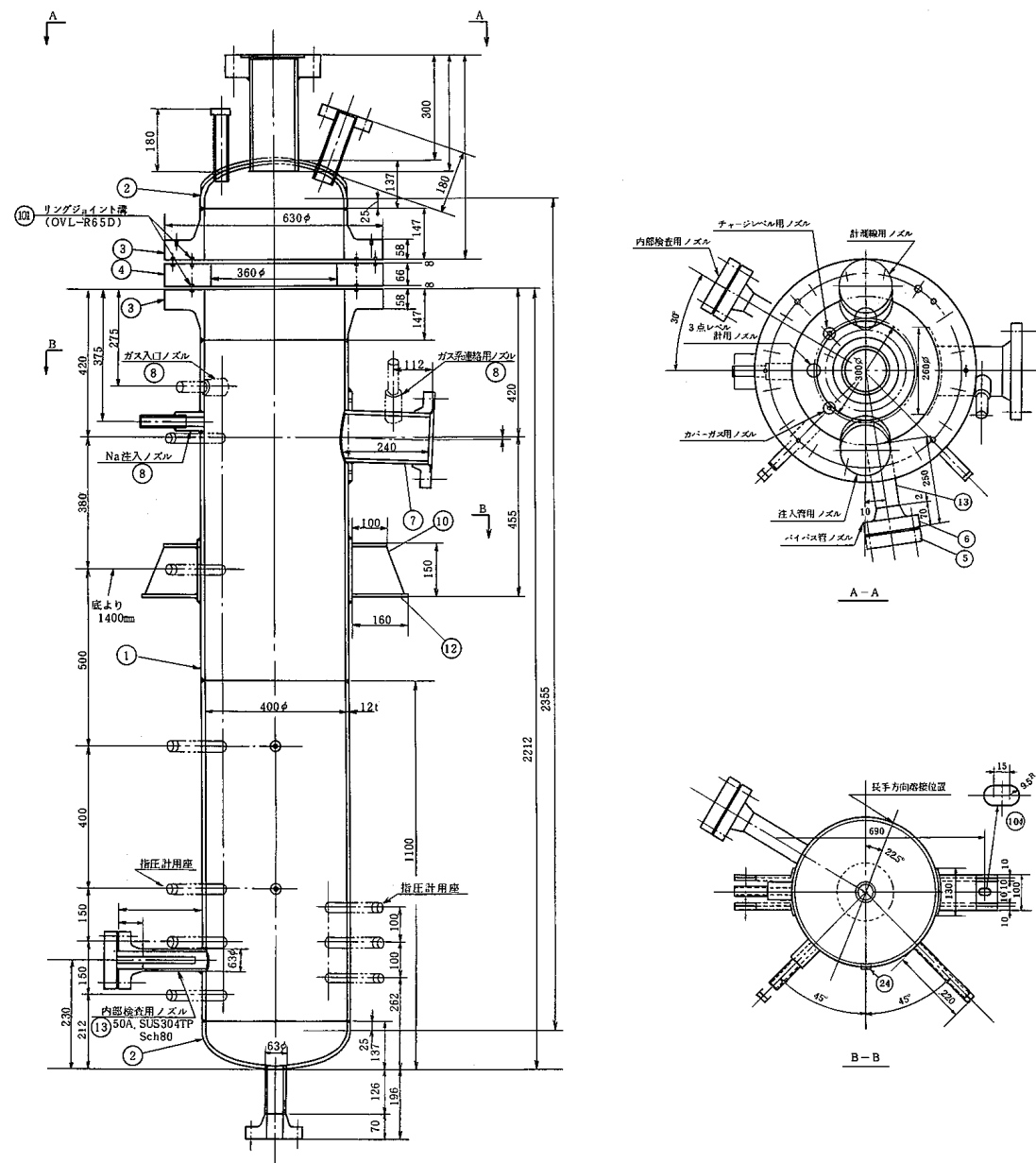


Fig. 2.2.1 SWAT-1 Facility Flow Diagram.



品番	部品名称	材質	数量	予備	合計	1個	合計	担当	備考
			製作数量			重量(kg)			
104	M16×602ボルト, ナット	SS41	2	2				ソ	ナット2ヶ, ワッシャー付
103	M16アイボルト	SS41	4	4				ソ	
102	リングジョイント	純鉄	6	24	30			ソ	OVL-R23-D
101	リングジョイント	純鉄	2	8	10			ソ	OVL-R65-D
24	ソケット	SUS 304	2	2				キ	ミルシート付
23	ノズル 125A	SUS 304TP	1	1				管	ミルシート付
22	フランジ 125A	SUS 304HP	1	1				キ	ミルシート付
21	盲フランジ	SS41	1	1				キ	ミルシート付
20	案内ピン	SUS 304	2	2				キ	
19	M12ボルト, ナット	SNCM5	8	8				キ, ソ	ナット16ヶ S45C ボルト, ミルシート付
18	M16ボルト, ナット	SNCM5	24	24				キ, ソ	ナット48ヶ S45C ボルト, ミルシート付
17	M24ボルト, ナット	SNCM5	16	16				キ, ソ	ナット32ヶ S45C平座倉付 ボルト, ミルシート付
16	指圧計取付座	SUS 304TP	9	9				管	Sch80 ミルシート付
15	ソケット	SUS 304	11	11				キ	ミルシート付
14	ノズル50A	SUS 304TP	1	1				管	ミルシート付 Sch80
13	ノズル50A	SUS 304TP	2	2				管	ミルシート付 Sch80
12	ライナー	SS41BSP	1式	1式				キ	
11	フランジ	SUS 304HP	1	1				キ	ミルシート付
10	脚	SUS 304HP	2	2				缶	
9	補強板	SUS 304HP	1	1				缶	
8	ソケット	SUS 304	3	3				キ	ミルシート付
7	放出系ノズル 125A	SUS 304TP	1	1				管	Sch80 ミルシート付
6	フランジ50A	SUS 304HP	3	3				シ, キ	ミルシート付
5	盲フランジ	SUS 304HP	2	2				キ	ミルシート付
4	中間フランジ	SUS 304HP	1	1				シ, キ	ミルシート付
3	フランジ	SUS 304	2	2				シ, キ	ミルシート付
2	鏡板400φ	SUS 304HP	2	2				シ, キ	2:1半円型12t, ミルシート付
1	本体	SUS 304HP	1	1				缶	ミルシート付

Fig. 2.2.2 SWAT-1 Test Vessel

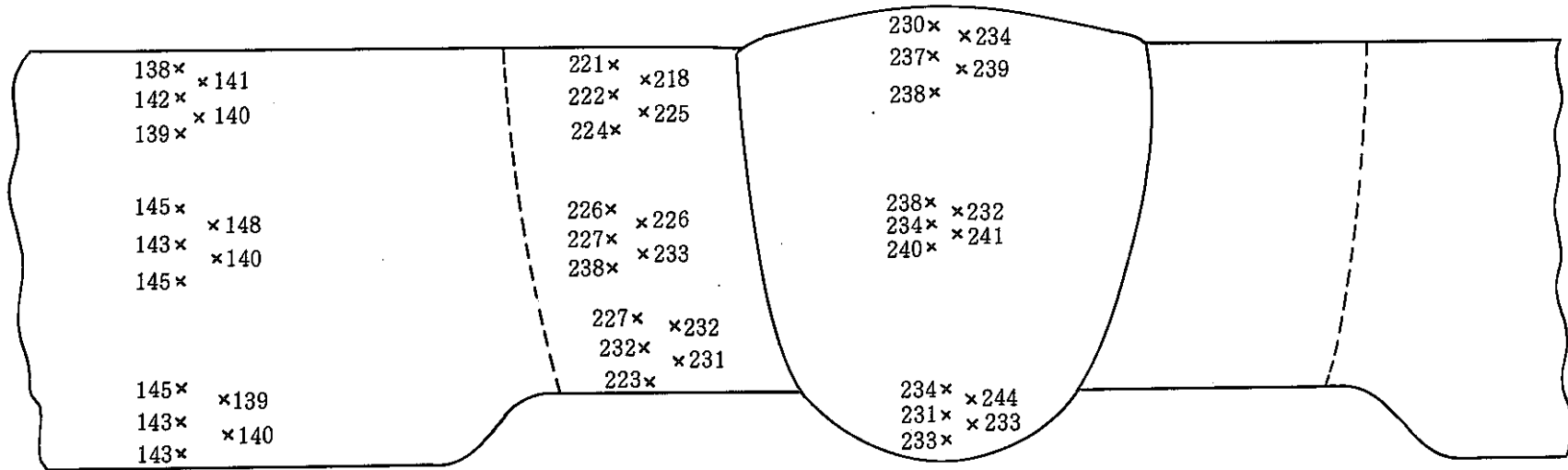
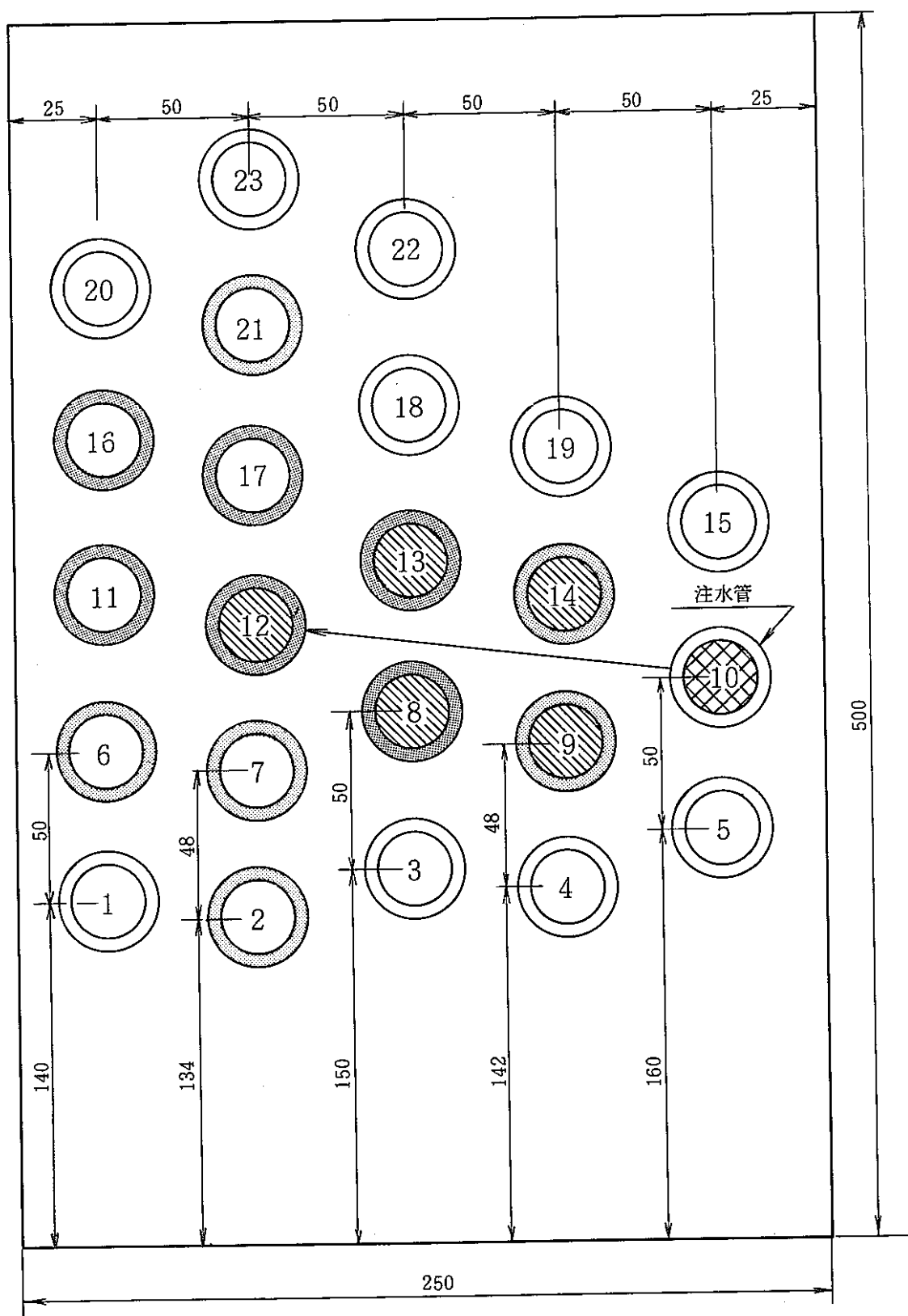
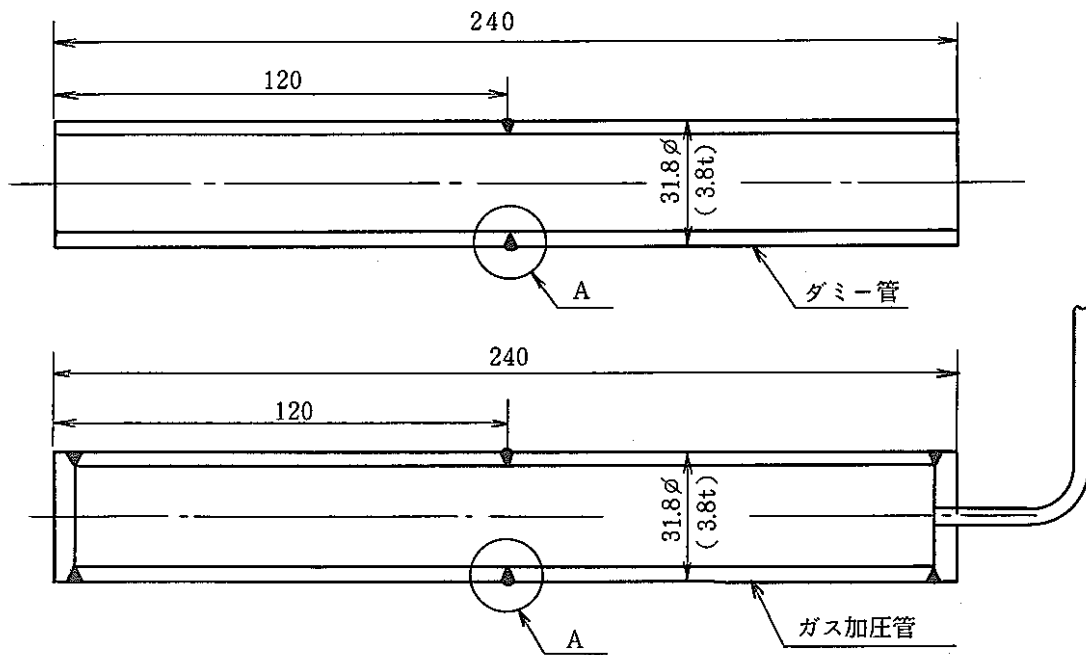


Fig. 3.1.1 Micro-Vickers Hardness of Na 16 Tube



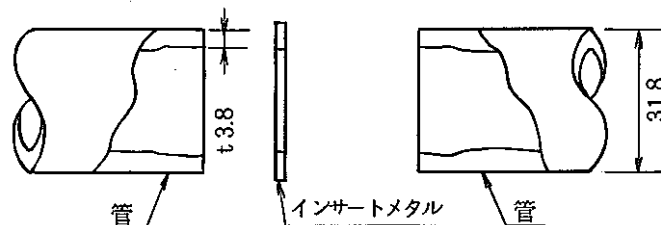
注 ハッチングはガス加圧管，黒塗は溶接管，その他の管はダミー管である。

Fig. 3.2.1 Tube Bundle Configuration of Run 4108



A 部の溶接施工要領

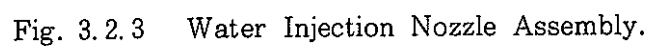
1. 開先加工

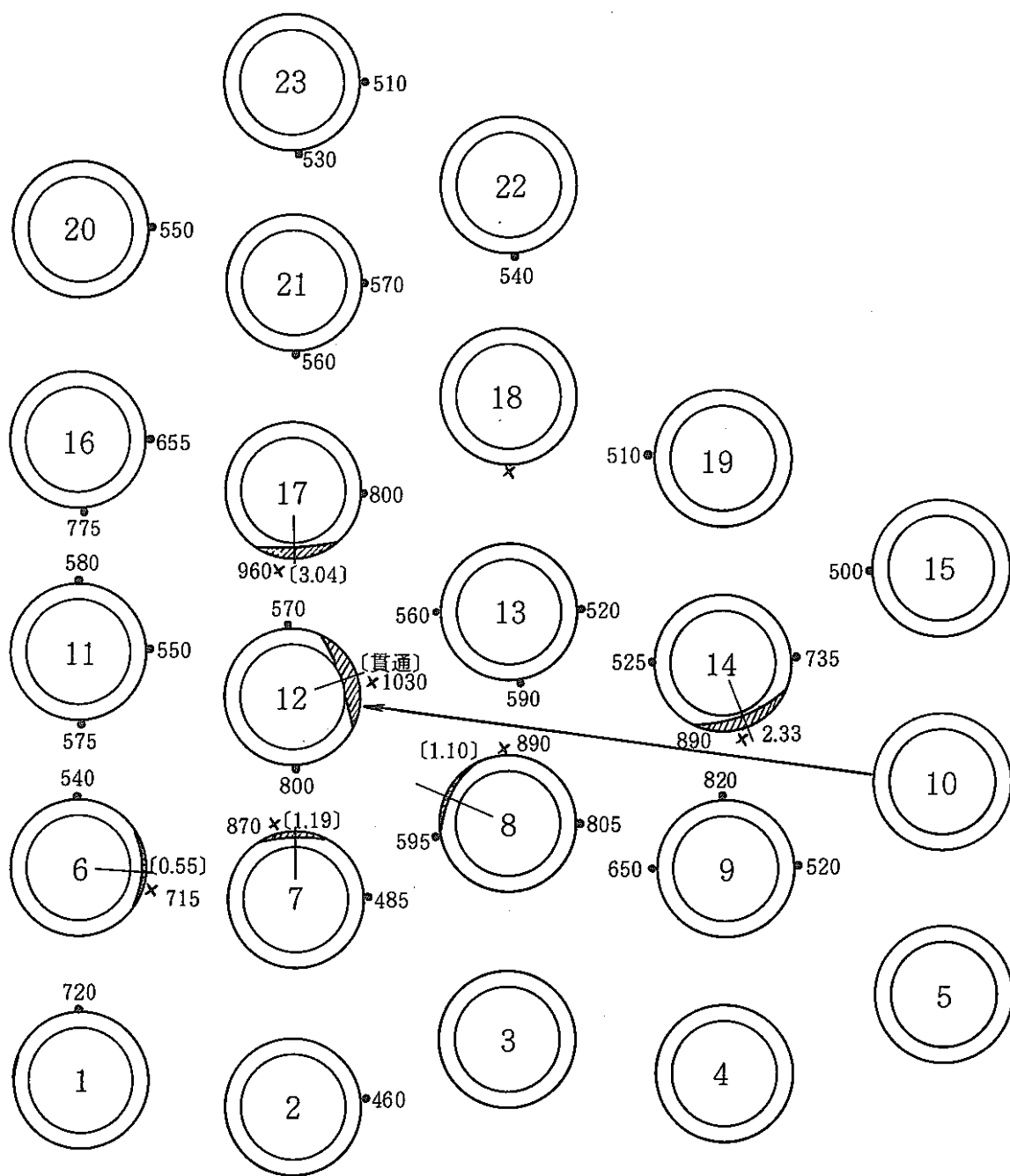


2. 溶接条件

(イ) 溶接法	パルス GTAW 法 (TIG 法)
(ロ) 溶接姿勢	伝熱管垂直姿勢固定, トーチ回転
(ハ) シールドガス	Ar
(ニ) バックシールドガス	Ar
(ホ) 積層法	2パス 1層盛

Fig. 3.2.2 Configuration of Test Tubes





注：〔 〕内の値はスエステージ深さである〔mm〕

×は熱電対が試験中に損傷したもので、この場合は損傷までの最高温度を示す〔℃〕

・は健全な熱電対の温度〔℃〕

Fig. 3.5.1 Multiple Wastage of Tubes and Maximum Reaction Temperature.

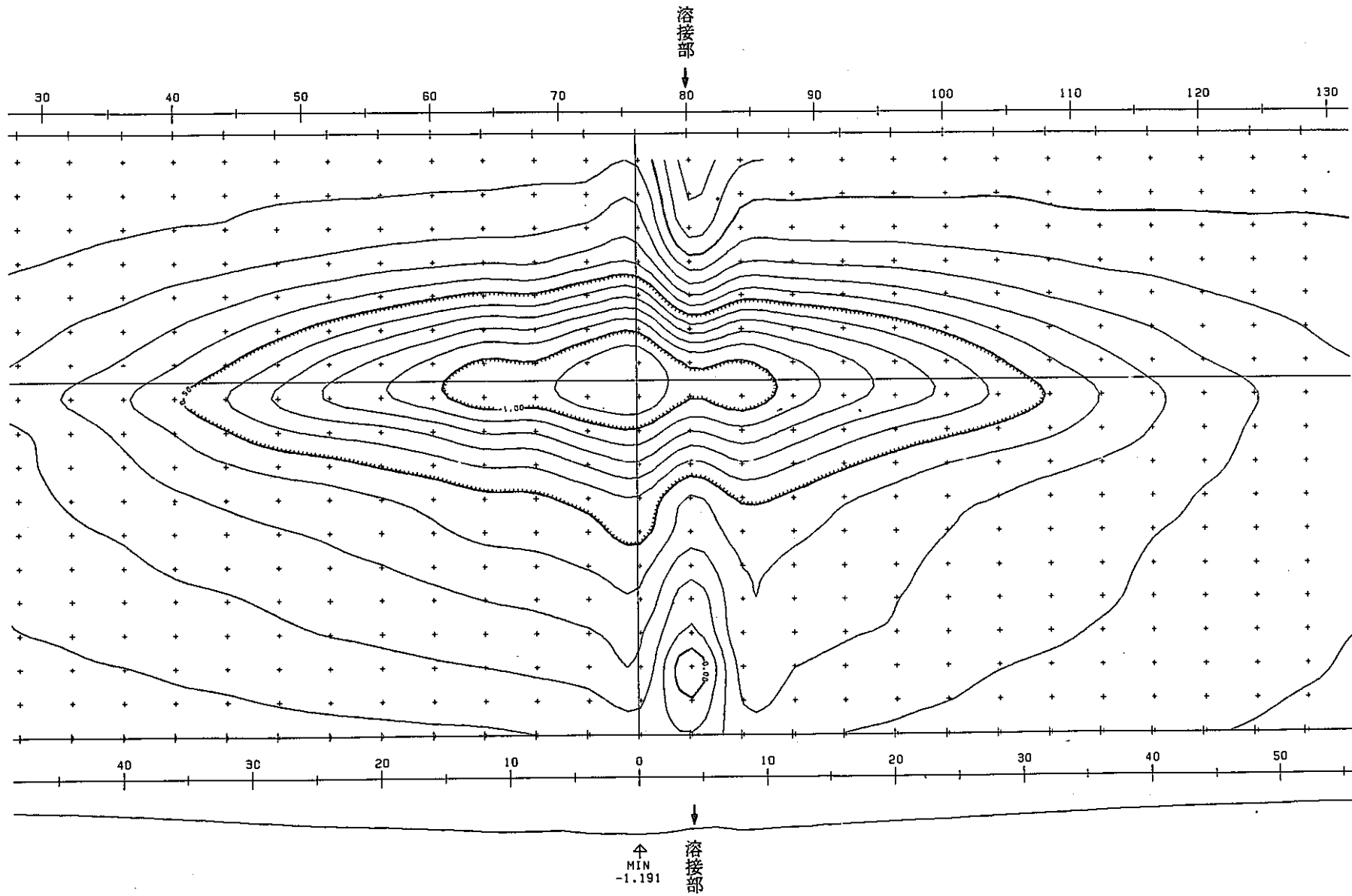


Fig. 3.5.3(a) Wastage Map of No.7 Tube (Run 4108)

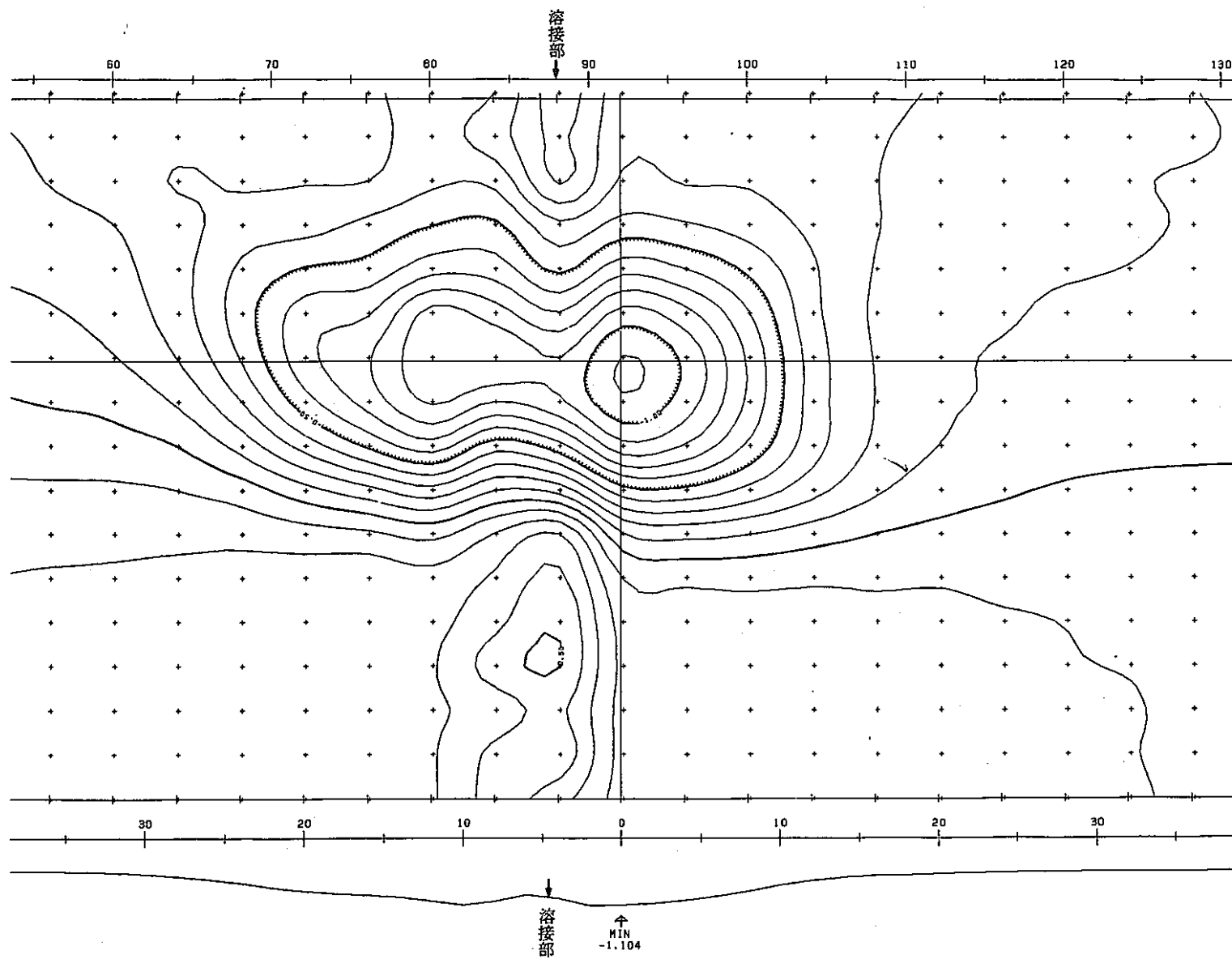


Fig. 3.5.3(b) Wastage Map of No.8 Tube (Run 4108)

SWAT-1 RUN4108 NO.12

40-200, -190-40, 1, 5

PNC-TN941 83-38

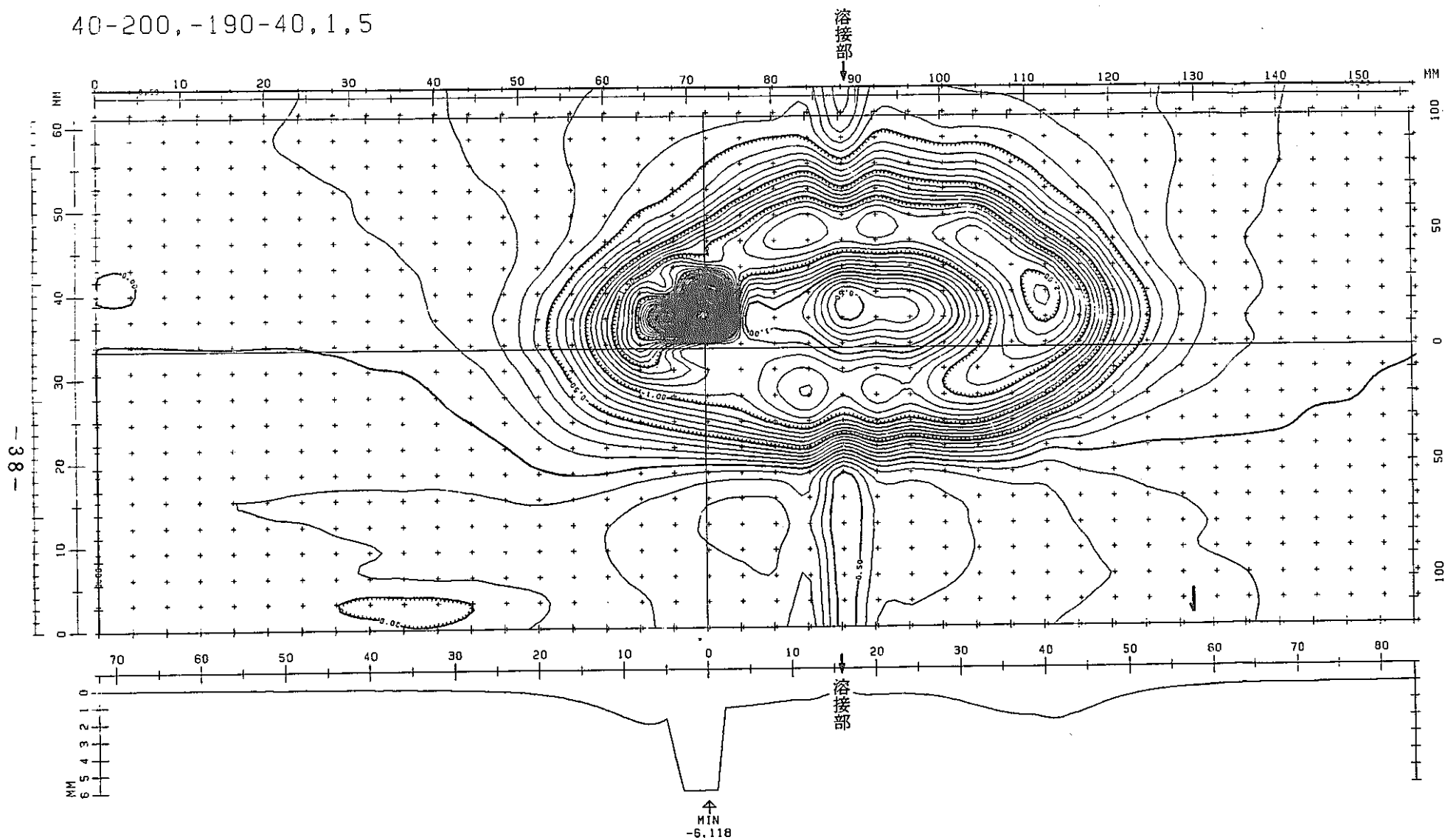


Fig. 3.5.3(c) Wastage Map of No.12 Tube (Run 4108)

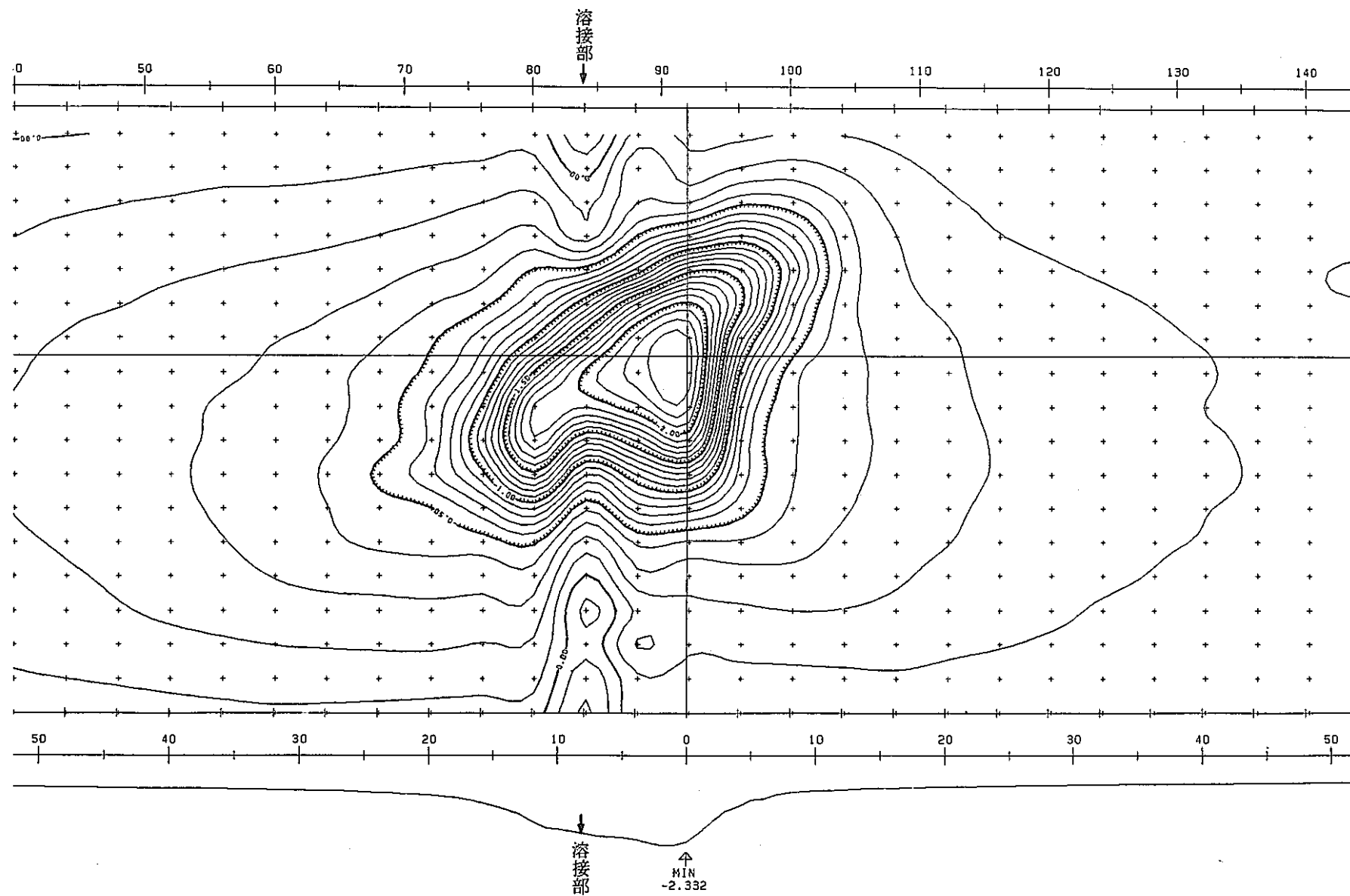


Fig. 3.5.3(d) Wastage Map of No.14 Tube (Run 4108)

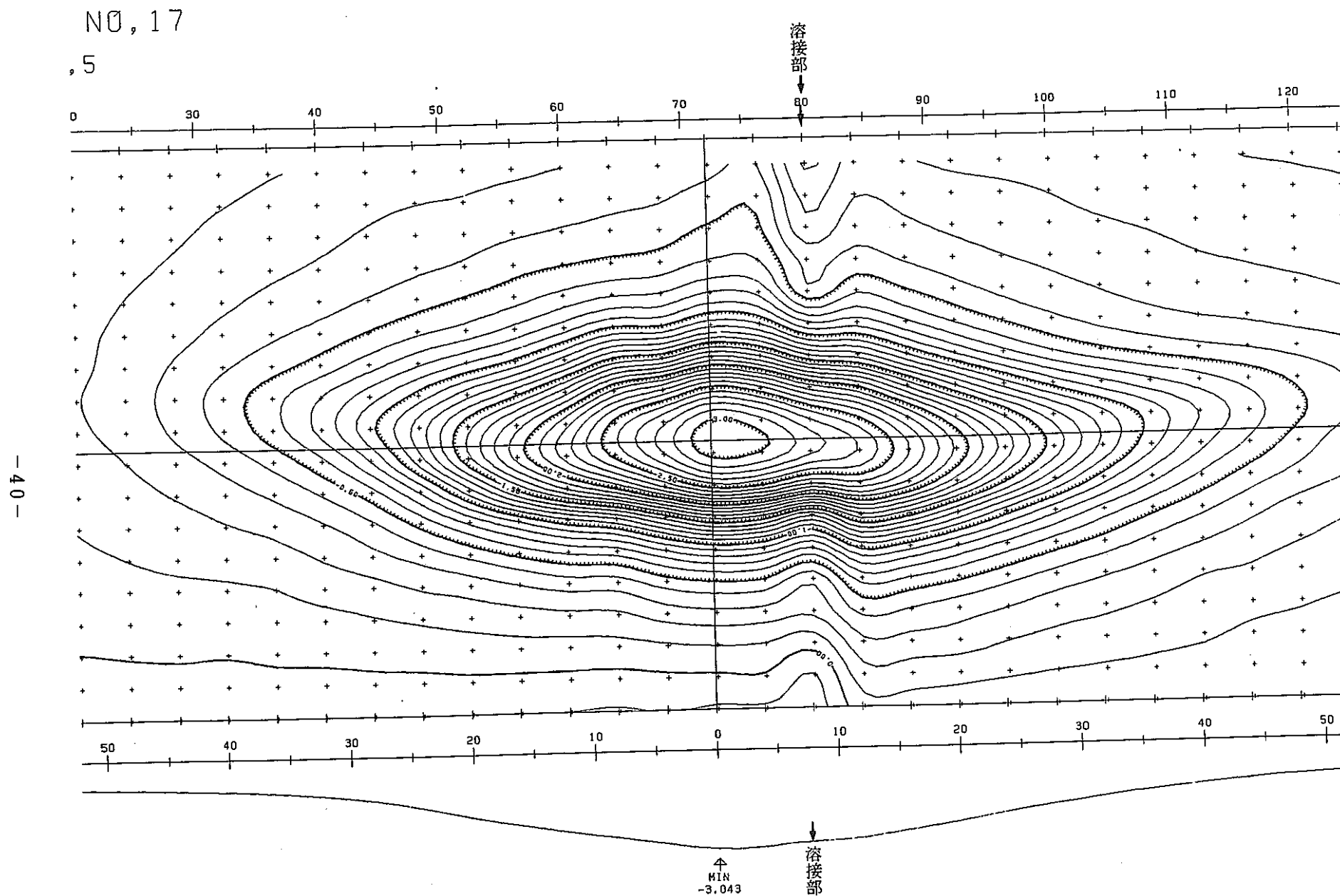
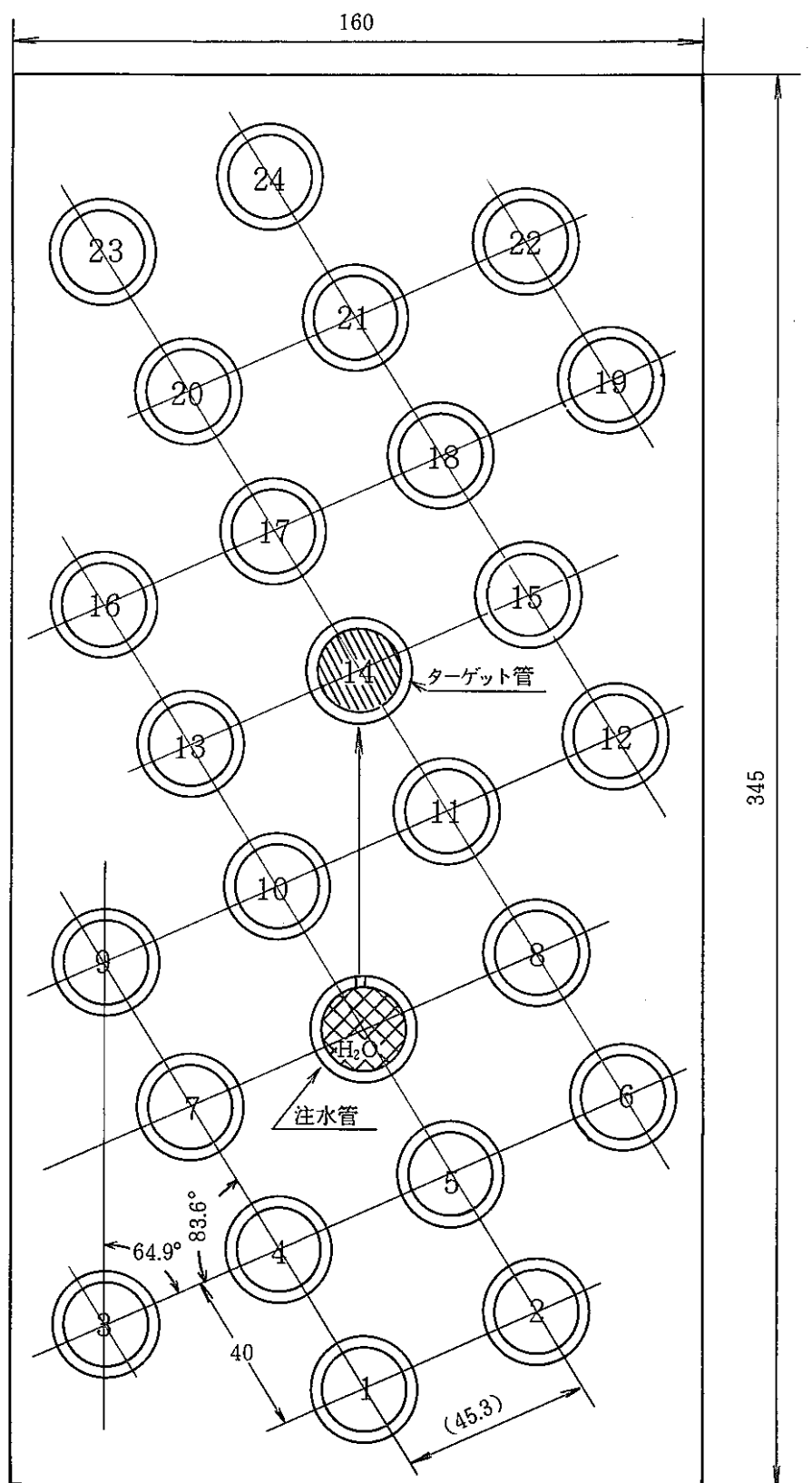


