

JAERI-M
93-019

再処理施設における溶媒火災と
火災に伴うボイルオーバー燃焼の挙動に
関する安全性実証試験
(受託研究)

1993年2月

西尾 軍治・鈴木 元衛・高田 準一・小池 忠雄
塚本 導雄

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公開している研究報告書です。

入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1993

編集兼発行	日本原子力研究所
印刷	日立高速印刷株式会社

再処理施設における溶媒火災と
火災に伴うボイルオーバー燃焼の挙動に関する安全性実証試験

日本原子力研究所東海研究所燃料安全工学部

西尾 軍治・鈴木 元衛・高田 準一

小池 忠雄・塚本 導雄

(1993年1月13日受理)

原研では、科学技術庁の委託を受けて、再処理施設のセル内で想定される急激燃焼がセル換気系の安全性に与える影響について大型装置による安全性実証試験の実施した。本実証試験では、再処理施設の抽出工程において想定されるセル内溶媒火災の状況と火災に伴うボイルオーバー燃焼の挙動を把握した。試験では、再処理モデルプラントを模擬した試験装置を用いて、溶媒火災時の定常燃焼の状況と煤煙によるHEPAフィルタの目詰まり効果を調べた。さらに、溶媒火災時に発生する爆発的なボイルオーバー燃焼の挙動を調べ、燃焼の規模を明らかにした。この報告書に記載された試験データは、セル換気系安全性解析コード(CELVA)の検証に利用されることを念願において整理された。

本報告書は、電源開発促進対策特別会計法に基づき、科学技術庁からの受託によって実施した研究の成果である。

東海研究所：〒319-11 茨城県那珂郡東海村白方字白根2-4

Large-scale Demonstration Tests of Solvent Fire and Boilover
Burning during the Fire in Fuel-reprocessing Plant

Gunji NISHIO, Motoe SUZUKI, Junichi TAKADA
Tadao KOIKE and Michio TUKAMOTO

Department of Fuel Safety Research
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 13, 1993)

The demonstration test of solvent fire was performed in JAERI under auspices of the Science and Technology Agency to evaluate the safety of air-ventilation system in the event of hypothetical fire accident as DBA in a cell of the extraction process of the fuel-reprocessing plant of Japan.

The demonstration test was carried out by focussing on fire behavior in the cell and HEPA filter plugging by smoke under a steady-state burning of solvent, using a large-scale test facility. Also a degree of the explosion due to a boilover burning during the fire was elucidated in the test. Test data in the report intend to use verify a computer code CELVA for the safety evaluation of air-ventilation system in the event of fire accident.

Keywords: Fuel Reprocessing Plant, Solvent Fire, Boilover Burning,
HEPA Filter, Cell, Extraction Process, Demonstration Process,
Smoke

The demonstration test was carried out by Japan Atomic Energy
Institute under entrustment of the Science and Technology Agency.

目 次

1. はじめに	1
2. 試験の方針と目標	2
2.1 試験の方針	2
2.2 試験で対象にする火災事象	2
2.3 試験の目標	3
2.4 試験の方法	3
2.5 試験の内容と条件	4
3. セル換気系実証試験装置	8
3.1 装置の設計方針	9
3.2 試験装置の構成	9
4. 実証試験の結果	26
4.1 予備試験（6段相当の火災）	26
4.2 抽出器1段相当の火災	31
4.3 抽出器3段相当の火災	47
4.4 抽出器5段相当の火災	59
4.5 抽出器6段相当のボイルオーバー燃焼試験	90
4.6 抽出器7段相当の火災	136
4.7 抽出器9段相当の火災	167
5. 実証試験の考察	183
5.1 試験条件	183
5.2 定常燃焼の挙動	183
5.3 非定常燃焼（ボイルオーバー燃焼）の挙動	184
5.4 圧力の挙動	185
5.5 流量の挙動	185
5.6 温度の挙動	185
5.7 HEPA フィルタの差圧挙動	185
5.8 ボイルオーバー燃焼の規模	186
5.9 ボイルオーバー燃焼の規模を規定する要因	188
6. まとめ	206
謝 辞	207
文 献	208

Contents

1. Introduction	1
2. Goal and Test Conditions	2
2.1 Test Aim	2
2.2 Fire to be Object to the Test	2
2.3 Test Goal	3
2.4 Test Methods	3
2.5 Test Conditions	4
3. Large-scale Facility of Air-ventilation	8
3.1 Design of Facility	8
3.2 Construction of Facility	9
4. Results of the Demonstration Test	26
4.1 Preliminary Test(6-stage Fire)	26
4.2 Test of 1-stage Extractor Fire	31
4.3 Test of 3-stages Extractor Fire	47
4.4 Test of 5-stages Extractor Fire	59
4.5 Test of 6-stages Extractor Fire	90
4.6 Test of 7-stages Extractor Fire	136
4.7 Test of 9-stages Extractor Fire	167
5. Discussion of Test Results	183
5.1 Conditions of the Test	183
5.2 Behavior of Steady-state Burning	183
5.3 Behavior of Non-steady State Burning(Boilover Burning)	184
5.4 Pressure Behavior	185
5.5 Flow Rate Behavior	185
5.6 Temperature Behavior	185
5.7 Pressure Drop Behavior of HEPA Filter	185
5.8 Degree of Boilover Burning	186
5.9 Cause of Fire Degree at the Boilover Burning	188
6. Conclusion	206
Acknowledgment	207
References	208

1. はじめに

再処理施設は、万一の事故を想定した場合でも放射性物質が環境に放出しないように多重の防護施設が施されている。これら防護施設の一つとして、再処理施設のセルには「セル換気系」、塔槽類には「槽類換気系」と呼ばれる給排気系が設置されている。これらの換気系には、放射性物質を閉じ込めるための高性能粒子エア（H E P A）フィルタが備えられている。従って、万一の事故の場合に、これらの換気系の安全性が確保できるか、H E P Aフィルタの健全性が維持できるかどうかは、再処理施設の安全性を評価する上で重要な課題になっている。

科学技術庁は、再処理施設の安全性を評価する上で重要と考えられる設計基準事象のうち、有機溶媒火災時のセル換気系の安全性を確認する実証試験を企画し、「再処理施設排気フィルタ事故時安全性実証試験」を昭和56年度に原研に委託した。この実証試験は、昭和60年度に当初目標を達して終了した。再処理施設で溶媒火災を想定した場合には、放射性物質を含む煤煙が換気流に乗ってセル換気系のセルやダクト内を移行し、H E P Aフィルタに捕集される。煤煙の移行は、H E P Aフィルタの健全性に影響を与えることが考えられる。そこで、溶媒火災の実証試験では、①火災の状況、②フィルタの健全性、③放射性物質の移行・沈着などの課題を解明した。この実証試験で取得した試験データと解析結果は、既にJ A E R I - M ⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾と論文^{(6),(7)-(13)}に報告された。

溶媒火災の実証試験を実施した結果、セル内で火災が長時間にわたって継続するとボイルオーバー燃焼と呼ばれる爆発的な急激燃焼が発生し、放射性物質の放出が増大することを見いだした⁽⁸⁾。ボイルオーバー燃焼が発生するとセル内の圧力が一時的に正圧になり、セルからの放射性物質の漏洩が問題になる。科学技術庁は、昭和61年度から再処理施設のセル内で急激燃焼を伴う異常事象が発生した場合でもセル換気系が所定の性能を保ち、その安全性が確保されることを実証するため、「再処理施設セル換気系安全性実証試験」を企画し、原研にその実証試験を委託した。セル換気系安全性実証試験では、再処理施設（実機モデルプラントと呼ぶ）のセル換気系を模擬した耐圧製の大型試験装置を昭和61年度に製作し、62年度に必要な測定系を取り付けて溶媒火災の予備試験を実施した。本格的な試験（ボイルオーバー燃焼と呼ぶ）は63年度から実施し、平成2年度に当初計画の通り試験を終了させた。試験では、溶媒火災に伴うボイルオーバー燃焼をセル内で発生させ、爆発的な燃焼がセル換気系の安全性に与える影響を把握した。この報告書は、昭和62年度から平成2年度まで原研で実施したボイルオーバー燃焼試験の試験データをまとめたものである。

2. 試験の方針と目標

『再処理施設安全審査指針』では、再処理施設の運転時における異常事象の発生防止のため、多重防護の思想に基づいた安全設計が要求されている。また、仮に異常事象が発生したと想定した場合でも、異常事象の事象の拡大を抑制し、事象の影響を緩和して周辺公衆を保護する設計を要求している。

本試験では、再処理施設における運転時の異常な過渡変化を超える事象として考えられる火災事象に焦点を合わせて火災の状況と火災に伴うボイロオーバー燃焼の挙動について安全性を実証する。本章では、試験の方針と目標、試験で対象とする事象の選定及び試験の内容と条件について説明する。

2.1 試験の方針

溶媒火災の安全評価では、抽出工程における30%TBPNードデカン溶媒の火災事象を想定している。溶媒火災における定常燃焼時の挙動については、既に再処理施設排気フィルタ事故時安全性実証試験により終了しているが、溶媒相の下層に水相が存在する場合には、水相が沸騰することにより爆発的なボイロオーバー燃焼が発生することが分かった。そこで、溶媒火災に伴うボイロオーバー燃焼の影響がセル換気系の健全性に及ぼす効果を調べる実証試験を開始した。試験の方針は、セル内で溶媒火災を想定した場合の定常燃焼の状況と火災に伴う爆発的なボイロオーバー燃焼の挙動を把握し、セル換気系の安全性を実証する試験データを得ることである。さらに、取得した試験データは整備中の「セル換気系安全性解析コード(CELVA)」の検証データとして利用する計画である。

2.2 試験で対象にする火災事象

溶媒相の下層に水相が存在する状態で、長時間にわたって溶媒火災が継続すると爆発的なボイロオーバー燃焼が発生する。ボイロオーバー燃焼とは、溶媒相の下層の水相温度が火炎からの熱流により次第に上昇し、沸騰することにより水蒸気の蒸留効果で溶媒の蒸発が急激に促進され、セル内に放出した溶媒ガスが着火して爆発を引き起こす状態を言う。即ち、沸騰によって発生した水蒸気が溶媒相を通過すると、水蒸気蒸留効果により多量の溶媒ガスが気相に放出し、充満した溶媒蒸気がセル内の空気と反応して激しい燃焼が起こる。ボイロオーバー燃焼が起こると火炎は溶媒液面上から上昇してセル全体に広がり、セル内の圧力が一時的に正圧になる。このとき、セルの給気口に設置された逆流防止ダンパ、或いは逆止弁は閉になり、給気が停止して火災は鎮火する。しかし、排風機は稼働しているのでセル内の圧力

は次第に低下し、再びダンパが開になって給気が始まる。この間、セルの内部では溶媒の蒸発は続いており、自然発火点（ $\approx 230^{\circ}\text{C}$ ）以上のホットスポットが存在することから、溶媒ガスと空気の混合気が燃焼限界に達すればボイルオーバー燃焼が繰り返し発生する可能性をもっている。

2. 3 試験の目標

表2. 1にボイルオーバー燃焼試験の実施日程と試験の基本条件を示した。試験では、セル内溶媒火災における定常燃焼の状況を把握すること、ボイルオーバー燃焼が発生した場合の燃焼の規模を解明する計画である。また、ボイルオーバー燃焼に伴って伝播する温度、圧力、流速を試験装置の各部で測定し、セル換気系の安全評価に資する試験データを取得する。さらに、取得した試験データは、本実証試験の一環として整備中の「セル換気系安全性解析コード（CELVA）」の検証用データとして利用する計画である。

ボイルオーバー燃焼試験の目標は以下の通りである。

- (1) セル内溶媒火災時の定常燃焼の状況把握
- (2) 煤煙によるHEPAフィルタの目詰まり効果と健全性の評価
- (3) ボイルオーバー燃焼時の爆発の規模
- (4) セル換気系内の圧力、温度及び流量の伝播と減衰
- (5) 解析コード（CELVA）の検証用データの取得

上記(1)及び(2)については、昭和56年度から60年度にかけて溶媒火災時のセル換気系の安全性実証試験を行って試験データを取得したが、本試験の結果はそのバックアップデータとして利用される。(3)及び(4)の目標は、今回の試験で明らかにする計画である。(5)に記したCELVAは、火災・爆発時の安全性を解析する1次元と3次元の熱流動解析を考慮した放射性物質閉じ込め計算コードである。

2. 4 試験の方法

図2. 1にボイルオーバー燃焼試験の模式図を示す。ボイルオーバー燃焼試験では、セル内に設置した燃焼皿に溶媒と水相を貯え、一定の換気回数（セルへの空気の1時間当たりの置換回数）の基で溶媒を燃焼させ、燃焼速度、圧力、温度、流量などを測定する。また、ボイルオーバー燃焼時の圧力上昇とHEPAフィルターの健全性を調べる。試験のパラメータは、空気の換気回数と抽出器相当段（燃焼皿の大きさ）である。ここで、抽出器相当段とは燃焼皿の液表面積を抽出器の段数として表わした燃焼面積の指標である。なお、1段相当の燃焼皿の液表面積は 0.077m^2 である。

試験の手順は以下の通りである。

- ① フィルタチャンバにハーフサイズのH E P Aフィルタを前段6個、後段6個、合計12個を挿入する。
- ② 抽出器相当段に対応する燃焼皿をセル内に設置し、それぞれ所定体積の30%TBPNードデカンと水相を貯える。
- ③ 排気プロアを稼働して、給気流量及び希釈流量を設定する。
- ④ データ計装系を作動した後、セル、ダクト、排気フィルタなど各区間の初期差圧を測定する。
- ⑤ プロパンバーナーにて溶媒を着火させる。
- ⑥ 溶媒の着火からボイルオーバー燃焼まで、試験装置内の温度、圧力、流速、差圧等の変化を測定し、データ計測系にて収録する。
- ⑦ 収録された生データは大型計算機に送られ、物質収支と熱収支を考慮したプログラムで解析される。試験データは、図形処理化して出力される。

2. 5 試験の内容と条件

表2. 2に昭和62年度から平成2年度まで実施したボイルオーバー燃焼試験の試験マトリックスを示した。実証試験では、セルへの空気の換気回数を30回/h（給気流量=560m³/h）に保ち、抽出器相当段（燃焼皿の大きさ）をパラメータにして試験を実施した。試験では、ボイルオーバー燃焼時にセルやダクト内の圧力、温度、流量がどの程度上昇するか、どのように伝播するか、フィルタにどのような影響を与えるかを確かめる。表中のBOIL2001（6段相当）は、昭和62年度に実施した予備試験である。BOIL20A1（3段相当）は昭和62年度の試験である。また、BOIL3002（1段相当）、3001（6段相当）及び3003（9段相当）は63年度の試験、BOIL4001（5段相当）は平成元年度の試験である。2年度では、5001（5段相当の再試験）、5002（7段相当）、5003（7段相当の再試験）、5004（6段相当の再試験）及び5005（6段相当の再試験）の試験を実施した。これら試験のうち、BOIL3001試験（6段相当）ではボイルオーバー燃焼の規模が最大になった。

表 2. 1 ボイルオーバー燃焼試験の実施日程と基本条件

DL : 第2ダクト長

FT2 : 第2ダクトの流量計オリフィス

RUN No.	実施年月日	基本条件	試験目的
BOIL2001	S. 62. 12. 15	燃焼皿 3 段, 30 回/h DL=50mm, FT2オリフィスあり	3 段燃焼相当の予備試験
BOIL20A1	S. 63. 3. 9	燃焼皿 3 段, 30 回/h DL=10mm, FT2オリフィスなし	3 段燃焼相当の基準試験 ボイルオーバー燃焼の規模
BOIL3001	S. 63. 5. 25	燃焼皿 6 段, 30 回/h DL=10mm, FT2オリフィスなし	6 段燃焼相当の基準試験 ボイルオーバー燃焼の規模
BOIL3002	S. 63. 6. 22	燃焼皿 1 段, 30 回/h DL=10mm, FT2オリフィスなし	1 段燃焼相当の基準試験 ボイルオーバー燃焼の規模
BOIL3003	S. 63. 11. 26	燃焼皿 9 段, 30 回/h DL=10mm, FT2オリフィスなし	9 段燃焼相当の基準試験 ボイルオーバー燃焼の規模
BOIL4001	H. 1. 1. 24	燃焼皿 5 段, 30 回/h DL=10mm, FT2オリフィスなし	5 段燃焼相当の基準試験 ボイルオーバー燃焼の規模
BOIL5001	H. 2. 7. 19	燃焼皿 5 段, 30 回/h DL=10mm, FT2オリフィスなし	BOIL4001 試験 再現性確認
BOIL5002	H. 2. 8. 23	7 段, 30 回/h DL=10mm, FT2オリフィスなし	7 段燃焼相当の基準試験 ボイルオーバー燃焼の規模
BOIL5003	H. 2. 9. 20	7 段, 30 回/h DL=10mm, FT2オリフィスなし	BOIL5002 試験 再現性確認試験
BOIL5004	H. 2. 10. 16	6 段, 30 回/h DL=10mm, FT2オリフィスなし	6 段相当試験の再現性確認 (1)
BOIL5005	H. 2. 12. 11	6 段, 30 回/h DL=10mm, FT2オリフィスなし	6 段相当試験の再現性確認 (2), 初期水温 ~ 65℃

表 2. 2 ボイルオーバー燃焼試験の試験マトリックス

試験 No.	実施日	溶 媒 体 積 (ℓ)								第2ダクト外長(m)			換気回数(回/hr)			試験枚数	備考
		10	30	50	60	70	90	10	50	6	20	30					
B01L2001	S62. 12. 15				○			○				○	1 2		予 備 試 験		
B01L20A1	S63. 3. 9		○					○				○	1 2		3 段 相 当 試 験		
B01L3001	S63. 5. 25				○			○				○	1 2		6 段 相 当 の 標 準 試 験		
B01L3002	S63. 6. 22	○						○				○	1 2		1 段 相 当 試 験		
B01L3003	S63. 11. 16						○	○				○	1 2		9 段 相 当 試 験		
B01L4001	H 1. 1. 24			○				○				○	1 2		5 段 相 当 試 験		
B01L5001	H 2. 7. 19			○				○				○	1 2		B01L4001再現性確認試験		
B01L5002	H 2. 8. 23					○		○				○	1 2		7 段 相 当 試 験		
B01L5003	H 2. 9. 20					○		○				○	1 2		B01L5002再現性確認試験		
B01L5004	H 2. 10. 16				○			○				○	1 2		B01L3001再現性確認試験		
B01L5005	H 2. 12. 11				○			○				○	1 2		B01L5004再現性確認試験		

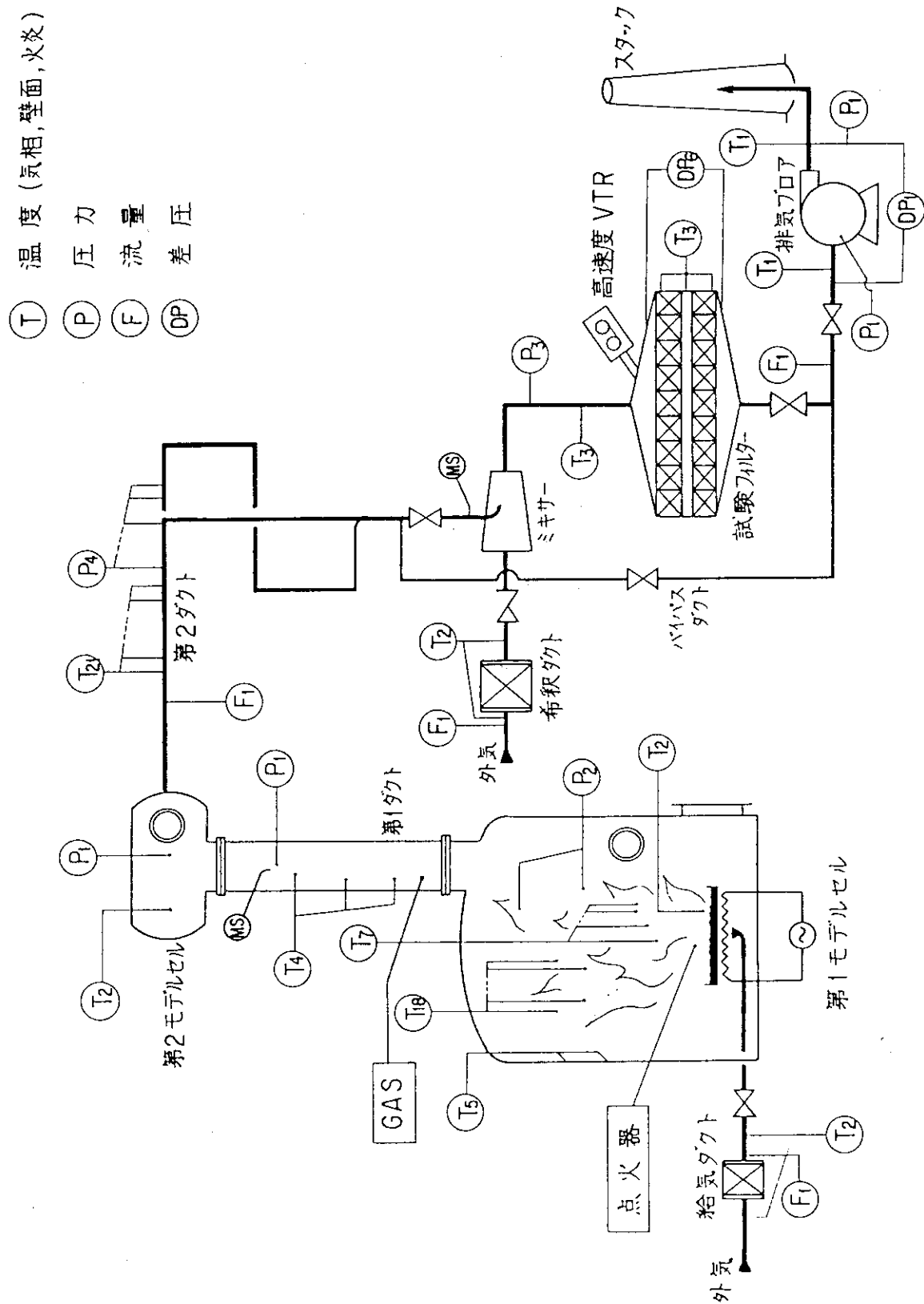


図2.1 ボイラーバーナー燃焼試験模式図

3. セル換気系実証試験装置

再処理施設は多重防護の思想に基づいて設計されており、異常事象の発生の防止や異常事象が発生した場合でも、事象の波及や拡大を抑制する機能を備えている。また、仮に事象が拡大したと想定した場合でも、事象の拡大を緩和する設計が要求されている。そこで、試験装置は実機モデルプラントの抽出工程セルとセル換気系を参考にして設計とした。この章では、試験装置の設計方針、試験装置と実機モデルプラントの諸元、試験装置の構成について説明する。

