

$\frac{1}{10}$ スケールモデルによる原子炉容器上部  
プレナムストラティフィケーション試験

ナトリウム機器の熱衝撃試験(XXX)

1986年1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)

1/10スケールモデルによる原子炉容器上部  
プレナムストラティフィケーション試験  
ナトリウム機器の熱衝撃試験(XXX)

家田 芳明\* 奥村 直人\*\* 中西 征二\*\*\*  
青木 忠雄\*\*\*\*

要 旨

原子炉スクラム時に、原子炉容器上部プレナム内に生ずるサーマルストラティフィケーション現象を把握し、「もんじゅ」の設計へ反映することを目的として、1/10スケールモデル試験が実施された。本試験は、特に、長時間のデータを取得し、ストラティフィケーション現象の消滅過程までを調べることを目的としている。試験は次の2つのフェーズに分けて実施された。

(フェーズⅠ) 上部プレナム全体が1/10スケールの試験体を用いた試験で、実施した。

(フェーズⅡ) 特に、内筒上端より上部での成層界面の挙動を把握することを目的として、内筒上端より上部の軸方向長さのみを実寸大にした試験体で、実施した。

試験結果は、下記のとおり、実機設計に反映された。

- (1) 実機熱過渡解析コード「COPD」の検証に用いられた。
- (2) 実機熱過渡解析のバックアップ用コード(多次元熱流動解析コード)の検証に用いられた。
- (3) 本試験の結果を基にした検討により、内筒の設計変更が実施された。

---

\*大洗工学センター，安全工学部，高速増殖炉工学室

\*\*共立エンジニアリング

\*\*\*大洗工学センター，機器構造開発部，構造工学室

\*\*\*\*本社，動力炉研究開発本部



PNC-TN9410 86-004  
Jan., 1986

Stratification Tests on 1/10 Scale Model

Simulating the "Monju" Reactor

Thermal Shock Test on Sodium Components (XXX)

Yoshiaki Ieda\*, Naoto Okumura\*\*,  
Seiji Nakanishi\*\*\* and  
Tadao Aoki\*\*\*\*

Abstract

Thermal stratification tests of one-tenth scale models simulating the "Monju" reactor upper plenum were carried out to understand the thermal stratification phenomena occurring in reactor upper plenum and to be reflected in the design of "Monju". The purpose of these tests is especially to obtain long-term data and to investigate the disappearance process of thermal stratification.

The tests were carried out in following two phase.

Phase I ; The test model which simulated the whole length on one-tenth scale was used.

Phase II; The test model which simulated the axial length only above the top of inner barrel on full scale was used to investigate the motion of stratification interface above the top of inner barrel.

As mentioned hereunder, the test results were reflected in the design of "Monju".

- 
- \* FBR Reactor Engineering Section, Safety Engineering Division,  
O-arai Engineering Center.  
\*\* Kyoritsu Engineering.  
\*\*\* Structural Engineering Section, System and Component Division,  
O-arai Engineering.  
\*\*\*\* Reactor Research and Development Project, Head Office.

- (1) The test data were utilized for the verification of "COPD", which is the plant dynamics code for "Monju".
- (2) The test data were utilized for the verification of multi-dimensional thermo-hydraulic analysis codes, which are utilized for the back-up of "COPD".
- (3) On the basis of the test results, the inner barrel of "Monju" was redesigned.

## 目 次

1. 緒 言 .....	1
2. 試験体及び試験装置 .....	2
2.1 試験体 .....	2
2.1.1 1/10スケールモデル(フェーズⅠ) .....	2
2.1.2 1/10スケールモデル(フェーズⅡ) .....	2
2.2 実験計装及び計測装置 .....	3
2.2.1 1/10スケールモデル(フェーズⅠ) .....	3
2.2.2 1/10スケールモデル(フェーズⅡ) .....	4
2.3 試験装置 .....	4
3. 試験条件 .....	5
3.1 「もんじゅ」熱過渡条件 .....	5
3.2 試験と実機熱過渡条件の相似性 .....	5
3.3 試験条件 .....	7
4. 試験経過 .....	8
5. 試験結果 .....	9
5.1 1/10スケールモデル試験(フェーズⅠ) .....	9
5.2 1/10スケールモデル試験(フェーズⅡ) .....	10
5.3 実機への反映 .....	10
6. 結 言 .....	12
謝 辞 .....	13
参考文献 .....	14

## List of Tables

Table 2-1	Comparison between 1/10 Scale Model (Phase I) and "Monju" .....	15
Table 2-2	Comparison between 1/10 Scale Model (Phase II) and "Monju" .....	16
Table 3-1	Transient Conditions at Core Exit in "Monju" .....	17
Table 3-2	Test Conditions of 1/10 Scale Model (Phase I) .....	18
Table 3-3	Test Conditions of 1/10 Scale Model (Phase II) .....	19

## List of Figures

Fig. 2-1	Cross Section View of Upper Plenum of 1/10 Scale Model (Phase I) .....	21
Fig. 2-2	Cross Section View of Core Outlet of 1/10 Scale Model (Phase I) .....	23
Fig. 2-3	Cross Section View of Upper Core Structure of 1/10 Scale Model (Phase I) .....	25
Fig. 2-4	Configuration and Dimensions of Test Model .....	27
Fig. 2-5	Schematic Diagram of Heaters Installed in 1/10 Scale Model (Phase I) .....	29
Fig. 2-6	Cross Section View of Upper Plenum of 1/10 Scale Model (Phase II) .....	31
Fig. 2-7	Cross Section View of Core Outlet of 1/10 Scale Model (Phase II) .....	33
Fig. 2-8	Schematic Diagram of Heaters Installed in 1/10 Scale Model (Phase II) .....	35
Fig. 2-9	Thermocouple Installation of 1/10 Scale Model (Phase I) .....	37
Fig. 2-10	Thermocouple Installation of 1/10 Scale Model (Phase II) .....	39
Fig. 2-11	Flow Diagram of Small Thermal Shock Test Loop .....	40
Fig. 2-12	Bird Eye View of Test Model and Modified Part of Sodium Loop .....	41
Fig. 3-1	"Monju" Thermal Transient at Core Exit .....	42
Fig. 3-2	Flow Coastdown Curve in "Monju" .....	43
Fig. 5-1	Transient Temperature at Outlet of Core Flow Straightener and Bottom of UCS (Test No. 9) .....	44

Fig. 5-2	Transient Temperature at Outlet of Core Flow Straightener and Bottom of UCS (Test No. 10) .....	45
Fig. 5-3	Transient Temperature at Outlet of Core Flow Straightener and Bottom of UCS (Test No. 11) .....	46
Fig. 5-4	Transient Temperature at Outlet of Core Flow Straightener and Bottom of UCS (Test No. 13) .....	47
Fig. 5-5	Transient Temperature at Outlet of Core Flow Straightener and Bottom of UCS (Test No. 19) .....	48
Fig. 5-6	Transient Temperature at Outlet of Core Flow Straightener and Bottom of UCS (Test No. 23) .....	49
Fig. 5-7	Transient Temperature at Outlet of Core Flow Straightener and Bottom of UCS (Test No. 24) .....	50
Fig. 5-8	Transient Temperature at Outlet of Core Flow Straightener and Bottom of UCS (Test No. 25) .....	51
Fig. 5-9	Transient Temperature in Upper Plenum, Annulus and Outlet Nozzle (Test No. 9) .....	52
Fig. 5-10	Transient Temperature in Upper Plenum, Annulus and Outlet Nozzle (Test No. 10) .....	53
Fig. 5-11	Transient Temperature in Upper Plenum, Annulus and Outlet Nozzle (Test No. 11) .....	54
Fig. 5-12	Transient Temperature in Upper Plenum, Annulus and Outlet Nozzle (Test No. 13) .....	55
Fig. 5-13	Transient Temperature in Upper Plenum, Annulus and Outlet Nozzle (Test No. 19) .....	56
Fig. 5-14	Transient Temperature in Upper Plenum, Annulus and Outlet Nozzle (Test No. 23) .....	57
Fig. 5-15	Transient Temperature in Upper Plenum, Annulus and Outlet Nozzle (Test No. 24) .....	58
Fig. 5-16	Transient Temperature in Upper Plenum, Annulus and Outlet Nozzle (Test No. 25) .....	59
Fig. 5-17	Axial Temperature Distribution (Test No. 9) .....	60
Fig. 5-18	Axial Temperature Distribution (Test No. 9) .....	61
Fig. 5-19	Axial Temperature Distribution (Test No. 9) .....	62
Fig. 5-20	Axial Temperature Distribution (Test No. 10) .....	63
Fig. 5-21	Axial Temperature Distribution (Test No. 10) .....	64
Fig. 5-22	Axial Temperature Distribution (Test No. 10) .....	65
Fig. 5-23	Axial Temperature Distribution (Test No. 11) .....	66
Fig. 5-24	Axial Temperature Distribution (Test No. 11) .....	67
Fig. 5-25	Axial Temperature Distribution (Test No. 11) .....	68
Fig. 5-26	Axial Temperature Distribution (Test No. 13) .....	69
Fig. 5-27	Axial Temperature Distribution (Test No. 13) .....	70
Fig. 5-28	Axial Temperature Distribution (Test No. 13) .....	71
Fig. 5-29	Axial Temperature Distribution (Test No. 19) .....	72



Fig. 5-30	Axial Temperature Distribution (Test No. 19) .....	73
Fig. 5-31	Axial Temperature Distribution (Test No. 19) .....	74
Fig. 5-32	Axial Temperature Distribution (Test No. 23) .....	75
Fig. 5-33	Axial Temperature Distribution (Test No. 23) .....	76
Fig. 5-34	Axial Temperature Distribution (Test No. 23) .....	77
Fig. 5-35	Axial Temperature Distribution (Test No. 24) .....	78
Fig. 5-36	Axial Temperature Distribution (Test No. 24) .....	79
Fig. 5-37	Axial Temperature Distribution (Test No. 24) .....	80
Fig. 5-38	Axial Temperature Distribution (Test No. 25) .....	81
Fig. 5-39	Axial Temperature Distribution (Test No. 25) .....	82
Fig. 5-40	Axial Temperature Distribution (Test No. 25) .....	83
Fig. 5-41	Transient Temperature at Outlet of Core (Test No. 4) ....	84
Fig. 5-42	Transient Temperature at Outlet of Core (Test No. 9) ....	85
Fig. 5-43	Transient Temperature at Outlet of Core (Test No. 23) ...	86
Fig. 5-44	Axial Temperature Distribution (Test No. 4) .....	87
Fig. 5-45	Axial Temperature Distribution (Test No. 4) .....	88
Fig. 5-46	Axial Temperature Distribution (Test No. 5) .....	89
Fig. 5-47	Axial Temperature Distribution (Test No. 5) .....	90
Fig. 5-48	Axial Temperature Distribution (Test No. 6) .....	91
Fig. 5-49	Axial Temperature Distribution (Test No. 6) .....	92
Fig. 5-50	Axial Temperature Distribution (Test No. 7) .....	93
Fig. 5-51	Axial Temperature Distribution (Test No. 7) .....	94
Fig. 5-52	Axial Temperature Distribution (Test No. 8) .....	95
Fig. 5-53	Axial Temperature Distribution (Test No. 8) .....	96
Fig. 5-54	Axial Temperature Distribution (Test No. 9) .....	97
Fig. 5-55	Axial Temperature Distribution (Test No. 9) .....	98
Fig. 5-56	Axial Temperature Distribution (Test No. 10) .....	99
Fig. 5-57	Axial Temperature Distribution (Test No. 10) .....	100
Fig. 5-58	Axial Temperature Distribution (Test No. 21) .....	101
Fig. 5-59	Axial Temperature Distribution (Test No. 21) .....	102
Fig. 5-60	Axial Temperature Distribution (Test No. 22) .....	103
Fig. 5-61	Axial Temperature Distribution (Test No. 22) .....	104
Fig. 5-62	Axial Temperature Distribution (Test No. 23) .....	105
Fig. 5-63	Axial Temperature Distribution (Test No. 23) .....	106
Fig. 5-64	Axial Temperature Distribution (Test No. 24) .....	107
Fig. 5-65	Axial Temperature Distribution (Test No. 24) .....	108
Fig. 5-66	Axial Temperature Distribution (Test No. 25) .....	109
Fig. 5-67	Axial Temperature Distribution (Test No. 25) .....	110

Fig. 5-68	The Effect of Flow Hole on Axial Temperature Distribution .....	111
Fig. 5-69	The Effect of Flow Hole on Axial Temperature Distribution .....	112
Fig. 5-70	The Effect of Flow Hole on Axial Temperature Distribution .....	113

## 1. 緒 言

流量低下を伴うスクラム時に原子炉上部プレナムに生ずるサーマルストラティフィケーションはその界面に接する構造材に厳しい軸方向温度分布による熱応力を発生させることから、その挙動を把握することが必要である。そのため実機の1/6モデルによる試験<sup>(1)</sup>によりストラティフィケーションの発生条件、界面の上昇速度、界面の温度勾配、プレナムの有効混合容量等の発生直後の挙動が明らかにされた。

しかしながら装置の制約から消滅に至るまでの長時間のストラティフィケーション挙動については未だ不明である。

今回計画された試験は原子炉上部プレナムの1/10モデルにより消滅に至る長時間のデータを取得し、実機設計に反映することを目的として行なわれた。

## 2. 試験体及び試験装置

### 2.1 試験体

#### 2.1.1 1/10スケールモデル(フェーズⅠ)

試験体は「もんじゅ」原子炉容器上部プレナムを模擬したものであり、軸方向、径方向ともに1/10に縮尺したモデルである。実機(現設計とは異なる)と比較した概略図をFig.2-1に示す。燃料集合体出口を模擬したオリフィス、制御棒上部案内管を含めた模擬炉心上部機構、炉容器の自由液面を作るためのオーバーフローノズル、120°間隔に設置された出口ノズル、穴径10mmのフローホールを円周上に48個設置した内筒等から構成されている。炉容器モデル自体は鏡付きの内径750mmの容器に入れられた構造となっており、自由液面を有している。各部の形状と実機(現設計とは異なる)の比較をFig.2-2, 2-3に示す。燃料集合体出口部は1枚の板に直径7.5mmの穴を126個あけたものであるが、実機の流量配分を必ずしも模擬したものではない。これはストラティフィケーション現象が局部的流量配分によって影響を受けないことによる。又その上流側の流れを整えるためにオリフィスと全く同一形状の一枚の整流板を設置している。これらの構造から炉心出口模擬部からの流量分布は均一と見なせる。炉心上部機構の制御棒上部案内管部は実機と同一数、同一配列としているが支持板は簡略化し、三角格子によって構成している。制御棒上部案内管は炉心上部機構熱しゃへい板の上方で盲ぶたをつけており、その内部にナトリウムが流入しない構造となっている。炉心上部機構の熱しゃへい板は実機と同一の傾き(160°)を有している。

出口ノズルは三次元的流況を実機と合やす目的で120°間隔に3本取付けている。上部プレナムの底部は実機とほぼ同一の形状とし、その下側には下部プレナム部を設けているが、その内部はアルゴンガスが満たされている。又この下部プレナムは炉容器壁の外側アニユラス部分を経由してカバーガス空間とつながっている。

試験体と実機(現設計とは異なる)の寸法の比較をFig.2-4とTable2-1に示す。これらの図表から分かるように縮尺比は実機のほぼ1/10となっている。材料はすべてSUS304である。

試験体はFig.2-5に示すようにヒータボックスによる間接予熱を行っている。

#### 2.1.2 1/10スケールモデル(フェーズⅡ)

試験体は「もんじゅ」原子炉容器上部プレナムを模擬したものであり、径方向寸法および炉心出口から内筒上端までの軸方向寸法を実機の1/10に縮尺してあるが、内筒からディッププレートまでの軸方向寸法は実機と同一となっている。実機と比較した概略図をFig.2-6に示す。燃料集合体出口を模擬したオリフィス、模擬炉心上部機構、120°間隔に設置された出口ノズル、穴径10mmのフローホールを円筒上に48個配列した内筒、ディッププレート等から

構成されている。各部の形状と実機の比較を Fig. 2-7 に示す。燃料集合体出口部は 1 枚の板に直径 7.5 mm の穴を 127 個三角格子配列状に並べたものであり、実機の流量配分を必ずしも模擬したものではない。これはストラティフィケーション現象が局部的流量配分によって影響を受けないことによる。その上流側にはオリフィスと全く同一形状の整流板 I、又さらにその上流側に直径 7.5 mm の穴を 113 個あけた整流板 II を設け、炉心出口部の流れを整流している。これらの構造からの流量分布は均一と見なせる。炉心上部機構は極めて簡略化し、整流筒、支持板、制御棒上部案内管等を省き、実機では 160° の傾きをもつ熱しゃへい板も平板としている。炉心上部機構の内部には断熱材を封入し、ナトリウム流入がない構造とした。これは解析時の境界条件の簡略化を可能とするためである。

出口ノズルは三次元的流況を実機と合やす目的で 120° 間隔に 3 本取付けている。上部プレナムの底部は平板の耐圧境界とし、境界条件の簡素化をはかっている。実機のディッププレート相当位置には平板を設置し、その上部はナトリウムが流入する構造となっている。実験上液面制御が難しいため、無液面構造とし、ディッププレート上のナトリウムをスタグナントとして扱えるよう考慮されている。

モデル支持部は極力小さくし、さらに支持台との接合部には厚さ 3 mm のアスベストを 4 枚はさみ込み、試験体からの放熱を極力小さくしている。又保温材は 50 mm 厚さのファインクレンクス 1 枚と 75 mm 厚さのロックファイン 2 枚とし、放熱を小さくなるよう配慮している。これらは熱的境界条件を断熱と同等程度にして、解析上のわずらわしさをさけるためである。

内筒の高さおよび直径は実機の 1/10 であり、またフローホールも径は 1/10 であるが個数は 48 個と同一である。またフローホールの効果を把握するため、フローホールを板厚 1 mm の SUS 板でおおっている。これは試験の途中ではずされ、その後の試験ではフローホールがある状態での挙動を調べることができる。そのため、試験体下部はフランジ構造で、リップ溶接でシールされている。

試験体と実機の寸法の比較を Fig. 2-4 と Table 2-2 に示す。これらの図表から分かるように縮尺比は半径方向は 1/10、軸方向は内筒上端まで 1/10、それより上部は 1/1 となっている。材料は内筒および支持台の SS 41 を除き SUS 304 である。

試験体には予熱ヒータを直接取りつけているが、軸方向が均一に予熱できるよう Fig. 2-8 に示すように胴部が 5 分割され、各々制御される。

## 2.2 実験計装及び計測装置

### 2.2.1 1/10 スケールモデル (フェーズ I)

実験計装は直径 1 mm の 0.75 級シース型 K 種熱電対によるナトリウム温度計測が主体であり、燃料集合体出口部、出口ノズル、模擬炉心上部機構熱しゃへい板および整流格子下端、プレナム内、内筒外側アニユラス部、内筒内外面、下部プレナム上端板下面、炉容器外壁等に 82

点取付けている。その取付位置を Fig. 2-9 に示す。プレナム内は直径 1.6 mm の棒を格子状に組合せ、その格子点に熱電対を設置し、三次元的な温度分布を得ることができるよう配慮した。0° 方向ノズルの方位を主体に取付けているが周方向の流れの状態をみるためその他の主要な 2ヶ所 120°、240° にとりつけている。又内筒内外壁温度およびアニュラス温度を計測するため 2つの出口ノズル中間位置の 60° 方位に 4つの熱電対を配置した。


これらのデータはミニコン AICOM-C5 でサンプリング間隔 0.5～5 秒の範囲で収録した。

### 2.2.2 1/10スケールモデル(フェーズⅡ)

実験計装は直径 1 mm の 0.75 級シース型 K 種熱電対によるナトリウム温度計装が主体であり、炉心出口部、出口ノズル、プレナム内、内筒外側アニュラス部、上部プレナム底板下面、ディッププレート上下面、上部鏡板下面及び入口配管に合計 82 点取付けている。その取付位置を Fig. 2-10 に示す。0° 方向ノズルの方位を主体に取付けているが周方向の流れの状態をみるためその他の主要な 2ヶ所 120°、240° にとりつけている。

これらのデータはミニコン AICOM-C5 で収録した。

## 2.3 試験装置

使用した試験装置は小型熱過渡試験装置<sup>(8)</sup>をこの試験のために一部改造したものであり、Fig. 2.11 にフローダイアグラムを示す。改造範囲を  で示す。高温ナトリウムはストレージタンク (SG-T)、加熱器 (H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub>)、膨張タンク (EXP)、流量計 (F・1)、電磁ポンプ (P-1)、弁 (V-3) を循環しながら試験開始の初期温度に調整される。一方、低温ナトリウムは貯蔵タンク (ST-2)、電磁ポンプ (P-2)、流量計 (F-2)、弁 (V-13)、冷却器 (C-1)、弁 (V-6)、ストレージタンク (ST-2) を循環しながら試験の最終温度 (実機のスクラム後到達する温度に相当する) に調整される。試験開始前に弁 (V-4, NV-1, NV-3, V-3) を開、弁 (V-3) を閉とし、高温ナトリウムを試験体に導びき、循環して、試験体を初期温度 (実機では定格運転温度に相当する) に保つ。所定の温度に達すると弁 (V-7, NV-2, V-1) を開とし、弁 (V-6) を閉として低温のナトリウムを送り込み試験を開始する。この場合、弁 NV-1 と NV-2 の開度を変化させることにより種々の熱過渡条件を負荷することができる。試験を長時間行うため、出口ノズルからのナトリウムは NV-3, F-3, V-1 を経由して ST-2 に戻され、P-2, C-1 を通り試験体に送られ、循環する。試験体初期温度が高いことから循環中にストレージタンクのナトリウム温度は上昇するが、冷却器 C-1 で冷やされ、所定の温度を保持できる。試験体のオーバーフローノズルは NV-4 のラインとつながっており、NV-4 を開とすると液面は一定に保たれるが、閉とした場合には試験体へのナトリウム供給量を多くすると液面が上昇する。改造した部分のナトリウムループと試験体の鳥かん図を Fig. 2-12 に示す。このループの主要配管径は 2 インチであり、試験体に流せる量大流量は 360 ℓ/min である。

### 3. 試験条件

「もんじゅ」原子炉容器の炉心出口における熱過渡条件と試験条件との関係、相似性を検討して本試験の位置づけおよび限界等を明らかにする。

#### 3.1 「もんじゅ」熱過渡条件

炉容器上部プレナム内のストラティフィケーション試験の条件を決めるにあたり「もんじゅ」炉心出口のナトリウム温度と流量の変化を考慮する必要がある。本試験条件を決めるに当たり考慮された実機設計（製準Ⅲ，現在の設計条件とは異なる。）の炉心出口部での各種熱過渡事象を Table 3.1 に示す。その中で運転状態ⅡおよびⅢの実機解析用の過渡温度変化を Fig. 3-1a～c に示す。またこの時の流量コストダウンカーブを Fig. 3-2 に示す。

#### 3.2 試験と実機熱過渡条件の相似性

試験体と実機とのスケールの違いによる流動伝熱挙動を一致させるため特定の無次元数を等しくすることが一般的である。代表的な無次元数を以下に示す。

##### a) Richardson 数（浮力／慣性力）

Richardson 数（以下 Ri 数と示す）は

$$Ri = \frac{(\Delta P / P) \cdot g \cdot L}{u^2}$$

で定義されている。

相対 Ri 数（Ri'）を次式で定義する。

$$Ri' = \frac{\text{試験体の Ri 数}}{\text{実機の Ri 数}} \\ = \frac{(\Delta P / P) \cdot g \cdot L}{u^2} \bigg/ \frac{(\Delta P_0 / P_0) \cdot g \cdot L_0}{u_0^2}$$

フェーズⅡ試験では、場所によって縮尺率が異なっているが、代表長さを径方向の長さ（炉心出口部等価直径，プレナム等価直径等）で定義し，流速をある部分での軸方向平均流速（炉心出口部での平均流速等）で定義するとすれば，

$$Ri' = \frac{\Delta P / P}{\Delta P_0 / P_0} \cdot \frac{1}{10^5} \cdot \left( \frac{Q_0}{Q} \right)^2 \quad \text{と表わされる。}$$

ここで，

$\Delta P$  : 密度差

$P$  : 密度

$g$  : 重力加速度

$L$  : 代表長さ

$u$  : 流速

$Q$  : 流量

添字<sub>0</sub>は、実機での値を示す。

b) Reynolds 数 (慣性力/粘性力)

Reynolds 数 (以下 Re 数と示す) は

$$Re = \frac{u \cdot L}{\nu}$$

で定義されている。

相対 Re 数 ( $Re'$ ) を次式で定義する。

$$\begin{aligned} Re' &= \frac{\text{試験体の Re 数}}{\text{実機の Re 数}} \\ &= \frac{u \cdot L}{\nu} \bigg/ \frac{u_0 \cdot L_0}{\nu_0} \\ &= \left( \frac{Q}{Q_0} \right) \cdot 10 \cdot \left( \frac{\nu_0}{\nu} \right) \end{aligned}$$

ここで、 $\nu$  : 動粘性係数

c) Péclet 数 (熱の移流効果/熱の拡散効果)

Péclet 数 (以下 Pe 数と示す) は

$$Pe = \frac{u \cdot L}{\alpha} = Pr \cdot Re$$

で定義されている。

相対 Pe 数 ( $Pe'$ ) を次式で定義する。

$$\begin{aligned} Pe' &= \frac{\text{試験体の Pe 数}}{\text{実機の Pe 数}} \\ &= \frac{u \cdot L}{\alpha} \bigg/ \frac{u_0 \cdot L_0}{\alpha_0} \\ &= \left( \frac{Q}{Q_0} \right) \cdot 10 \cdot \left( \frac{\alpha_0}{\alpha} \right) = Re' \cdot \frac{Pr}{Pr_0} \end{aligned}$$

ここで、 $\alpha$  : 熱拡散係数

$Pr$  : Prandtl 数 (運動量の拡散効果/熱の拡散効果,  $\nu/\alpha$ )

以上の無次元数に加えて、フェーズ II 試験においてはプレナムでの平均流速についても、実機の値との関係を考慮した。相対流速 ( $u'$ ) を次式で定義する。



$$\begin{aligned}
 u' &= u / u_0 \\
 &= (Q / Q_0) \cdot 10^2
 \end{aligned}$$

### 3.3 試験条件

試験は、高温ナトリウム温度、低温ナトリウム温度、流量をパラメータとして実施された。流量については、装置の制約上、実機のコーストダウンを模擬できないため、一定に保った試験のみが実施された。フェーズⅡ試験については、フローホールを開いた試験とフローホールを閉じた試験が実施された。試験継続時間は、フェーズⅠ試験では最大1時間程度、フェーズⅡ試験では5時間程度である。フェーズⅠ試験の試験条件をTable 3-2に、フェーズⅡ試験の試験条件をTable 3-3に示す。表中、相対Ri数、相対Pe、相対Re、相対流速の実義は3.2に示したとおりである。また、Ri数、Pe数、Re数における代表長さは、炉心出口部の等価直径、流速は炉心出口部の平均流速で定義した。フェーズⅠ、フェーズⅡとも相対Ri数が1となる条件を中心にパラメータをふって実験が実施された。相対Re数、相対Pe数については、 $10^{-2} \sim 10^{-1}$ と小さな値ではあるが、Re数は $10^4$ 以上の値であり、十分発達した乱流領域にあると考えられることからこの差は無視できるものとした。フェーズⅡ試験については、相対流速にも注目し、相対流速が1となる条件での試験も実施された。Table 3-2に示した熱的成層化発生の有無の判定は、参考文献(1)で1/6縮尺モデル試験について実施したのと同様、実験データで作成した等温線図により行った。Table 3-2, 3-3中、試験番号が連続していないのは、予備的な試験ケース、不具合が生じた試験ケースを表中に入れていないからである。

## 4. 試 験 経 過

1/10スケールモデル試験（フェーズⅠ）は、昭和57年6月から昭和58年12月にかけて実施された。その結果、内筒上端より上部での成層界面の挙動解明の重要性が認識され、1/10スケールモデル試験（フェーズⅡ）の試験体が作成され、昭和59年1月から昭和59年2月にかけて試験が実施された。小型熱過渡試験装置の工程上、試験期間が限定されたため、必要最小限の試験ケースのみが実施された。

## 5. 試験結果

### 5.1 1/10スケールモデル試験（フェーズⅠ）

各試験ケースにおける炉心出口部，整流格子下端，UCS 下端での温度の時間変化を Fig. 5-1～5-8 に示す。炉心出口部については，2 点の熱電対により温度が計測されているが，どの試験ケースについても，2 点の温度変化はほぼ一致しており，試験開始後約 50 秒までは急激な温度低下を示し，その後温度変化は比較的緩かになる。この温度変化の傾向は，試験ループ（小型熱過渡試験装置）の性能に依存しており，温度変化速度をパラメータとして試験を実施することはできない。整流格子下端部の温度変化は，炉心出口部とはほぼ一致しているが，UCS 下端部については，混合効果により温度変化が緩かになっている。

プレナム内及び出口ノズル部の温度の時間変化を Fig. 5-9～5-16 に示す。図は時間及び温度を無次元化して示しており，定義は以下のとおり。

$$t^* = t / \left( \frac{V}{Q} \right)$$

$$\theta = \frac{T - T_c}{T_H - T_c}$$

$t$  : 実時間

$V$  : 試験体のプレナム容積 ( 239 ℓ )

$Q$  : 流量

$T$  : 温度

$T_H$  : 高温ナトリウム温度

$T_c$  : 低温ナトリウム温度

これらの図からわかるとおり， $Re_i$  数の比較的大きなケースについては，出口ノズル部 ( ④ ) とプレナム下部 ( ② ) の温度変化速度の差が小さく，プレナム上部 ( ⑤ ) とプレナム下部 ( ② ) では温度変化速度の差が大きい傾向を示している。一方， $Re_i$  数の比較的小きなケースについてはその逆の傾向を示している。これは  $Re_i$  数が大きなケースでは，成層化が顕著となり，フローホール流量が大きくなって内筒上端を越える流れが少なくなるのに対し， $Re_i$  が小さなケースでは，内筒上端を越えアニュラス部に入る流量が大きくなり，フローホール流量が少なくなるためと考えられる。

プレナム内及びアニュラス部での軸方向温度分布を Fig. 5-17～5-40 に示す。図中，無次元化した高さ  $H'$  の定義は以下のとおり。

$$H' = H / H_0$$

$H$  : 内筒フローホールからの高さ

$H_0$  : 内筒上端から内筒フローホールまでの垂直距離 ( 340 mm )

$R_i'$  数が比較的小さなケースでは、プレナム内の軸方向温度分布は均一に近くなり、成層化が生じていないことを示している。

## 5.2 1/10 スケールモデル試験 (フェーズⅡ)

炉心出口部の温度変化の例を、Fig. 5-41 ~ 5-43 に示す。試験開始後、30 ~ 70 秒までは急激な温度低下を示し、その後は緩やかな温度変化となっている。

プレナム内及びアニユラス部の軸方向温度分布を、Fig. 5-44 ~ 5-67 に示す。内筒上端より上部で急峻な軸方向温度勾配が生じており、この温度勾配は時間とともに緩かになっている。軸方向温度分布が生じている部分を成層界面と考えると、 $R_i'$  数が比較的小さなケースについては、成層界面の下端部が時間とともに上昇しているが、 $R_i'$  数が比較的大きなケースについては内筒上端近傍からほとんど移動していない。急峻な軸方向温度勾配が一ヶ所に長期間存在するのは構造健全性の点から厳しいため、温度勾配の程度、上昇速度が重要である。

内筒上端より上部での軸方向温度分布について、内筒フローホールを閉じたケースと開いたケースで比較した。その結果を Fig. 5-68 ~ 5-70 に示す。比較は、流量が等しく、 $R_i'$  数がほぼ等しいケースについて実施した。内筒上端より上部での軸方向温度分布については、フローホールを開いたケースと閉じたケースでほとんど差がないことがわかる。これは、内筒フローホールが開いている場合のフローホールを通る流量は、内筒上端より下部で成層化が生じている比較的短期間は増大するものの、その後は等温での定常状態と同様小さくなるため、フローホールの開いた場合と閉じた場合で、軸方向温度分布の差がほとんど生じないものと考えられる。

## 5.3 実機への反映

試験結果の詳細な検討は、別途実施されており、<sup>(2)</sup> 本報では実施しない。

1/10 スケールモデル試験 (フェーズⅠ, フェーズⅡ) は、「もんじゅ」の設計へ反映させるために実施され、他のナトリウム試験、<sup>(1)</sup> 水試験<sup>(3)(4)</sup> とともに「もんじゅ」設計の各方面に活用された。

「もんじゅ」のプラント熱過渡条件は、主にプラント動特性解析コード「COPD」を用いて求められている。「COPD」の炉容器上部プレナムモデルの検証用のデータとして、1/10 スケールモデル試験 (フェーズⅠ) が用いられた。<sup>(5)</sup> また、熱過渡条件設定の際のバック・アップとして、多次元伝熱流動解析コード (SCORT-Ⅱ, NAGARE-2D 等) が用いられているが、このコード検証用のデータとしても 1/10 スケールモデル試験 (フェーズⅠ, フェーズⅡ) が利用された。<sup>(6)(7)</sup>

一方、コード検証用のデータとしてのみならず、内筒上端より上部での軸方向温度勾配、界面上昇速度については、1/10 スケールモデル試験 (フェーズⅡ) の実験結果を直接外挿することによって、「もんじゅ」設計の検討が実施された。その結果、プロテクションライ

ナーの Y ピース部等で、構造健全性上、設計が設立しない可能性のあることが判明し、内筒の設計変更（内筒の高さを 1 m 立上げ、構造健全性上厳しい部分を内筒によりカバーする方法がとられた）がなされた。

上述のように、1/10 スケールモデル試験の試験結果は、「もんじゅ」の設計に十分反映され、所期の目的を果たした。

## 6. 結 言

原子炉スクラム時に、原子炉容器上部プレナム内に生ずるサーマルストラティフィケーション現象を把握し、実機設計へ反映することを目的として、1/10 スケールモデル試験が実施された。本試験は、特に長時間のデータを取得することを目的としており、まず、フェーズⅠ試験（8ケース）が実施され、その後、内筒上端より上部での挙動を詳細に調べるためフェーズⅡ試験（12ケース）が実施された。試験結果は、下記のとおり実機設計に反映された。

- (1) 実機熱過渡解析コード「COPD」の検証データとして用いられた。
- (2) 実機熱過渡解析のバックアップ用コード（多次元熱流動解析コード）の検証データとして用いられた。
- (3) 本試験の結果を基にした検討により、内筒の設計変更が実施された。

## 謝 辞

本試験を実施するにあたり多大の御尽力をいただいた元高速炉機器開発部厚母部長（現日立製作所エネルギー研究所）に深く感謝致します。また有益なコメントをいただいた元 FBR 研究開発本部加納茂機グループリーダー（現機器開発部材料室主研）に感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- (1) 青木英利他「「もんじゅ」1/6試験体によるプレナムストラティフィケーション試験(Ⅲ)－ナトリウム機器の熱衝撃試験(XXIX) PNC SN941 84-96
- (2) 家田芳明他「原子炉容器内冷却材の熱的成層化の評価(第一報)－熱的成層化現象の評価手法の検討－」
- (3) 馬渡勝彦他「炉心上部周辺水流動試験(Ⅲ)－ストラティフィケーション試験」PNC SJ 201 82-31
- (4) 長谷川芳夫他「低流量時混合試験－原子炉容器内の過渡時非軸対称流れ及び温度分布－」PNC SJ206 83-07
- (5) Y. Sagayama et al : " Stratification Modeling for an Outlet Plenum of a Plant Dynamic Analysis Code ", Proceedings of the second specialists meeting on decay heat removal and natural convection in LMFBRs ( 1985 )
- (6) M. Takahashi et al : " Benchmark Analysis for Multi-dimensional Thermal-Hydraulic Analysis Codes ", PNC SN941 84-91
- (7) 古橋一郎他「2次元流動伝熱解析プログラム「NAGARE 2D」」 PNC SN941 84-50
- (8) 奥村直人他「小型熱過渡試験装置の建設, 小型熱過渡試験(I)」PNC SN941 80-215



Table 2.1 Comparison between 1/10 Scale Model (Phase I) and "Monju"

項	目	もんじゅ	試験体	縮尺比
原子炉容器内径	D (mm $\phi$ )	7080	698	約1/10
内筒内径	Di (mm $\phi$ )	6520	652	1/10
内筒外径	Do (mm $\phi$ )	6600	660	1/10
内筒高さ	Z (mm)	3950	405	約1/10
ディッププレート高さ	Y (mm)	5965	—	—
炉心上部機構外径	d (mm $\phi$ )	1840	184	1/10
炉心上部機構取付高さ	$\ell$ (mm)	1085	106.5	約1/10
炉心上部機構下部頂角	$\alpha$ (deg)	160	160	—
整流格子高さ	$\ell_2$ (mm)	50	5	1/10
整流格子厚さ	$\ell_1$ (mm)	400	40	1/10
整流格子対辺	A (mm)	1694	168	約1/10
整流格子対角	B (mm)	1950	194	約1/10
出口ノズル中心高さ	$h_1$ (mm)	700	70	1/10
出口ノズル配管径	c	32B	2B	—
フローホール中心高さ	$h_2$ (mm)	650	65	1/10
フローホール径	a (mm $\phi$ )	100	10	1/10
フローホール数	—	48	48	—
プレナム底深さ	$\ell_3$ (mm)	925	82	約1/11
液位	H (mm)	6000	610	約1/10

Table 2.2 Comparison between 1/10 Scale Model (Phase II) and "Monju"

項 目		もんじゅ	試験体	縮尺比
原子炉容器内径	D (mm $\phi$ )	7080	700	約1/10
内筒内径	Di (mm $\phi$ )	6520	641	約1/10
内筒外径	Do (mm $\phi$ )	6600	650	約1/10
内筒高さ	Z (mm)	3950	405	約1/10
ディッププレート高さ - 内筒高さ	Y-Z (mm)	2015	2025	約1/1
炉心上部機構外径	d (mm $\phi$ )	1840	165.2	約1/11
炉心上部機構取付高さ	$\ell$ (mm)	1085	122	約1/9
炉心上部機構下部頂角	$\alpha$ (deg)	160	180	-
整流格子高さ	$\ell_2$ (mm)	50	-	-
整流格子厚さ	$\ell_1$ (mm)	400	-	-
整流格子対辺	A (mm)	1694	-	-
整流格子対角	B (mm)	1950	-	-
出口ノズル中心高さ	$h_1$ (mm)	700	70	1/10
出口ノズル配管径	c	32B	2B	-
フローホール中心高さ	$h_2$ (mm)	650	65	1/10
フローホール径	a (mm $\phi$ )	100	10	1/10
フローホール数	-	48	48	-
プレナム底深さ	$\ell_3$ (mm)	925	82	約1/11
液 位	H (mm)	6000	無液面	-

Table 3.1 Transient Conditions at Core Exit in "Monju"

運転状態	事 象 名	記 号	流 量	対応する温度変化の図	回 数
I	通 常 起 動	I-1	定格の40%		791
I	通 常 停 止	I-2	"		
II	手動トリップ	II-1a	流量コーストダウン 最終値9.6%	Fig 3.1-b	555
II	1次主冷却系流量制御系故障I)	II-1d	"	Fig 3.1-a	25
III	1次主冷却系流量制御系故障I) (崩壊熱最小)	III-S <sub>1</sub>	"	Fig 3.1-c	5

Table 3.2 Test Conditions of 1/10 Scale Model (Phase I)

試験番号	初期Na温度 (°C)	最終Na温度 (°C)	温度差(°C)	流量( $\ell/\text{min}$ )	相 对 Ri	Ri	相 对 Pe	Pe	相 对 Re	Re	熱的成層化 発生の有無
9	296	254	42	60	0.674	2.75	0.0195	$1.44 \times 10^2$	0.0150	$2.32 \times 10^4$	有
10	302	258	44	60	0.706	2.88	0.0195	$1.44 \times 10^2$	0.0152	$2.35 \times 10^4$	有
11	295	261	34	100	0.196	0.801	0.0323	$2.39 \times 10^2$	0.0253	$3.90 \times 10^4$	無
13	293	255	38	60	0.607	2.48	0.0195	$1.44 \times 10^2$	0.0150	$2.32 \times 10^4$	有
19	304	251	53	95	0.338	1.38	0.0307	$2.27 \times 10^2$	0.0241	$3.71 \times 10^4$	有
23	280	259	21	119	0.0855	0.349	0.0384	$2.84 \times 10^2$	0.0296	$4.57 \times 10^4$	無
24	354	257	97	55	1.87	7.63	0.0178	$1.32 \times 10^2$	0.0147	$2.27 \times 10^4$	有
25	325	254	71	55	1.36	5.55	0.0178	$1.32 \times 10^2$	0.0143	$2.20 \times 10^4$	有

Table 3.3 Test Condition of 1/10 Scale Model (Phase II)

	高温Na温度 (°C)	低温Na温度 (°C)	温度差 (°C)	流量 (ℓ/min)	相对Ri数 Ri'	Ri数	相对Pe数 Pe'	Pe数	相对Re数 Re'	Re数	相对流速 U'	フロー ホール
4	448	268	180	300	0.119	0.485	0.0984	$7.28 \times 10^2$	0.0882	$1.36 \times 10^5$	1.0	閉
5	450	256	194	150	0.512	2.09	0.0492	$3.64 \times 10^2$	0.0438	$6.75 \times 10^4$	0.5	〃
6	450	264	186	360	0.0853	0.348	0.118	$8.74 \times 10^2$	0.106	$1.63 \times 10^5$	1.2	〃
7	450	350	100	300	0.0669	0.273	0.0995	$7.36 \times 10^2$	0.0940	$1.45 \times 10^5$	1.0	〃
8	525	339	186	300	0.126	0.514	0.100	$7.41 \times 10^2$	0.0979	$1.51 \times 10^5$	1.0	〃
9	454	258	196	90	1.44	5.86	0.0295	$2.18 \times 10^2$	0.0264	$4.07 \times 10^4$	0.3	〃
10	454	305	149	300	0.0990	0.404	0.0992	$7.34 \times 10^2$	0.0914	$1.41 \times 10^5$	1.0	〃
21	450	258	192	300	0.126	0.516	0.0983	$7.27 \times 10^2$	0.0875	$1.35 \times 10^5$	1.0	開
22	451	260	191	150	0.505	2.06	0.0492	$3.64 \times 10^2$	0.0439	$6.77 \times 10^4$	0.5	〃
23	450	260	190	90	1.39	5.68	0.0295	$2.18 \times 10^2$	0.0263	$4.06 \times 10^4$	0.3	〃
24	447	247	200	100	1.18	4.83	0.0327	$2.42 \times 10^2$	0.0289	$4.45 \times 10^4$	0.33	〃
25	450	251	199	120	0.823	3.36	0.0393	$2.91 \times 10^2$	0.0349	$5.38 \times 10^4$	0.4	〃

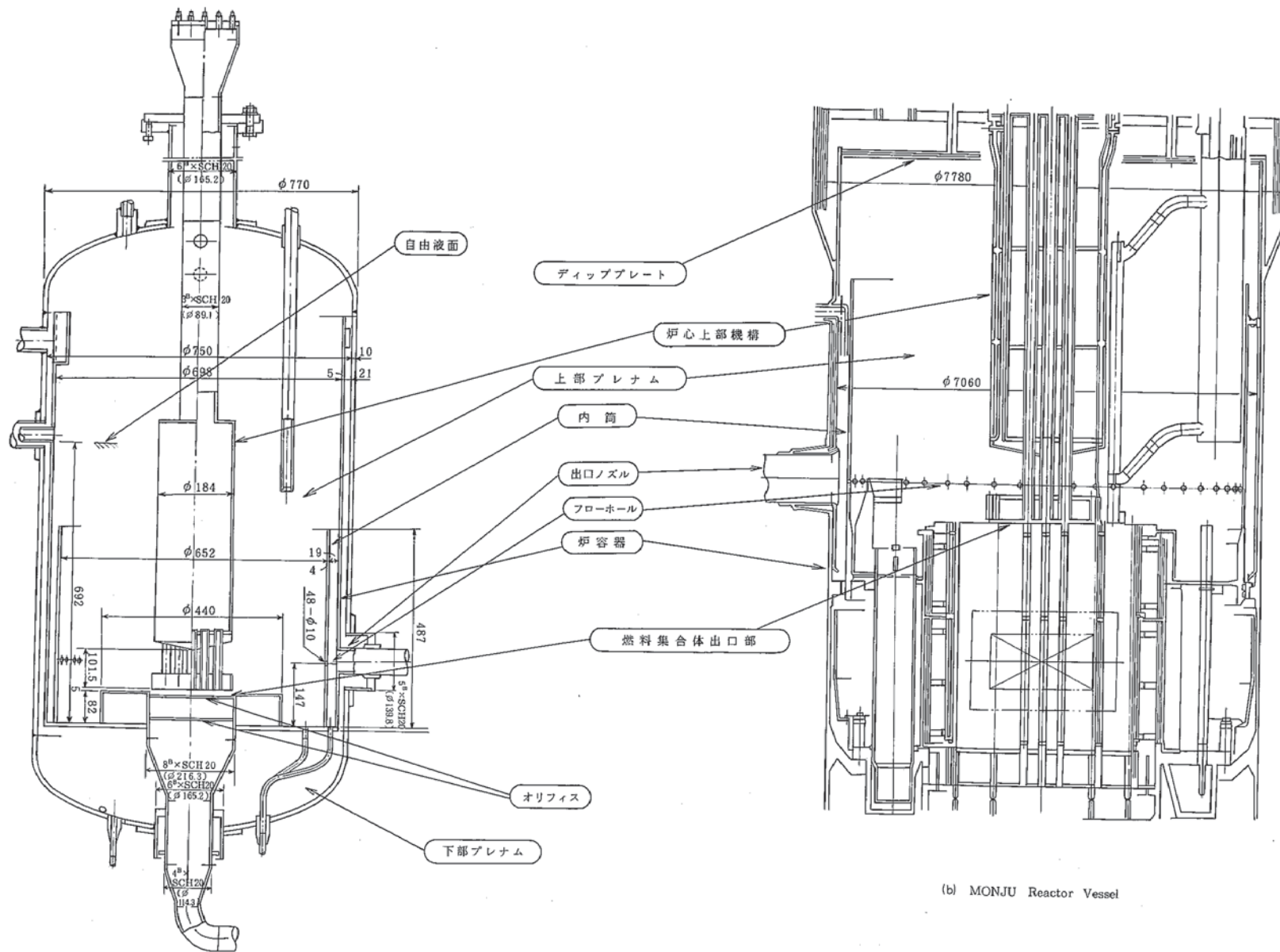


Fig.2-1 Cross Section View of Upper Plenum of 1/10 Scale Model (Phase I)



