

炉内音響検出予備試験

1991年5月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

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

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

炉内音響検出予備試験

島田 裕一^{1*}, 深見 明弘^{2*}

大山 幸男^{2*}, 井川 健一^{2*}

鈴木 惣十^{3*}, 舟田 敏雄^{1*}

金城 勝哉^{3*}

要 旨

原子炉の炉内異常診断のため早期に炉心の異常を検知する手法の一つとして、音響法がある。本研究では、音響法のNa冷却型高速炉の炉内異常診断技術への適用性に関する基礎データを得るため、高速実験炉「常陽」を用いて炉内音響レベルの測定等の音響検出予備試験を実施した。

本報告に係る一連の試験は、第8回定期検査期間中の平成2年6月13、14日に実施され、下記の結果が得られた。

- (1) 電気ヒータ表面に取り付けた熱電対信号のゆらぎにより、ヒータ加熱によるNaボイドの発生が確認できた。
- (2) 電気ヒータ加熱による炉内のボイドの発生・消滅は、格納容器内の電源、炉内Na流動、1次冷却材ポンプ等に起因するバックグラウンドノイズが予想以上に高く、本研究で開発した音響検出システムでは、確認できなかった。
- (3) 音響信号及びNaボイド発生時の表面温度ゆらぎに、1次主循環流量への明らかな依存性は見られなかった。

本研究の結果、音響法を用いたNaボイド検出による炉内異常検知の成否は、炉内の音響ノイズのレベルによって決まり、この低減が今後の重要課題であることが明らかとなった。

1* 大洗工学センター 実験炉部 技術課 (現 日本原子力発電(株) 高速実験炉開発部)

2* 原子力システム(株)

3* 大洗工学センター 実験炉部 技術課

Preliminary Experiment of Boiling Detection in
the Reactor Vessel by Acoustic Method

Yuichi Shimada^{1*} Akihiro Fukami^{2*}
Yukio Oyama^{2*} Kenichi Igawa^{2*}
Soju Suzuki^{3*} Toshio Funada^{1*}
Katsuya Kinjo^{3*}

Abstract

An acoustic detection method is one of the FBR reactor core malfunction detection methods, and is regarded as being promising.

In this study, the preliminary experiment of boiling detection by acoustic method was conducted at JOYO to measure the acoustic signal level and to investigate the applicability of the acoustic method.

The experiment was performed on June 13 and 14, 1990 during the 8th periodic inspection of JOYO.

The results obtained through the experiment are as follows:

- (1) Sodium bubbling (boiling) induced by the electric heater was detected as the fluctuation of temperature signal of the thermocouple attached to surface of the electric heater.
- (2) Bubbling signal of the acoustic detector could not be identified clearly because of the high background noise caused by the primary main pump vibration, sodium flow in the reactor vessel and the electric supply in the containment vessel.
- (3) The correlation between the signal of the acoustic detector or the fluctuation of temperature signal of the thermocouple and the flow rate of the primary loops was not ascertained.

It became clear through this study that the validity of the reactor core malfunction detection by acoustic method depends on the peculiar noise level in the reactor vessel, and the reduction of noise is the subject for a future study.

1* Reactor Technology Section, Experimental Reactor Division, OEC, PNC.
(Present address: The Japan Atomic Power Company)

2* Nuclear Energy System Inc.

3* Reactor Technology Section, Experimental Reactor Division, OEC, PNC.

目 次

1. はじめに	1
2. 系統設備の概要	2
2.1 原子炉本体	2
2.2 流量調節機構	2
3. 試験設備の概要	4
3.1 試験装置	4
3.2 音響検出器	4
3.3 加熱器	4
3.4 信号処理系	5
4. 試験の概要	6
4.1 試験方法	6
4.2 信号処理	6
4.3 沸騰確認方法	6
5. 試験結果	7
5.1 ボイドの確認	7
5.2 音響測定結果	7
6. 検 討	37
7. 謝 辞	38
参考文献	39
添付資料	40

図表リスト

図2.1	原子炉本体概略断面図	9
図2.2	燃料集合対及びエントランスノズル部概略構造	10
図2.3	反射体（スリットなし）エントランスノズル部概略構造	10
図3.1	炉内音響検出試験装置概略図	11
図3.2	音響検出ポール下部概略断面図	12
図3.3	音響検出器概略図	13
図3.4	加熱器概略図	14
図3.5	ヒータ温度制御系及び温度信号処理系結線図	15
図3.6	音響検出器出力信号処理系結線図	15
図5.1	1次主循環流量100%時の熱電対履歴（TH-2）	16
図5.2	1次主循環流量100%時の熱電対履歴（TH-1）	17
図5.3	1次主循環流量100%時の熱電対履歴（TH-7）	18
図5.4	1次主循環流量100%時の熱電対履歴（TH-6）	19
図5.5	1次主循環流量100%時の熱電対履歴（TH-5）	20
図5.6	1次主循環流量100%時の熱電対履歴（TH-3）	21
図5.7	1次主循環流量100%時の熱電対履歴（TH-4）	22
図5.8	1次主循環流量50%時の熱電対履歴（TH-2）	23
図5.9	1次主循環流量50%時の熱電対履歴（TH-1）	24
図5.10	1次主循環流量50%時の熱電対履歴（TH-7）	25
図5.11	1次主循環流量50%時の熱電対履歴（TH-6）	26
図5.12	1次主循環流量50%時の熱電対履歴（TH-5）	27
図5.13	1次主循環流量50%時の熱電対履歴（TH-3）	28
図5.14	1次主循環流量50%時の熱電対履歴（TH-4）	29
図5.15	1次主循環流量0%時の音響検出信号（バックグラウンド）	30
図5.16	1次主循環流量50%時の音響検出信号（バックグラウンド）	31
図5.17	1次主循環流量50%時の音響検出信号（ボイド発生）	32

図 5.18	1 次主循環流量100%時の音響検出信号 (バックグラウンド)	33
図 5.19	1 次主循環流量100%時の音響検出信号 (ボイド発生)	34
図 5.20	1 次主循環流量50%時の音響検出信号 (バックグラウンド)	35
図 5.21	1 次主循環流量50%時の音響検出信号 (バックグラウンド)	35
図 5.22	1 次主循環流量50%時の音響検出信号 (ボイド発生)	36

1. はじめに

現在FBR実証炉及び大型炉に向けて、炉心異常を早期に検出し、適切に対応するため炉内異常診断システムの開発が進められており、実験炉「常陽」においては、炉心情報（沸騰音等）を迅速かつ的確に収集する方法の研究の一環として、音響法による音響検出器（ LiNbO_3 型圧電素子及び磁歪型）の適用を検討している。燃料集合体等の閉塞による冷却材の沸騰において音響検出法が有効であることは確認されているが、今後この手法を実証炉等に適用するために、実験炉「常陽」でのデータ蓄積を行っていく必要がある。

今回の試験においては、西独KNK-II炉において有効性の確認された音響検出器を適用するが、音響検出器にはバックグラウンド及び音響場特性の形状依存等各炉固有の依存性があると予想され、実験炉「常陽」に恒久的に設置する前に特性を確認する必要がある。したがって、炉内で冷却材沸騰を局所的に発生させ、音響検出器の有効性および冷却材沸騰が温度信号にどのような影響を与えるか観察するため予備試験を実施した。

本報告書は、この予備試験の結果について報告するものである。

2. 系統設備の概要

2.1 原子炉本体

原子炉本体は、図 2.1 に示すように、原子炉容器およびその内部に配置した燃料集合体、反射体、炉心構造物、炉心上部機構ならびに原子炉容器上部に配置した回転プラグ、制御棒駆動機構などにより構成される。

炉心部は、燃料集合体および特殊燃料集合体とその周辺を取り囲む反射体によって構成され全体としてほぼ円柱形をなす。

1 次冷却材は、原子炉容器下部に設けられた冷却材入口ノズルから原子炉容器底部の下部プレナムに入り、炉心支持板高圧プレナムをへて燃料集合体に流入する。炉心支持板高圧プレナムに流入した冷却材の一部は炉心支持板低圧プレナムに流入し、制御棒及び反射体に流入する。

燃料集合体に流入した冷却材は、燃料要素の周囲を上昇しながら燃料要素が発生する熱エネルギーを吸収して高温となり、原子炉容器上部の上部プレナムで反射体等を通してきた冷却材と混合したのち、原子炉容器胴上部に設けられた冷却材出口ノズルをへて 1 次主冷却系の高温側配管へ流れ行く。

2.2 流量調節機構

(1) 燃料集合体

実験炉「常陽」の全ての炉心構成要素は、炉心支持板連結管に自立する構造であり、集合体上部での固定機構はない。燃料集合体は、必要とする冷却材流量が多いので流体圧による浮き上がりを防止するため、高圧プレナムからの冷却材流入を連結管側壁に設けるオリフィス孔により導く流力保持（ハイドロリックホールドダウン）の方式を採用している。

炉心燃料集合体の流量調節機構は、連結管のオリフィス孔と集合体エントランスノズルのオリフィス孔との組み合わせにより、各オリフィス領域での流量配分を満たすようにオリフィス寸法、形状を定めている。概略を図 2.2 に示す。

(2) 反射体

反射体は発熱量が小さく、必要流量はきわめて少ない。冷却材は低圧プリナムより流入し、口径6 mm、厚さ1 mm拡流角度90° のオリフィスにより流量を調節させている。概略を図2.3に示す。

3. 試験設備の概要

3.1 試験装置

試験装置の概略を図3.1, 2に示す。試験装置は、軸封装置、ドアバルブおよび円筒状ポールにより構成され、ポールには最小部に局所沸騰をおこす加熱器を配置し、加熱器取付け板を介してその約250mm上方に検出器を配している。加熱器取付け板の直下部および検出器の横には音波（圧力波）の伝搬を考慮して直径30mmの穴を四方に開けている。

本試験装置は大回転プラグ上の炉内検査孔（B）から炉内に挿入され、炉心構造物頂部より約215mm上（ナトリウム液面下約3175mm）の位置にポールの下部がくるように設置される。

3.2 音響検出器

音響測定用検出器として西独のINTERATOM社製の LiNbO_3 圧電型素子型超音波センサーを利用する。この検出器はKNK-IIにおける沸騰試験においても使用されており良好と思われる結果を得ている。

図3.3に外形図を示す。沸騰による圧力波（音波）は、KNK-II（西独）及びDFR（イギリス）で行った沸騰試験結果より10k~100程度kHzの周波数帯域になると予想されるため、周波数特性として10~200kHzのオーダーまでフラットな特性を持つ検出器を採用した。

3.3 加熱器

図3.4に加熱器の外形図を示す。加熱器は非接地型間接通電型でニクロム線を絶縁材（BN）で覆いシース（SUS316）に収納している。また、熱を拡散させないように保温材（ファインフレックス）にて加熱器を覆い、加熱器と保温層との隙間に入っているナトリウムを熱することで沸騰を局所的に抑える設計としている。加熱器表面には、7本のK型熱電対（TH-1~7）を取付けている。

3.4 信号処理系

(1) 温度制御系

図3.5に温度制御系の結線図を示す。ヒータ表面に取付けてある熱電対（7本）の出力信号は、直流増幅器を通じてアナログデータレコーダに接続される。

また、直流増幅器入力と並列にペンレコーダに記録する。

ヒータ制御装置は、電圧、電流制御方式である。

(2) 音響検出器信号処理系

図3.6に音響検出器信号系の結線図を示す。音響検出器出力は、プリアンプで増幅された後、アナログデータレコーダおよびデジタルオシロスコープに並列に入力される。

4. 試験の概要

4.1 試験方法

試験装置に炉内検査孔（B）より炉内に挿入し、1次主循環流量を0%、50%、100%に変化させ各流量の安定時に炉内音響のバックグラウンドを測定すると共に50%、100%時に加熱器により冷却材を局部的に加熱し沸騰させ、その時の音響の測定を行った。

4.2 信号処理

データは、アナログデータレコーダで収録し、炉雑音システムによりデジタル変換させたのち、雑音解析コード“NOISA”により周波数解析する。また、試験中、音響検出器の信号はデジタルオシロスコープ、熱電対の信号はペンレコーダにて監視を行う。

4.3 沸騰確認方法

ヒータ表面に取付けてあるK型熱電対7本の温度信号のゆらぎにより確認する。これは、ボイドが発生した場合ボイド空間が高温となり、つぎにこの高温部に冷却材が流れ込むという現象の繰り返しにより温度のゆらぎが発生すると考えられるためである。なお、ボイド発生温度は約910℃前後と予測される。

5. 試験結果

5.1 ボイドの確認

図5.1～14に、それぞれ100%、50%流量時のヒータ昇温時の熱電対の信号履歴を示す。図5.1～5において、TH-2が900℃に達した時点でTH-1, 5及びTH-6, 7に急激な信号のゆらぎが発生しており、この時点においてボイドの発生（沸騰）が生じたと判断される。このボイドの発生は、ヒータ電圧を下降させるまで数分間に渡って持続しており、途中ヒータ電圧を増加させても、最高温度を示す熱電対（TH-2）の温度は上昇しなかったことから、ボイドの発生は確実と考えられる。また、50%流量時においても同様にTH-2が900℃に達した時点にて数分間TH-1, 5及びTH-6, 7に信号のゆらぎが発生しボイド（沸騰）が生じている。また、図中においてTH-2が900℃に達したあと、50%、100%流量とも同様に温度が50%から100%程度降下しているが、これは、ヒータ保温材外部からの低温冷却材の流れ込みにより混合が生じたためと考えられる。

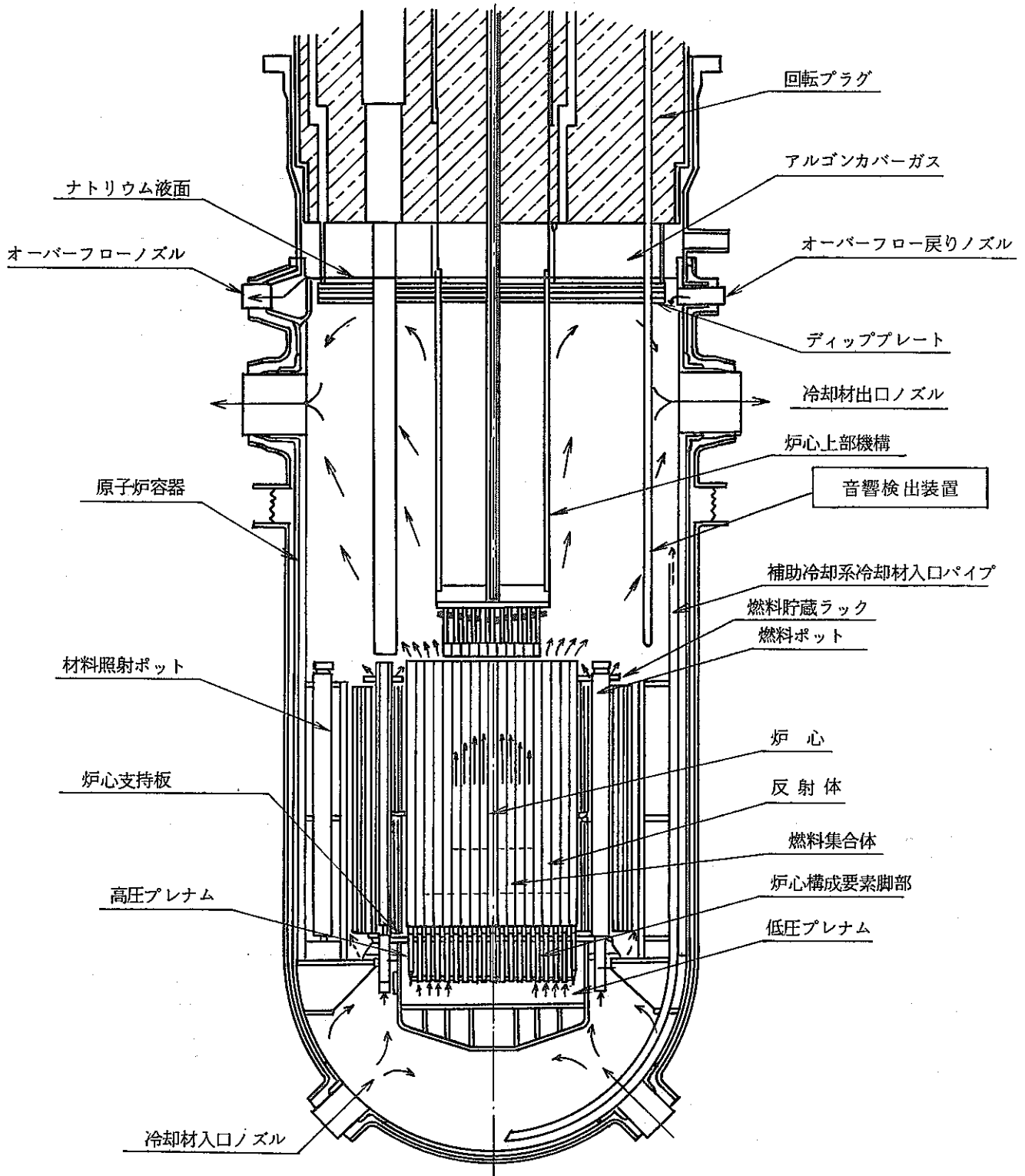
5.2 音響測定結果

図5.15～19に0, 50, 100%流量時のバックグラウンド及び50%, 100%流量時のボイドが発生した時のパワースペクトルを示す。また、図5.20～22に50%流量時の時間をずらしたバックグラウンドおよびボイド発生時のデジタルオシロスコープによるデータを示す。このパワースペクトルを見ると、0, 100%流量のバックグラウンドおよび50, 100%流量時のボイド発生時のデータはほぼ同様な周波数成分であり、50%流量時のバックグラウンドが他に比べ周波数成分が違うように見られる。これは、図5.20による同時間のデータおよび図5.21, 22より判断すると50%流量時のバックグラウンドのパワースペクトルデータは、たまたまこの様なデータであったと思われ、時間をずらして測定すれば他のデータと同様であると考えられる。