3. 1 装置の設計方針

試験装置の設計方針は、実機モデルプラントの抽出セルとセル換気系の構造と寸法を縮小・模擬したものとする。試験の条件は爆発現象を伴うので、試験装置のセル、ダクト及びフィルタチャンバーは耐圧構造とした。燃焼皿の寸法は、抽出器（ミキサセトラ）の段数を模擬する。測定系は、定常燃焼時の試験データを取得するデータ収録系と爆発時の試験データを取得する高速データ収録系からなっている。計測系からのデータは、大型計算機を用いて計算処理し、結果を図形化して出力する。

図3. 1に「セル換気系実証試験装置」の鳥瞰図を示す。試験装置は、空気をセル内に供給する給気ダクト、事象を発生させる第1モデルセル、大口径の第1ダクト、第1ダクトと連結する第2モデルセル、第2ダクト、他のセルからの空気の流入を模擬した希釈ダクト、第2ダクトと希釈ダクトの合流点（ミキサー）、ミキサーから試験用フィルタまでの第3ダクト、H E P Aフィルタチャンバー、排気ダクト、フロア及びスタックから構成されている。試験装置には、装置を運転するための計装系と試験データ取得に必要な測定系が設置されている。測定センサーからのデータの信号は、高速プロセス計測系とデータ集録装置でサンプリングされ、大型電算機により計算処理される。

試験装置の第1モデルセルは、実機モデルプラントの抽出セル（約 80 m^3 ）の $1/4$ 規模とした。実機モデルプラントの抽出セルには、核燃料と放射性物質を分離するミキサセトラ型の抽出器と抽出後の水相に混入した残存T B Pを洗浄する希釈剤洗浄器が設置されている。ミキサセトラを模擬した燃焼皿は、抽出器1段相当から9段相当まで用意した。表3. 1に実機モデルプラントの抽出器と希釈剤洗浄器の諸元を示す。表3. 2に第1モデルセルと実機モデルプラントの抽出セルについて寸法の比較、燃焼皿とミキサセトラの諸元を示した。表3. 3に燃焼皿の寸法を示した。表中の燃焼皿の寸法は、実機モデルプラントのセル体積と抽出器（希釈剤

洗浄器を含む)の液表面積の比率が第1モデルセルの体積と燃焼皿の液表面積の比率に等しくなるように決定した。なお、燃焼皿の高さとフリーポート(溶媒や水相と接触していない自由壁面)の高さはミキサセトラと同一である。

試験装置は、実機モデルプラントのセル換気系の構造と形状を模擬している。また、装置内の各位置には圧力、温度及び流量が測定できる各種の測定センサー類が備えられている。給気ダクトには流体の逆流を防止するための逆止弁が、希釈ダクトには実機モデルプラントの逆流防止ダンパと同じ構造をもつ耐圧製のダンパが据え付けられている。試験装置には、実機モデルプラントのフィルタチャンバと同一仕様のチャンバが1基設置されている。排気ブローは、実機モデルプラントで使用されている遠心ターボ型排風機を採用した。

3. 2 試験装置の構成

図3. 2に試験装置のフローシートを、図3. 3に試験装置の空気の流入と燃焼ガスの流れ及び各種機器の相互関係を示した。

(1) 第1モデルセル

第1モデルセルは、内径3 m ϕ 、胴長約2. 7 m、体積18. 6 m³のステンレス鋼製(SUS-304)耐圧円筒型セル(耐圧: 300 kPa、耐熱: 420℃)である。円筒型セルの耐圧殻には、壁への熱流を遮蔽するための熱反射板が張られている。図3. 4に第1モデルセルの寸法、図3. 5に給気ラインの構造と寸法及びコントロール弁と逆止弁の位置を示した。図3. 6には、第1モデルセル内の温度センサーと圧力センサーの位置を示した。

(2) 第1ダクト及び第2モデルセル

実機モデルプラントの抽出セルには排気ラインを兼ねた貫通スリーブが設置されている。抽出セルに給気された空気は貫通スリーブから排気され、第2のセルに入る。試験装置の第1ダクトはこの貫通スリーブを模擬したものであり、第2モデルセルは第2セルを模擬したものである。第1ダクトは400 A $\times$ 5 m Hの円筒ダクトであり、第2モデルセルは1. 6 m ϕ $\times$ 4 m L(容積7. 4 m³)の横置円筒形容器である。図3. 7に第1ダクトと第2モデルセルの形状と寸法及びセンサーの位置を示した。

(3) 第2ダクト

第2ダクトは、第1モデルセル内で発生したボイルオーバー燃焼に起因した圧力、温度、流速の伝播と減衰効果を調べる10 mの円筒配管(200 A)である。図3. 8にダクトの形状と寸法及びセンサーの配置位置を示した。

(4) 希釈ダクト

実機モデルプラントのフィルタチャンバには、多くのセルから大量の空気が流れ

込む。希釈ダクトは、他セルから流れ込む流量を模擬するために設置した配管（600A）である。希釈ダクトの入口には、流体の逆流を防止する逆流防止ダンパーと給気用のエアフィルタが設置されている。なお、第2ダクトと希釈ダクトの合流点はミキサーと呼ぶ。図3. 9に希釈ダクトの寸法及びフィルタチェンバー、排気ブロア、センサーの位置を示した。

（5）第3ダクトと排気ダクト

ミキサーからフィルタチェンバーまでの配管（600A）を第3ダクト、フィルタチェンバーから排気ブロアまでの配管（600A）を排気ダクトと呼ぶ。図3. 9には、第3ダクトと排気ダクトの寸法、フィルタチェンバーとセンサーの位置を示した。

（6）フィルタチェンバーとHEPAフィルタ

図3. 10にフィルタチェンバーの構造と寸法を示した。試験に使用したHEPAフィルタは、実機モデルプラントで使用されているフィルタと同一仕様である。試験において、ハーフサイズ（ $610^B\text{mm} \times 305^W\text{mm} \times 292\text{mm}^t$ ）のHEPAフィルタを使用する場合には、チャンバの前段と後段に各6台（計12台）を、フルサイズ（ $610^B\text{mm} \times 610^W\text{mm} \times 292\text{mm}^t$ ）のフィルタを使用する場合には、前段と後段に各3台（計6台）を取付ける。

（7）排気ブロア

排気ブロアは遠心ターボ型の排風機である。図3. 11に試験装置に据え付けた排気ブロアの差圧／流量の特性曲線を示した。

（8）データ測定システム

測定システムは、温度、圧力、差圧、流量、フィルタの差圧を測定するセンサー類、燃焼ガスの分析計、排風機の軸トルクと回転数の測定器、排風機モータ電流と電圧の測定器、及びフィルタの動きを観察する高速ビデオ撮影機からなっている。

（9）データ収録システム

測定センサーからのデータは、データ収録システムに集録される。データ収録システムのサンプリングは最大116チャンネル、バッファメモリーは最大4Mワード、サンプリング速度は最高 $\sim 0.4\text{ms}/\text{ch.}$ である。データ収録システムに記憶された測定データは、大型計算機に転送される。

（10）データ処理ソフトウェア

転送された測定データは、大型計算機により周波数スペクトル操作と最小二乗法によるノイズ除去を行い、熱収支と物質収支の計算の後、図形処理されて出力される。

表 3.1 実機プラントの抽出器と洗浄器の寸法

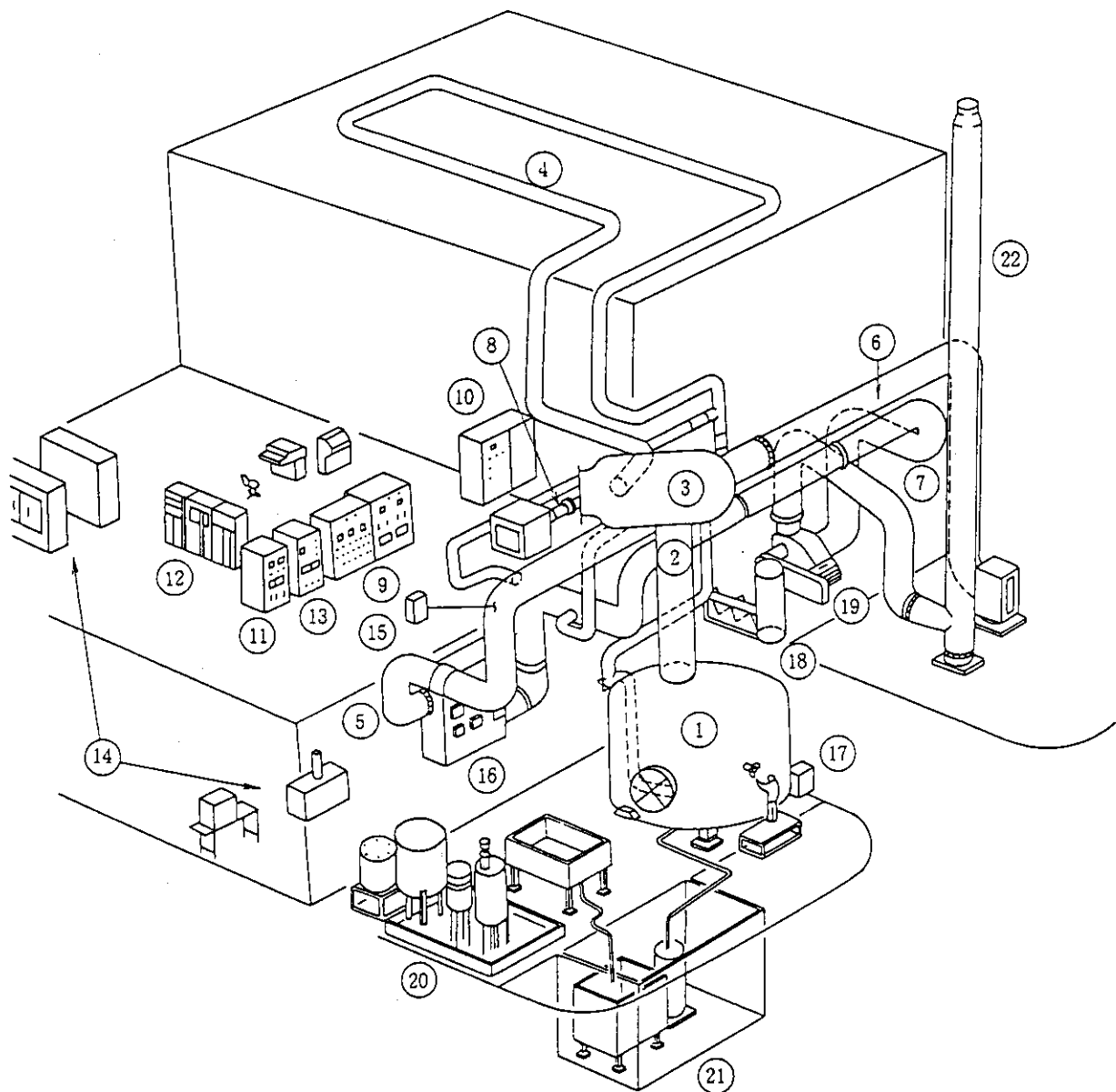
	溶媒相 体 積	水相 体 積	溶媒相体積 ／水相体積	全面積	段数	各段当たり 面 積	液面各 高さ	全高さ
分離第1セル 抽 出 部	約 ℓ 300ℓ	約 ℓ 300ℓ	1	約 3 m ²	8	約 0.35m ²	約 10cm	約 40cm
分離第1セル 洗 浄 部	約 ℓ 350ℓ	約 ℓ 350ℓ	1	約 3 m ²	9	約 0.3m ²	約 12cm	約 40cm
希釈剤洗浄器	約 ℓ 100ℓ	約 ℓ 100ℓ	1	約 1 m ²	3	約 0.3m ²	約 11cm	約 40cm

表 3.2 試験装置と実機プラントの比較

	試 験 装 置	実 機 プ ラ ン ト
抽出第1セル	第1モデルセル（熱反射板内張り） 内 径 約 3 m 高 さ 約 2 m 容 積 約 20 m ³ 床面積 約 7 m ²	縦 約 6 m 横 約 8 m 高 さ 約 2 m 容 積 約 80 m ³ 床面積 約 37 m ²
抽 出 器	燃焼皿 1 段 16cm×48cm×40cm H 3 段 48cm×48cm×40cm H 6 段 48cm×96cm×40cm H 9 段 48cm×144cm×40cm H 表面積 0.0768 m ² /段	ミキサセトラ型 全面積 段数 抽出部 約 3 m ² 8 洗浄部 約 3 m ² 9 希釈部 約 1 m ² 3 表面積 0.3052 m ² /段

表 3. 3 燃焼皿の諸元

試験 No.	燃焼皿 相当段数	燃焼 表面積 (m^2)	溶媒／水 体積 (m^3)	燃焼皿 寸法 ($W \times L \times H$, c m)
BOIL3002	1	0.0768	0.01/0.01	48×16×40.1
BOIL20A1	3	0.2304	0.03/0.03	48×48×40.1
BOIL4001	5	0.384	0.05/0.05	48×80×40.1
BOIL5001	5	0.384	0.05/0.05	48×80×40.1
BOIL3001	6	0.4608	0.06/0.06	48×96×40.1
BOIL5004	6	0.4608	0.06/0.06	48×96×40.1
BOIL5005	6	0.4608	0.06/0.06	48×96×40.1
BOIL5002	7	0.5376	0.07/0.07	48×112×40.1
BOIL5003	7	0.5376	0.07/0.07	48×112×40.1
BOIL3003	9	0.6912	0.09/0.09	48×144×40.1



①	第 1 モデルセル	⑨	低速プロセス計装系	⑰	火薬及び溶媒点火器
②	第 1 ダクト	⑩	動力盤	⑱	圧縮空気供給装置
③	第 2 モデルセル	⑪	高速プロセス計装系	⑲	排気ブロア
④	第 2 ダクト	⑫	データ集録装置 (62年設置)	⑳	水溶媒タンク類
⑤	第 3 ダクト	⑬	ガス分析装置	㉑	廃液処理系
⑥	希釈ダクト	⑭	AM&MPS 計測系	㉒	スタック
⑦	排気ダクト	⑮	DOP 発生装置		
⑧	給気ダクト	⑯	試験用フィルタチャンバ		

図 3.1 セル換気系実証試験装置鳥瞰図

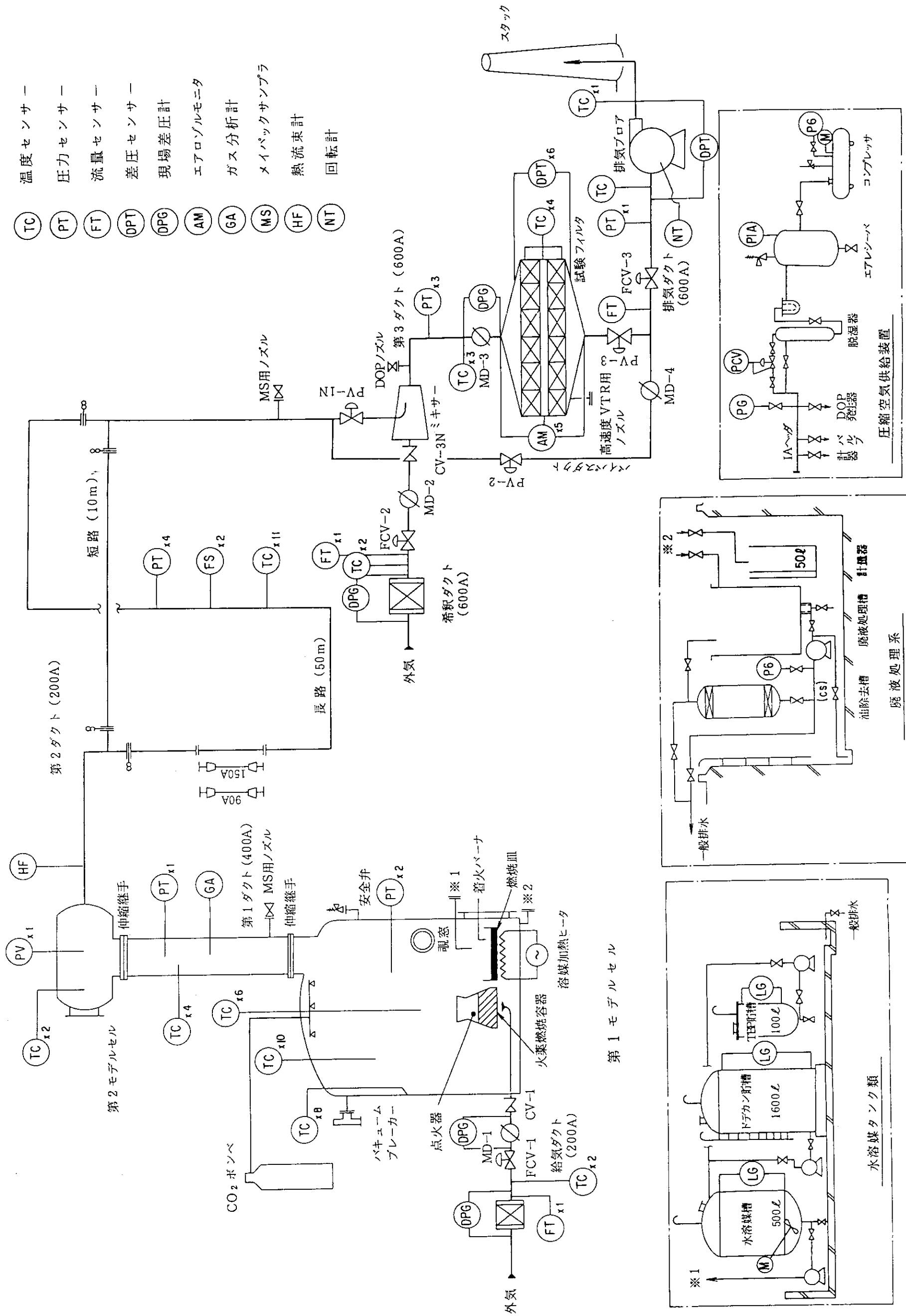


図3.2 セル換気系実証試験装置フローシート

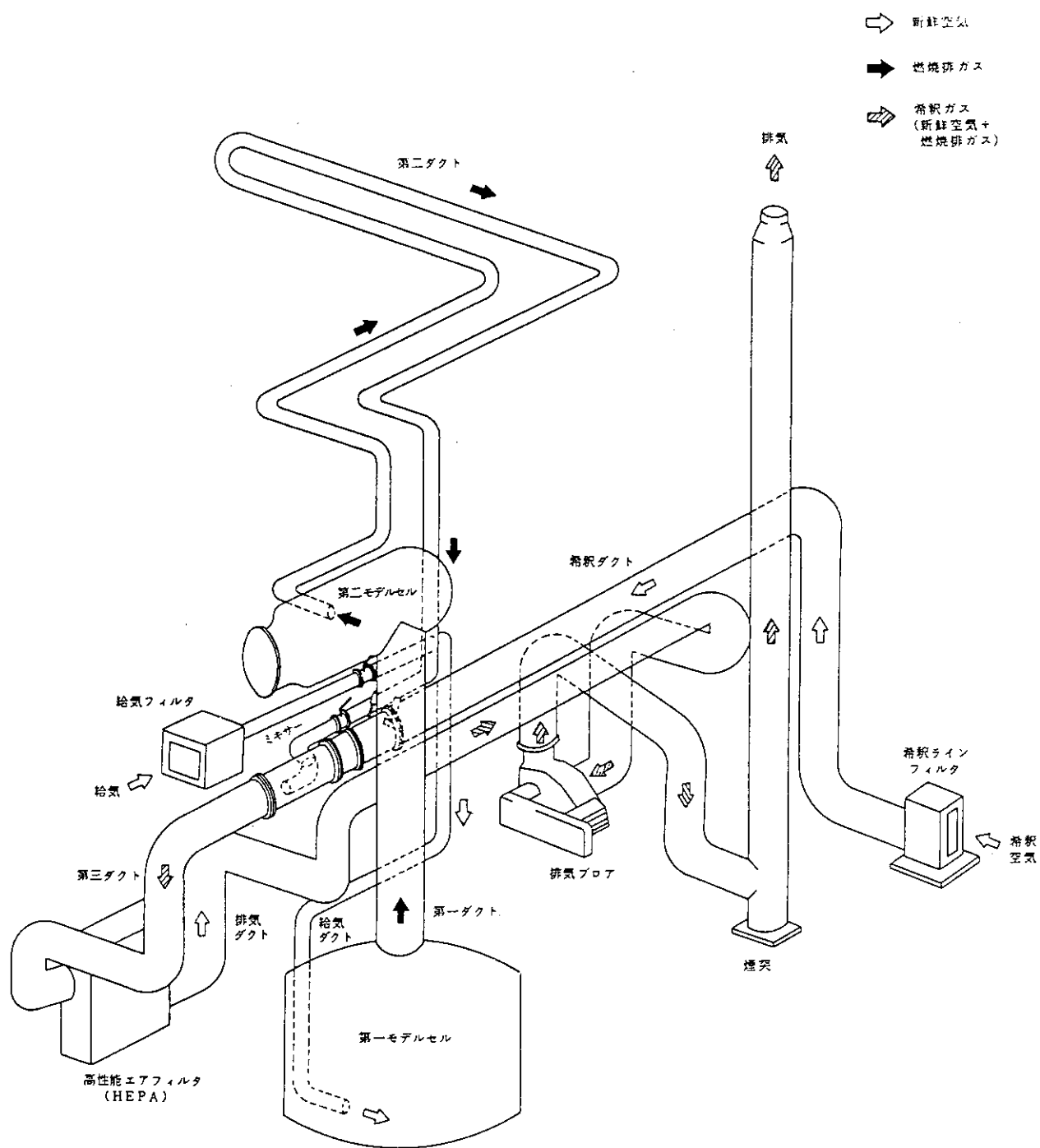


図3.3 セル換気系実証試験装置
(第2ダクト長さ50m:長管路使用)