Fig. 3.5.3(e) Wastage Map of No.17 Tube (Run 4108)



注 注水管，ターゲット管以外はダミー管である。

Fig. 4.2.1 Tube Bundle Configuration of Run 4109

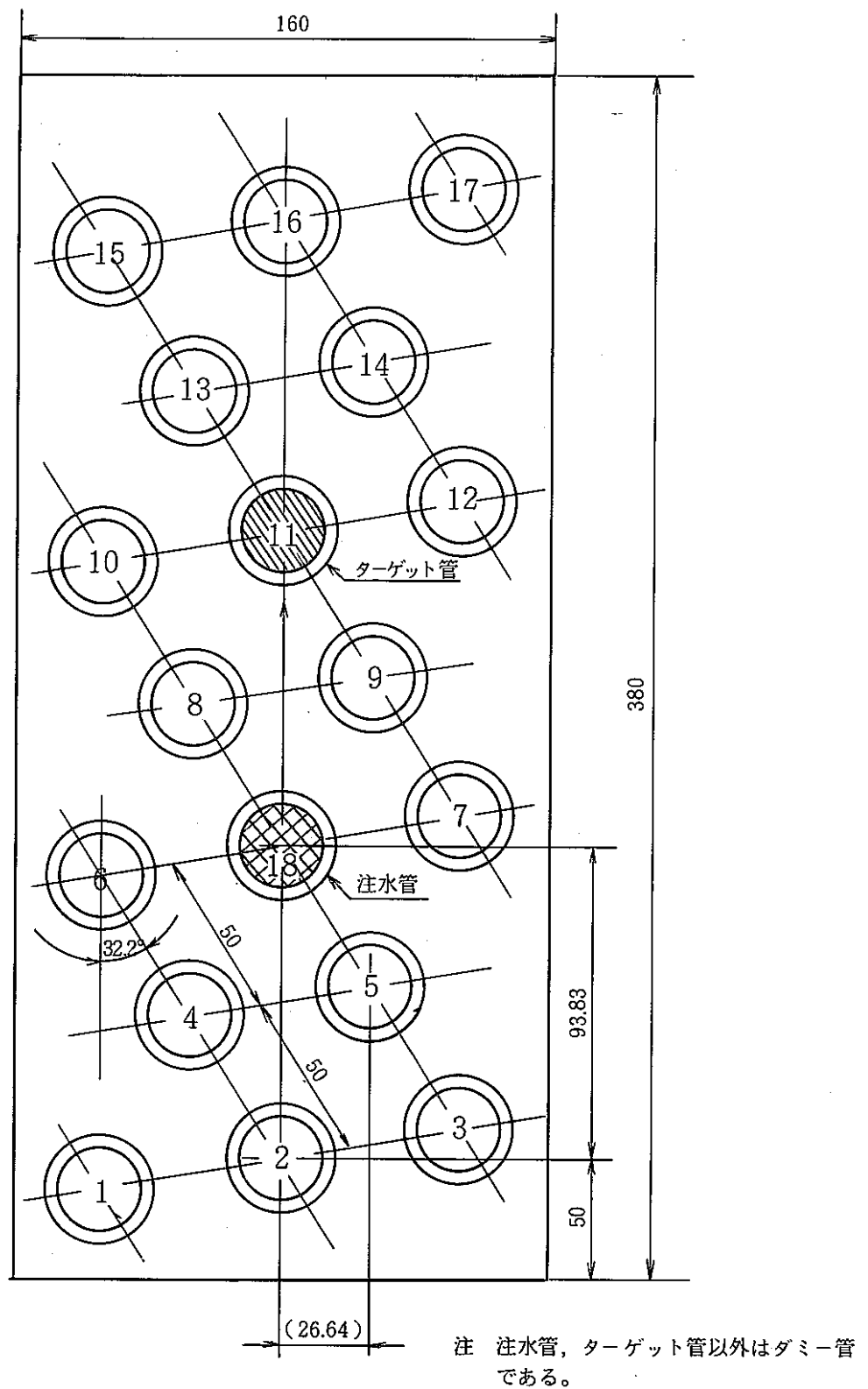
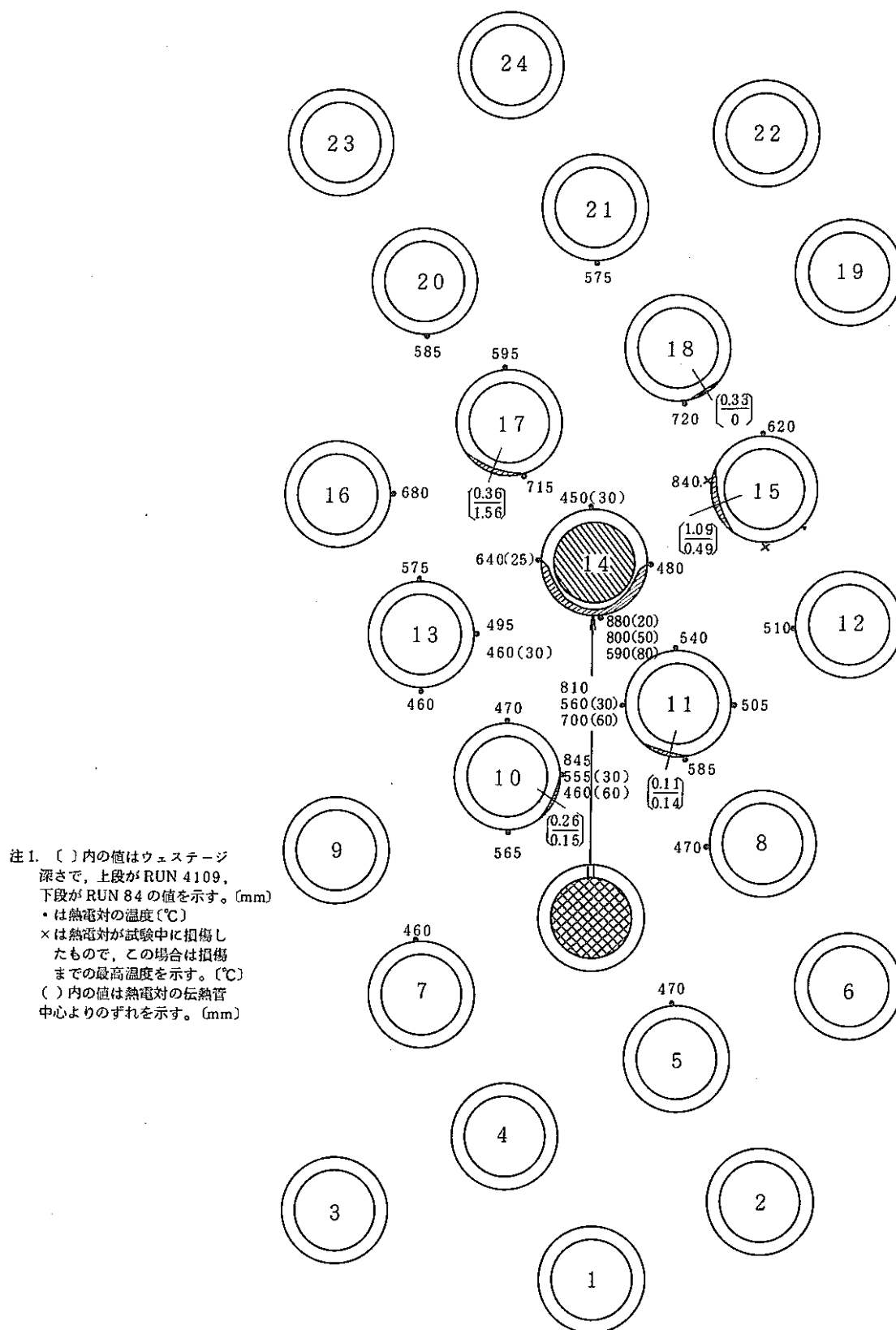


Fig. 4.2.2 Tube Bundle Configuration of Run 4111



注1. []内の値はウェステージ
深さで、上段がRUN 4109,
下段がRUN 84の値を示す。(mm)
•は熱電対の温度(°C)
×は熱電対が試験中に損傷し
たもので、この場合は損傷
までの最高温度を示す。(°C)
()内の値は熱電対の伝熱管
中心よりのずれを示す。(mm)

Fig. 4.5.2 Multiple Wastage of Tubes and Maximum Reaction Temperature (Run 4109)

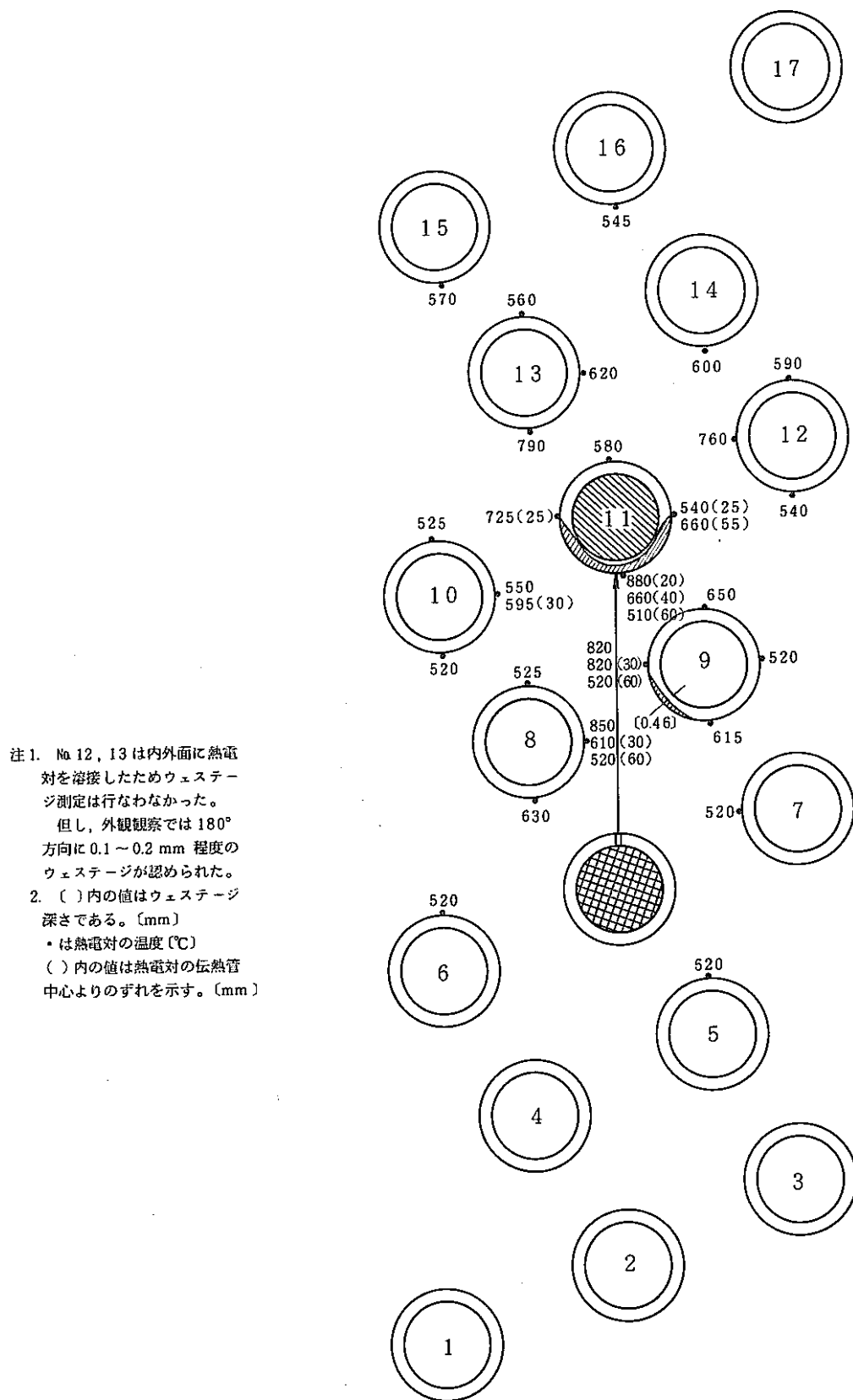


Fig. 4.5.3 Multiple Wastage of Tubes and Maximum Reaction Temperature (Run 4111)

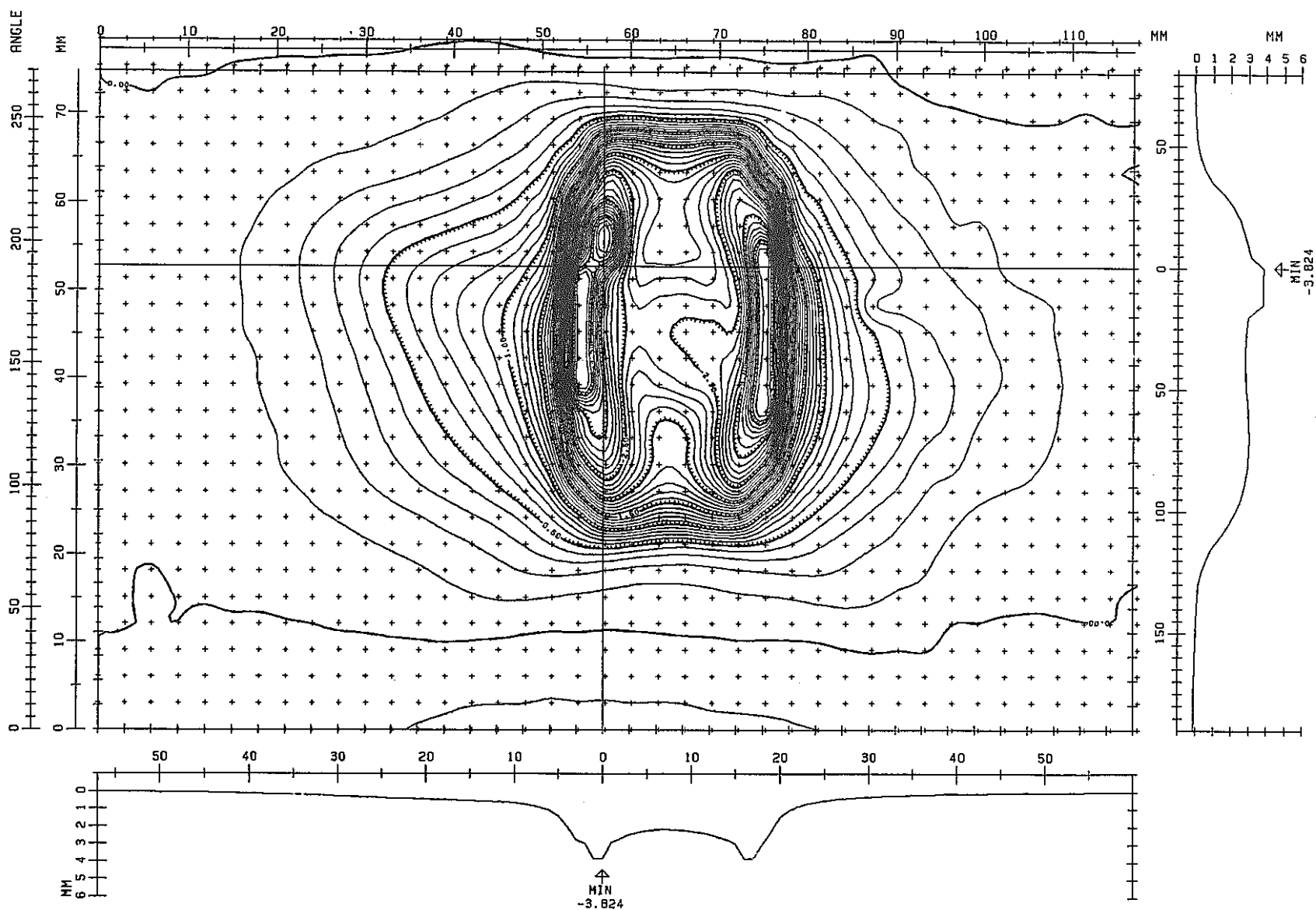


Fig. 4.5.4 Wastage Map of No.14 Tube (Run 4109)

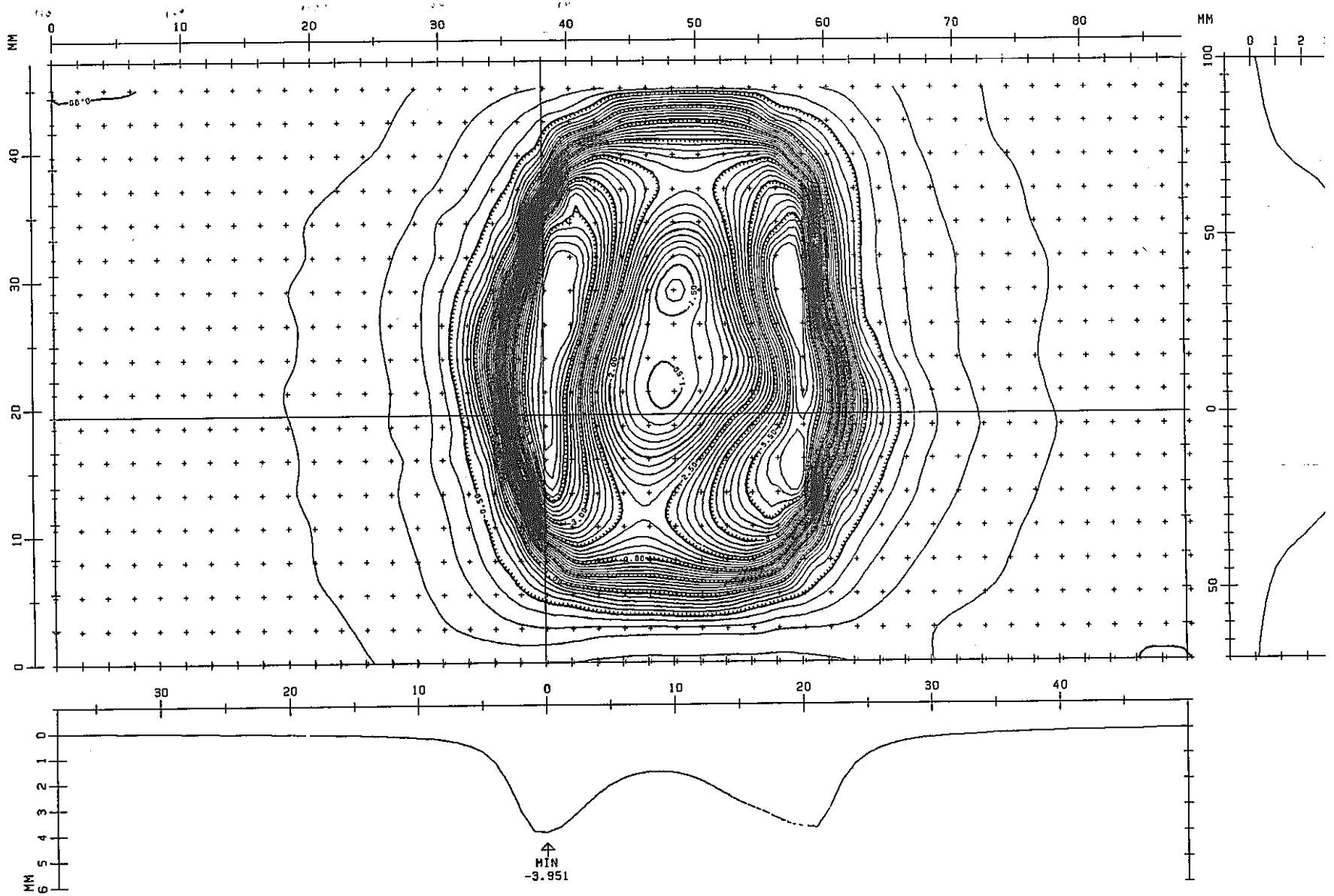


Fig. 4.5.5 Wastage Map of No.11 Tube (Run 4111)

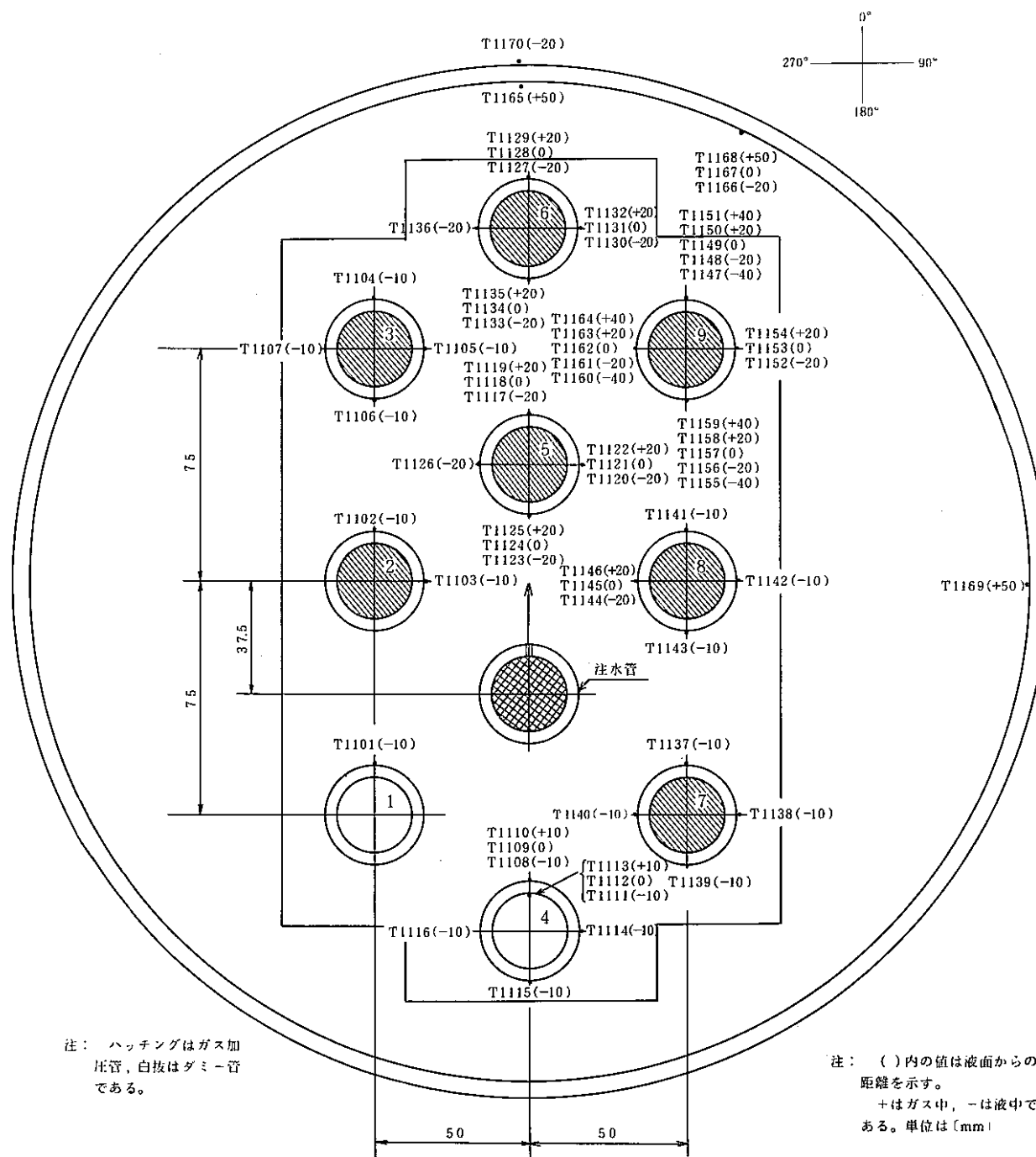


Fig. 5.2.1 Tube Bundle Configuration and Thermocouples Locations (Run 4110)

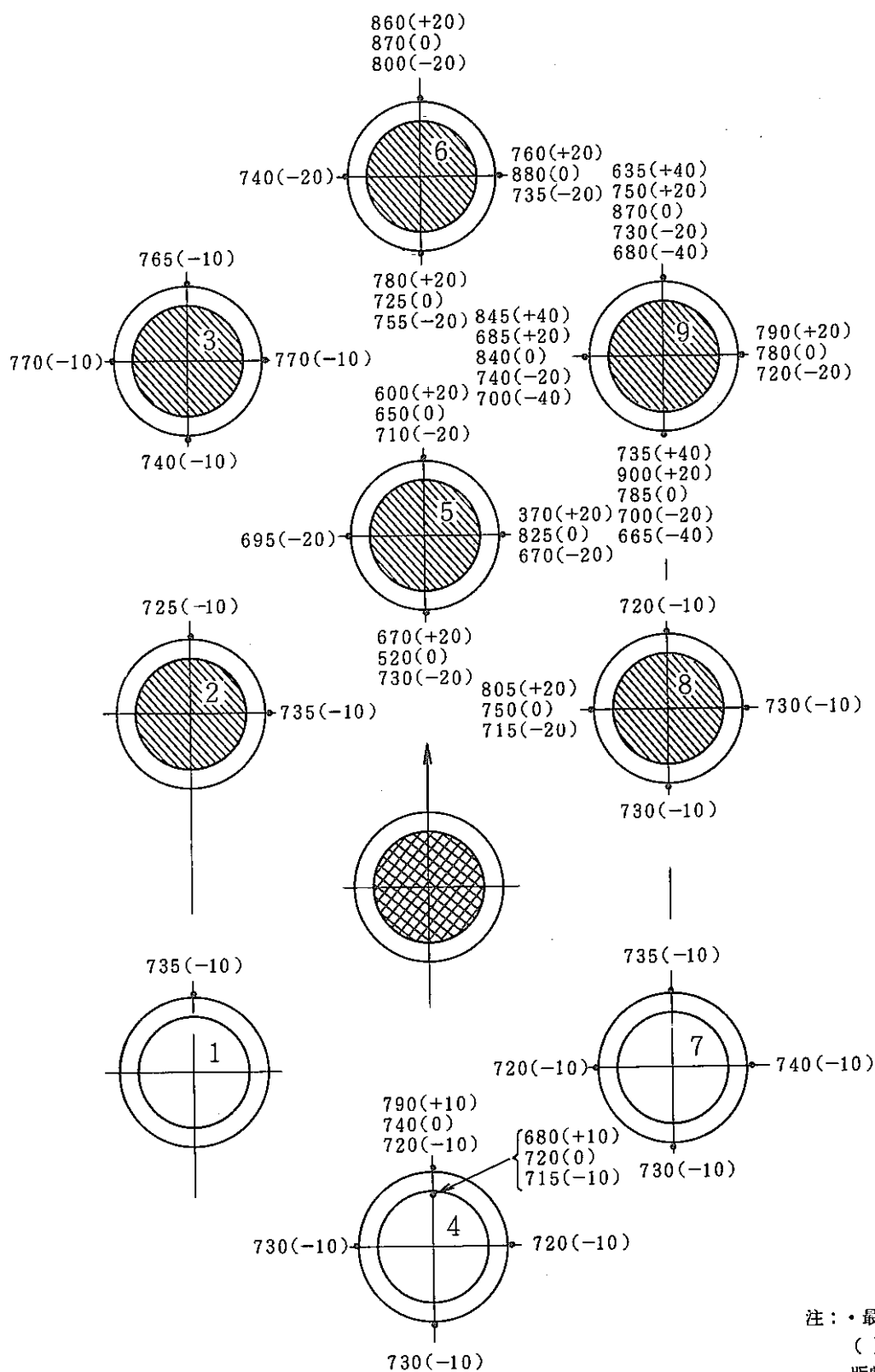


Fig. 5.5.1 Maximum Temperature (Run 4110)

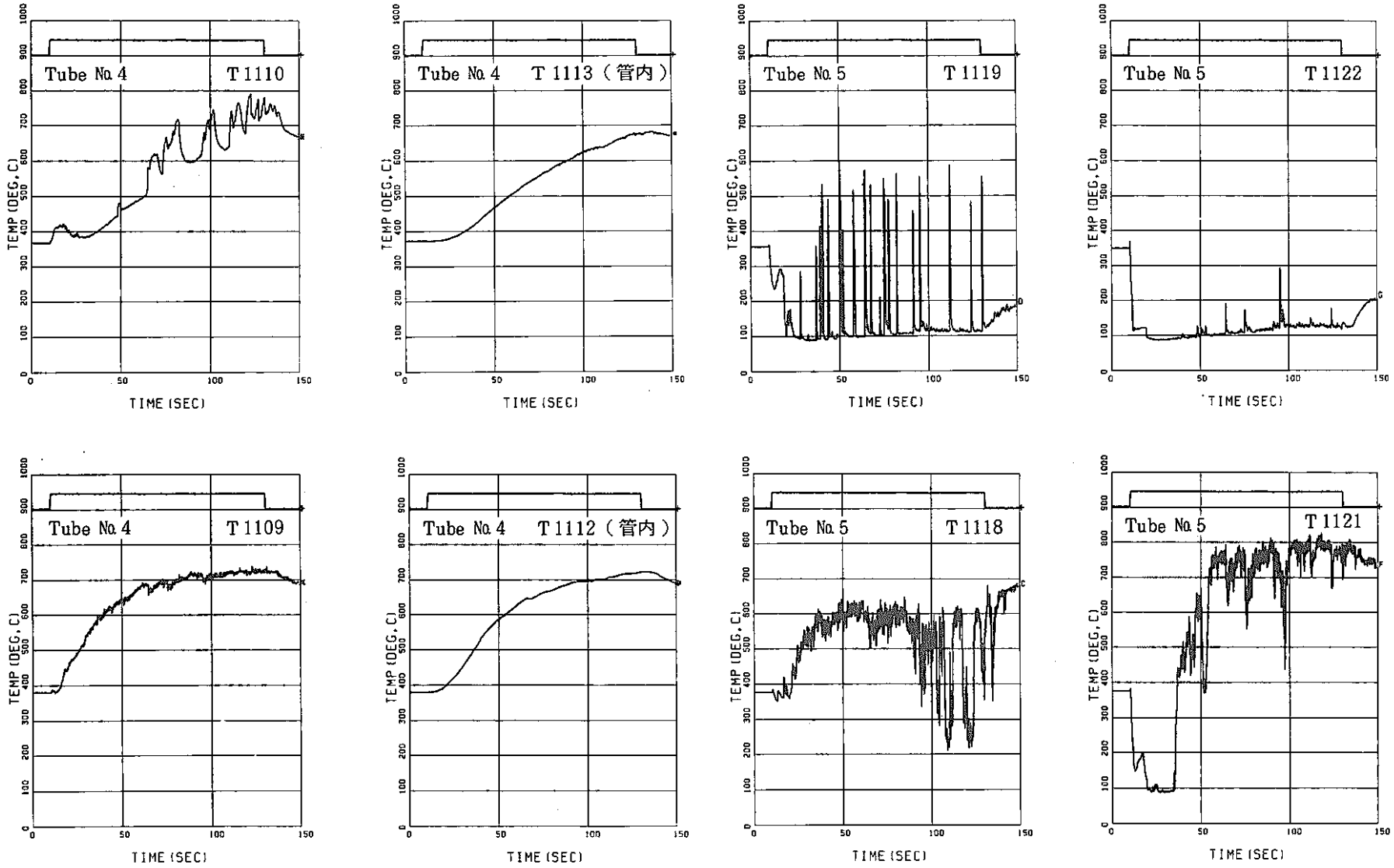


Fig. 5.5.2(a) Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4110)

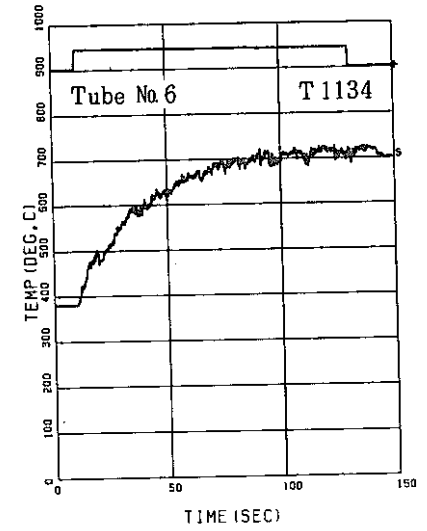
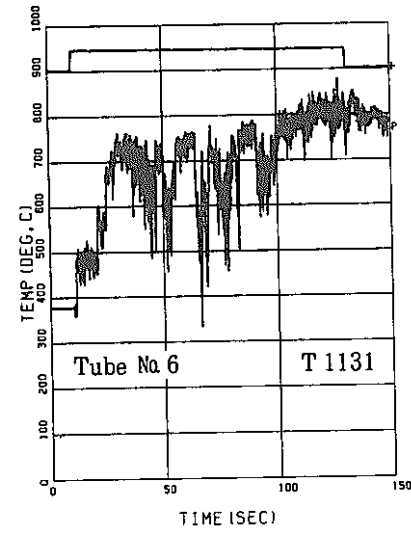
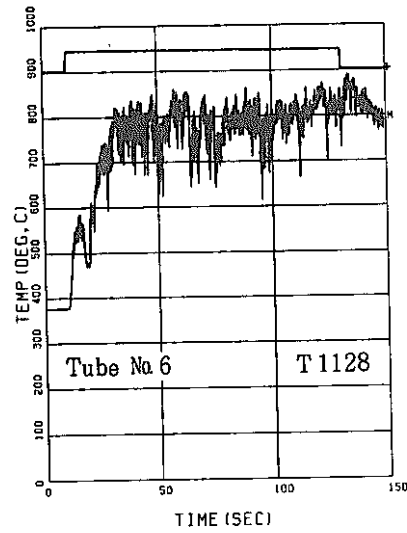
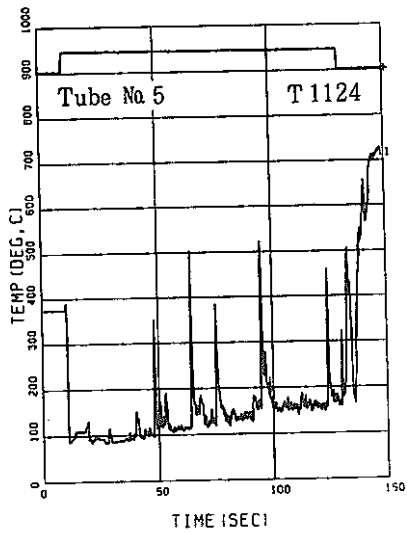
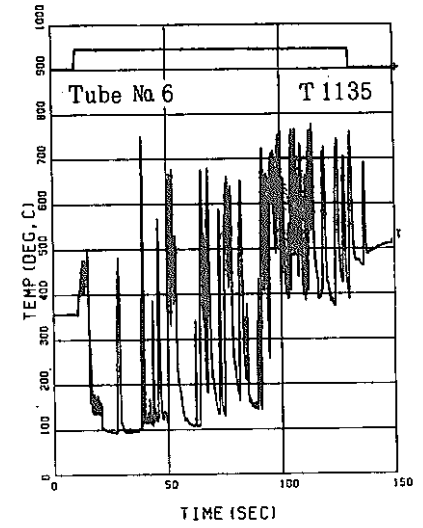
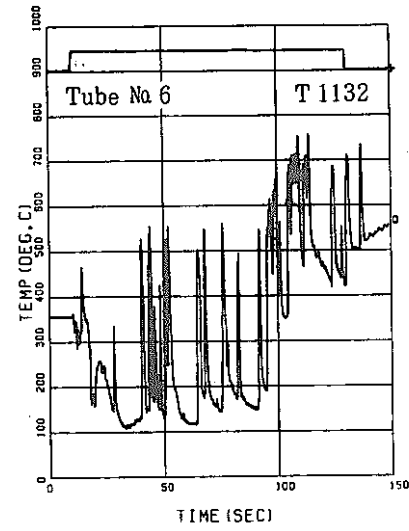
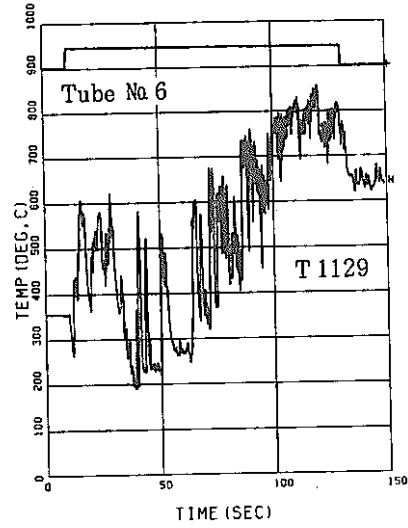
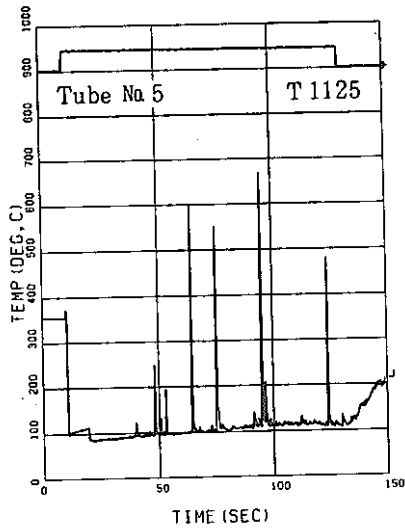


Fig. 5.5.2(b) Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4110)

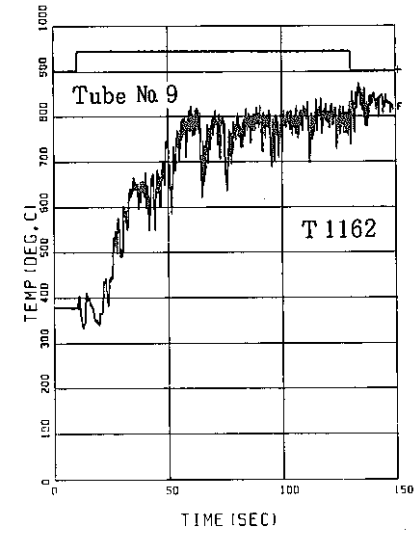
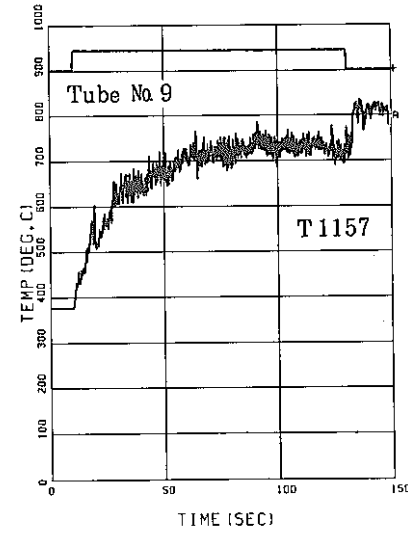
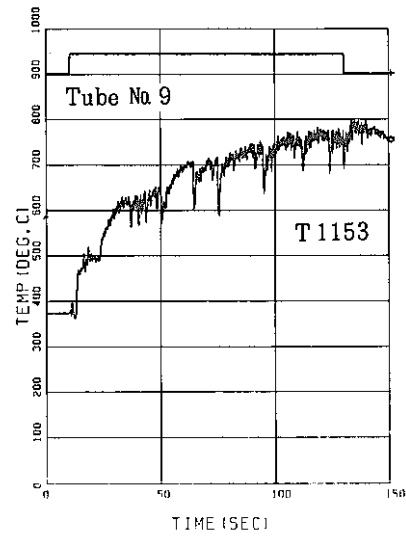
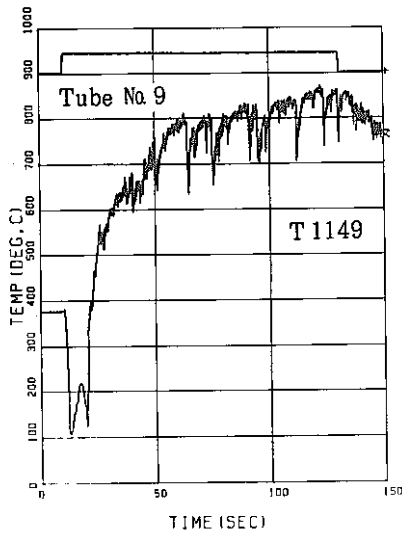
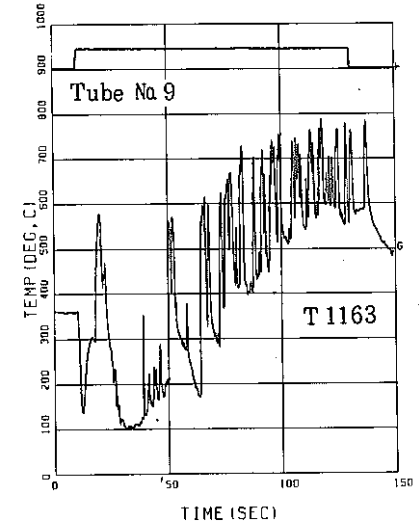
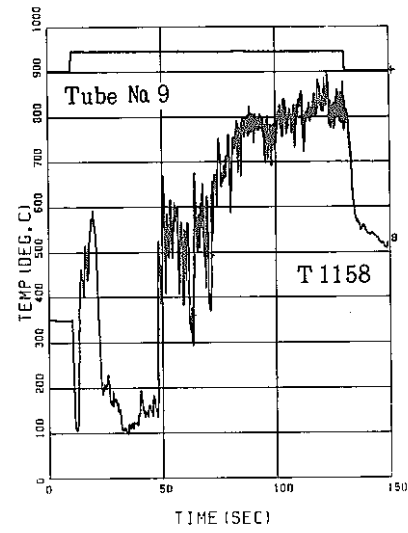
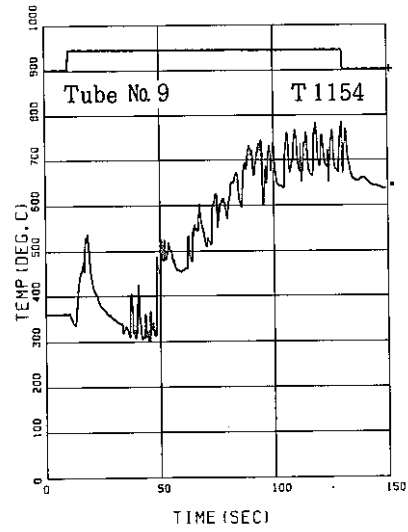
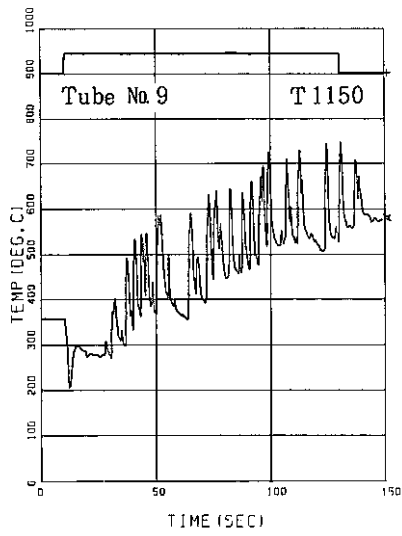


