

分置

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

1982年2月

動力炉・核燃料開発事業団

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)

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

報告書 田 辺 裕 美* 佐 藤 稔*
大 後 美 道**

要 旨

高速増殖原型炉「もんじゅ」の蒸気発生器におけるナトリウム-水反応事故に対する安全設計法の確立のため、動燃大洗工学センターの蒸気発生器安全性総合試験装置 SWAT-3 を用いて破損伝播試験が 1979 年より実施されている。この試験の目的は、伝熱管からの初期水リークが要因となってナトリウム-水反応により周囲伝熱管を損耗し、水リーク規模が拡大していく様相を実験的に把握する事にある。

本報告書は、1980 年 5 月に実施された第 2 回破損伝播試験の結果について記述したものである。

本試験は、「もんじゅ」蒸気発生器設備の統一仕様に従って製作された模擬伝熱管束部 3 体を用いて 3 回の注水試験 (SWAT-3, Run-11, 12, 13) を実施したものである。Run-11 は注水機構不調のため注水が行なわれなかったが、Run-12, 13 は、それぞれ初期注水率 87 g/sec 及び 900 g/sec で注水を行ない、破損伝播過程のデータが得られた。以下にその結果を述べる。

1) Run-12 では、74 秒後に 2 次破損、145 秒後に 3 次破損にまで至った。

Run-13 では、70~175 秒の間に 8 本のガス加圧管が、158 秒に注水管が破損した。

2) 破損孔の大きさは、水注入管では Run-12 の 3 次破損管の 18mm × 5.8mm が最大であったが、ガス加圧管では Run-13 で 1 DEG (両端ギロチン破断) 相当の破損管が 2 本認められた。

3) 破損伝播のメカニズムは、水リーク率の低い領域ではウェステージ現象による。水リーク率が約 1 kg/sec 以上では、高温ラプチャの傾向も現われて来るが、破損時間を規定するのはやはりウェステージによる減肉作用である。

* 蒸気発生器開発部，蒸気発生器安全性試験室

** 高速増殖炉開発本部

SWAT - 3 試験実施者

総括者	佐藤 稔	(蒸気発生器安全性試験室室長)
注水試験担当	山田 敏雄	(蒸気発生器安全性試験室)
	大高 仁護	(蒸気発生器安全性試験室)
	井上 設生	(蒸気発生器安全性試験室)
	佐々木 和一	(蒸気発生器安全性試験室)
	渡辺 智夫	(蒸気発生器安全性試験室)
	川部 浩康	(蒸気発生器安全性試験室)
試験計画担当	田辺 裕美	(蒸気発生器安全性試験室)
	大後 美道	(高速増殖炉開発本部)
	堀 雅夫	(蒸気発生器開発部部長)

Feb., 1982

Results of Failure Propagation Tests
in Steam Generator Test Facility (SWAT-3)
Report No.2

Hiromi Tanabe*

Minoru Sato*

Yoshimichi Daigo**

Abstract

Failure propagation tests have been carried out using the Steam Generator Safety Test Facility (SWAT-3) in PNC O-arai Engineering Center since 1979, in order to establish the method of safety design of the LMFBR Monju prototype steam generator with reference to preventing sodium-water reaction accidents. A main object of these tests is to understand how the failure propagation to heat transfer tubes around progresses owing to the water leakage from the initial nozzle.

Here reported are results of the second failure propagation tests conducted in May 1980. Three injection tests (SWAT-3 Run-11 through 13) were executed using three tube bundle test units manufactured according to the unification of the MONJU steam generator specifications. Though water did not inject in Run-11 because of malfunction of the injection device, the failure propagations took place in Run-12 and Run-13 whose initial injection rates were 87 g/sec and 900 g/sec, respectively. The main test results are as follows;

1. The second failure occurred at 74 seconds and the third one at 145 seconds in Run-12; eight gas-filled tubes failed from 70 to 175 seconds and a water-filled tubes failed at 158 seconds.

* Steam Generator Safety Section, Steam Generator Division, O-arai Engineering Center, PNC.

** Fast Breeder Reactor Development Project, PNC.

2. The maximum size of failure in Run-12 was 18mm × 5.8mm of third failure tube, while two gas-filled tubes in Run-13 have a hole equivalent to one double-ended guillotine (DEG) failure.
3. Failure mechanism is wastage in the region of low water leak rate. In the case that the water leak rate is over about 1 kg/sec, overheating effect appears; however, the failure time of this case is as long as that of wastage case.

目 次

1. ま え が き	1
2. 試 験 概 要	2
2.1 試 験 の 目 的	2
2.2 試 験 装 置	2
2.3 計 測 系	19
2.4 試 験 条 件	22
2.5 試 験 運 転 経 過	29
3. 試 験 結 果	32
3.1 Run-11 試 験 の 結 果	32
3.2 Run-12 試 験 の 結 果	32
3.3 Run-13 試 験 の 結 果	76
4. ま と め	126
5. 謝 辞	129
6. 参 考 文 献	130

付 録

A. 詳細組立図	131
B. 伝熱管材料のミルシート	149
C. 伝熱管の試験前寸法検査	151
D. 計測点リスト	161
E. DDC での運転制御用データの収録	173
F. 注水試験運転のシーケンス・フロー	185
G. 試験時の計測データ	195
H. 超音波厚さ計による試験後の伝熱管肉厚データ	213

表　　リ　　ス　　ト

Table 2.2.1	伝熱管の仕様一覧	11
Table 2.3.1	計測点一覧表	21
Table 2.3.2	試験計測に用いたデータレコーダ一覧表	21
Table 2.4.1	試験条件のまとめ	23
Table 2.5.1	試験運転スケジュール	31
Table 3.3.1	Run-13ガス加圧管の破損状況	77
Table 3.3.2	Run-12, 13伝熱管のウェステージ・データ	82
Table 4.1	試験結果のまとめ	128

図 リ ス ト

Fig. 2.2.1	Flow Diagram of SWAT-3.....	5
Fig. 2.2.2	全体計測制御系統図.....	7
Fig. 2.2.3	内部構造物組立図.....	9
Fig. 2.2.4	Photograph of Internals.....	73
Fig. 2.2.5(a)	Tubes and Thermocouples of Upper Test Unit for Run-11.....	12
Fig. 2.2.5(b)	Tubes and Thermocouples of Middle Test Unit for Run-12.....	13
Fig. 2.2.5(c)	Tubes and Thermocouples of Lower Test Unit for Run-13.....	14
Fig. 2.2.6	Water Injection Piping.....	15
Fig. 2.2.7	Run-11~13試験の各注水ラインの寸法.....	16
Fig. 2.2.8	注水伝熱管組立図.....	17
Fig. 2.3.1	Location of Accelerometer and Pressure Transducer.....	20
Fig. 2.4.1(a)	Run-11の注水フローシーケンス.....	26
Fig. 2.4.1(b)	Run-12の注水フローシーケンス.....	27
Fig. 2.4.1(c)	Run-13の注水フローシーケンス.....	28
Fig. 3.2.1	Run-12試験時のペンレコーダ出力.....	38
Fig. 3.2.2	Time Sequence of Failure Propagation in Run-12.....	39
Fig. 3.2.3	Tube Damages Produced by Run-12 Test.....	40
Fig. 3.2.4	Injection Valve Status and Level in Water Heater Tank (Run-12).....	41
Fig. 3.2.5	Water Injection Rate by Turbine Flowmeter (Run-12).....	42
Fig. 3.2.6	Pressures of Water Heater Tank and Water Injection Piping (Run-12).....	43
Fig. 3.2.7	Pressures in Water and Gas Header (Run-12).....	44
Fig. 3.2.8	Temperatures in Water Heater Tank and Water Injection Piping (Run-12).....	45
Fig. 3.2.9(a)~(u)	Temperatures in Tube Bundle Region (Run-12).....	46

Fig. 3.2.10(a), (b)	Acoustic Signal by Accelerometers (Run-12).....	67
Fig. 3.2.11(a), (b)	R.M.S. Values of Acoustic Signal (Run-12)..	69
Fig. 3.2.12	Pressures in Evaporator, Super-heater and Reaction Product Tank (Run-12).....	71
Fig. 3.2.13	Photographs of Damaged Tubes (Run-12).....	73
Fig. 3.2.14	Degrees and Directions of Tube Bowing Produced by Run-12 Test.....	75
Fig. 3.3.1	Run-13 試験時のペンレコーダ出力.....	83
Fig. 3.3.2	Time Sequence of Failure Propagation in Run-13.....	84
Fig. 3.3.3	Tube Damages Produced by Run-13 Test.....	85
Fig. 3.3.4	Injection Valve Status and Level in Water Heater Tank (Run-13).....	86
Fig. 3.3.5	Water Injection Rate by Turbine Flowmeter..	87
Fig. 3.3.6	Pressures in Water Heater Tank and Water Injection Piping (Run-13).....	88
Fig. 3.3.7(a), (b)	Pressures of Gas-filled Tubes (Run-13).....	89
Fig. 3.3.8	Temperatures in Water Heater Tank and Water Injection Piping (Run-13).....	91
Fig. 3.3.9(a)~(z)	Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13).....	92
Fig. 3.3.10(a), (b)	Acoustic Signal by Accelerometers (Run-13).....	118
Fig. 3.3.11(a), (b)	R.M.S. Value of Acoustic Signal (Run-13)..	120
Fig. 3.3.12	Pressures in Evaporator, Super-heater, and Reaction Product Tank (Run-13).....	122
Fig. 3.3.13	Photographs of Damaged Tubes (Run-13).....	123
Fig. 3.3.14	Photograph of Cross Section of Burst Tube No.224 (right) and No.240 (left) of Run-13.....	123
Fig. 3.3.15	Degrees and Directions of Tube Bowing Produced by Run-13 Test.....	125
Fig. 4.1	Secondary Failure Leak Nozzle Diameter vs. Initial Leak Nozzle Diameter.....	127

1. ま え が き

高速増殖原型炉「もんじゅ」の設計に当たって、蒸気発生器に対しては設計基準リーク(DBL)を設定しなければならない。この設定は、ナトリウム-水反応時の破損伝播現象を把握し、かつ蒸気発生器の設備対応を考慮して行なわなければならない。

動燃事業団においては、各種ナトリウム-水反応試験装置を用いて、それぞれの水リーク規模に応じた試験研究が行なわれて来た。^{1)~4)}これらの試験からウェステージ率もしくは破損伝播時間、破損伝播の大きさ、などが初期水リーク率やナトリウム温度などの関係で明らかになって来た。

しかし、破損伝播による最大水リーク率を推定するためには、これら1回きりの破損伝播現象をつなぎ合わせても、どうしても覆い切れない部分があり、そのため2次破損、3次破損と破損伝播を連続的に把握できる試験が必要となった。しかし、これまでの小型試験装置では、破損伝播現象のような比較的長い時間(1分以上)を必要とする現象に対しては、最大水リーク率が約200 g/secと抑えられていた。これ以上の水リーク率での試験を行なうためには、実機に近い規模の試験装置が必要であった。このため、原型炉蒸発器の1/2.2の内径の反応容器を持つSWAT-3試験装置での破損伝播試験が計画され、その第1回試験(Run-8~10)が1979年8月に実施された⁵⁾

本報告の破損伝播試験Ⅱ(Run-11~13)は、1979年10月に実施された「もんじゅ」蒸気発生器設備の仕様統一に従って、試験体を改造し注水試験を行なったものである。具体的には第1回と比べて伝熱管の寸法及びピッチが増加している。本試験体は、第1回と同様3体の伝熱管群構造を縦に並べて、1回の試験装置運転で3回の注水試験が可能となるように製作されたものである。しかし、Run-11試験は注水機構に不備があったため注水できなかった。以下第2章にRun-11~13について試験装置、経過等を述べ、第3章に試験の結果を述べる。

2. 試験概要

2.1 試験の目的

本試験の目的は、高速増殖炉の蒸気発生器内で伝熱管損傷による水リークが生じた場合に、隣接伝熱管への破損伝播進行状況を実験的に把握して、実機でのリーク発生時の運転法やリーク検出システムの開発に役立てて、蒸気発生器の安全設計に反映させようとするものである。

特に、今回の Run-11~13 の試験は、「もんじゅ」蒸気発生器仕様統一後最初の試験と言う事で、31.8 mm ϕ \times 3.8 mm t の伝熱管を初めて用いて、以下の情報を得るために実施された。

- 1) 破損伝播のタイム・シーケンス、即ち2次破損や3次破損が何秒後に発生するか。
- 2) 水リークの最大規模はどの程度のものか。
- 3) 破損伝播の機構は何か。
- 4) 損傷伝熱管の位置を特定し、金相試験等によって、実機での事故の際の伝熱管再使用の可能性について、参考データを提供する。

2.2 試験装置

2.2.1 概要

試験装置は Run-8~10 試験で用いた SWAT-3 試験装置のうち、内部構造物のみ本試験用に新たに製作したものである。装置の立体図及び全体系統図を Fig. 2.2.1 及び Fig. 2.2.2 に示す。

内部構造物は、Fig. 2.2.3 及び Fig. 2.2.4 (P.73) の写真に示すように Run-8~10 の場合と同様、試験体3体を垂直に並べたものである。各試験体は、1次リーク管、ターゲット注水管、ガス加圧管及びダミー管の合計約50本の伝熱管から構成されている。伝熱管の仕様は、「もんじゅ」製作準備設計(II)に従い、蒸発器伝熱管(STBA-24, 31.8 mm ϕ \times 3.8 mm t)を用いた。

前回の破損伝播試験 Run-8 での注水試験後、弁の締切りが不十分であった事の反省から、注水系を改造して注水弁を2重にした。これらの詳細設計図は Appendix A に示す。

2.2.2 伝熱管配列

「もんじゅ」蒸気発生器の伝熱管配列は、現在考えられているのは、水平方向のピッチ50 mm、垂直方向のピッチは層ごとに交互に異なり48/50 mmである。従って、本試験でも実機で存在し得る配列と言う事で Fig. 2.2.5 (a)~(c)を選んだ。現在の設計では、コイルの巻上げ角が伝熱管各層で異なるので、Run-8~10のように完全な平行四辺形配列とならず、かなり不規則ないろいろな配列が考えられる。ここでは、各試験目的に応じて厳しい結果が得られ

ると想定される配列を選んだ。

伝熱管はSTBA-24の公称 $31.8\text{ mm}\phi \times 3.8\text{ mm}\phi$ (実寸 $31.8\text{ mm}\phi \times 4.2\text{ mm t}$)で試験後ウェステージの測定が容易なように、長さ 800 mm (正味 700 mm)の直管を用いた。前回の試験 (Run-8~10) に比べて、管の径やピッチが大きくなった今回の場合は、1試験体当たりの伝熱管本数は減り、Run-11~13でそれぞれ55、52及び56本となっている。

各試験体には、以下に示すような4種類の伝熱管が有る。

○ 1次リーク管……

ピストン式注水ノズル開孔機構を備えており、注水弁が開かれると水/蒸気側圧力によりピストンが作動して、ナトリウム側へのリーク孔が開かれ注水が始まる。
(No. 28, 142, 212)

○ 注水ターゲット管……

試験体の伝熱管側板の外側で1次リーク管のヘッドと繋っており、試験中は約150atの高温高圧水が満たされ、破損伝播によって2次、3次のリーク管となる。Fig. 2.2.5 (a)~(c) では、1次リーク管と同様に両ハッチで示した。
(管Noは27, 119, 126, 127, 128, 134及び232)

○ ガス加圧管……

窒素ガスによって約150atの内圧が掛けられている。伝熱管の破損時刻を正確に知るため、各伝熱管のラインは独立しており、それぞれに圧力計が取付けられている。Fig. 2.2.4 (a)~(c)では、片ハッチで示した。

○ ダミー管……

両端開放で内外壁ともナトリウムに接している。

以上、各試験での伝熱管の仕様・員数をTable 2.2.1にまとめた。また、伝熱管材料のミルシートをAppendix Bに添付した。更にこれらの伝熱管はすべて、試験前に外径、肉厚及び真直度が測定された。これらのデータはAppendix Cに添付した。

2.2.3 注水系

注水ラインの改造は、前回のRun-8試験後、注水弁V592による締切りが不完全であったため、注水弁締切り後に更なる伝熱管損傷を引起した事の反省から、Fig 2.2.6に示すようにV592, V593の下流にそれぞれV594, V595を設置した。但し、今回の最後の試験であるRun-13の場合はV501, V502が閉じられるため、V591についてはあえて2重にはしなかった。

ヘッドから分岐して、これらの注水弁を通り、EVの中間胴を貫通してEV内の上部注水ヘッドに至るまでの配管は、STPA 3/4 B, Sch 160のものを用いており、この部分の内径 $16.2\text{ mm}\phi$ が注水ノズルを除けば注水ラインで最も細くなっている。各試験の注水ラインの寸法をFig. 2.2.7に示す。

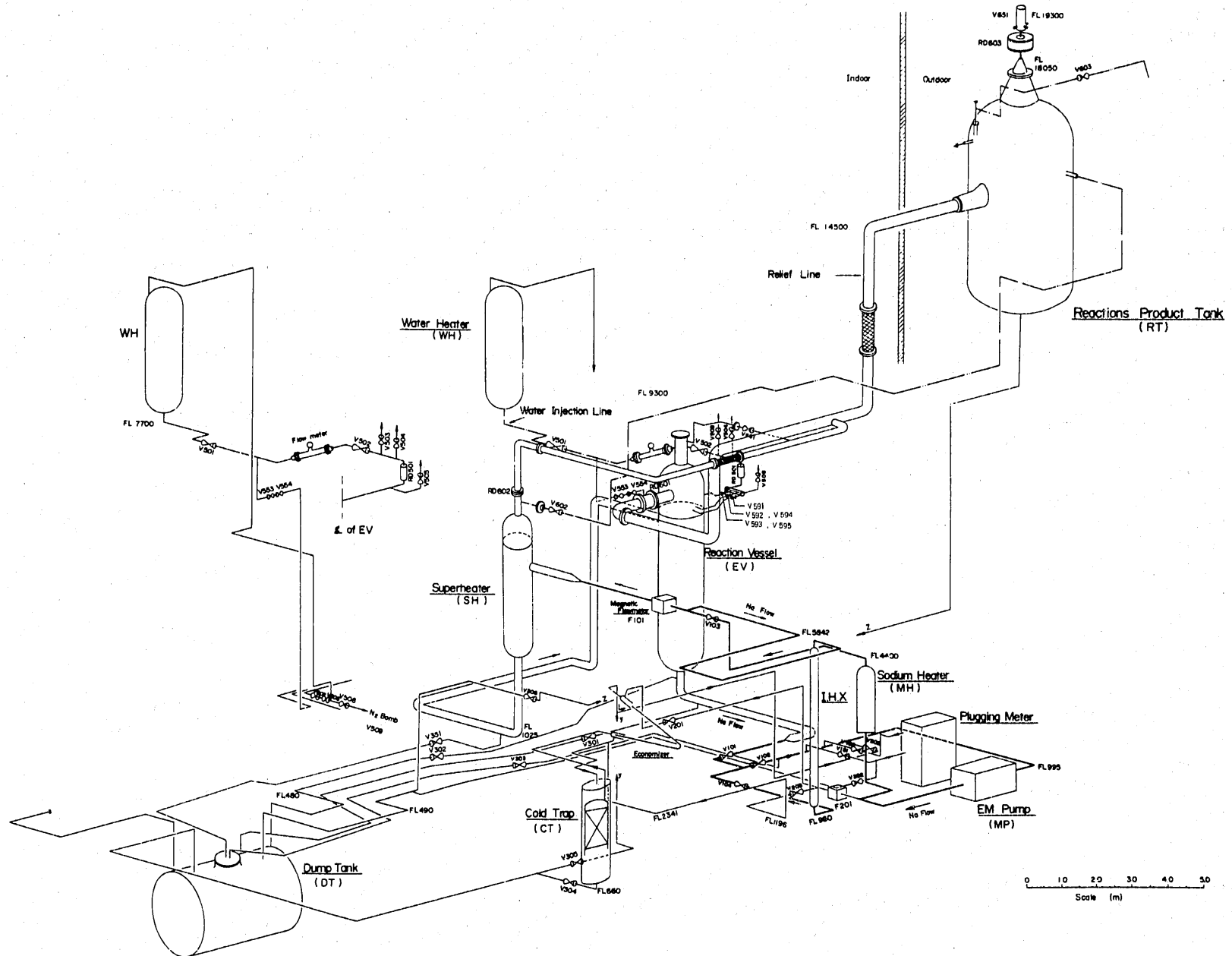


Fig. 2.2.1 Flow Diagram of SWAT-3

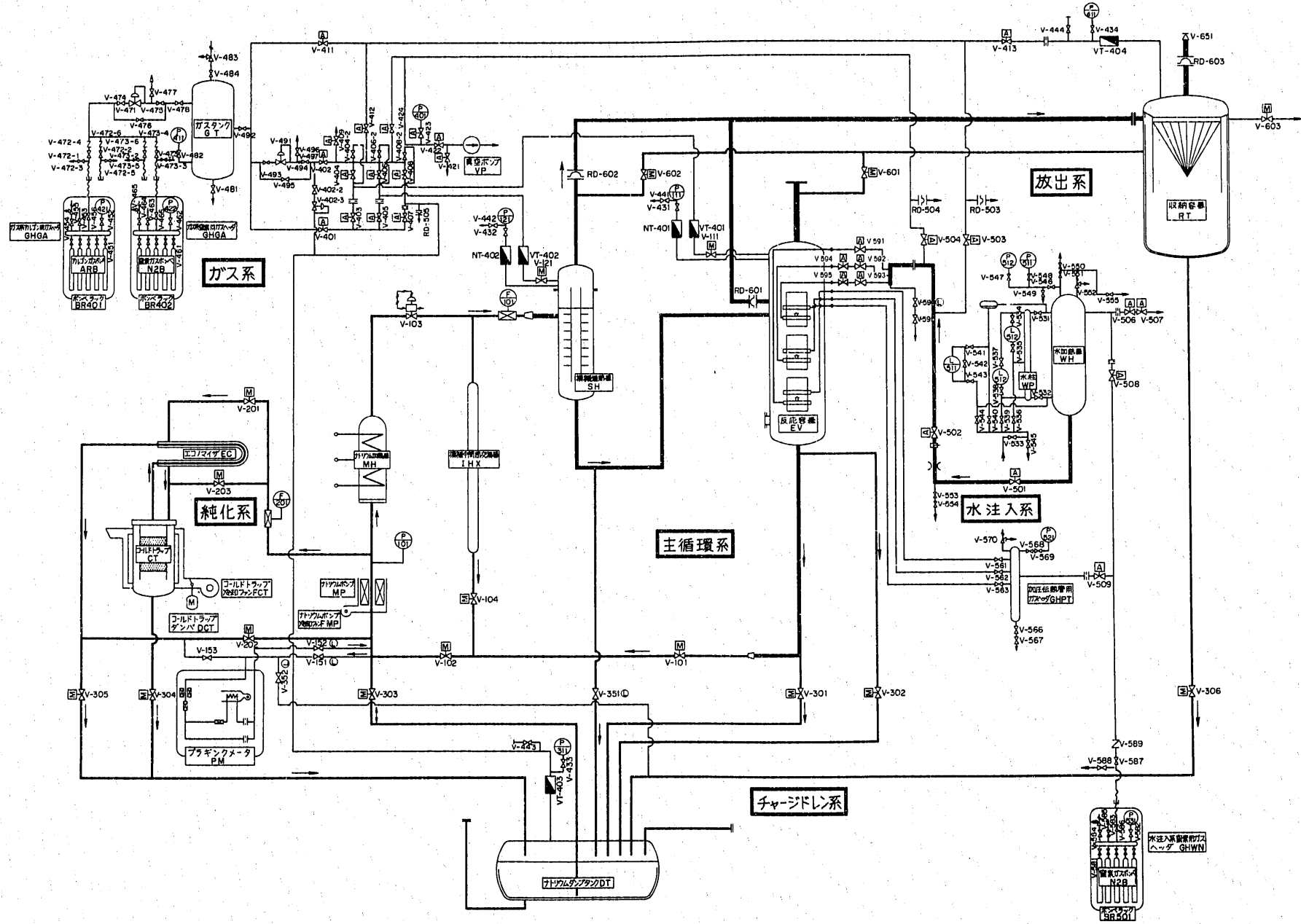
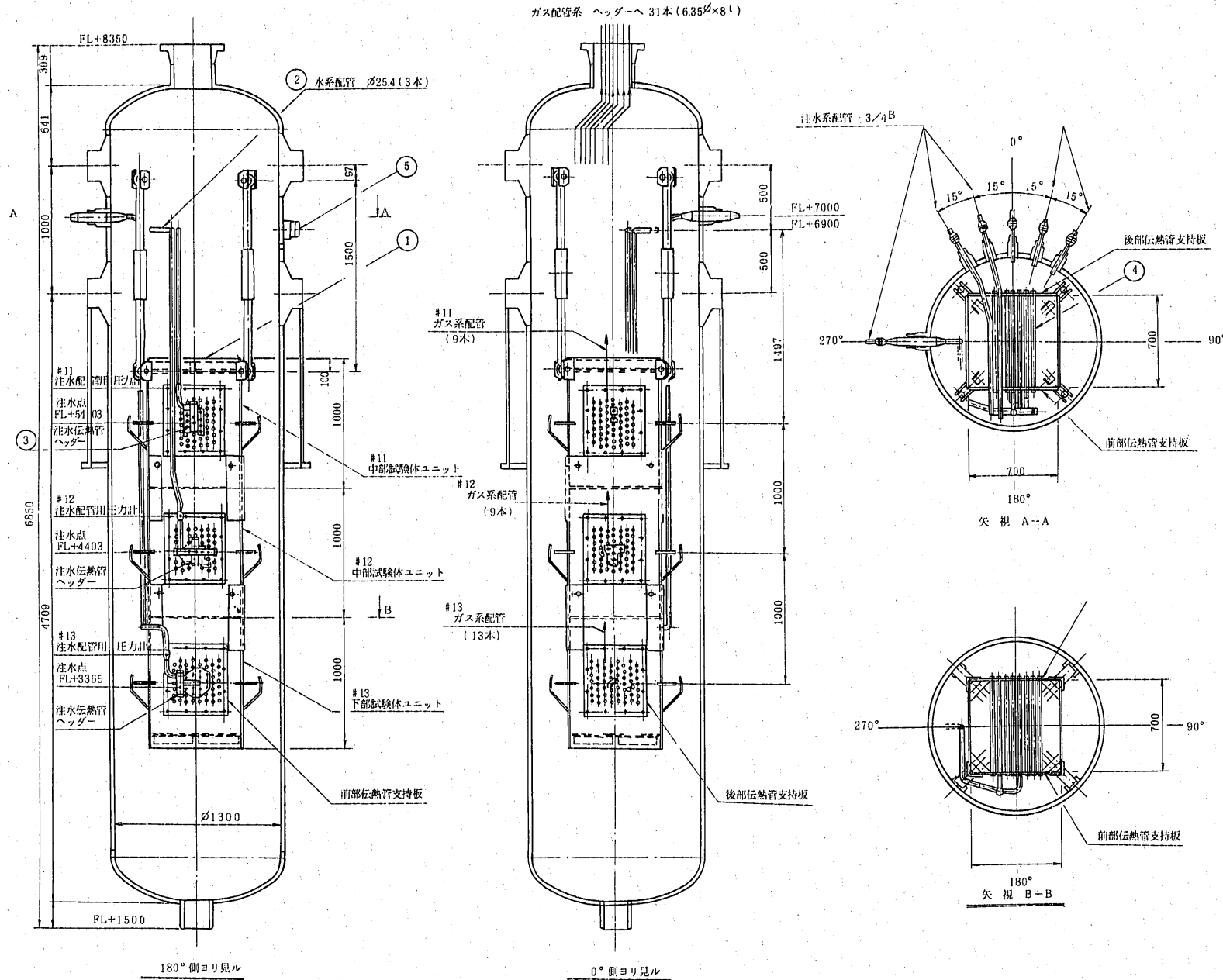


Fig. 2.2.2. 全体計測制御系統図



設計仕様

名称	ガス配管内部	注水配管内部	反応容器内部
使用流体	N ₂ ガス	高圧水	Na
設計圧力	200 kg/cm ²	150 kg/cm ²	20 kg/cm ²
設計温度	500°C	500°C	535°C
耐圧テスト	150 kg/cm ² G	150 kg/cm ²	

6	熱電対			別図 #SW3-KS005
5	センサー取出口			別図 #SW3-KS004
4	加工伝熱管			別図 #SW3-KS031, 032, 023
3	水系ヘッダ			別図 #SW3-KS013, 018, 019
2	内部配管(水系)			別図 #SW3-KS089, 080, 017
1	内部構造物			既設
品番	部品名	材質	個数	備考
名 称	SWAT-3, RUN11, 12, 13	前法	三	角 尺 度 1/16 ()
	内部構造物改造工事	設計		54-11-29 承
	全体組立図	製図		— — 認
		検図		— —
動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター				図番 SW3-KS001

Fig. 2.23 内部構造物組立図

Table 2.2.1 伝熱管の仕様一覧

Run No	11	12	13
材 質	2 $\frac{1}{4}$ Cr - 1 Mo 鋼 (STBA - 24)		
公 称 寸 法	31.8 mm ϕ \times 3.8 mm ϕ		
実 寸 法	31.8 mm ϕ \times 4.2 mm ϕ		
伝 熱 管 総 本 数	55 本	52 本	56 本
1 次 リ ー ク 管 本 数	1 本 (No. 28)	1 本 (No. 142)	1 本 (No. 212)
注 水 タ ー ゲ ッ ト 管 本 数	1 本 (No. 27)	5 本 (No. 119, 126 ~ 128, 134)	1 本 (No. 232)
ガ ス 加 圧 管 本 数	9 本	9 本	13 本
ダ ミ ー 管 本 数	44 本	37 本	41 本

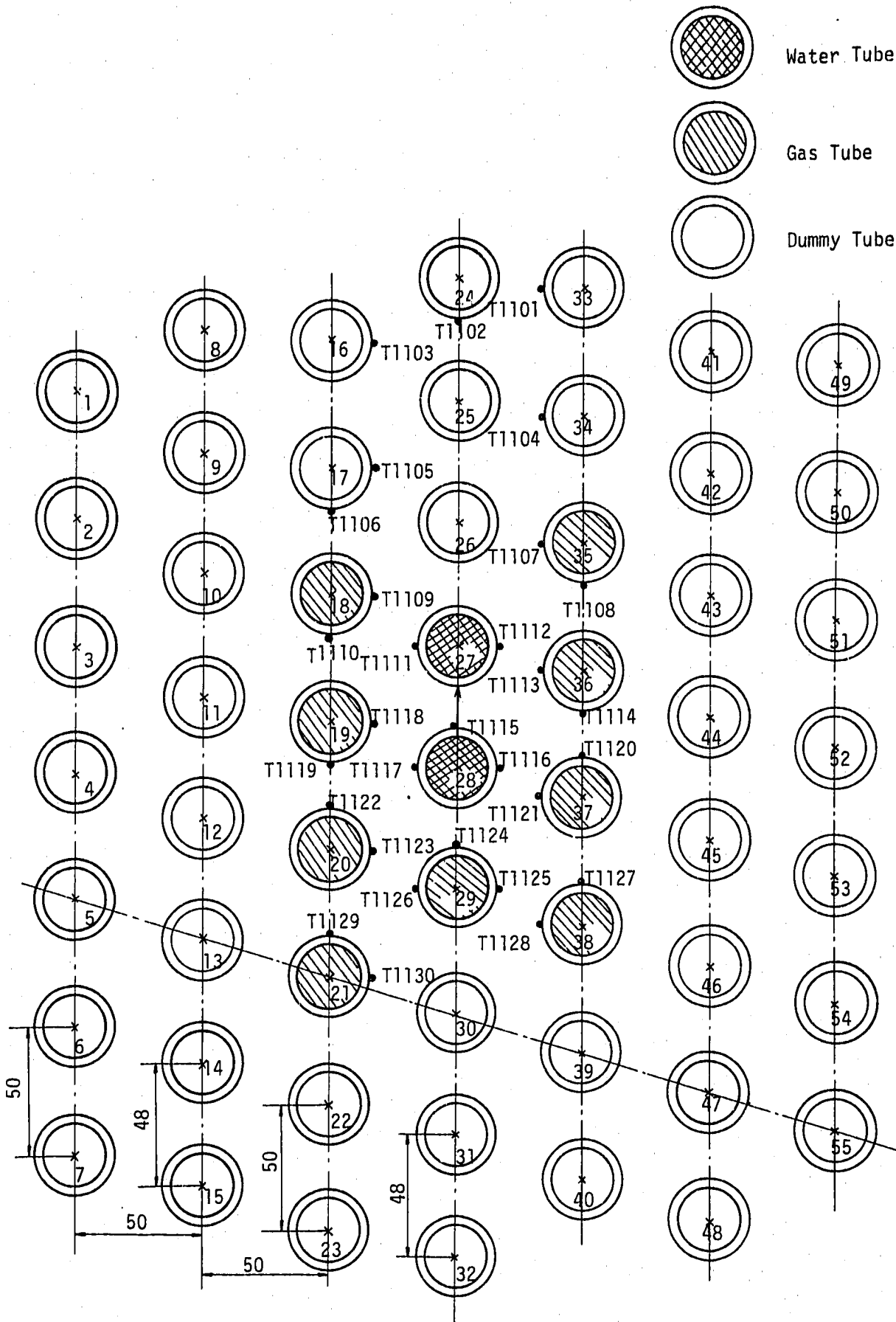


Fig. 2.2.5(a) Tubes and Thermocouples of Upper Test Unit for Run-11

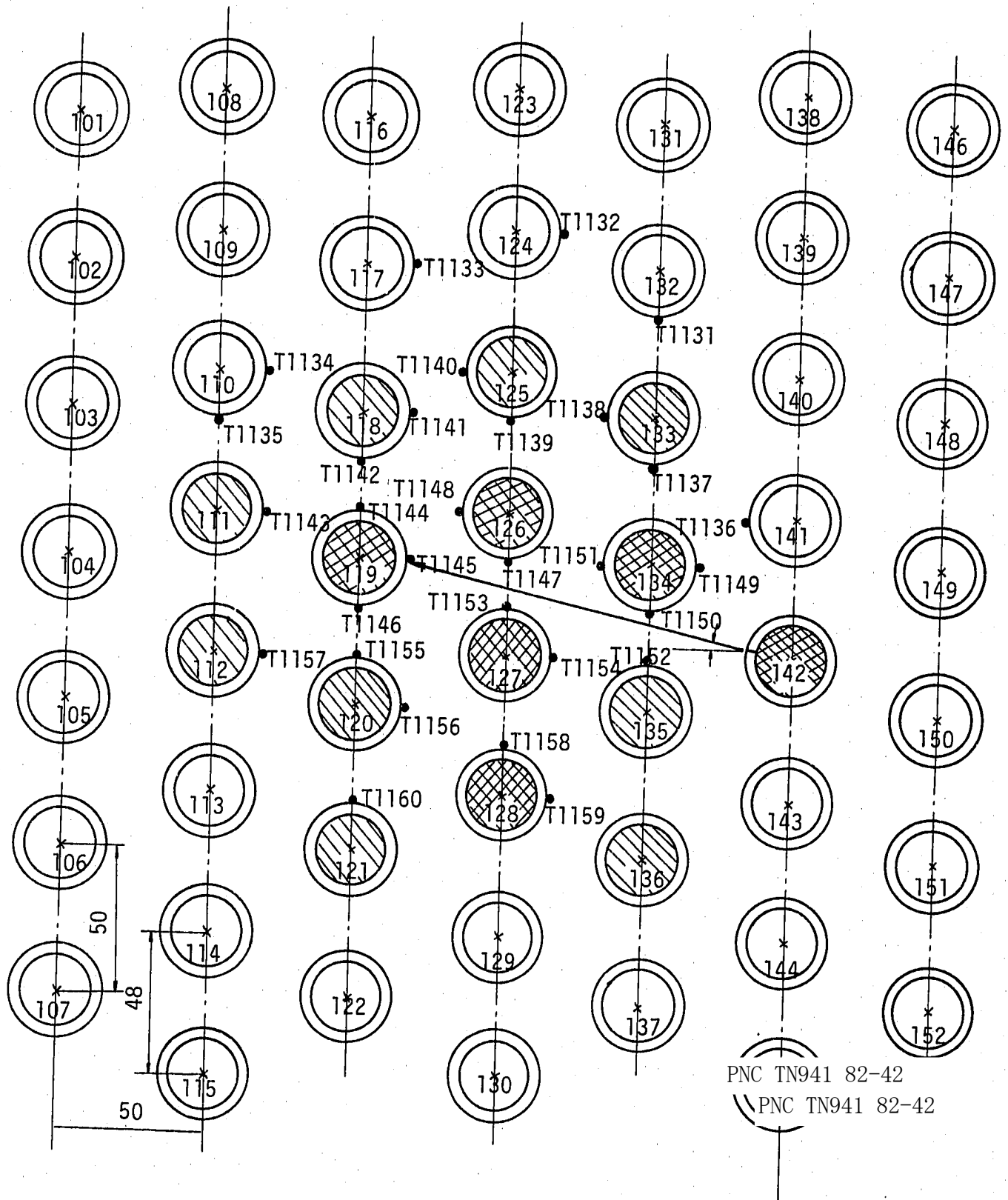


Fig. 2.2.5(b) Tubes and Thermocouples of Middle Test Unit for Run-12

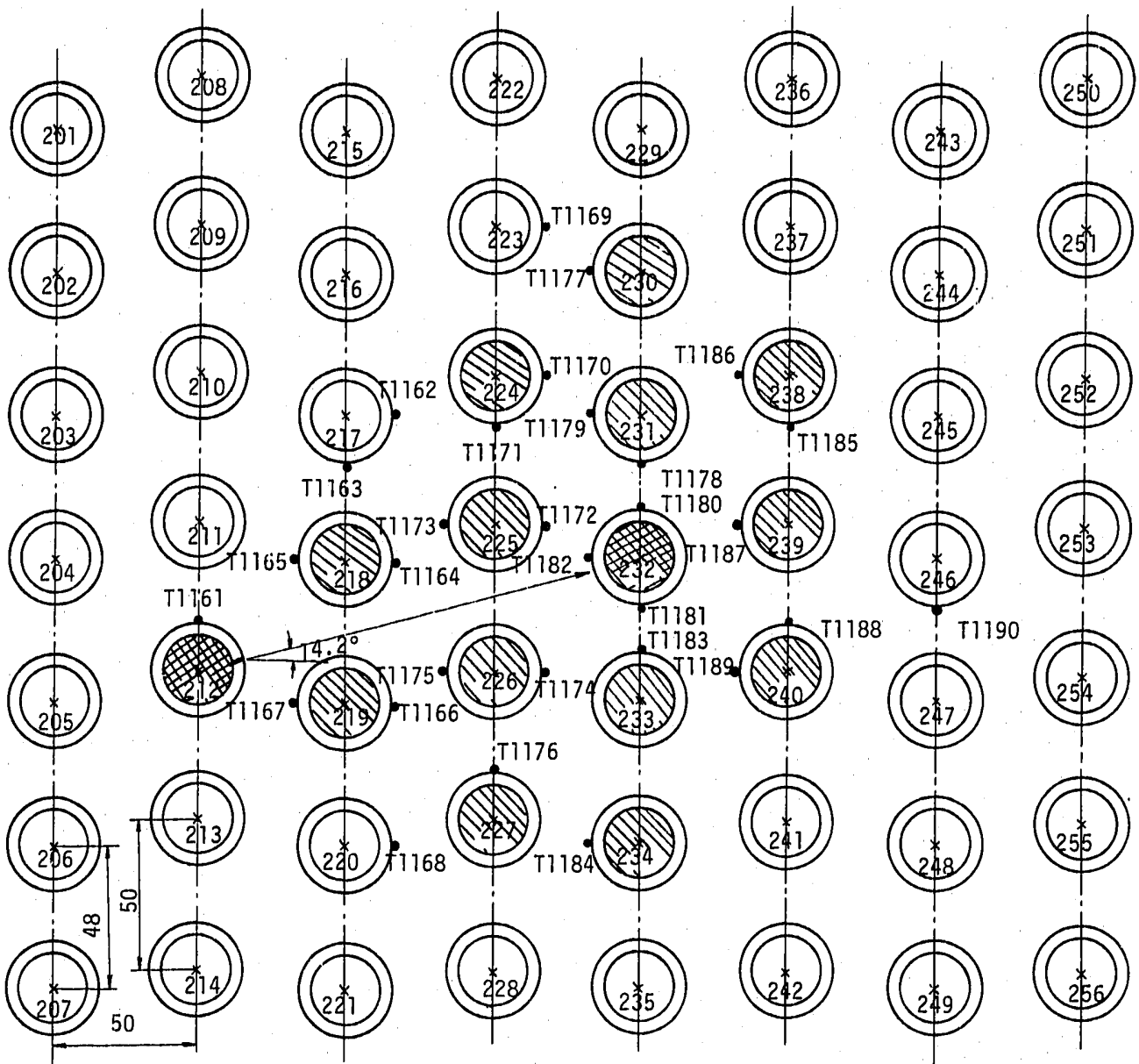


Fig. 2.2.5(c) Tubes and Thermocouples of Lower Test Unit for Run-13

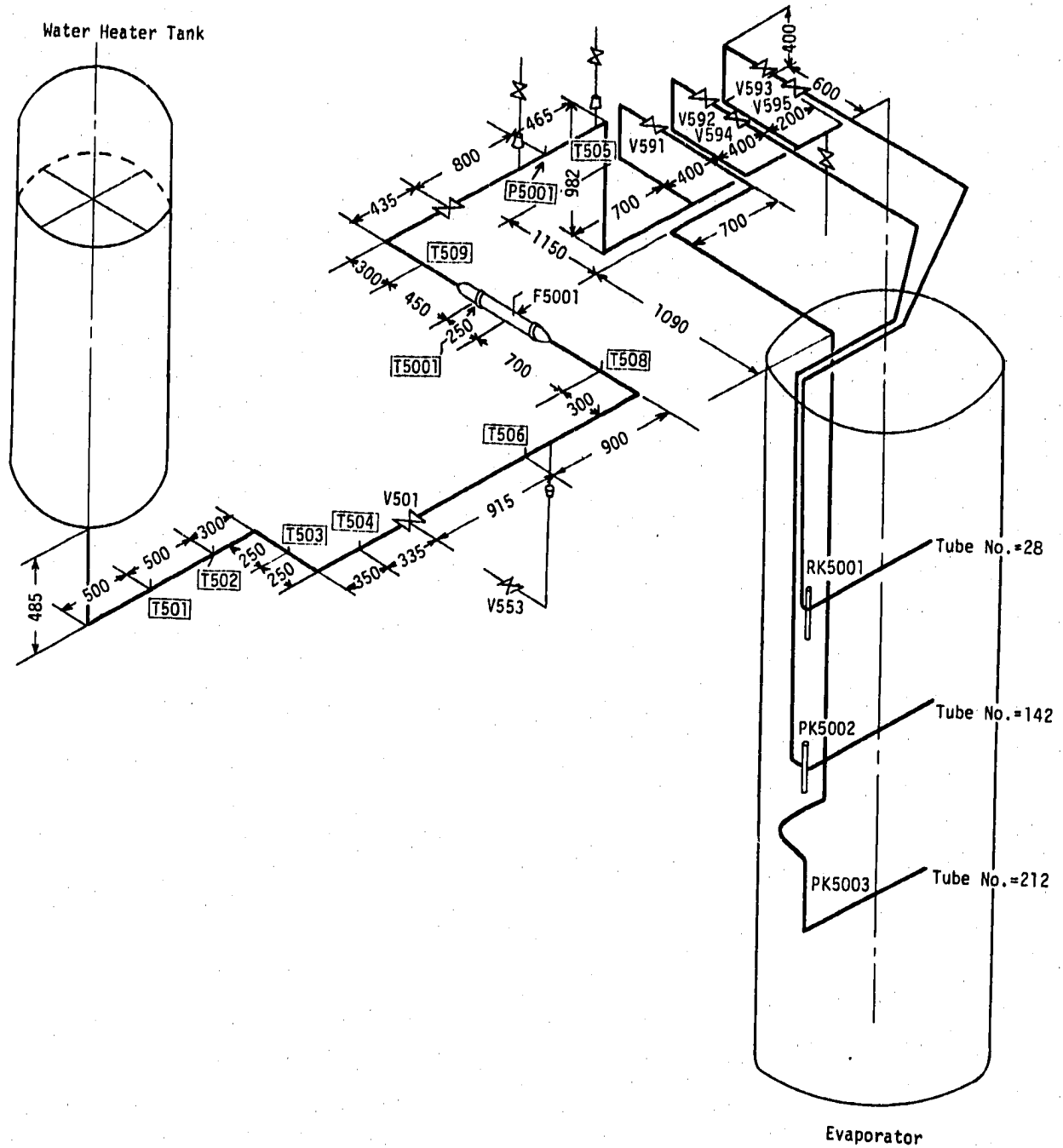


Fig. 2.2.6 Water Injection Piping

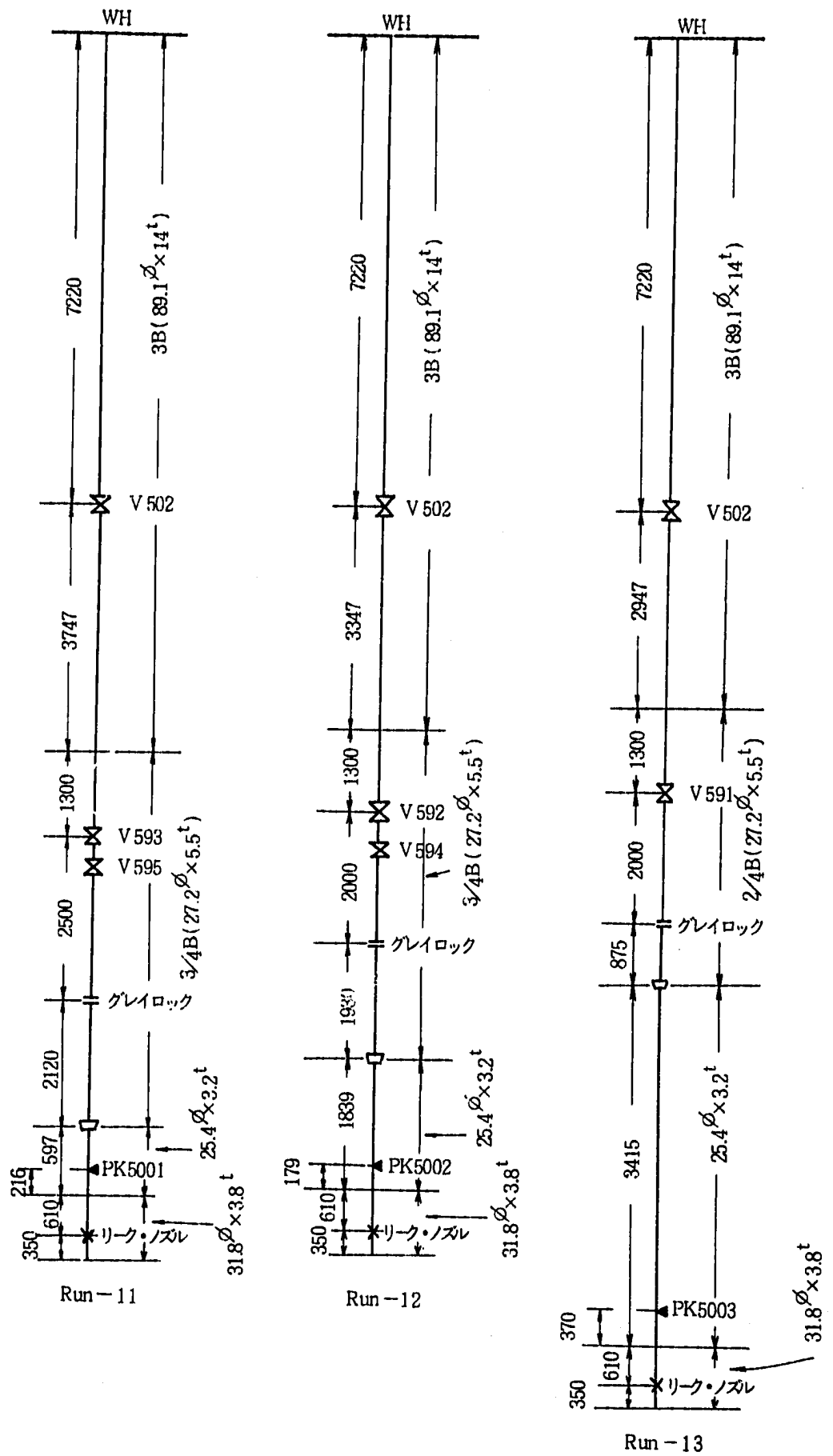


Fig.2.2.7 Run-11~13 試験の各注水ラインの寸法

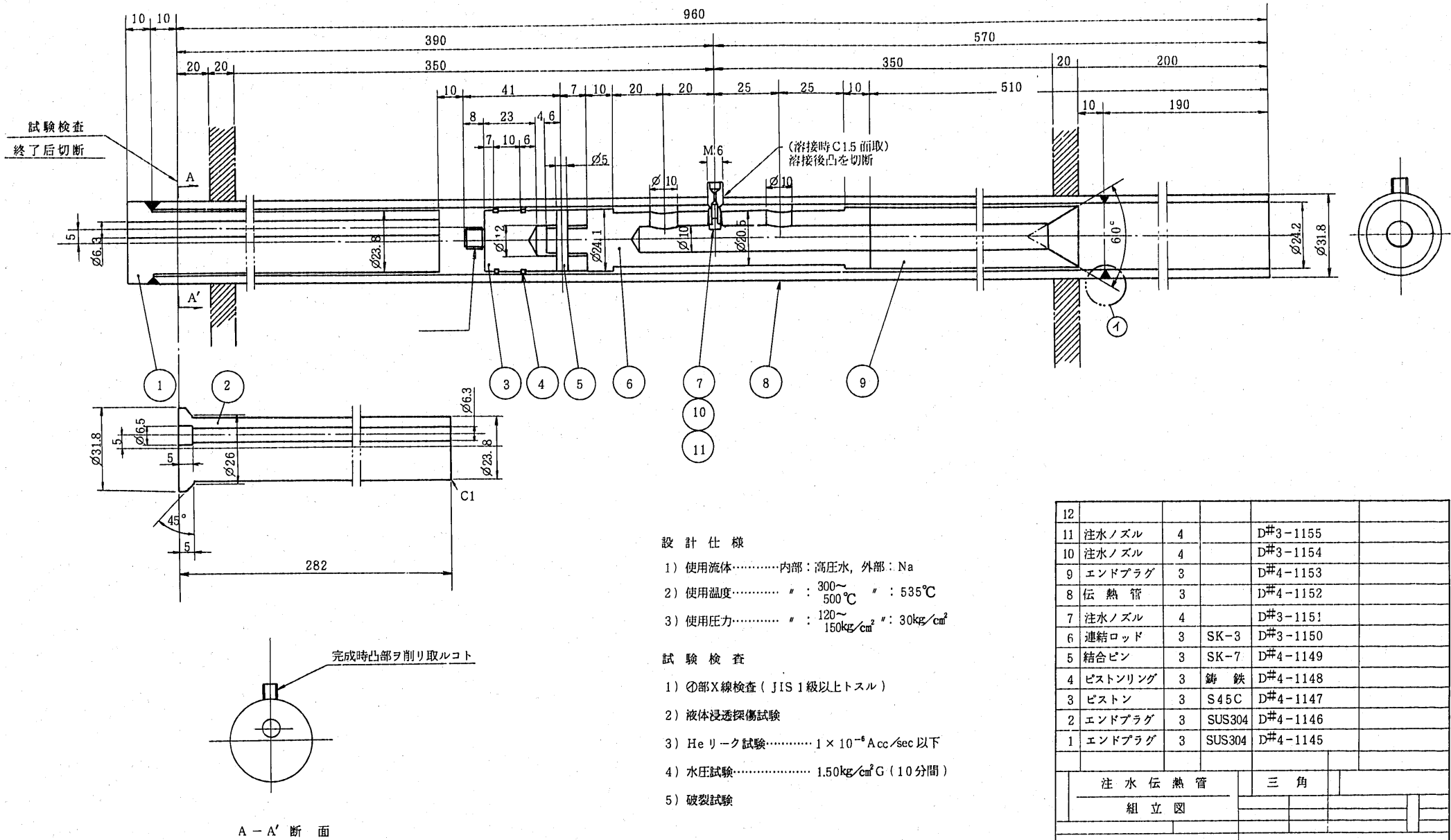


Fig. 2.28 注水伝熱管組立図

ピストン式注水孔開孔機構の形状は Fig 2.2.8 に示すように、前回 (Run-8~10) のものと比べて、伝熱管のサイズに合わせて太くなったものの基本的構造には変化ない。注水弁 (V 591~V 593) が開かれると、約 150 ata の水/蒸気圧によって、図中の⑥、③が押されて⑦を破壊し、注水ノズルからナトリウム中への注水が開始される構造になっている。

2.3 計測系

本試験で得ようとするデータは、2.1 節の試験目的からも判るように 1 次、2 次及び 3 次のリーク率、破損伝播時刻、伝熱管表面温度、ウェステージ量、破損孔形状等である。このうち後の 2 つの量は試験後に得られるものであり、前 3 者が主として試験時の計測対象データである。これらのデータを得るために以下の計測器を設置した。

○ 熱電対

各試験体に 30 点ずつ合計 90 点設置して、反応時の温度分布を測定し、更にその挙動から破損伝播時刻を推定しようとするものである。熱電対は非接地型 C.A の 1.0 ϕ の物を使用した。センサ配置図は Fig 2.2.5 (a)~Fig 2.2.5 (c) に示した。

○ 流量計

水リーク率を求めるためのもので、タービン流量計 (トキコ社製のポッターメータ) F 5001 の測定範囲は以下のごとくである。

F 5001 : 1 kg/sec ~ 15 kg/sec (341 °C 飽和水換算)

○ 注水配管内圧力計 P 5001, P 5003, PK 5001~PK 5003

注水管内の圧力変化を求める事によってリーク率の変化を読み取ろうとするものである。P 5001, P 5003 は Fig 2.2.5 に示したように WH から EV に入るまでの配管途中にあり、これに対し、PK 5001 (Run-11 用), PK 5002 (Run-12 用) 及び PK 5003 (Run-13 用) は熱電対 TK 5001~TK 5003 と組んで EV 内の各試験体の側部に設置されている。

○ ガス加圧伝熱管内圧力計 P 5 * * * *

前回の Run-8~10 試験では、各試験ごとにガス加圧ヘッドが共通になっていたので、ガス加圧管が 1 本でも最初に破損すると、他のガス管の内圧も低下してしまい、2 本目からの破損時間が判らなくなるという欠点があった。この反省から、今回は、すべてのガス加圧伝熱管を 1 本ずつ独立に加圧して圧力計を設置した。これらの加圧伝熱管の加圧ライン側でない端面から、6.35 ϕ \times 2 t の SUS 316 の配管で EV 外部まで引出して圧力計を取付けた。伝熱管から圧力計までの長さは約 12 m であった。

○ 音響計 A 1111, A 1112, A 1123~25

破損伝播の音響検出用として、EV 外壁の従来圧力計タップとして使用していたものを導波棒として、加速度計 5 点を設置した。まず、A 1123~25 は前回と同様に、KISTLER 社製のピエゾトロン型加速度計 (815A5) を 3 基取付けた。更に今回は、WILCOXON

Tag	Location	Direction	Hight
P1113	Pres. Tap	90°	FL3000
P1114			FL4400
P1115		90°	FL5800
P1133		270°	FL3000
P1134			FL4400
P1135	Pres. Tap		FL5800
PK1101	Inner Wall of Internals		FL3330
PK1102			FL3730
PK1103	Inner Wall of Internals	270°	FL4403
A1111	Pres. Tap	90°	FL2200
A1112		90°	FL2550
A1123		0°	FL3000
A1124			FL4400
A1125	Pres. Tap	0°	FL5800

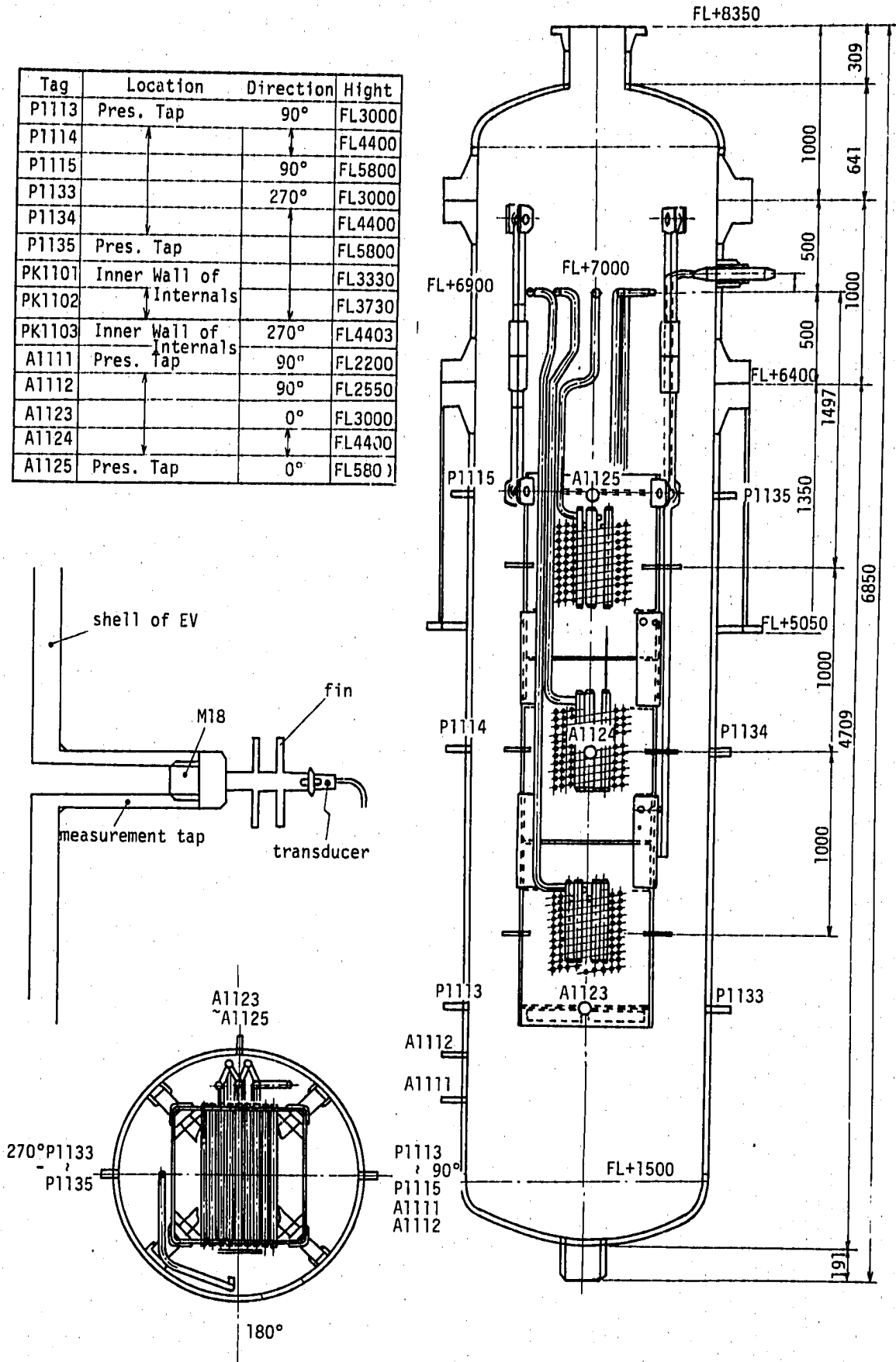


Fig. 2.3.1 Location of Accelerometers and Pressure Transducers

社製のM95及びENDEVCO社製の2250 Aを高周波検出用として、それぞれA1111, A1112として設置した。

以上述べた以外にも、系内の圧力やナトリウム流動のデータを得るための各種計測器が設置されている。これらを合わせて、計測器・機器ごとの計測点数一覧表をTable 2.3.1に示す。第1回破損伝播試験（Run-8～10）の時と比べるとやや増えて総数199点となっている。なお、全計測器の仕様及び設置場所のリストをAppendix Dに添付した。

Table 2.3.1 計測点一覧表

計測器	機器	EV	SH	IHX	2次系配管	RT	放出系配管	WH	水系配管	ガス加圧管	計
圧力		11	3	1	1	2	2	1	5	31	57
温度		93	2	0	3	4	2	2	4	0	110
流量		0	0	0	1	0	0	0	1	0	2
液面		3	1	0	0	0	0	1	0	0	5
ボイド		12	0	0	0	0	0	0	0	0	12
加速度		5	0	0	0	0	0	0	0	0	5
RD・バルブ 開閉信号		1	1	0	0	2	0	4	0	0	8
計		125	7	1	5	8	4	8	10	31	199

またウェステージ量は超音波厚さ計で試験後に測定する事とした。

これらのデータは、以下に述べるデジタル高速データ収録装置（HP2116C）及び各種データ・レコーダに収録した。デジタル収録装置は入力側に80Hzのロー・パス・フィルタがあり、またサンプリング速度は8,000 data/secであるが総入力チャンネル数が128点なので1チャンネル当たり62.5 data/secである。デジタル収録装置には温度・液面等のデータを入力した。アナログ収録装置としては以下の物を用いた。

Table 2.3.2 試験計測に用いたデータ・レコーダ一覧表

機種	台数	収録速度	応答周波数
TEAC R-570	2	60 ips	20 KHz
TEAC R-280	4	30 ips	10 KHz
AMPEX FR-2000	1	60 ips	20 KHz

なお、これらのデータ収録のほかにDDCによる運転制御用データ収録も行っており、試験前・中・後の値をAppendix Eに添付した。

2.4 試験条件

Run-11~13の試験条件をTable 2.4.1にまとめた。以下にその詳細を説明する。

2.4.1 初期注水ノズル孔径

本破損伝播試験を計画するに際して、各試験の具体的目標を以下のように設定した。

Run-11 …… 小リークからの破損伝播の進行状況を把握する。またその際、リーク・ジェット間での干渉作用が存在するかどうかを調べる。

Run-12 …… 中リーク領域で、いわゆるマルチ・ウェステージにより、数本の伝熱管がほぼ同時に破損するような厳しい状況を現出させる。

Run-13 …… 中リーク/大リークの遷移域で高温ラプチャ^{注)}の発生する可能性を探る。

その結果、注水ノズル孔径は以下のように定められた。

{	Run-11 …… 0.3 mmφ
	Run-12 …… 1.5 mmφ
	Run-13 …… 6.0 mmφ

2.4.2 伝熱管配列

更に、上記目標に沿って伝熱管配列やノズルの向きをFig 2.2.5 (a)~(c)に示すように定めた。

Run-11 …… 1次・2次ジェット間の干渉作用が生じ易いように1次ジェット (No.28) の向きを真上の管 (No.27) の中心に当てた。

Run-12 …… できるだけ多くの伝熱管が高いウェステージ率で損耗を受けるように、1次注水管No.142のノズルをNo.119の伝熱管90°方向 (鉛直上方0°として時計回り) の管外面に向けた。また、このため、2次破損の可能性が高いと思われた伝熱管と2次ジェットとによる3次破損の可能性が高くなると予想された伝熱管、合計5本 (No.119, 126, 127, 128及び134) を注水ターゲット管とし、水加熱器と連結して150atの飽和水中で内から加圧した。更に、これらの注水ターゲット管の周囲には窒素ガスで150atに内部加圧した伝熱管9本 (No.111, 112, 118, 121, 125, 133, 135及び136) を配置した。

注) ナトリウム-水反応熱により伝熱管材の温度が上昇し、機械的強度が低下して、内圧 (通常約150at) により破損すると考えられる現象。

Table 2.4.1 試験条件のまとめ

Run No.		11	12	13	
実施年月日		1980. 5. 22	←	←	
内部 構造 物 型 式	反 応 容 器	蒸 発 器	←	←	
	内 部 構 造 物 型 式	直管 55 本での 管束部 模 擬	直管 52 本での 管束部 模 擬	直管 56 本での 管束部 模 擬	
	伝 熱 管 寸 法	31.8φ×3.8 t×700ℓ	←	←	
	伝 熱 管 材 質	STBA 24	←	←	
	試 験 体 位 置	上 部	中 部	下 部	
	注 水 点 レ ベ ル	FL 5403	FL 4403	FL 3365	
注 水 条 件	注 水 機 構 型 式	ピストン型	←	←	
	初期リーク・ノズル径	0.3 mm φ	1.5 mm φ	6.0 mm φ	
	水加熱器圧力 atg	147	149	150	
	水加熱器温度 °C	341	342	343	
	注水配管温度 °C	341	342	315	
	初期注水率 g/sec	0.0	87	900	
	注 水 時 間 sec	840	152	168	
	注 水 量 kg	0.0	39	125	
ナ ト リ ウ ム 系 条 件	ナトリウム温度 °C	336	334	372	
	ナトリウム流量	静 止	←	←	
	EVカバーガス圧 atg	0.49	0.45	0.46	
	SHカバーガス圧 atg	0.49	0.45	0.46	
	使用カバーガス	アルゴン	アルゴン	アルゴン+水素	
放 出 系 条 件	ラ設 プ チ定 ャ 板圧	RD 601 at	3 (485 °C)	←	←
		RD 602 at	3 (485 °C)	←	←
		RD 603 at	1.5 (150 °C)	←	←
	放出系配管温度 °C	300	278	247	
	収納容器温度 °C	375	368	343	
	放出系圧力 atg	0.51	0.46	0.47	

Run-13 …… この試験は前述したように、高温ラプチャの発生する可能性を探るためのものであった。高温ラプチャの開孔規模は甚しい場合 1 DEG 相当までなる事も予想されたので、本試験装置の安全保護上、注水ターゲット管は 1 次リーク・ジェットの真正面の 1 本 (No. 232) のみとし、他の主要なターゲット管 13 本は、窒素ガスで 150 at に加圧した。

2.4.3 注水系の試験条件

水側の条件としては、飽和水を用いる事とした。これは、本試験の性格上、大量の水 (当初の予定では、220 kg) を注入するため、実験途中で水側圧力が低下するのは望ましくなく、従って単に水加熱器の温度コントロールだけで 150 at の圧力が保持できる飽和水条件を選んだものである。すなわち水加熱器条件は温度 341 °C、圧力 150 atg とした。注水ラインの温度もこれに準じて 341 °C とした。注水ラインの真空引きは、注水操作までは注水弁の開閉は行なわない方が注水弁のシール性にも問題が無いとの判断から、V 591 ~ V 595 の下流では実施しなかった。

2.4.4 ナトリウム系の試験条件

ナトリウム温度としても 341 °C を選んだ。これは反応熱による試験後の温度上昇を見越して、試験装置の安全保護上、あらかじめナトリウム温度を低く設定する必要があった事と、実験の重要なパラメータの 1 つである水リーク率を実験計測だけでなく計算によっても正しく把握する必要がある事からナトリウムから水側への入熱の影響を取り除こうとしたためである。この結果、Run-11 及び Run-12 のナトリウム温度は EV 下部条件となった。なおこの条件は Run-12 試験での反応熱による温度上昇のため Run-13 試験時には満足されなかった。

2 次系 2 B 配管 (EV → IHX → SH) のラインのナトリウム弁 V 101 は反応生成物の流入を防ぐために注水試験直前に閉じることとした。

2.4.5 放出系他

放出系の条件設定は、破損伝播が進行して大リークとなった場合の放出特性データを得ると言う事よりも試験時に装置運転を容易にする事を第 1 に考えて行なった。たとえば、水素ガスの EV 内へのビルドアップと共にナトリウム液面が低下して注水点がカバーガス空間に露出する事を恐れて、EV と RT 間はバイパス弁 V 601 を初めから開けておくこととした。SH と RT 間の V 602 も同様である。また最初の試験で大気放出系の圧力開放板を破った場合逆止弁の閉じ具合ではその後の Run-12、Run-13 試験で RT 内を正圧に保つ操作が煩雑になるため、ここでもバイパス弁 V 603 を用いて圧力開放板 RD 603 を破る事なく大気放出

を行なった。

その他2次系やドレン系についても破損伝播関係のデータを得ると言う事に第1目標として試験装置の運転を行なった。

2.4.6 注水停止条件と破損伝播検知法

各試験でいつ注水停止を行なうかは本試験の目的とも関係して極めて重要な事で、次の2つの考え方を挙げる事ができる。

- I) 「もんじゅ」の水リーク時の運転法に従い「もんじゅ」体系で水リークを検出し水素のブローが完了したと考えられる時点まで注水し、健全性を実証する。
- II) 「もんじゅ」の運転法とはひとまず離れて、可能な限り高次の破損伝播が発生するまで注水を続け、連続的な破損伝播についての基礎データを得る。

この点に関しては、実験実施の時点で必ずしも「もんじゅ」の事故時の運転法は明確になっておらず、むしろ運転法決定の根拠として破損伝播のデータを数多く得る事が重要であると考え後者の方針を選んだ。そして装置の安全保護も考慮し注水停止条件を以下のように決めた。

- 1) Run-11及びRun-12については、3次の注水ターゲット管破損が発生するまで注水を続ける。
- 2) Run-13については、破損回数での注水停止は特に考えない。
- 3) ただし、全試験とも装置の安全保護上、リーク率の上限を10 kg/secとし、このリーク率に達したら注水を停止する。
- 4) 今回の一連の注水試験の総注水量を220 kgとし、各試験毎に最大許容注水量を以下のように設定して、その値に達したら注水を停止する。

Run-11 …… 12 kg

Run-12 …… 110 kg

Run-13 …… 100 kg (125 kg)^{注)}

PNC TN941 82-42

以上の条件を基に作成した注水のフローシーケンスをFig. 2.4.1 (a)~(c)に示す。

これらのシーケンスにおいて、上記(3)及び(4)については、それぞれ、タービン流量計F 5001及び水加熱器液位計L 511の電気信号をインターロック回路に組込んで自動的に注水停止を行なえるようになされているが、1)の破損回数の判断は、種々の出力信号を基に試験実施者が決定しなければならない。そのための信号として、以下のものを用意した。

○水リーク率 …… タービン流量計F 5001, 水加熱器液位L 511

注) 実際は、Run-12において、許容値よりも少ない量(39kg)しか注水されなかったため、Run-13において、試験直前に最大許容注水量を100 kgから125 kgまで上げた。

Run-11 注水

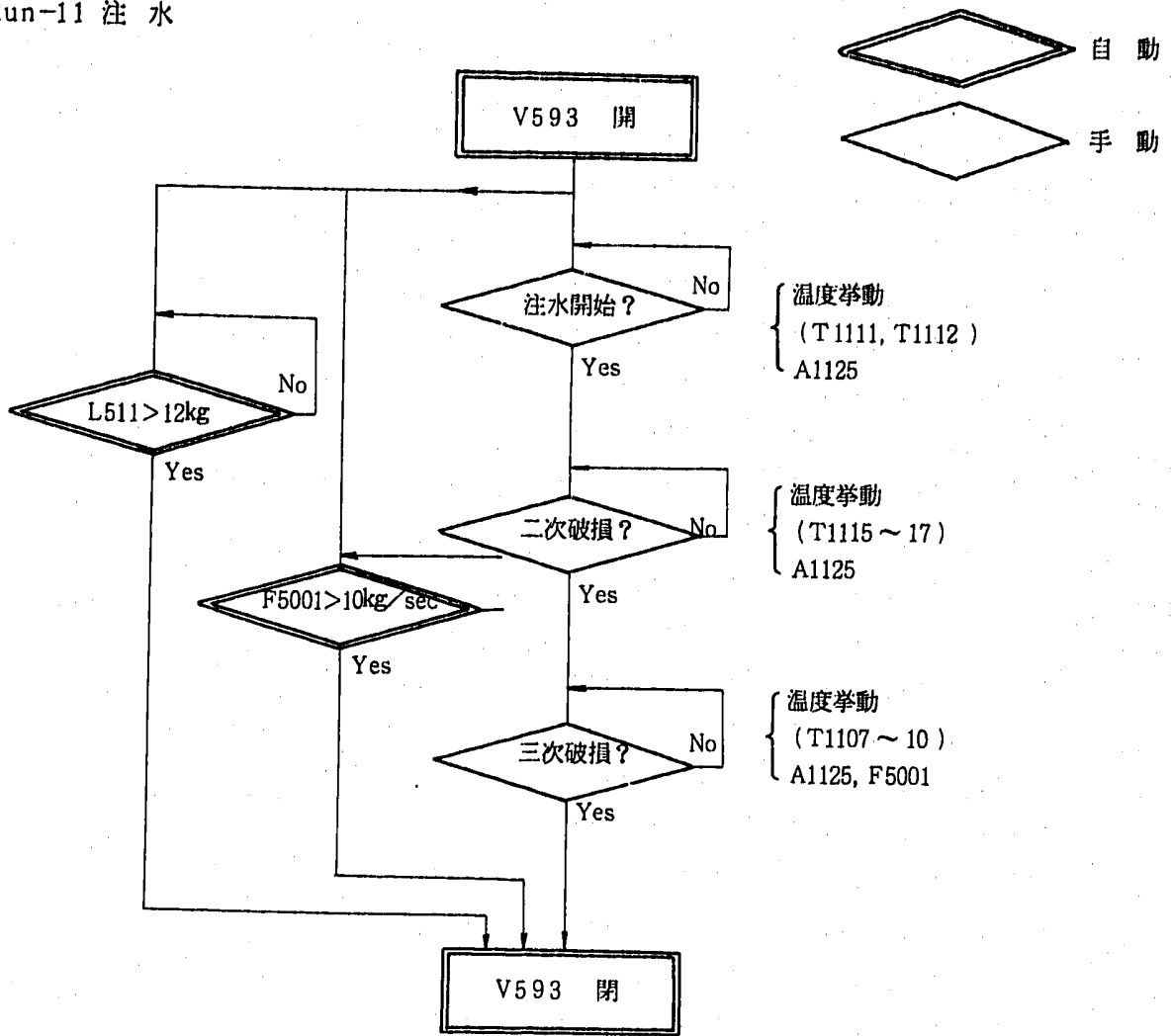


Fig.2.4.1(a) Run-11 の注水フローシーケンス

Run-12 注水

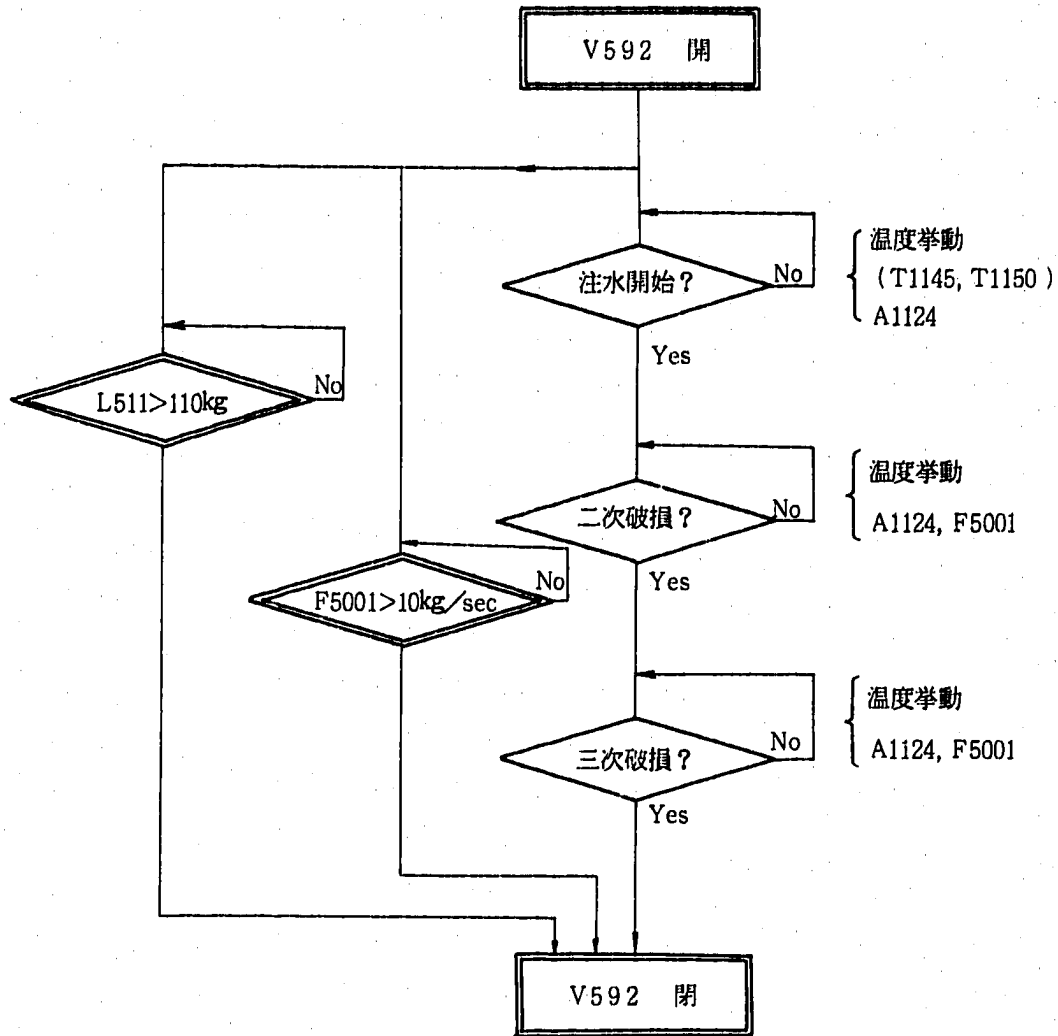


Fig.2.4.1(b) Run-12の注水フロー・シーケンス

Run-13 注水

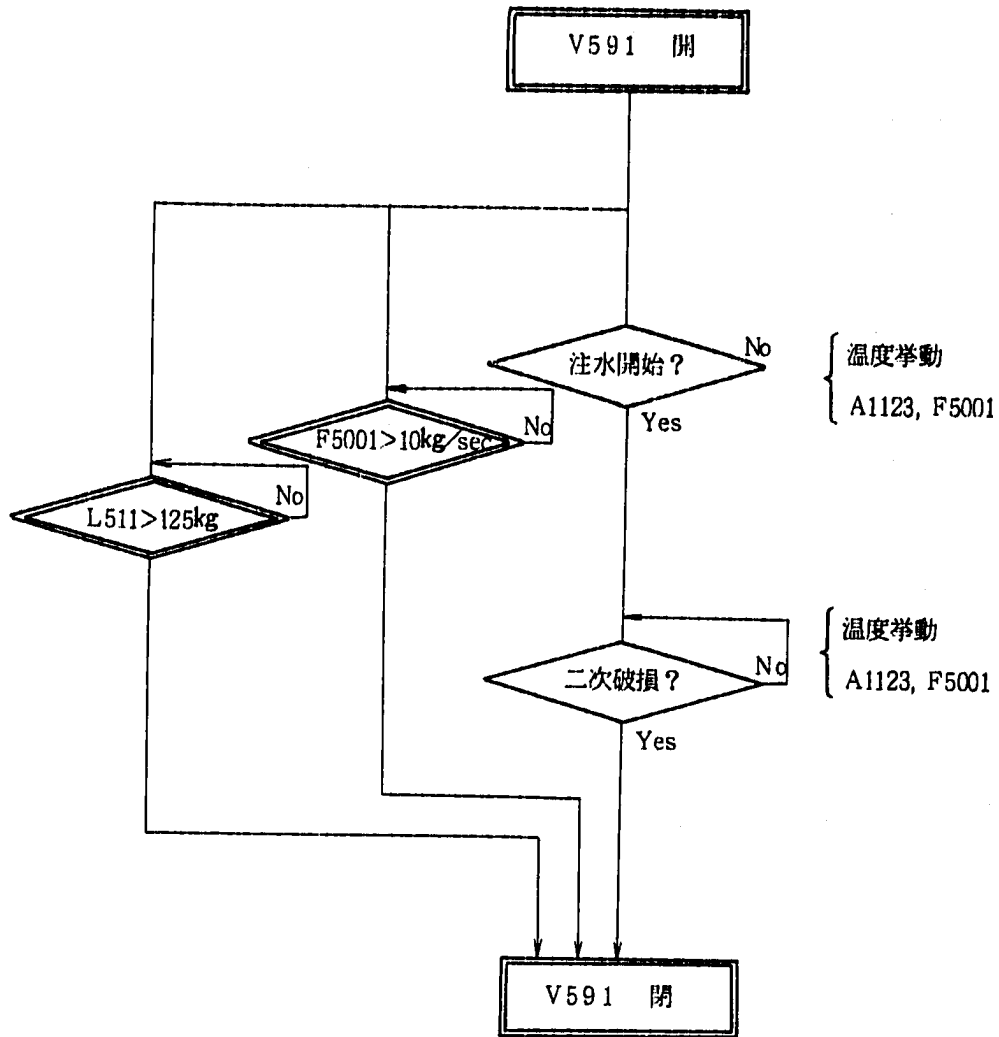


Fig.2.4.1(c) Run-13の注水フロー・シーケンス

- 音響レベル ……加速度計 A 1123 ~ 25
- 反応温度マップ…温度ディスプレイ（熱電対出力を色調変換して、カラーモニタに表示するもの）

PNC TN941 82-42

2.5 試験運転経過

1980年5月19日に試験運転を開始し、5月22日にRun-11~13を実施した。これら試験運転のスケジュールをTable 2.5.1に示す。SWAT-3の注水試験は、運転制御用ミニ・コンピュータYODIC-100に組込まれた大リーク注水試験用シーケンス・プログラムを用いて実施されている。今回の試験操作も大筋としてこのシーケンスに従って行なわれた。このシーケンス・プログラムをAppendix Fに付す。

既に述べたように、Run-12, 13試験と同時に当初予定していたRun-11試験は、注水ピストン機構の不調により、全く注水が行なわれず、失敗した。以下にこれらの試験の時間経過の概要を示す。

1980年5月22日

条件確認後, SEQ-12 STEP 1 Start

注水許可信号 ON

注水許可スイッチ ON

14:38 V 502 OPEN

14:38 V 595 OPEN

14:39 V 593 OPEN Run-11注水開始

—この間、全く注水されず—

14:53 V 593/V 595 CLOSE

この間, Run-12 試験準備

15:56 条件確認後, SEQ-12 STEP 10 Start

16:00 V 594 OPEN

16:08 V 592 OPEN, Run-12注水開始

16:10 2次破損発生

16:11 3次破損発生

16:11 V 592/V 594 CLOSE 注水停止

この間, Run-13 試験準備

17:34 条件確認後, SEQ-12 STEP 10 Start
17:38 注水許可信号 ON
注水許可スイッチ ON
17:41 V 502 OPEN
17:41 V 591 OPEN, Run-13注水開始
注水量が予定していた125 kgを越え自動停止が掛かる。
17:44 V 501/V 502 CLOSE Run-13注水停止
17:49 注水ライン残留水追出し

3. 試験結果

PNC TN941 82-42

3.1 Run-11 試験の結果

Run-11 試験は、所定のシーケンス・フローに従って実施されたにもかかわらず、全く注水がなされなかった。注水弁を開いたまま14分待ったが、水加熱器液面も低下せず、注水ノズル近傍の熱電対出力も全く変化が無いなど、注水がなされている事が全く確認できなかったため、注水弁を閉じた。Run-12, 13 試験実施後、装置を解体してピストン式注水孔開孔機構を調べた結果、水側圧力によりピストンは正常に作動し、注水ノズル (Fig. 2.2.8 の⑦) の下半分は折れている事が判った。

このようにして、ノズル孔自体がプラグしている可能性が残されたため、プラグの原因を知る目的で材料検査を行なった。その結果ノズル孔に異物が詰まったのではなく、孔が初めから貫通していなかった事が判明した。その原因としては、ノズル⑦を注水伝熱管⑧にネジ込んだ後、突出部を切落として、ネジ部をシール溶接する際に、ノズル孔自体を溶かしてしまったものと結論された。

以上のように、注水は全くなされなかったもので、実験データとしても全く無意味であるため、Run-11 については、データの添付も行なわない。

3.2 Run-12 試験の結果

3.2.1 概要

Run-12 試験は、Fig. 2.2.5 (b) に示したような試験体系で、伝熱管 No. 142 のリーク孔 (ノズル孔径 $D = 1.5 \text{ mm } \phi$) から注水を開始した。同試験時のペンレコード出力を Fig. 3.1.1 に示す。出力データは、上から、加速度計型音響計 A 1124, タービン流量計 F 5001, 水加熱器液位 L 511, 加圧伝熱管圧力 P5*135, 注水伝熱管圧力 PK 5002 である。

加速度計 A 1124 の動きを見ると、破損伝播の様子がよく分る。1次リーク開始後74秒で2次破損が発生した。更に、71秒後 (1次リーク後145秒) に3次破損が発生したため、Fig. 2.4.2 (a) のフロー・シーケンスに従って、注水停止操作を行なった。この間ガス加圧管 No. 135 が1次リーク開始後134秒に破損した。

水リーク率は、1次が 87 g/sec , 2次が破損管の合計で 260 g/sec , そして3次が合計 $1,460 \text{ g/sec}$ であった。これらの破損伝播のタイム・ヒストリー及び進行図をそれぞれ Fig. 3.2.2 及び Fig. 3.2.3 に示す。

以下に、Run-12 注水試験のデータを示し、詳細な検討を行なう。但し、Fig. 3.2.4 ~ Fig. 3.2.12 においては、注水開始を10秒としている。

3.2.2 注水系

注水トリガ弁 V 592 の開度状態と水加熱器液面計 L 511 (残留水を kg で表示) の出力レベル Fig. 3.2.4 に示す。 $t = 10$ sec に注水を開始し, $t = 162$ sec (注水開始後 152 sec) に注水を停止した。総注水量は 39 kg で L 511 の勾配から, 各破損時の全リーク率は, 1 次, 2 次, 3 次でそれぞれ 87 g/sec, 260 g/sec, 1,300 g/sec と読み取る事ができる。

タービン流量計 F 5001 の出力を Fig. 3.2.5 に示す。仕様によれば, F 5001 の作動領域は, $1.6 \ell/\text{sec} \sim 25 \ell/\text{sec}$ (341°C の飽和水の密度 $\rho = 607 \text{ kg}/\text{m}^3$ から換算すると作動領域は $1.0 \sim 15 \text{ kg}/\text{sec}$) であり, 注水開始時と 3 次リーク時を除いては, 仕様範囲以下のため出力がなかった。

3 次破損時のリーク率は仕様範囲内で, 平均 $2.4 \ell/\text{sec}$ 即ち $1.46 \text{ kg}/\text{sec}$ となっている。これは前述の L 511 の値とわずかに異なるが, 測定精度の高い F 5001 の値を 3 次破損時の全リーク率の値とする。

水加熱器内圧力 P 511, 注水配管内圧力 P 5003, 注水伝熱管内圧力 PK5002, 及び加圧伝熱管 Na 135 の封入窒素ガス圧力 P * 135 を Fig. 3.2.6 及び 3.2.7 に示す。Fig. 3.2.6 で水加熱器内圧力は注水前後で 4 at 程度の変動が見られた。これに対し, 配管途中の圧力計 P 5003 は, 値自体が 150 at より低く, 圧力変動も大きい。これは真の圧力変動と言うより, 温度変化の影響による見かけの変動と考えられ, 値自体の信頼性も乏しい。