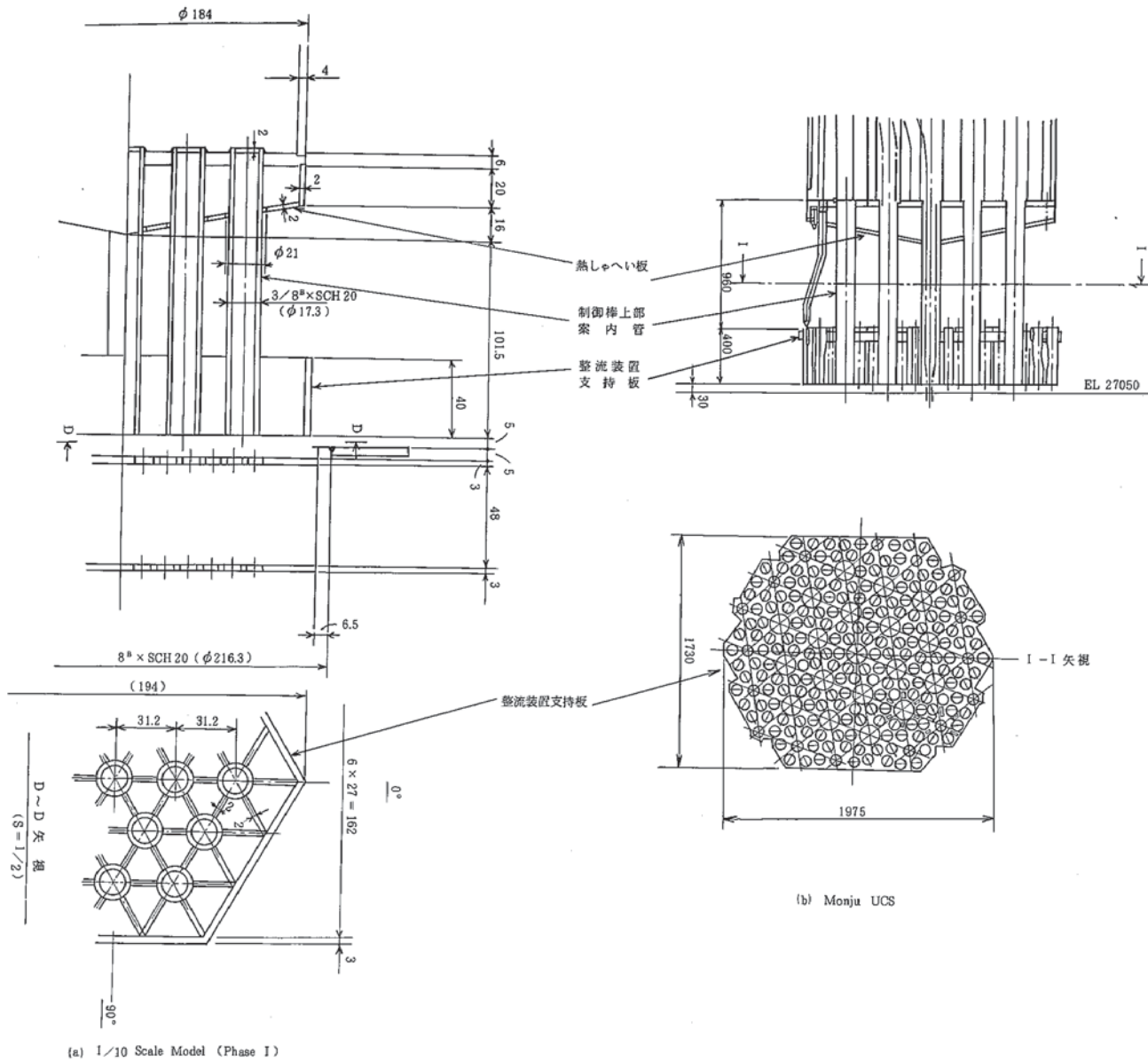


Fig.2-3 Cross Section View of Upper Core Structure of 1/10 Scale Model (Phase I)



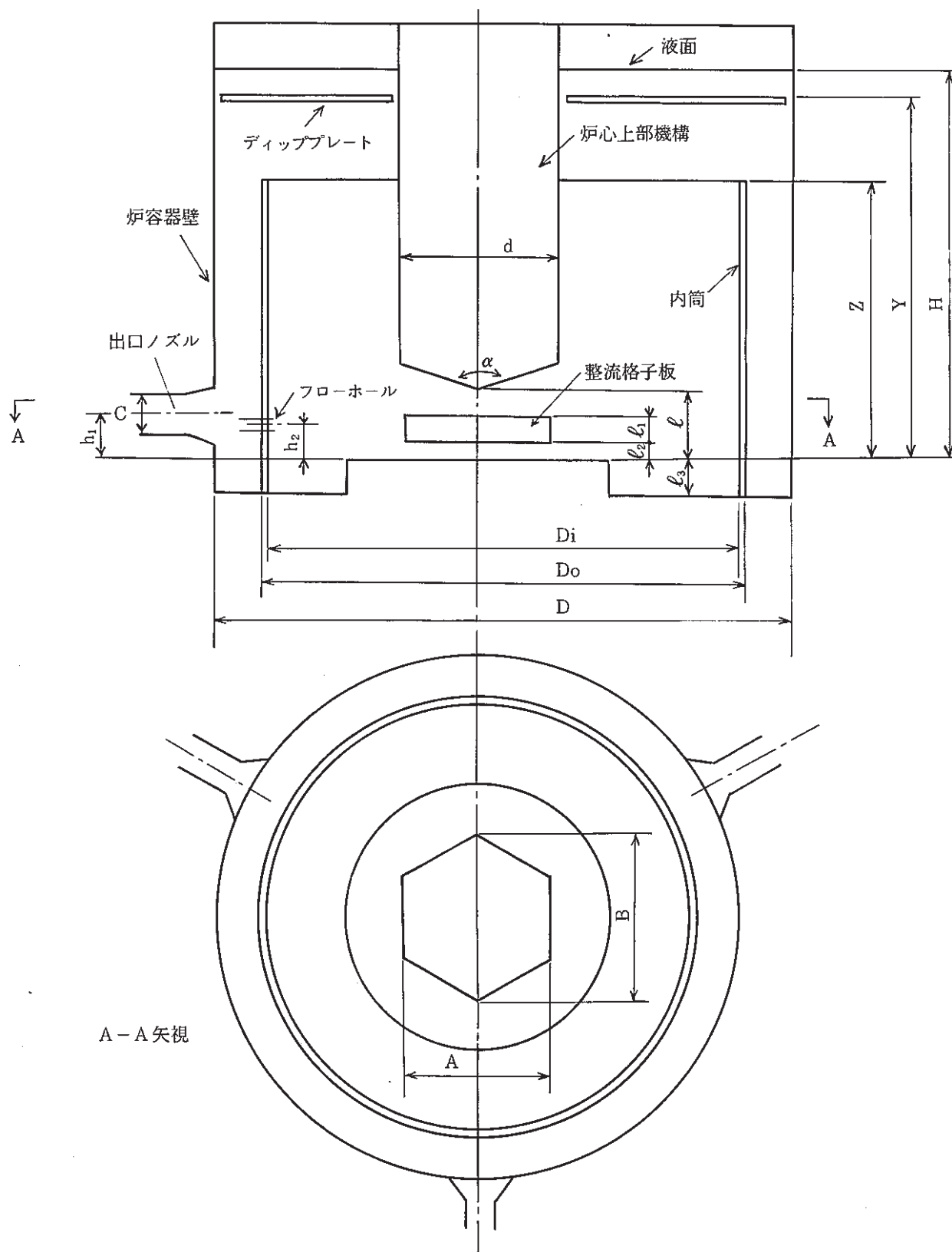


Fig. 2.4 Configuration and Dimensions of Test Model

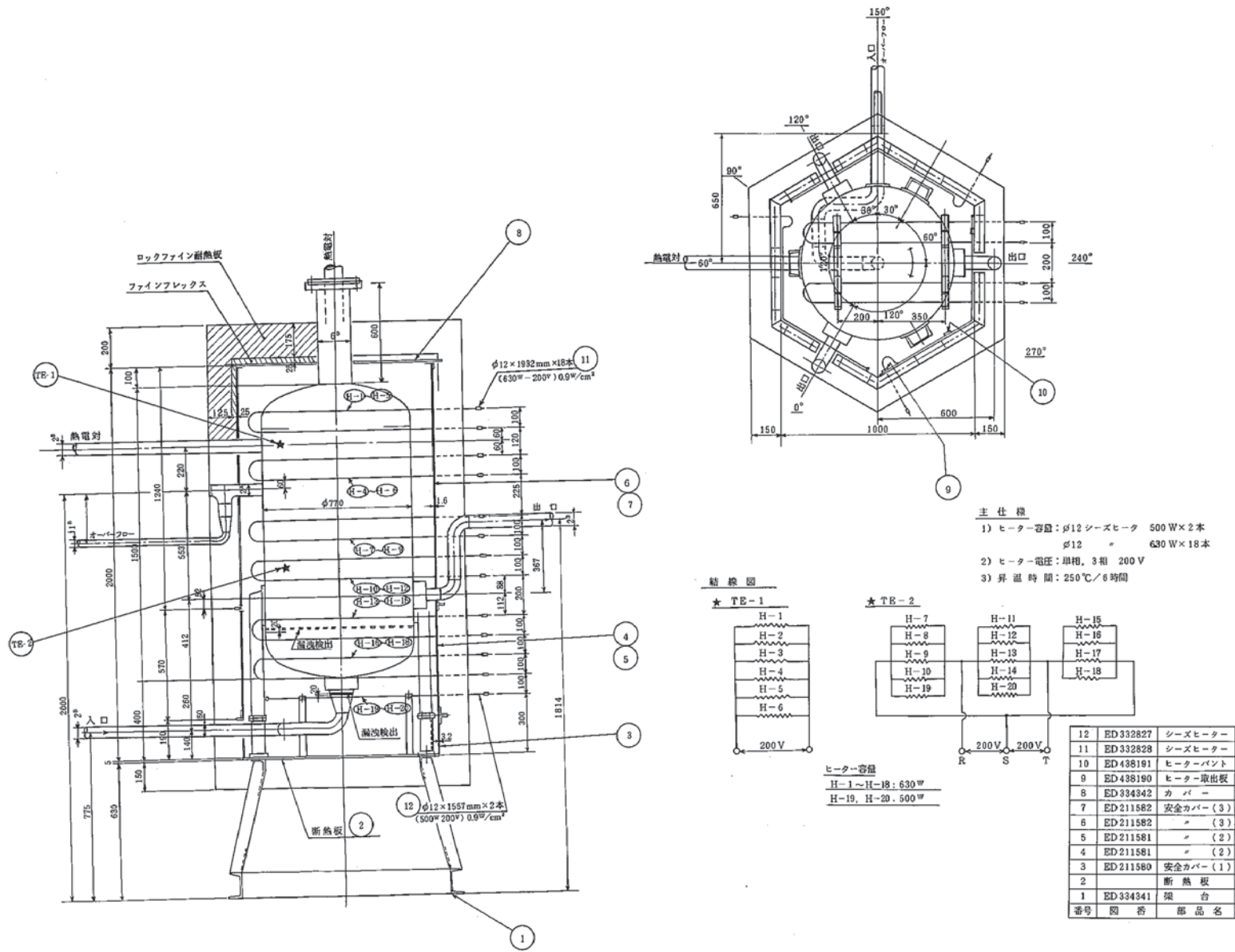
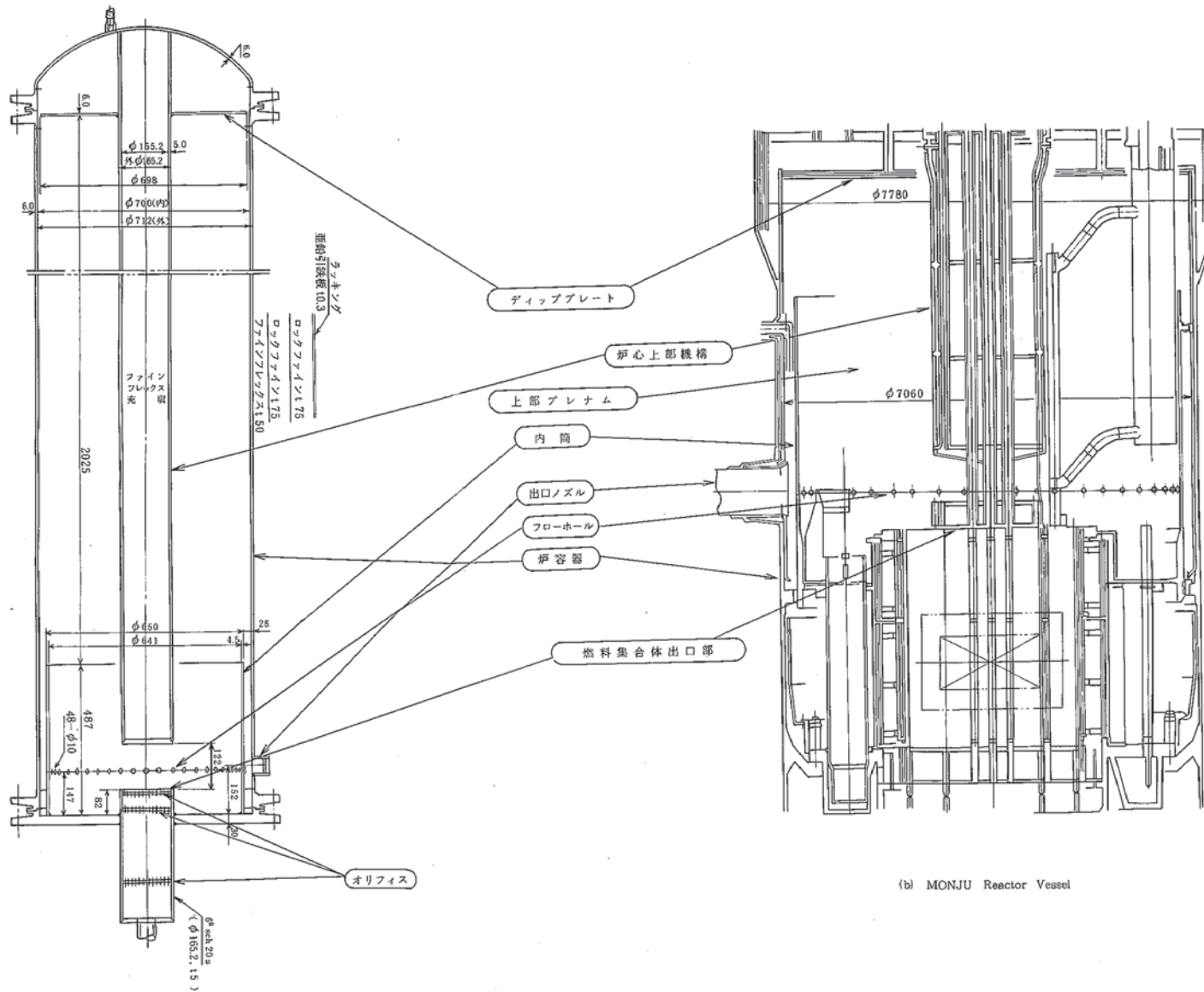


Fig. 2-5 Schematic Diagram of Heaters installed in 1/10 Scale Model (Phase I)



(a) 1/10 Scale Model (Phase II)

(b) MONJU Reactor Vessel

Fig.2-6 Cross Section View of Upper Plenum of 1/10 Scale Model (Phase II)

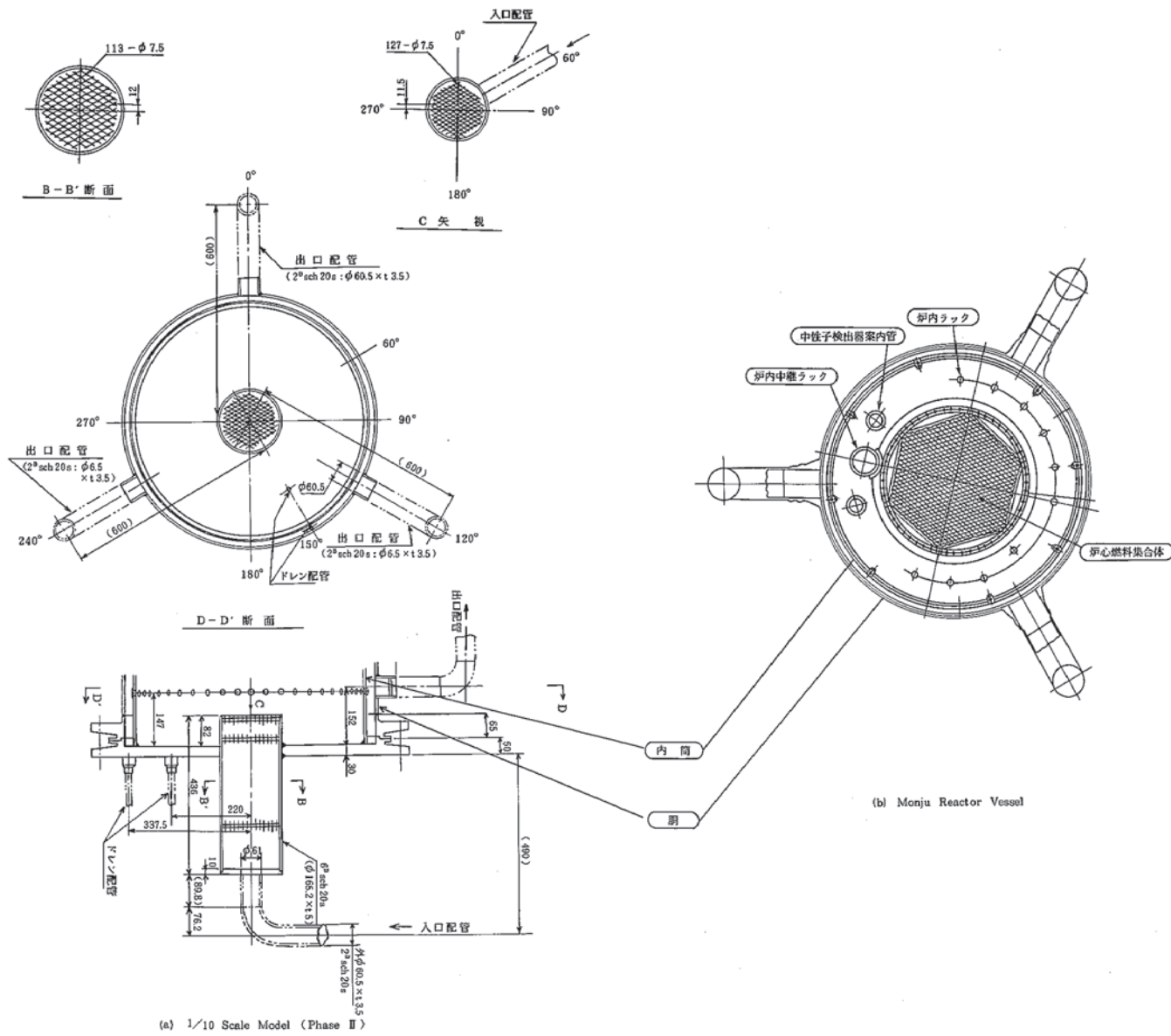


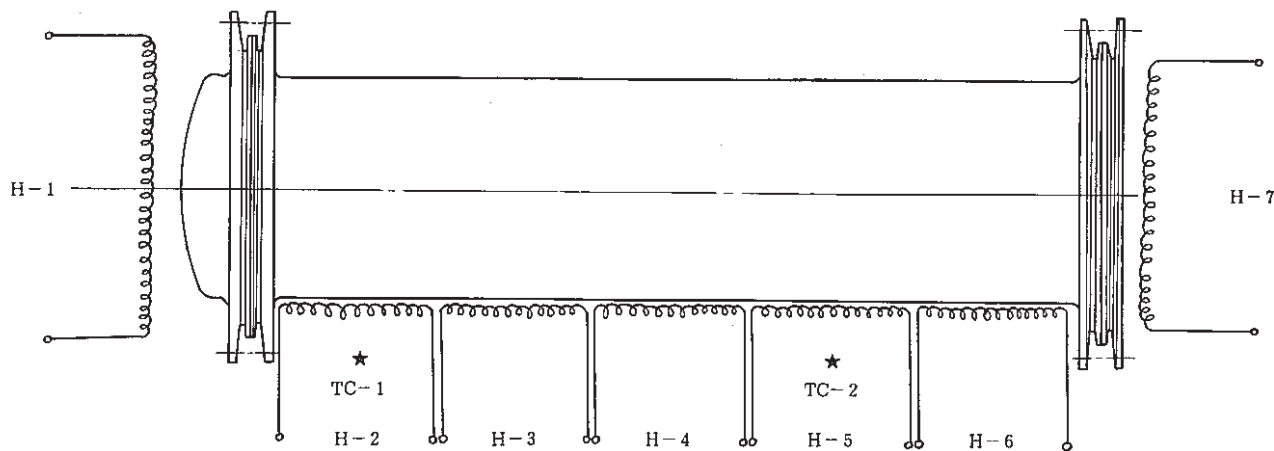
Fig. 2-7 Cross Section View of Core Outlet of 1/10 Scale Model (Phase II)

温度条件

1. 昇温温度：500℃
2. 昇温速度：25℃/h
3. 昇温は容器のみ

制御用熱電対 (TC-1～TC-2)仕様

1. CA非接地：シース型
2. シース外径×長さ：φ1.6×500
3. シース材：SUS304
4. 補償導線長さ：1m
5. バット付



項目	ヒーターNo	H-1	H-2～H-6	H-7
ヒーター種類		φ3.2マイクロヒーター	φ3.2マイクロヒーター	φ3.2マイクロヒーター
シース材		SUS304	SUS304	SUS304
ターミナル形状		スタンドタイプ	スタンドタイプ	スタンドタイプ
アダプター外径×長さ		φ8×200mm	φ8×200mm	φ8×200mm
容量		1,250 W	886 W	1,650 W
電圧		200 V	200 V	200 V
電流		6.25 A	4.43 A	8.25 A
抵抗値		32 Ω	45.15 Ω	24.24 Ω
有効発熱長		13.33 m	18.8 m	10.1 m
電力密度		0.935 W/cm <sup>2</sup>	0.47 W/cm <sup>2</sup>	1.625 W/cm <sup>2</sup>

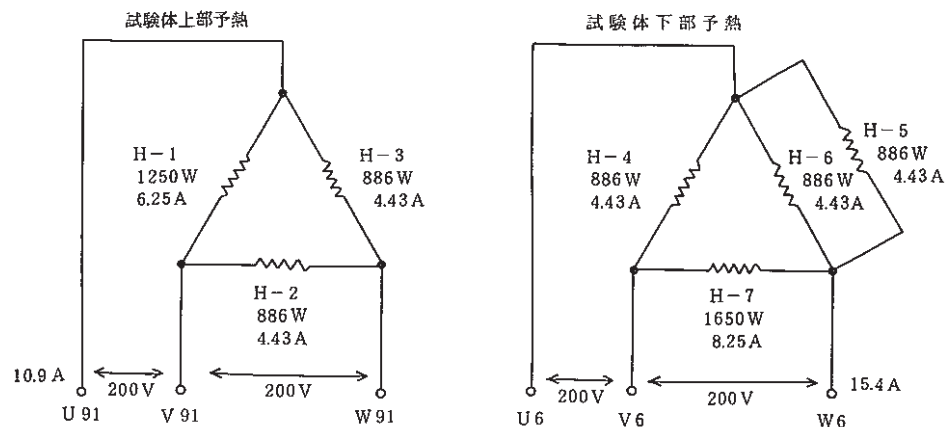


Fig. 2-8 Schematic Diagram of Heaters installed in 1/10 Scale Model (Phase II)

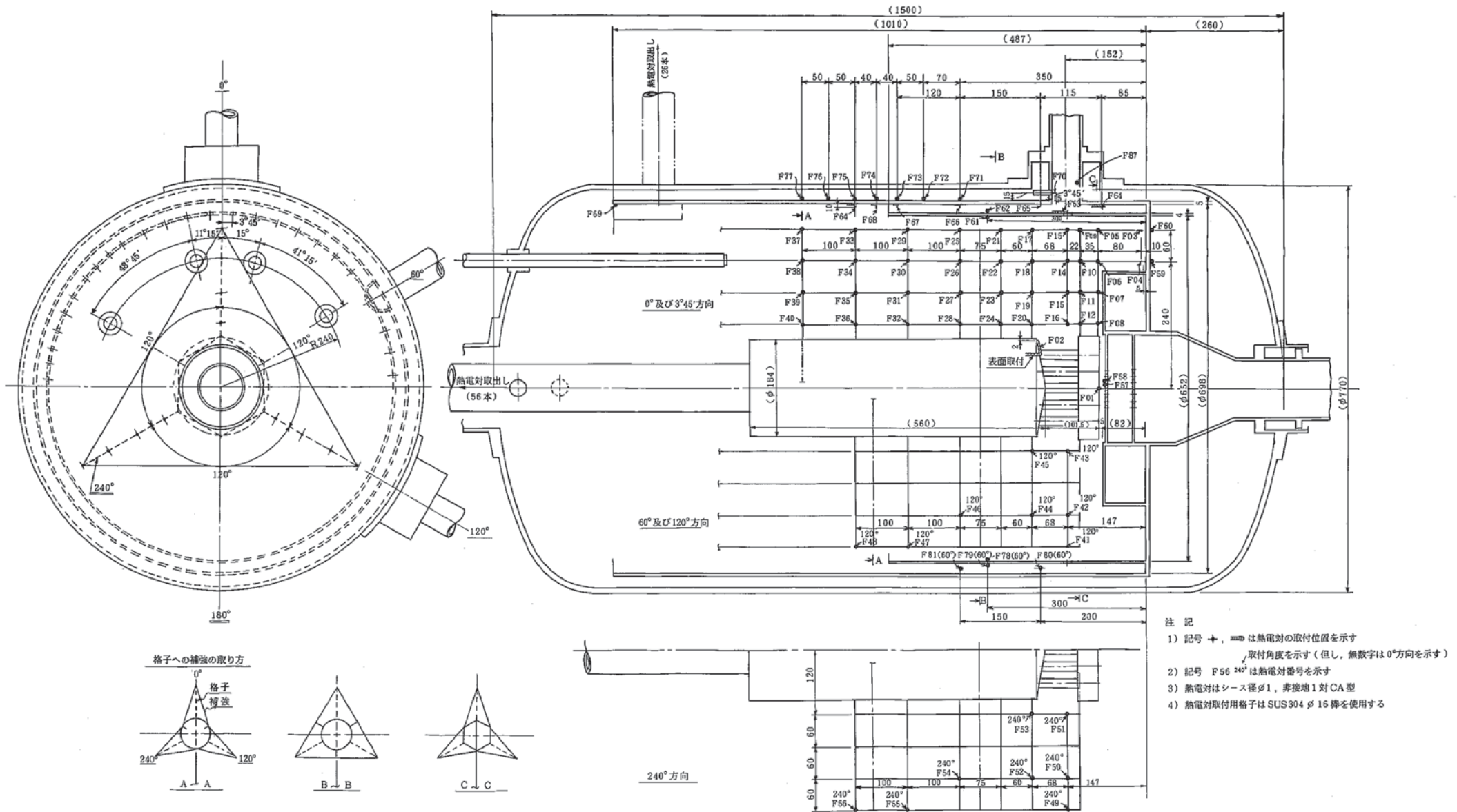


Fig. 2-9 Thermocouple Installation of 1/10 Scale Model (Phase I)

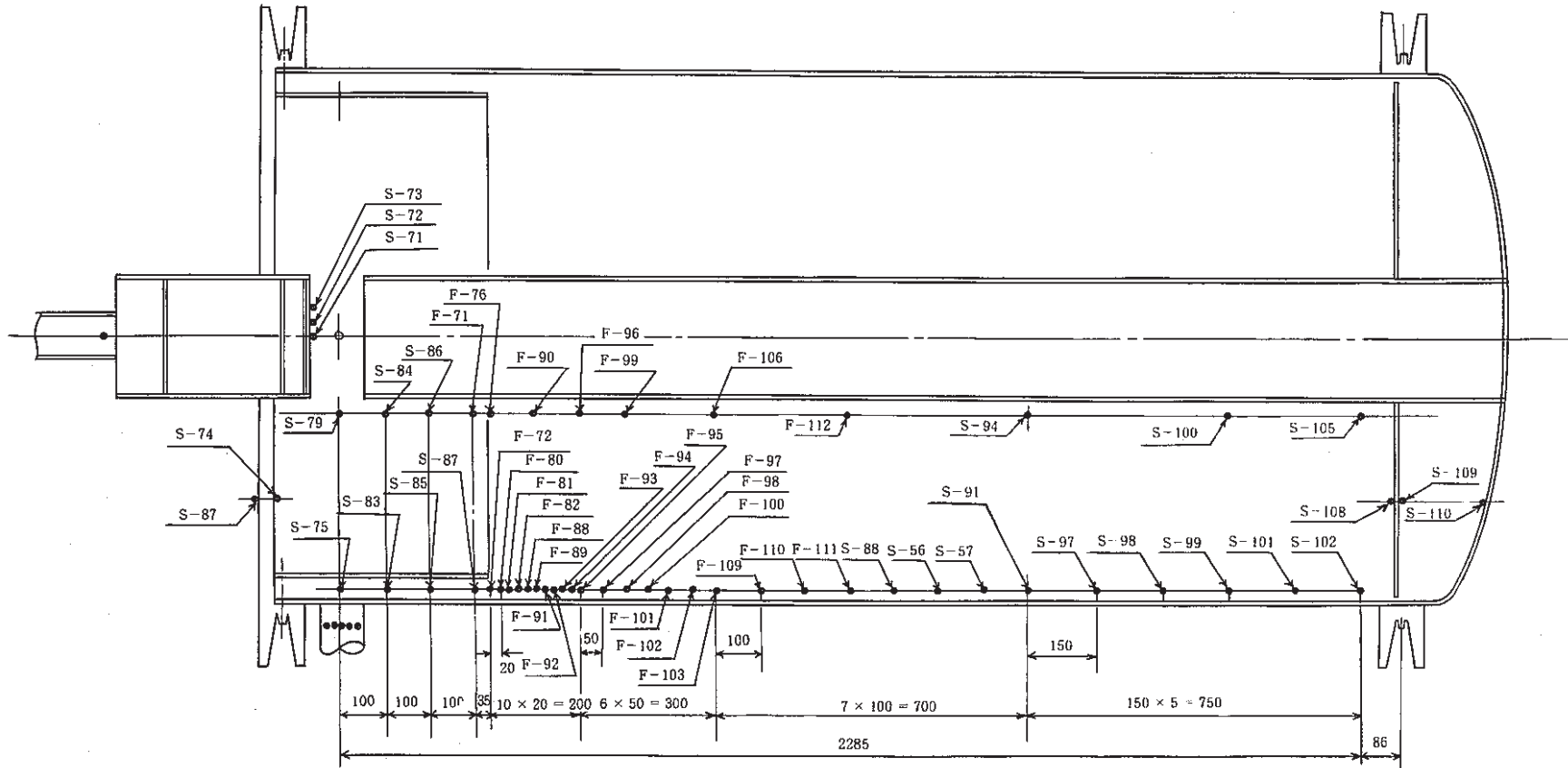


Fig.2 - 10 Thermocouple Installation of 1/10 Scale Model (Phase II)

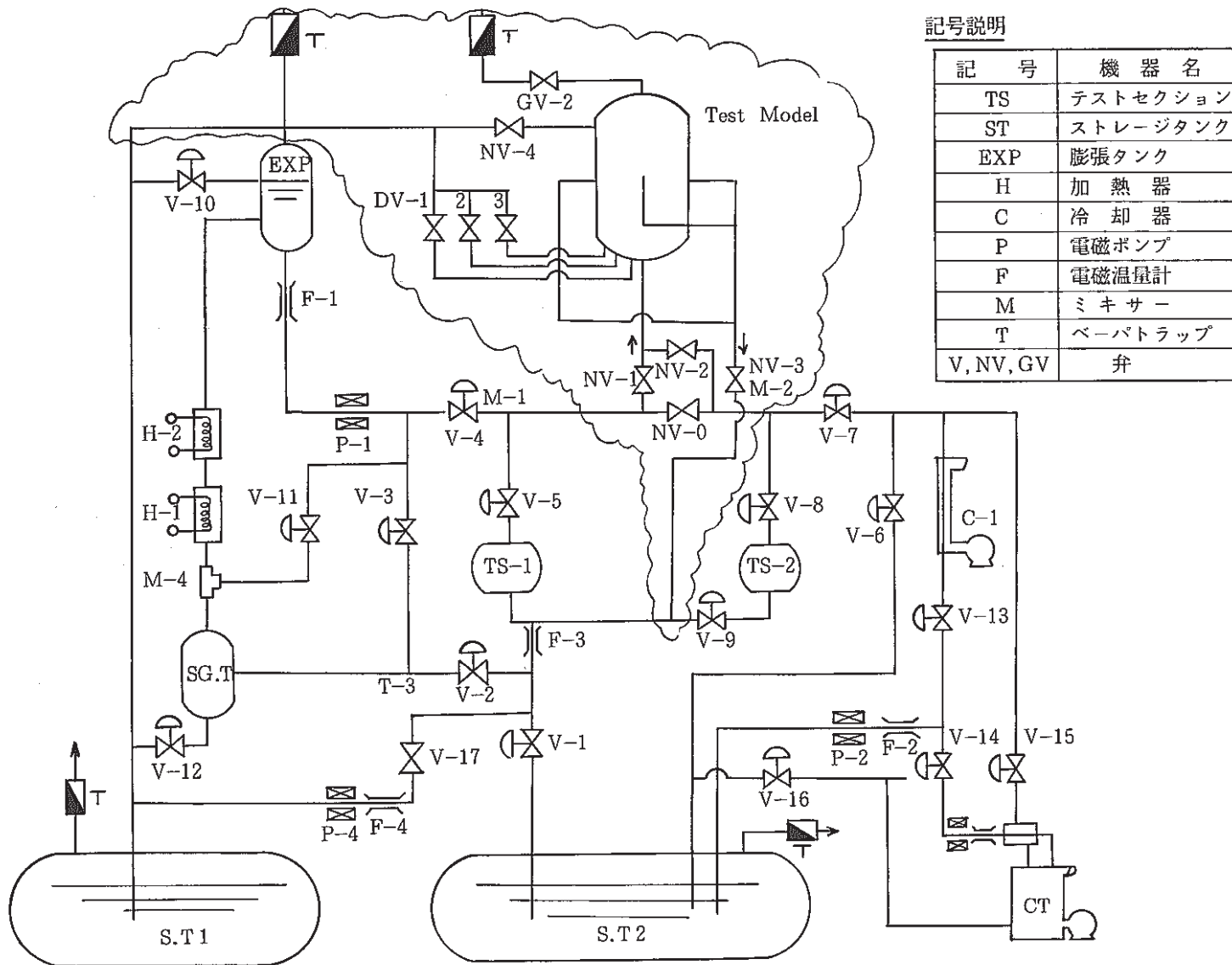
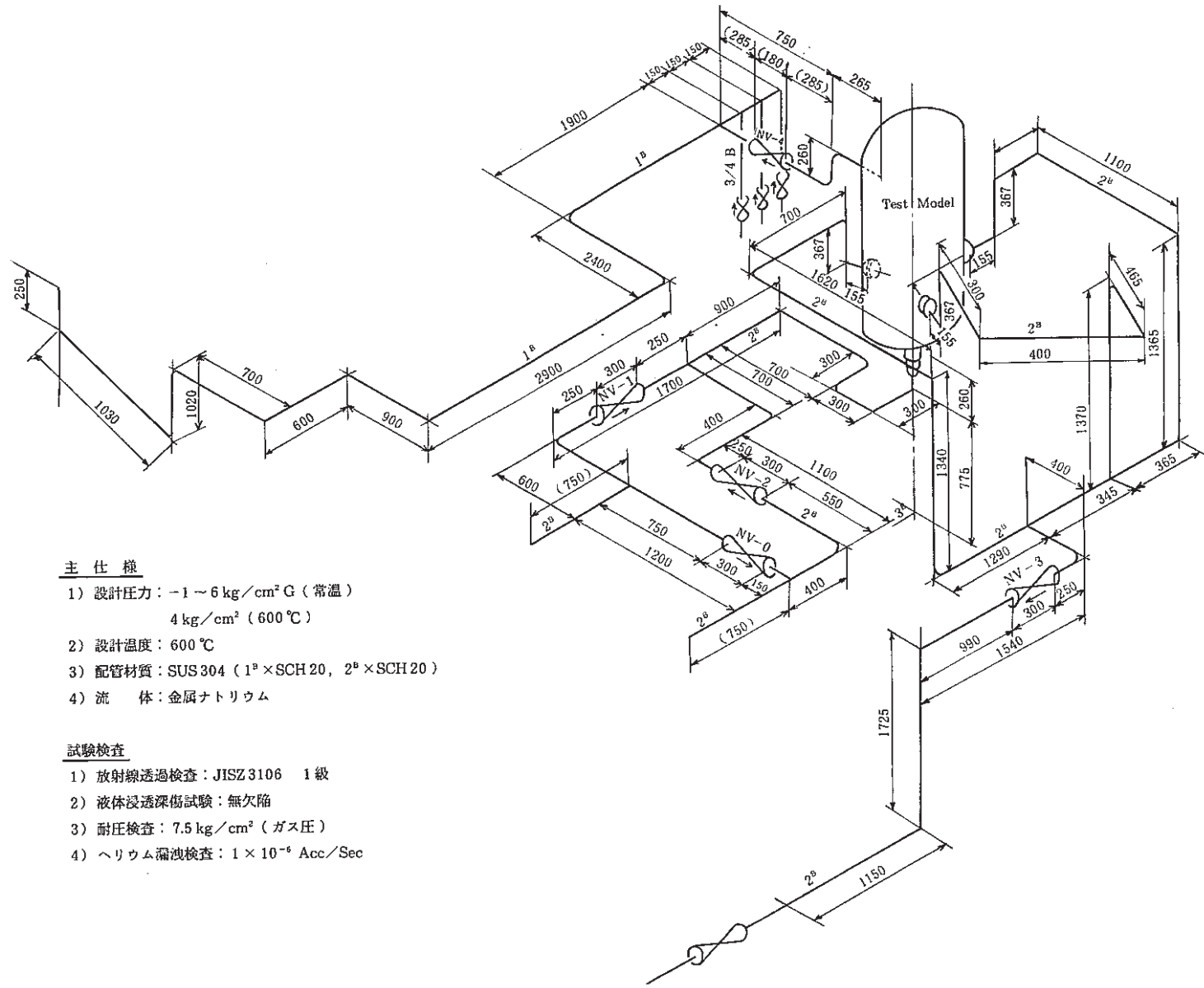


Fig. 2 - 11 Flow Diagram of Small Thermal Shock Test Loop





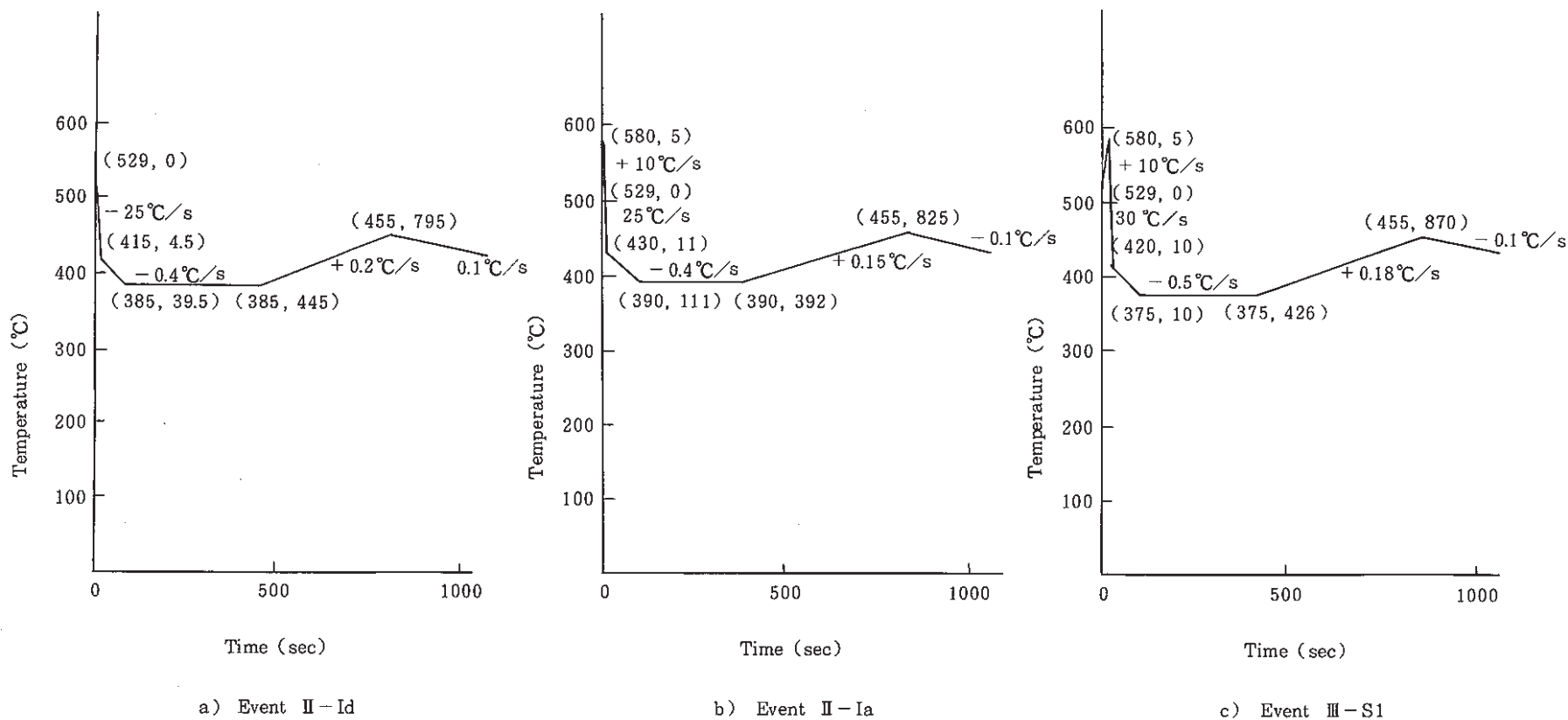
主仕様

- 1) 設計圧力：-1 ~ 6 kg/cm<sup>2</sup> G (常温)  
4 kg/cm<sup>2</sup> (600 °C)
- 2) 設計温度：600 °C
- 3) 配管材質：SUS 304 (1<sup>a</sup> × SCH 20, 2<sup>a</sup> × SCH 20)
- 4) 流 体：金属ナトリウム

試験検査

- 1) 放射線透過検査：JISZ 3106 1級
- 2) 液体浸透深傷試験：無欠陥
- 3) 耐圧検査：7.5 kg/cm<sup>2</sup> (ガス圧)
- 4) ヘリウム漏洩検査：1 × 10<sup>-6</sup> Acc/Sec