試験全体を通じて、検出器の出力信号はデジタルオシロスコープにて常時監視を行っていたが、ノイズと考えられ高いレベルのバックグラウンドが観測され、1次主循環流量を変化させてもレベルの変化はなく、流量変動によるバックグラウンドの変化は観測されなかった。また、ボイド発生時においても同様のレベルであり、ボイドが消滅するとき

に発生する～100kHzの音響信号は、このバックグラウンドノイズのため観測されなかった。

以上より判断するとこれら全体の周波数成分は電気ノイズと考えられ、流量の変化及びボイド発生時の周波数成分がどの帯域であるか確認することが出来なかった。



(注) ↑ は冷却材の流れ方向を示す。

図 2.1 原子炉本体概略断面図

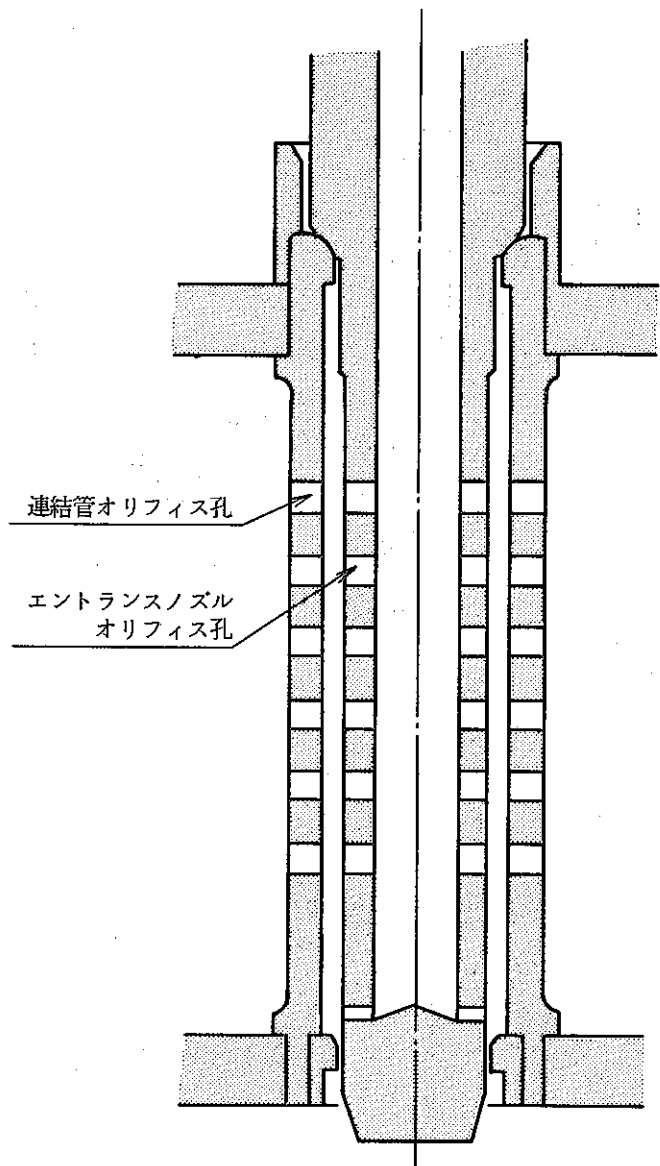


図 2.2 炉心燃料集合体及びエントランスノズル部概略構造

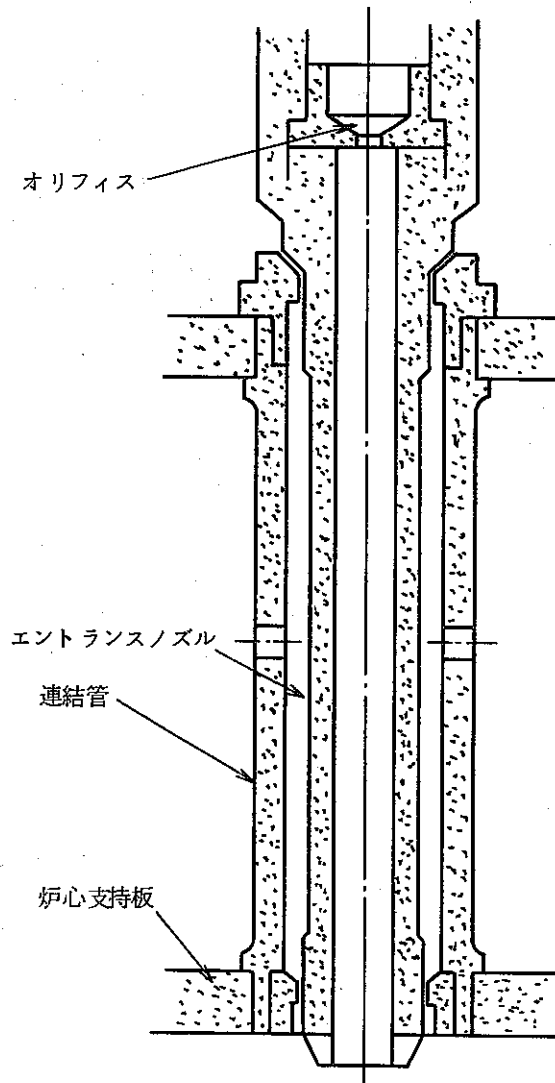


図 2.3 反射体（スリットなし）エントランスノズル部概略構造

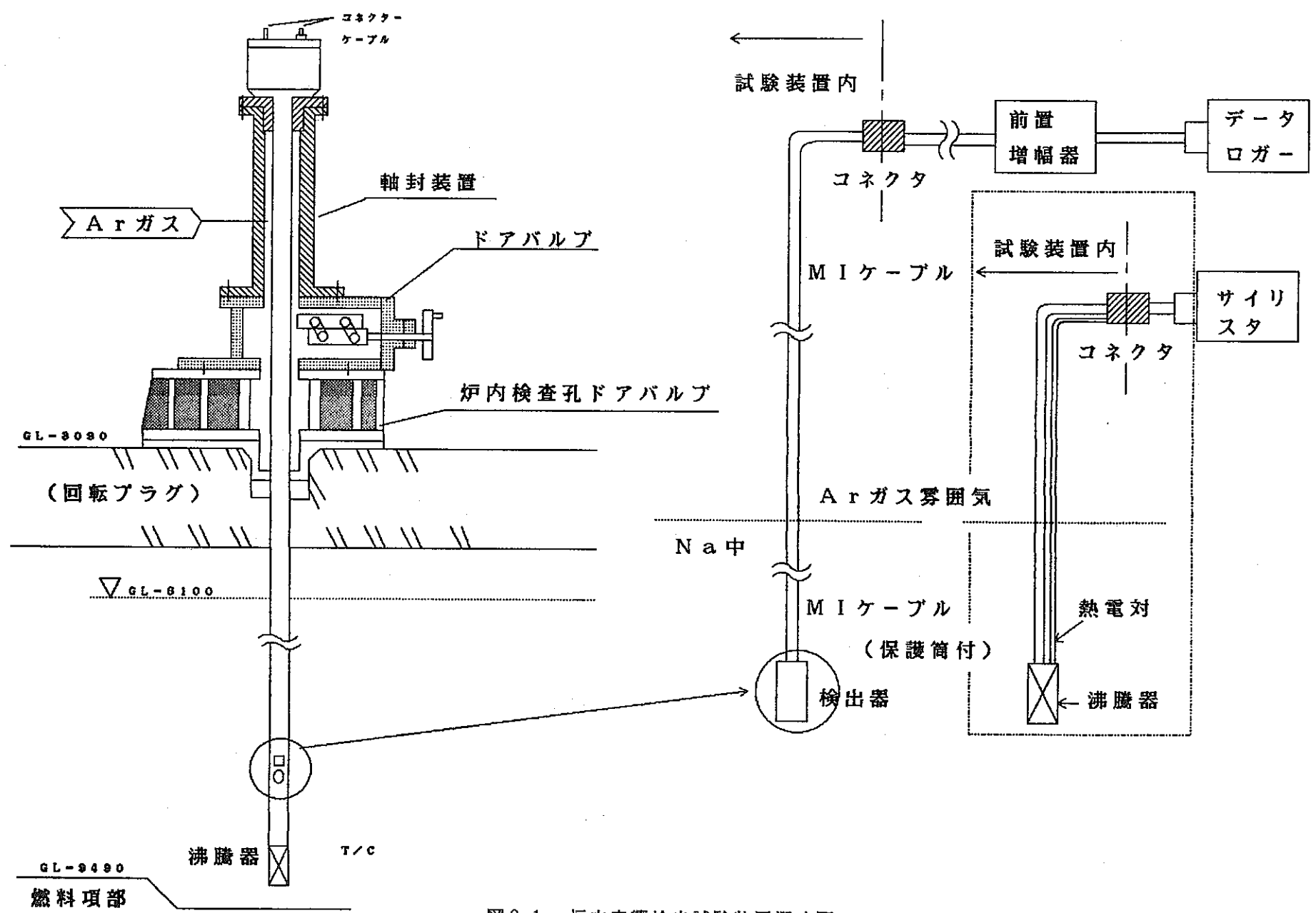


図3.1 炉内音響検出試験装置概略図

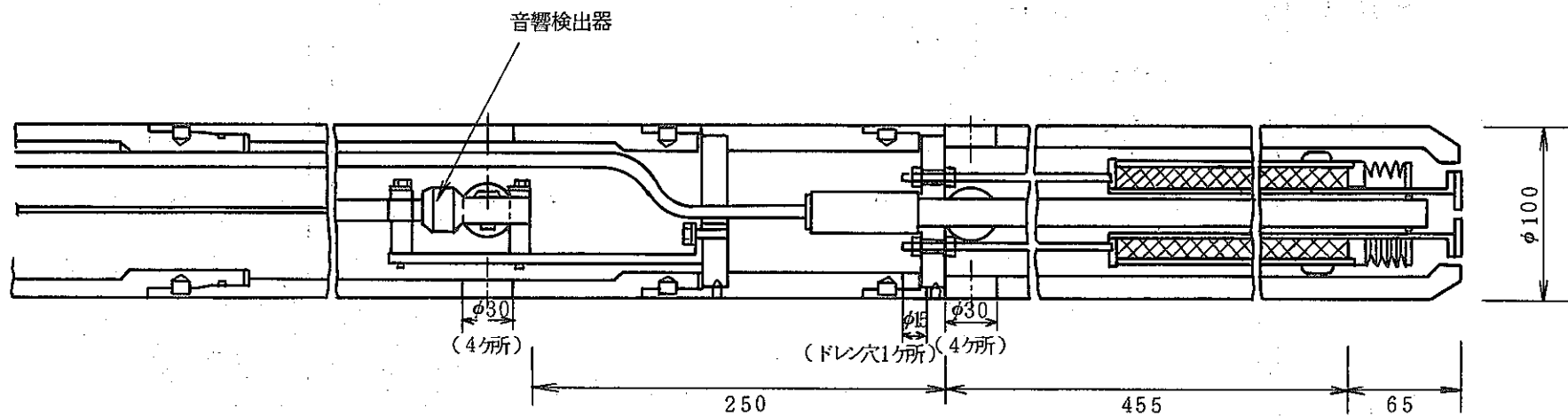


図3.2 音響検出ボール下部概略断面図

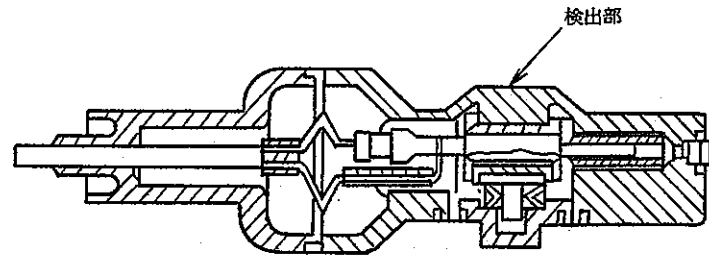
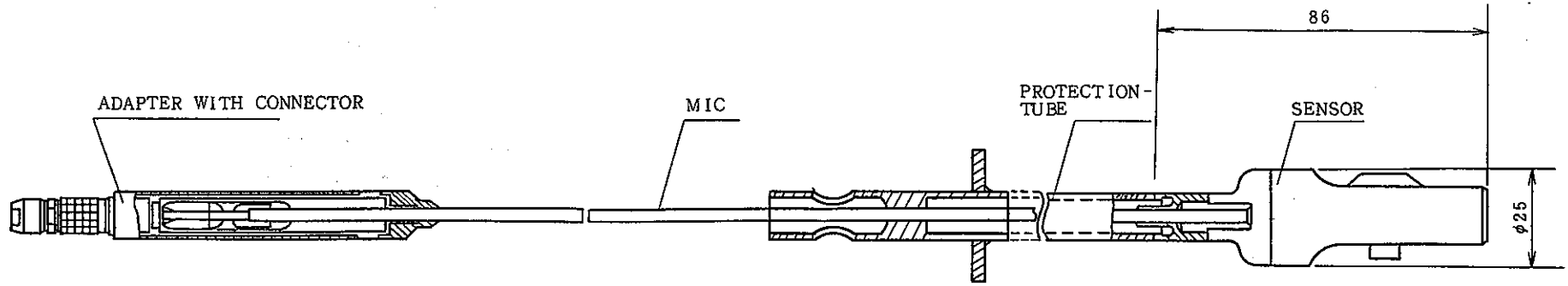