Fig. 3.2.7 で, 注水伝熱管のヘッダ圧力 PK5002 にも途中から圧力上昇が見られるが, これも反応熱によりセンサー・ゲインが変化したためと考えられる。また $t = 155$ sec (注水開始後 145 秒) に急激な圧力低下が見られるが, これは, 3 次破損により注水率が增大したため, 水加熱器からの配管内での圧力損失が増加したものである。

同図の P * 135 は加圧伝熱管 Na 135 の圧力値で, $t = 144$ sec (注水開始後 134 秒) に破損伝播して破損した事を示している。また, 途中での圧力上昇は, 2 次破損以後の反応熱の増大によるものである。なお Na 135 以外の加圧伝熱管の圧力もモニターされていたが, これらはいずれも破損しなかったため圧力低下も見られなかったので, データは載せていない。

注水系の温度挙動を示したのが, Fig. 3.2.8 で, 水加熱器内温度 T 5101, 注水配管内温度 T 5002, 及び注水伝熱管内温度 TK5002 の出力であるが, TK5002 の異常な挙動の原因は, センサーの故障のためと考えられるが詳細は不明である。

3.2.3 伝熱管束部温度

Run-12 試験体には, Fig. 2.2.4 (b) に示したように T 1131 ~ T 1160 の 30 本の C. A 熱電対が設置されて, 伝熱管周囲の温度が計測された。各熱電対の出力を Fig. 3.2.9 (a) ~ (u) に示す。これらの温度挙動を破損伝播現象の進行と結びつけて観察して見た。

1) 1次リーク

伝熱管No.142からの1次リーク・ジェットに対して、伝熱管No.118, 119, 126, 127, 134, 及び135のジェット側の温度が500℃以上に上昇した。この中で、T 1147の910℃が最高であった。また、未反応水と思われるような特に低い温度は認められない。2次破損が発生するまでの温度は、やや下降気味ではあるものの概して安定している。T = 84 sec (1次リーク開始後74秒)に2次破損が発生した。

2) 2次リーク

2次リーク管は、No.127で、リーク・ジェットの向きは、No.133から134の方であった。熱電対の温度挙動には大きく分けて次の二つが見られる。即ち、まず2次破損によって出力が急上昇したものが、管No.133, 134, 141の周囲のT 1131, T 1136~38, T 1149~51などである。これに対し、2次破損によって出力が低下したものが、2次破損管No.127の左側に位置するT 1135, T 1140~48, T 1154~59などである。またT 1152の温度も低下しているが、これは未反応水の温度であると考えられる。このように、1次リーク・ジェットの影響がそれより大きな2次リークのために、ある領域では干渉を受けて打ち消されると言う現象は、Run-8試験に引き続き、今回も確認された。T = 144 sec (2次リーク開始後、60秒)にガス加圧管No.135が、T = 155 sec (2次リーク開始後71秒)に1次注水管No.142が再び破損した。

3) 3次リーク(窒素ガス)

No.135から噴出する窒素ガス・ジェットによる温度場の変動は、T 1147, T 1151, T 1159などに見られるが、ガス・ジェットによる干渉のためガス・ジェットの背後の温度が低下すると言うような現象は見られず、開孔面積はRun-8試験の3次ガス管リーク(この場合は背後での温度低下が見られた)に比PNC TN941 82-42 られる。

4) 3次リーク(水/蒸気)

注水管No.142の3次破損の影響は、全30点の熱電対の出力にはっきりと現れており、規模の大きさが推定できる。特にT 1147ではRun-12試験での最高温度1120℃が記録され、また未反応水のものと思われる低温も測られている。このほかにも、T 1136, T 1139, T 1141, T 1148, T 1149及びT 1151などで、1000℃を越える温度が計測されている。また、干渉現象については、3次リークの影響が全熱電対設置範囲まで及んでいるため、3次リーク発生のため、2次リーク・ジェットが遮られて温度が下がると言うような状況は見られない。

各熱電対は高温の反応域に曝されるため消耗が激しく、注水停止までに、T 1137, 38, 42, 45, 50, 52及びT 1154の7本の熱電対のシース(材質:SUS 316)がウェステージにより破れて、芯線が接地状態になっており、T 1136, 49も異常信号になっている。

3.2.4 加速度計型音響計

EV の胴外壁に設置されている 5 点の加速度計について、生データ及び RMS 値を Fig. 3.2.10(a), (b) 及び Fig. 3.2.11(a), (b) にそれぞれ示す。RMS 値の方を見ると、破損伝播現象との対応が良く判る。反応点に最も近い A1124 に注目して見て行くと、まず注水直後 ($t = 10 \text{ sec}$) に鋭いパルス信号が見られるが、これは注水弁 V592 を開いた時に下流配管に高温高圧水が流れ込む事によるものである。この立ち上がり部分を除けば、 $t = 74 \text{ sec}$ (1 次リーク開始後 64 秒) までは、安定して 0.025 G (m/sec^2) 程度の値を示している。これが 1 次リーク (リーク率 $87 \text{ g}/\text{sec}$) に当たるものである。その後、出力は上昇して $t = 155 \text{ sec}$ まで 0.035 G (m/sec^2) 程度の値で一定している。これが 2 次リーク (リーク率 $260 \text{ g}/\text{sec}$) に当たるものである。最後 ($t = 155 \sim 165 \text{ sec}$) の大きな値が 3 次リーク (リーク率 $1,350 \text{ g}/\text{sec}$) に当たるもので、平均 0.13 G (m/sec^2) 程度となっている。なお、ガス加圧管 No.135 の破損に相当する信号は見当たらず、破損孔がそれほど大きくなった事^{注)}をうかがわせる。

Fig. 3.2.11(b) に示す加速度計出力は、Fig. 3.2.11(a) に示した KISTLER 社のものに比べてレベルが全般に小さいが、この原因について現在検討中である。

3.2.5 圧 力

破損伝播現象と SG・2 次系等の圧力挙動の関係を見るために、反応容器 EV、模擬加熱器 SH 及び反応生成物収納容器 RT の制御用圧力計それぞれ P111, P121, P611 を Fig. 3.2.12 に示す。

本試験では、装置運転上反応容器の圧力開放板 RD601 を破りたくないと言う事で、EV の放出系バイパス弁 V601 を当初から開けておき、EV 内の発生水素ガスを収納容器に逃した。このため 3 次リーク時を除けば系内はほぼ平衡状態が保たれている。また、収納容器の圧力は同バイパス弁 V603 を用いて大気へ放出した。このバイパス弁の作動設定圧力は、1.8 ata で開、1.5 ata で閉となるようにした。このバイパス弁が最初に開いたのは、 $t = 137 \text{ sec}$ (2 次リーク開始後 53 秒) であった。

その他の 2 次系や放出系の温度・圧力等のデータについては、巻末の Appendix G に添付した。

3.2.6 試験後の伝熱管損耗状況

試験終了後、反応生成物を含むナトリウムはドレンされ、その後 4 日を費して水蒸気洗浄

注) Run-8 のガス加圧管 No.147 の破損の場合は、約 0.10 G (m/sec^2) のピーク値が計測されている。この時の破損孔径は破損後のウェステージのため、推定不可能であった。

を行なった。EVより内部構造物を引抜き、伝熱管束部を解体して、1本1本の伝熱管をアルコール洗浄した。このようにして、完全にNa, NaOH等を取除いた上で伝熱管損耗状況の観察を行なった。

(1) 破損伝熱管

解体後の検査で、破損伝熱管は4本(Na 127, 134, 135及びNa 142)見かった。これらの写真をFig. 3.2.13に示す。Na 127が2次リーク管で、50°の方向(Fig. 3.2.3参照)に軸方向のき裂が走っていた。これはウェステージにより肉厚が減り、最終的には内圧と高温のためにき裂が生じたものである。き裂の長さは約10mm巾は最大約1mmであった。Na 135はガス加圧管で、2次(及び1次)リーク・ジェットのためにウェステージされ破損したものである。破損孔は2ヶ所あり、写真に見るように大きさも楕円近似で 6.1×14.8 , 5.0×11 とかなりあるが、3.2.3, 3.2.4で説明したように、破損直後の孔はもっと小さく、その後実際に水が止まるまでに拡大したと考えるのが妥当である。

Na 142は、1次リーク管であるが、2次リーク・ジェットのために3次破損したものである。1次リーク孔(1.5mmφ)から軸方向に約80mm離れた場所に3次リーク孔が形成された。この開孔のメカニズムはNa 127の2次破損管と同様であるがそれより甚だしく、ウェステージにより減肉された部分が、内圧と高温のために膨出開孔したものである。破損孔は管軸方向にき裂が走っており、孔の大きさは楕円形の長径と短径で表わすと $1.8 \text{ mm} \times 5.8 \text{ mm}$ である。3次リーク孔が、1次リーク孔から80mmも離れた原因については、2次リーク孔のジェットの向きが管に垂直でなかったと言うより、水とナトリウムが良く混ざって反応面が形成される外炎部で開孔したと考える方が妥当である。

Na 134は注水伝熱管で、2次リーク孔(Na 127)の対面に当たっているため、2次リーク・ジェットによってウェステージされた事は明らかであるが、他のリーク孔と異なり開孔時間が全く不明である。これは、同じく2次リーク・ジェットによって開孔されたNa 142の3次リーク孔と異なり、開孔部が極めて小さいため、温度場や注水率の変化に与えた影響が微弱で、これらの信号から読取ることができないためである。しかし、このNa 134の破損部がウェステージにより相当減肉しているにもかかわらず全く膨出が見られない事から、内圧があまり掛かってなかった状態、即ち注水弁閉操作後に開孔したと考えられる。

(2) 破損に至らない損耗管

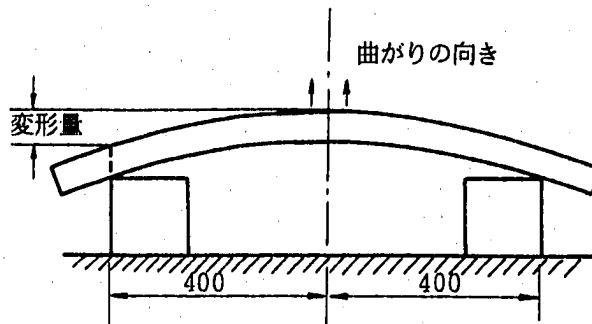
破損はしなかったが、ウェステージを受けていると言う伝熱管は多く、Fig. 3.2.3に示したように、反応中心部の18本の伝熱管が0.1mm以上減肉しており、特に、Na 118, 119, 132, 133及びNa 136の減肉量は1mmを越えていた。またこれらの伝熱管以外にも、破線で囲んだ内側の領域では、減肉量は0.1mm以下だが、明らかに高温の反応域に曝されたと認められる白い金属光沢が見られた。わずかに破線の外側の伝熱管のみが、試験前の状態を保っていた。反応域の下部より上部の伝熱管の方が損耗が大きいと言う事実は、反応生

成物の浮力による上昇流のためと考えられる。これらの主な伝熱管の肉厚を試験後、超音波厚さ計で測定した。そのデータを Appendix H. に示す。

(3) 曲がりと膨出

ウェステージ現象以外の注目すべき現象は、曲がり（ボーイング）がある。曲がりの方向と変形量を Fig. 3. 1.14 に示す。但し、変形量は、下図に示すように定義し、曲がりの方向は、下図の上方向としている。

これらのデータから判る事は、変形量は反応の中心部ほど大きく、曲がりの方向は一様に外側を向いている事である。これは、反応ジェットにより加熱された側に膨脹による圧縮力が、反対側に張力が働くための残留歪みによるものである。



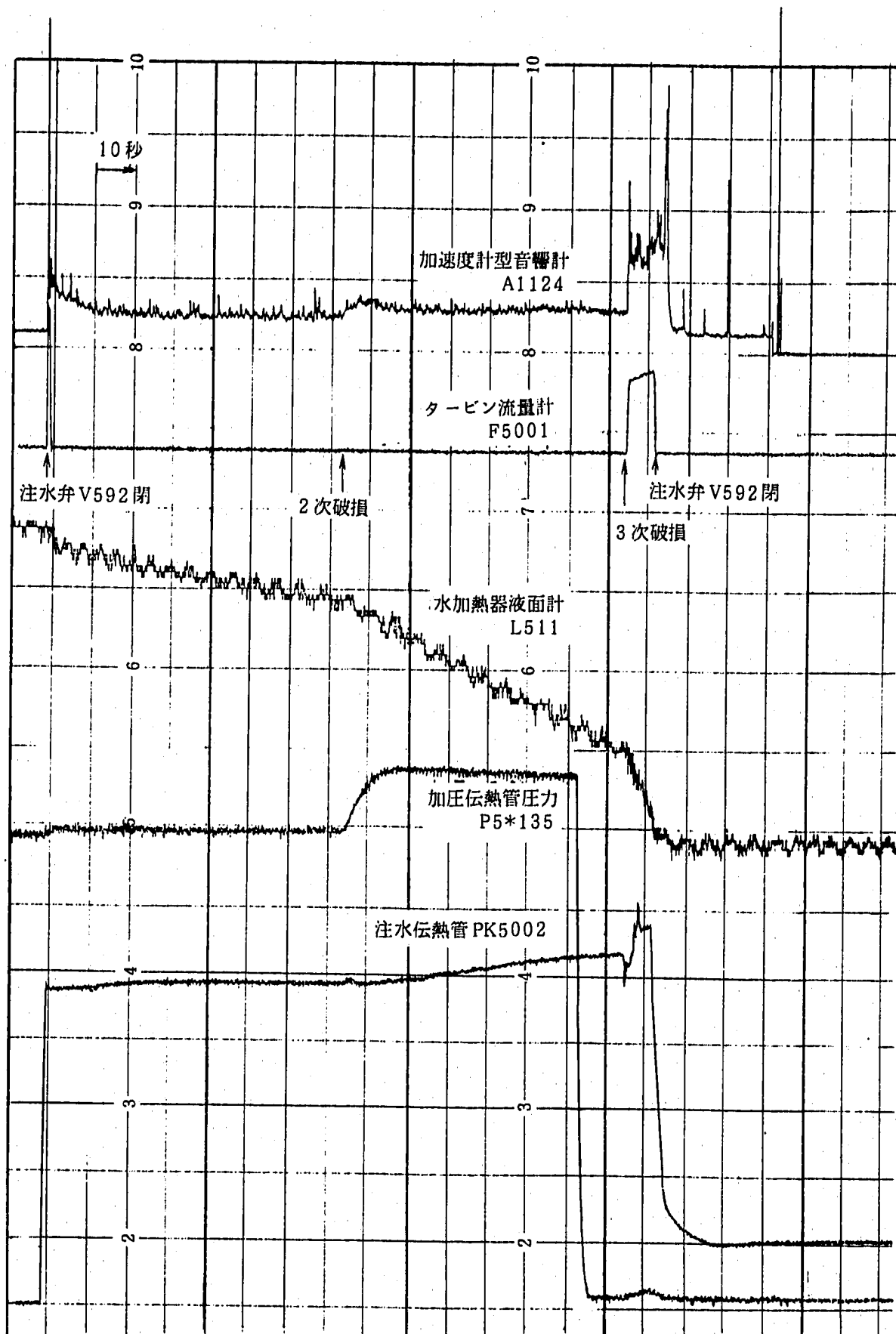


Fig. 3.2.1 Run-12 試験時ペンレコーダ出力

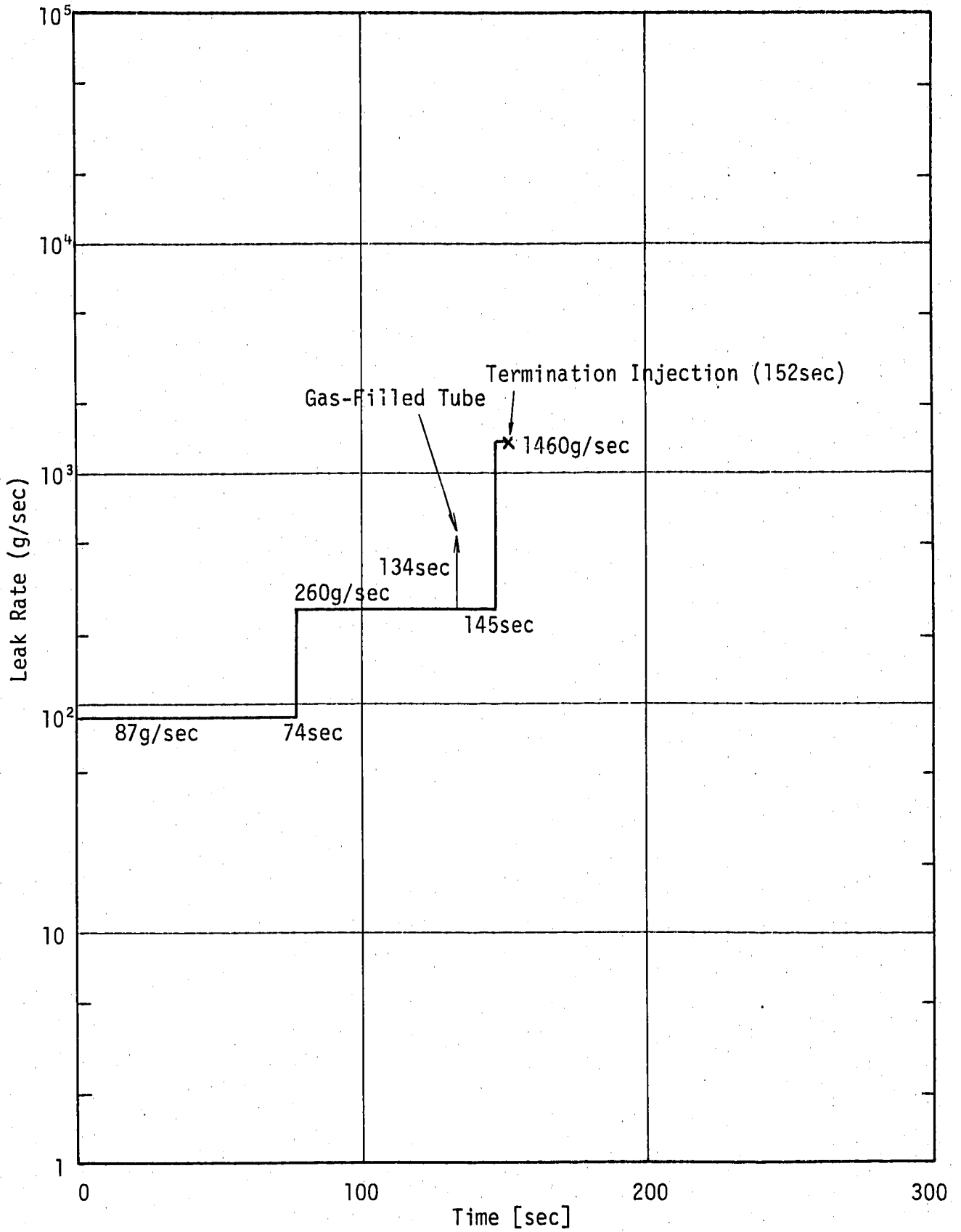


Fig. 3.2.2 Time Sequence of Water Leak Rate in Run-12 Test

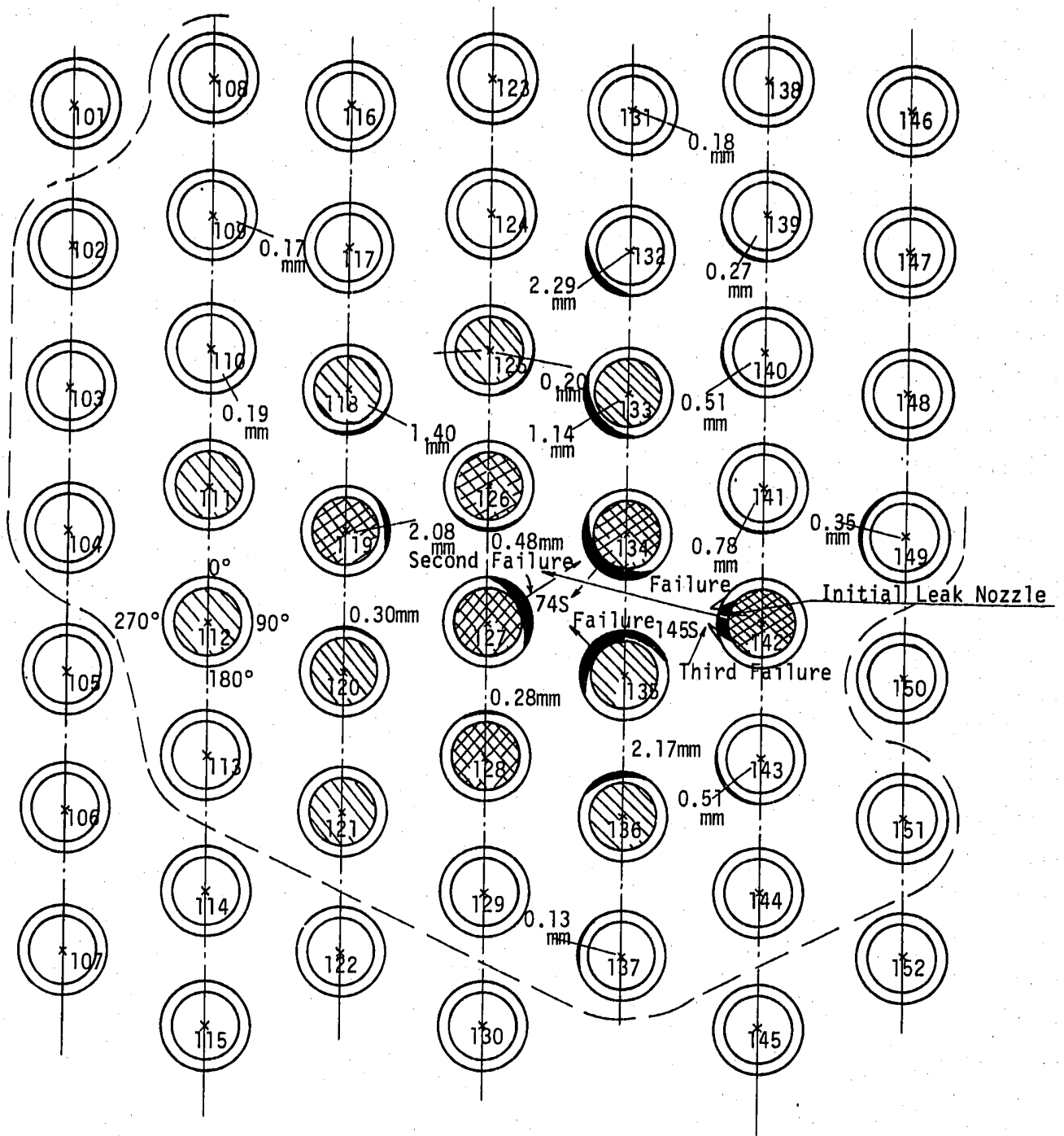


Fig. 3.2.3 Tube Damages Produced by Run-12 Test

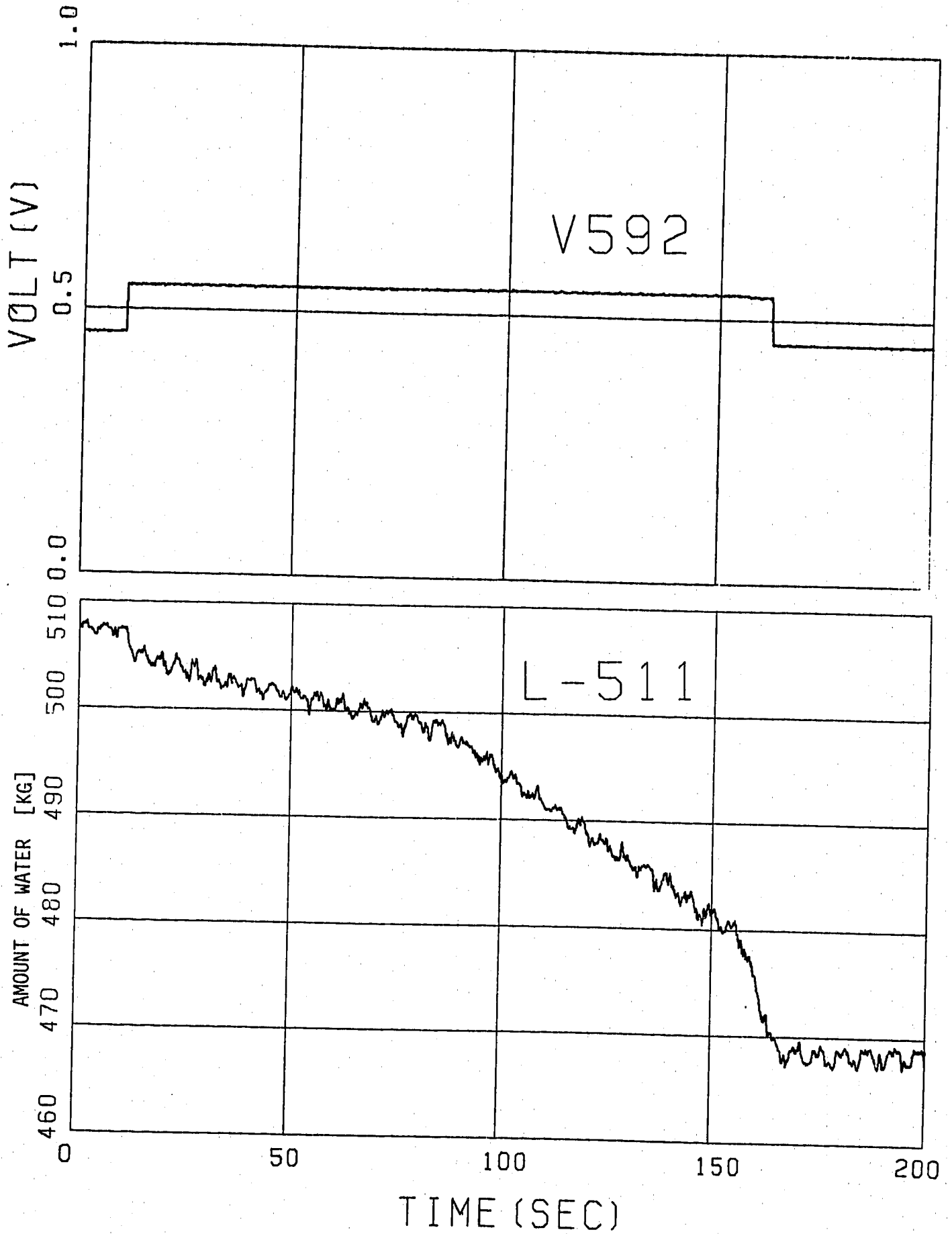


Fig. 3.2.4 Injection Valve Status and Level in Water Heater Tank (Run-12)

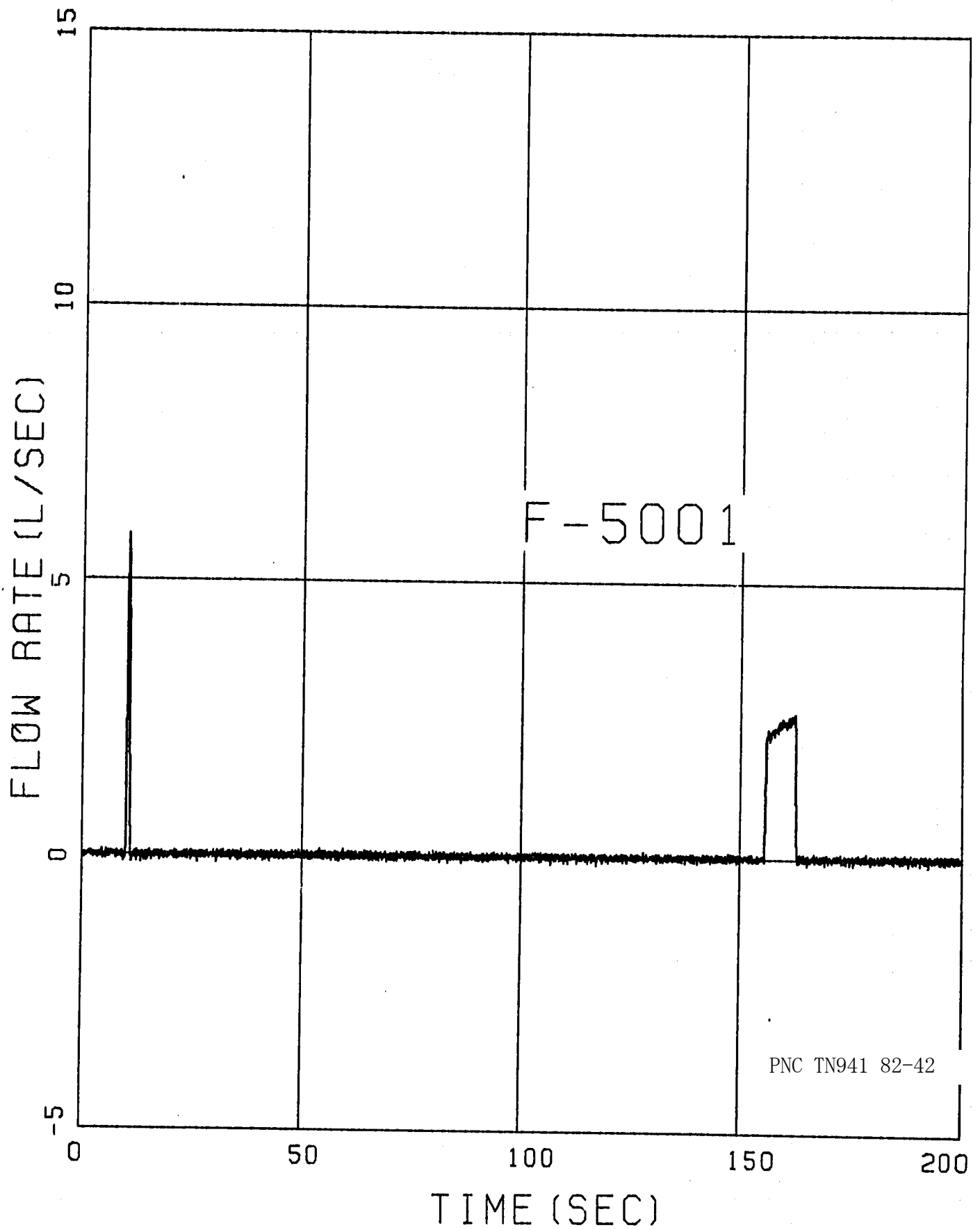


Fig. 3.2.5 Water Injection Rate by Turbine Flowmeter (Run-12)

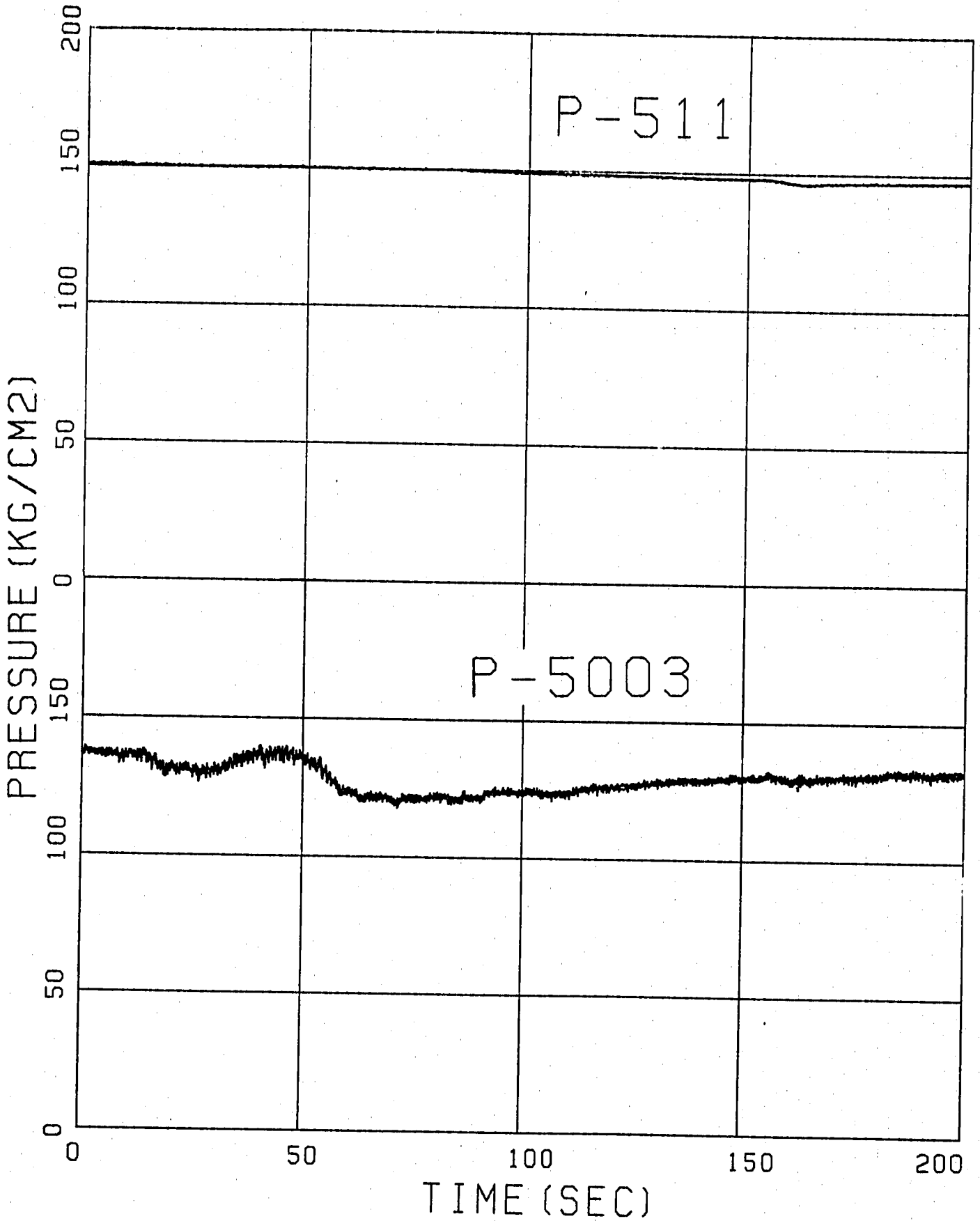


Fig. 3.2.6 Pressures of Water Heater Tank and Water Injection Piping (Run-12)

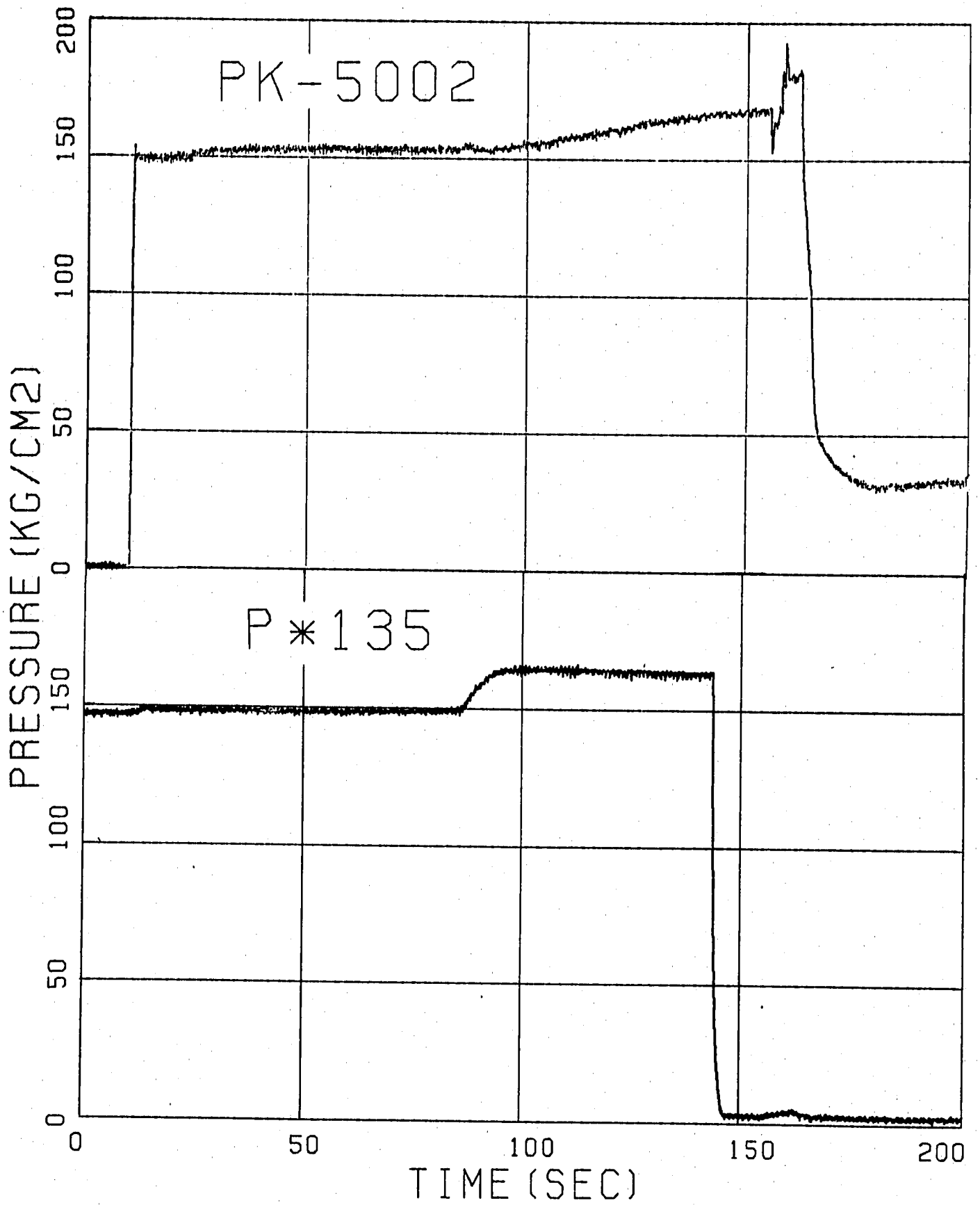


Fig. 3.2.7 Pressures in Water and Gas Header (Run-12)

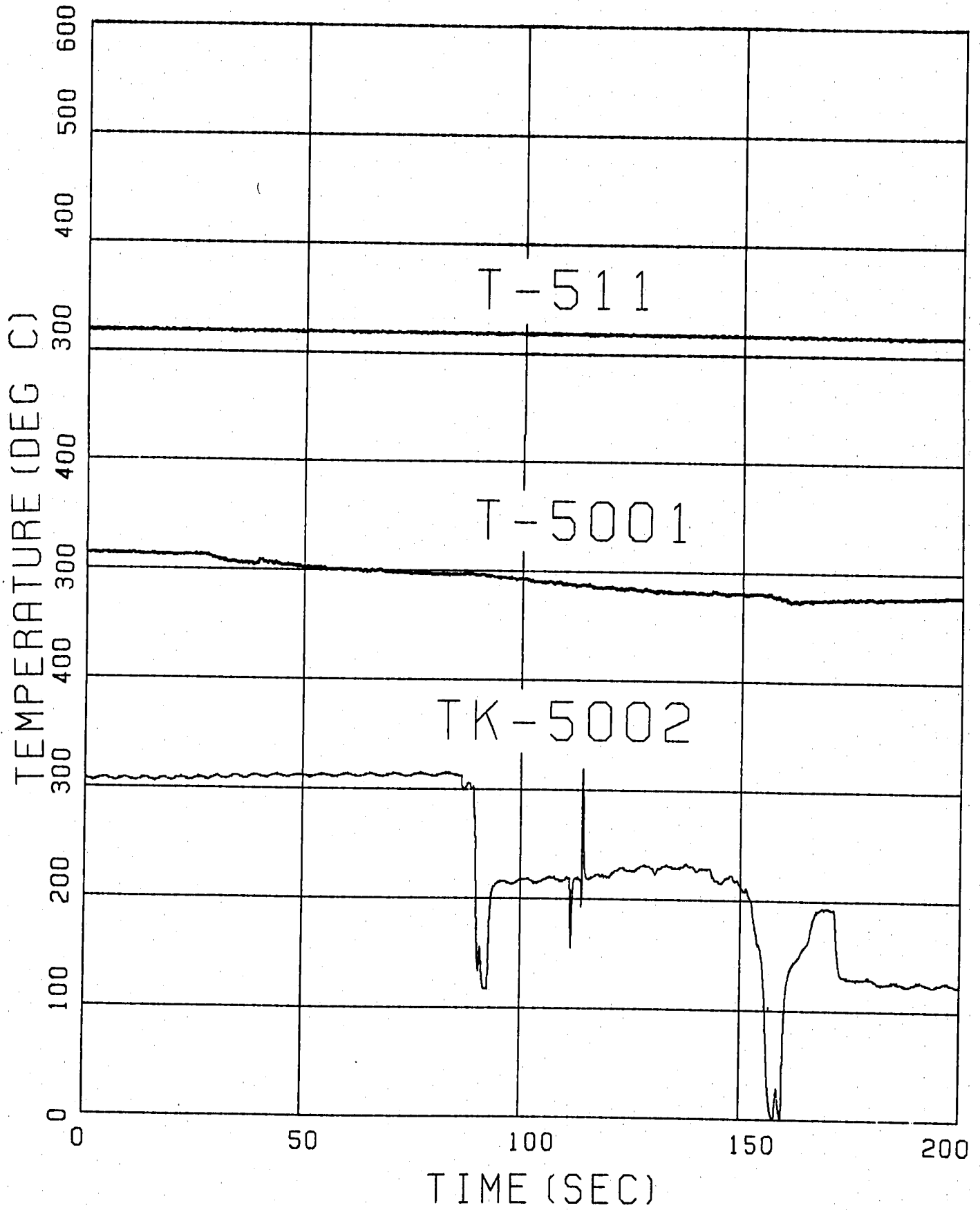


Fig. 3.2.8 Temperatures in Water Heater Tank and Water Injection Piping (Run-12)

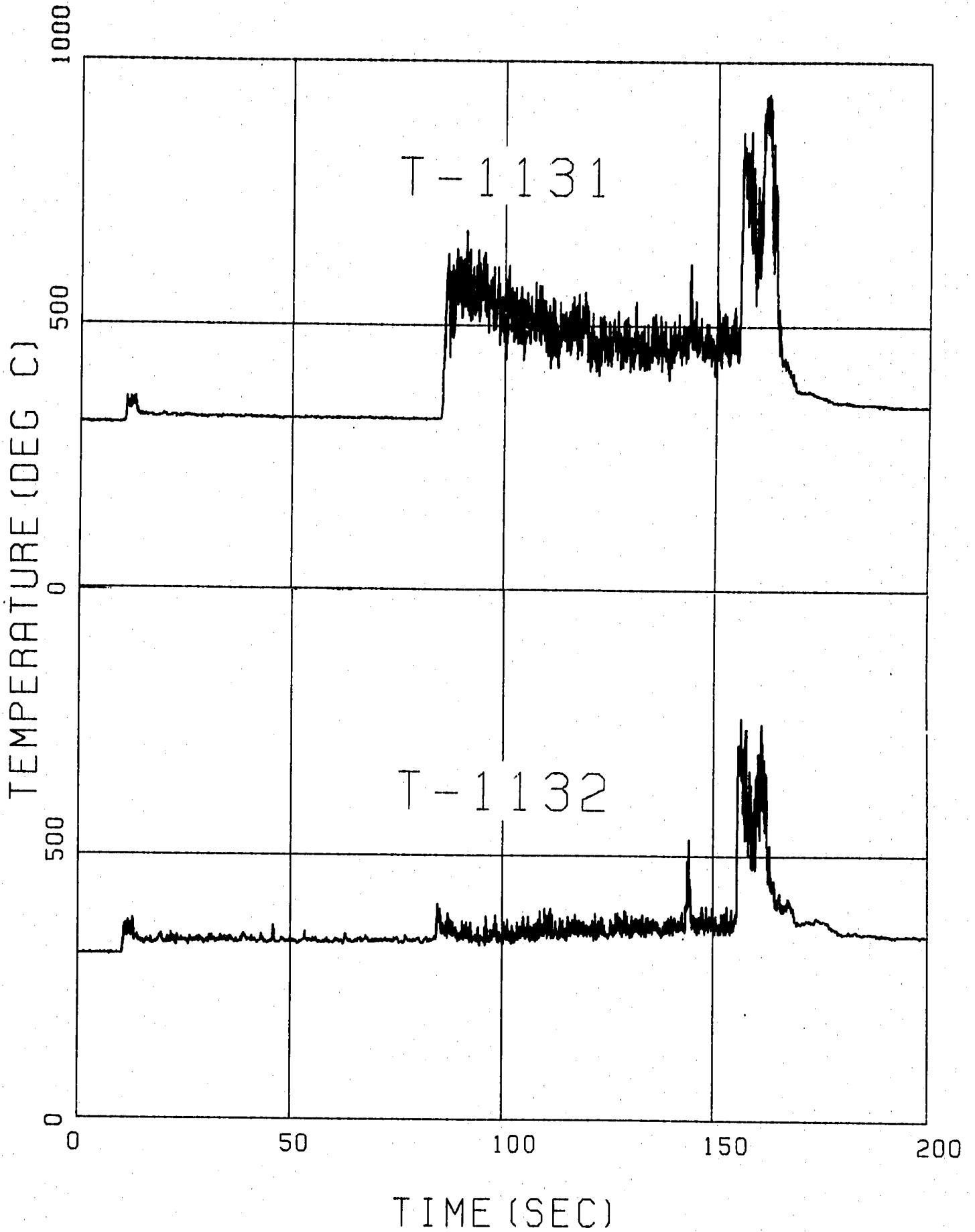


Fig. 3.2.9(a) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-12)

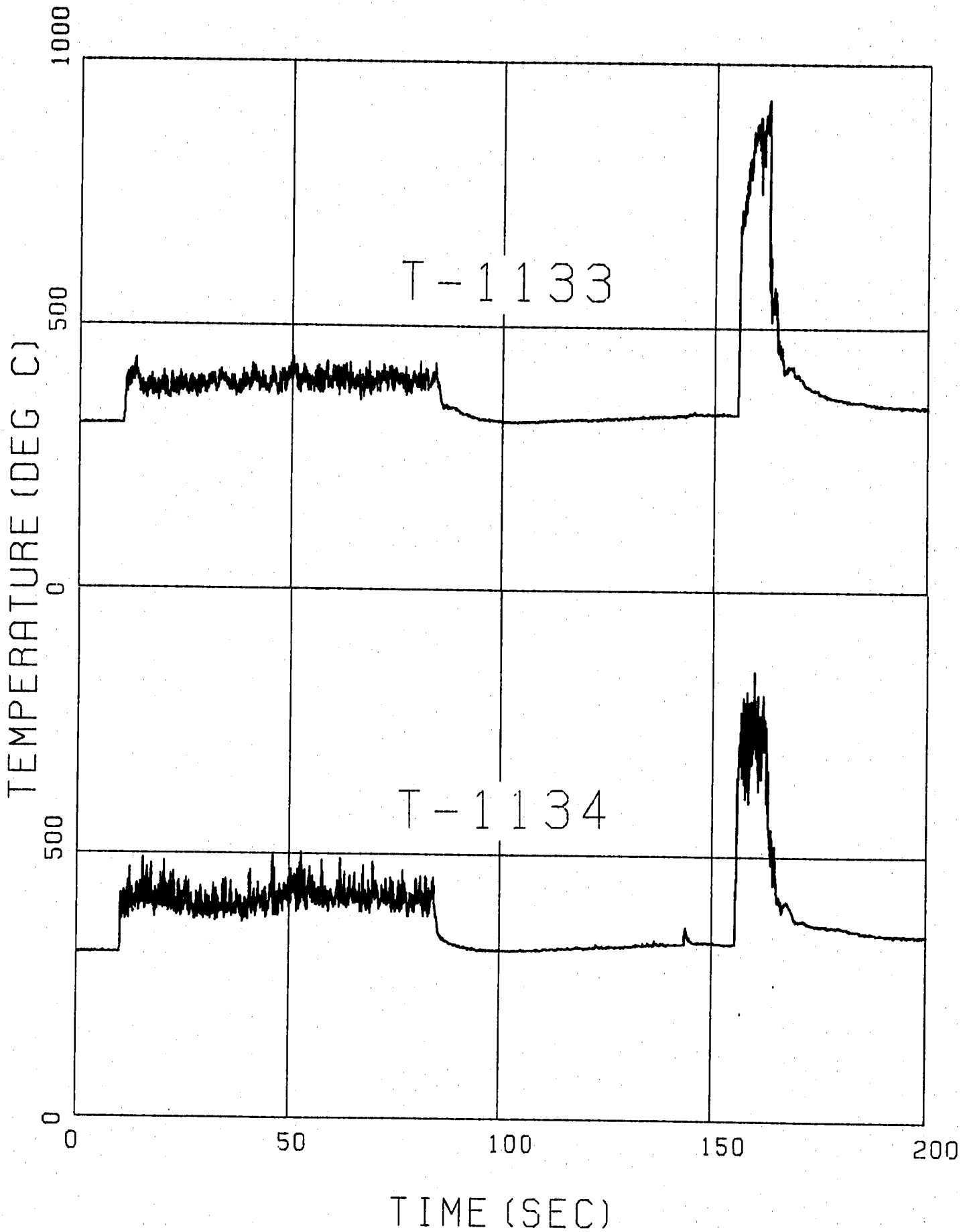


Fig. 3.2.9(b) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-12)

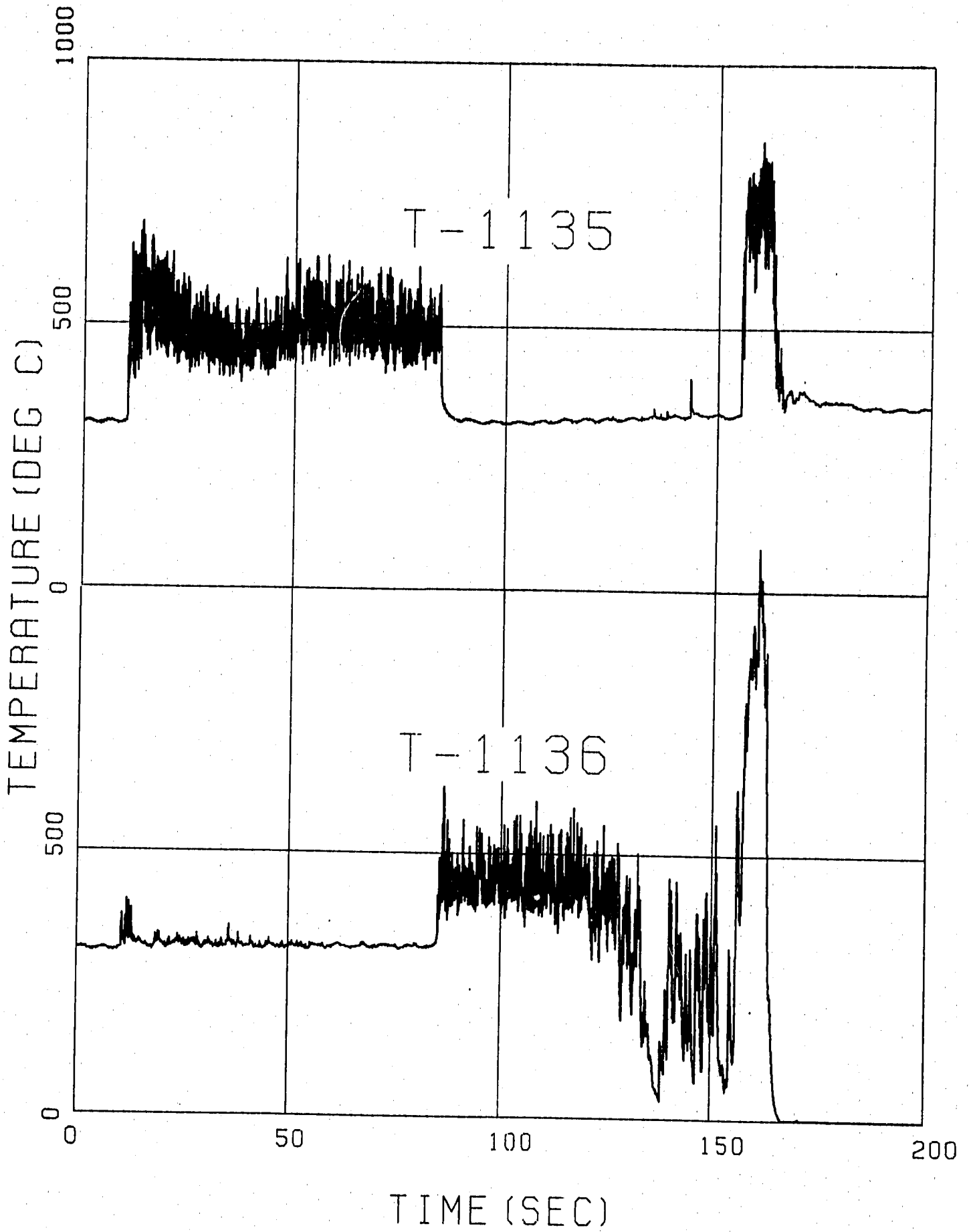


Fig. 3.2.9(c) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-12)

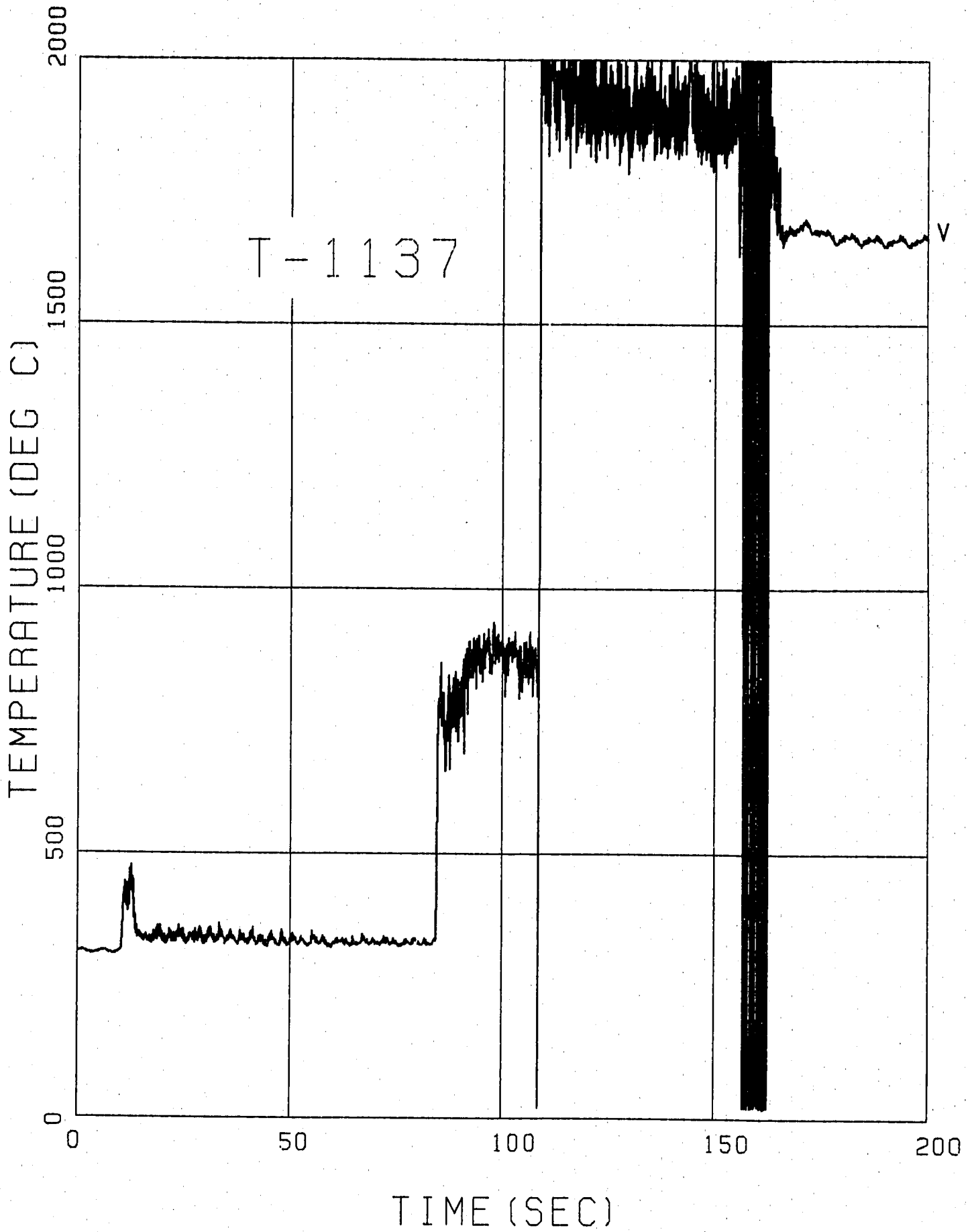


Fig. 3.2.9(d) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-12)

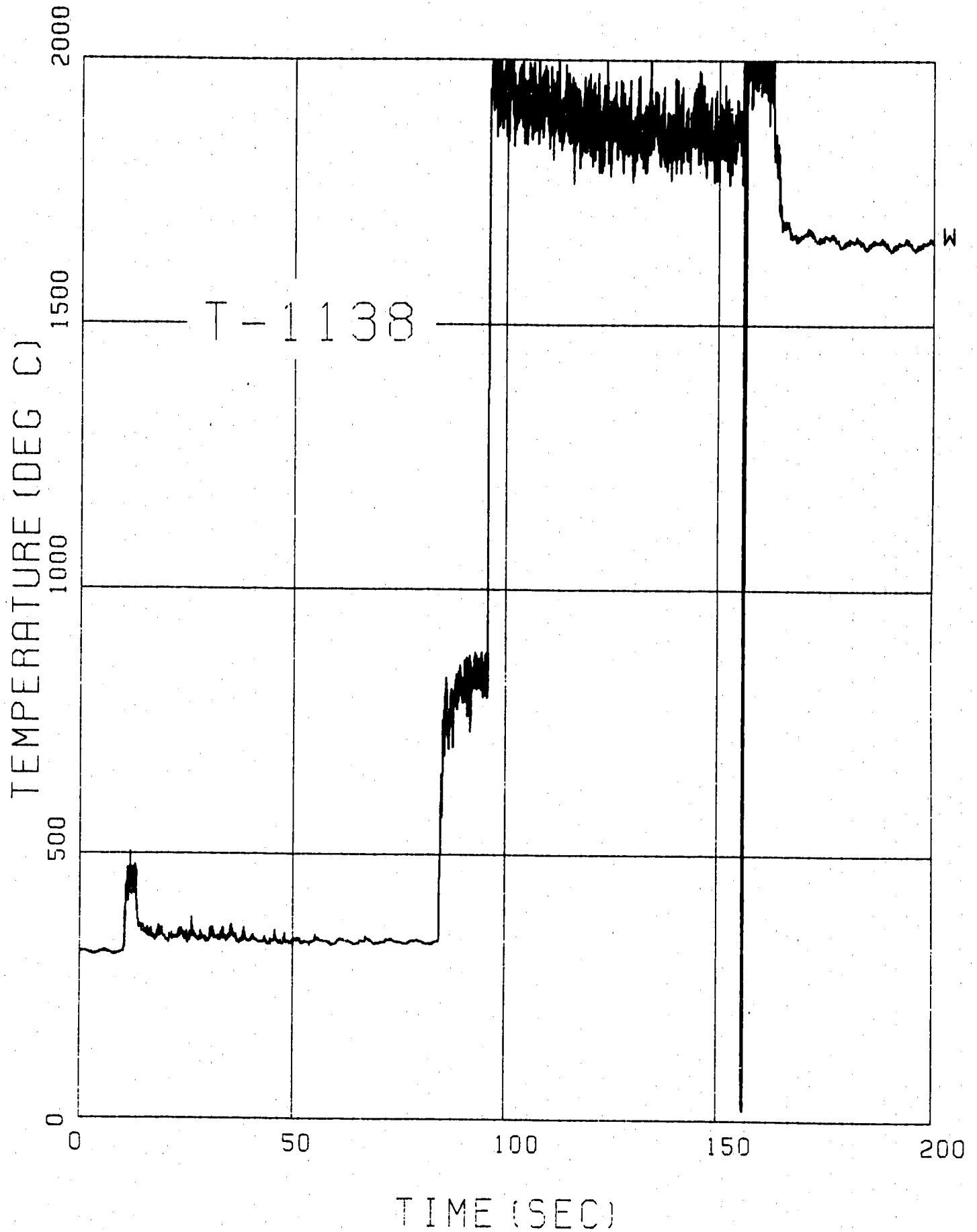


Fig. 3.2.9(e) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-12)

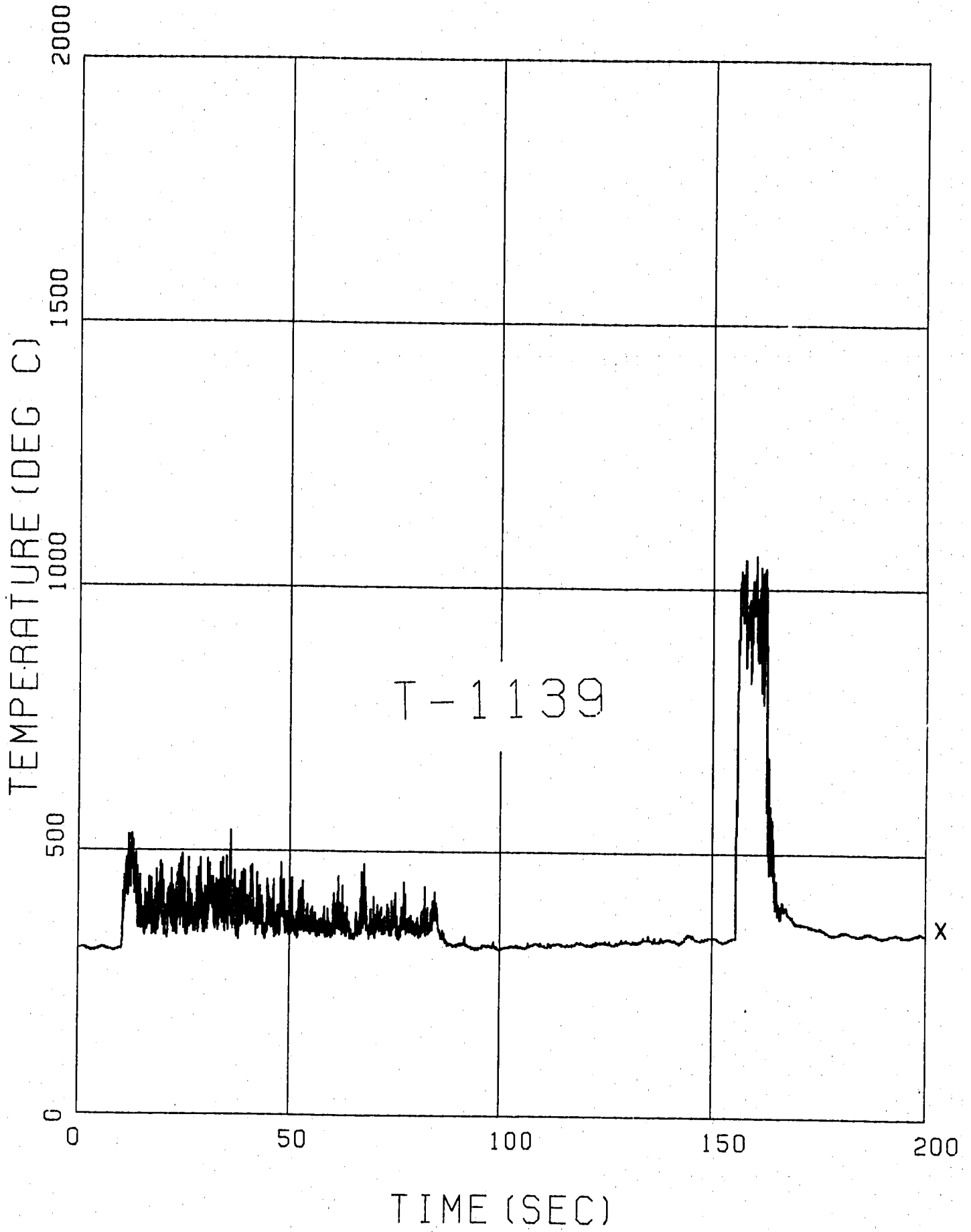


Fig. 3.2.9(f) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-12)

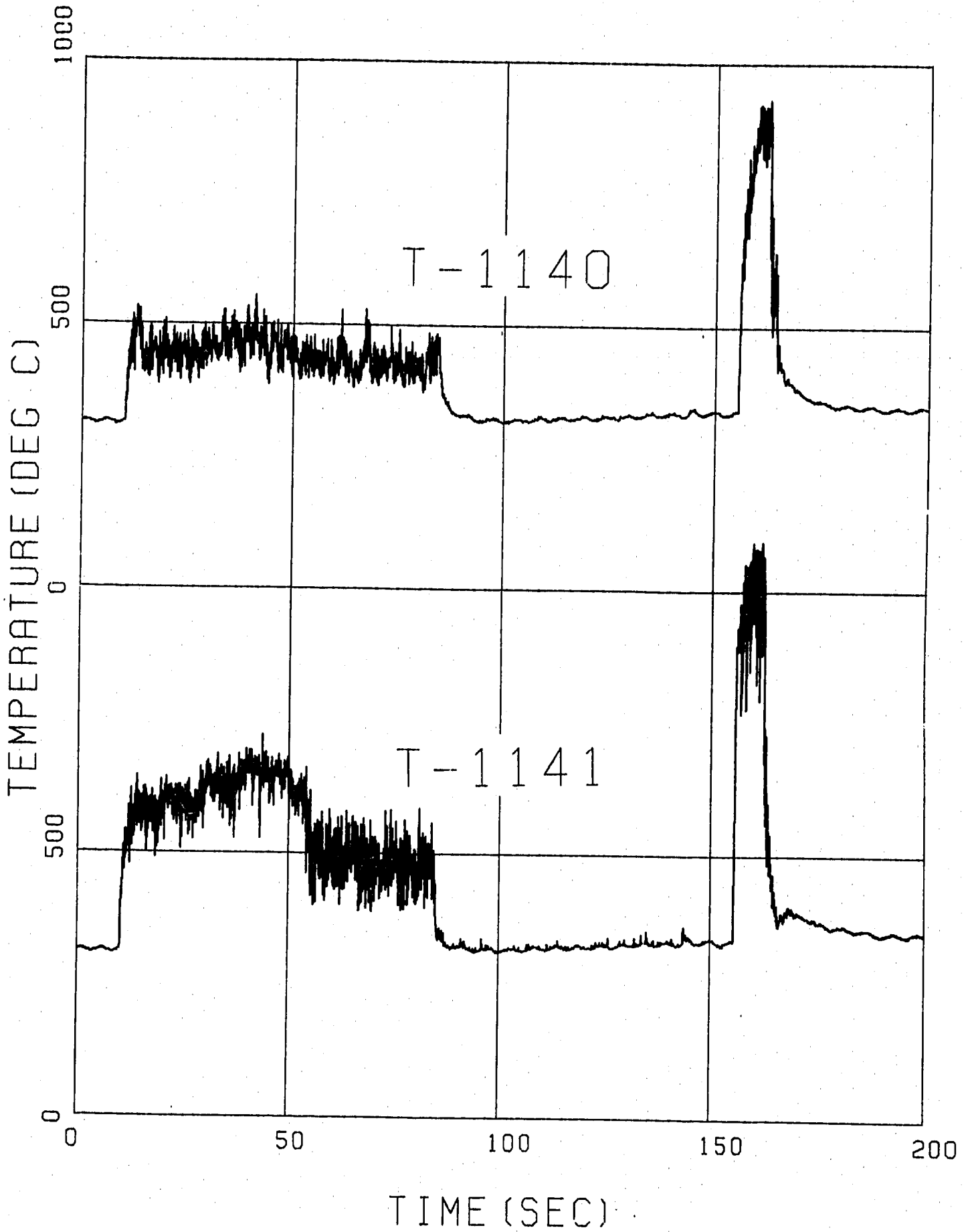


Fig. 3.2.9(g) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-12)

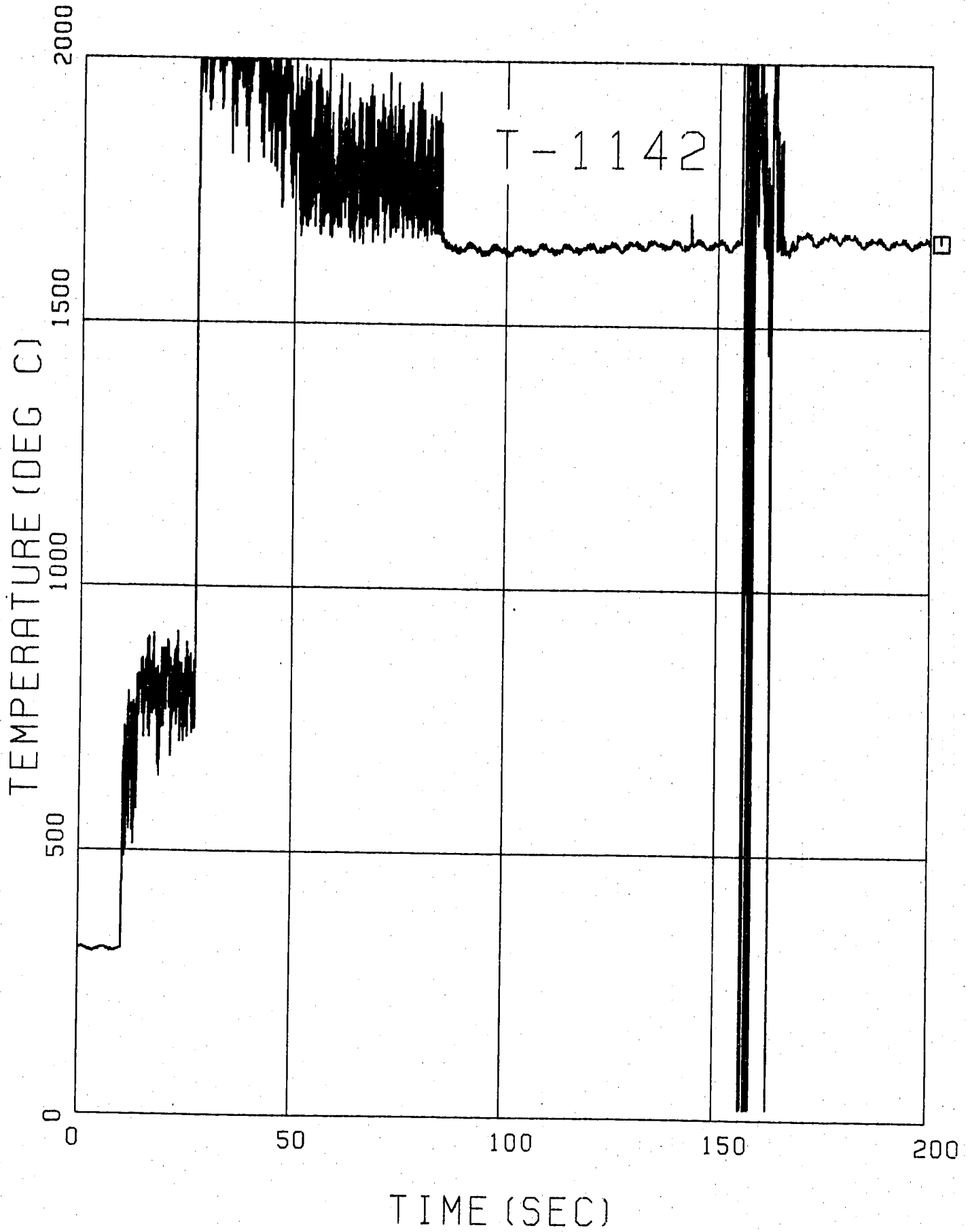


Fig. 3.2.9(h) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-12)

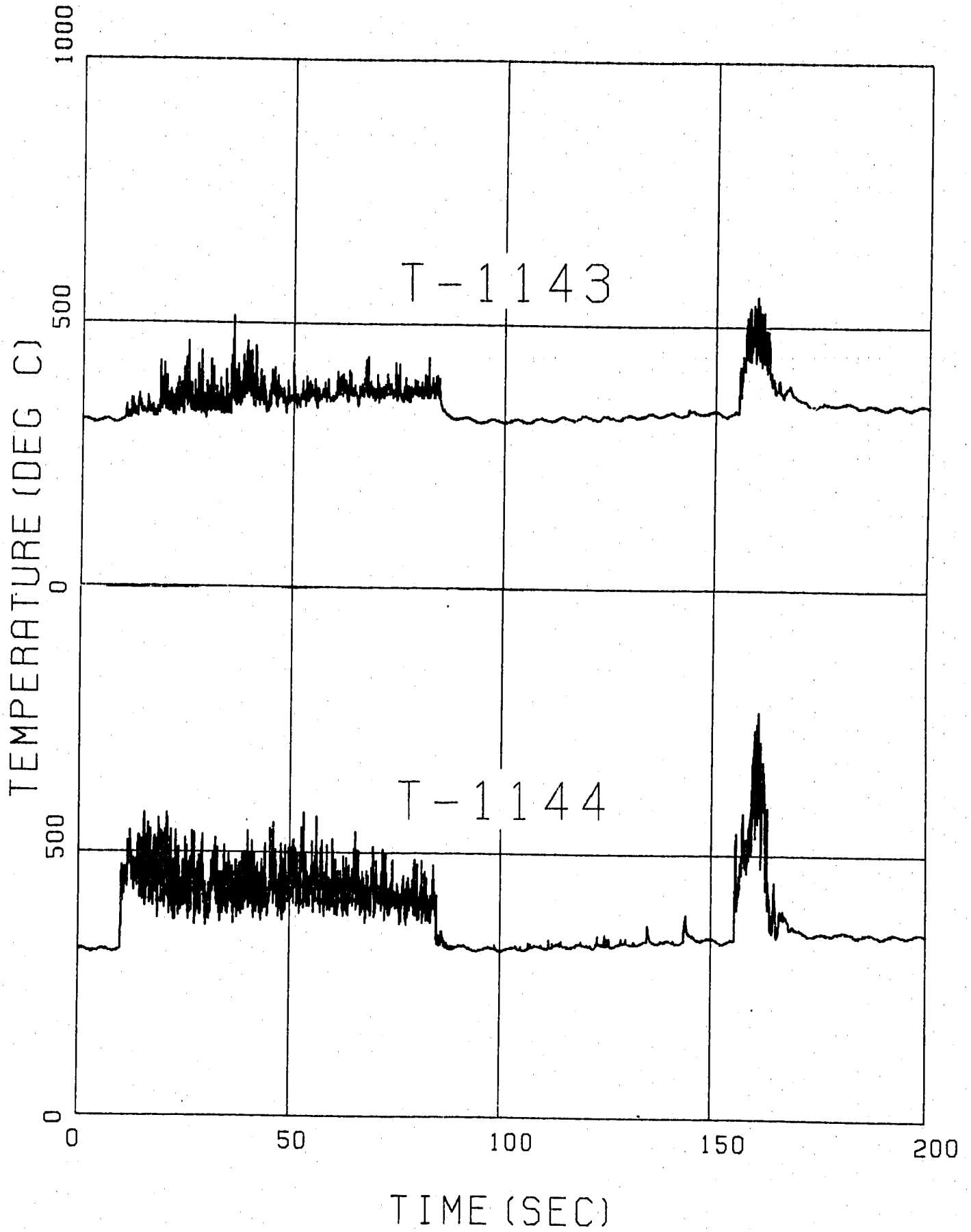


Fig. 3.2.9(i) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-12)

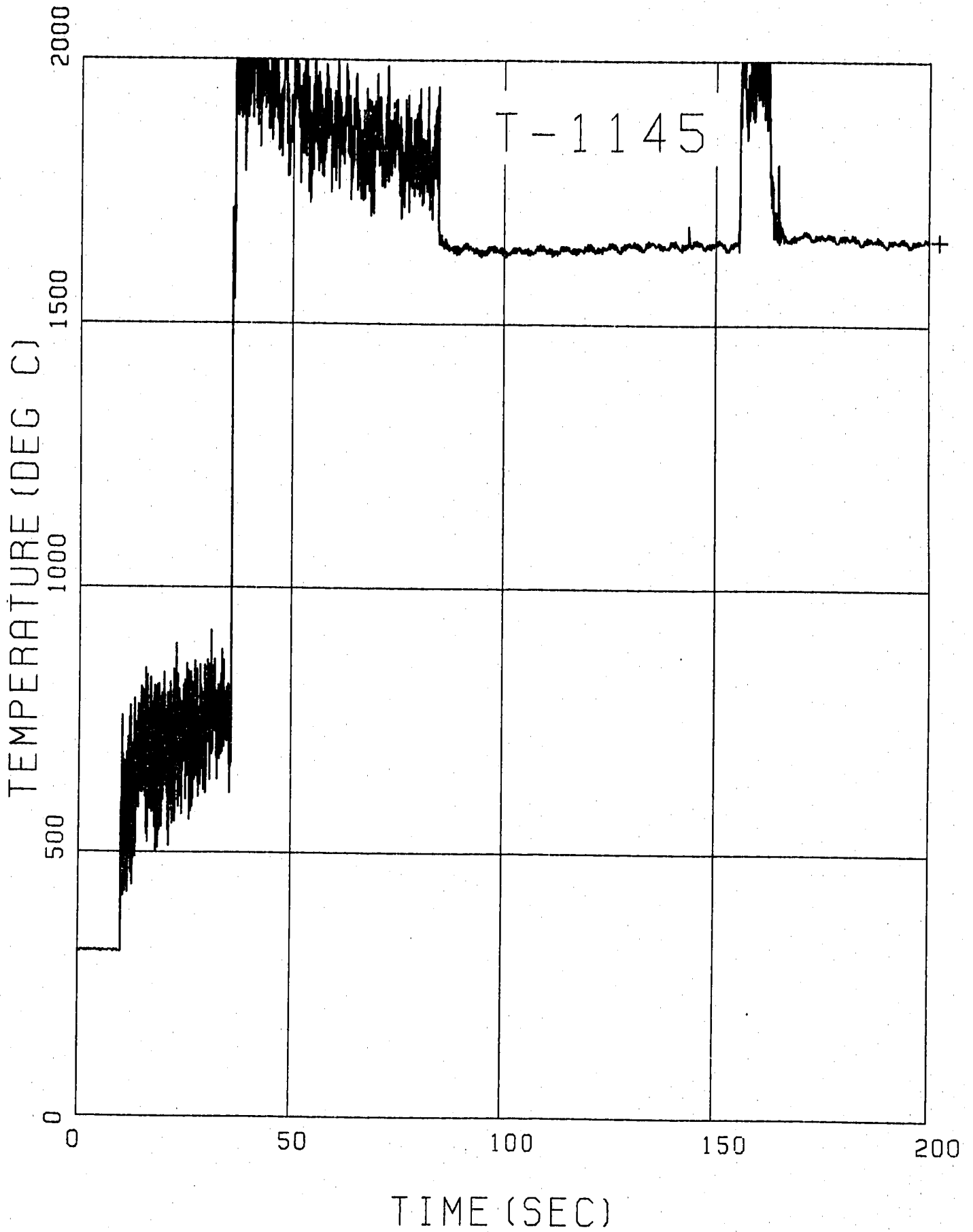


Fig. 3.2.9(j) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-12)

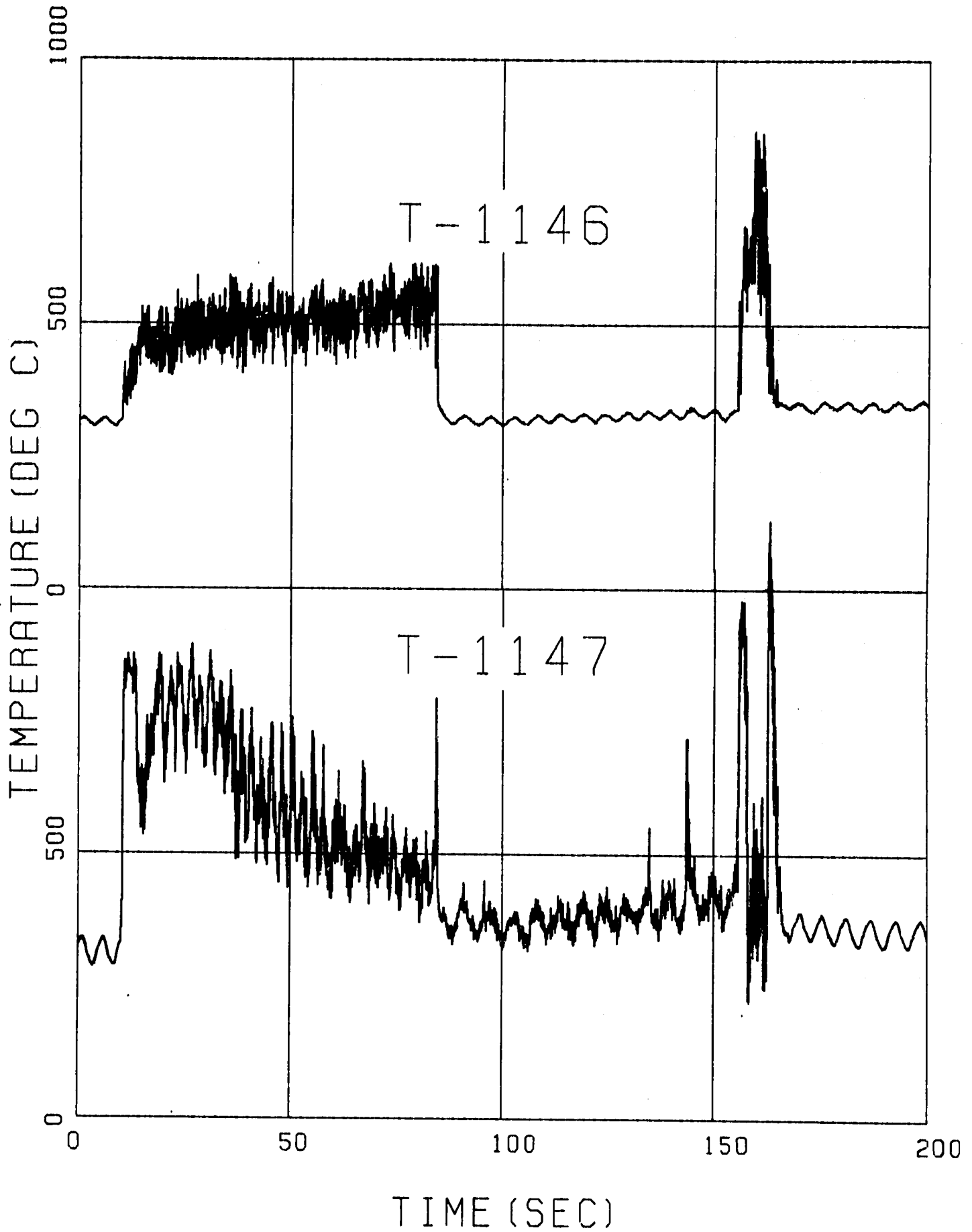


Fig. 3.2.9(k) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-12)

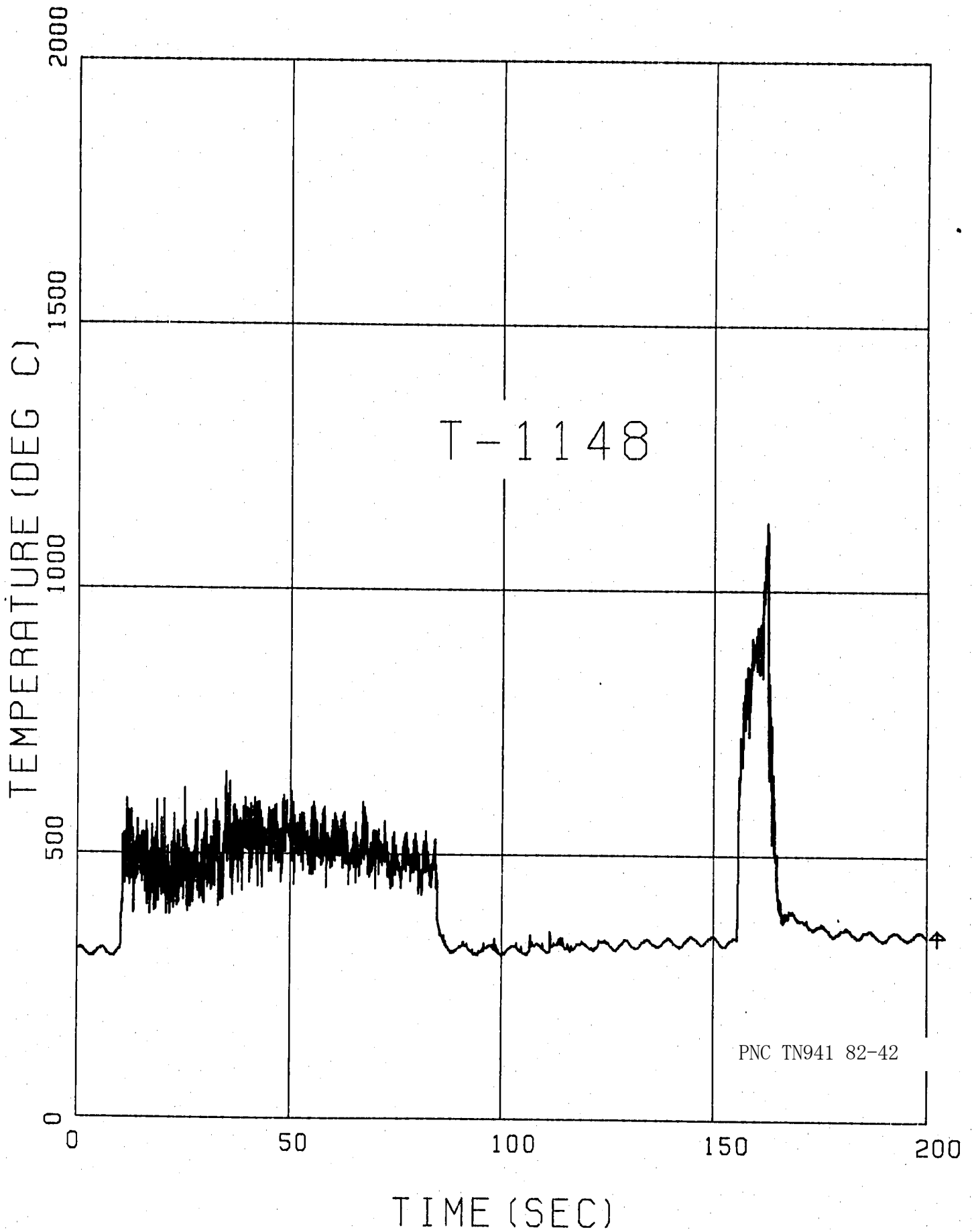


Fig. 3.2.9(1) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-12)