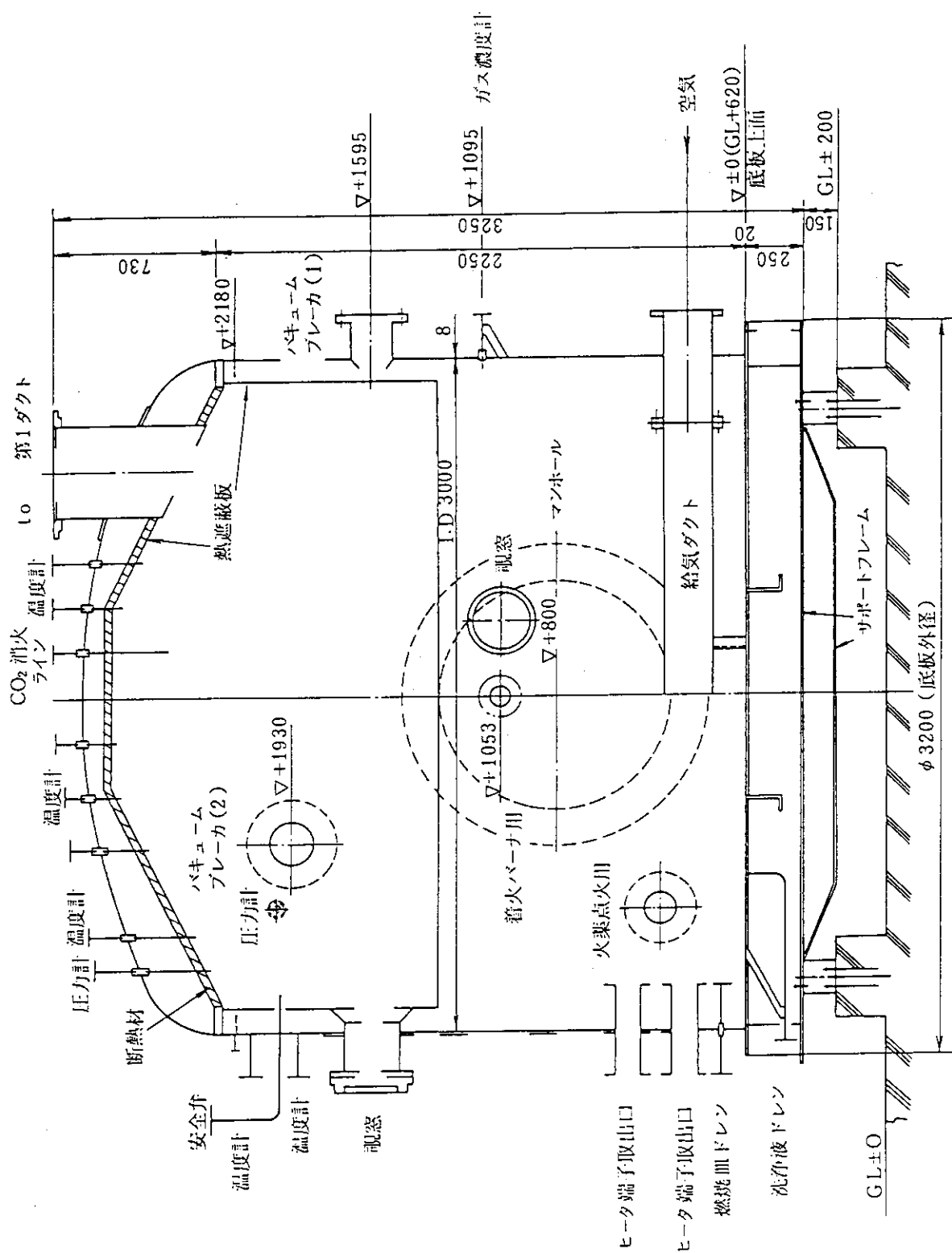


図3.4 第1モデルセル概略図

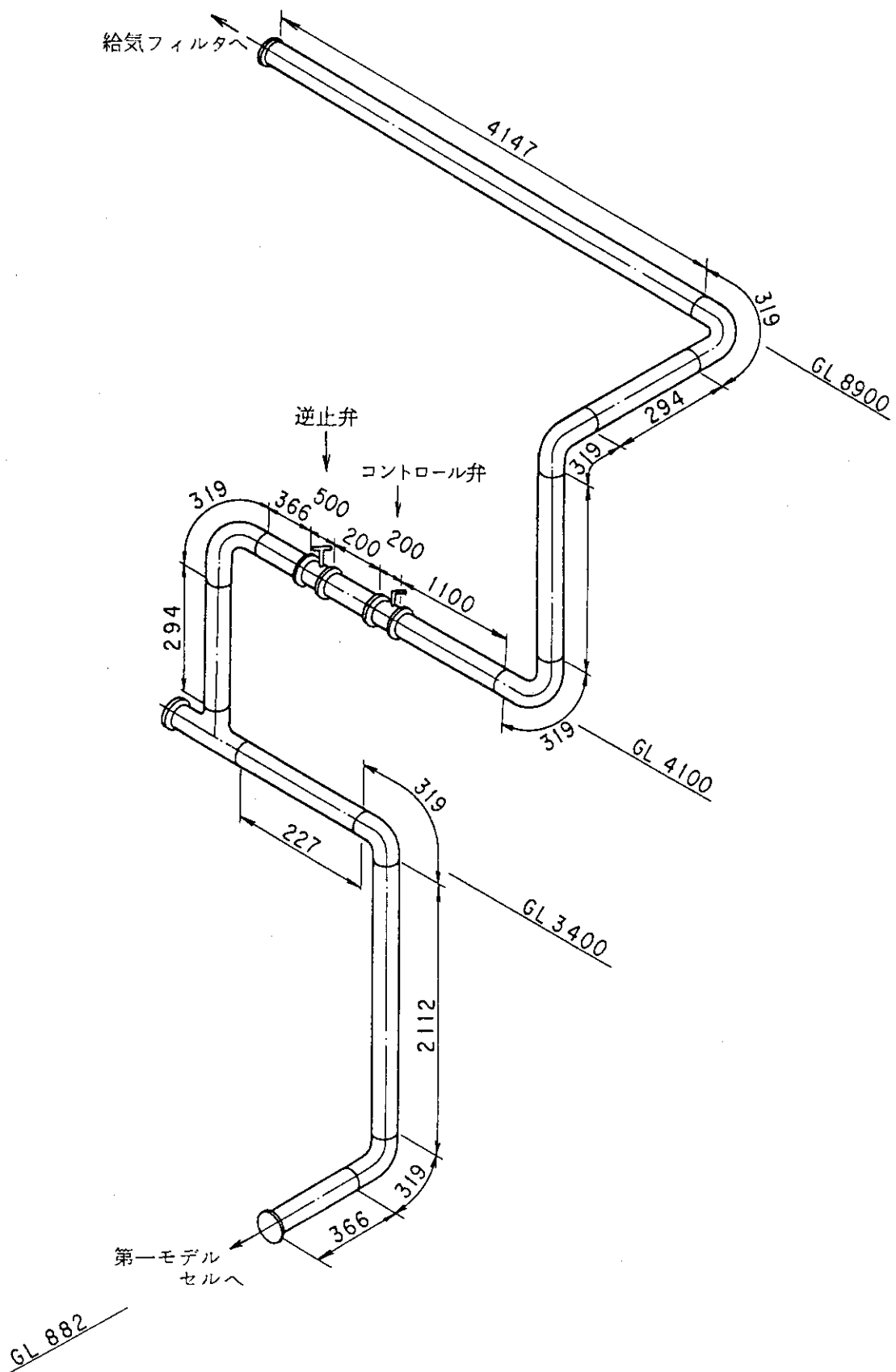


図3.5 給気ダクト構造及び寸法

- 1モデルセル気相および火災温度
- ⊙ 1モデルセル内壁温度
- 1モデルセル圧力

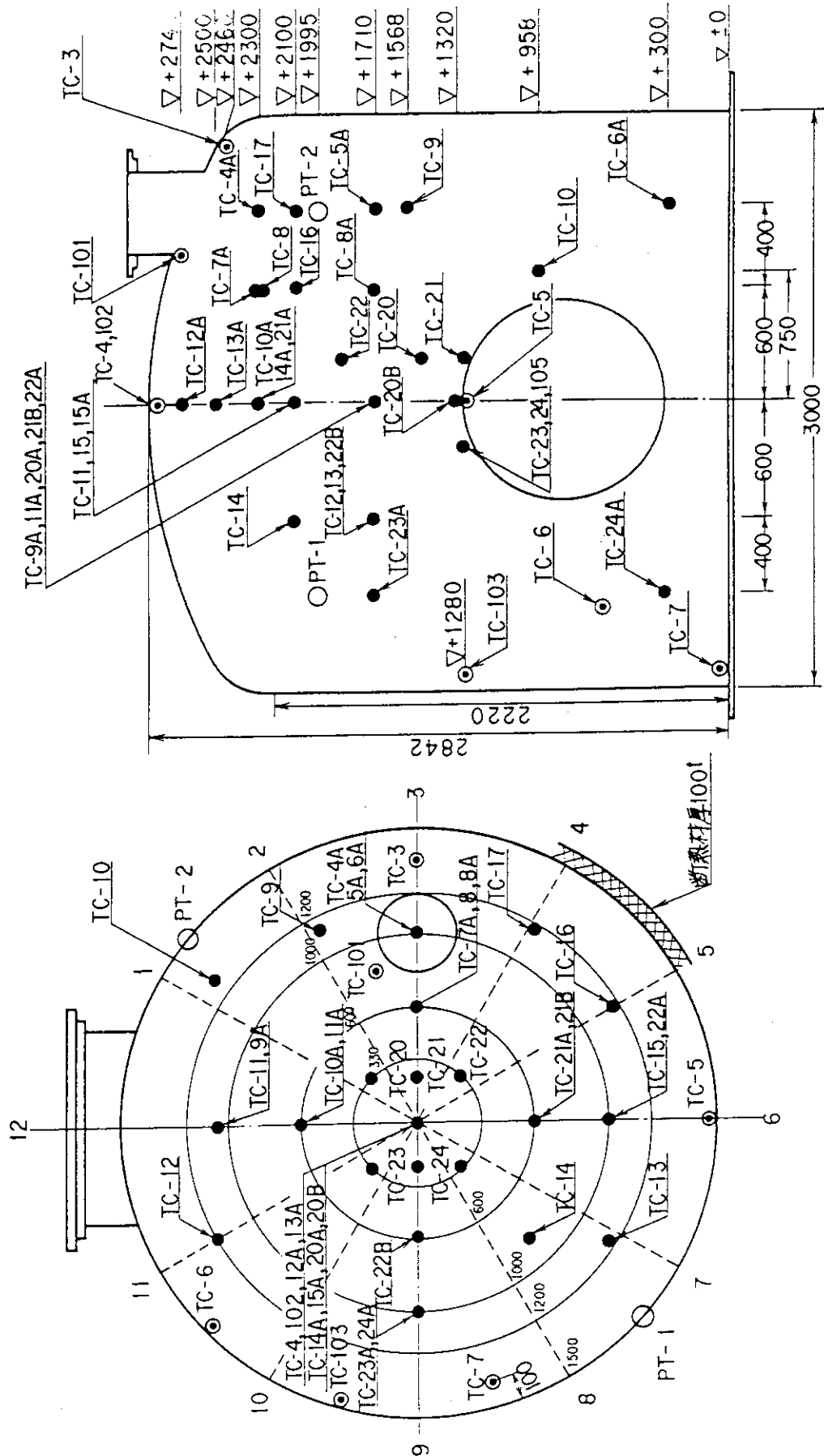


図3.6 第1モデルセル寸法及び検出点配置

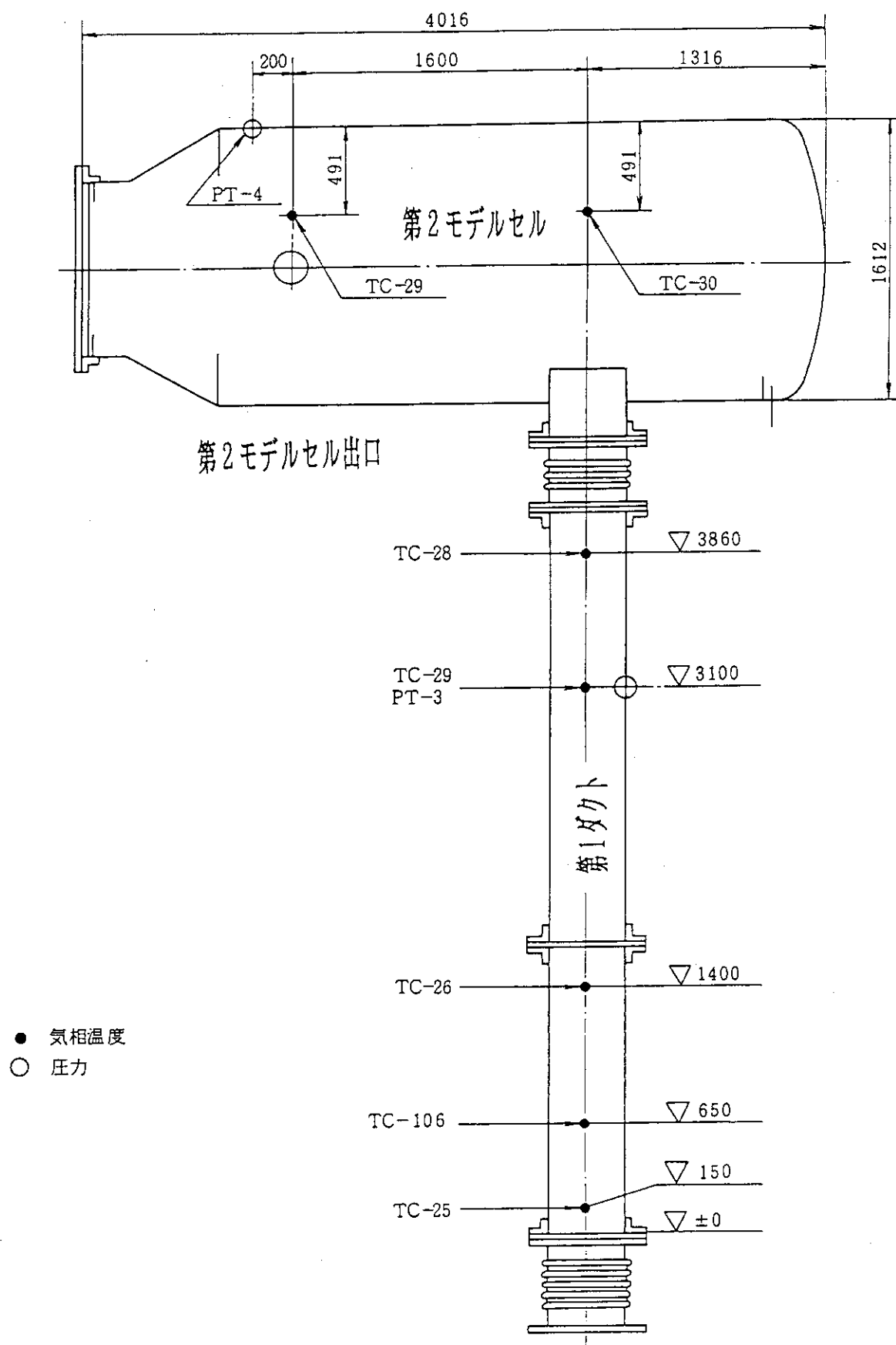


図3.7 第1ダクト及び第2モデルセル検出点配置図

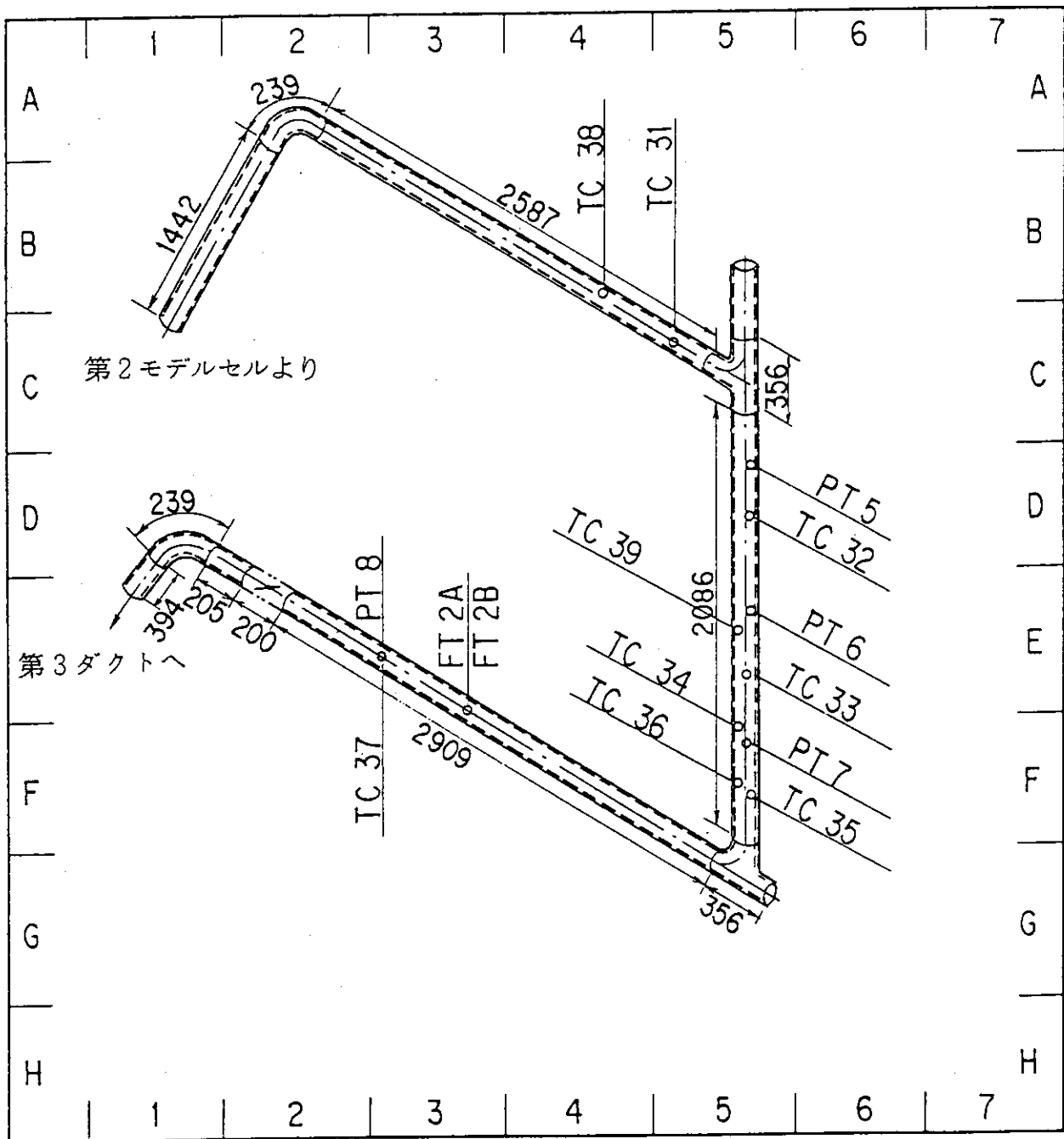
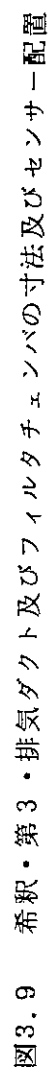