Fig. 2-12 Bind Eye View of test model and modified part of sodium loop



( )内の数字は(温度°C, 時間sec)を表わす。

Fig.3 - 1 "Monju" Thermal Transient at Core Exit

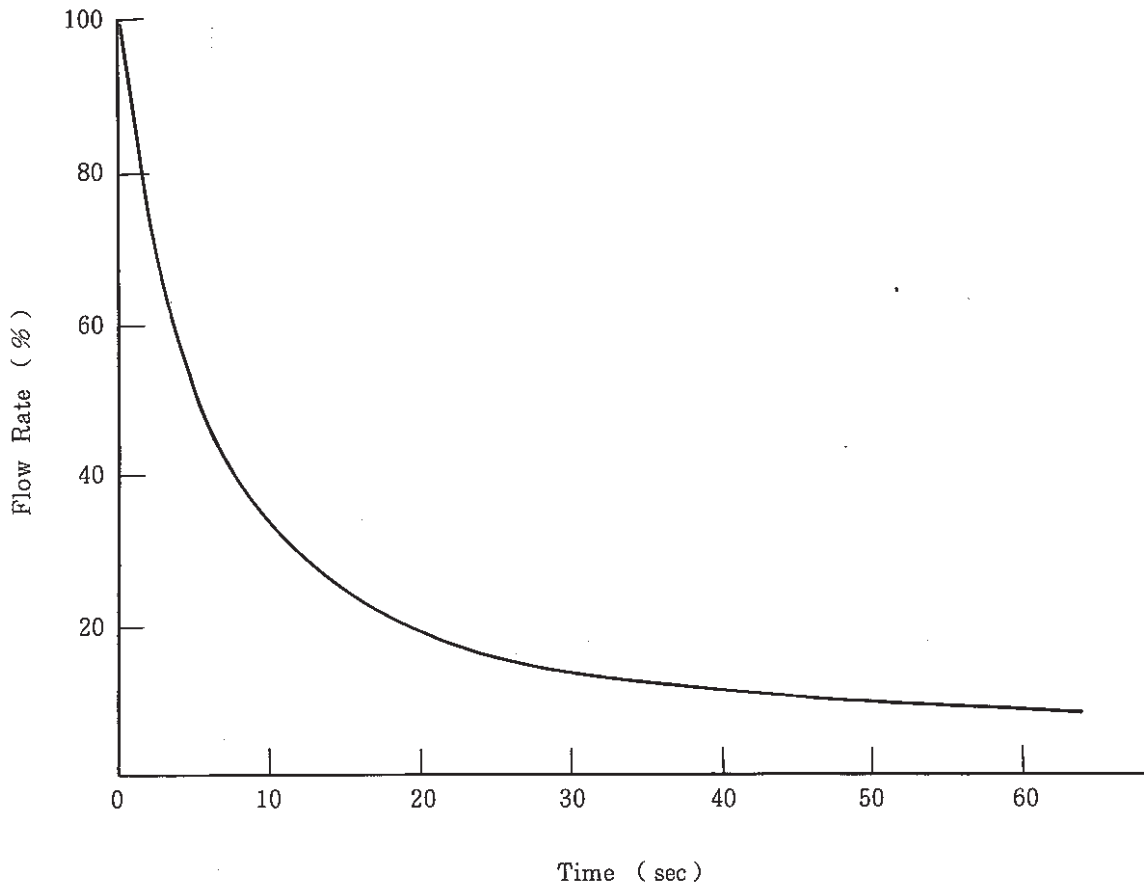


Fig.3.2 Flow Coastdown Curve in "Monju"

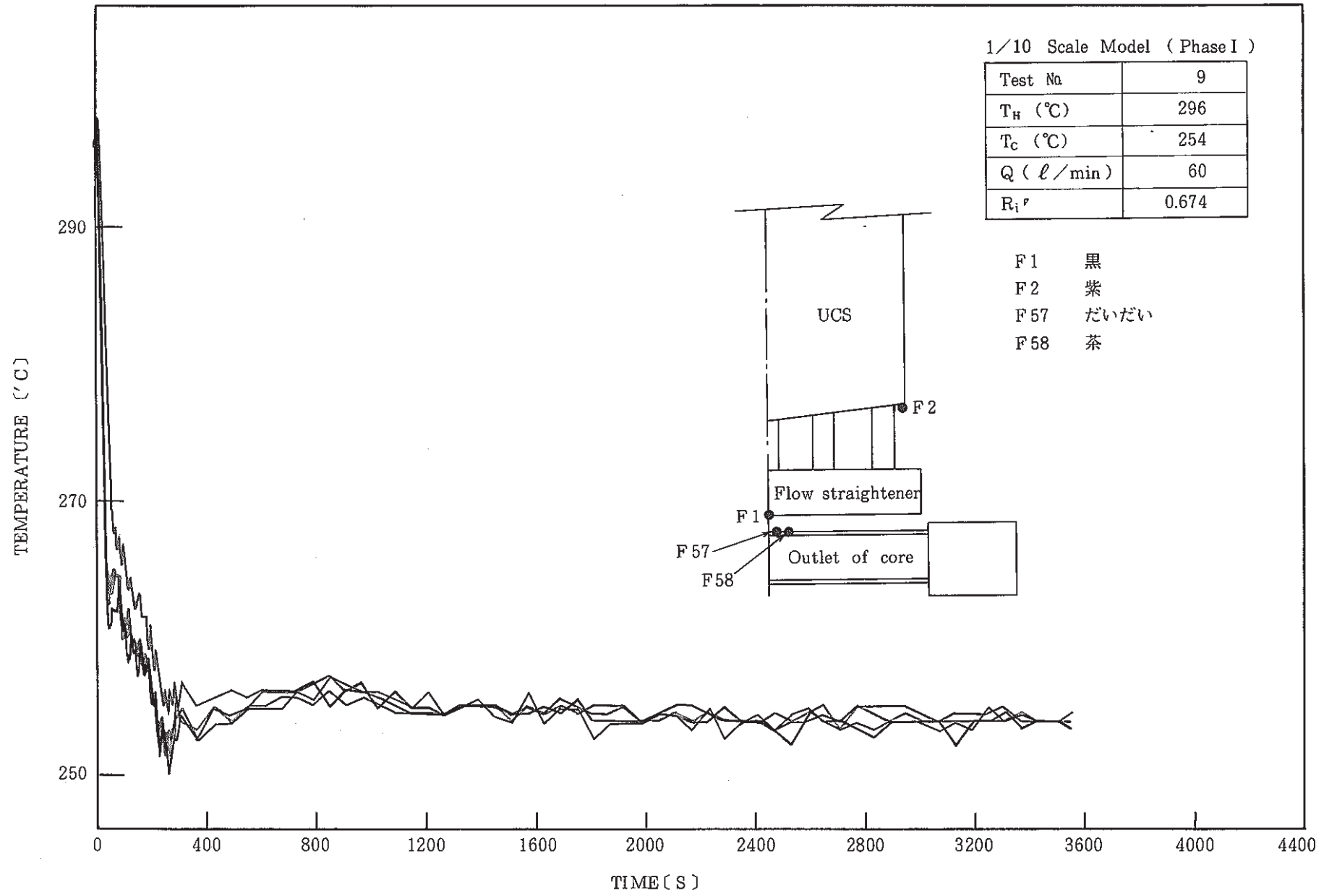


Fig.5-1 Transient temperature at outlet of core, flow straightener and bottom of UCS (Test No 9)

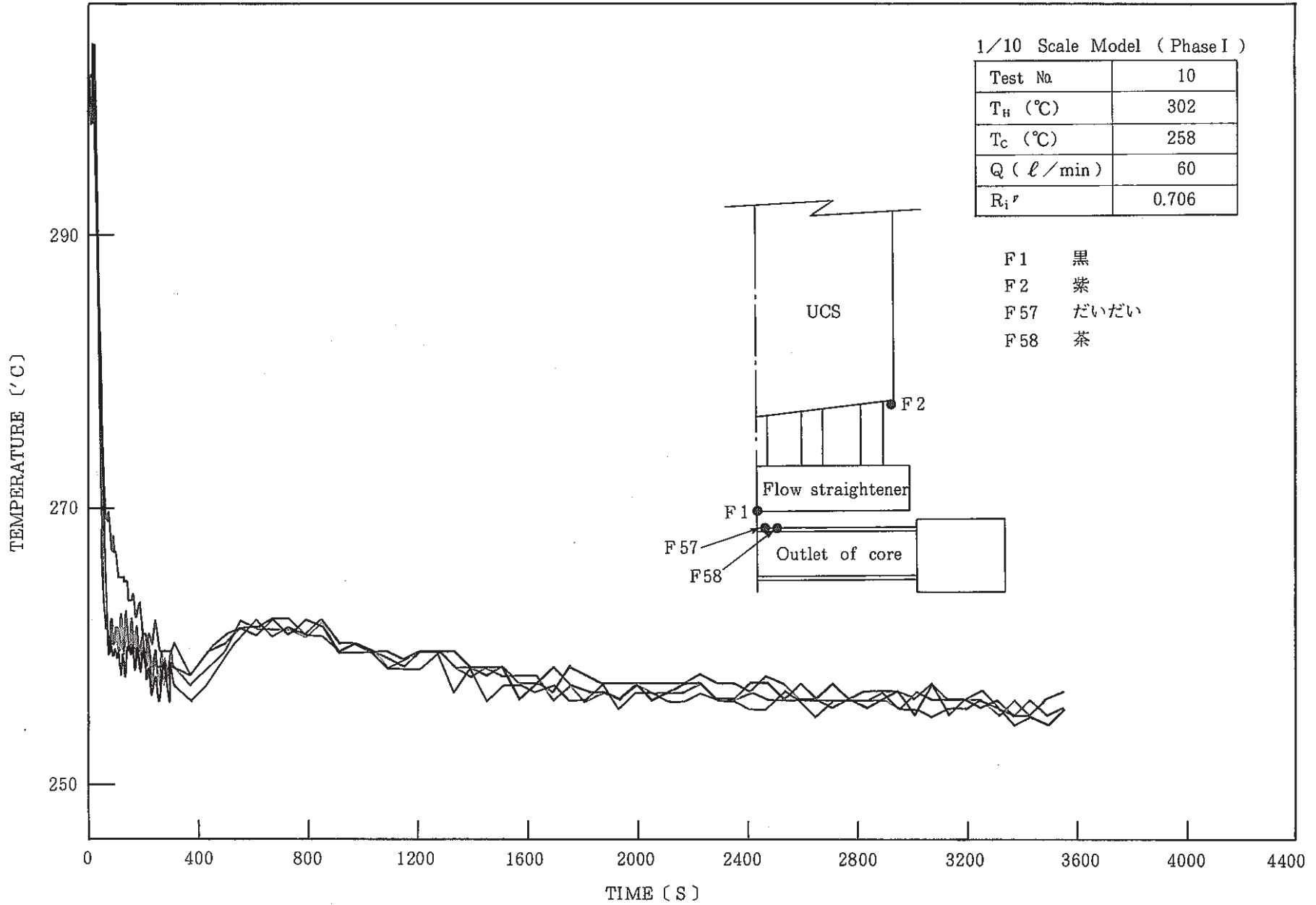


Fig. 5 - 2 Transient temperature at outlet of core, flow straightener and bottom of UCS (Test No 10)

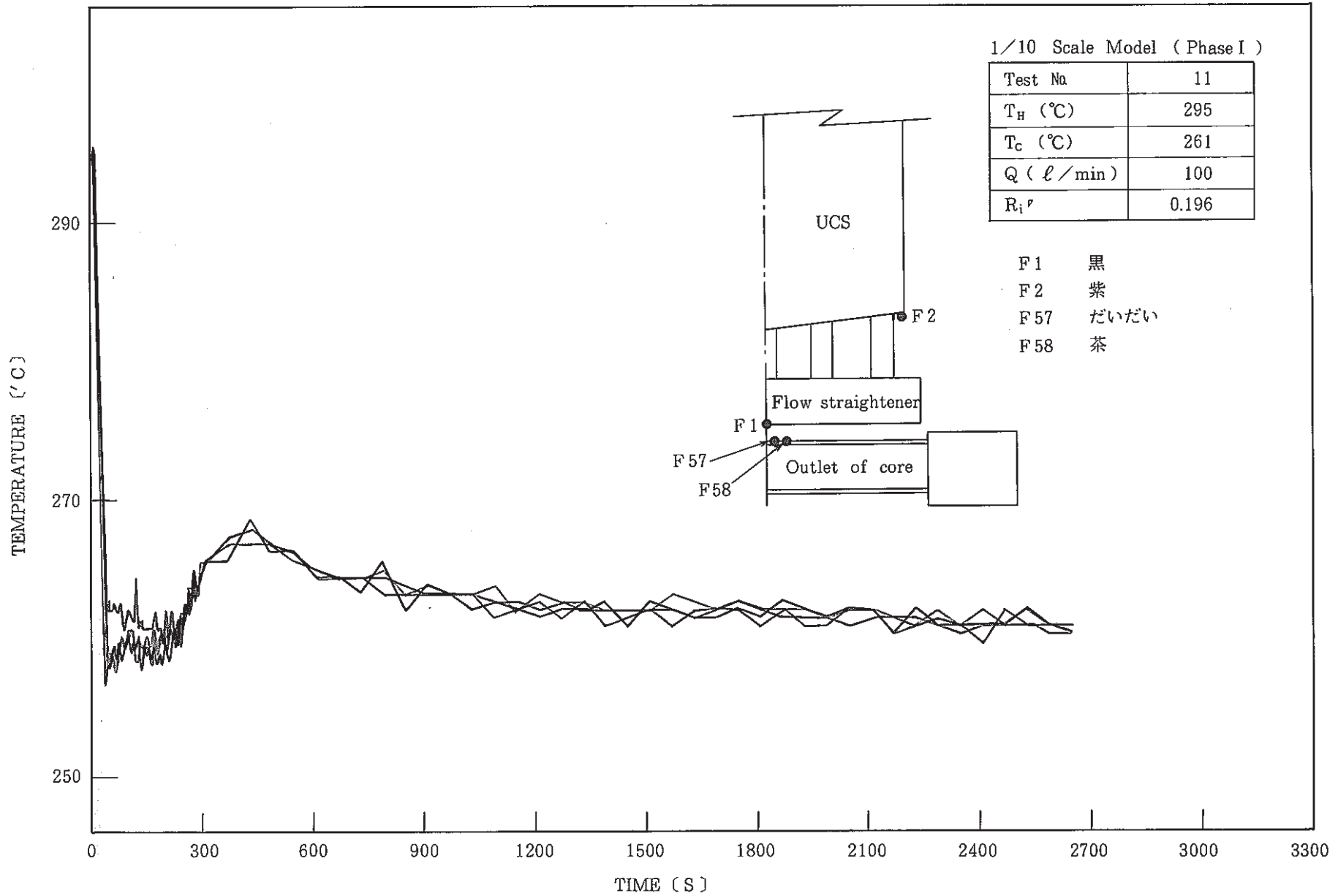


Fig. 5-3 Transient temperature at outlet of core, flow straightener and bottom of UCS (Test No.11)

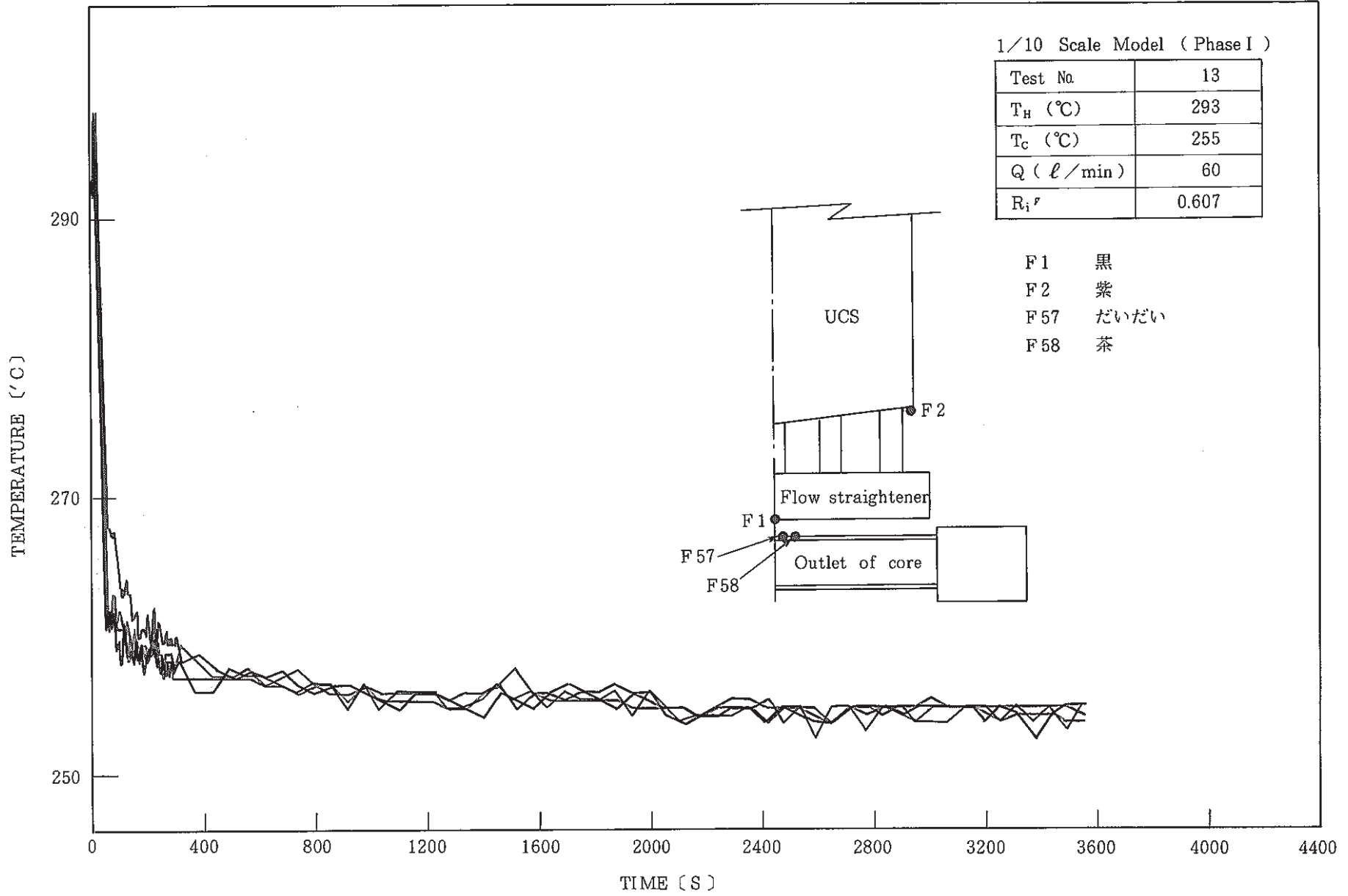


Fig. 5 - 4 Transient temperature at outlet of core, flow straightener and bottom of UCS (Test No.13)

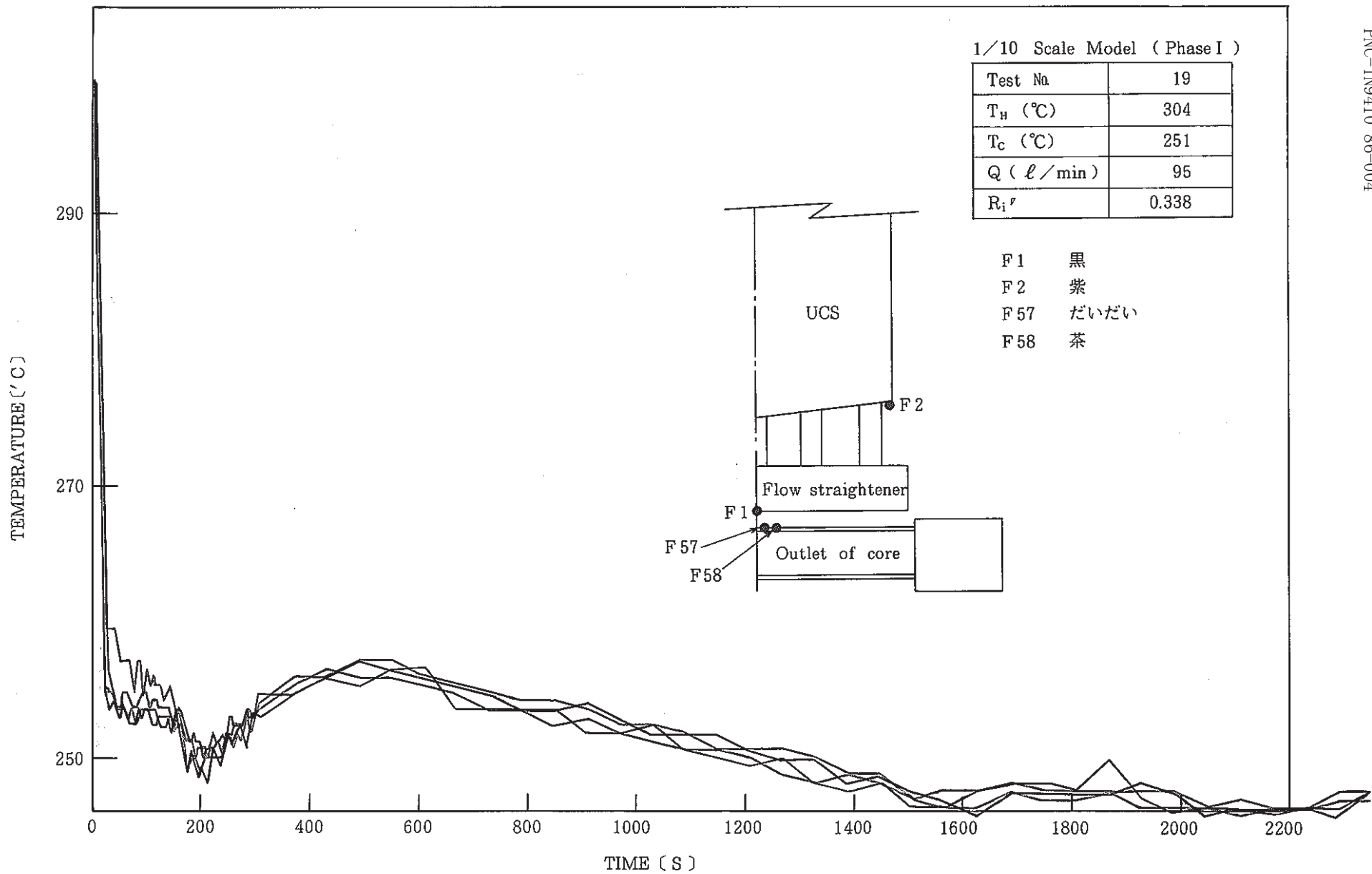


Fig. 5 - 5 Transient temperature at outlet of core, flow straightener and bottom of UCS (Test No.19)



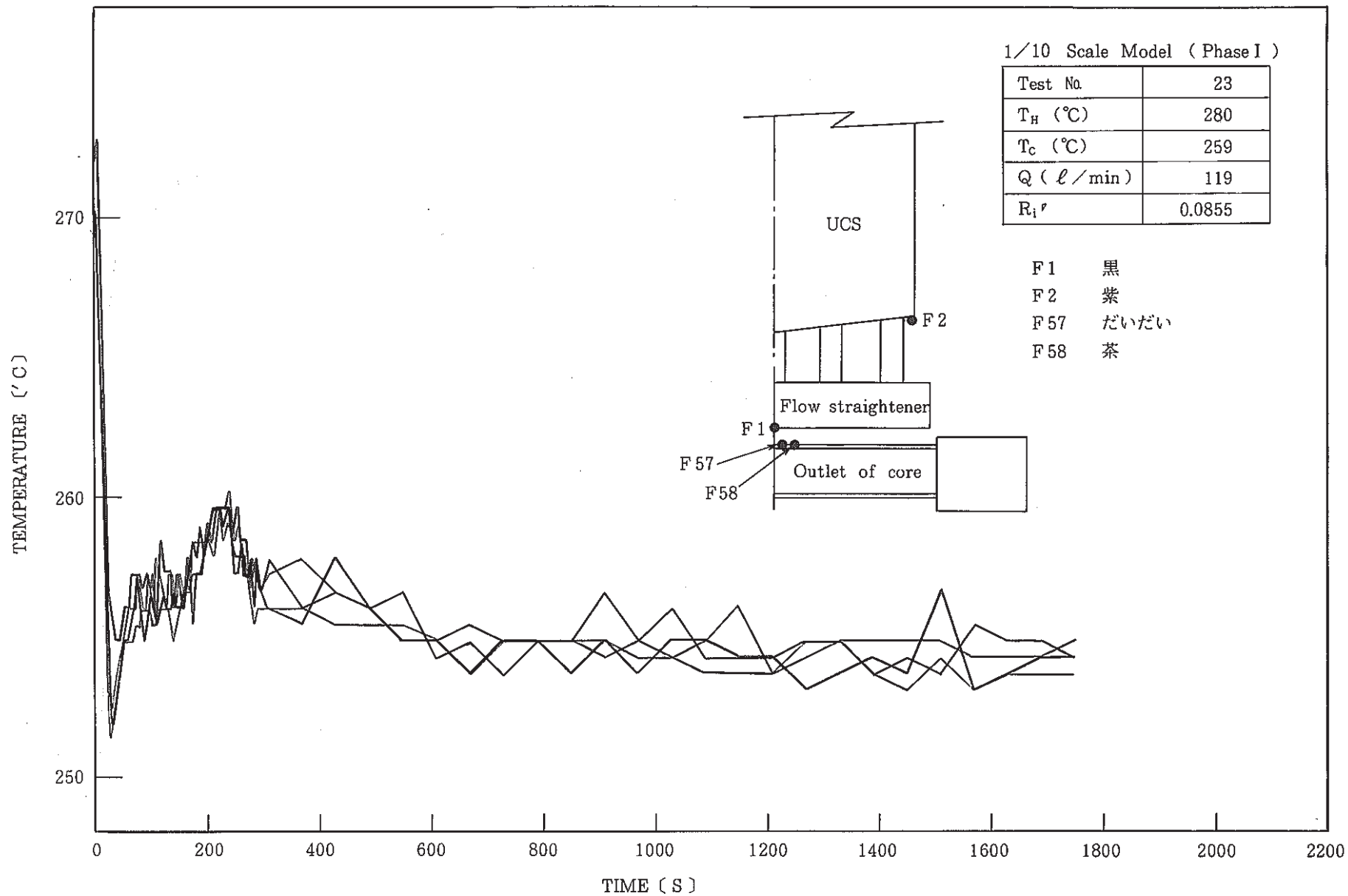


Fig.5 - 6 Transient temperature at outlet of core, flow straightener and bottom of UCS (Test No.23)

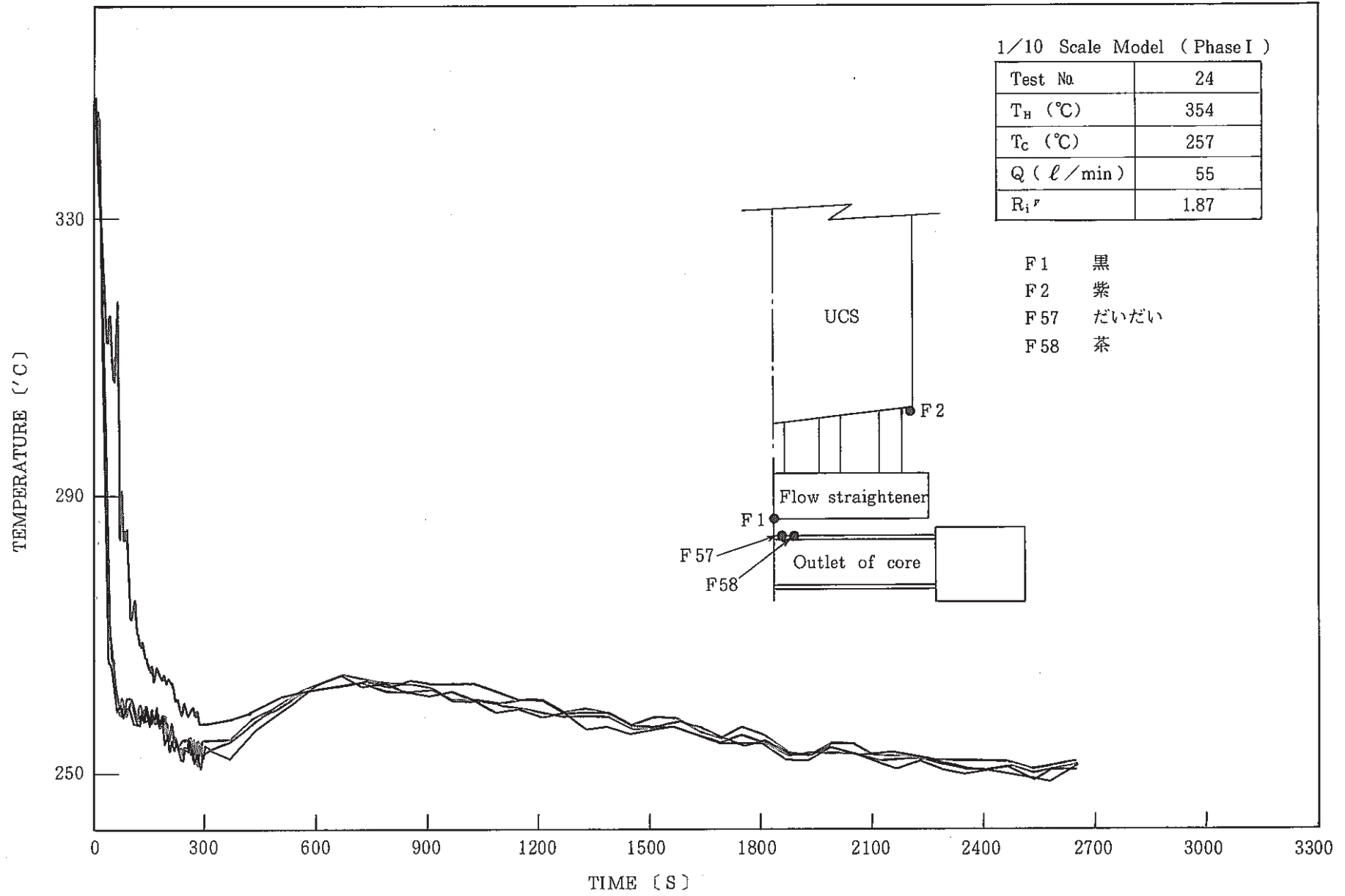


Fig. 5 - 7 Transient temperature at outlet of core, flow straightener and bottom of UCS (Test No. 24)

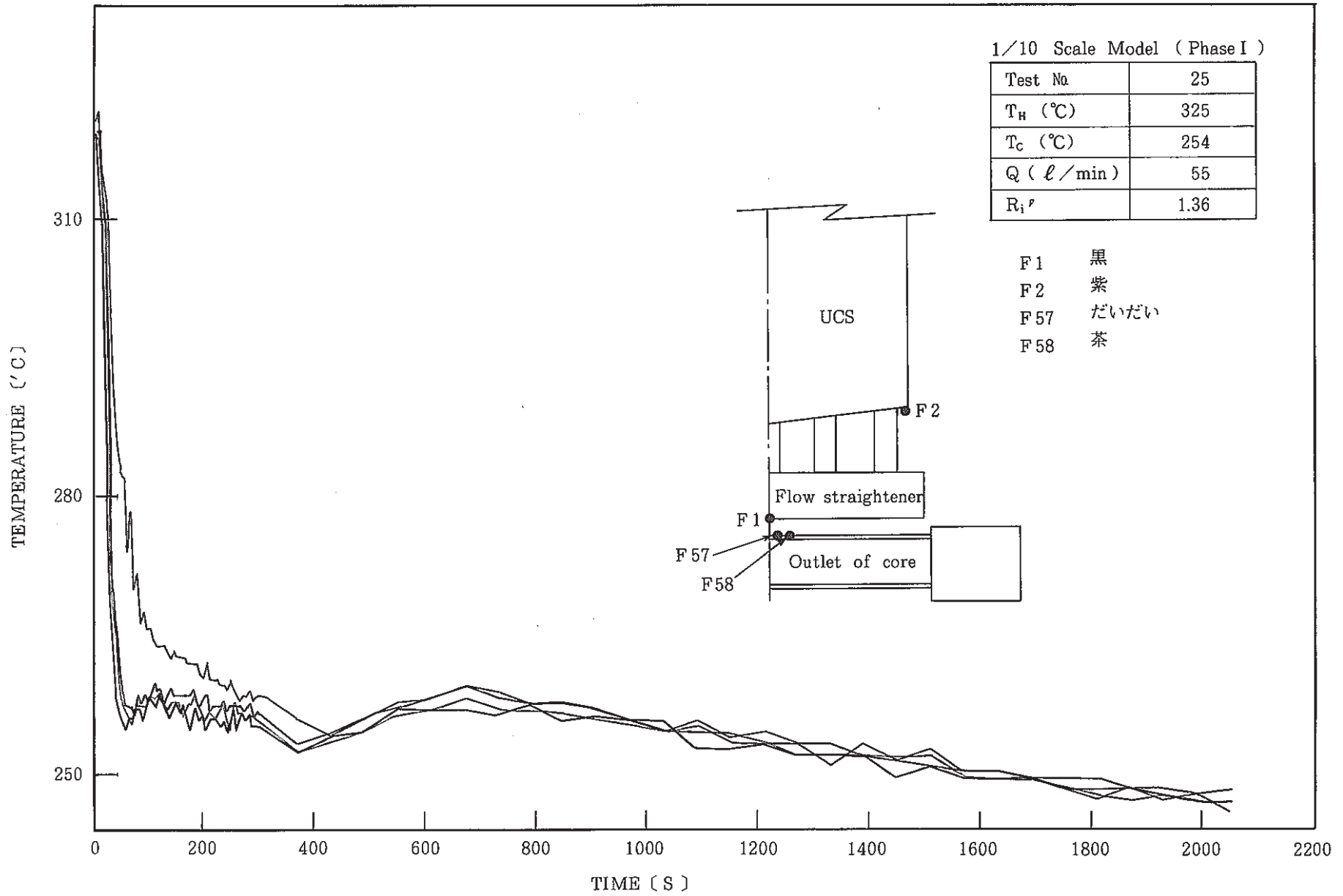


Fig. 5-8 Transient temperature at outlet of core, flow straightener and bottom of UCS (Test No.25)

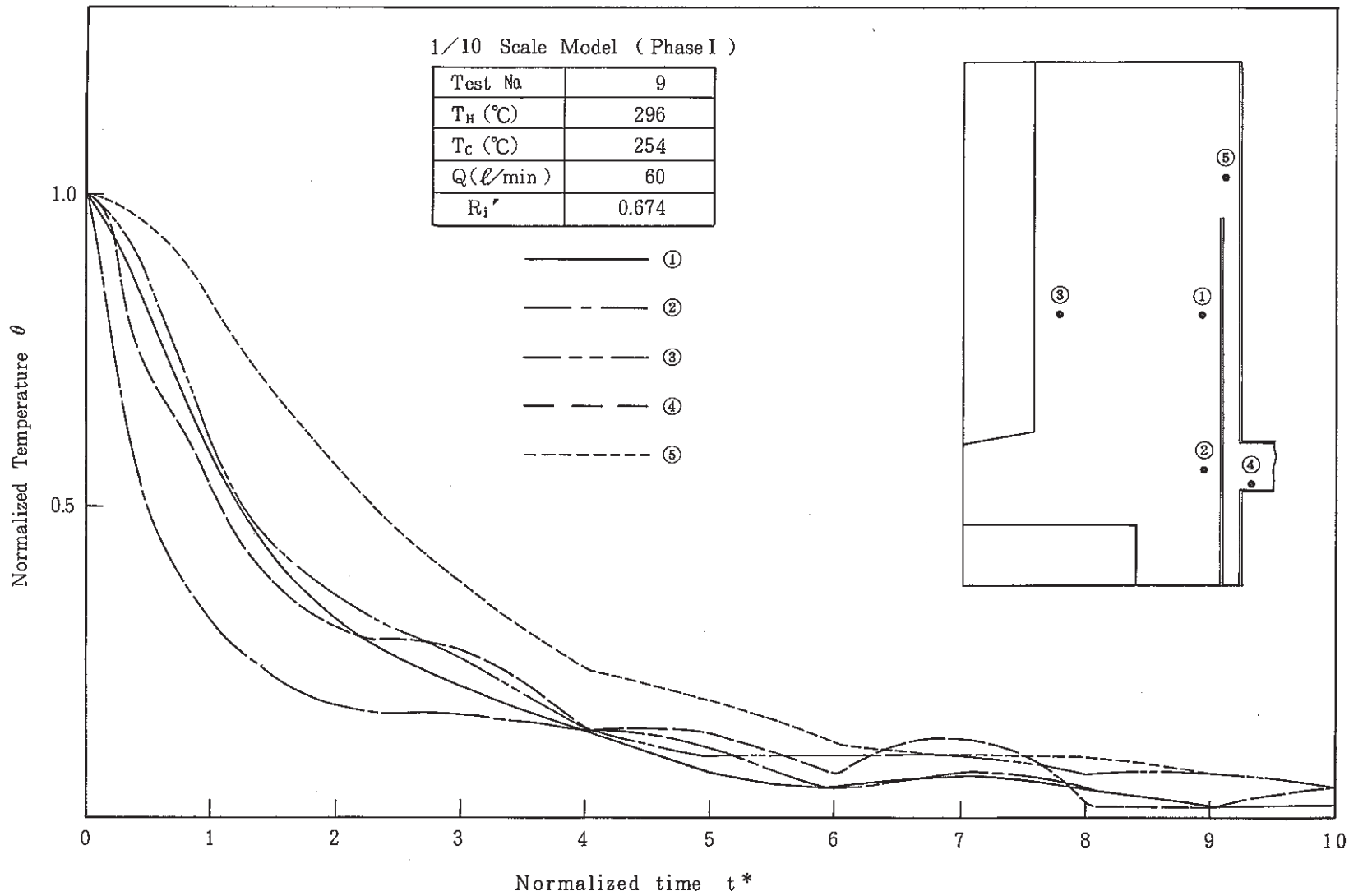


Fig. 5 - 9 Transient Temperature in Upper Plenum, Annulus and Outlet Nozzle ( Test No.9 )

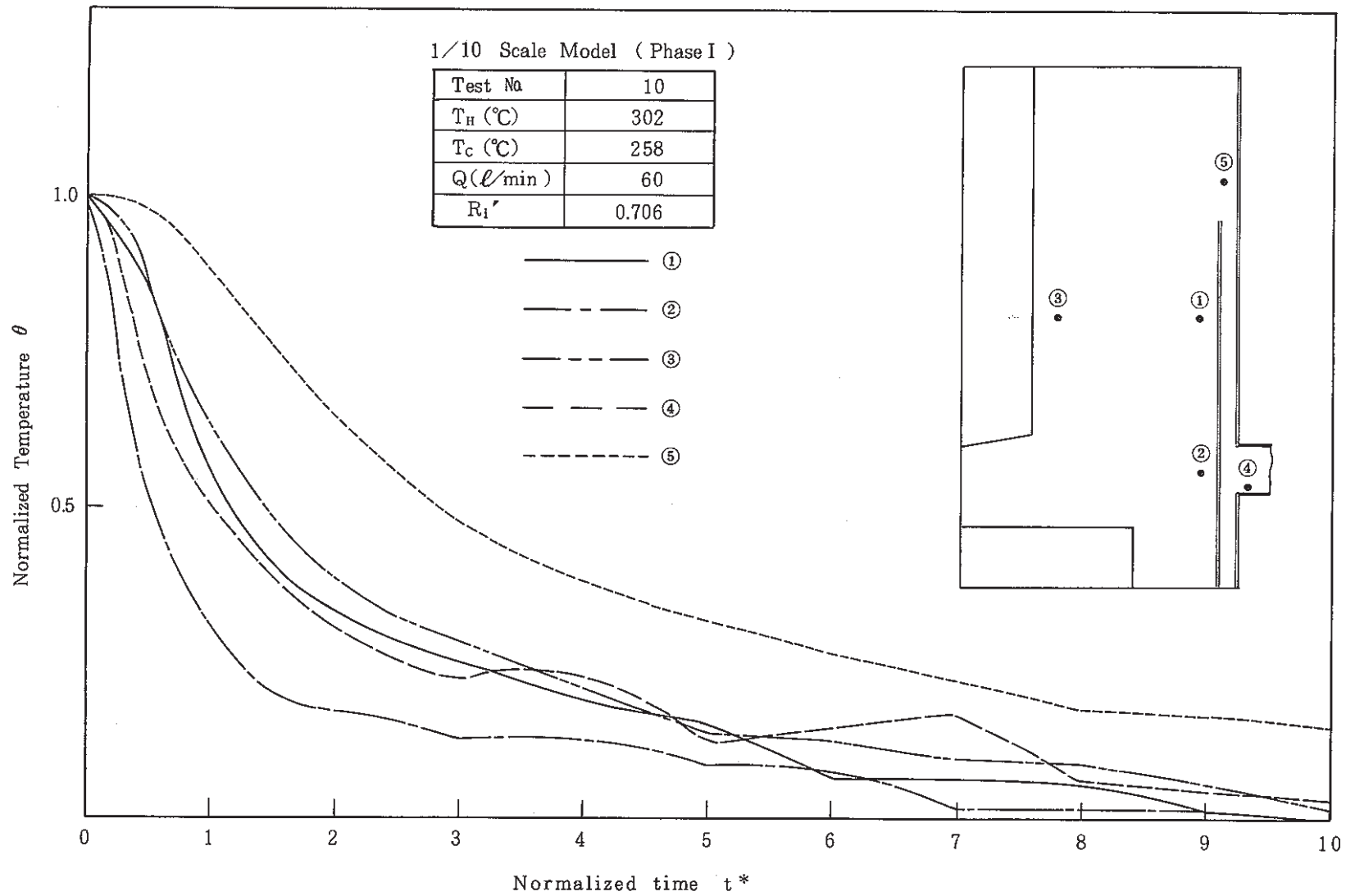


Fig.5 - 10 Transient Temperature in Upper Plenum, Annulus and Outlet Nozzle ( Test No 10 )

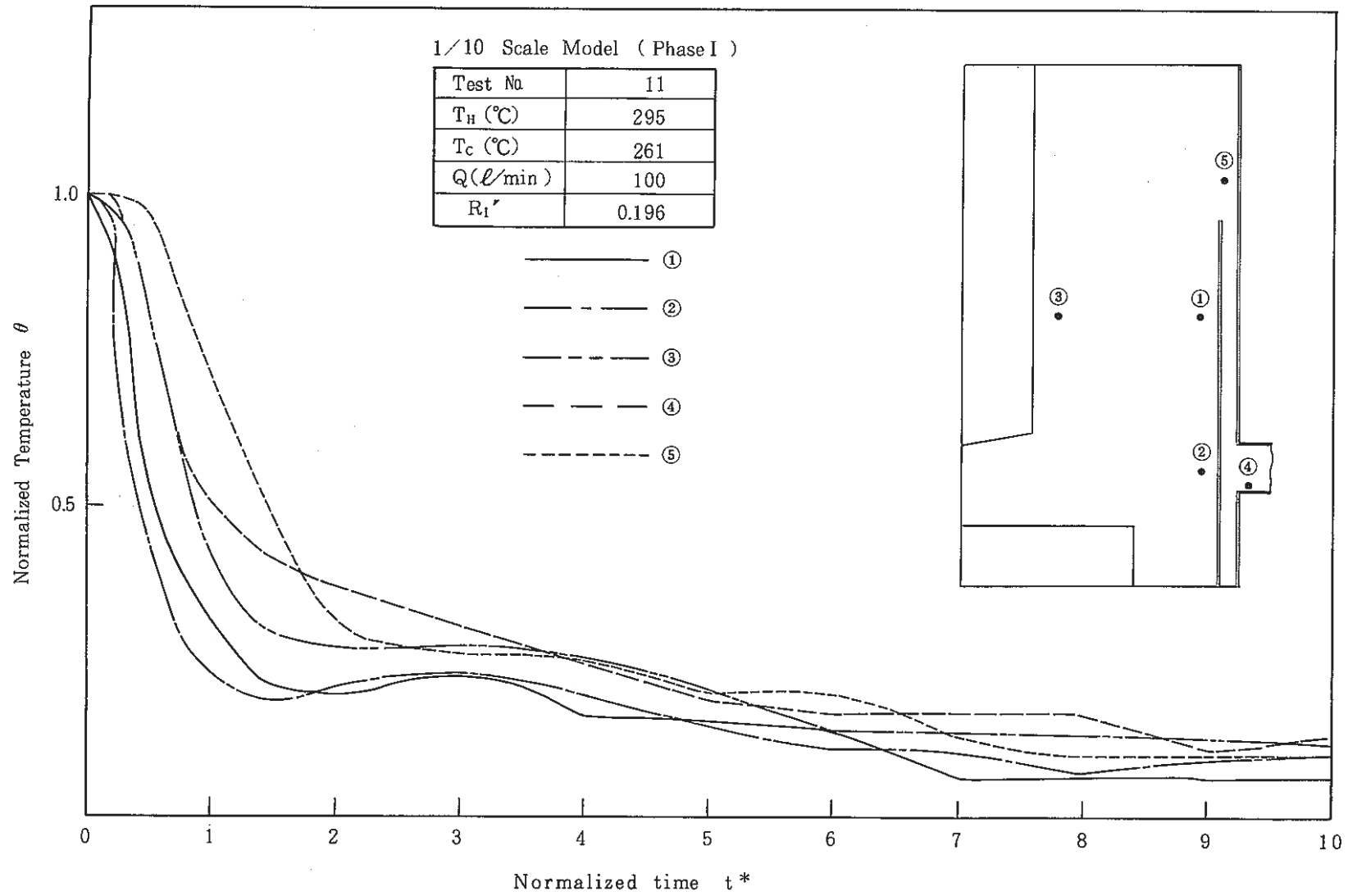


Fig.5 - 11 Transient Temperature in Upper Plenum, Annulus and Outlet Nozzle ( Test No.11 )