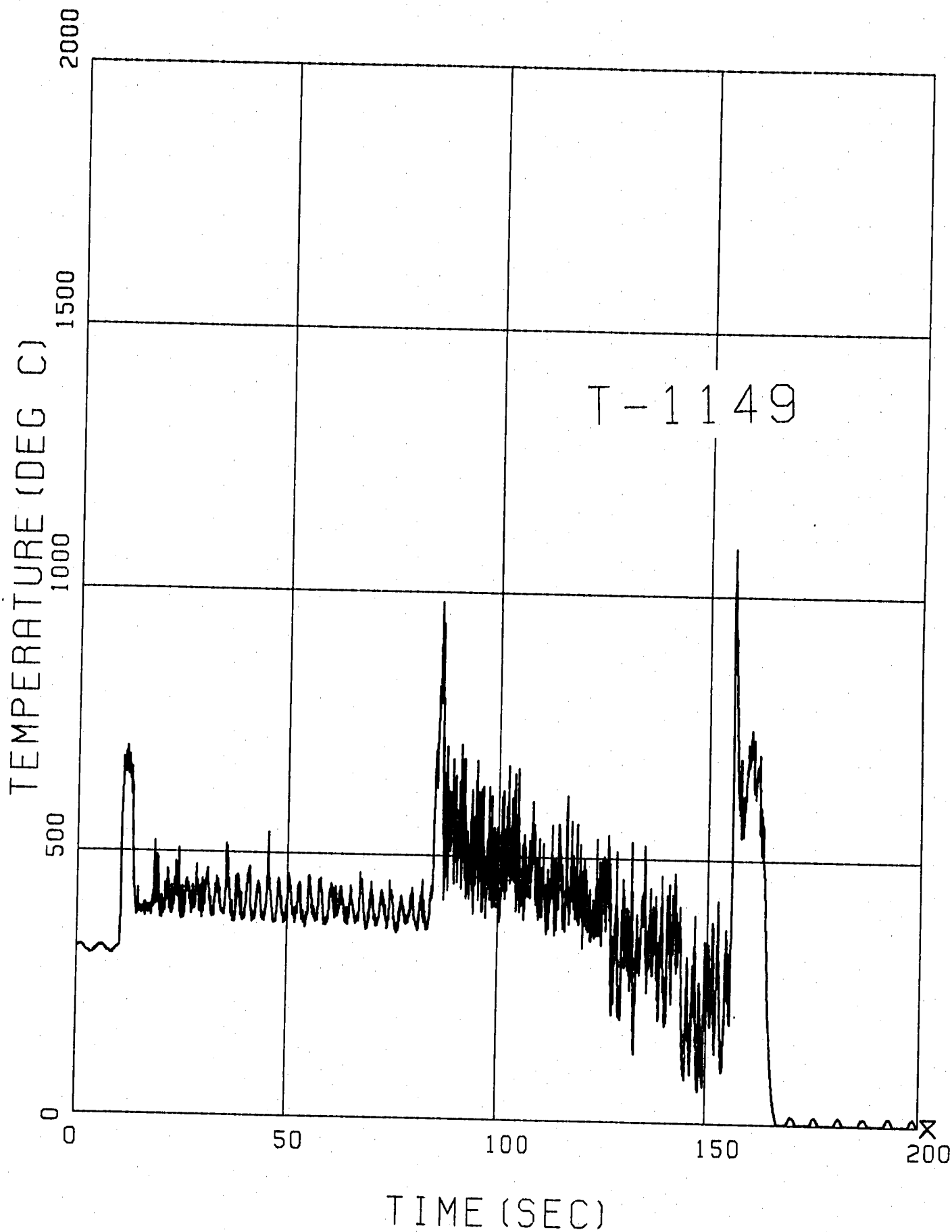


Fig. 3.2.9(m) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-12)

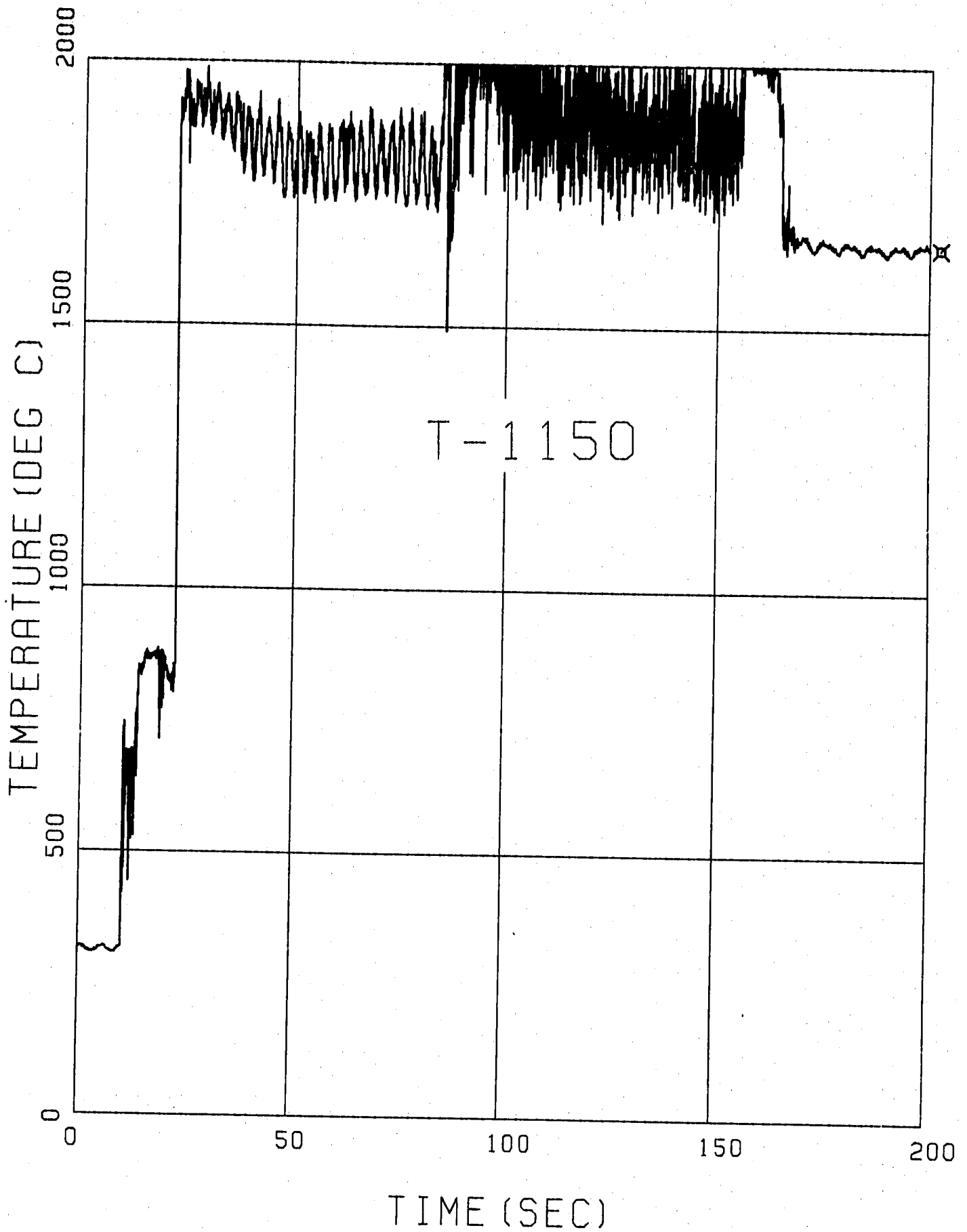


Fig. 3.2.9(n) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-12)

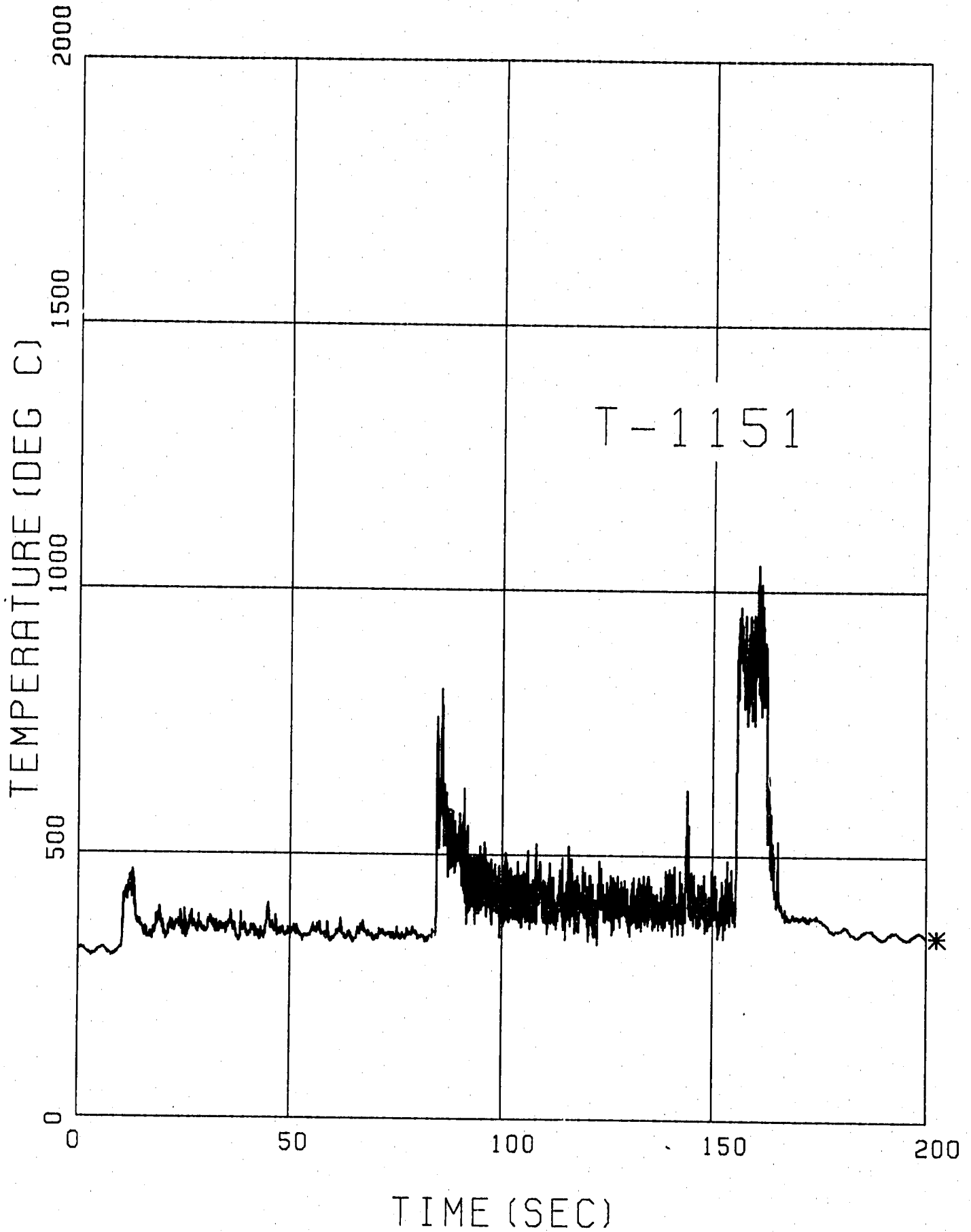


Fig. 3.2.9(0) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-12)

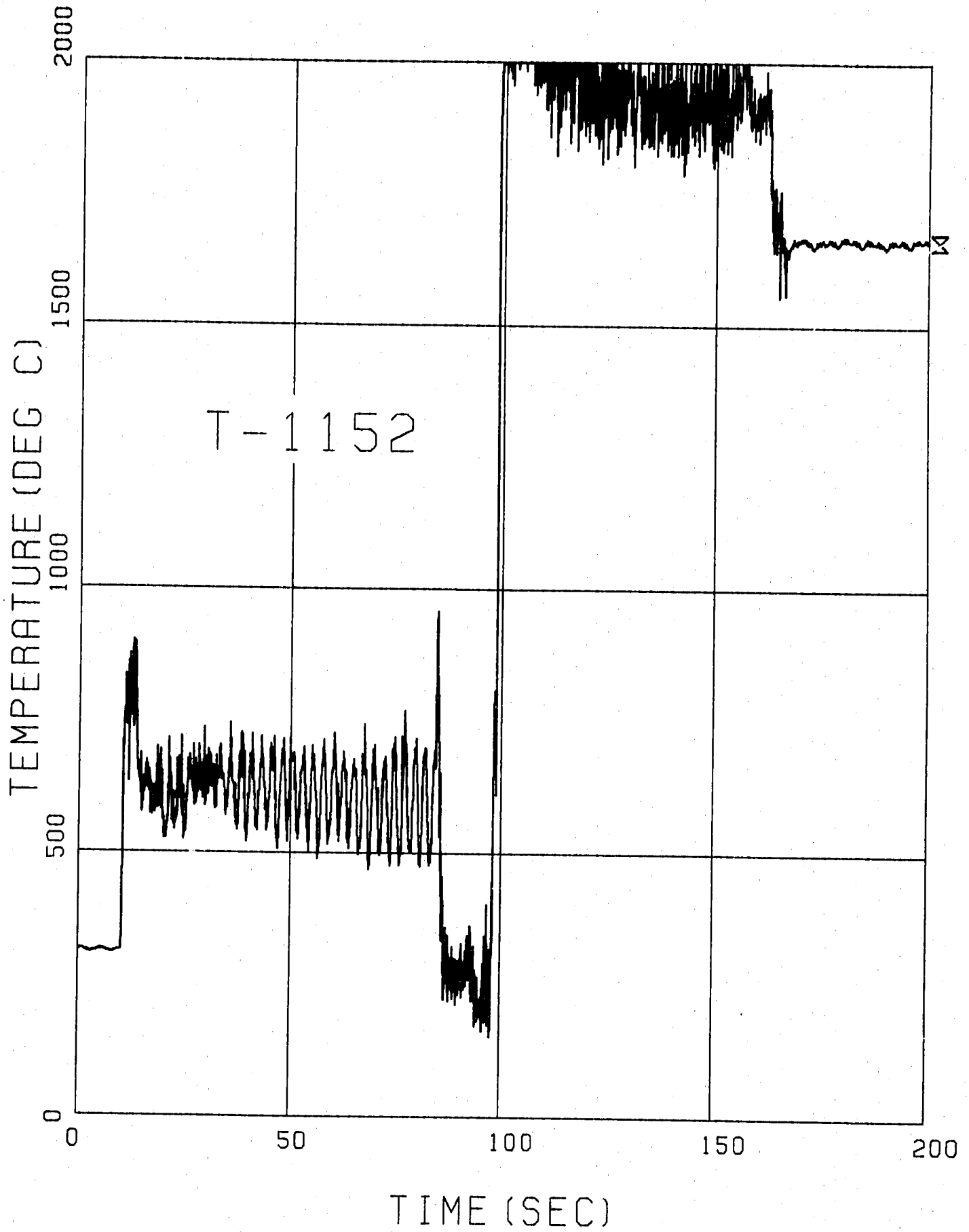


Fig. 3.2.9(p) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-12)

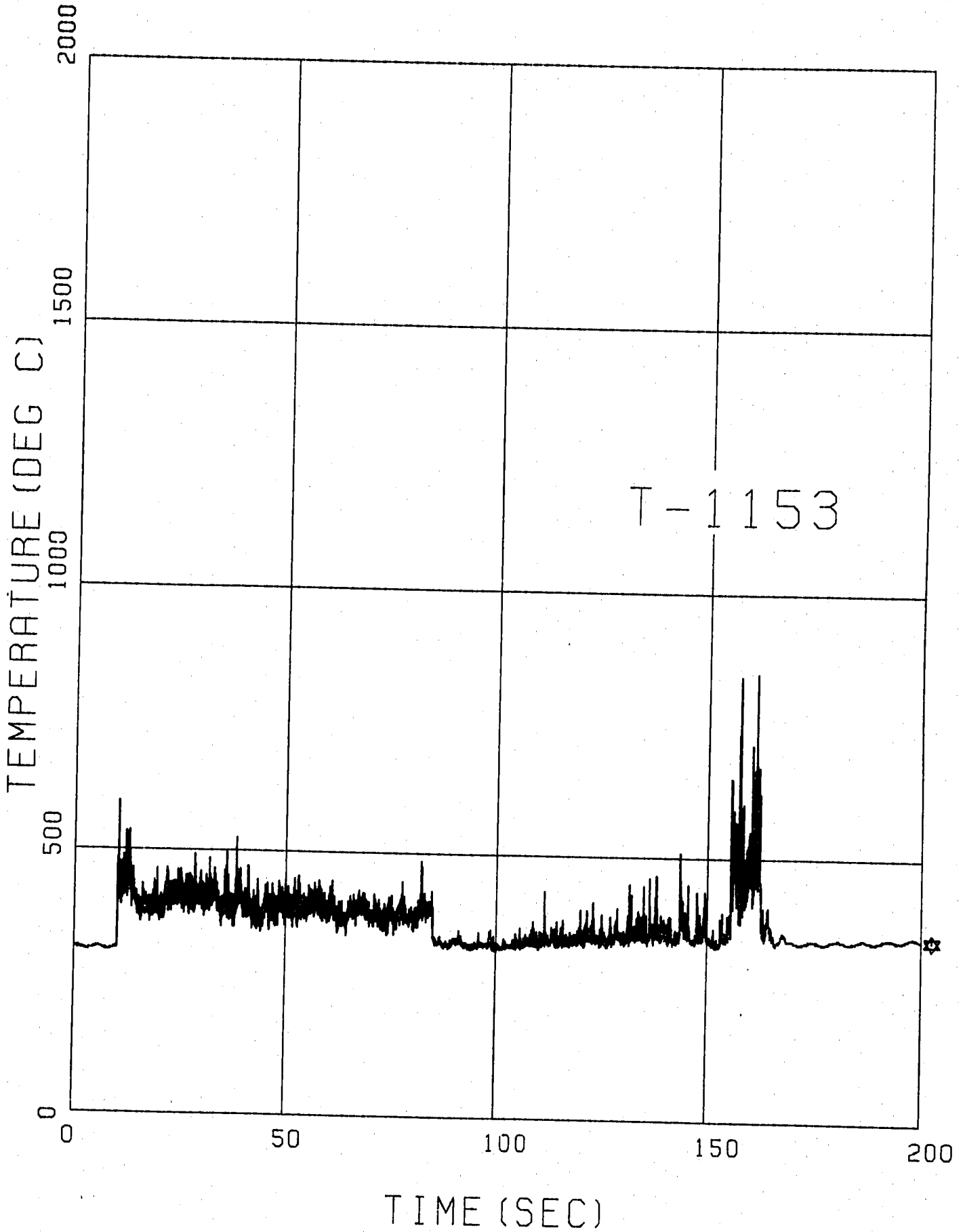


Fig. 3.2.9(q) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-12)

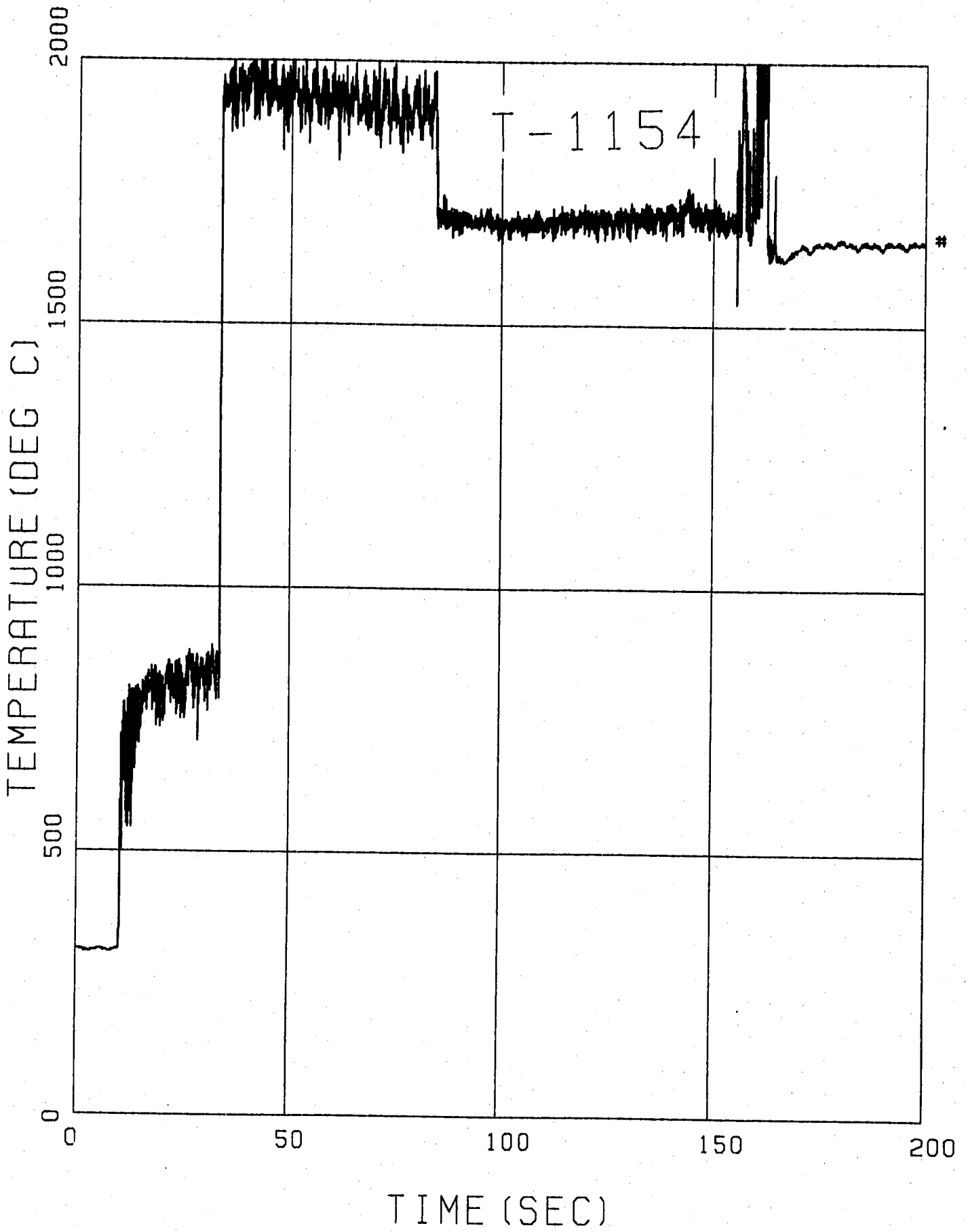


Fig. 3.2.9(r) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-12)

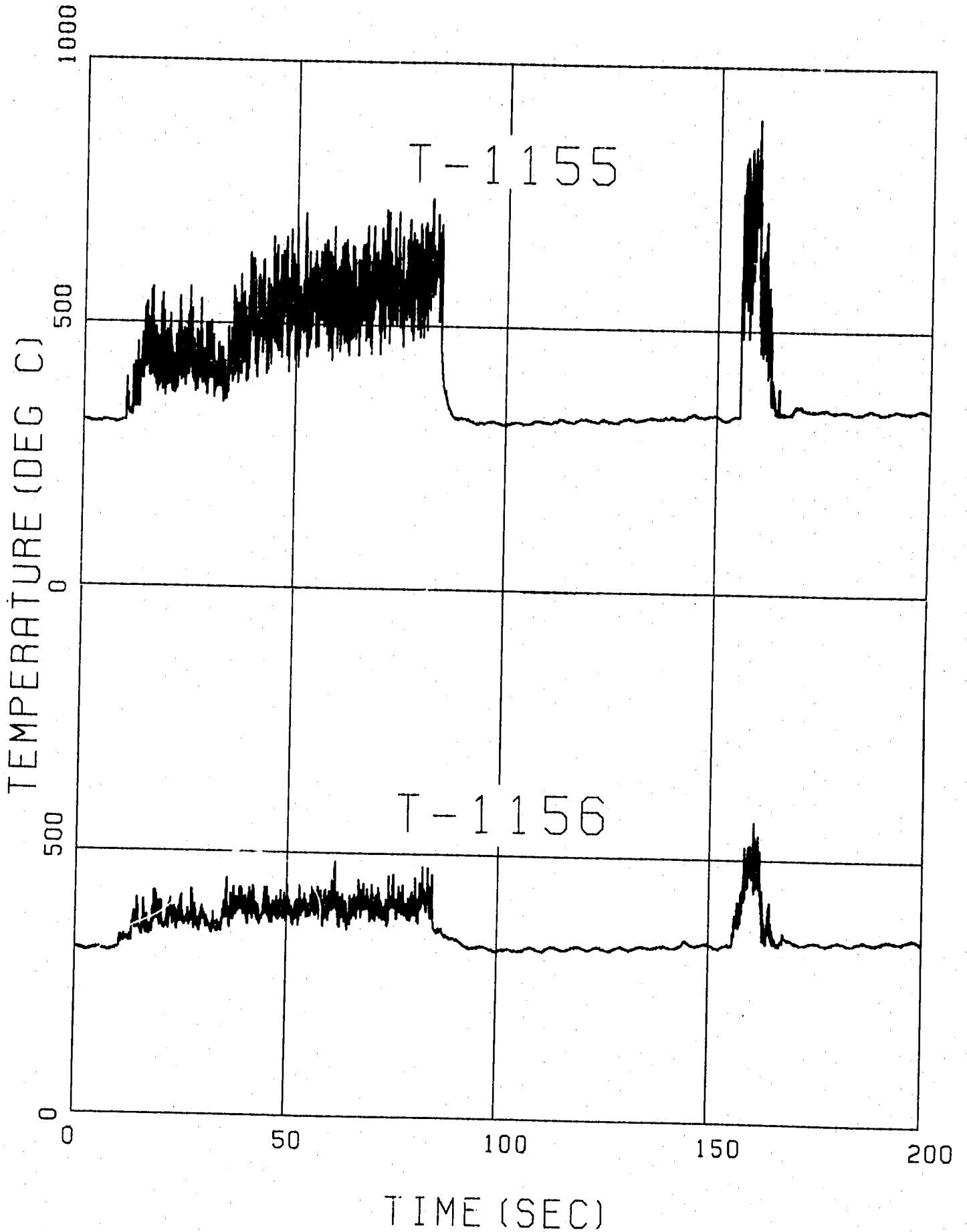


Fig. 3.2.9(s) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-12)

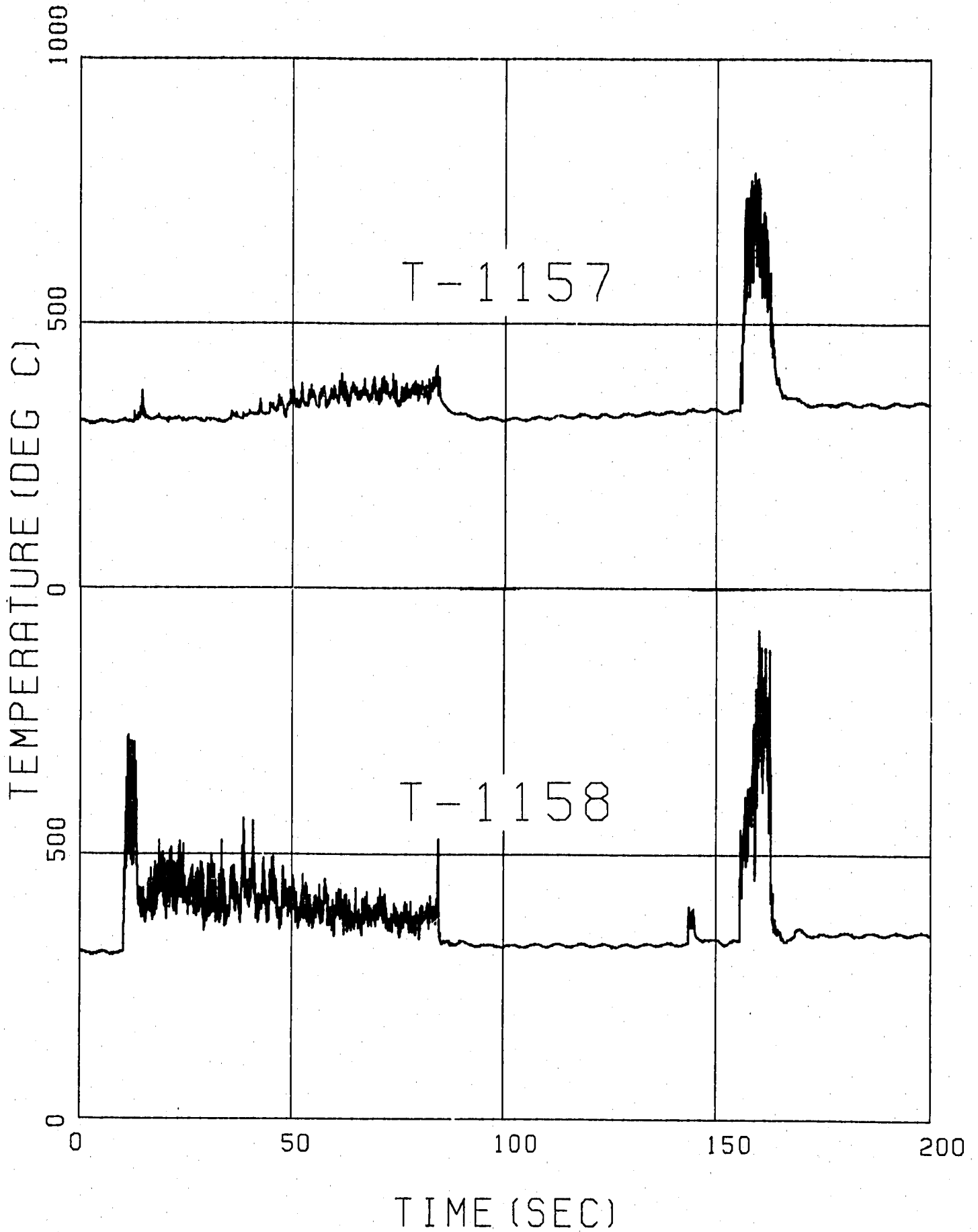


Fig. 3.2.9(t) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-12)

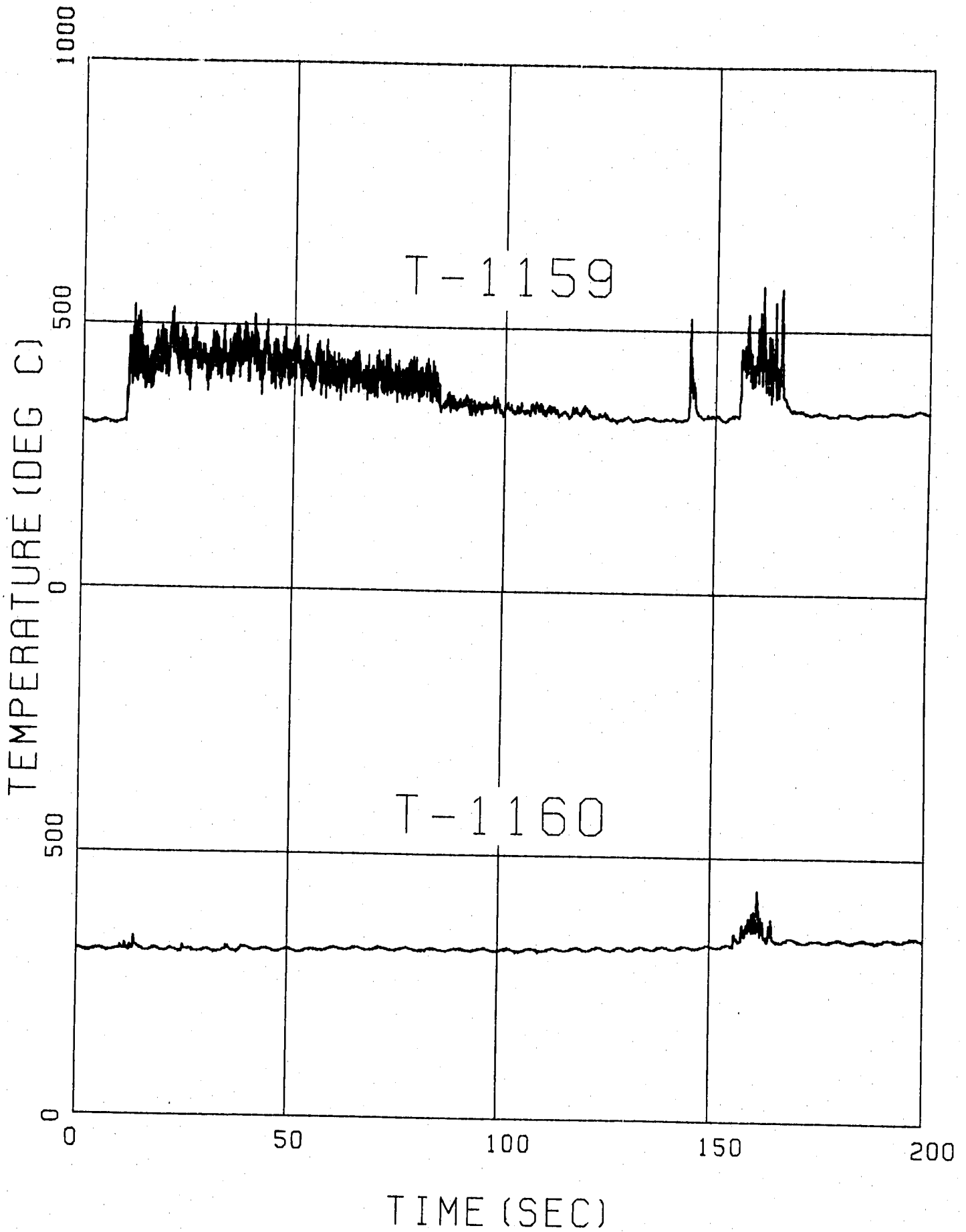


Fig. 3.2.9(u) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-12)

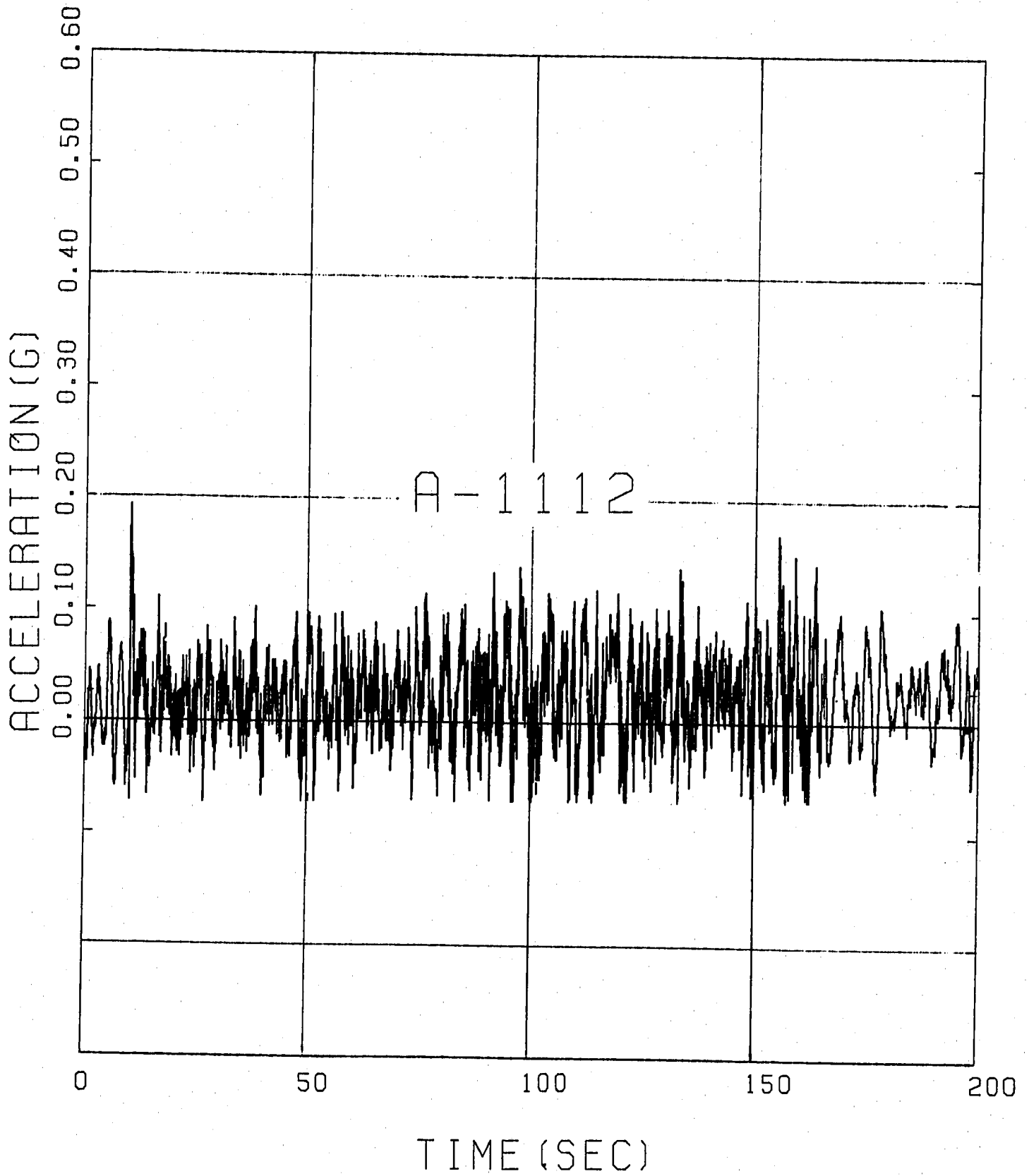


Fig. 3.2.10(a) Acoustic Signal by Accelerometer (Run-12)

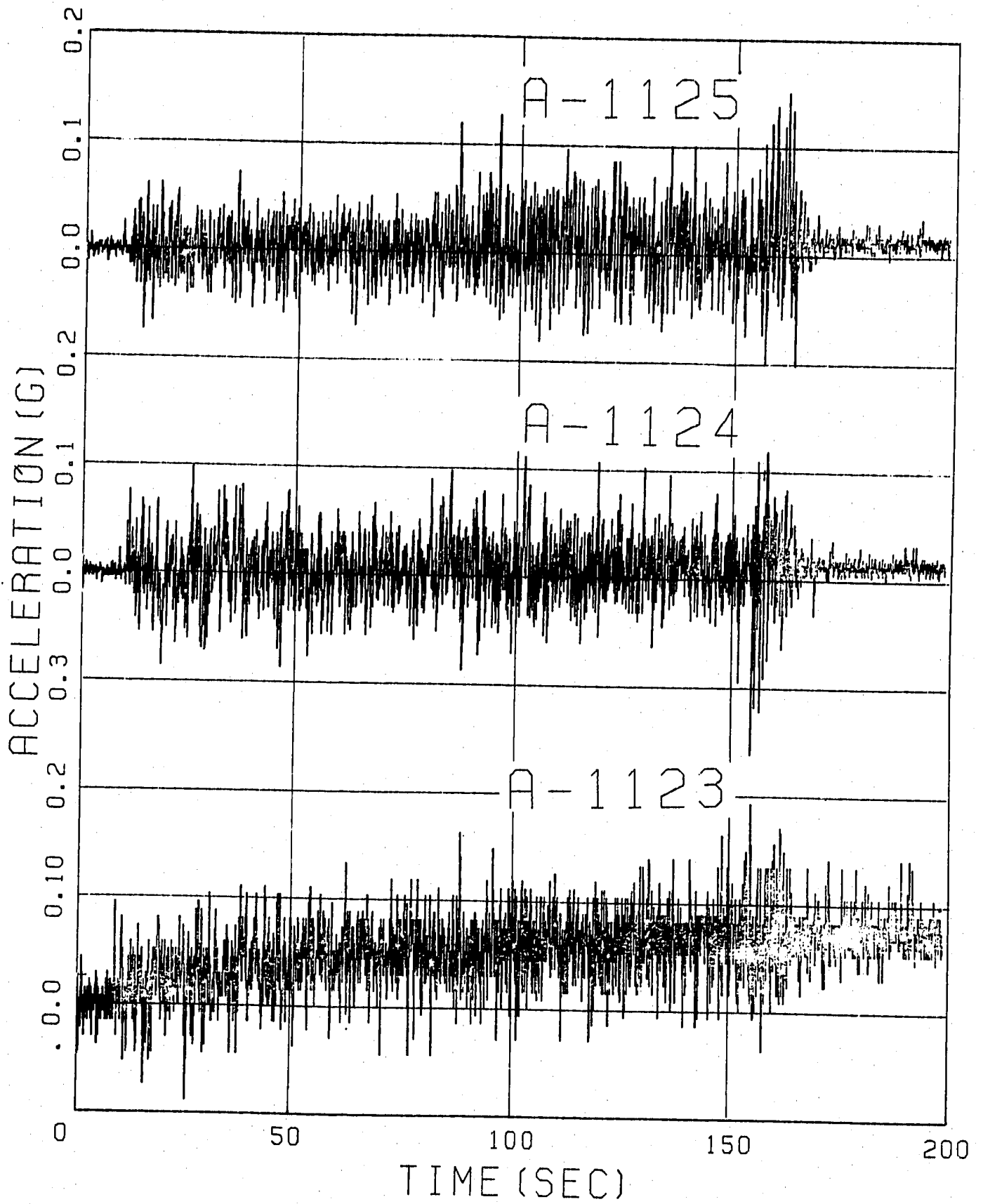


Fig. 3.2.10(b) Acoustic Signals by Accelerometers (Run-12)

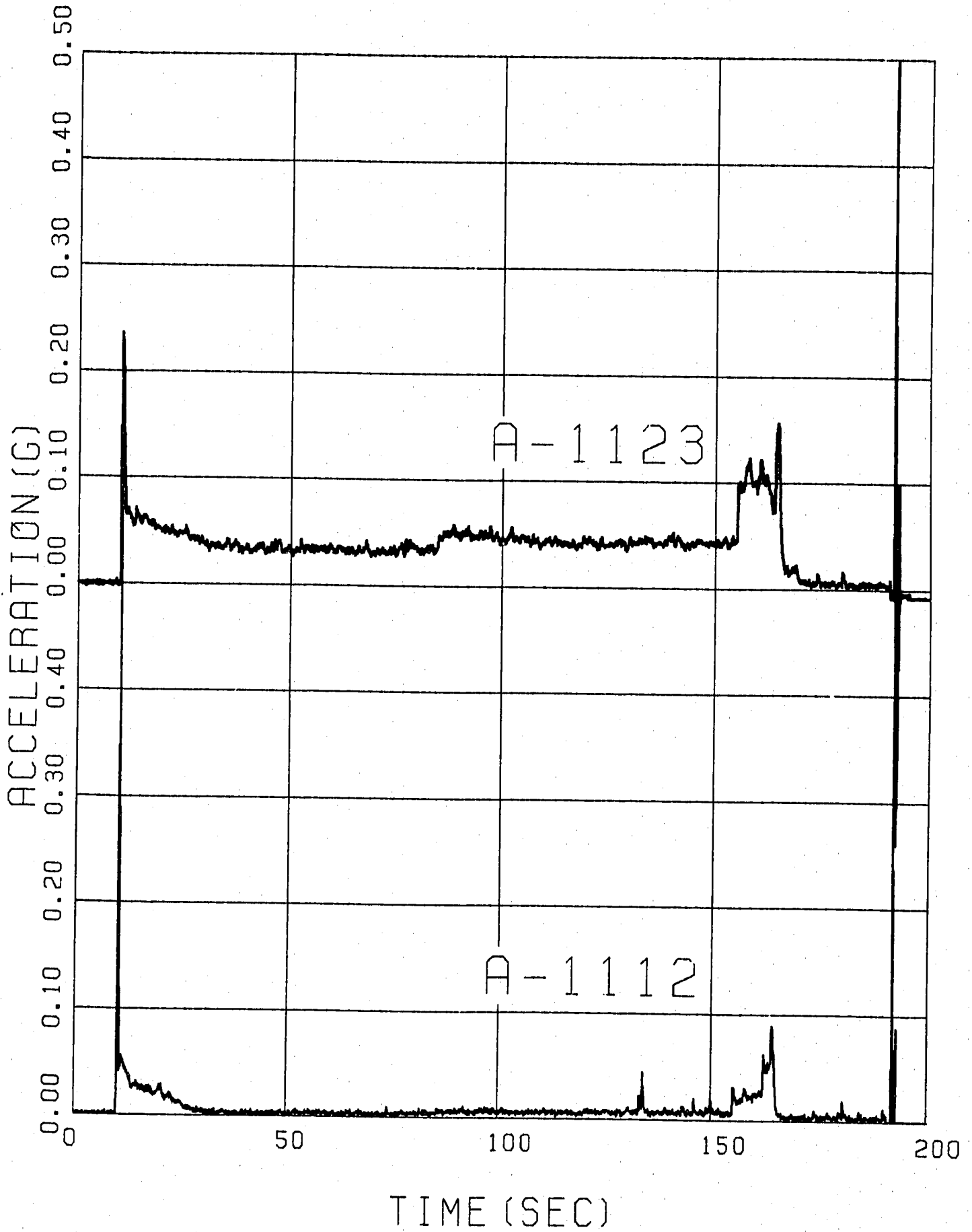


Fig. 3.2.11(a) RMS Values of Acoustic Signal (Run-12)

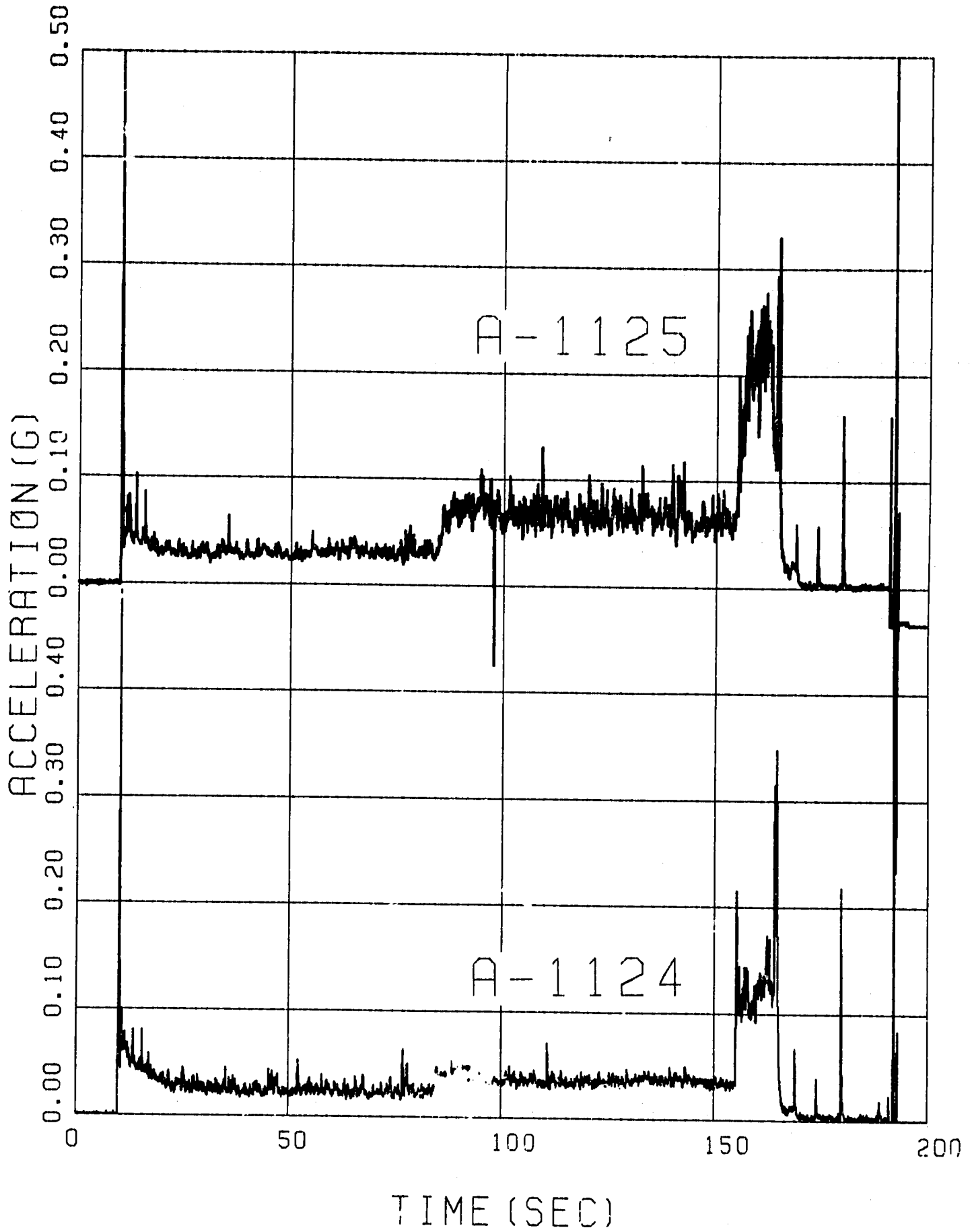


Fig. 3.2.11(b) RMS Values of Acoustic Signal (Run-12)

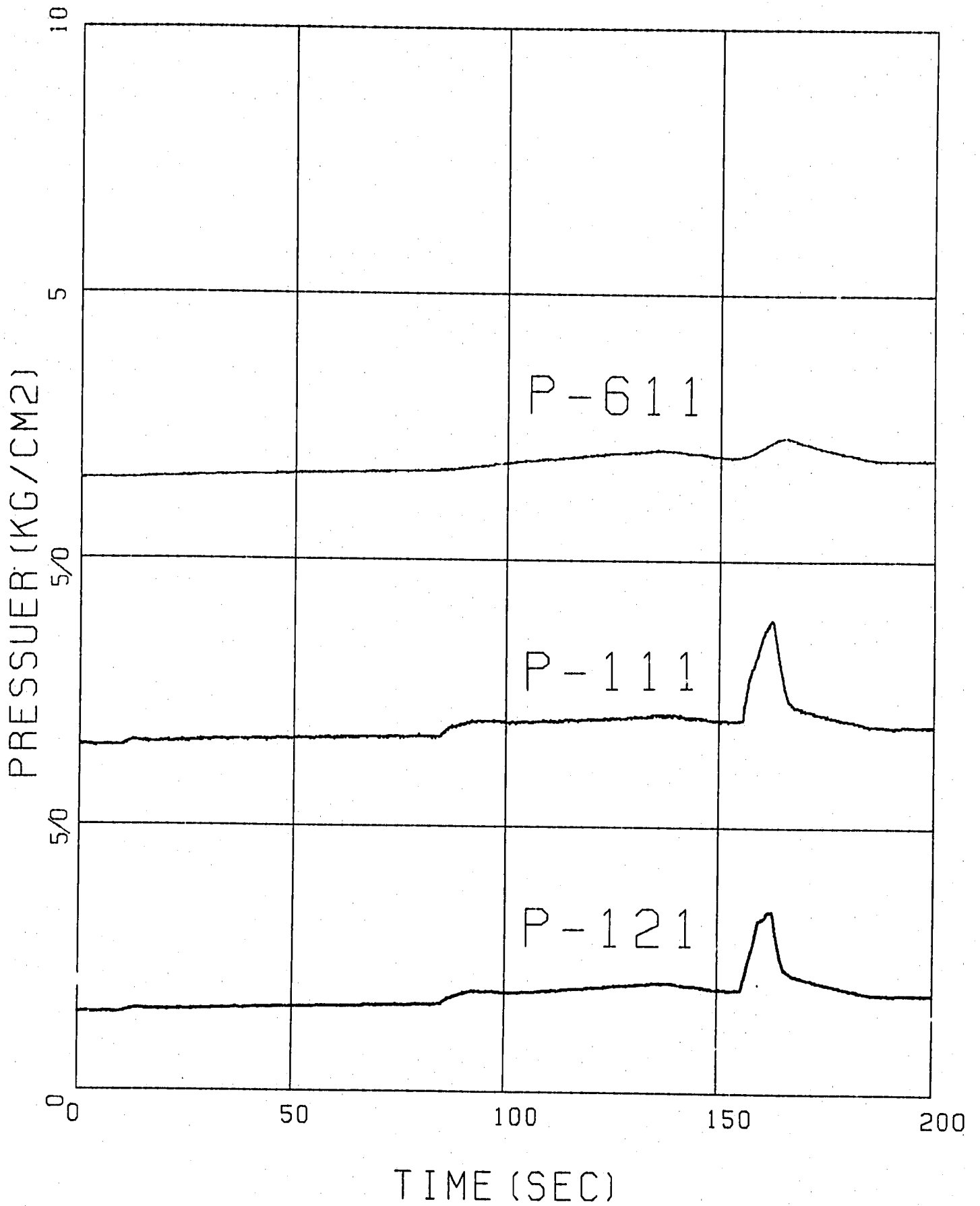


Fig. 3.2.12 Pressures in Evaporator, Superheater, and Reaction Product Tank (Run-12)

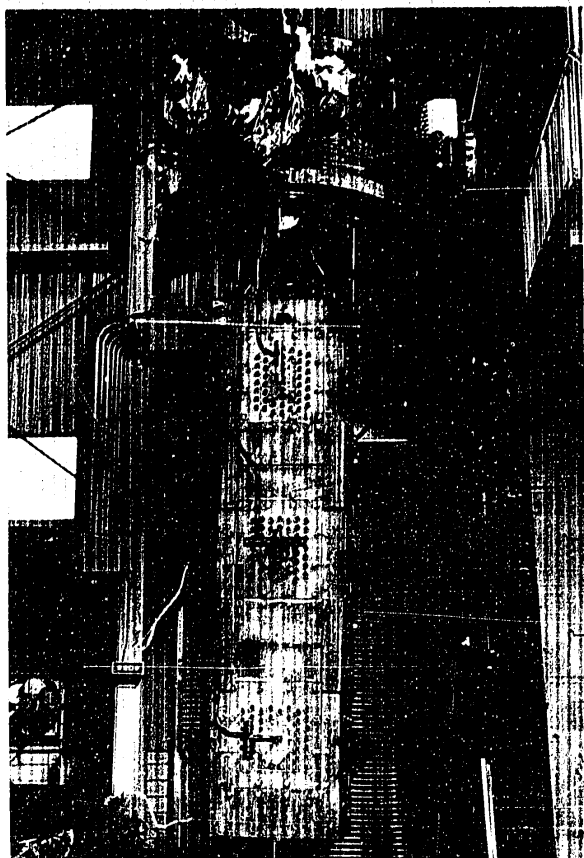
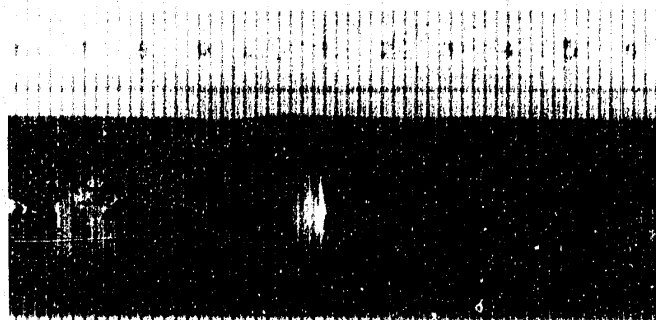
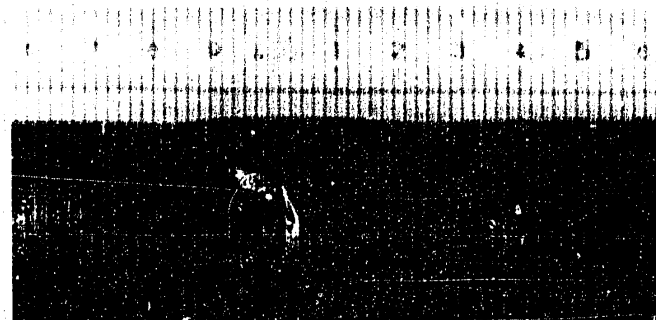


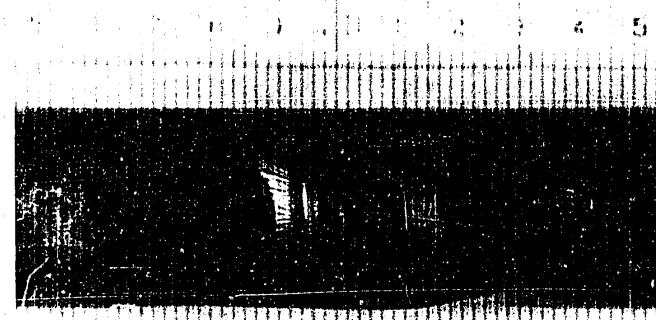
Fig. 2.2.4 Photograph of Internals



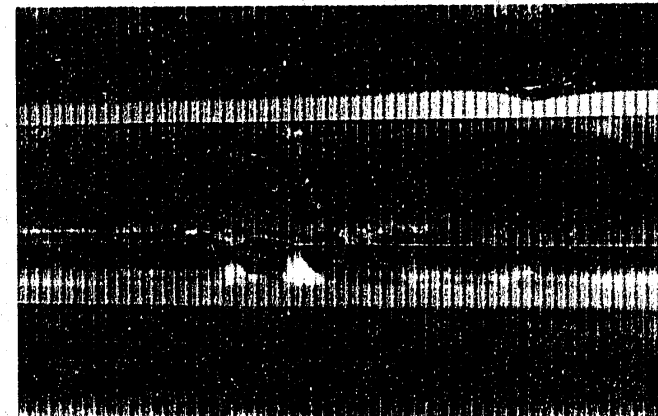
RUN-12 No.134 270°



RUN-12 No.127 90°



RUN-12 No.135 315°



RUN-12 No.142 270°

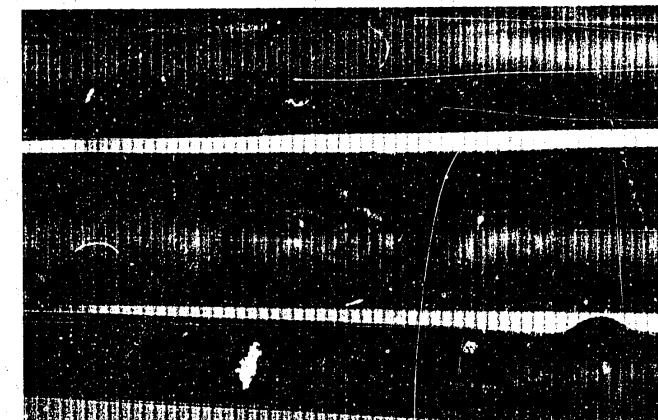


Fig. 3.2.13 Photographs of Damaged Tubes (Run-12)

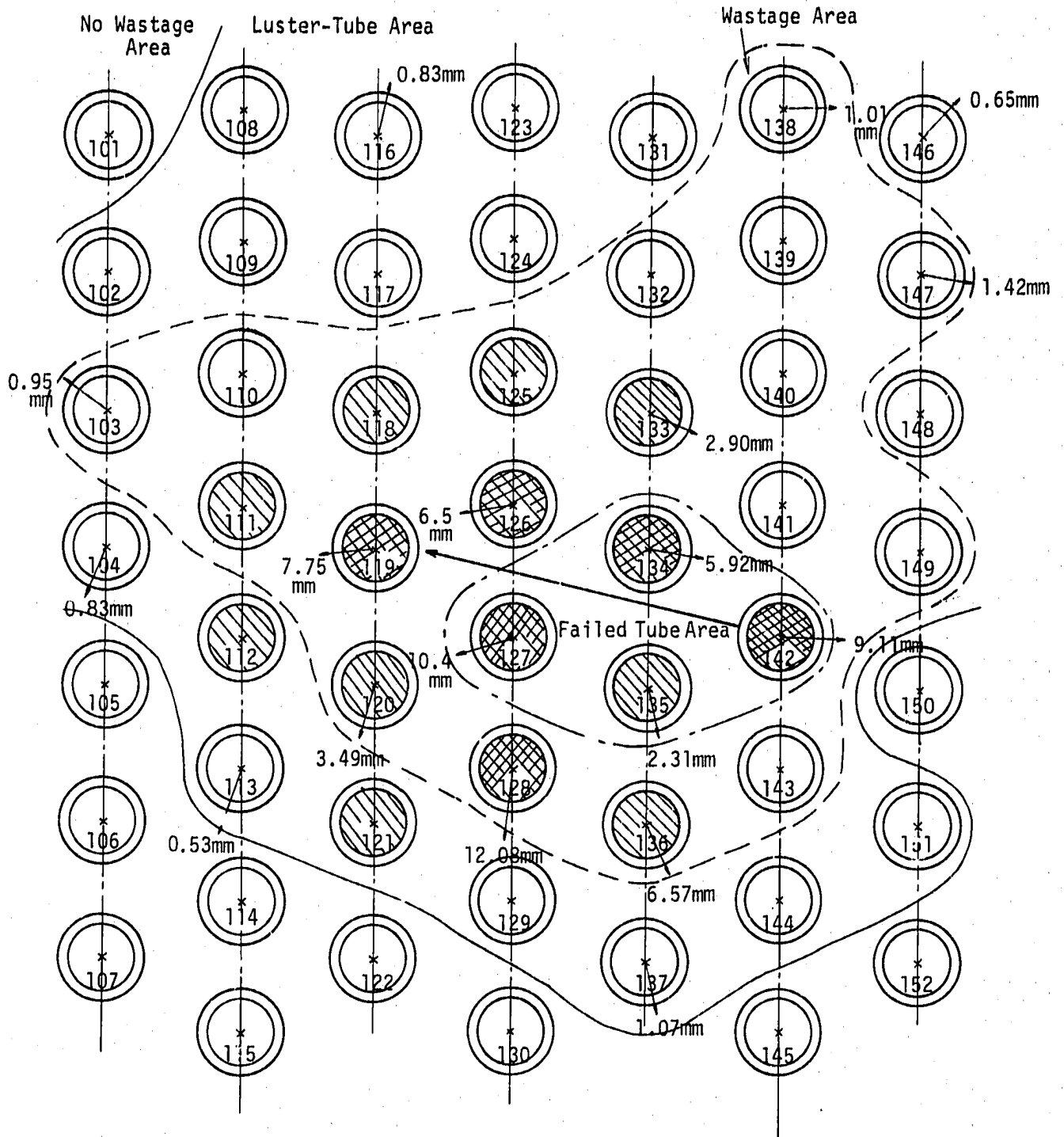


Fig. 3.2.14 Degrees and Directions of Tube Bowing Produced by Run-12 Test

3.3.1 概 要

Run-13 試験は、Fig. 2.2.5 (c)に示したような試験体系でNo.212の伝熱管から、No.232の伝熱管に向けて注水が実施された。注水ノズルの口径は、6 mm ϕ である。同試験のペンレコーダ出力をFig. 3.3.1に示す。出力データは上から、加速度計A 1123，タービン流量計F 5001，水加熱器液位計L 511，加圧伝熱管圧力P 5 * 231とP 5 * 233，及び注水ライン圧力PK5003である。

注水弁開後，平均 0.90 kg/sec で注水がなされ，70秒に最初のガス加圧管の破損が生じた。その後もガス管の破損が続き，唯一の注水ターゲット管であるNo.232は156秒に破損した。注水量が125 kgに達した時点で水加熱器液面低の自動インターロックが働き注水は停止された。全注水時間は168秒であった。Fig. 3.3.2及びFig. 3.3.3にRun-13の破損伝播のタイム・ヒストリー及び進行図を示す。

以下に，Run-13注水試験のデータを示し，詳細な検討を行なう。但し，Fig. 3.3.4～Fig. 3.3.12においては，実際の注水開始は， $t = 10$ secとしている。

3.3.2 注 水 系

注水トリガ弁V 591及びV 502の開度状態と，水加熱器液面計L 511（残水量をkgで表示）の出力レベルをFig. 3.3.4に示す。同時間軸で $t = 10$ secにV 591が開かれ注水が開始された。注水開始後168秒（ $t = 178$ sec）に自動インターロックが働きV 502が閉じて注水試験に終了した。

水加熱器液位計の注水前後の値の差は125 kgであり2.4.6で説明したRun-13の注水停止条件を丁度満足していた事が判る。この注水量と弁開時間とから，本試験の平均注水率は，0.74 kg/sec となる。しかしなお詳細に見ると $t = 110$ sec付近の前後で液位低下の勾配は異なっており，前半は0.90 kg/sec，後半は0.49 kg/sec と読取る事ができる。また注水ターゲット管の2次破損の生じた最後の10秒では勾配は再び増大している。

タービン流量計F 5001の出力をFig. 3.3.5に示す。注水開始時に約1秒間大きな流れが見られるが，その後 $t = 90$ secあたりまでは0.85 kg/sec程度の値で安定している。その後下がり始め $t = 105$ secで遂に本流量計の不感領域に落ちたため， $t = 168$ secに2次破損により注水率が再び増加するまでは，全く出力が無かった。この間の挙動はタービン流量計の特性によるもので，出力が無くても実際に流量が無いと言う事ではなく，Fig. 3.3.4のL 511の勾配に見られるように低いけれどもある程度の流れは存在した。この $t = 100$ sec付近での流量の低下は，水加熱器の圧力低下によるものと考えられる。


Run-13の初期水リーク率としては，タービン流量計は仕様範囲外であるため，液面計L 511の勾配からの値を用いそれも2次破損に寄与した前半の値，即ち0.90 kgを採用する。

水加熱器圧力 P 511 及び、注水ラインの圧力 P 5003, PK 5003 を Fig. 3.3.6 に示す。P 5003 は EV の外部, PK 5003 は EV 内に設置されている。注水弁を開けると共に弁下流に設置されていた PK 5003 の圧力も約 150 ata まで上昇した。他の 2 つと異なり PK 5003 のみは徐々に圧力が上昇する傾向が見られるが、これも真の圧力上昇ではなく EV 内の温度が反応熱により上昇しているためのドリフトである。これは、PK 5003 出力が注水弁を閉じた後も 0 付近まで復帰していないことから言える。注水率がそれほど高くないため、水加熱器から注水管までの圧損は微小であり、P 5003 及び PK 5003 の出力も P 511 と大差ないと考えられる。

3.3.3 ターゲット管加圧ガス系

ガス加圧管は全部で 13 本設置されたが、そのうち 8 本が注水停止までに破損した。これらの破損管の圧力挙動を Fig. 3.3.7 (a) 及び (b) に示す。反応熱のため加圧管内のガス圧力は上昇しており、破損時の圧力は初期設定の 150 at ではなく 180 at 前後であった。圧力急降下時が破損時期に相当すると考えられるので、注水開始から管破損までの時間を同図より求めて Table 3.3.1 に示す。なお同表には、注水管 No 232 の破損時間も入れてある。

Table 3.3.1 Run-13 ガス加圧管の破損状況

破損順	伝熱管No.	管内容物	破損時間 (sec) 注水開始から	破損規模  a mm, a × b b mm
1	233	N ₂ ガス	69.6	1 DEG 相当
2	225	↑ ↓	69.8	4.8 × 10
3	231		149	3.1 × 20
4	238	↓	157	11 × 32
5	240	N ₂ ガス	157	13 × 32
6	232	水 / 蒸気	158	{ 2.7 × 13 1.2 × 9
7	218	N ₂ ガス	165	5 × 7.5
8	219	↑ ↓	167	5 × 7.0
9	224	N ₂ ガス	175	1 DEG 相当

3.3.3 伝熱管束部温度

Run-13用の伝熱管周囲に設置されたT1161～T1190の30点のC.A熱電対(シース径1.0mmφ, 非接地型)の出力をFig.3.3.9(a)～(z)に示す。これらのうちT1163, 65, 67, 70, 78, 79, 81, 82, 85, 86など, 伝熱管No.232の周囲やノズルの方に面して取付けられた熱電対からは初期(～50sec)に約120℃の低温が観察される。このことからRun-13では, 未反応水/蒸気の領域はかなり広く, 10本近い伝熱管の範囲にまで及んでいた事が判る。但し, これらの未反応域は必ずしも安定して存在していた訳ではなく, 特に注水率が低下して来た100秒以後は消滅している。

注水ターゲット管No.232の2次破損の影響は, T1161～T1173, T1175などFig.2.2.4(c)の左半分の熱電対に温度上昇の形で現われている。

注水率の高さに応じて反応域も広く, ほとんどの領域で900℃を越えており, T1172, 77, 80などで1,000℃を越えている。信頼できる最高値はT1177の1,100℃であった。

高温域に長時間曝される熱電対は消耗も激しく, T1162～T1165初め17本の熱電対ではシース材がウェステージのために破損し, 内部の芯線が接地して, 約1,250℃に相当する電圧が上乘せされている。従ってこれらの破損熱電対は, 破損以外はこの上乘せ分を差引いてやれば真の値に近いものが得られる。また, T1168, 69, 87, 88の4本の熱電対も破損して, 恐らく断線のため出力レベルが零になっている。これらの破損を免れた熱電対は, 全30本のうちわずか9本だけであった。

3.3.4 加速度計型音響計

EV 胴の外壁に取付けた加速度計タイプの音響計A1112及びA1123～24の出力Fig.3.3.10(a)及び(b)に示す。またこれらの信号のRMS値をFig.3.3.11に示す。これらの中で反応点に最も近いA1123のRMS値を見ると, 注水弁開操作時($t=10$ sec)に注水配管に水/蒸気が流れ込む際の音と思われる信号が出ているが, そのほかに3ヶ所ほど鋭いパルス状の信号が認められる。すなわち, $t=80, 168$ 及び 185 sec(注水開始から70, 158及び175秒)であるが, これらのうち, 1番目及び3番目のパルスはそれぞれガス加圧管No.233及びNo.244の破損に相当する。(これら2本の伝熱管の破損規模は1 DEG相当で他の破損管に比べて大きかった。Table 3.3.1参照), また, 2番目のパルスはガス加圧管No.238, No.240注水ターゲット管No.232の破損時刻と一致し, それらの重なった音と考えられる。

これら数本のパルス信号を除けば, 音響出力は全体として平坦で0.09～0.14[G](90～140[Ga1])の範囲に収まっている。

3.3.5 圧力他

Fig. 3.3.12に、EV、SH及びRT内に取付けられている運転制御用圧力計の信号、それぞれP111、P121、P611を示す。

放出系の運転方法は、Run-12と同様で圧力開放板を破りたくないため、バイパス弁V601を開放して発生水素ガスをRTへ逃した。また大気放出はRTのバイパス弁V603を通して行なった。このV603は、 $t = 17 \text{ sec} \sim 196 \text{ sec}$ の間は開いていた（Appendix G.のFig. A. G.14参照）。各点の最高圧は $t = 60 \sim 90 \text{ sec}$ の間に見られ、EV、SH、RTでそれぞれ2.82、2.62、2.35 [kg/cm²A]であった。また、P111、P121の $t = 167 \text{ sec}$ 以降に見られる二次的な圧力上昇は注水管No.232の2次破損によるものである。

その他の2次系や放出系の圧力・温度等のデータはAppendix G.に添付した。

3.3.6 伝熱管損耗状況

内部構造物洗浄後、伝熱管は1本ごとに解体洗浄されて損耗状況の観察が行なわれた。その結果、加圧伝熱管圧力やタービン流量計の挙動から推定されていたガス管8本及び注水管1本の破損が確認された。そのほかにも、多数の損耗管（減肉、曲がり、膨出など）が見出された。

(1) 破損管

Fig. 3.3.13に主な破損管の写真を示す。これらの写真から容易に判るように破損管の大半は膨出型であり、特にNo.233とNo.244の伝熱管の開孔部面積は1 DEG相当を越えている。これに対し1次リーク・ノズルに近い破損管No.218及びNo.219は減肉型の破損である。また注水クーゲット管No.232やガス加圧管No.225破損孔の極く近辺の部分が膨出しているが、全体としては減肉型の印象が強い。

一般に伝熱管の破損伝播の機構としては、ウェステージ現象により管の肉厚が薄くなると共に、反応熱により管材料の機械的強度が低下して内圧のために破損するという状況が考えられるが、その中で減肉効果と加熱効果のうちいずれが支配的かで、それぞれウェステージ型及び高温ラプチャ型と類別される。上述した減肉型、膨出型がこれらにそれぞれ対応すると考えられるが、より厳密には膨出型破損管の破損直前の肉厚を知る必要がある。

現実問題としては、破損時の伸びや破損後のウェステージによる減肉のため、破損前の肉厚を求める事は容易ではない。Fig. 3.3.14は、1 DEG相当の破損となった管No.224の開孔部の断面写真である。同図から断面積を求めて試験前の断面積と比較すると^{注)}試験後

$$\text{注) 試験前の断面積} : 363 \text{ mm}^2 = \frac{\pi}{4} (31.8^2 - 23.44^2)$$

$$\text{試験後の断面積} : 257 \text{ mm}^2 = \frac{\pi}{4} (d_o^2 - 23.44^2)$$

$$d_o = 29.6 \text{ より} \quad \text{平均肉厚} = \frac{29.6 - 23.44}{2} = 3.08$$

の平均肉厚は 3.08 mm となる。この場合は一様に減肉されたとした時の値であるが、実際には写真からも判るように開孔部の反対側は 3.72 mm 程度の肉厚を残しており、このことから開孔部の開孔直前の肉厚は最も薄い所でも 2.4 mm 程度即ち 57% は残っていたと考えられる。

上記計算では伝熱管軸方向の伸びは無視したが、これを考慮すると開孔直前の肉厚はもっと厚くなると考えられる。上で計算対象とした Na 224 の伝熱管は最も遅れて破損した管であり、破損直後の状態も比較的良く保たれていると考えられるが、他の破損管 (Na 233 など) の場合は破損後のウェステージ作用による減肉が無視できない。また開孔面積がもっと小さい伝熱管では開孔直前の肉厚はもっと薄かったと考えられ、Na 240 で 1.2 mm 程度である。

(2) 破損に至らない損耗管

破損した伝熱管の周囲の伝熱管も損耗が激しく、25本の伝熱管が 0.1 mm 以上減肉していた。これらの伝熱管の減肉量と方向については Fig. 3.2.3 に示した。SWAT-3, Run-10 試験⁵⁾などと比べた本試験の特徴として、減肉量の大きい伝熱管が以外に少ないと言う事である。Na 217 での 2.07 mm を除けば他は皆 2 mm 以下である。これは前項で述べたように、伝熱管の温度が高くなっており、2 mm 付近まで減肉すると内圧ラプチャに至った可能性が高いものと考えられる。

減肉量の大きかった Na 217 や 226 の伝熱管は、ウェステージ型の破損をした Na 218 や 219 と同様にリーク点に近い場合、ジェットによるエロージョン効果で減肉したものと考えられる。概して言えば、リーク点から 1 列ないし 2 列目までの伝熱管では、ウェステージ効果が見られ、3 列目から 5 列目くらいまでは高温ラプチャ効果が顕著である。それ以上は再びウェステージ効果の方が優勢になる傾向が見られる。但し、この事は 1 次リークのリーク率や伝熱管配列にも依存しており、あらゆる体系に対して一般化して言う事はできない。

(3) 曲がりと膨出

曲がり管の方向と程度については、Fig. 3.3.15 に示す。他の試験結果と同様に、反応域から外側に向かっており、反応域側が加熱された事を表わしている。但し Na 239 だけは逆に反応域側に反っているが、これは直接のターゲット管である Na 232 の真後にあったため、むしろ Na 239 の右側 (Fig. 3.3.15 で) が加熱されたものと思われる。

3.3.7 ウェステージ率

上述したように、高温ラプチャ的要素が顕著に現われている Run-13 試験の場合、ウェステージ作用による減肉だけを取り出して求める事は極めて難しく、従ってウェステージ率の値も多くは得られない。ここでは、本試験において最も早く破損した 2 本の伝熱管 Na 233 と

No. 233 と No. 255 についてウェステージ率を求めてみる。

No. 233 と No. 225 はほぼ同時（それぞれ 69.6 及び 69.8 sec）に開孔したにもかかわらず，その破損孔は対称的な形状を示している。No. 233 は典型的な高温ラプチャ型であるのに対し，No. 225 は膨出は見られるがウェステージによる減肉の割合の高い破損孔である。この事は次のように解釈される。

ジェット・ノズルに距離的に近いだけでなく，リーク・ジェットにほとんど直撃される No. 255 の場合は，まだ未反応水が充分残っている領域である。これは，T 1173 に未反応水の温度と思われる低温が測定されている事からも明らかである。この場合は，伝熱管は高温下にはないため，むしろ蒸気ジェットのエロージョン効果によって損耗されたと考えるのが妥当である。これに対し，No. 233 の場合には，ジェットに対して他の伝熱管の影になっている。このため，噴出水／蒸気が伝熱管に反射散乱されて，ナトリウムとほど良く混ぜ合わせるため反応が活発で，発生熱量も大きく高温領域（T 1183 参照）となっている。従って，No. 233 は伝熱管壁の温度も上がり，ある程度まで減肉した段階で内圧ラプチャしたと考えられる。

No. 225 の破損時の肉厚は不明であるが，従来⁴⁾よりの 80% 減肉時に破損したと言う仮定を用いて，ウェステージ率を求めると

$$W_R = \frac{4.2 \times 0.8}{69.8} = 4.8 \times 10^{-2} \text{ [mm/sec]}$$

となる。

これに対し No. 233 の場合は，リーク・ジェットの直撃を免れているため逆に水／蒸気とナトリウムが適度に混ぜ合わされ，発生する反応熱により内圧ラプチャするに至ったと考えられる。従ってウェステージ率としてはそれほど高くはなかつと見られる。No. 233 は破損後も長い時間にわたってウェステージを受け原形を止めていないので，破損時の肉厚は不明である。このため極めて粗い仮定であるが，破損形状が No. 233 と良く類似している No. 224 の値（3.3.6 の(1)参照）をそのまま用いて，ウェステージによる減肉量は初期肉厚の 43% であったとするとウェステージ率は

$$W_R = \frac{4.2 \times 0.43}{69.6} = 2.6 \times 10^{-2} \text{ [mm/sec]}$$

となる。

これらのデータを加えて，Run-12, 13 試験で得られたウェステージ率の値を Table 3.3.2 にまとめた。また超音波厚さ計で測った試験後の伝熱管の肉厚のデータを Appendix H に添付した。

Table 3.3.2 Run-12, 13 伝熱管のウェステージ・データ

RunNo	Tube No	リーク孔径 (mm)	ノズル・ターゲット 間距離 (mm)	L/D	ウェステージ 深さ (mm)	*破損時の減肉 厚の初期肉厚 に対する割合	ウェステージ 時間 (sec)	ウェステージ 率 (mm/sec)
12	127	1.5	68	45	3.34	80 %	74	4.52×10^{-2}
	135	3.2	27	8.4	3.34	80 %	60	5.57×10^{-2}
	142	3.2	68	21	3.34	80 %	71	4.70×10^{-2}
13	218	6.0 ↑ ↓ 6.0	32	5.3	3.34	80 %	165	2.02×10^{-2}
	219		29	4.8	3.34	80 %	167	2.00×10^{-2}
	225		80	13	3.34	80 %	69.8	4.79×10^{-2}
	233		134	22	1.80	43 %	69.6	2.58×10^{-2}

* 全て仮定値

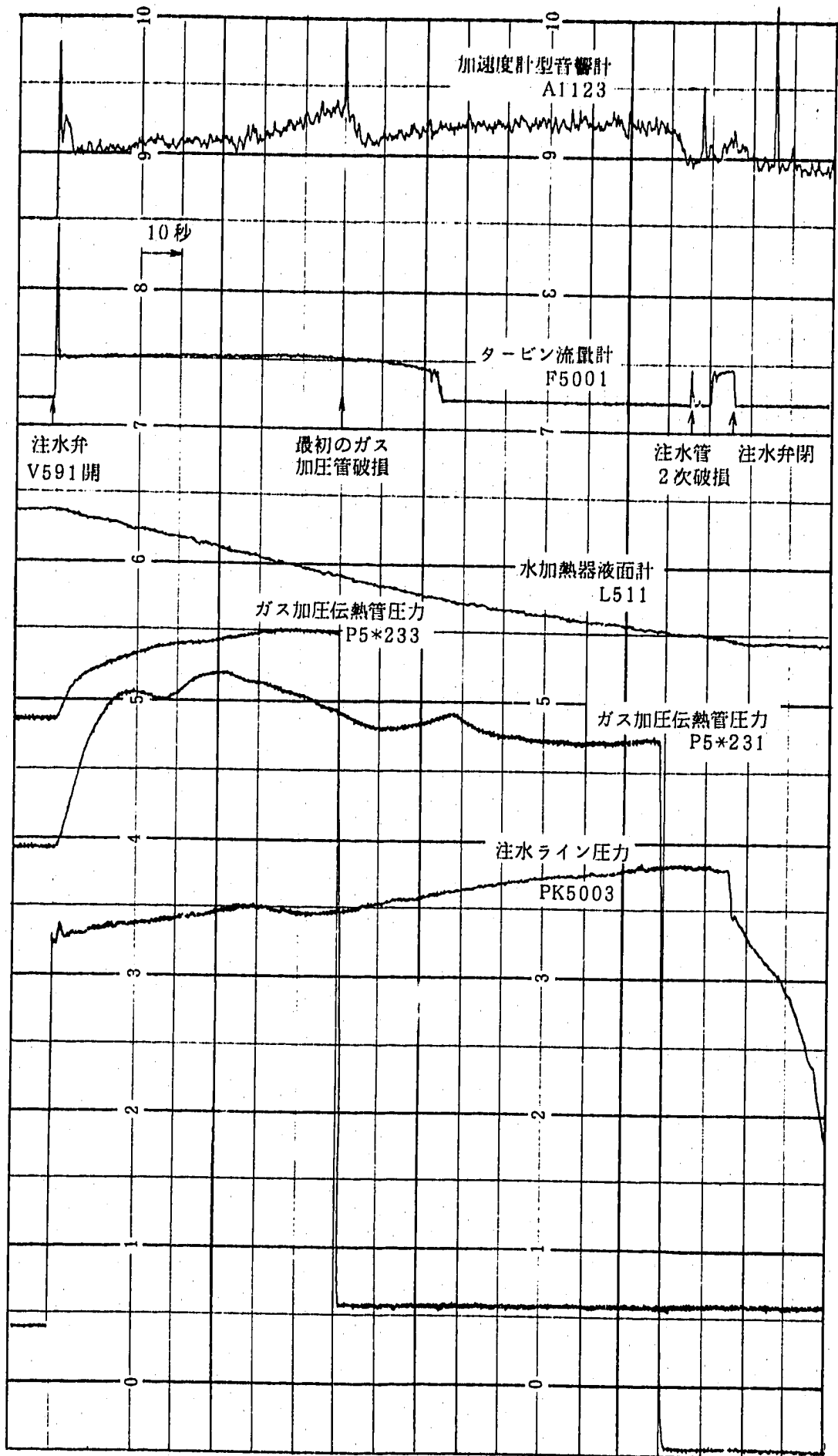


Fig. 3.3.1 Run - 13 試験時ペンレコーダ出力

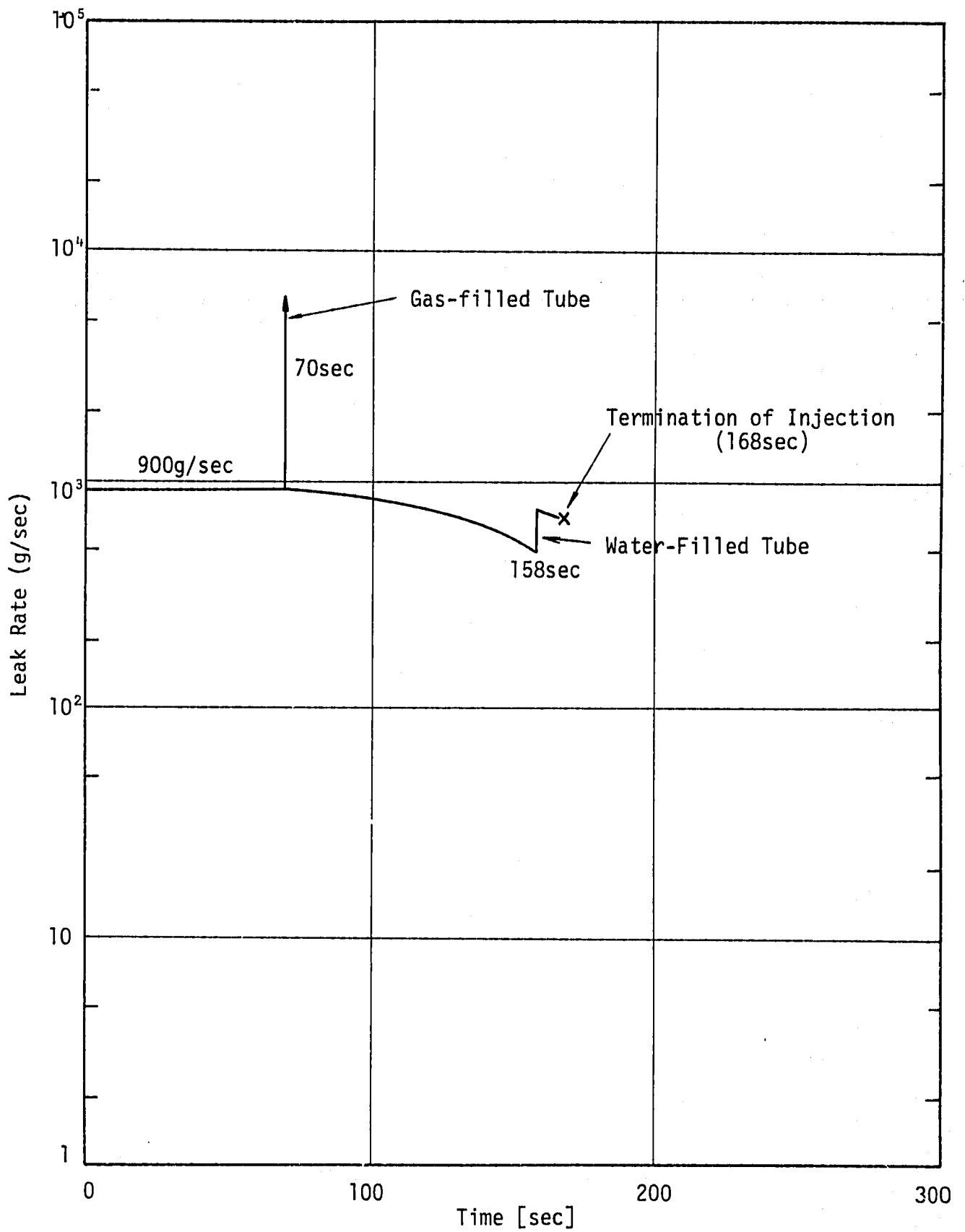


Fig. 3.3.2 Time Sequence of Water Leak Rate in Run-13 Test

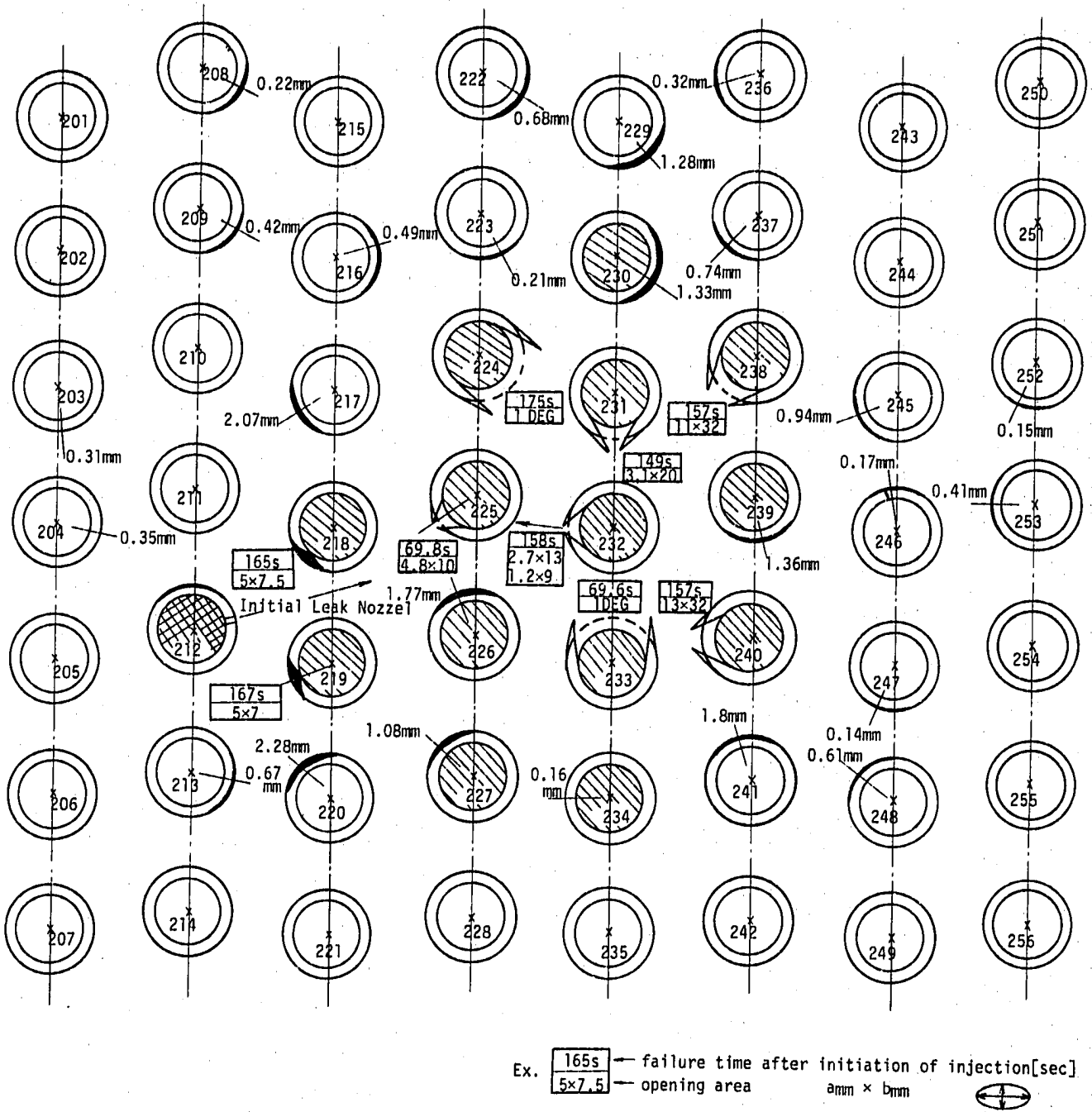


Fig. 3.3.3 Tube Damages Produced by Run-13 Test

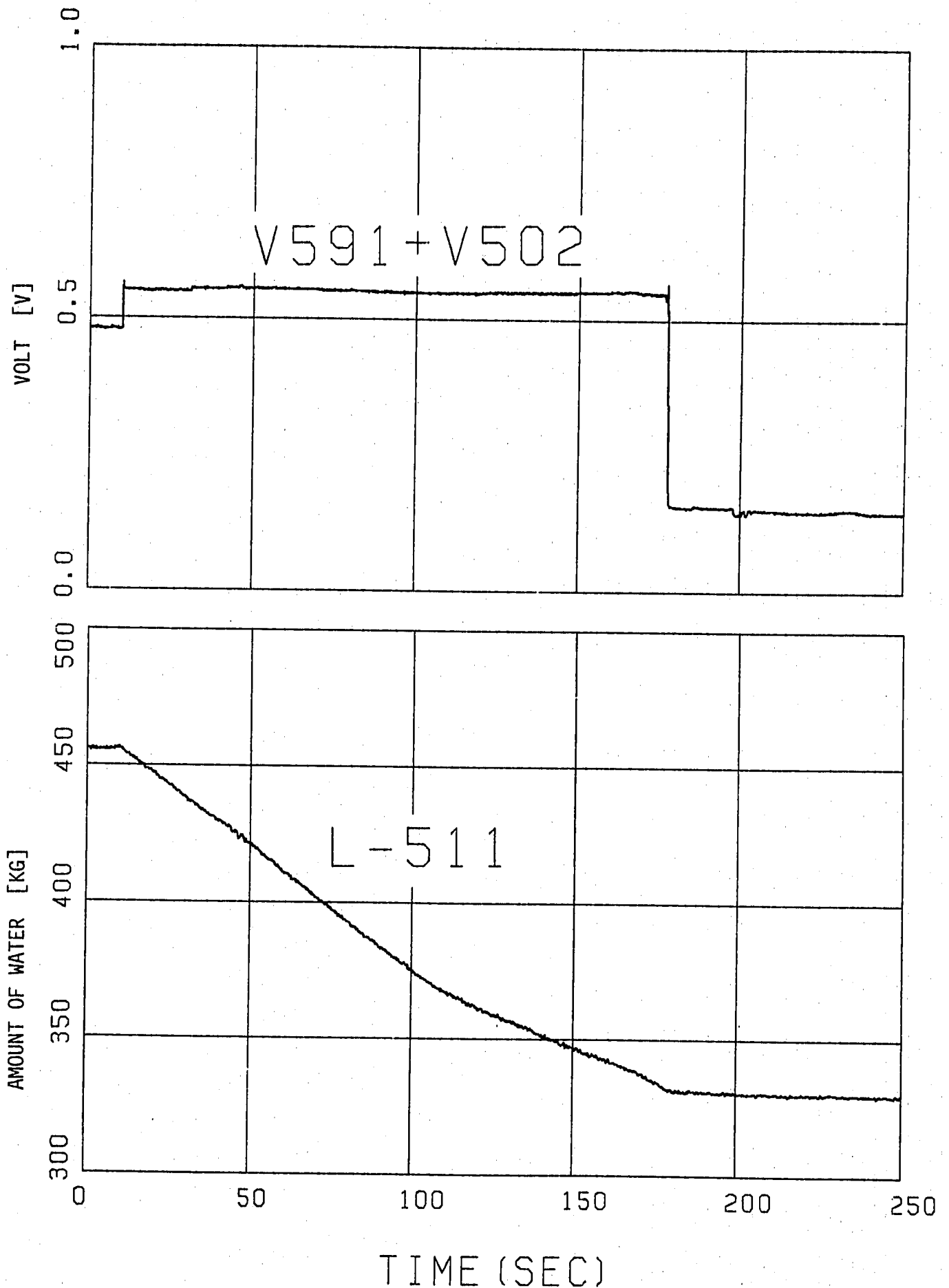


Fig. 3.3.4 Injection Valve Status and Level in Water Heater Tank (Run-13)