図3.8 第2ダクト(短管路)寸法及びセンサー配置



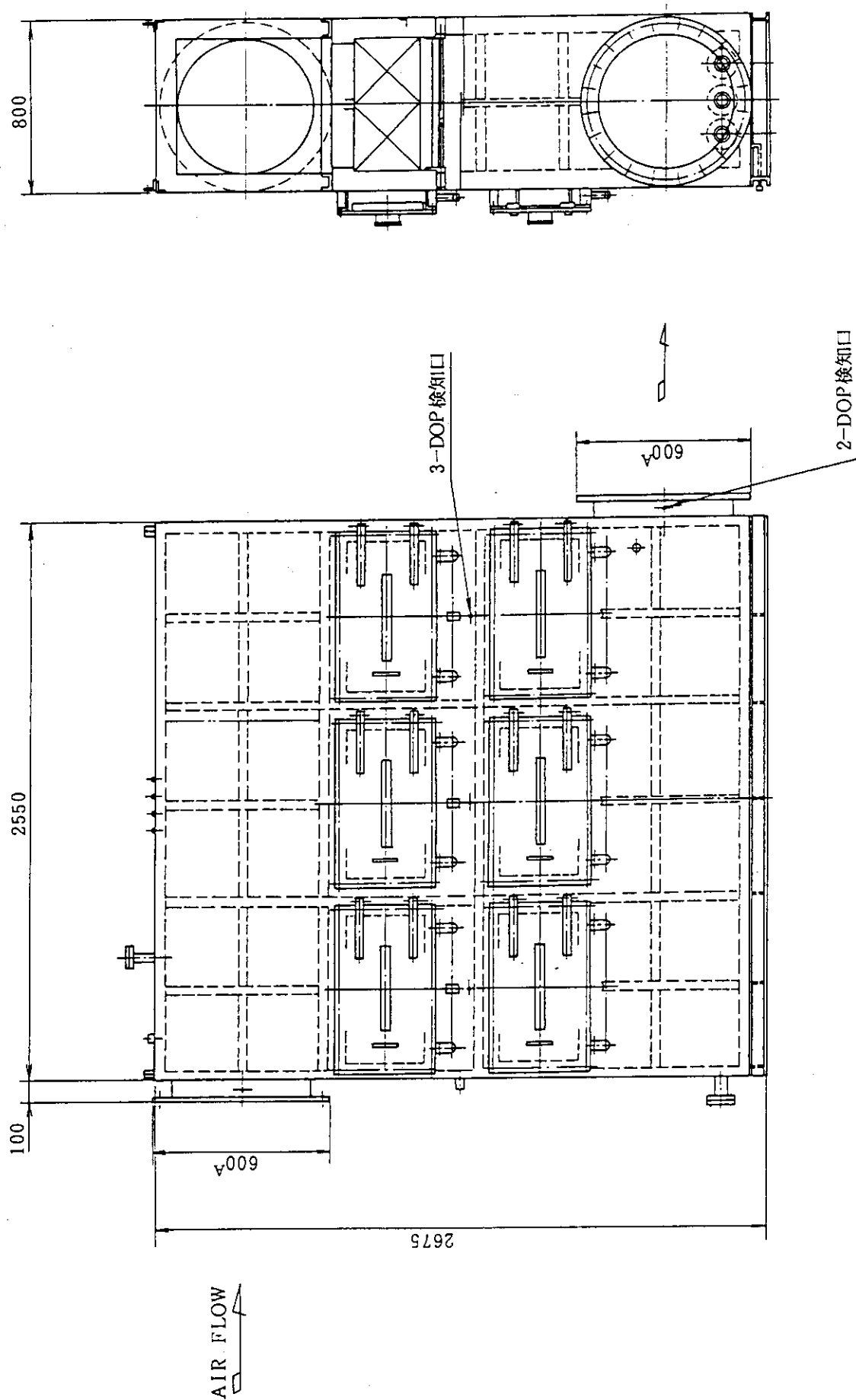


図3.10 フィルタチェンバー

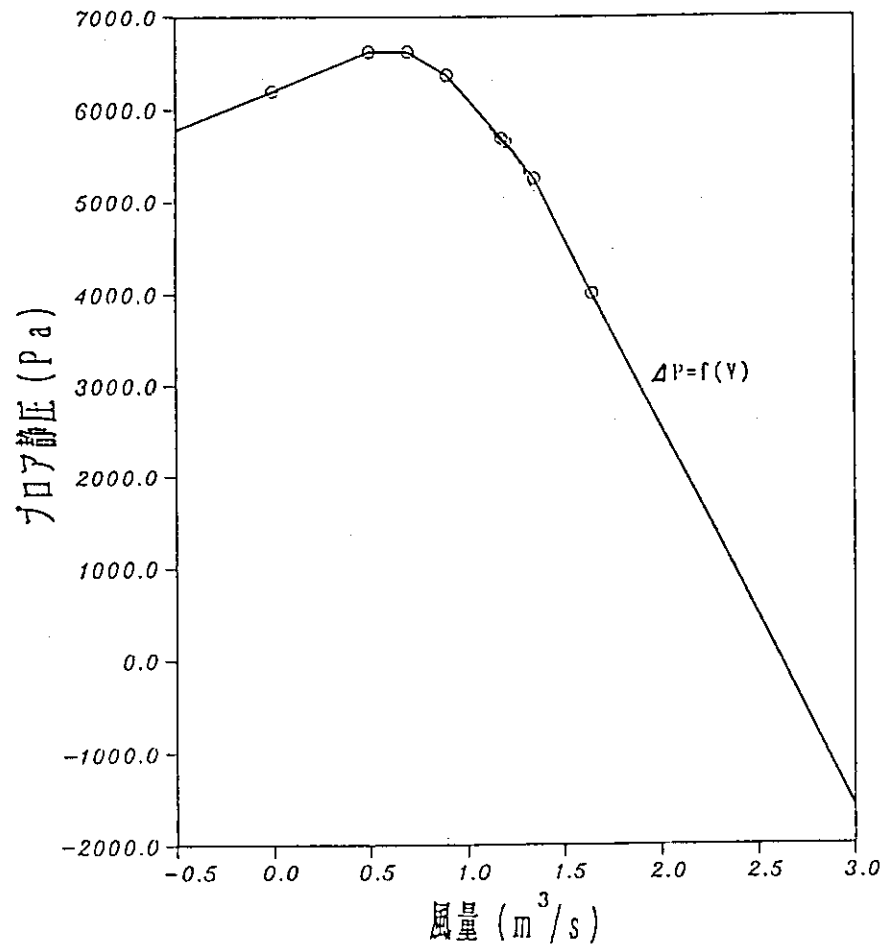


図3.11 ブローの流量・差圧特性曲線

4. 実証試験の結果

この章では、予備試験を含めて平成2年度までに実施した10ランのボイルオーバー燃焼試験について試験の目的、試験条件、試験の内容、試験結果を説明する。

4. 1 予備試験（6段相当の火災）

4. 1. 1 試験の目的

予備試験の目的は以下の通りである。

- * ボイルオーバー燃焼を発生させ、試験装置の性能を確認する。
- * データ計測システムの動作とその精度を確認する。
- * データ処理ソフトウェアの機能を確認する。
- * 以降の試験条件を見いだす。

予備試験では、溶媒火災の定常燃焼の状況を把握すると共に、ボイルオーバー燃焼時の圧力、温度、流速の変化、及び圧力の伝播と減衰の効果を求める。予備試験の結果は、以降の試験条件の選定に利用される。

4. 1. 2 予備試験の条件

表4. 1に昭和62年12月15日に実施した予備試験（BOIL2001）の試験条件を示した。

4. 1. 3 試験の結果

予備試験では、溶媒の燃焼継続中に火炎が第1モデルセル天井の熱遮蔽板まで達し、天井耐圧殻の温度上昇（TC-101）が予想以上の大きくなった。そのため、温度が耐圧殻の耐熱設計値（400℃）に達して鎮火用インターロックが作動し、排気ブローが停止した。従って、燃焼皿中の水相は沸点に達することは無く、試験の目標としたボイルオーバー燃焼は発生しなかったが、定常燃焼時の試験データは取得できた。予備試験の終了後、以下の事柄について検討し、次の試験に備えた。

- * セル天井の温度上昇を抑える対策として、耐圧殻と耐圧殻と熱遮蔽板の間に断熱材を挿入した。
- * 第1モデルセル内の温度分布を検討し、セル空間に配置した熱電対センサーの最適位置を定めた。
- * 装置各部の圧力、温度、流速、差圧の測定値から、データ計測系のサンプリング速度を定めた。
- * データ計測の誤差評価を行った。
- * 大型計算機による物質収支や熱収支に関するプログラムの妥当性を確かめた。

表 4. 1 予備試験の条件

No.	項目	試験条件
1	燃焼皿の大きさ (燃焼面積)	抽出器 6 段相当 (0.461 m^2) ($48\text{cmW} \times 96\text{cmL} \times 40\text{cmH}$)
2	溶媒の体積 (初期温度)	60 リットル (40°C) ($\text{TBP} = 30\%$ 、ドデカン = 70%)
3	水相の体積 (初期温度)	60 リットル (40°C)
4	換気回数	30 回/h (給気流量 $560 \text{ m}^3/\text{h}$)
5	希釈流量	$3820 \text{ m}^3/\text{h}$
6	第 2 ダクトの管路長	10 m
7	HEPA フィルタ台数	6 台 (Half size) / 段 $\times$ 2 段 計 12 段
8	第 1 モデルセル内圧力	$50 \sim 100 \text{ mmHg}$
9	燃焼皿のセル内位置 (燃焼皿)	セル床の中央 (1 基)

(1) 燃焼の挙動

図 4. 1. 1 に燃焼皿から蒸発した溶媒の消費速度、燃焼速度及び煤煙と未燃焼溶媒の移行速度を示した。試験では、天井温度が上昇し、着火から 25 分後にインターロックが作動して排気ブローが停止した。従って、燃焼皿中の水相温度は沸点に達することは無く、ボイルオーバー燃焼は発生していない。

(2) 温度の変化

図 4. 1. 2 に第 1 モデルセル内の気相温度の分布を示した。図中には、火炎温度 (TC-13A, 15A, 20B) と火炎部以外の気相温度 (TC-8) が示されている。

(3) フィルタの差圧変化

図 4. 1. 3 にフィルタチャンバー内の差圧変化を示した。差圧計の端子は、前段フィルタ、後段フィルタ及び前後 2 段のフィルタを挟んで設置されている。前段フィルタの差圧のみ煤煙の負荷により上昇している。

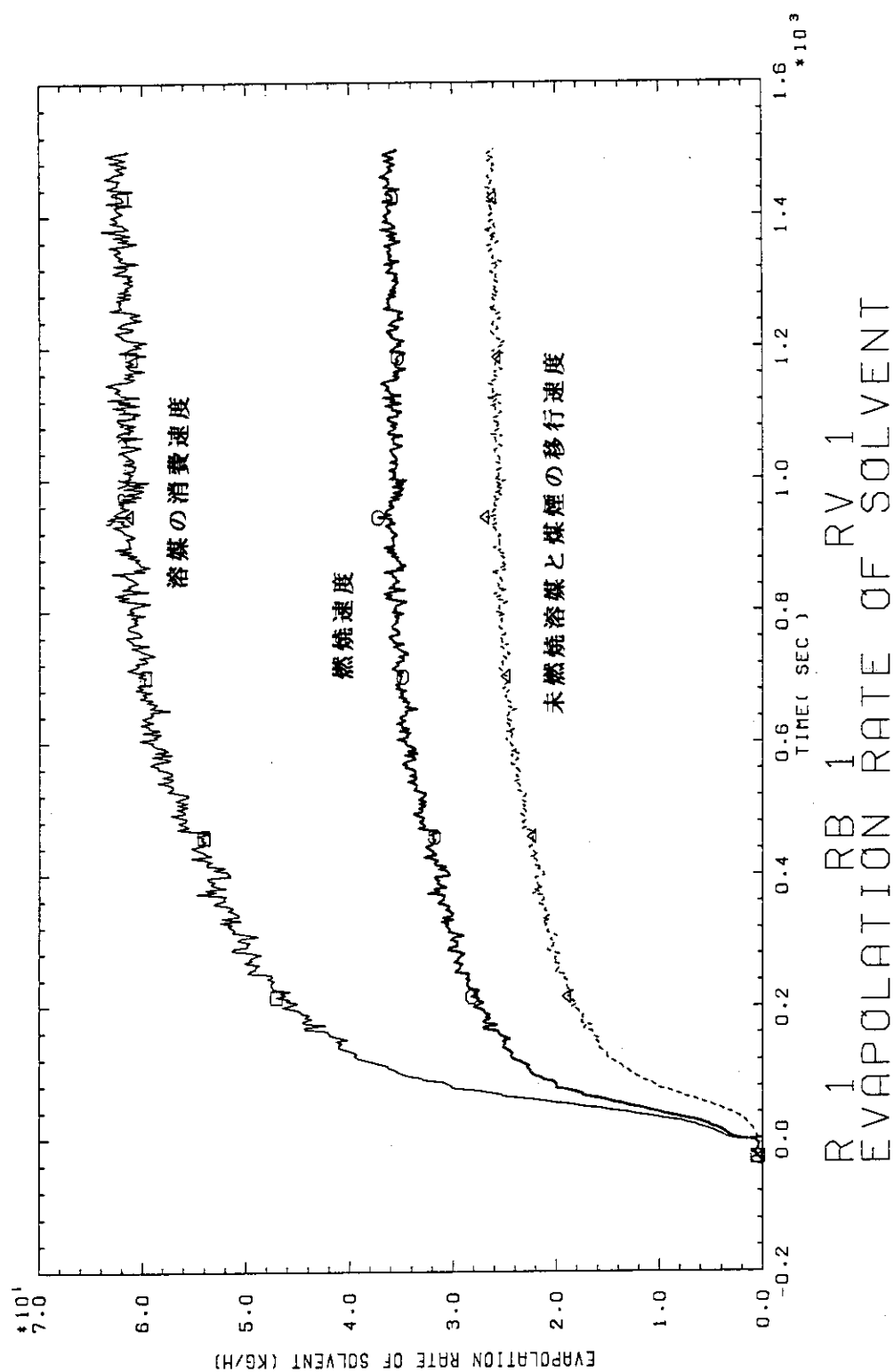


図4. 1. 1 燃焼皿から蒸発した溶媒の消費速度、燃焼速度および未燃焼溶媒と
煤煙の移行速度 (予備試験 BOIL2001)

BOIL2001 1987.12.09

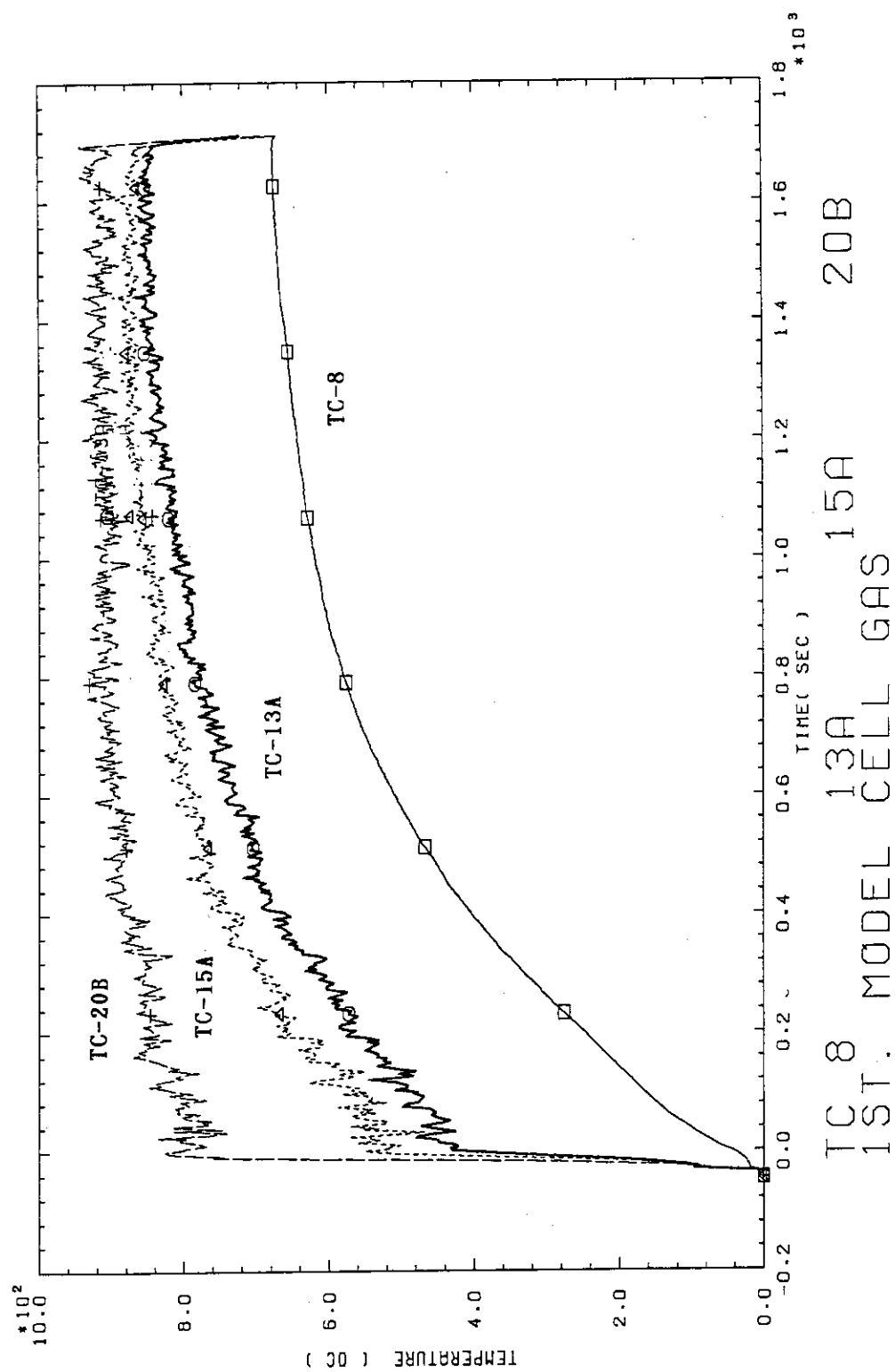


図 4. 1. 2 第 1 モデルセル内の温度分布 (予備試験 BOIL2001)

BOIL2001 1987.12.09

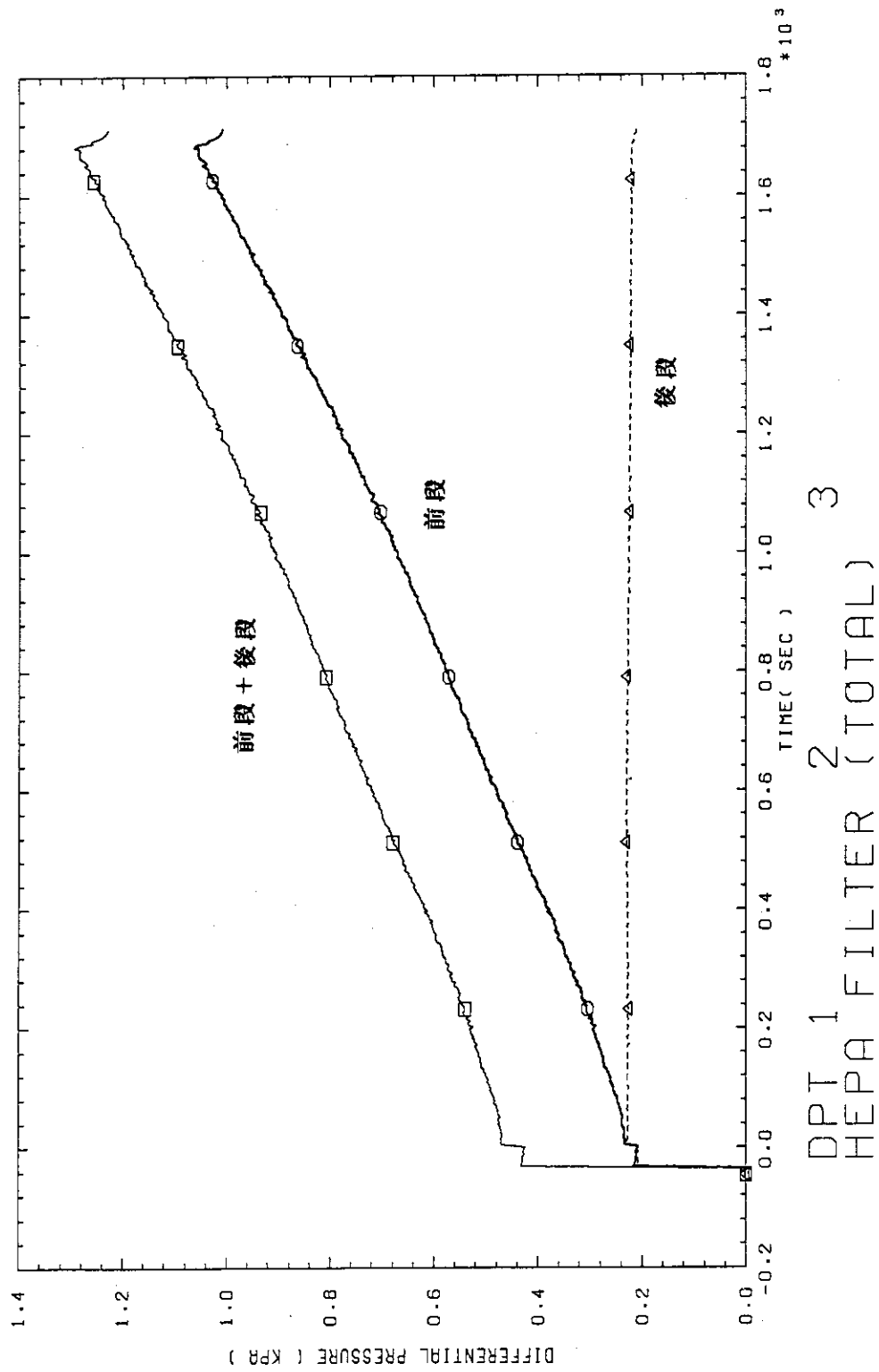


図4. 1. 3 HEPAフィルタの差圧上昇 (予備試験 BOIL2001)

4. 2 抽出器 1 段相当の火災

4. 2. 1 試験の目的

実証試験装置を用いて、抽出器 1 段相当の火災を模擬したボイルオーバー燃焼試験（BOIL3002）を昭和 63 年 6 月 22 日に実施した。この試験は、最小燃焼規模の火災試験である。

4. 2. 2 試験条件

表 4. 2 に BOIL3002 の試験条件を示す。

表 4. 2 抽出器 3 段相当のボイルオーバー燃焼試験の条件

No.	項目	試験条件
1	燃焼皿の大きさ（燃焼面積）	抽出器 1 段相当 (0.0768 m^2) ($16\text{cmW} \times 48\text{cmL} \times 40\text{cmH}$)
2	溶媒の体積（初期温度）	10 リットル (40°C) ($\text{TBP} = 30\%$ 、 $\text{ドデカン} = 70\%$)
3	水相の体積（初期温度）	10 リットル (40°C)
4	換気回数	30 回/h（給気流量 $560 \text{ m}^3/\text{h}$ ）
5	希釈流量	$3820 \text{ m}^3/\text{h}$
6	第 2 ダクトの管路長	10 m
7	HEPA フィルタ台数	6 台 (Half size) / 段 $\times$ 2 段 計 12 段
8	燃焼皿のセル内位置	セル中央部 1 基

4. 2. 3 試験の結果

(1) 燃焼の挙動

図 4. 2. 1 に BOIL3002 における溶媒の燃焼挙動を示す。図中には 3 本の曲線が示されているが、燃焼皿から蒸発した溶媒の消費速度と燃焼速度はほぼ等しい。即ち、試験では換気回数に比較して燃焼面積が小さいので溶媒は完全燃焼し、溶媒の消費速度と燃焼速度が等しくなっている。従って、煤煙と未燃焼溶媒の移行速度は無視できる。燃焼の末期には、水相の沸騰に起因するボイルオーバー燃焼が発生した。図 4. 2. 2 は、溶媒相の下層にある水相の温度上昇を示した。ボイルオーバー燃焼の発生時間は燃焼面積が小さいため遅く、着火後 70 分となった。図 4. 2. 3 は、溶媒燃焼による発熱速度と第 1 ダクトへの燃焼ガスの熱移流速度を示した。発熱速度と熱移流速度の差は、セル壁方向へ流れた熱移動速度である。

(2) 圧力の変化

図 4. 2. 4 に第 1 モデルセル、第 2 モデルセル、第 2 ダクト内の圧力変化を示した。燃焼面積が小さいので、ボイルオーバー燃焼時の圧力ピークは小さく僅か 0.