図 3.3 音響検出器概略図

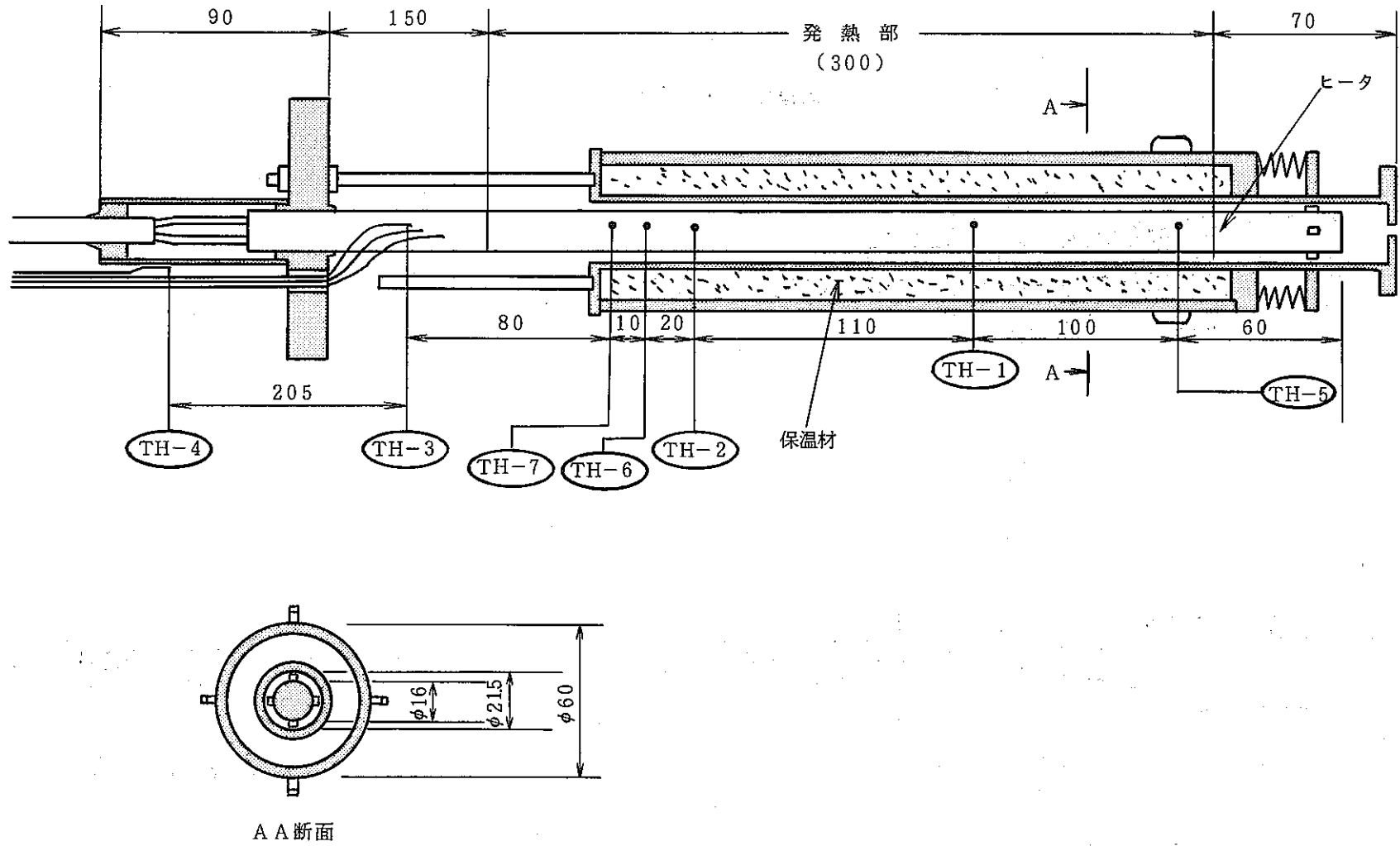


图 3.4 加热器概略图

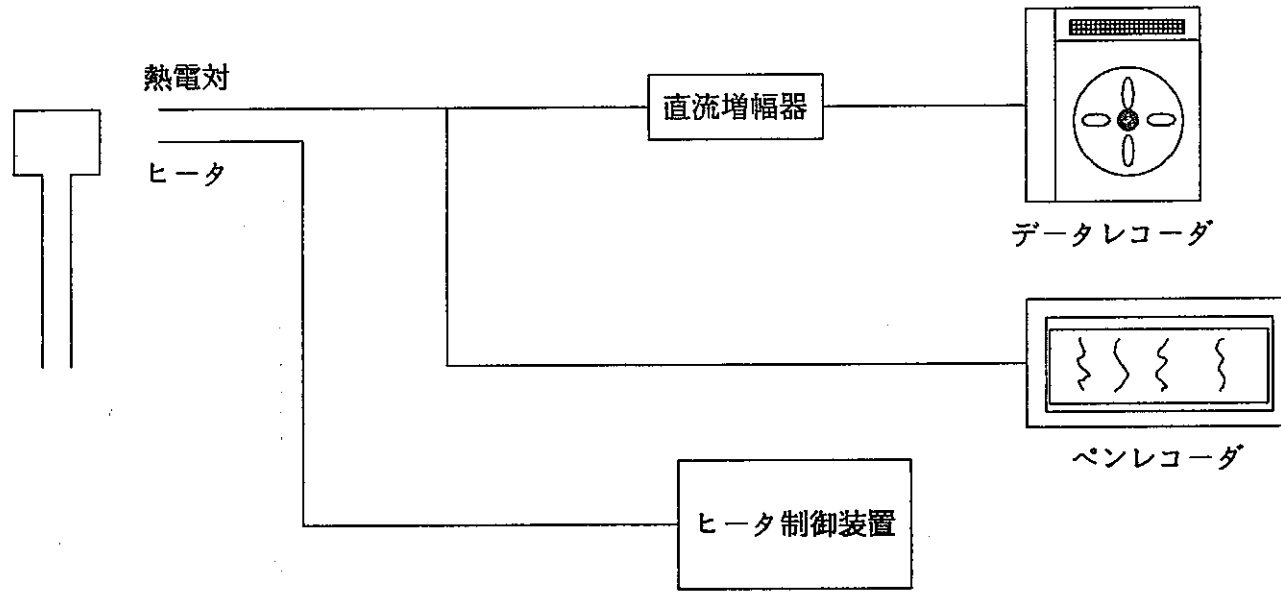


図 3.5 ヒータ温度制御系及び温度信号処理系結線図

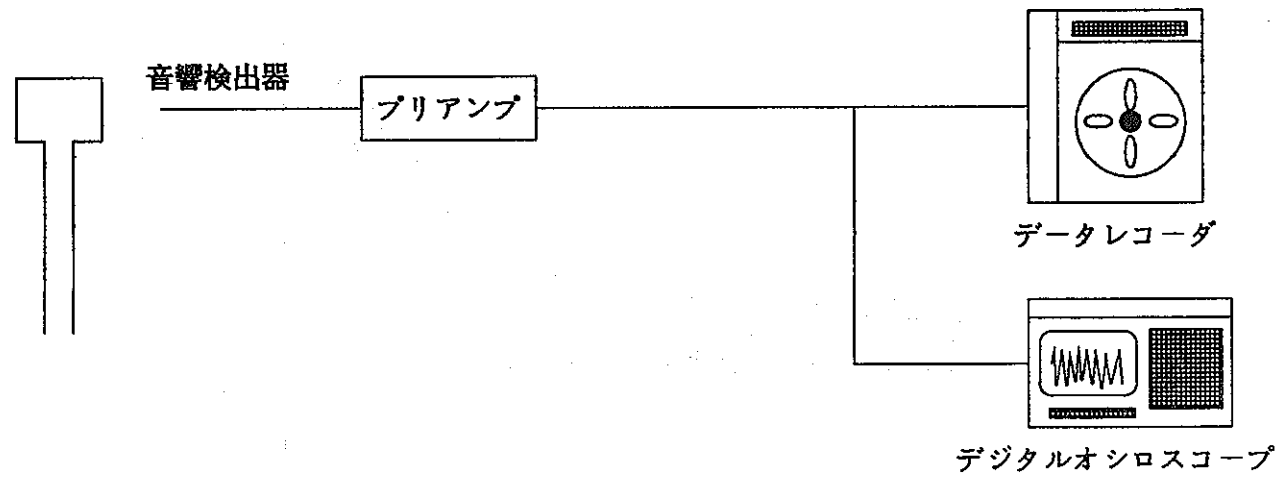


図 3.6 音響検出器出力信号処理系結線図

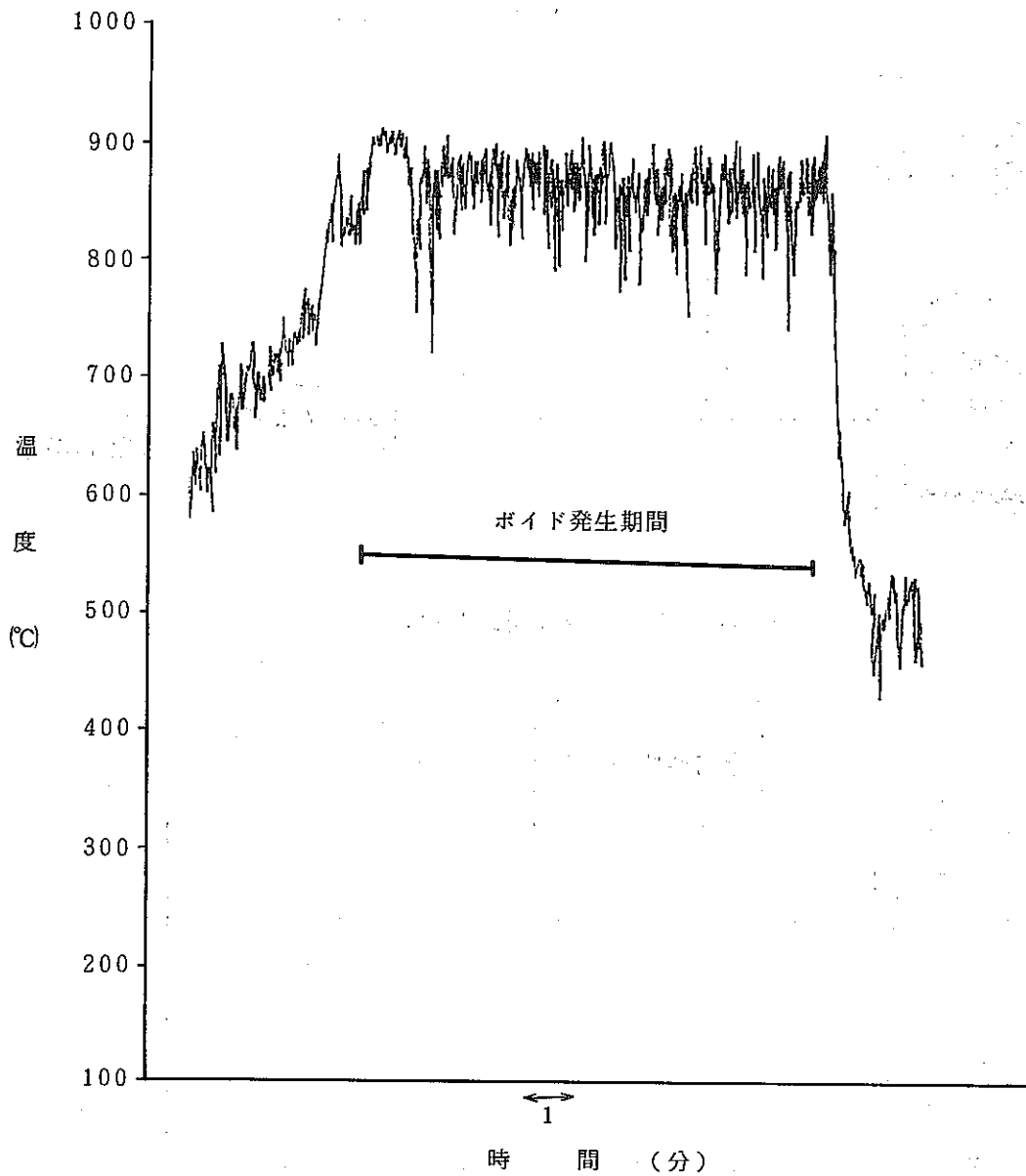


図 5.1 1次主循環流量100%時の熱電対履歴 (TH-2)

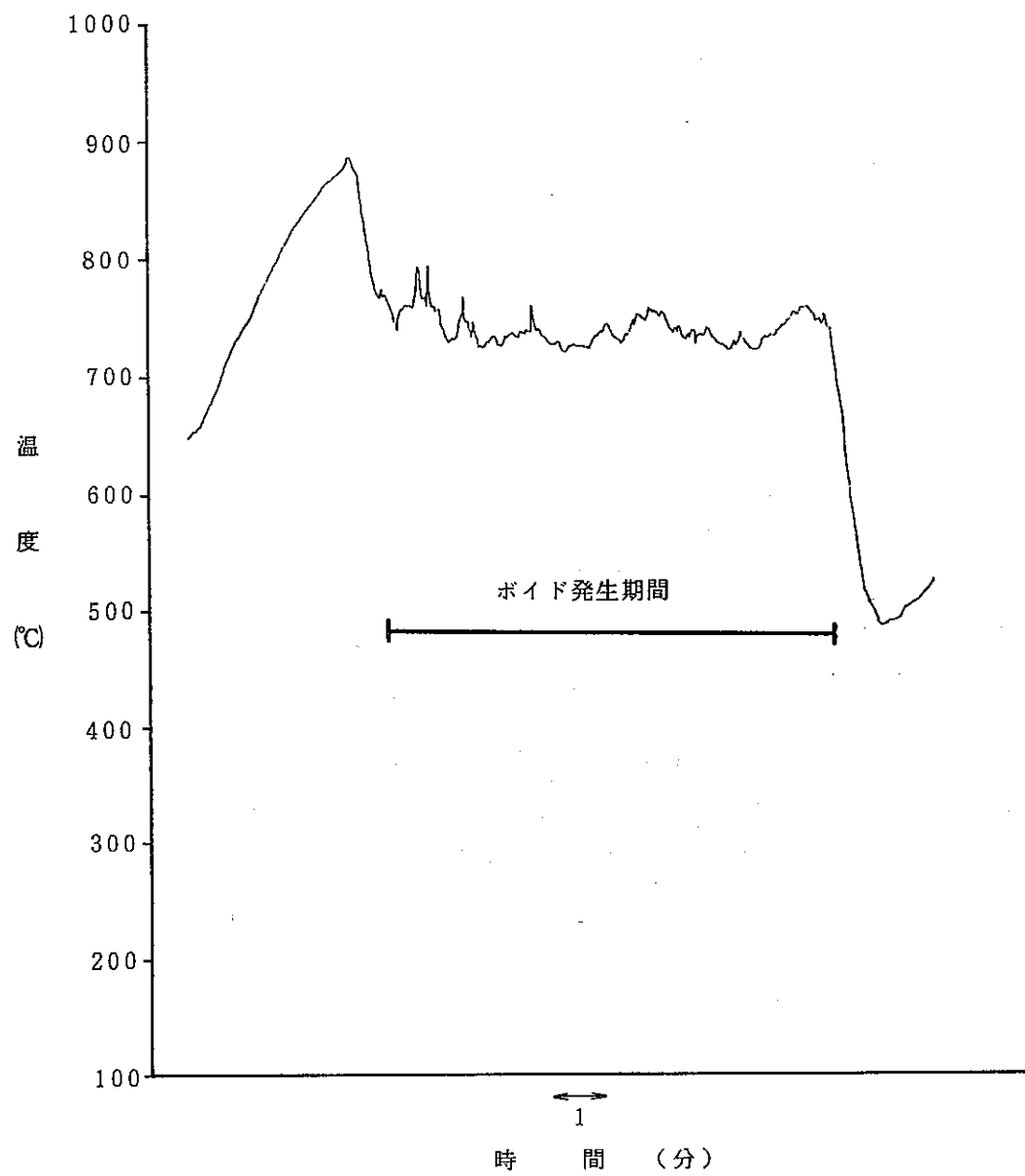


図 5.2 1次主循環流量100%時の熱電対履歴 (TH-1)

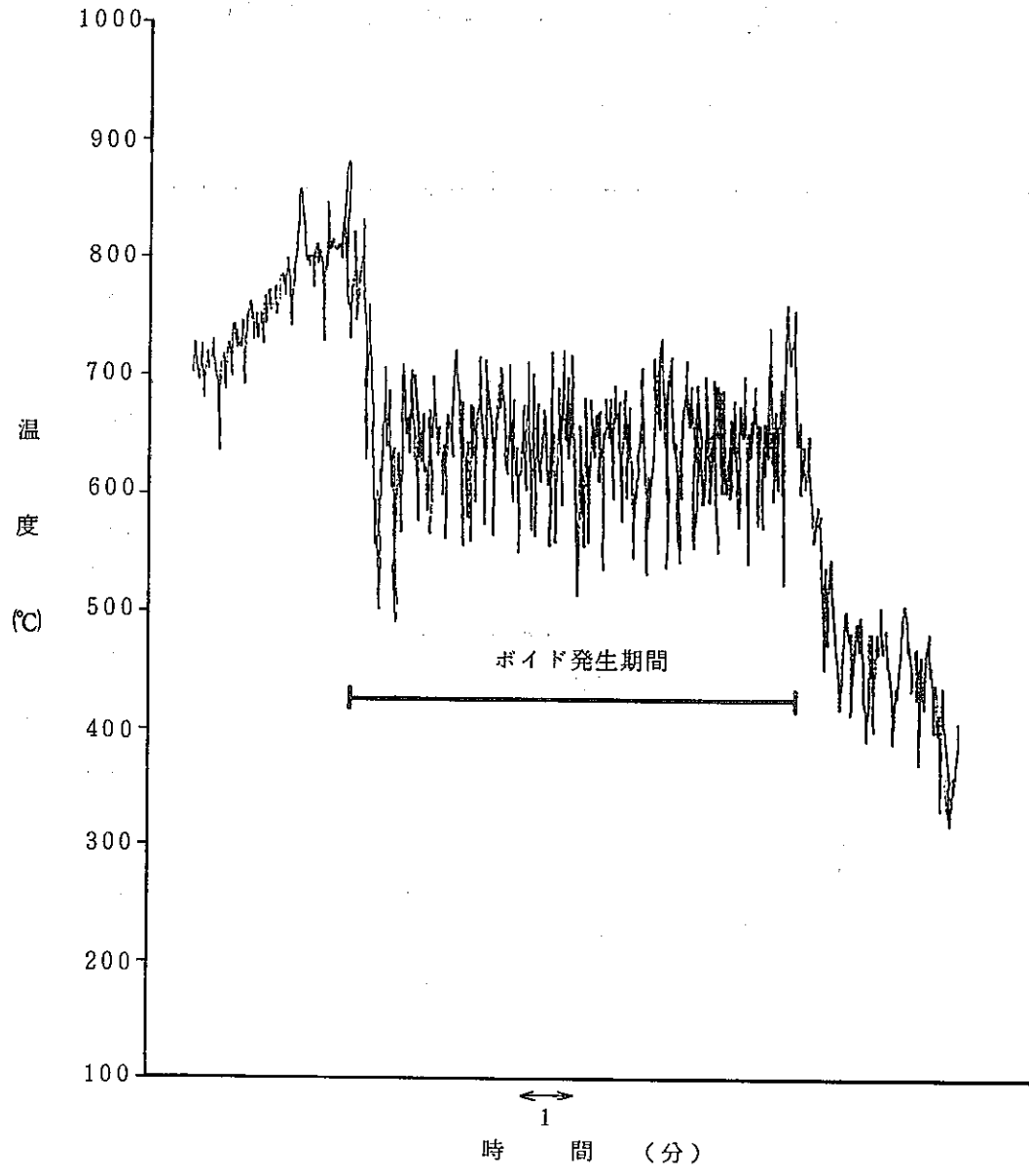


図 5. 3 1次主循環流量100%時の熱電対履歴 (TH-7)