Fig. 5.5.2(c) Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4110)

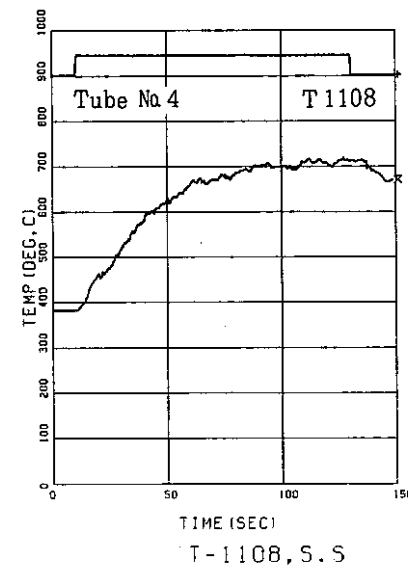
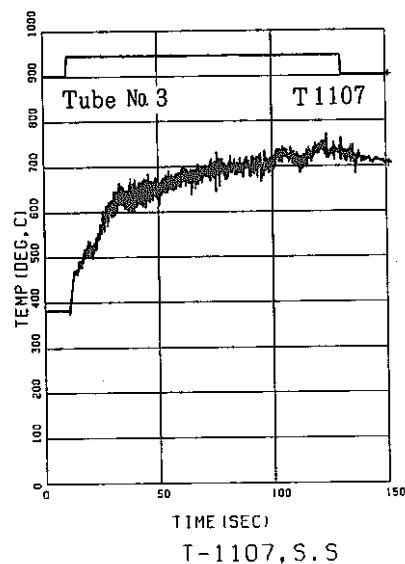
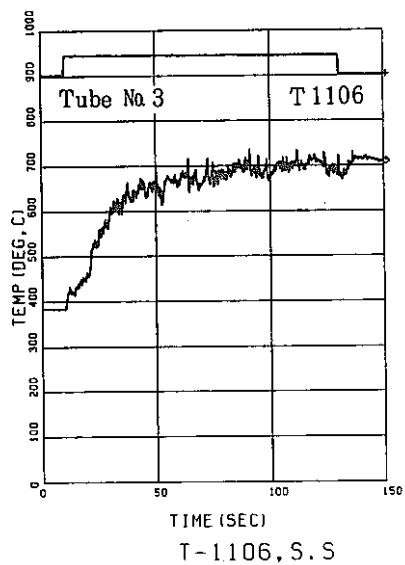
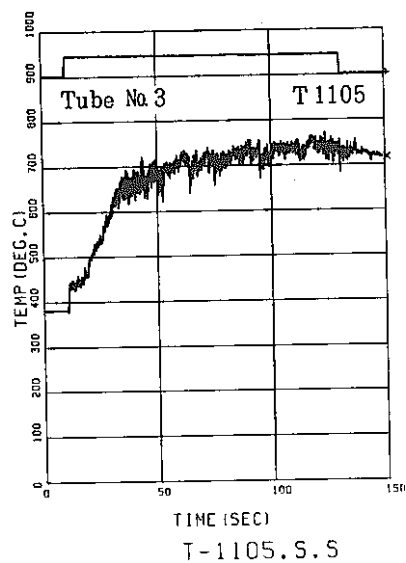
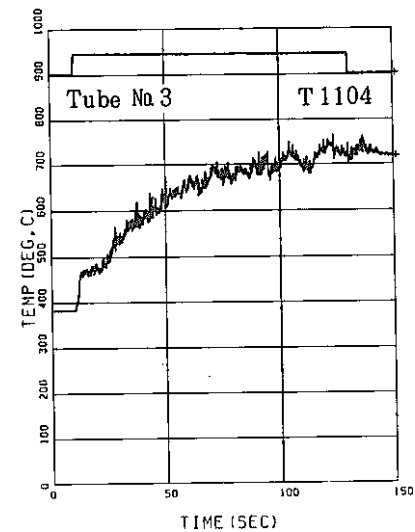
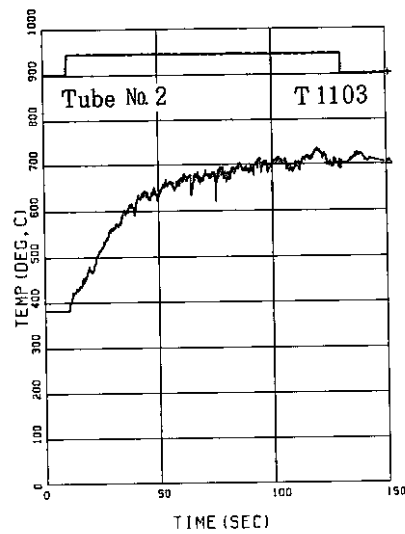
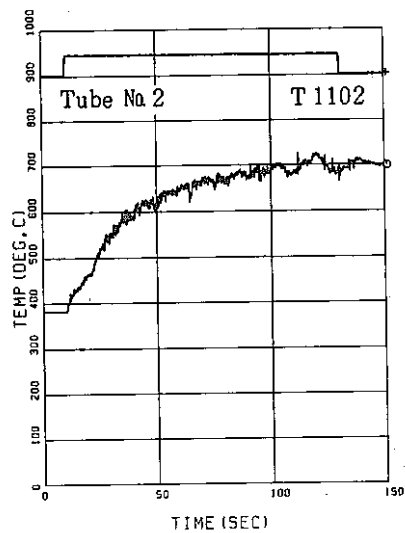
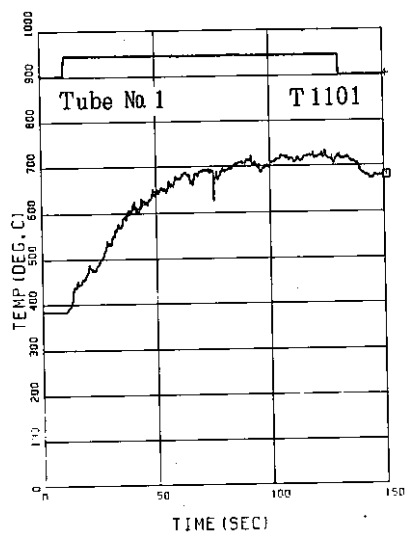


Fig. 5.5.2(d) Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4110)

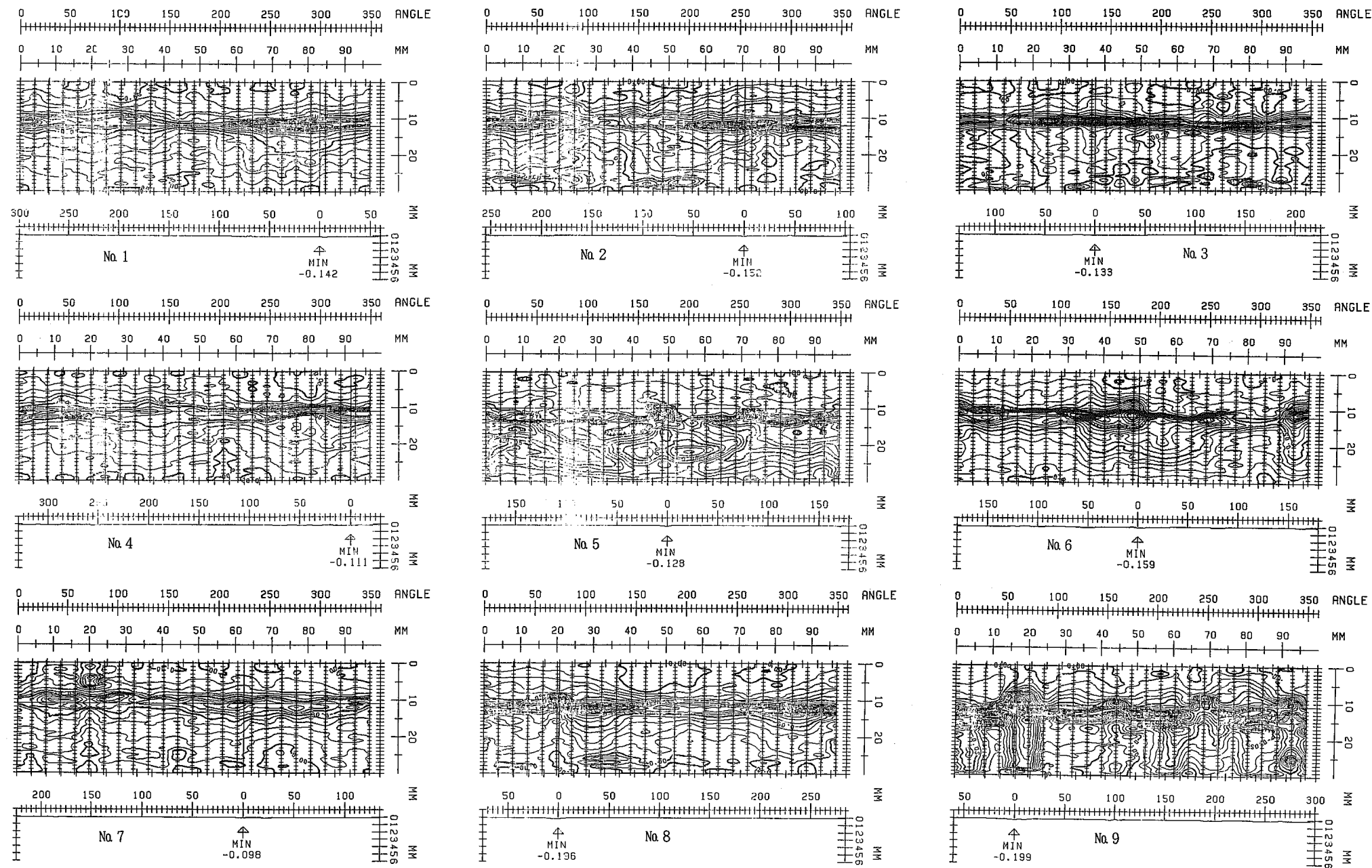


Fig. 5.5.4 Wastage Maps (Run 4110)

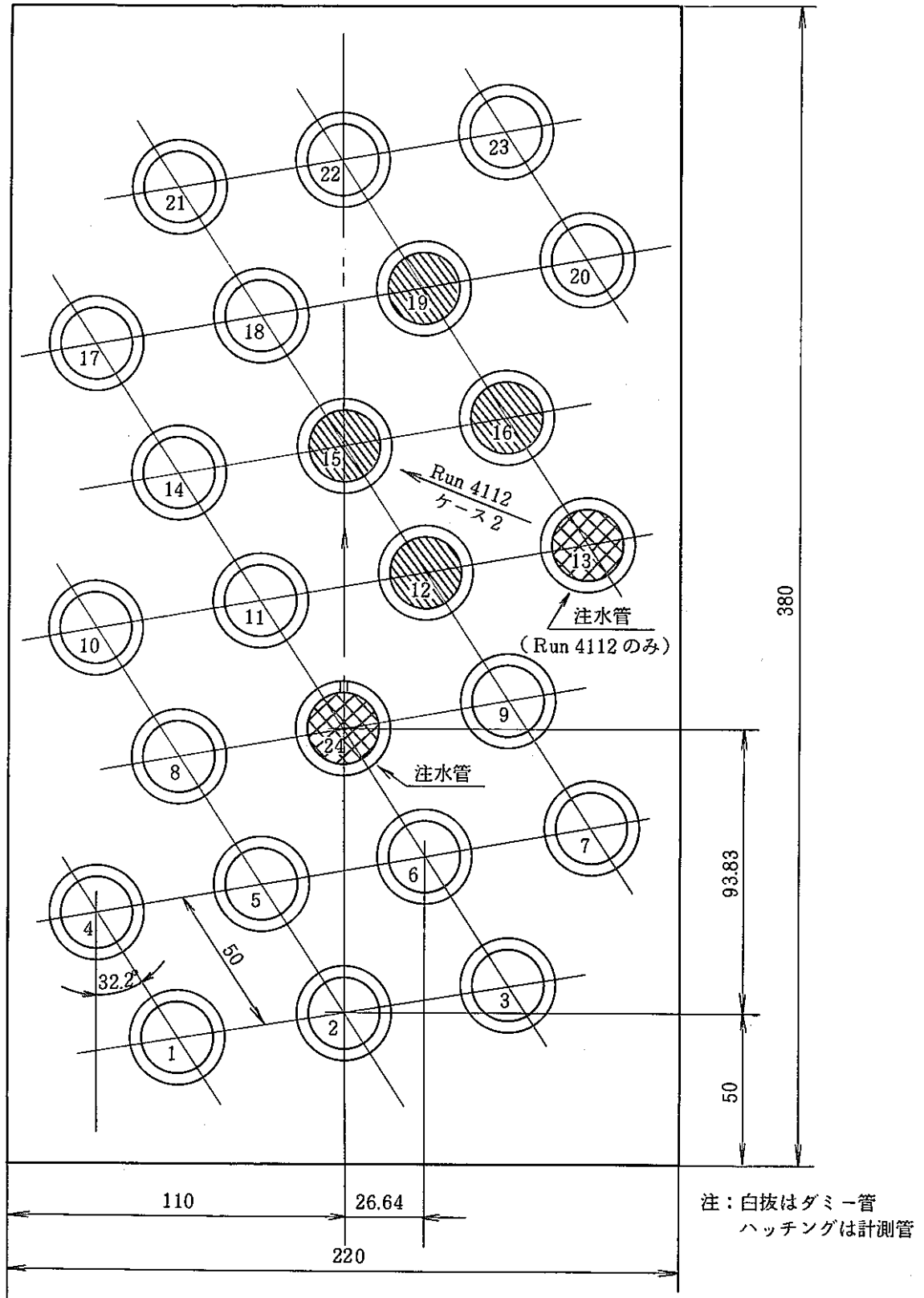


Fig. 6.2.1 Tube Bundle Configuration of Run 4112 and Run 4113

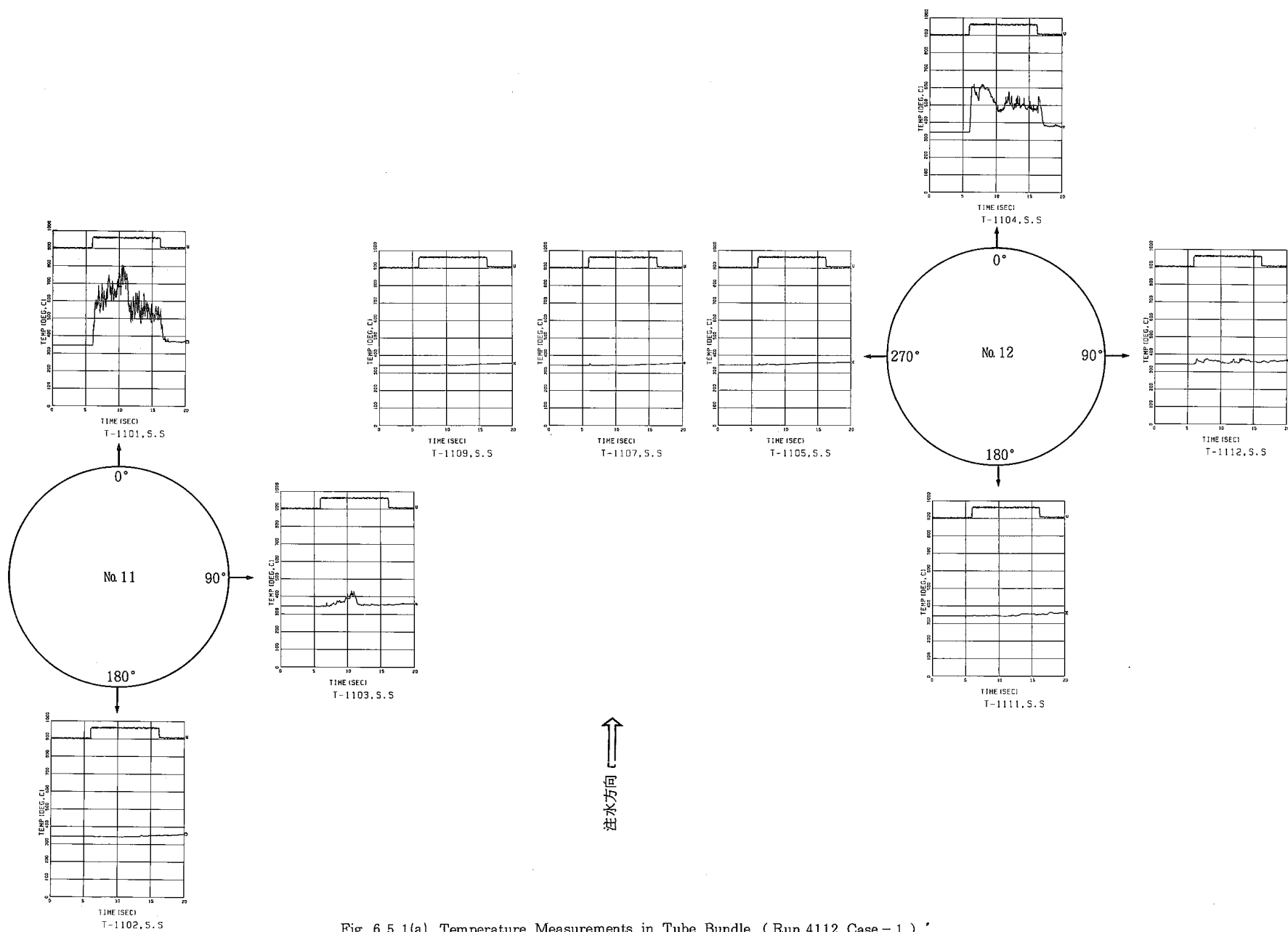


Fig. 6.5.1(a) Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4112 Case-1)

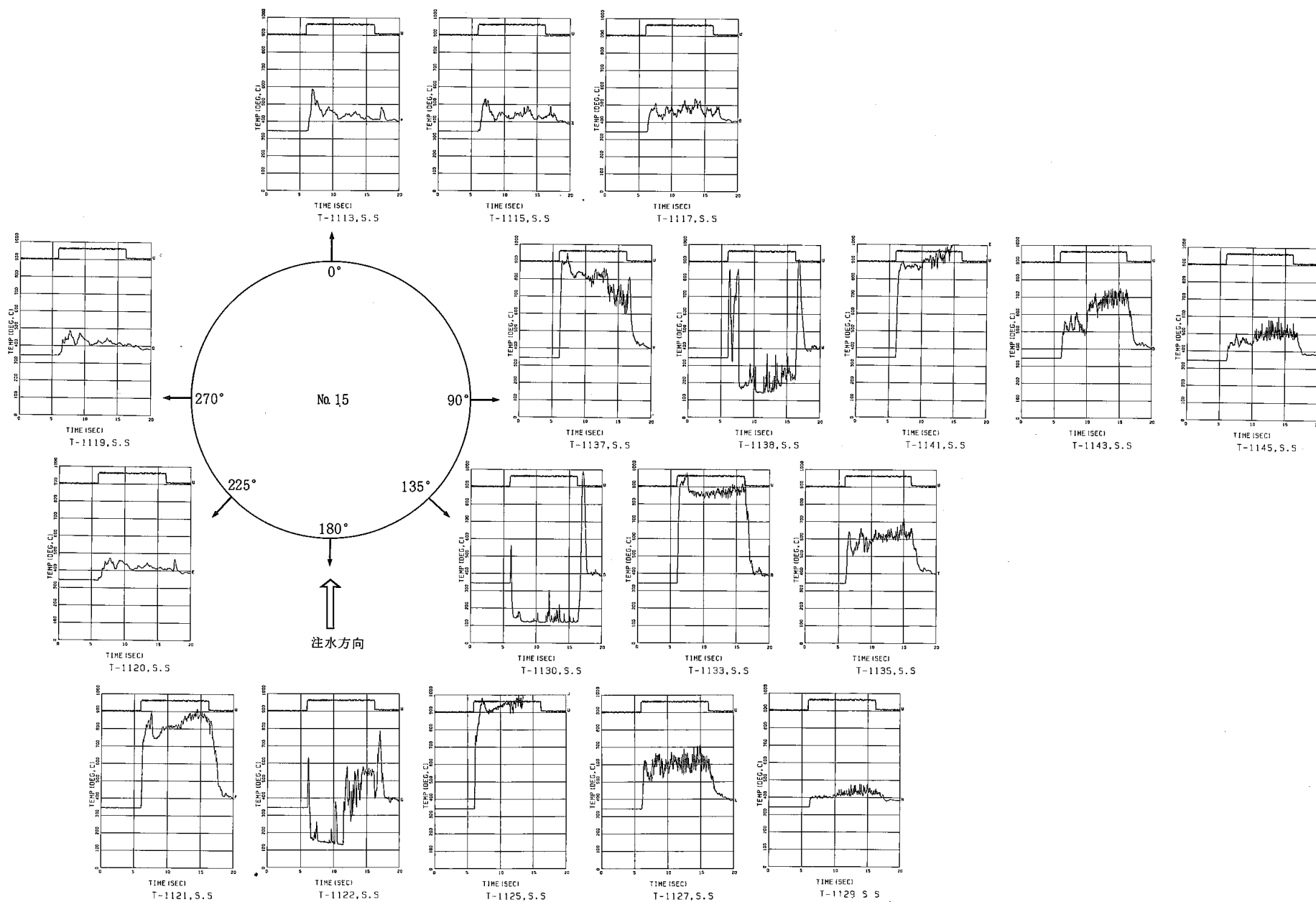


Fig. 6.5.1(b) Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4112 Case-1)

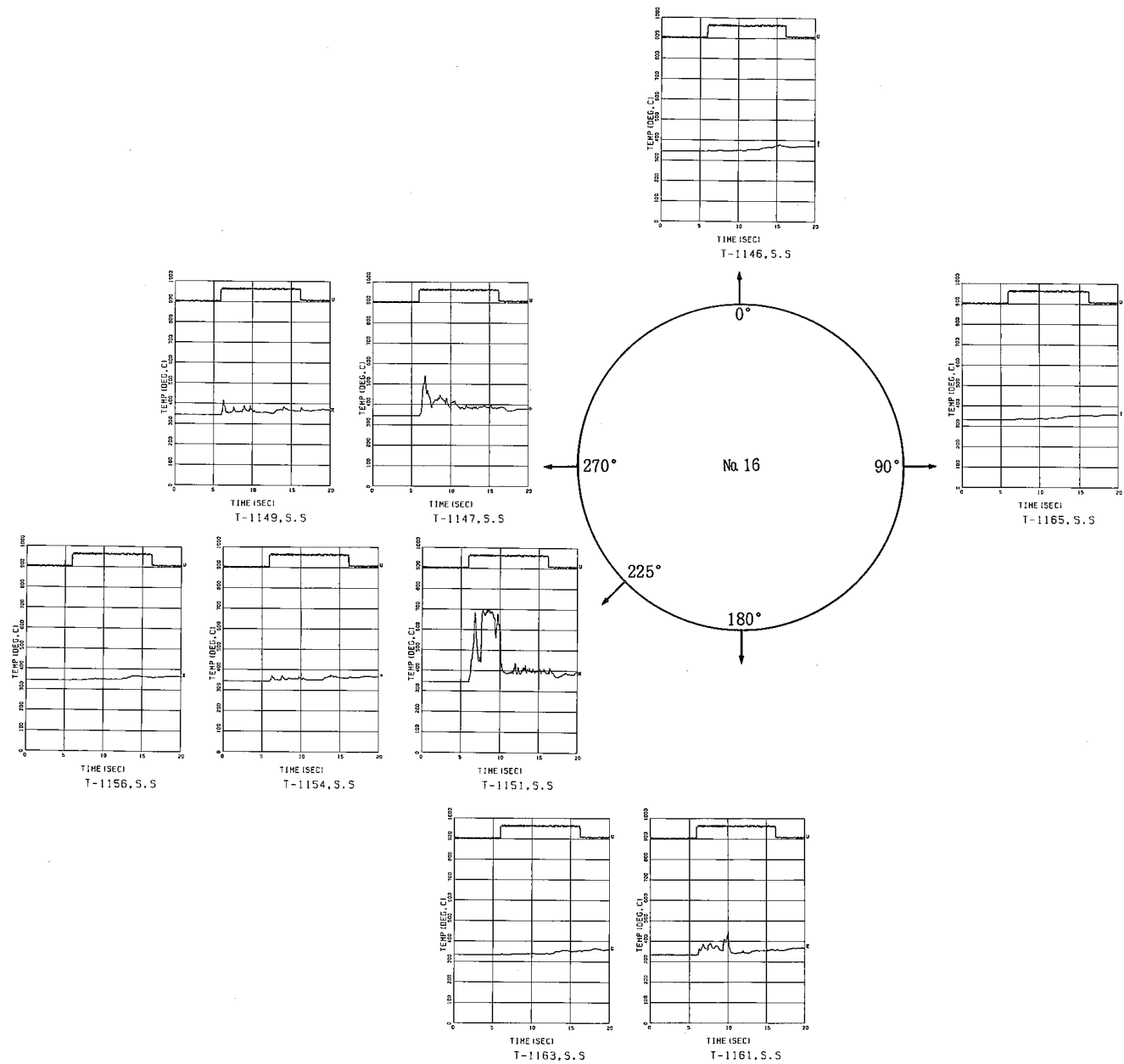


Fig. 6.5.1(c) Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4112 Case-1)

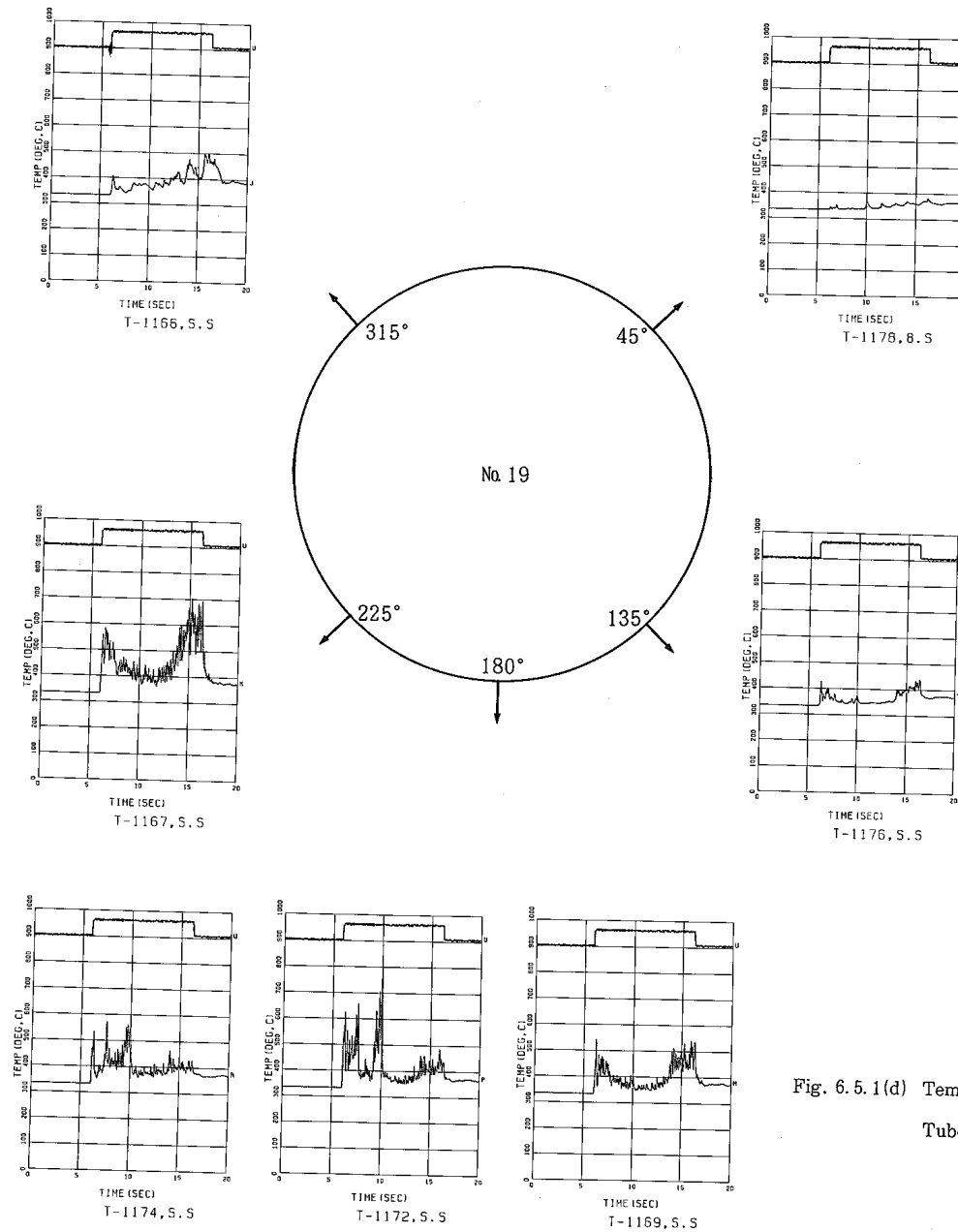


Fig. 6.5.1(d) Temperature Measurements in
Tube Bundle (Run 4112 Case - 1)

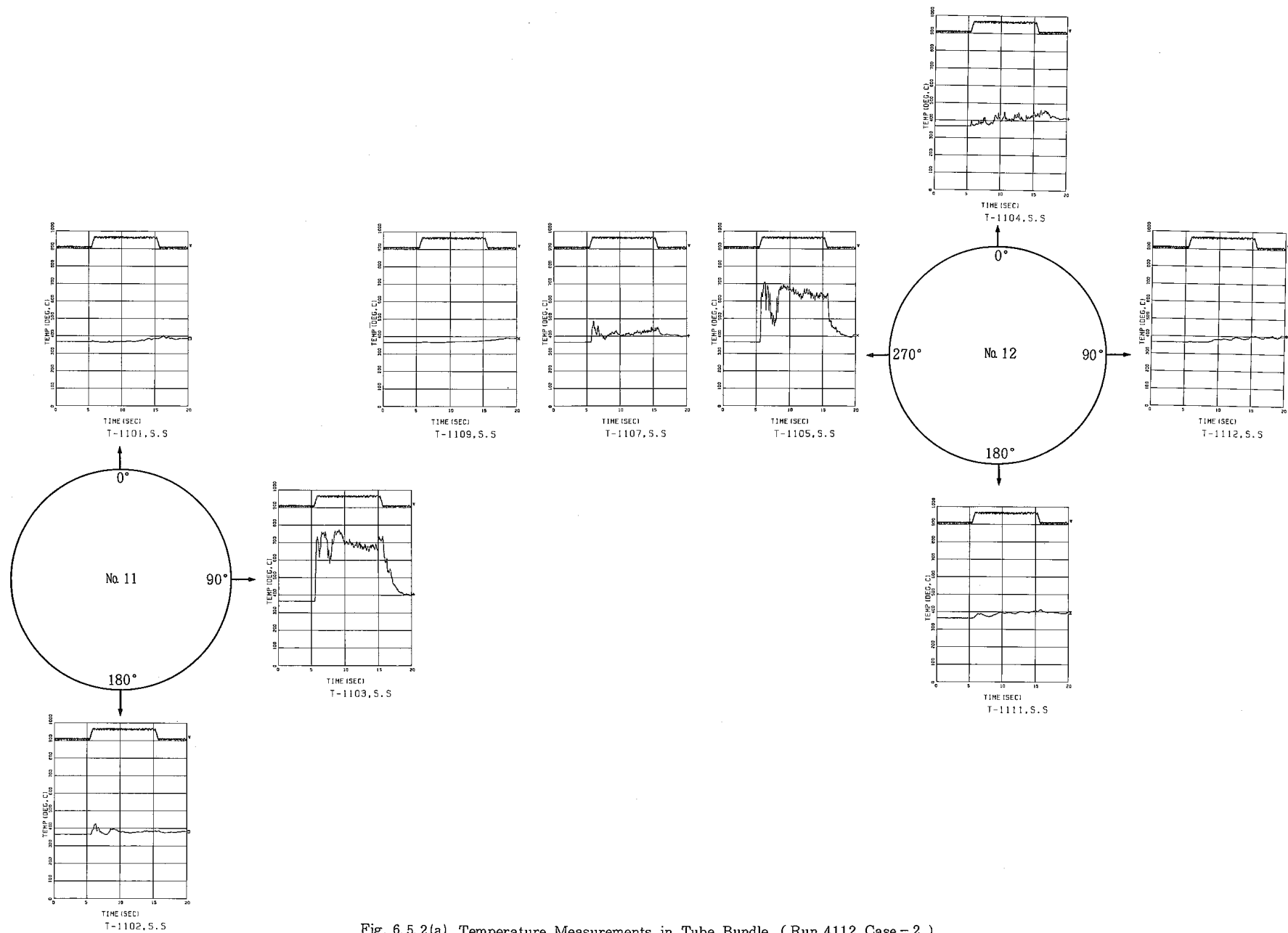


Fig. 6.5.2(a) Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4112 Case-2)

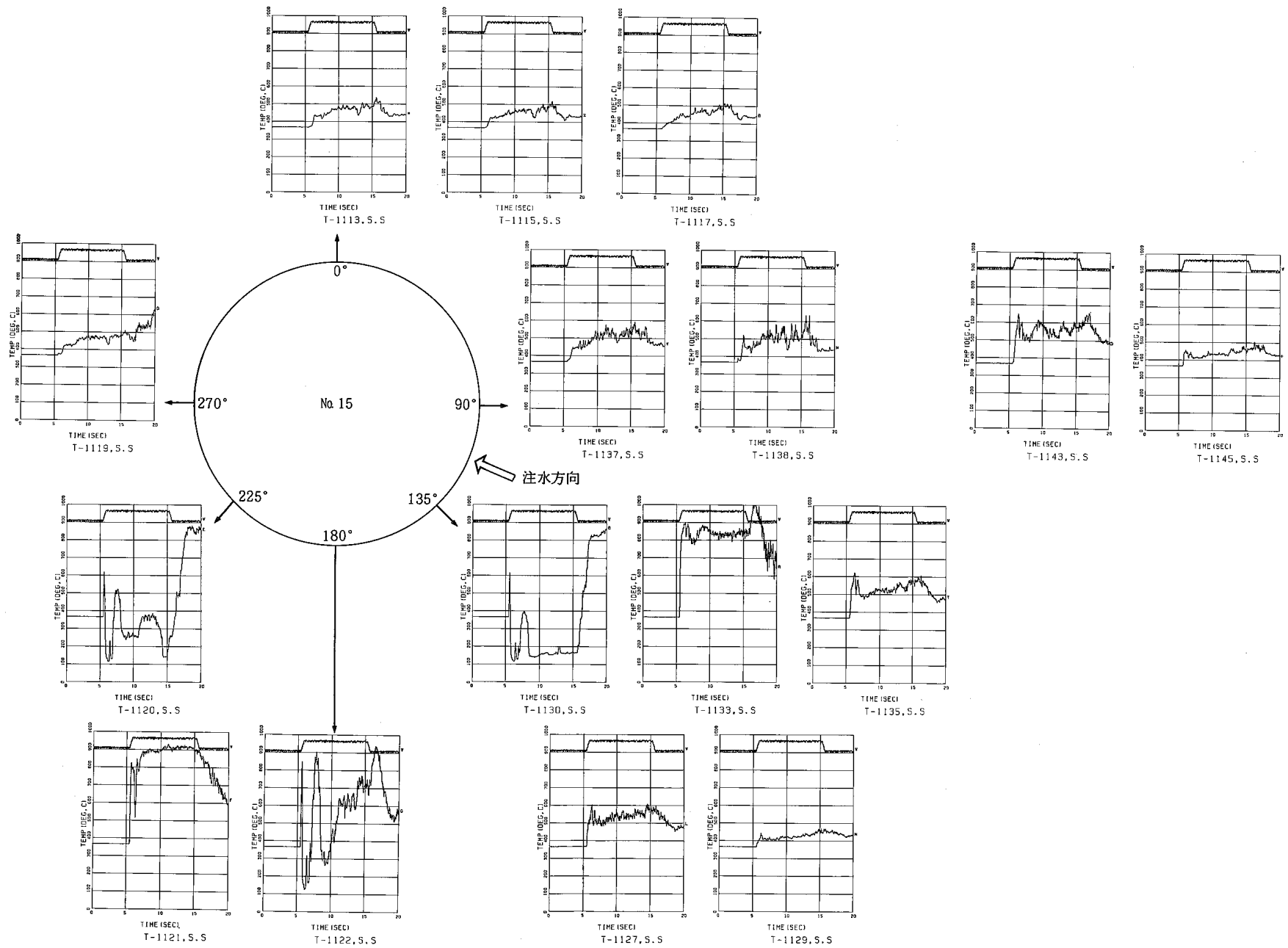


Fig. 6.5.2(b) Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4112 Case-2)

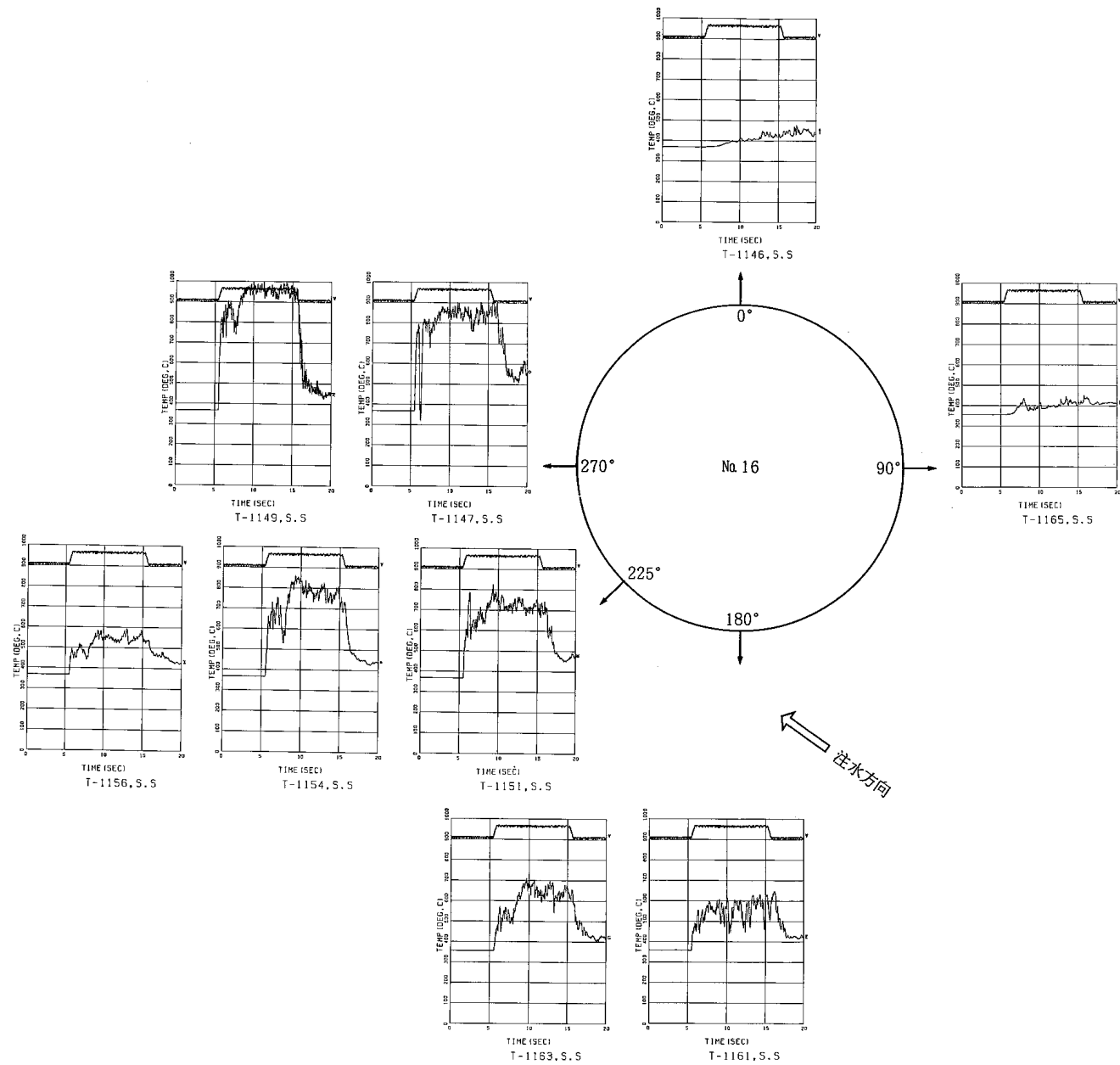


Fig. 6.5.2(c) Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4112 Case-2)

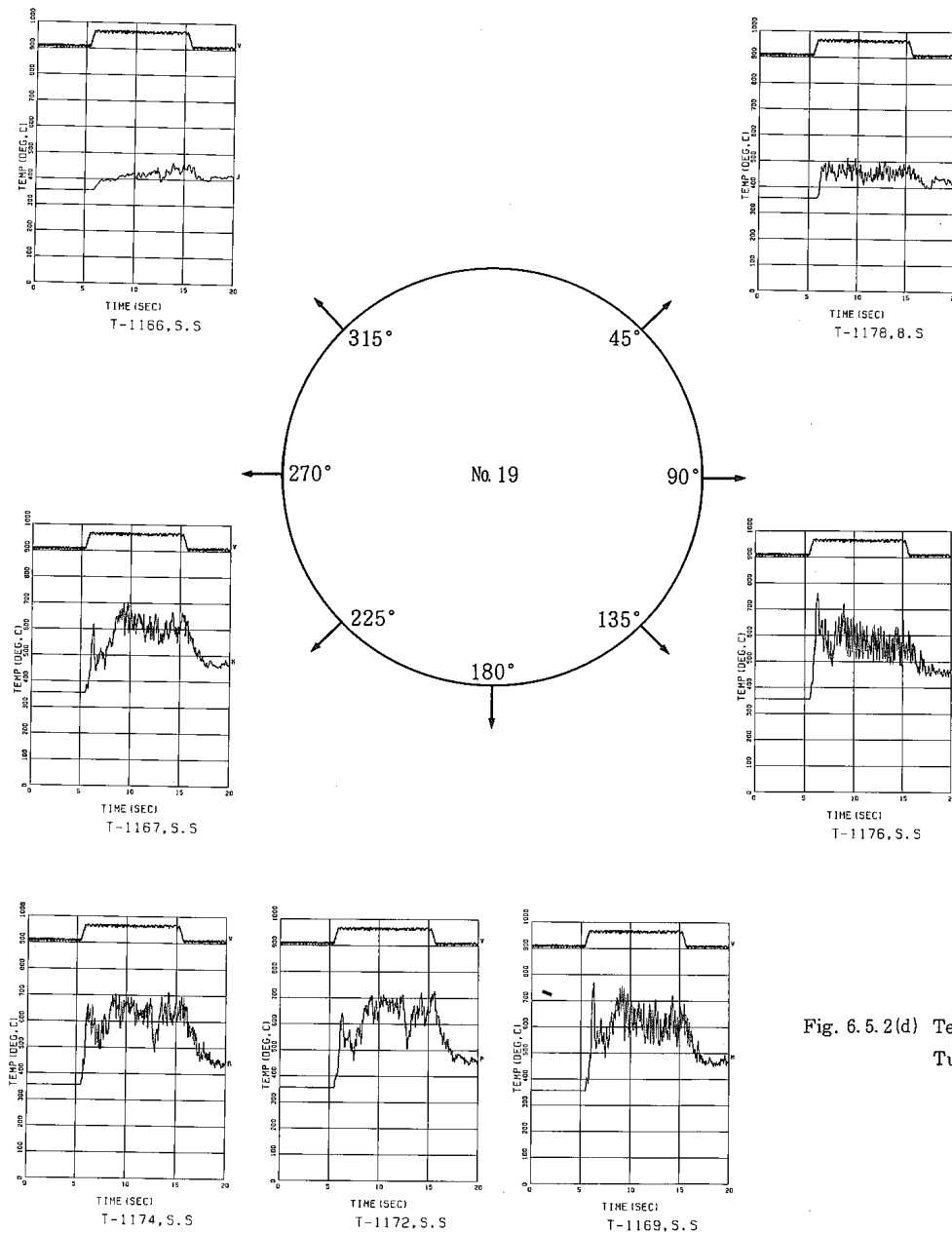


Fig. 6.5.2(d) Temperature Measurements in
Tube Bundle (Run 4112 Case - 2)