2 kPaである。図4. 2. 5には、第2ダクトから排気ダクトに到る圧力の変化を示した。圧力ピークは管路に沿って低下している。

(3) 温度の変化

図4. 2. 6に第1モデルセル内の火炎温度と気相温度、第1ダクト及び第2モデルセルの気相温度及びフィルタチャンバー出入口の気相温度を示した。図4. 2. 7に第1モデルセルと第2ダクトの壁面温度を示した。図4. 2. 8に第1モデルセルの床から1.7 mの水平位置に対して気相温度を示した。ボイルオーバー燃焼時の温度ピークは約600℃であった。これは、抽出器1段相当のボイルオーバー燃焼でも、火炎がセルの全空間に広がったことを意味している。

図4. 2. 9に第1モデルセル内の気相温度をセルの中心軸方向に対して、図4. 2. 10に第1モデルセル、第1ダクト及び第2モデルセル内の気相温度の変化を示した。図4. 2. 11に第2ダクトの内壁温度、第3ダクト及び排気ダクトの気相温度変化を、図4. 2. 12にフィルタチャンバー内の気相温度を示した。ボイルオーバー燃焼時のフィルタ位置の温度ピークは極めて低く約32℃である。

(4) 流量変化

図4. 2. 13に給気ダクト、第2ダクト、希釈ダクト及び排気ダクトを通過した流量の変化を示した。

(5) フィルタの差圧変化

図4. 2. 14にフィルタチャンバー内に設置した差圧計による前段フィルタ、後段フィルタ及び前後2段フィルタの差圧変化を示した。煤煙の負荷により、前段フィルタの差圧のみ上昇していることが分かる。

B0IL3002 1988.06.22

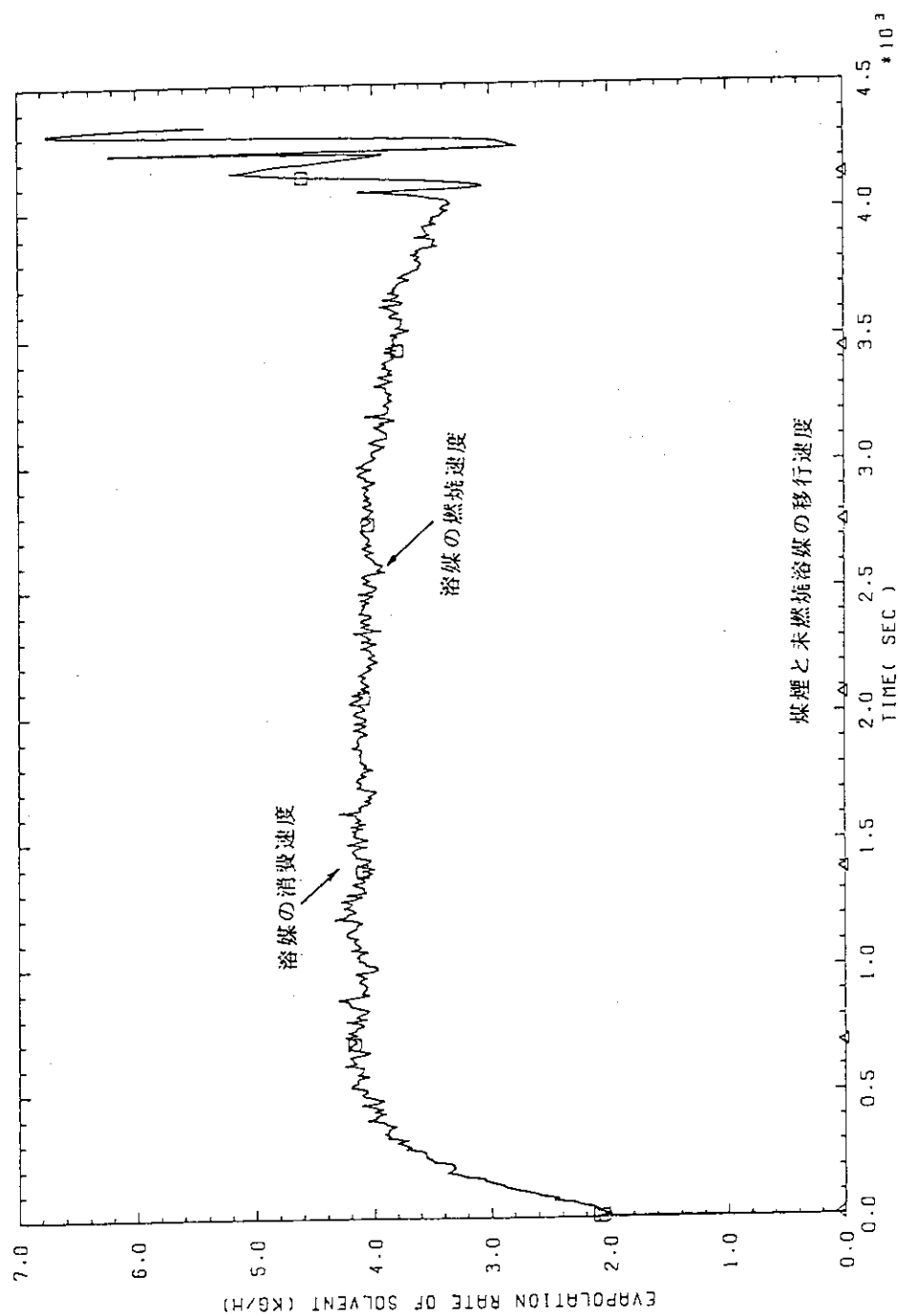


図4.2.1 溶媒の消費速度、燃焼速度及び煤煙と未燃焼溶媒の移行速度の時間変化

BOIL3002 1988.06.22

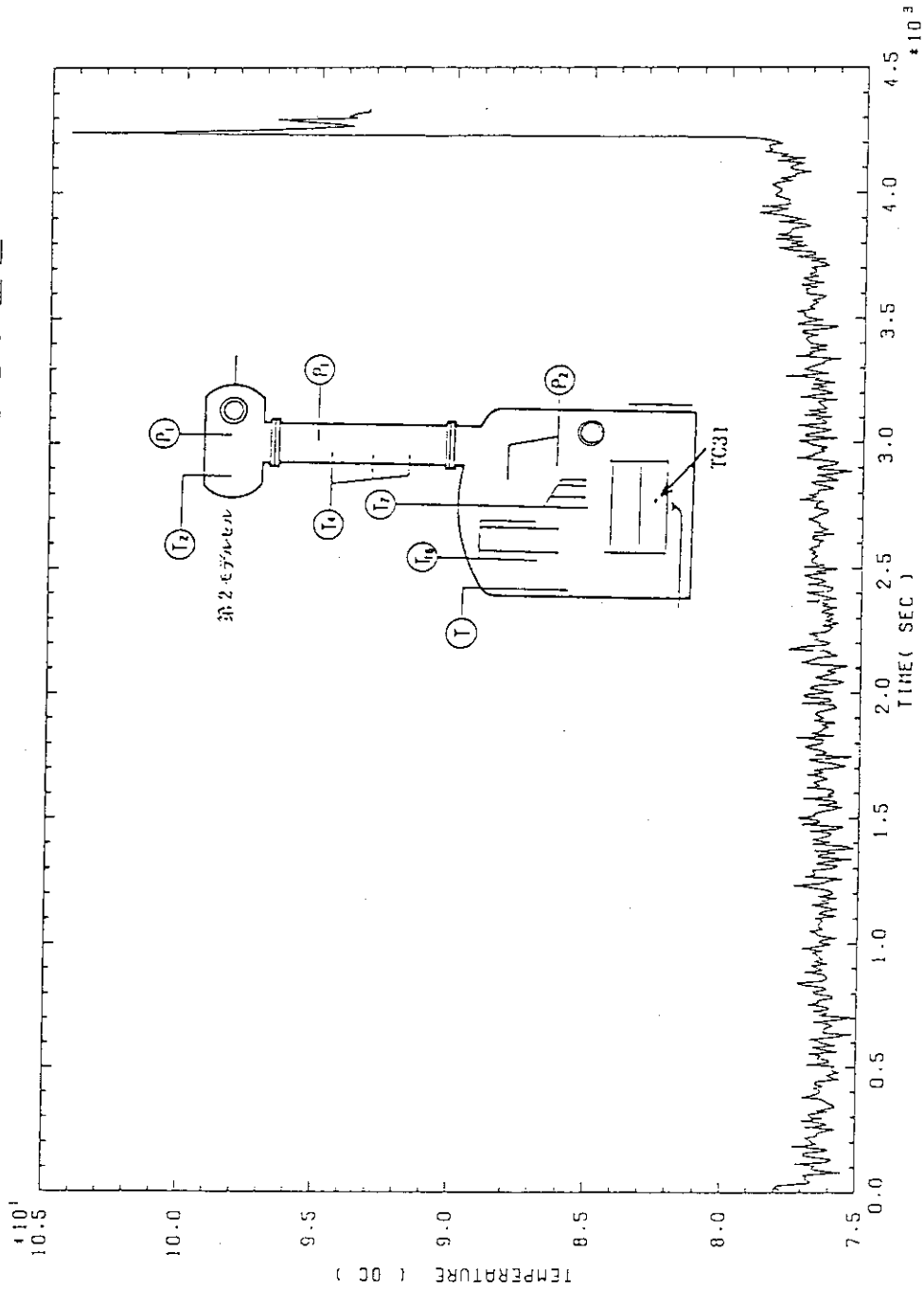


図4.2.2 燃焼中の水相温度の上昇 (TC31)