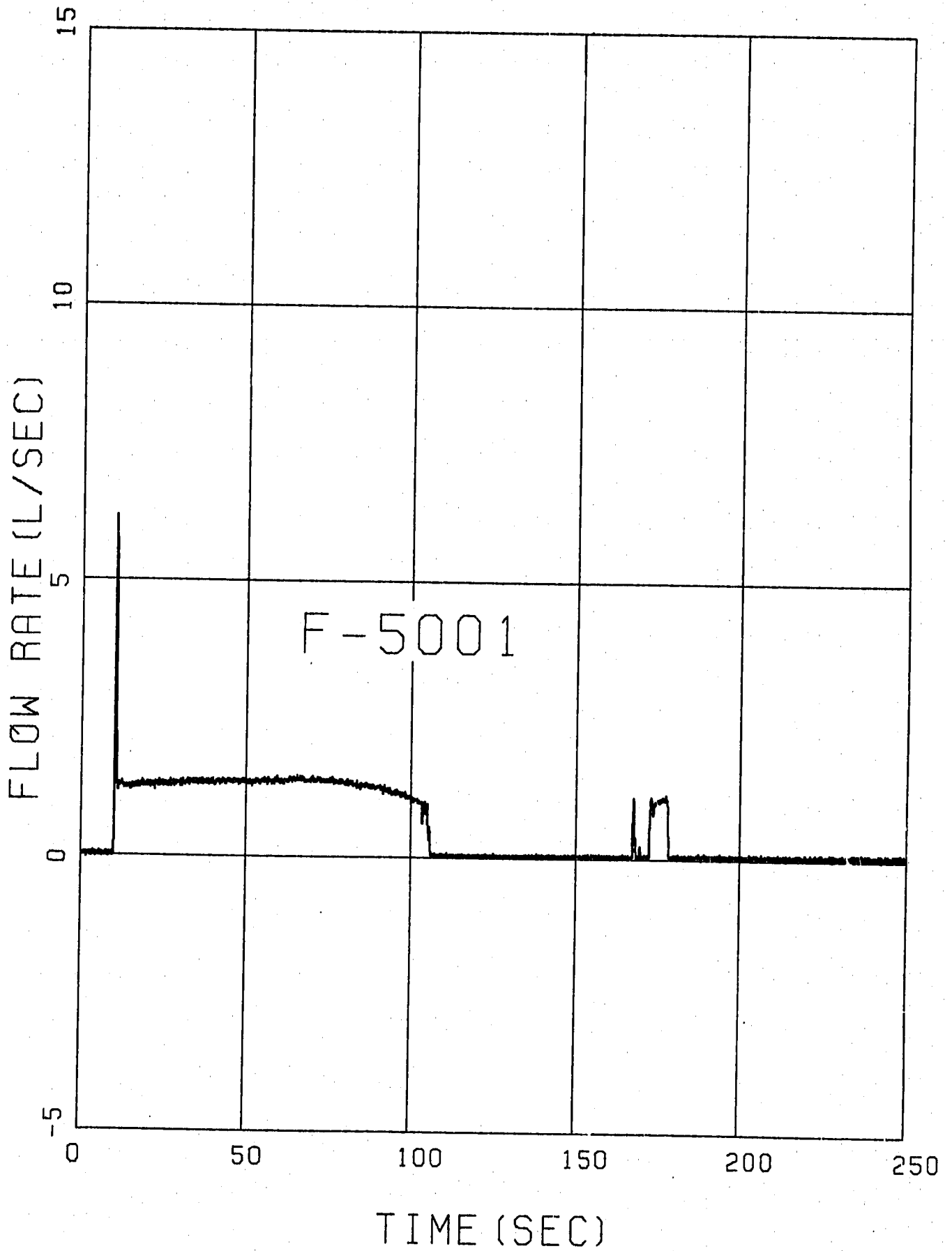


Fig. 3.3.5 Water Injection Rate by Tubine Flowmeter (Run-13)

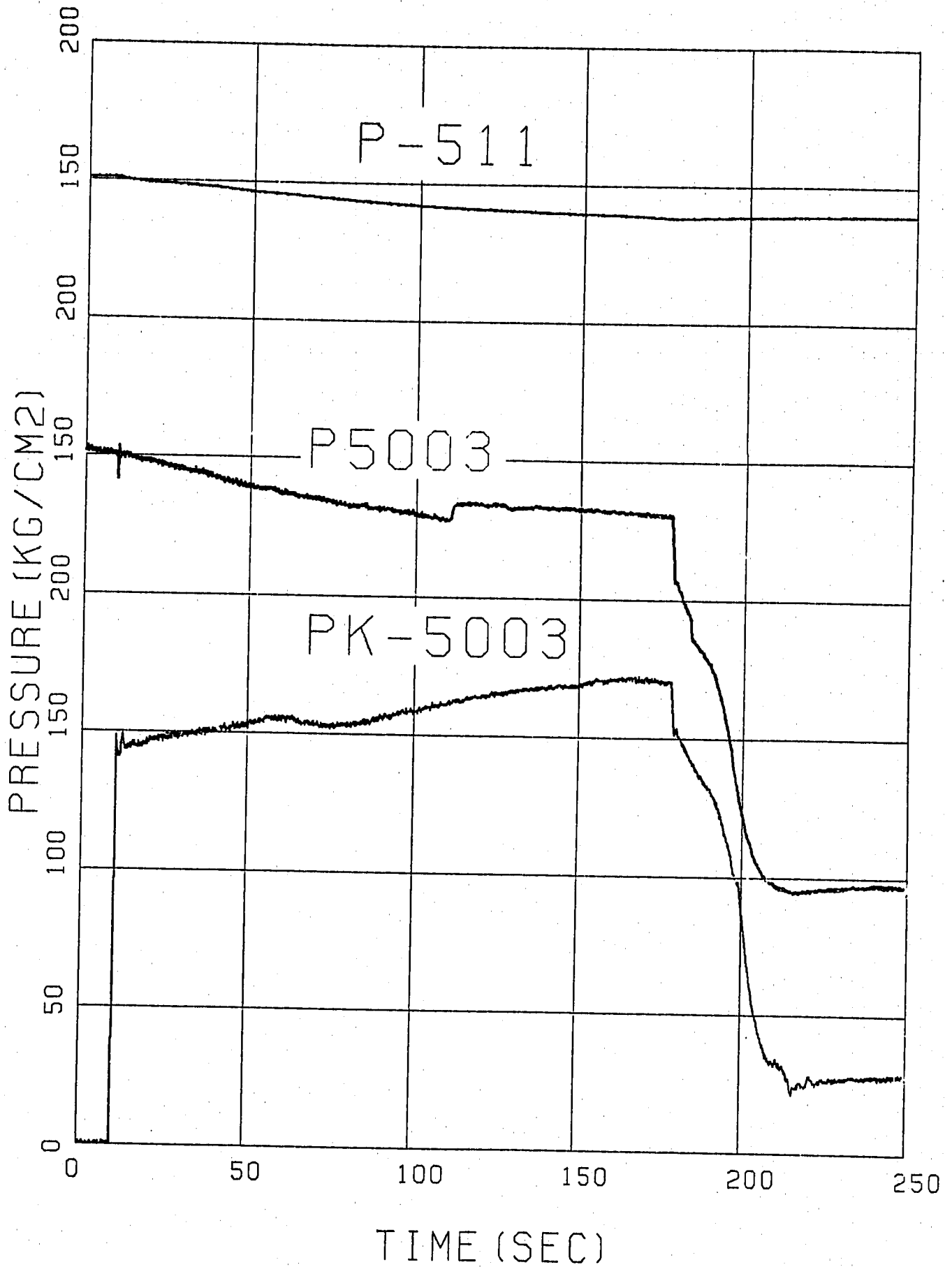


Fig. 3.3.6 Pressures in Water Heater Tank and Water Injection Piping (Run-13)

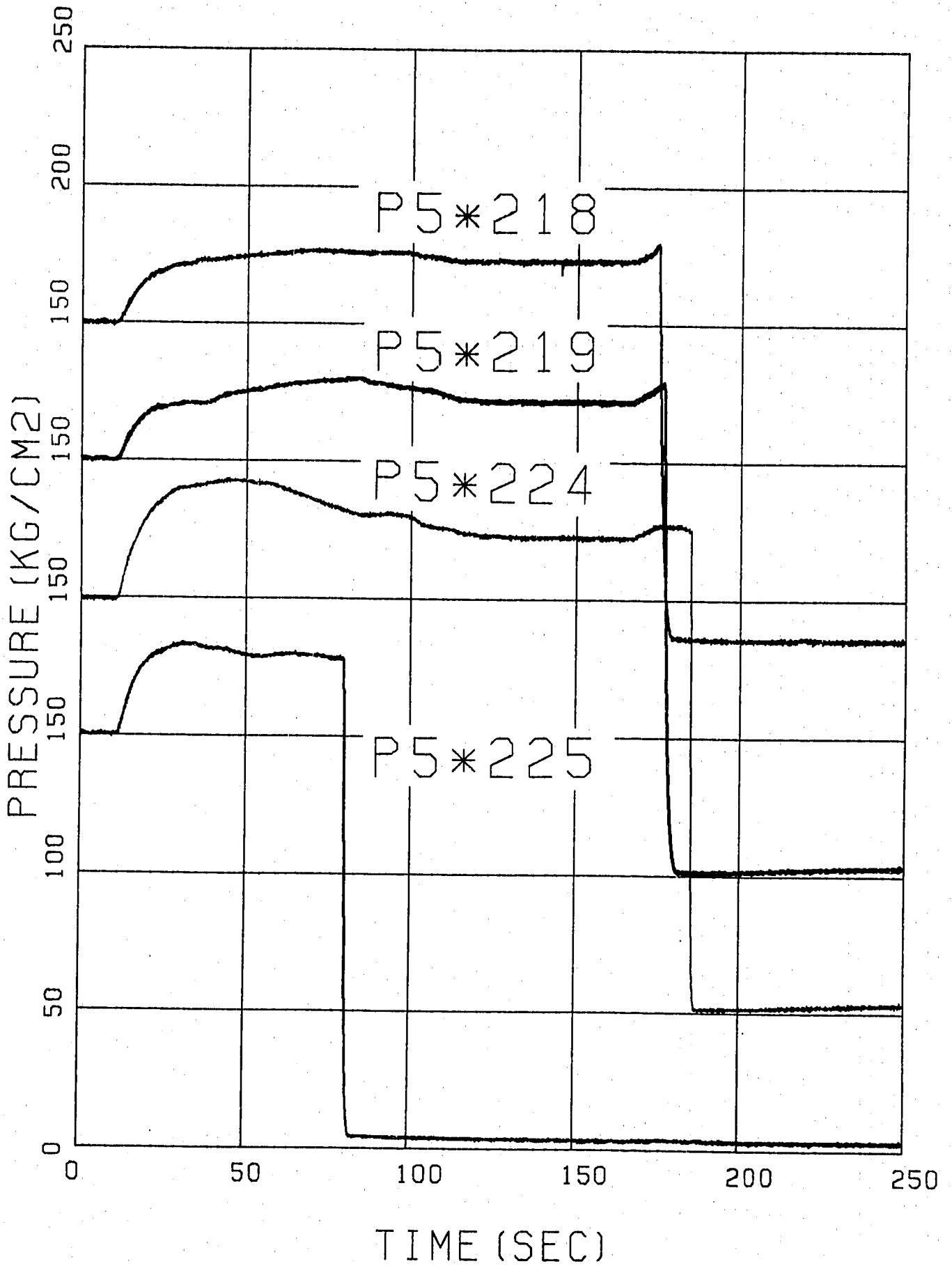


Fig. 3.3.7(a) Pressures of Gas-filled Tube (Run-13)

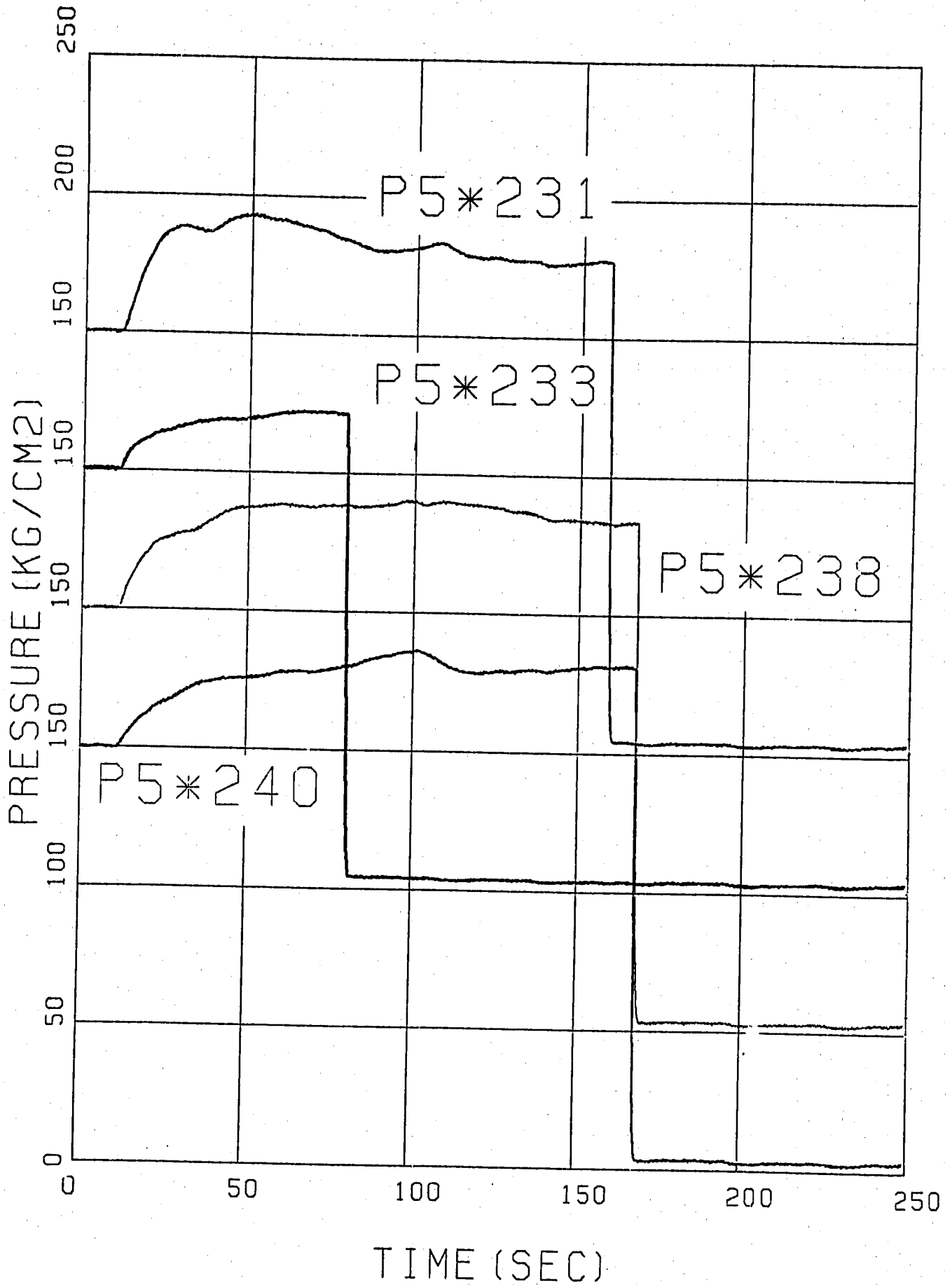


Fig. 3.3.7(b) Pressures of Gas-filled Tube (Run-13)

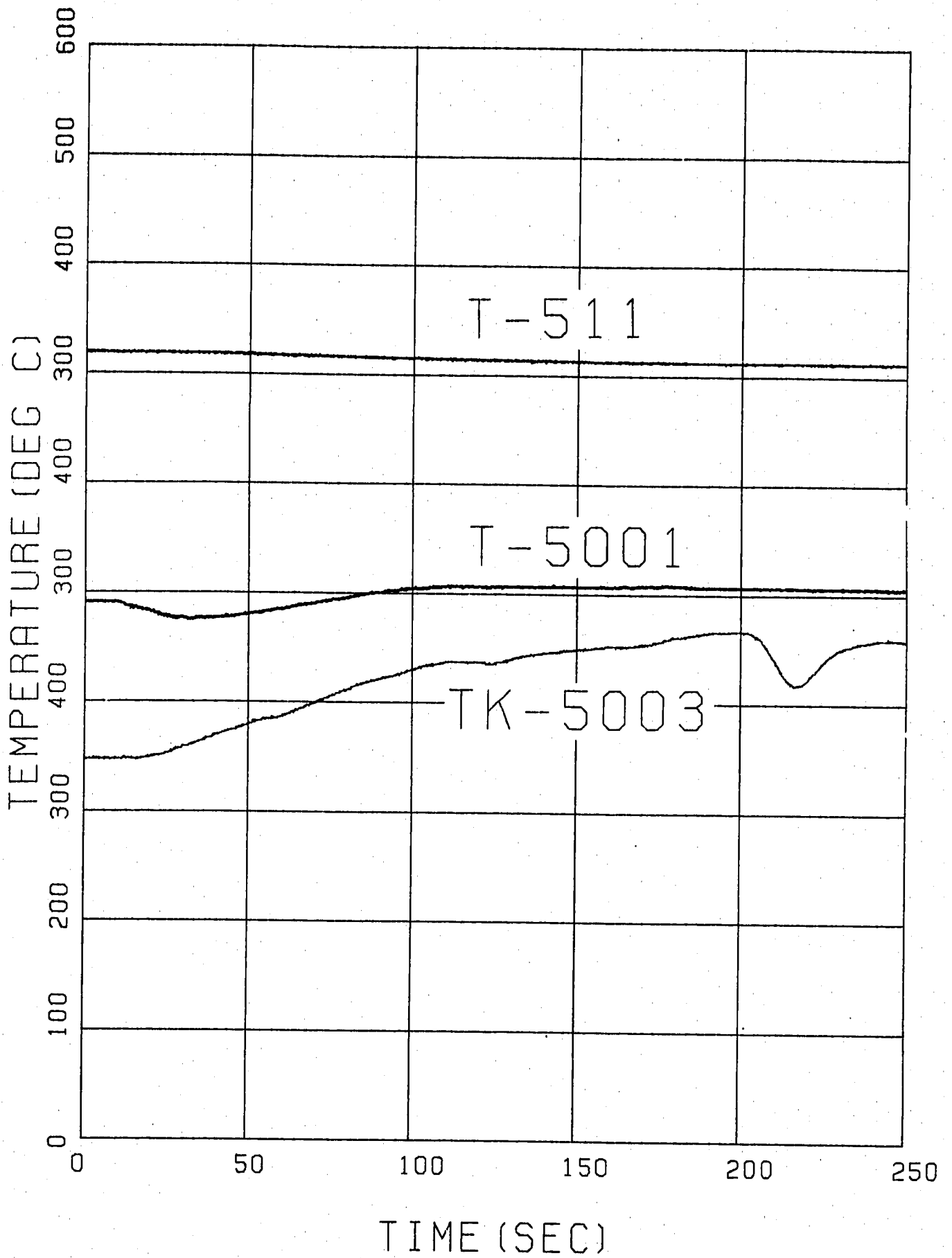


Fig. 3.3.8 Temperatures in Water Heater Tank and Water Injection Piping (Run-13)

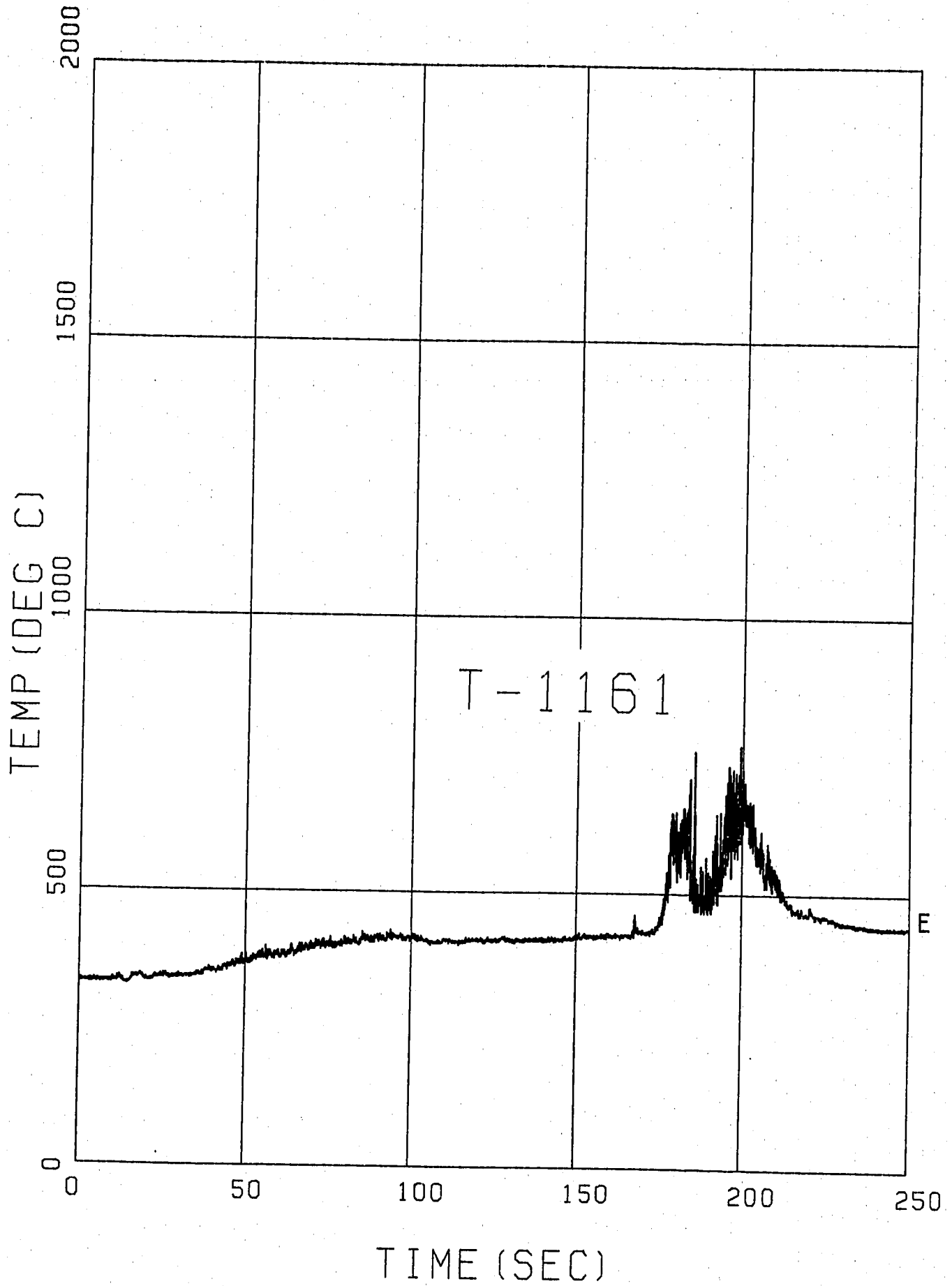


Fig. 3.3.9(a) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13)

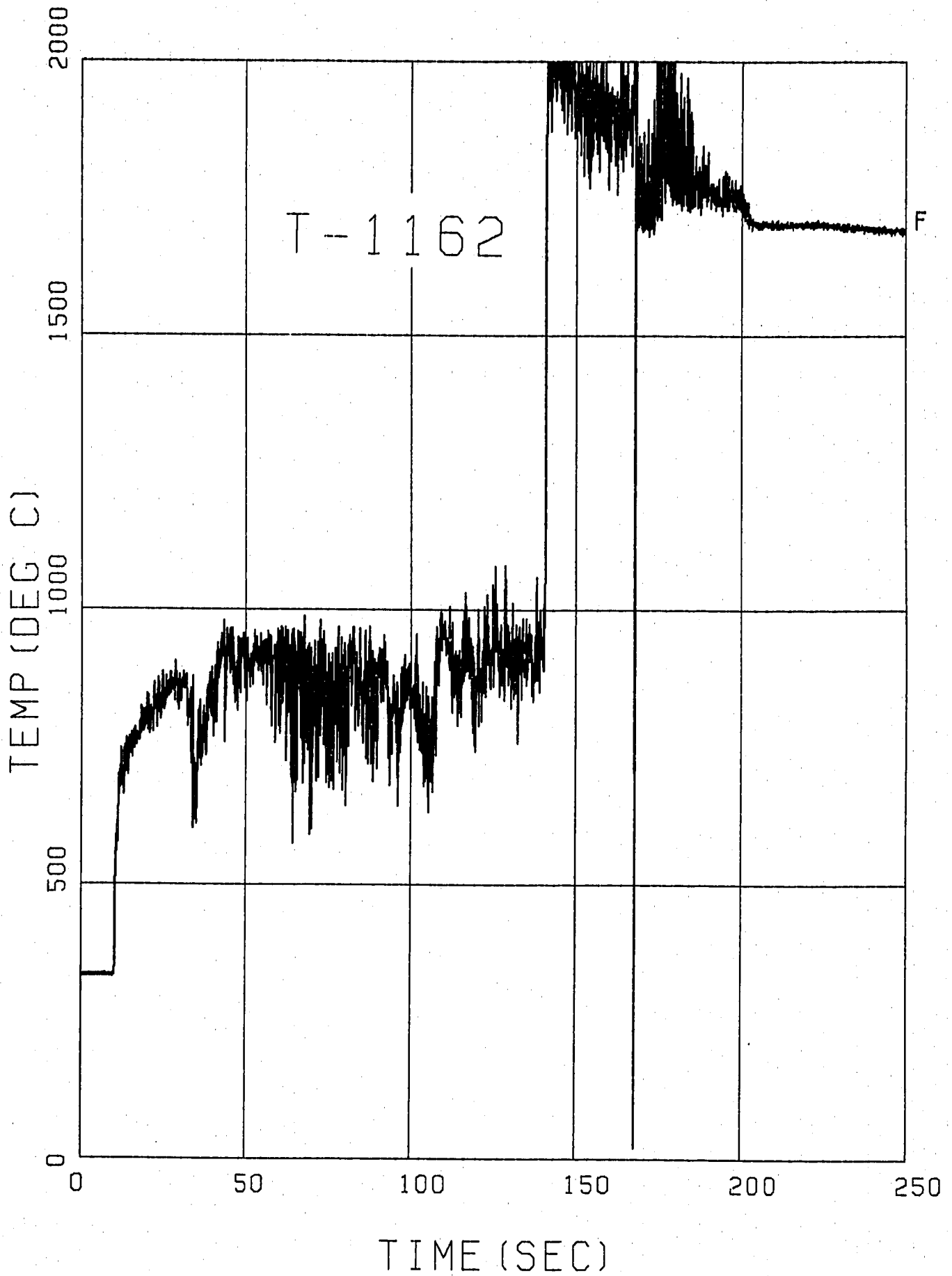


Fig. 3.3.9(b) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13)

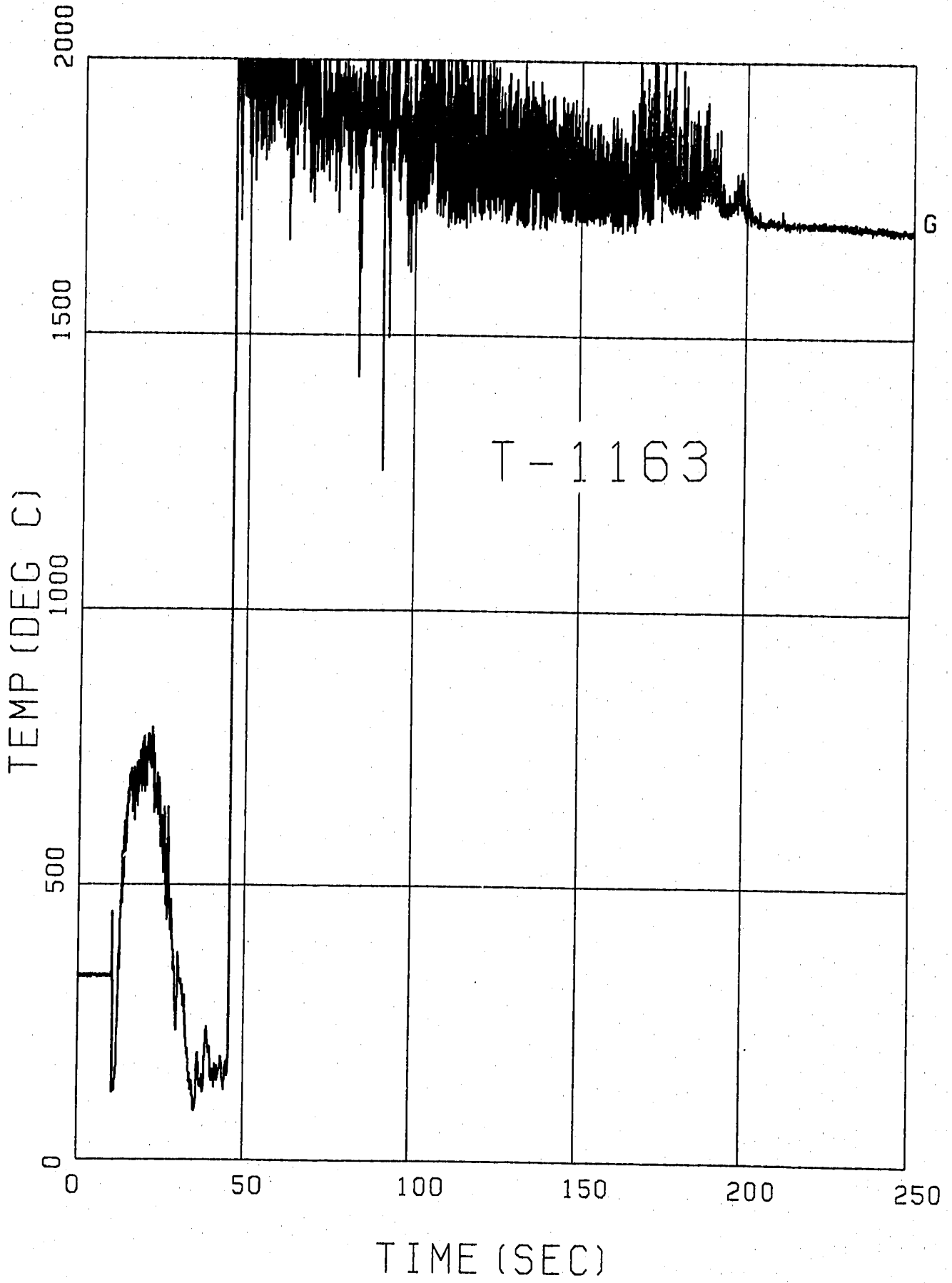


Fig. 3.3.9(c) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13)

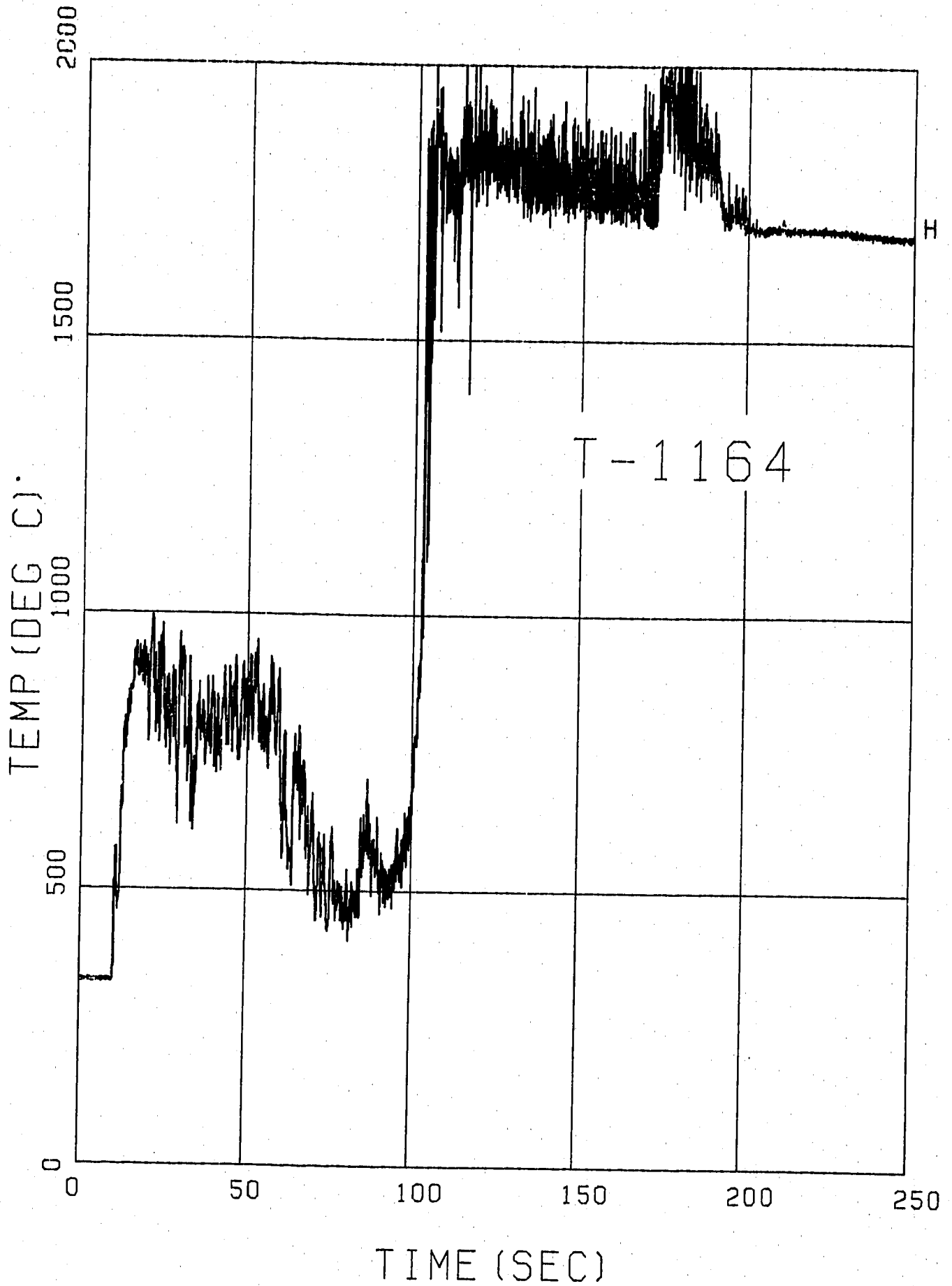


Fig. 3.3.9(d) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13)

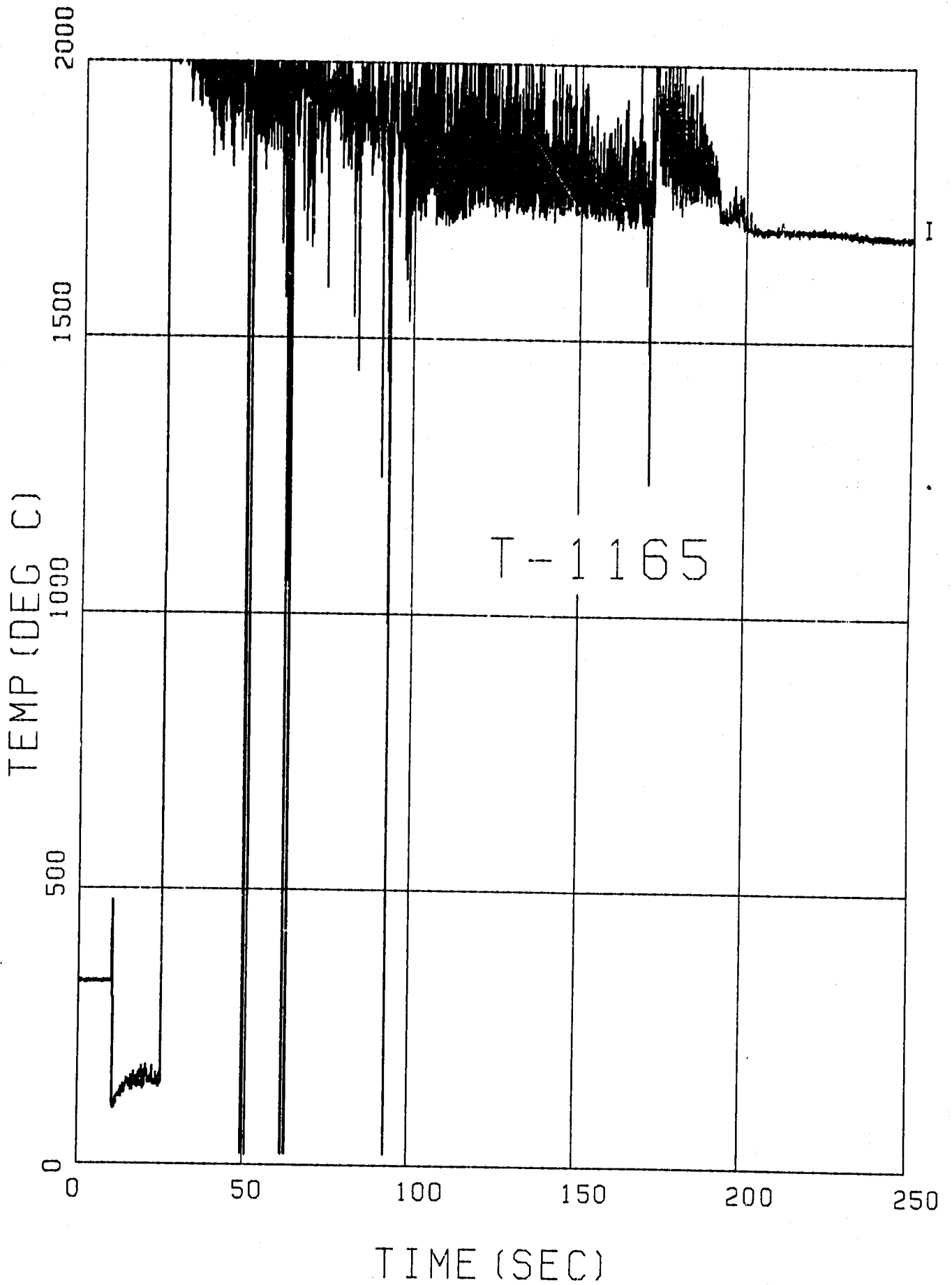


Fig. 3.3.9(e) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13)

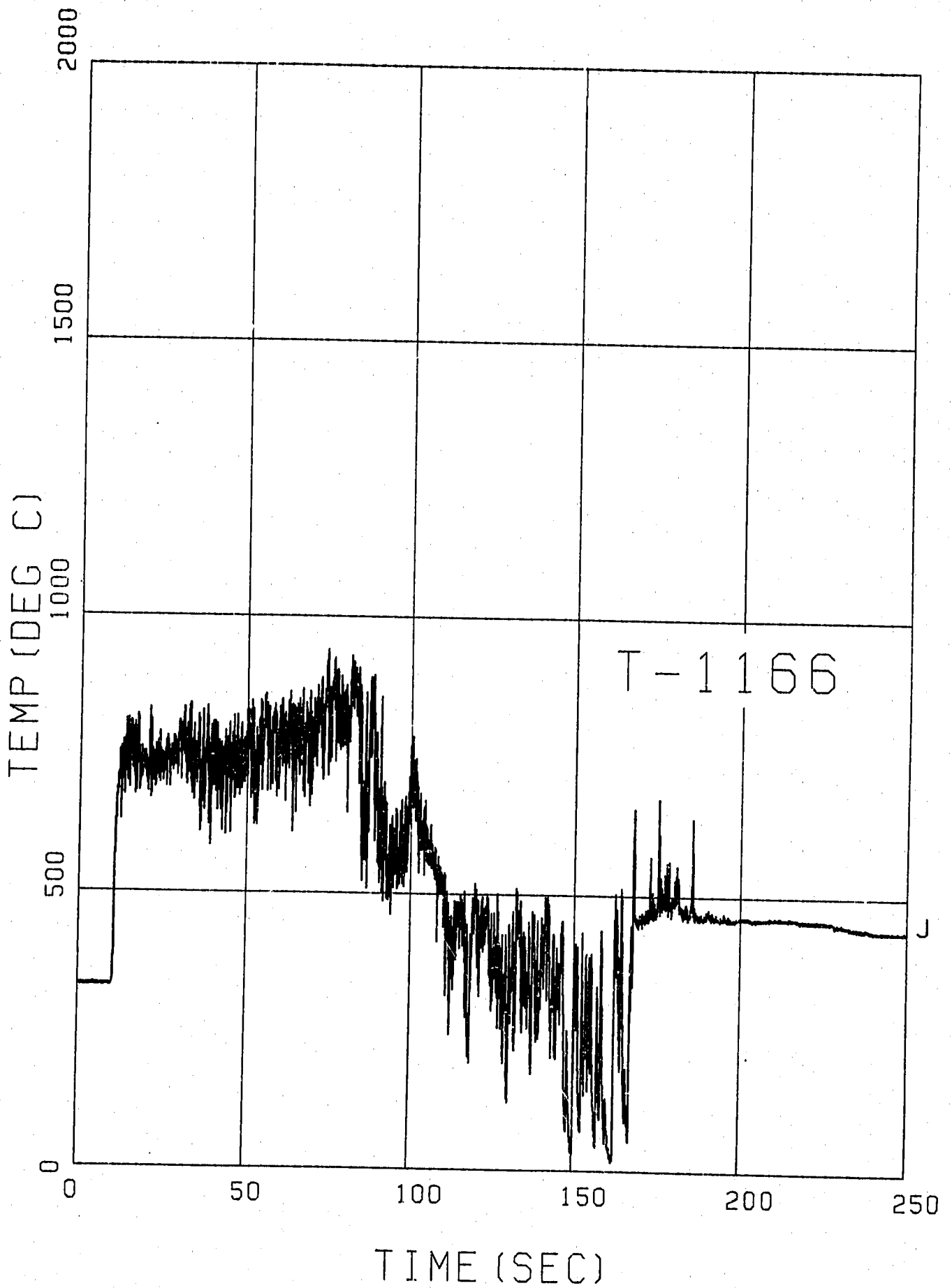


Fig. 3.3.9(f) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13)

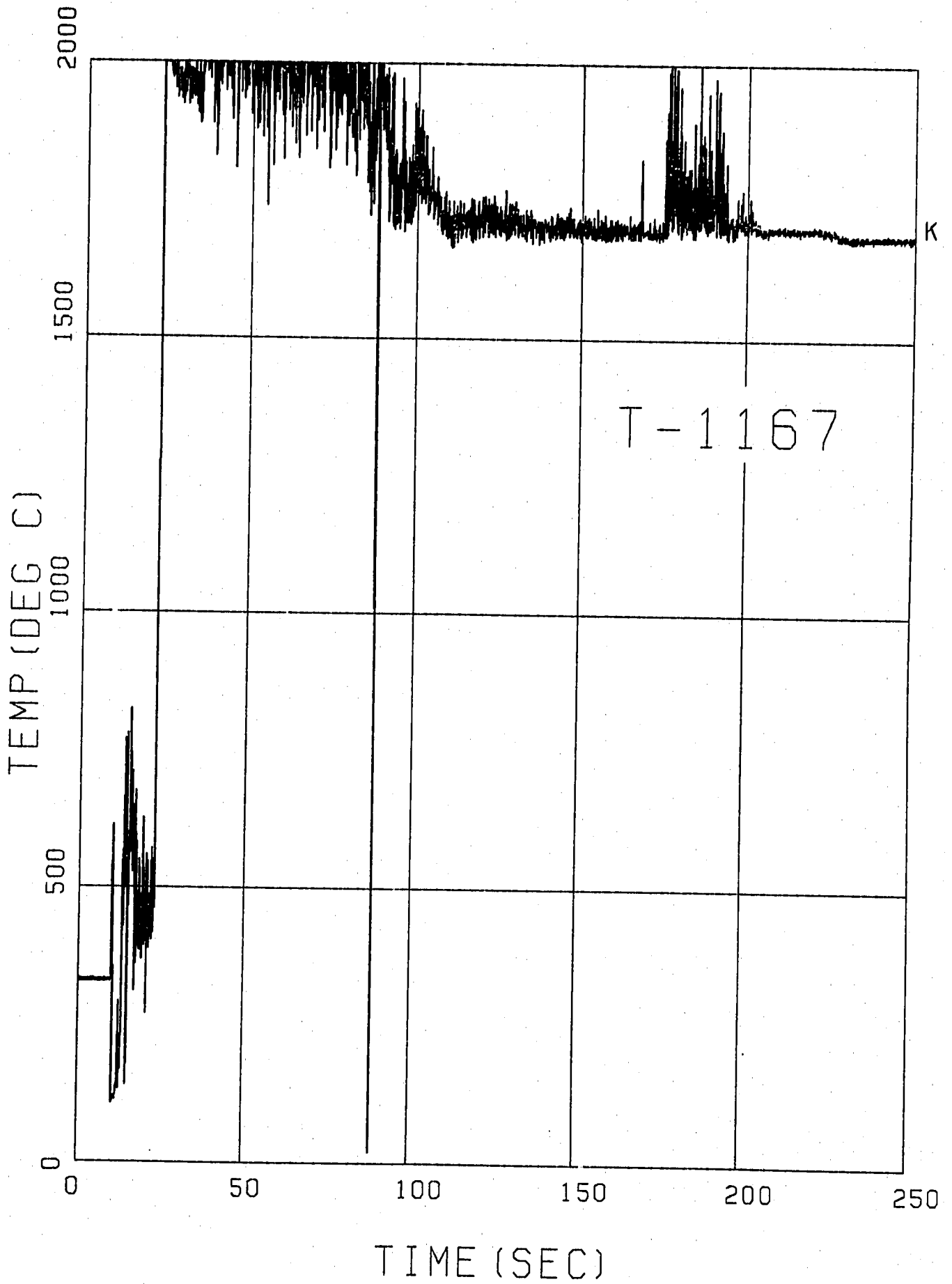


Fig. 3.3.9(g) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13)

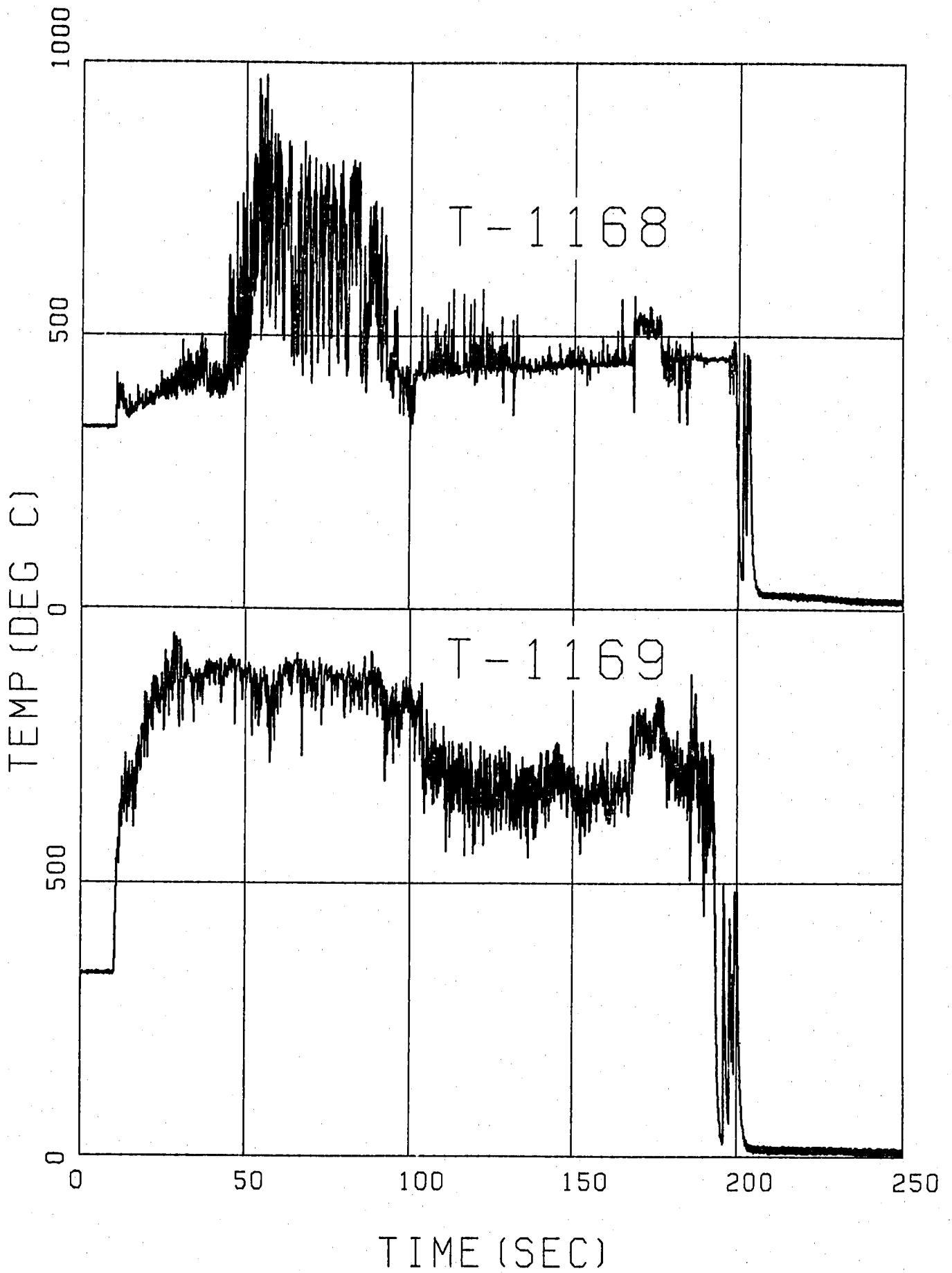


Fig. 3.3.9(h) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13)

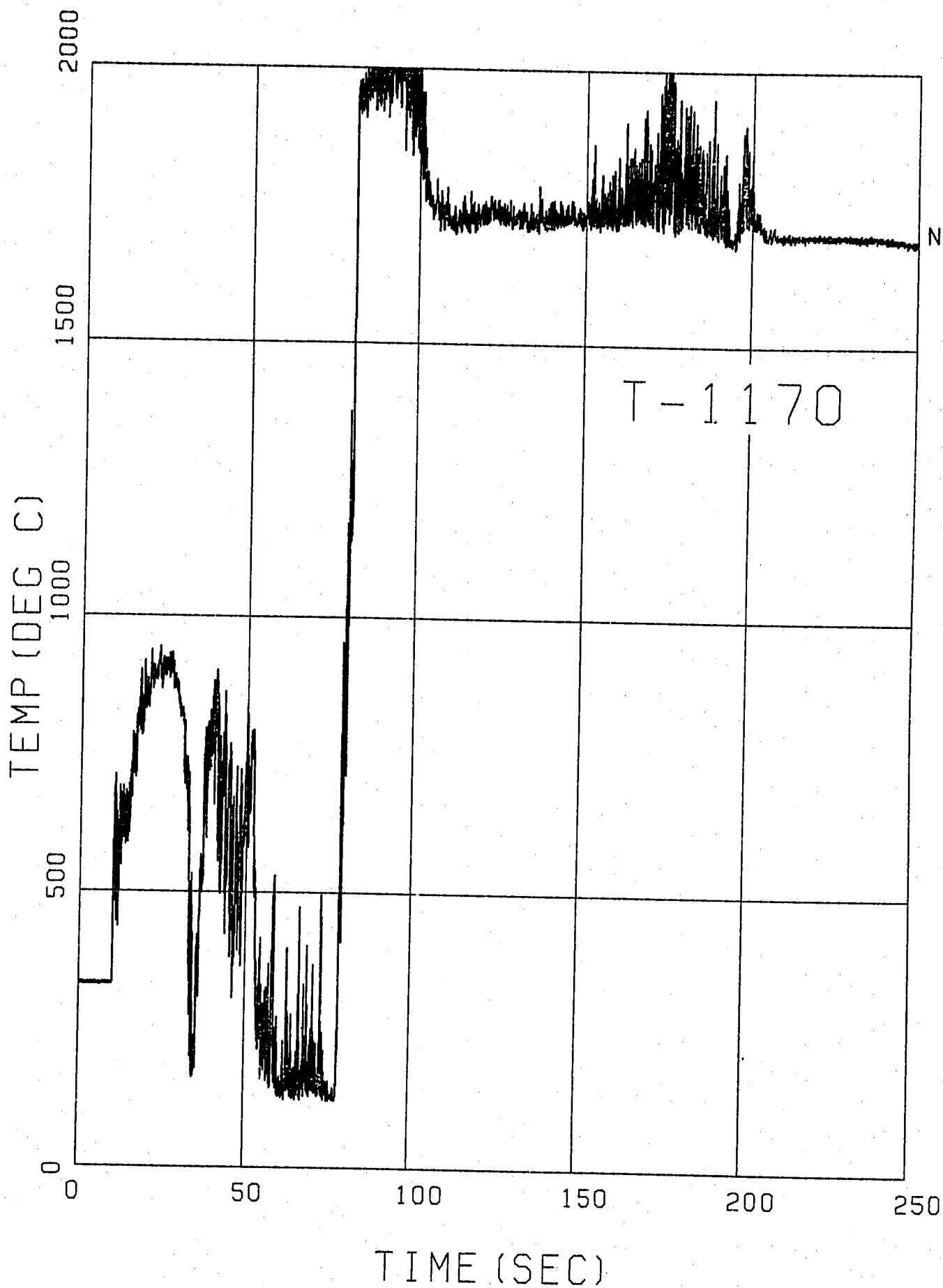


Fig. 3.3.9(i) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13)

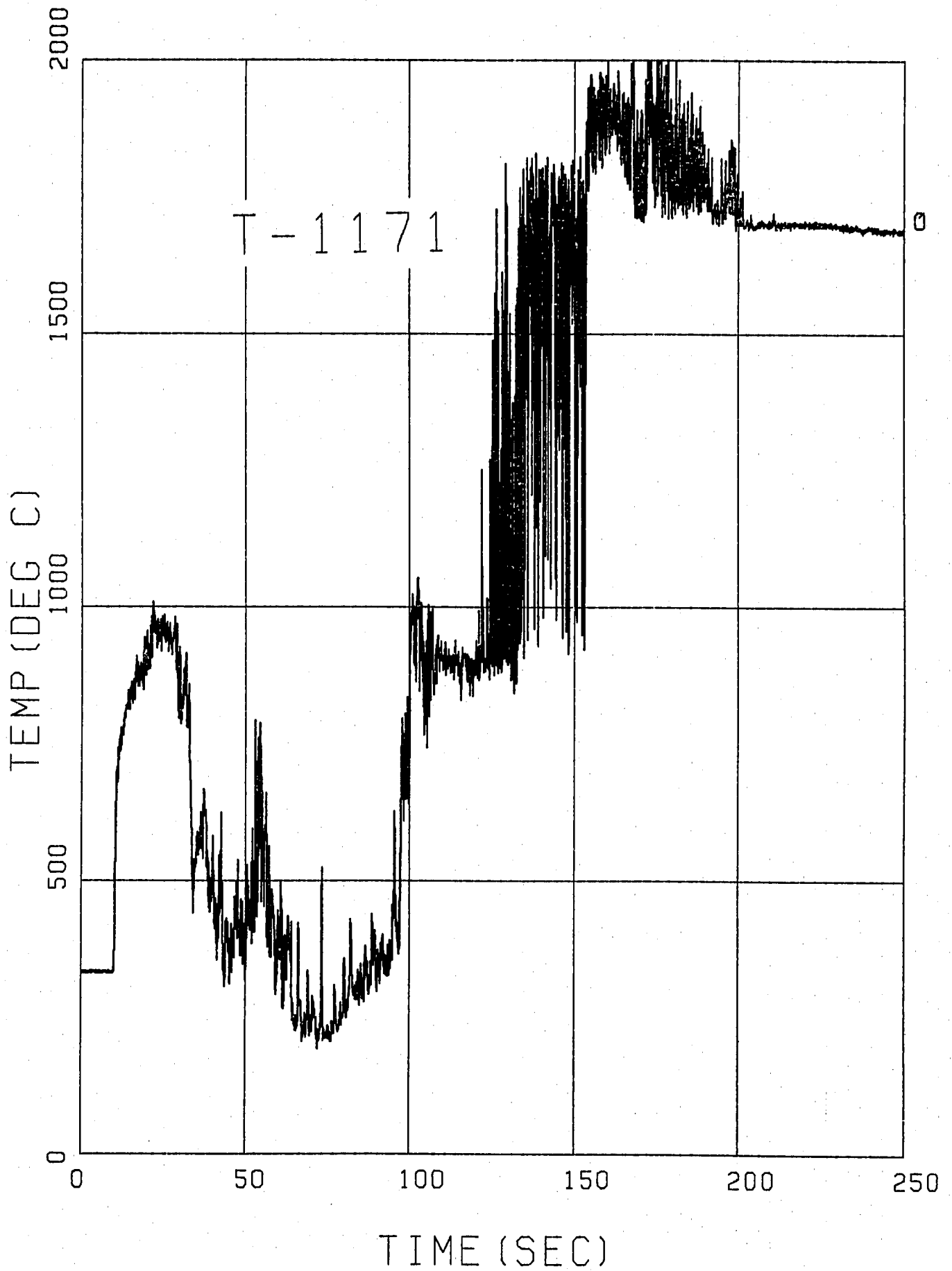


Fig. 3.3.9(j) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13)

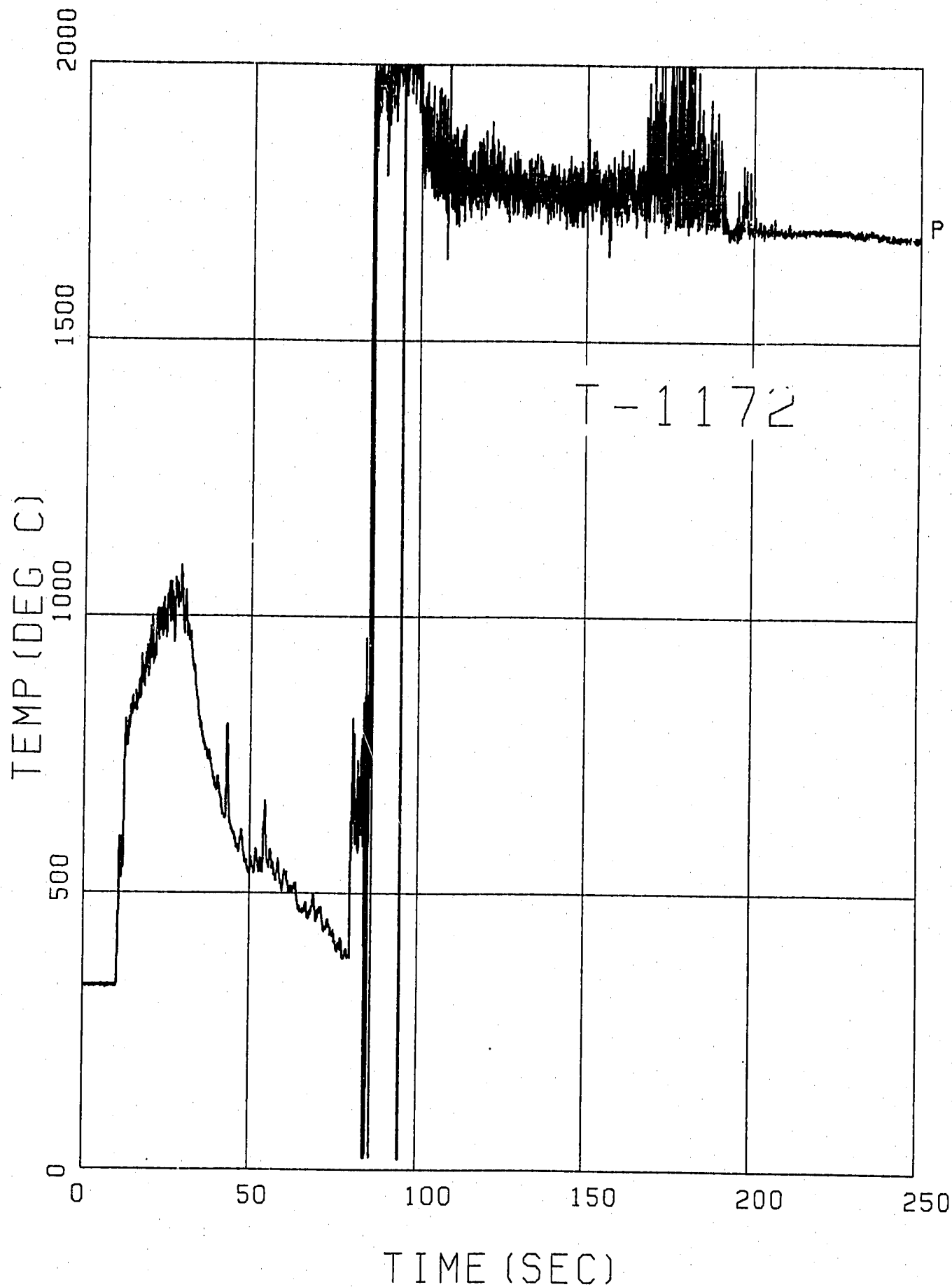


Fig. 3.3.9(k) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13)

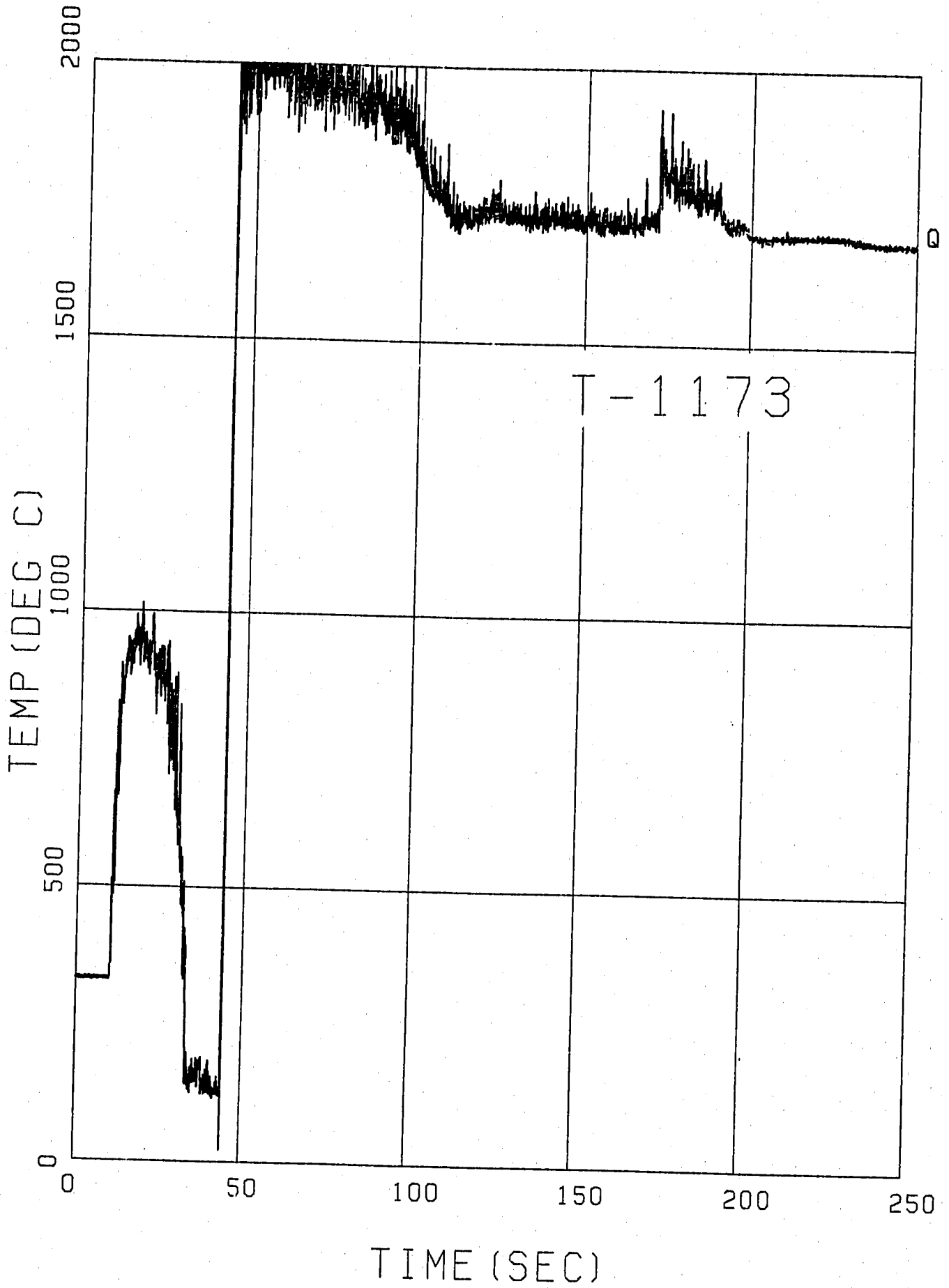


Fig. 3.3.9(1) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13)

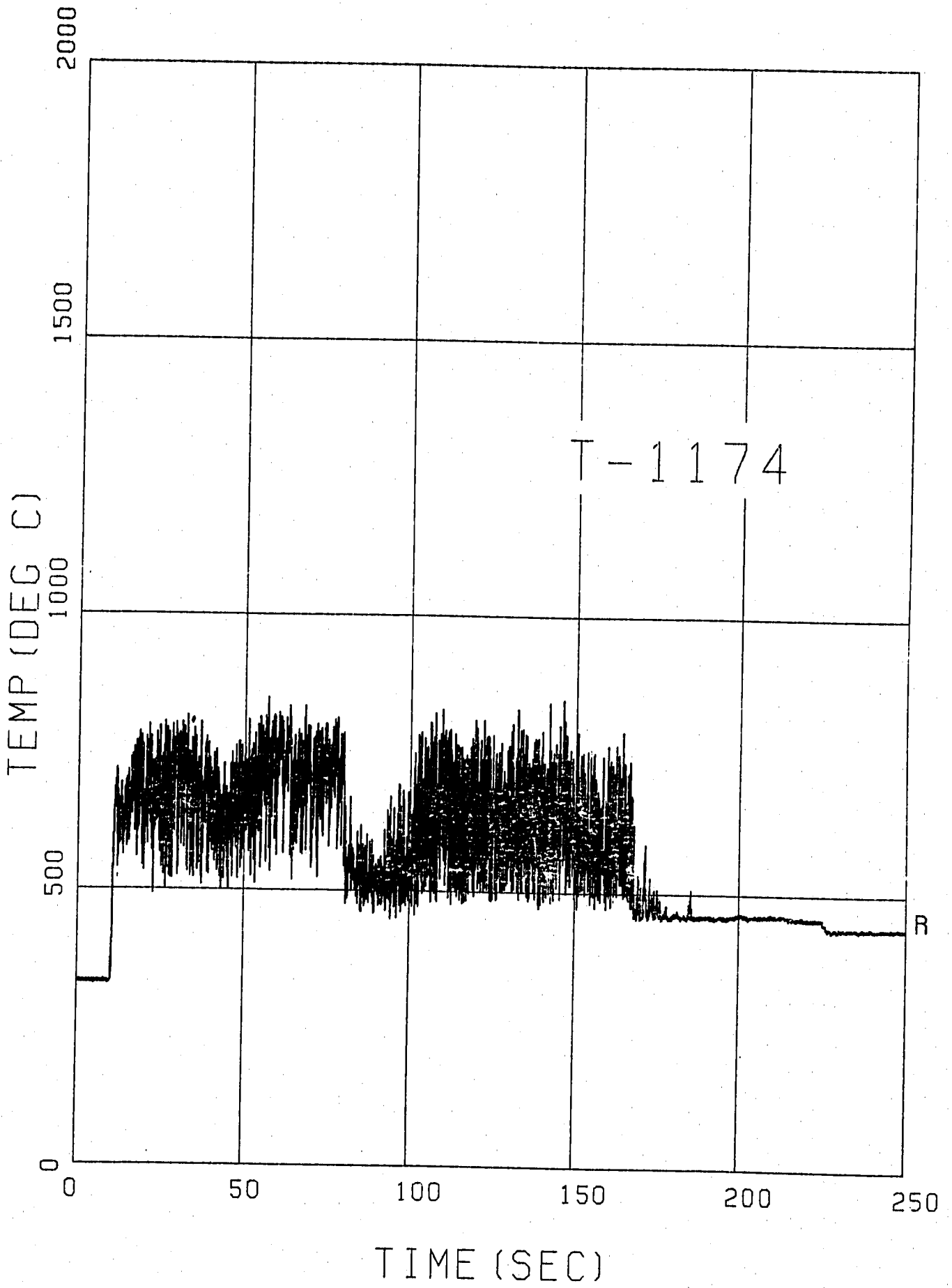


Fig. 3.3.9(m) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13)

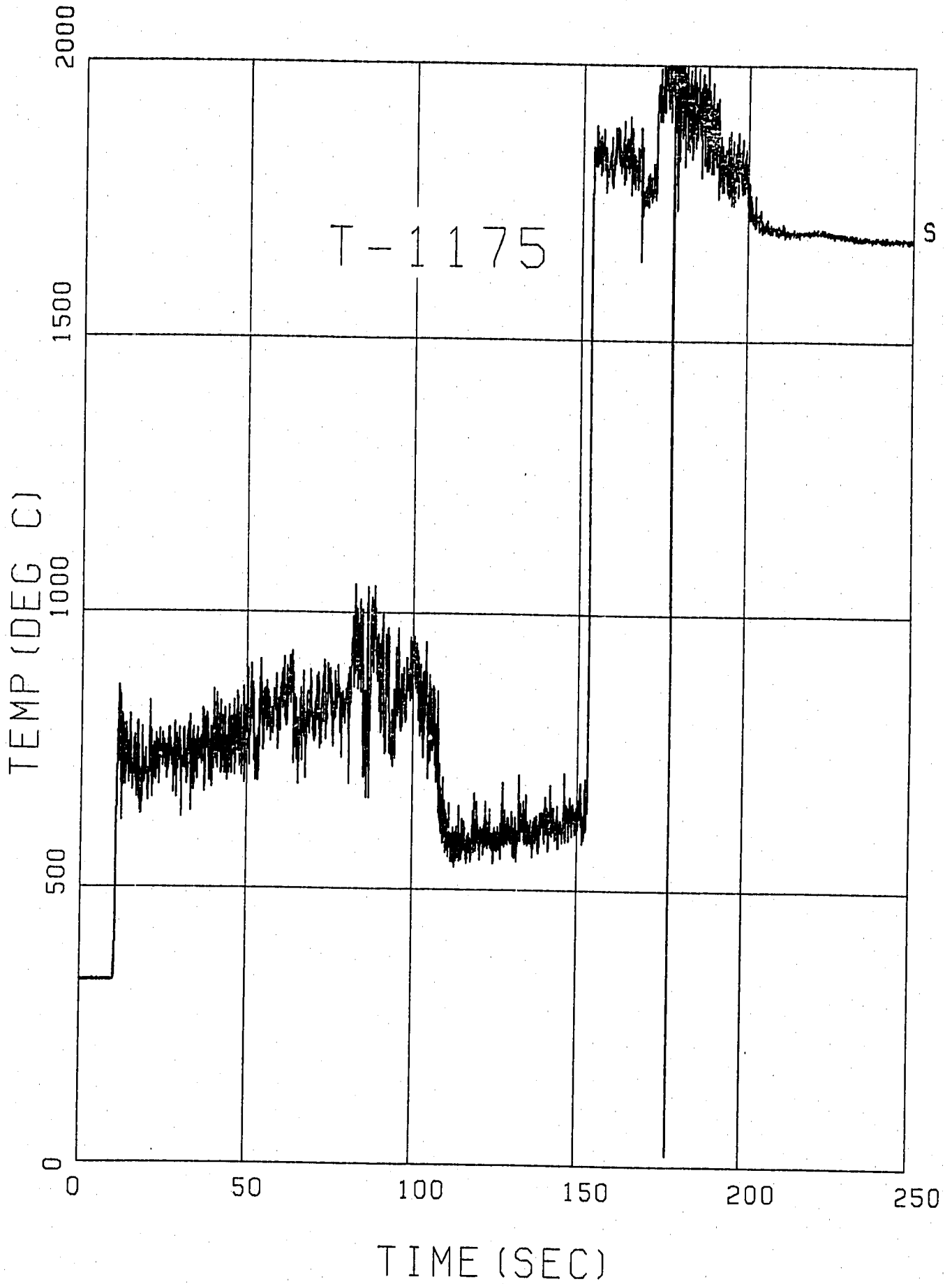


Fig. 3.3.9(n) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13)

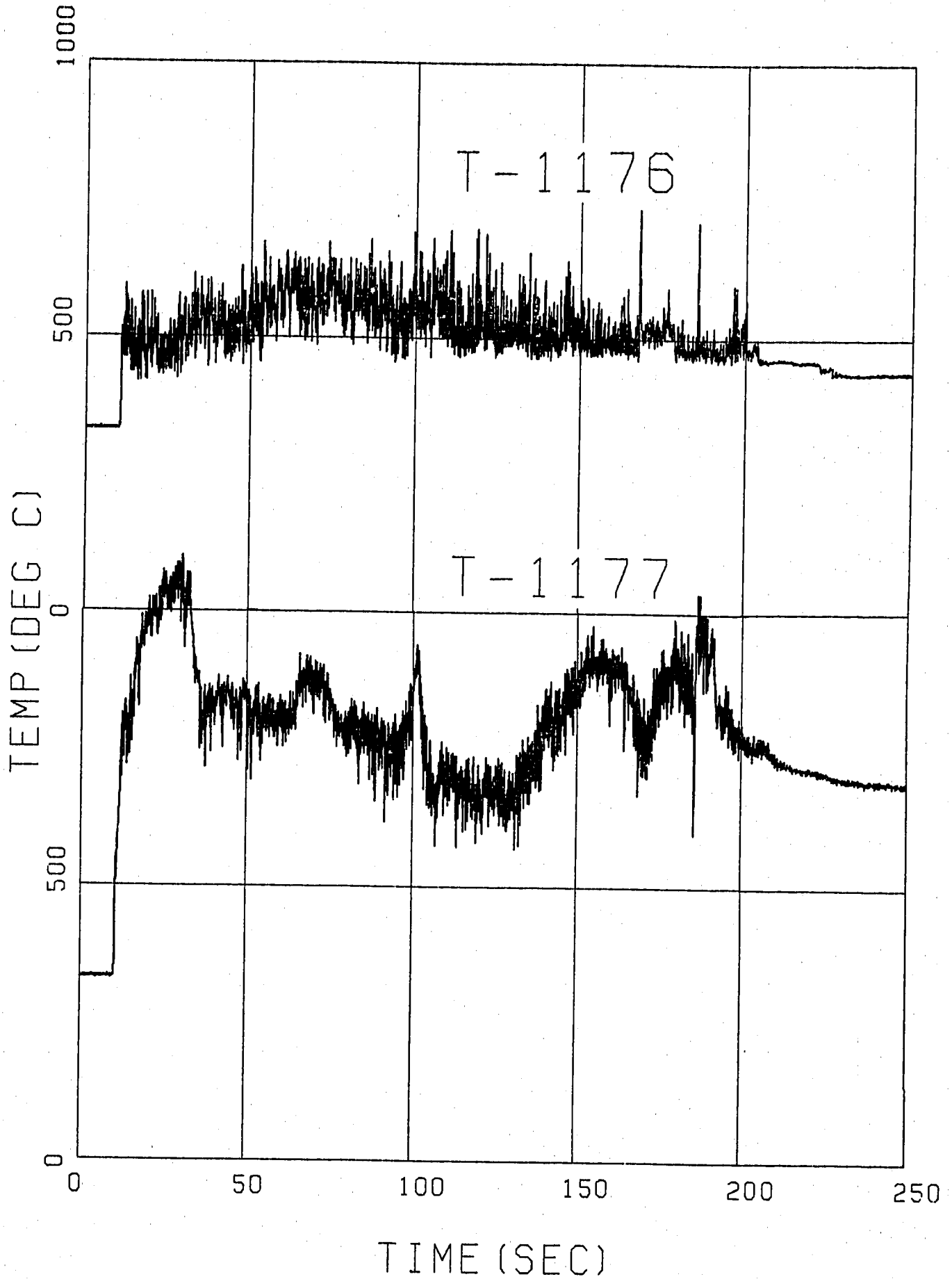


Fig. 3.3.9(o) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13)

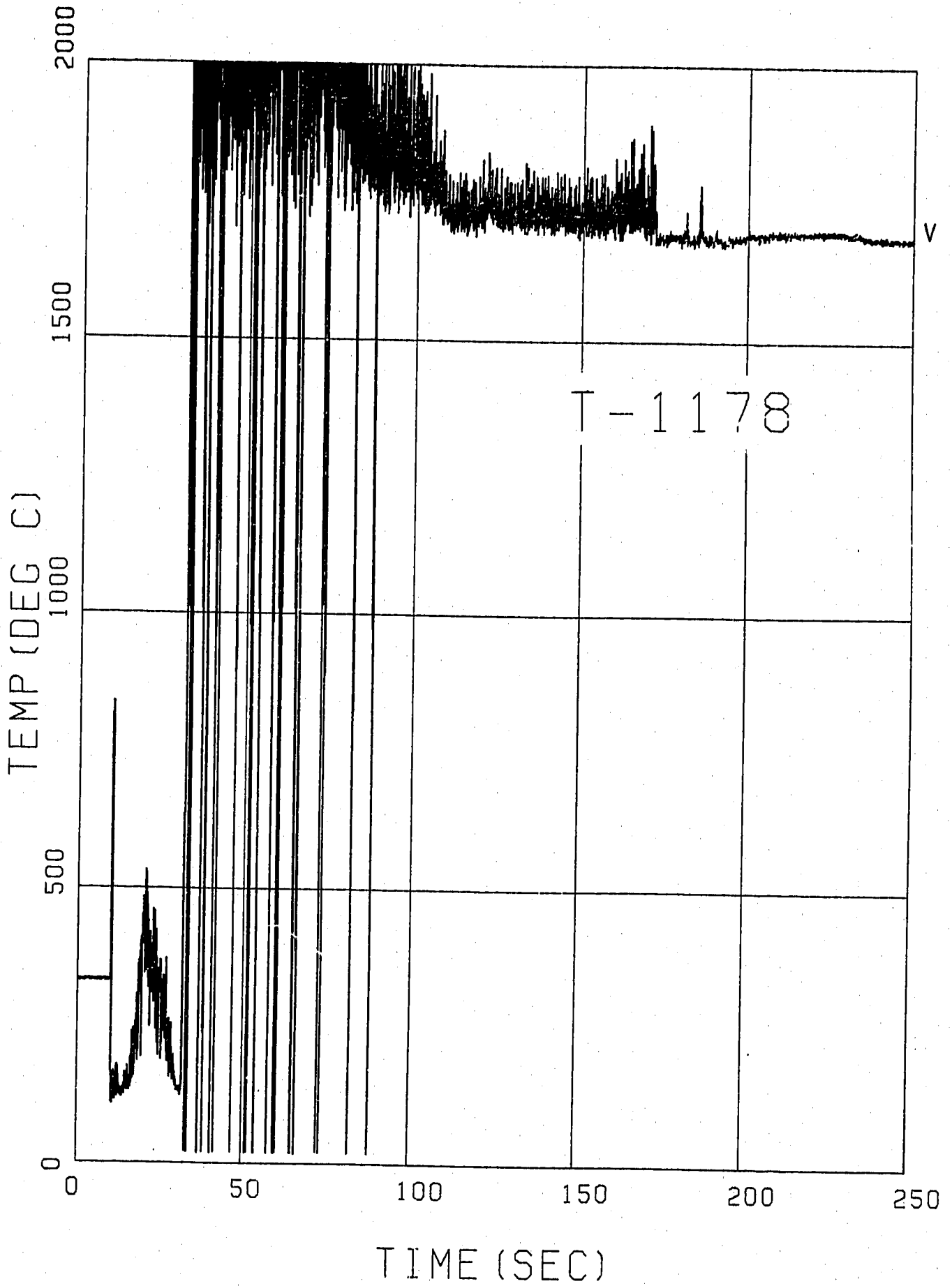


Fig. 3.3.9(p) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13)