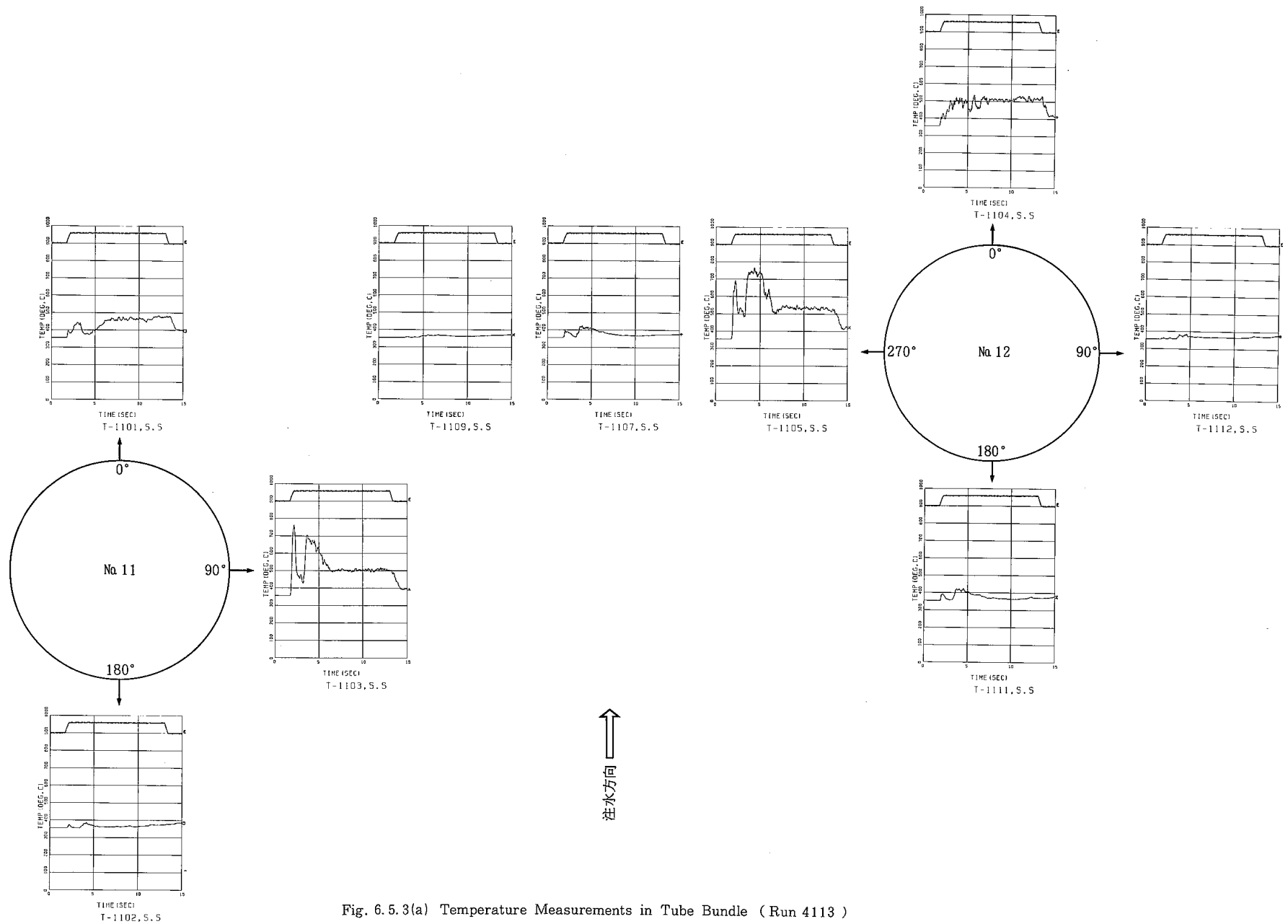


Fig. 6.5.3(a) Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4113)

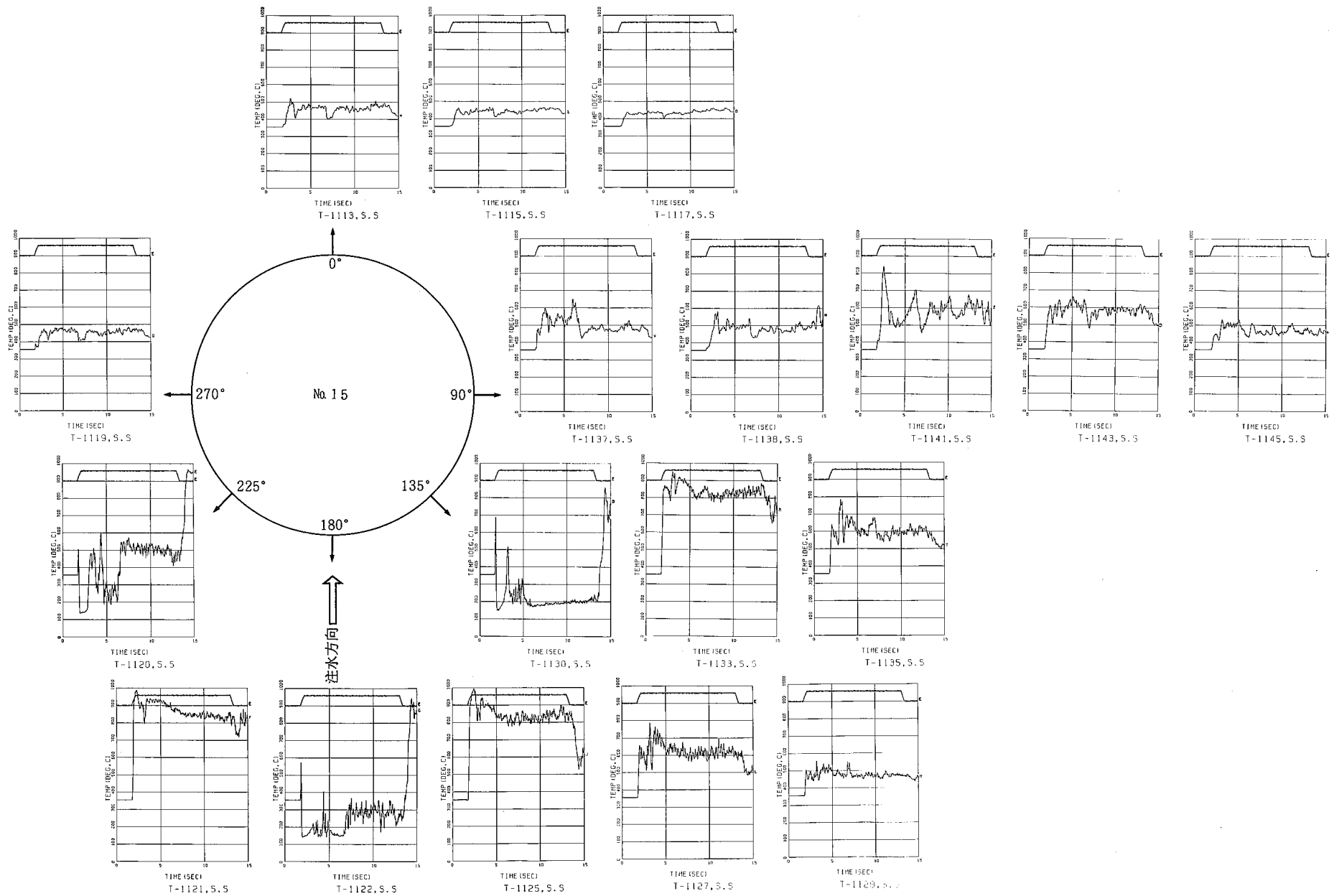


Fig. 6.5.3(b) Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4113)

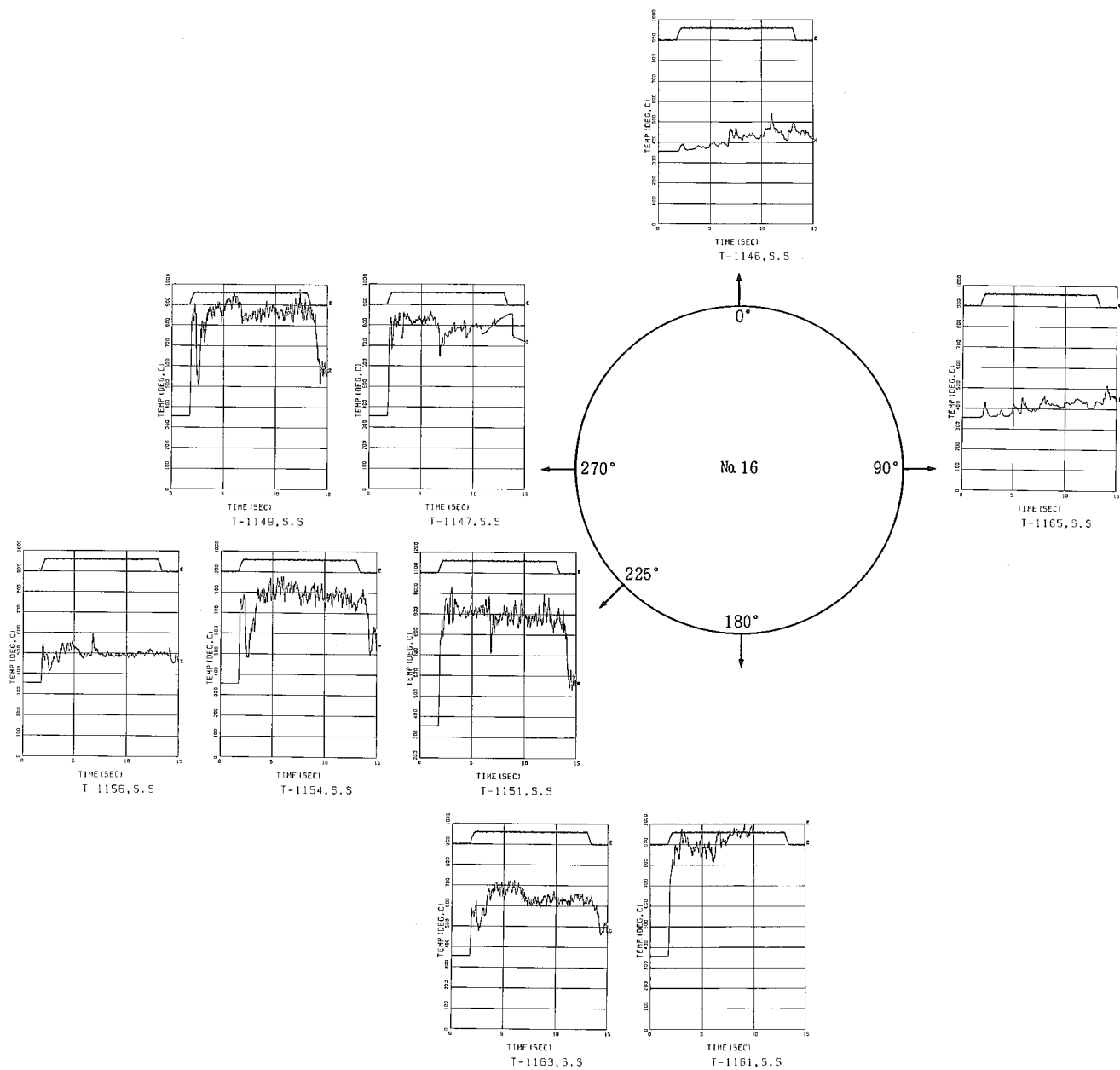


Fig. 6.5.3(c) Temperature Measurements in Tube Bundle (Run 4113)

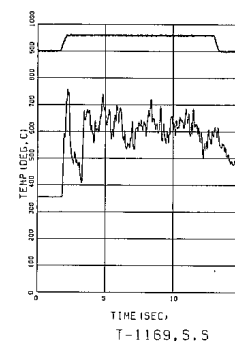
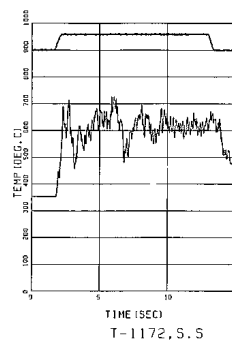
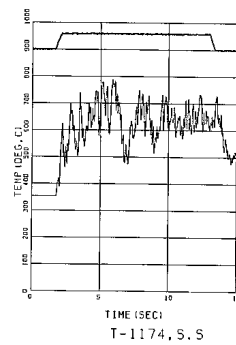
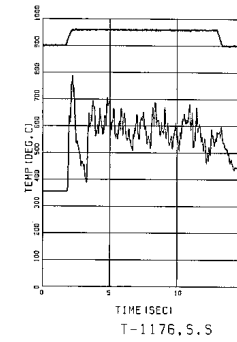
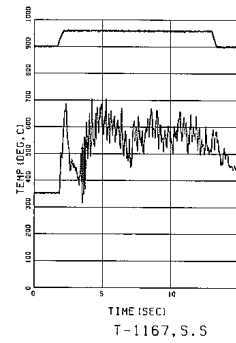
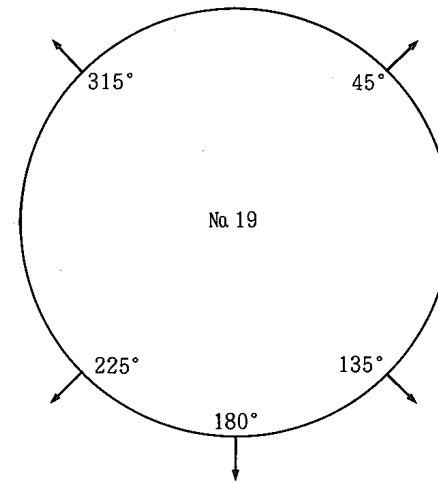
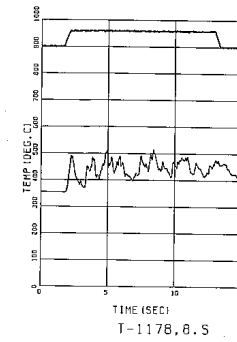
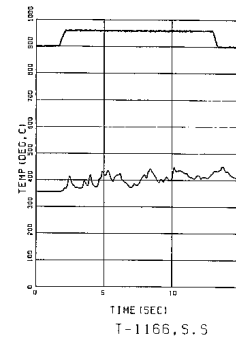


Fig. 6.5.3(d) Temperature Measurements in
Tube Bundle (Run 4113)

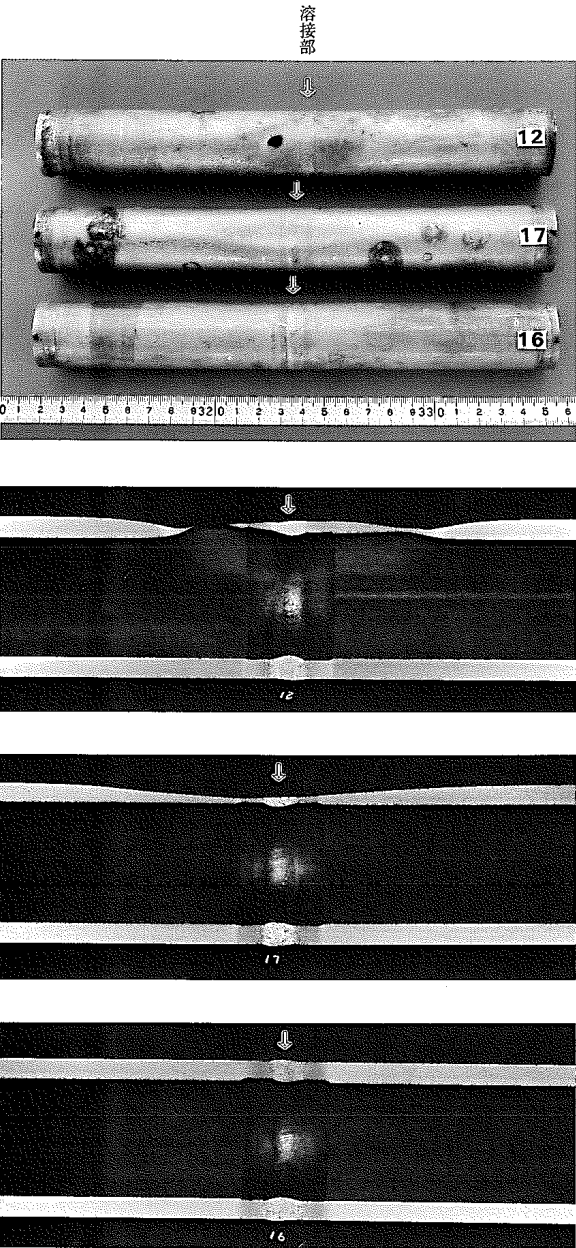


Fig. 3.5.2 Cross-Sectional View of Tubes
(No 12, 17, 16) after Test

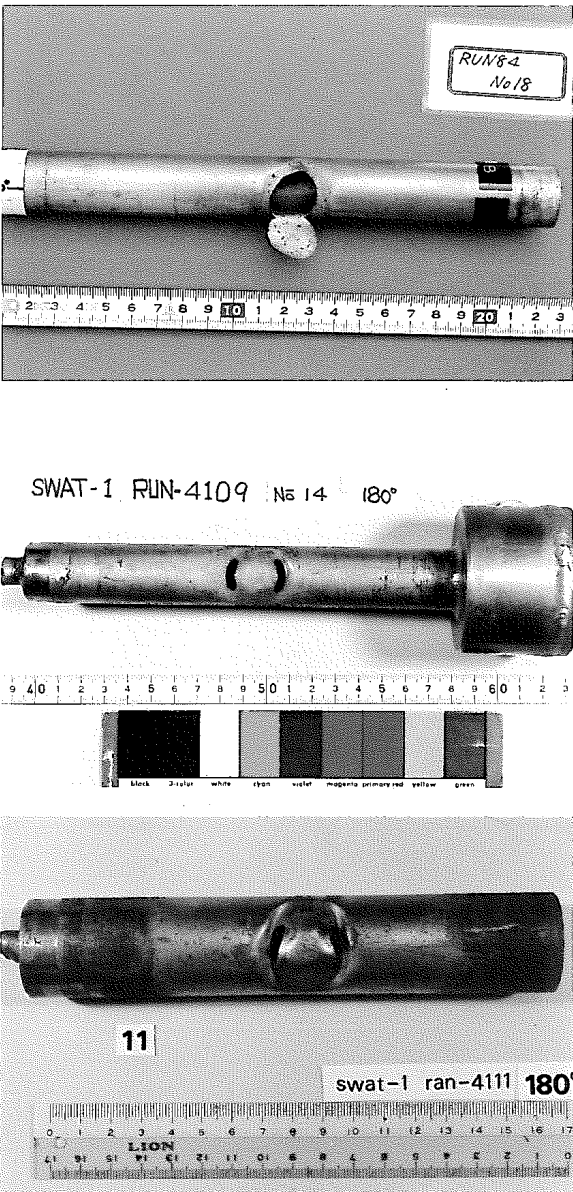


Fig. 4.5.1 Target Tubes suffered Torroidal Wastage

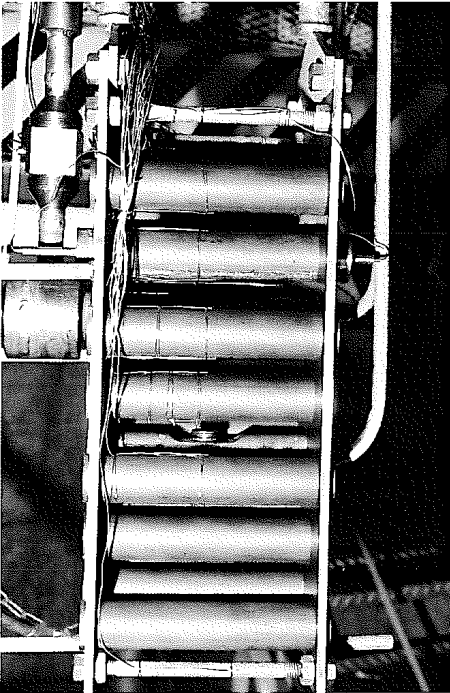


Fig. 4.2.3 Test Internals Assembly for
Run 4111

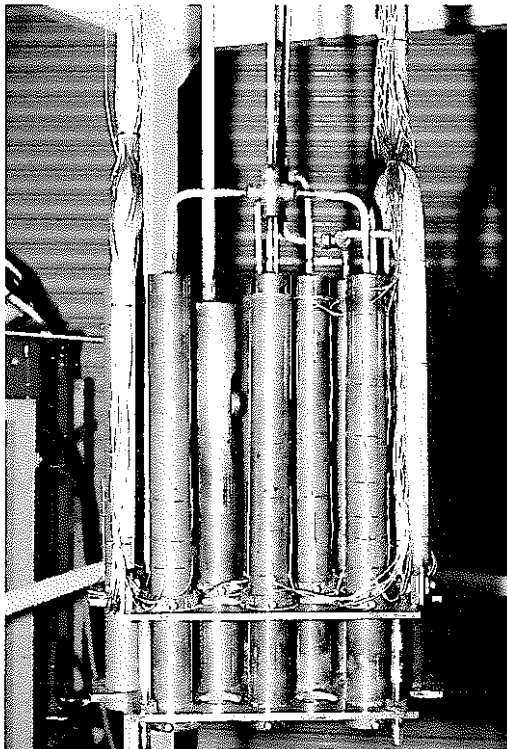


Fig. 5.2.2 Test Internals Assembly
for Run 4110



Fig. 5.5.3 Target Tubes Suffered
Ring Shape Wastage

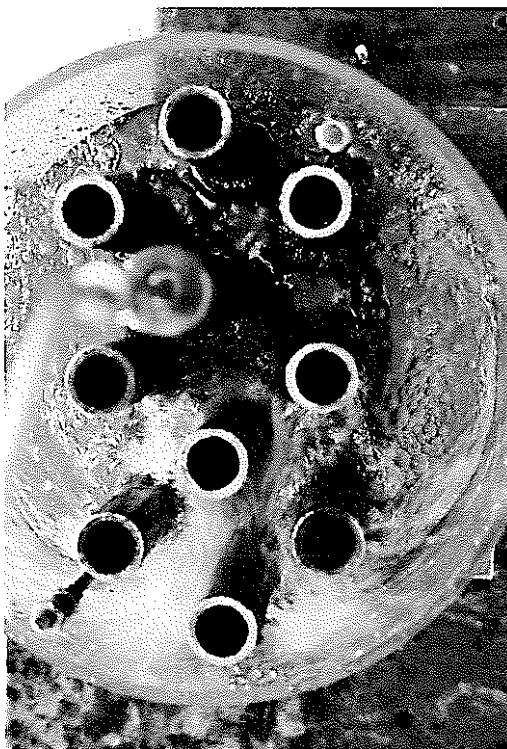


Fig. 5.4.1 Pre-Test Examination
Using N_2 Gas and Water

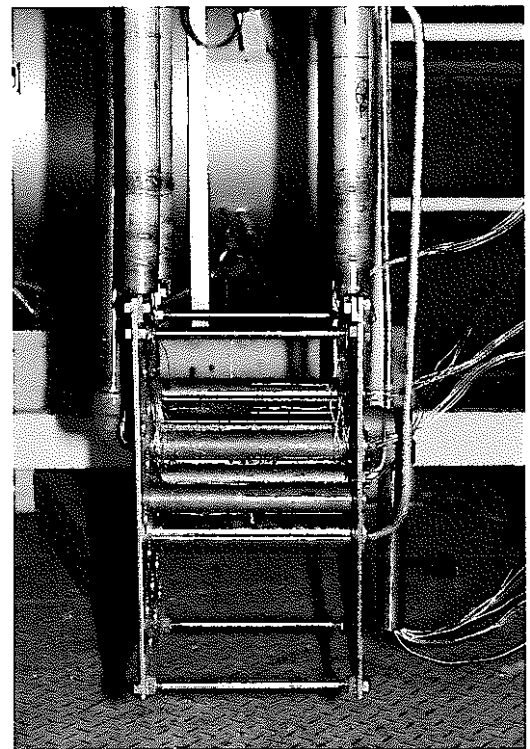


Fig. 6.2.2 Test Internals Assembly
for Run 4112

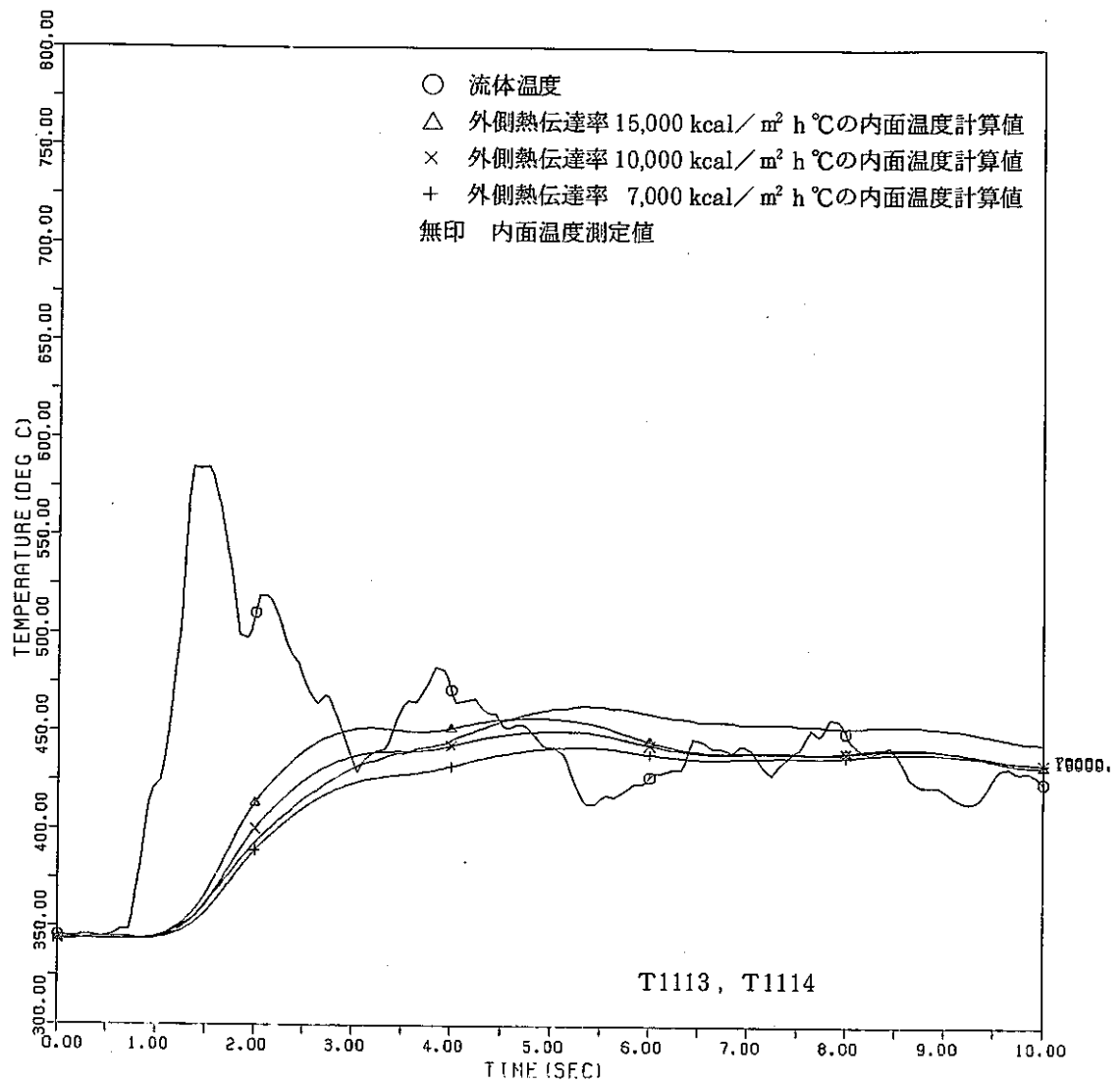


Fig. 6.5.4(a) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4112 Case - 1)

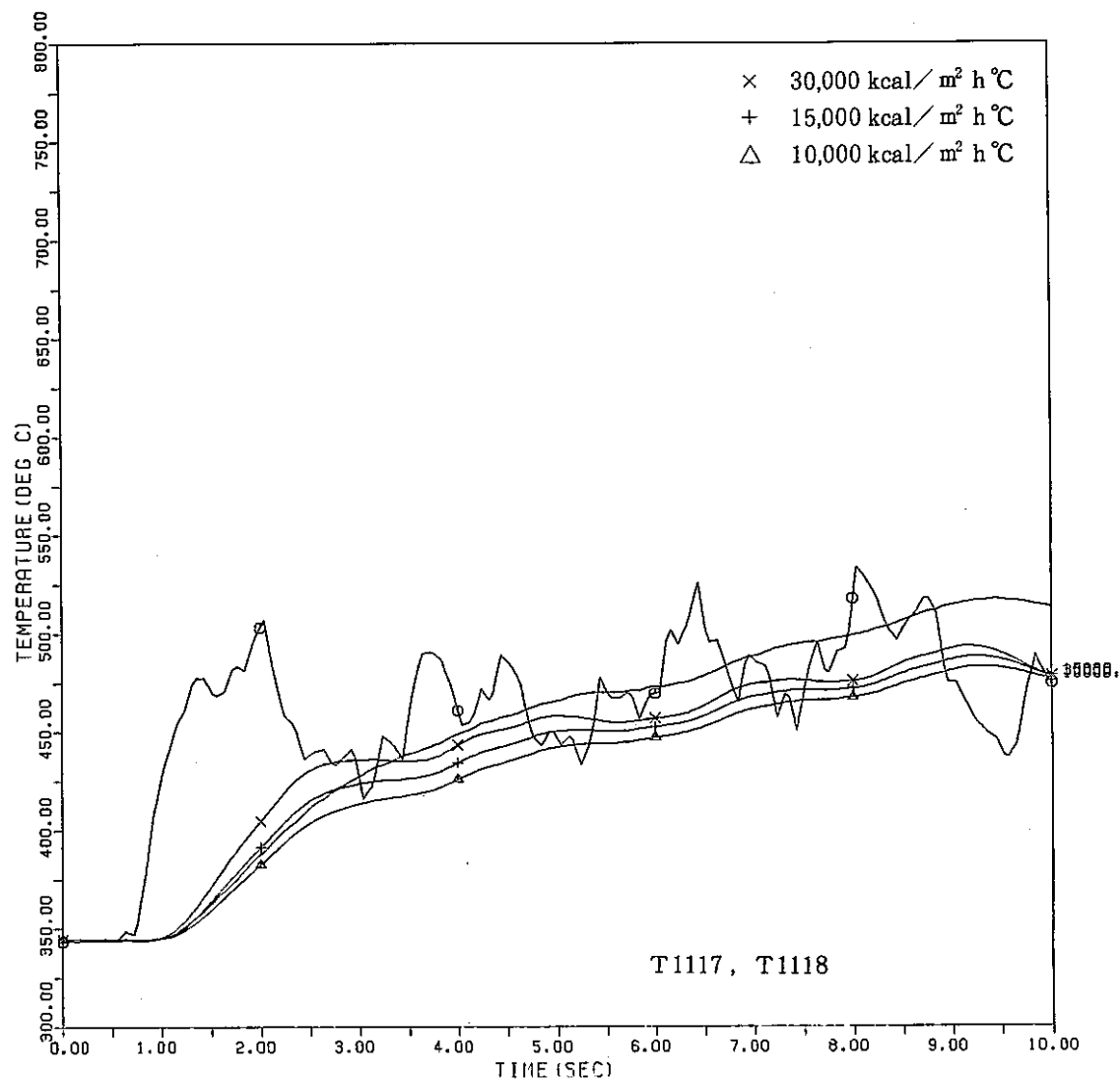


Fig. 6.5.4(b) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4112 Case - 1)

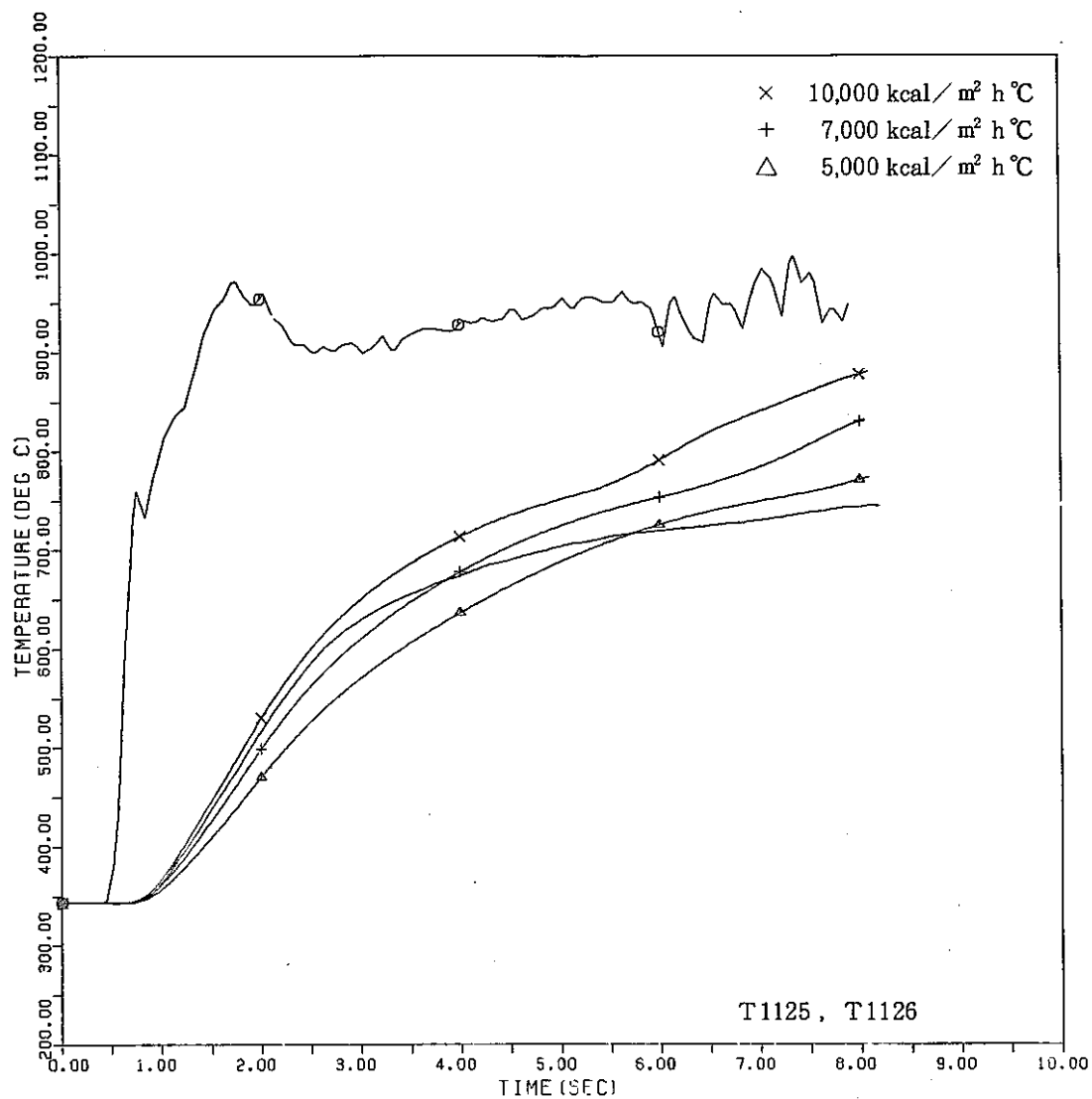


Fig. 6.5.4(c) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
(Run 4112 Case - 1)

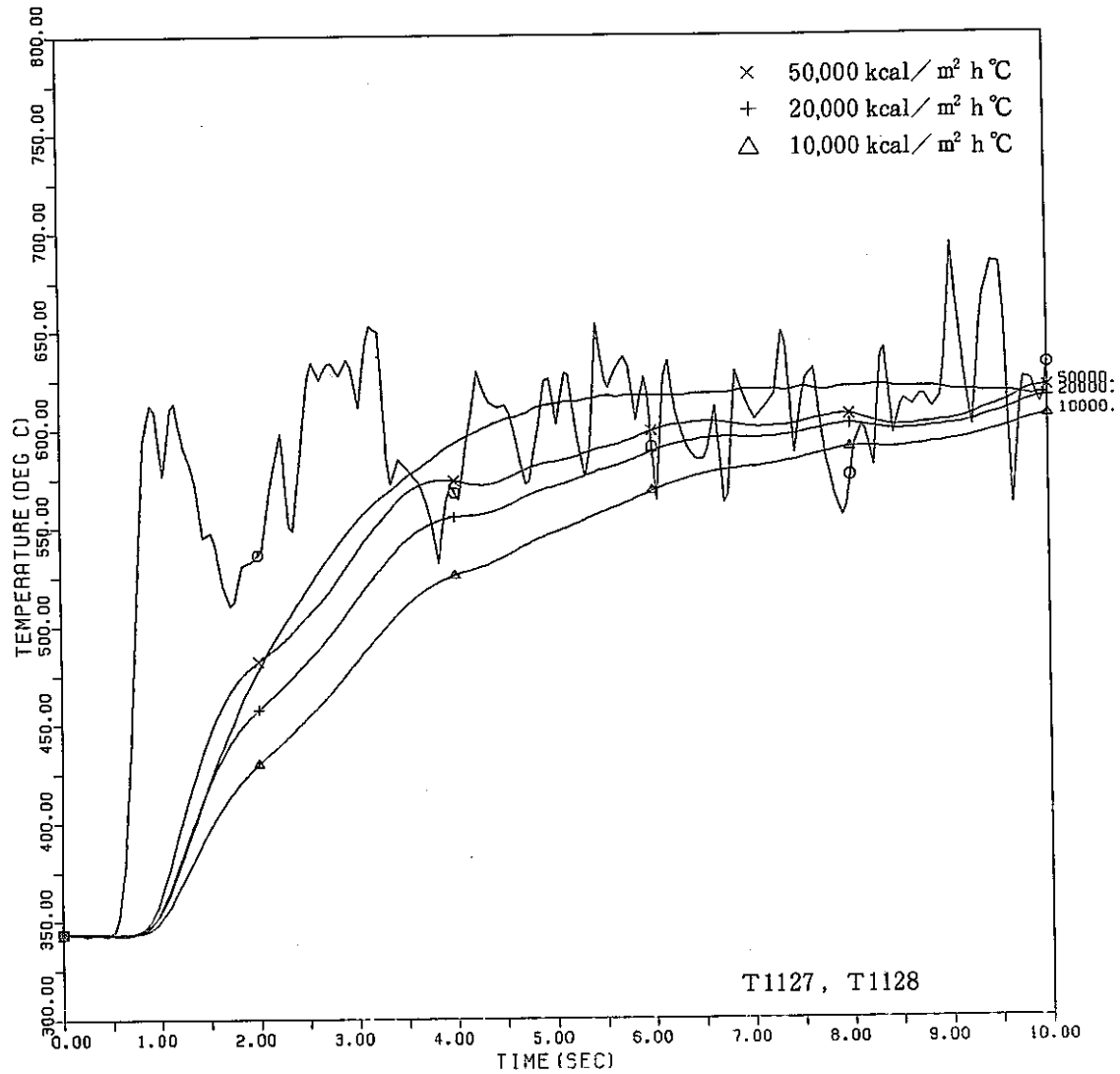


Fig. 6.5.4(d) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4112 Case - 1)