B01L3002 1988.06.22

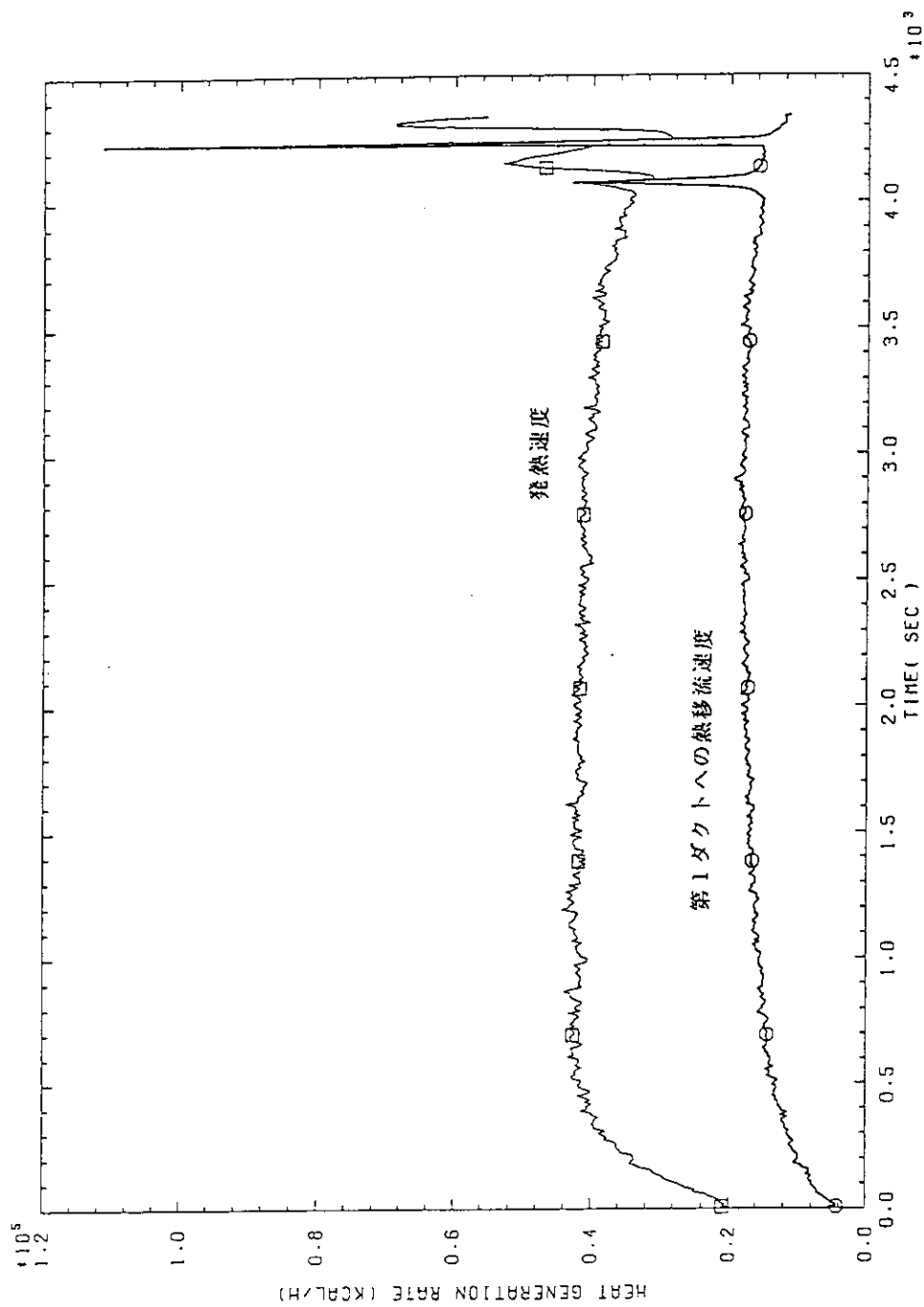


図4.2.3 溶媒の燃焼に伴う発熱速度及び第1ダクトへの熱移流速度

B0IL3002 1988.06.22

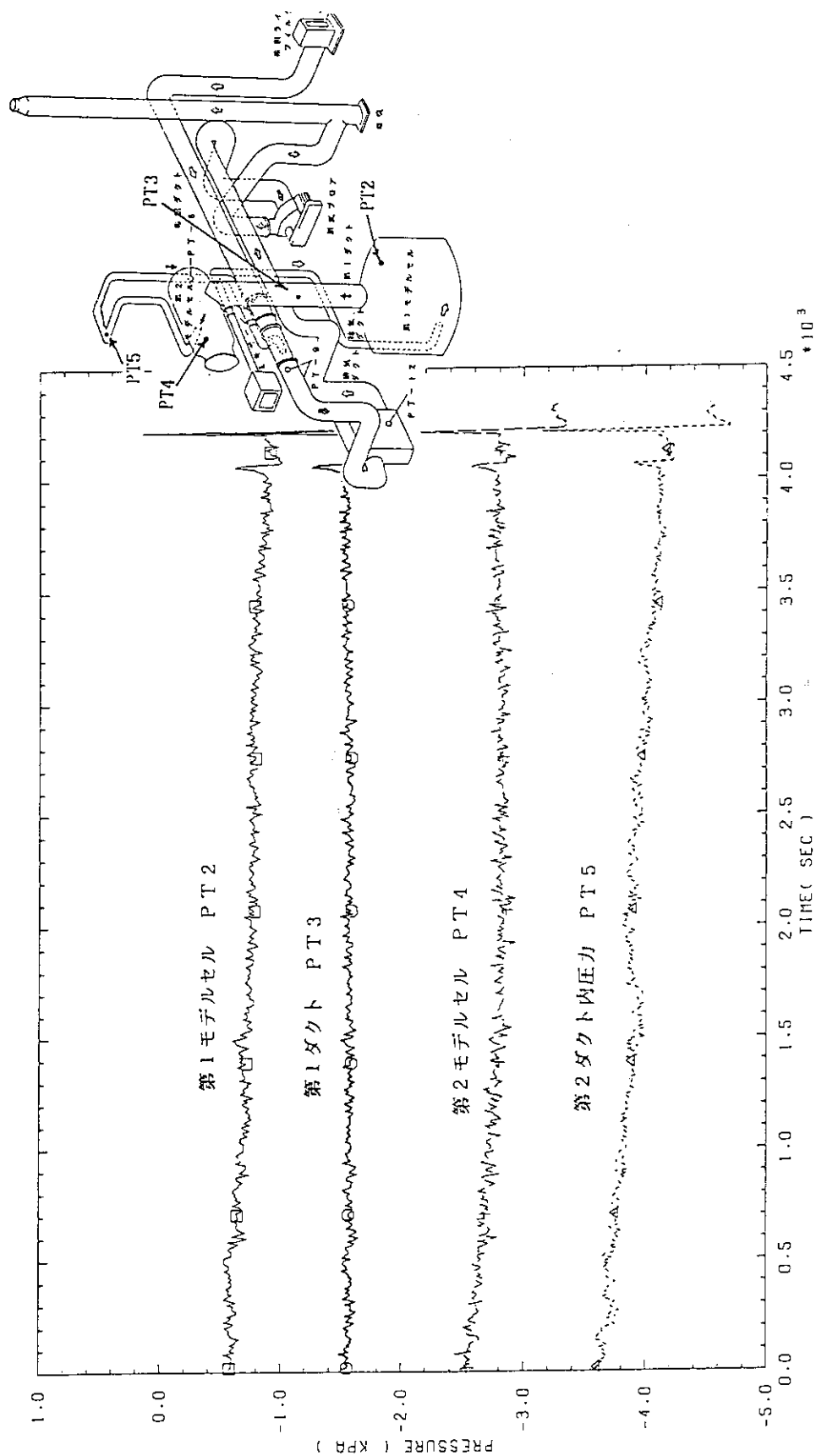


図4.2.4 第1モデルセル,第1ダクト,第2モデルセル及び第2ダクト内の圧力変化

BOIL3002 1988.06.22

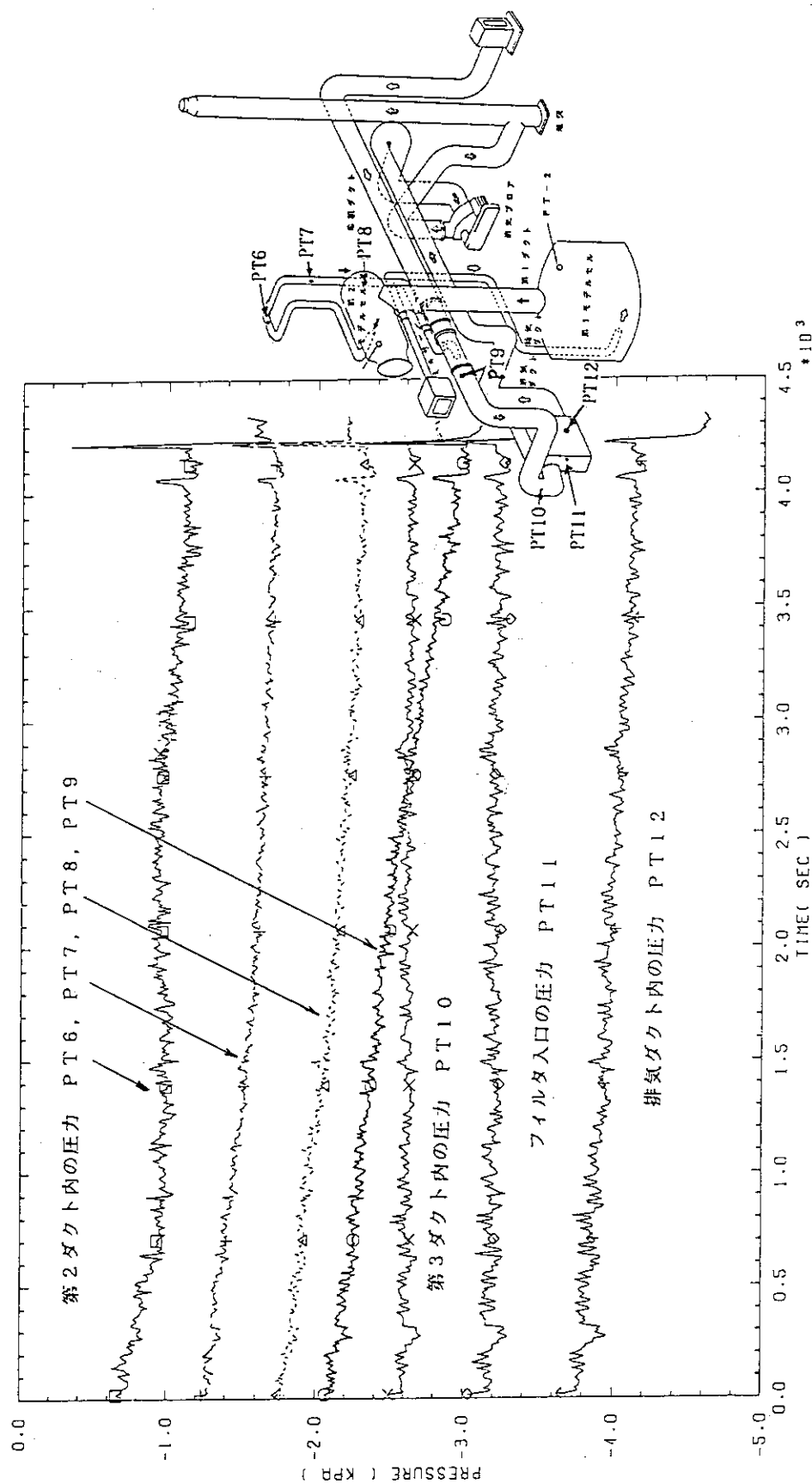


図4.2.5 第2ダクト、第3ダクト及び排気ダクト内の圧力変化

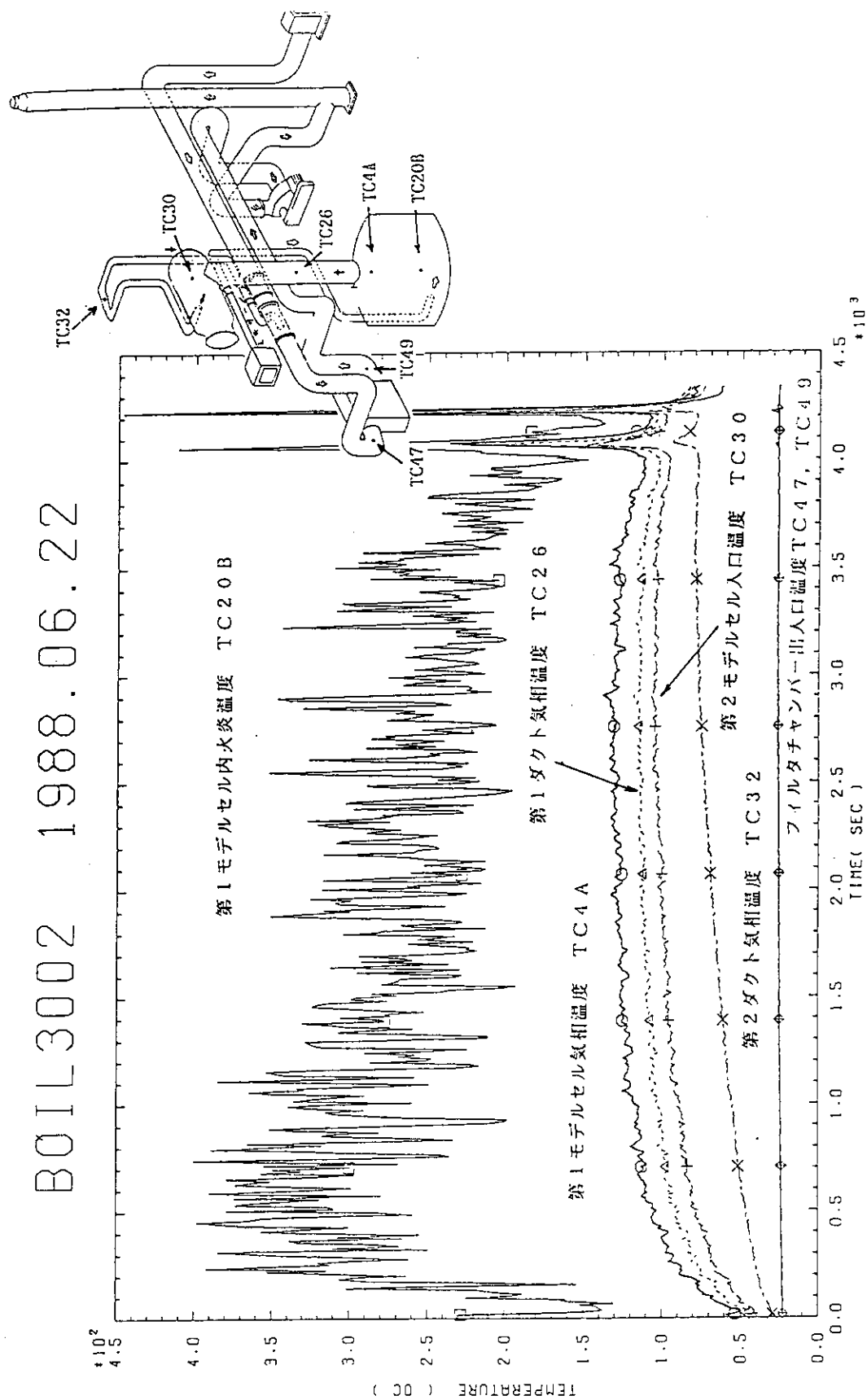


図4.2.6 実証試験装置内の温度分布

BOIL3002 1988.06.22

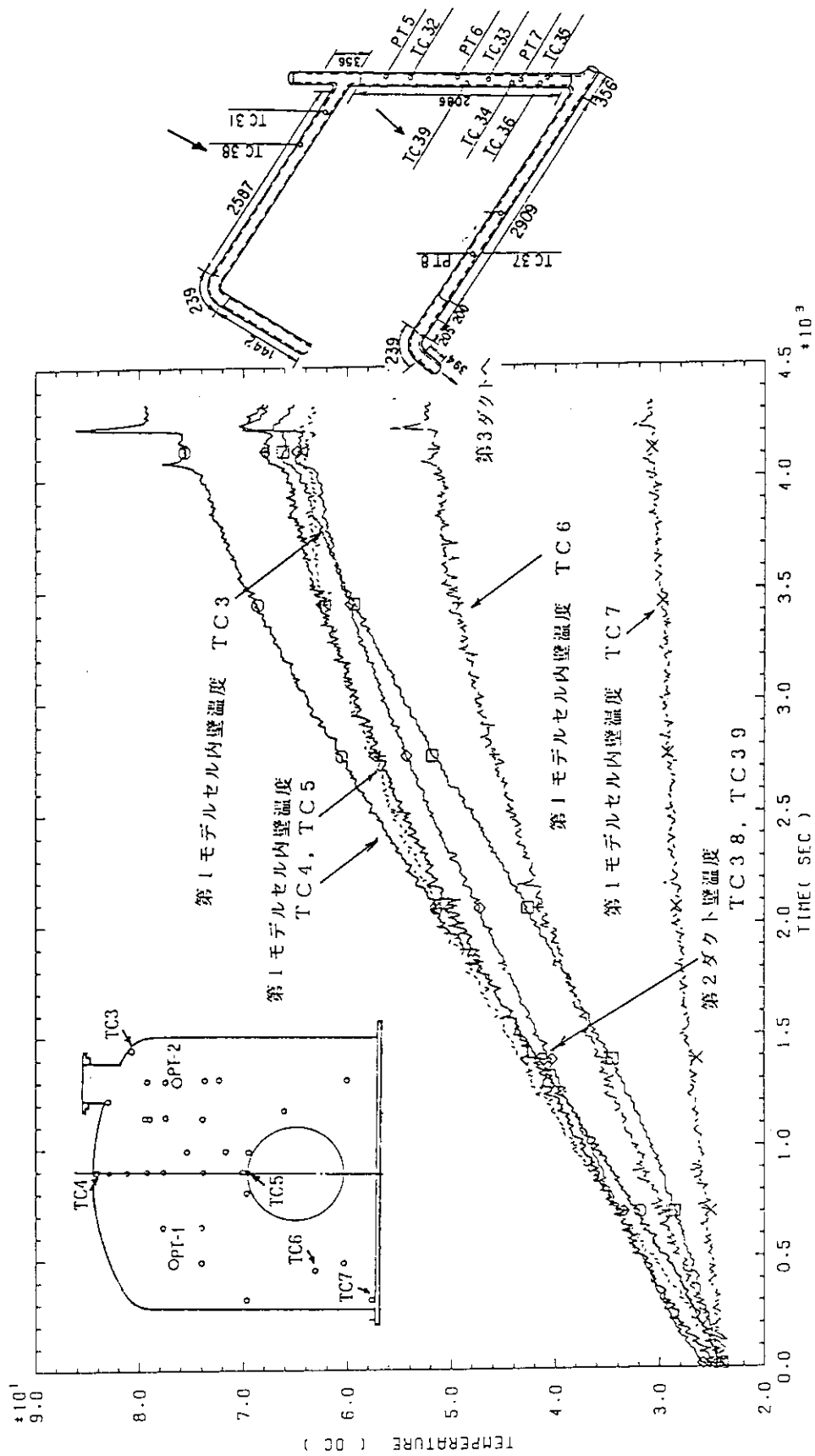


図4.2.7 第1モデルセル, 第2ダクトの壁面温度の変化

BOIL3002 1988.06.22

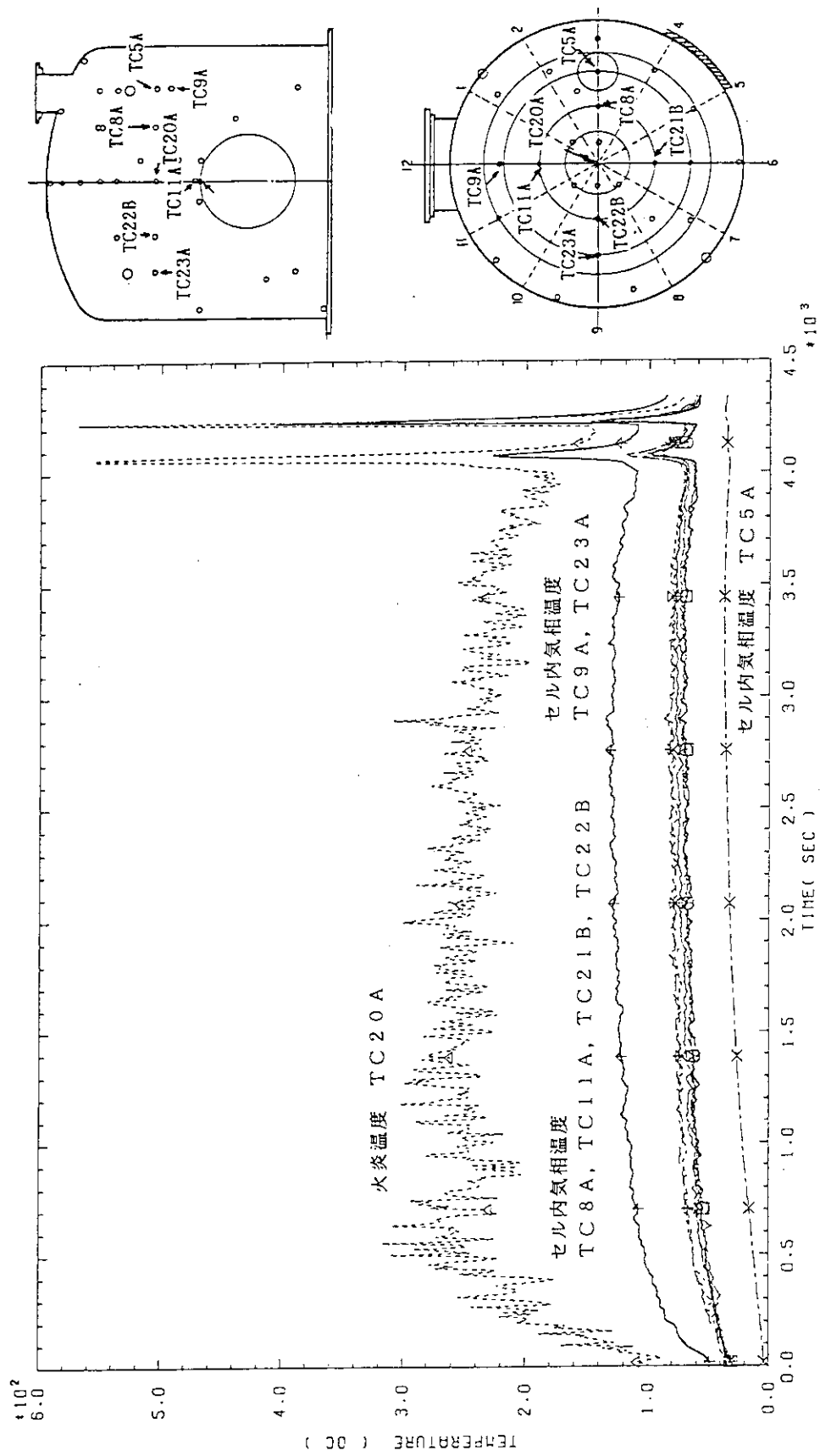


図4.2.8 第1モデルセル内の温度変化(床からの距離1.71m位置におけるセル水平方向の温度変化)

BOIL3002 1988.06.22

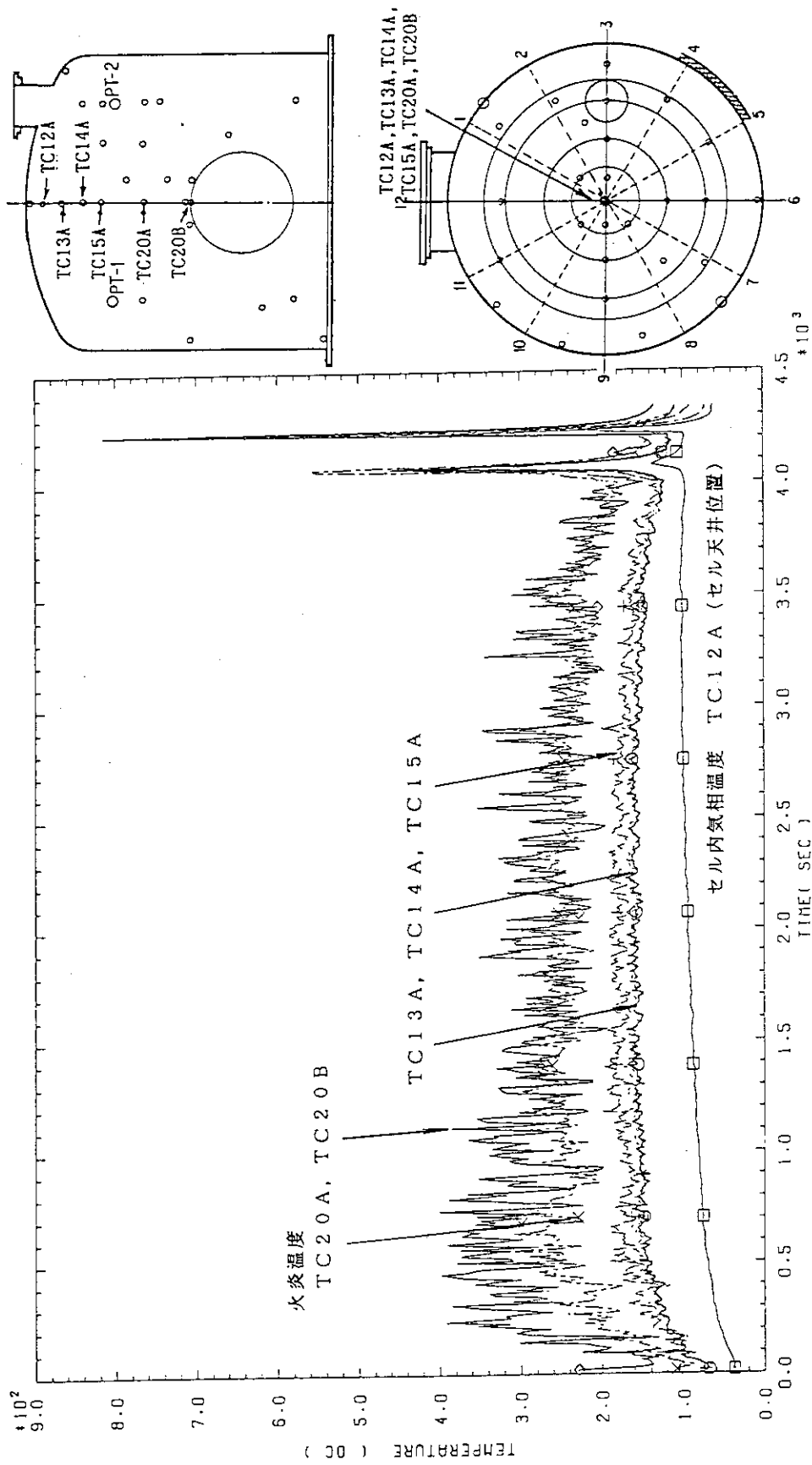


図4.2.9 第1モデルセル内の火炎温度 (セル中心軸の後方向の温度変化)