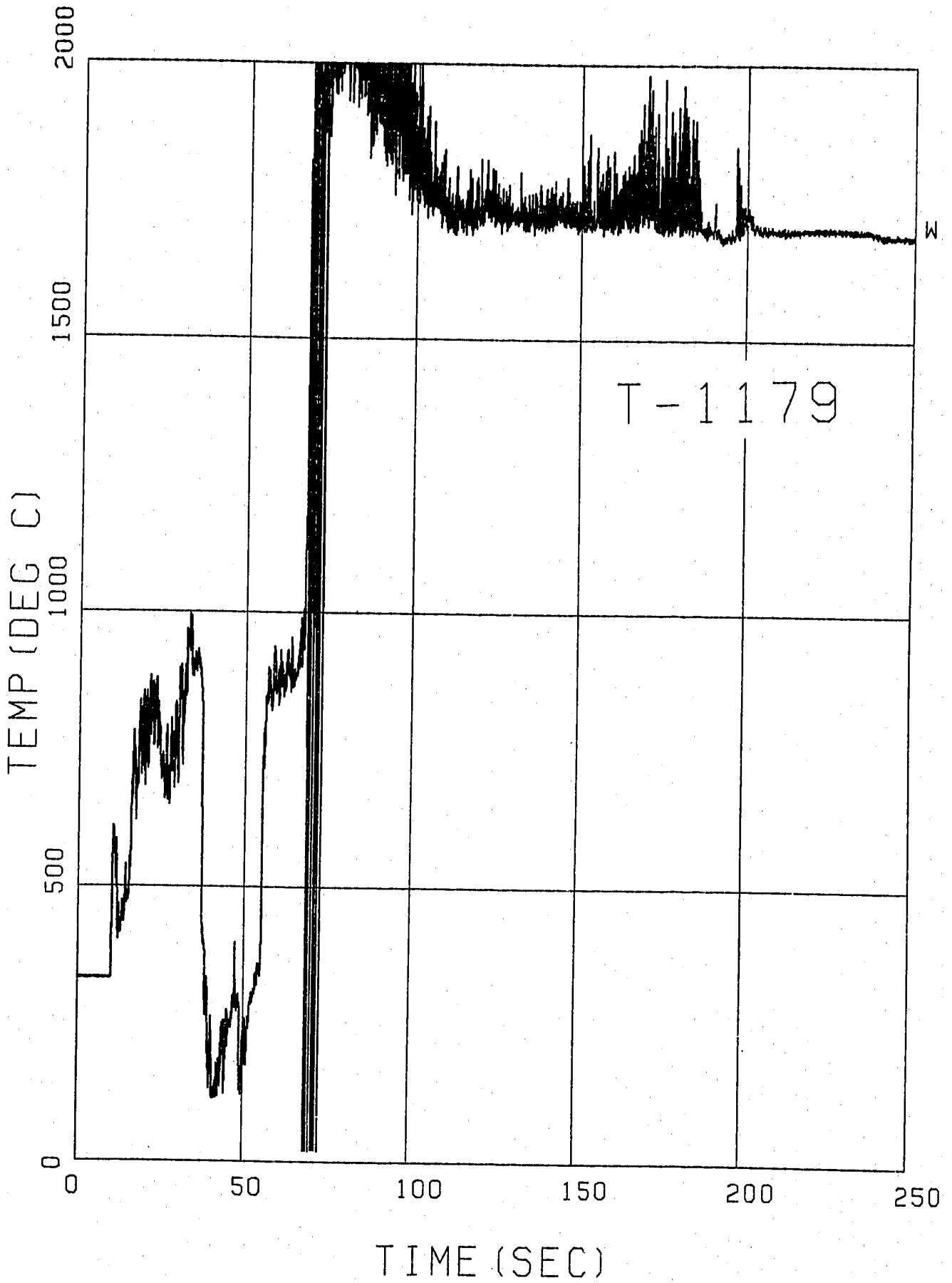


Fig. 3.3.9(q) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13)

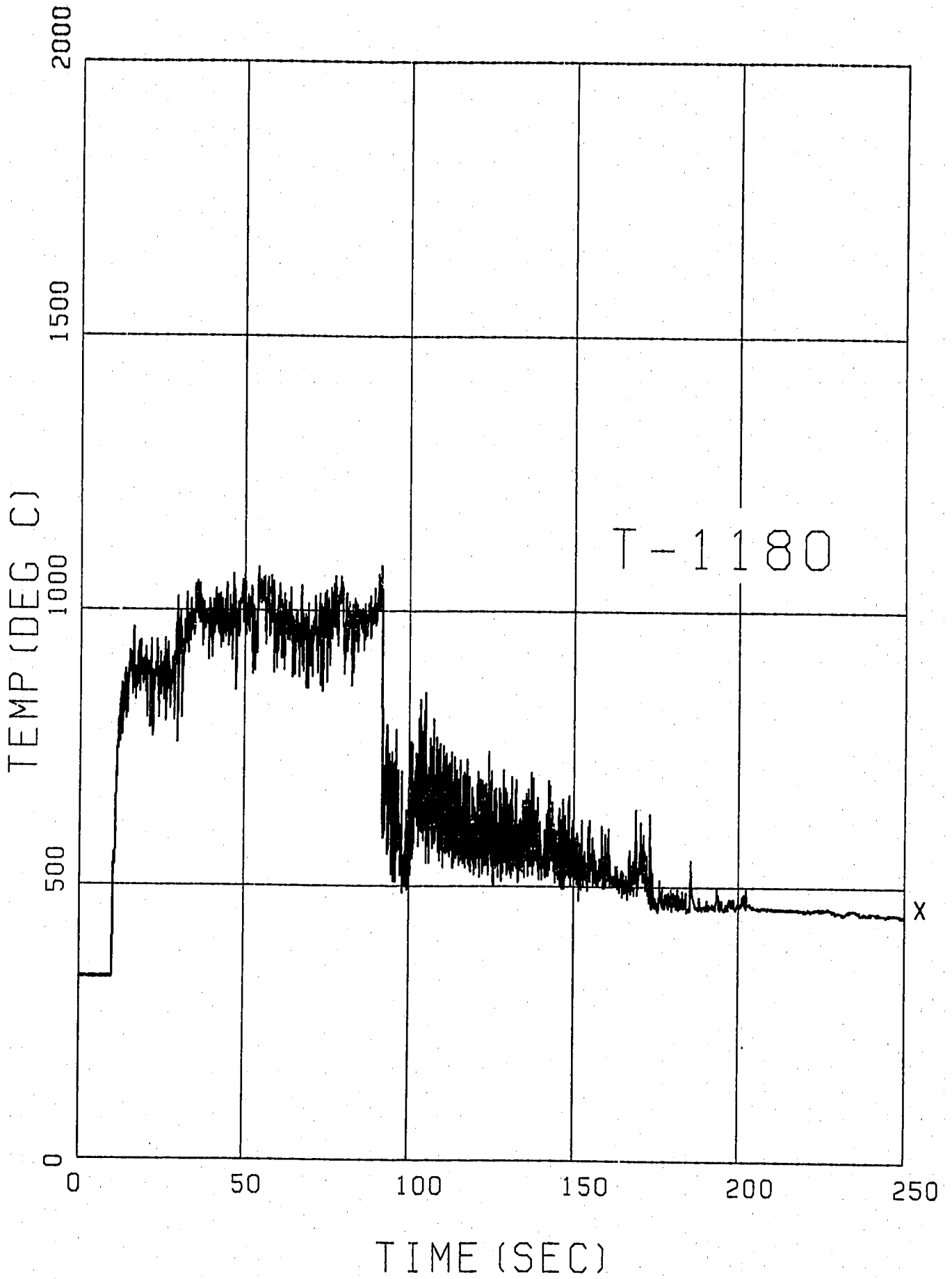


Fig. 3.3.9(r) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13)

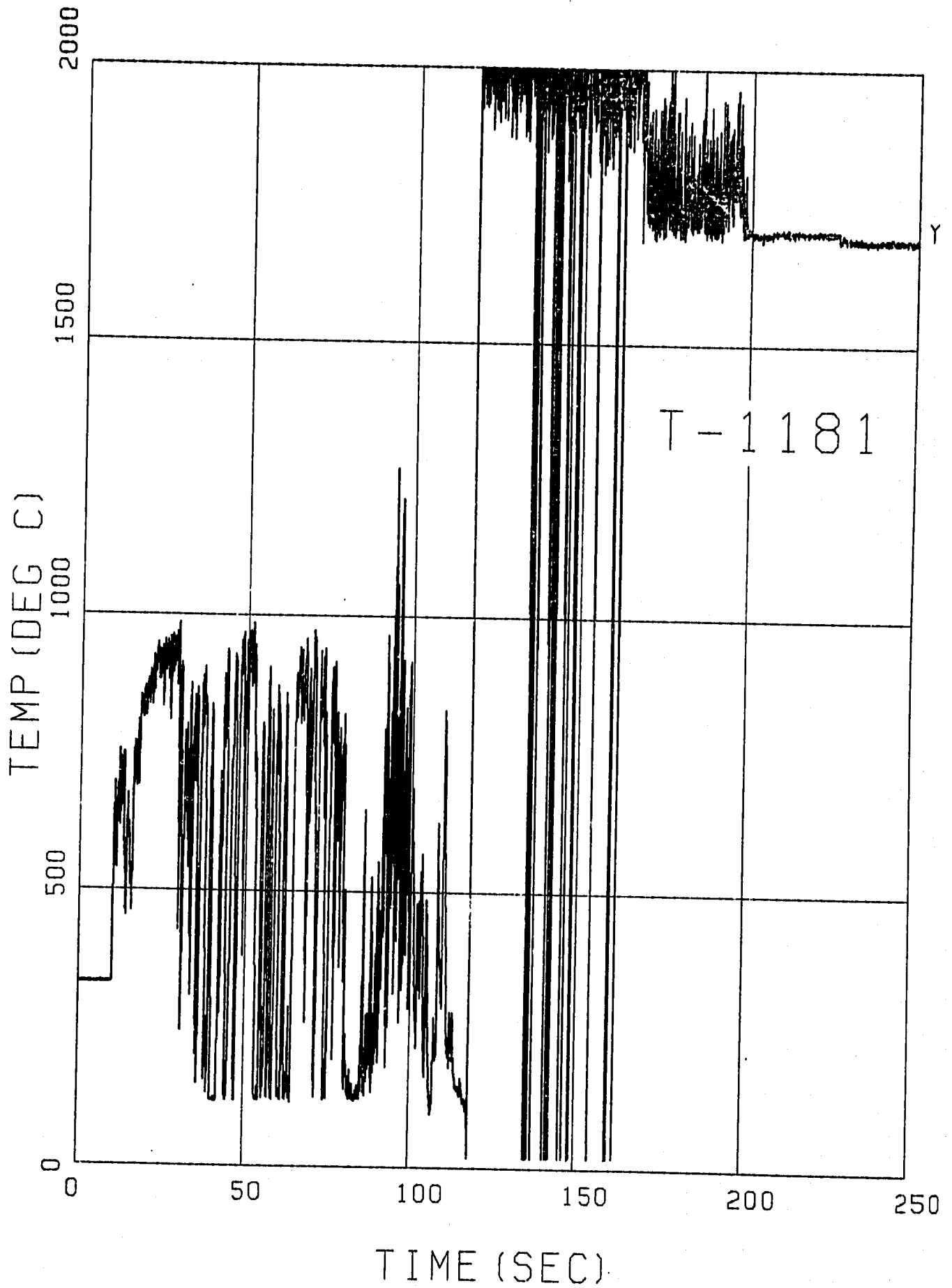


Fig. 3.3.9(s) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13)

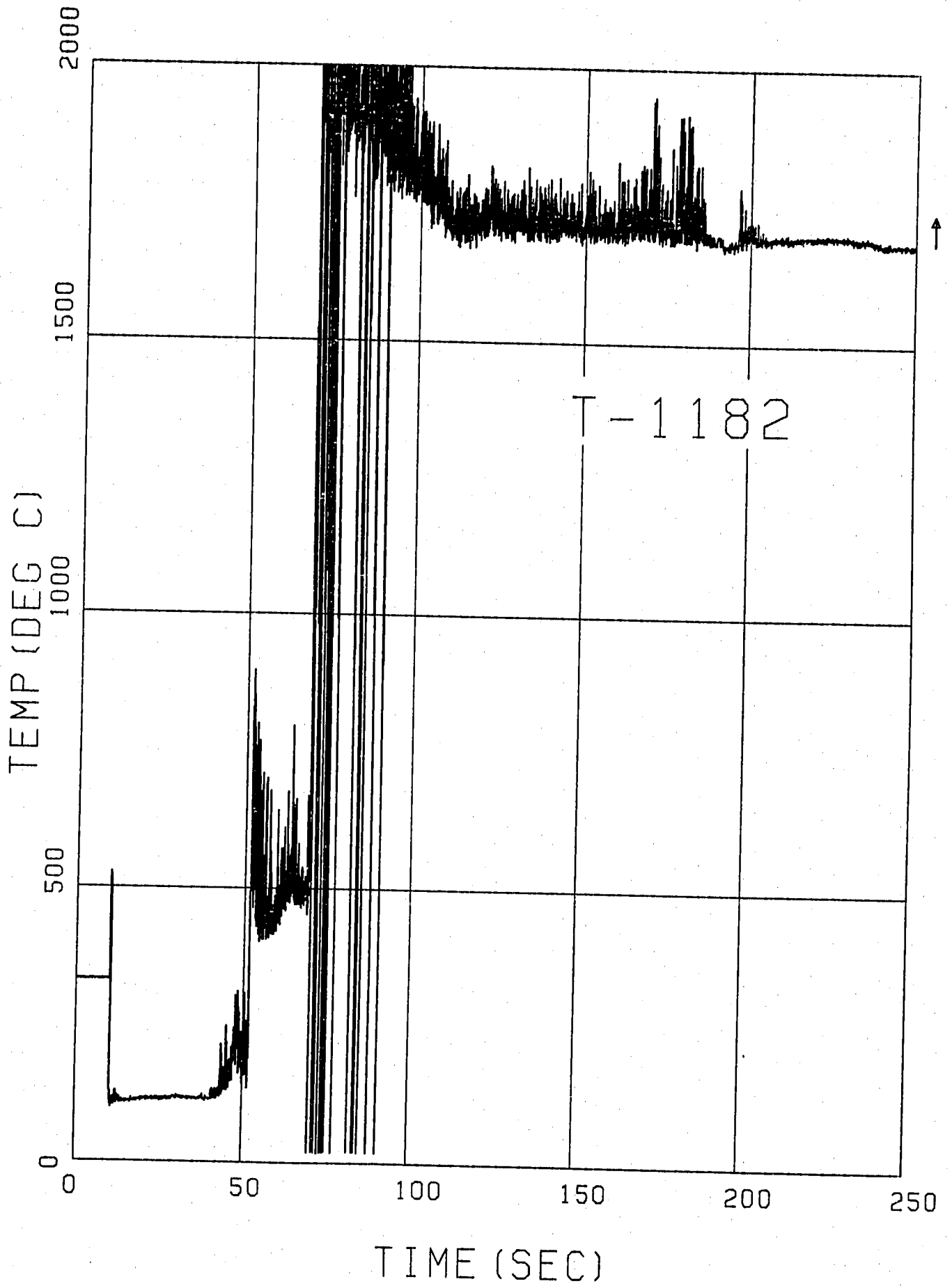


Fig. 3.3.9(t) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13)

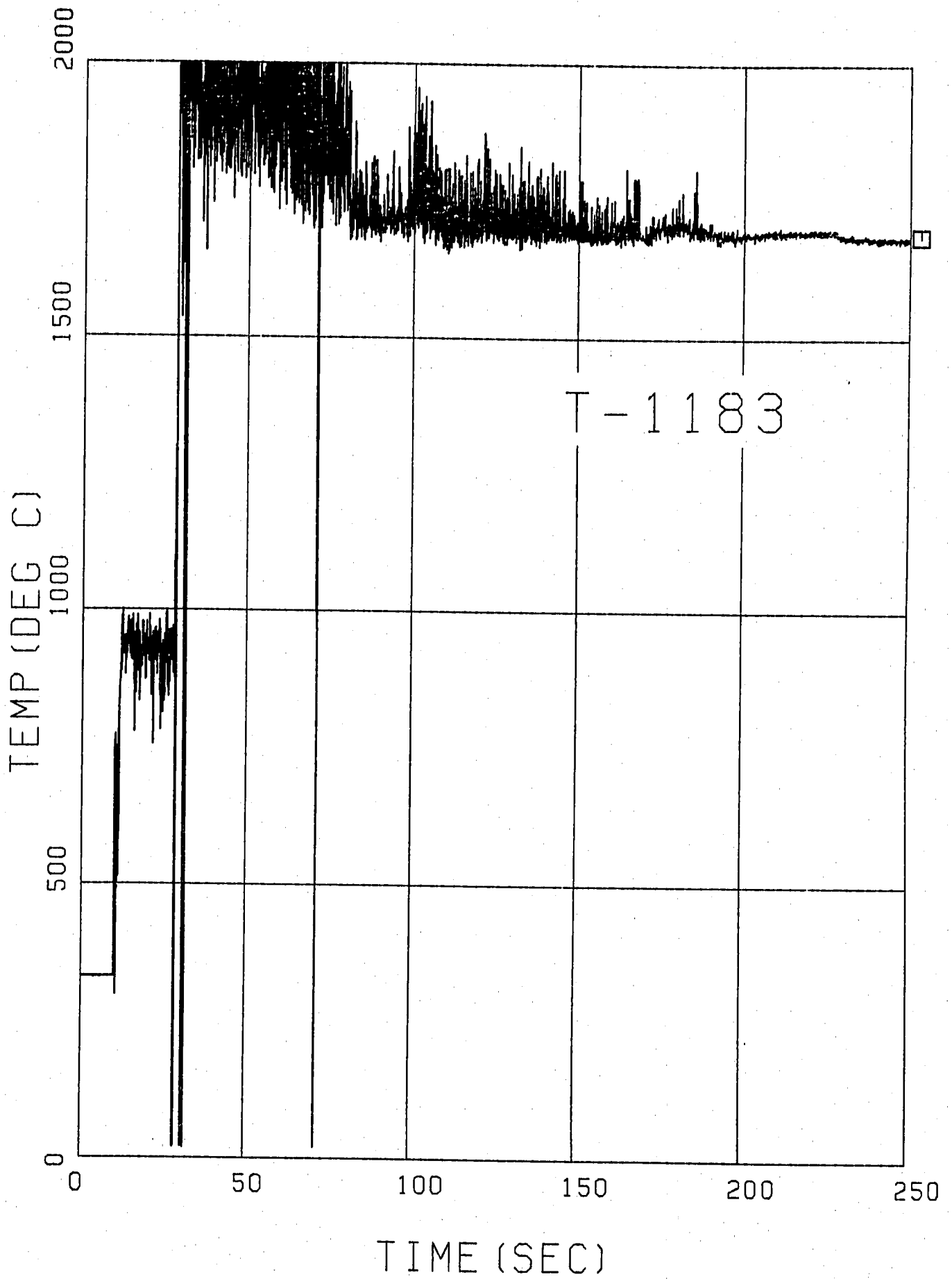


Fig. 3.3.9(u) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13)

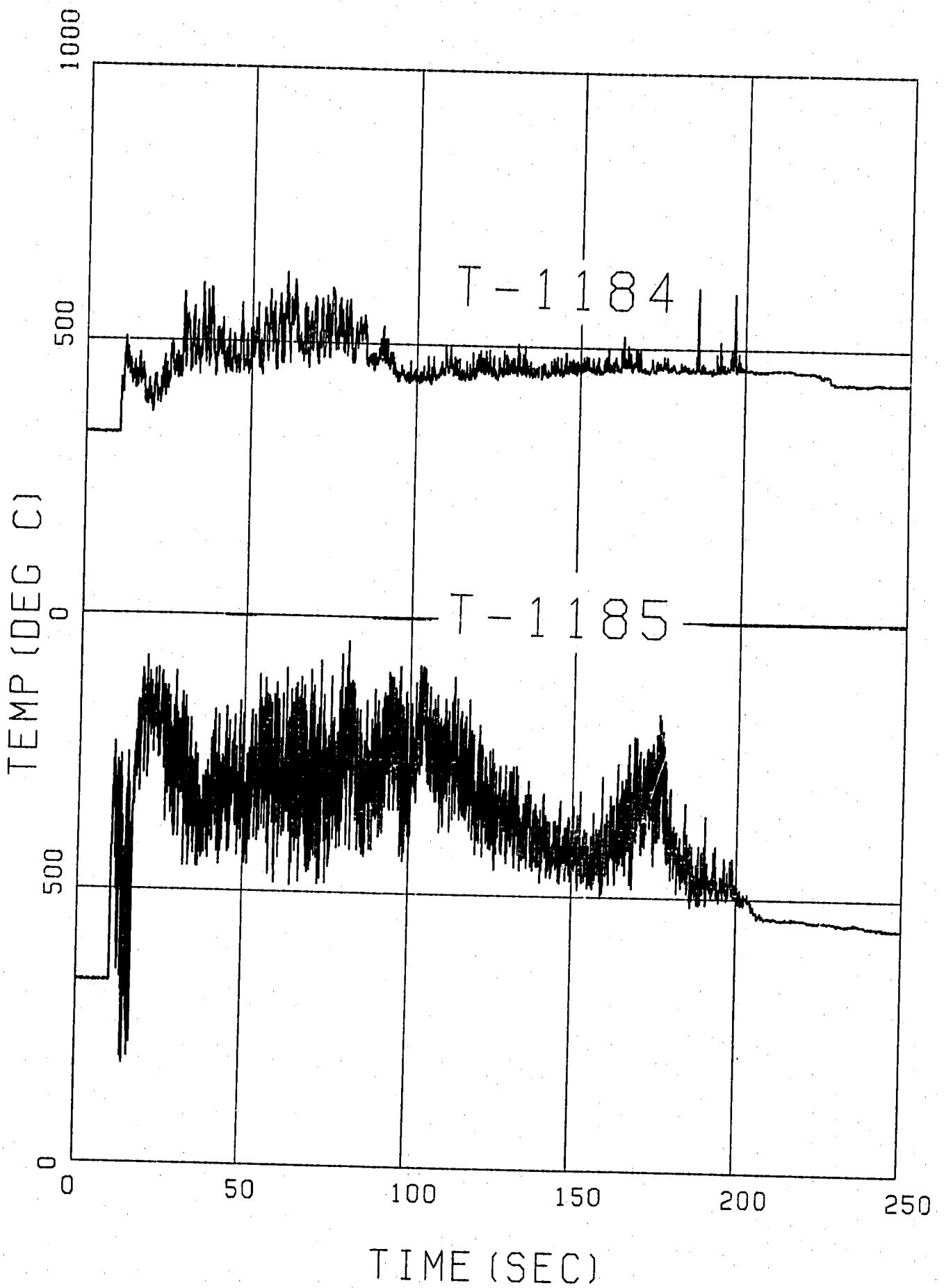


Fig. 3.3.9(v) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13)

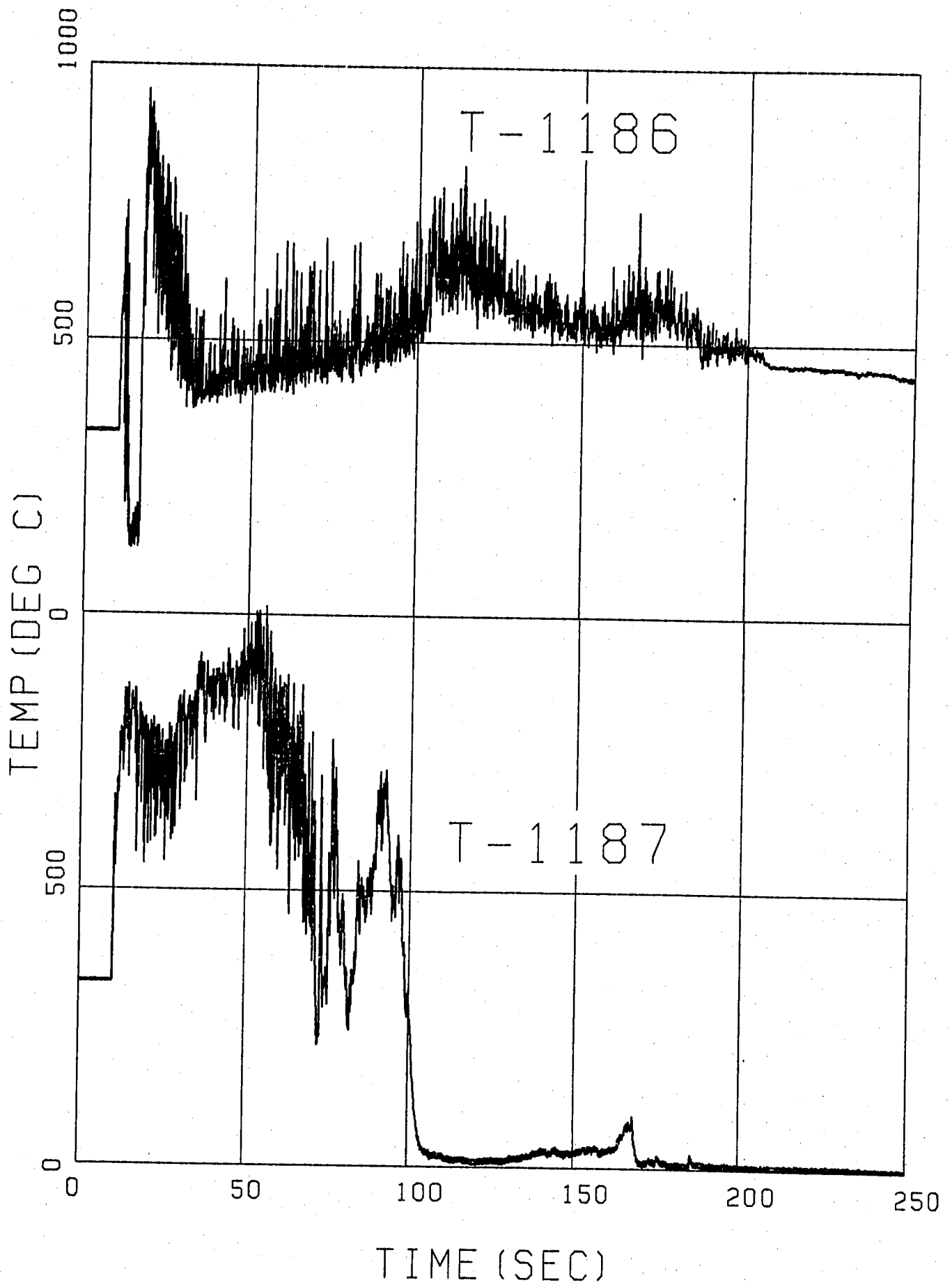


Fig. 3.3.9(w) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13)

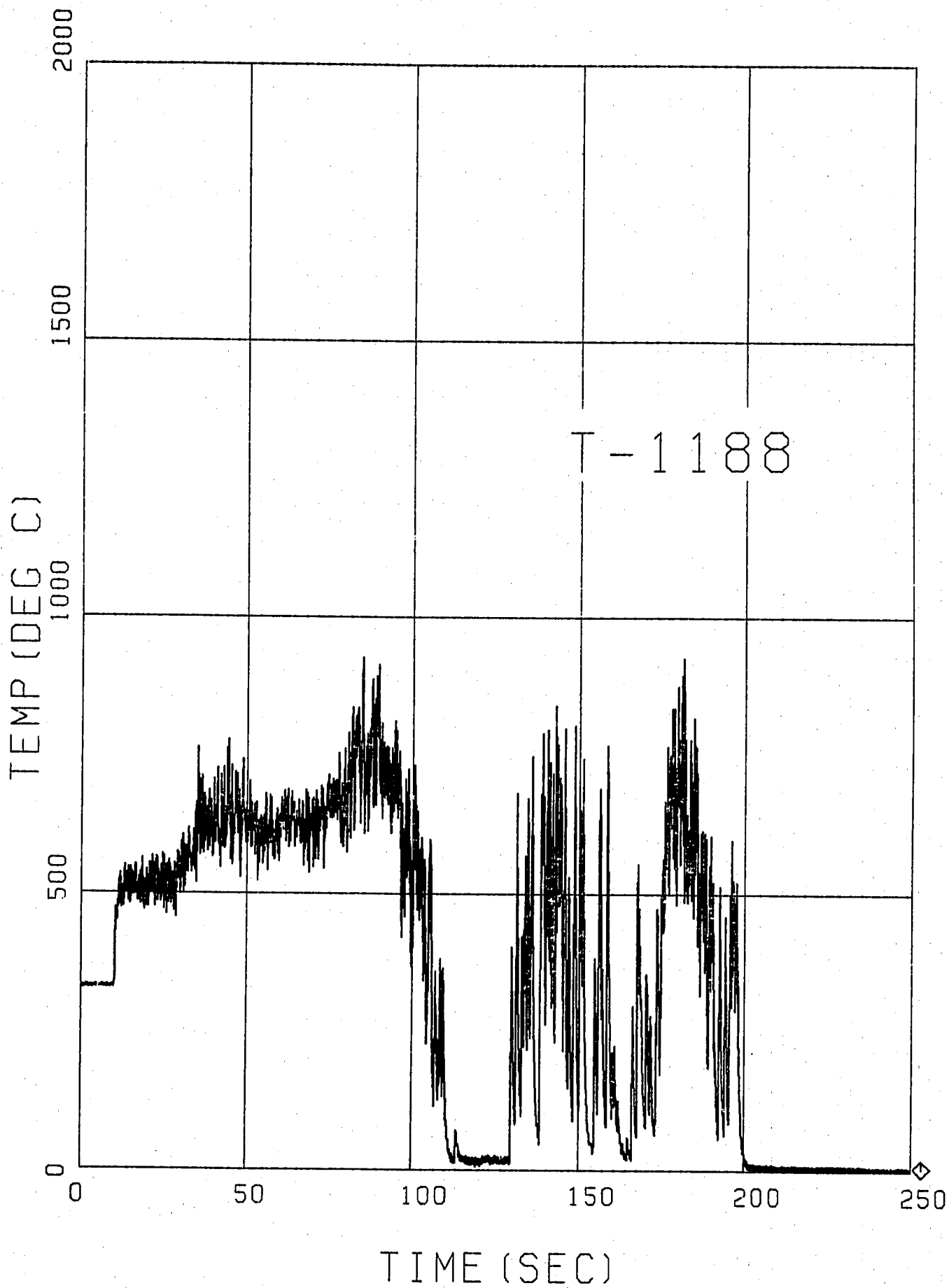


Fig. 3.3.9(x) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13)

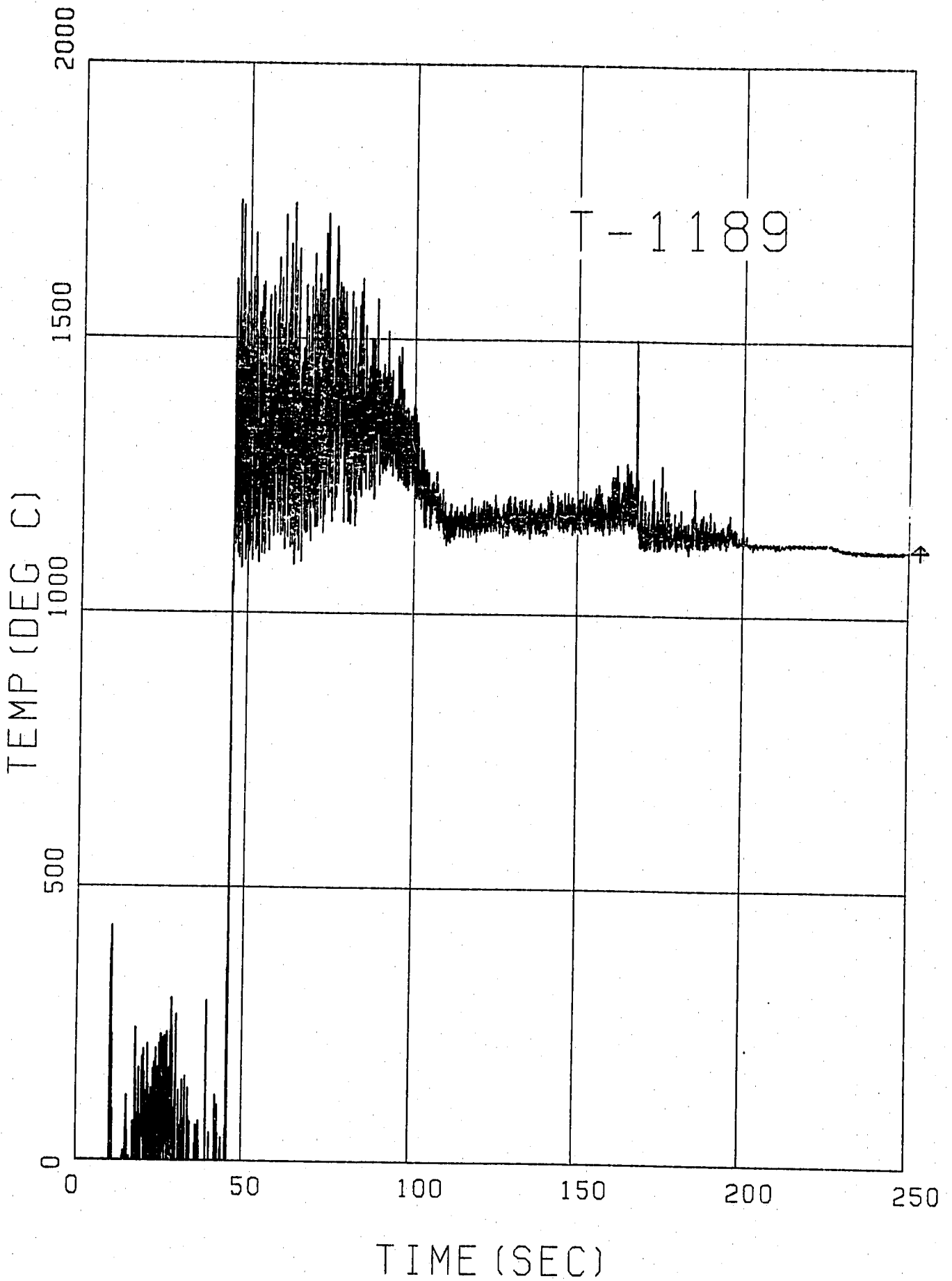


Fig. 3.3.9(y) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13)

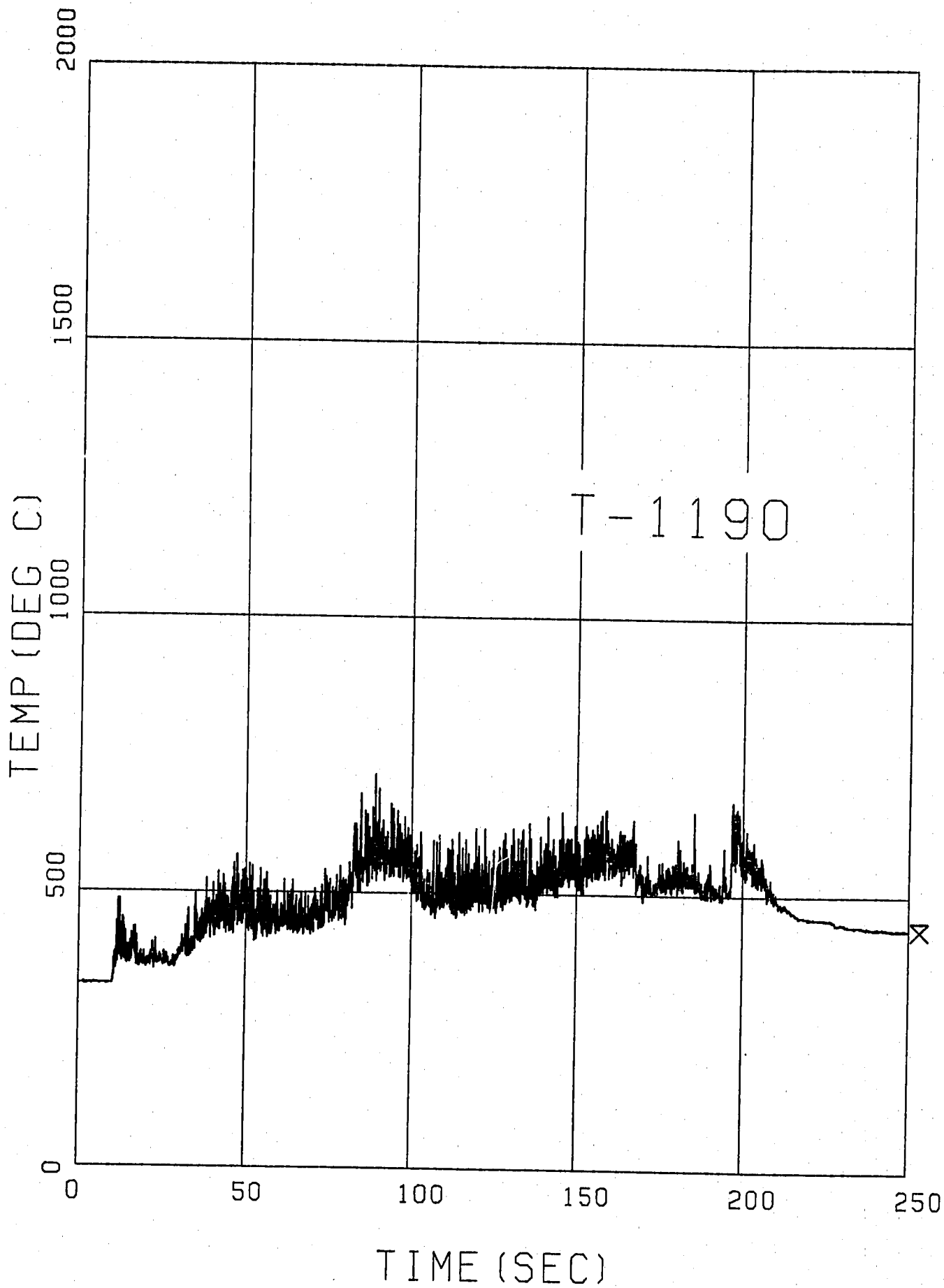


Fig. 3.3.9(z) Temperatures in Tube Bundle Region (Run-13)

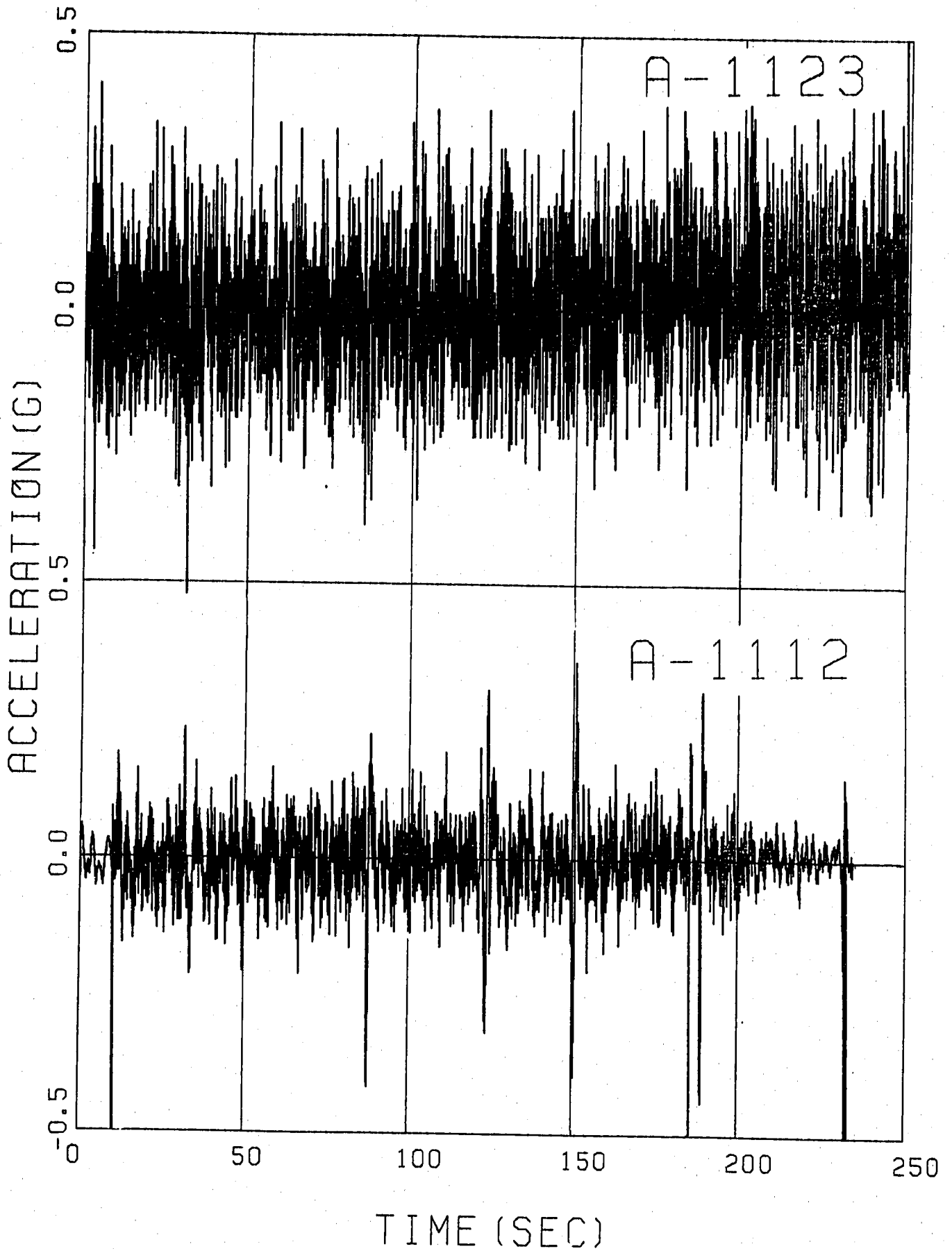


Fig. 3.3.10(a) Acoustic Signals by Accelerometer (Run-13)

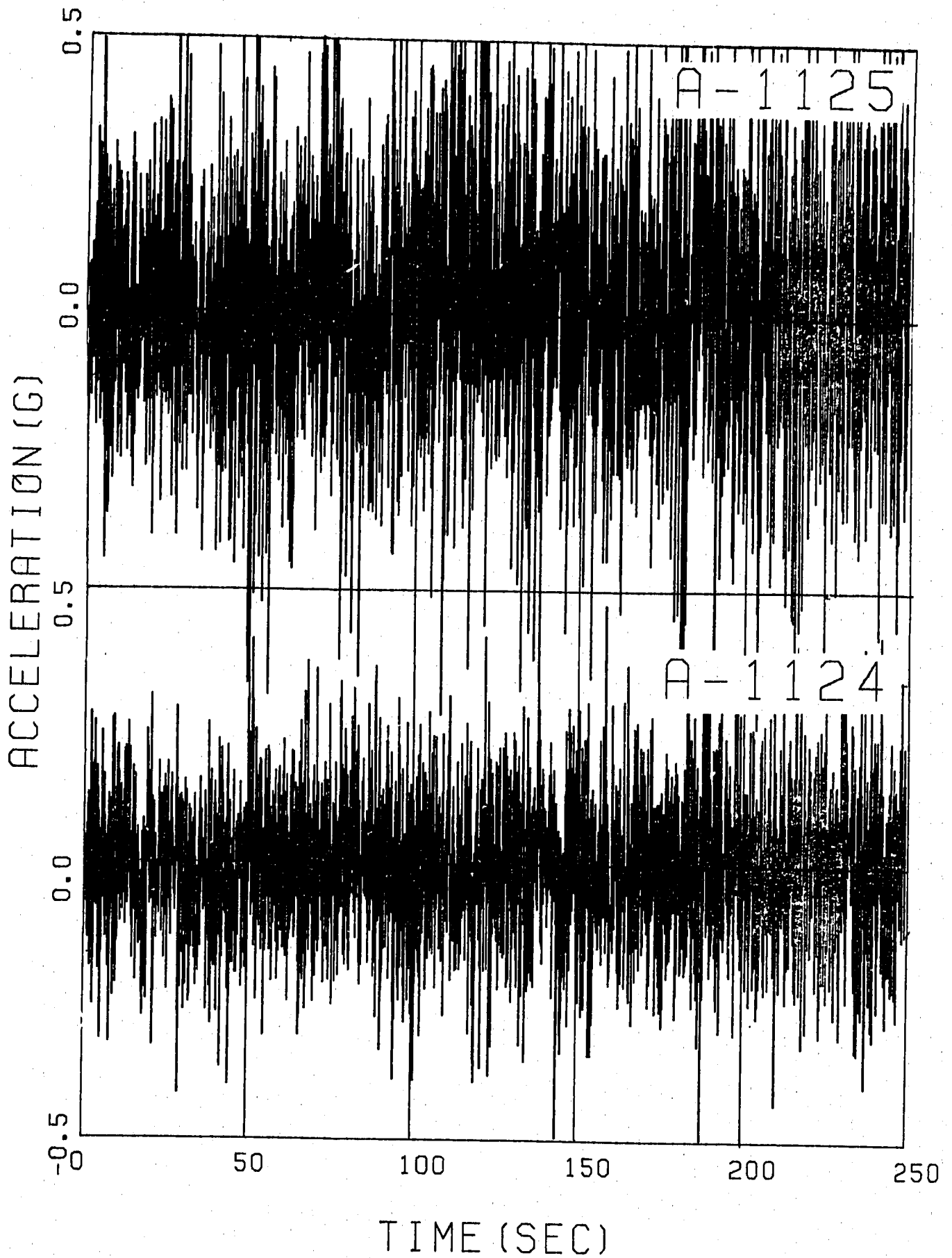


Fig. 3.3.10(b) Acoustic Signals by Accelerometer (Run-13)

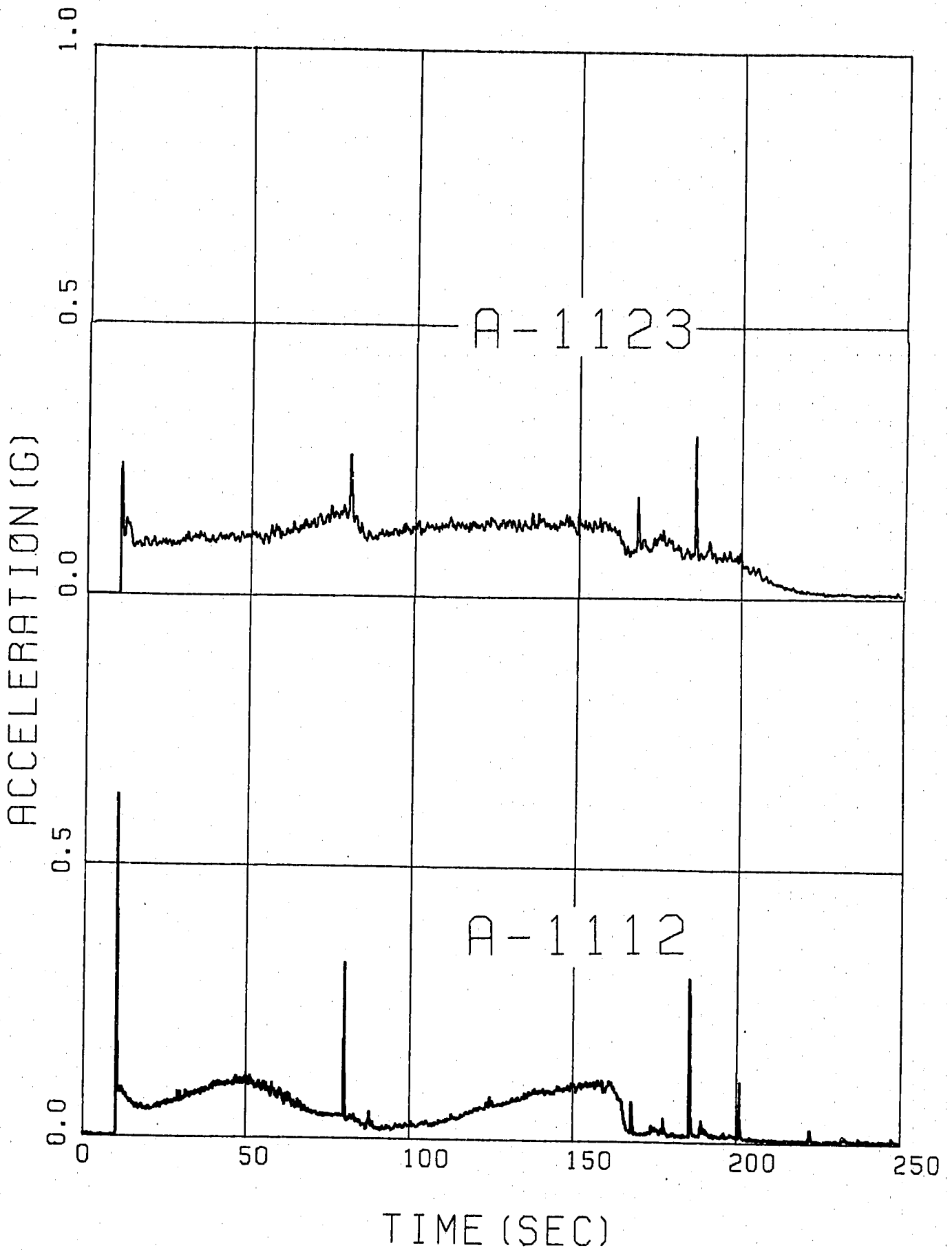


Fig. 3.3.11(a) RMS Values of Acoustic Signal (Run-13)

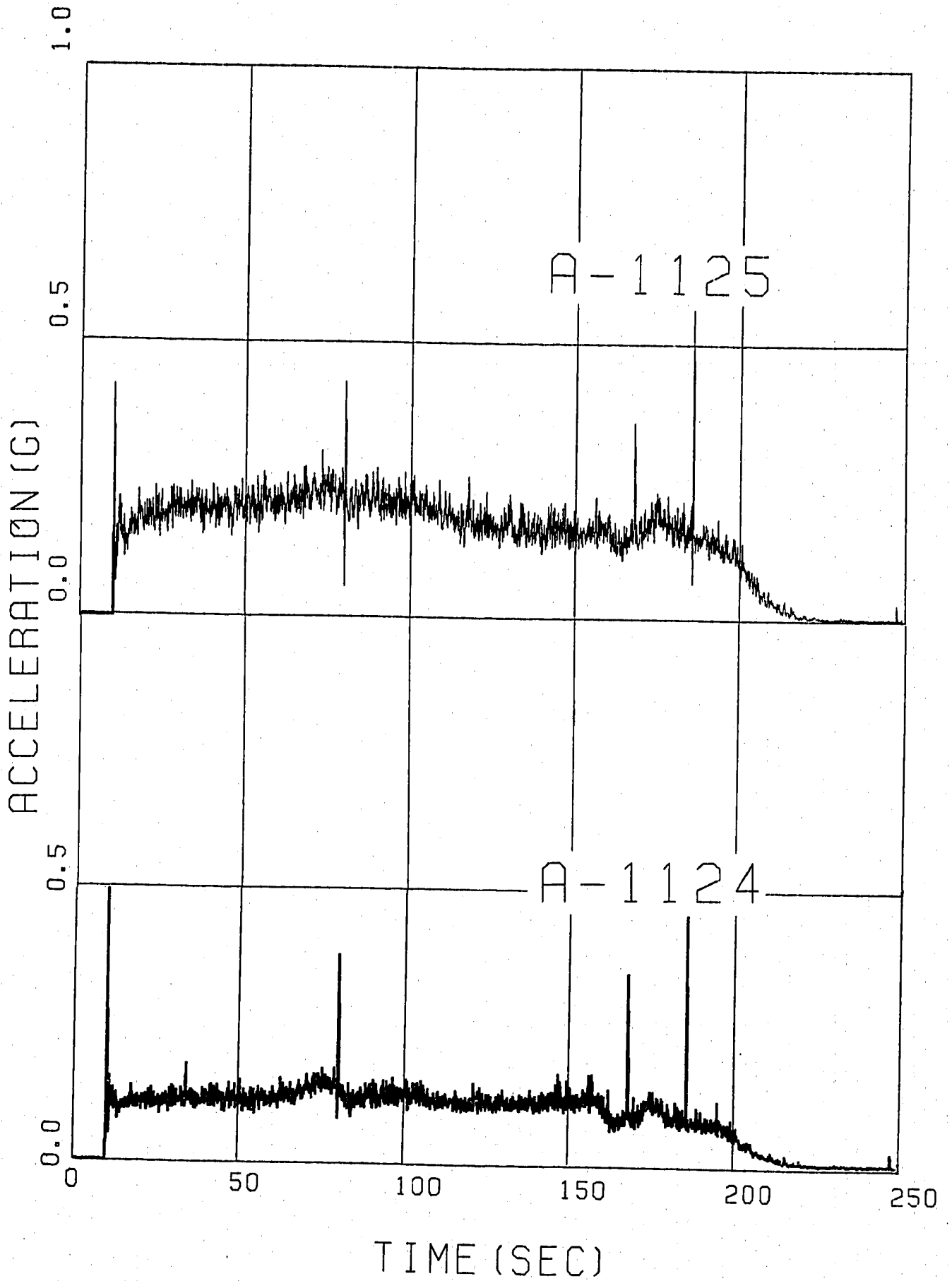


Fig. 3.3.11(b) RMS Value of Acoustic Signal (Run-13)

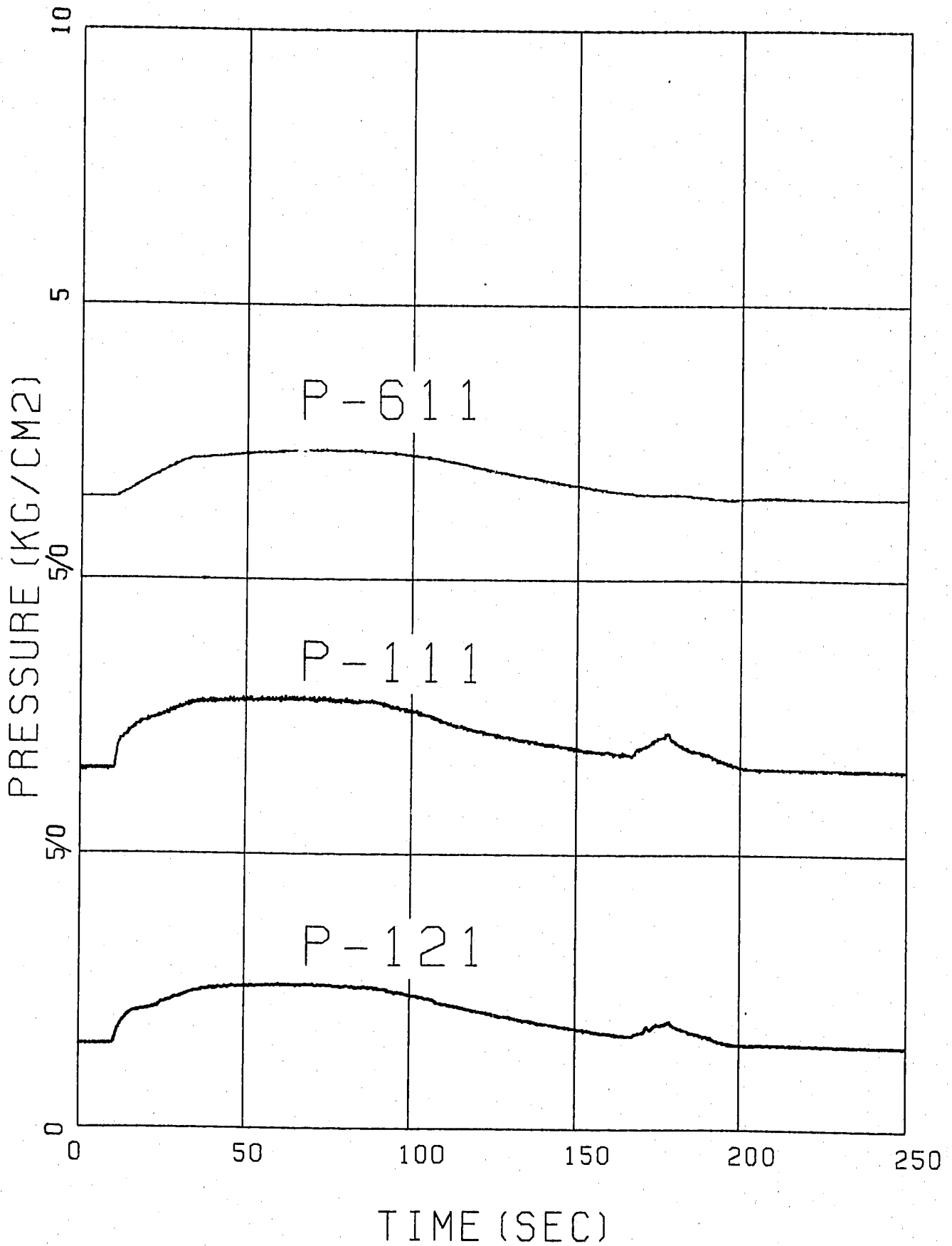


Fig. 3.3.12 Pressures in Evaporator, Superheater and Reaction Product Tank (Run-13)

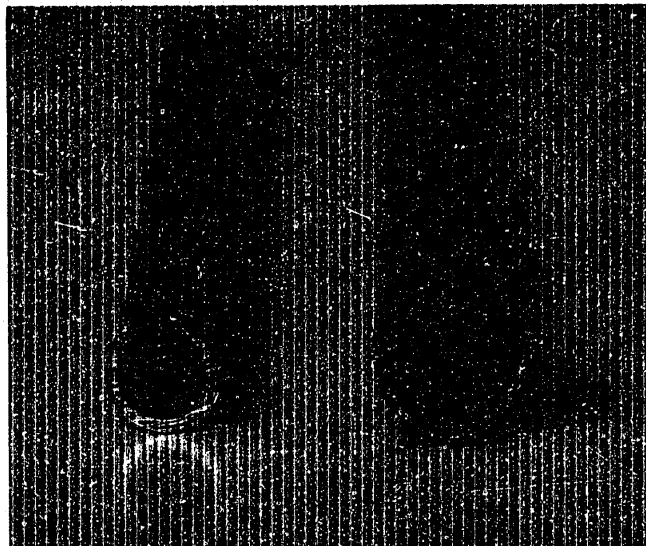
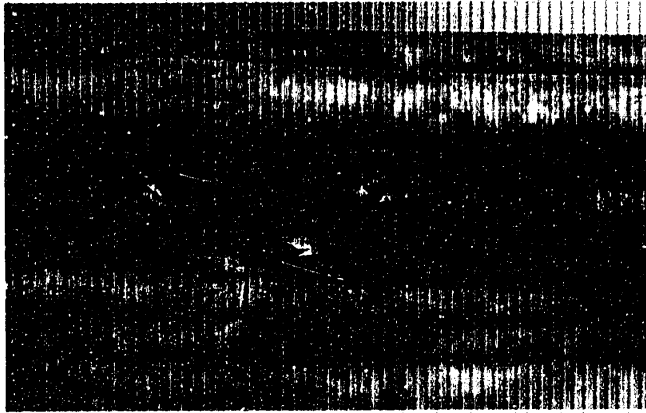


Fig. 3.3.14 Photograph of Cross Section of Burst Tube No.224 (right) and No.240 (left) of Run-13

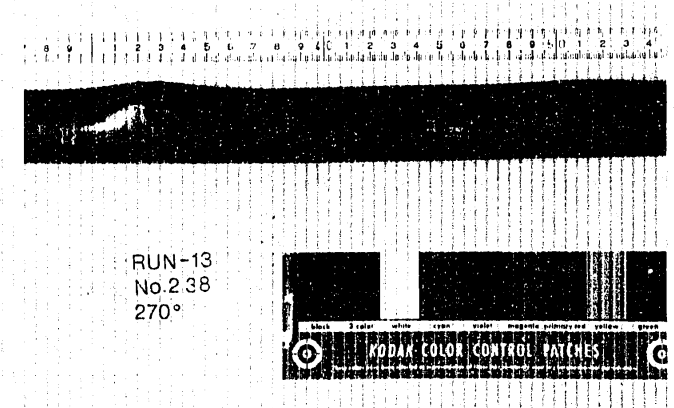
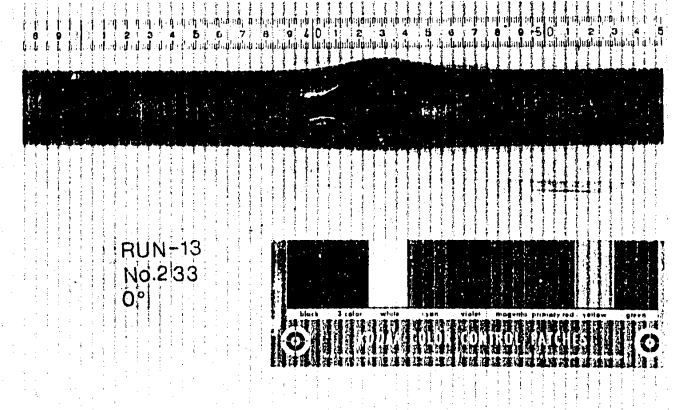
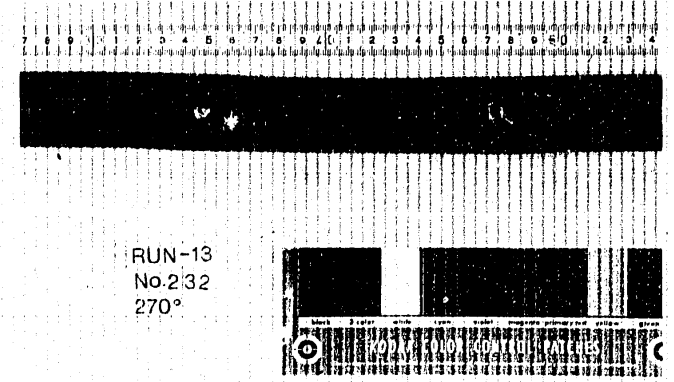
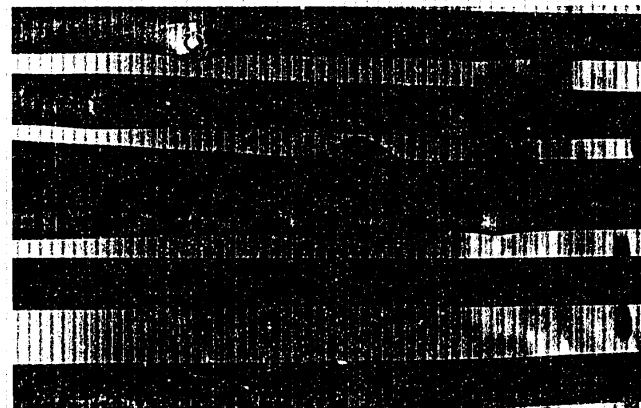
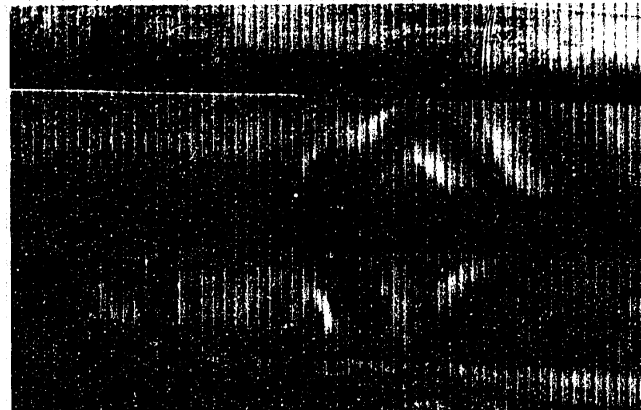
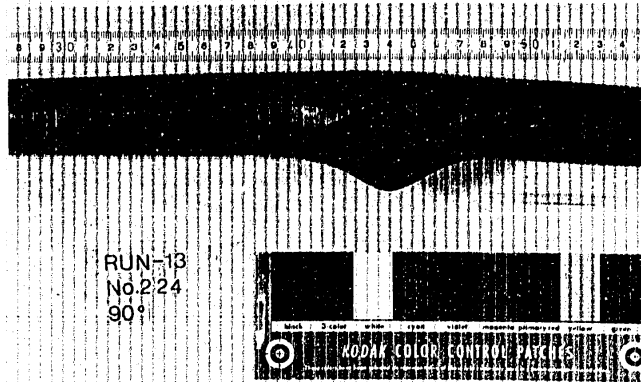


Fig. 3.3.13 Photographs of Damaged Tubes (Run-13)

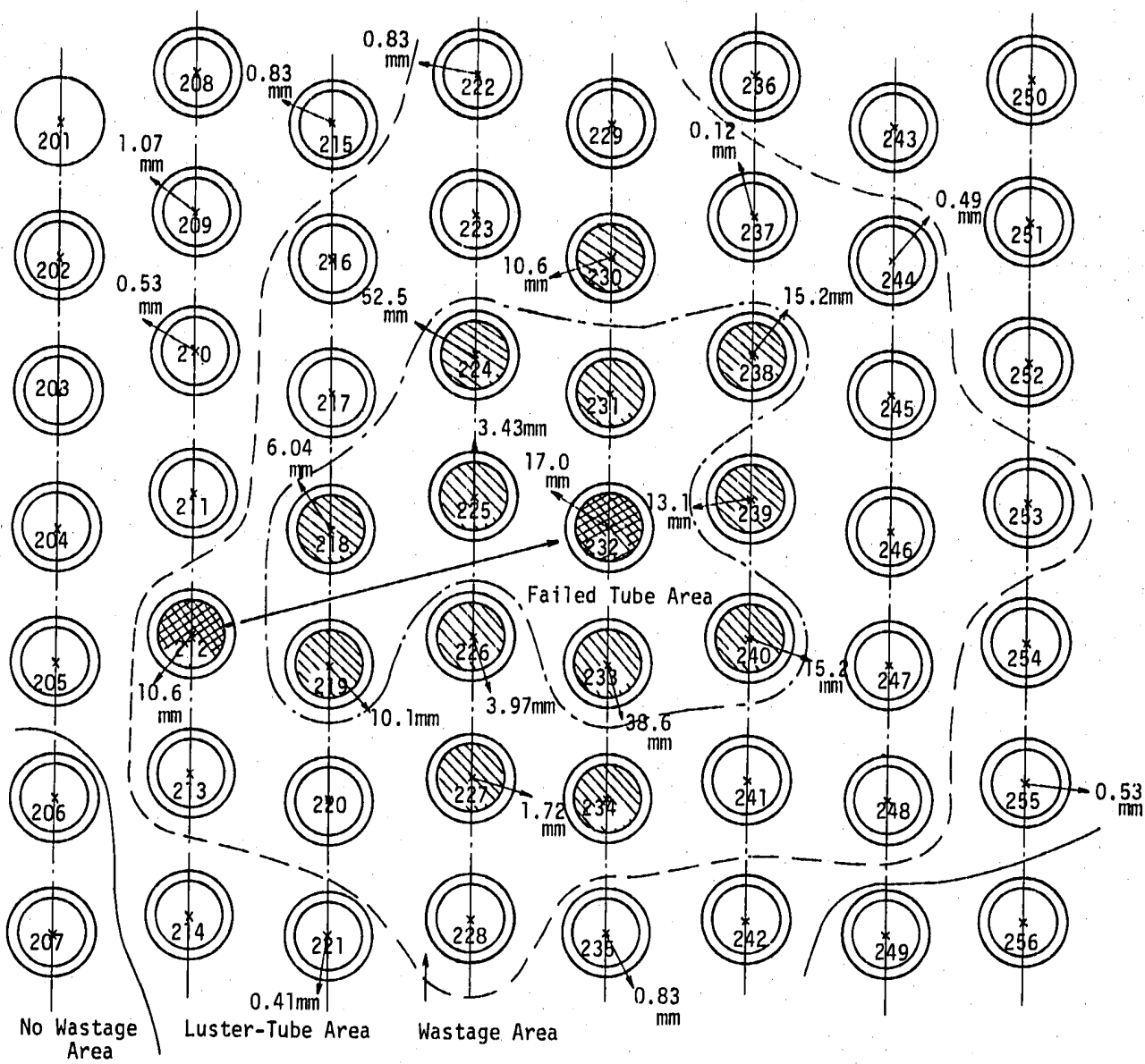


Fig. 3.3.15 Degrees and Directions of Tube Bowing Produced by Run-13 Test

4. ま と め

高速増殖原型炉「もんじゅ」の蒸気発生器に対する安全設計法の確立のため、伝熱管からの初期リークが周囲の伝熱管の破損伝播を引き起こしてリーク規模が拡大・発展して行く現象を実験的に把握する目的で、SWAT-3試験装置を用いた第2回破損伝播試験（Run-11～13注水）が1980年5月22日に実施された。本試験は、1979年10月に行なわれた「もんじゅ」蒸気発生器設備の仕様統一に載って実施された最初の試験であった。なおRun-11は注水機構の不調のため注水ができなかったが、Run-12及び13は予定通り破損伝播を引き起こす事ができた。以下にその結果をまとめた。

I 破損伝播の進行

Run-12及び13は初期注水ノズル孔径 1.5 mm 及び 6.0 mm ϕ でそれぞれ実施した。

Run-12では、74秒後に2次破損、145秒後に3次破損にまで至った。

Run-13では、70秒～175秒の間に8本のガス加圧管が、158秒に注水管が破損した。

II 破損孔形状

破損孔の大きさとしてはRun-12では3次破損孔が最大で、管軸方向にき裂が走って膨出ししており、き裂の長さ18mm、幅5.8mmであった。Run-13ではガス管に1 DEG相当の破損管が2本あった。これらの初期リーク孔径と破損孔径との関係を従来のデータも含めて、Fig. 4.1に示す。

III 破損伝播の機構

破損伝播のメカニズムは、Run-12では、ウェステージによるものが主であるが、3次破損管では高温ラプチャ的要素も見られる。Run-13では、高温ラプチャ的要素が強く現われ、ウェステージによる減肉が初期伝熱管肉厚の43%程で内圧ラプチャしたものもあった。

IV 破損伝播時間

破損伝播時間は従来の中リーク領域でのウェステージ率を求める実験式

$$W_R = 7 \times 10^{-2} \exp \{ -3 \times 10^{-4} (L/D - 25)^2 \}$$

から計算される値を越えなかった。これは、高温ラプチャ的要素の強い破損管についても同様である。

現在、損傷伝熱管の金相検査が行なわれており、この内容については別報告書で紹介する予定である。

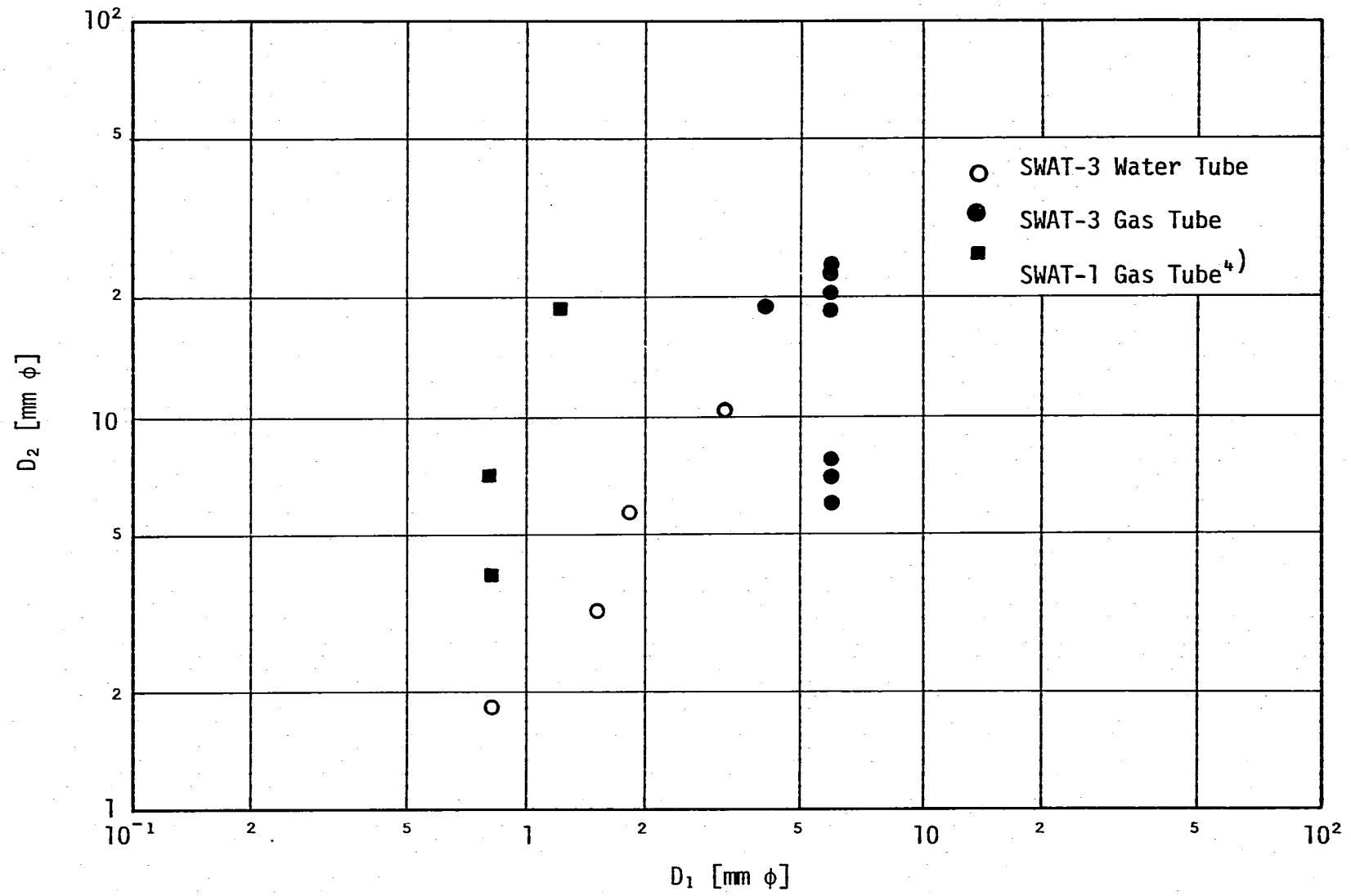


Fig. 4.1 Secondary Failure Leak Nozzle Diameter vs. Initial Leak Nozzle Diameter

Table 4.1 試験結果のまとめ

Run No			12	13	
1次リーク孔径	mm φ		1.5	6.0	
水加熱器圧力	ata		150.	151.	
水加熱器温度	°C		342.	343.	
破 損 伝 播	1次	リーク率	g/sec	87.	900.
		破損時間	sec	0.0	0.0
	2次	リーク率	g/sec	260.	(N ₂ ガス)
		破損時間	sec	74.	70.
	3次	リーク率	g/sec	1,460.	2' 700.
		破損時間	sec	145.	次 158.
その他		注水管No.134 (時間不明) ガス管No.135 (134 sec)		このほか7本のガス加圧管 が70~175secの間に破損	
総注水時間	sec		152.	168.	
総注水量	kg		39.	125.	
伝熱管 損傷 状況	破損管	4本	{ No.127 No.134 No.135 No.142	9本 { No.218, No.231 219, 232 224, 233 225, 238 240	
	曲がり管 (1mm以上)		13本	14本	
	膨脹管		2本	10~20本	
	ウエステージ管 (0.1mm以上)		0.1mm以上の減肉 18本	25本	

5. 謝 辞

最後に、本試験を実施するに当たって、進藤嘉久氏に貴重な助言を、また、井爪室長始め動特性解析室の方々に伝熱管損耗度測定に関し多大な援助をいただいた。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。未筆ながら御協力いただいた各位に感謝の意を表する。

6. 参 考 文 献

- (1) 根井弘道, 氏原幸三朗, 大内義弘, 大島巖, 井上設生, 堀雅夫, 「小リーク・ナトリウム-水反応試験研究 第3報 蒸気ウェステージと検出計の応答」
PNC SN943 73-02 (1973. 8)
- (2) 根井弘道, 氏原幸三朗, 大内義弘, 橋口功, 大島巖, 井上設生, 堀雅夫
「小リーク・ナトリウム-水反応試験研究 第4報 蒸気ウェステージと検出計の応答」
PNC SN941 75-45 (1974. 5)
- (3) 鐘ヶ江直道, 橋口功, 池本一郎, 大内義弘, 井上設生, 堀雅夫, 「ウェステージに対する距離の効果に関する試験とその検討及びリーク孔拡大(セルスウェステージ)に関する一考察
小リーク・ナトリウム-水反応試験研究 第7報」
PNC SN941 76-27 (1976. 3)
- (4) 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 SN941 80-27 (1980. 2)
- (5) 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)

APPENDIX

APPENDIX A. 詳細組立図

- Fig. A. A. 1 SWAT-3 Run- 11, 12, 13 内部構造物改造工事
内部配管（水系）詳細図
- Fig. A. A. 2 SWAT-3 Run- 12 水系配管図
- Fig. A. A. 3 SWAT-3 Run- 13 水系配管図
- Fig. A. A. 4 SWAT-3 Run- 11, 12, 13 T 1101 ~ T 1190
熱電対取付要領図
- Fig. A. A. 5 SWAT-3 Run- 11, 12, 13 水噴出角度
- Fig. A. A. 6 模擬加熱器組立図
- Fig. A. A. 7 放出系収納容器組立図
- Fig. A. A. 8 水加熱器組立図

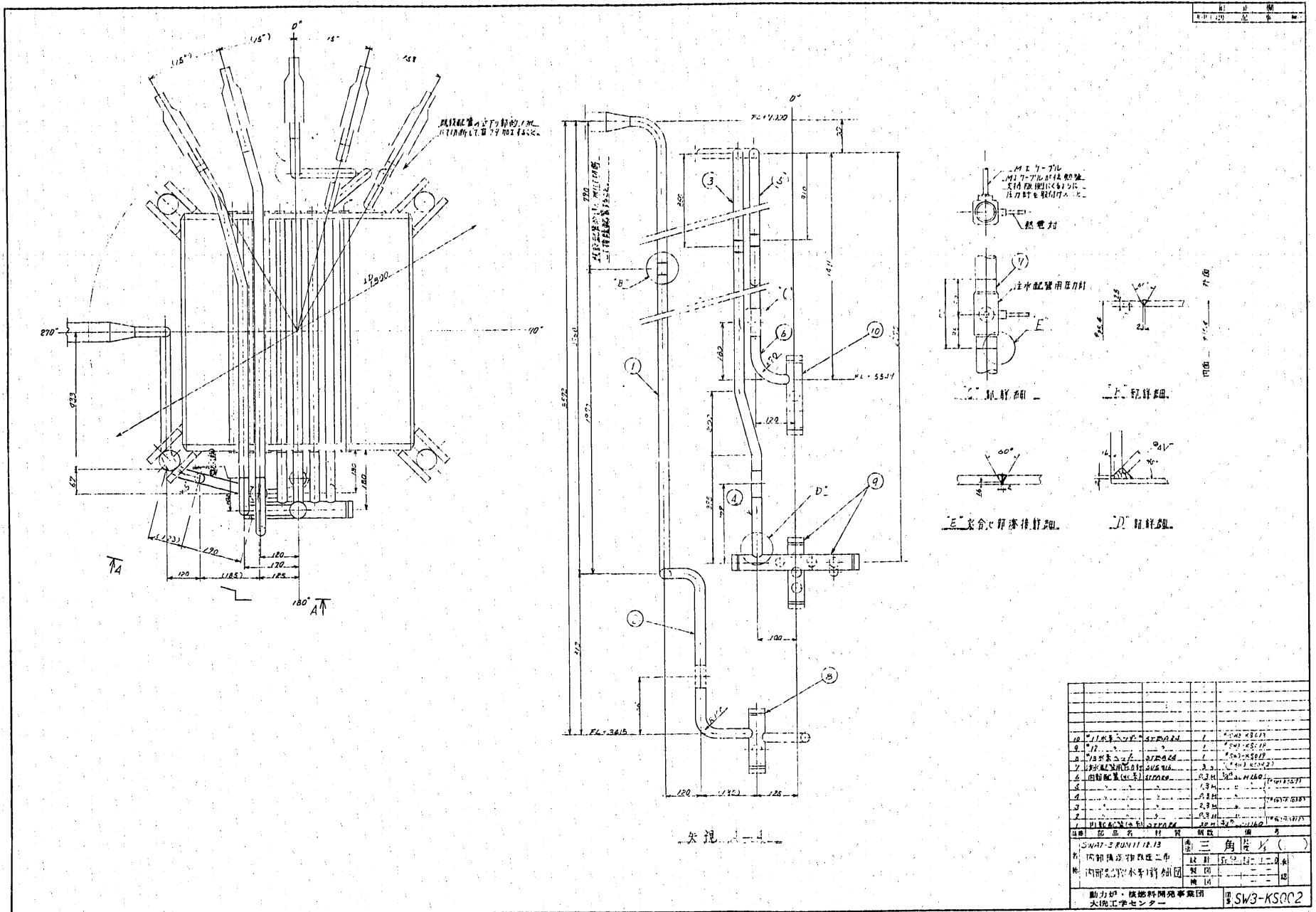


Fig. A.A.1 SWAT-3 Run-11, 12, 13 内部構造物改造工事
内部配管（水系）詳細図

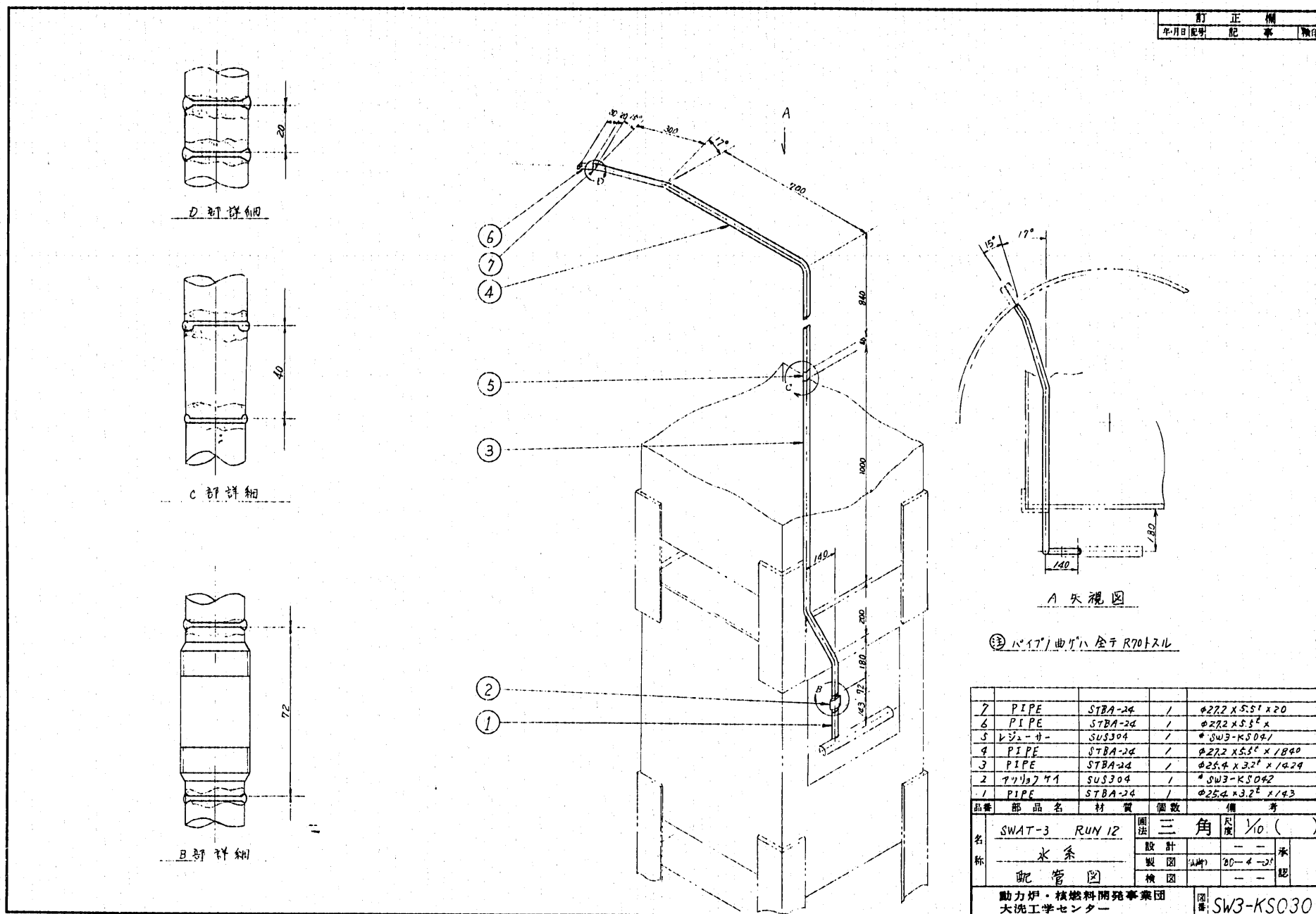
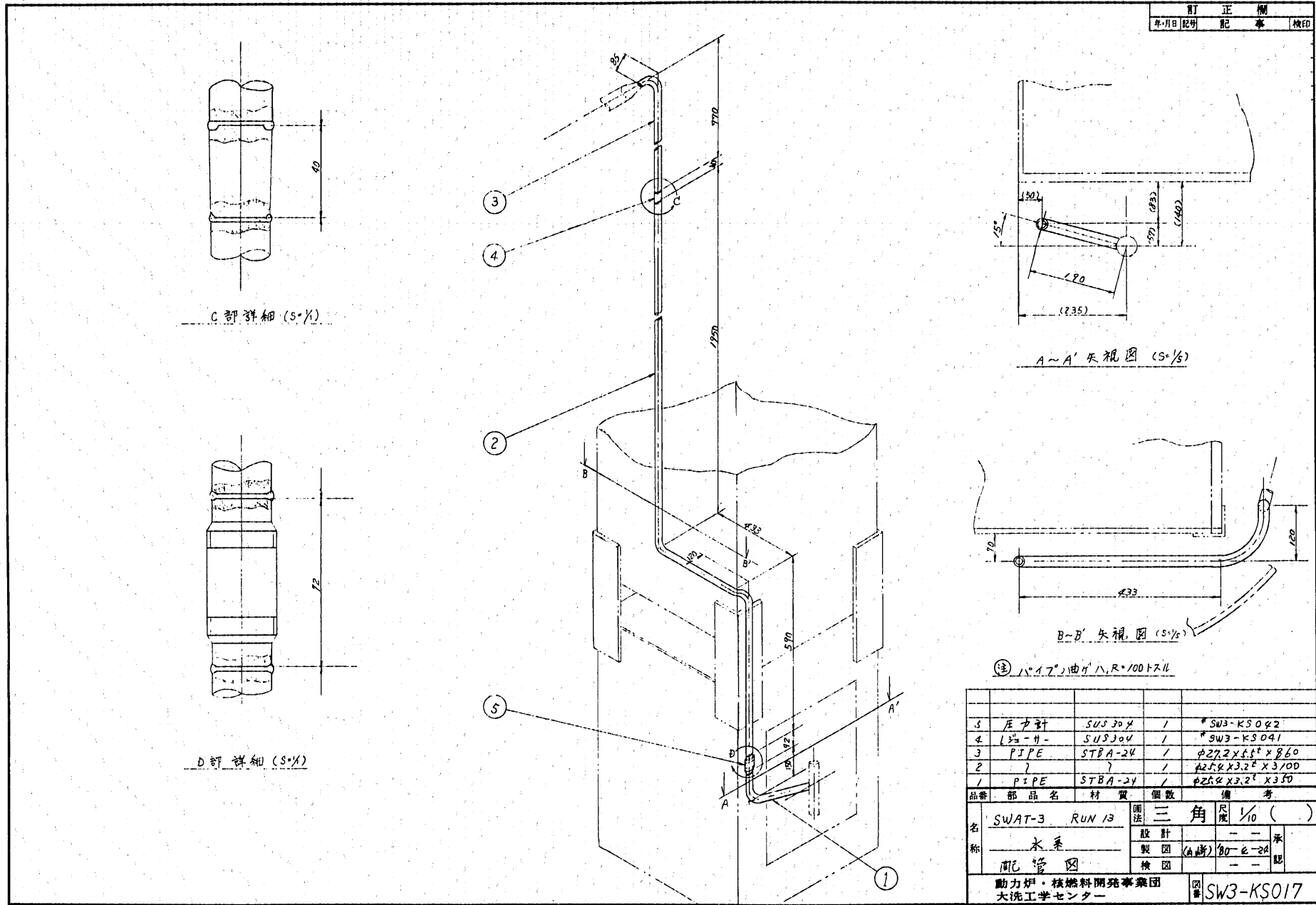


Fig. A.A.2 SWAT-3 Run-12 水系配管図

訂正欄	備考	検印
年・月・日	記号	



5	压力计	SUS304	1	*SW3-KS042
4	1/2"-H-	SUS304	1	*SW3-KS041
3	PIPE	STBA-24	1	φ27.2×5.5 ^t ×860
2	?	?	1	φ25.4×3.2 ^t ×3100
1	PIPE	STBA-24	1	φ25.4×3.2 ^t ×350
品番	部品名	材質	個数	備考
名称	SWAT-3 RUN 13	圖法	三角	尺度 1/10 ()
	水系	設計		— — 承
	配管図	製図	(A) 80-E-2A	— — 認
		検図		
動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター				図番 SW3-KS017