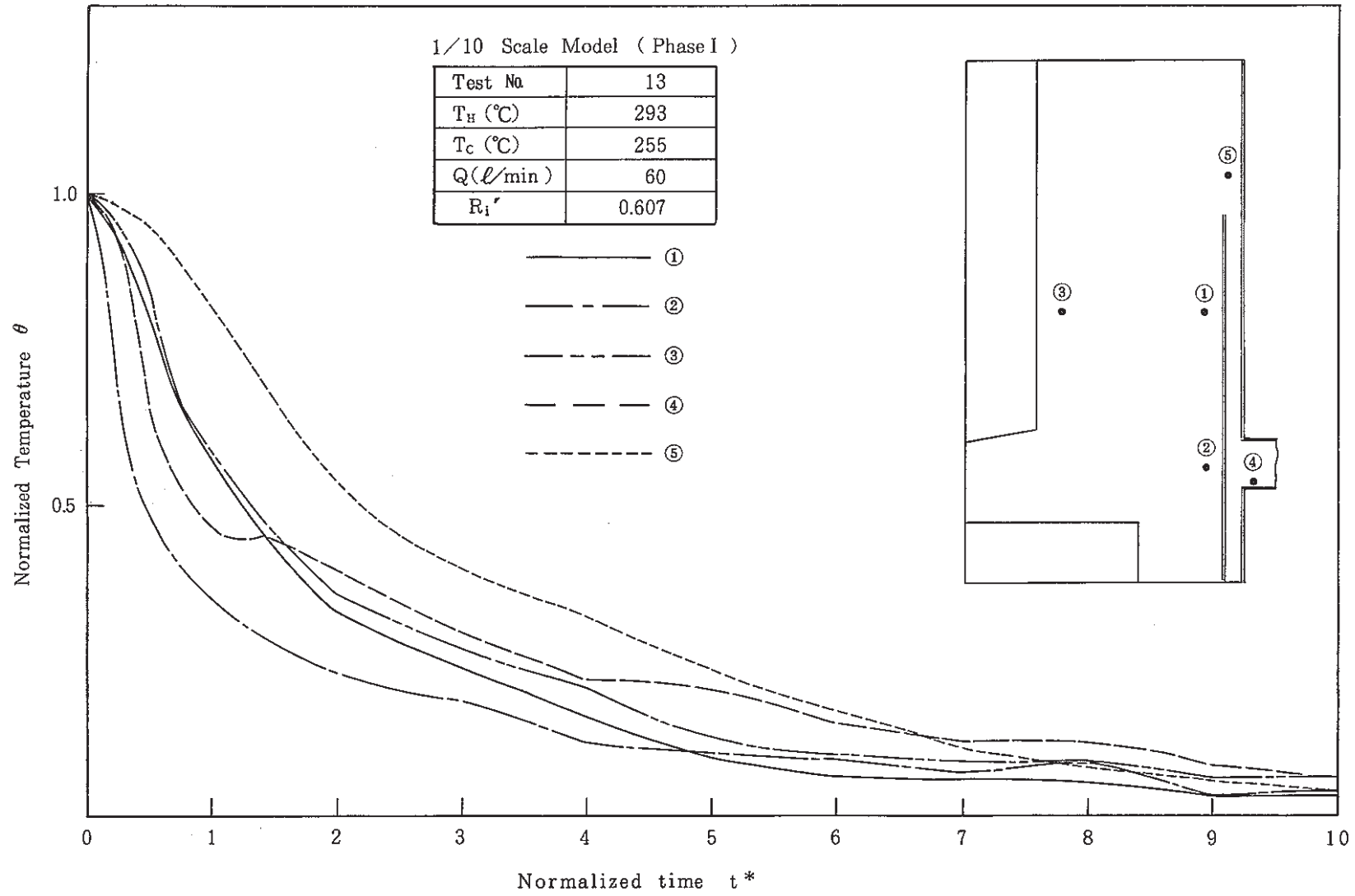


Fig.5 - 12 Transient Temperature in Upper Plenum, Annulus and Outlet Nozzle ( Test No.13 )

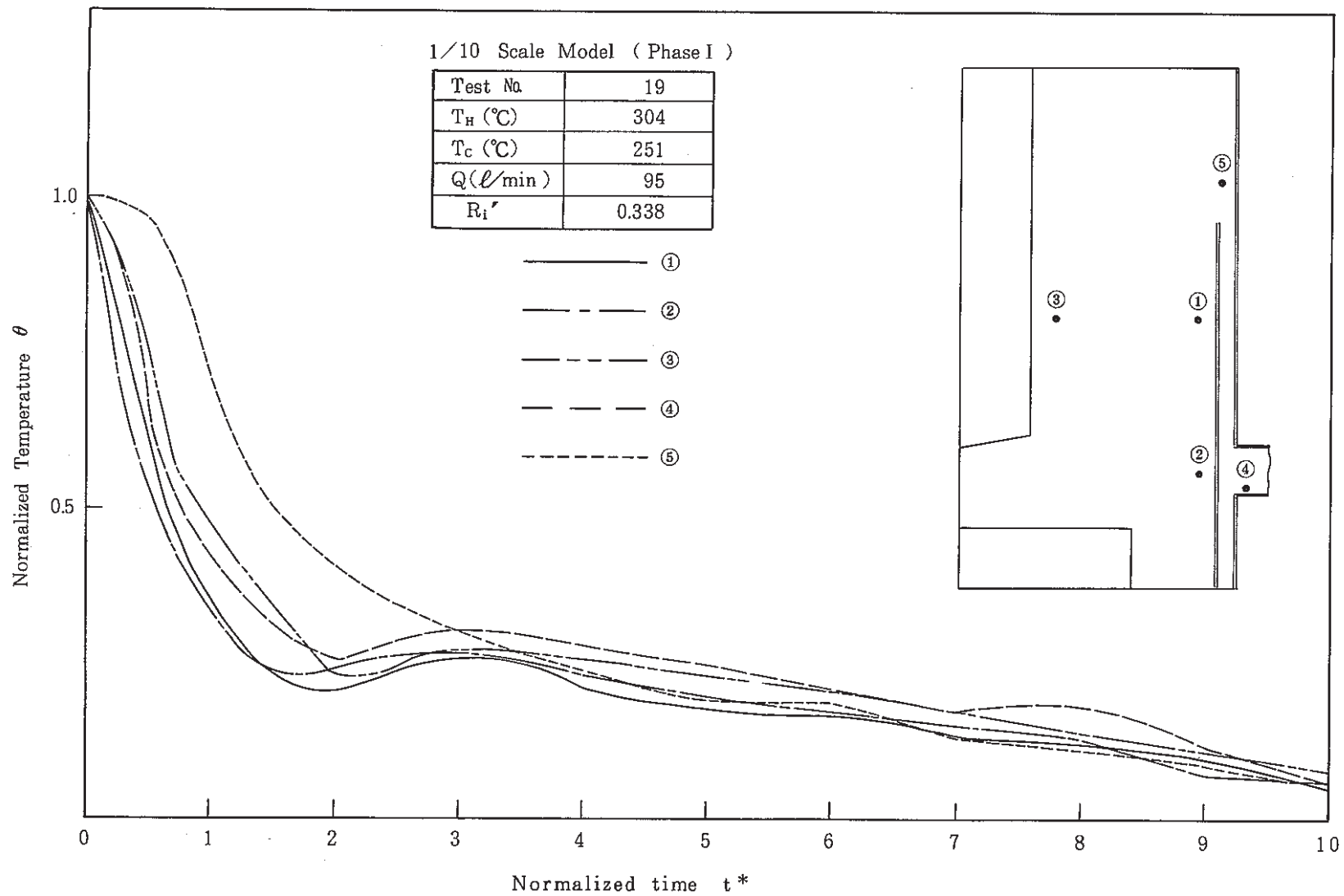


Fig.5 - 13 Transient Temperature in Upper Plenum, Annulus and Outlet Nozzle ( Test No.19 )



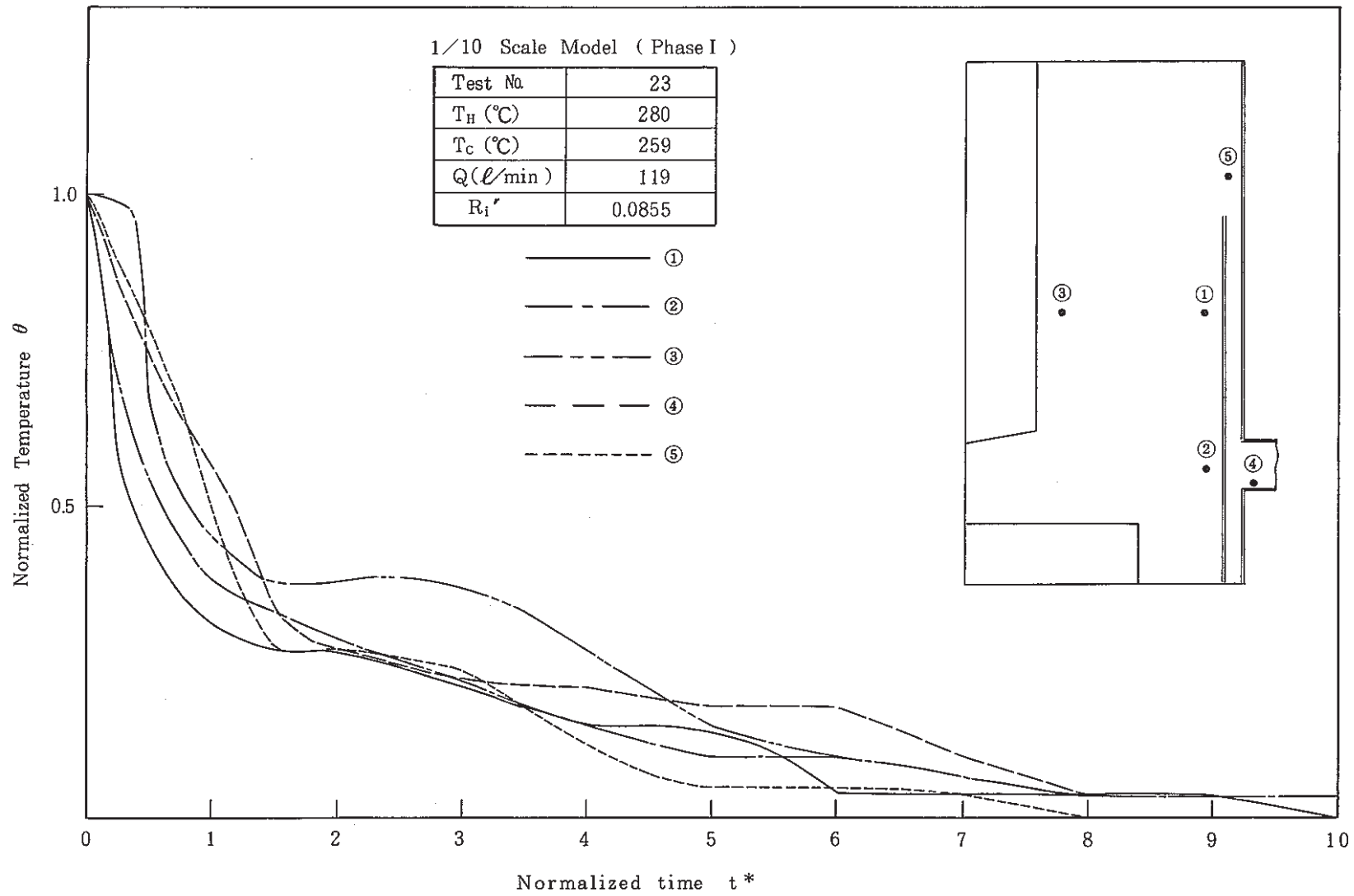


Fig.5 - 14 Transient Temperature in Upper Plenum, Annulus and Outlet Nozzle ( Test No.23 )

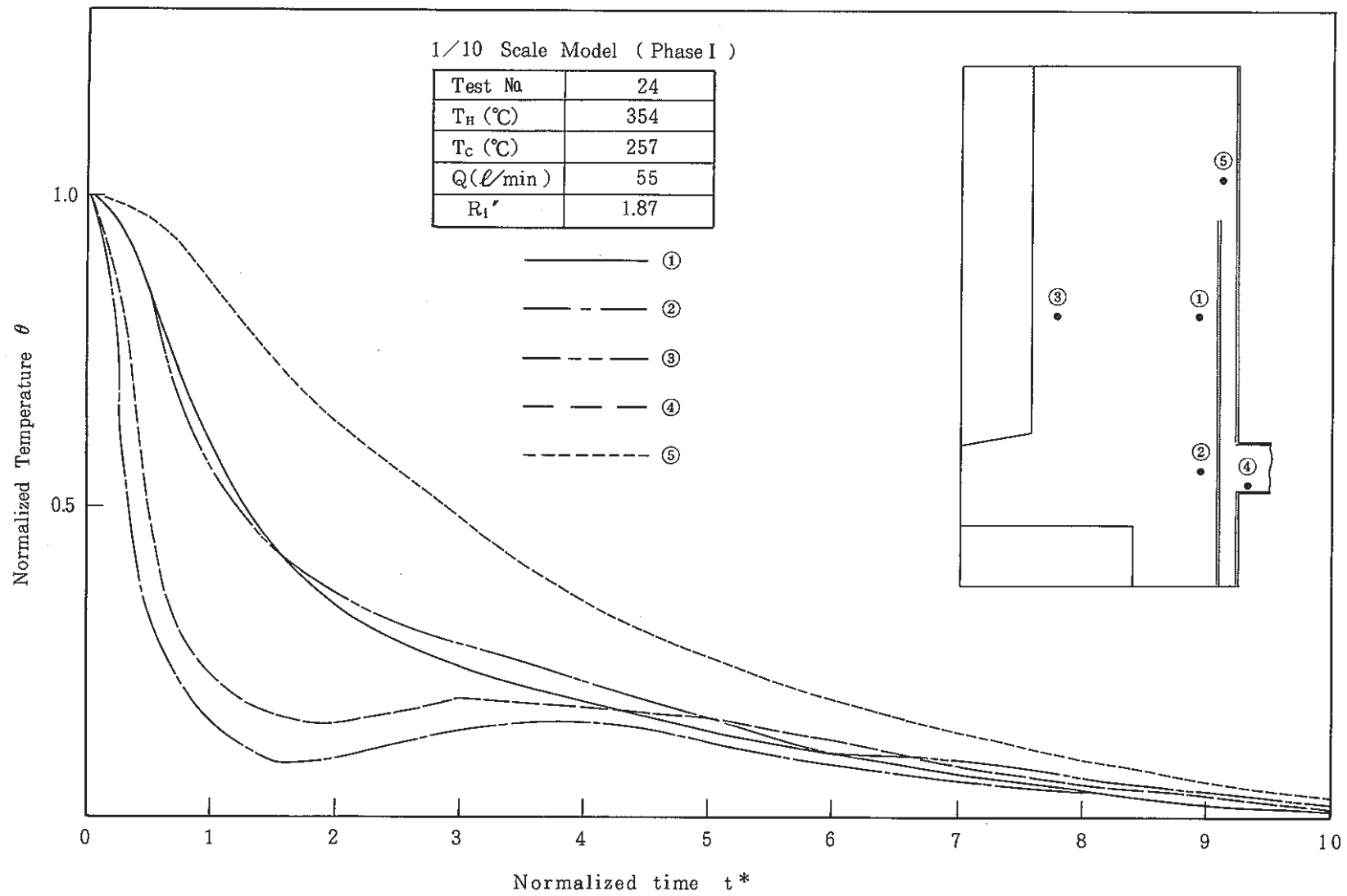


Fig.5 - 15 Transient Temperature in Upper Plenum, Annulus and Outlet Nozzle ( Test No 24 )

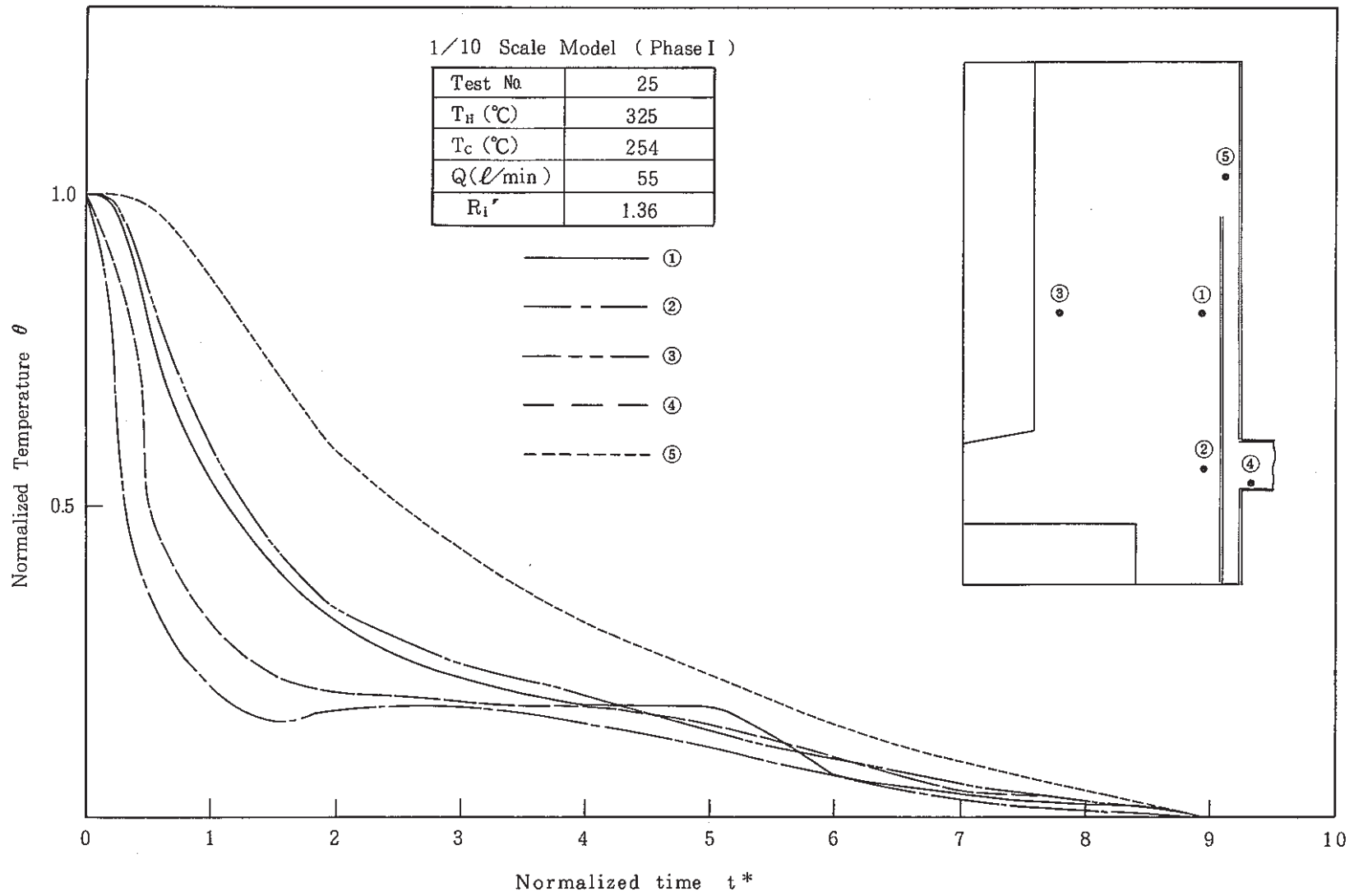


Fig.5 - 16 Transient Temperature in Upper Plenum, Annulus and Outlet Nozzle ( Test No.25 )

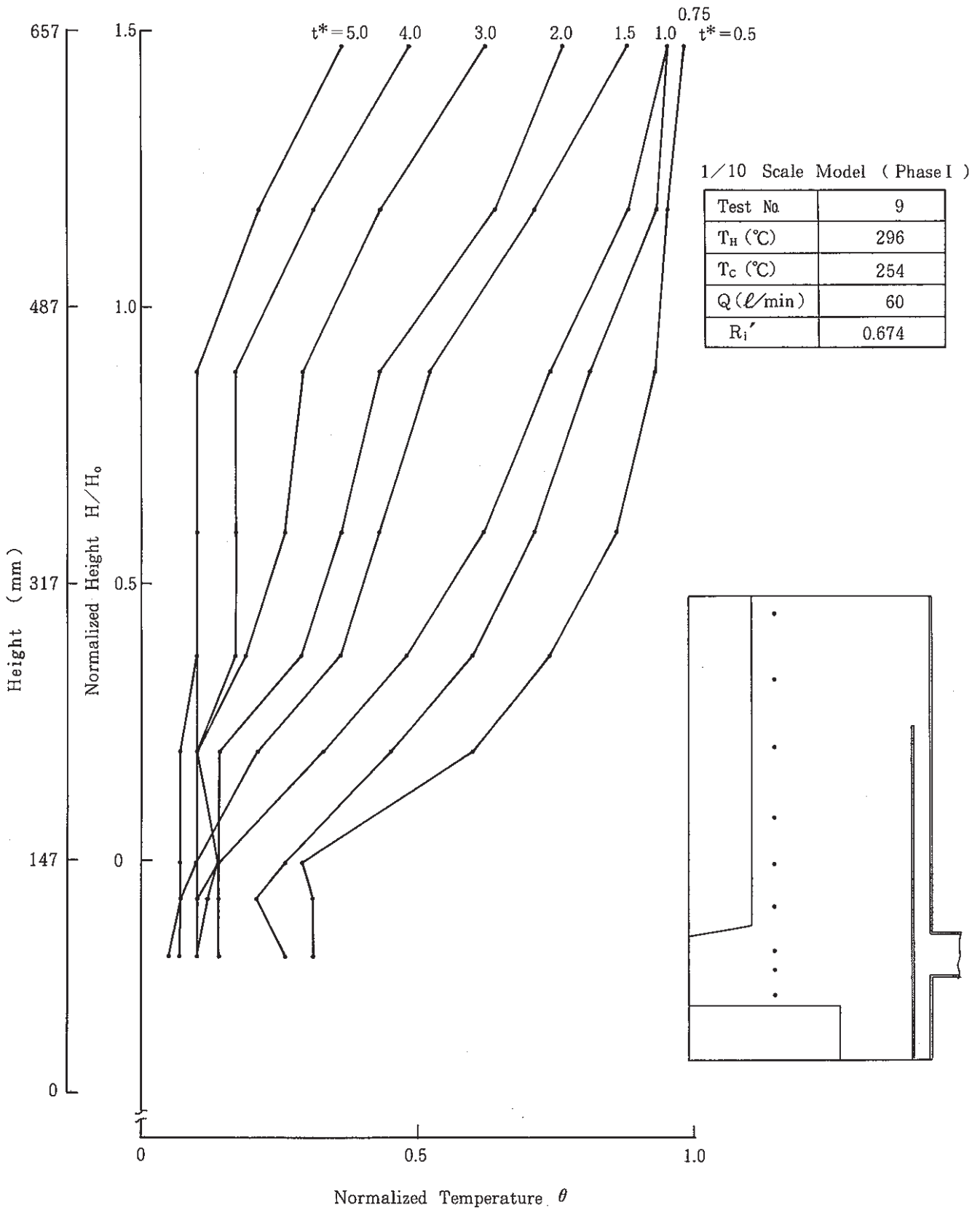


Fig.5 - 17 Axial Temperature Distribution ( Test No.9 )

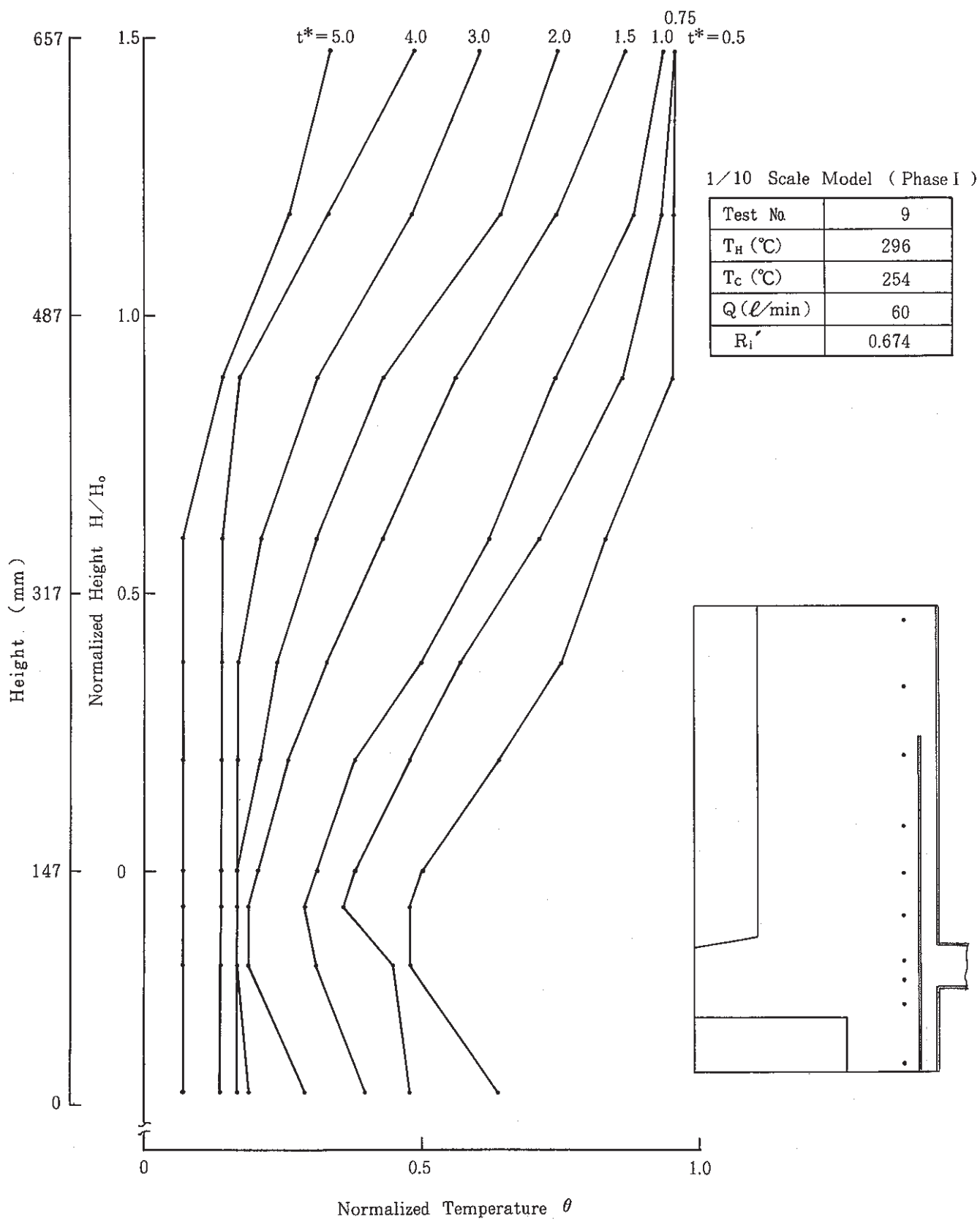


Fig.5 - 18 Axial Temperature Distribution ( Test No.9 )

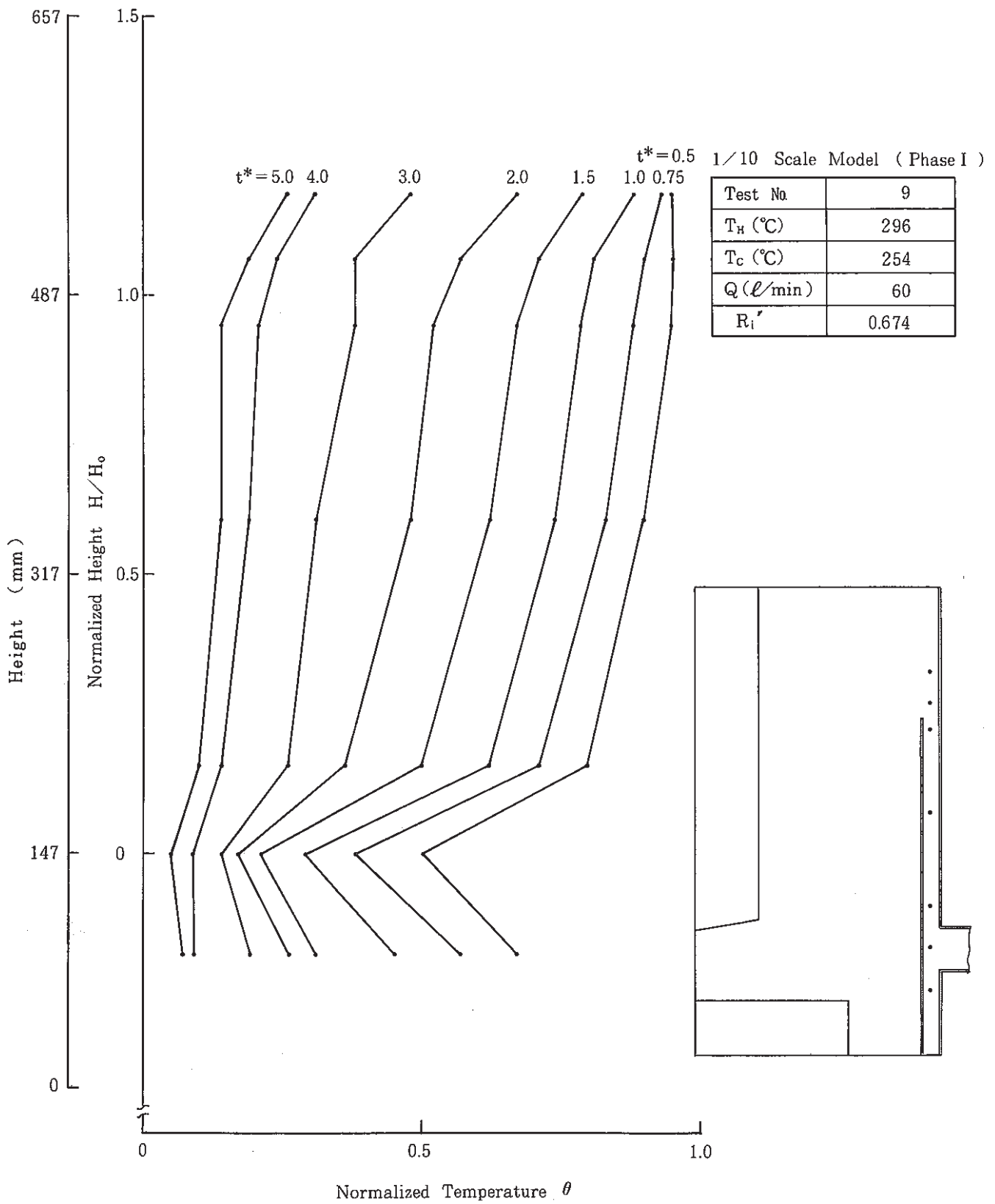


Fig.5 - 19 Axial Temperature Distribution (Test No.9)

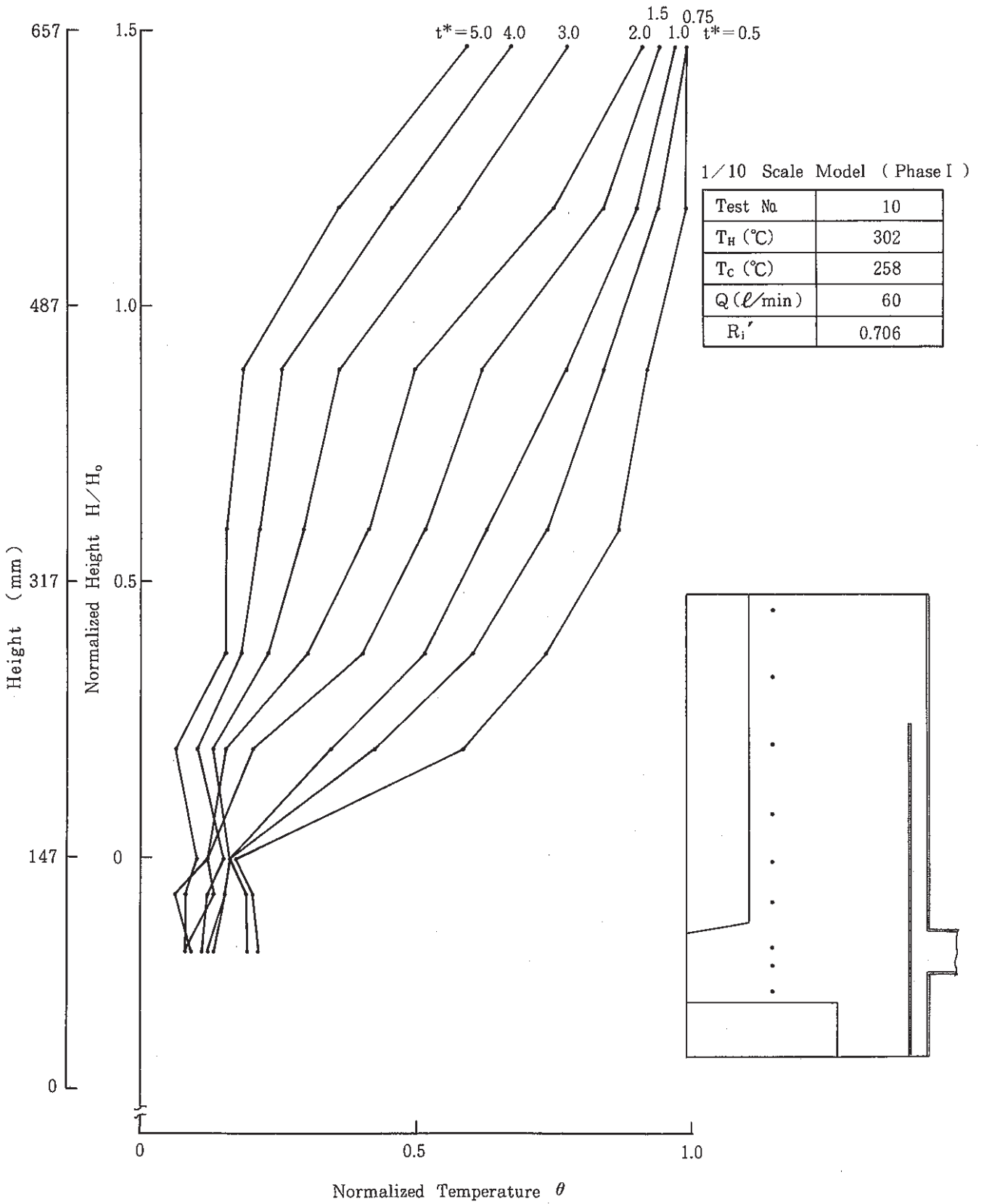


Fig.5 - 20 Axial Temperature Distribution ( Test No.10 )

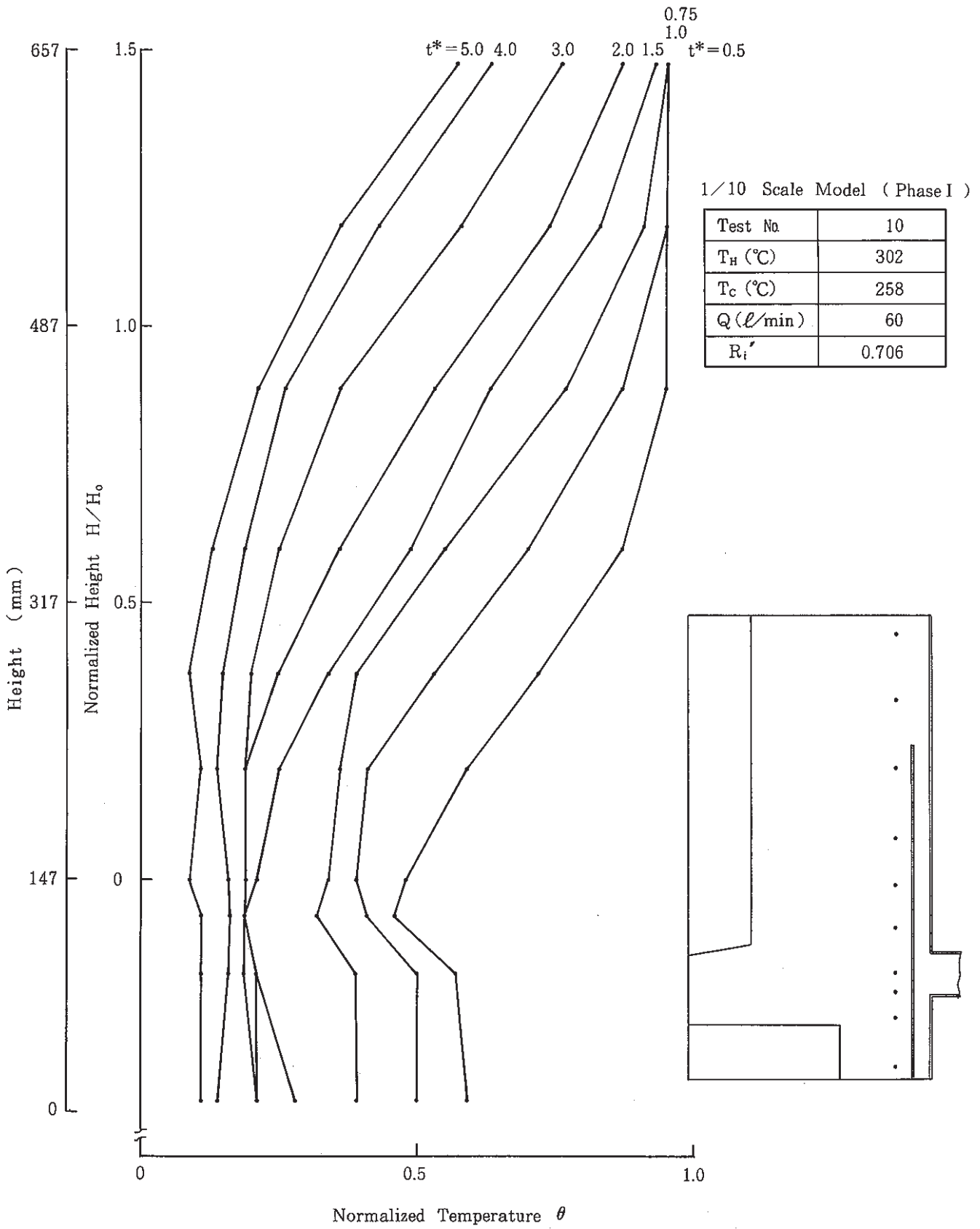


Fig.5 - 21 Axial Temperature Distribution ( Test No.10 )



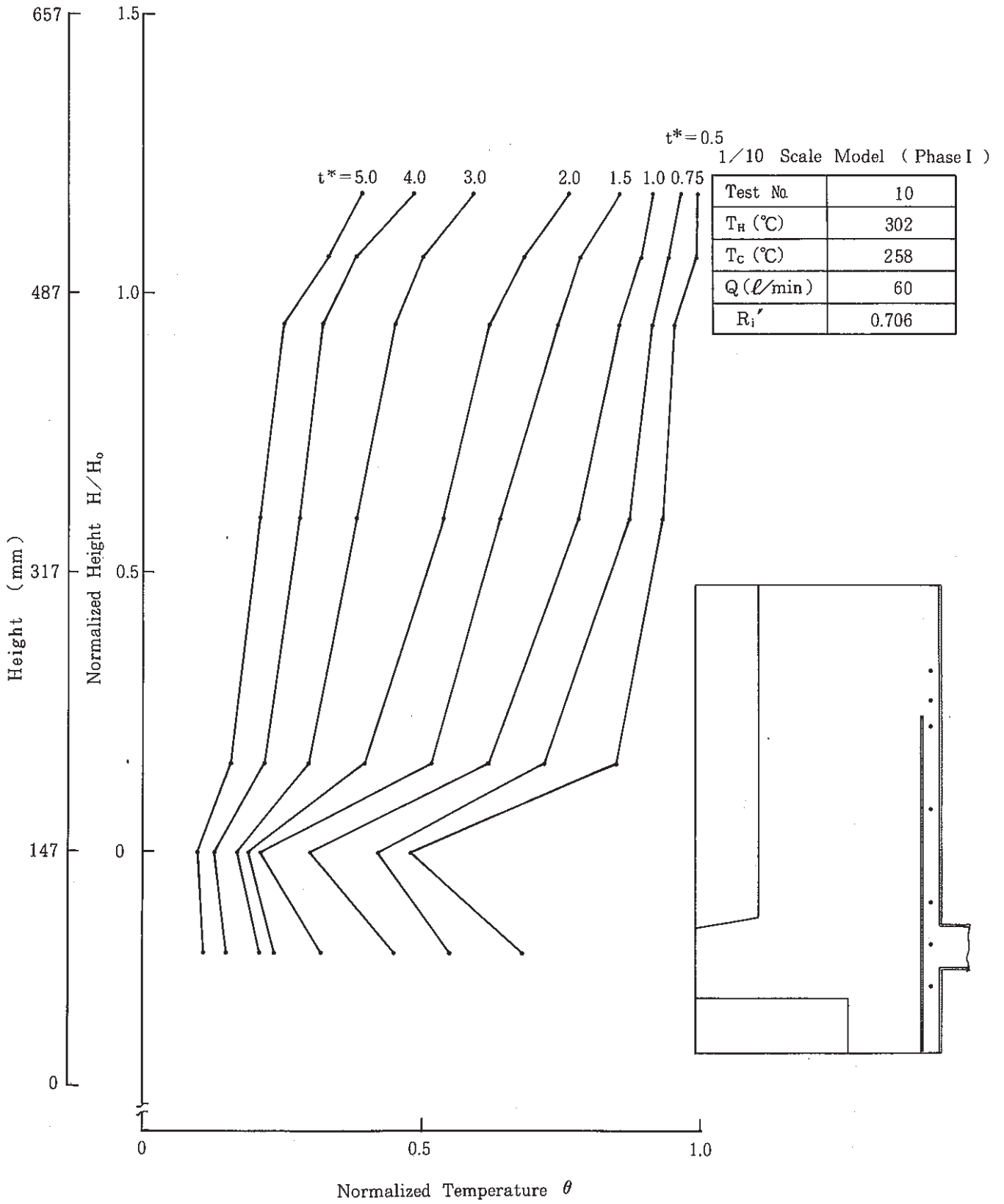


Fig.5 - 22 Axial Temperature Distribution ( Test No.10 )

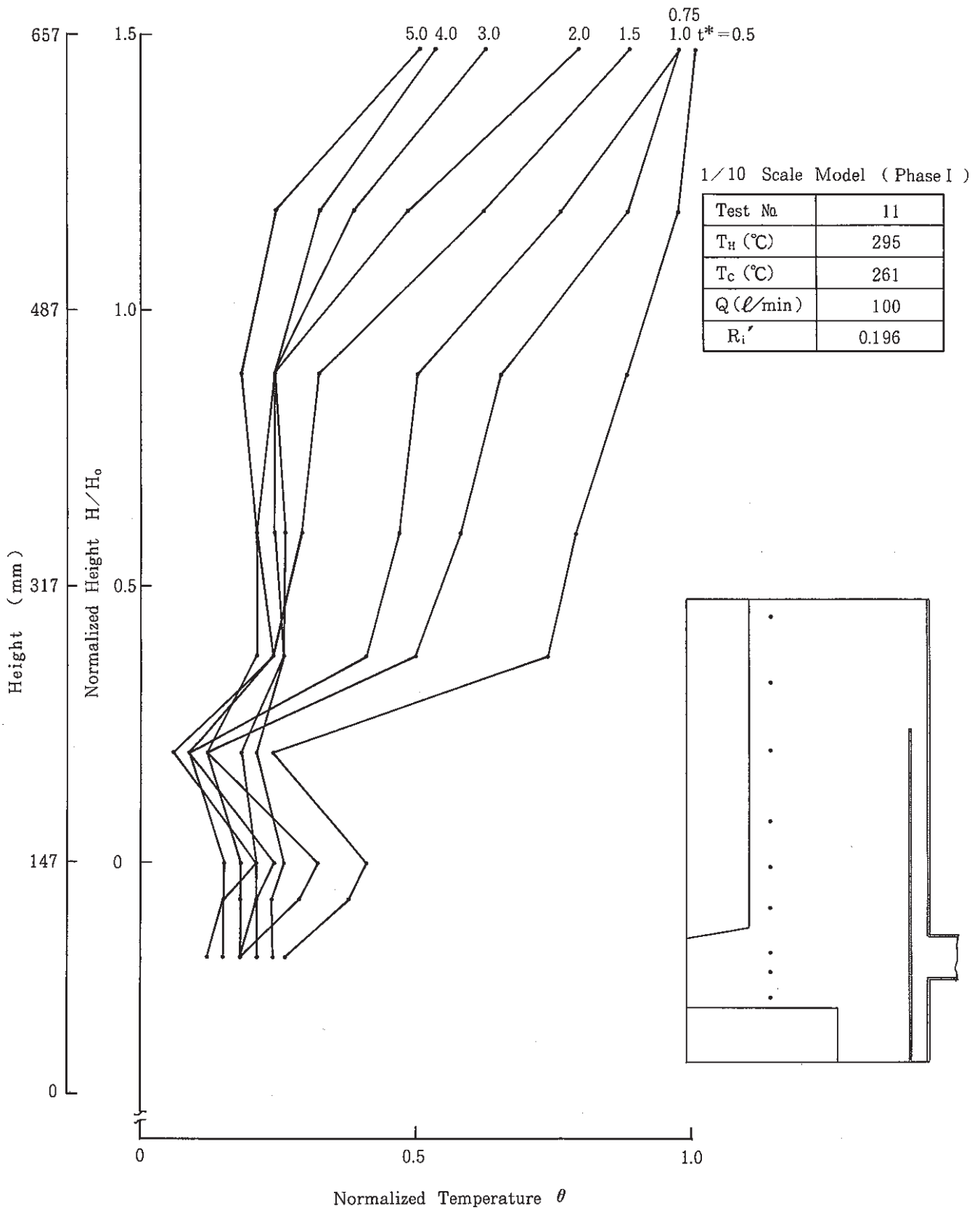


Fig.5 - 23 Axial Temperature Distribution ( Test No 11 )