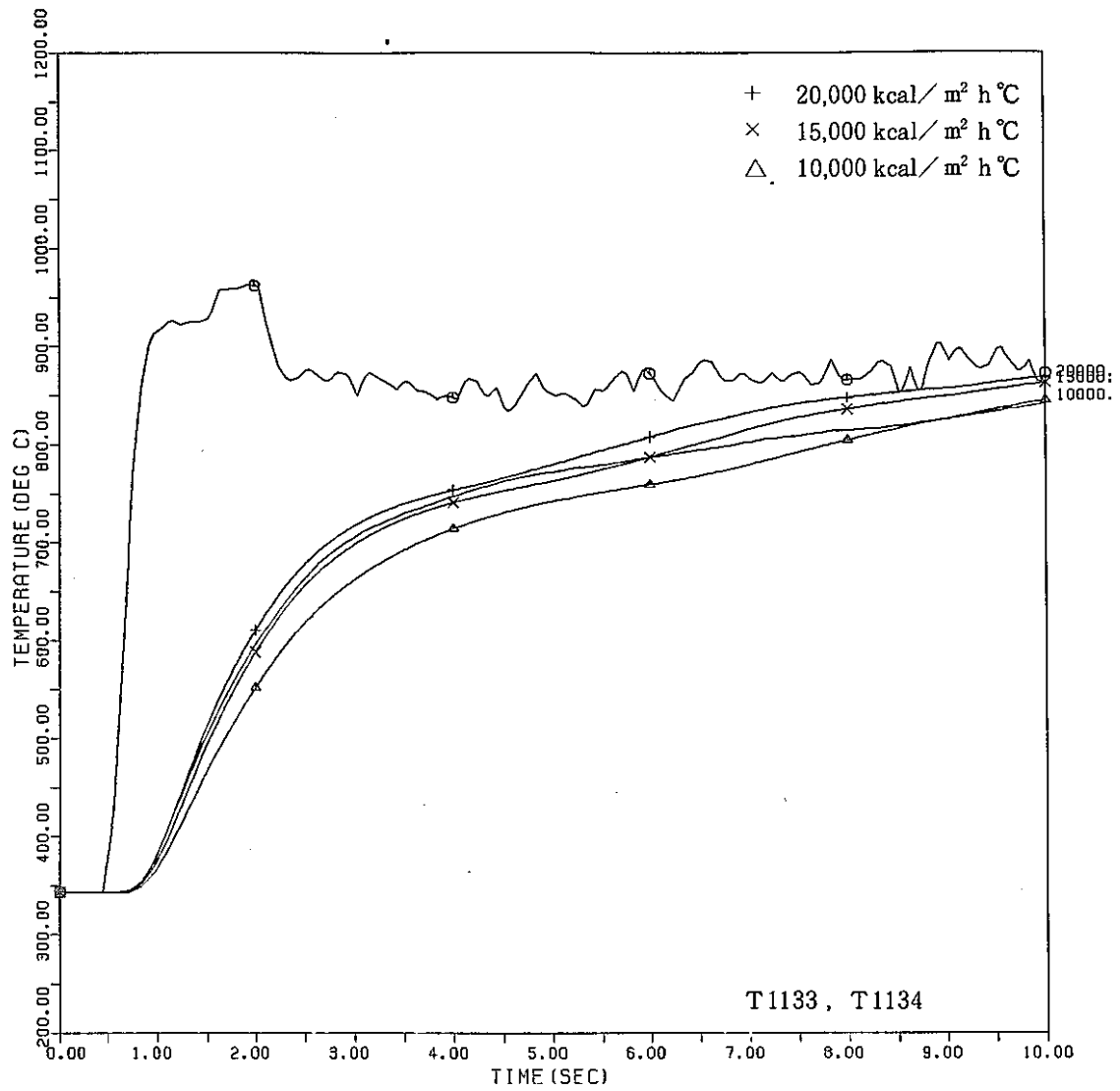


Fig. 6.5.4(e) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
(Run 4112 Case - 1)

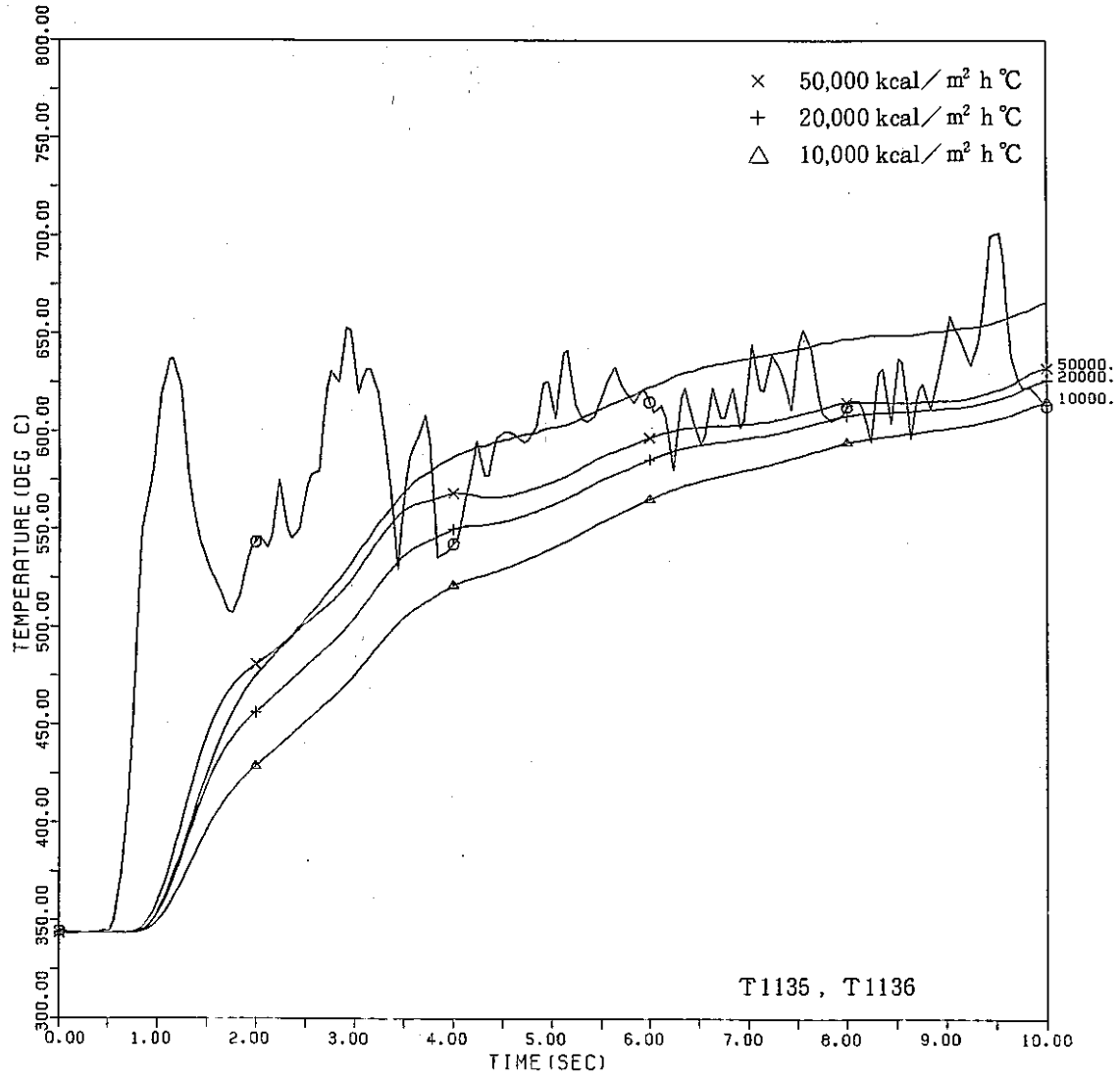
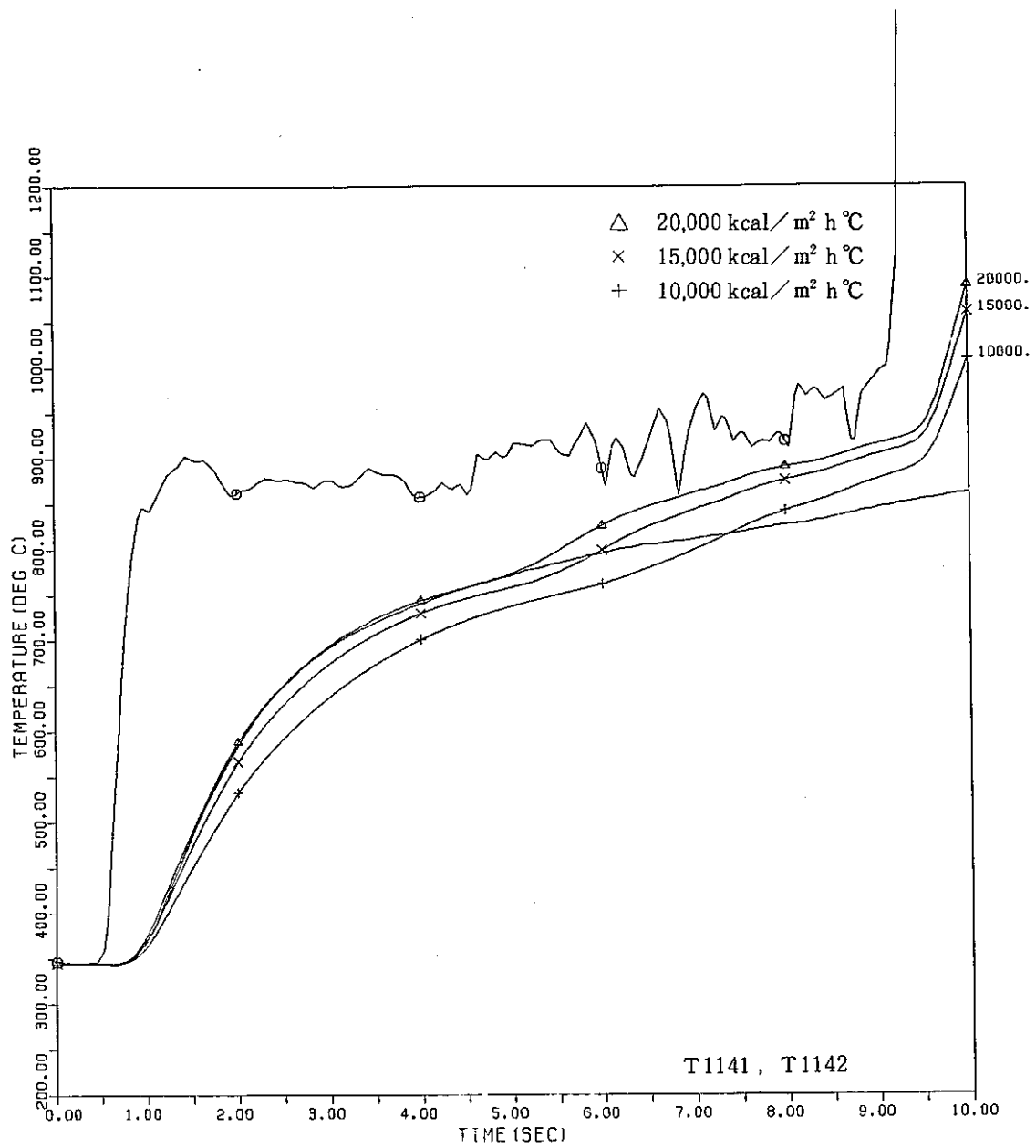


Fig. 6.5.4(f) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4112 Case - 1)



00000080

Fig. 6.5.4(g) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4112 Case - 1)

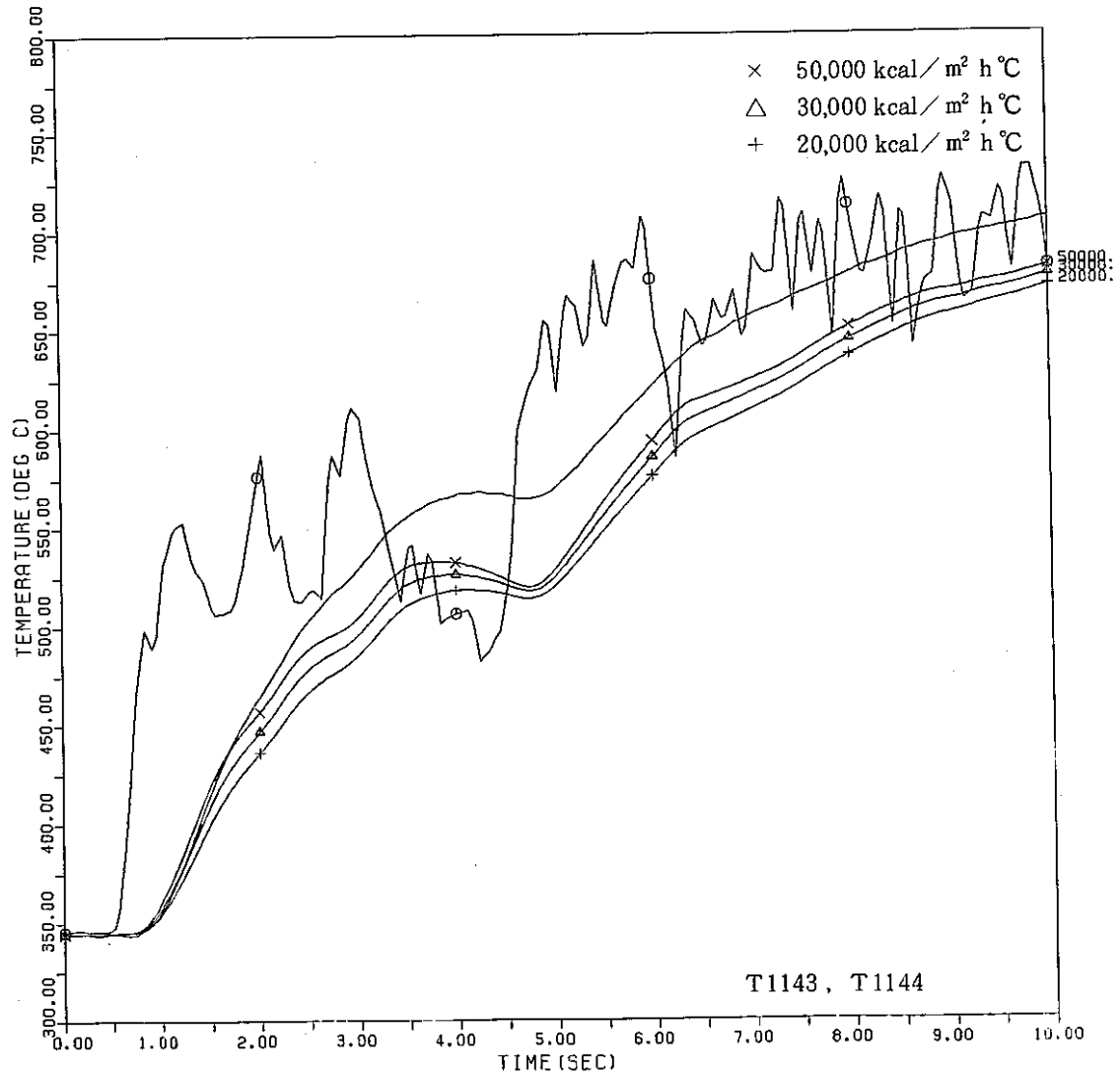
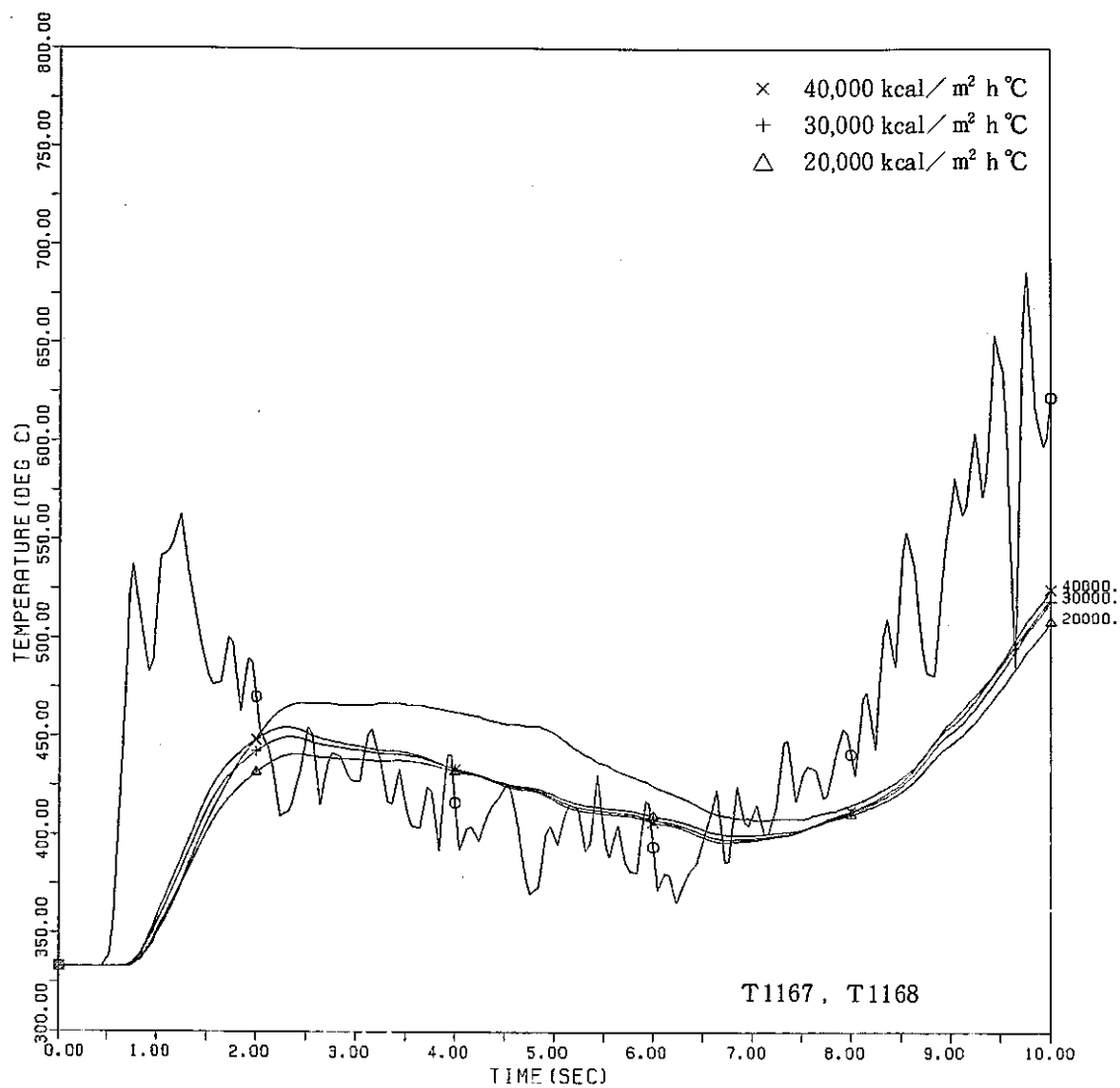


Fig. 6.5.4(h) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4112 Case - 1)



0000000

Fig. 6.5.4(i) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
(Run 4112 Case - 1)

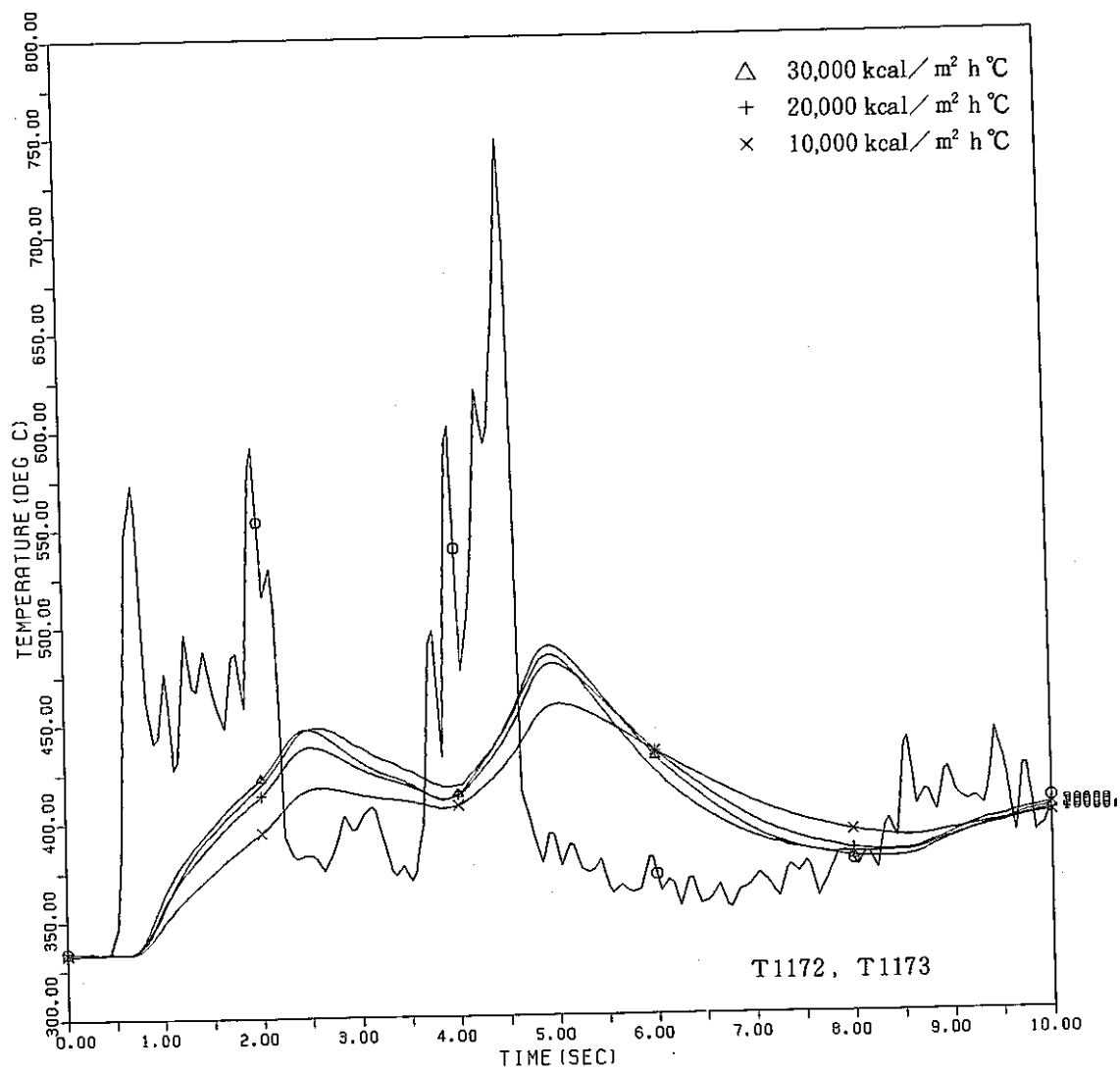


Fig. 6.5.4(j) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4112 Case - 1)

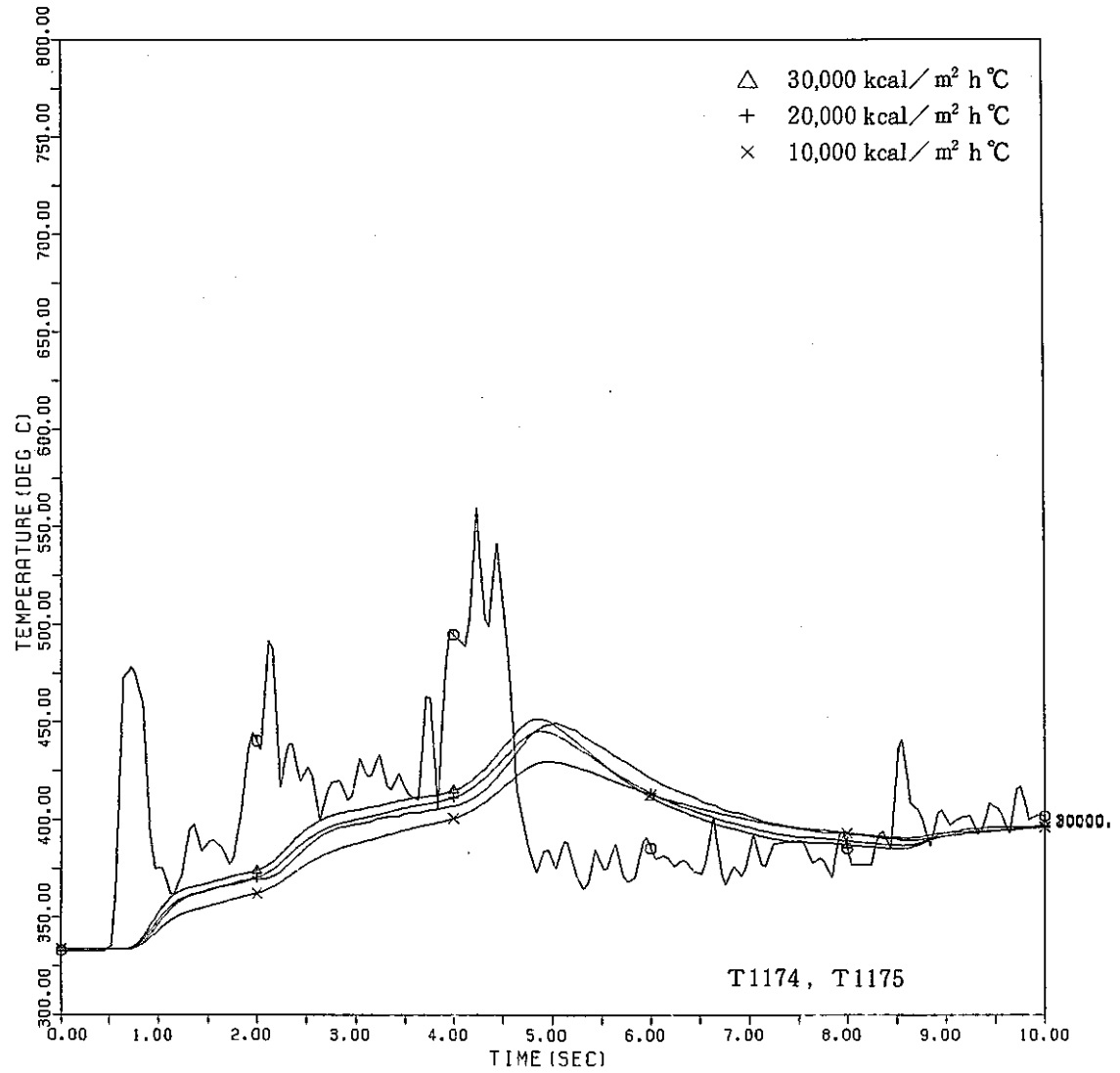


Fig. 6.5.4(k) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4112 Case - 1)

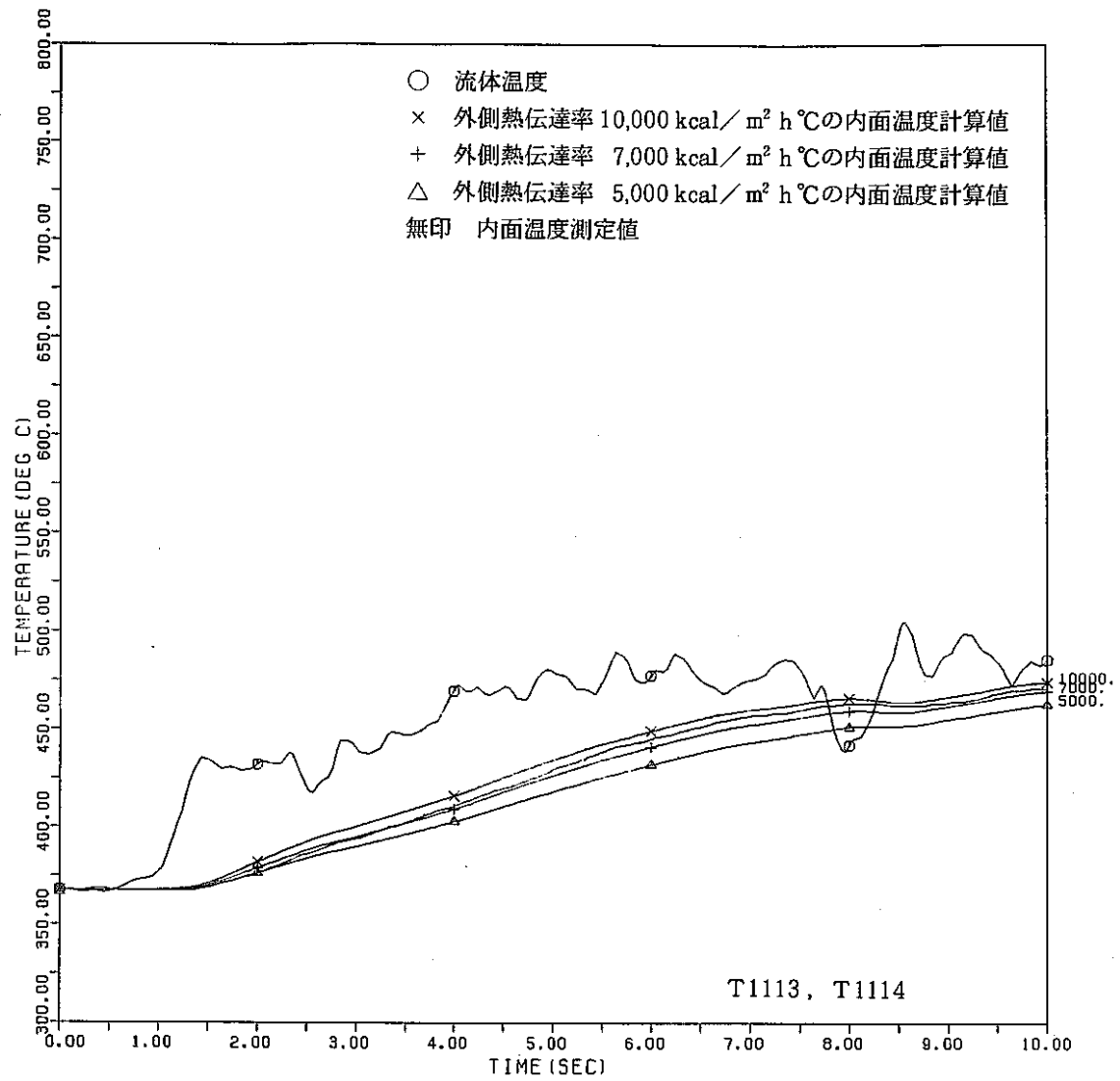


Fig. 6.5.5(a) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4112 Case - 2)

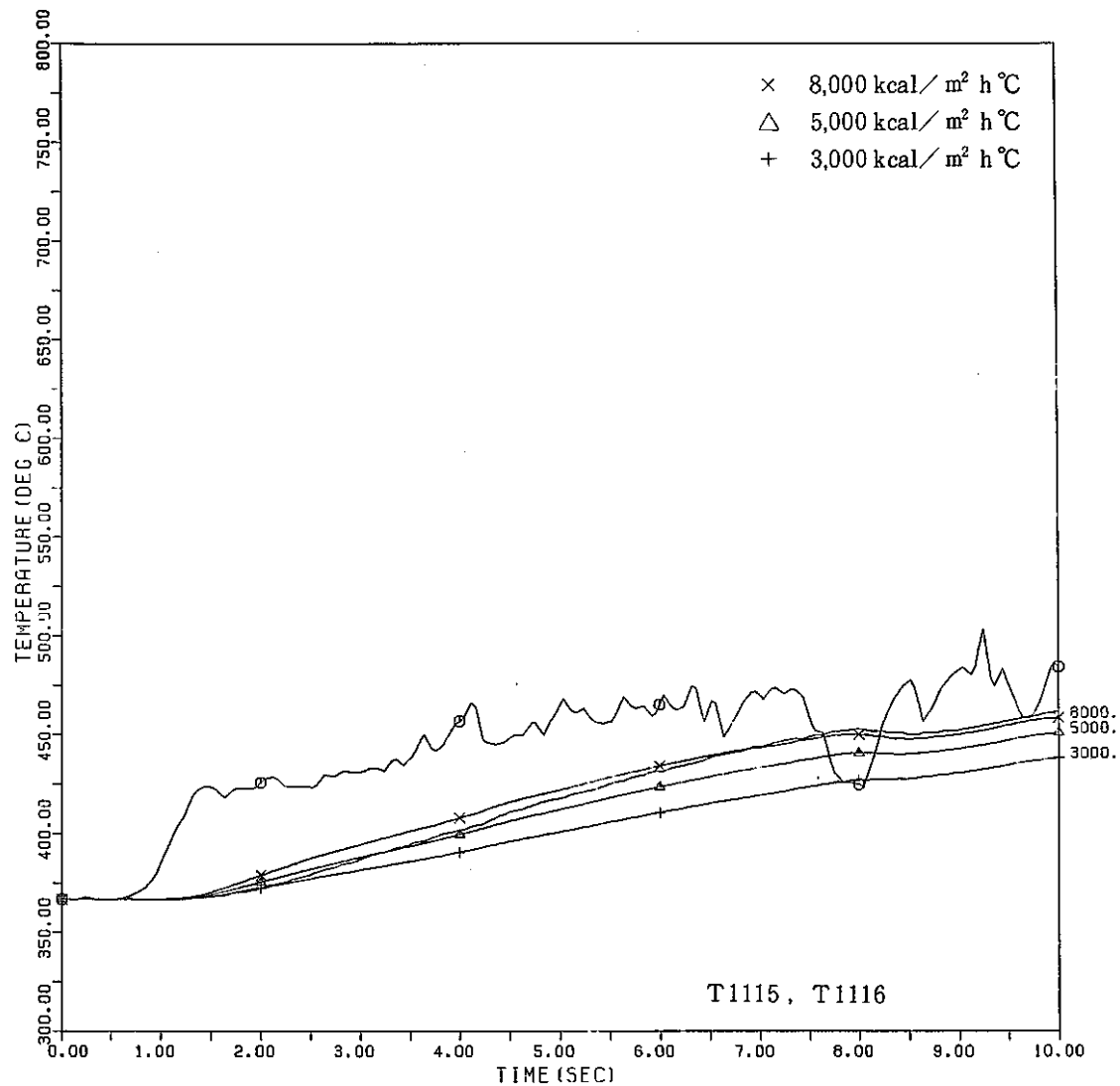


Fig. 6.5.5(b) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
(Run 4112 Case - 2)

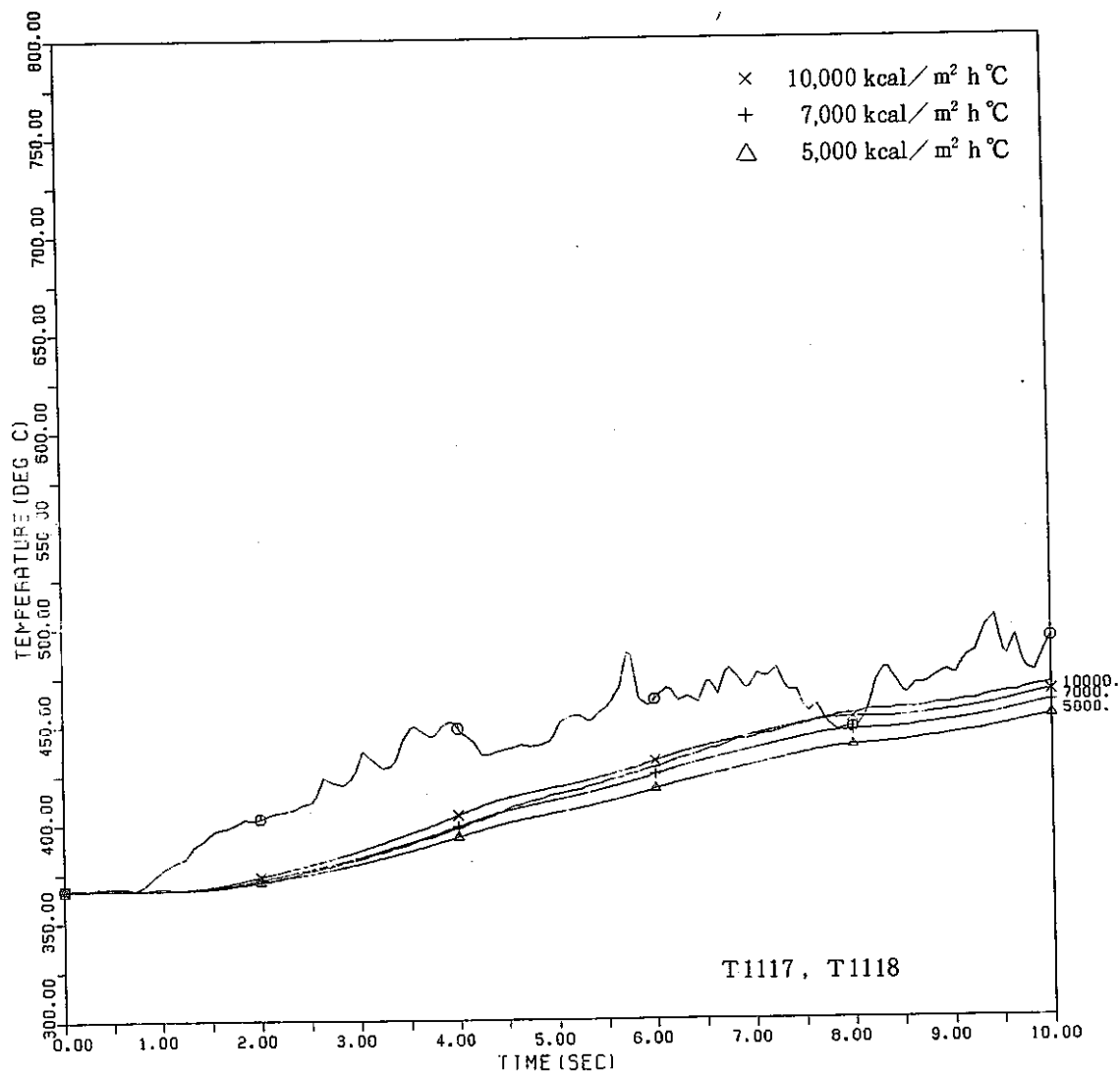


Fig. 6.5.5(c) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
(Run 4112 Case - 2)

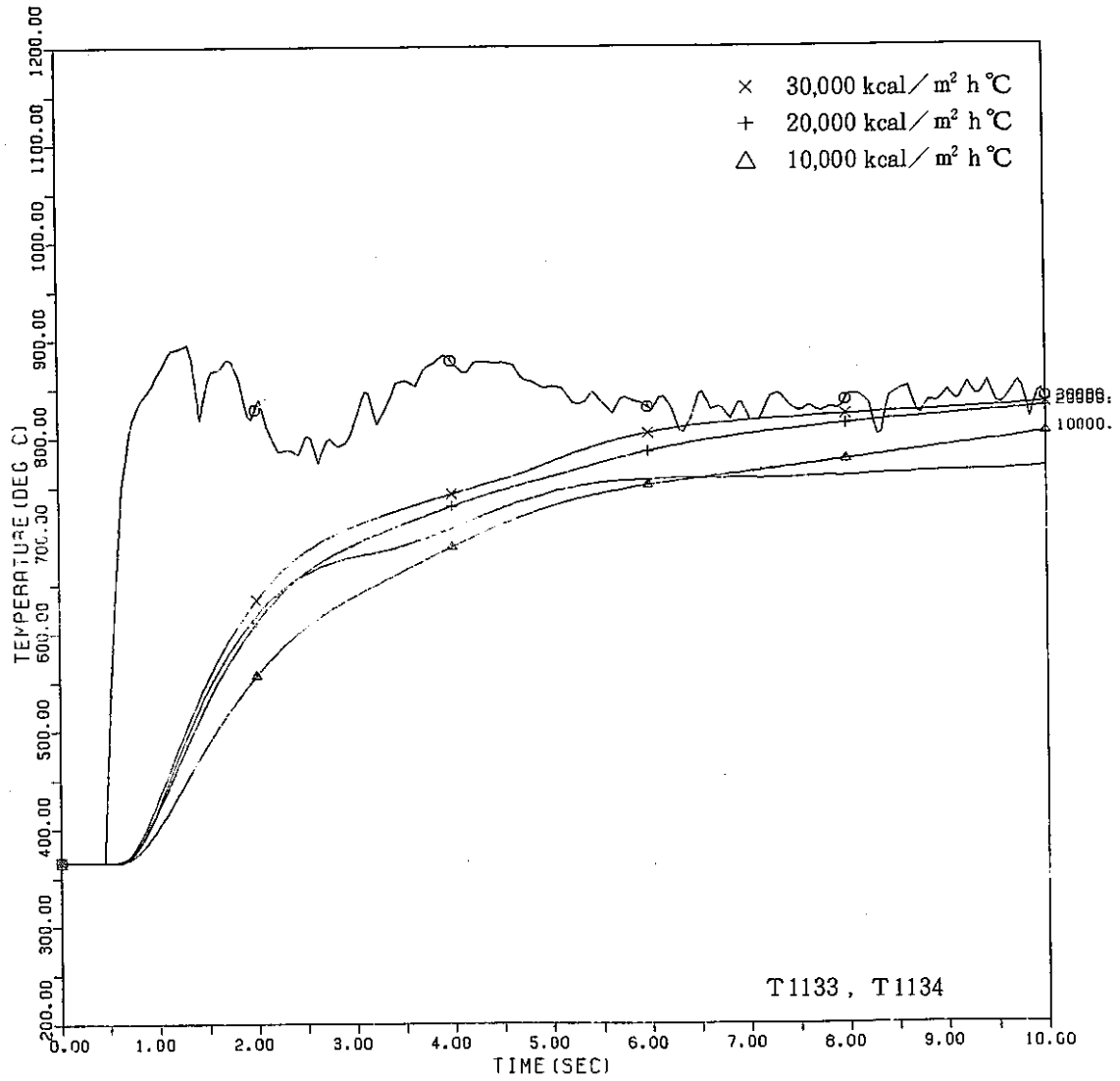


Fig. 6.5.5(d) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4112 Case - 2)

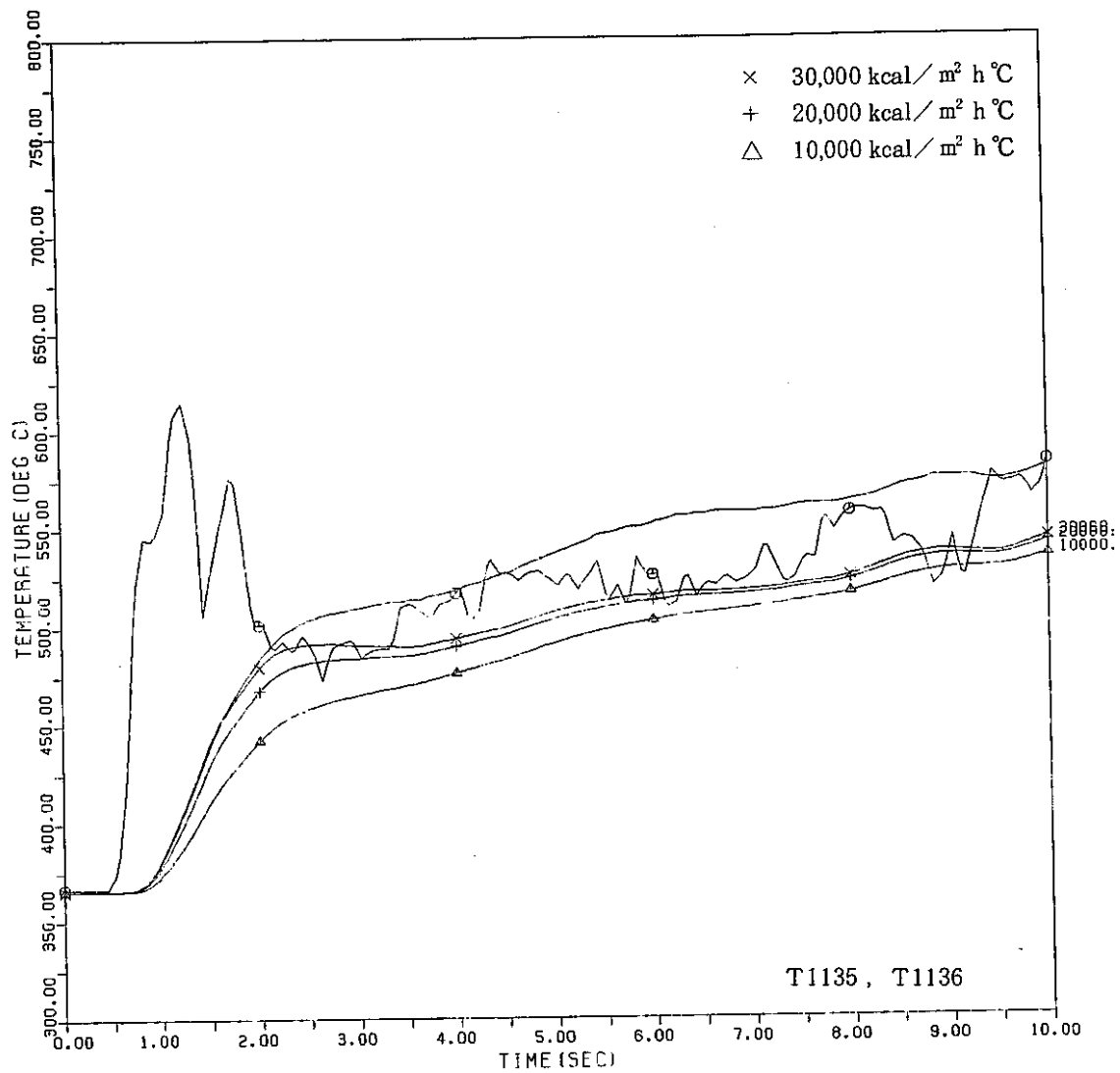


Fig. 6.5.5(e) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4112 Case - 2)