Fig. A.A.3 SWAT-3 Run-13 水系配管図

訂正欄
 年月日 記 帳 欄

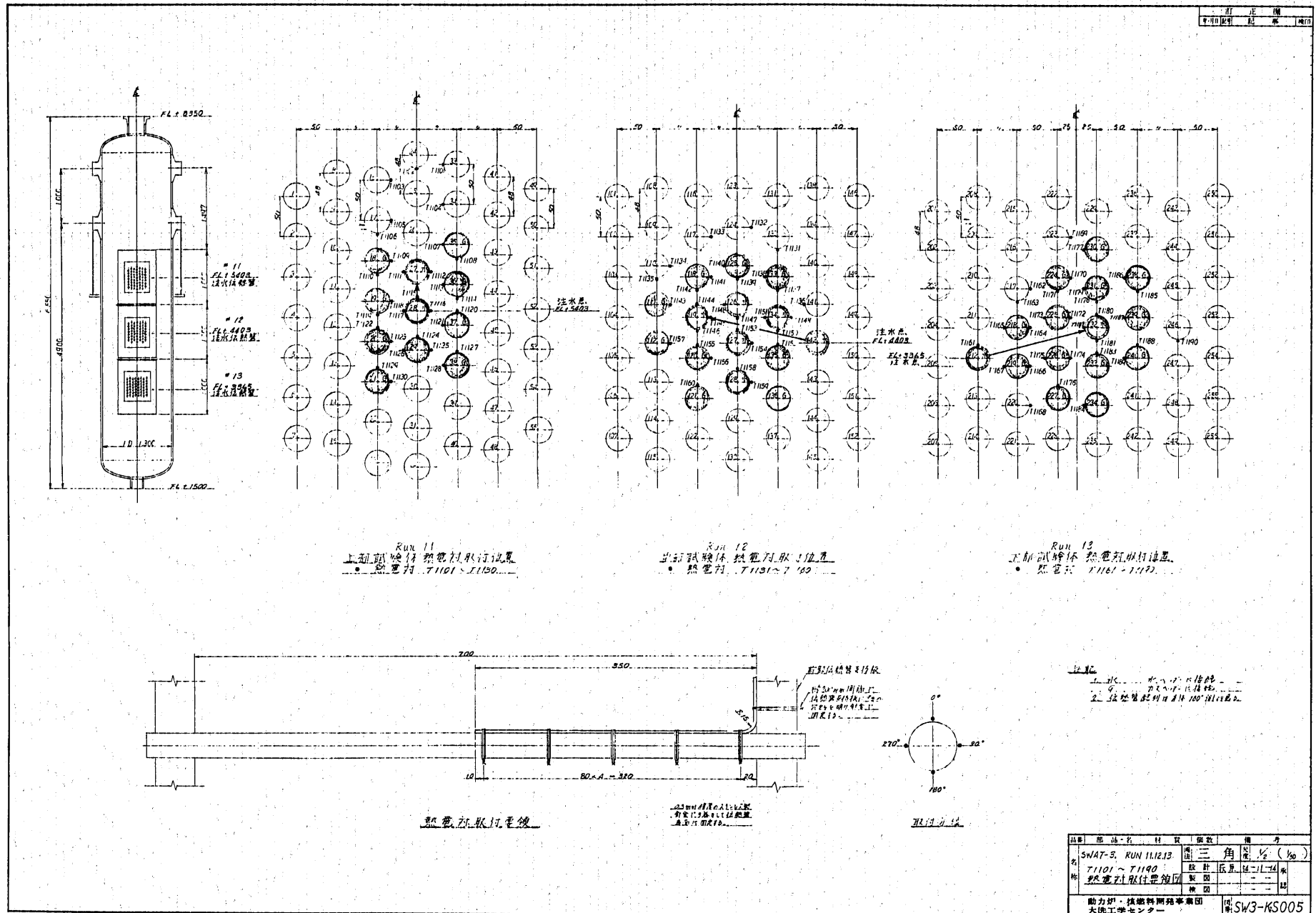


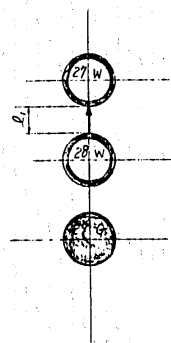
Fig. A.A.4 SWAT-3 Run-11, 12, 13 T 1101~T1190

熱電対取付要領図

品名	材料	数量	備考
SWAT-3, RUN 11, 12, 13	銅	三角	1/2 (1/20)
T1101 ~ T1190	取付器具	11-14	本
熱電対取付要領図	製図	---	本
	検印	---	本

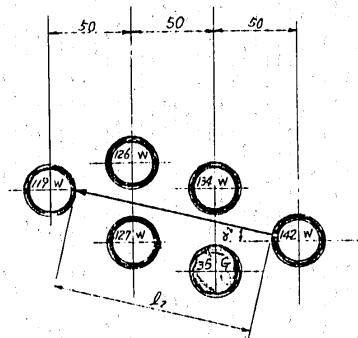
動力炉・核燃料開発事業団
 大洗工務センター
 計: SW3-KS005

訂正欄			
年/月/日	記	事	機印



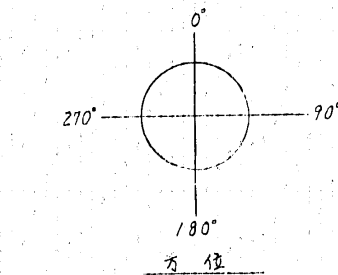
RUN 11

噴出角度 $\alpha_1 = 0^\circ$ 方向
距離 $l_1 = 16.2$ (mm)



RUN 12

噴出角度 $\alpha_2 = 13.4^\circ$
距離 $l_2 = 121.95$ (mm)

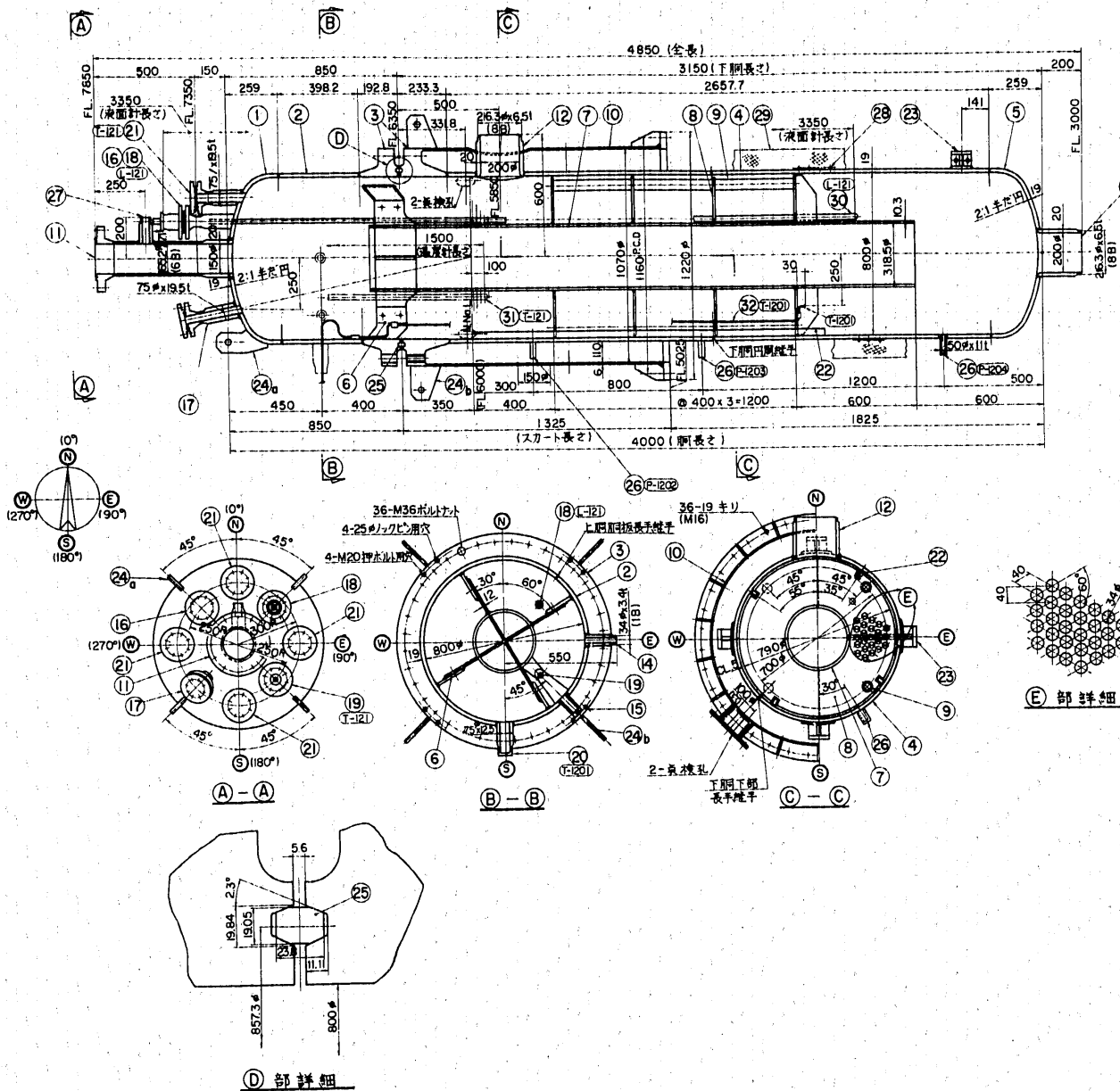


RUN 13

噴出角度 $\alpha_3 = 14.2^\circ$
距離 $l_3 = 122.93$ (mm)

品番	部品名	材質	個数	備考
名称	SWAT-3		3	三角 尺度 1/2 ()
	RUN 11, 12, 13			設計 承認
	水噴出角度			製図 (小計) 承認
				検図 承認
動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター				図番 SW3-KS047

Fig. A.A.5 SWAT-3 Run- 11, 12, 13 水噴出角度

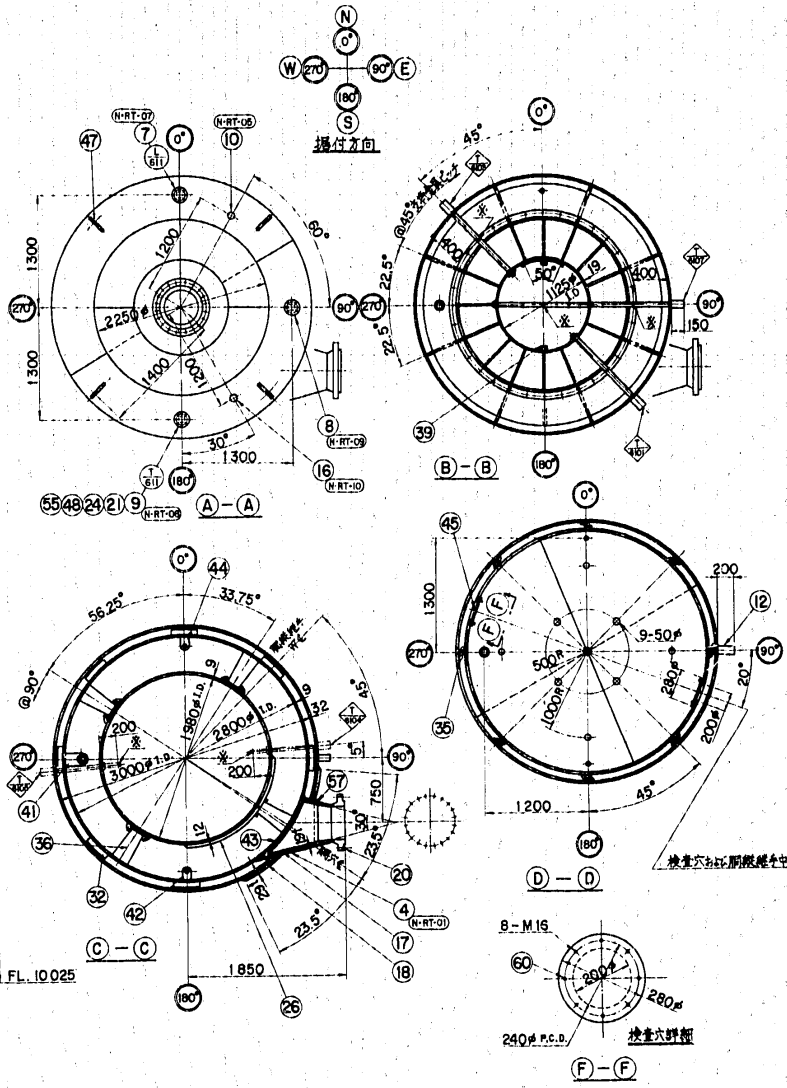
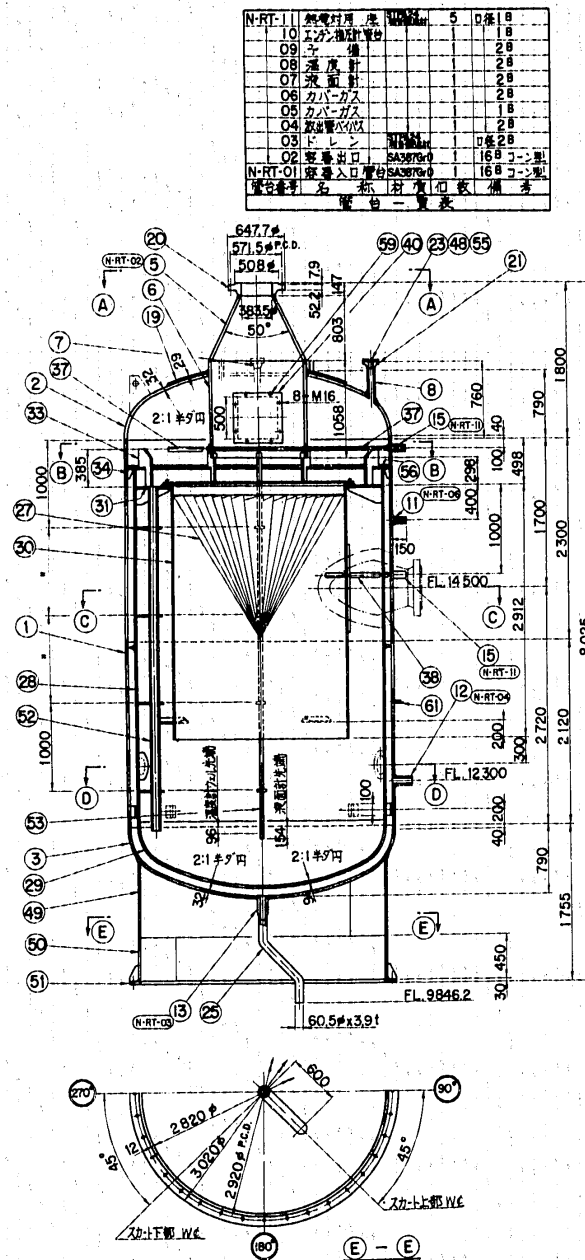


SH-01	抜出管台	JIS SU8304B	1	6B	
N-SH-13	抜取バルブ管台	JIS SU8304B	1	6B	
-12	工口圧計用座		3	(T-120)	
-11	試験用予備座		4		
-10	燃費計用座		1	(T-120)	
-09	濃度計用座		1	(T-121)	
-08	濃度式液面計用座		1	(C-120) (別添部)	
-07			1	(C-120) (別添部)	
-06	濃度式液面計用座		1	(L-120)	
-05	カハガス圧力計用座		1	(F-120) 1B	
-04	カハガス入口管台	JIS SU8304B	1	1B	
-03	ナトリウム出口管台	JIS SU8304B	1	8B	
-02	ナトリウム入口管台	JIS SU8304B	1	8B	
N-SH-01	抜出管台	JIS SU8304B	1	6B	
管台番号		名称	材質	数量	備考

管台一覧表					
32	シス製燃費計	JIS SU8316	1	1	(T-120)
31	ケルヒ製燃費計	JIS SU8316	1	1	(T-121)
30	濃度式液面計	JIS SU8316	1	1	(L-121)
29	保溫材	カシムルマ	0.5	1	
28	予備用スイッチ	JIS SU8304	1	1	
27	バルブ抜出管	JIS SU8304B	1	1	抜出管台付 (2B)
26	圧力計用座	JIS SU8304B	3	2B	2B相当 (C-120)
25	ナトリウム出口管台	JIS SU8304B	1	1	本体フランジ用
24	濃度式液面計用座	JIS SU8304	1	1	
23	本体液止器具		4	4	
22	内部設置支持器具	JIS SU8304	4	4	
21	試験用予備座	JIS SU8304B	4	4	上側接続付 (2B相当)
20	燃費計用座	JIS SU8304	1	1	上側付 (T-120)
19	濃度計用座	JIS SU8304	1	1	上側接続付 (C-120)
18	濃度式液面計用座	JIS SU8304	1	1	(C-121)
17					(予備座)
16	濃度式液面計用座	JIS SU8304	1	1	上側接続付 (予備座)
15	カハガス圧力計用座	JIS SU8304	1	1	上側付 (L-120)
14	カハガス入口管台	JIS SU8304B	1	1	上側付 (1B)
13	ナトリウム出口管台	JIS SU8304B	1	1	下側接続付 (8B)
12	ナトリウム入口管台	JIS SU8304B	1	1	下側付 (8B)
11	抜出管台	JIS SU8304B	1	1	上側接続付 (6B)
10	本体支持スカート	JIS SU8304	1	1	
9	タイロッド	JIS SU8304TP	12	12	
8	多孔板	JIS SU8304	4	4	
7	内部設置支持器具	JIS SU8304TP	1	1	
6	内部設置支持器具	JIS SU8304	4	4	
5	下部鏡板	JIS SU8304	1	1	
4	下部鏡板	JIS SU8304	1	1	
3	本体フランジ	JIS SU8304	1	1	
2	上部鏡板	JIS SU8304	1	1	
1	上部鏡板	JIS SU8304	1	1	
品目番号		名称	材質	数量	備考

名 蒸気発生器安全性総合試験装置 (SWAT-3)
 称 模擬燃費器組立図
 動力炉核燃料開発事業団大洗工務センター

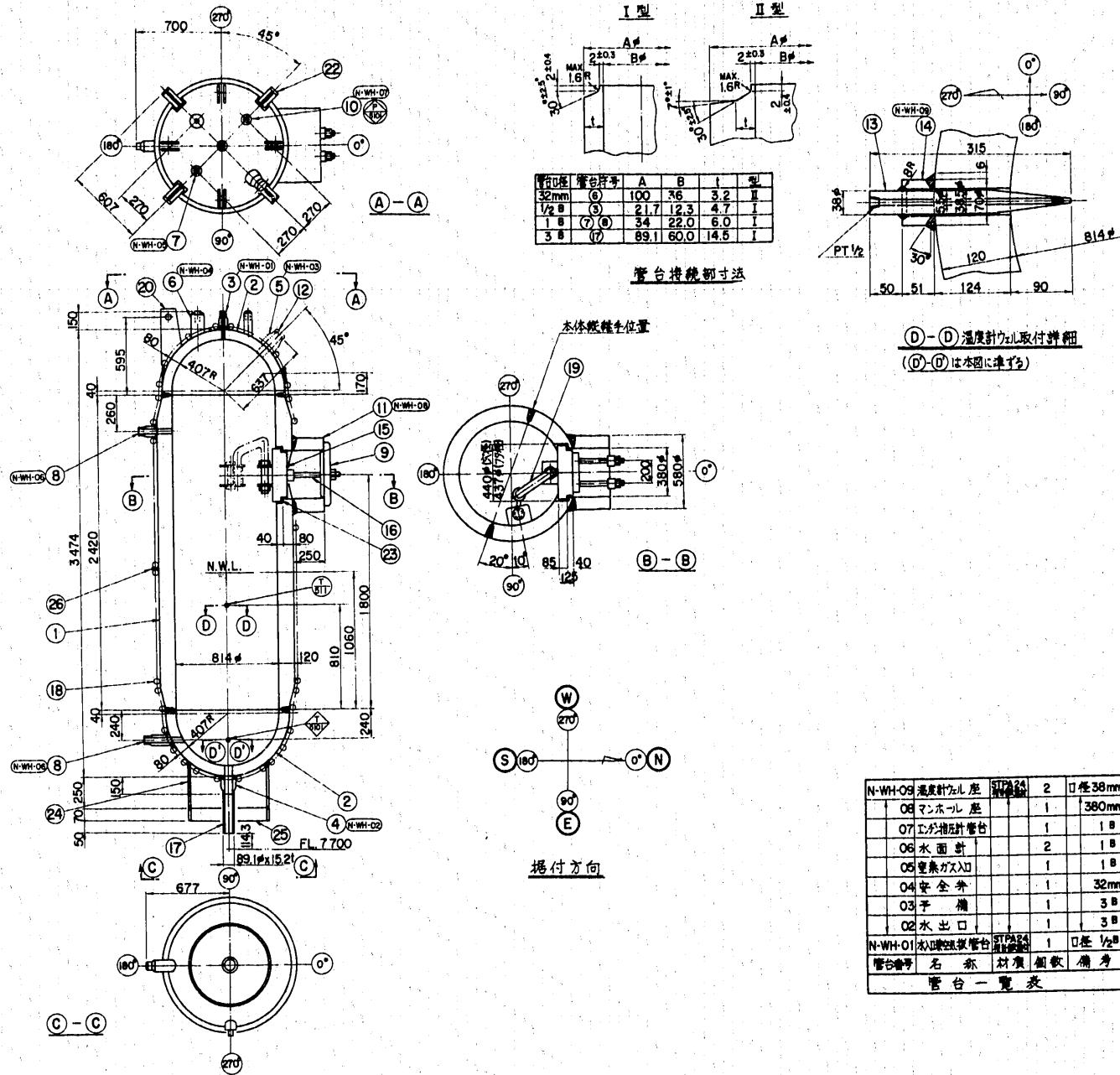
Fig. A.A.6 模擬加熱器組立図



61	放射線計	STPA24	38
60	放射線計	SCM 5	16
59	放射線計	SCM 3	32
58	放射線計	SA387GrD	1
57	放射線計	SA387GrD	1
56	放射線計	SCM 3	24
55	放射線計	STPA24	1
54	放射線計	SUS304	1
53	放射線計	SUS304	1
52	放射線計	STPA24	1
51	放射線計	SS41	1
50	放射線計	SS41	1
49	放射線計	SA387GrD	1
48	放射線計	5Cr-Mo	3
47	放射線計	SA387GrD	4
46	放射線計		1
45	放射線計	SA387GrD	2
44	放射線計	SUS304	4
43	放射線計	SA387GrD	4
42	放射線計		4
41	放射線計		4
40	放射線計		4
39	放射線計		2
38	放射線計		3
37	放射線計		4
36	放射線計		7
35	放射線計		8
34	放射線計		8
33	放射線計		8
32	放射線計		8
31	放射線計		1
30	放射線計		1
29	放射線計		1
28	放射線計	SA387GrD	1
27	放射線計	SUS304	1
26	放射線計	SA387GrD	1
25	放射線計	SUS321HTP	1
24	放射線計	STPA24	1
23	放射線計		1
22	放射線計		1
21	放射線計		3
20	放射線計	STPA24	1
19	放射線計	SA387GrD	1
18	放射線計	SA387GrD	1
17	放射線計	SA387GrD	1
16	放射線計	STPA24	1
15	放射線計		5
14	放射線計		1
13	放射線計		1
12	放射線計		1
11	放射線計		1
10	放射線計		1
9	放射線計		1
8	放射線計		1
7	放射線計	STPA24	1
6	放射線計	SA387GrD	1
5	放射線計	SA387GrD	1
4	放射線計		1
3	放射線計		1
2	放射線計		1
1	放射線計	SA387GrD	1

放射線計安全性能試験機
(SWAT-3)
放出系収納容器組立図
動力炉核燃料開発事業団大洗工学センター

Fig. A.A.7 放出系収納容器組立図



管径	管台番号	A	B	I	型
32mm	(6)	100	36	3.2	Ⅱ
1/2"	(9)	21.7	12.3	4.7	Ⅰ
1"	(7)	34	22.0	6.0	Ⅰ
3/8"	(7)	89.1	60.0	14.5	Ⅰ

管台持線寸法

N-WH-OS	温度計付座	STPA24	2	口径38mm
08	マンホール座		1	380mm
07	工が指針管台		1	1"
06	水面計		2	1"
05	窒素ガス入口		1	1"
04	安全弁		1	32mm
03	手操		1	3"
02	水出口		1	3"
N-WH-O1	本体温度計管台	STPA24	1	口径 1/2"

管台一覧表

26	ヒーター止金具	SA387GrD	1	1"
25	停止用スカート	SS41	1	
24	停止用カバー	Cr-Mn SA387GrD	1	
23	マンホールパッキン	SUS32	1	
22	本体上部止金具	SA387GrD	4	4"
20	本体止金具	SA387GrD	4	4"
19	マンホール内周座	STPA24	1	1"
18	ヒーター			
17	水出口管台	STPA24	1	
16	マンホール付ボルト	SCM3	2	
15	マンホール蓋	STPA24	1	
14	温度計用ワッシャー		2	
13	温度計用ワッシャー		2	
12	手操管台		1	
11	マンホール座		1	
10	工が指針管台		1	
9	マンホールフリンジ		2	
8	水面計管台		2	
7	窒素ガス入口管台		1	
6	安全弁管台		1	
5	手操管台		1	
4	水出口管台		1	
3	水入口管台	STPA24	1	
2	本体温度計	SA387GrD	2	
1	本体	SA387GrD	1	

名 蒸気発生器安全性総合試験設置 (SWAT-3)
 称 水加熱器組立図
 動力炉核燃料開発事業団大光工学センター

Fig. A.A.8 水加熱器組立図

APPENDIX B. 伝熱管材料のミルシート

Purchaser : Messrs
DORYOKURO KAKUMENRYO KAIHATSU
JIGYODAN.

Supplier : Messrs
FUJI SHOJI CO., LTD.

Commodity & Specification :
COLD FINISHED SEAMLESS STEEL TUBE
JIS G3462 STBA24
PLAIN END

INSPECTION CERTIFICATE

216 NIPPON KOKAN K.K.
KEIHIN WORKS

KAWASAKI JAPAN

Certificate No. : A 27834
Date : DEC. 28, 1979
Purchaser Order No. :
Construction No. :
Supplier Order No. : A-3-Z-1455
Order No. : TTX9586

Product No.	Item No.	Dimension	Heat No.	Quantity			Visual & Dimension	Hydrostatic Test (kg/cm ²)	Bend or Flattening	Flaring	Reverse Flattening	NDI	Galvanized Test			
				Number of Pieces	Total Length (mm * ft-in)	Weight (kg)										
27834	001	31.8 x 3.8 x 5000 5,000MM		60		864	GOOD	GOOD 100	GOOD	GOOD						
Total																
Heat No.	Chemical Composition (%)										Tension Test				Hardness	
	C ×100	Si ×100	Mn ×100	P ×1000	S ×1000	Cu ×100	Ni ×100	Cr ×100	Mo ×100	Mark	Y.P. *Y.S. (kg/mm ²)	TS (kg/mm ²)	El. (%)	YR (%)	H _B *H _B	H _v *H _v
Spec. Min.			30				190	87			21	42	30			
Max.	15	50	60	30	30		260	113								
53582	10	36	49	12	10		236	92		11 11	29 28	51 50	49 50			

(Notes) *Mark in Heat No. : Check Analysis Letter P in Hydrostatic Test & Tension Test : psi

Specimen Marks TS : Transverse Stock TW : Transverse in Weld LW : Longitudinal in Weld LS : Longitudinal Stock

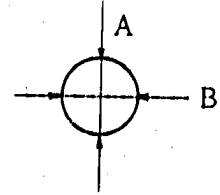
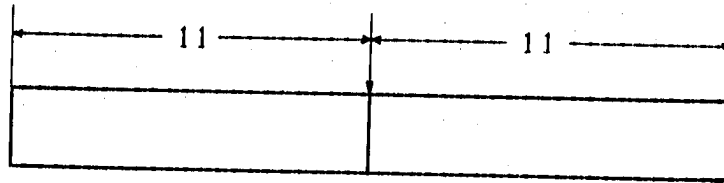
We hereby certify that the material herein has been made and tested in accordance with the above specification and also with the requirements called for by the above order.


Manager Inspection

APPENDIX C. 伝熱管の試験前寸法検査

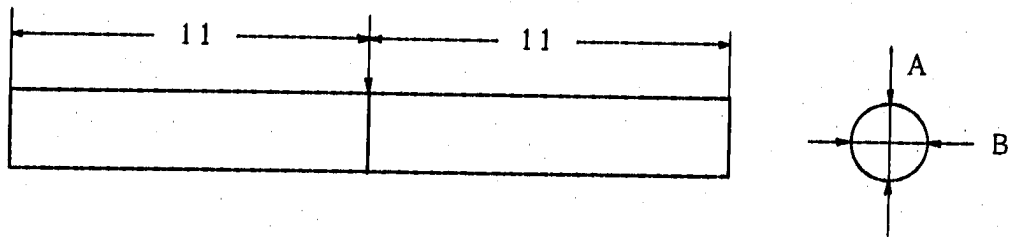
Table A.C.1	Run-12	伝熱管外径寸法
Table A.C.2	Run-13	"
Table A.C.3	Run-12	伝熱管肉厚
Table A.C.4	Run-13	"
Table A.C.5	Run-12	伝熱管真直度
Table A.C.6	Run-13	"

Table A.C.1 Run-12 伝熱管外径寸法 (試験前)



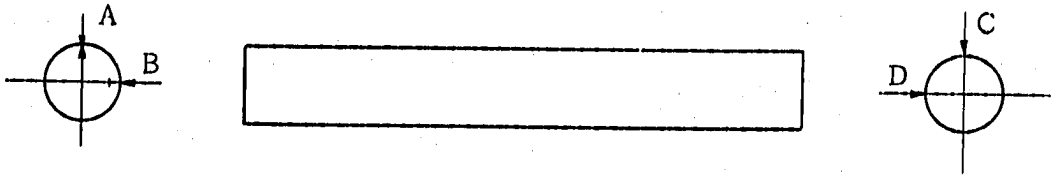
管 No.	A	B	管 No.	A	B	管 No.	A	B
101	31.76	31.77	121	31.75	31.80	141	31.76	31.79
102	31.79	31.79	122	31.80	31.80	142	注水伝熱管	
103	31.80	31.80	123	31.77	31.77	143	31.79	31.75
104	31.78	31.78	124	31.77	31.77	144	31.79	31.79
105	31.78	31.77	125	31.80	31.80	145	31.80	31.79
106	31.77	31.77	126	31.80	31.80	146	31.77	31.77
107	31.79	31.78	127	31.79	31.79	147	31.80	31.79
108	31.78	31.79	128	31.80	31.79	148	31.79	31.79
109	31.79	31.77	129	31.76	31.76	149	31.79	31.80
110	31.80	31.80	130	31.79	31.78	150	31.79	31.78
111	31.80	31.80	131	31.80	31.79	151	31.77	31.78
112	31.74	31.75	132	31.78	31.78	152	31.80	31.80
113	31.80	31.80	133	31.76	31.76			
114	31.80	31.80	134	31.80	31.79			
115	31.74	31.75	135	31.74	31.75			
116	31.80	31.79	136	31.75	31.73			
117	31.77	31.77	137	31.77	31.77			
118	31.80	31.80	138	31.80	31.80			
119	31.80	31.80	139	31.78	31.78			
120	31.72	31.72	140	31.78	31.79			

Table A.C.2 Run-13 伝熱管外径寸法 (試験前)



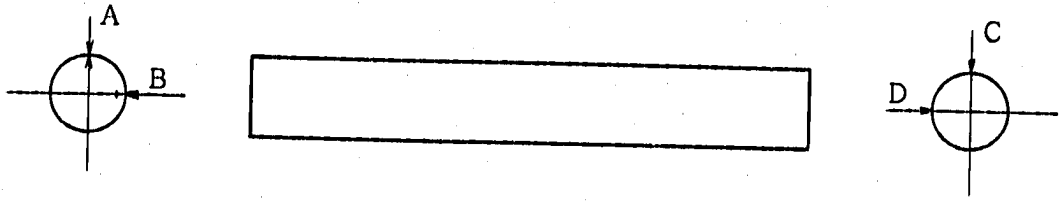
管 No.	A	B	管 No.	A	B	管 No.	A	B
201	31.78	31.78	221	31.80	31.80	241	31.80	31.79
202	31.79	31.78	222	31.77	31.77	242	31.78	31.78
203	31.79	31.78	223	31.80	31.80	243	31.79	31.79
204	31.77	31.78	224	31.74	31.73	244	31.78	31.78
205	31.78	31.77	225	31.75	31.75	245	31.80	31.80
206	31.79	31.79	226	31.80	31.75	246	31.77	31.78
207	31.80	31.80	227	31.80	31.80	247	31.78	31.77
208	31.79	31.80	228	31.79	31.76	248	31.76	31.70
209	31.78	31.78	229	31.77	31.78	249	31.80	31.80
210	31.80	31.80	230	31.77	31.77	250	31.78	31.78
211	31.80	31.80	231	31.73	31.73	251	31.80	31.79
212	注水伝熱管		232	31.80	31.80	252	31.80	31.80
213	31.79	31.80	233	31.73	31.73	253	31.77	31.78
214	31.77	31.77	234	31.76	31.76	254	31.80	31.80
215	31.80	31.80	235	31.78	31.78	255	31.78	31.79
216	31.79	31.81	236	31.77	31.78	256	31.78	31.78
217	31.79	31.79	237	31.78	31.78	ヨビ(31)	31.80	31.80
218	31.73	31.73	238	31.73	31.73	ヨビ(34)	31.79	31.79
219	31.75	31.72	239	31.80	31.80			
220	31.78	31.78	240	31.79	31.79			

Table A.C.3 Run-12 伝熱管肉厚



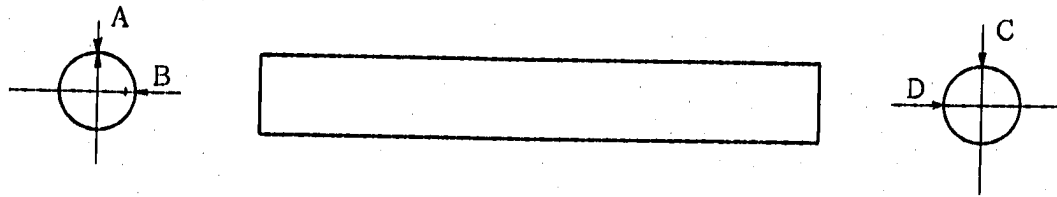
管 No.	A	B	C	D	管 No.	A	B	C	D
101	4.13	4.16	4.16	4.25	121	4.15	4.20	4.10	4.10
102	4.06	4.06	4.15	4.16	122	4.14	4.20	4.14	4.20
103	4.20	4.25	4.12	4.22	123	4.14	4.16	4.10	4.09
104	4.10	4.15	4.05	4.20	124	4.14	4.19	4.19	4.14
105	4.10	4.15	4.08	4.18	125	4.10	4.15	4.13	4.18
106	4.15	4.18	4.20	4.16	126	4.10	4.08	4.14	4.08
107	4.05	4.10	4.05	4.12	127	4.10	4.19	4.10	4.15
108	4.15	4.10	4.14	4.14	128	4.15	4.15	4.19	4.13
109	4.09	4.12	4.15	4.15	129	4.14	4.18	4.15	4.19
110	4.18	4.18	4.13	4.12	130	4.13	4.20	4.20	4.24
111	4.16	4.10	4.18	4.25	131	4.15	4.15	4.18	4.19
112	4.13	4.12	4.08	4.08	132	4.10	4.13	4.14	4.10
113	4.22	4.10	4.18	4.21	133	4.10	4.09	4.10	4.15
114	4.16	4.12	4.12	4.15	134	4.12	4.11	4.11	4.05
115	4.14	4.22	4.15	4.20	135	4.08	4.14	4.08	4.14
116	4.12	4.09	4.15	4.07	136	4.15	4.10	4.15	4.12
117	4.06	4.13	4.09	4.12	137	4.06	4.08	4.20	4.15
118	4.18	4.20	4.18	4.12	138	4.10	4.09	4.13	4.16
119	4.30	4.15	4.22	4.15	139	4.12	4.12	4.18	4.17
120	4.15	4.13	4.12	4.08	140	4.10	4.19	4.08	4.25

Table A.C.3 Run-12 伝熱管肉厚



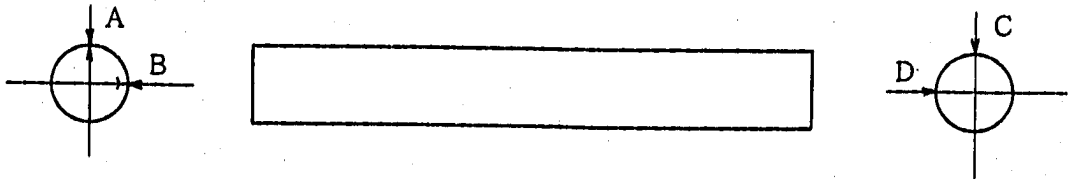
管 No	A	B	C	D
141	4.09	4.15	4.09	4.19
142	注 水 伝 熱 管			
143	4.20	4.14	4.11	4.11
144	4.18	4.15	4.20	4.20
145	4.09	4.10	4.14	4.09
146	4.06	4.10	4.14	4.16
147	4.10	4.10	4.20	4.10
148	4.40	4.40	4.02	4.05
149	4.20	4.15	4.24	4.16
150	4.10	4.11	4.10	4.20
151	4.05	4.12	4.12	4.11
152	4.25	4.40	4.22	4.21

Table A.C.4 Run-13 伝熱管肉厚



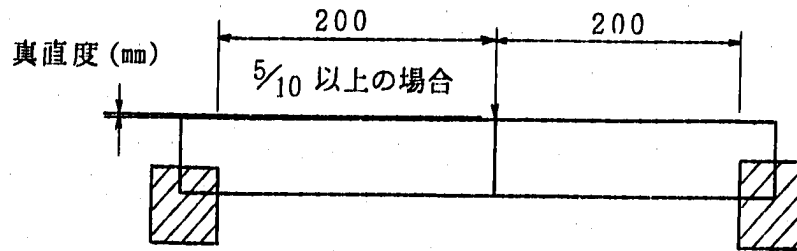
管 No	A	B	C	D	管 No	A	B	C	D
201	4.15	4.16	4.14	4.21	221	4.15	4.12	4.12	4.16
202	4.09	4.12	4.15	4.16	222	4.11	4.14	4.06	4.16
203	4.10	4.20	4.27	4.15	223	4.11	4.14	4.10	4.08
204	4.19	4.15	4.19	4.12	224	4.15	4.08	4.15	4.08
205	4.05	4.14	4.10	4.14	225	4.12	4.20	4.10	4.09
206	4.09	4.09	4.09	4.10	226	4.15	4.12	4.15	4.18
207	4.12	4.15	4.15	4.20	227	4.20	4.16	4.20	4.25
208	4.10	4.09	4.11	4.29	228	4.13	4.14	4.20	4.16
209	4.16	4.30	4.14	4.21	229	4.21	4.09	4.13	4.14
210	4.10	4.15	4.15	4.14	230	4.17	4.16	4.19	4.15
211	4.40	4.25	4.20	4.25	231	4.10	4.14	4.11	4.13
212	注 水 伝 熱 管				232	4.24	4.08	4.24	4.13
213	4.12	4.20	4.11	4.20	233	4.10	4.18	4.11	4.16
214	4.20	4.15	4.20	4.12	234	4.13	4.14	4.08	4.15
215	4.05	4.09	4.04	4.16	235	4.15	4.10	4.12	4.10
216	4.20	4.15	4.30	4.25	236	4.20	4.16	4.20	4.16
217	4.16	4.20	4.12	4.20	237	4.10	4.12	4.13	4.12
218	4.16	4.13	4.16	4.08	238	4.15	4.06	4.13	4.15
219	4.15	4.11	4.10	4.10	239	4.14	4.18	4.14	4.20
220	4.12	4.10	4.14	4.15	240	4.16	4.12	4.18	4.16

Table A.C.4 Run-13 伝熱管肉厚



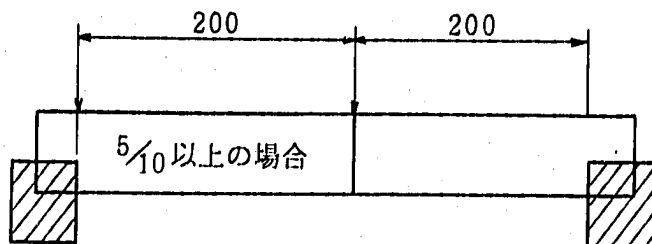
管No.	A	B	C	D
241	4.06	4.12	4.11	4.15
242	4.06	4.12	4.14	4.16
243	4.10	4.20	4.16	4.15
244	4.20	4.15	4.19	4.16
245	4.12	4.12	4.15	4.16
246	4.10	4.12	4.14	4.10
247	4.12	4.13	4.14	4.19
248	4.05	4.04	4.06	4.12
249	4.10	4.25	4.04	4.22
250	4.10	4.16	4.20	4.15
251	4.12	4.08	4.20	4.12
252	4.14	4.15	4.18	4.08
253	4.12	4.12	4.15	4.12
254	4.06	4.11	4.16	4.16
255	4.12	4.10	4.13	4.08
256	4.27	4.14	4.31	4.19
ヨビ (31)	4.16	4.16	4.16	4.16
ヨビ (34)	4.16	4.19	4.14	4.10

Table A.C.5 Run-12 伝熱管真直度



管 No.	測定値差	管 No.	測定値差	管 No.	測定値差
101	0.19	121	0.10	141	0.04
102	0.08	122	0.05	142	注水伝熱管
103	0.02	123	0.03	143	0.04
104	0.06	124	0.05	144	0.06
105	0.04	125	0.02	145	0.08
106	0.03	126	0.08	146	0.06
107	0.06	127	0.04	147	0.05
108	0.05	128	0.03	148	0.07
109	0.02	129	0.04	149	0.05
110	0.03	130	0.04	150	0.03
111	0.07	131	0.06	151	0.05
112	0.06	132	0.02	152	0.02
113	0.04	133	0.05		
114	0.20	134	0.05		
115	0.02	135	0.04		
116	0.05	136	0.07		
117	0.04	137	0.08		
118	0.12	138	0.07		
119	0.03	139	0.05		
120	0.06	140	0.06		

Table A.C.6 Run-13 伝熱管真直度



管 No.	測定値差	管 No.	測定値差	管 No.	測定値差
201	0.05	221	0.02	241	0.07
202	0.05	222	0.04	242	0.05
203	0.04	223	0.06	243	0.04
204	0.08	224	0.03	244	0.06
205	0.04	225	0.03	245	0.06
206	0.05	226	0.05	246	0.04
207	0.05	227	0.06	247	0.03
208	0.04	228	0.07	248	0.15
209	0.14	229	0.03	249	0.08
210	0.06	230	0.05	250	0.08
211	0.02	231	0.02	251	0.05
212	注水伝熱管	232	0.08	252	0.05
213	0.03	233	0.06	253	0.05
214	0.15	234	0.09	254	0.07
215	0.02	235	0.05	255	0.02
216	0.08	236	0.03	256	0.06
217	0.04	237	0.05	ヨビ(31)	0.04
218	0.14	238	0.05	ヨビ(34)	0.06
219	0.07	239	0.04		
220	0.08	240	0.05		

APPENDIX D. 計測点リスト

- Table A.D.1 (a)~(c) 圧力計計測点
- Table A.D.1 (d) 圧力計, 流量計, 加速度計計測点
- Table A.D.1 (e)~(i) 熱電対計測点
- Table A.D.1 (j) レベル計, 圧力開放板破裂信号,
バルブ開閉信号

Table A. D. 1(a) 計測点リスト

(1) 圧力計

Tag No	測定対象	計測位置	計測器型式	収録機種	備考
P1101	EVカバーガス圧力	EV上鏡	PHT-15S ST研	TEAC R-570(I)	Na充填型
P1113	EV Na 中圧力	EV 胴壁, 90° FL3000	PHT-20E	↑	
P1114		↑ ↓ FL4400	↑ ↓		
P1115		90° FL5800			
P1133		270°, FL3000	↑ ↓		
P1134		FL4400			
P1135		EV 胴壁, 270°, FL5800	PHT-20E		
PK1101		試験体内, 270°, FL3330	PHD-50D		
PK1102	↑ ↓ FL3730	↑ ↓			
PK1103	EV Na 中圧力	試験体内, 270°, FL4403	PHD-50D	TEAC R-570(I)	
P1001	EV 出口配管内圧力	EV 出口端より 270mm	PHT-20E	TEAC R-570(II)	
P1201	SHカバーガス圧力	SH上鏡	PHT-15S	TEAC R-570(I)	Na充填型
P1204	SH Na 中圧力	SH 胴壁 3700	PHT-20E	↑ ↓	
P1301	IHX Na 中圧力	EV 出口端より 13,818mm	PHT-20E, ST研	TEAC R-570(I)	

Table A. D. 1 (b) 計測点リスト

Tag No	測定対象	計測位置	計測器型式	収録機種	備考			
P5001	注水配管内圧力	V 502 下流 800 mm	油冷却型 200 kg/cm ² , 共和電業	TEAC, R-570(II)				
P5003	↑	V 502 下流 800 mm	油冷却型 200 kg/cm ² , 共和電業	↑				
PK5001		EV内 Run-11用ヘッダ V 502下流 10,048 mm	PHT-200D, ST研					
PK5002		EV内 Run-12用ヘッダ V 502下流 10,237 mm	↑					
PK5003	注水配管内圧力	EV内 Run-13用ヘッダ V 502下流 10,167 mm	PHT-200D, ST研	TEAC, R-570(III)				
P5*111	加圧電熱管ガス圧力	Run-12伝熱管 No 111	PR/200B, 新興通信	TEAC, R-280(I)				
P5*112	↑	No 112	↑	↑				
P5*118		No 118						
P5*120		No 120						
P5*121		No 121						
P5*125		No 125						
P5*133		No 133						
P5*135		No 135						
P5*136		加圧伝熱管ガス圧力			Run-12伝熱管 No 136	PR/200B, 新興通信	TEAC, R-280(I)	

Table A. D. 1(c) 計測点リスト

Tag No	測定対象	計測位置	計測器型式	収録機種	備考
P5*218	↑ 加圧伝熱管入口圧力 ↓	Run-13 伝熱管 No 218	↑ PR / 200 B , 新興通信 ↓	TEAC, R-280(II)	
P5*219		No 219			
P5*224		No 224			
P5*225		No 225			
P5*226		No 226			
P5*227		No 227			
P5*230		No 230			
P5*231		No 231			
P5*233		No 233			
P5*234		No 234			
P5*238		No 238			
P5*239		No 239			
P5*240		Run-13 伝熱管 No 240			

Table A. D. 1 (d) 計測点リスト

Tag No	測定対象	計測位置	計測器型式	収録機種	備考
P 6101	RT 内 圧 力	RT 上 部	PHT-15 S , S T 研	TEAC, R-570 (Ⅱ)	
P 6031	放出系配管内圧力	RD 601より 412 mm	↑	↑	
P 6037	放出系配管内圧力	RD 601より 7,295 mm	PHT-15 S , S T 研	TEAC, R-570 (Ⅱ)	
P 111	EV カバーガス圧力	EV上部よりベーパートラップを介して	E 11 Gd/Pセル 6334-0620/ELSP 横河電機	HP 2116 C	
P 121	SH カバーガス圧力	SH上部よりベーパートラップを介して	6334-0520/ELSP	↑	
P 511	WH 内 圧 力	WH 上 部	6335-0220	↑	
P 611	RT 内 圧 力	RT上部よりベーパートラップを介して	6334-0520/ELSP 横河電機	HP 2116 C	

(2) 流量計

F 101	2次系のNa流量	IHX → SHの2B配管 (HV出口端から 31,372 mm)	電磁流量計 FM2B-400型, MAPI	HP 2116 C	
F 5001	注 水 率	V 502 上 流 1215 mm	ポッターメータ P10012F-5L2A-HX トキコ社	TEAC, R-570 (Ⅱ)	

(3) 加速度計

A 1111	Na-水反応音響	EV 胴 壁 270°		↑	
A 1112		EV 胴 壁 270°		↑	
A 1123	Na-水反応音響	EV 胴 壁 90° FL 3000	ピエゾトロン 815A5, KISTLER社	AMPEX FR2000	
A 1124	↑	EV 胴 壁 90° FL 4400	↑	↑	
A 1125	Na-水反応音響	EV 胴 壁 90° FL 5800	ピエゾトロン 815A5, KISTLER社	↓	

Table A. D. 1(e) 計測点リスト

(4) 熱電対

Tag No	測定対象	計測位置	計測器型式	収録機種	備考
T1131	伝熱管近傍の温度	Run-12用伝熱管 No.132, 180°	C.A非接地型1.0φ SUS316シース型 JIS 0.75級 助川電気 Nimblox	HP 2116C	
T1132		No.124, 90°			
T1133		No.117, 90°			
T1134		No.110, 90°			
T1135		No.110, 180°			
T1136		No.141, 270°			
T1137		No.133, 180°			
T1138		No.133, 270°			
T1139		No.125, 270°			
T1140		No.125, 0°			
T1141		No.118, 90°			
T1142		No.118, 180°			
T1143		No.111, 90°			
T1144		No.119, 0°			
T1145		Run-12用伝熱管 No.119, 90°			

Table A. D. 1(f) 計測点リスト

Tag No	測定対象	計測位置	計測器型式	収録機種	備考
T1146	伝熱管近傍の温度	Run-12 伝熱管 No 119, 180°	C.A非接地型1.0φ SUS316 シース型 JIS0.75級 助川電気 Nimblox	HP 2116 C	
T1147		No 126, 180°			
T1148		No 126, 270°			
T1149		No 134, 90°			
T1150		↓ 180°			
T1151		No 134, 270°			
T1152		No 135, 0°			
T1153		No 127, 0°			
T1154		No 127, 90°			
T1155		No 120, 0°			
T1156		No 120, 90°			
T1157		No 112, 90°			
T1158		No 128, 0°			
T1159		No 128, 90°			
T1160		Run-12 伝熱管 No 121, 0°			

Table A. D. 1(g) 計測点リスト

Tag No	測定対象	計測位置	計測器型式	収録機種	備考
T1161	伝熱管近傍の温度	Run-13用 伝熱管 No 212, 0°	C. A非接地型1.0φ SUS316シース型 JIS 0.75級 助川電気 Ninblox	HP 2116C	
T1162		No 217, 90°			
T1163		No 217, 180°			
T1164		No 218, 90°			
T1165		No 218, 270°			
T1166		No 219, 90°			
T1167		No 219, 270°			
T1168		No 220, 90°			
T1169		No 223, 90°			
T1170		No 224, 90°			
T1171		No 224, 180°			
T1172		No 225, 90°			
T1173		No 225, 270°			
T1174		No 226, 90°			
T1175		Run-13用 伝熱管 No 226, 270°			

Table A.D. 1(h) 計測点リスト

Tag No	測定対象	計測位置	計測器型式	収録機種	備考
T1176	伝熱管近傍の温度	Run-13 伝熱管 No 227, 270°	C.A非接地型1.0φ SUS316シース型 JIS 0.75級 助川電気 Nimblox	HP 2116 C	
T1177		No 230, 270°			
T1178		No 231, 180°			
T1179		No 231, 270°			
T1180		No 232, 0°			
T1181		180°			
T1182		No 232, 270°			
T1183		No 233, 0°			
T1184		270°			
T1185		No 238, 180°			
T1186		No 238, 270°			
T1187		No 239, 270°			
T1188		No 240, 0°			
T1189		No 240, 270°			
T1190	Run-13 伝熱管 No 246, 180°				

Table A. D. 1(i) 計測点リスト

Tag No	測定対象	計測位置	計測器型式	収録機種	備考
T1001	EV 出口配管内温度	EV出口端より 270 mm	C.A非接地型 3.2φシース型 JIS0.75級 助川電気 Nimblox	↑ HP 2116C ↓	
T1013	SH→EV配管内温度	EV入口端より 2,509 mm	3.2φ		
T1014	EV 入口配管内温度	EV入口端より 1,000 mm	3.2φ		
T1201	SH 内 温 度	FL4400	1.6φ		
T6031	放出系配管内温度	RD601より 412 mm	3.2φ		
T6035	放出系配管内温度	RD601より 7,259 mm	3.2φ		
T6101	RT 内 温 度	RT 上 部	1.6φ		
T6103	↑ ↓	RT 上 部	1.6φ		
T6104		RT 中 部	1.6φ		
T6105		RT 内 温 度	RT 中 部		C.A非接地型 1.6φシース型 JIS0.75級 助川電気 Nimblox
T5101	WH 内 温 度	WH 底 部	スプリング圧着ウェル式 4.8φ		
T5001	注水配管内温度	V502 上 流 1,185 mm	C.A非接地型 1.6φシース型 JIS0.75級 助川電気 Nimblox		
TK5001	↑ ↓	EV内 Run-10用ヘッダ V502下流 12,202mm	C.A非接地型 1.6φシース型 JIS0.75級 助川電気 Nimblox		
TK5002		EV内 Run- 8用ヘッダ V502下流 10,079mm	↓		
TK5003		注水配管内温度	EV内 Run- 9用ヘッダ V502下流 10,199mm	C.A非接地型 1.6φシース型 JIS0.75級 助川電気 Nimblox	

Table A. D. 1(j) 計測点リスト

Tag No	測定対象	計測位置	計測器型式	収録機種	備考
T 111	EV 内 温 度	EV 液面直下 (FL 5940)	↑ C.A非接地型 4.8φシース型 JIS 0.75級 助川電気 ↓	HP 2116 C	
T 121	SH 内 温 度	SH 液面直下 (FL 5900)		HP 2116 C	
T 511	WH 内 温 度	WH 中 央 (FL 8014)		HP 2116 C	
T 611	RT 内 温 度	RT 下 部 (FL 11684)		HP 2116 C	

(5) レベル計

L 1101	EV の Na レベル	100° , 500 R	誘導型連続式, 助川電気 ↑ ↓	HP 2116 C ↑ ↓	
L 1102	↑	260° , 500 R			
L 111	EV の Na レベル	285° , 615 R			
L 121	SH の Na レベル	SH 内	誘導型連続式, 助川電気 ↓ 差圧式 6362-2220/ELSP-E23 横河電機	HP 2116 C ↓	
L 511	WH の水のレベル	WH 内			

(6) 圧力解放板破裂信号

D 6001	EV のラプチャ板 RD 601	RD 601	} ラプチャ板外側の銅線の切断又は 接地を検知。	HP 2116 C	
D 6002	SH の " RD 602	RD 602		HP 2116 C	
D 6003	RT の " RD 603	RD 603		HP 2116 C	

(7) バルブ開放信号

V 591	Run-13 注水弁	V 591	↑ ↓	HP 2116 C	
V 592	Run-12 注水弁	V 592		HP 2116 C	
V 593	Run-11 注水弁	V 593		HP 2116 C	
V 502	Run-11~13 注水止め弁	V 502		HP 2116 C	
V 603	収納容器バイパス弁	V 603		HP 2116 C	

APPENDIX E. DDCでの運転制御用データの収録

Table A.E. 1	予熱制御用熱電対
Table A.E. 2	Run-11 試験直前のHOUR LOG
Table A.E. 3	Run-11 試験時のMINUTE LOG
Table A.E. 4	Run-11 試験直後のHOUR LOG
Table A.E. 5	Run-12 試験直前のHOUR LOG
Table A.E. 6	Run-12 試験時のMINUTE LOG
Table A.E. 7	Run-12 試験直後のHOUR LOG
Table A.E. 8	Run-13 試験直前のHOUR LOG
Table A.E. 9	Run-13 試験時のMINUTE LOG
Table A.E. 10	Run-13 試験直後のHOUR LOG

DDCでの運転制御用データの収録

本試験では Appendix B で挙げた計測点のほかに、運転制御用の計測点^{注)}も多数あり、これらはミニコン YODIC-100 による試験装置の運転制御 (DDC: Direct Digital Computer Control) に使われ、また同時に毎時ごとなどのデータが取込まれる。

以下に各試験前後の HOUR LOG の値及び試験時の MINUTE LOG (30秒ごと) の値を添付する。T001~T100 以外の圧力・温度・バルブ等の取付位置は本文の Fig 2.2.2 を参照のこと。また T001~T099 は予熱制御用の配管・容器壁に設けられた熱電対である。取付位置は下表に示す。

Table A. C. 1 予熱制御用電熱対

TagNo	場 所	TagNo	場 所	TagNo	場 所	TagNo	場 所
T001	V101	T026	分岐点~EC (2B管)	T051	V301(EV) ドレンライン	T076	水加熱器 (WH)
T002	V102	T027	EC~CT (2B管)	T052	V302(EV) バイパスライン	T077	
T003	V103	T028	CT~EC (2B管)	T053	V303 チャージライン	T078	
T004	V104	T029	EC~合流点 (2B管)	T054	CT ドレンライン	T079	
T005	EV~V101 (8B管)	T030	ECバイパス	T055	RT ドレンライン	T080	
T006	V101~IHX (2B管)	T031	F201	T056	DT チャージライン	T081	
T007	分岐点~MH (2B管)	T032	PM 入口管	T057	V351(SH) ドレンライン	T082	
T008	MH~分流点 (2B管)	T033	PM 戻り管	T058	PM ドレンライン	T083	
T009	SH~EV (8B管)	T034	プラグ計 (PM)	T059	ダンプタンク (DT)	T084	
T010	IHX~SH (2B管)	T035		T060		T085	放出系弁 V602
T011	F101	T036	コールドトラップ (CT)	T061		T086	RD601
T012	蒸発器 (EV)	T037		T062		T087	RD602
T013		T038		T063		T088	EV~合流点放出系配管
T014		T039		T064		T089	合流点~RT放出系配管
T015		T040		T065		T090	放出系配管ベロー (12B)
T016		T041		T067	T091	SH~合流点放出系配管	
T017	過熱器 (SH)	T042		T068	T092	EVバイパス2B放出管	
T018		T043	エコノマイザ (EC)	T069	水注入弁 V501	T093	SHバイパス2B放出管
T019		T044	V301	T070	水注入弁 V502	T094	収納容器 (RT)
T020	中間熱交換器 (IHX)	T045	V302	T071	注 水 配 管	T095	
T021	Na 加熱器 (MH)	T046	V303	T072	注 水 配 管	T096	
T022	Na ポンプ (MP)	T047	V304	T073	水流量計 (F5001)	T097	
T023	V201	T048	V305	T074	注 水 配 管	T098	
T024	V202	T049	V306	T075	WH ガス加圧ライン	T099	
T025	V203	T050	V351			T110	

注) 一般の計測データの Tag No を 4 桁で表示するのに対し、運転制御用の計測点 Tag No は 3 桁で表わす。
(ex. P111 : P1101)

Table A.E.1 Run-11試験直前の HOUR LOG

DATE 5/22/55 PAGE 1

14.28.4 HOUR LOG

P101	P111	P121	P311	P400	P401	P501	P511	P519	P611	L111	L121	L311	L511	L611	F101	F201														
1.07	0.5	0.50	0.50	2.5	0.01	-1	149	149	0.51	3.20	1.95	0.76	0.87	0.00	0.0	0.07														
T001	T002	T003	T004	T005	T006	T007	T008	T009	T010	T011	T012	T013	T014	T015	T016	T017	T018	T019	T020	T021	T022	T023	T024	T025						
319	306	304	304	308	306	302	299	303	304	331	321	326	323	320	322	317	324	323	302	320	337	297	299	304						
T026	T027	T028	T029	T030	T031	T032	T033	T034	T035	T036	T037	T038	T039	T040	T041	T042	T043	T044	T045	T046	T047	T048	T049	T050						
299	277	273	301	310	330	294	315	284	309	304	285	275	269	260	252	181	283	425	415	353	243	355	354	341						
T051	T052	T053	T054	T055	T056	T058	T057	T059	T060	T061	T062	T063	T064	T065	T066	T067	T068	T069	T070	T071	T072	T073	T074	T075						
424	403	349	357	418	347	349	352	264	263	265	267	264	267	253	27	242	600	339	347	323	319	344	334	332						
T076	T077	T078	T079	T080	T081	T082	T083	T084	T085	T086	T087	T088	T089	T090	T091	T092	T093	T094	T095	T096	T097	T098	T099	T101						
337	341	342	331	330	291	329	295	304	302	304	297	301	271	295	292	271	270	330	338	334	344	344	379	334						
T102	T103	T111	T121	T131	T141	T151	T152	T153	T211	T212	T213	T214	T215	T311	T312	T401	T402	T403	T404	T405	T406	T501	T502	T503						
332	334	336	333	333	334	352	78	294	293	275	262	246	226	279	275	336	195	111	31	35	28	326	327	331						
T504	T505	T506	T507	T508	T509	T510	T511	T611																						
333	387	342	28	340	342	400	341	375																						
V101	V102	V103	V104	V151	V152	V201	V202	V203	V301	V302	V303	V304	V305	V306	V352	V401	V402	V403	V404	V405	V406	V407	V408	V409						
OPN	CLS	0%	100%	OPN	OPN	OPN	100%	OPN	CLS	CLS	1%	0%	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS						
V411	V412	V413	V421	V422	V423	V424	V501	V502	V503	V504	V505	V506	V507	V508	V509	V601	V602	V603												
CLS	CLS	CLS	OPN	CLS	CLS	CLS	OPN	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	0%												
MI	MP	F1P	FCT	VP	MPVR	MPVR	DCT	IS04	ED4P																					
OFF	OFF	ON	OFF	OFF	0%	0%	OFF	OFF	OFF																					
Z104	Z103	Z202	Z303	Z304	Z603	D601	D602	Z603	L141																					
OPN	CLS	OPN	CLS	CLS	CLS	ON	ON	ON	ON																					
T100	T801	T002	T003	T804	T005	T006	T007	T301	T302	T303	T304																			
720	92	335	331	282	304	334	333	425	415	353	341																			
ADCU OFF																														

-175-

Table A.E.3 Run-11 試験直後の HOUR LOG

DATE 5/22/55 PAGE 1

14.54.45 HOUR LOG																										
P101	P111	P121	P311	P400	P401	P501	P511	P519	P611	L111	L121	L311	L511	L611	F101	F201										
-0.05	0.5	0.49	0.49	3.9	0.01	115	143	143	0.50	3.20	1.95	0.77	0.85	0.00	0.0	0.00										
T001	T002	T003	T004	T005	T006	T007	T008	T009	T010	T011	T012	T013	T014	T015	T016	T017	T018	T019	T020	T021	T022	T023	T024	T025		
276	276	270	284	302	279	279	279	299	278	302	316	321	323	319	316	312	322	320	299	315	298	271	272	276		
T026	T027	T028	T029	T030	T031	T032	T033	T034	T035	T036	T037	T038	T039	T040	T041	T042	T043	T044	T045	T046	T047	T048	T049	T050		
283	274	269	285	288	273	233	270	204	253	294	283	269	264	253	241	193	278	365	364	297	197	309	304	290		
T051	T052	T053	T054	T055	T056	T058	T057	T059	T060	T061	T062	T063	T064	T065	T066	T067	T068	T069	T070	T071	T072	T073	T074	T075		
335	384	319	336	397	281	288	321	259	262	265	266	263	266	202	29	218	600	299	325	275	298	317	307	283		
T076	T077	T078	T079	T080	T081	T082	T083	T084	T085	T086	T087	T088	T089	T090	T091	T092	T093	T094	T095	T096	T097	T098	T099	T101		
335	338	339	329	327	291	326	249	267	236	296	292	294	259	291	287	251	255	328	337	334	344	344	379	303		
T102	T103	T111	T121	T131	T141	T151	T152	T153	T211	T212	T213	T214	T215	T311	T312	T401	T402	T403	T404	T405	T406	T501	T502	T503		
310	331	335	332	324	332	302	63	258	291	275	255	237	225	277	274	336	136	109	31	35	29	2-	292	255		
T504	T505	T506	T507	T508	T509	T510	T511	T611																		
293	338	339	374																							
V101	V102	V103	V104	V151	V152	V201	V202	V203	V301	V302	V303	V304	V305	V306	V352	V401	V402	V403	V404	V405	V406	V407	V408	V409		
CLS	CLS	0%	100%	OPN	OPN	OPN	100%	OPN	CLS	CLS	1%	0%	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS		
V411	V412	V413	V421	V422	V423	V424	V501	V502	V503	V504	V505	V506	V507	V508	V509	V601	V602	V603								
CLS	CLS	CLS	OPN	CLS	CLS	CLS	OPN	OPN	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	OPN	OPN	0%								
MH	MP	FMP	FCT	VP	MHVR	MPVR	DCT	IS04	EDMP																	
OFF	OFF	ON	OFF	OFF	0%	0%	OFF	OFF	OFF																	
Z104	Z103	Z202	Z303	Z304	Z603	D601	D602	D603	L141																	
OPN	CLS	OPN	CLS	CLS	CLS	OFF	ON	ON	ON																	
T100	T801	T802	T803	T804	T805	T806	T807	T301	T302	T303	T304															
720	93	333	325	278	302	330	328	365	364	297	290															
ADCT																										
OFF																										

Table A.E.5 Run-12試験中のMINUTE LOG

DATE 5/22/55 PAGE 1

16. 6. 9 MINUTE LOG

	L111	L121	L511	P111	P121	P101	P511	T111	T121	T511	T801	T802	T803	T804	T805	T806	T807	TC05	TC14	TC45	TC51	TC52	TC56	TC74
6.10	3.20	1.96	0.84	0.4	0.45	0.77	151	333	328	342	96	329	321	274	297	322	314	288	381	372	402	366	280	308
6.40	3.20	1.96	0.84	0.4	0.45	0.73	151	333	328	343	96	329	321	274	297	322	314	288	380	371	401	366	278	307
7.10	3.19	1.96	0.84	0.4	0.45	0.70	151	333	328	342	96	329	321	274	297	322	314	287	378	370	400	365	276	307
7.40	3.19	1.96	0.84	0.4	0.45	0.67	151	333	328	342	96	329	321	274	297	322	314	287	378	369	399	365	274	307
8.10	3.20	1.96	0.84	0.4	0.44	0.64	151	333	328	342	96	329	321	274	297	322	314	287	376	368	398	365	273	307
8.40	3.20	1.96	0.84	0.4	0.44	0.61	151	333	328	343	96	329	321	274	297	322	314	287	375	367	398	364	270	307
9.10	3.14	2.16	0.83	0.5	0.52	0.58	150	333	328	342	96	330	321	274	297	322	314	287	375	365	397	364	302	307
9.40	3.15	2.10	0.82	0.6	0.58	0.56	150	336	327	343	96	329	321	274	297	322	314	287	374	365	396	364	325	306
10.10	3.20	2.09	0.81	0.7	0.71	0.53	150	338	327	342	96	329	320	274	297	322	314	287	372	364	396	364	328	305
10.40	3.16	2.22	0.78	0.9	0.92	0.51	140	345	327	342	96	330	321	274	297	321	314	286	372	363	395	363	328	304
11.10	3.17	2.18	0.75	1.0	0.97	0.49	148	352	327	341	96	330	321	274	297	321	314	286	371	362	394	363	321	302
11.40	3.01	1.99	0.69	1.0	1.04	0.46	147	370	325	341	97	332	321	274	297	321	314	286	370	361	393	362	306	298
12.10	3.01	1.92	0.70	0.8	0.85	0.44	147	375	323	340	96	335	323	274	298	321	317	286	360	360	393	362	293	295

Table A.E.6 Run-12 試験直後の HOUR LOG

DATE 5/22/55 PAGE 1

16.12.40 HOUR LOG

P101	P111	P121	P311	P400	P401	P501	P511	P519	P611	L111	L121	L311	L511	L611	F101	F201														
0.42	0.8	0.84	0.48	4.0	0.02	115	147	147	0.86	3.00	1.93	0.80	0.69	0.00	0.0	0.00														
T001	T002	T003	T004	T005	T006	T007	T008	T009	T010	T011	T012	T013	T014	T015	T016	T017	T018	T019	T020	T021	T022	T023	T024	T025						
209	225	202	216	286	223	201	242	288	225	249	305	314	334	324	312	303	317	313	283	302	206	235	213	223						
T026	T027	T028	T029	T030	T031	T032	T033	T034	T035	T036	T037	T038	T039	T040	T041	T042	T043	T044	T045	T046	T047	T048	T049	T050						
247	237	235	245	226	231	130	188	87	139	272	269	258	253	240	229	191	252	368	359	310	210	319	301	216						
T051	T052	T053	T054	T055	T056	T058	T057	T059	T060	T061	T062	T063	T064	T065	T066	T067	T068	T069	T070	T071	T072	T073	T074	T075						
392																														
T076	T077	T078	T079	T080	T081	T082	T083	T084	T085	T086	T087	T088	T089	T090	T091	T092	T093	T094	T095	T096	T097	T098	T099	T101						
342	346	350	340	339	306	334	251	259	198	295	299	279	241	292	262	244	213	323	334	332	339	341	371	234						
T102	T103	T111	T121	T131	T141	T151	T152	T153	T211	T212	T213	T214	T215	T311	T312	T401	T402	T403	T404	T405	T406	T501	T502	T503						
261	373	379	323	307	323	208	53	194	276	263	241	226	217	271	272	336	198	95	30	35	29	290	290	290						
T504	T505	T506	T507	T508	T509	T510	T511	T611																						
293	332	300	29	303	303	322	341	366																						
V101	V102	V103	V104	V151	V152	V201	V202	V203	V301	V302	V303	V304	V305	V306	V352	V401	V402	V403	V404	V405	V406	V407	V408	V409						
CLS	CLS	0%	100%	OPN	OPN	OPN	100%	OPN	CLF_YS	1%	0%	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS							
V411	V412	V413	V421	V422	V423	V424	V501	V502	V503	V504	V505	V506	V507	V508	V509	V601	V602	V603												
CLS	CLS	CLS	OPN	CLS	CLS	CLS	OPN	OPN	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	OPN	OPN	0%												
MH	MP	MIP	PCI	VP	MHVR	MPVR	DCT	IS04	EDMP																					
OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	0%	0%	OFF	OFF	OFF																					
Z104	Z103	Z202	Z303	Z304	Z603	D601	D602	D603	L141																					
OPN	CLS	OPN	CLS	CLS	CLS	ON	ON	ON	ON																					
T100	T801	T802	T803	T804	T805	T806	T807	T301	T302	T303	T304																			
720	97	337	324	274	298	322	316	368	359	310	216																			
ADCE																														
OFF																														

Table A.E.7 Run-13 試験直前の HOUR LOG

DATE 5/22/55 PAGE 1

17. C. C HOUR LOG

P101 0.85	P111 0.4	P121 0.46	P311 0.47	P400 4.3	P401 0.02	P501 -1	P511 150	P519 150	P611 0.47	L111 3.04	L121 1.94	L311 0.82	L511 0.69	L611 0.00	F101 0.0	F201 0.00																	
T001 189	T002 205	T003 174	T004 186	T005 278	T006 198	T007 175	T008 227	T009 283	T010 200	T011 240	T012 304	T013 316	T014 359	T015 338	T016 322	T017 300	T018 312	T019 309	T020 273	T021 296	T022 176	T023 206	T024 187	T025 194									
T026 226	T027 217	T028 219	T029 225	T030 208	T031 194	T032 100	T033 152	T034 177	T035 106	T036 262	T037 262	T038 250	T039 246	T040 234	T041 223	T042 188	T043 241	T044 410	T045 392	T046 348	T047 240	T048 353	T049 352	T050 188									
T051 420	T052 350	T053 348	T054 350	T055 357	T056 297	T058 301	T057 218	T059 248	T060 252	T061 262	T062 262	T063 255	T064 262	T065 199	T066 29	T067 177	T068 279	T069 302	T070 306	T071 281	T072 285	T073 311	T074 275	T075 263									
T076 344	T077 348	T078 347	T079 343	T080 340	T081 316	T082 339	T083 285	T084 303	T085 233	T086 302	T087 297	T088 280	T089 245	T090 301	T091 261	T092 246	T093 213	T094 320	T095 332	T096 329	T097 336	T098 337	T099 368	T101 209									
T102 240	T103 366	T111 372	T121 321	T131 296	T141 316	T151 177	T152 60	T153 167	T211 267	T212 255	T213 235	T214 221	T215 213	T311 268	T312 271	T401 336	T402 196	T403 87	T404 30	T405 36	T406 29	T501 298	T502 298	T503 299									
T504 301	T505 316	T506 311	T507 30	T508 310	T509 315	T510 267	T511 343	T611 362																									
V101 CLS	V102 CLS	V103 100%	V104 100%	V151 OPN	V152 OPN	V201 OPN	V202 100%	V203 OPN	V301 CLS	V302 CLS	V303 1%	V304 0%	V305 CLS	V306 CLS	V352 CLS	V401 CLS	V402 CLS	V403 CLS	V404 CLS	V405 CLS	V406 CLS	V407 CLS	V408 CLS	V409 CLS									
V411 CLS	V412 CLS	V413 CLS	V421 OPN	V422 CLS	V423 CLS	V424 CLS	V501 CLS	V502 CLS	V503 CLS	V504 CLS	V505 CLS	V506 CLS	V507 CLS	V508 CLS	V509 CLS	V601 OPN	V602 OPN	V603 0%															
MH OFF	MP OFF	FHP OFF	FCT OFF	VP OFF	MHVR 0%	MPVR 0%	DCT OFF	IS04 OFF	EDMP OFF																								
Z104 OPN	Z103 OPN	Z202 OPN	Z303 CLS	Z304 CLS	Z603 CLS	D601 ON	D602 ON	D603 ON	L141 ON																								
T800 720	T801 105	T802 343	T803 333	T804 281	T805 308	T806 320	T807 306	T801 410	T802 392	T803 348	T804 188																						
ADCT OFF																																	

Table A.E.9 Run-13 試験直後の HOUR LOG

DATE 5/22/55 PAGE 1

17.31.19 HOUR LOG

P101	P111	P121	P311	P400	P401	P501	P511	P519	P611	L111	L121	L311	L511	L611	F101	F201														
0.31	0.4	0.42	0.46	4.3	0.02	-CC	C.C	0.00																						
T001	T002	T003	T004	T005	T006	T007	T008	T009	T010	T011	T012	T013	T014	T015	T016	T017	T018	T019	T020	T021	T022	T023	T024	T025						
180	196	159	169	273	184	157	218	277	185	235	303	314	356	338	321	290	311	307	266	292	158	190	171	180						
T026	T027	T028	T029	T030	T031	T032	T033	T034	T035	T036	T037	T038	T039	T040	T041	T042	T043	T044	T045	T046	T047	T048	T049	T050						
210	206	208	213	196	167	150	196	190	187	256	257	246	242	230	220	186	234	421	405	350	253	349	341	172						
T051	T052	T053	T054	T055	T056	T058	T057	T059	T060	T061	T062	T063	T064	T065	T066	T067	T068	T069	T070	T071	T072	T073	T074	T075						
424	359	342	347	352	337	320	200	246	250	261	261	254	262	198	29	207	378	333	336	308	295	334	279	267						
T076	T077	T078	T079	T080	T081	T082	T083	T084	T085	T086	T087	T088	T089	T090	T091	T092	T093	T094	T095	T096	T097	T098	T099	T101						
350	344	346	353	356	333	355	297	293	259	304	301	284	251	304	266	249	223	319	330	327	334	335	365	194						
T102	T103	T111	T121	T131	T141	T151	T152	T153	T211	T212	T213	T214	T215	T311	T312	T401	T402	T403	T404	T405	T406	T501	T502	T503						
229	364	369	320	288	312	159	62	151	262	251	231	218	211	266	270	337	198	89	30	35	29	313	314	316						
T504	T505	T506	T507	T508	T509	T510	T511	T611																						
316	312	319	29	316	316	233	342	358																						
V101	V102	V103	V104	V151	V152	V201	V202	V203	V301	V302	V303	V304	V305	V306	V352	V401	V402	V403	V404	V405	V406	V407	V408	V409						
OPN	CLS	100%	100%	OPN	OPN	OPN	100%	OPN	CLS	CLS	1%	0%	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS							
V411	V412	V413	V421	V422	V423	V424	V501	V502	V503	V504	V505	V506	V507	V508	V509	V601	V602	V603												
CLS	CLS	CLS	OPN	CLS	CLS	CLS	OPN	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	CLS	0%												
MH	MP	FMP	FCT	VP	MHVR	MPVR	DCT	IS04	EDMP																					
OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	0%	0%	OFF	OFF	OFF																					
Z104	Z103	Z202	Z303	Z304	Z603	D601	D602	D603	L141																					
OPN	OPN	OPN	CLS	CLS	CLS	ON	ON	ON	ON																					
T100	T801	T802	T803	T804	T805	T806	T807	T301	T302	T303	T304																			
120	109	343	333	281	307	321	301	421	405	350	172																			
ADCT																														
OFF																														

APPENDIX F. 注水試験運転のシーケンス・フロー

Fig. A.1 (a)~(g) 注水試験運転のシーケンス・フロー

SWAT-3 注水試験操作要領
Run-11.12.13

1980年5月22日(木)

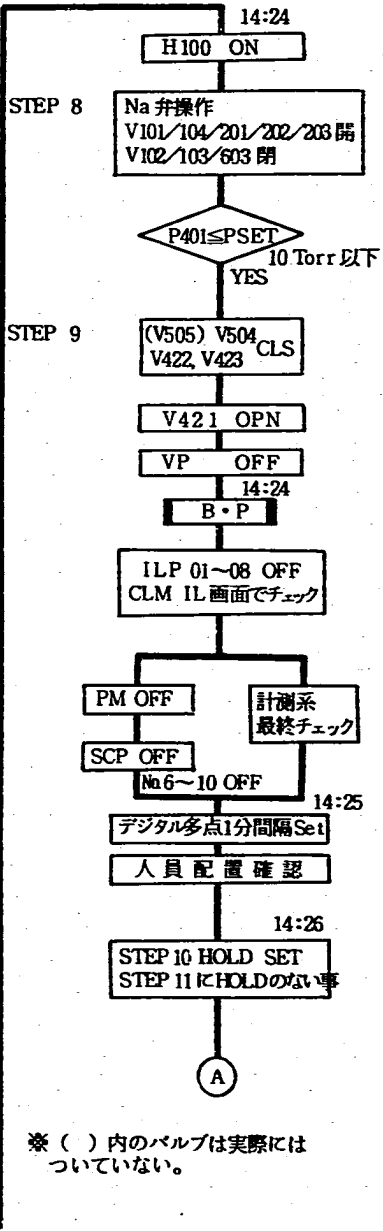
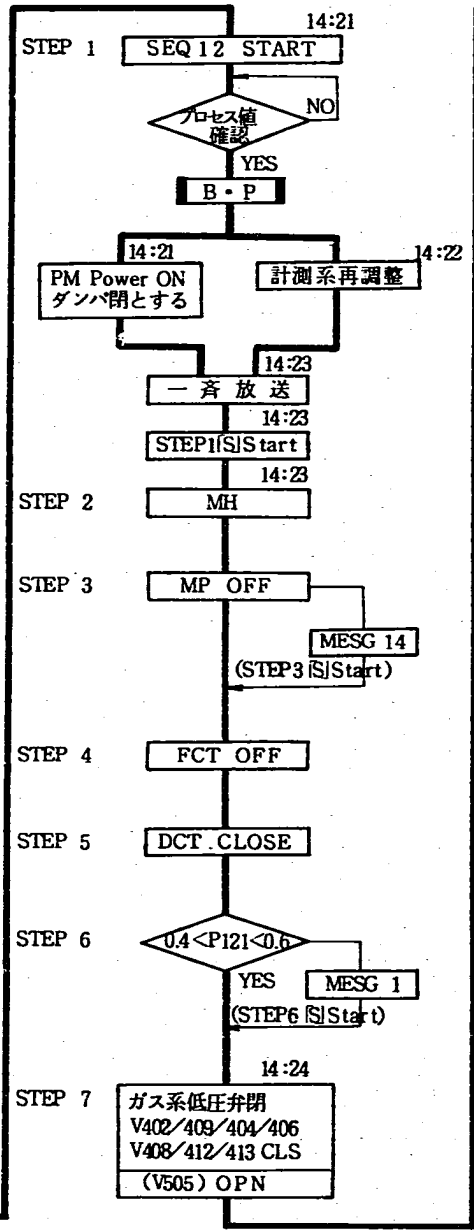
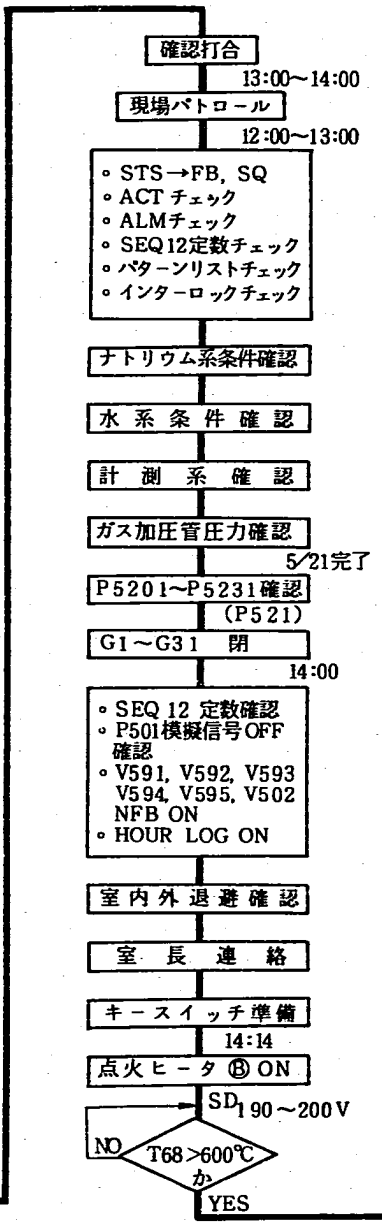
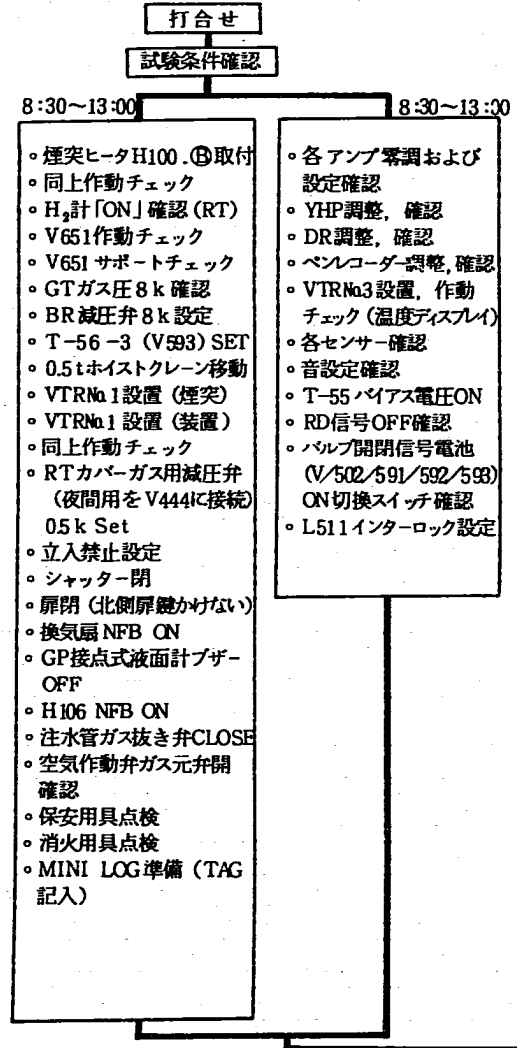


Fig. A. F. 1 (a) 注水試験運転のシーケンス・フロー

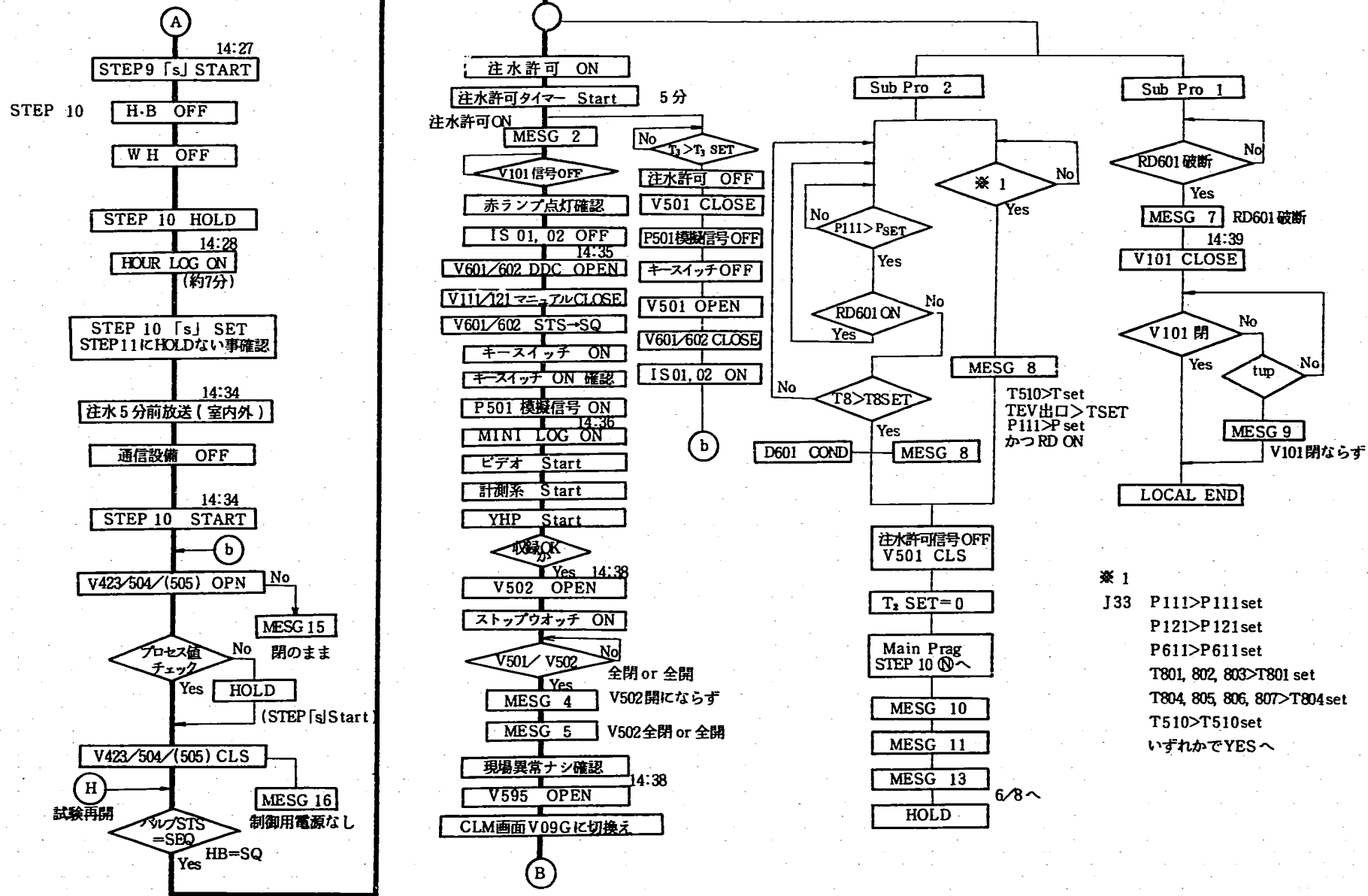


Fig. A.F.1(b) 注水試験運転のシーケンス・フロー

H15G
H16G
B008=300°C

FB H-13G
H-14G
H-09G
H-10G
H-12G(H056FB)