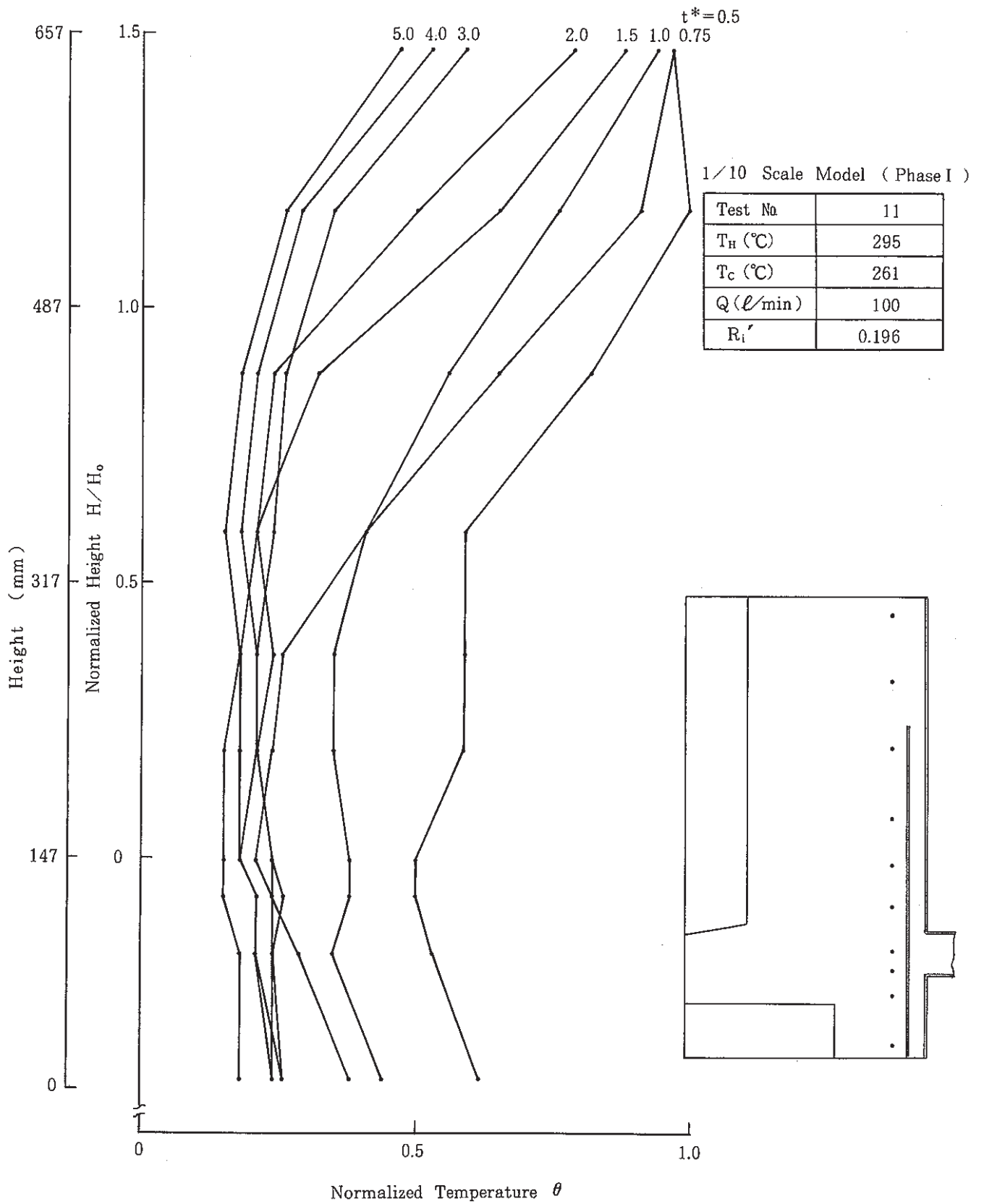


Fig. 5 - 24 Axial Temperature Distribution ( Test No. 11 )

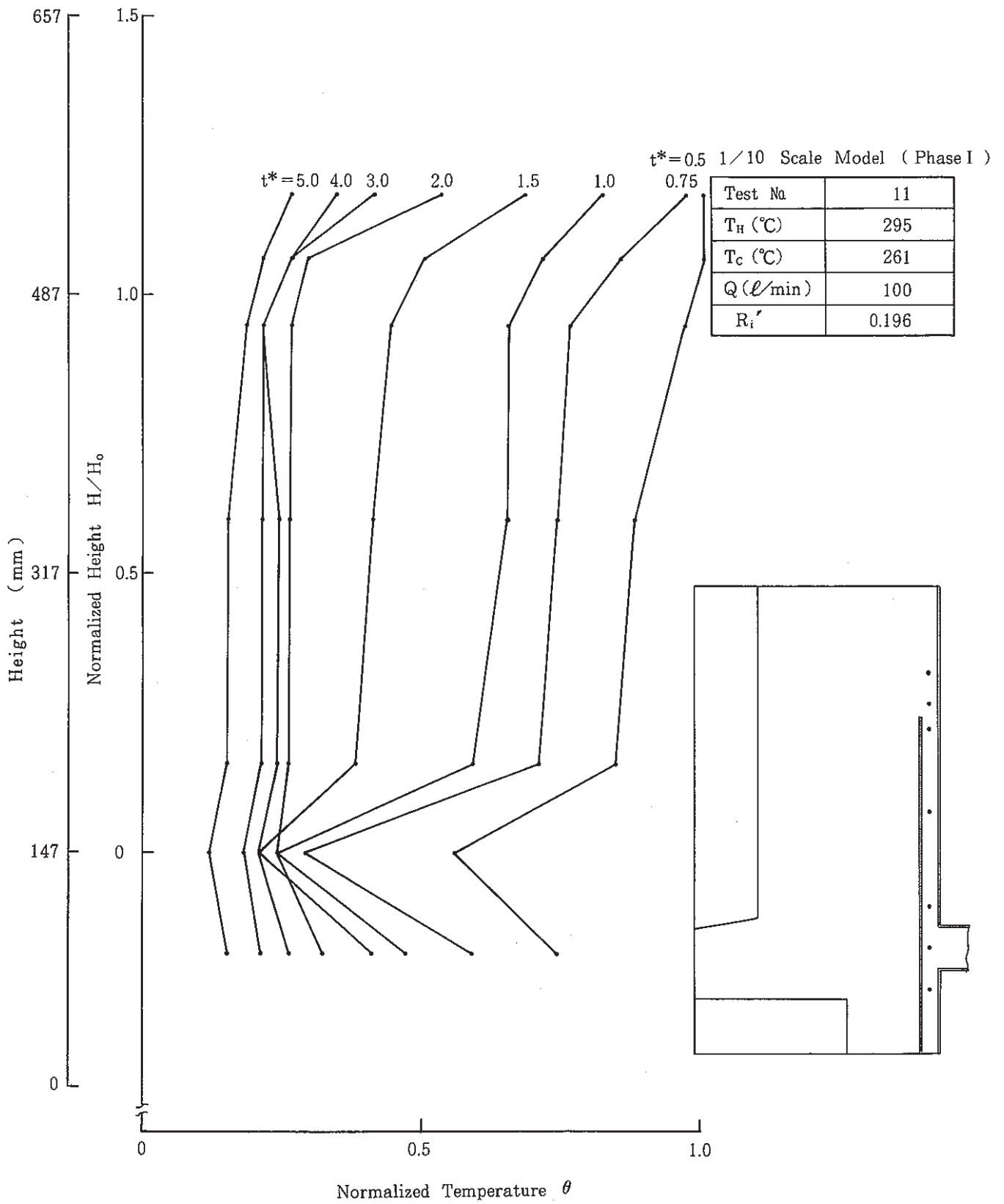


Fig.5 - 25 Axial Temperature Distribution ( Test No.11 )

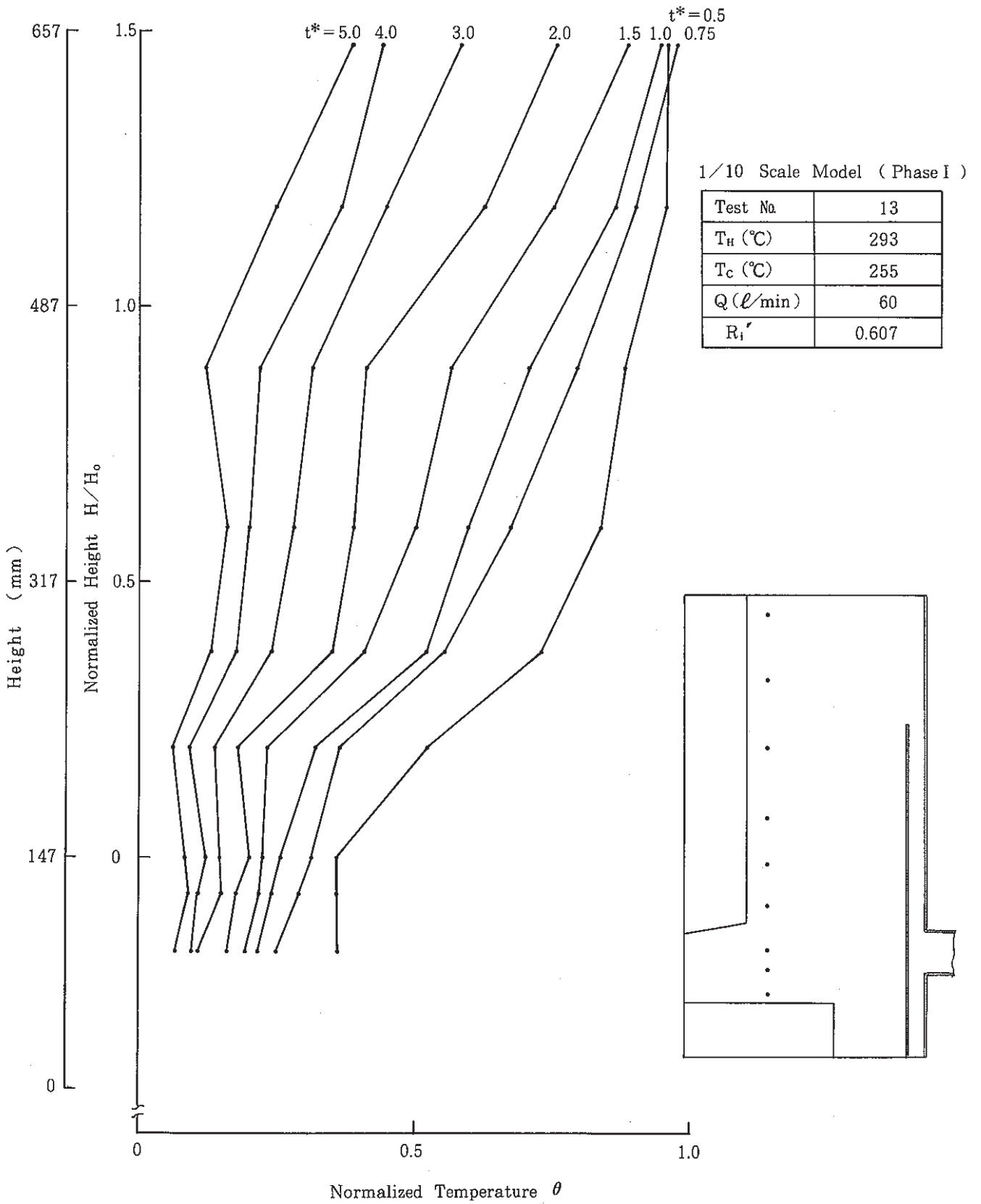


Fig.5 - 26 Axial Temperature Distribution ( Test No 13 )

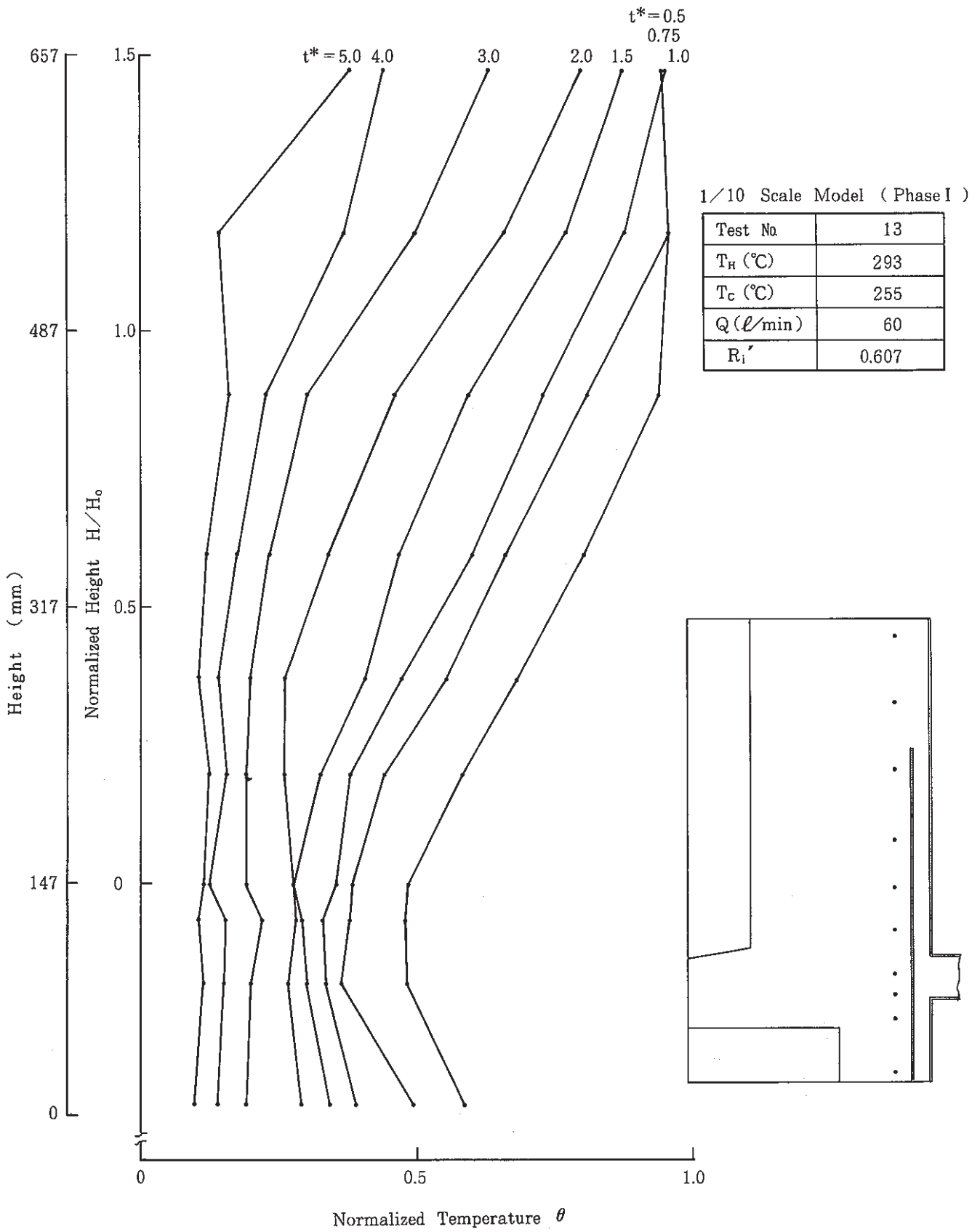


Fig. 5 - 27 Axial Temperature Distribution ( Test No.13 )

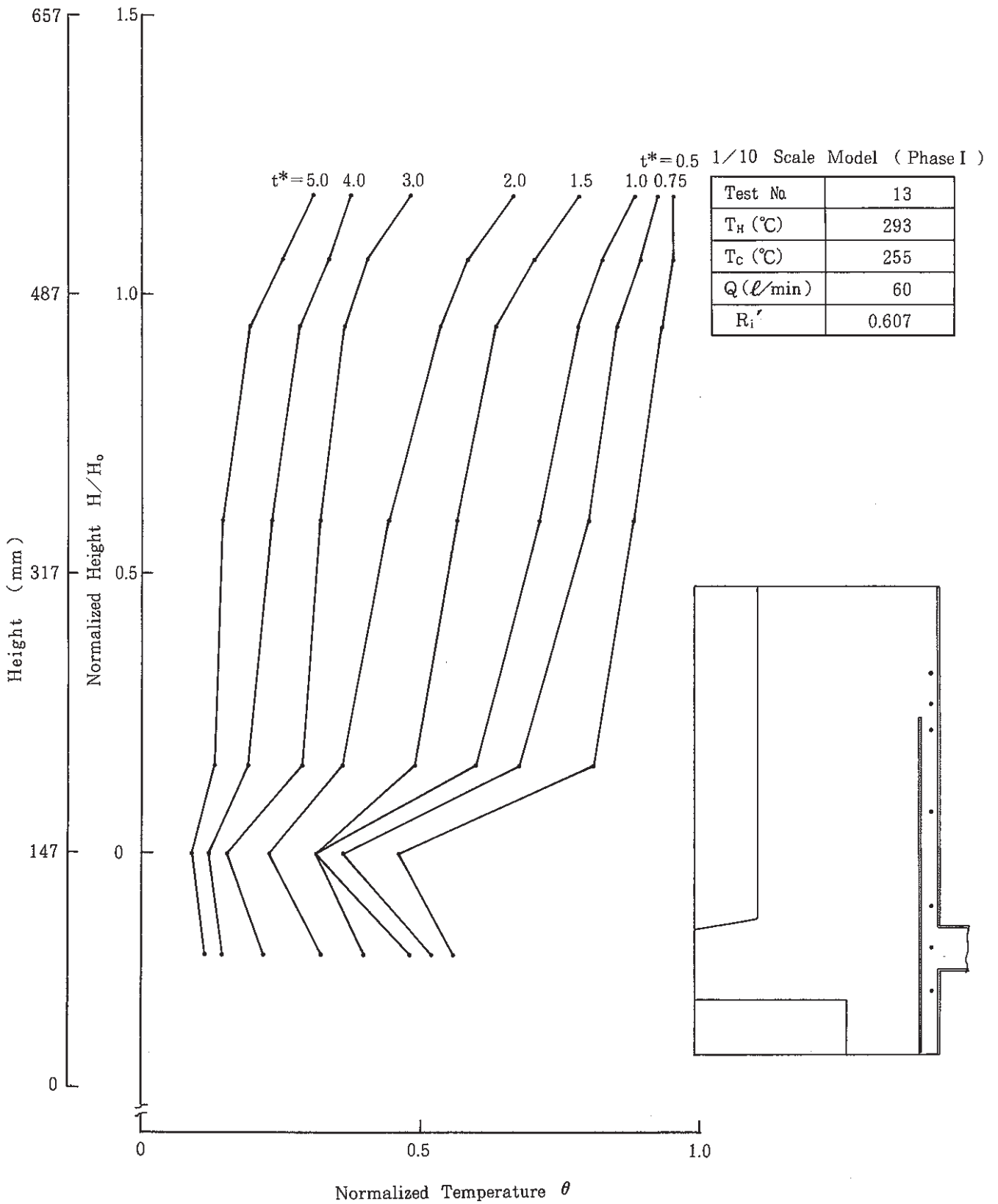


Fig.5 - 28 Axial Temperature Distribution ( Test No.13 )

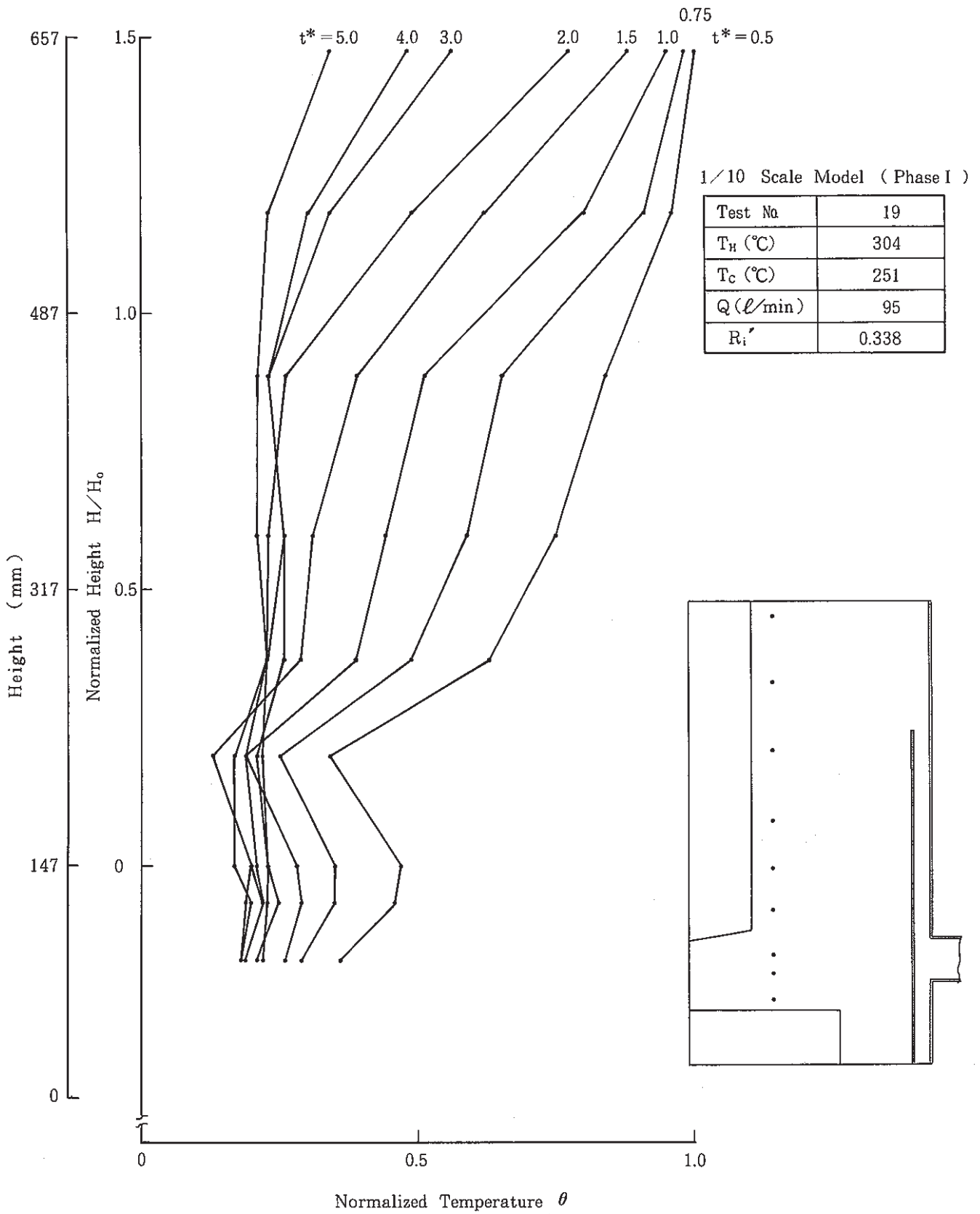


Fig.5 - 29 Axial Temperature Distribution ( Test No.19 )



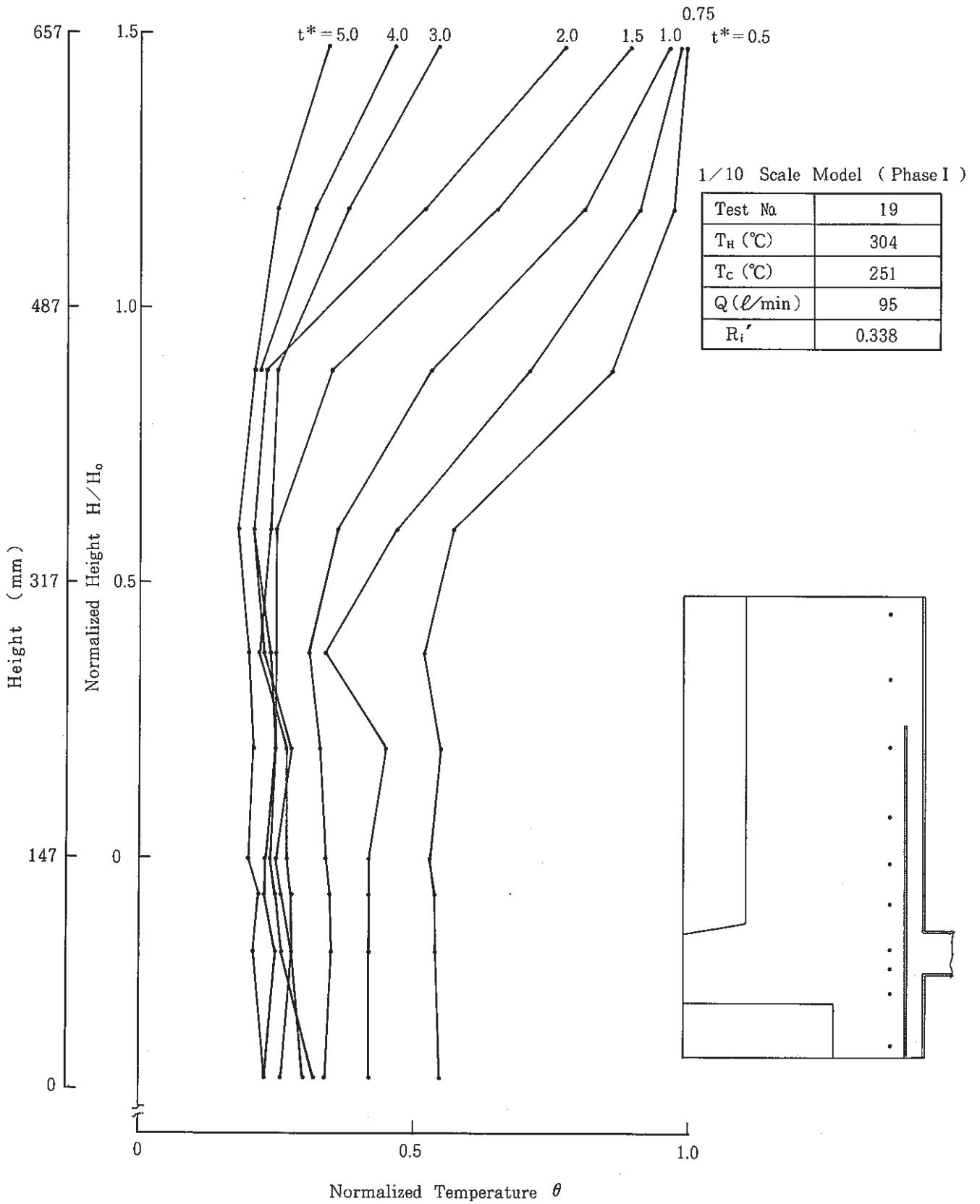


Fig.5 - 30 Axial Temperature Distribution (Test No.19)

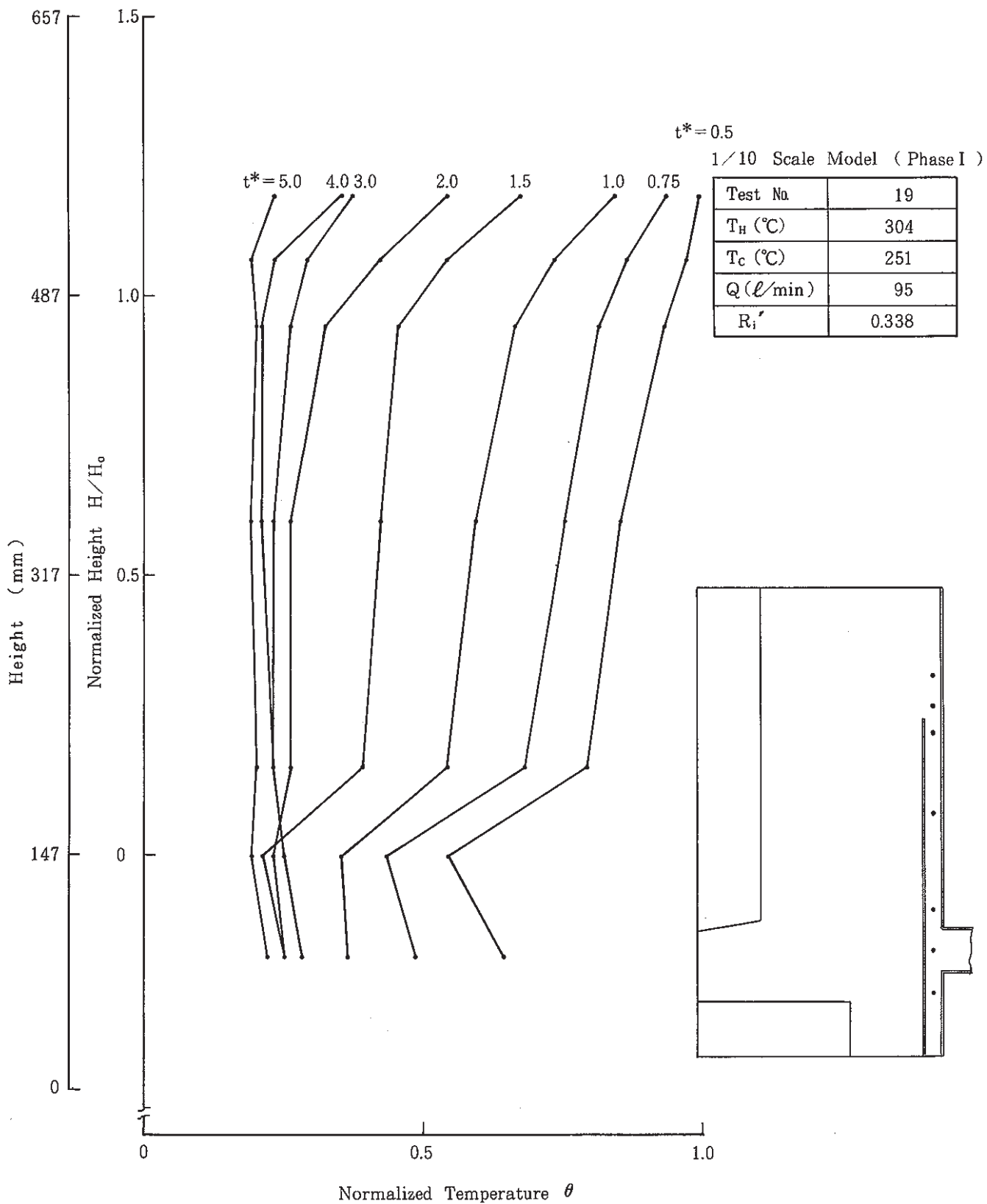


Fig.5 - 31 Axial Temperature Distribution ( Test No.19 )

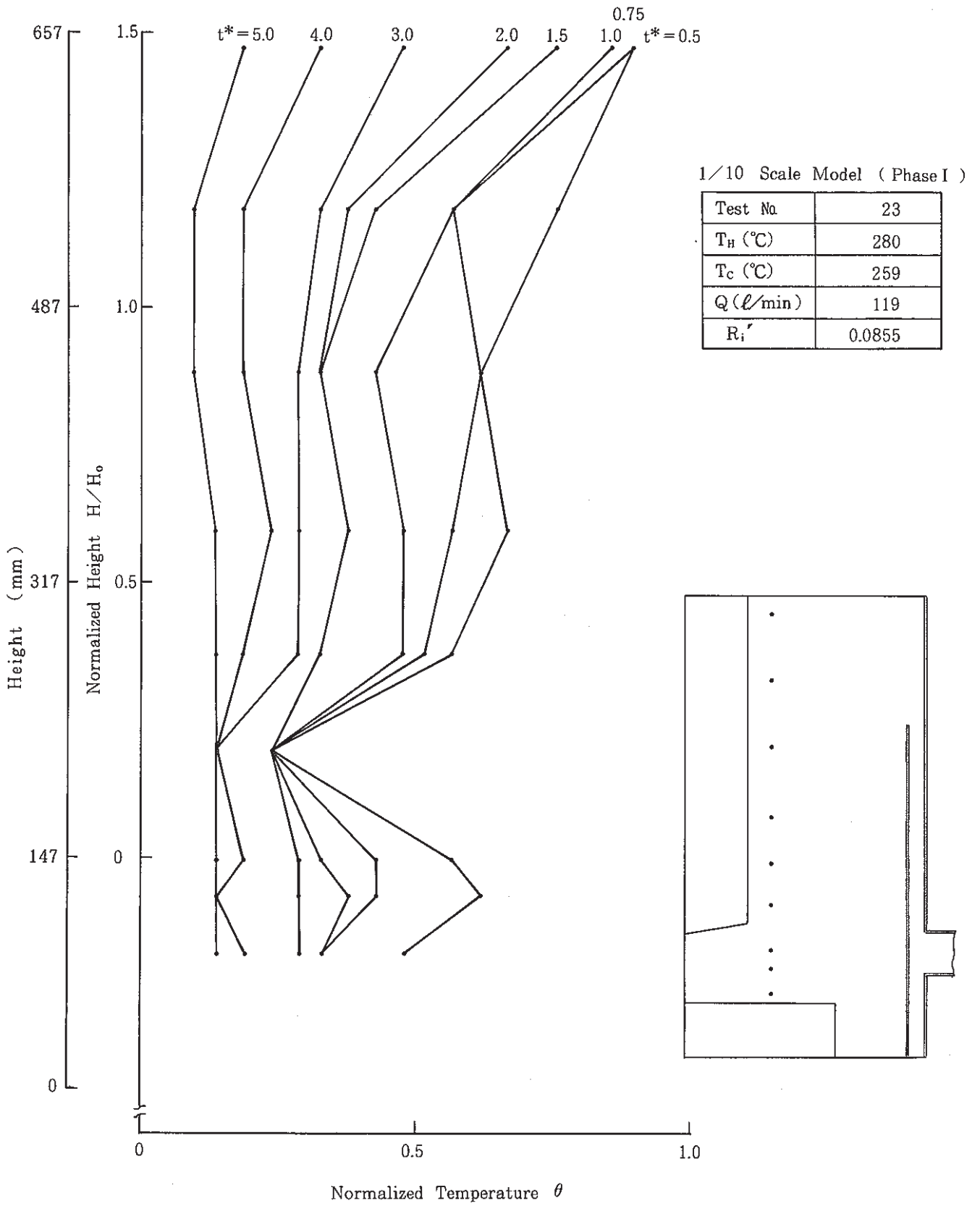


Fig.5 - 32 Axial Temperature Distribution ( Test No.23 )

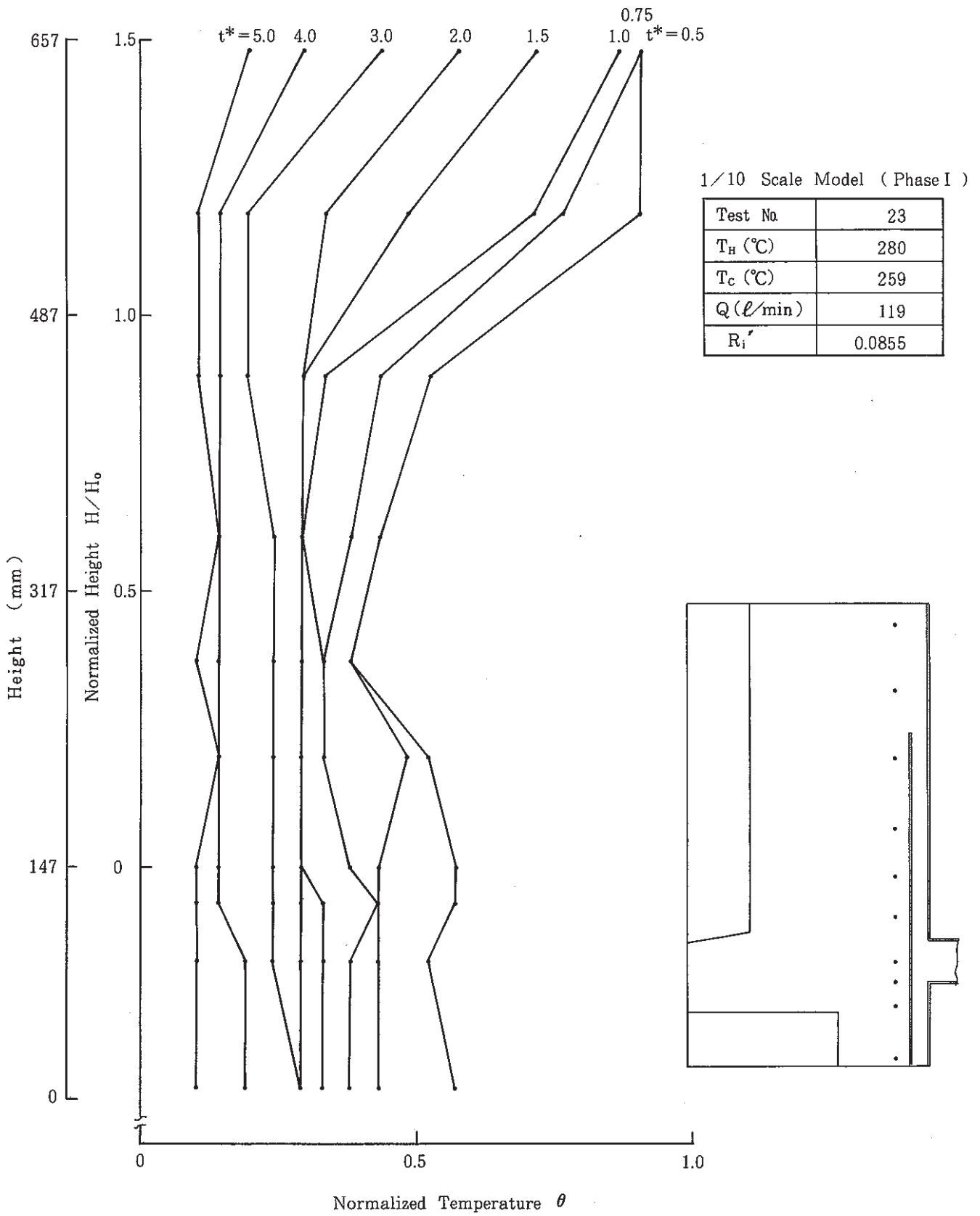


Fig.5 - 33 Axial Temperature Distribution ( Test No.23 )

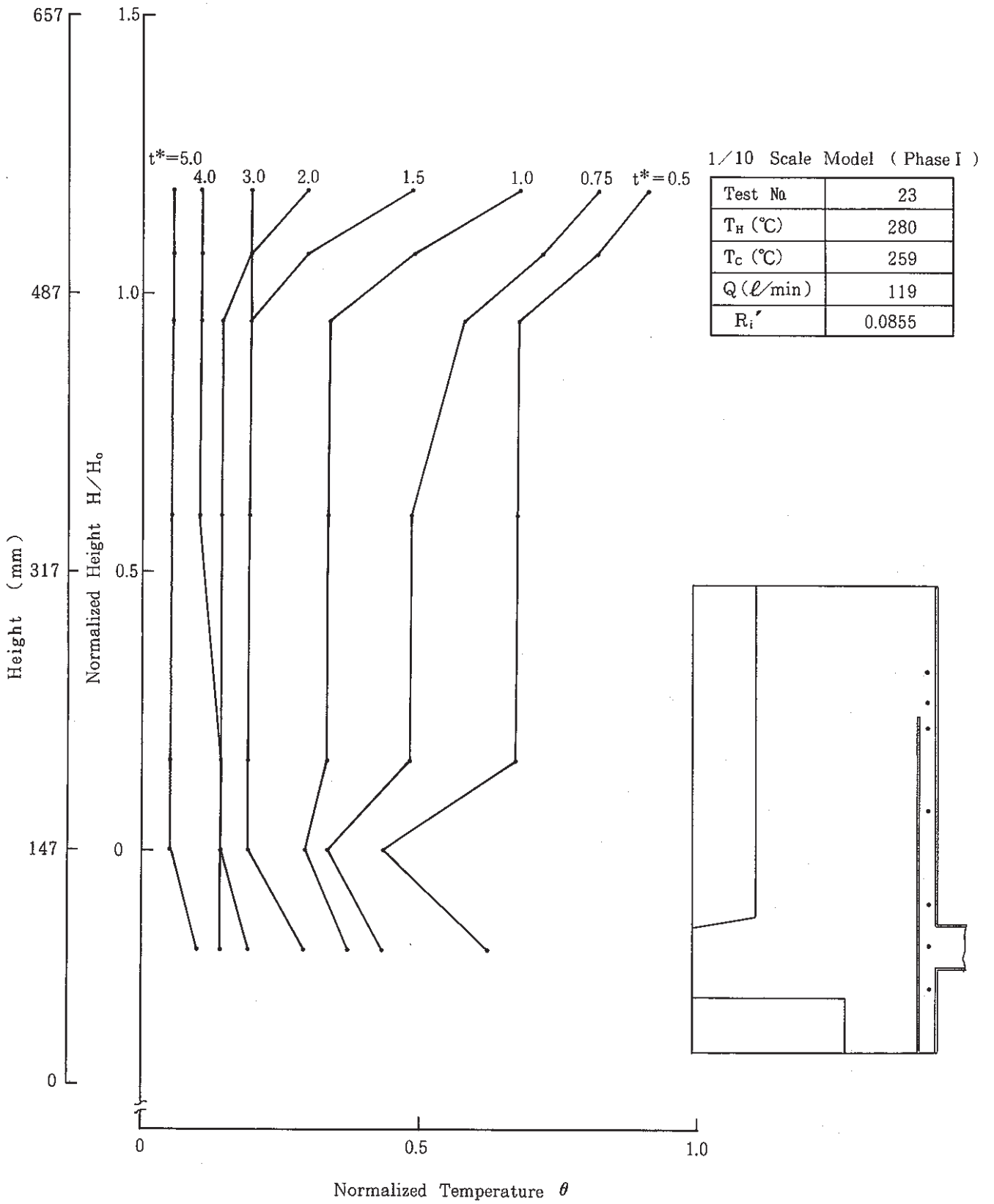


Fig.5 - 34 Axial Temperature Distribution ( Test No.23 )