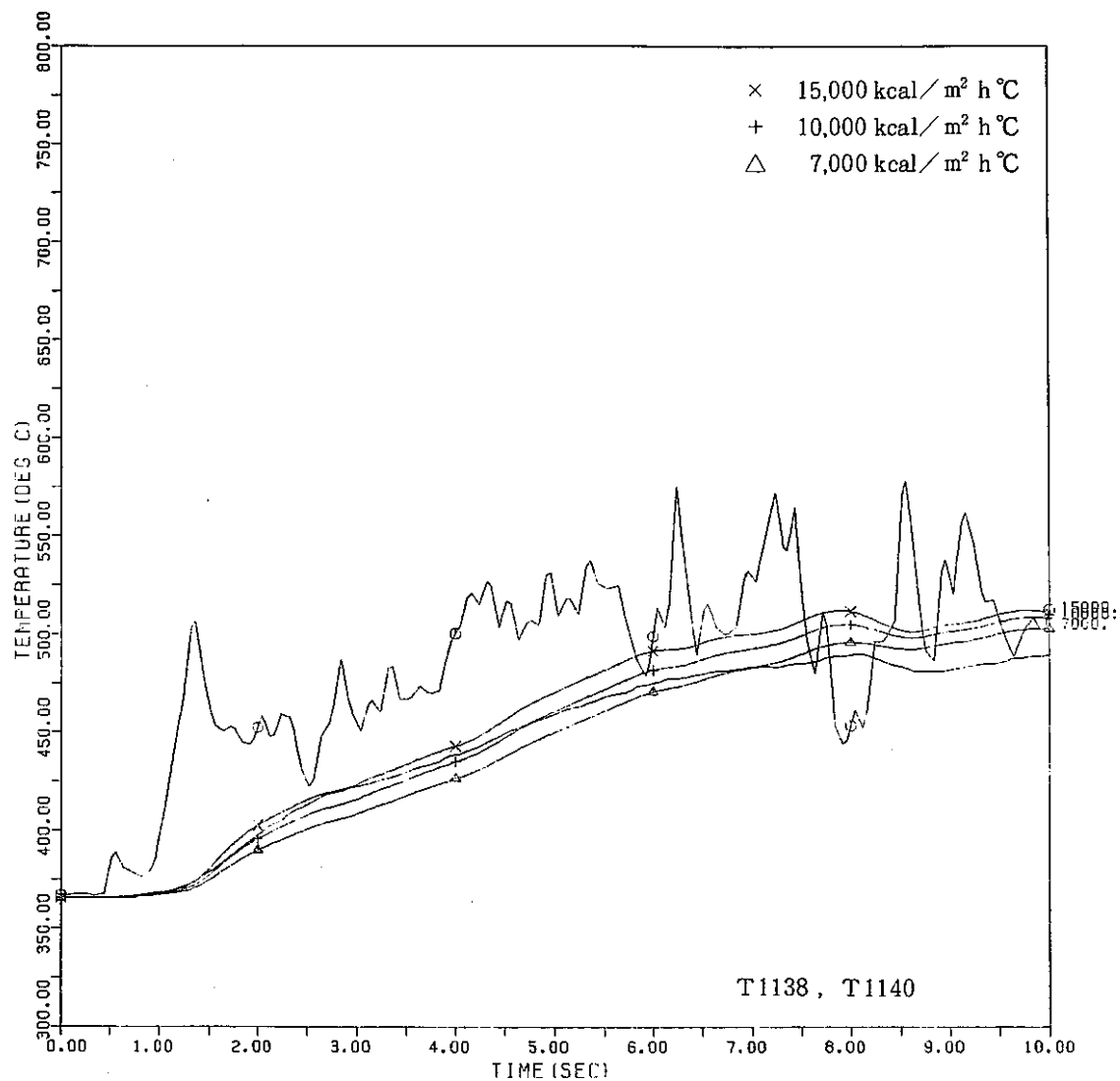


Fig. 6.5.5(f) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
(Run 4112 Case - 2)

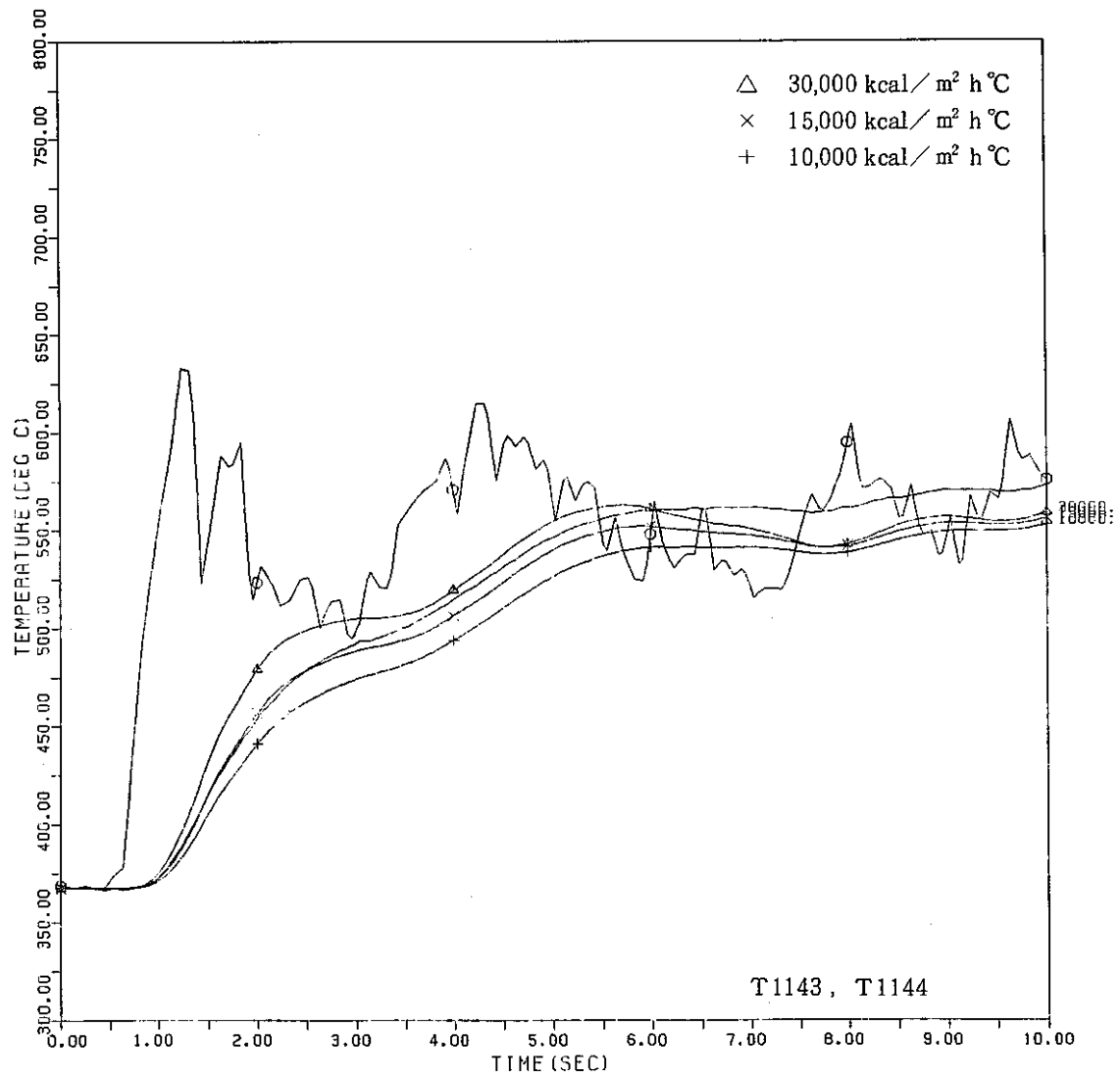


Fig. 6.5.5(g) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4112 Case - 2)

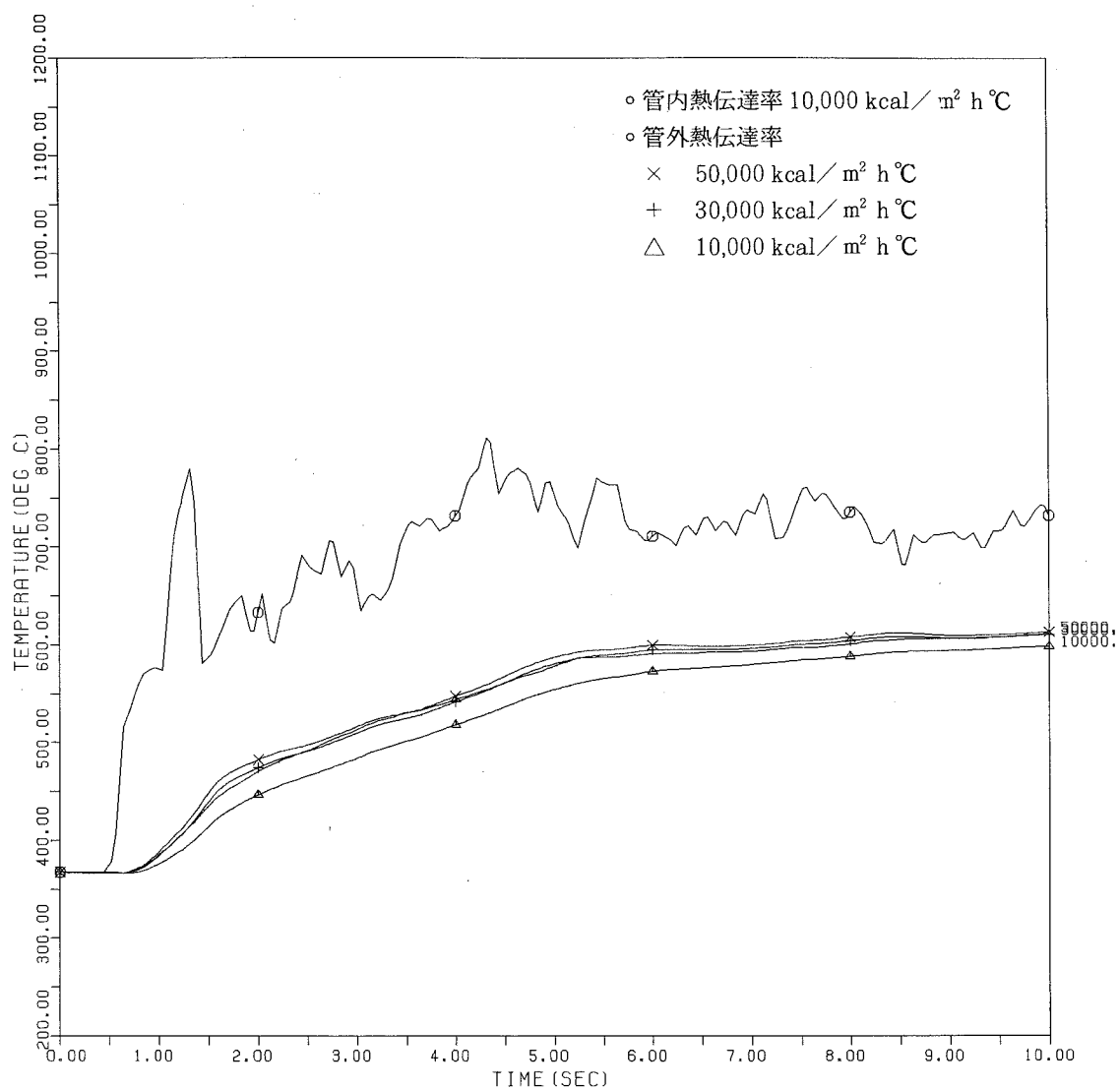


Fig. 6.5.5(h) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4112 Case - 2)

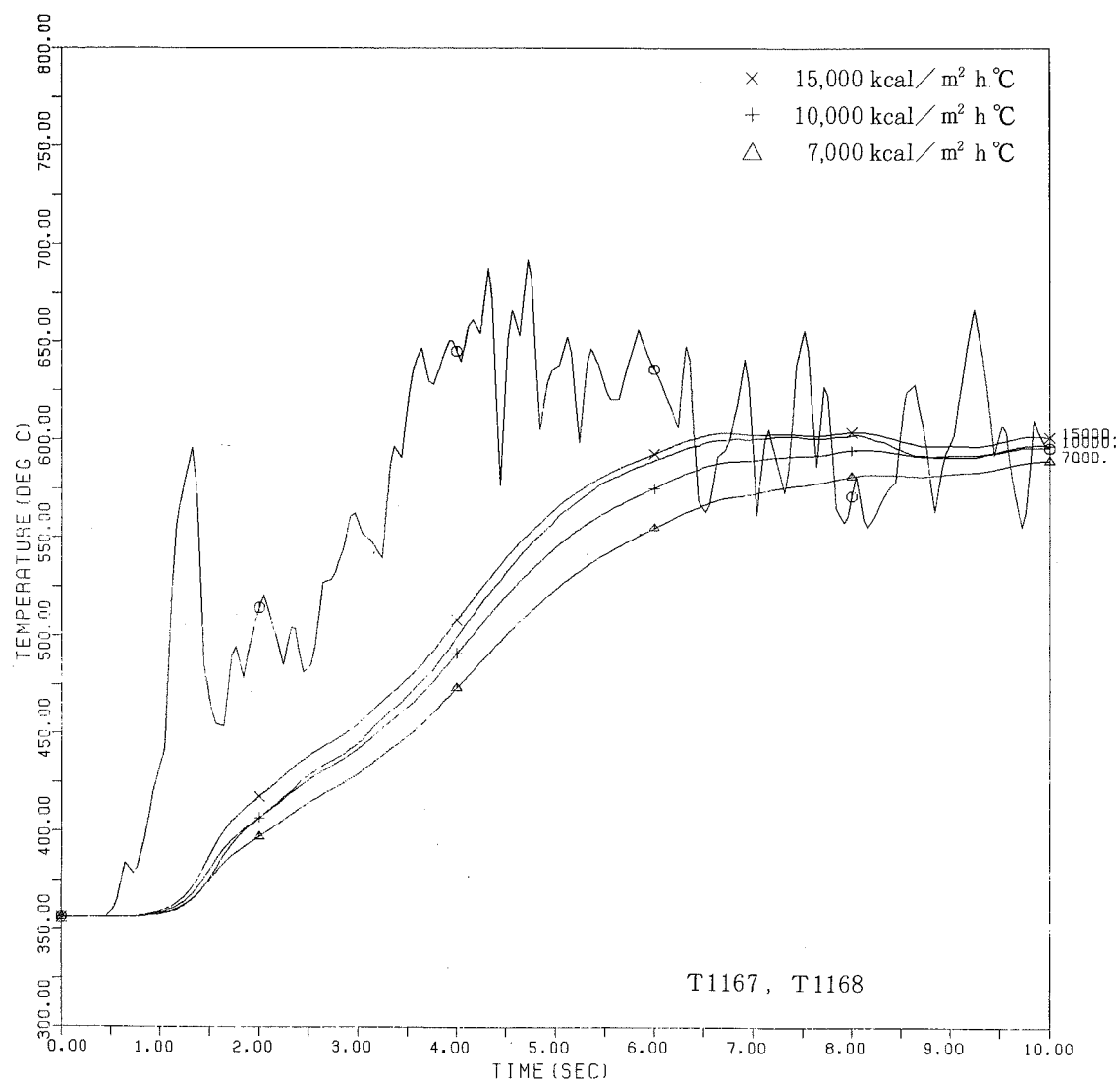


Fig. 6.5.5(i) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4112 Case - 2)

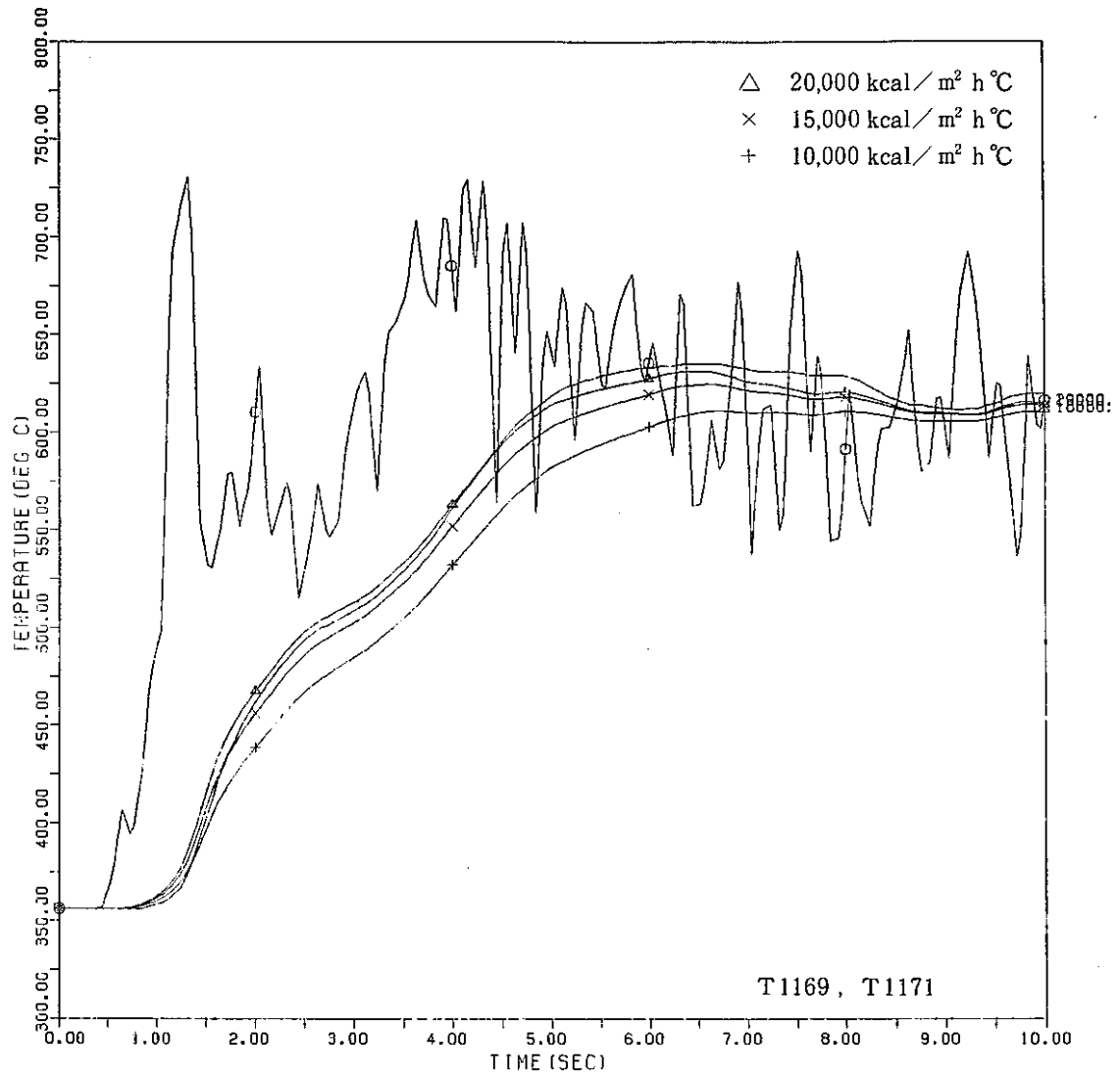


Fig. 6.5.5(j) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4112 Case-2)

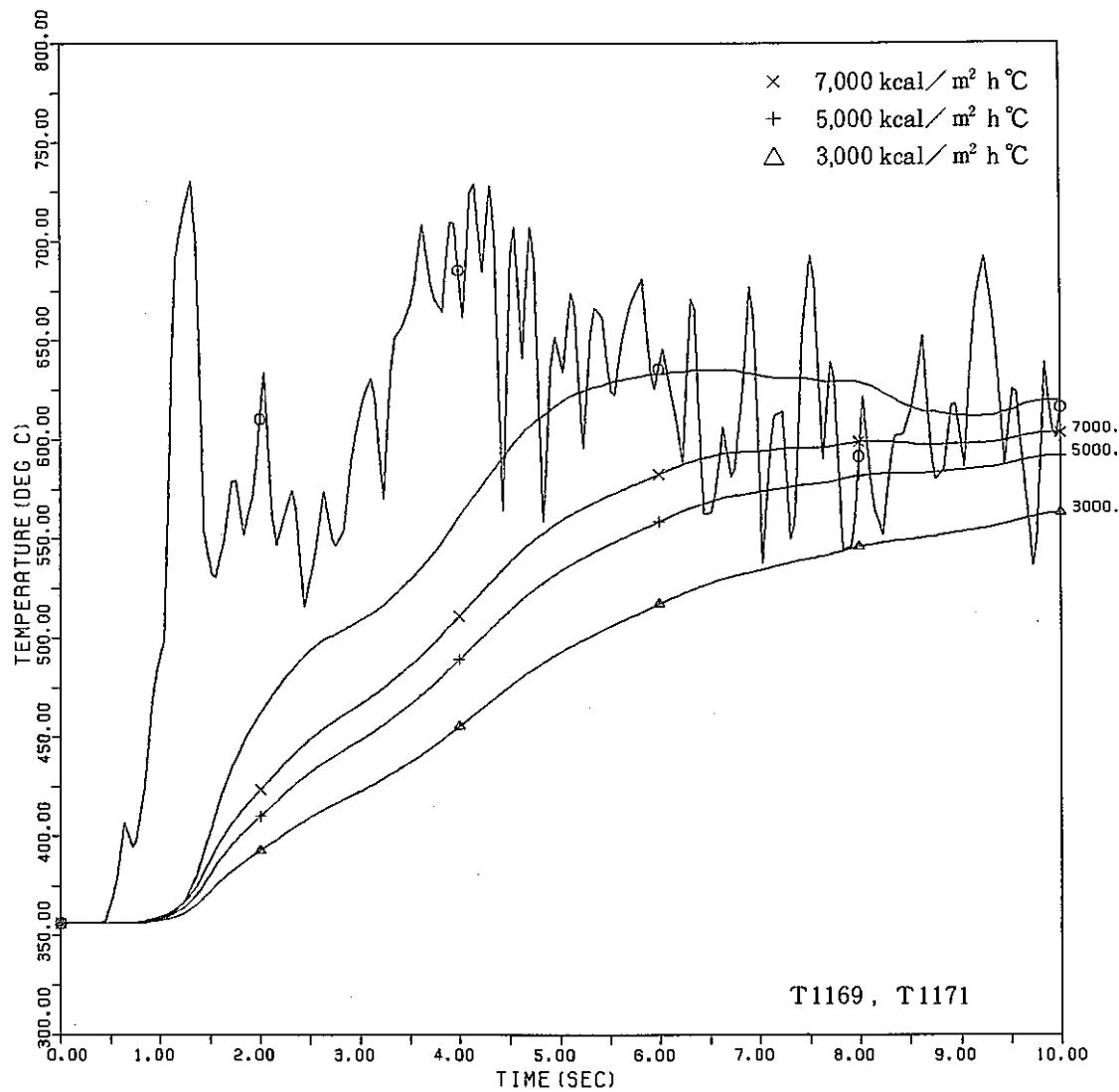


Fig. 6.5.5(j) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4112 Case - 2)

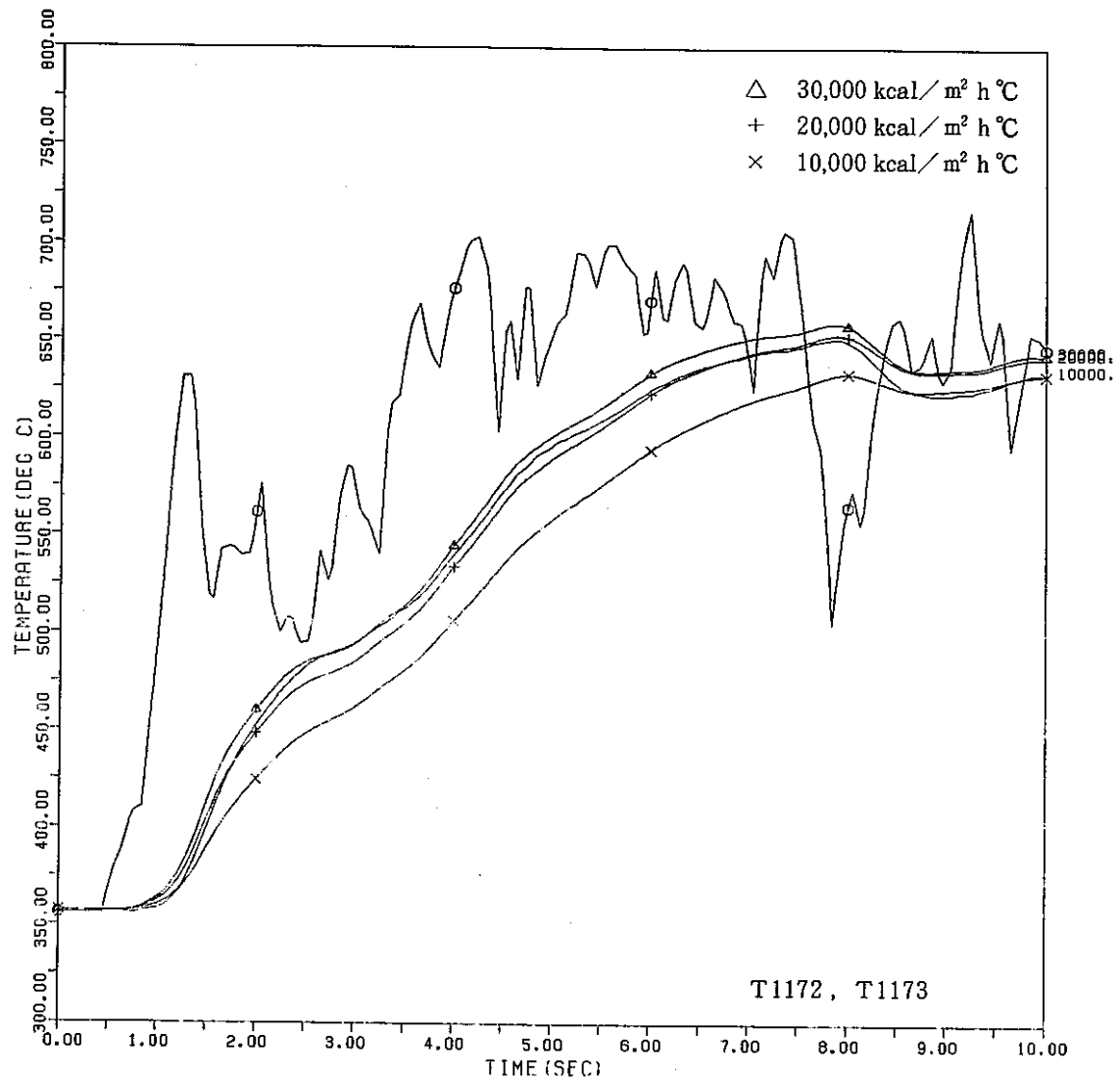


Fig. 6.5.5(k) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4112 Case - 2)

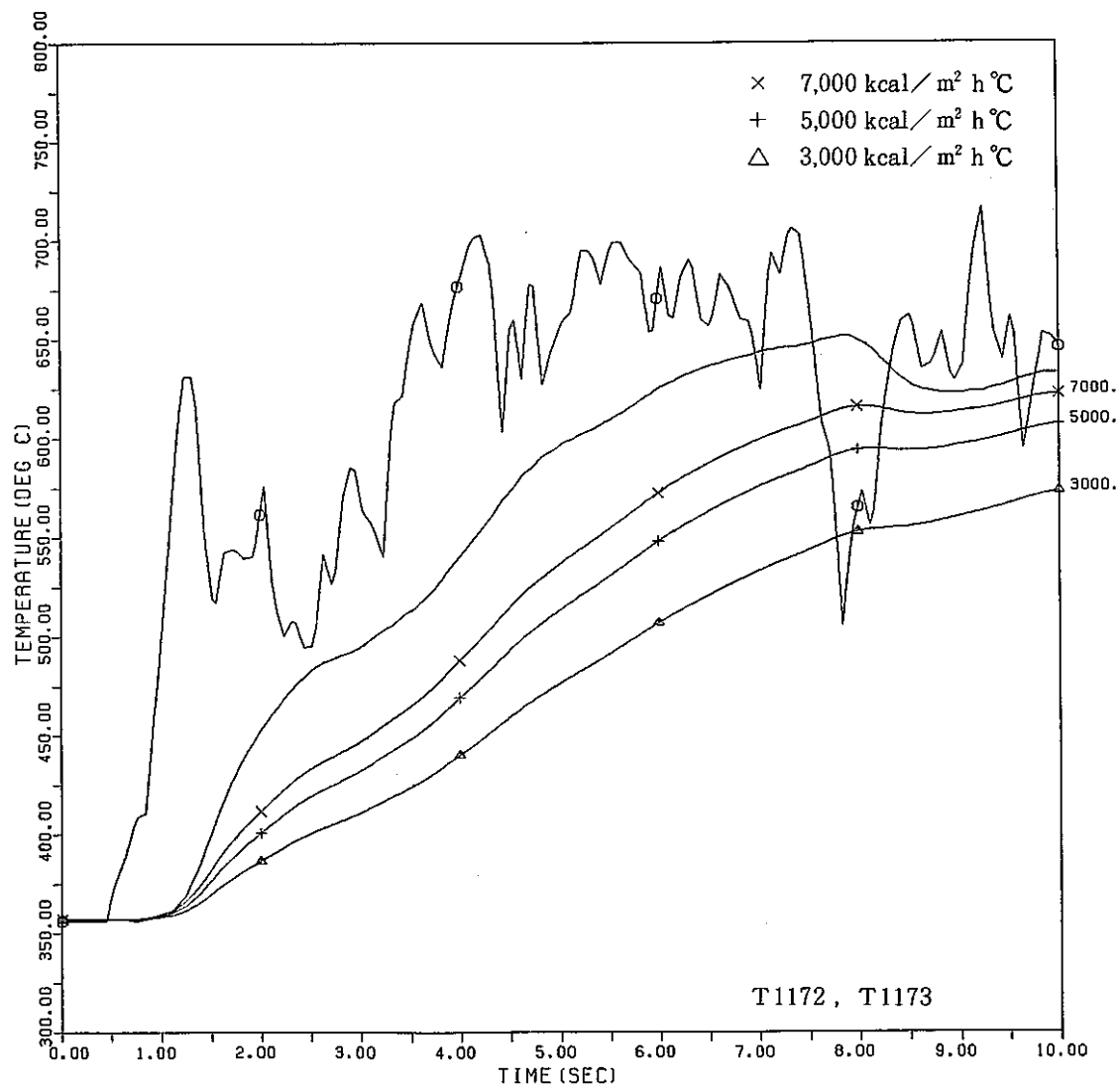


Fig. 6.5.5(k) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4112 Case - 2)

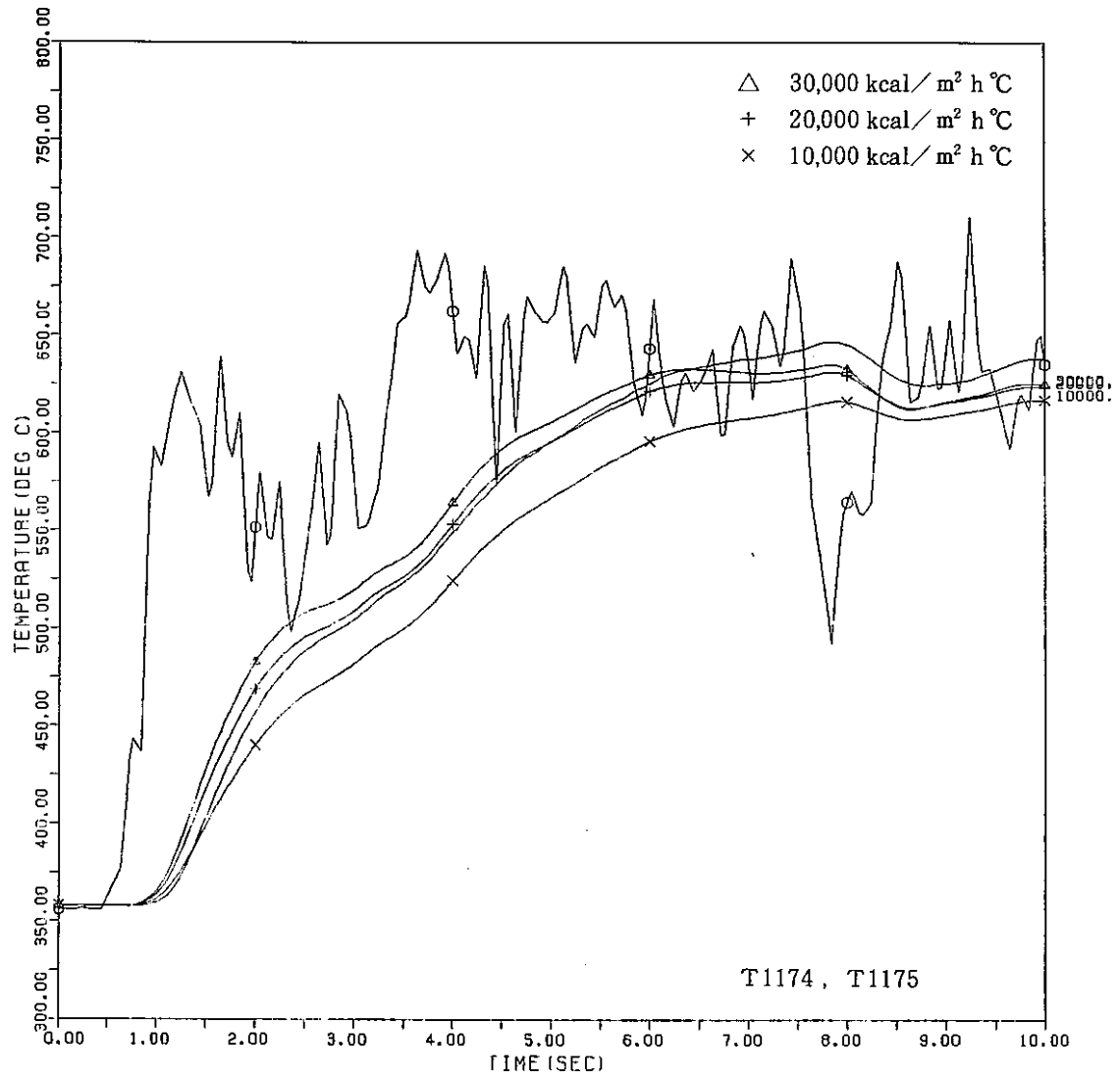


Fig. 6.5.5(1) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4112 Case - 2)

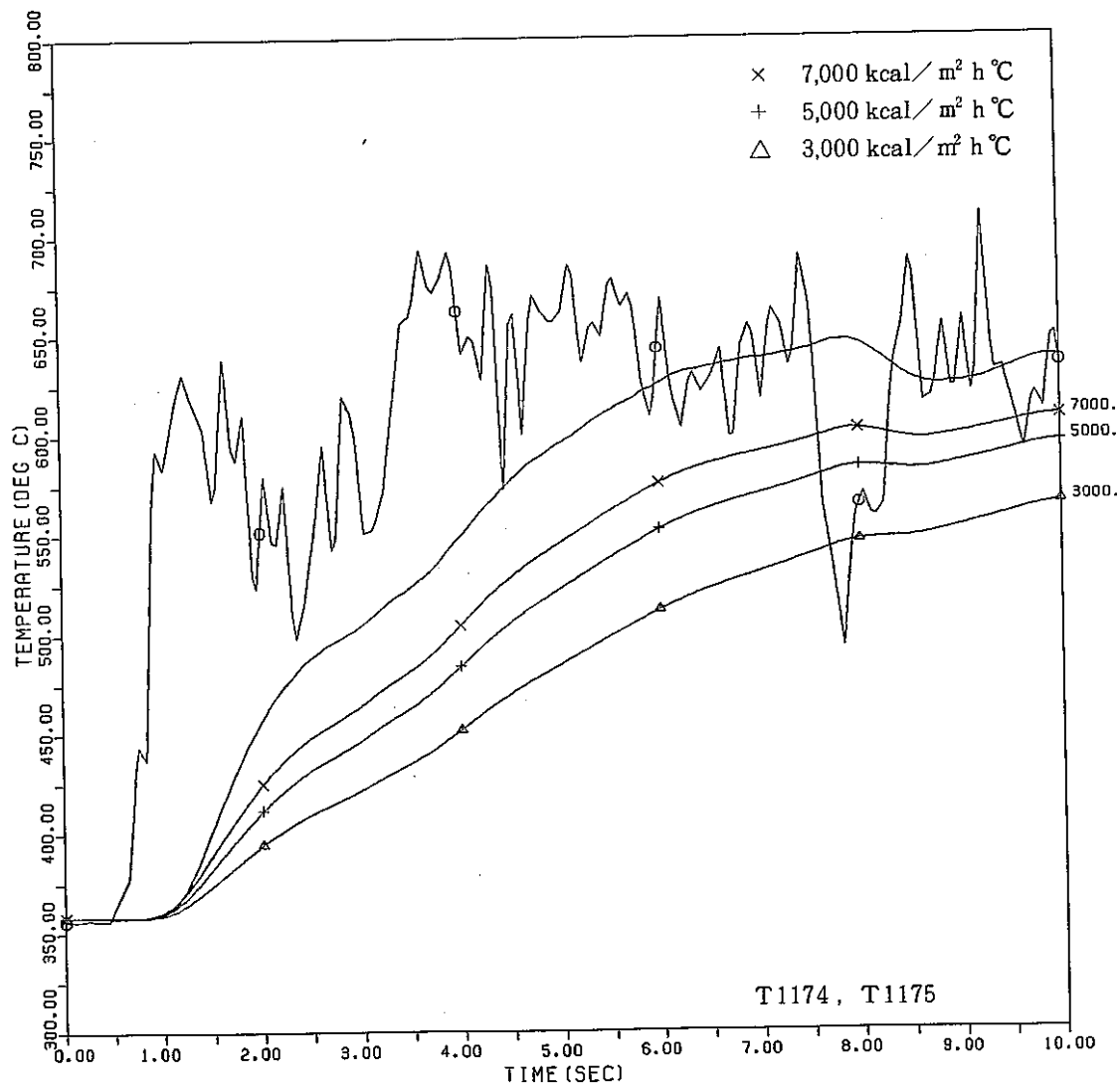


Fig. 6.5.5(1) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4112 Case - 2)

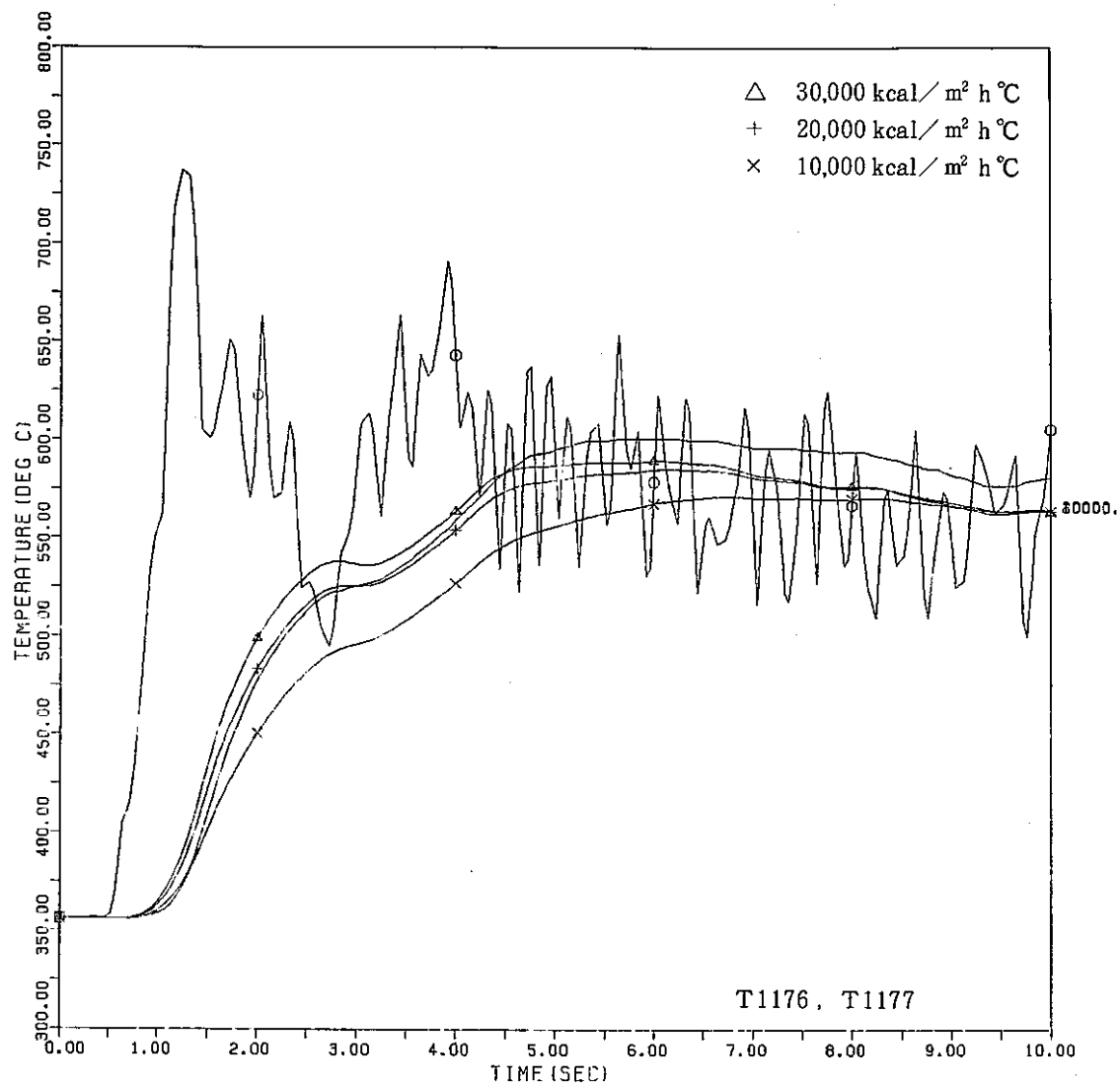


Fig. 6.5.5(m) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4112 Case - 2)