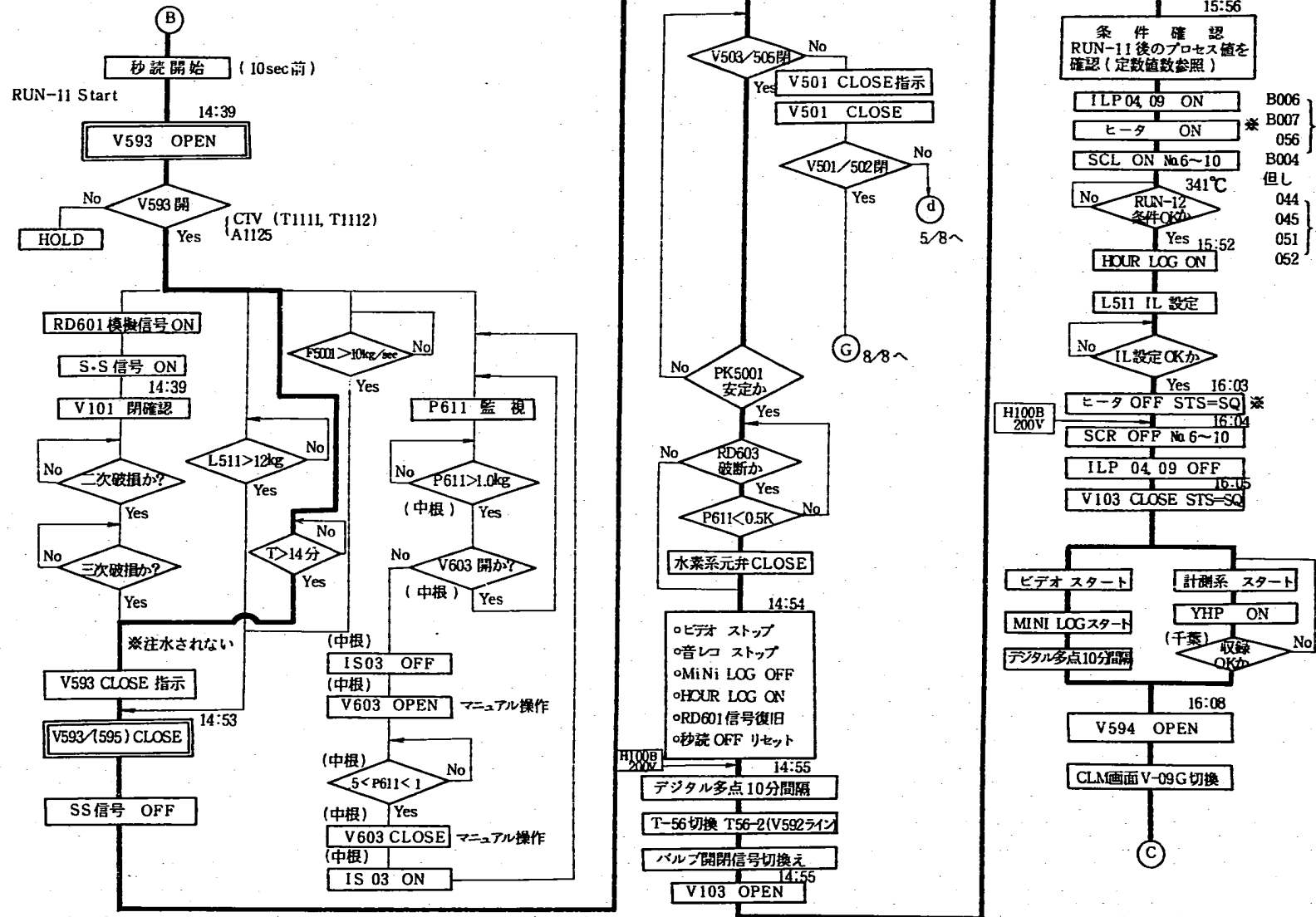


Fig. A.F.1(c) 注水試験運転のシーケンス・フロー

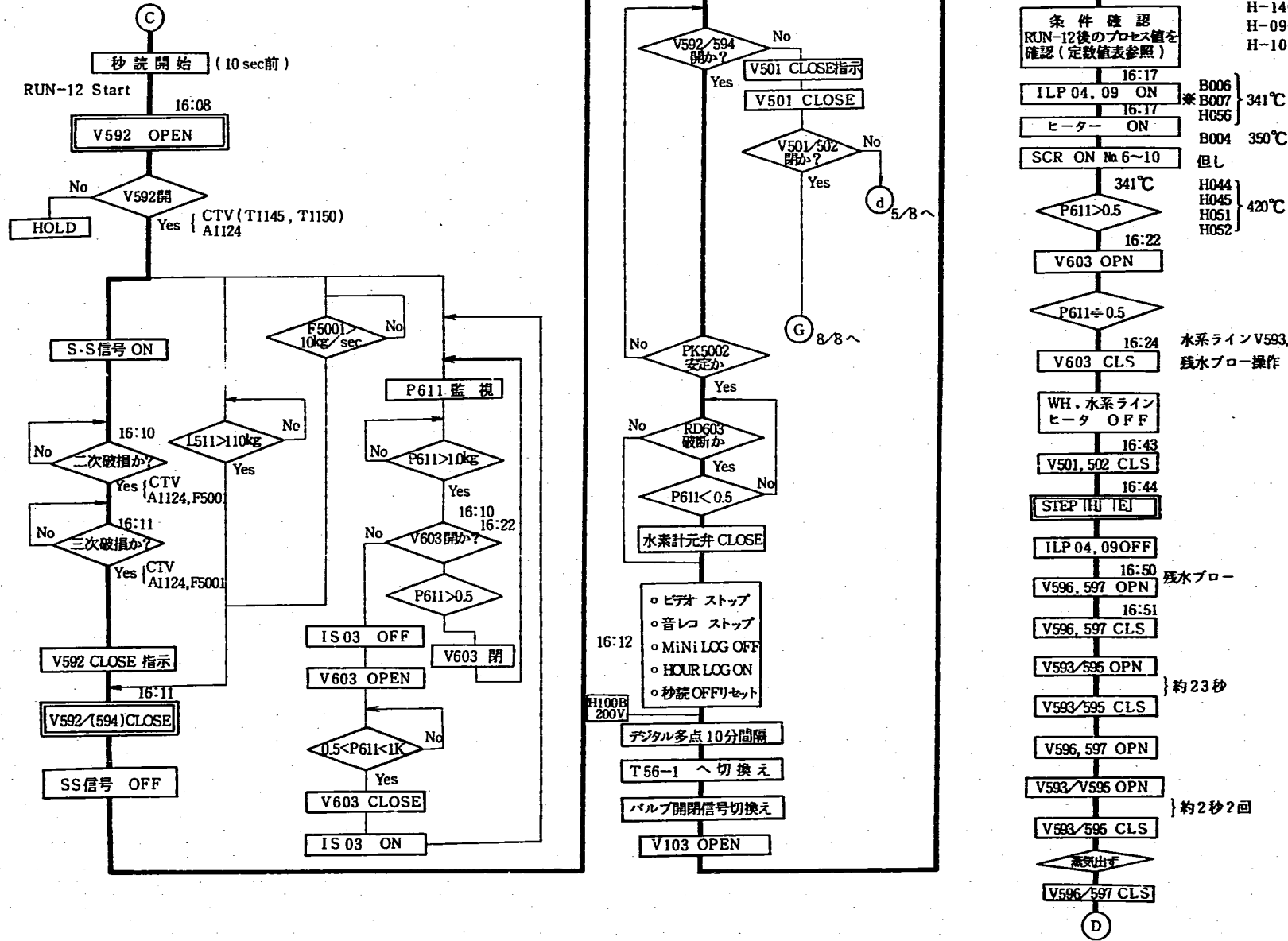


Fig. A.F.1(d) 注水試験運転のシーケンス・フロー

確認
チェックのみ

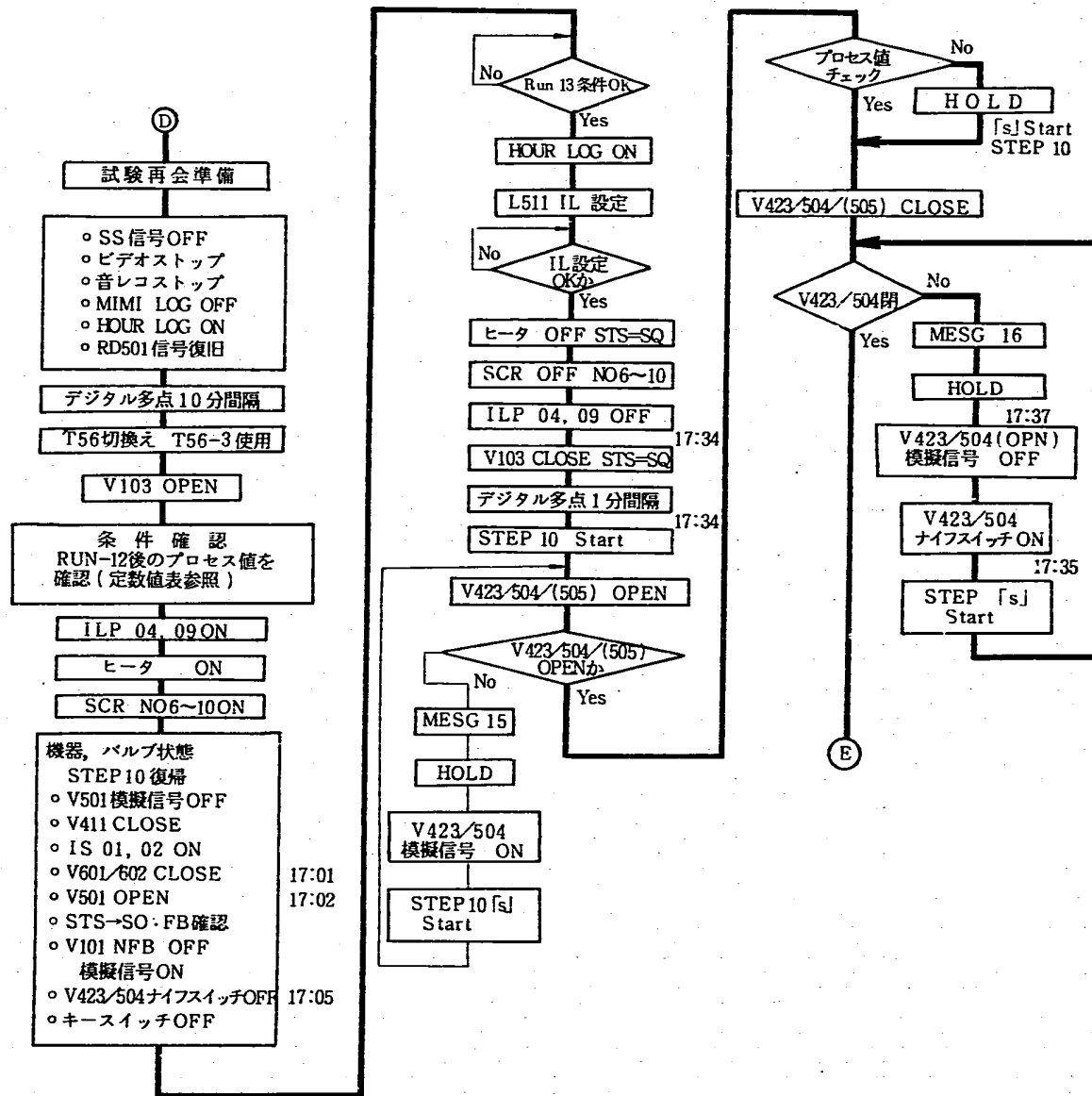


Fig. A.F.1(e) 注水試験運転のシーケンス・フロー

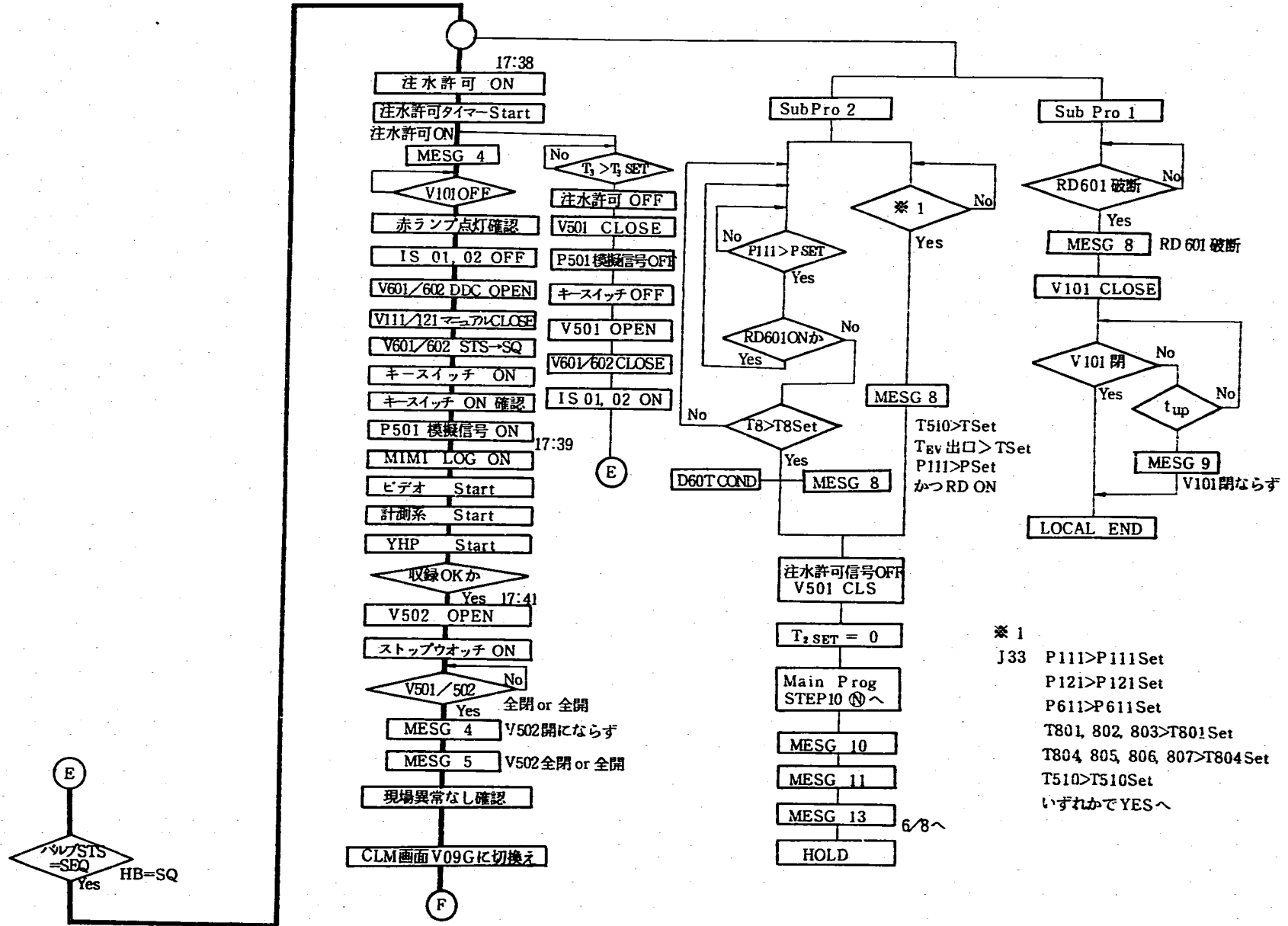


Fig. A.F.1(f) 注水試験運転のシーケンス・フロー

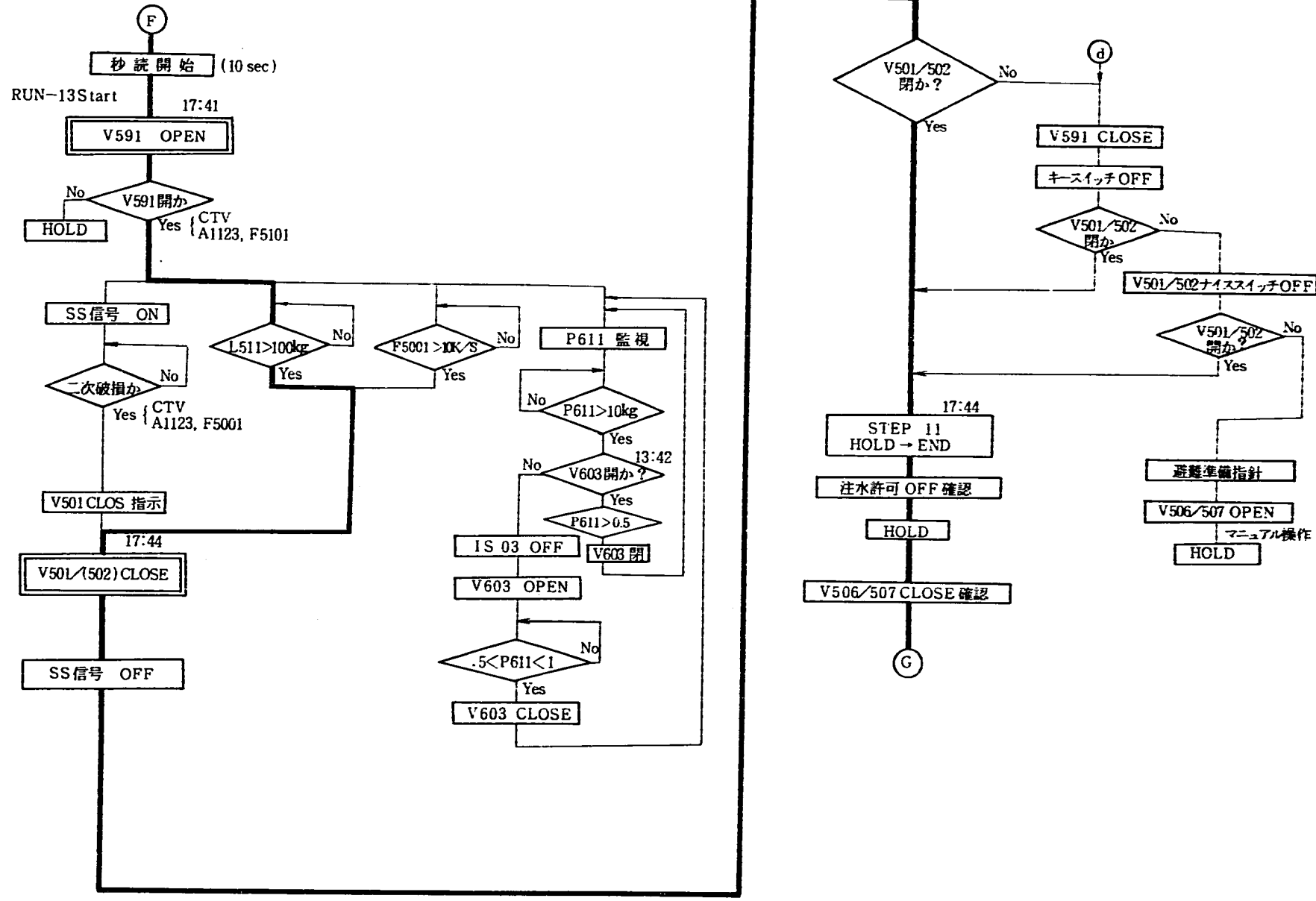


Fig. A.F.1(g) 注水試験運転のシーケンス・フロー

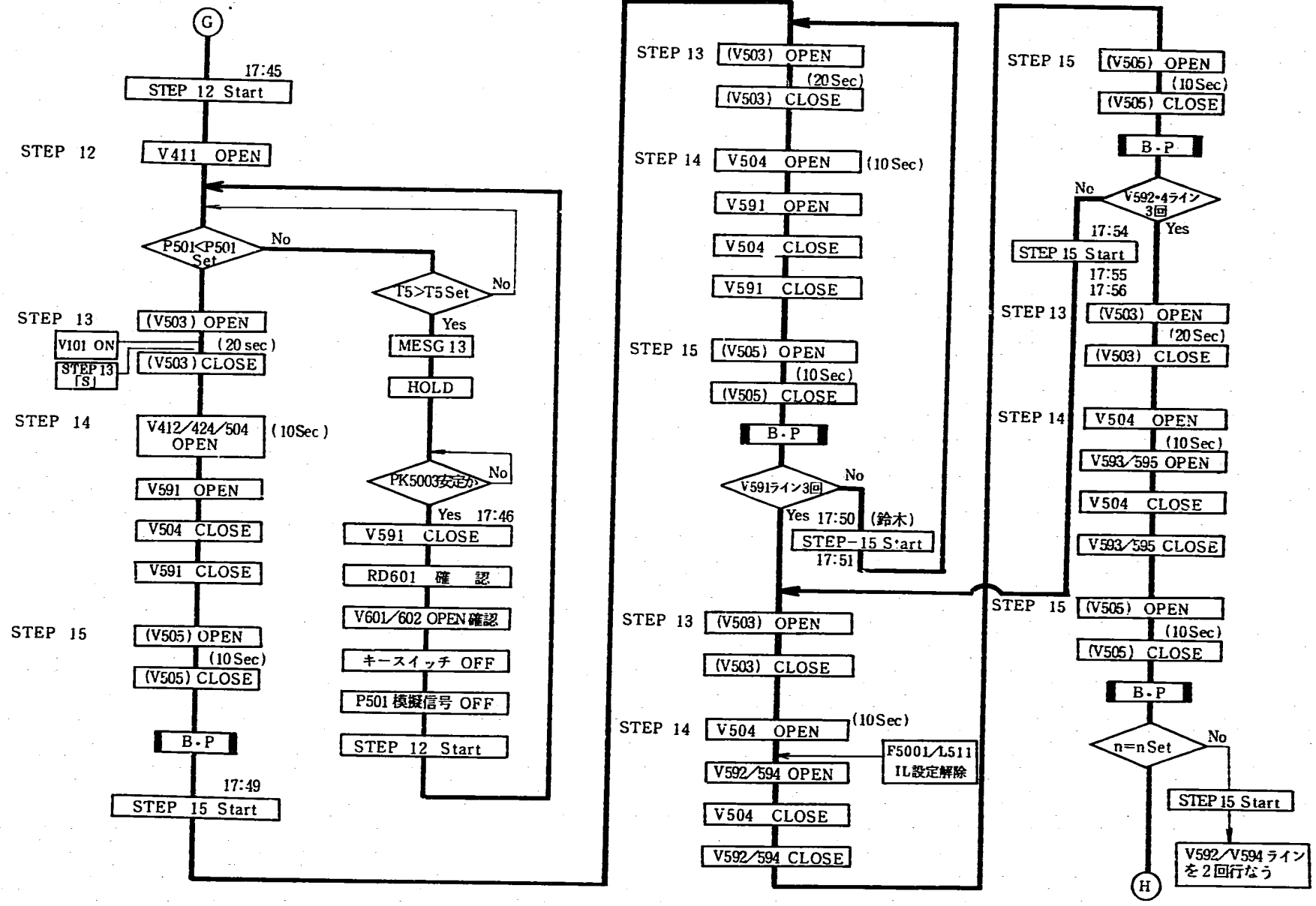


Fig. A.F.1(h) 注水試験運転のシーケンス・フロー

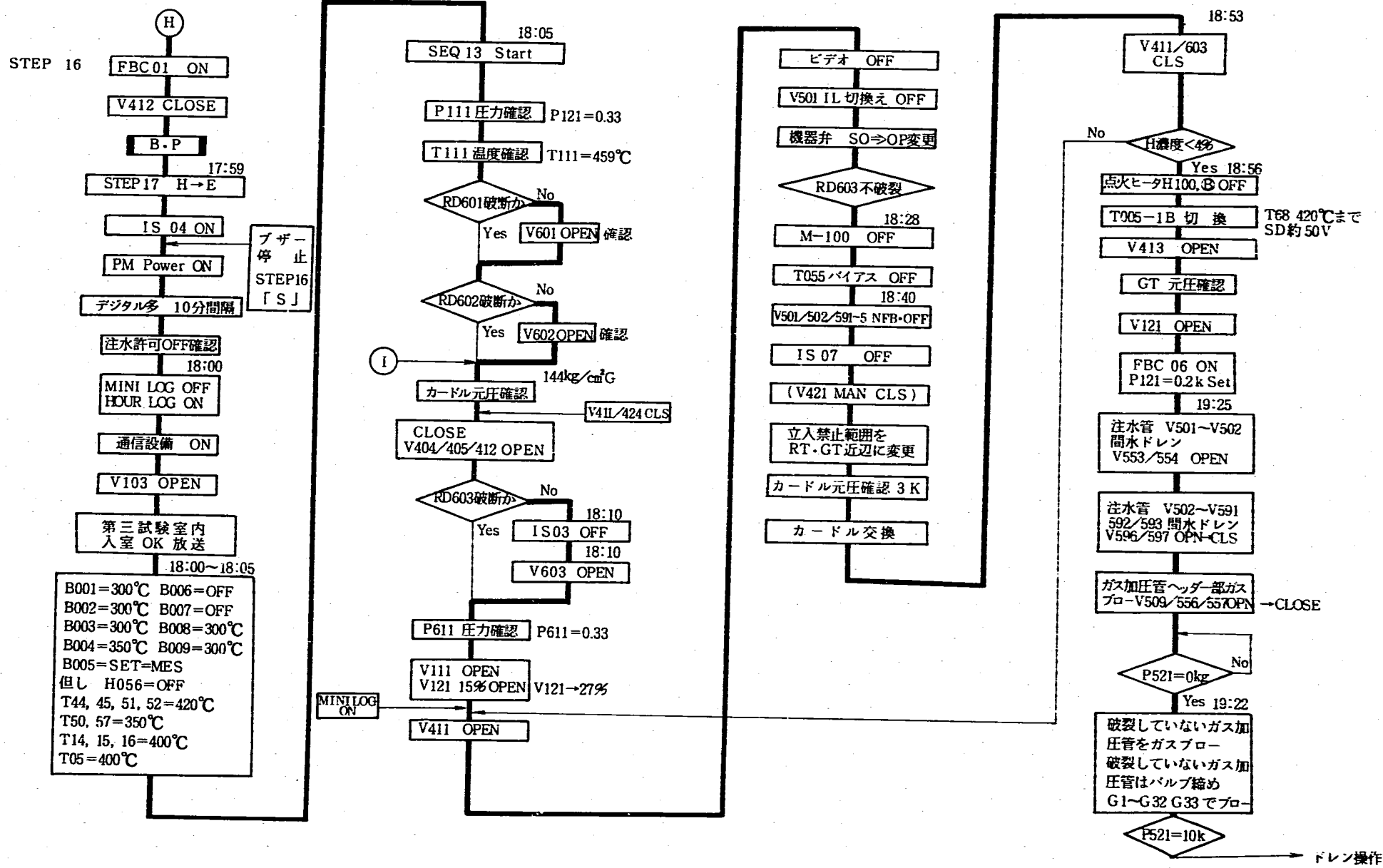


Fig. A.F.1(i) 注水試験運転のシーケンス・フロー

APPENDIX G. 試験時の計測データ

- Fig. A.G.1 Pressures in Evaporator (Run-12)
- Fig. A.G.2 Pressures in Secondary Cooling Line (Run-12)
- Fig. A.G.3 Temperatures in Secondary Cooling Line (Run-12)
- Fig. A.G.4 Pressures in Pressure Relief Line (Run-12)
- Fig. A.G.5 Temperatures in Pressure Relief line (Run-12)
- Fig. A.G.6 Sodium Level in Evaporator and Super-heater
(Run-12)
- Fig. A.G.7 Opening Status of Pressure Relief By-pass Valve
(Run-12)
- Fig. A.G.8 Pressures in Evaporator (Run-13)
- Fig. A.G.9 Pressures in Secondary Cooling Line (Run-13)
- Fig. A.G.10 Temperatures in Secondary Cooling Line (Run-13)
- Fig. A.G.11 Pressures in Pressure Relief Line (Run-13)
- Fig. A.G.12 Temperatures in Pressure Relief Line (Run-13)
- Fig. A.G.13 Sodium Level in Evaporator and Super-heater
(Run-13)
- Fig. A.G.14 Opening Status of Pressure Relief By-pass Valve
(Run-13)

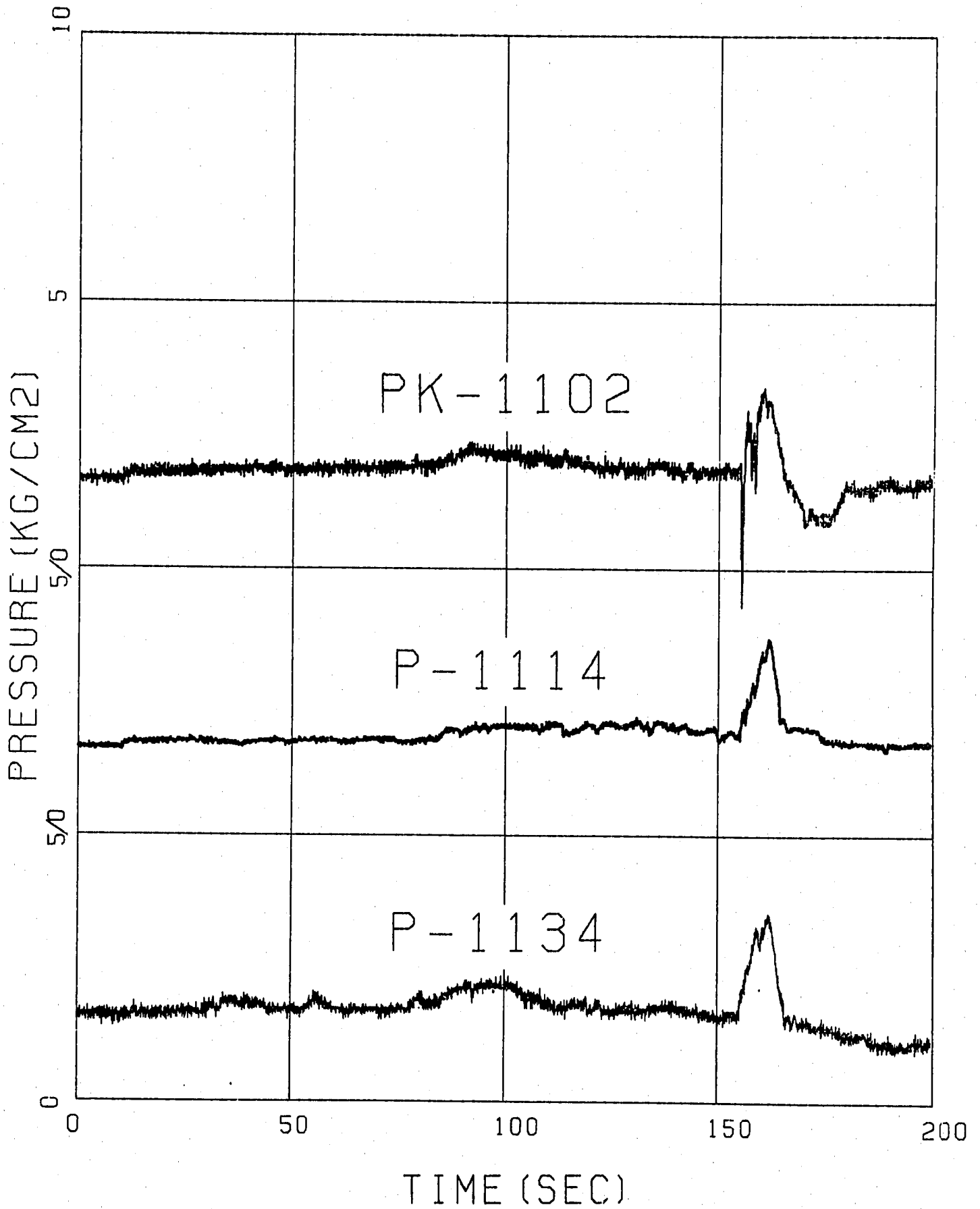


Fig. A.G.1 Pressures in Evaporator (Run-12)

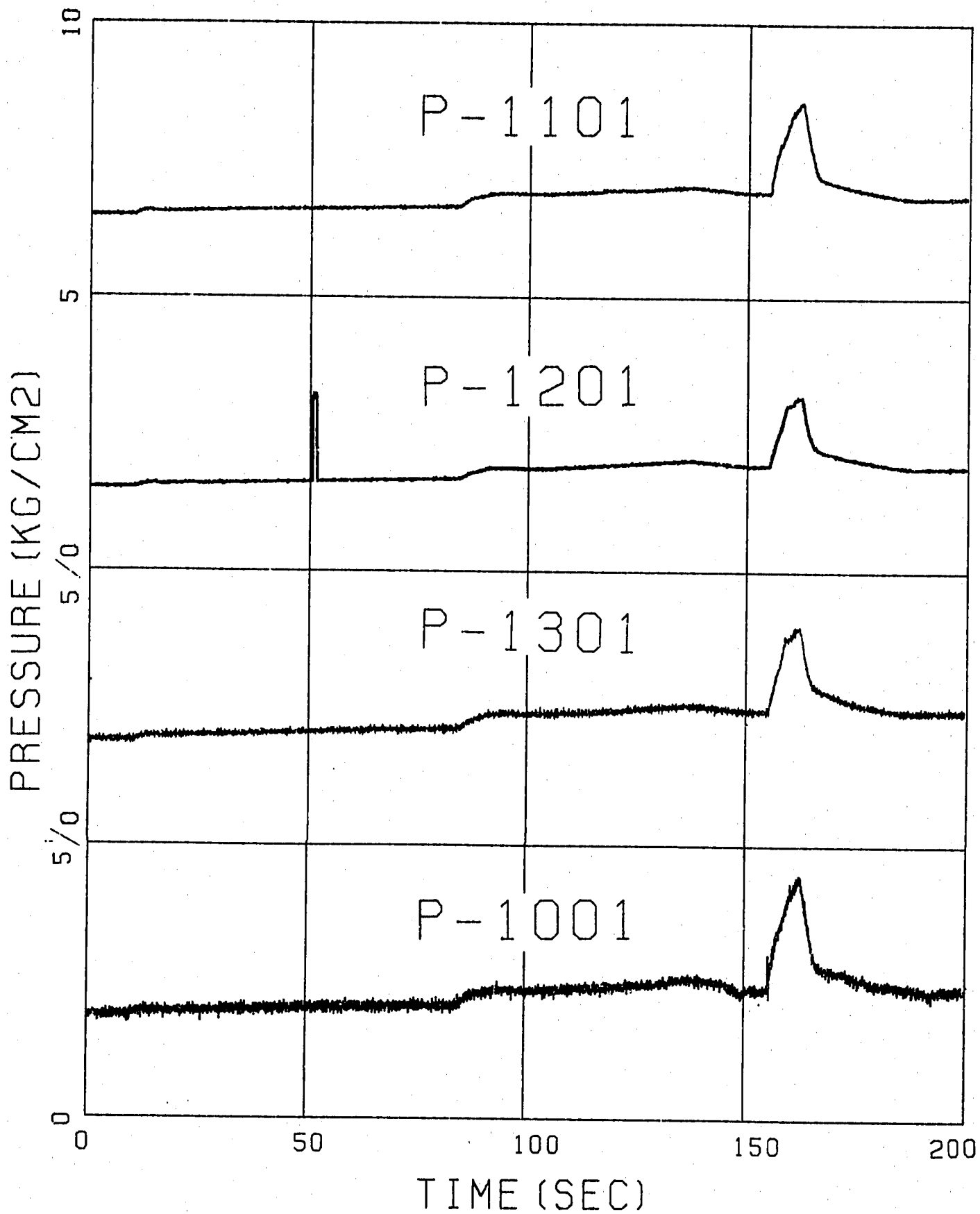


Fig. A.G.2 Pressures in Secondary Cooling Line (Run-12)

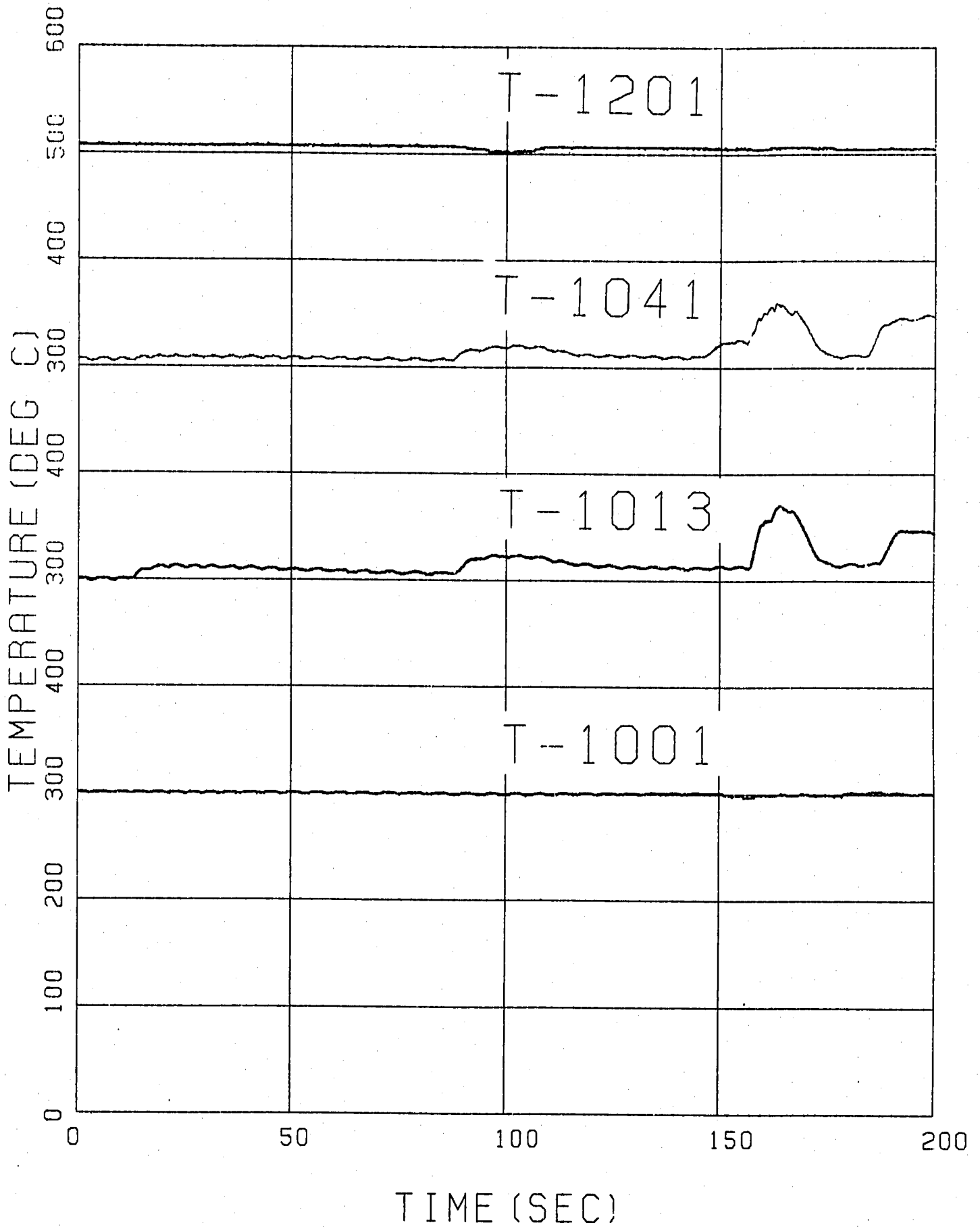


Fig. A.G.3 Temperatures in Secondary Cooling Line (Run-12)

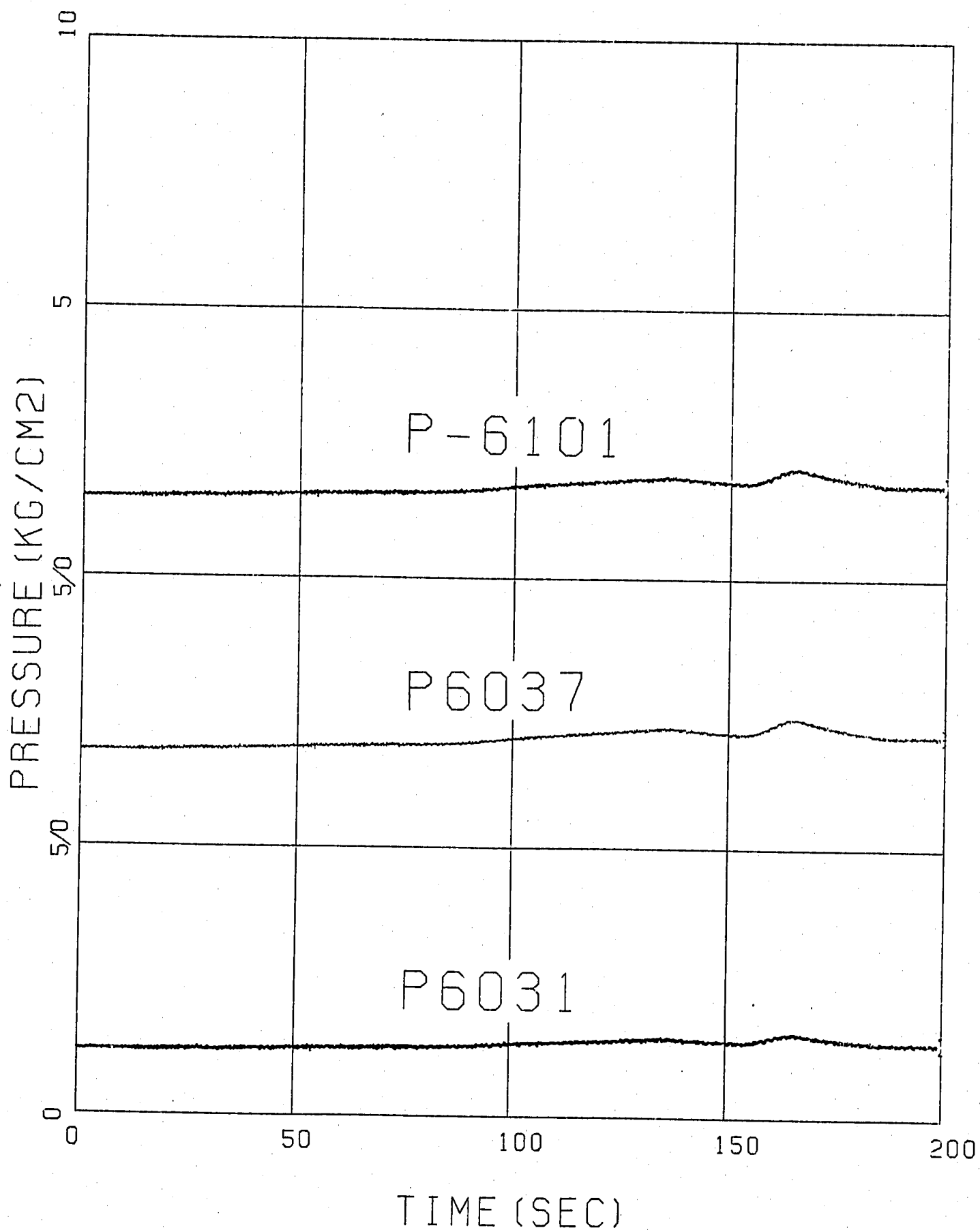


Fig. A.G.4 Pressures in Pressure Relief Line (Run-12)

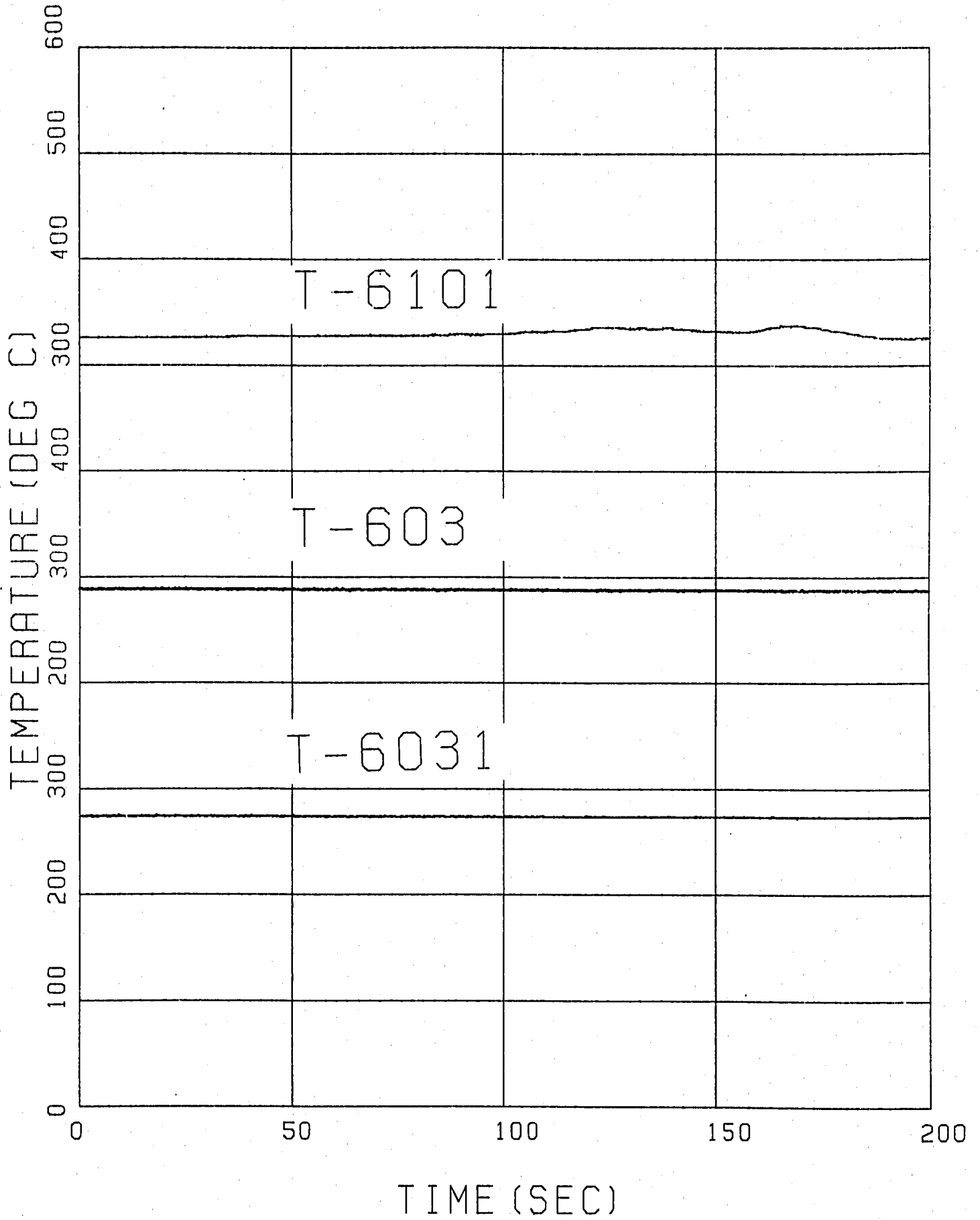


Fig. A.G.5(a) Temperatures in Pressure Relief Line (Run-12)

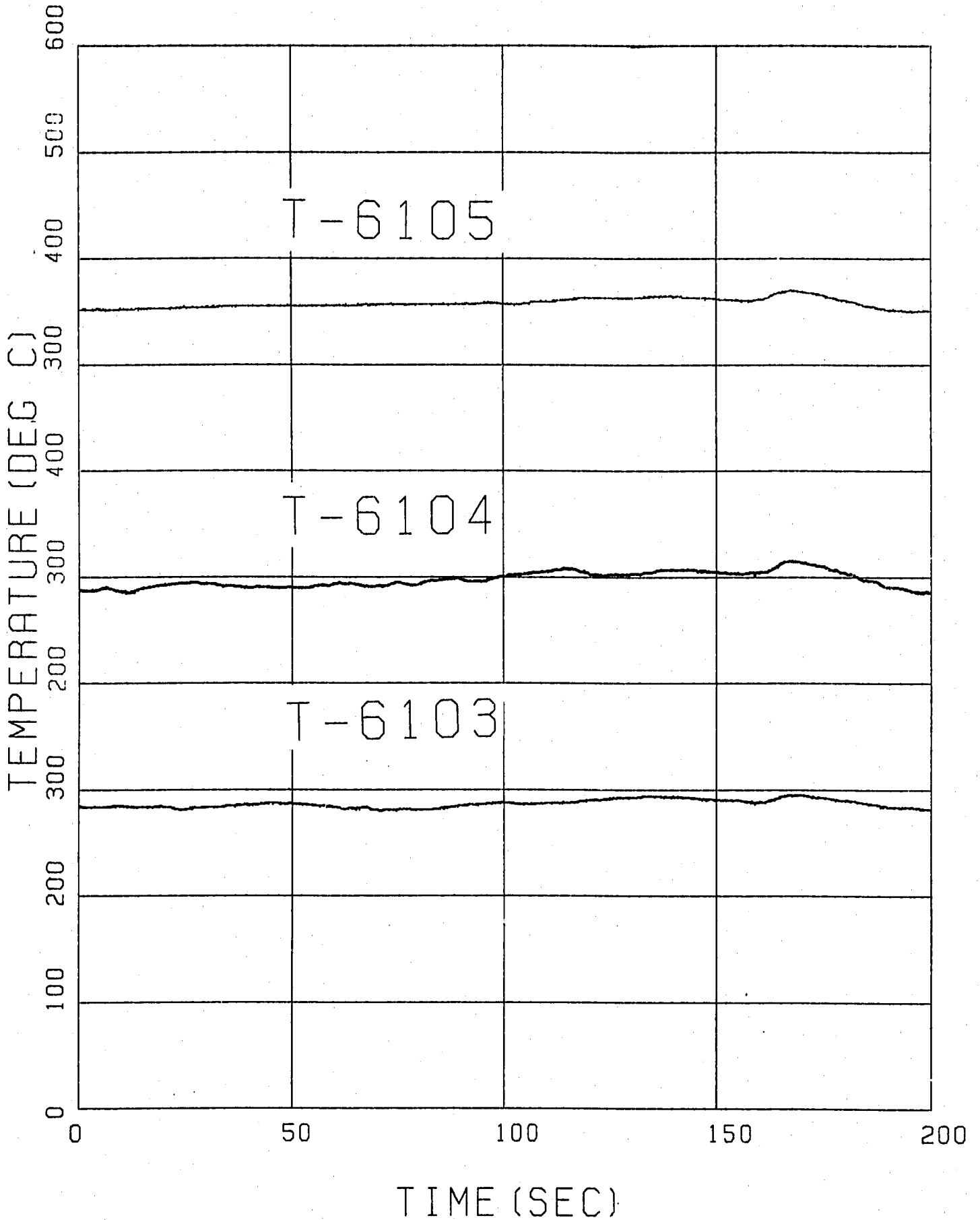


Fig. A.G.5(b) Temperatures in Pressure Relief Line (Run-12)

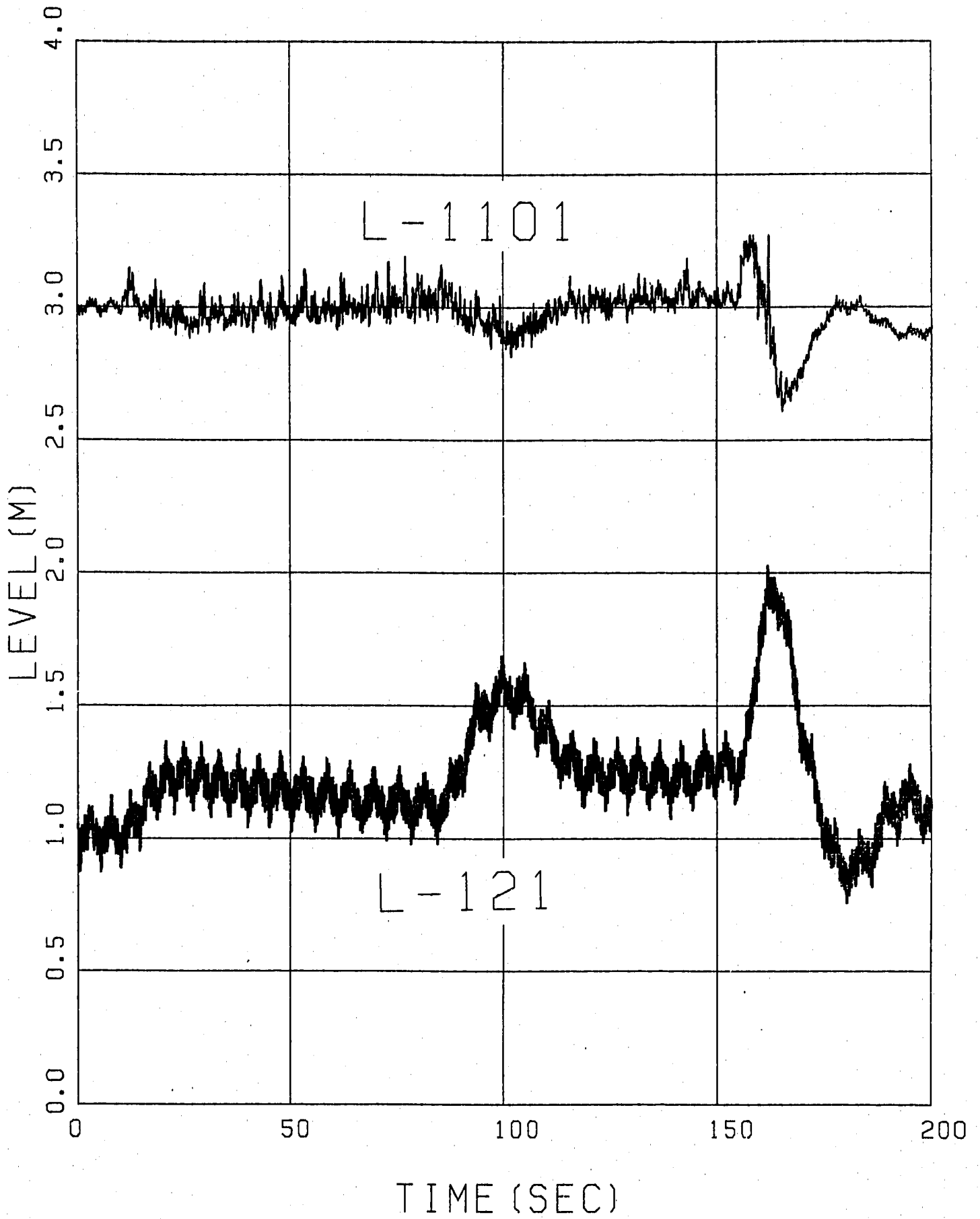


Fig. A.G.6 Sodium Level in Evaporator and Super-heater (Run-12)

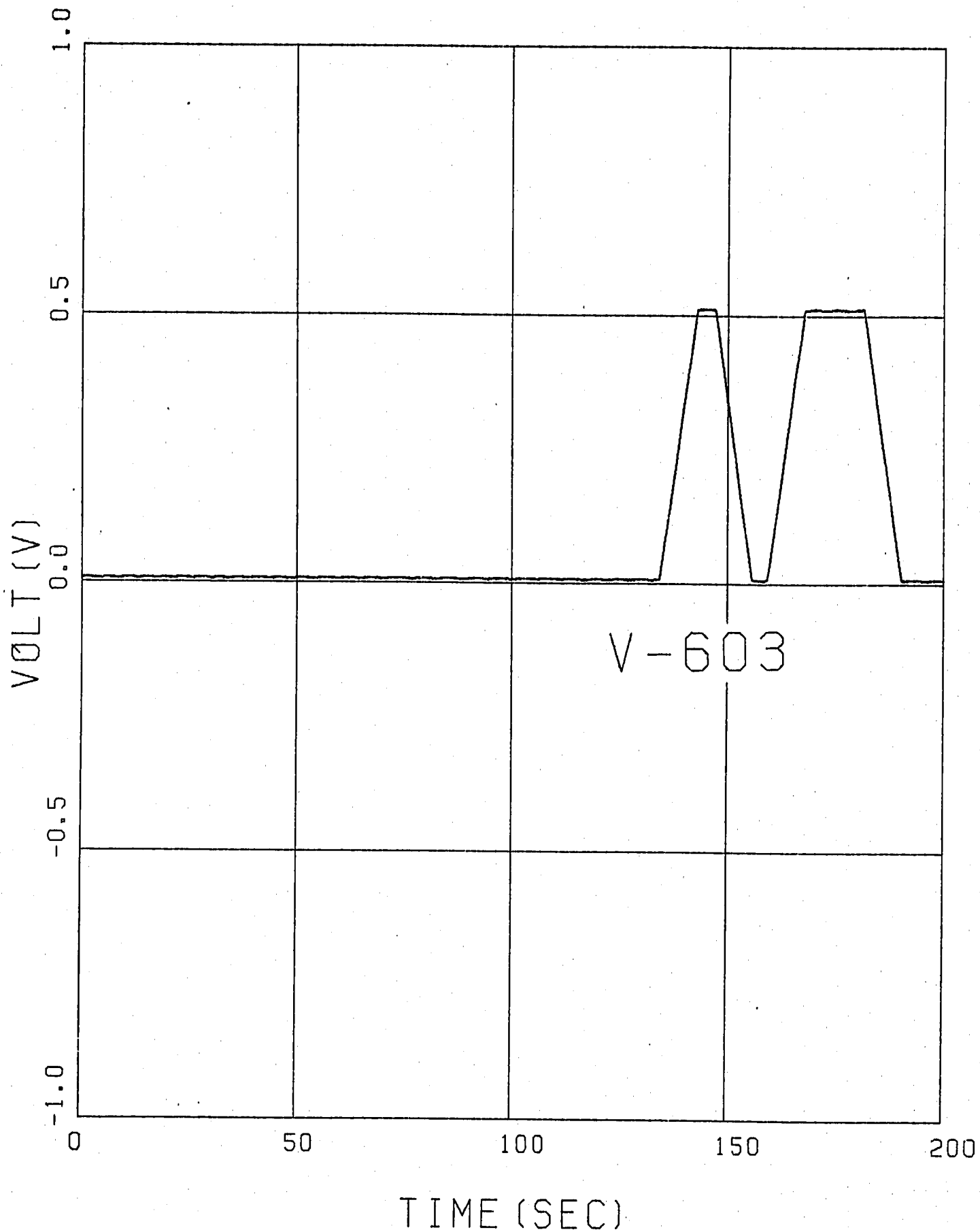


Fig. A.G.7 Opening Status of Pressure Relief By-pass Valve (Run-12)

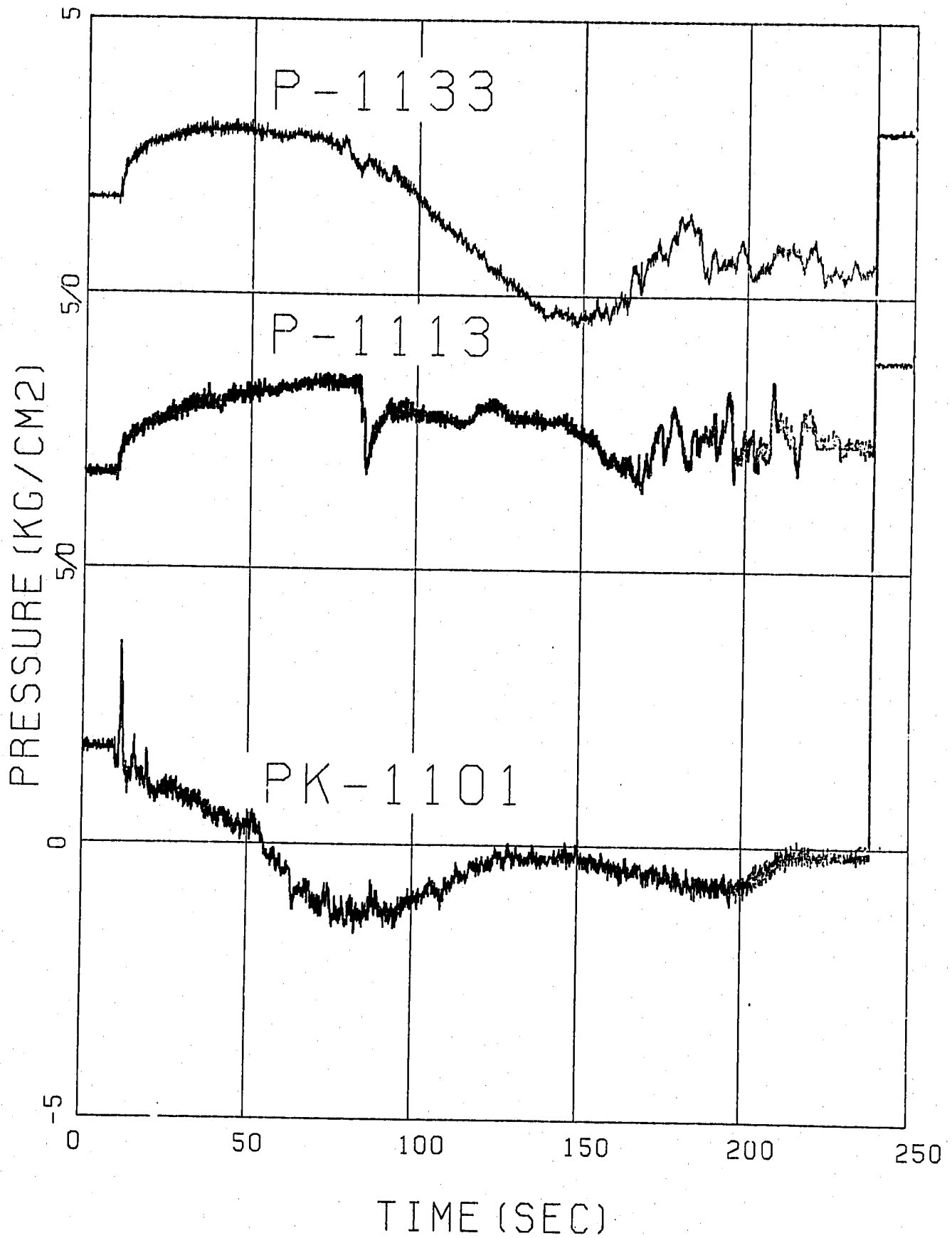


Fig. A.G.8 Pressures in Evaporator (Run-13)

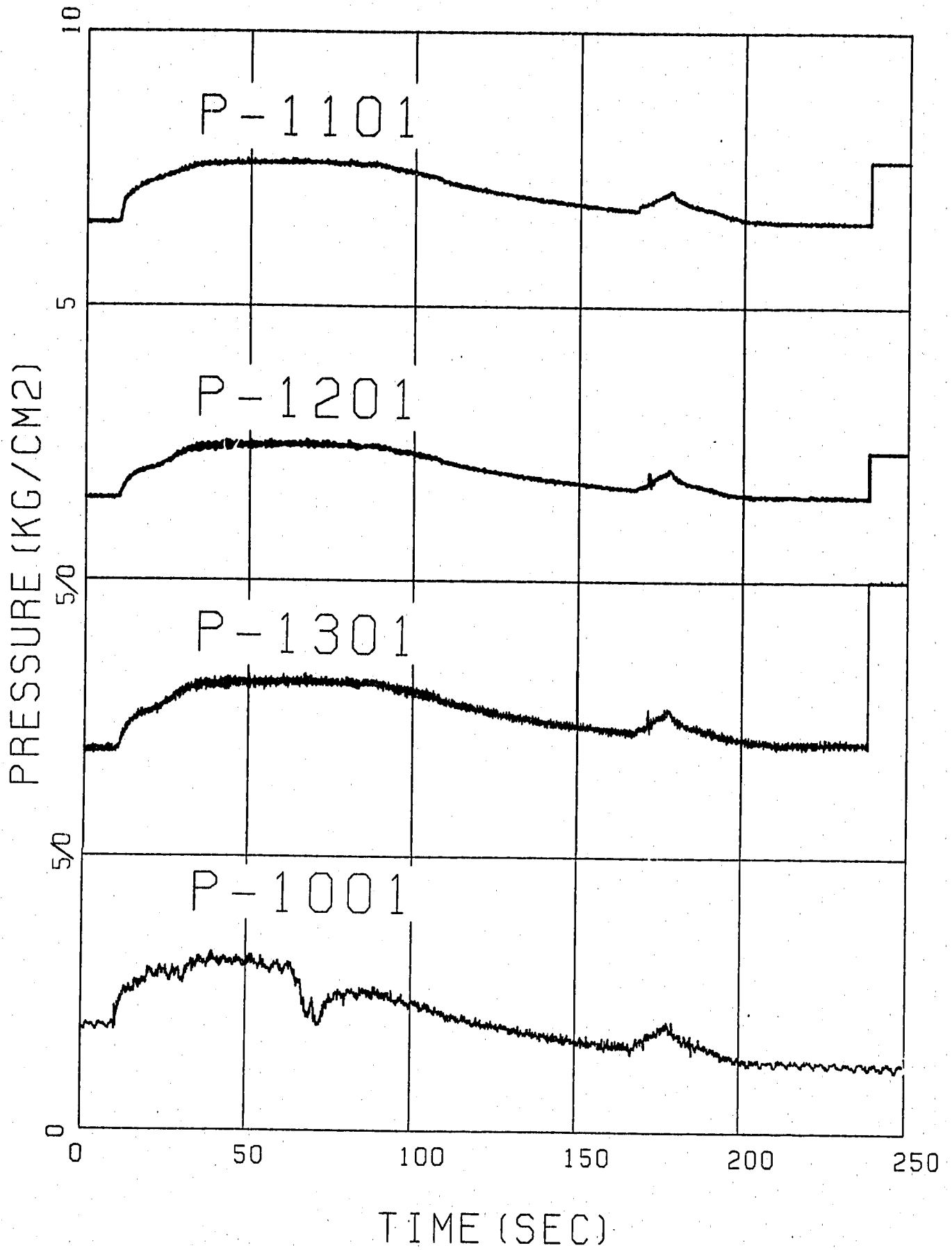


Fig. A.G.9 Pressures in Secondary Cooling Line (Run-13)

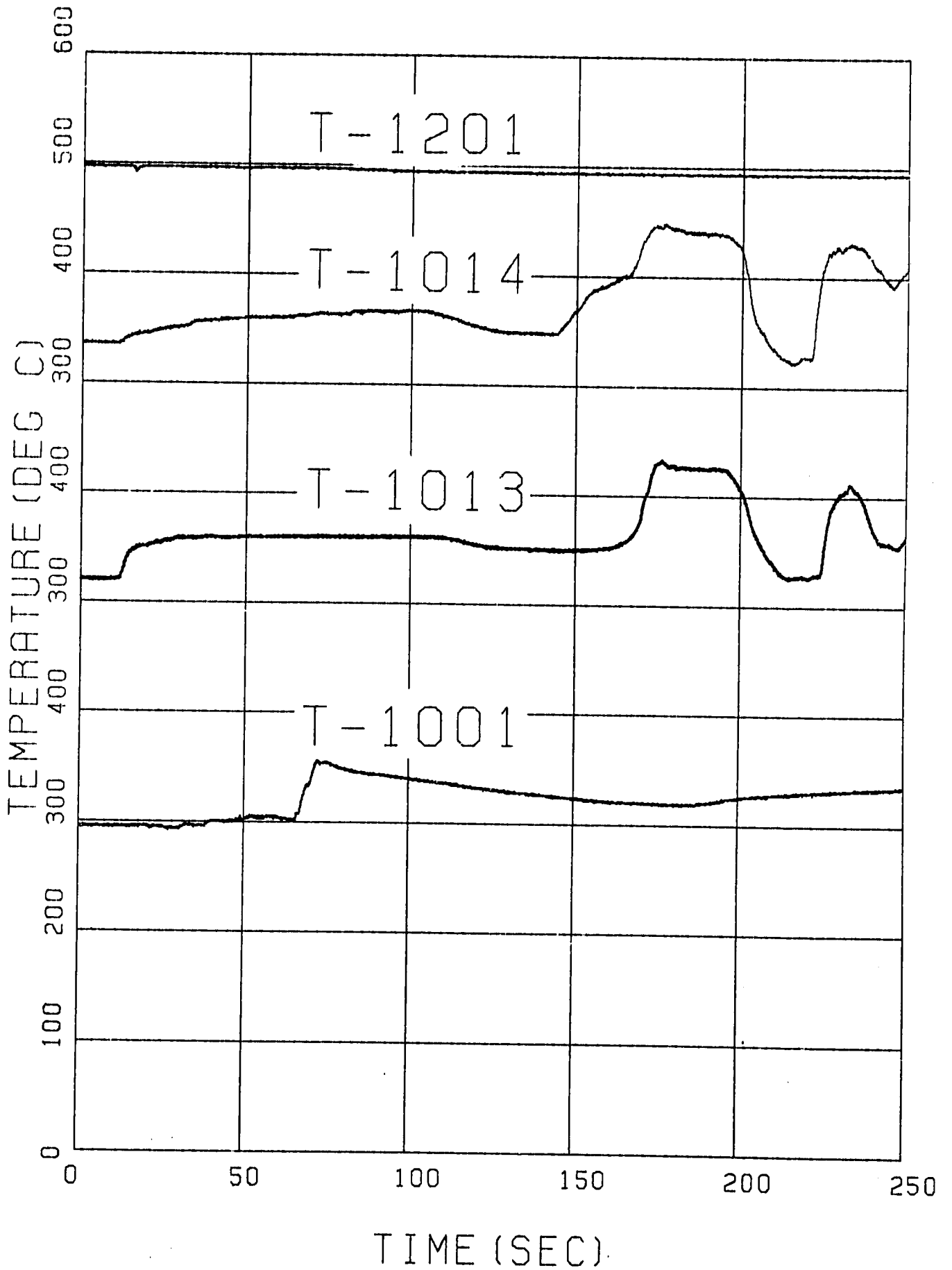


Fig. A.G.10 Temperatures in Secondary Cooling Line (Run-13)

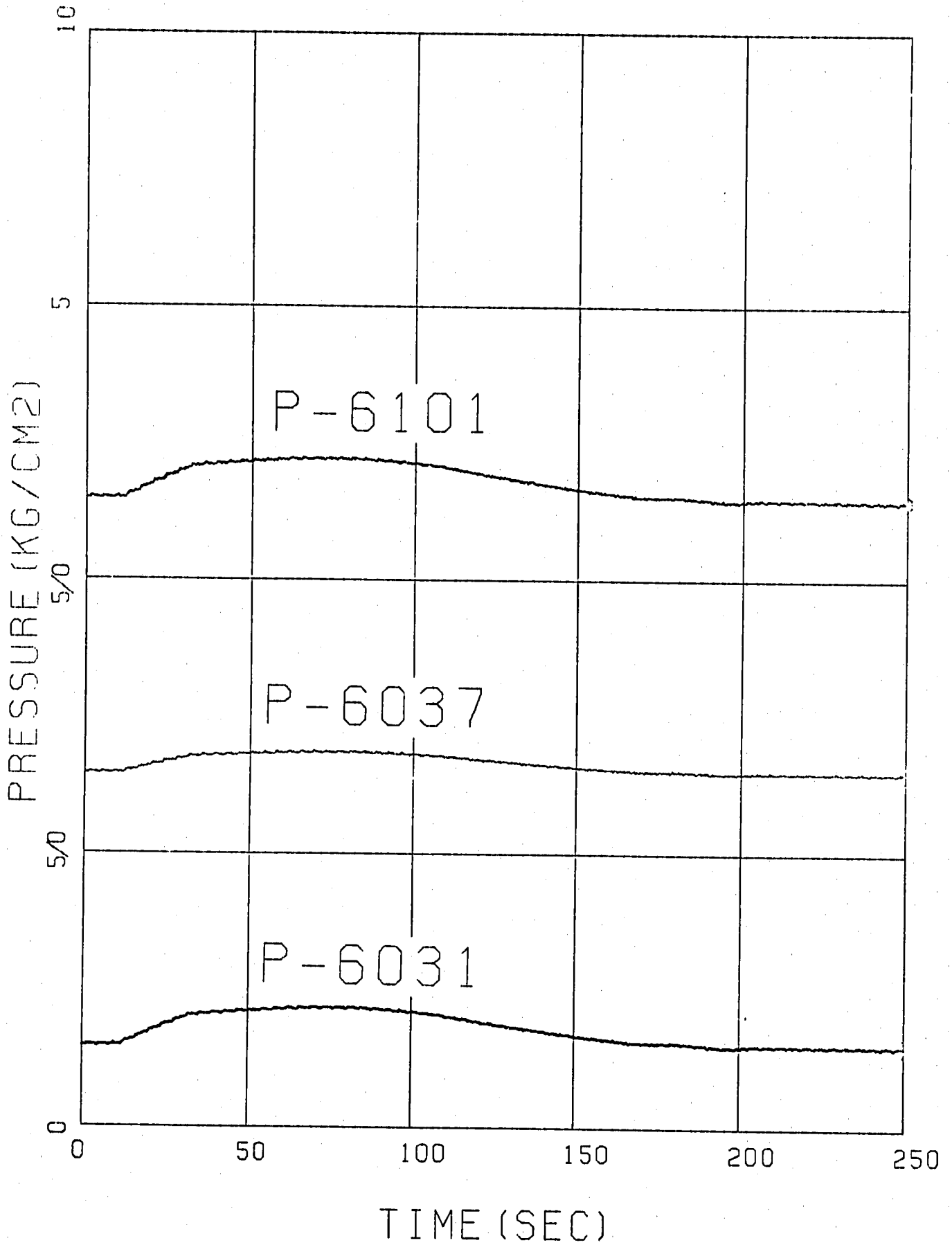


Fig. A.G.11 Pressures in Pressure Relief Line (Run-13)

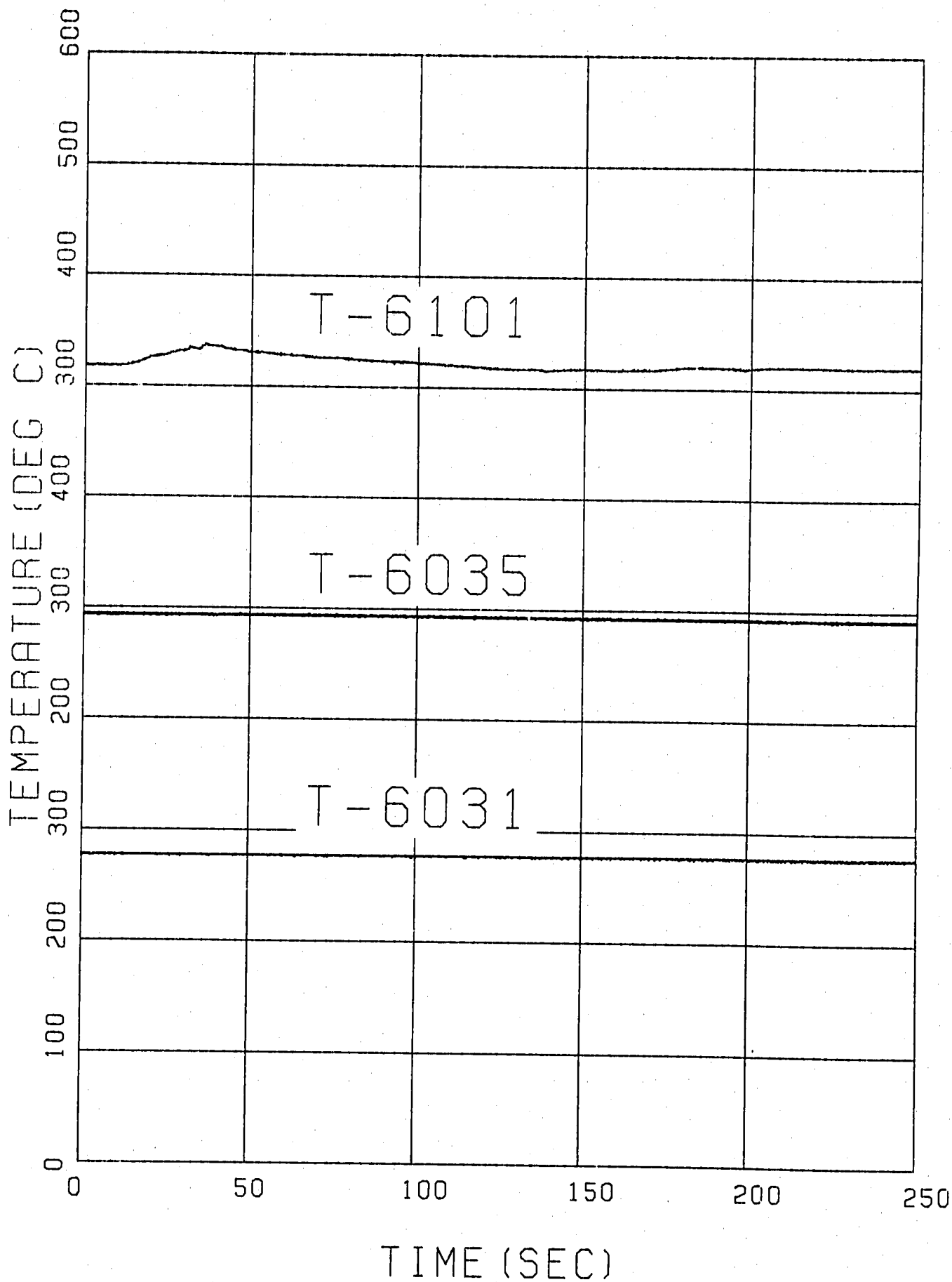


Fig. A.G.12(a) Temperatures in Pressure Relief Line (Run-13)

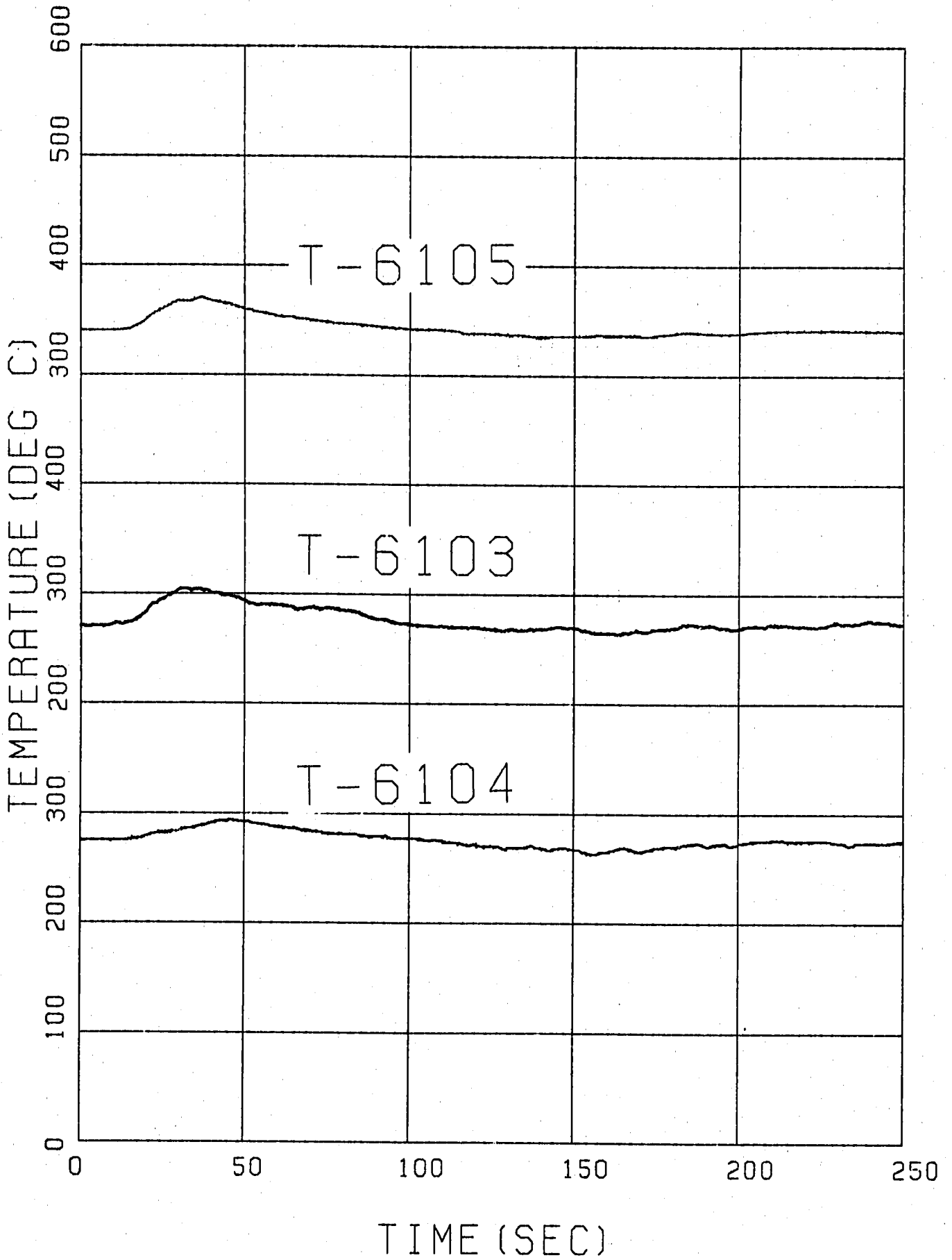


Fig. A.G.12(b) Temperatures in Pressure Relief Line (Run-13)

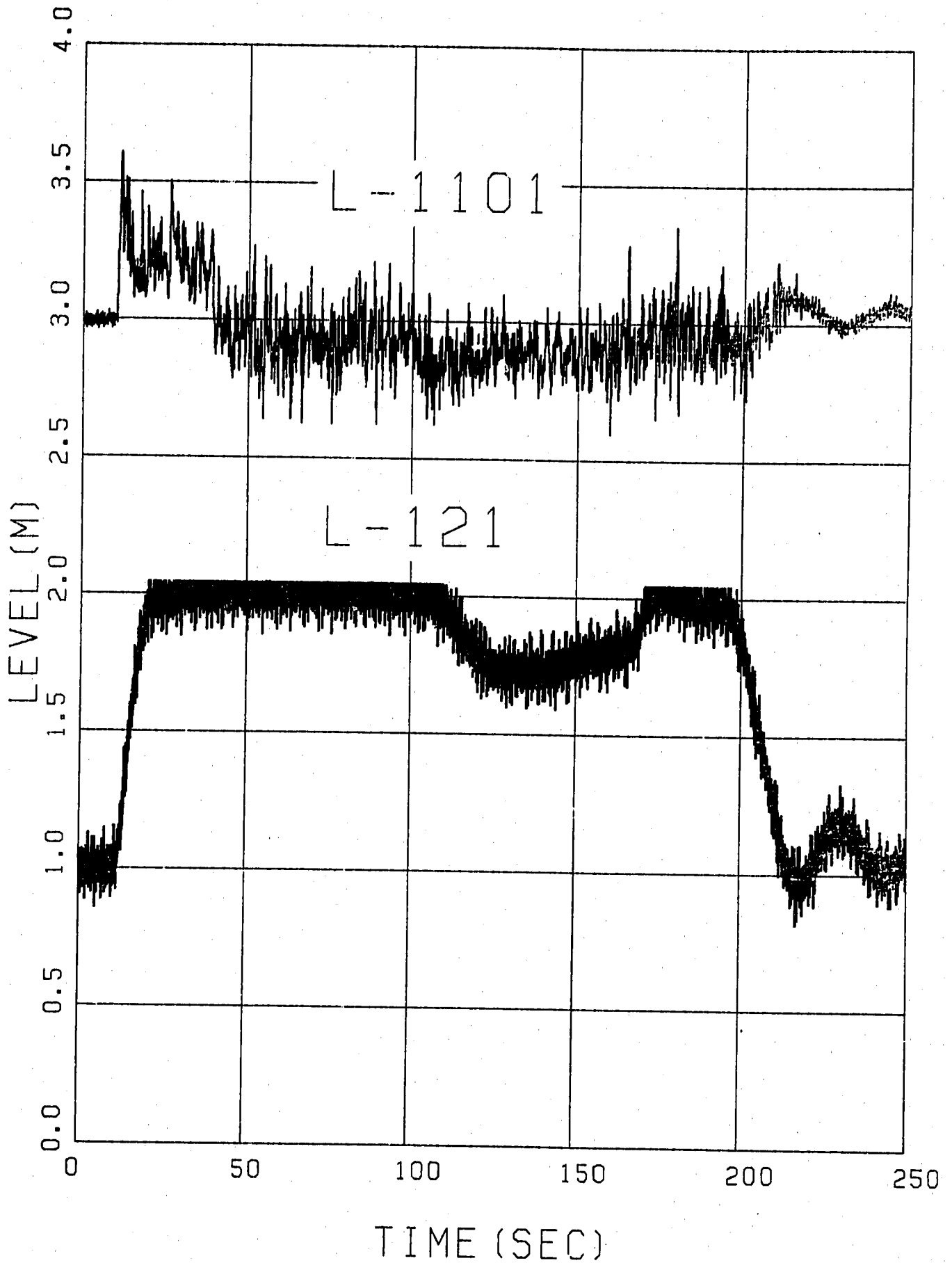


Fig. A.G.13 Sodium Level in Evaporator and Super-heater (Run-13)

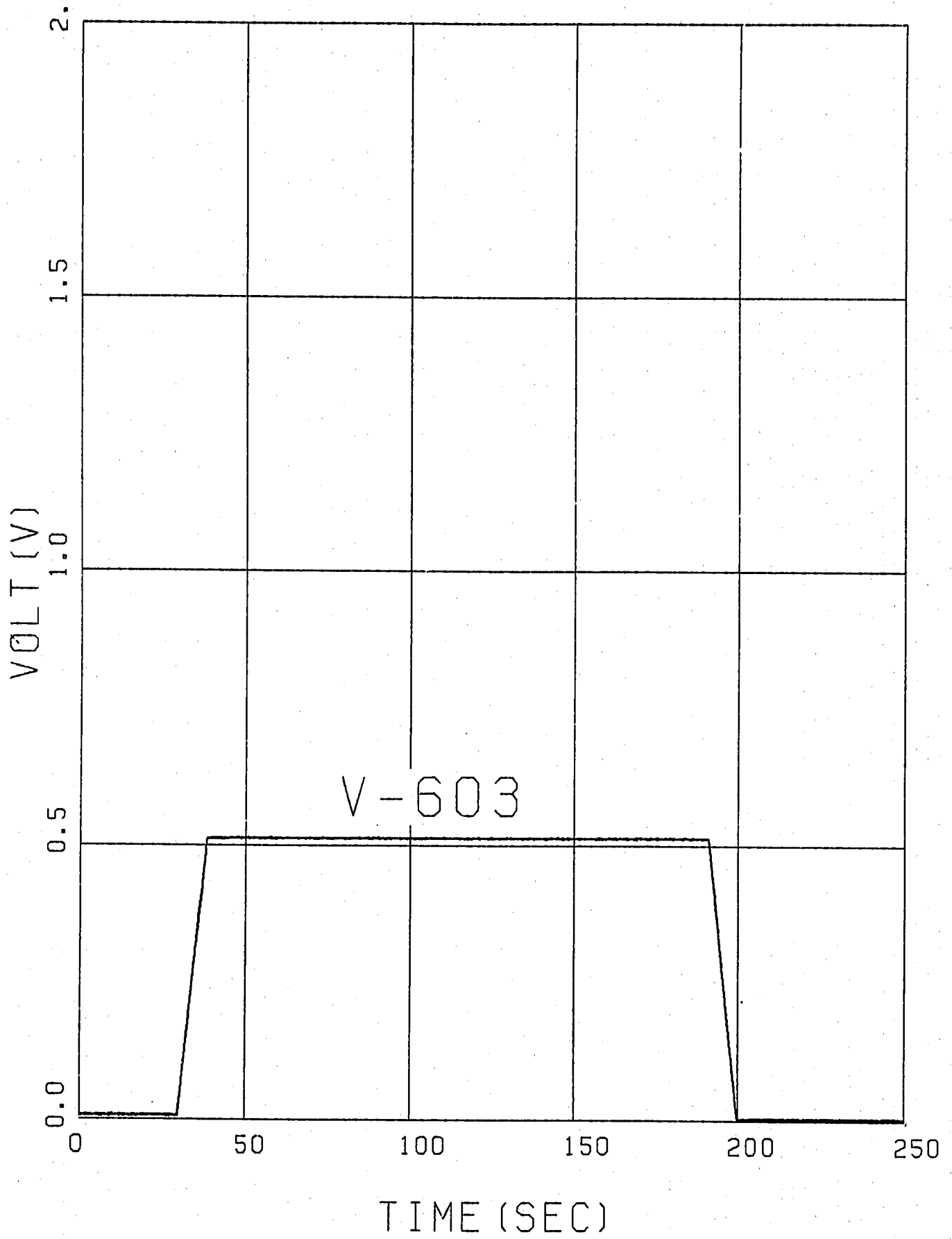


Fig. A.G.14 Opening Status of Pressure Relief By-pass Valve (Run-13)