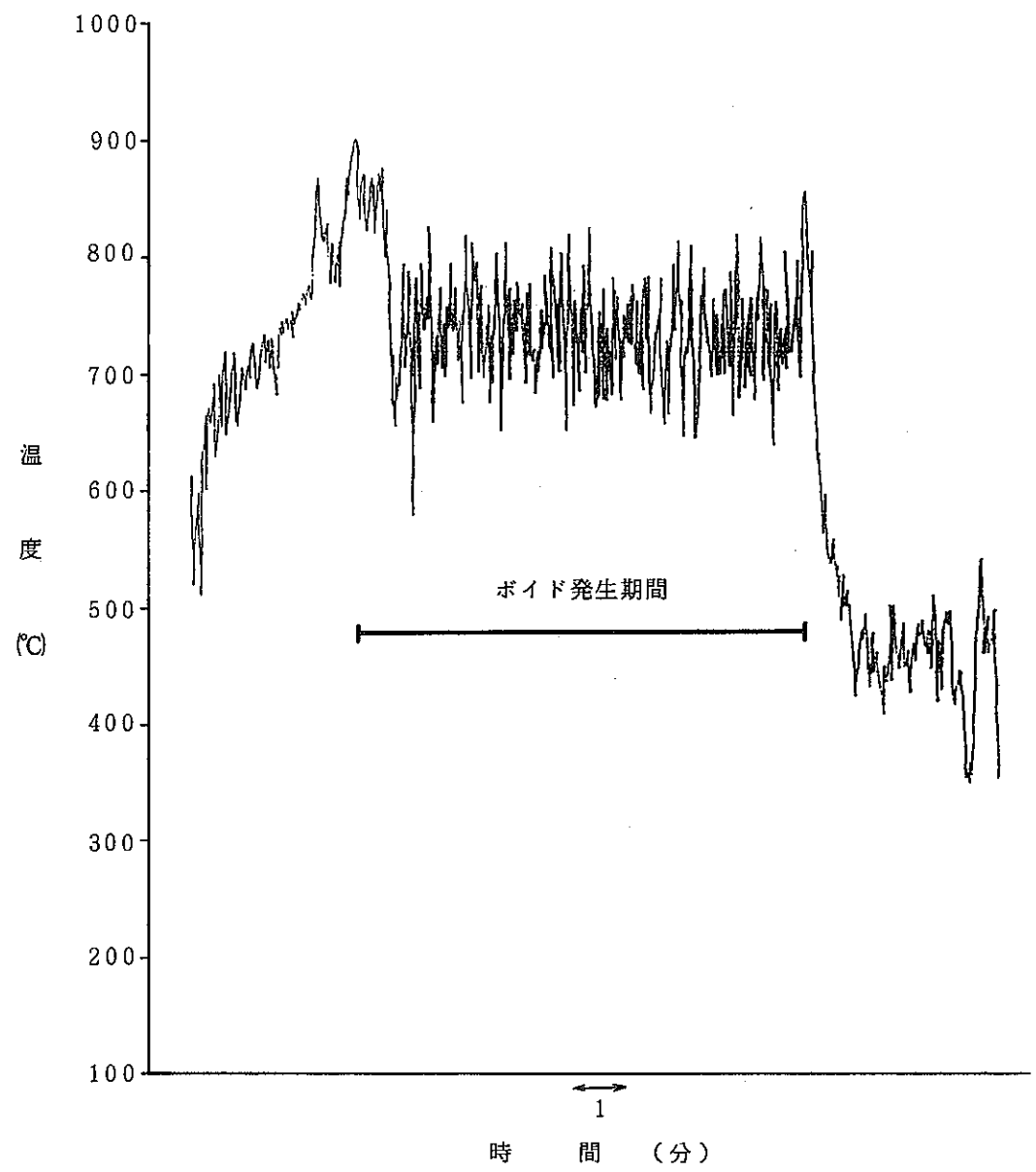


図 5. 4 1次主循環流量100%時の熱電対履歴 (TH-6)

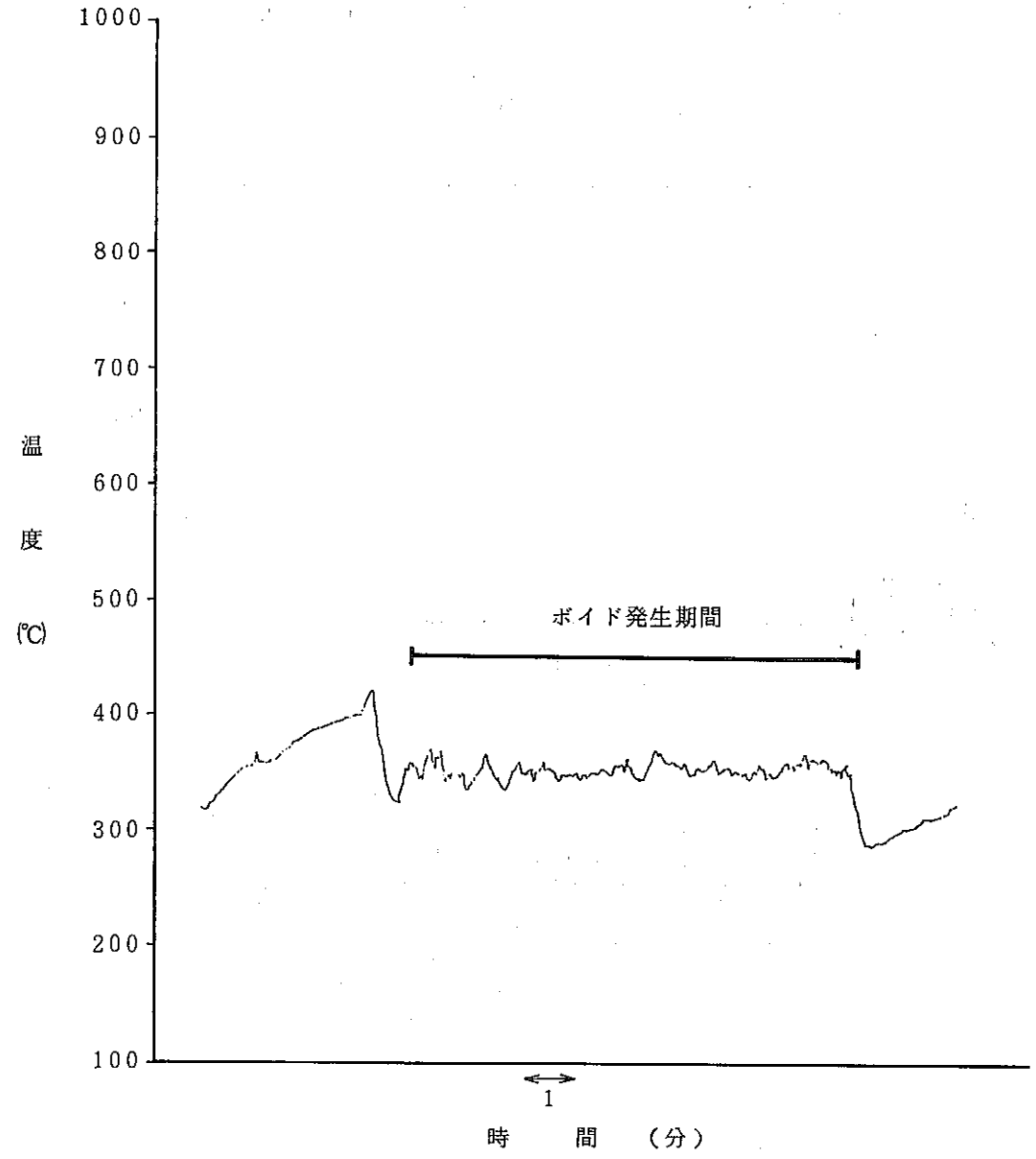


図 5.5 1次主循環流量100%時の熱電対履歴 (TH-5)

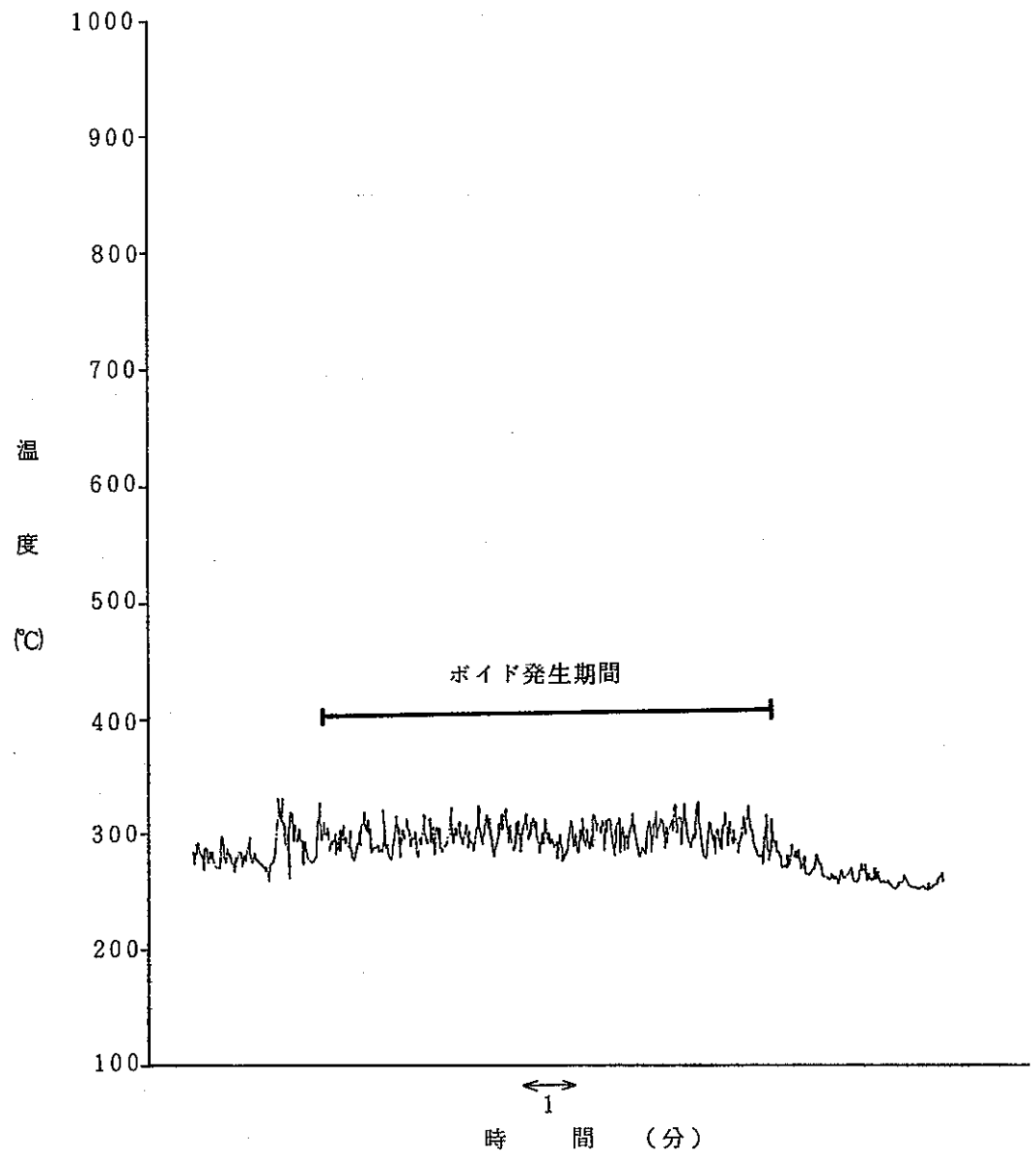


図 5. 6 1 次主循環流量100%時の熱電対履歴 (TH-3)

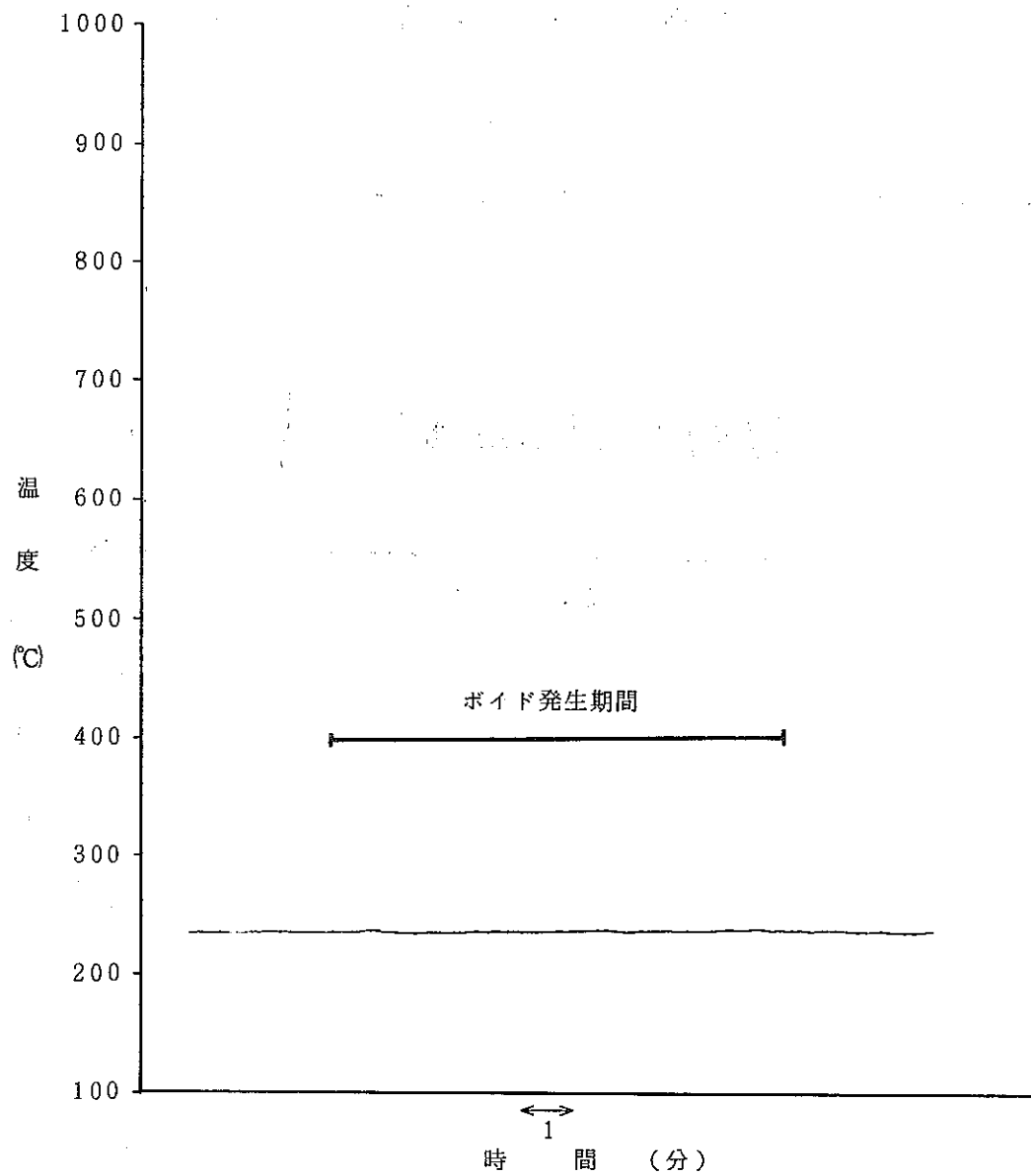


図5.7 1次主循環流量100%時の熱電対履歴 (TH-4)