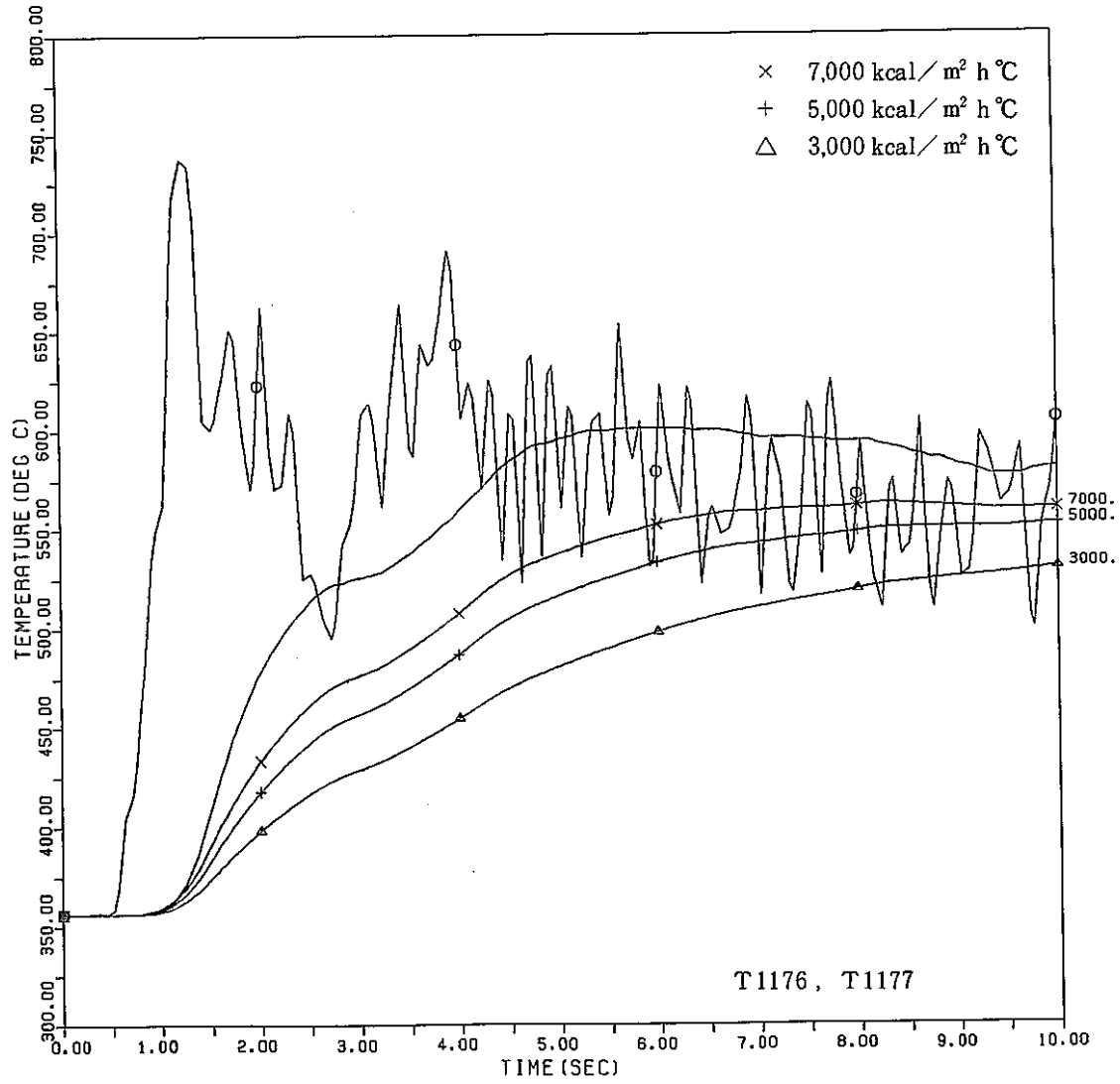


Fig. 6.5.5 (m) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
(Run 4112 Case - 2)

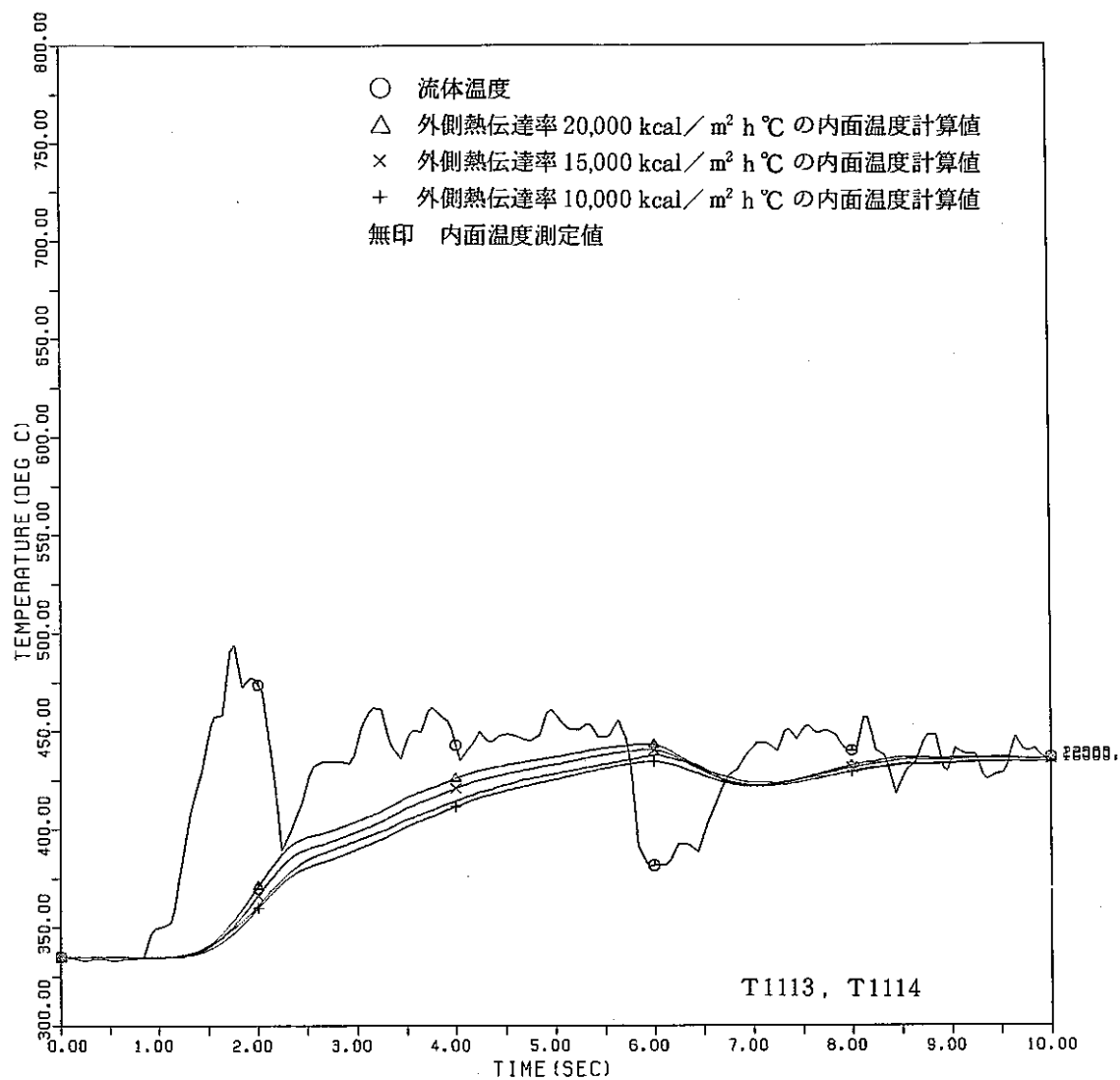


Fig. 6.5.6(a) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4113)

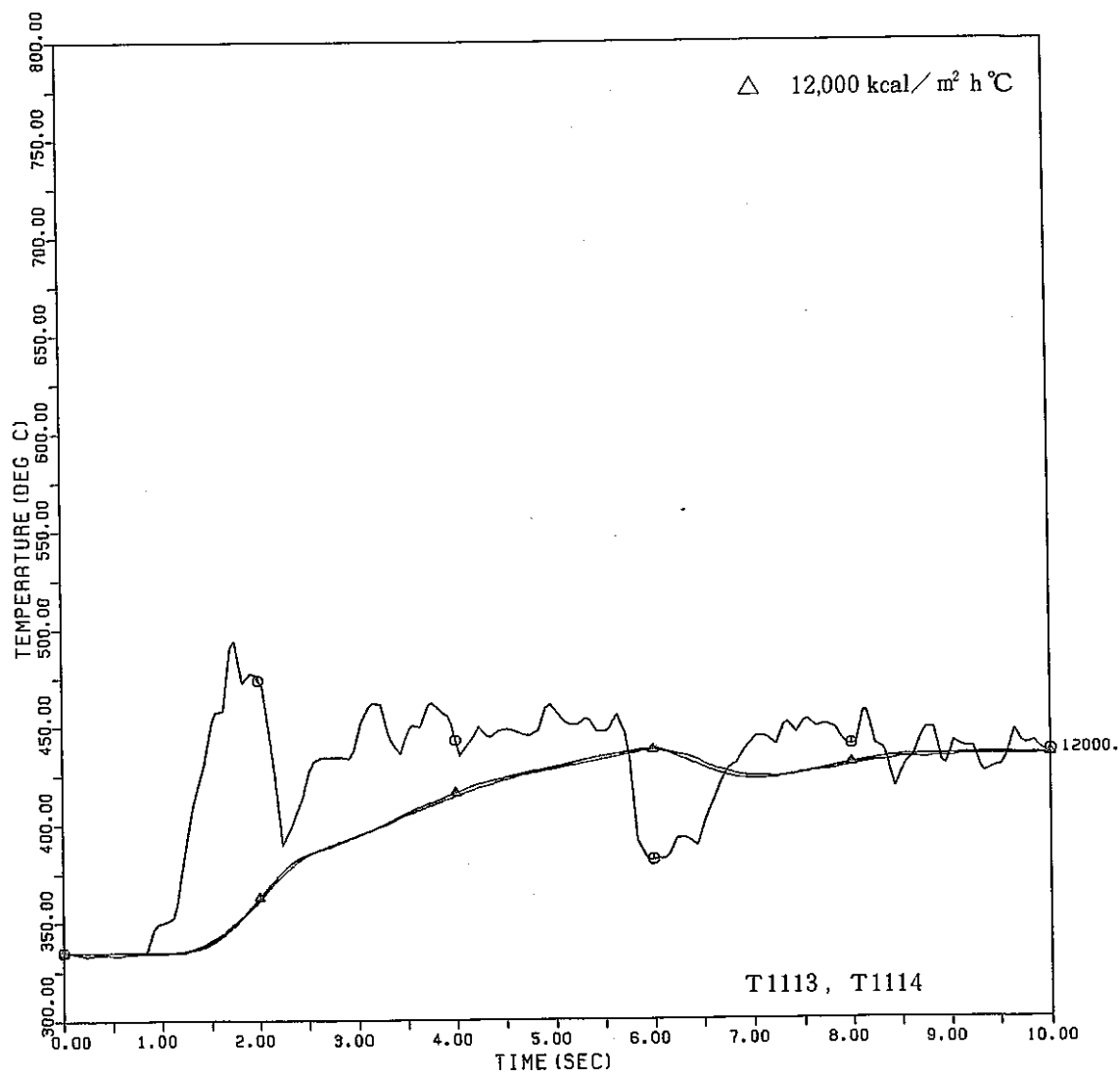


Fig. 6.5.6(a) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
(Run 4113)

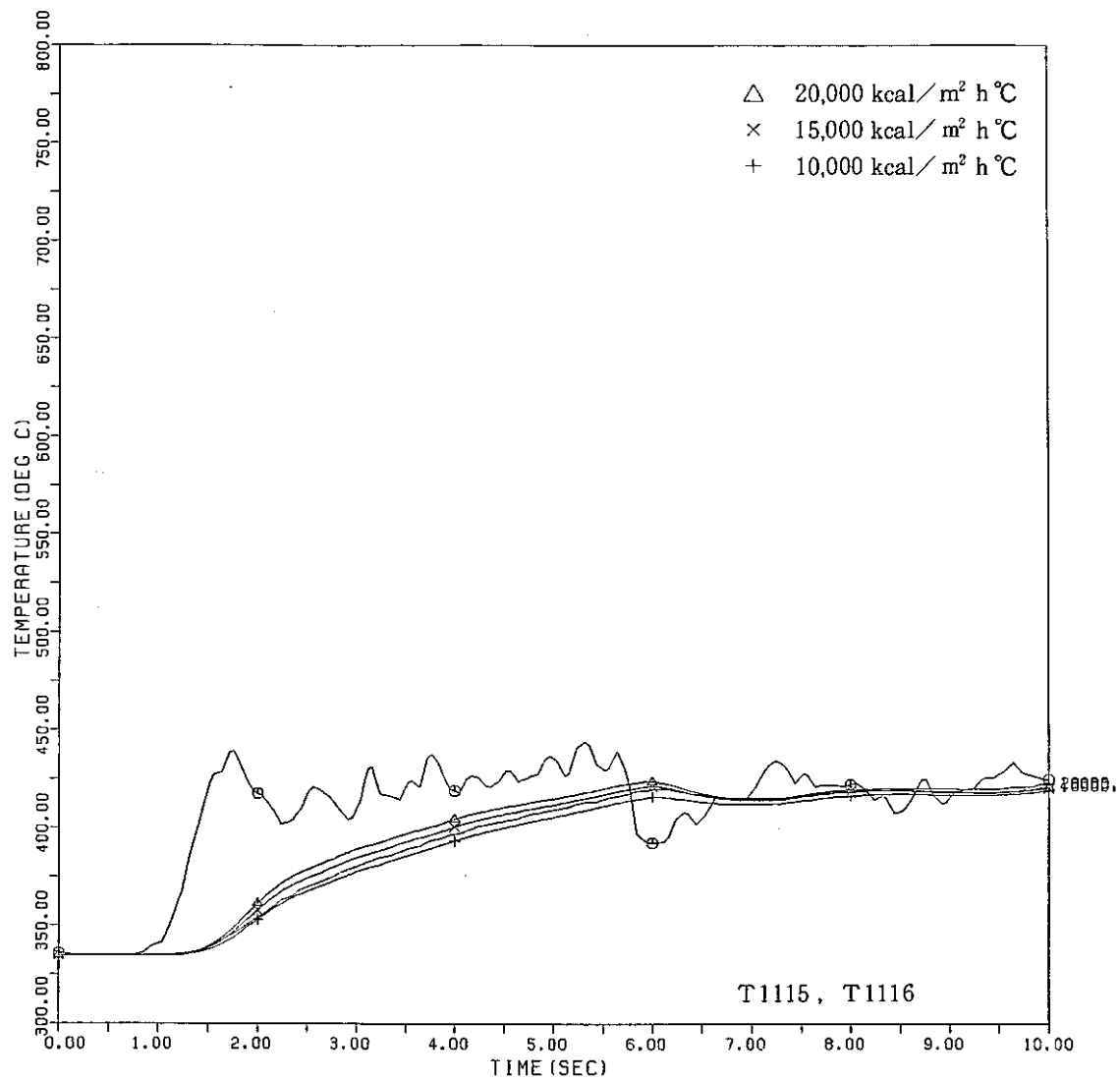


Fig. 6.5.6(b) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4113)

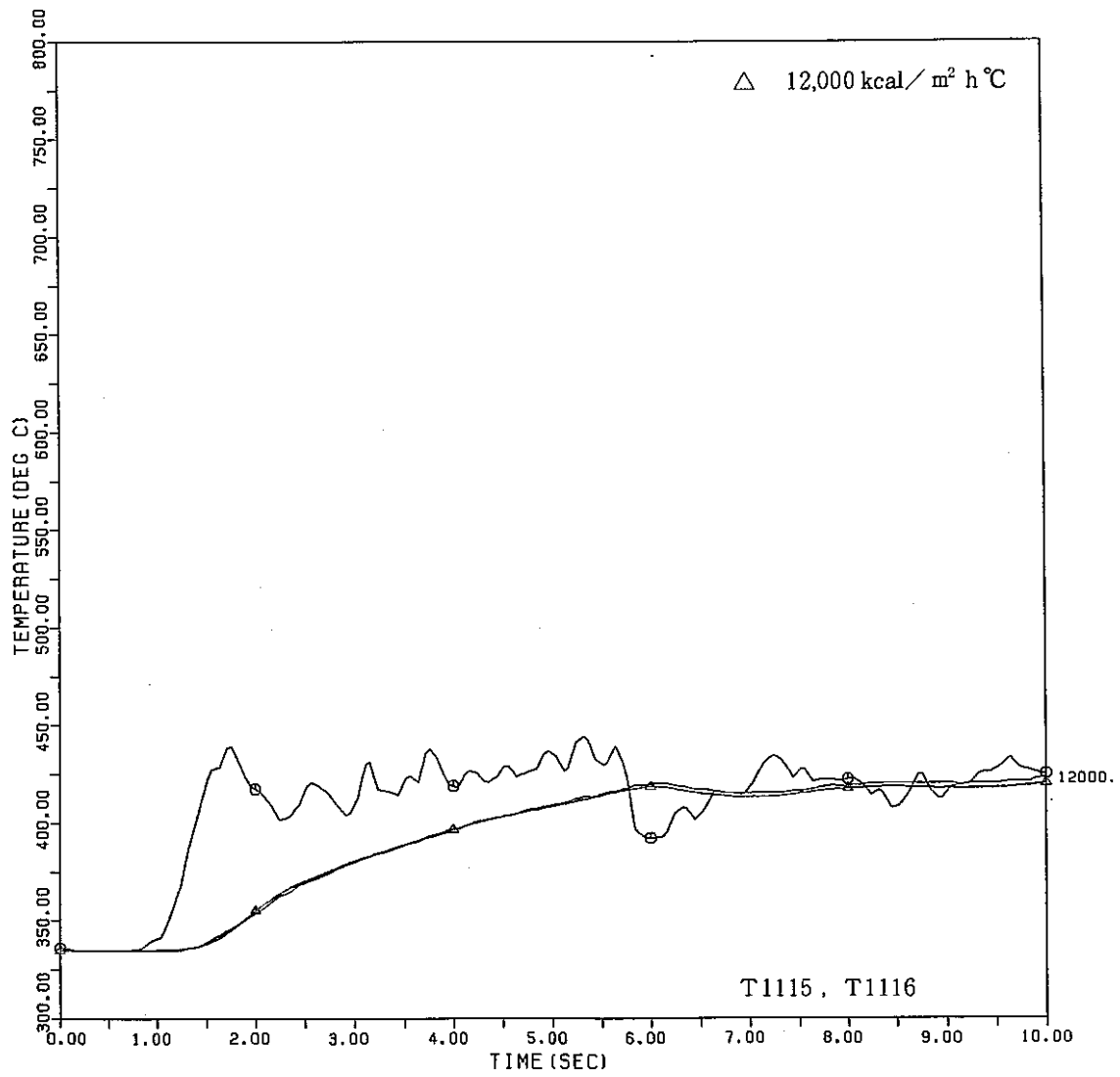


Fig. 6.5.6(b) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
(Run 4113)

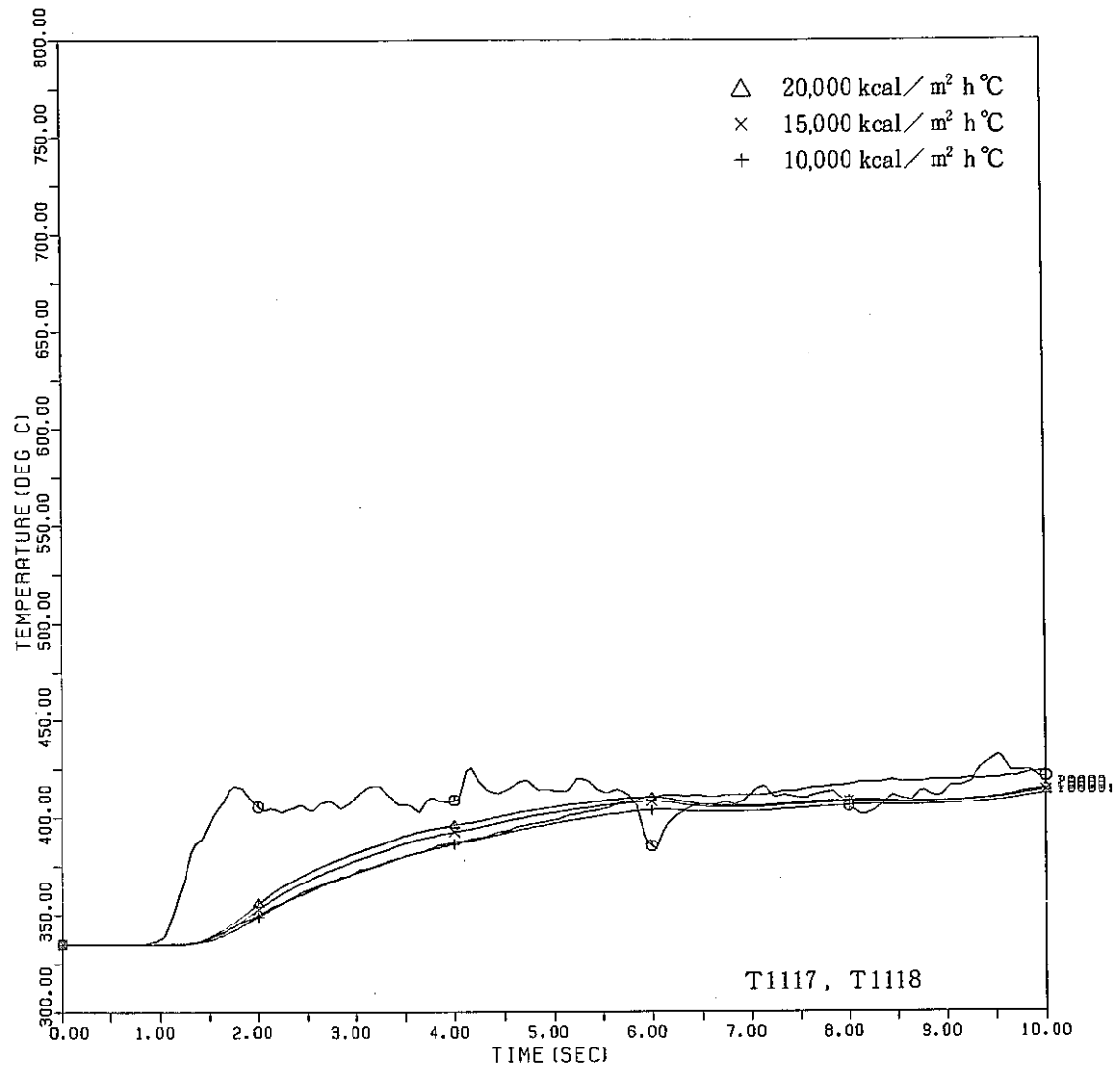


Fig. 6.5.6(c) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4113)

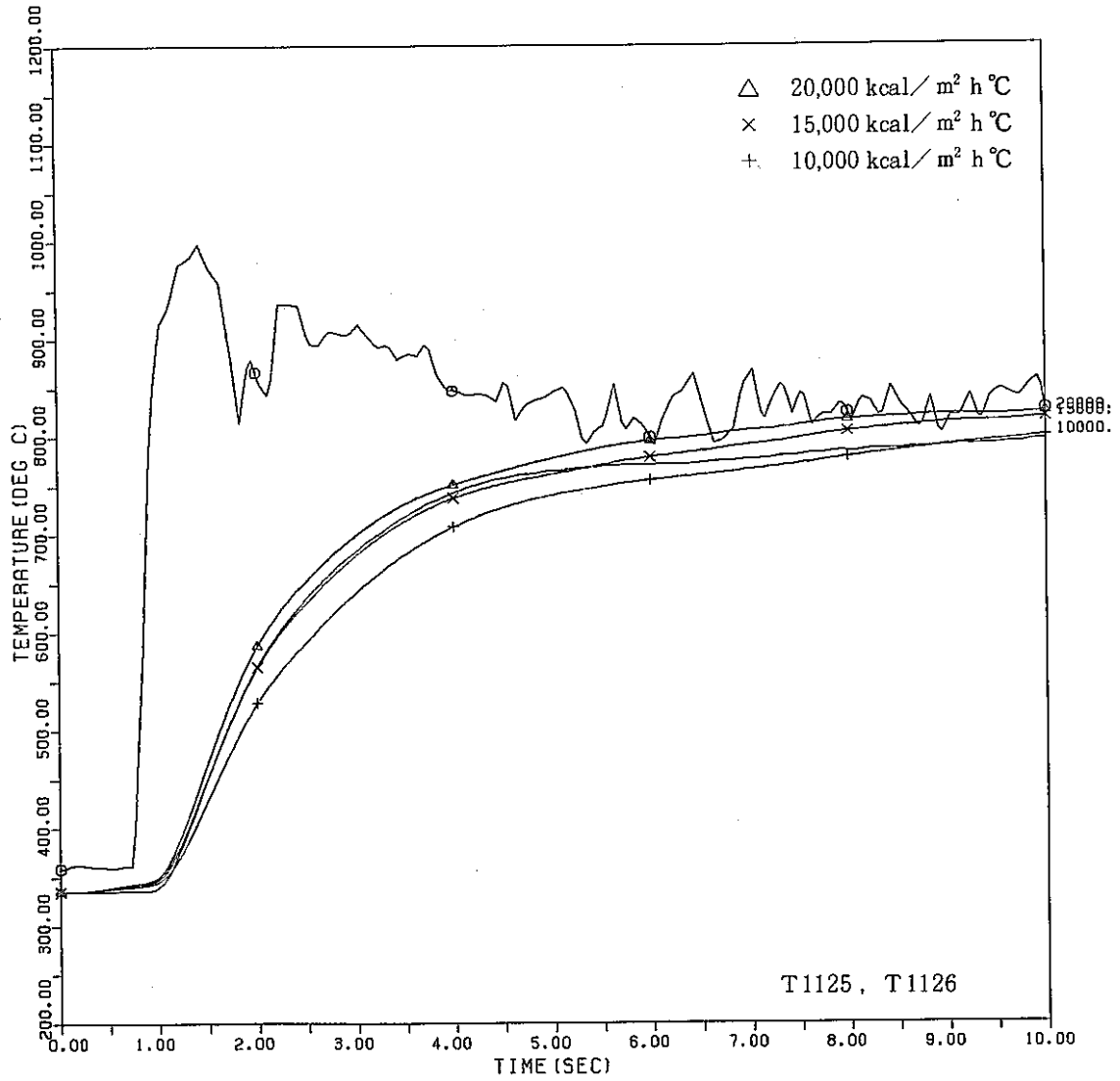


Fig. 6.5.6(d) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
(Run 4113)

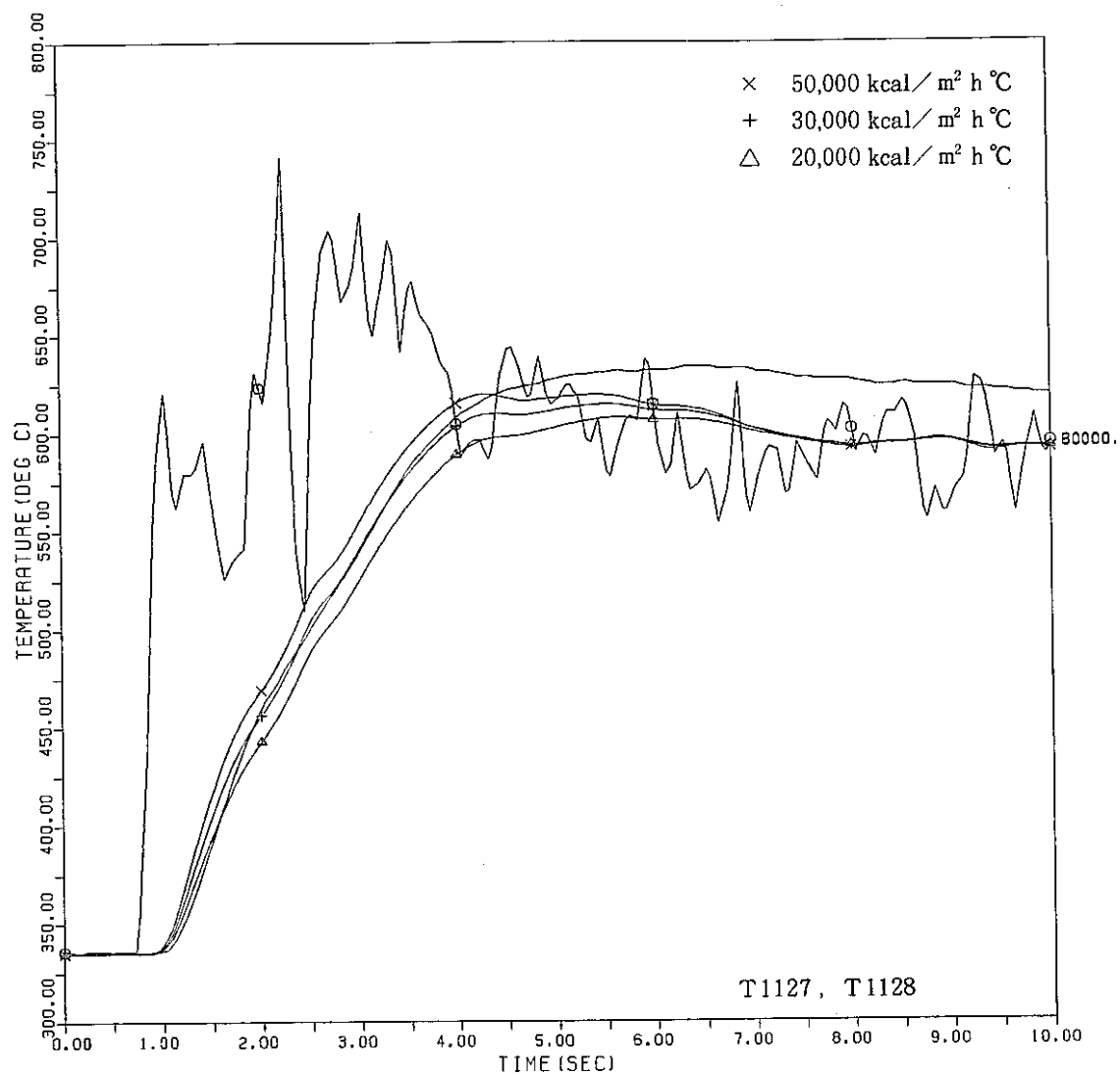


Fig. 6.5.6(e) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
(Run 4113)

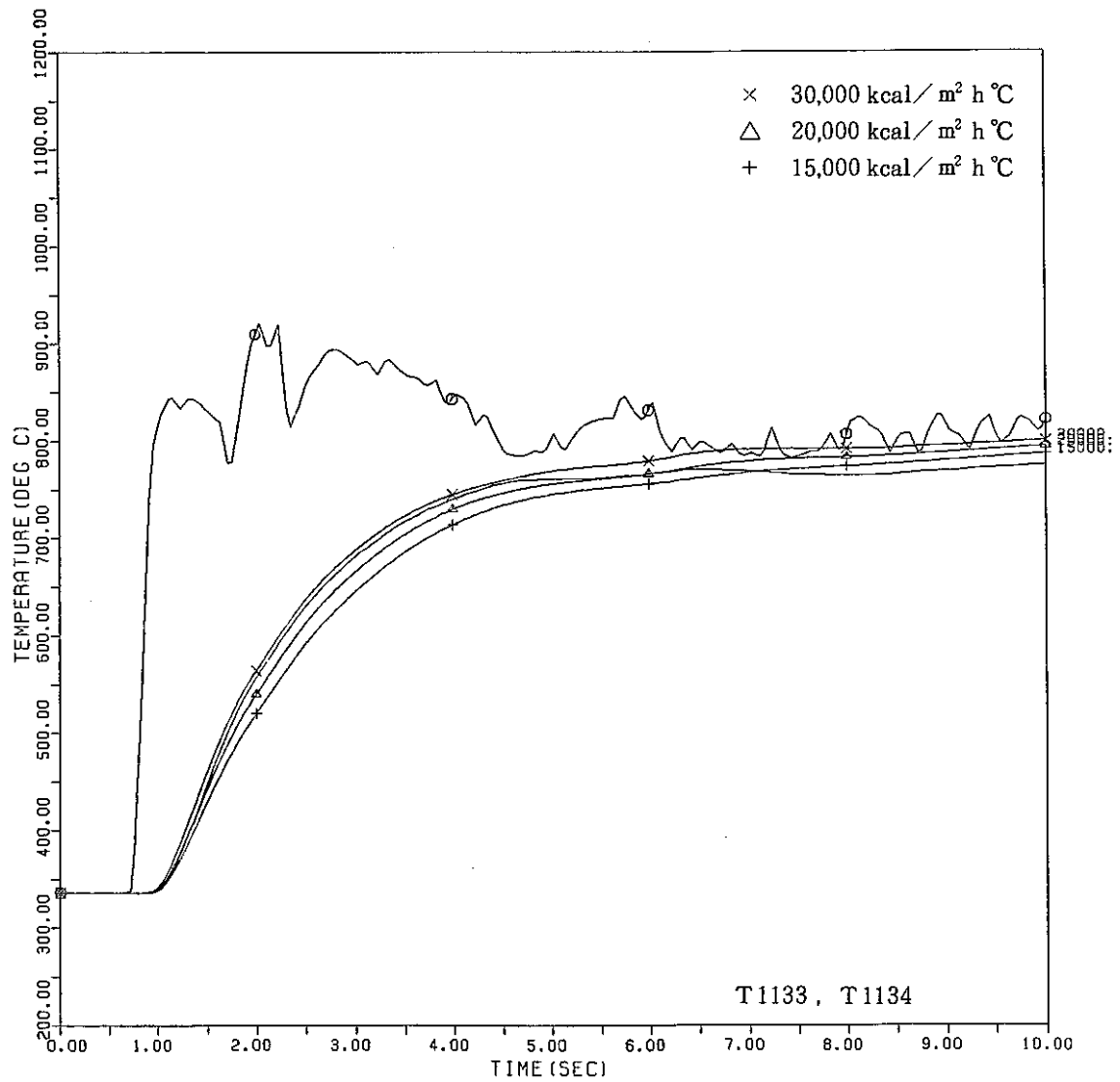


Fig. 6.5.6(f) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
(Run 4113)

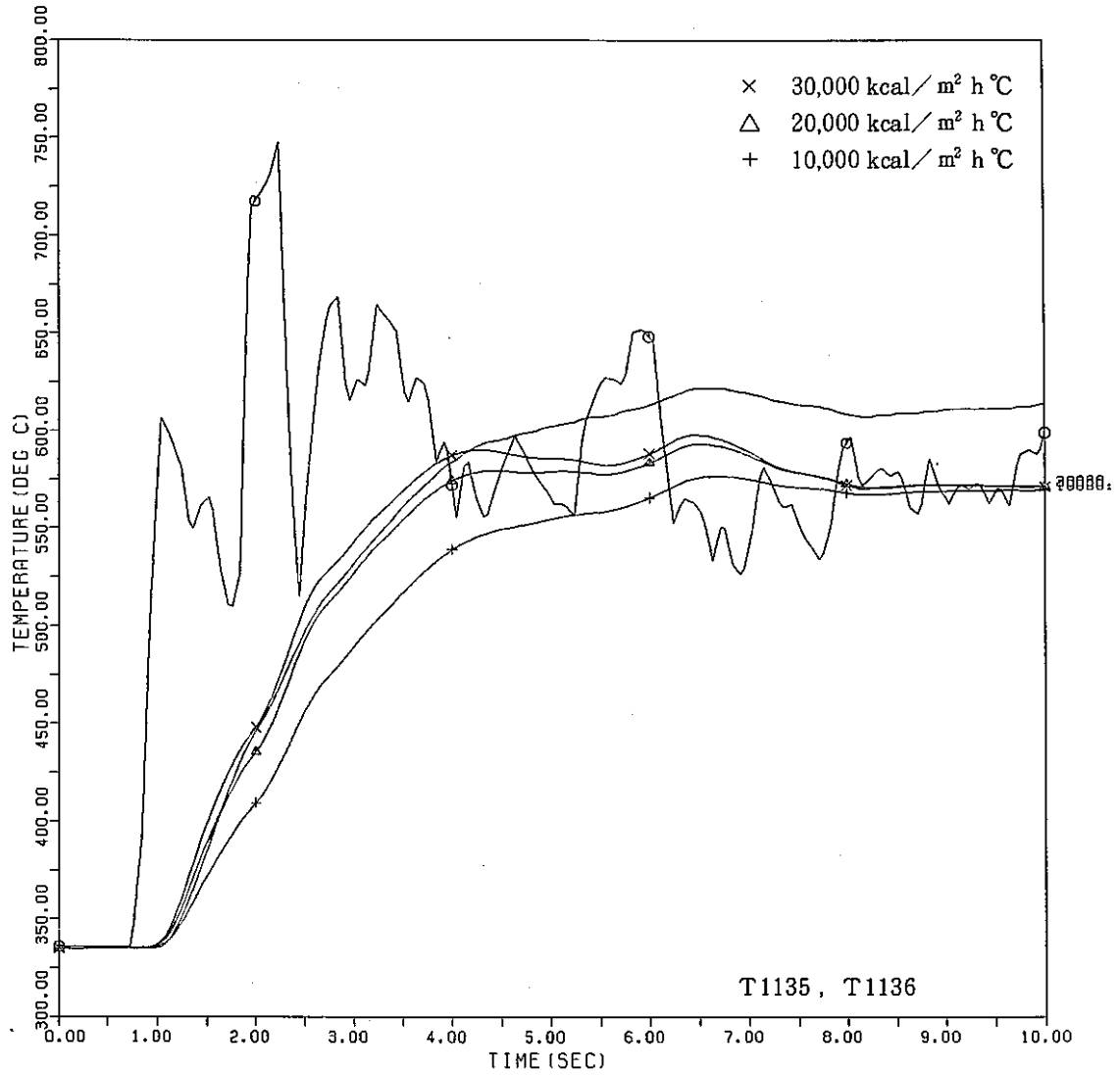


Fig. 6.5.6(g) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4113)

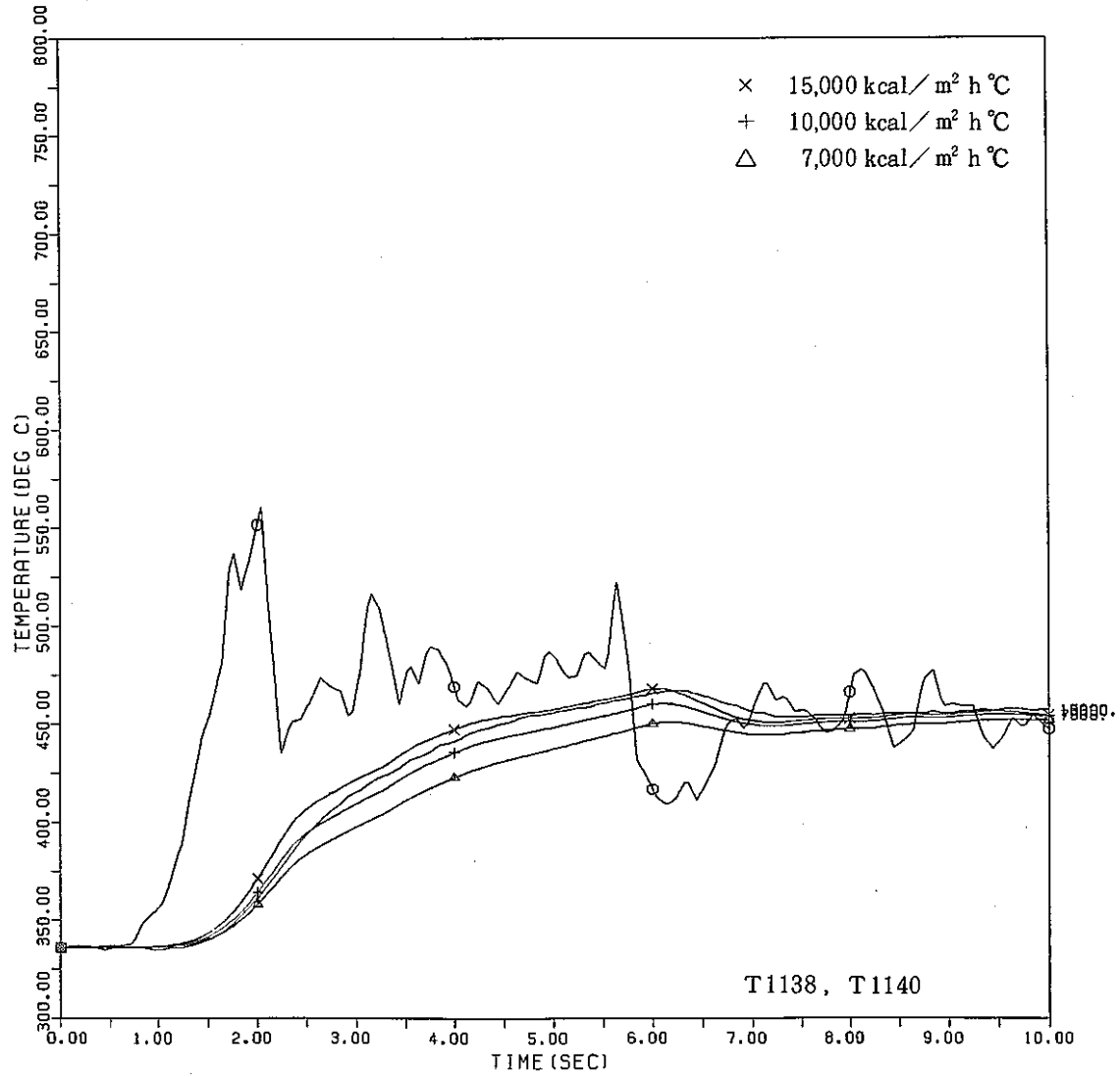


Fig. 6.5.6(h) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
(Run 4113)