BOIL3002 1988.06.22

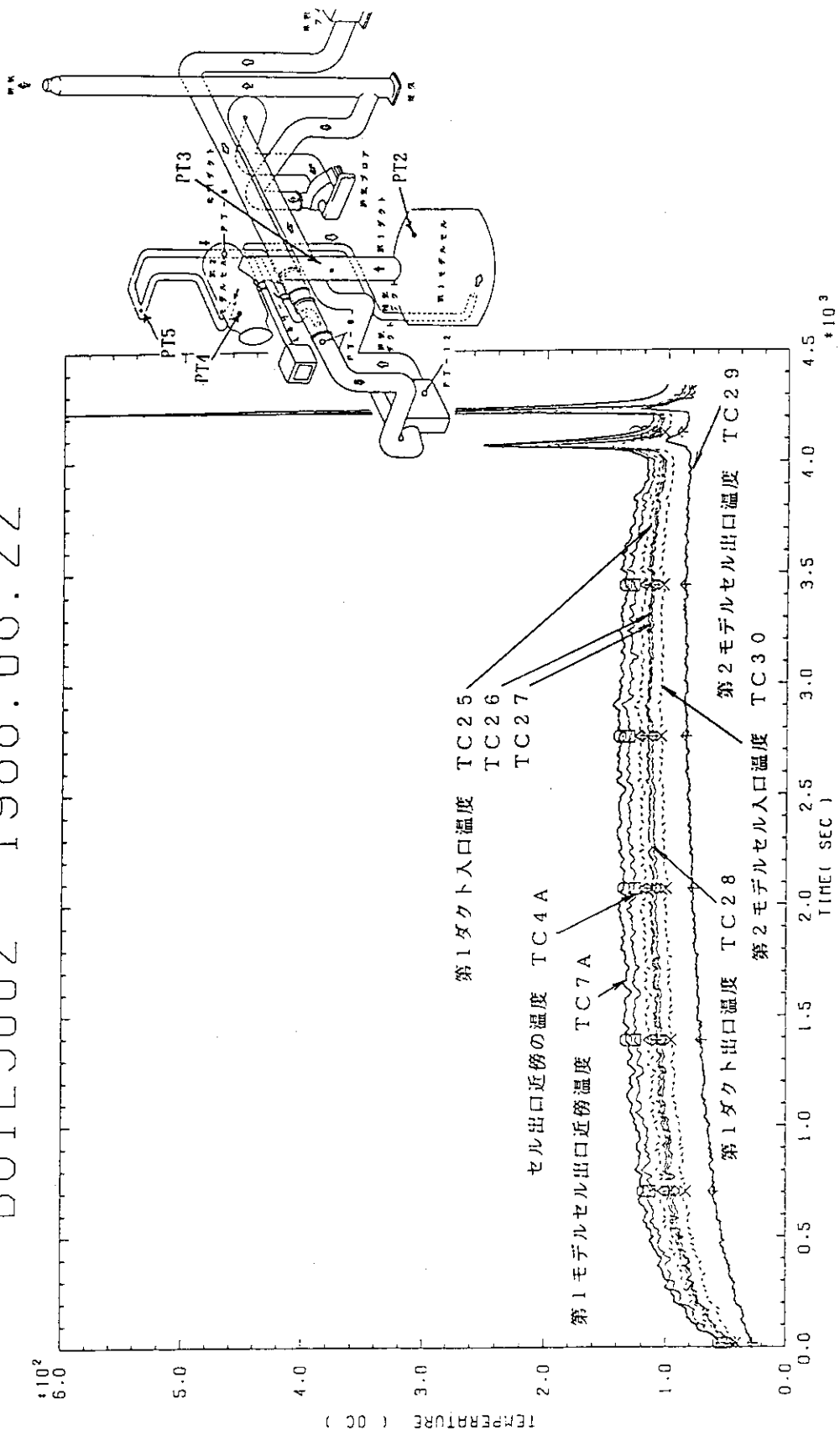


図4.2.10 第1モデルセル, 第1ダクト及び第2モデルセル内の気相温度変化

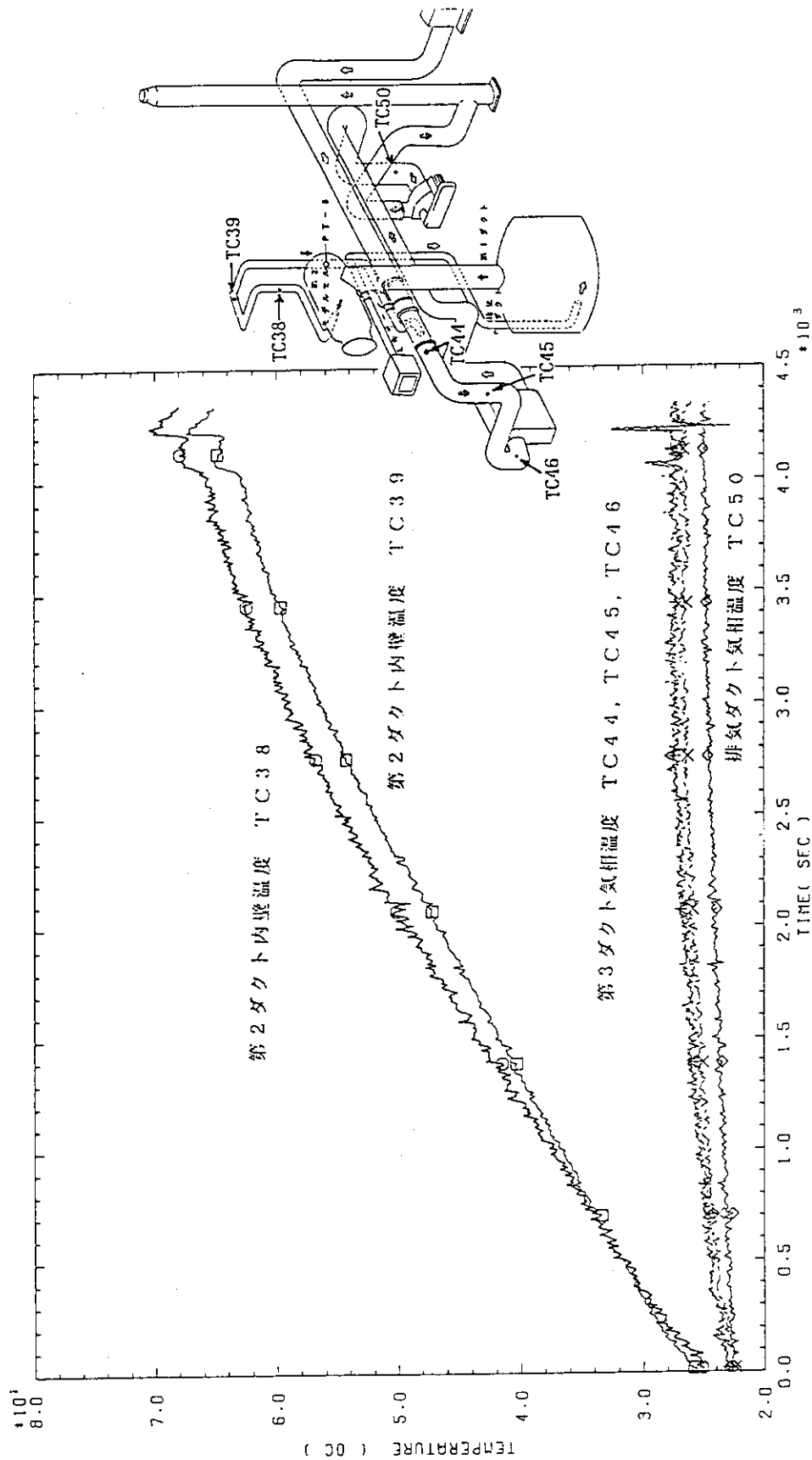


図4.2.1.1 第2ダクト内壁温度、第3ダクト気相及び排気ダクト気相温度の変化

B01L3002 1988.06.22

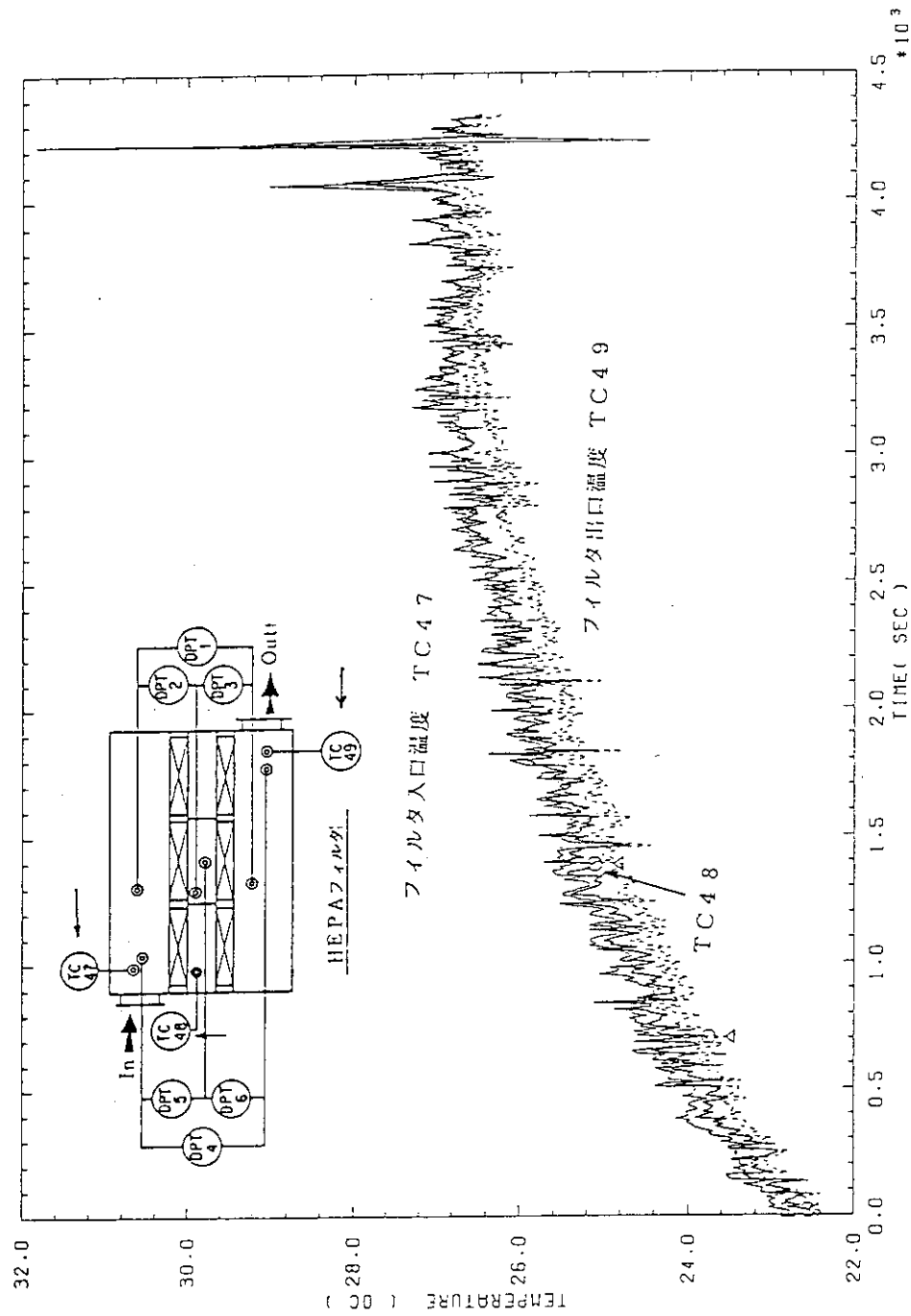


図4.2.12 フィルターチャンバー内気相温度

B01L3002 1988.06.22

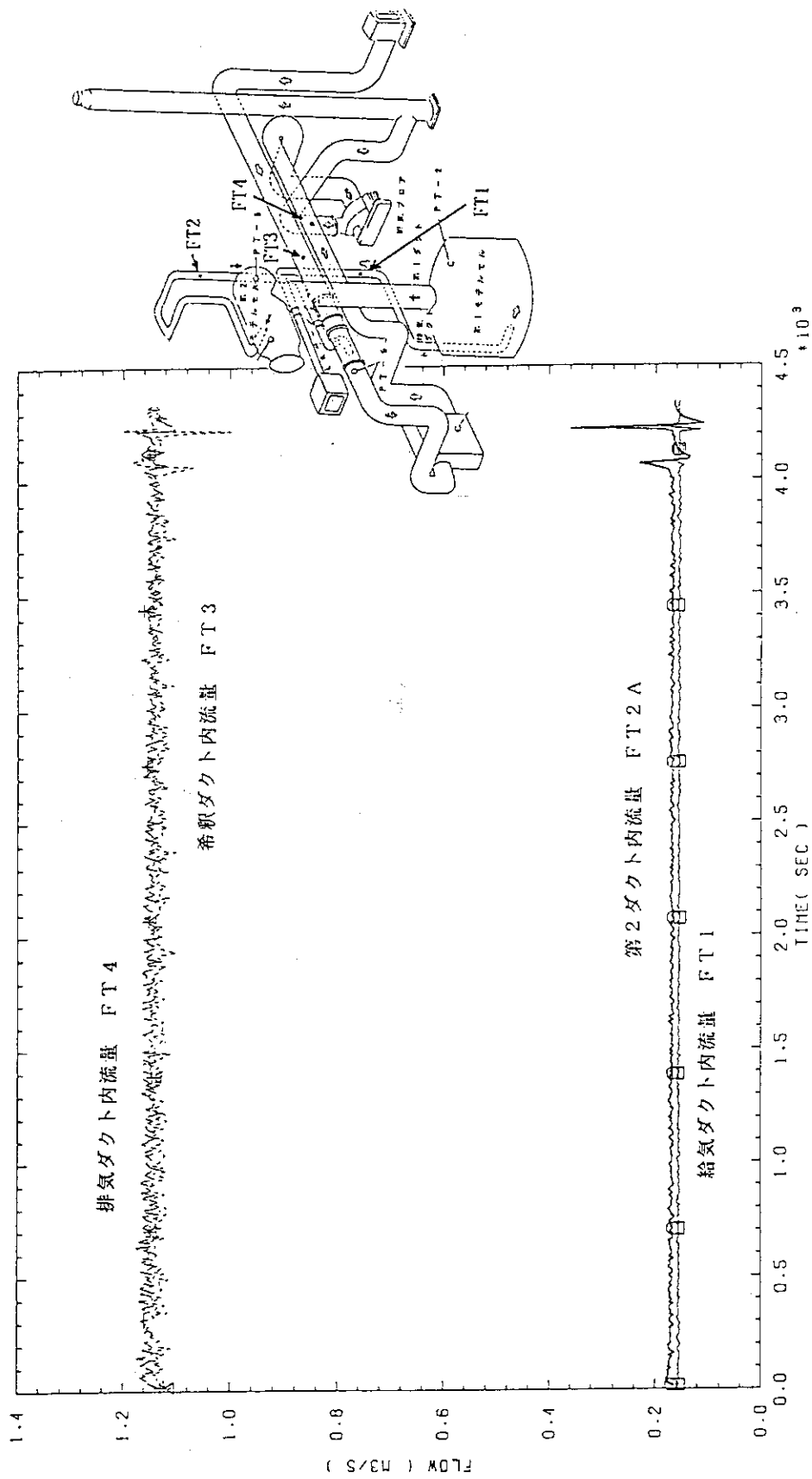


図4.2.13 実証試験装置内の流量の変化

BOIL3002 1988.06.22

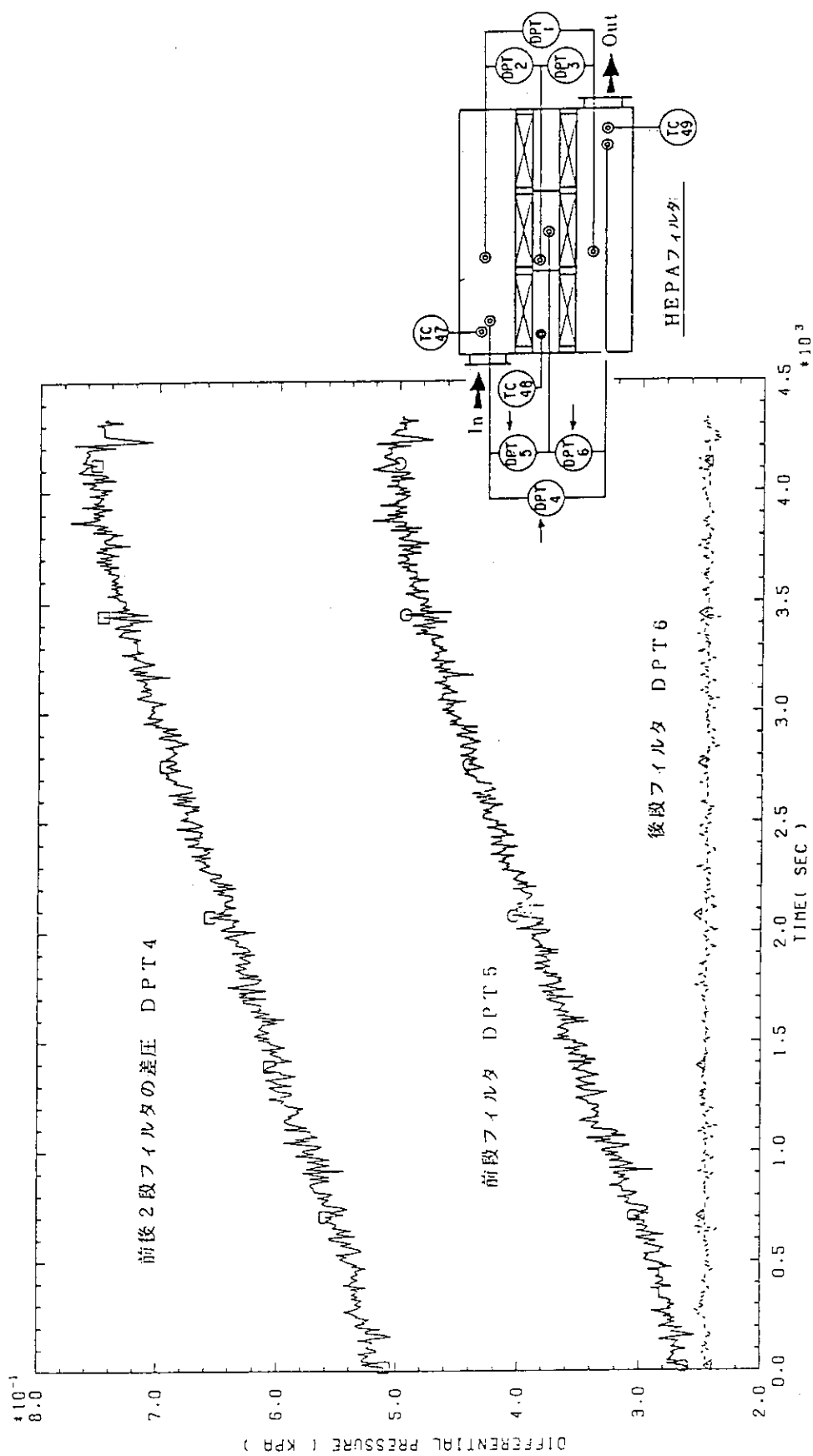


図4.2.14 HEPAフィルタの差圧変化

4. 3 抽出器3段相当の火災

4. 3. 1 試験の目的

本試験の目的は、3台の抽出器が火災になった場合を模擬している。このボイルオーバー燃焼試験（BOIL20A1）は、昭和63年6月22日に実施した。

4. 3. 2 試験条件

表4. 3にBOIL20A1の試験条件を示す。

4. 3. 3 試験の結果

(1) 燃焼の挙動

図4. 3. 1に第1モデルセル、第1ダクト及び第2ダクト内の温度の変化を示す。溶媒に着火すると溶媒の燃焼は定常的に進行するが、燃焼が継続すると溶媒相の下層にある水相が沸騰し、急激なボイルオーバー燃焼を引き起こす。ボイルオーバー燃焼は、着火後68分には発生した。

図4. 3. 2は、燃焼皿から蒸発した溶媒の消費フラックス、燃焼フラックス及び煤煙と未燃焼溶媒の移行フラックスを示した。フラックスは、移行速度を燃焼面積で割った値として定義されている。BOIL20A1は燃焼面積に比較して換気回数が大きいので、煤煙と未燃焼溶媒の移行フラックスは小さい。図4. 3. 3に溶媒の燃焼によって発生した発熱速度及び発熱ヒートフラックスを示した。ヒートフラックスは、発熱速度を燃焼面積で割った値として定義されている。

表4. 3 抽出器3段相当のボイルオーバー燃焼試験の条件

No.	項目	試験条件
1	燃焼皿の大きさ（燃焼面積）	抽出器3段相当（0.2304 m ² ） （48cmW x 48cmL x 40cmH）
2	溶媒の体積（初期温度）	30リットル（40℃） （TBP=30%、ドデカン=70%）
3	水相の体積（初期温度）	30リットル（40℃）
4	換気回数	30回/h（給気流量558m ³ /h）
5	希釈流量	3822m ³ /h
6	第2ダクトの管路長	10m
7	HEPAフィルタ台数	6台(Half size)/段×2段 計12段
8	第1モデルセル内圧力	50～100mmH ₂ O
9	燃焼皿のセル内位置	セル中央部 1基

(2) 圧力の変化

図4. 3. 4にボイルオーバー燃焼発生時の第1モデルセル、第2モデルセル、第2ダクトの圧力変化を示した。ボイルオーバー燃焼直後のダクト内の圧力は燃焼前

のそれより若干低下している。この一時的な圧力の低下は、ボイルオーバー燃焼による第1ダクト方向への流体の流出と壁方向への放熱が原因している。図4. 3. 5にボイルオーバー燃焼時の第2ダクト、第3ダクトおよびフィルタチャンバ内の圧力変化を示した。圧力ピークは第2ダクトの管路で低下している。PT-8からPT-9の圧力減衰は、200Aの第2ダクトから600Aの第3ダクトに管径が拡大したことによる流動抵抗の増加が原因している。PT-9とPT-11の間には大型のダンパが設置されている。PT-11とPT-12の間は、HEPAフィルタが挿入されている。

(3) 温度変化

図4. 3. 6にボイルオーバー燃焼時の第2ダクトの内壁温度の変化を示す。ボイルオーバー燃焼時の第3ダクト内の気相温度の変化を図4. 3. 7に、フィルタチャンバ内の気相温度の変化を図4. 3. 8に示した。

(4) 流量変化

図4. 3. 9にボイルオーバー燃焼時の給気ダクト、第2ダクト及び希釈ダクト内の流量変化を示す。給気ダクト内には逆止弁が設置されているが、ボイルオーバー燃焼による圧力上昇によりセルから給気方向へ若干の逆流が起こっていることが分かる。第2ダクト内の流量は、ボイルオーバー燃焼による圧力上昇で一時的に増加している。希釈ダクトの逆流防止ダンパは、ボイルオーバー燃焼による圧力上昇に起因して閉じ、流量の減少が起こっている。しかし、希釈ダクトの空気取入れ口方向への逆流は生じていない。

(5) 差圧変化

図4. 3. 10にボイルオーバー燃焼時のフィルタチャンバ内の前段フィルタ、後段フィルタ及び前後2段フィルタの差圧変化を示した。

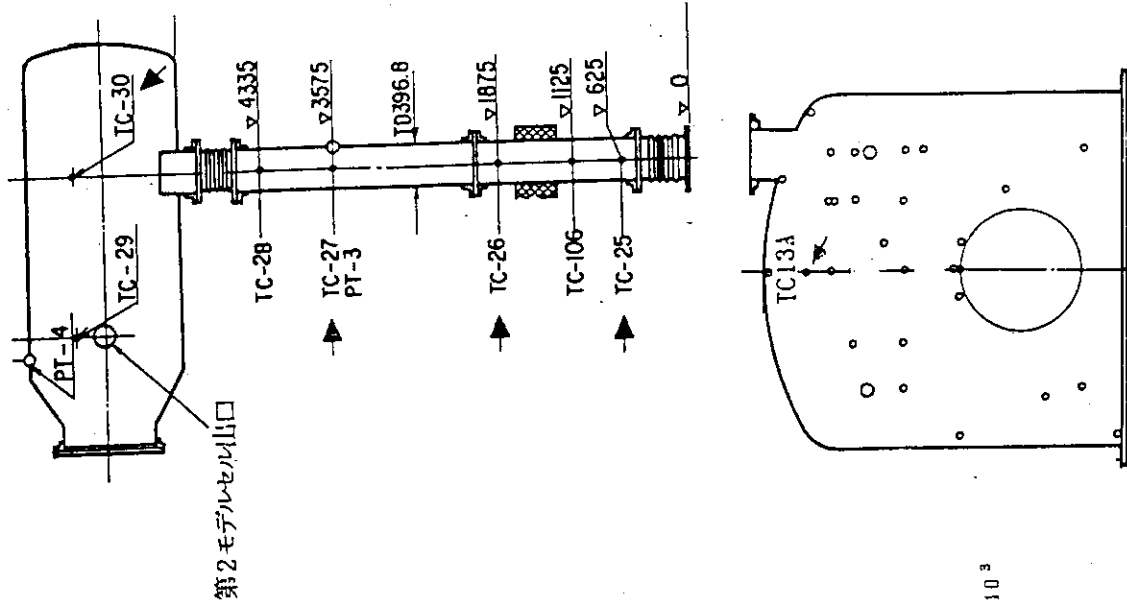
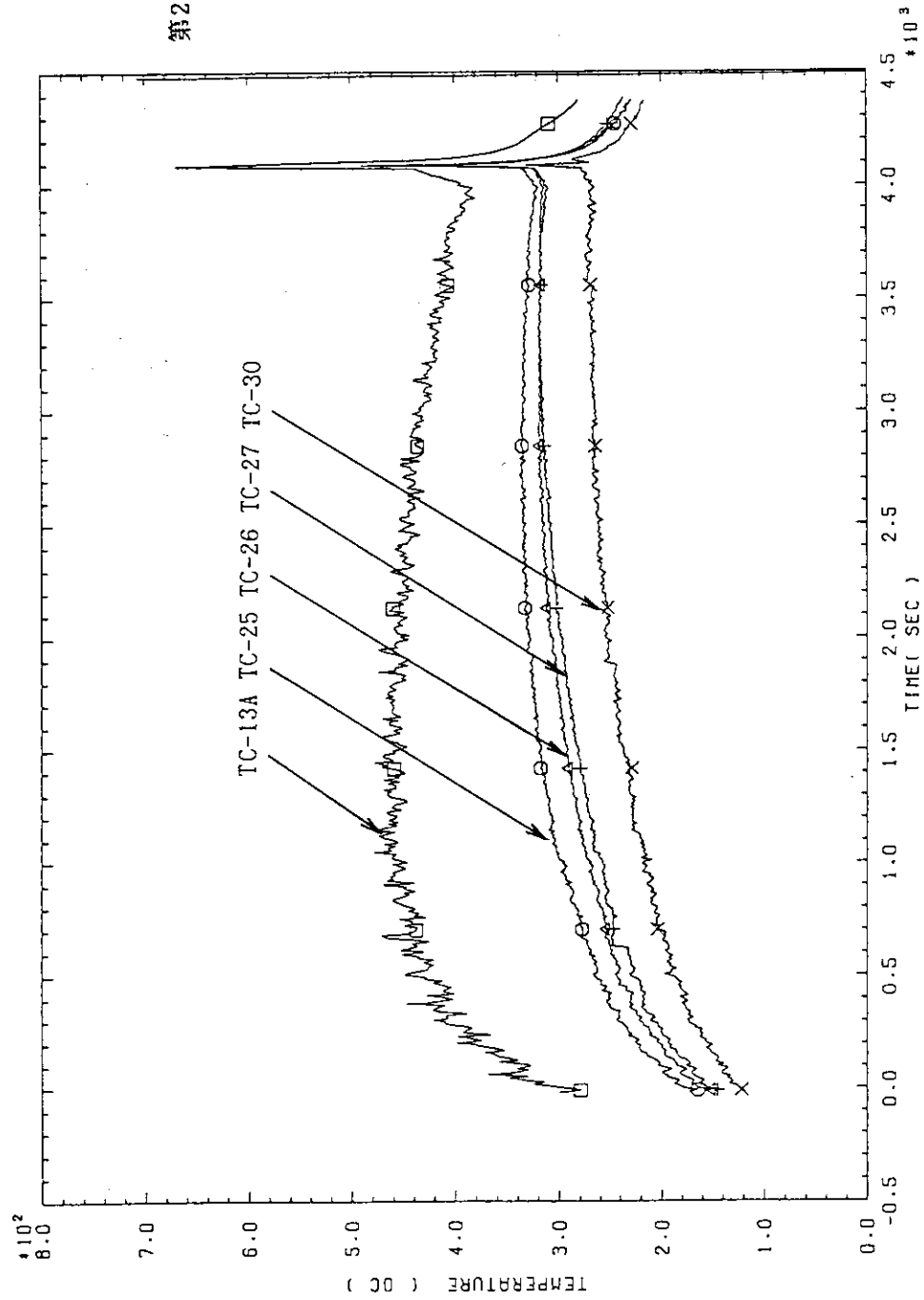