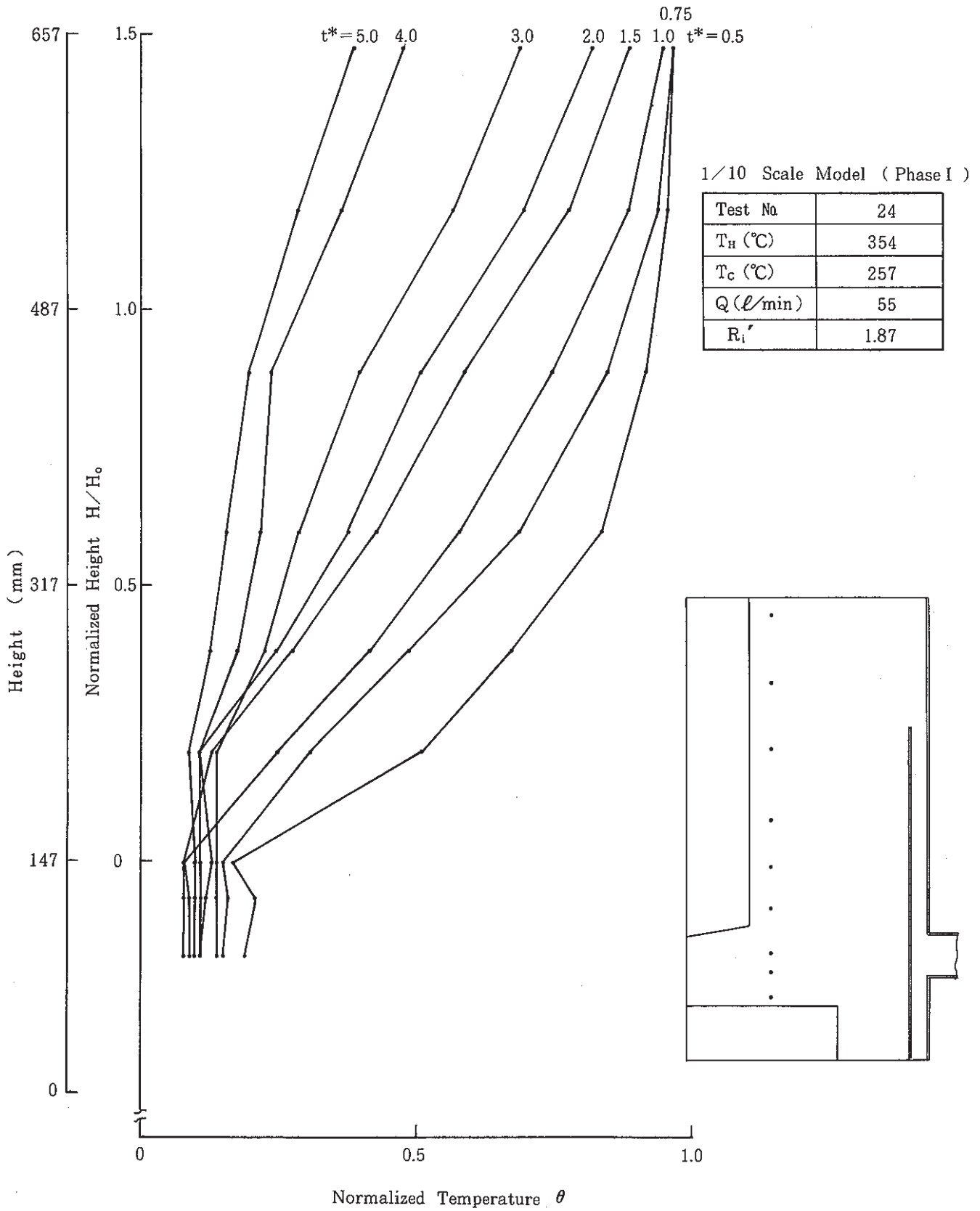


Fig.5 - 35 Axial Temperature Distribution ( Test No.24 )

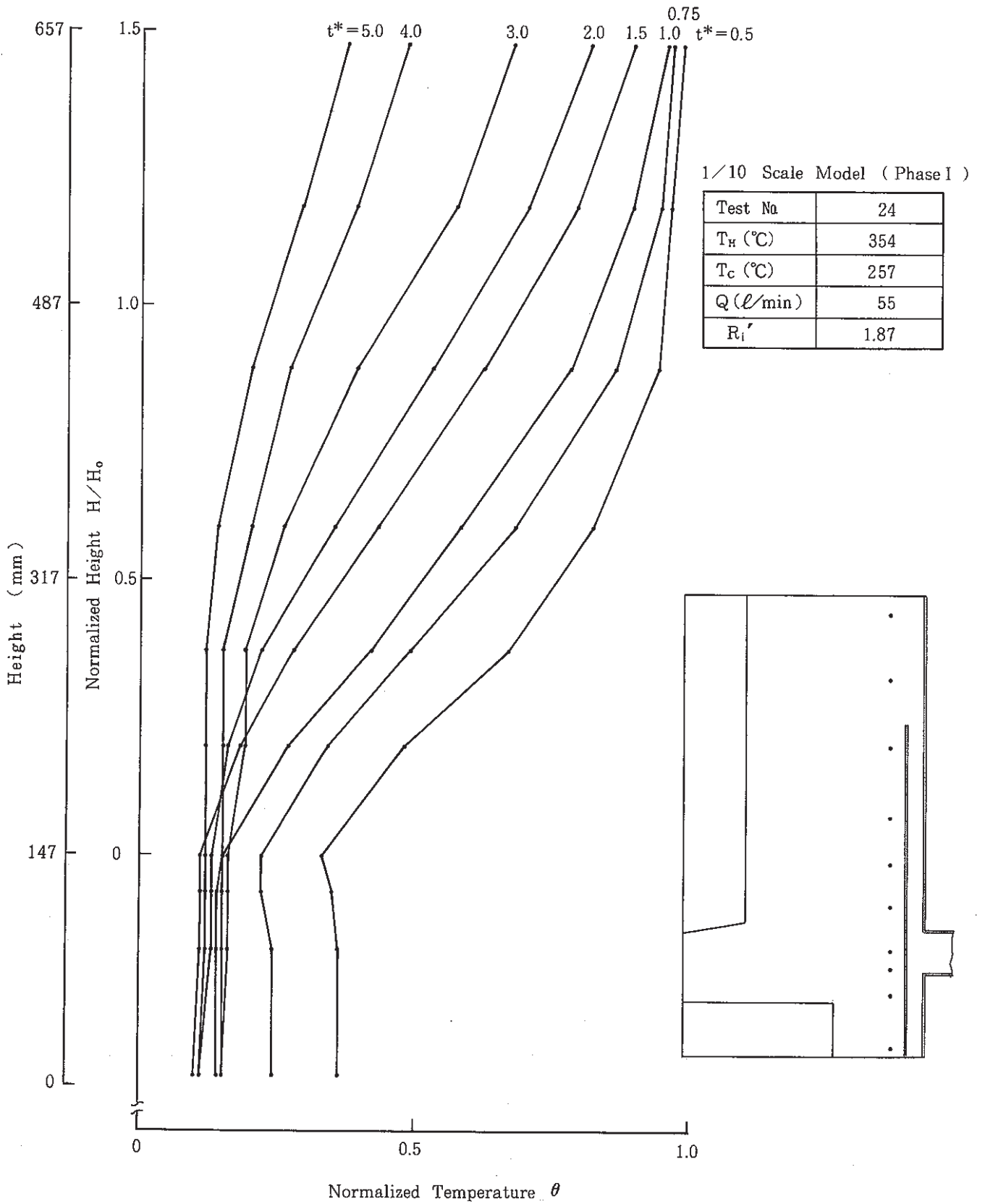


Fig.5 - 36 Axial Temperature Distribution ( Test No.24 )

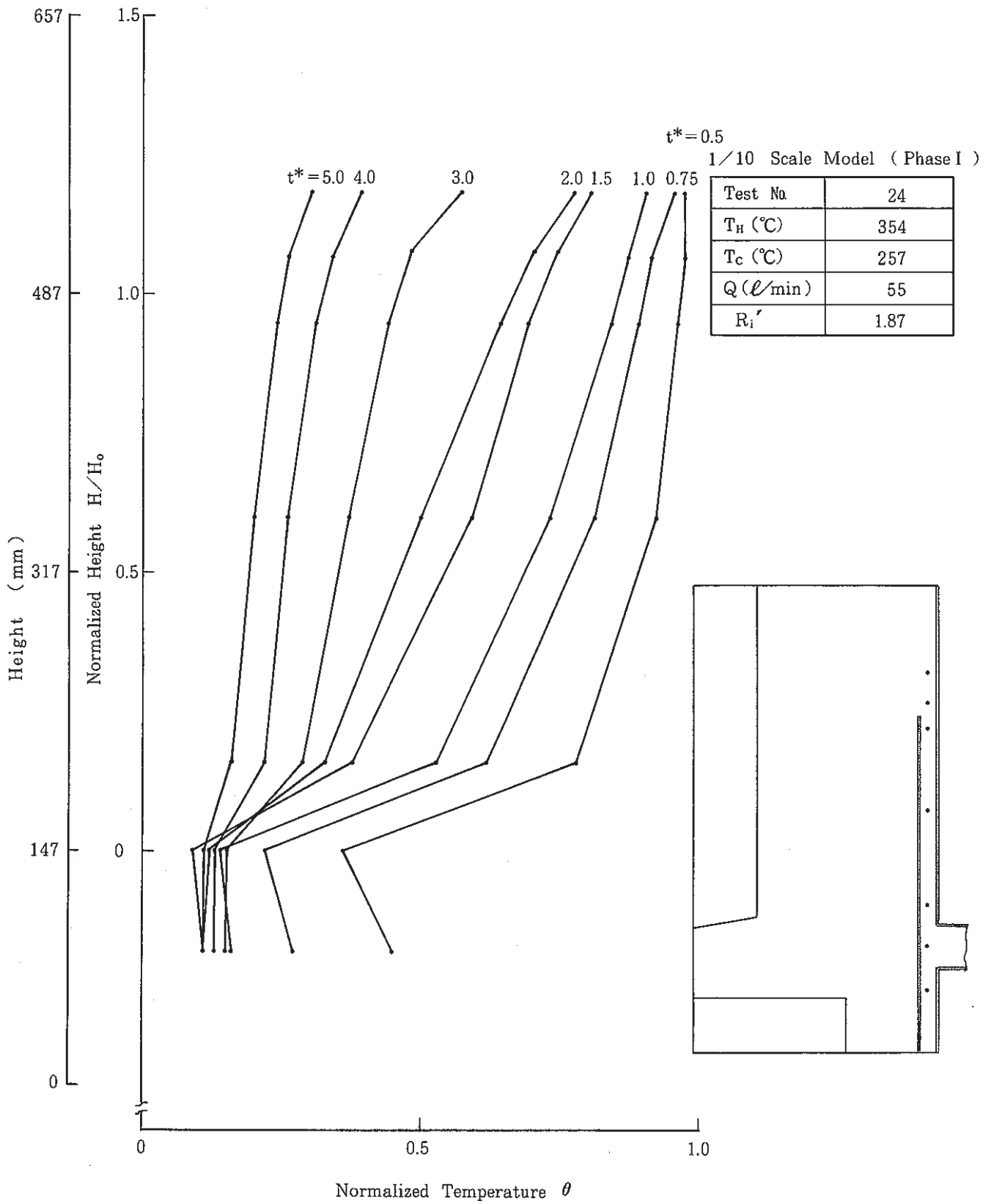


Fig.5 - 37 Axial Temperature Distribution ( Test No.24 )



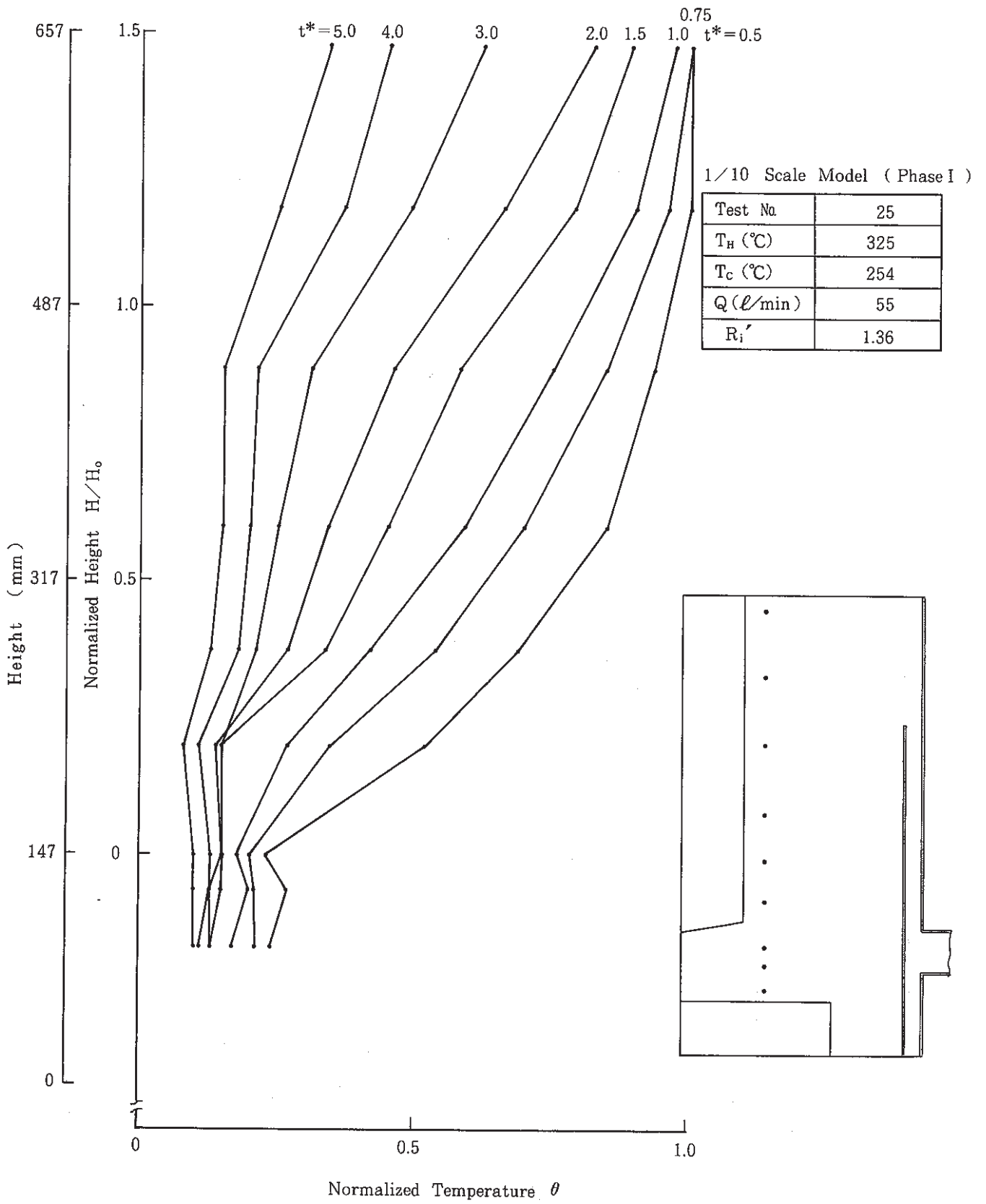


Fig.5 - 38 Axial Temperature Distribution ( Test No 25 )

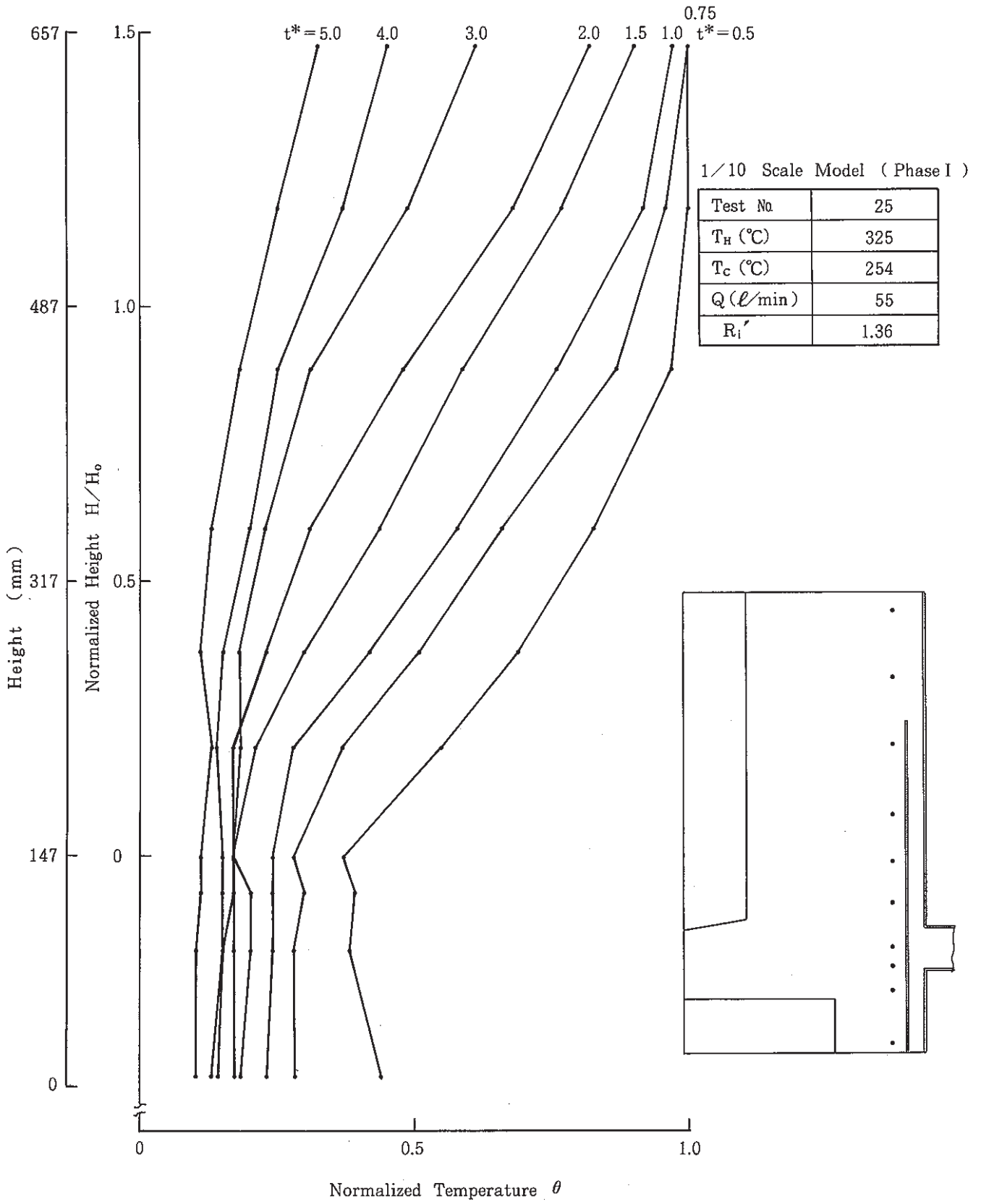


Fig.5 - 39 Axial Temperature Distribution ( Test No.25 )

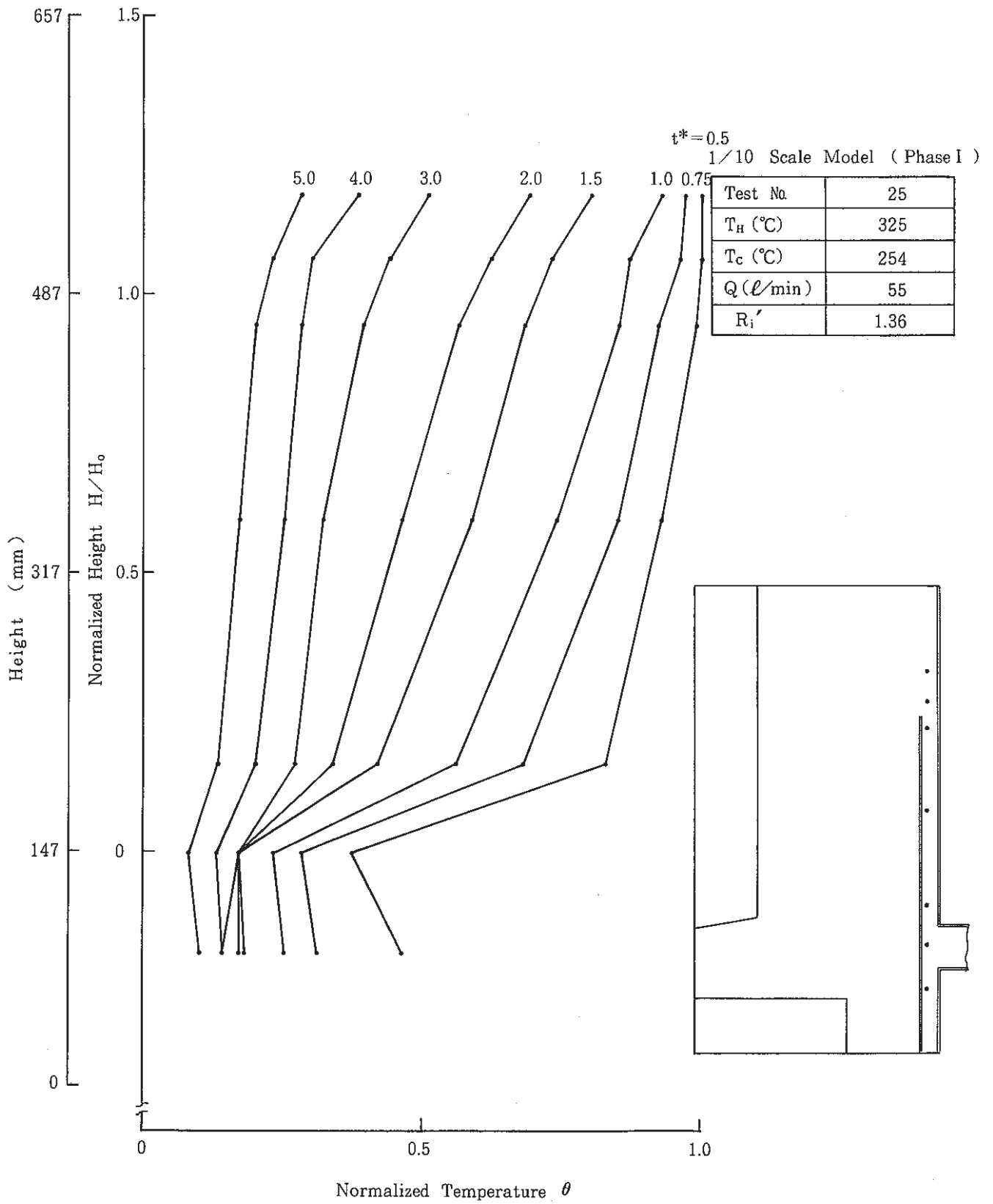


Fig.5 - 40 Axial Temperature Distribution ( Test No.25 )

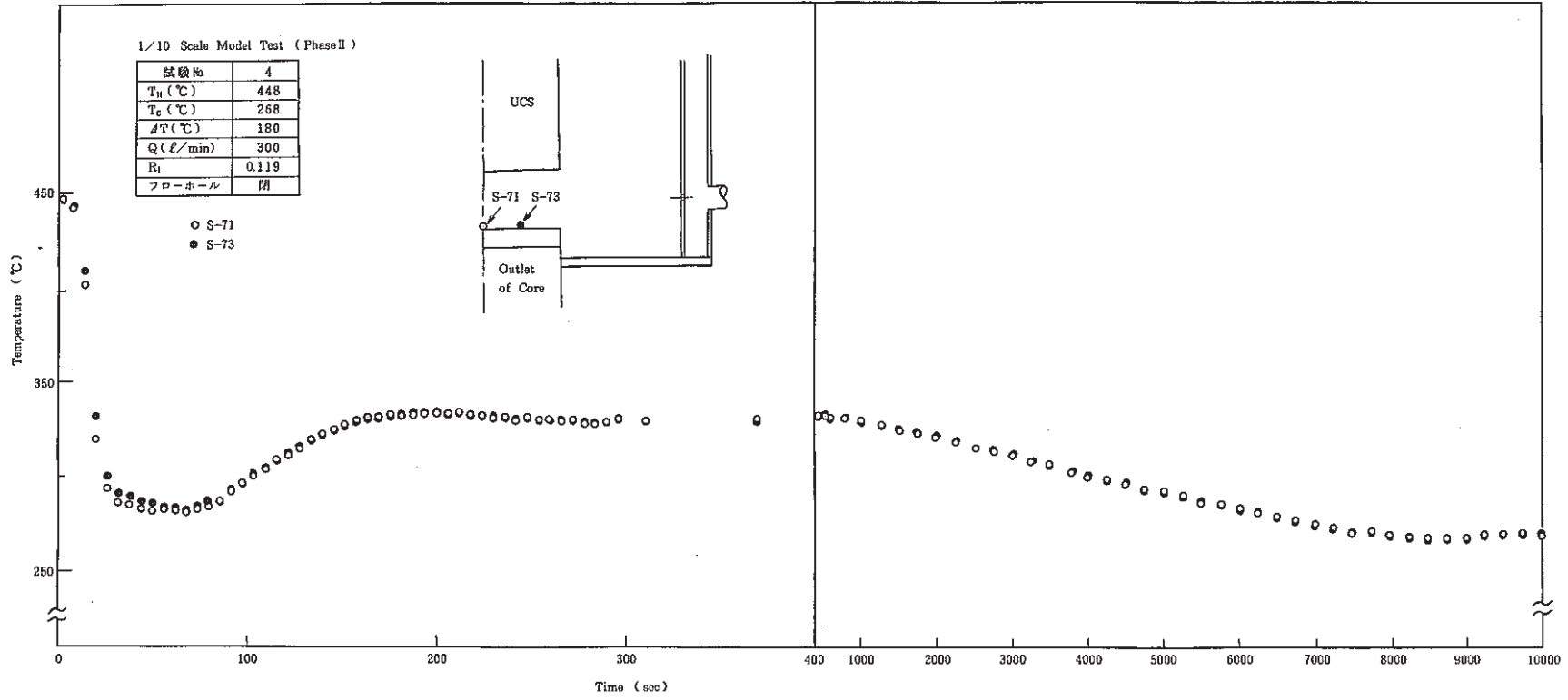


Fig.5 - 41 Transient Temperature at Outlet of Core ( Test No.4 )

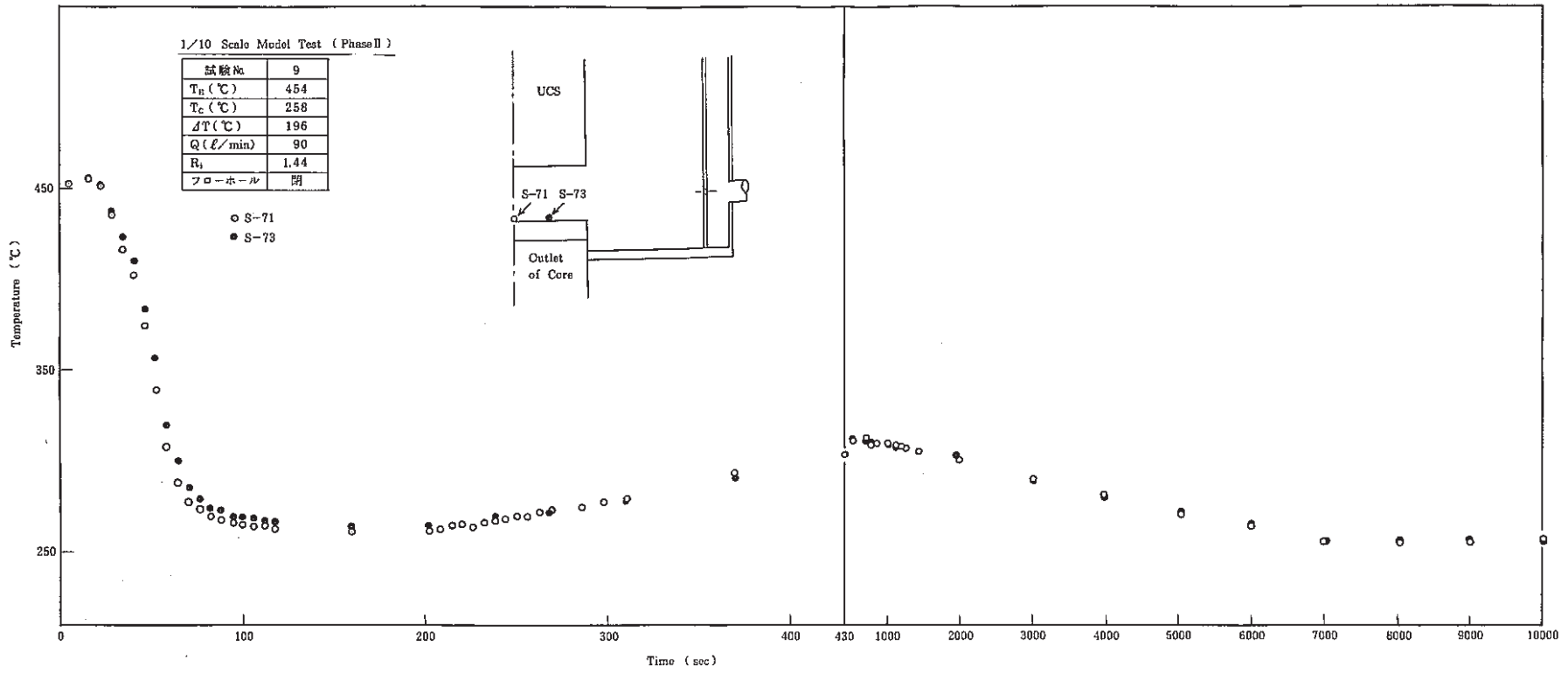


Fig.5 - 42 Transient Temperature at Outlet of Core ( Test No.9 )

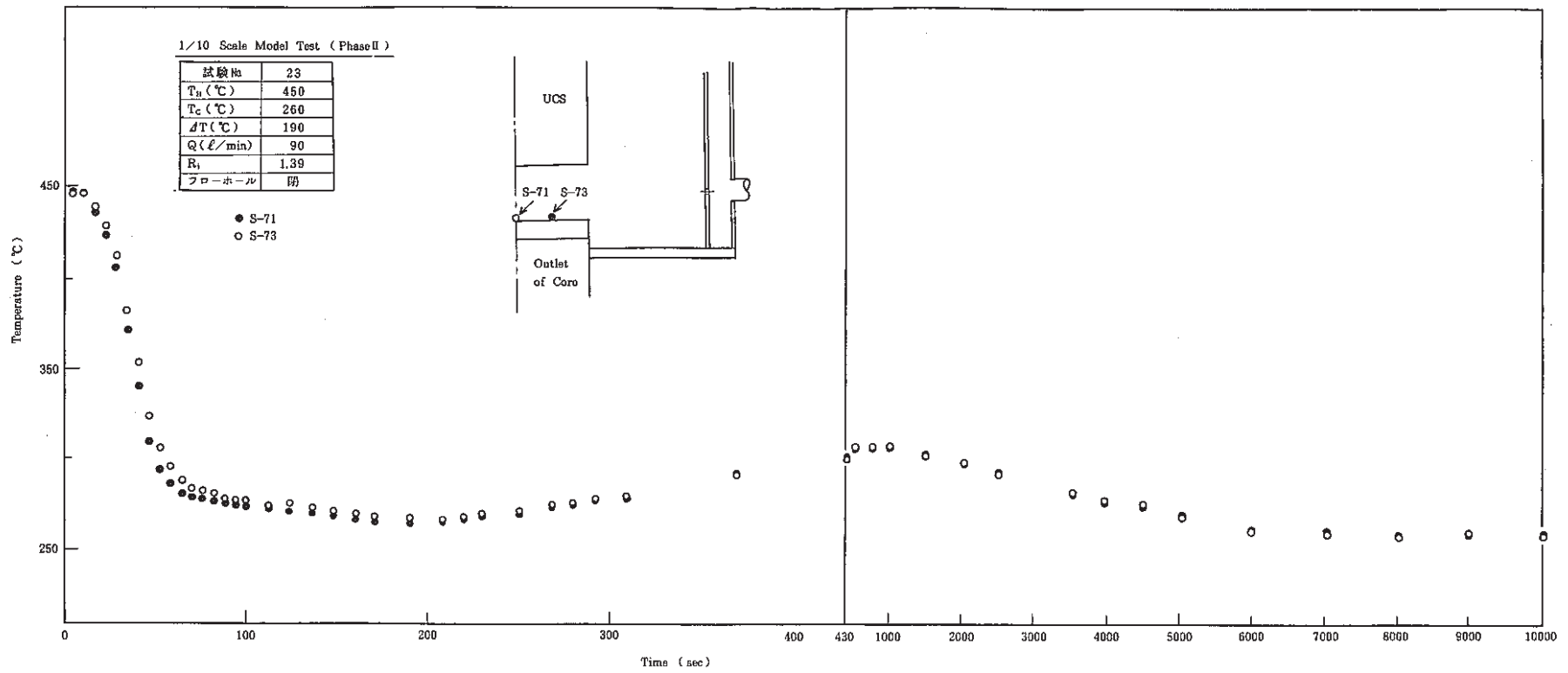


Fig.5 - 43 Transient Temperature at Outlet of Core ( Test No.23 )

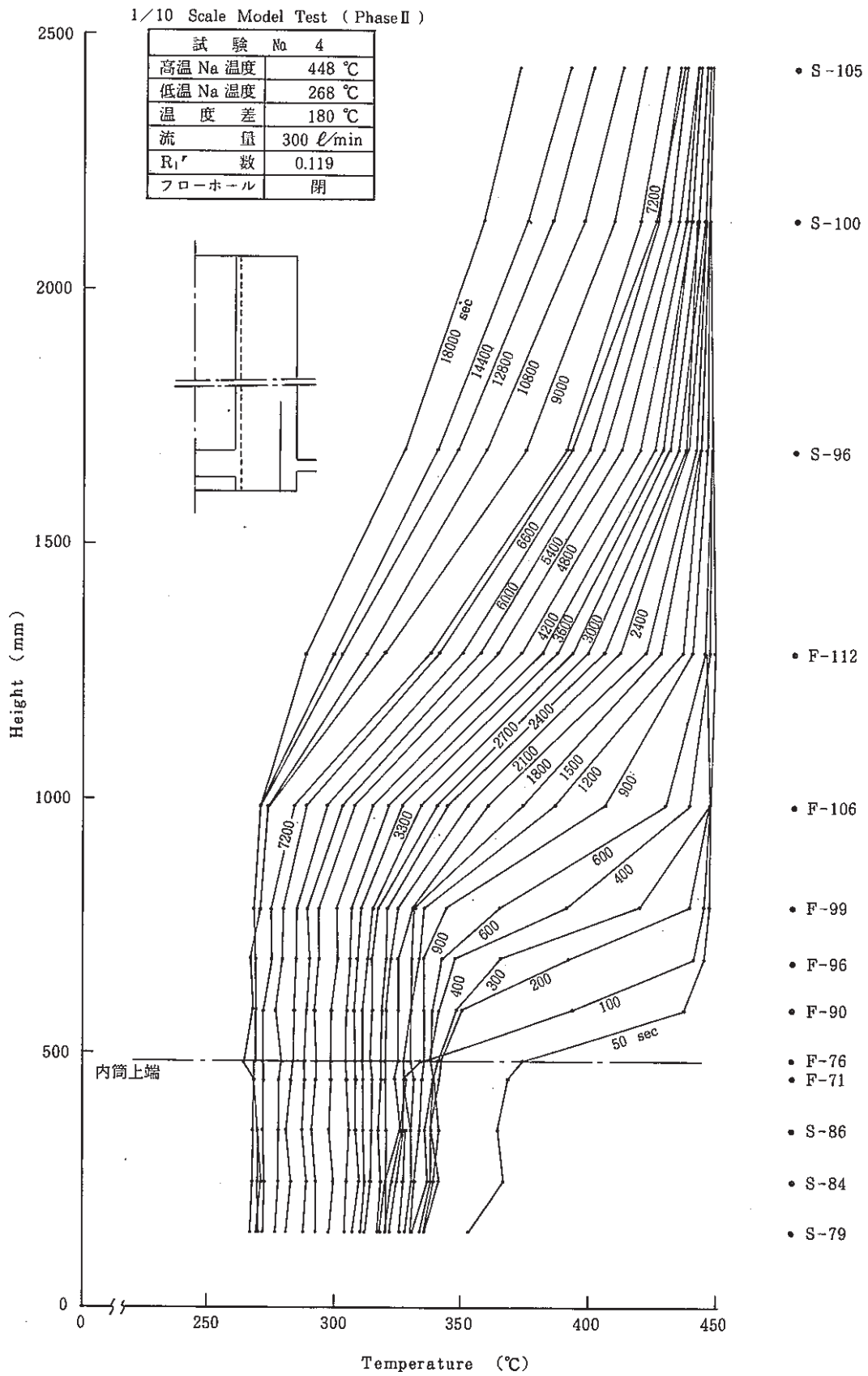


Fig.5 - 44 Axial Temperature Distribution (Test No.4)

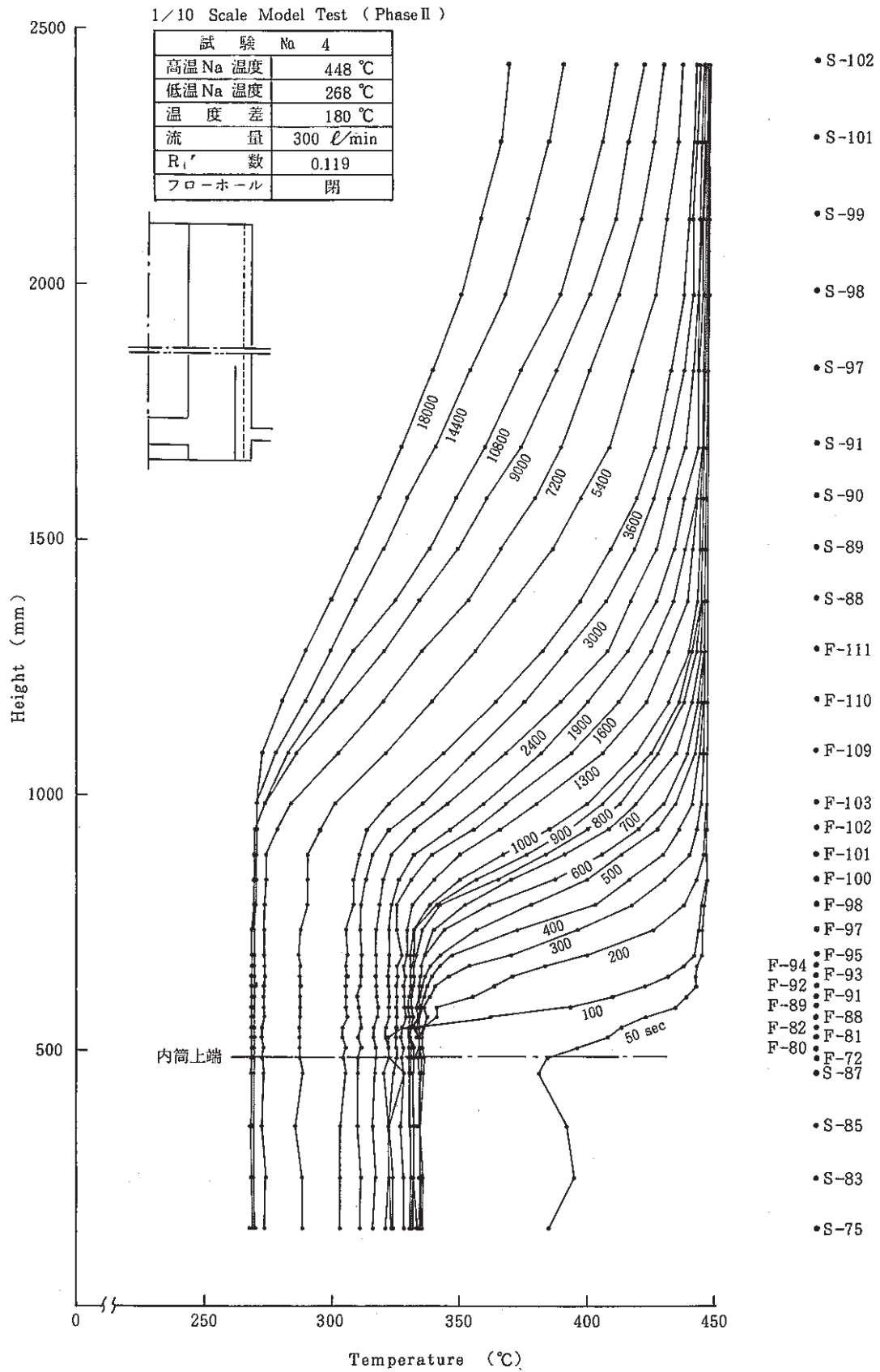


Fig. 5 - 45 Axial Temperature Distribution (Test No. 4)



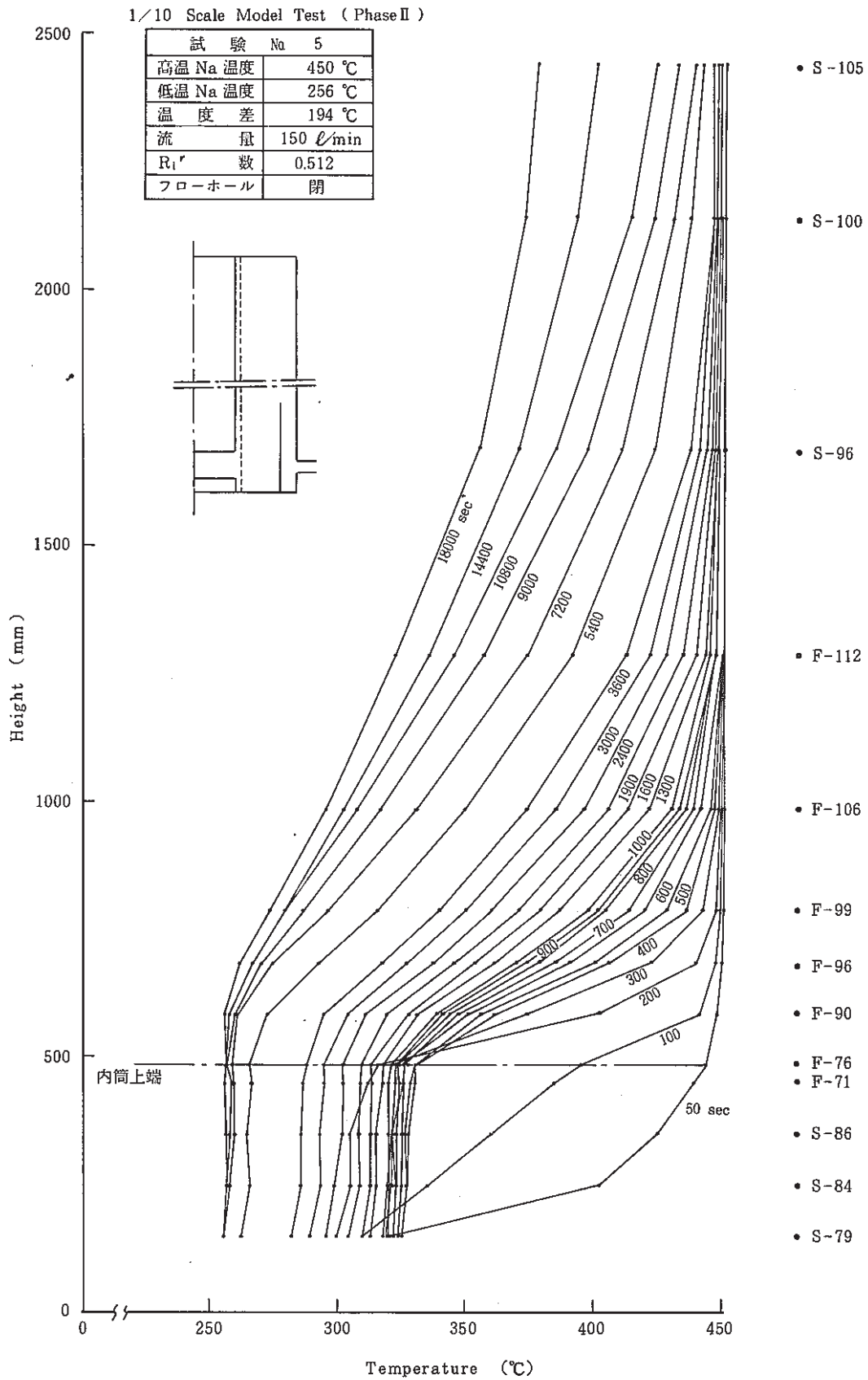


Fig.5 - 46 Axial Temperature Distribution (Test No 5)