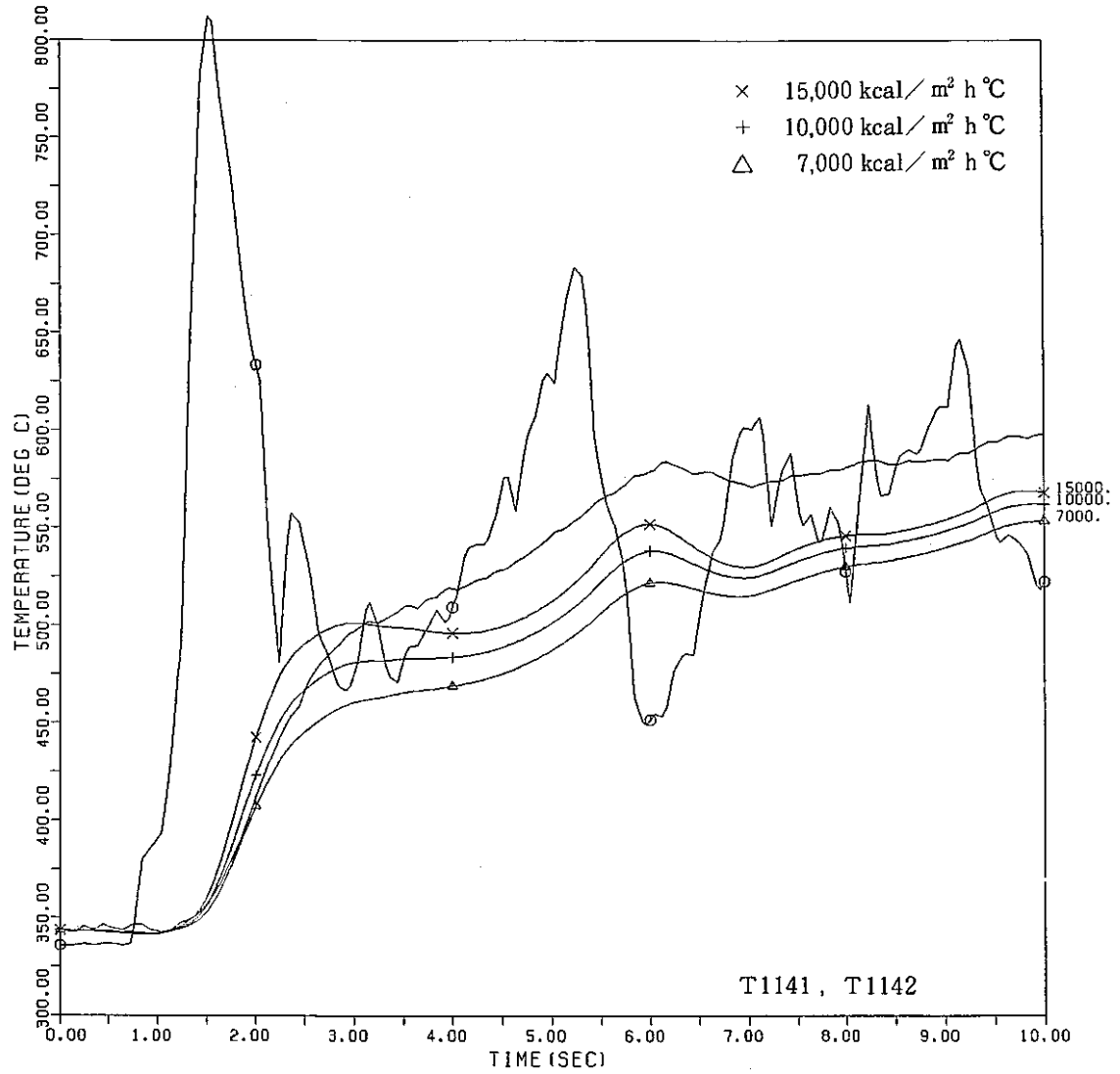


Fig. 6.5.6(i) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4113)

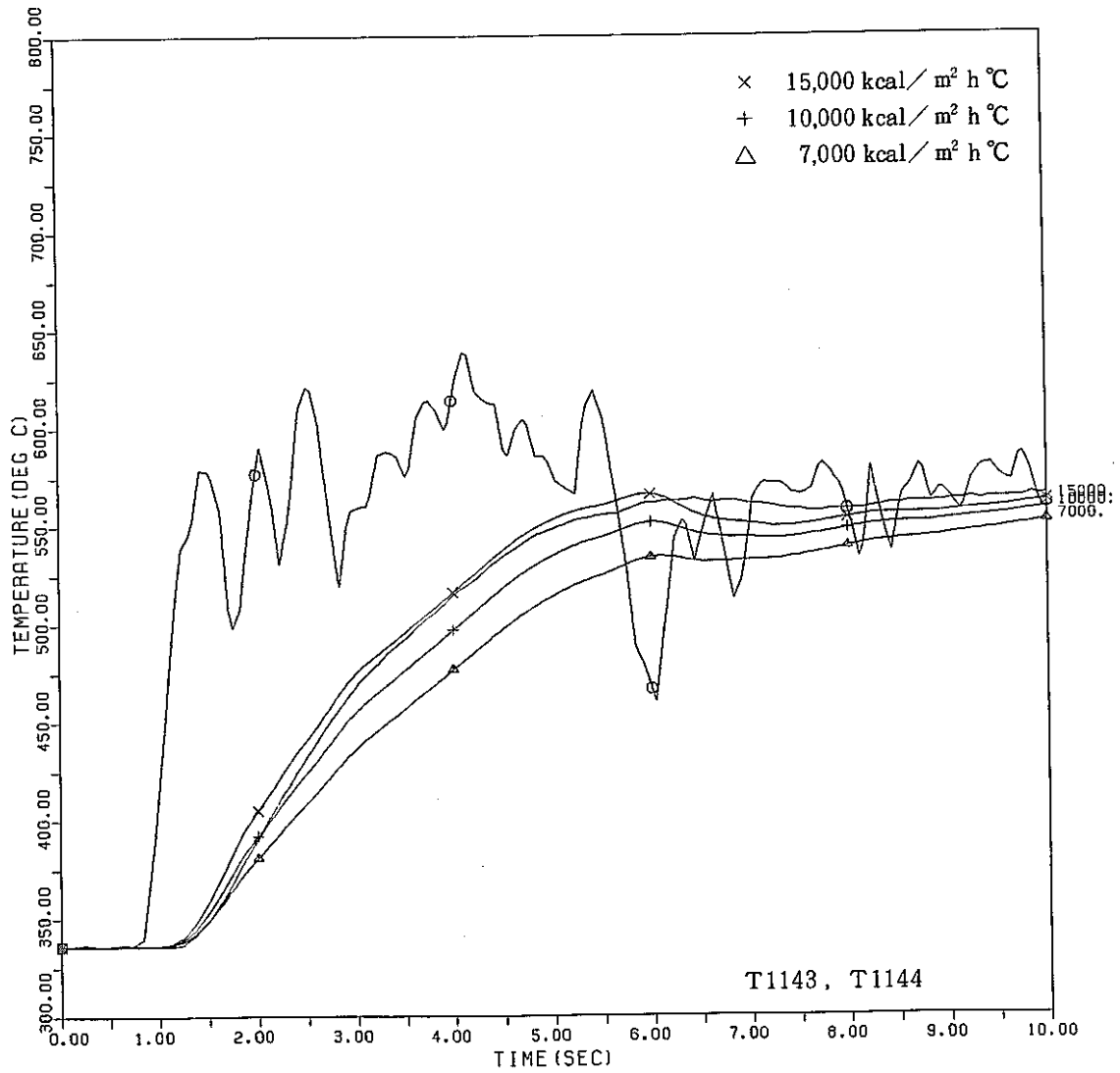


Fig. 6.5.6(j) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4113)

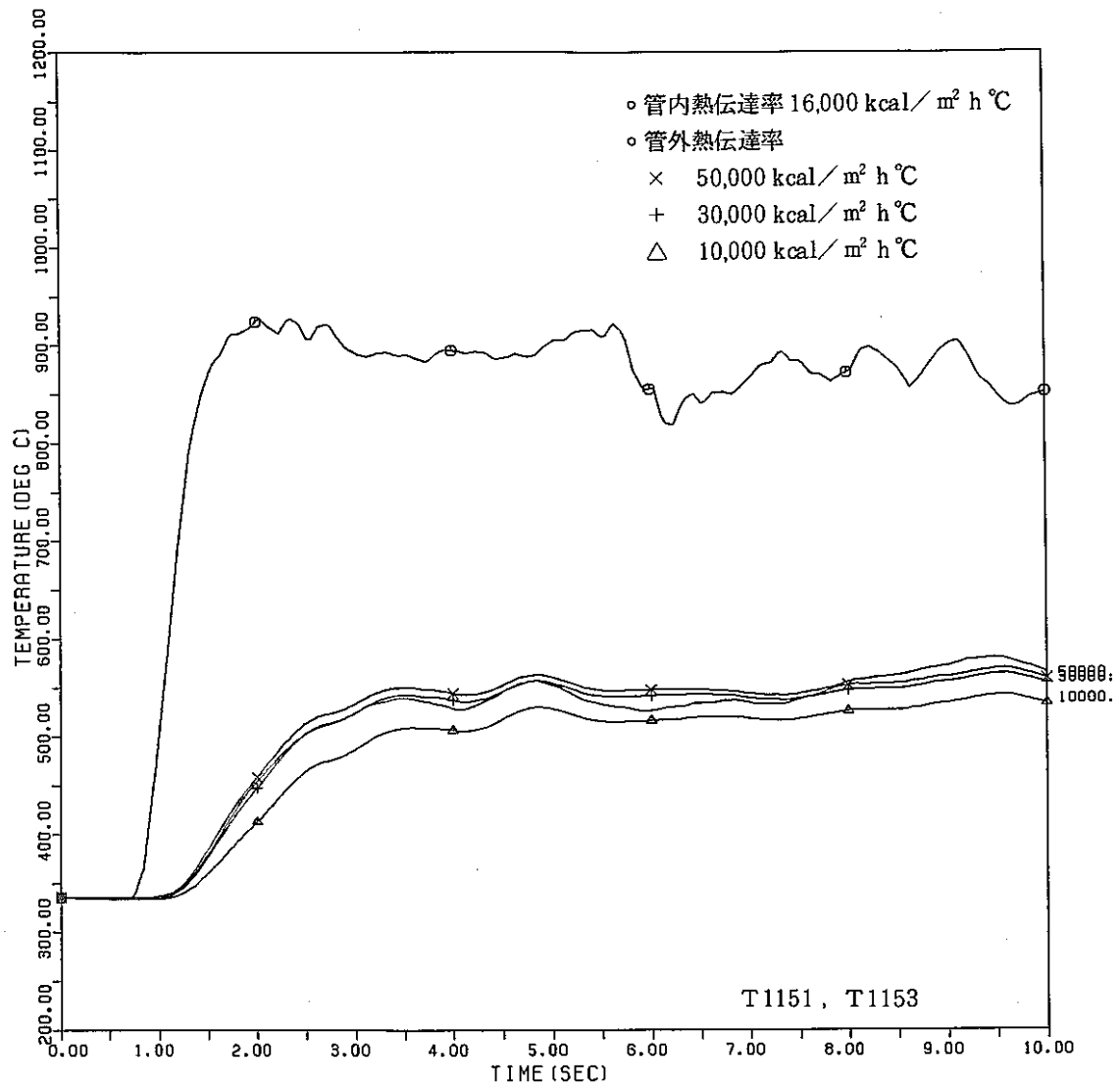


Fig. 6.5.6(k) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4113)

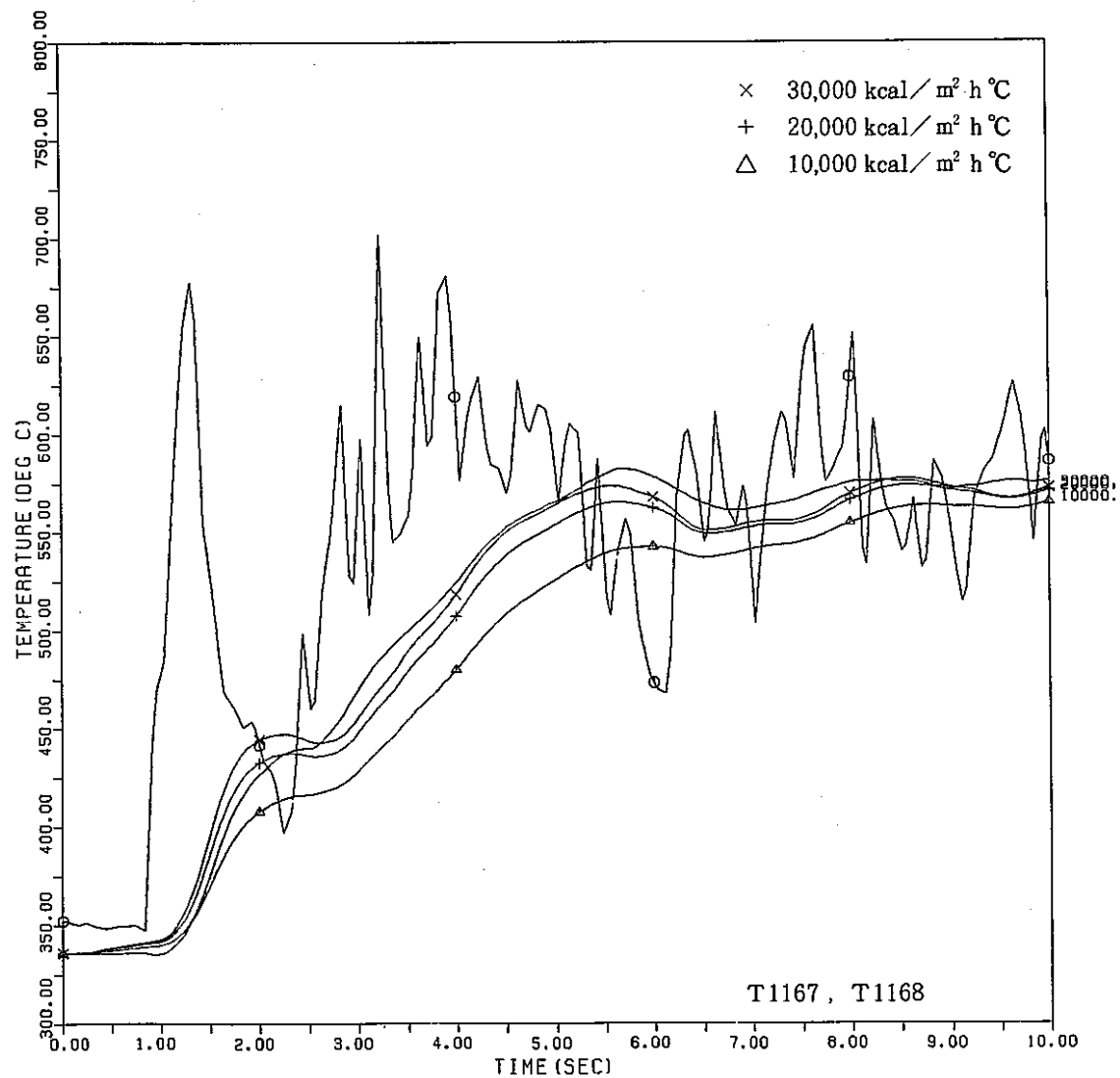


Fig. 6.5.6(1) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4113)

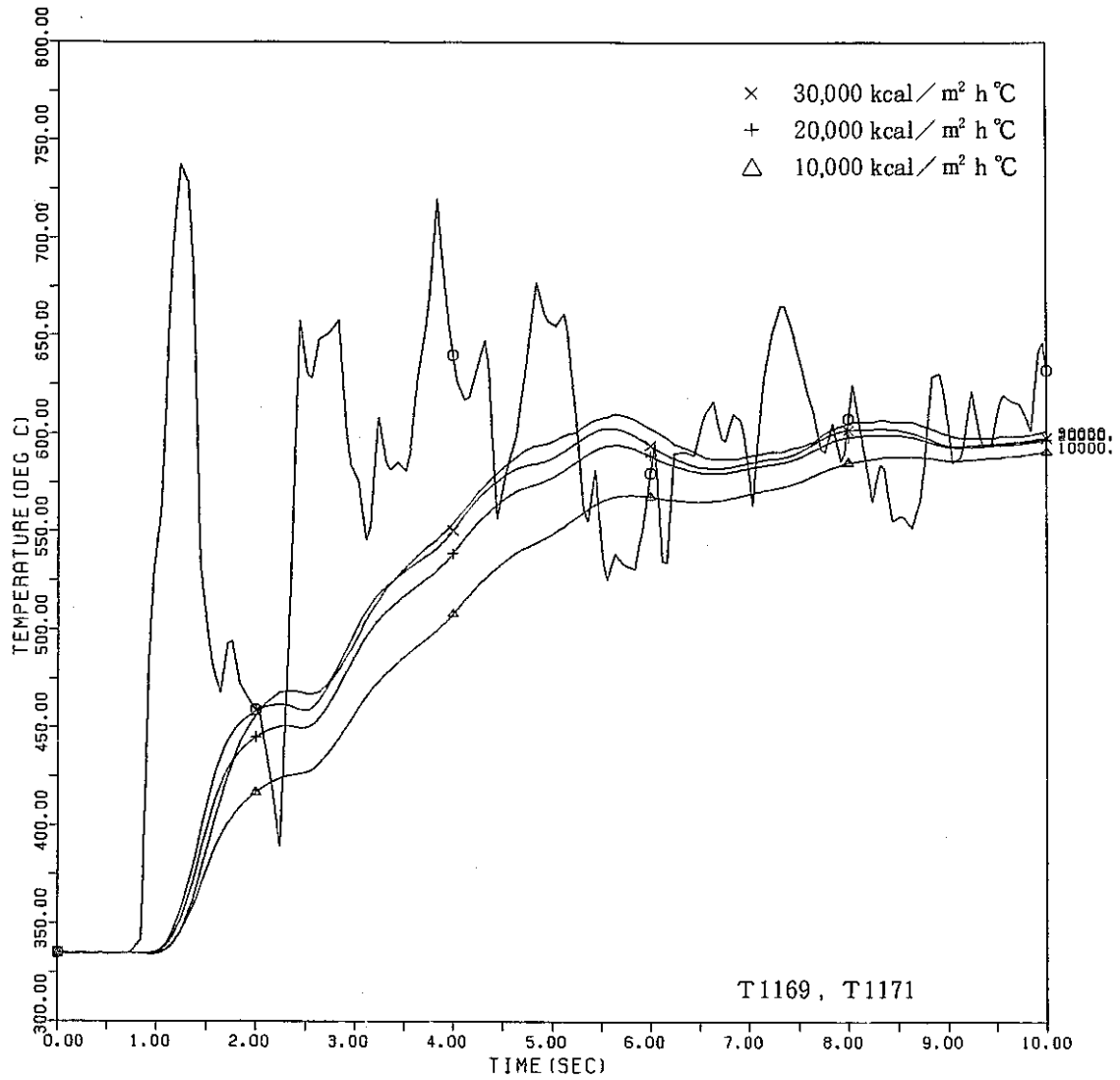


Fig. 6.5.6(m) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4113)

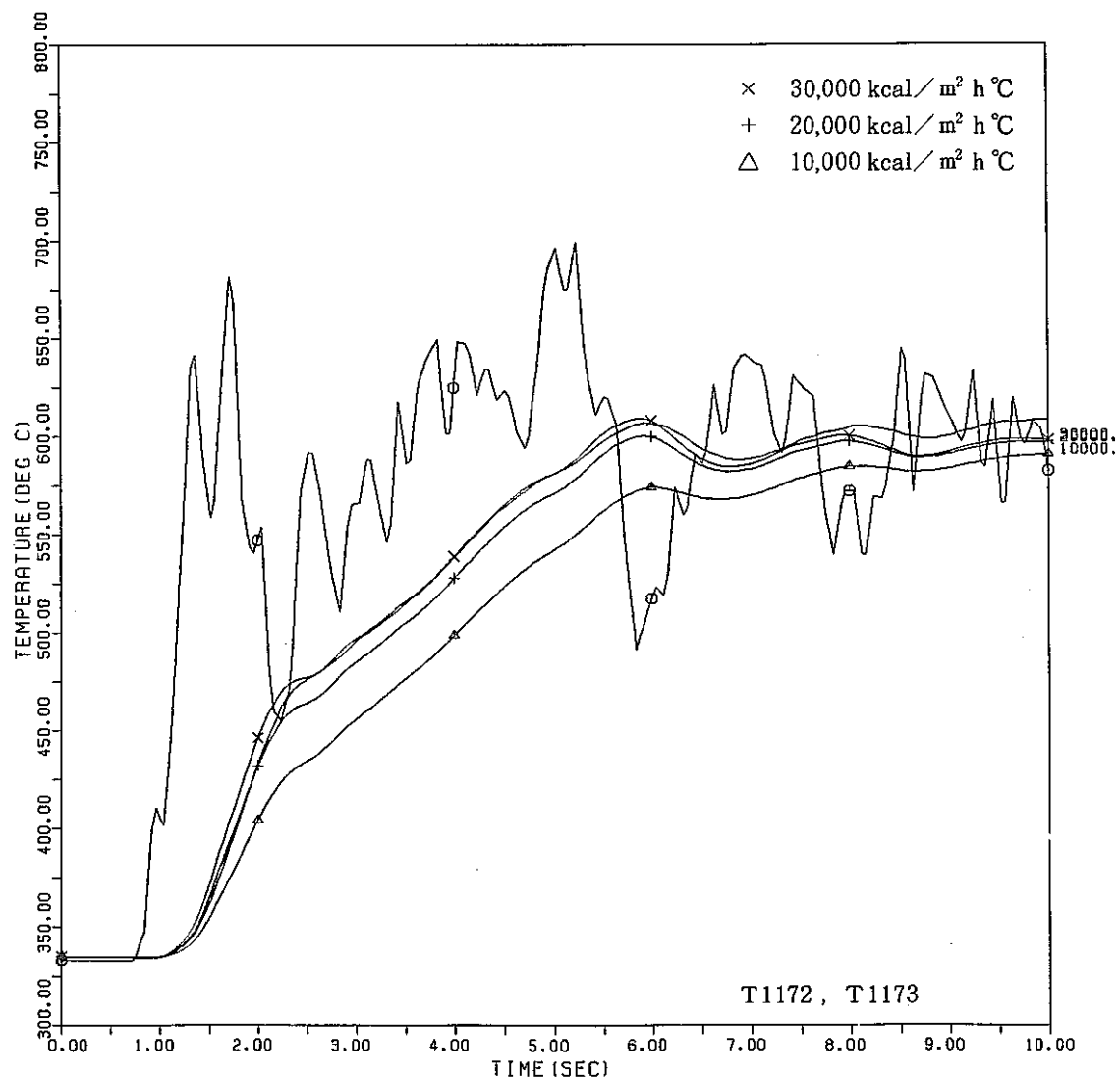


Fig. 6.5.6(n) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4113)

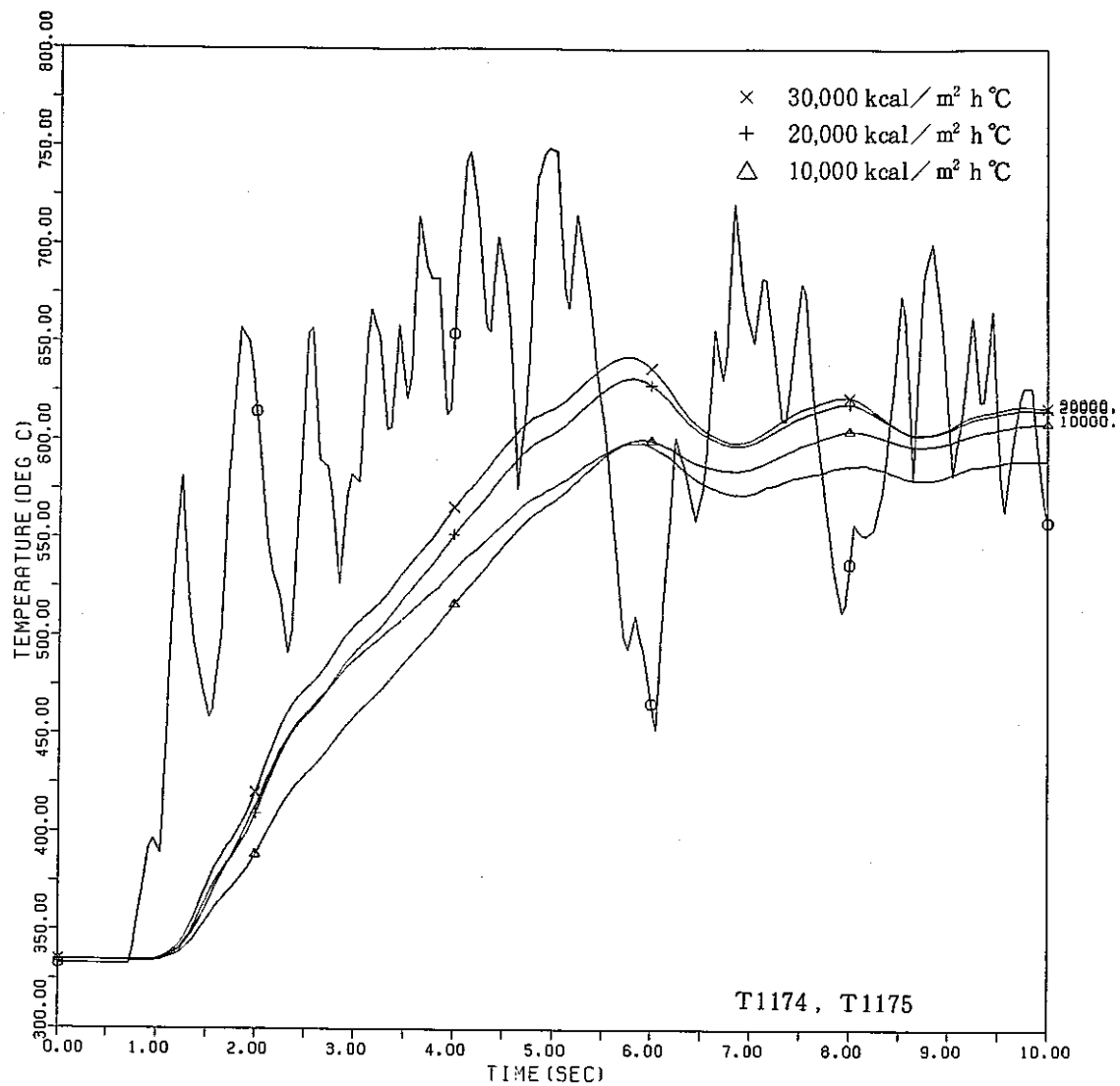


Fig. 6.5.6(o) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
 (Run 4113)

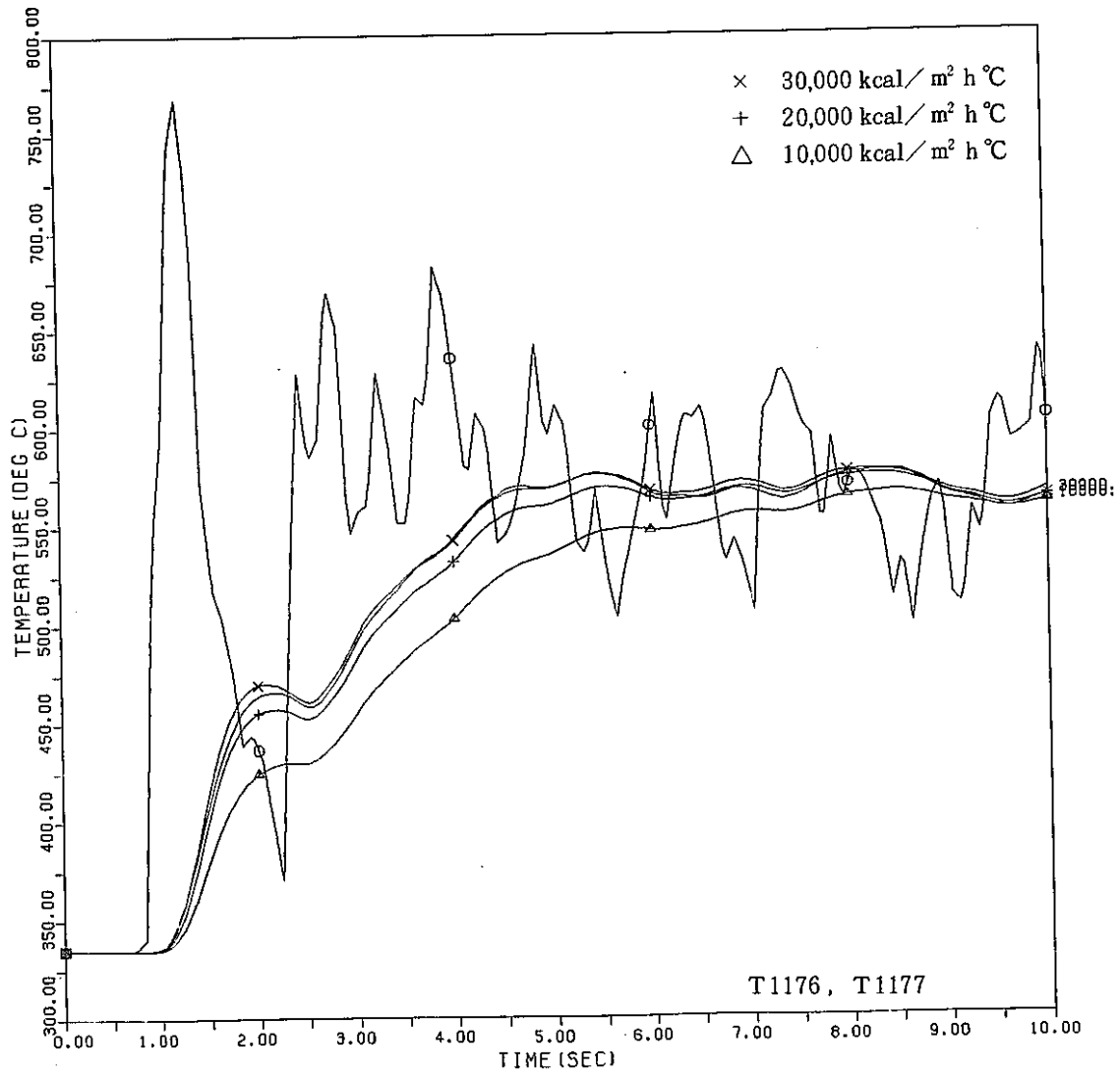
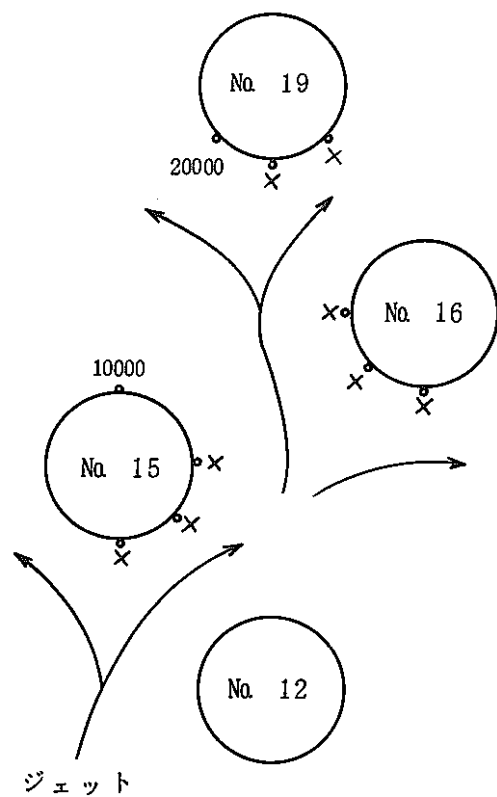
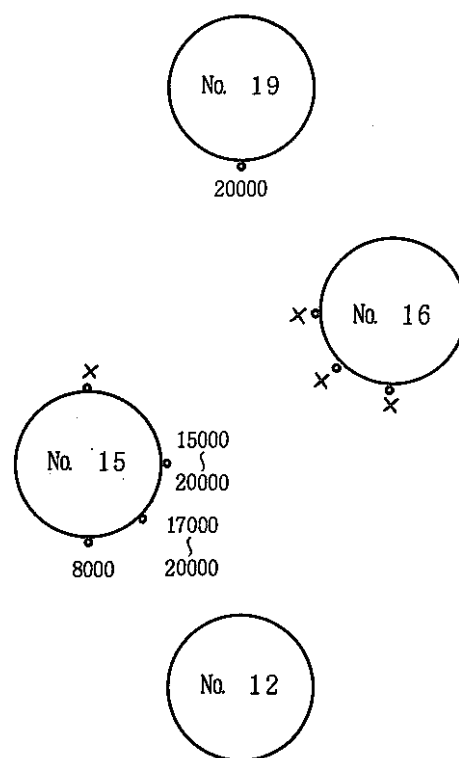


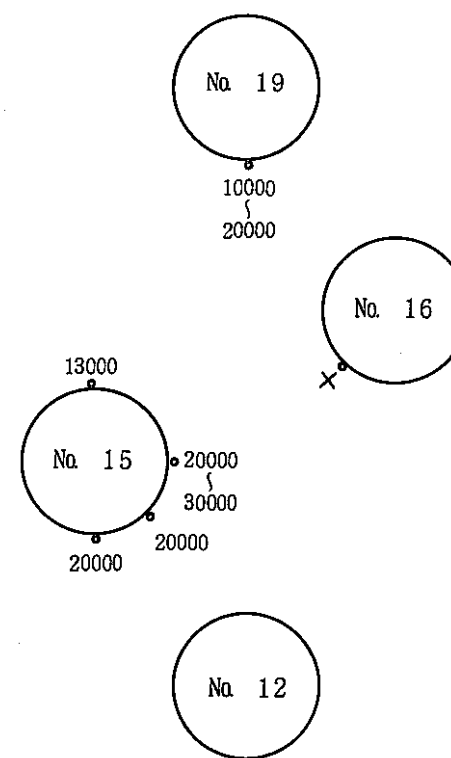
Fig. 6.5.6(p) Comparison of Predicted Inner Tube Wall Temperature with Measurements
(Run 4113)



軸方向
中心より 0 mm



軸方向
中心より 25 mm



単位 ($\text{KCal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$)

軸方向
中心より 50 mm

Fig. 6.5.7(a) Outer Surface Heat Transfer Coefficient (Run 4112 Case-1)

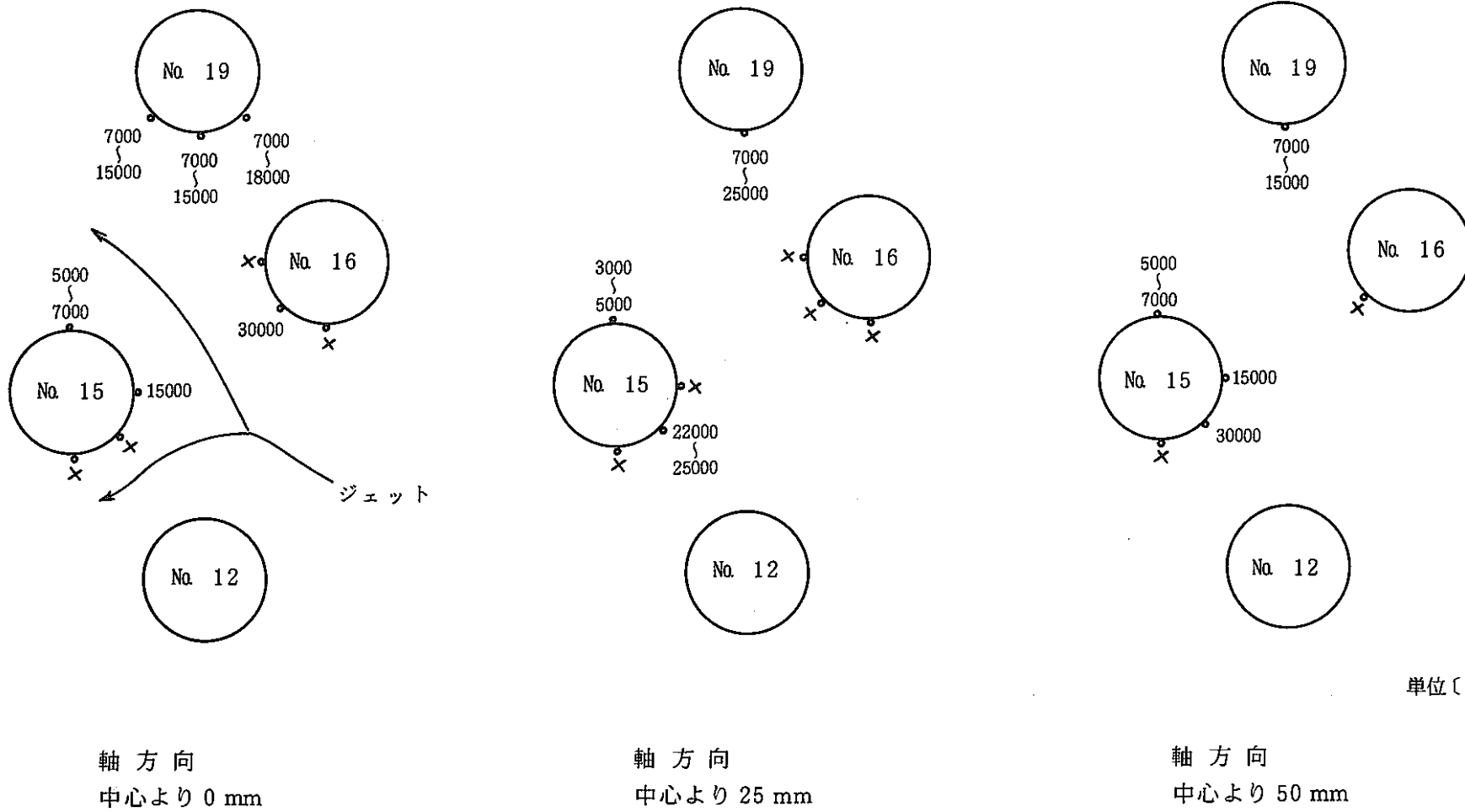
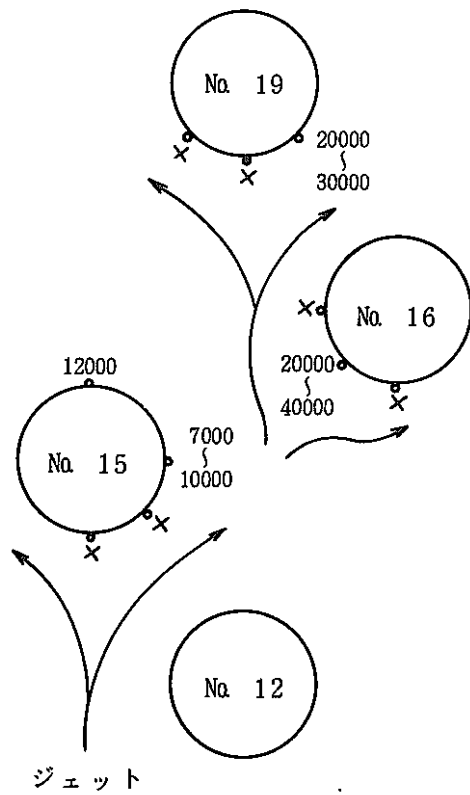
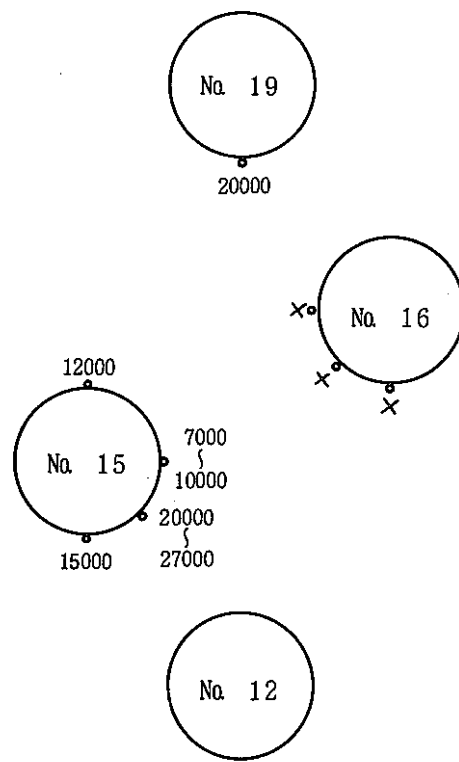


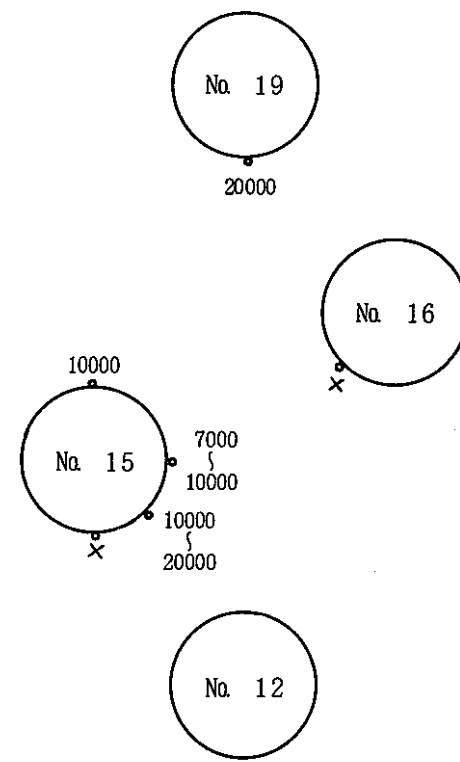
Fig. 6.5.7 (b) Outer Surface Heat Transfer Coefficient (Run 4112 Case-2)



軸 方 向
中心より 0 mm



軸 方 向
中心より 25 mm



軸 方 向
中心より 50 mm

単位 (KCal/m²h°C)

Fig. 6.5.7 (c) Outer Surface Heat Transfer Coefficient (Run 4113)