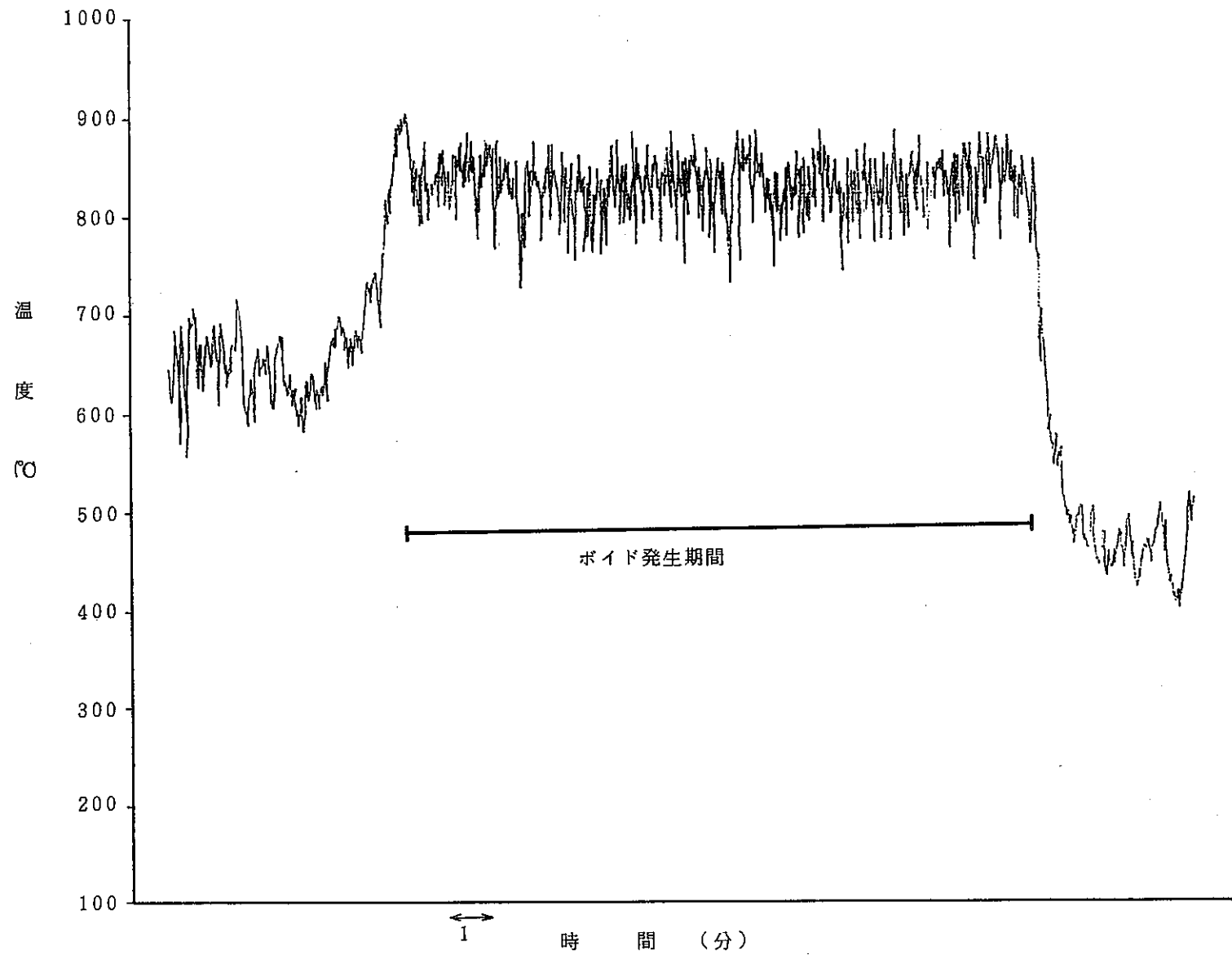


図 5. 8 1次主循環流量50%時の熱電対履歴 (TH-2)

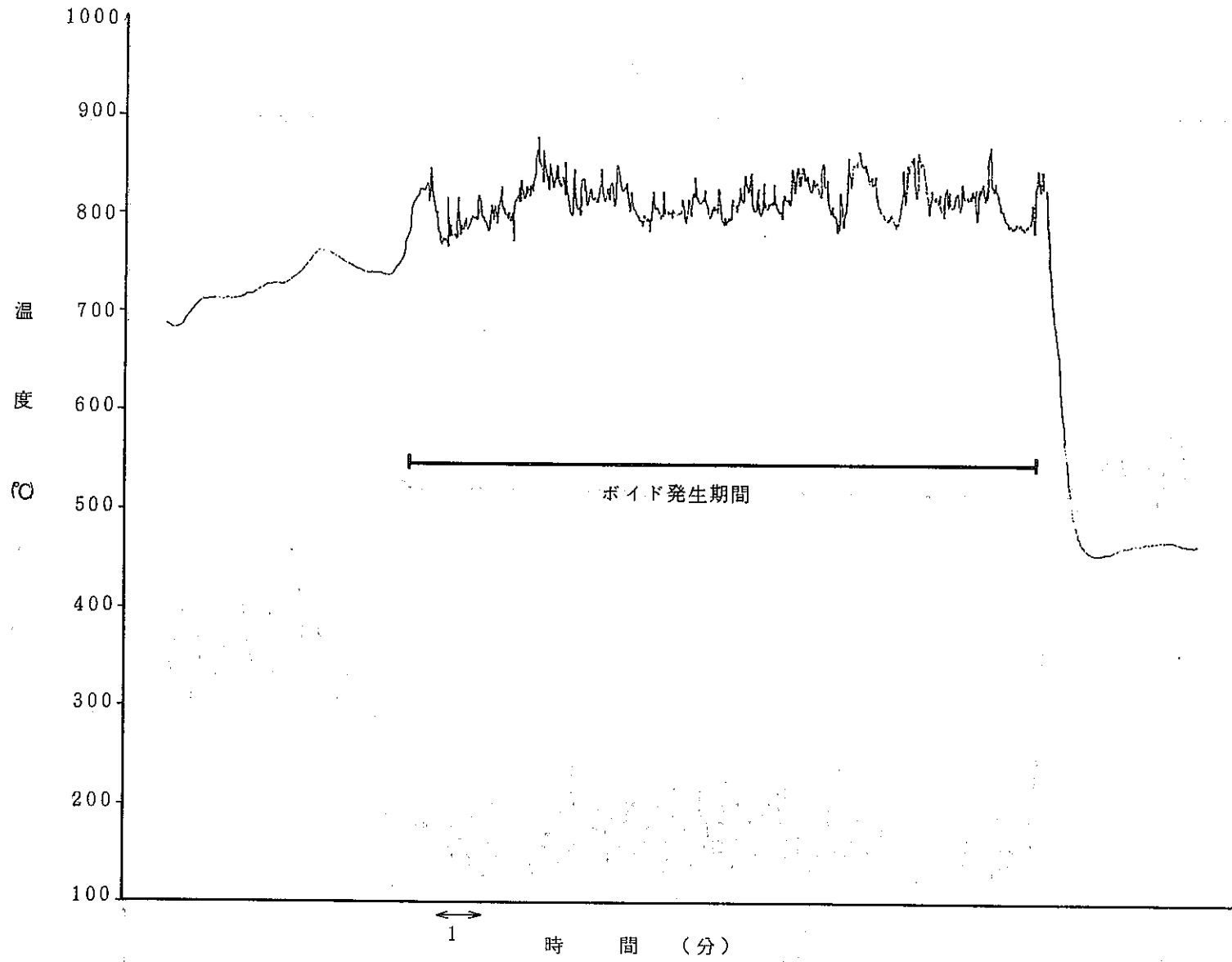


図 5.9 1次主循環流量50%時の熱電対履歴 (TH-1)

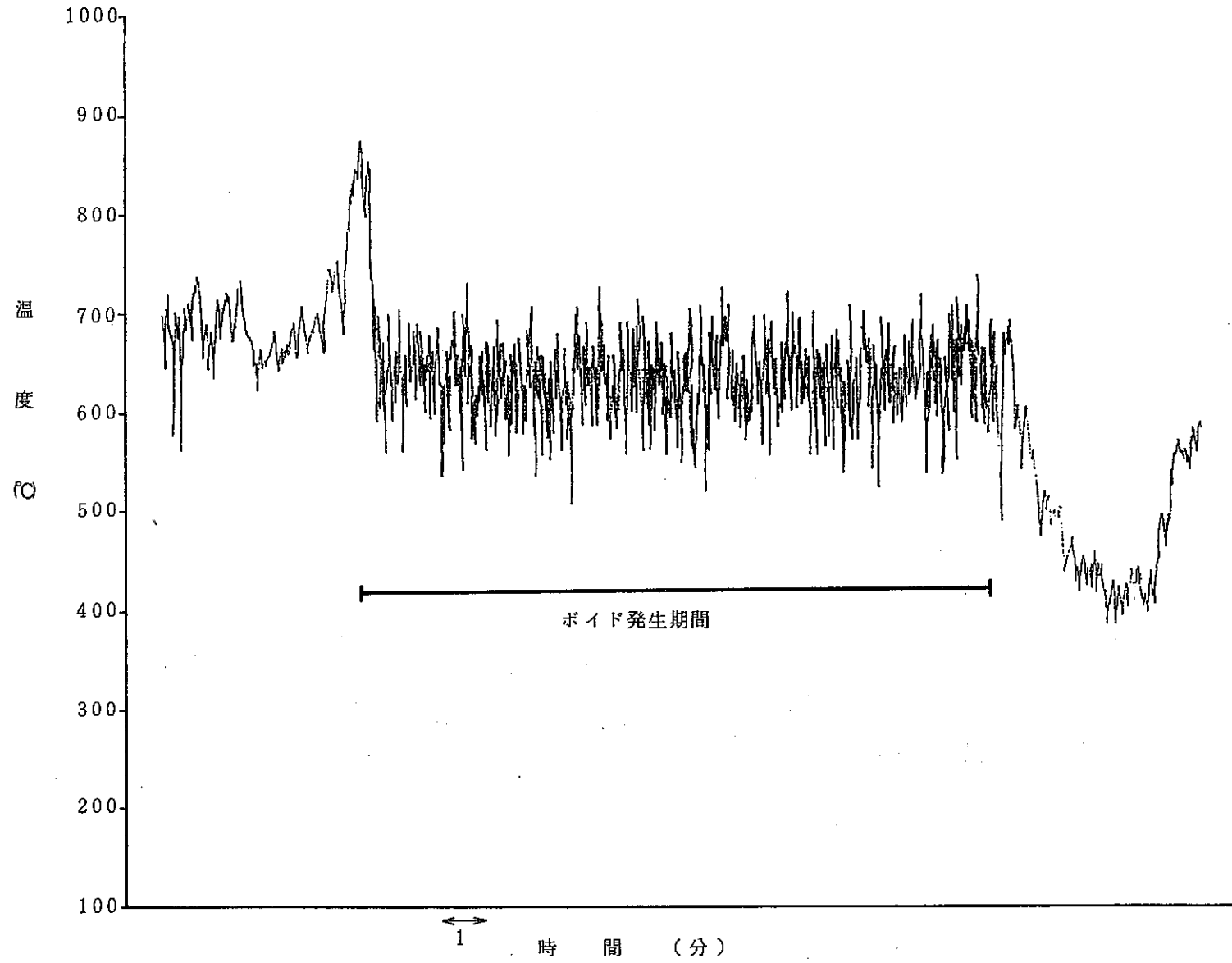


図 5.10 1次主循環流量50%時の熱電対履歴 (TH-7)

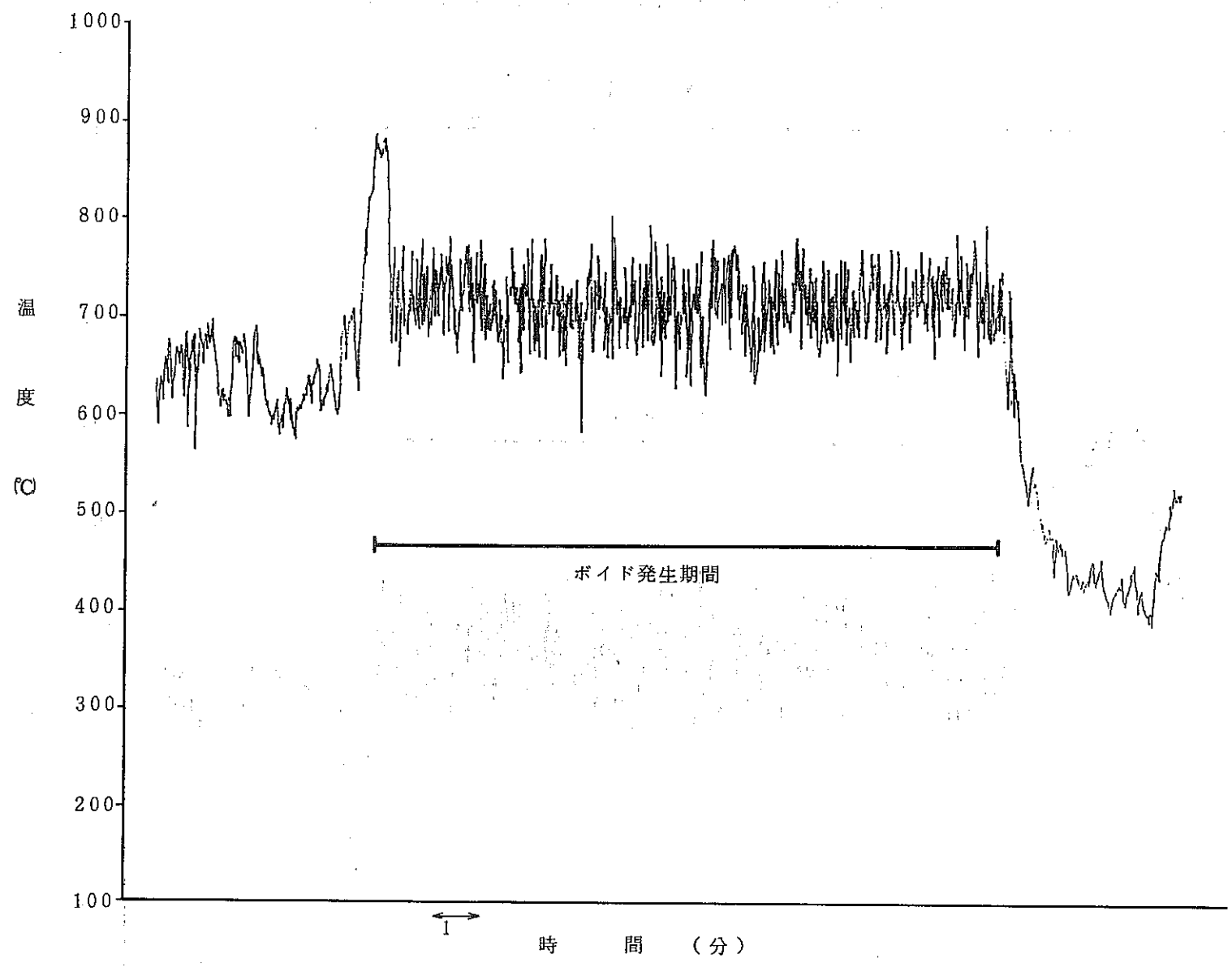


図5.11 1次主循環流量50%時の熱電対履歴 (TH-6)

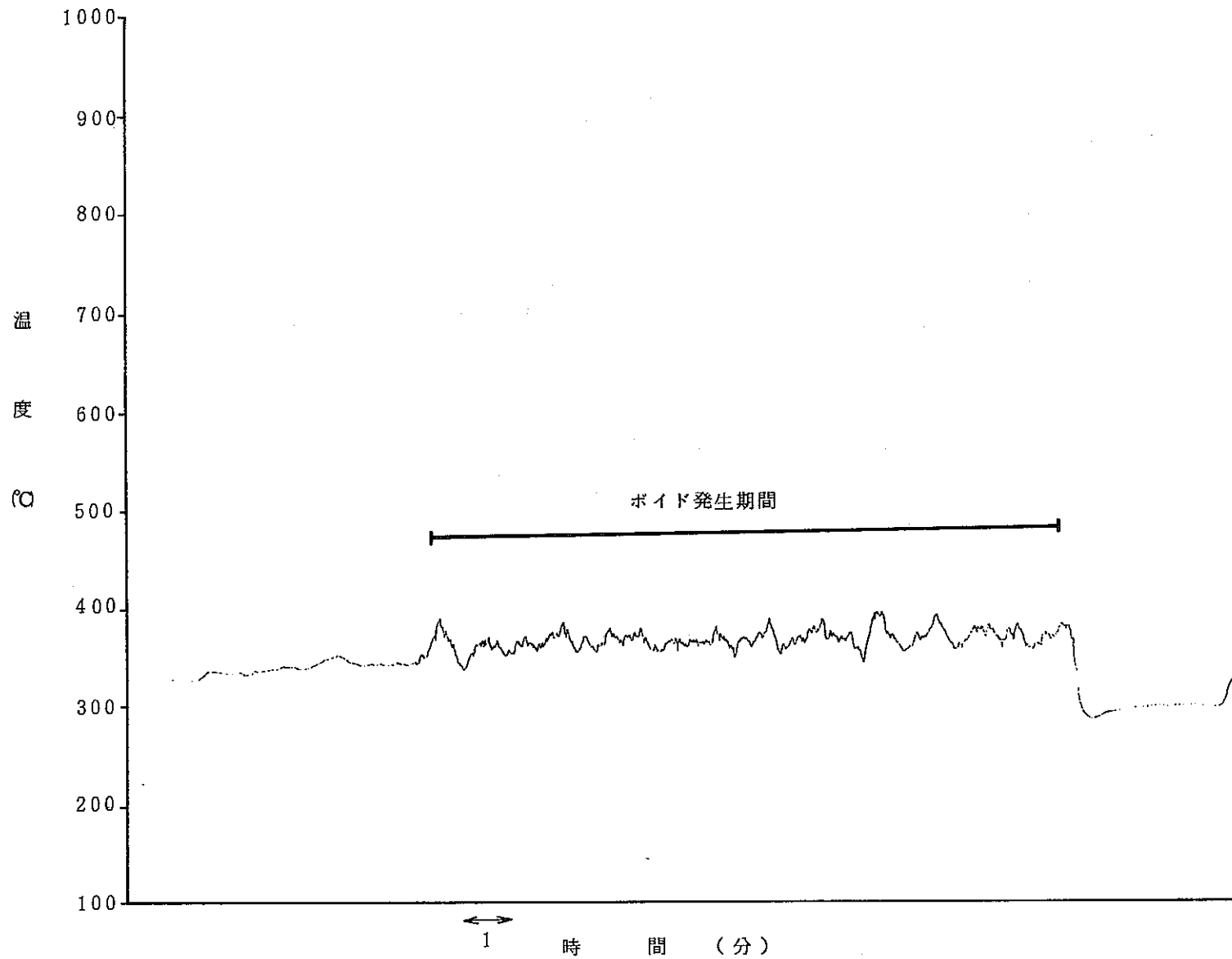


図 5.12 1次主循環流量50%時の熱電対履歴 (TH-5)