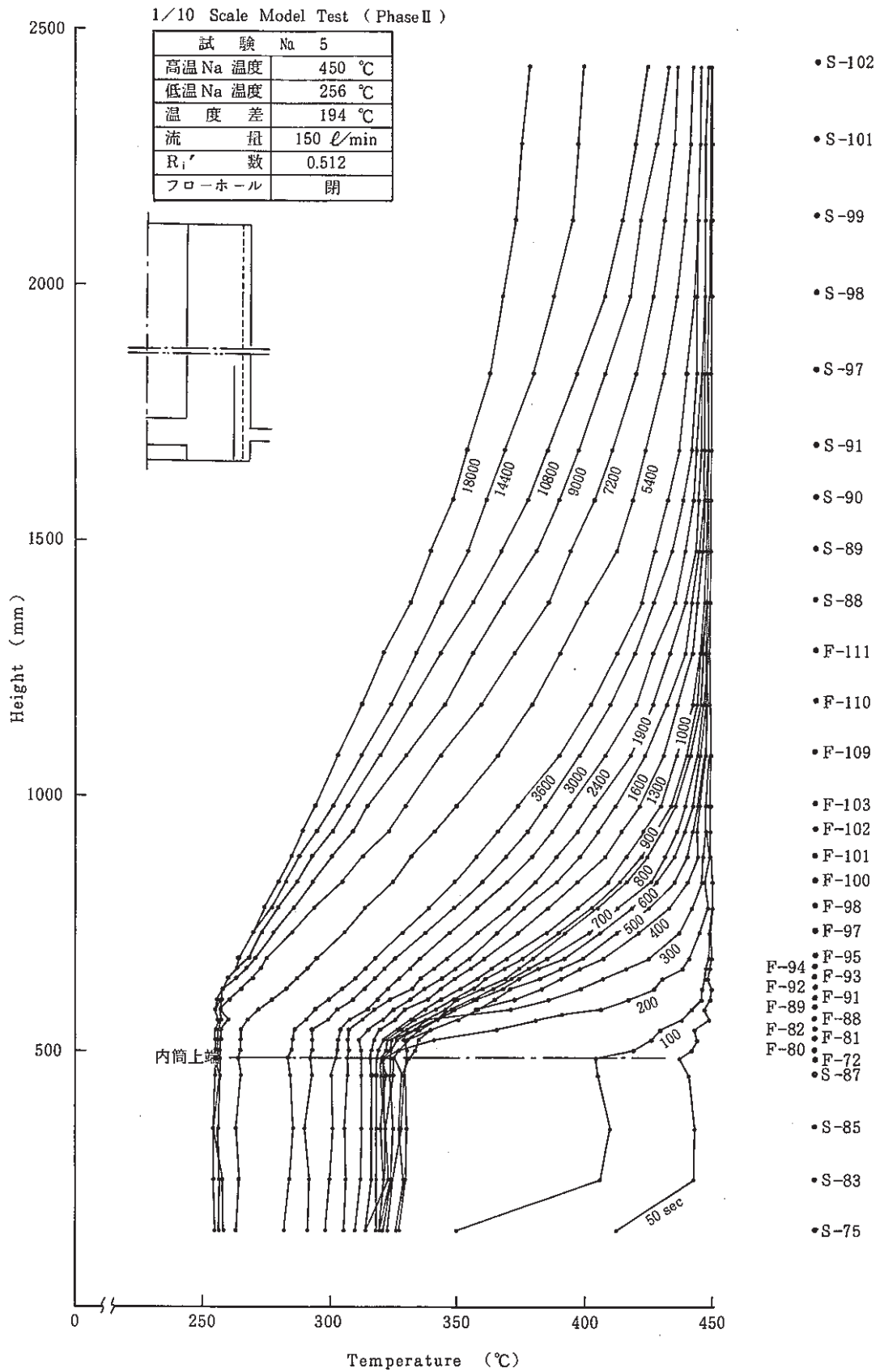


Fig.5 - 47 Axial Temperature Distribution ( Test No 5 )

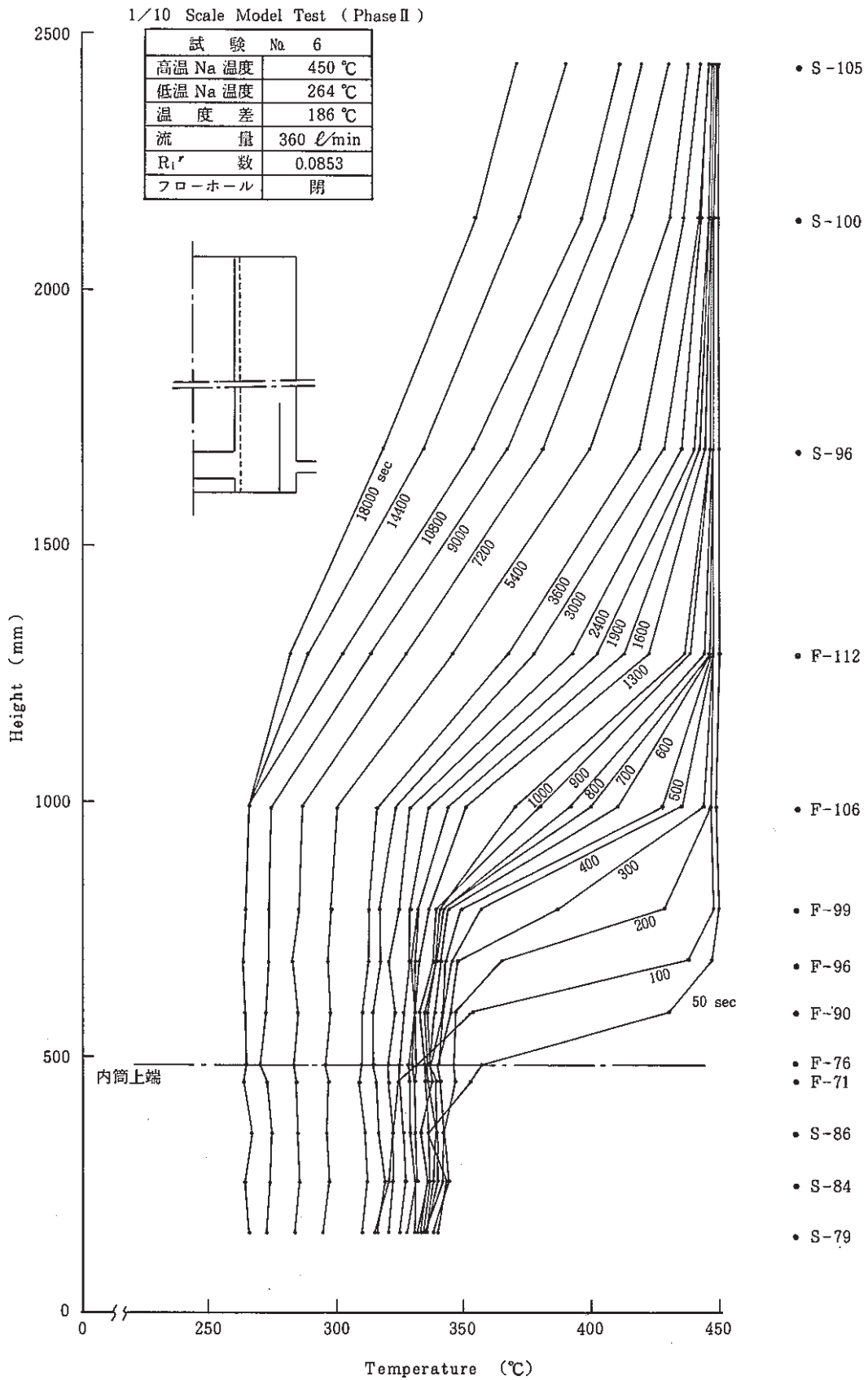


Fig. 5 - 48 Axial Temperature Distribution (Test No. 6)

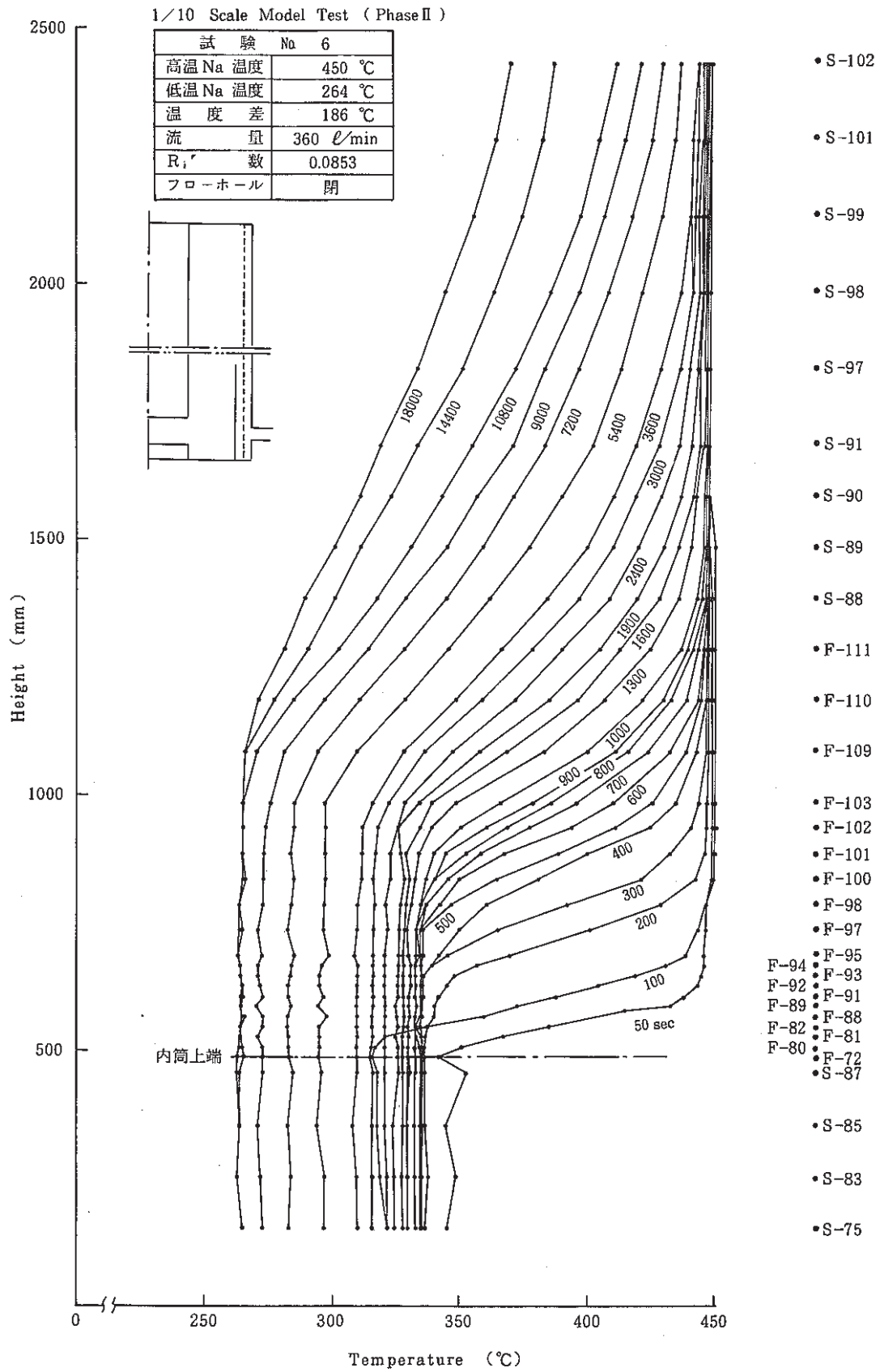


Fig.5 - 49 Axial Temperature Distribution ( Test No.6 )

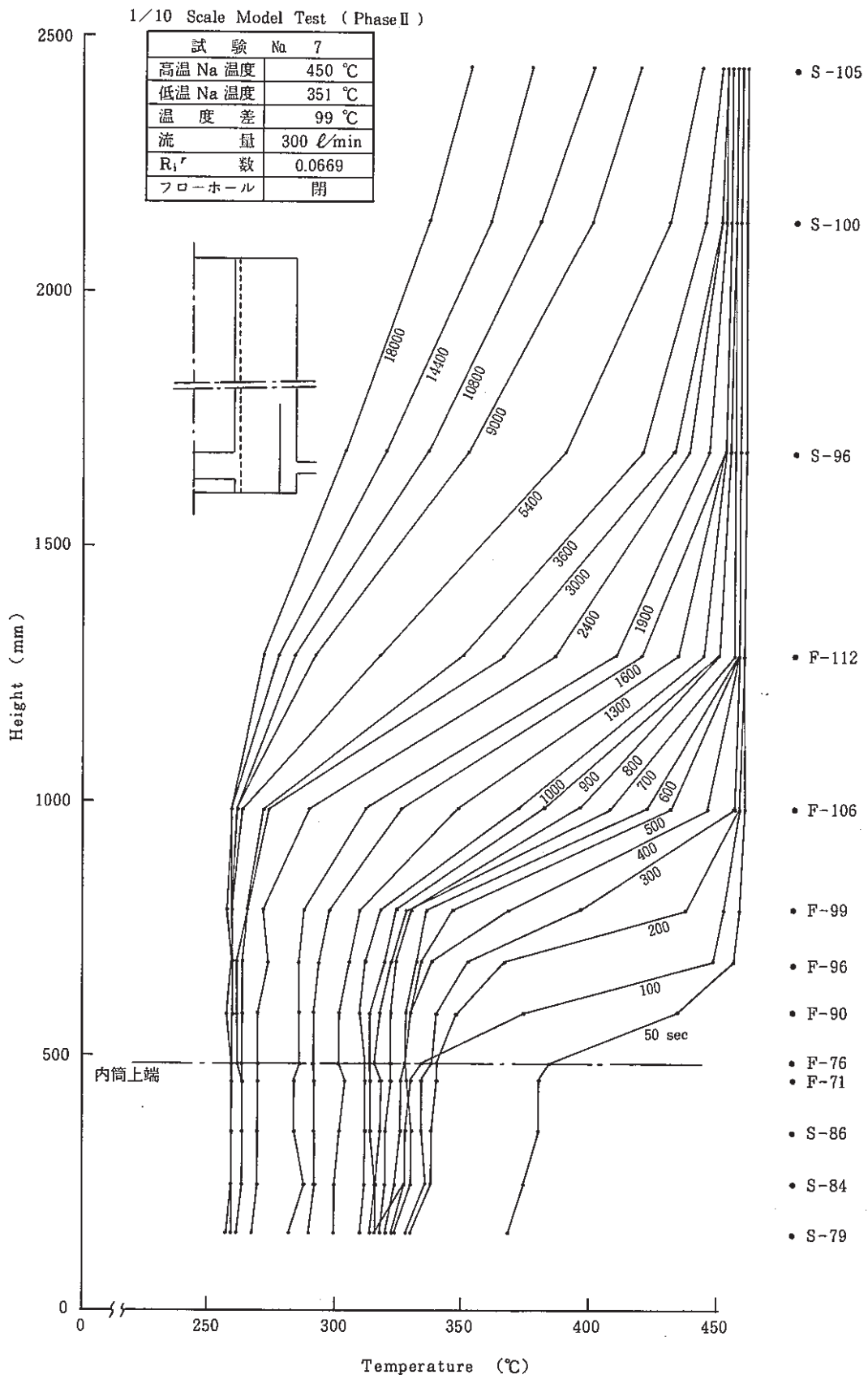


Fig. 5 - 50 Axial Temperature Distribution (Test No. 7)

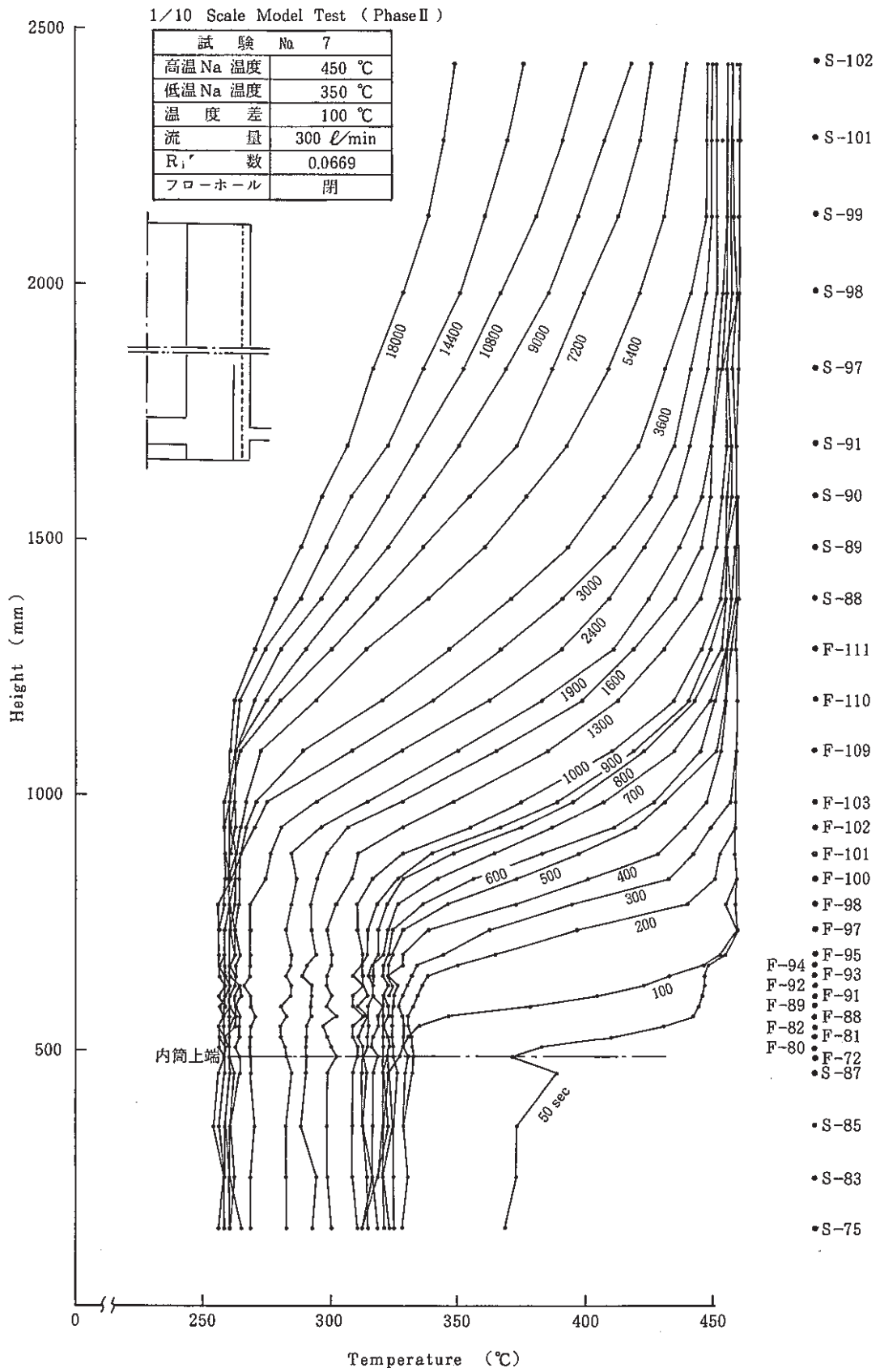


Fig.5 - 51 Axial Temperature Distribution ( Test No.7 )

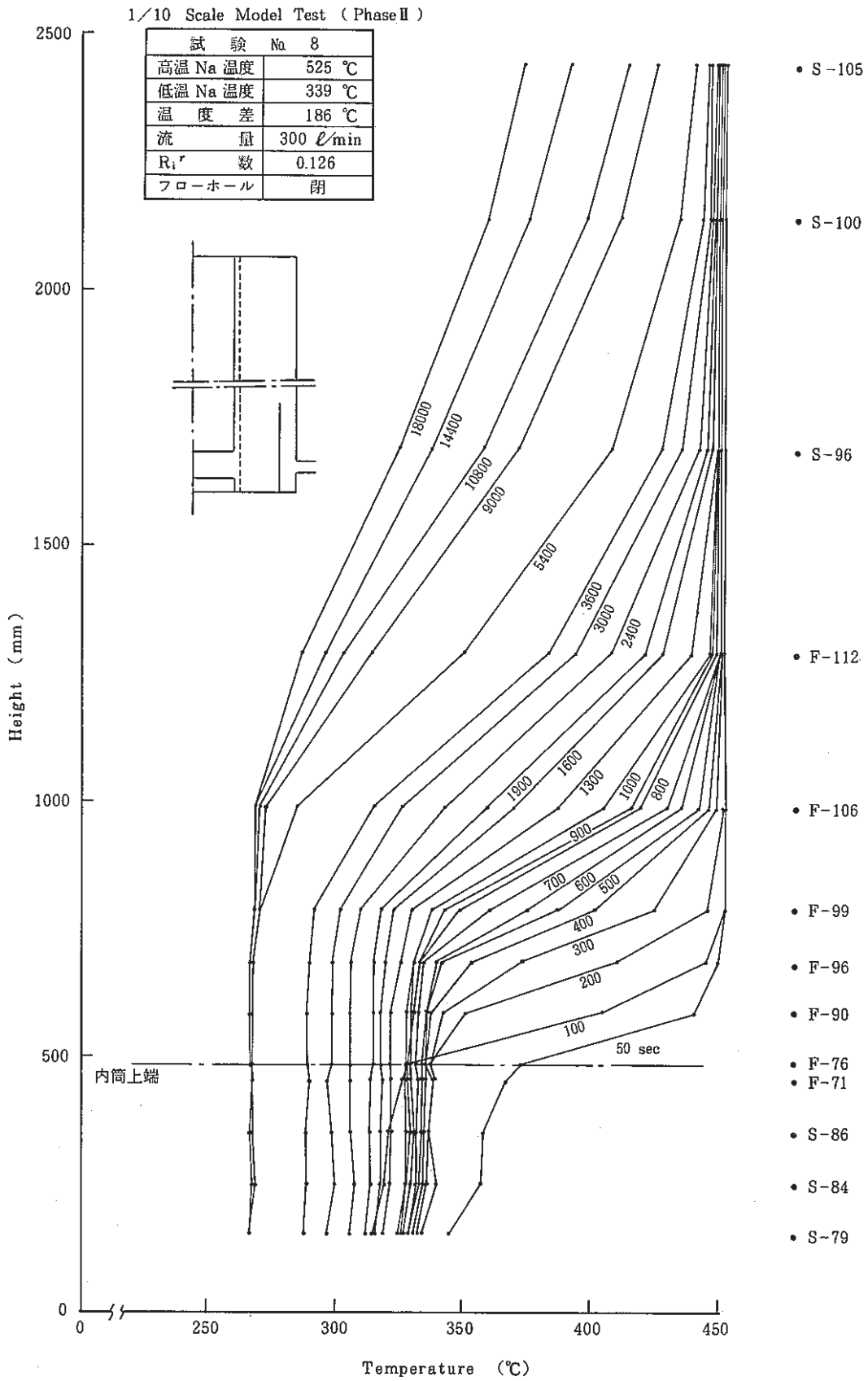


Fig.5 - 52 Axial Temperature Distribution (Test No.8)

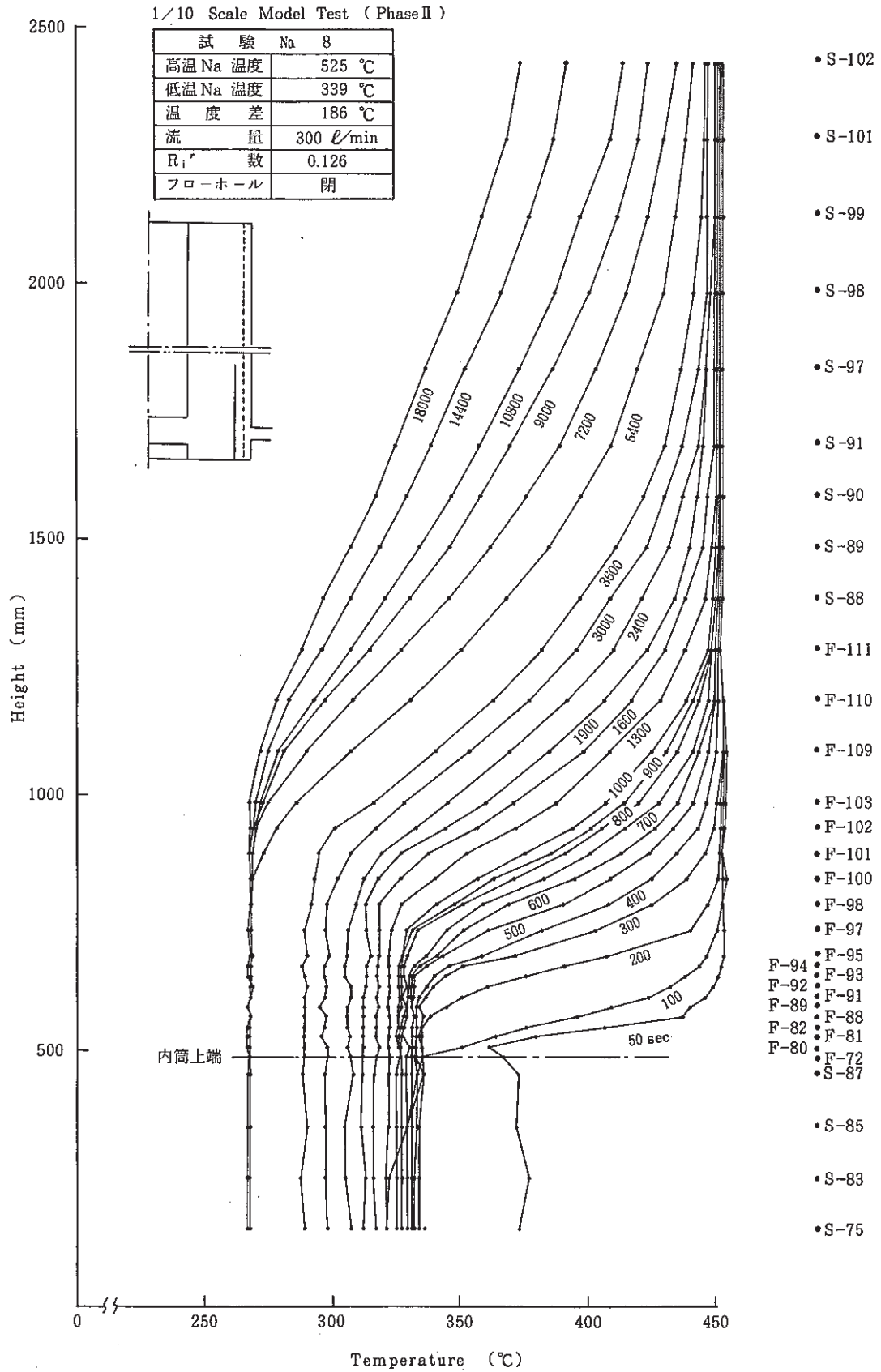


Fig. 5 - 53 Axial Temperature Distribution ( Test No. 8 )



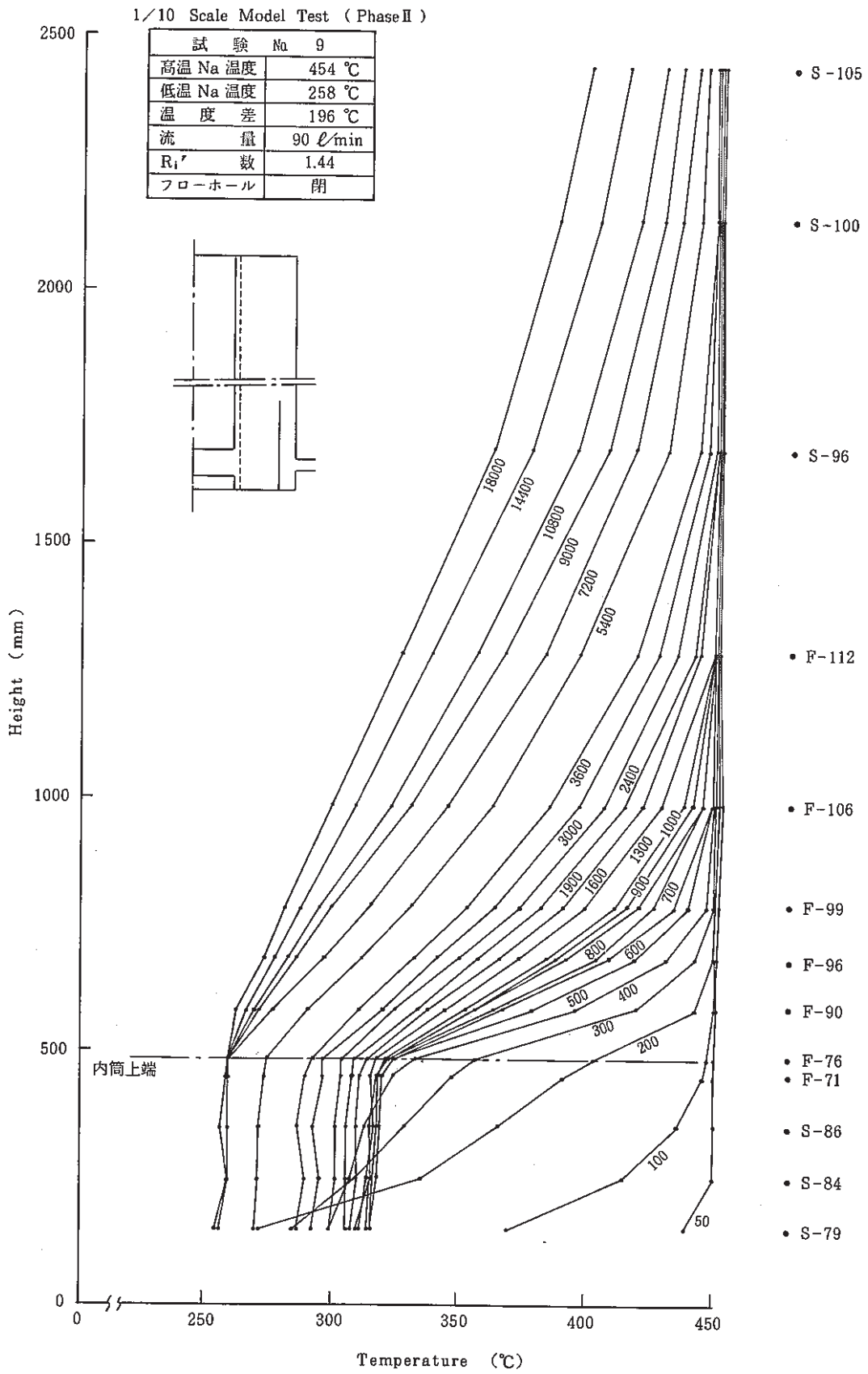


Fig.5 - 54 Axial Temperature Distribution ( Test No.9 )

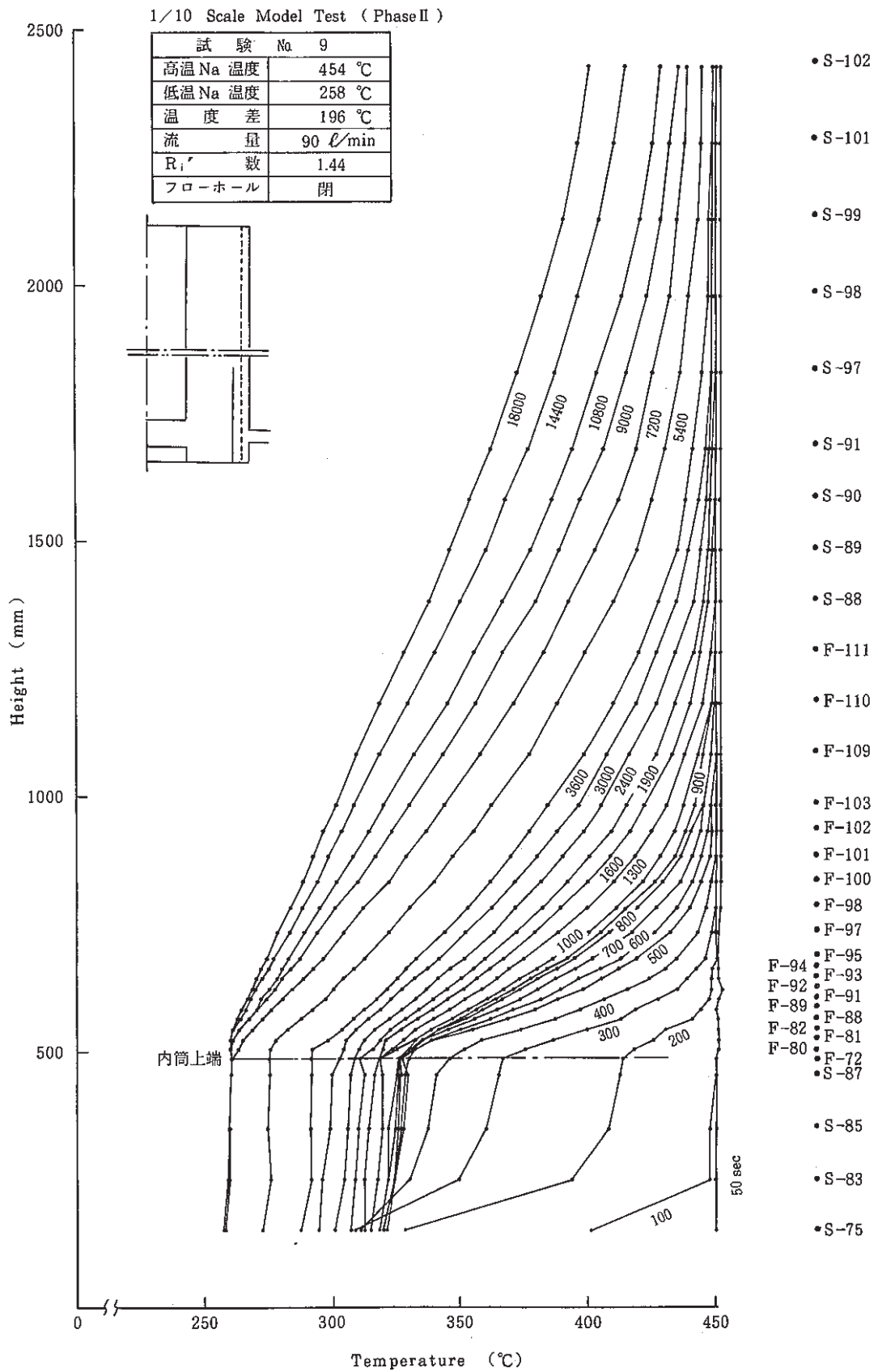


Fig.5 - 55 Axial Temperature Distribution ( Test No.9 )

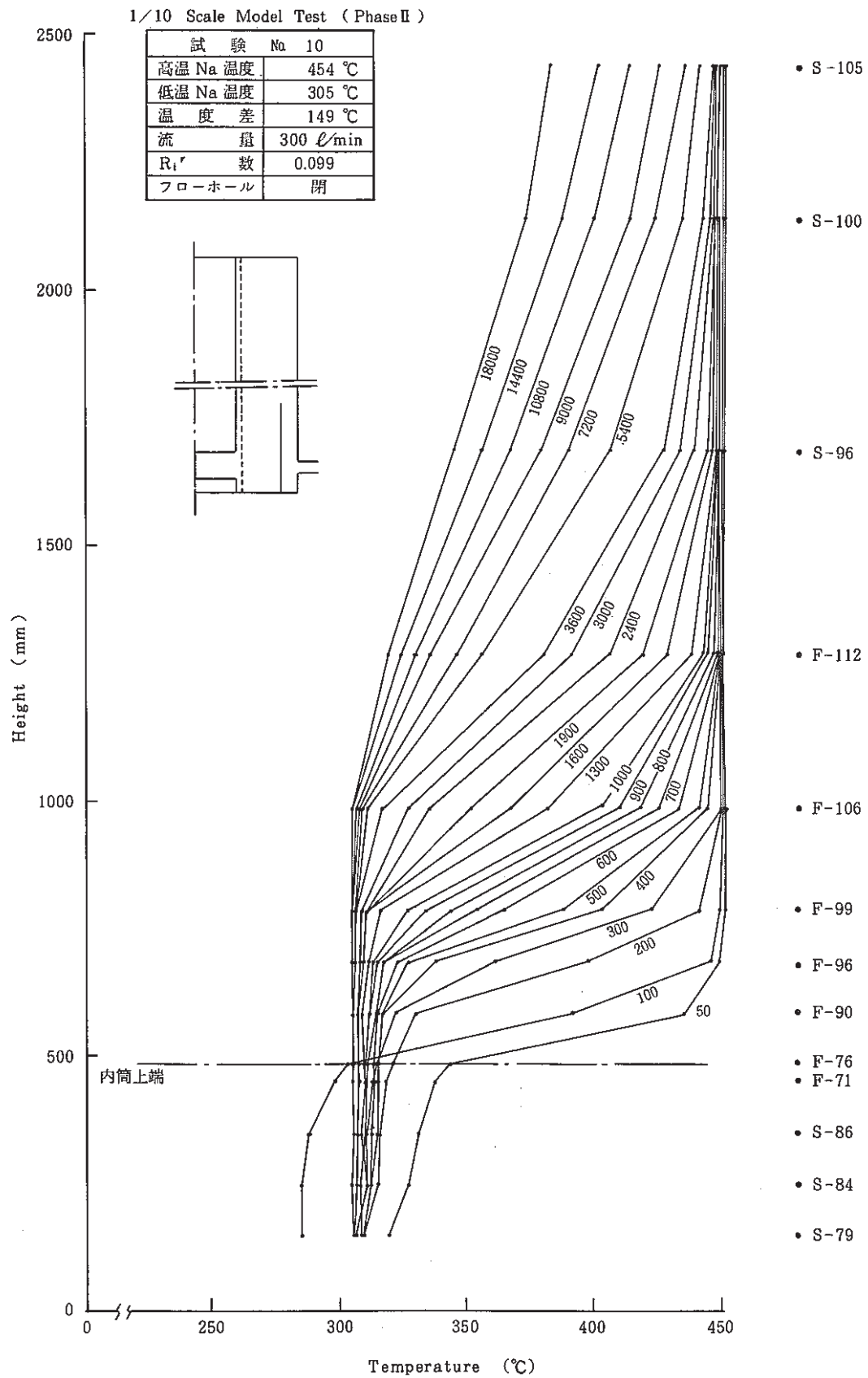


Fig.5 - 56 Axial Temperature Distribution (Test No.10)

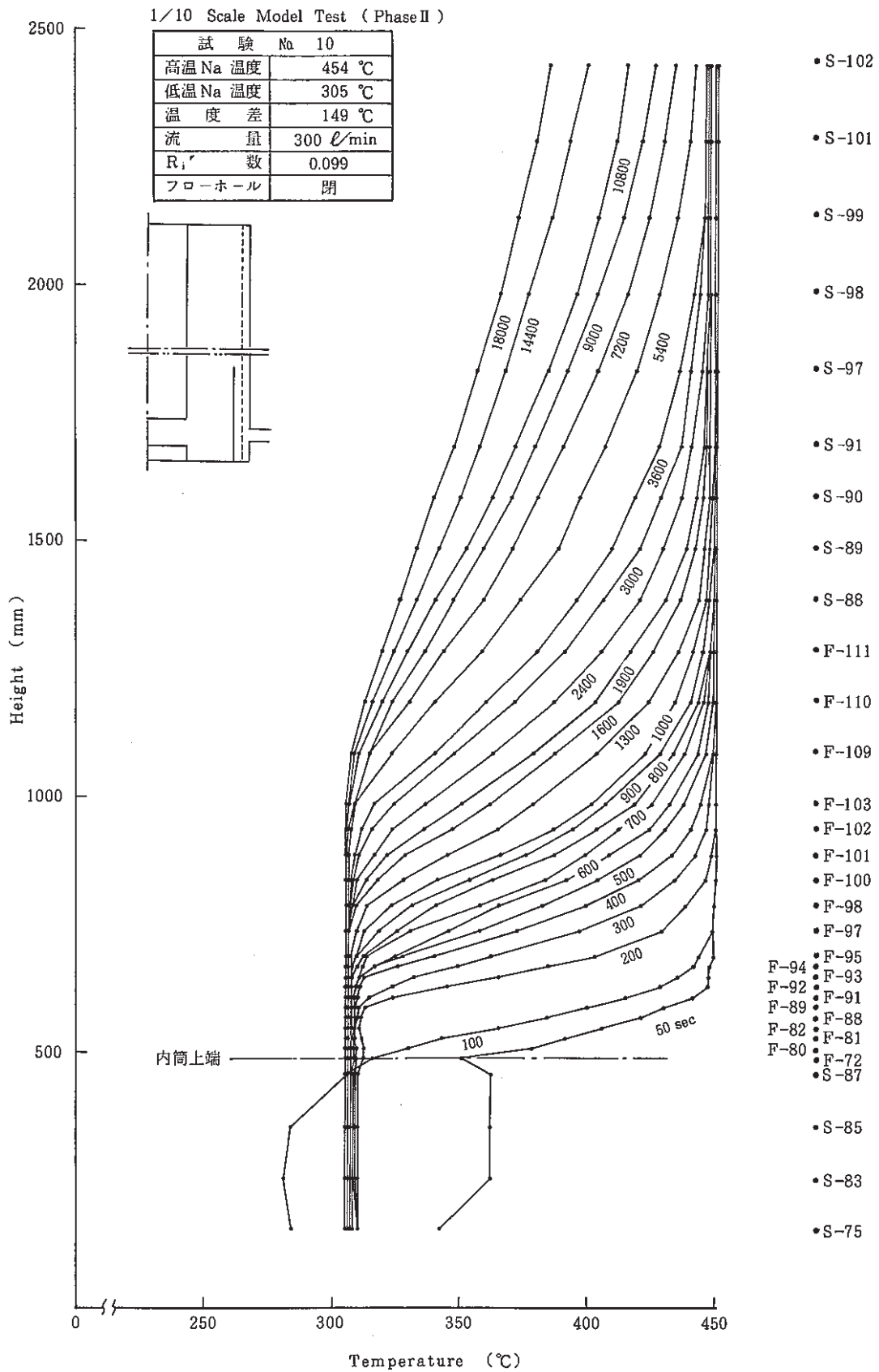


Fig. 5 - 57 Axial Temperature Distribution (Test No.10)

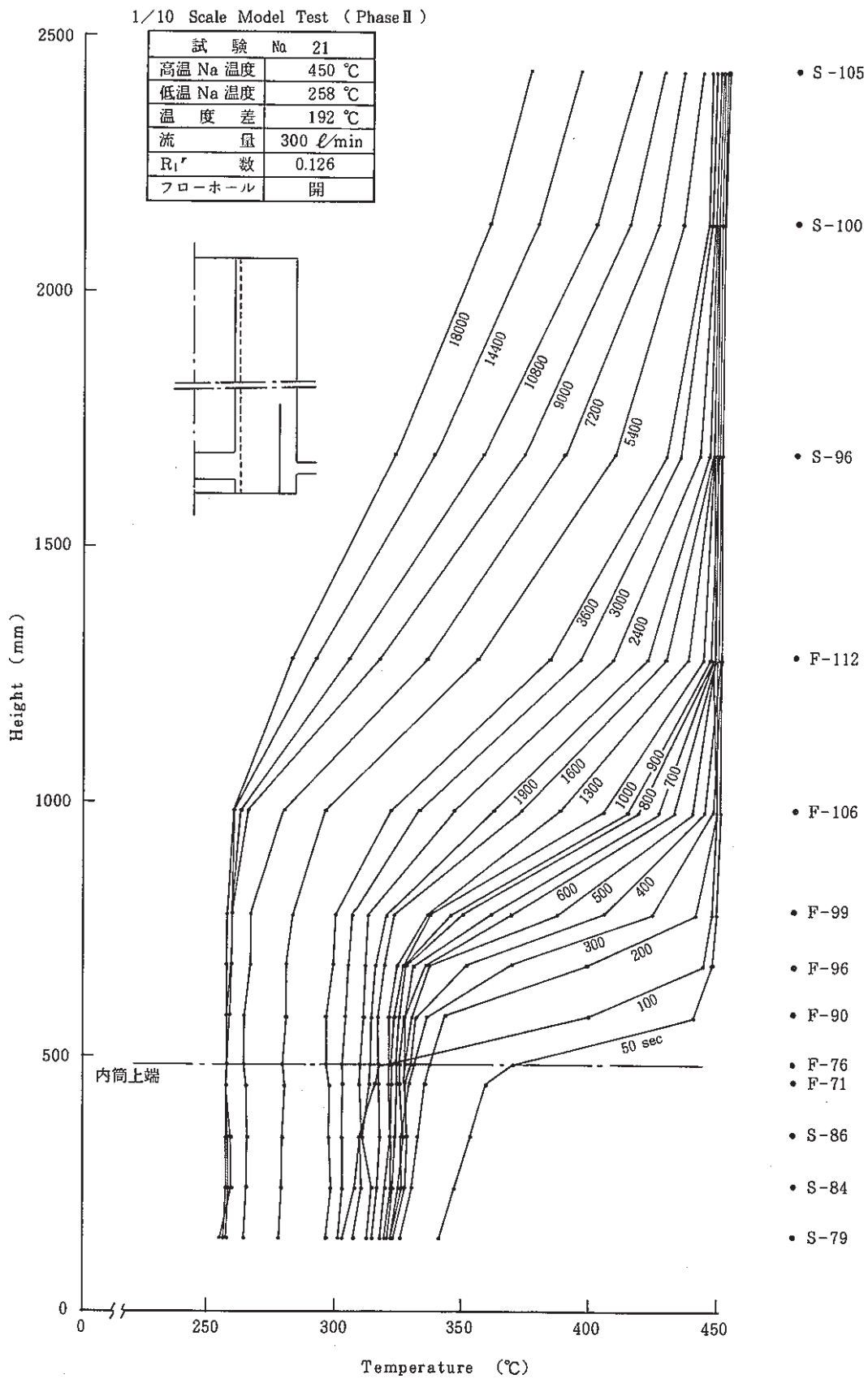


Fig.5 - 58 Axial Temperature Distribution (Test No.21)