APPENDIX H. 超音波厚さ計による試験後の
伝熱管肉厚データ

Fig. A.H.1	Map of Wall Thickness of Tube No.119 (Run-12)
Fig. A.H.2	Map of Wall Thickness of Tube No.120 (Run-12)
Fig. A.H.3	Map of Wall Thickness of Tube No.126 (Run-12)
Fig. A.H.4	Map of Wall Thickness of Tube No.127 (Run-12)
Fig. A.H.5	Map of Wall Thickness of Tube No.128 (Run-12)
Fig. A.H.6	Map of Wall Thickness of Tube No.134 (Run-12)
Fig. A.H.7	Map of Wall Thickness of Tube No.135 (Run-12)
Fig. A.H.8	Map of Wall Thickness of Tube No.136 (Run-12)
Fig. A.H.9	Map of Wall Thickness of Tube No.142 (Run-12)
Fig. A.H.10	Map of Wall Thickness of Tube No.212 (Run-13)
Fig. A.H.11	Map of Wall Thickness of Tube No.218 (Run-13)
Fig. A.H.12	Map of Wall Thickness of Tube No.219 (Run-13)
Fig. A.H.13	Map of Wall Thickness of Tube No.224 (Run-13)
Fig. A.H.14	Map of Wall Thickness of Tube No.225 (Run-13)
Fig. A.H.15	Map of Wall Thickness of Tube No.226 (Run-13)
Fig. A.H.16	Map of Wall Thickness of Tube No.230 (Run-13)
Fig. A.H.17	Map of Wall Thickness of Tube No.231 (Run-13)
Fig. A.H.18	Map of Wall Thickness of Tube No.232 (Run-13)
Fig. A.H.19	Map of Wall Thickness of Tube No.233 (Run-13)
Fig. A.H.20	Map of Wall Thickness of Tube No.238 (Run-13)
Fig. A.H.21	Map of Wall Thickness of Tube No.239 (Run-13)
Fig. A.H.22	Map of Wall Thickness of Tube No.240 (Run-13)

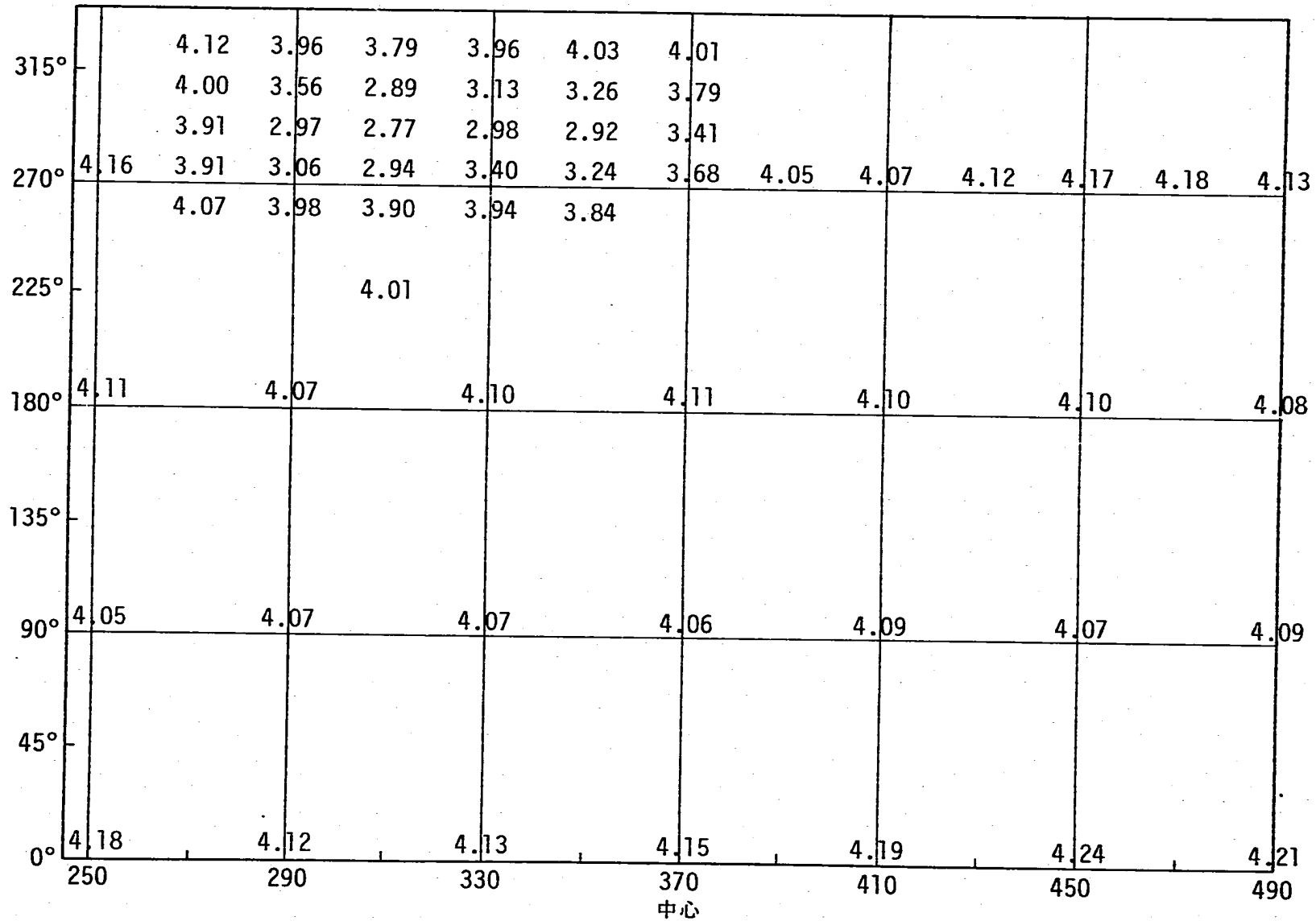


Fig. A.H.1 Map of Wall Thickness of Tube No.119 (Run-12)

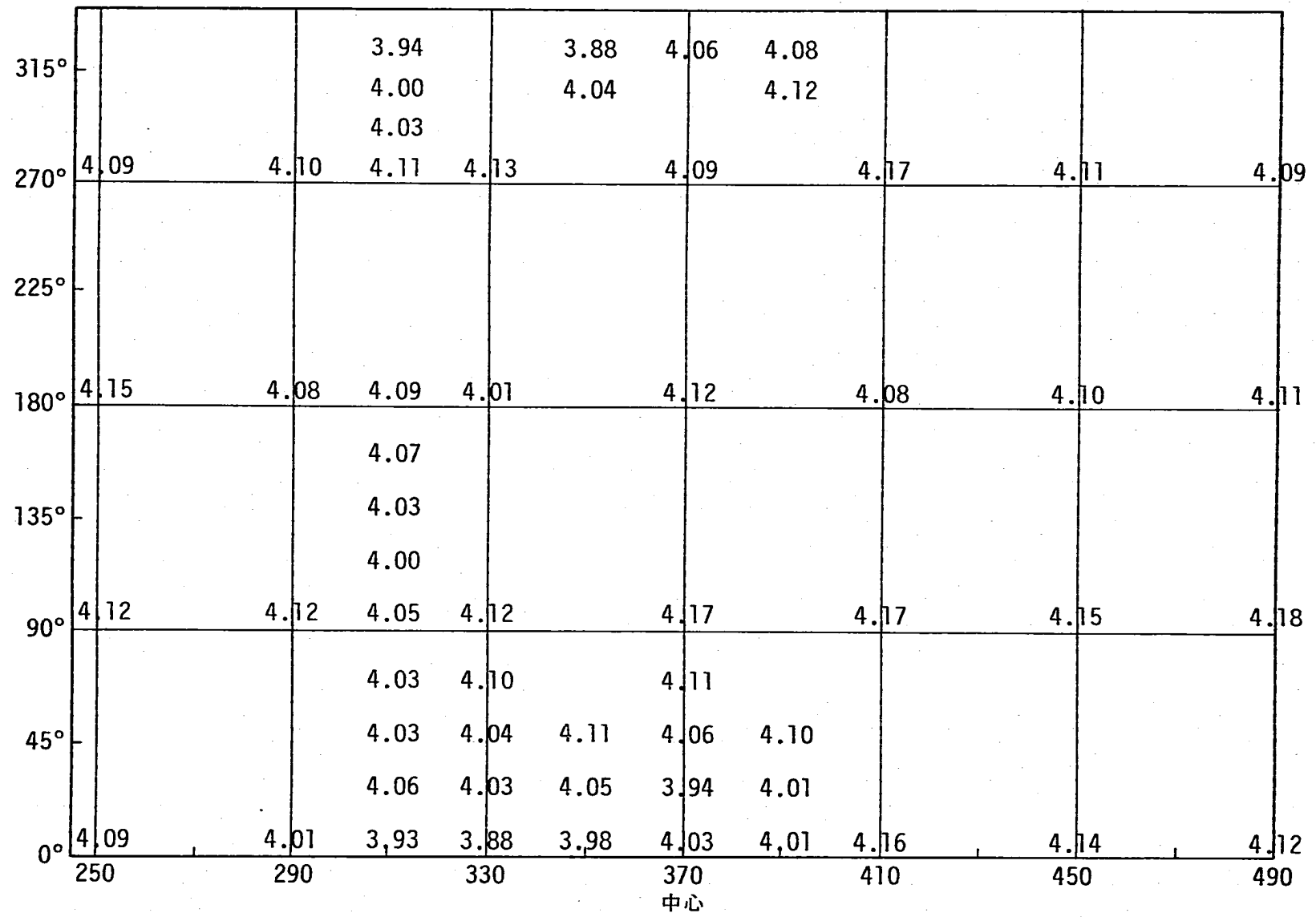


Fig. A.H.2 Map of Wall Thickness of Tube No.120 (Run-12)

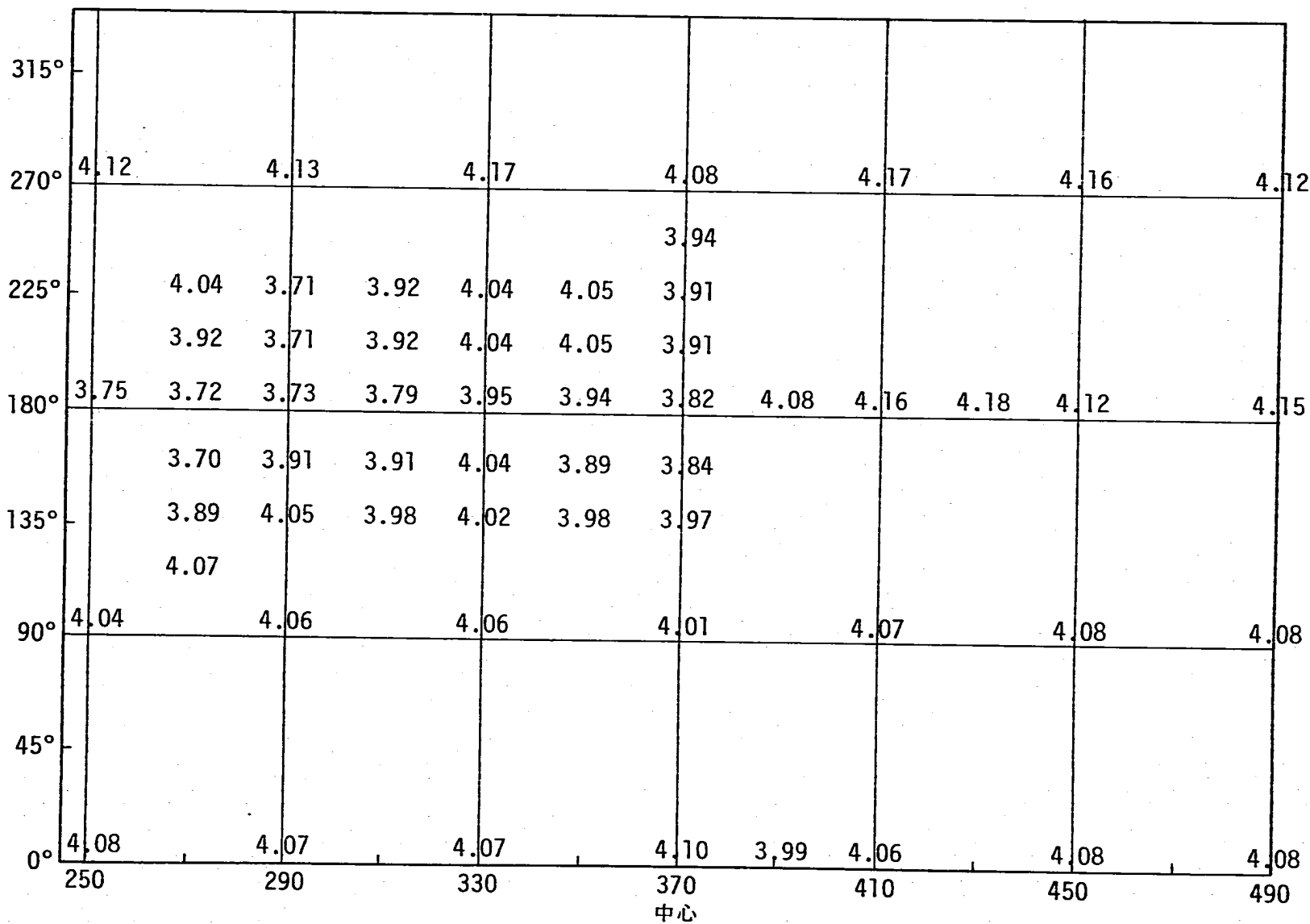


Fig. A.H.3 Map of Wall Thickness of Tube No.126 (Run-12)

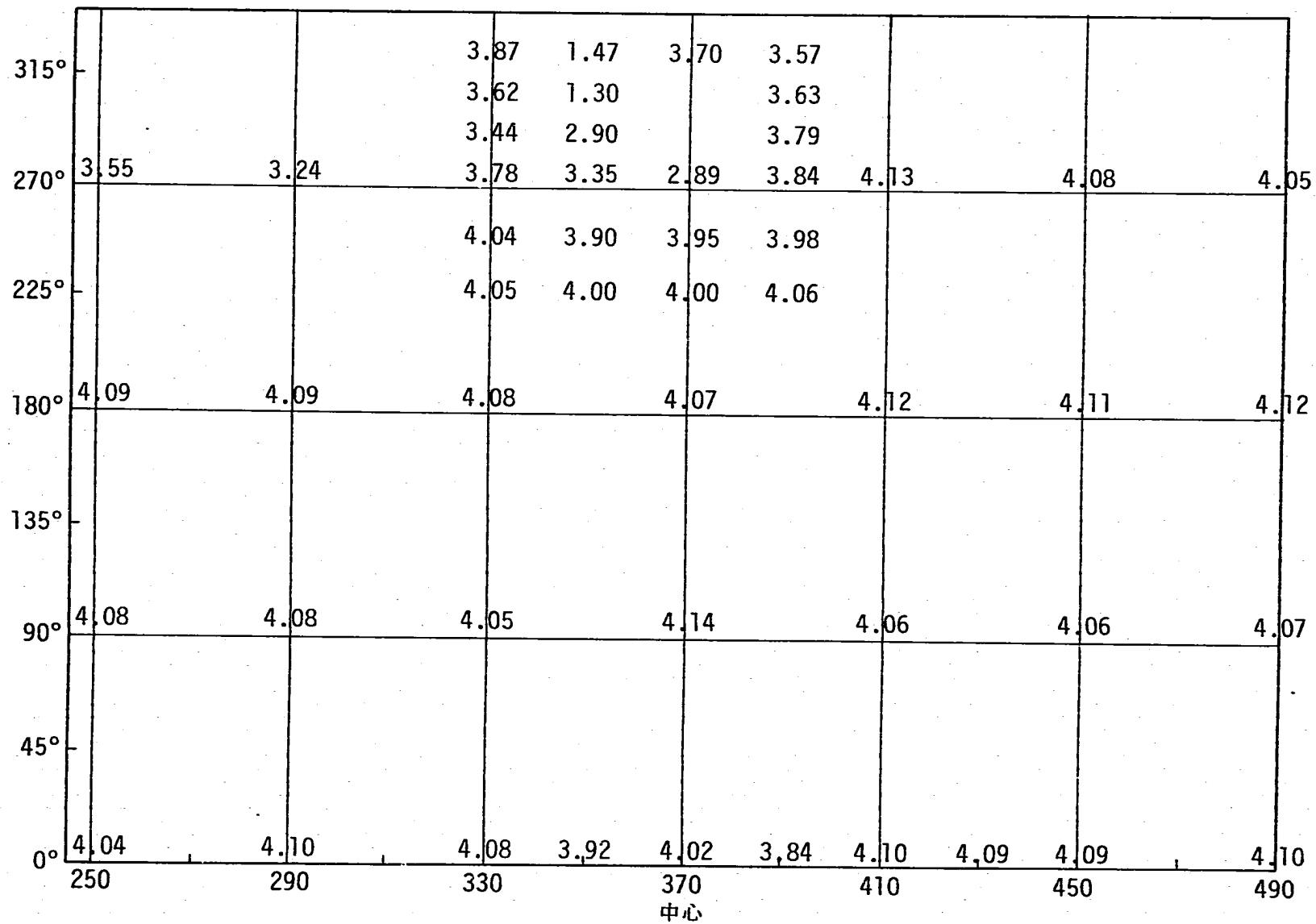


Fig. A.H.4 Map of Wall Thickness of Tube No.127 (Run-12)

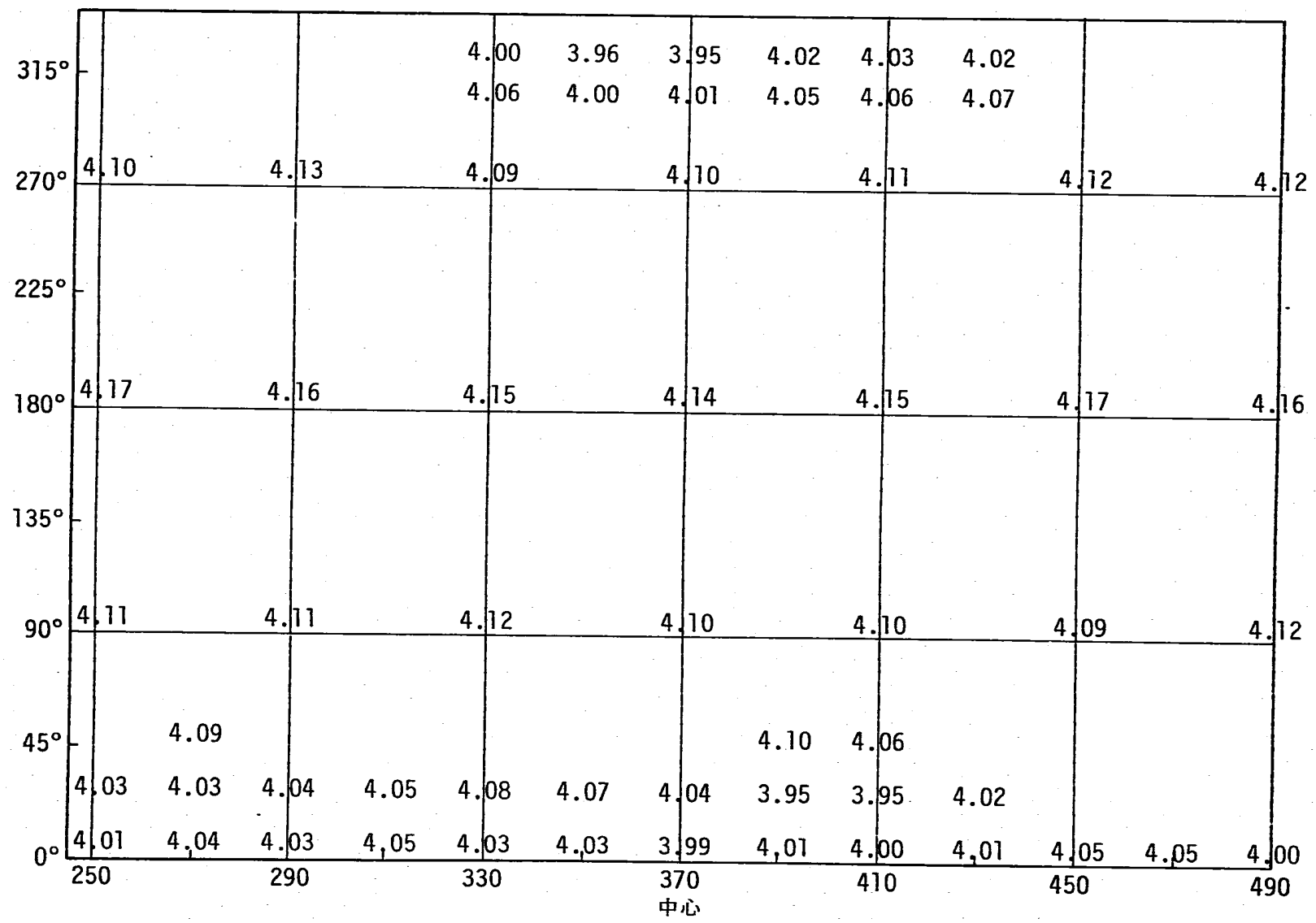


Fig. A.H.5 Map of Wall Thickness of Tube No.128 (Run-12)

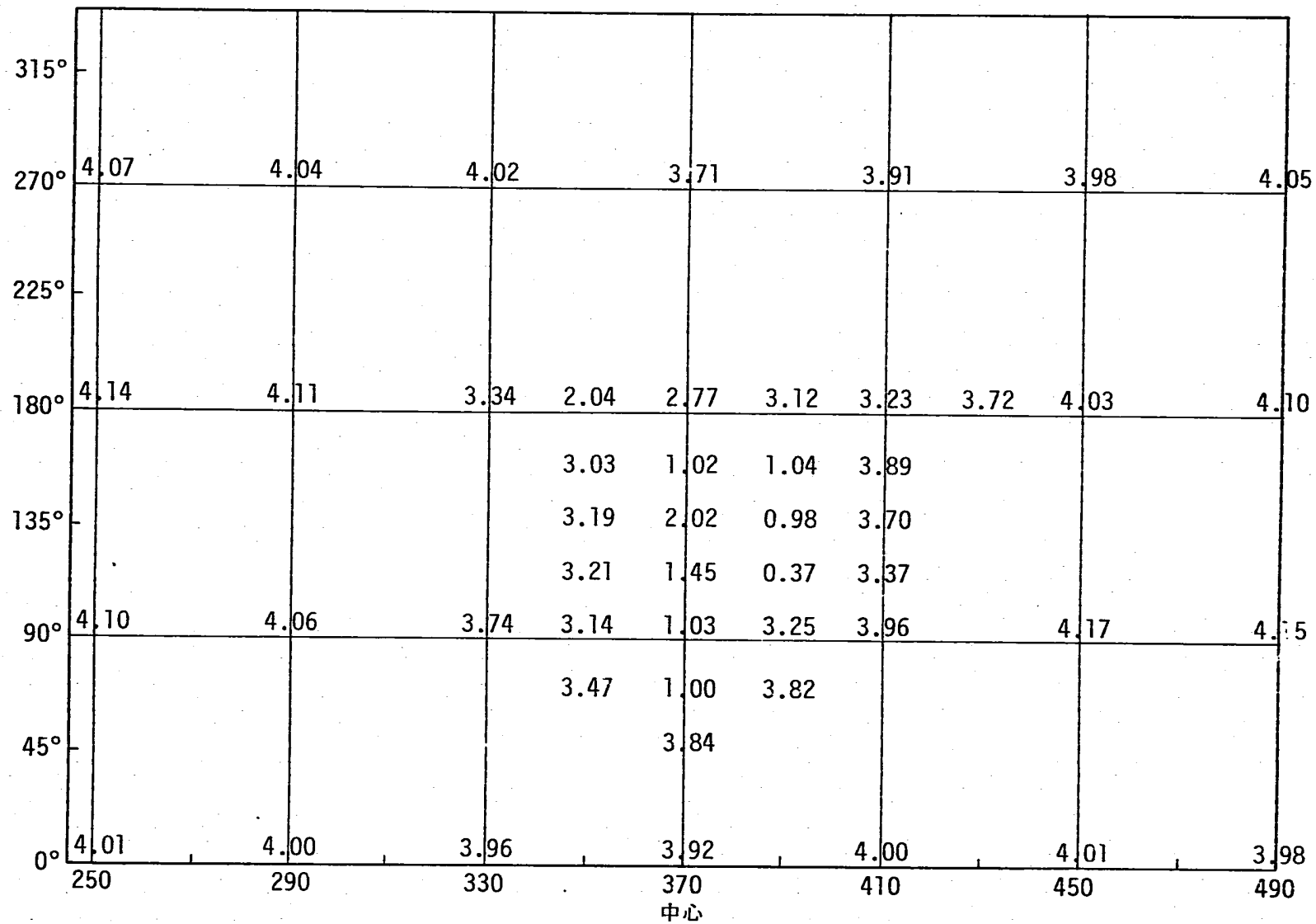
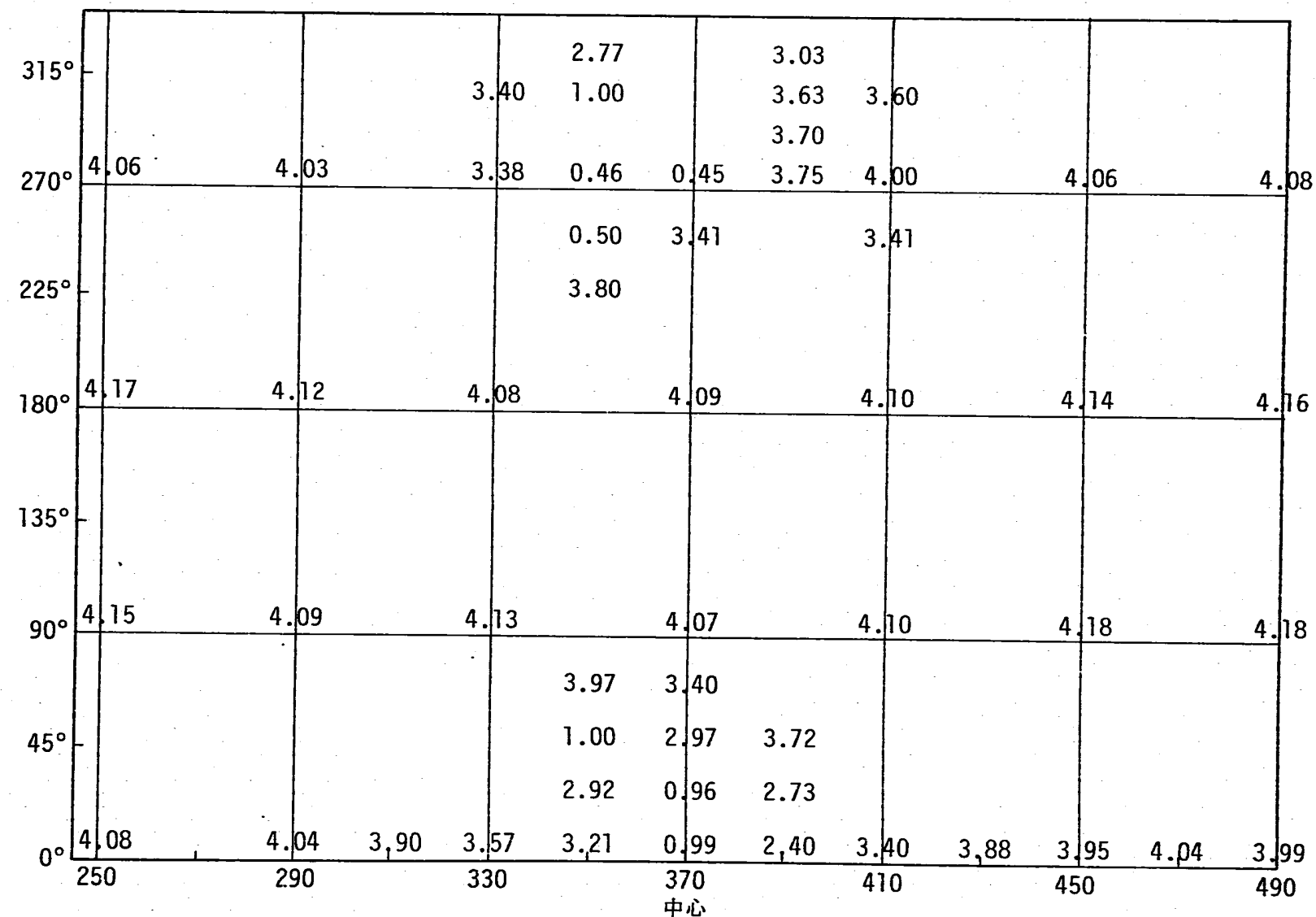


Fig. A.H.6 Map of Wall Thickness of Tube No.134 (Run-12)



- 220 -

Fig. A.H.7 Map of Wall Thickness of Tube No.135 (Run-12)

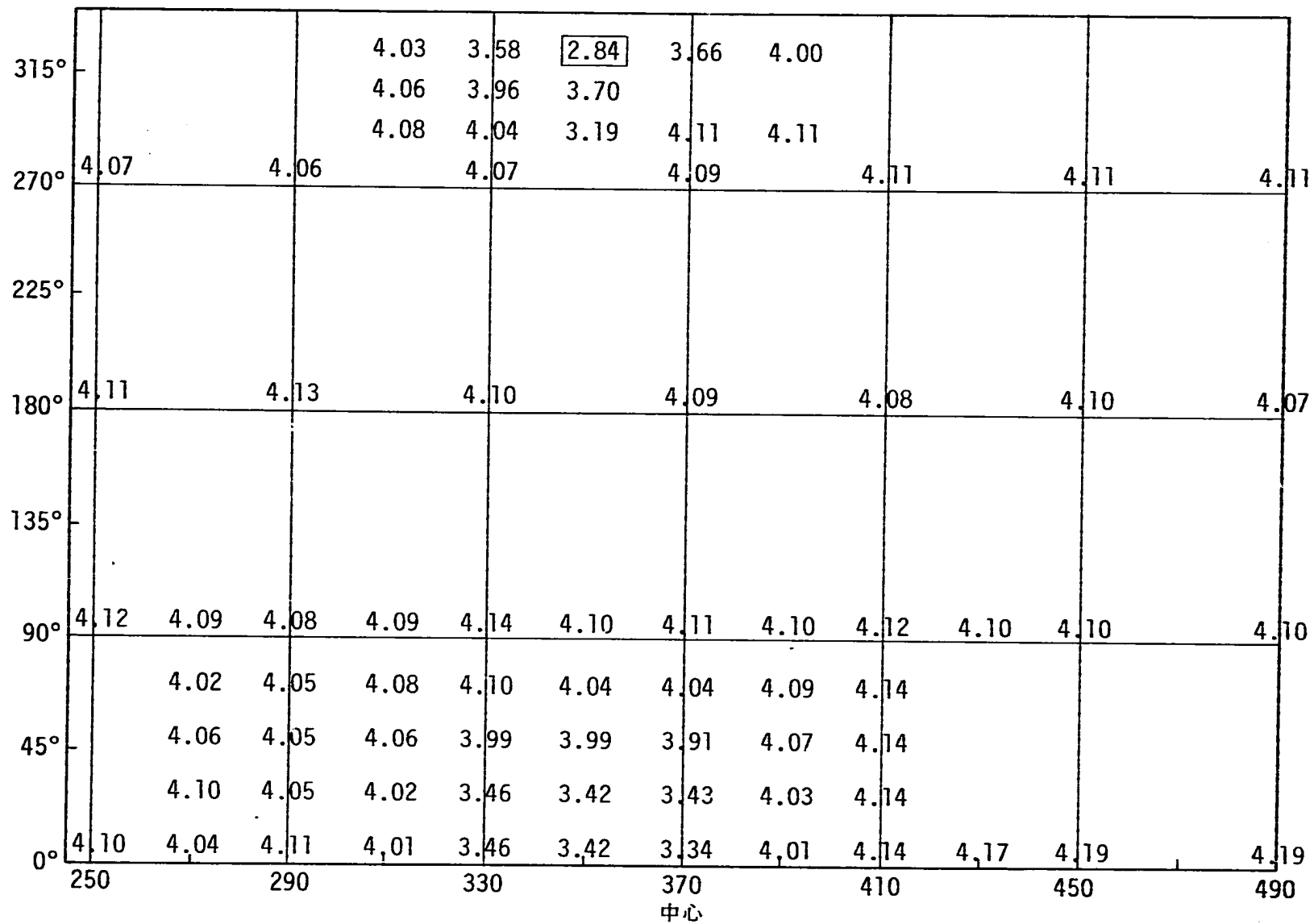


Fig. A.H.8 Map of Wall Thickness of Tube No.136 (Run-12)

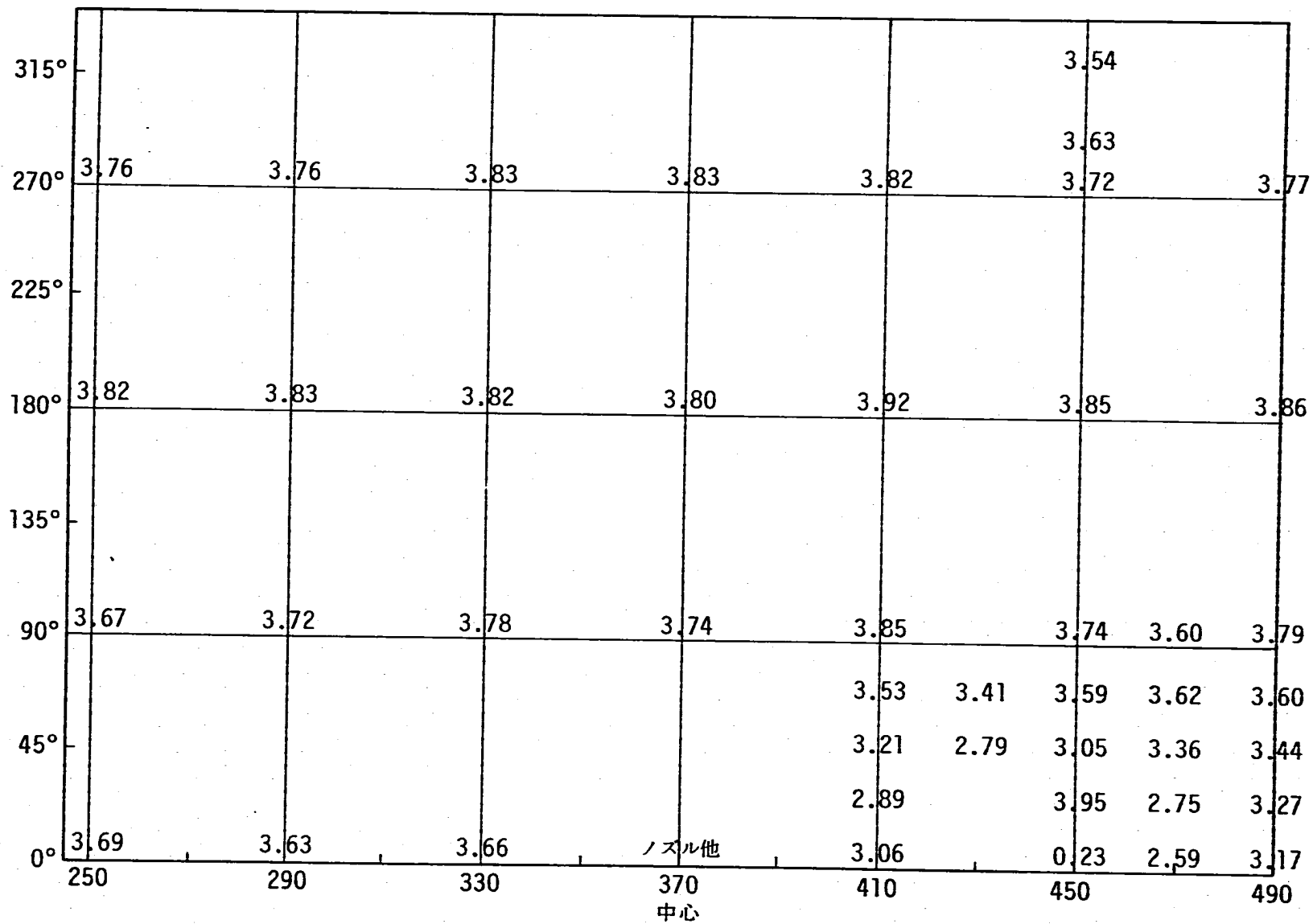


Fig. A.H.9 Map of Wall Thickness of Tube No.142 (Run-12)

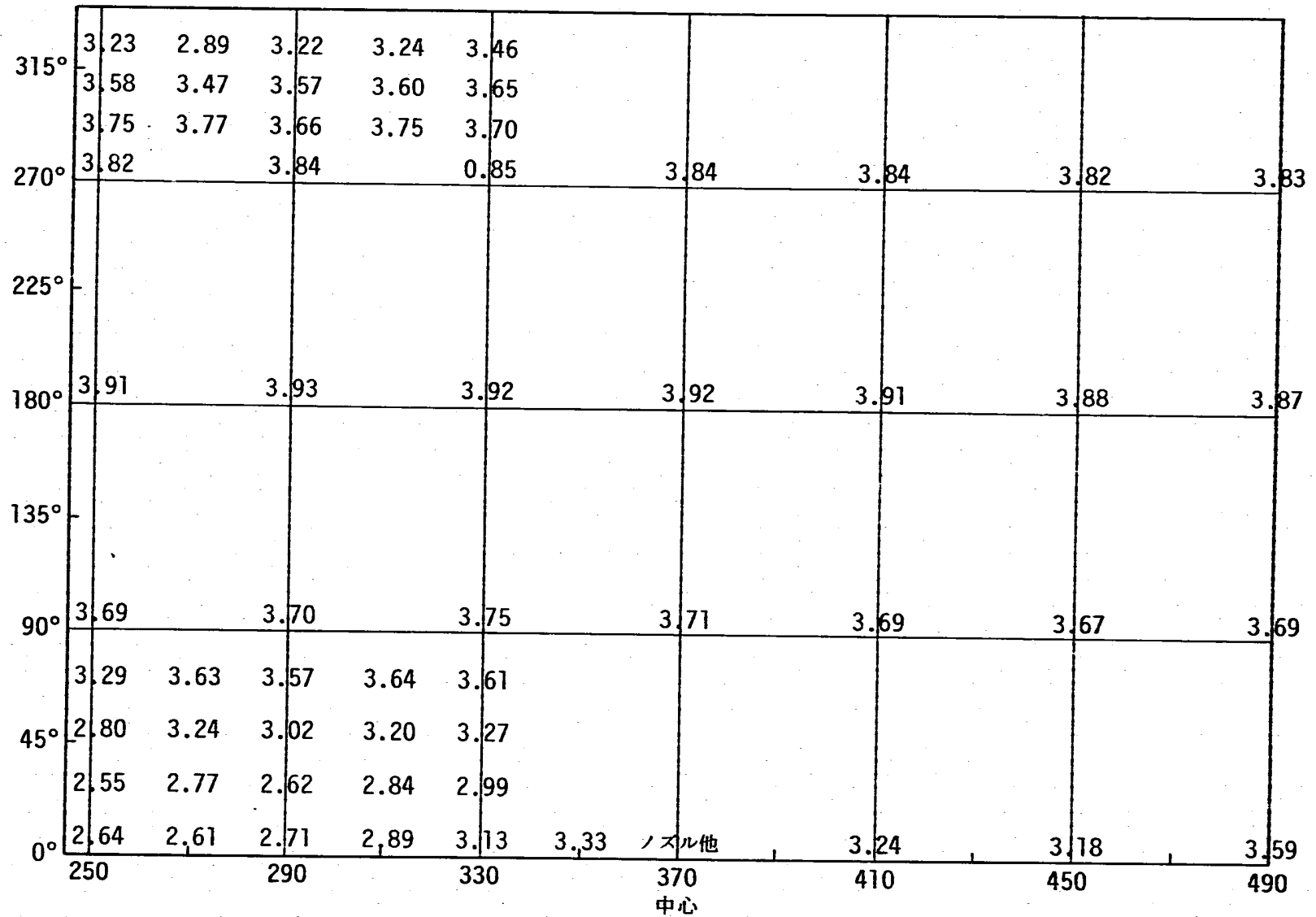


Fig. A.H.10 Map of Wall Thickness of Tube No.212 (Run-13)

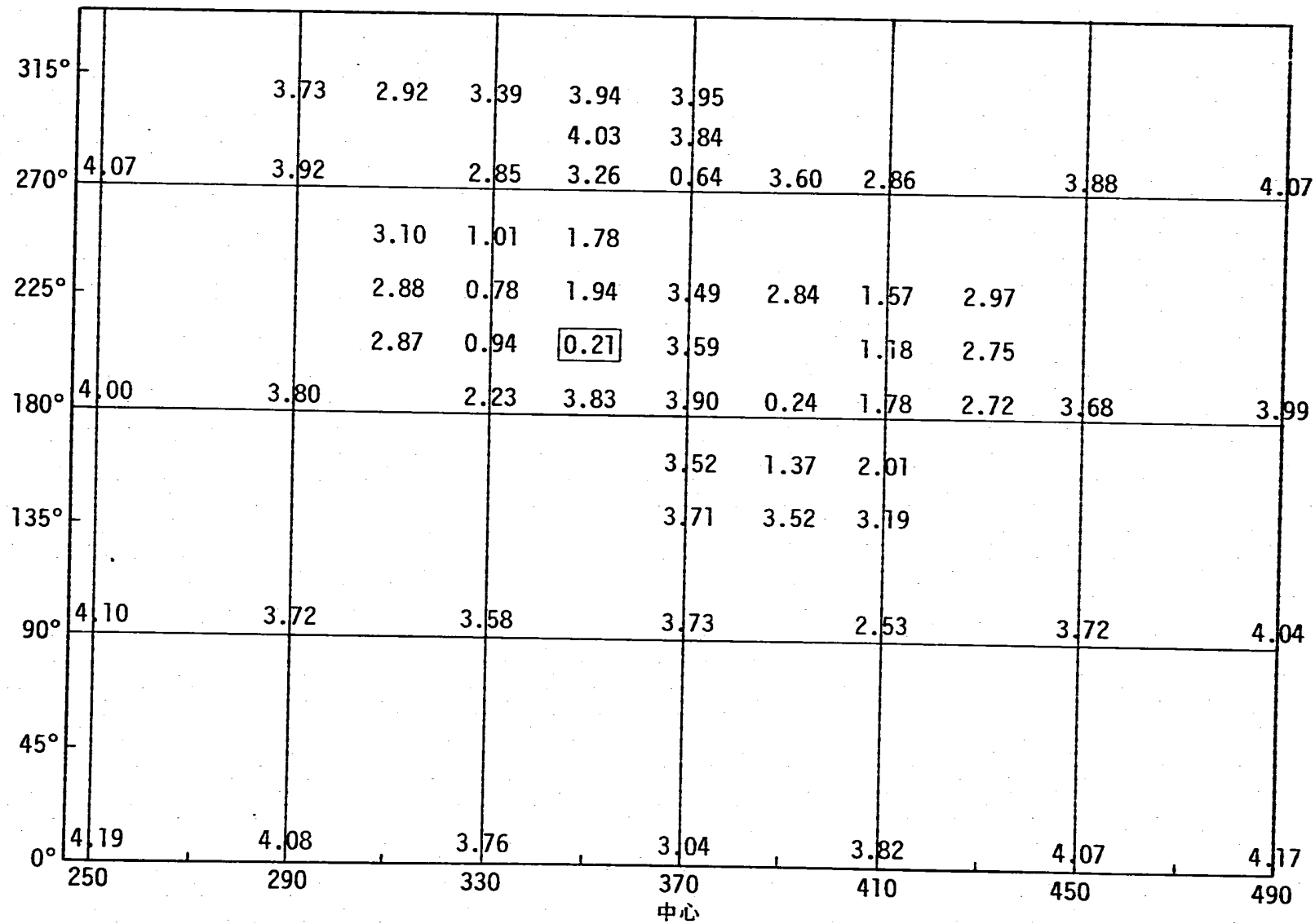


Fig. A.H.11 Map of Wall Thickness of Tube No.218 (Run-13)

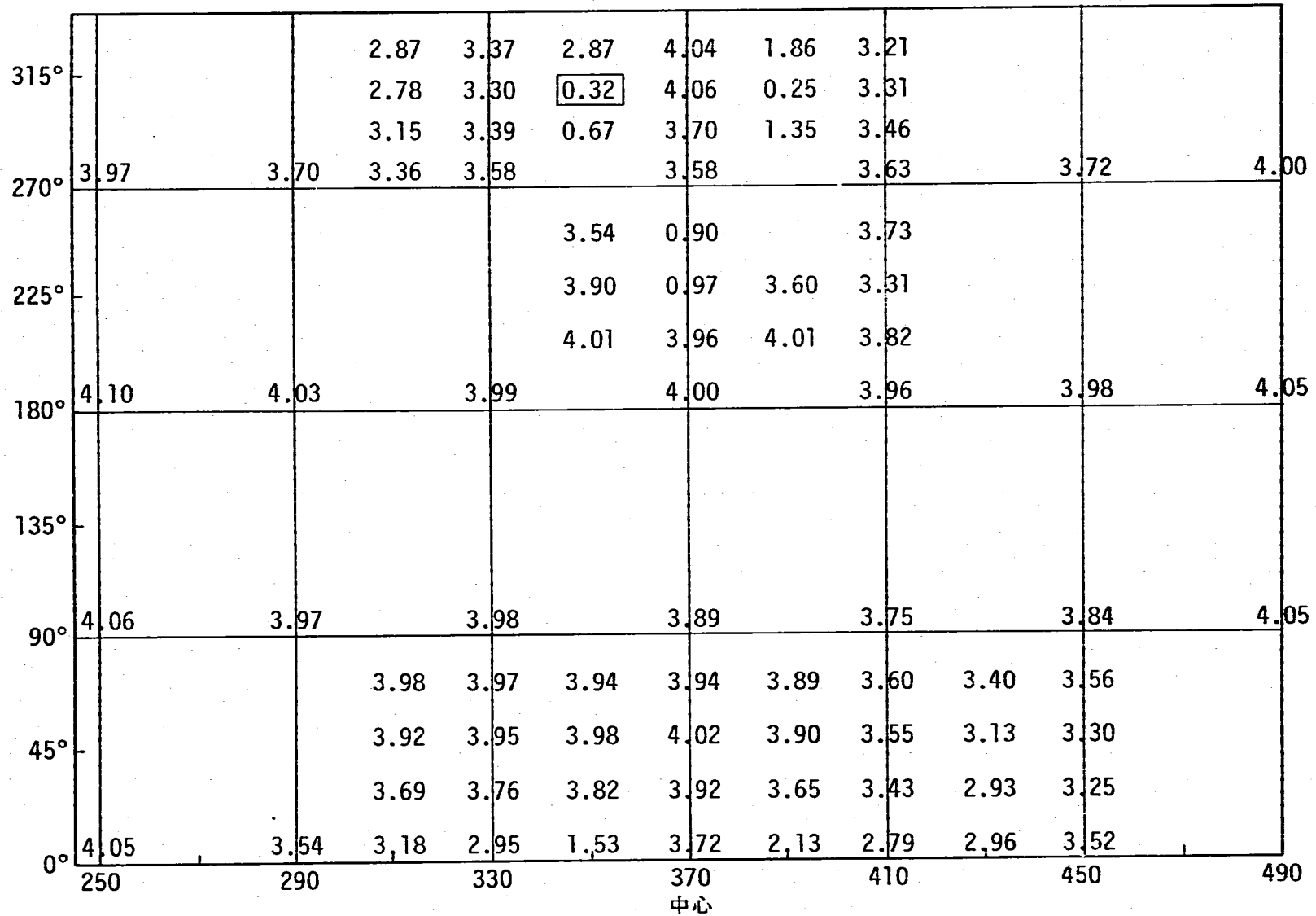


Fig. A.H.12 Map of Wall Thickness of Tube No.219 (Run-13)

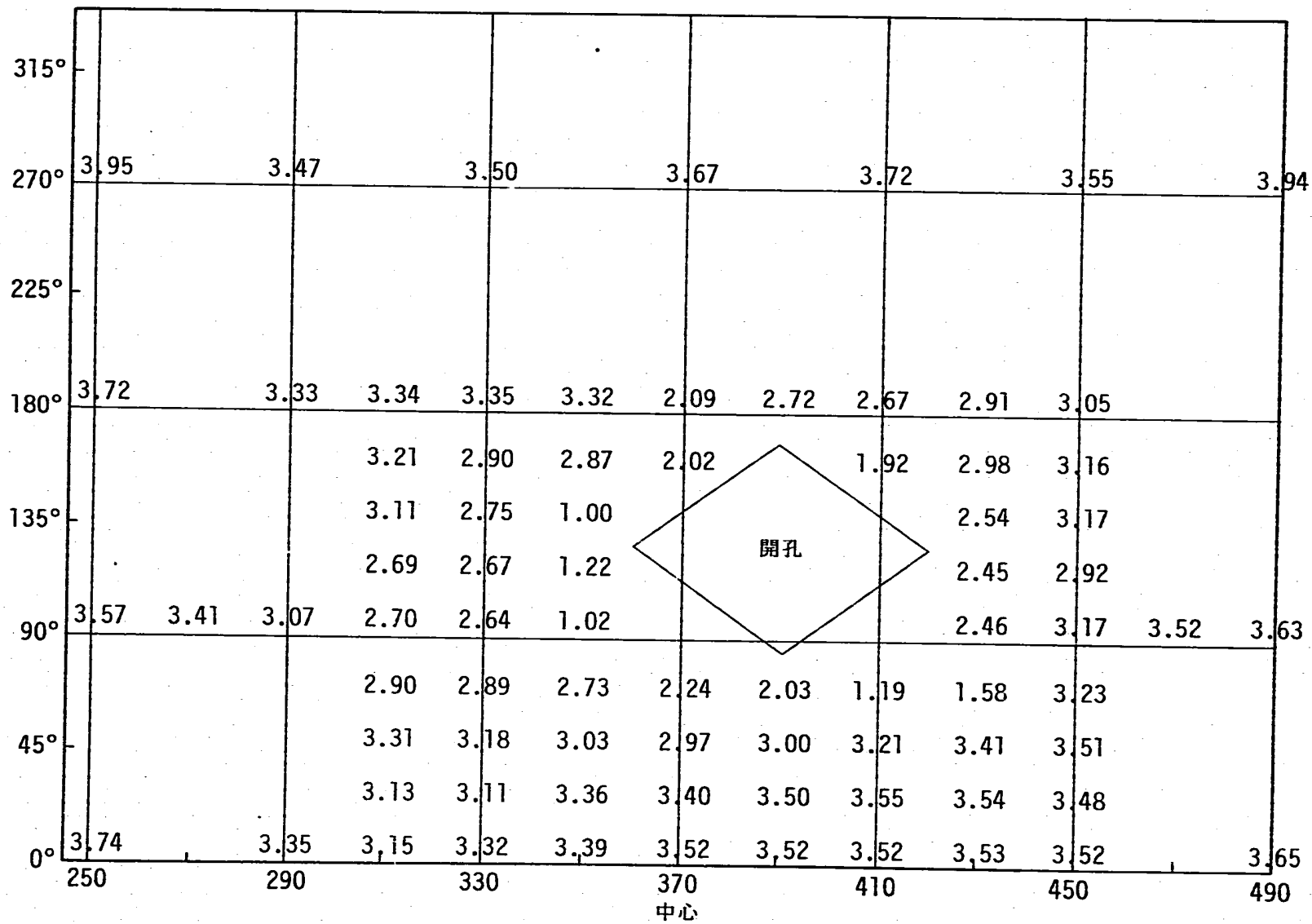


Fig. A.H.13 Map of Wall Thickness of Tube No. 224 (Run-13)

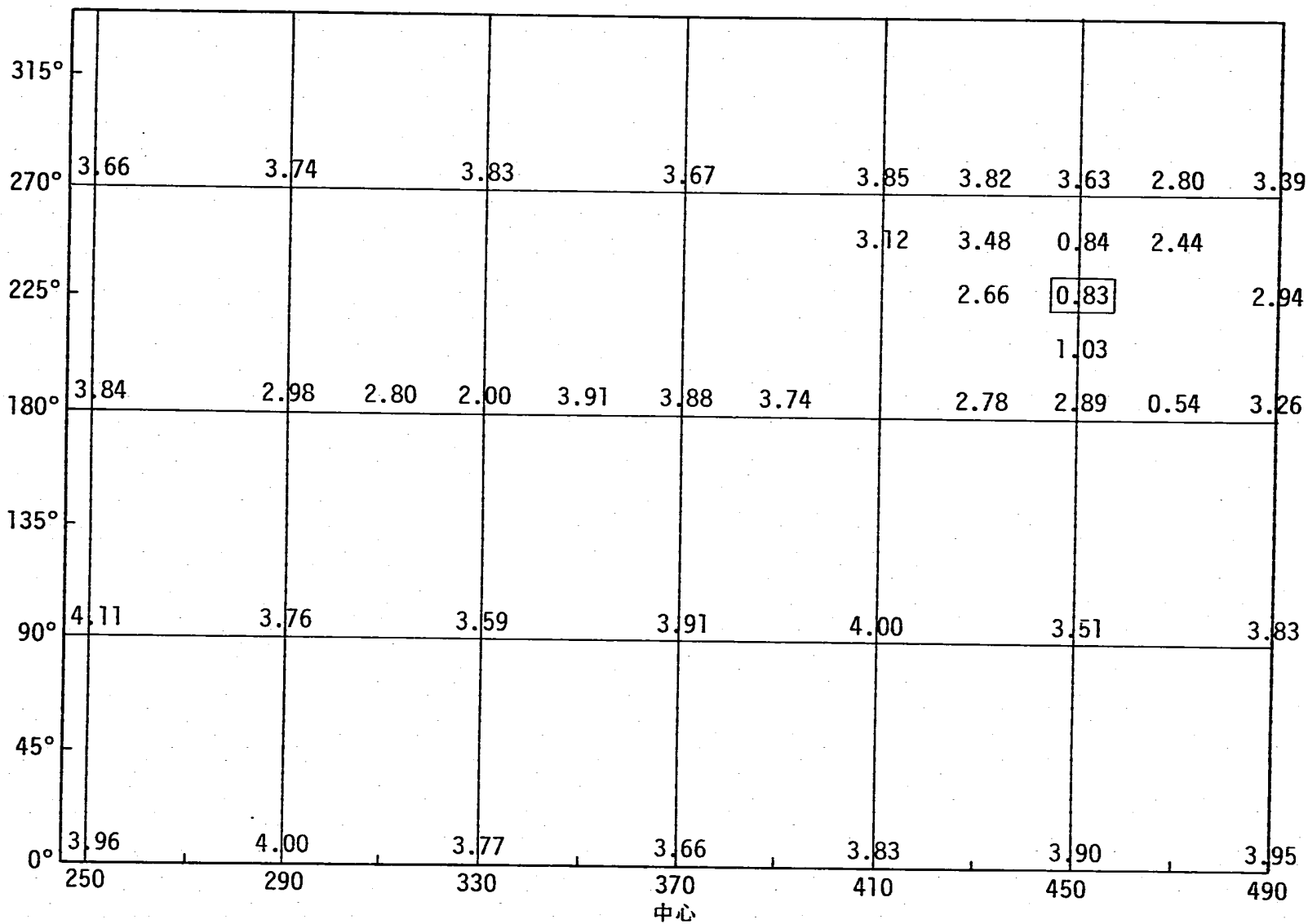


Fig. A.H.14 Map of Wall Thickness of Tube No.225 (Run-13)

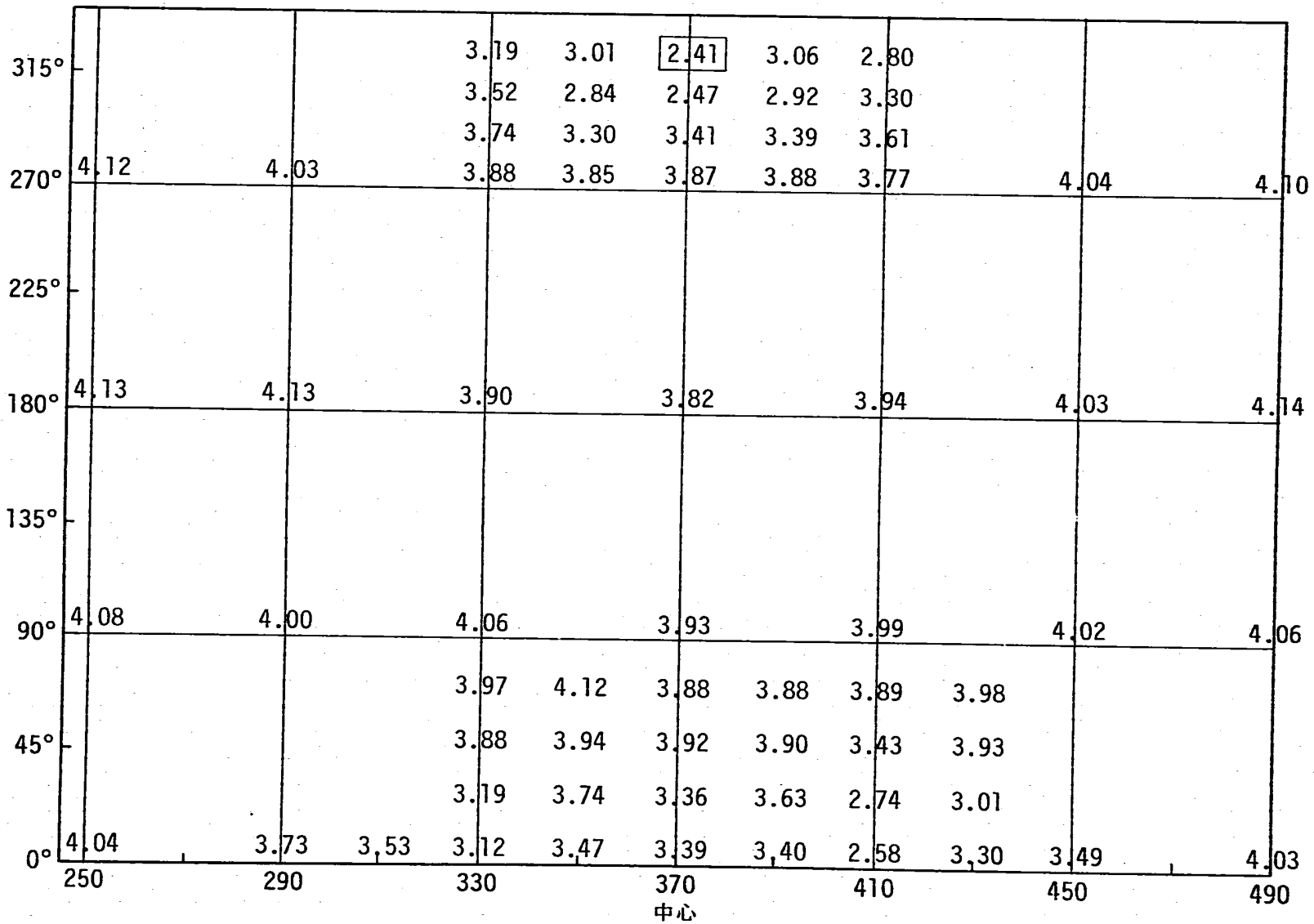


Fig. A.H.15 Map of Wall Thickness of Tube No.226 (Run-13)

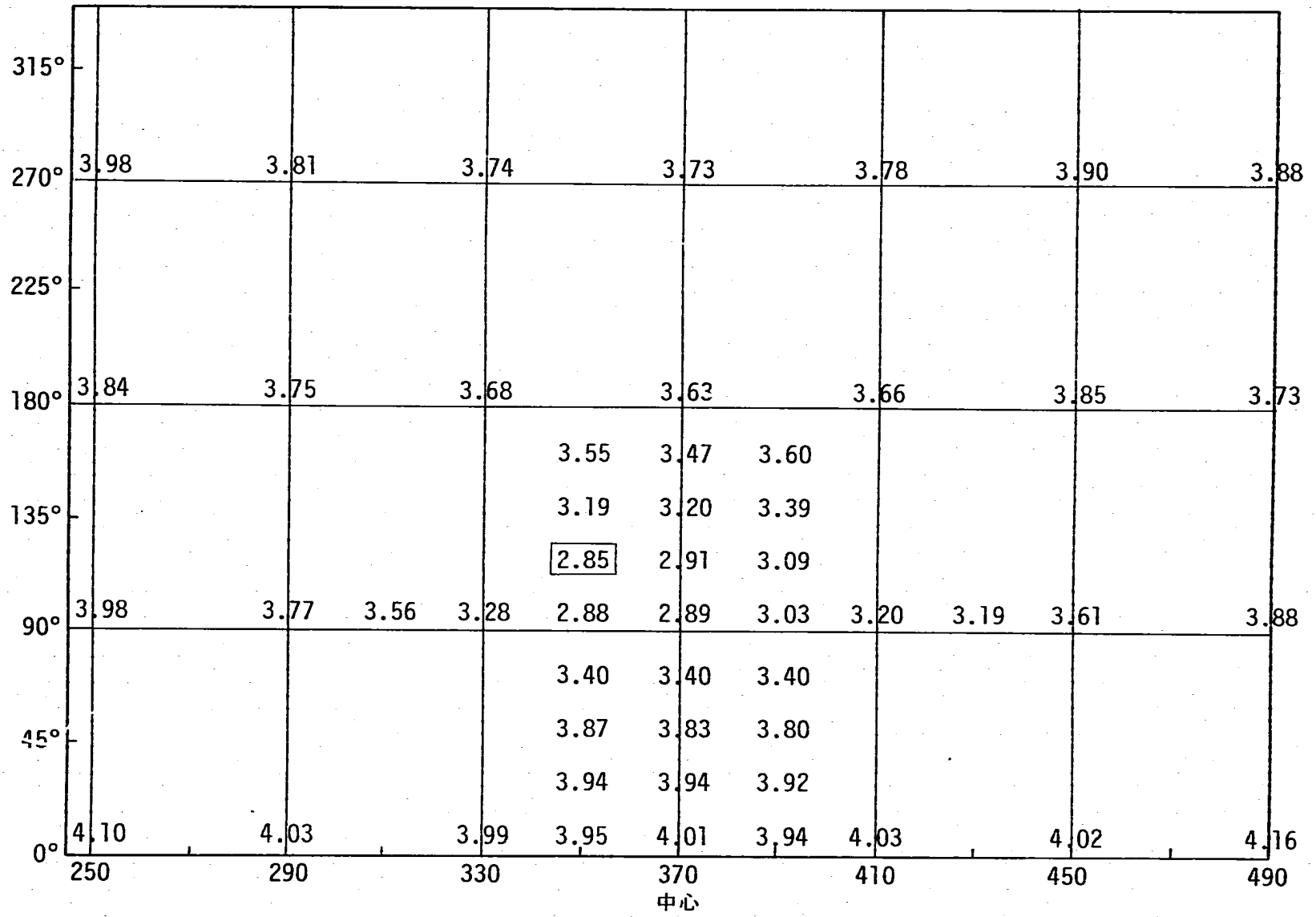
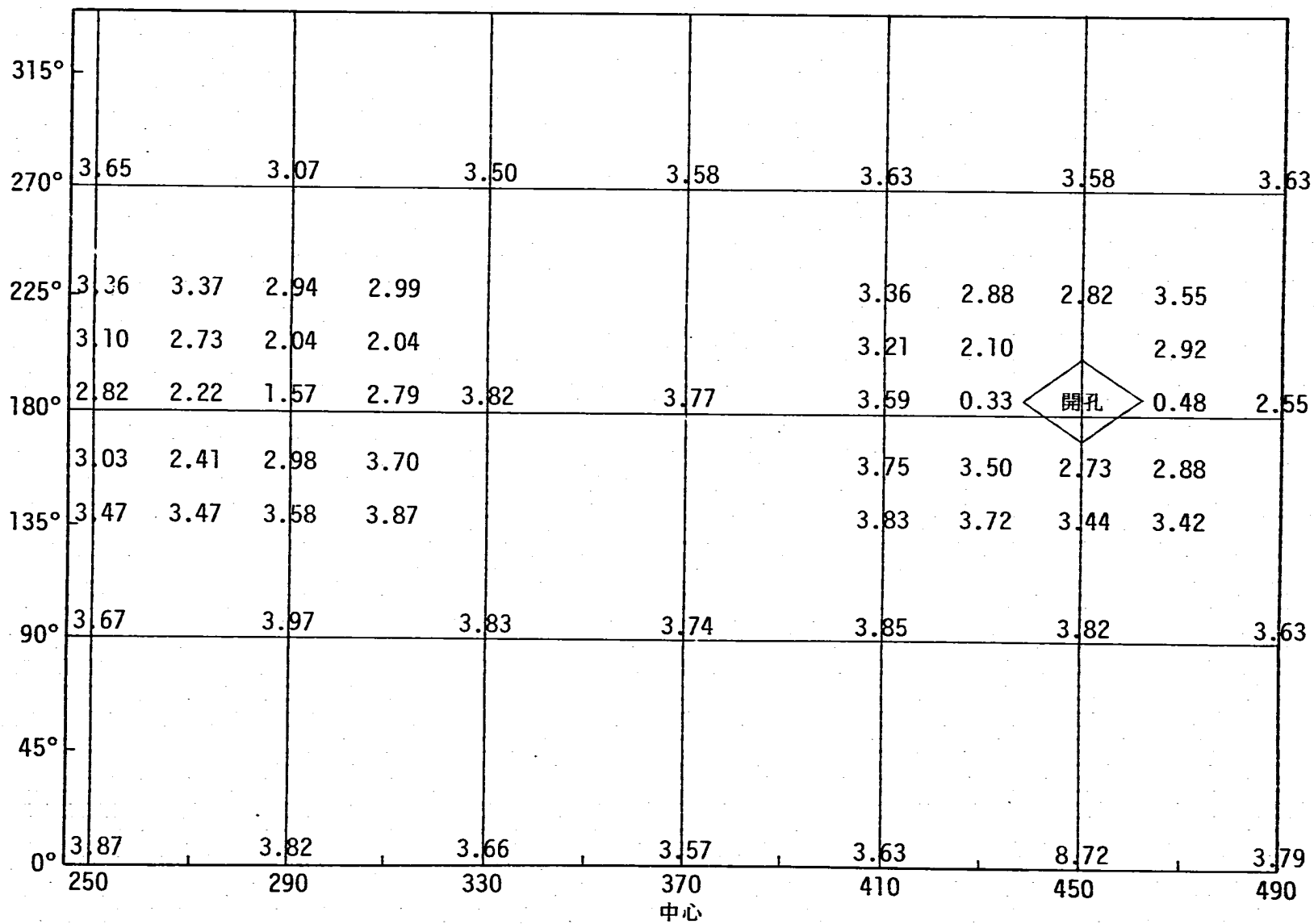


Fig. A.H.16 Map of Wall Thickness of Tube No.230 (Run-13)



- 230 -

Fig. A.H.17 Map of Wall Thickness of Tube No.231 (Run-13)

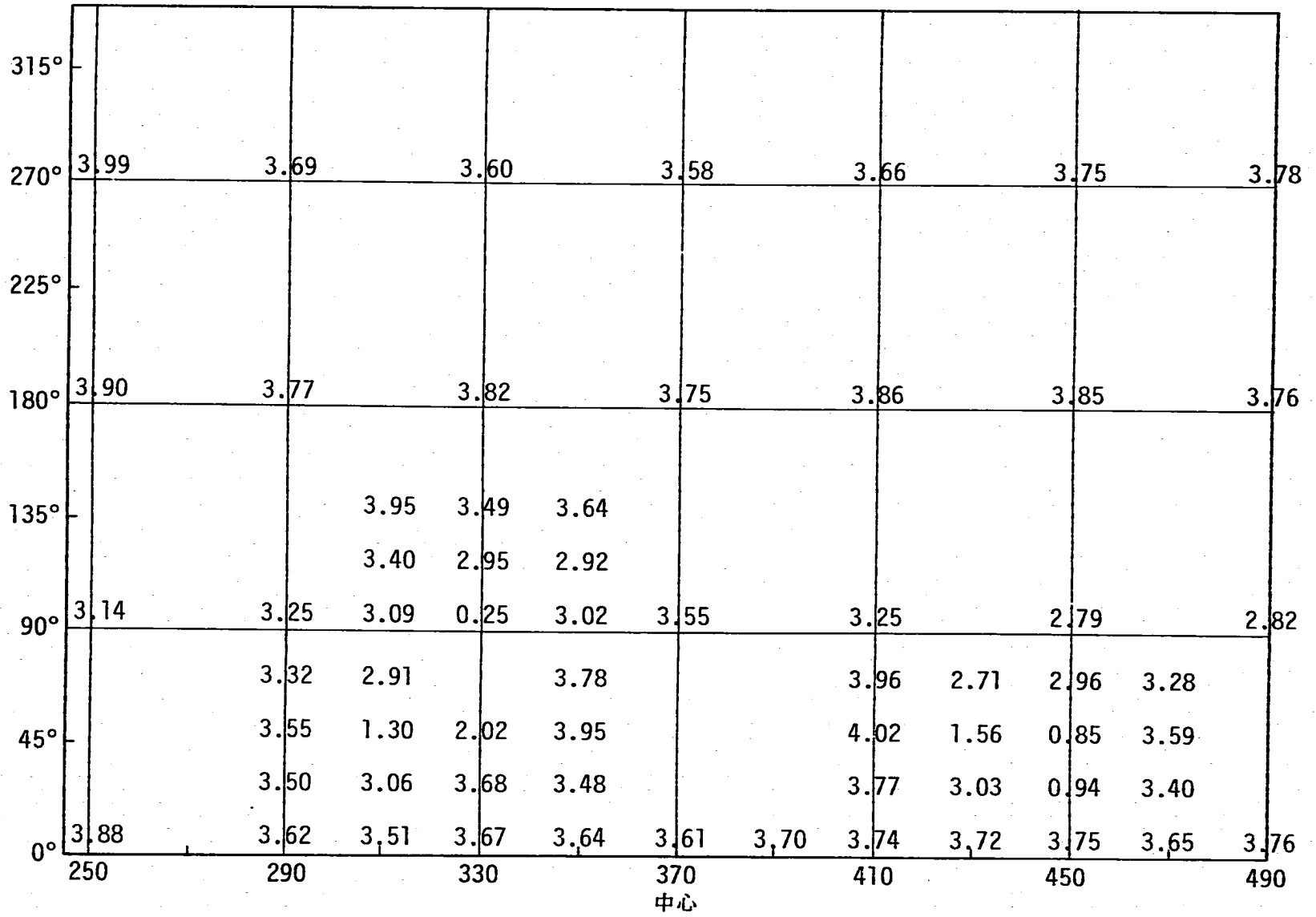


Fig. A.H.18 Map of Wall Thickness of Tube No.232 (Run-13)

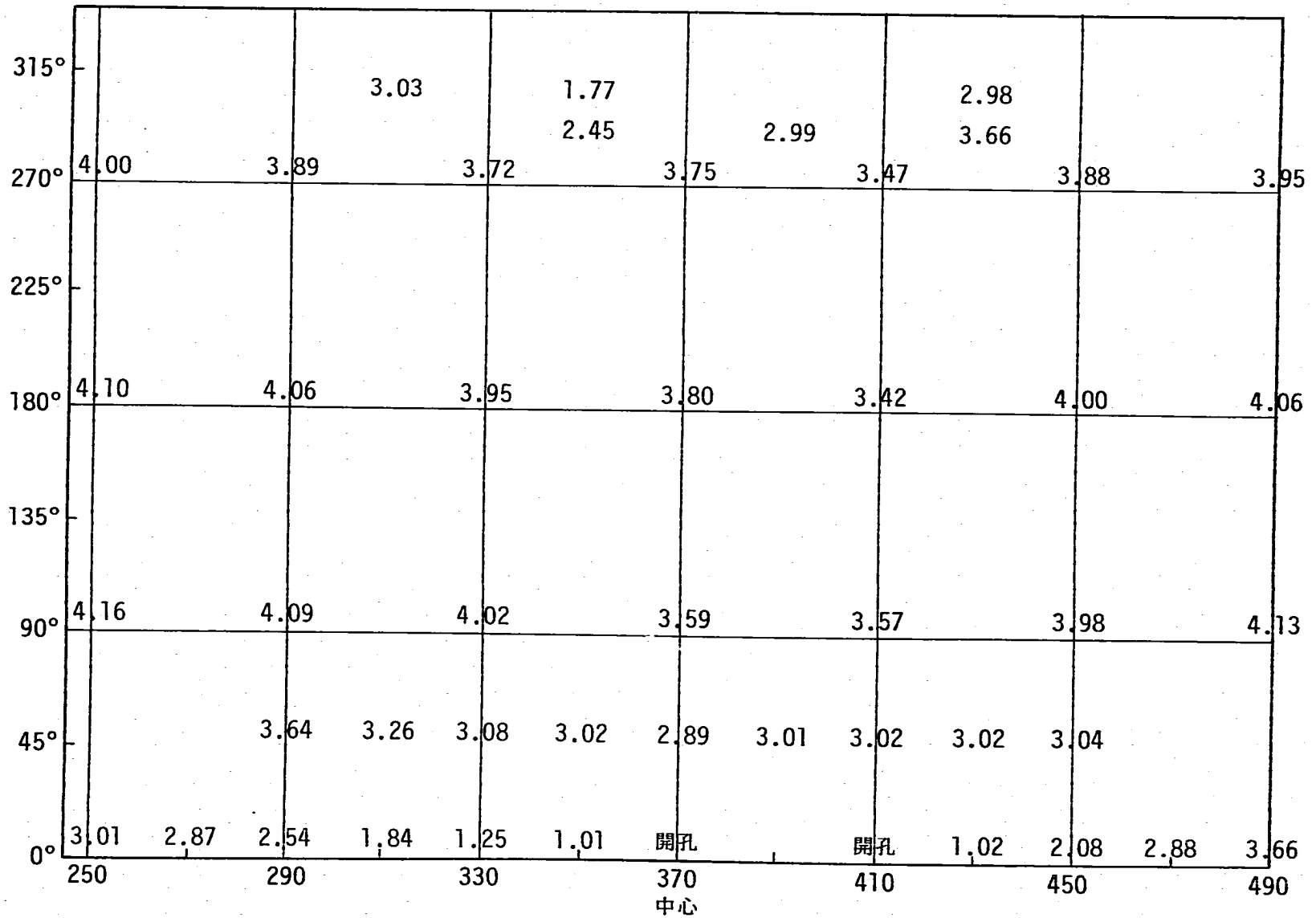


Fig. A.H.19 Map of Wall Thickness of Tube No.233 (Run-13)

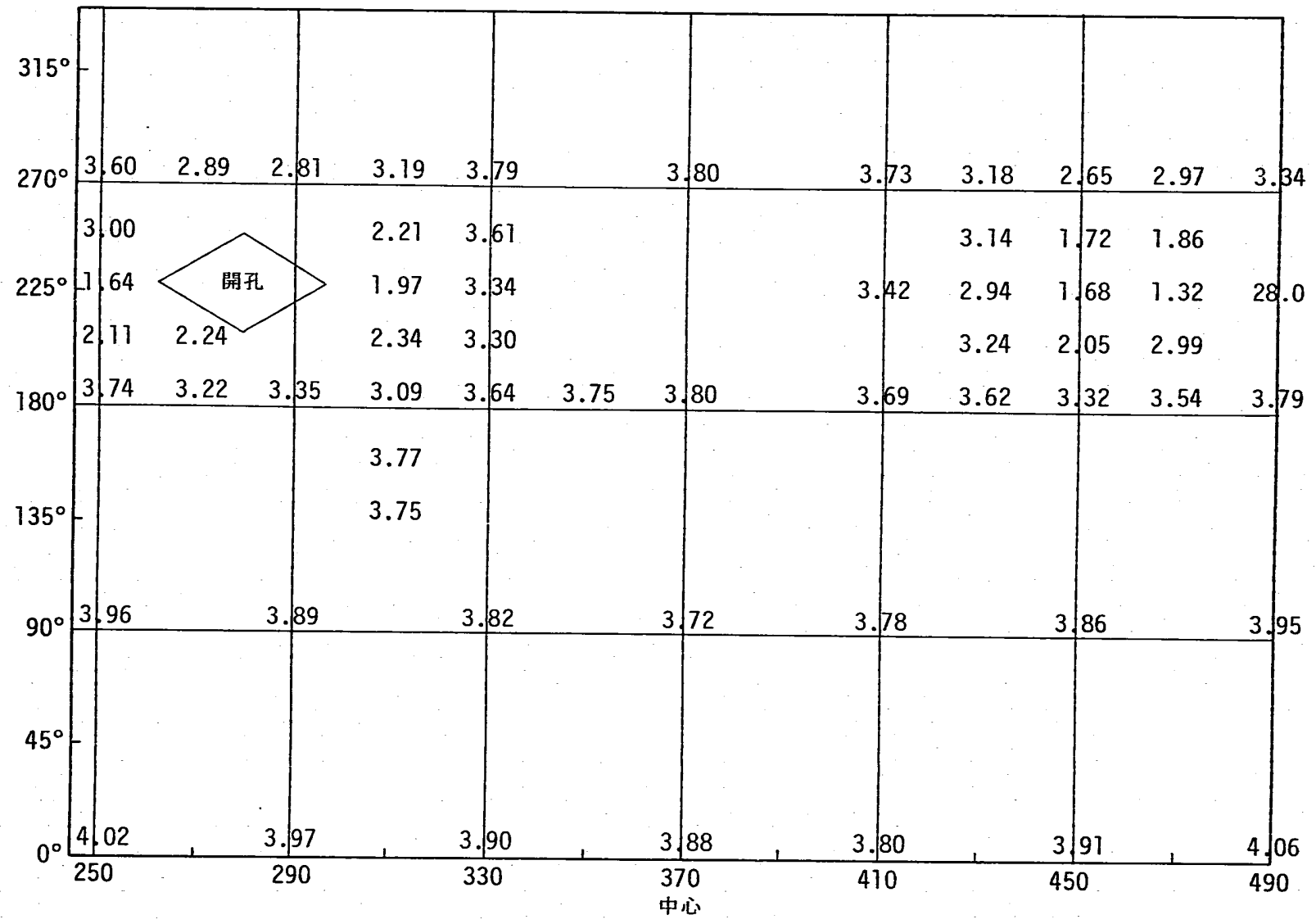


Fig. A.H.20 Map of Wall Thickness of Tube No.238 (Run-13)

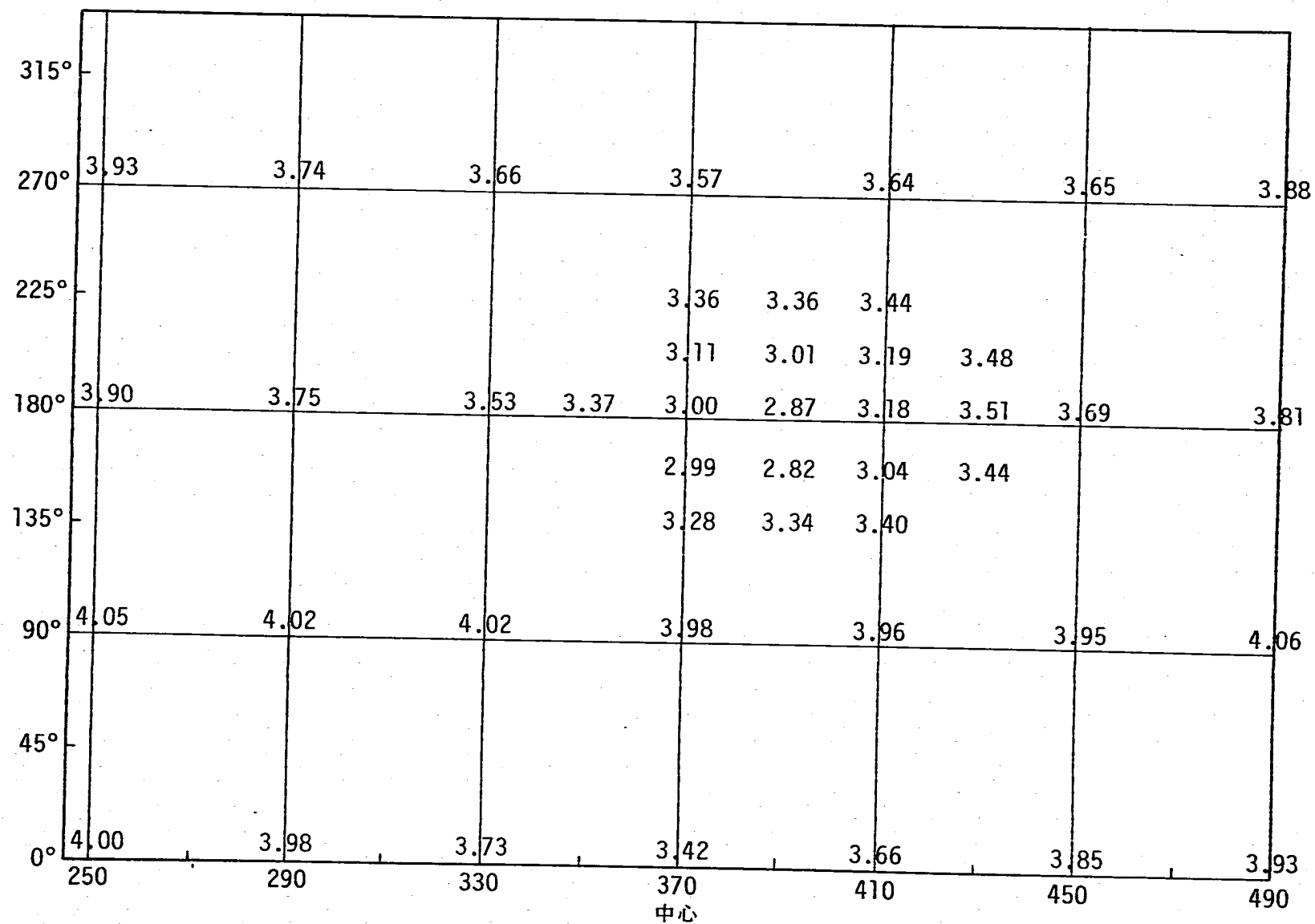


Fig. A.H.21 Map of Wall Thickness of Tube No.239 (Run-13)

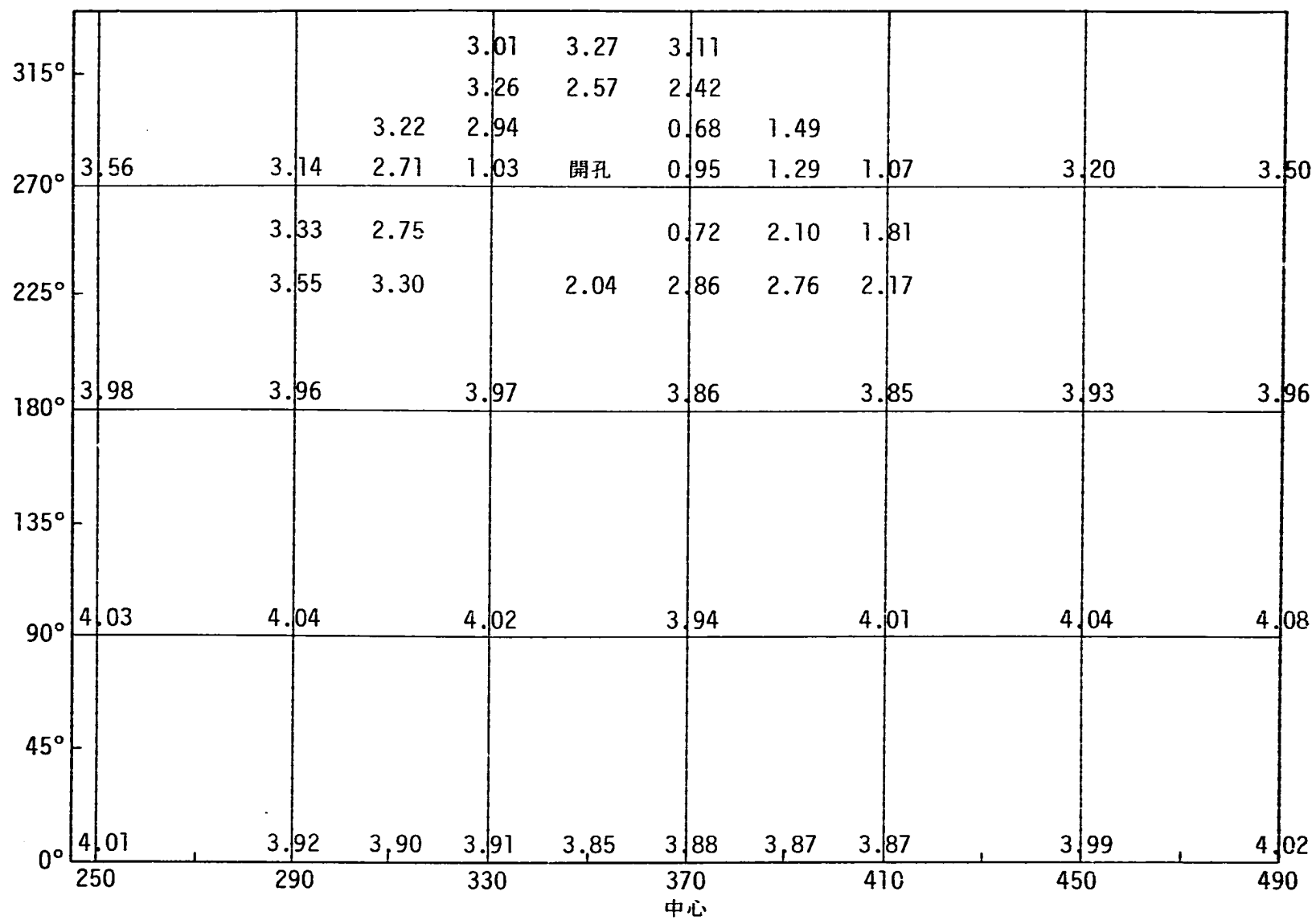


Fig. A.H.22 Map of Wall Thickness of Tube No. 240 (Run-13)