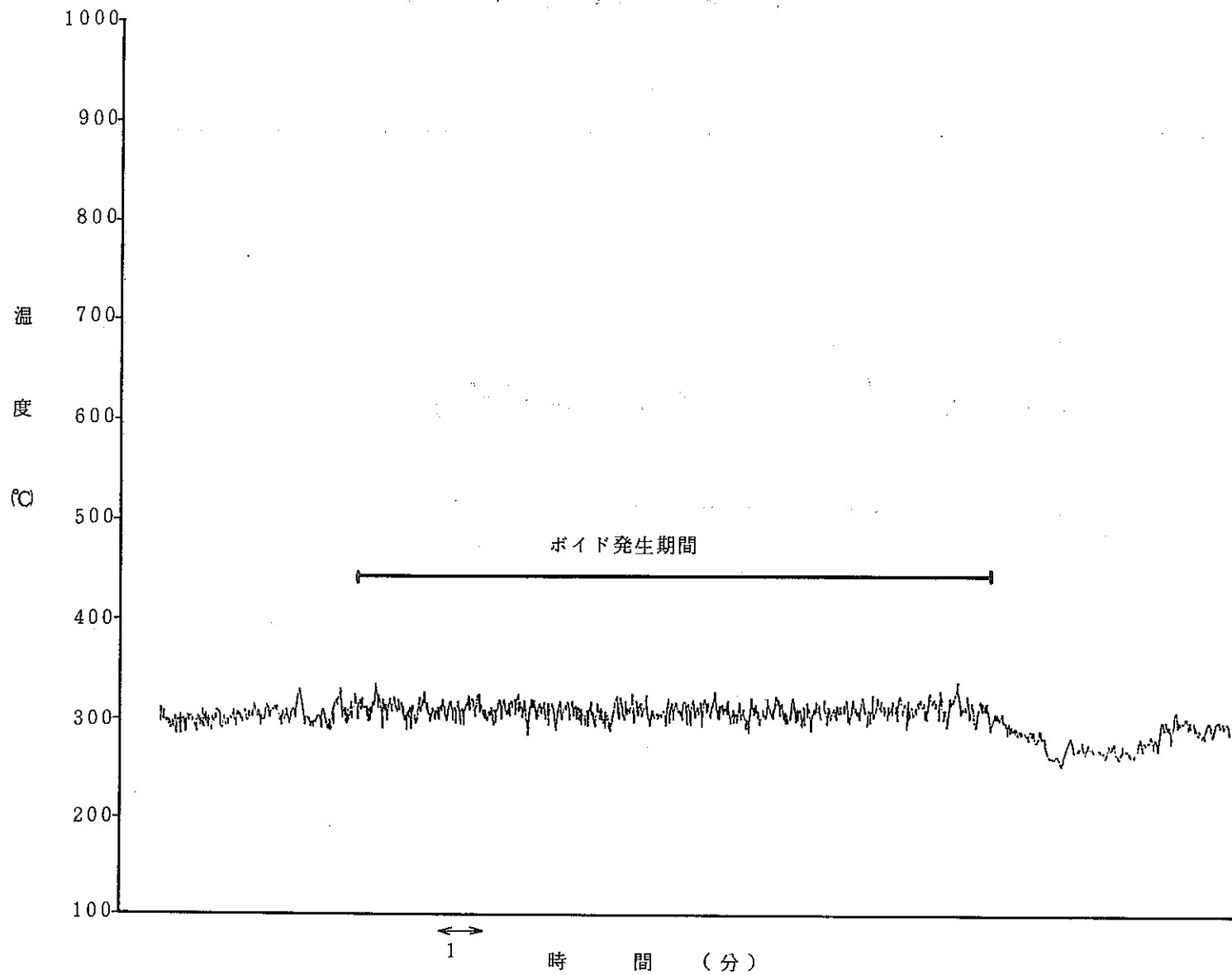


図 5.13 1次主循環流量50%時の熱電対履歴 (TH-3)

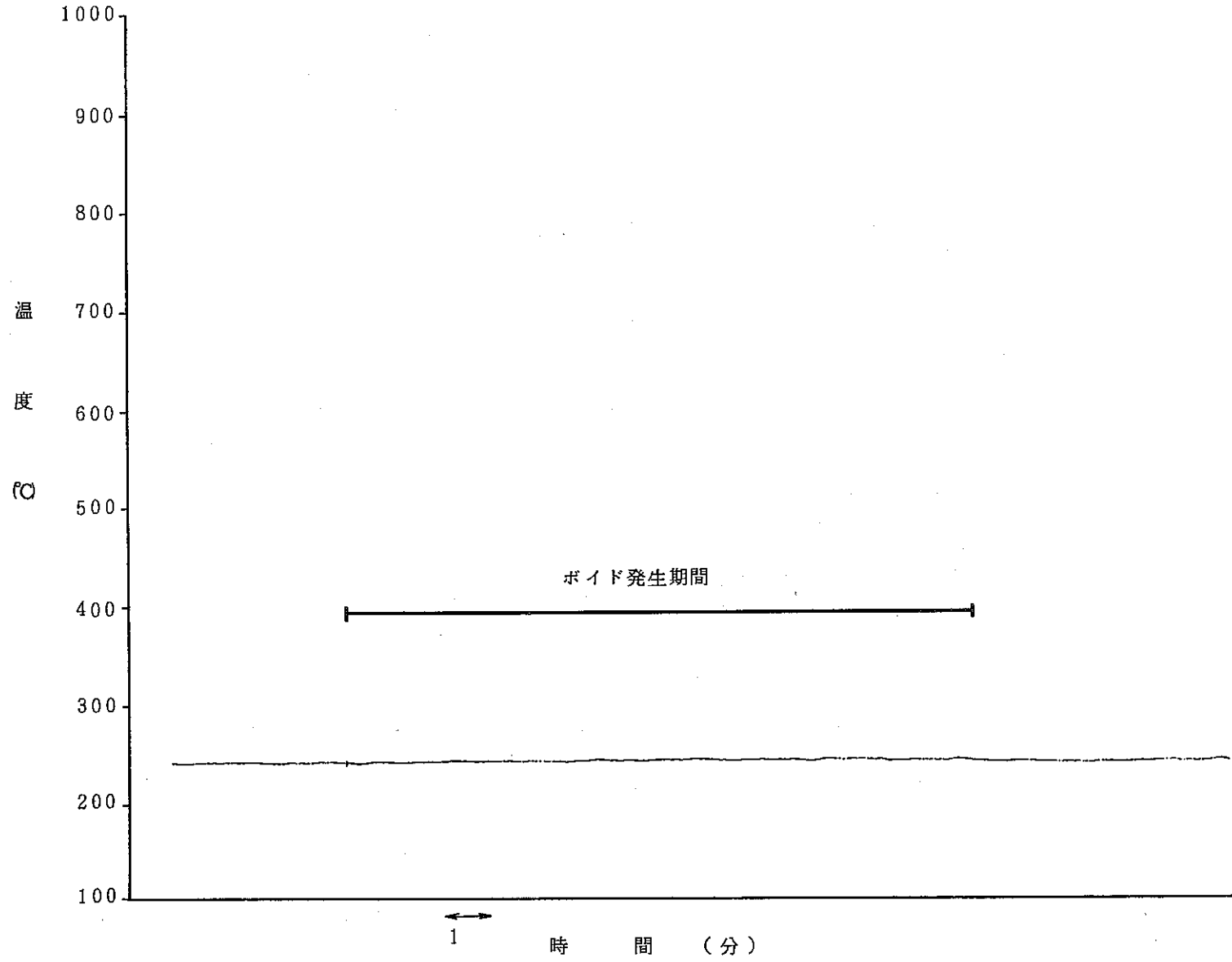


図 5.14 1次主循環流量50%時の熱電対履歴 (TH-4)

N= 3000 . LACH= 500 . DTIME= 0 M SEC . FREQ.= 236.35 HZ . IR1= 1 IC1= 1 . MEAN=-0.0034 . R.M.S.=0.1234

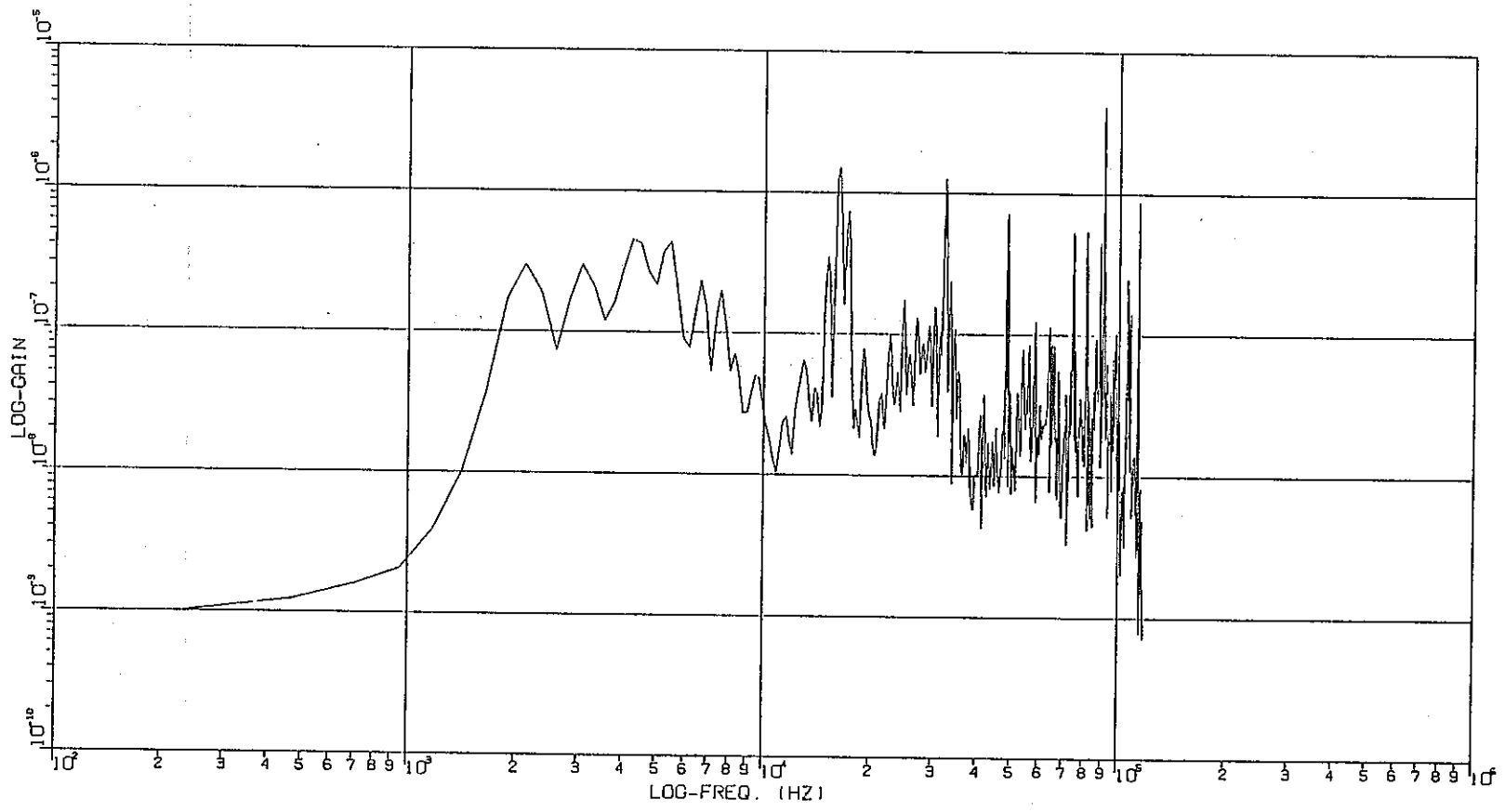


図5.15 1次主循環流量0%時の音響検出信号(バックグラウンド)

N= 3000 . LAGH= 500 . DTIME= 0 H SEC . FREQ.= 236.35 HZ . IR1= 1 IC1= 1 . MEAN=-0.0032 . R.H.S.=0.0109

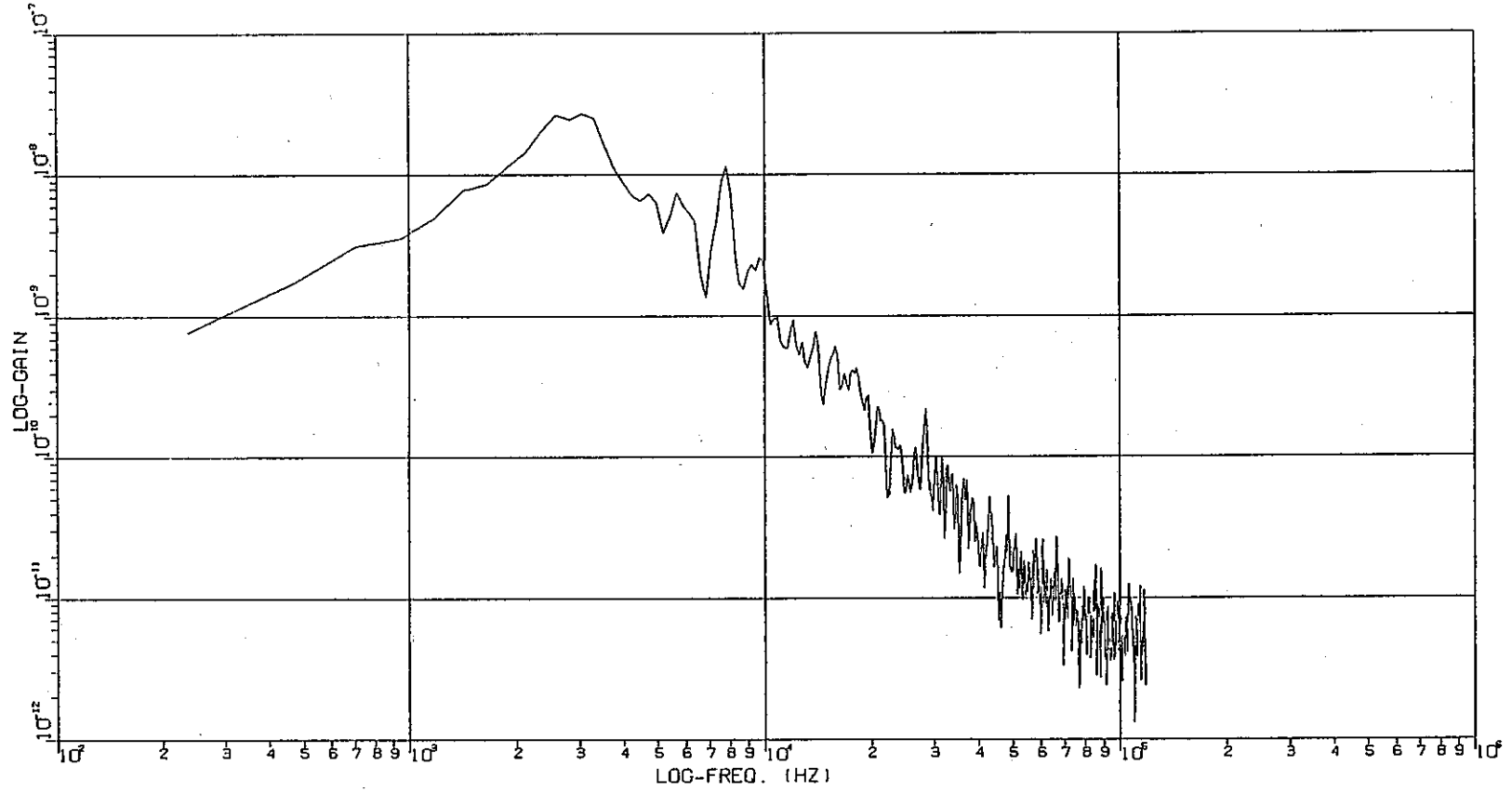


図 5.16 1次主循環流量50%時の音響検出信号 (バックグラウンド)