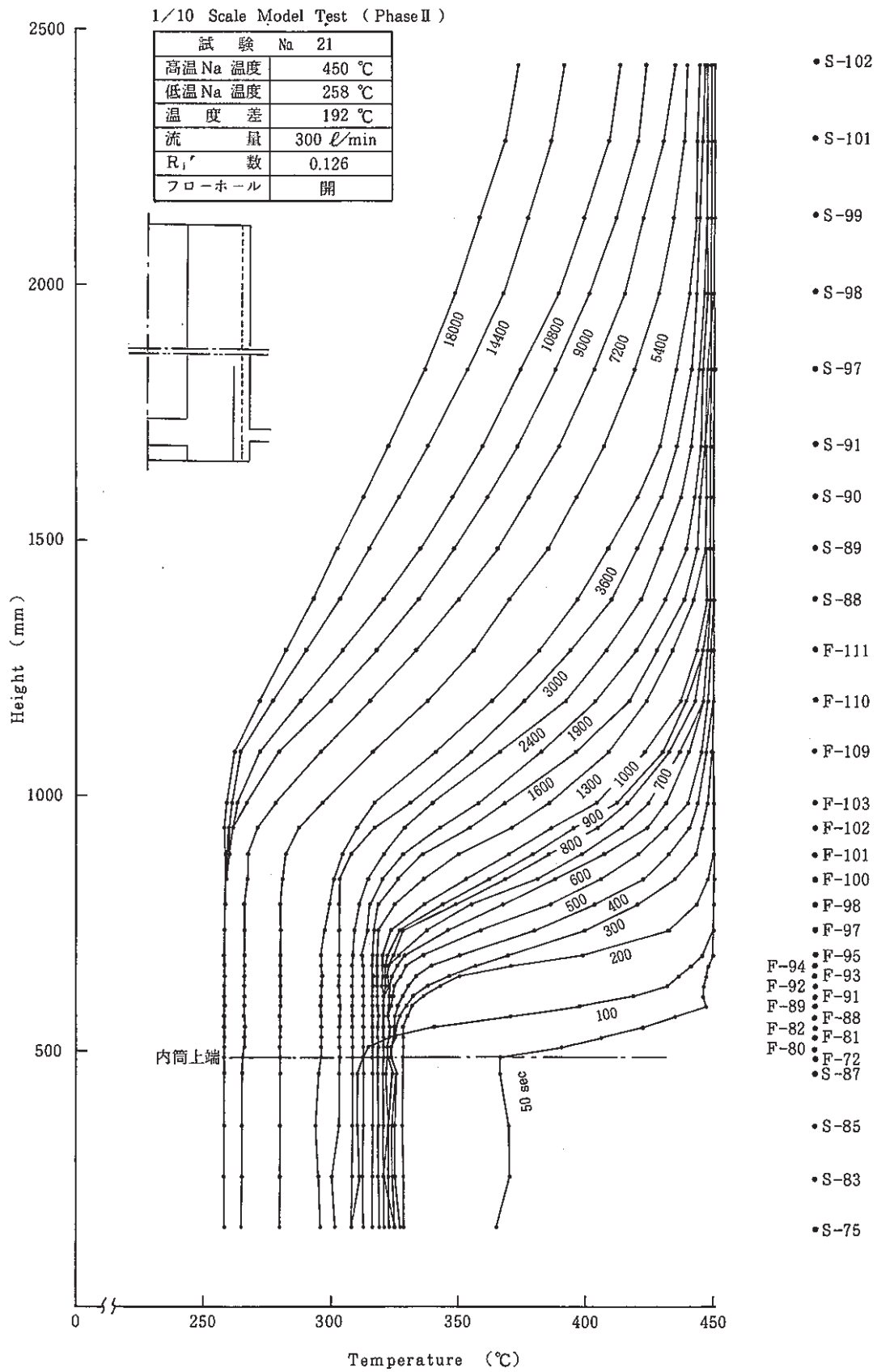


Fig. 5 - 59 Axial Temperature Distribution ( Test No. 21 )

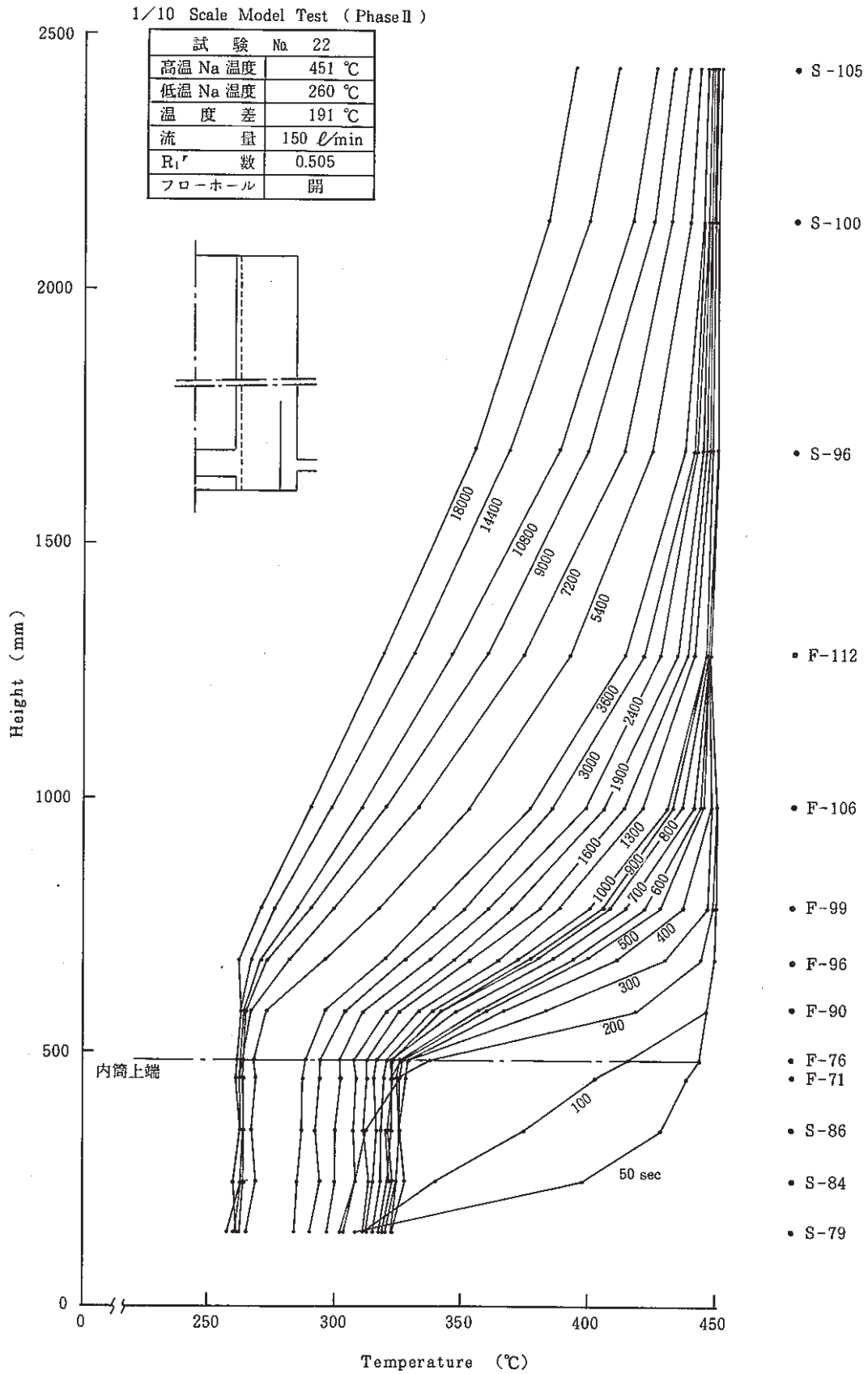


Fig.5 - 60 Axial Temperature Distribution ( Test No 22 )

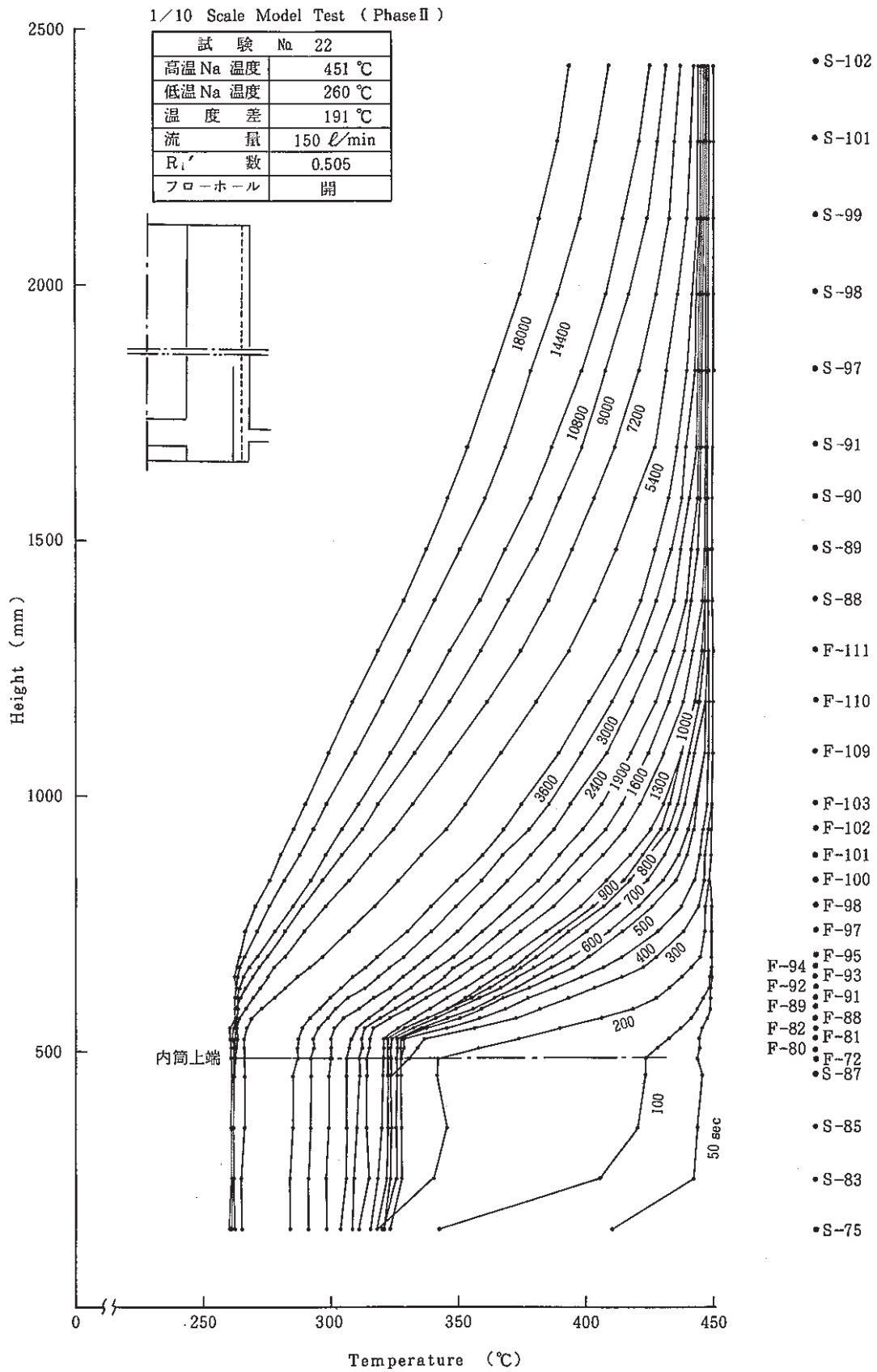


Fig. 5 - 61 Axial Temperature Distribution (Test No. 22)



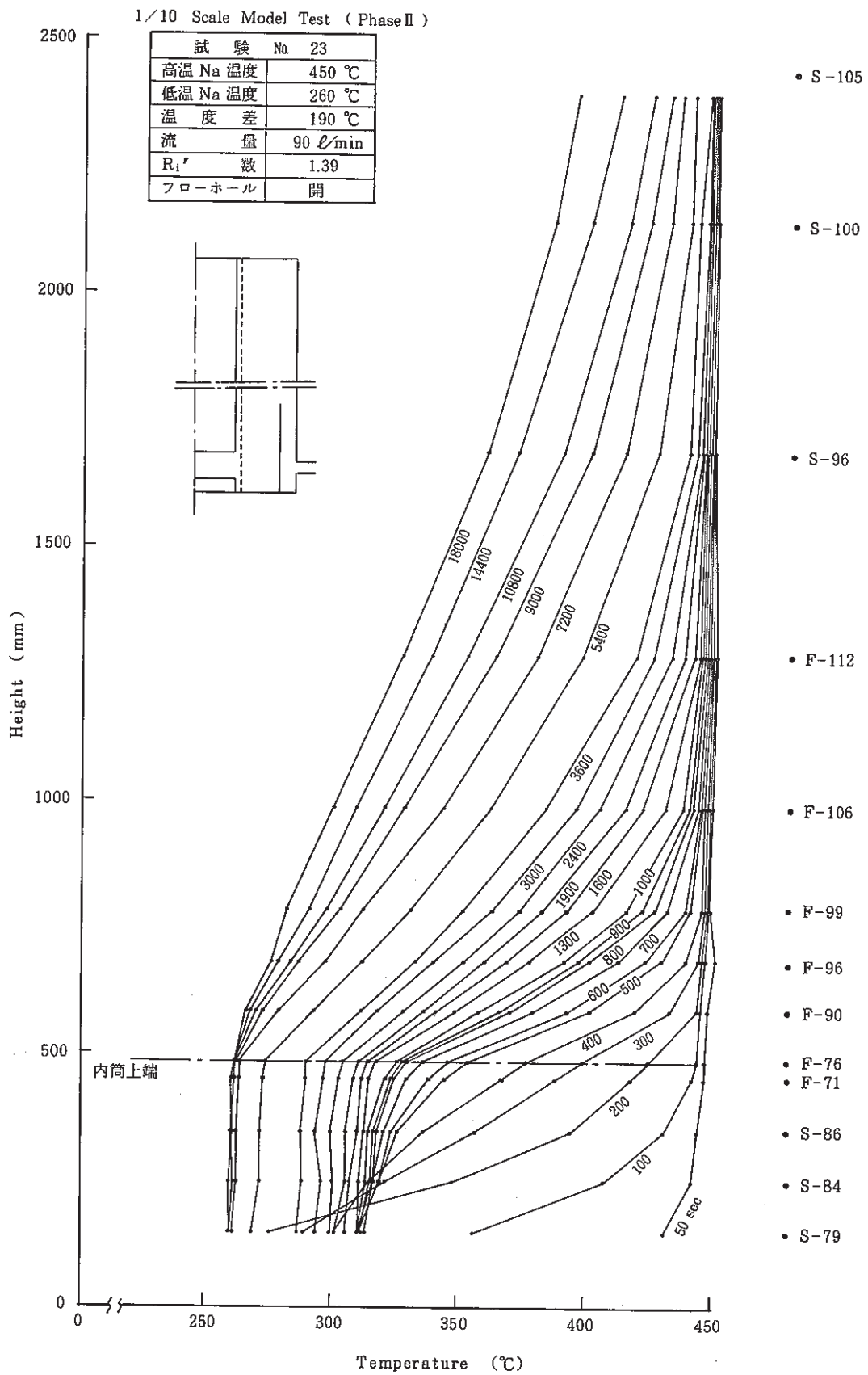


Fig. 5 - 62 Axial Temperature Distribution (Test No. 23.)

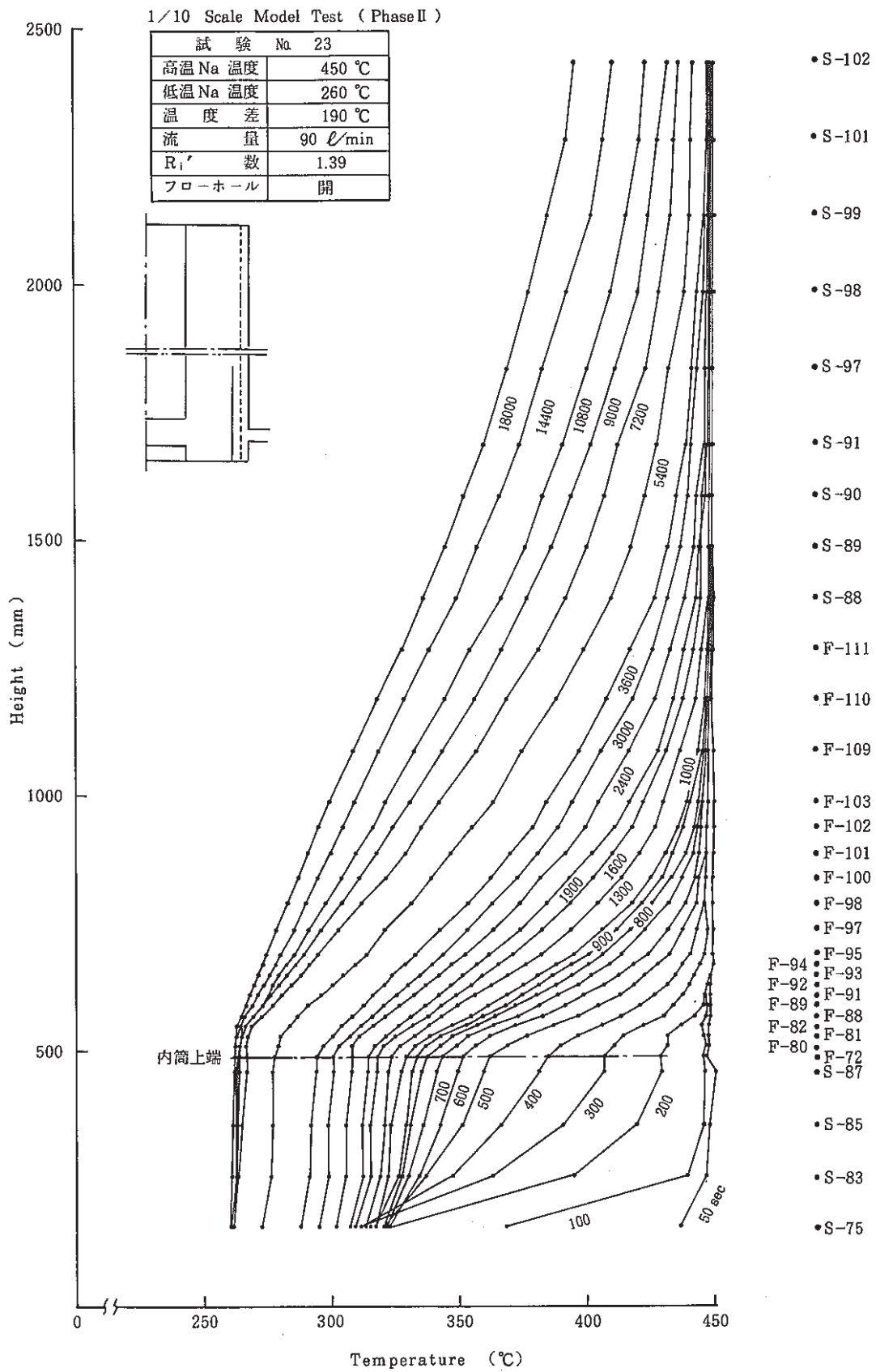


Fig.5 - 63 Axial Temperature Distribution (Test No 23)

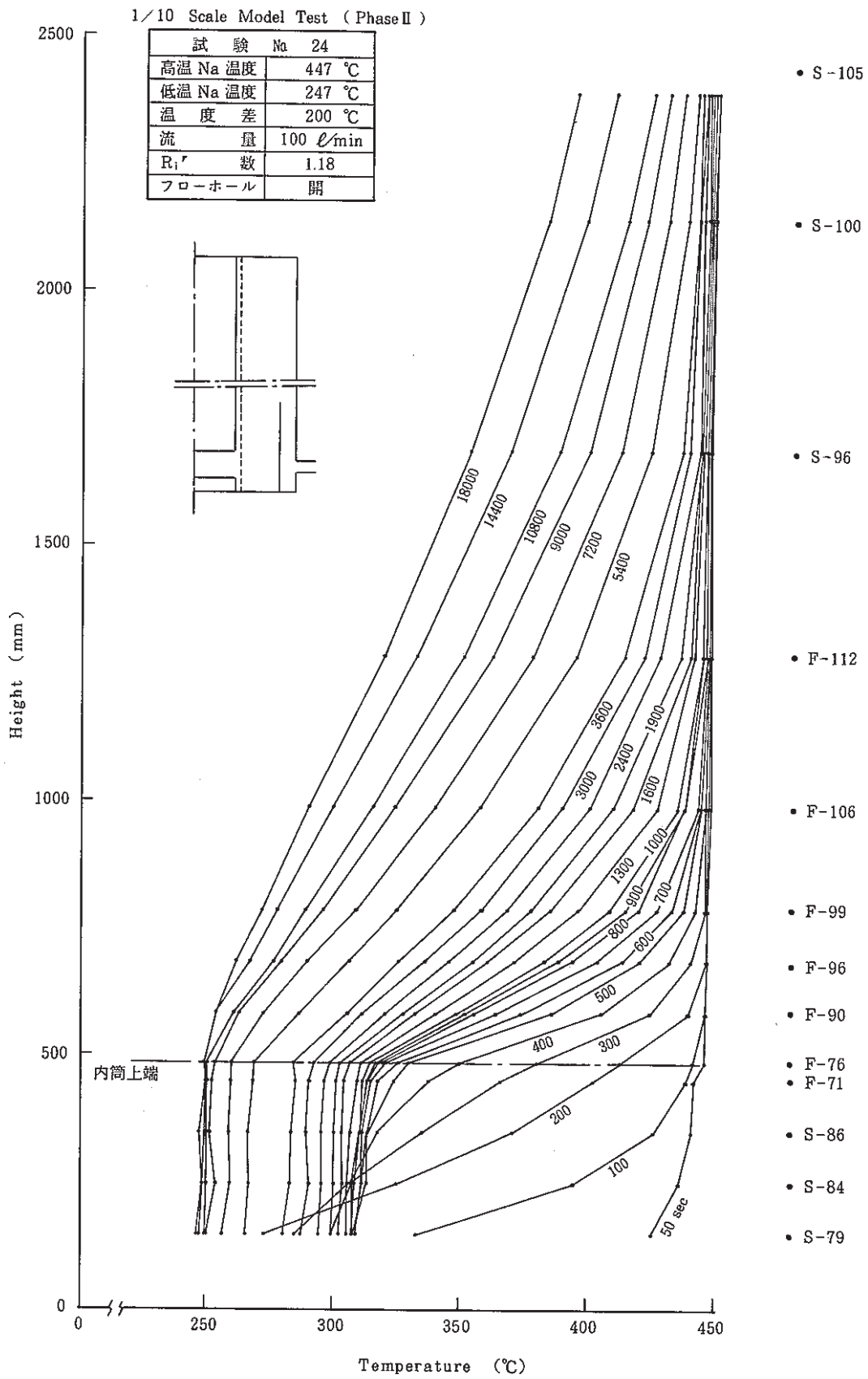


Fig.5 - 64 Axial Temperature Distribution ( Test No.24 )

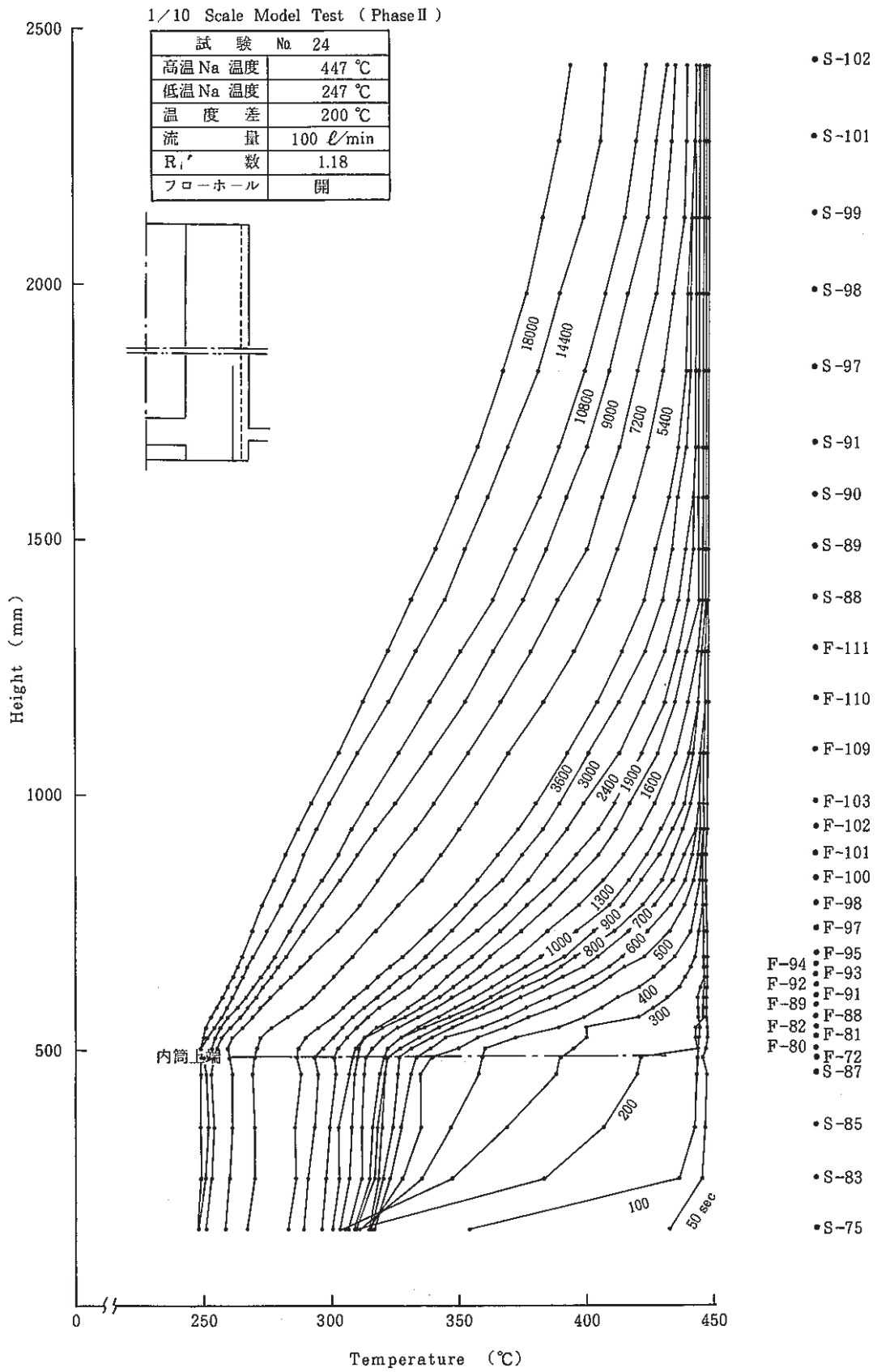


Fig. 5 - 65 Axial Temperature Distribution (Test No. 24)

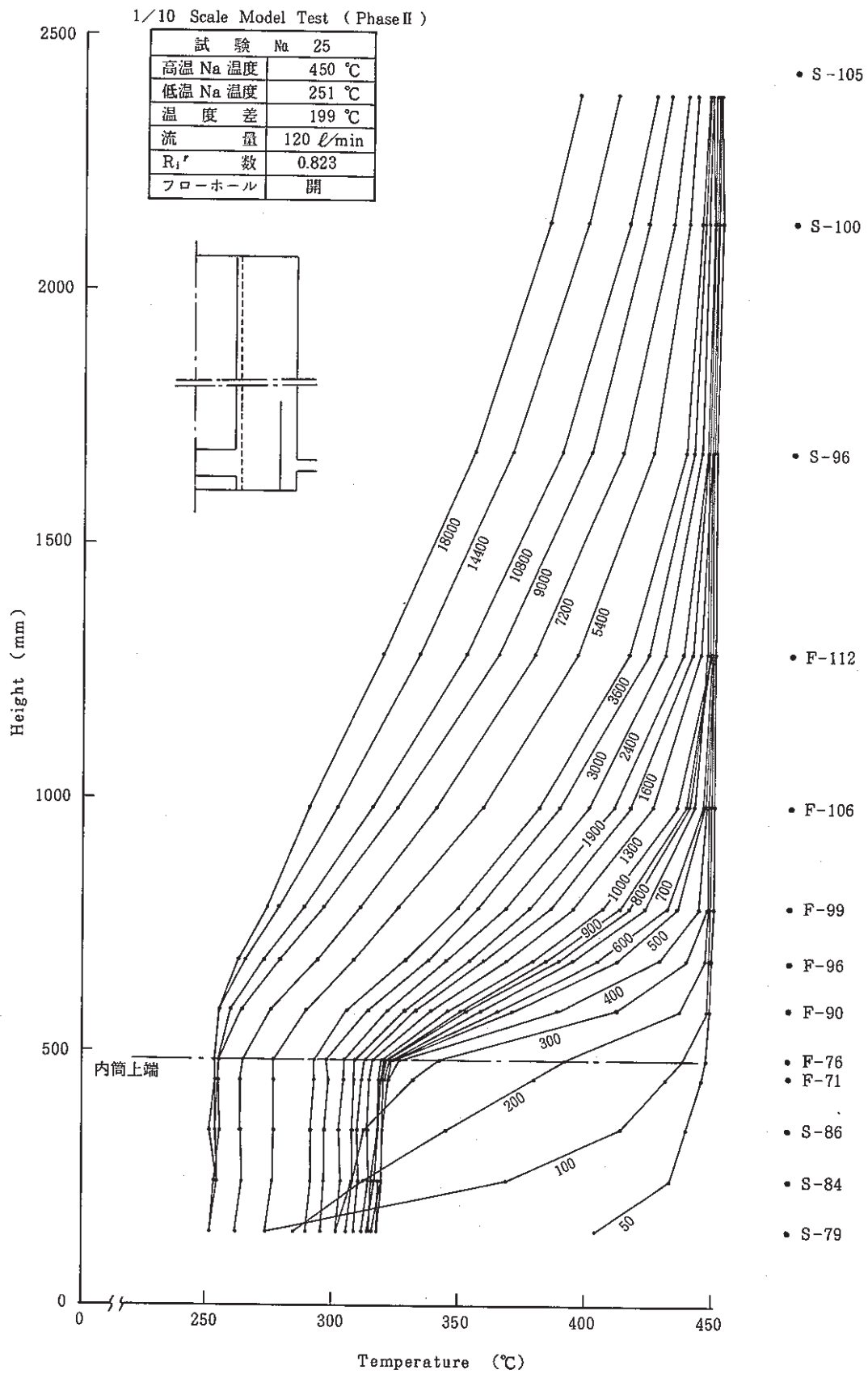


Fig.5 - 66 Axial Temperature Distribution ( Test No.25 )

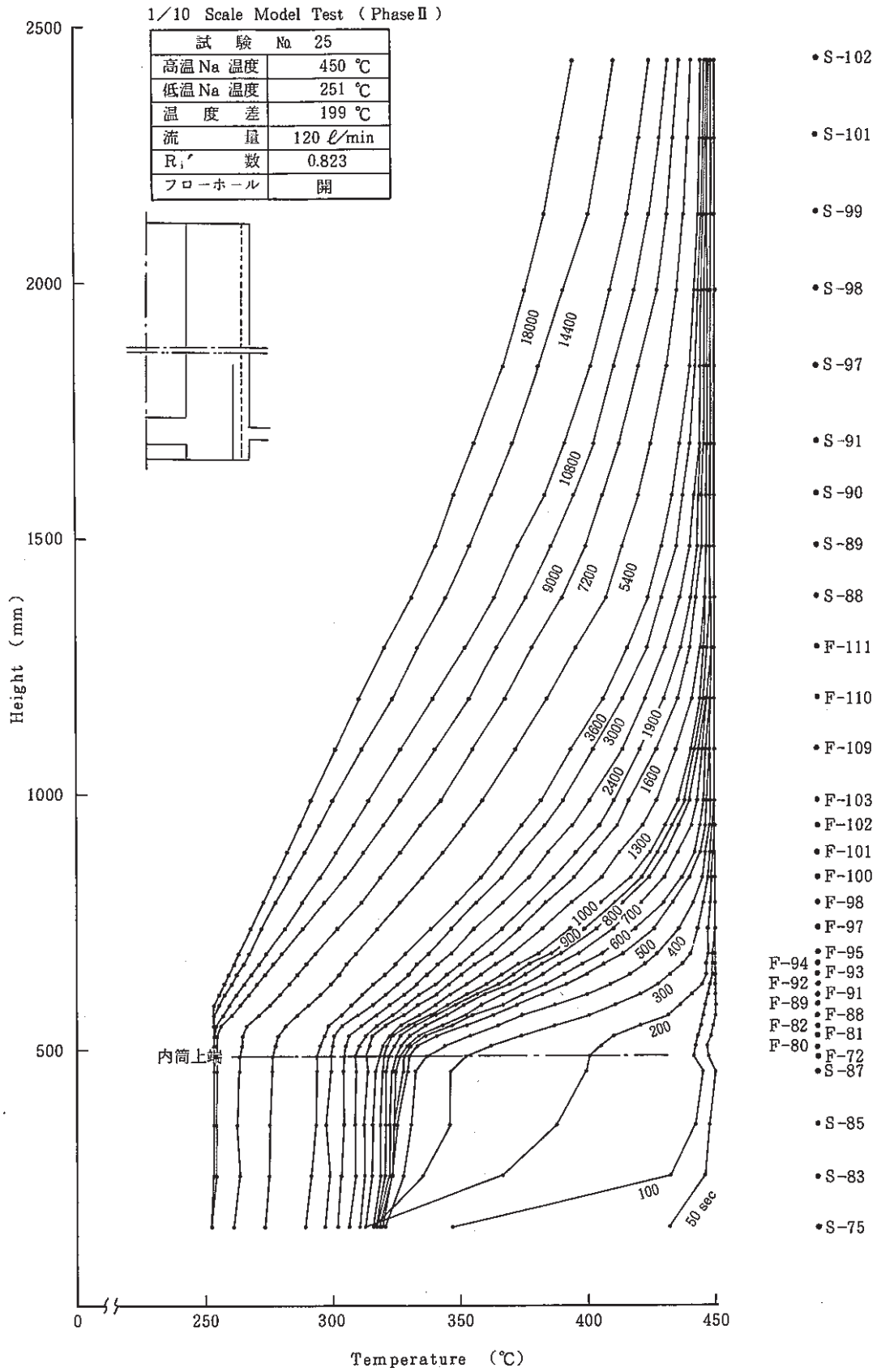


Fig.5 - 67 Axial Temperature Distribution ( Test No.25 )

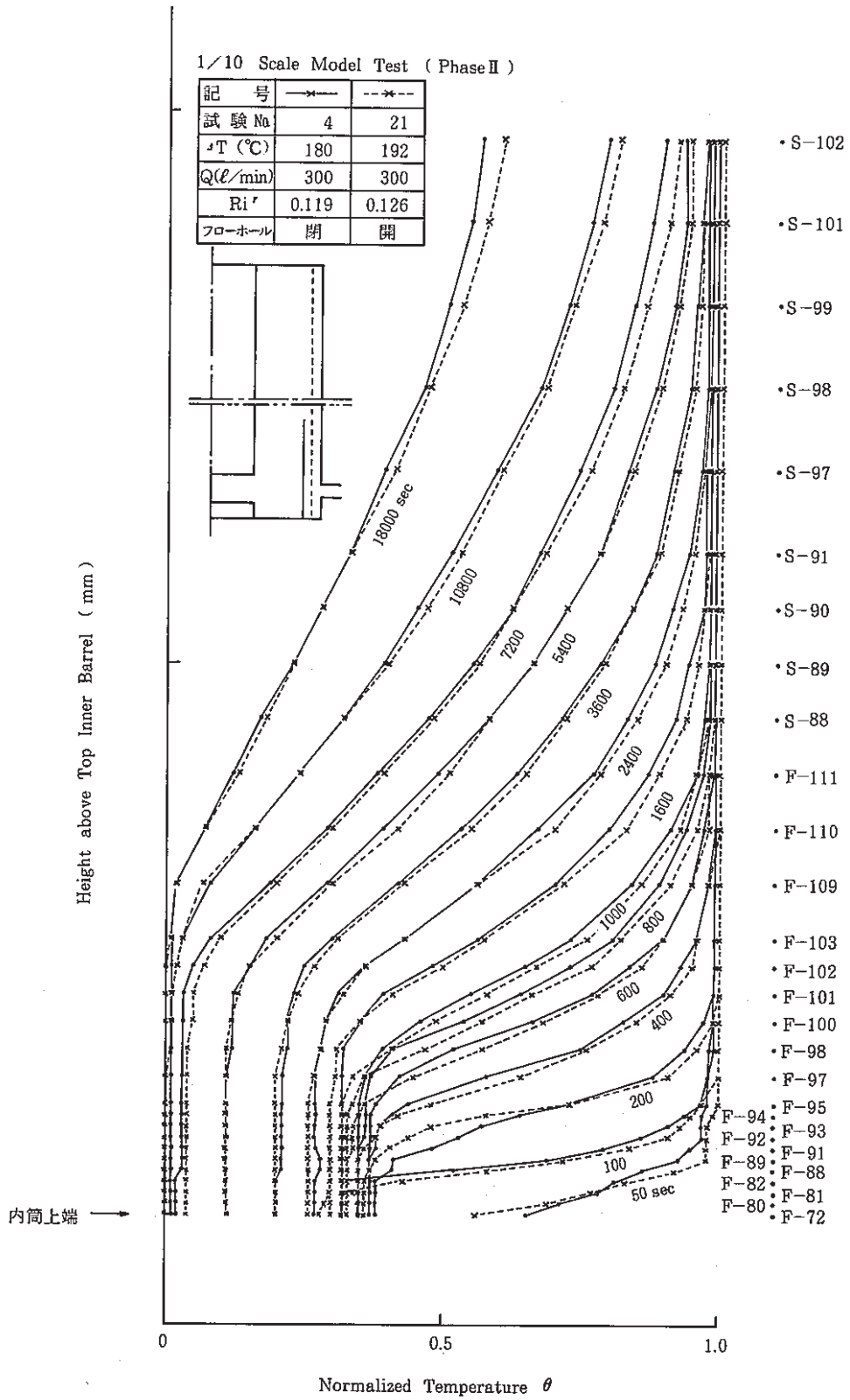


Fig.5 - 68 The Effect of Flow Hole on Axial Temperature Distribution

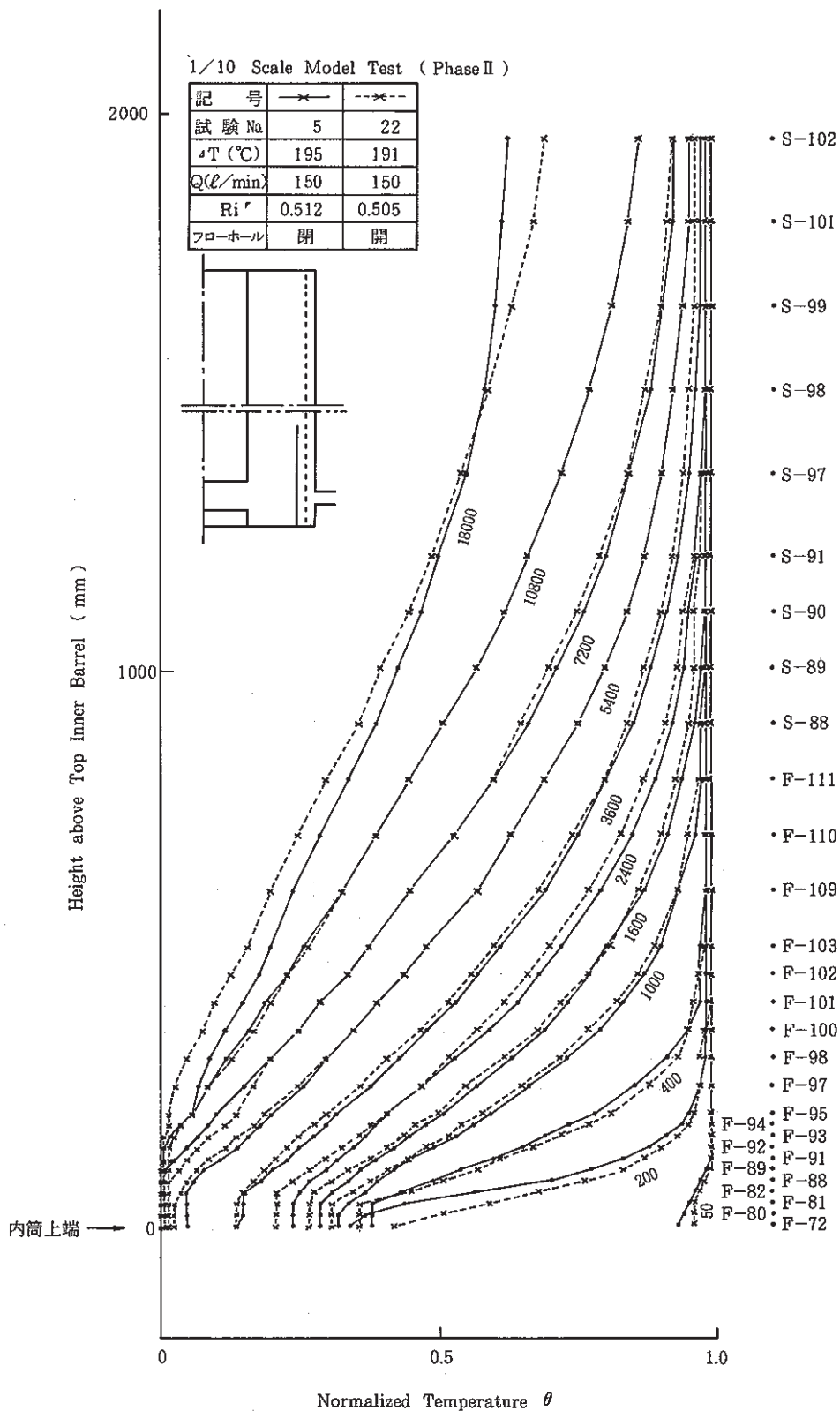


Fig.5 - 69 The Effect of Flow Hole on Axial Temperature Distribution



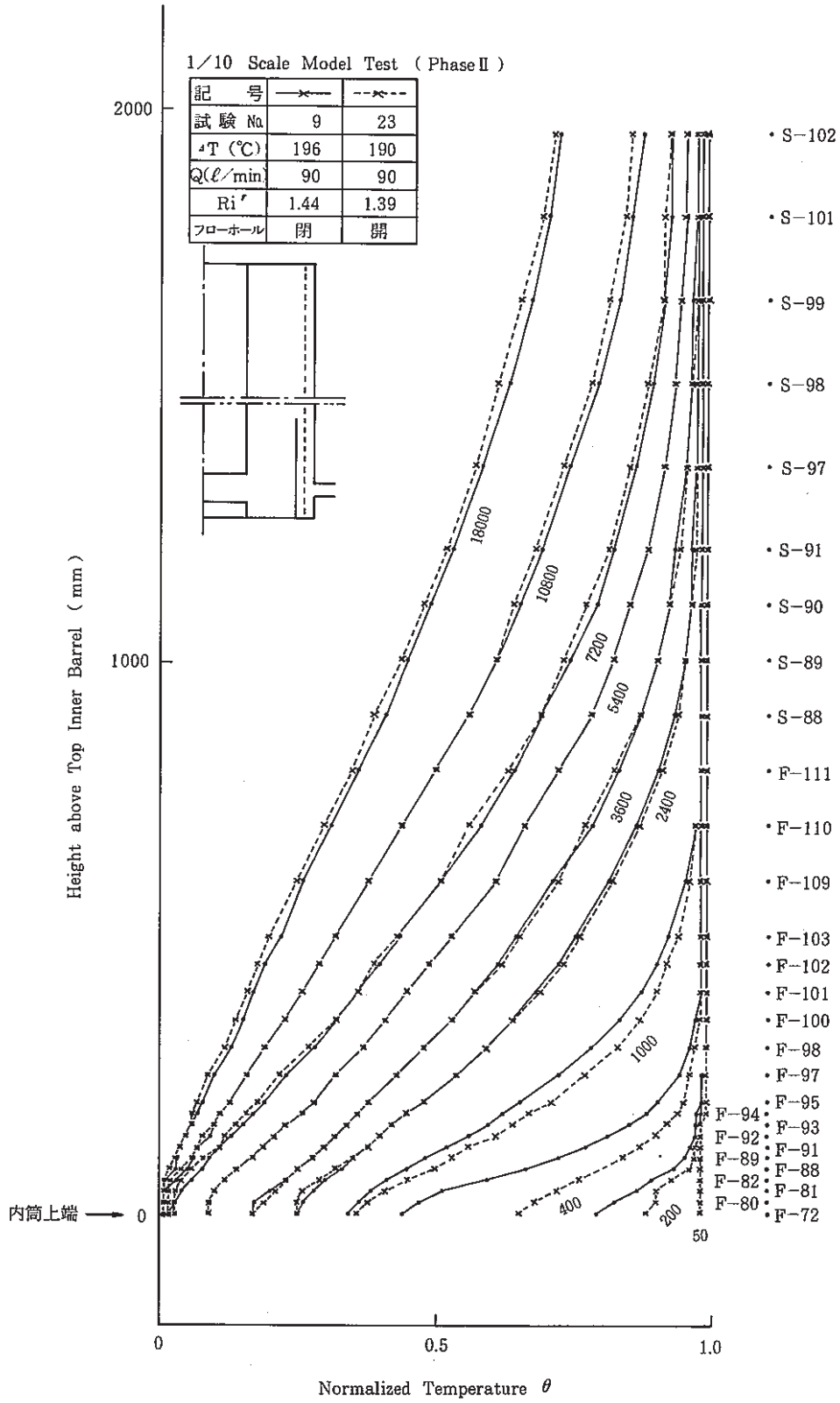


Fig.5 - 70 The Effect of Flow Hole on Axial Temperature Distribution