N= 3000 , LAGH= 500 , DTIME= 0 M SEC , FREQ.= 236.35 HZ , IRI= 1 , ICI= 1 , MEAN=-0.0032 , R.M.S.=0.1772

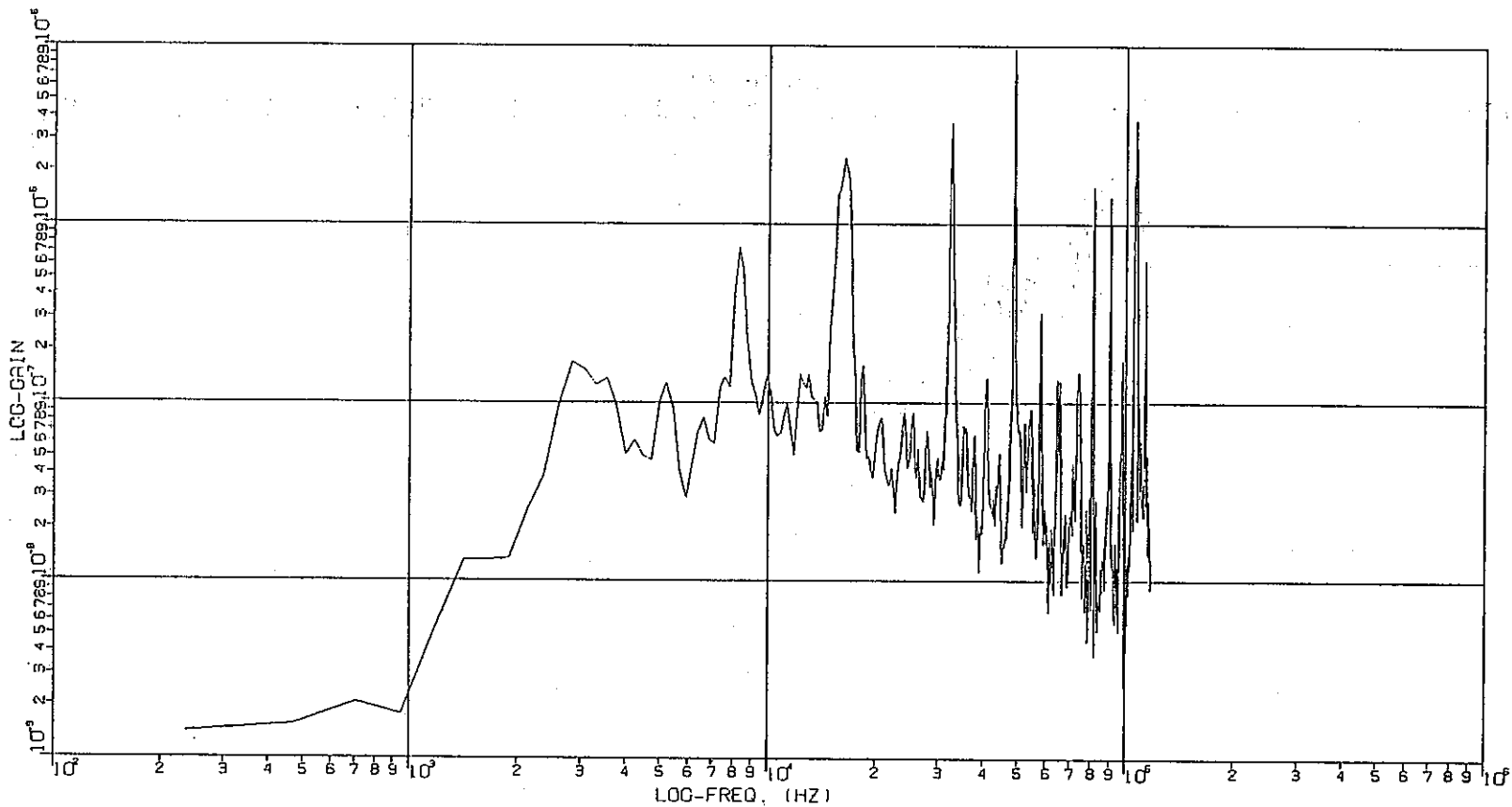


図 5.17 1次主循環流量50%時の音響検出信号 (ボイド発生)

N= 3000 . LACH= 500 . DTIME= 0 H SEC . FREQ.= 296.35 HZ . IRI= 1 ICI= 1 . MEAN=-0.0031 . R.M.S.=0.1753

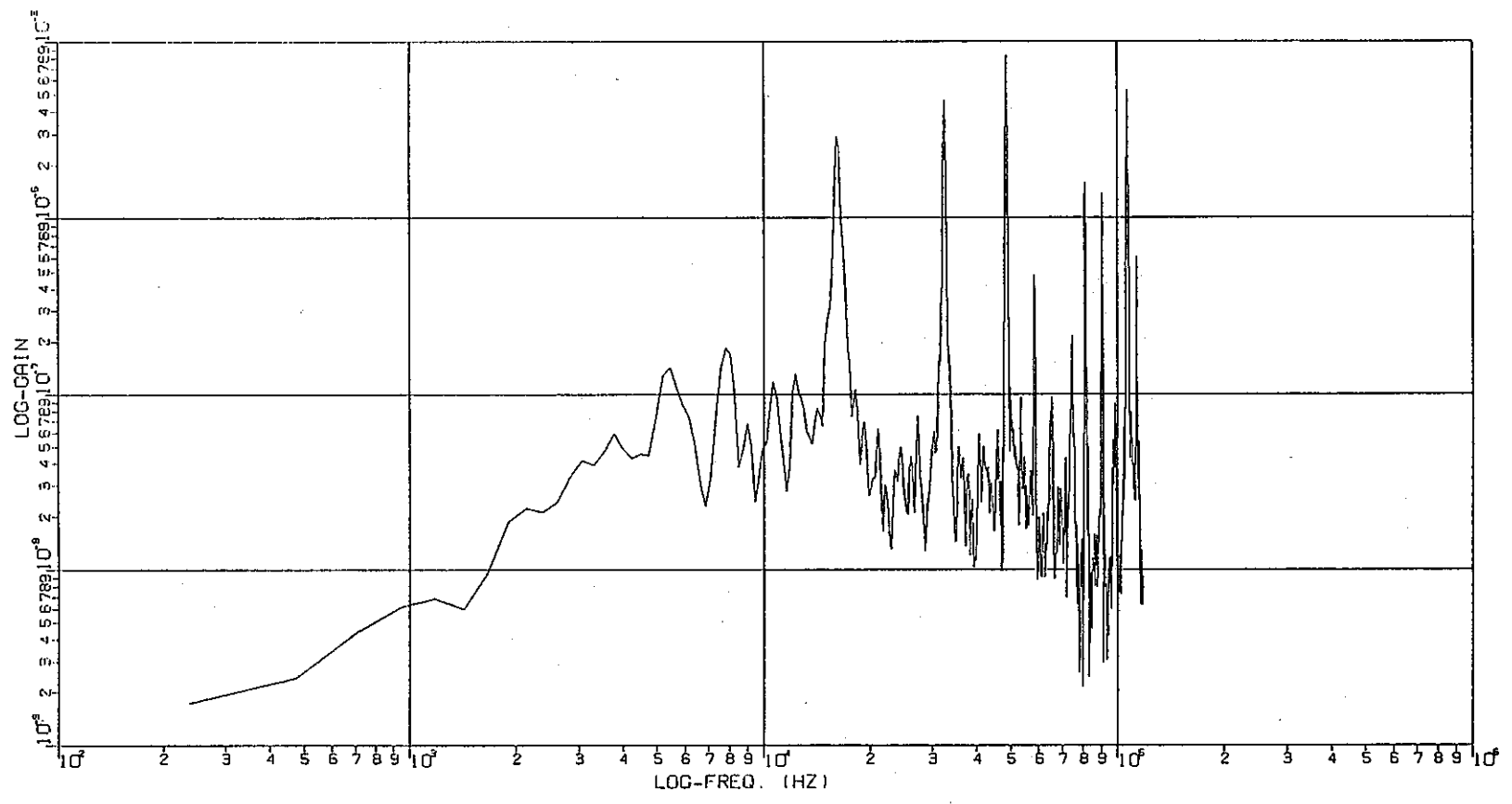


図 5.18 1次主循環流量100%時の音響検出信号 (バックグラウンド)

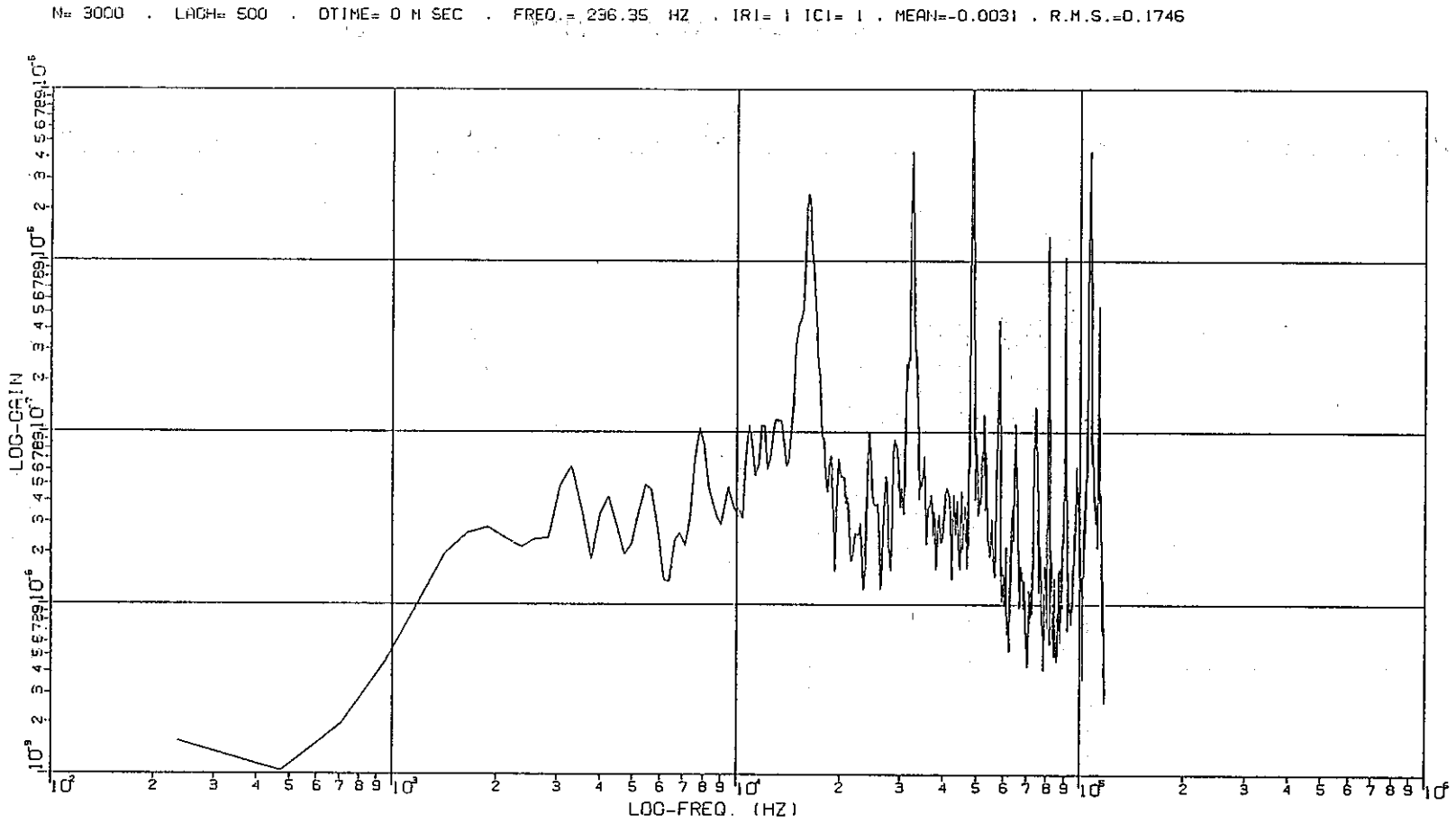


図 5.19 1次主循環流量100%時の音響検出信号 (ボイド発生)

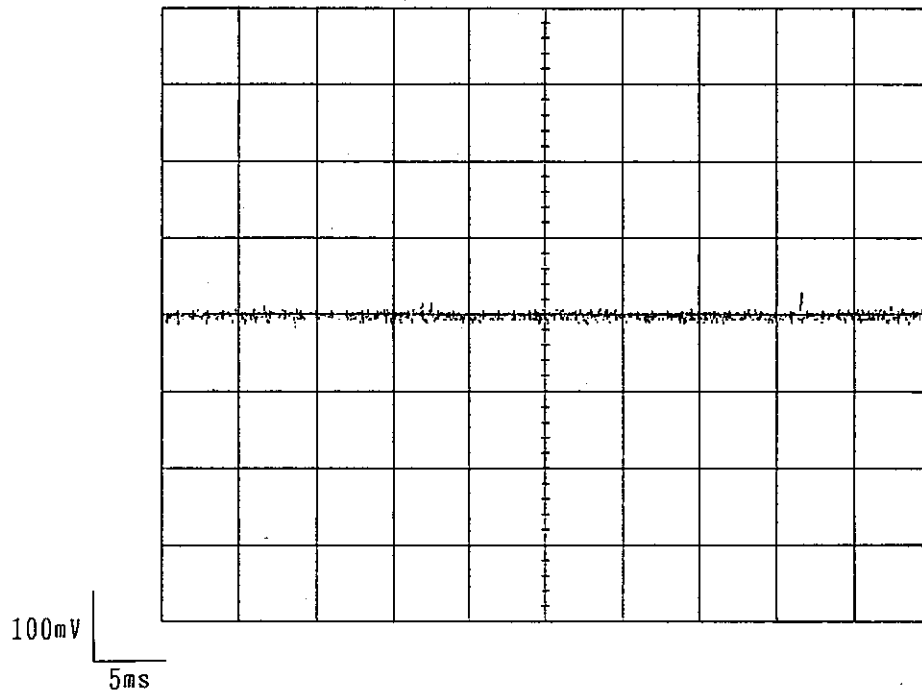


図 5.20. 1次主循環流量50%時の音響検出信号 (バックグラウンド)

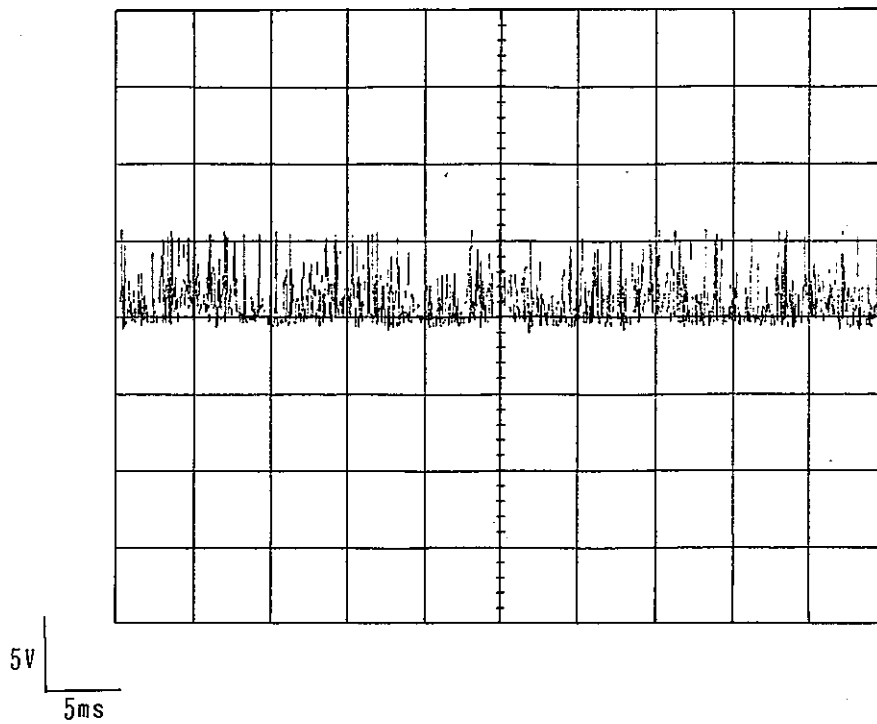


図 5.21 1次主循環流量50%時の音響検出信号 (バックグラウンド)

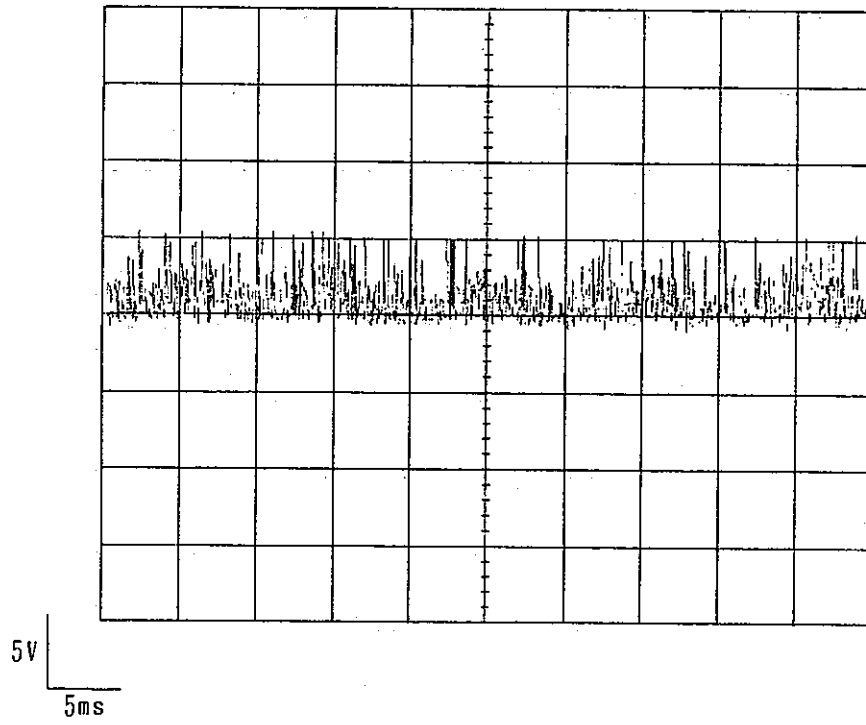


図 5.22 1次主循環流量50%時の音響検出信号 (ボイド発生)

6. 検 討

温度信号 (TH-2, 6, 7) に見られるボイド発生以前のゆらぎは、2次元伝熱計算コード“TAC2D”による温度分布の解析結果 (添付資料参照) より判断すると、ナトリウムの対流 (および混合) による影響と思われる。

また、流量の変化に対して温度信号の変化が見られないことについては、試験ボールの炉内装荷位置が炉心中心より1600mmと炉壁に近い場所であり、この場所は自然循環試験時 (100%流量) の解析結果によれば、冷却材の流れの少ない所であり速いところで $3.8455 \times 10^{-1} \text{m/s}$ であるためと思われる。

音響検出器によるボイド発生の確認は、試験中のデジタルオシロスコープによる監視で、ノイズによるバックグラウンドが大きく確認できなかった。周波数解析 (パワースペクトル) でも、ボイド発生予想周波数約100kHz前後でノイズ成分が支配的でありボイド信号を確認することが出来なかった。

以上より、音響検出法による沸騰等の異常監視において、ノイズをいかに低減させるかが重要な課題である。尚、試験終了後、検出器の動作確認のため検出器を挿入した外筒へのロッキング試験を行ったが、炉内より引き抜いた時点は正常であることが確認できた。

7. 謝 辞

本試験を実施するにあたり、多大なる御協力を頂いた原子炉一課の燃取Gr、運管Gr及び運転員の方々に感謝の意を表します。試験装置の洗浄作業を実施して頂いた原子炉二課の方々と本試験の放射線管理を実施して頂いた放管2Grの方々に感謝の意を表します。また、貴重な助言を頂いた機器システム開発室・林田氏に感謝の意を表します。

参 考 文 献

1. 高速実験炉「常陽」特殊試験報告書
自然循環試験Ⅱ-D（75MW過度試験）結果報告書 PNC SN9410 87-015 1987年1月
2. 実験炉部技術課試験研究成果速報 Vol. 7, No. 2
平成2年7月～9月の成果概要 PNC SN9410 90-163 1990年10月
3. 高速炉異常検出系の設計評価に関する研究
炉内音響伝播解析（Ⅳ） -東京工業大学- PNC SJ261 82-01 1982年3月

添 付 資 料

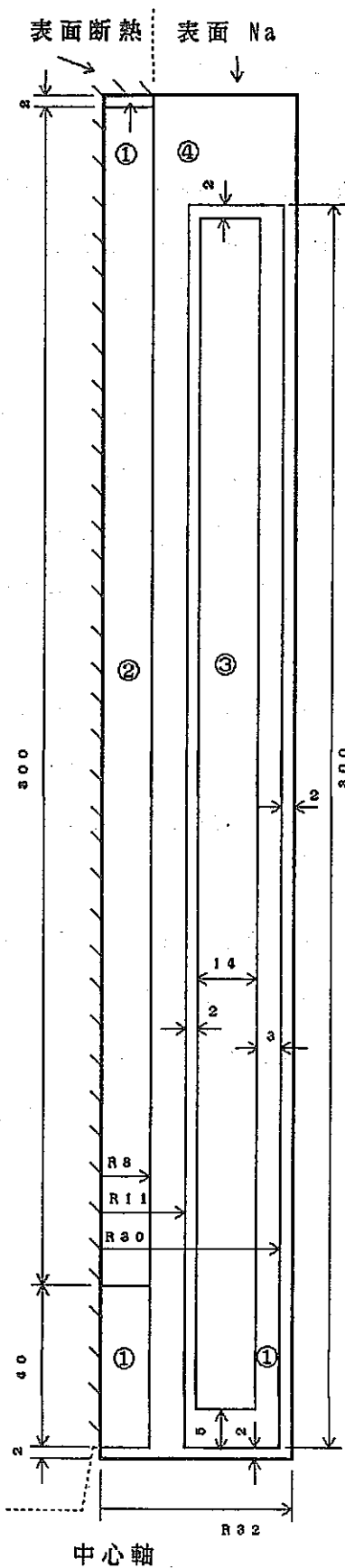
炉内音響検出予備試験用加熱器の伝熱計算

本試験は、実験炉「常陽」の炉心上部において小型の加熱器を用いて局所的に沸騰を起こし、その信号特性を採取するものであるが、予定通り局所沸騰するかどうかの確認および炉容器内での沸騰であるため安全確認の意味から2次元伝熱コード“TAC2D”により伝熱計算を行った。

計算モデルを、図1、2に示す。図1は沸騰確認用計算モデルで、加熱器の外部への熱拡散を実際よりかなり高く仮定しても十分沸騰が生じることを確認するものである。また、図2は、健全性確認用の計算モデルであり、加熱器の廻りが断熱材で囲まれている境界条件を仮定し、その状況でも加熱器を含む外筒が破損しないように保たれていることを確認するものである。

図3に沸騰確認用モデルで計算した加熱器内のナトリウム中心部における温度の時間変化を示す。加熱器としては最大出力6kwであるが、5kw、4kwについても計算を行った。これを見ると、加熱開始後遅くとも2、3分で沸騰予想温度910℃前後に達していることが分かる。

図4に健全性確認用計算モデルにおけるヒータ昇温100秒後の温度分布を示す。この時点では、ヒータ内部は1300℃以上に達しているが最外部では高くとも370℃程度である。ヒータの温度制御はリミッタスイッチを取付けてあるため、現実にヒータが破損することはないが、たとえ誤って破損に至ったとしても、加熱器の廻りを包むシース (SUS316) を損傷するに至らない。



材質	W/m・℃ 熱伝導度	J/m³・℃ 容積比熱
① SUS316	26.52	4.73E6
② SUS316	26.52	4.73E6
③ ファインフレックス	1.63E-1	2.6E5
④ Na	54.05	9.64E5

800℃の値

①～④ 初期温度 200℃

②のヒータの発熱量

6KW → 9.95*10⁷ W/m³

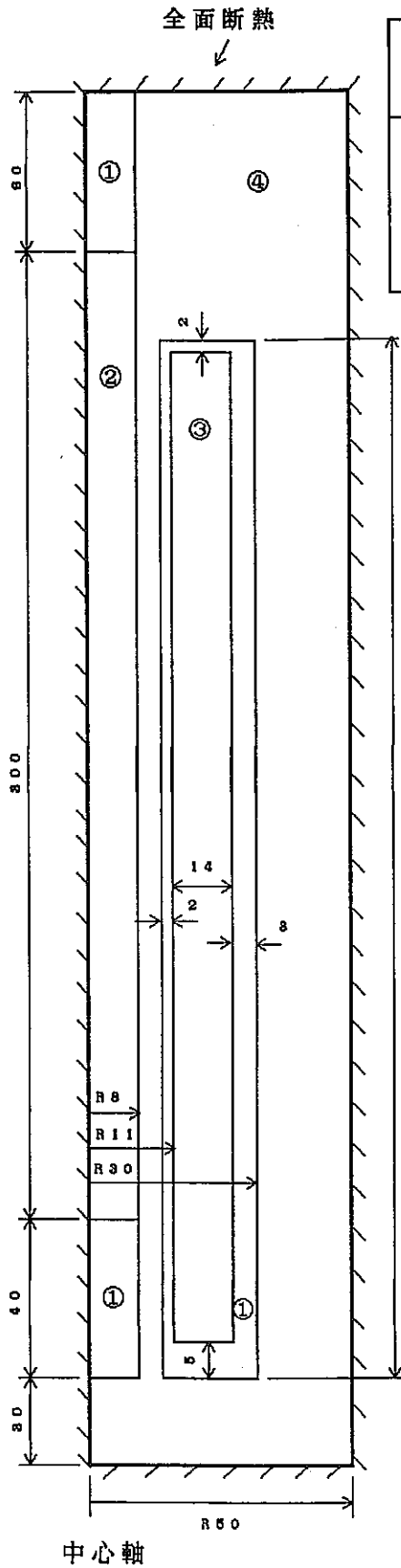
断熱部以外の流体条件

流体	流量重量 (kg/Sec)	比熱 (J/kg・℃)	熱流量 (W/d・Sec・℃)
Na	611	1.37E3	1.0E6

冷却材温度

200℃

図1 沸騰確認用計算モデル



材質	W/m・℃ 熱伝導度	J/m³・℃ 容積比熱
① SUS316	26.52	4.73E6
② SUS316	26.52	4.73E6
③ ファインフレックス	1.63E-1	2.6E5
④ Na	54.05	9.64E5

800℃の値

①～④ 初期温度 275℃

②のヒータの発熱量

$$6\text{KW} \rightarrow 9.95 \times 10^7 \text{ W/m}^3$$

図2 健全性確認用計算モデル

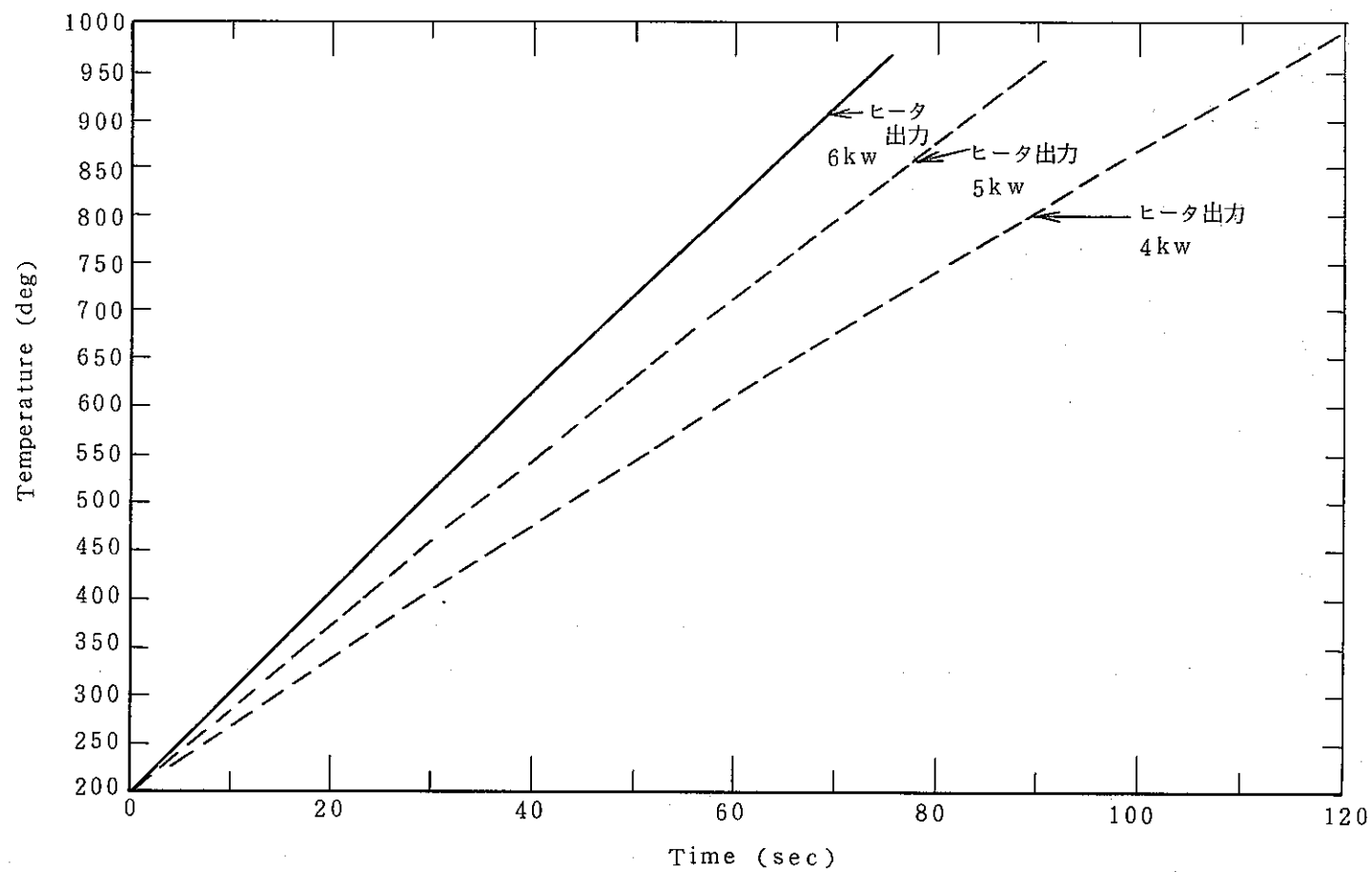


図3 沸騰確認用計算モデルにおける、沸騰器内Naの時間変化

THE CURRENT TIME IS 100.000 SECONDS

単位 TEMPERATURES (℃)

THE RADIAL (I) DIRECTION IS HORIZONTAL

THE AXIAL (J) DIRECTION IS VERTICAL

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
	SUS														
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25	0	331	332	333	334	334	334	335	335	335	335	335	335	0	
24	0	345	346	347	347	347	347	347	347	347	346	346	345	0	
23	0	357	357	358	358	358	358	357	355	354	354	353	351	0	
22	0	380	378	376	376	375	374	371	366	364	363	360	358	0	
21	0	516	485	449	440	433	428	411	393	386	384	376	371	0	
20	0	617	577	529	515	499	489	448	407	391	386	371	362	0	
19	0	711	673	625	609	578	553	456	405	382	376	363	356	0	
18	0	729	692	645	630	602	576	457	405	379	373	361	355	0	
17	0	910	886	860	854	850	848	539	370	345	345	345	344	0	
16	0	1191	1172	1149	1144	1140	1137	643	367	317	317	317	318	0	
15	0	1293	1275	1254	1249	1244	1241	674	361	297	297	298	298	0	
14	0	1317	1299	1279	1274	1269	1266	680	356	287	287	287	287	0	
13	0	1322	1304	1283	1278	1273	1270	681	354	282	282	282	282	0	
12	0	1320	1302	1281	1277	1272	1269	680	353	279	279	279	279	0	
11	0	1308	1290	1269	1264	1259	1256	676	352	278	278	278	278	0	
10	0	1255	1236	1215	1210	1205	1202	659	349	278	278	278	278	0	
9	0	1100	1080	1057	1052	1048	1045	598	338	278	278	278	278	0	
8	0	900	882	859	855	851	849	512	321	278	278	278	278	0	
7	0	589	590	592	592	591	590	399	299	279	279	279	279	0	
6	0	405	406	407	407	406	406	324	286	281	281	281	281	0	
5	0	346	345	343	341	336	330	301	289	285	284	283	282	0	
4	0	330	329	328	327	322	317	299	289	286	285	283	283	0	
3	0	302	301	299	298	297	296	293	289	287	286	285	284	0	
2	0	291	291	290	290	290	289	289	289	286	286	285	284	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		SUS				SUS ファインレックス									

図4 健全性確認用計算モデルにおける100秒後の温度分布