図4.3.1 セル及びダクト内の気相温度の変化

BOIL20A1 1988.03.15

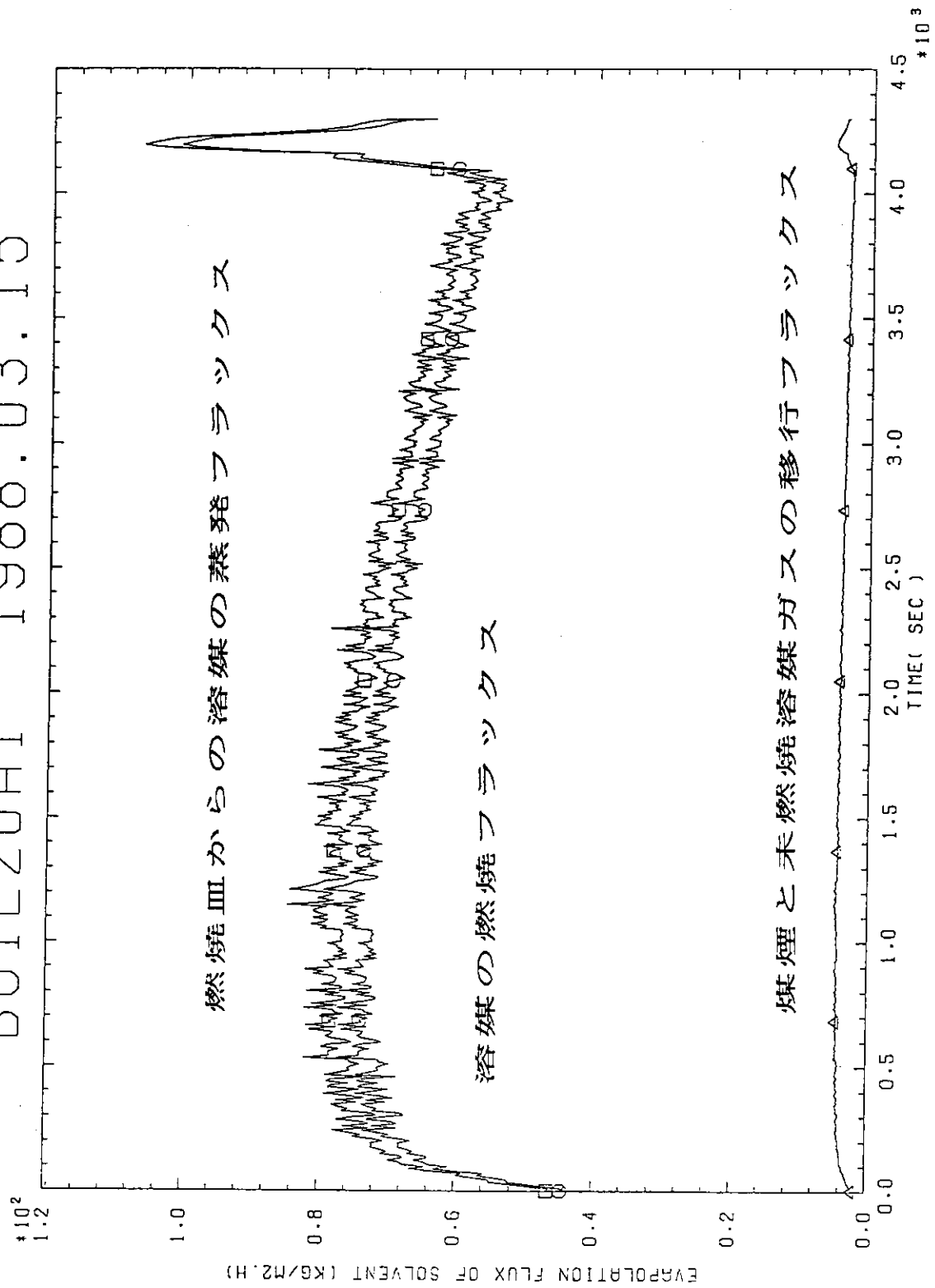


図4.3.2 燃焼皿からの溶媒の蒸発フラックス, 燃焼フラックス
及び煤煙と未燃焼溶媒ガスの移行フラックス

BOIL20A1 1988.03.15

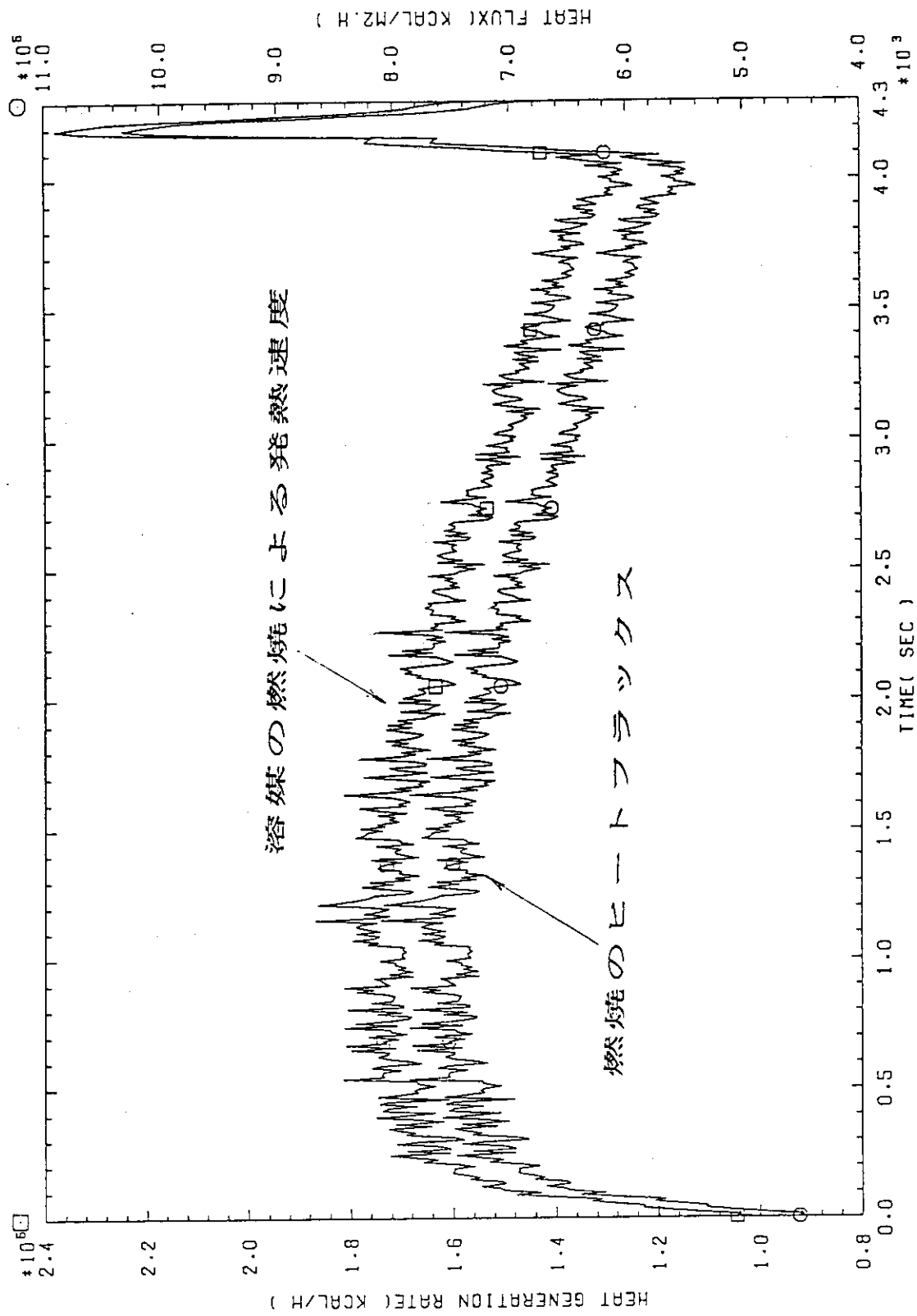


図4.3.3 溶媒の燃焼による発熱速度と燃焼のヒートフラックス

BOIL20A1 1988.03.15

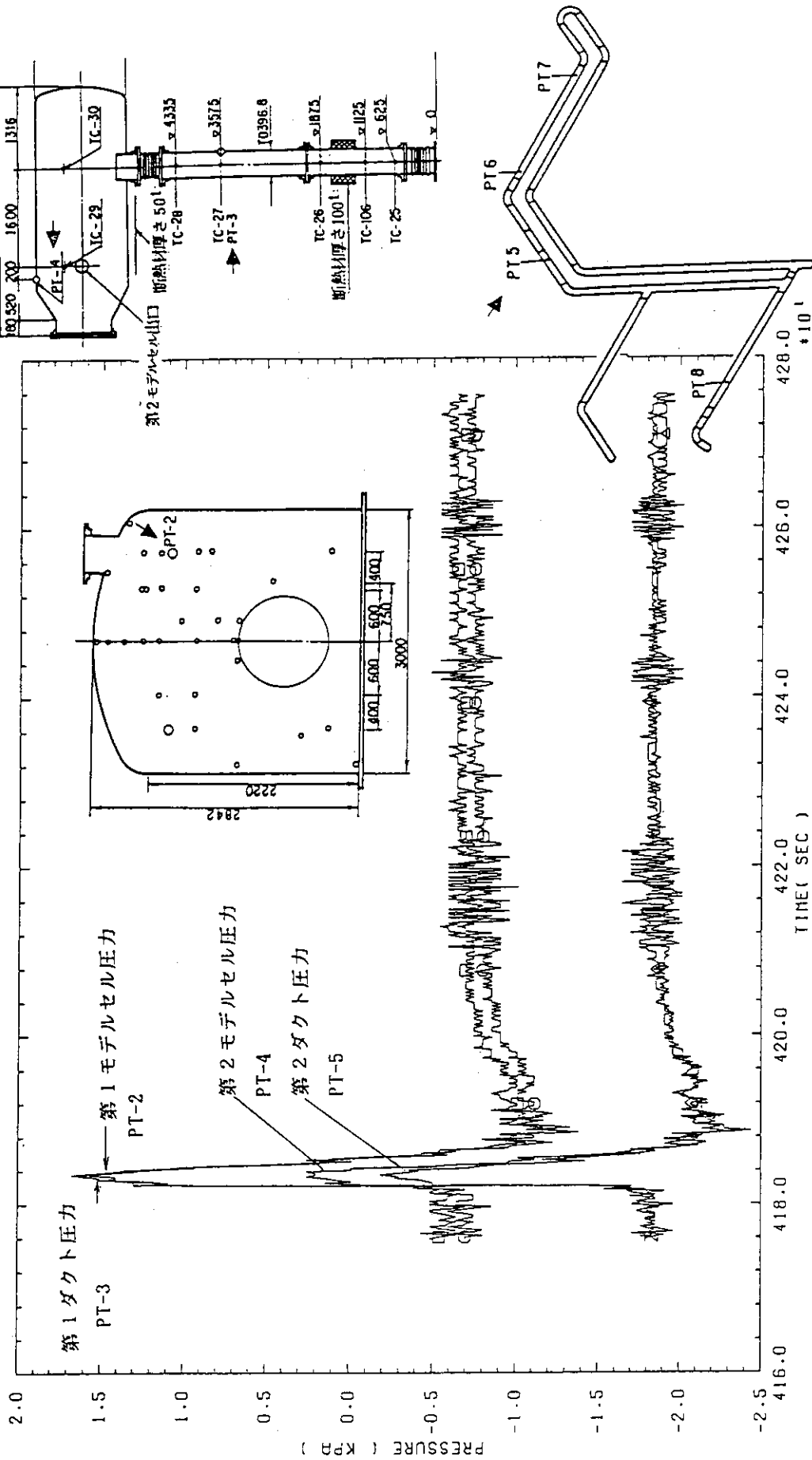


図4.3.4 セル及びダクト内の圧力変化

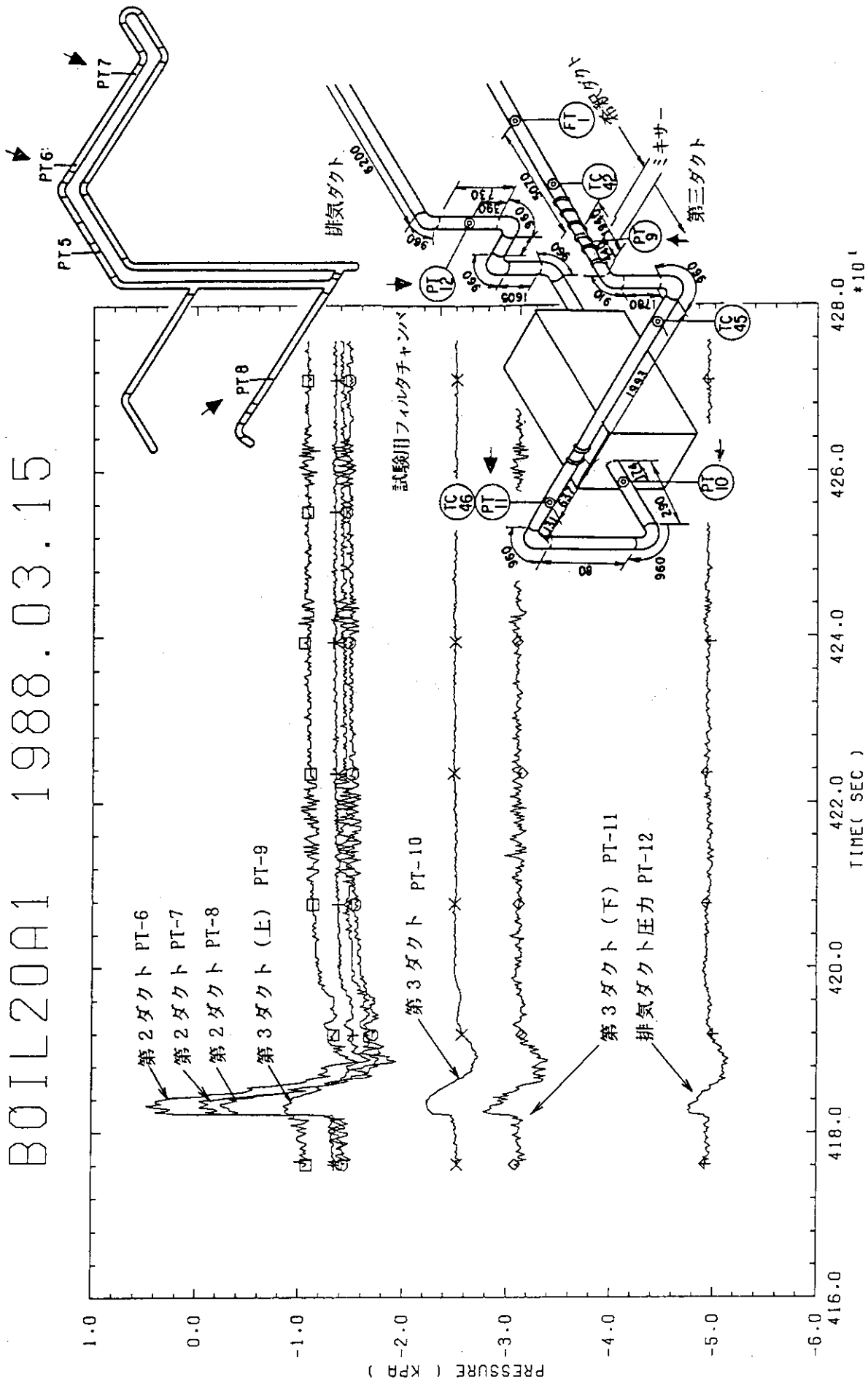
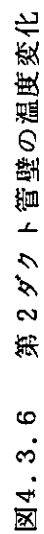


図4.3.5 ダクト内の圧力変化



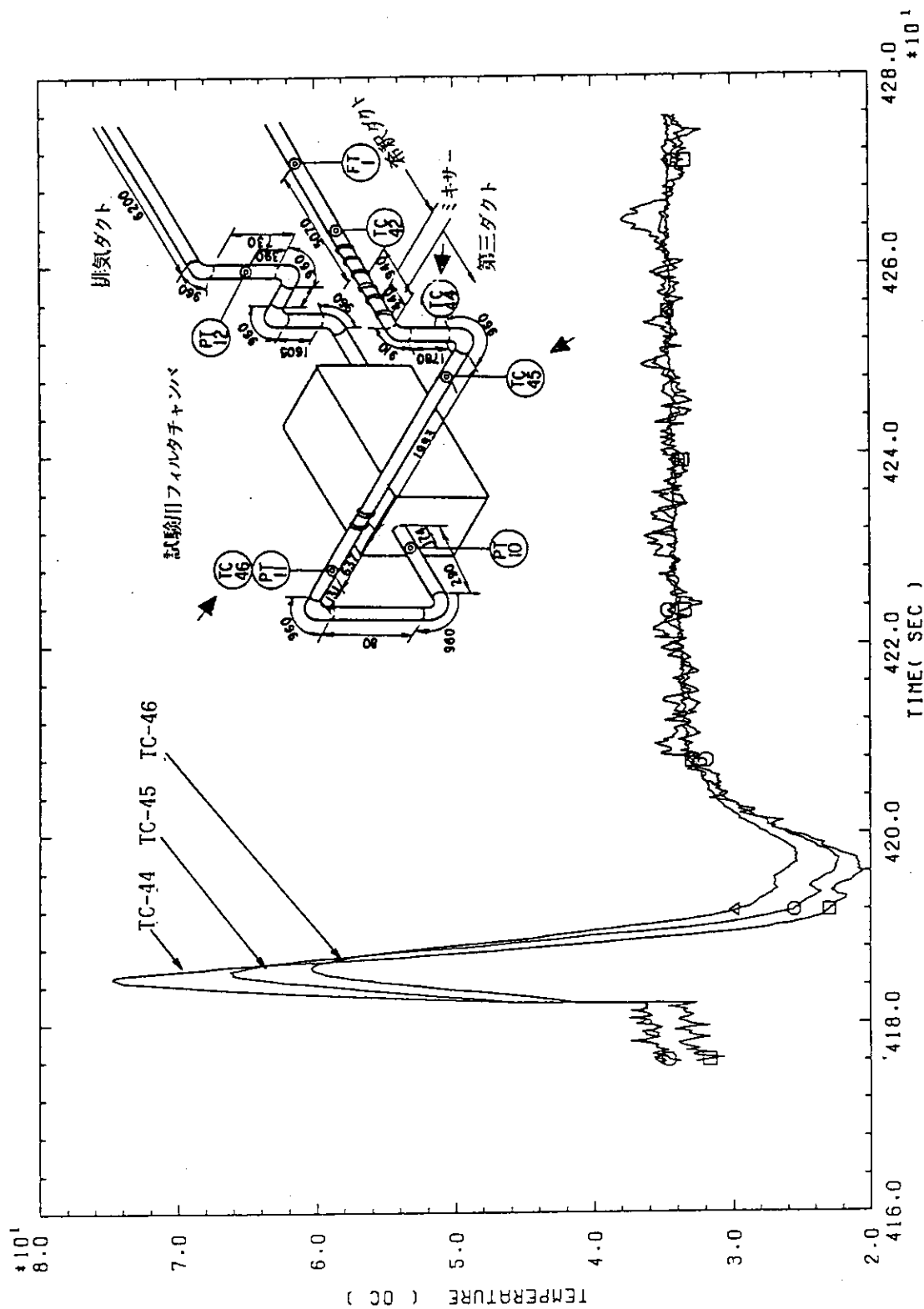


図4.3.7 第3ダクト内の気相温度の変化

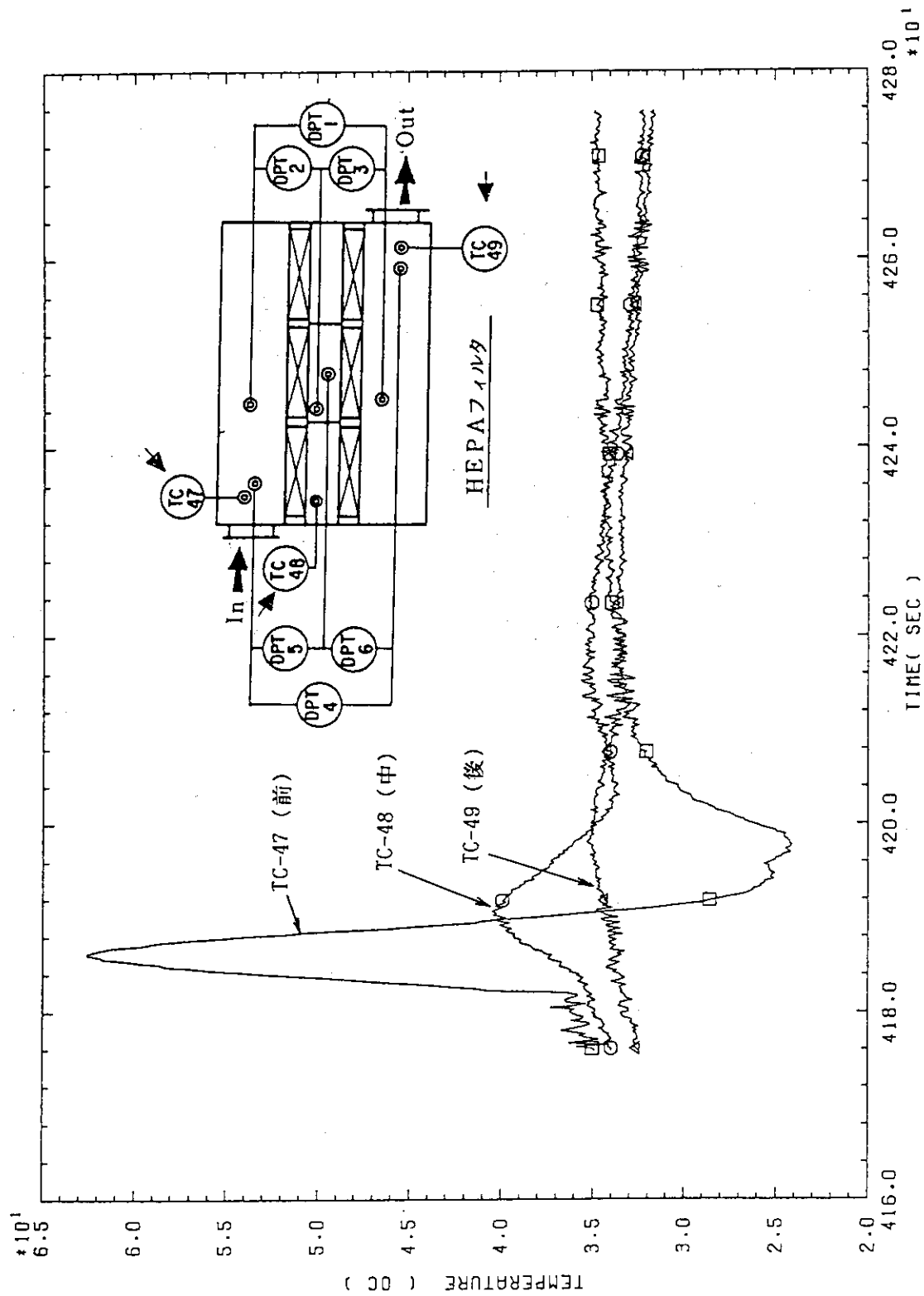


図4.3.8 フィルタチャンバー内の温度変化

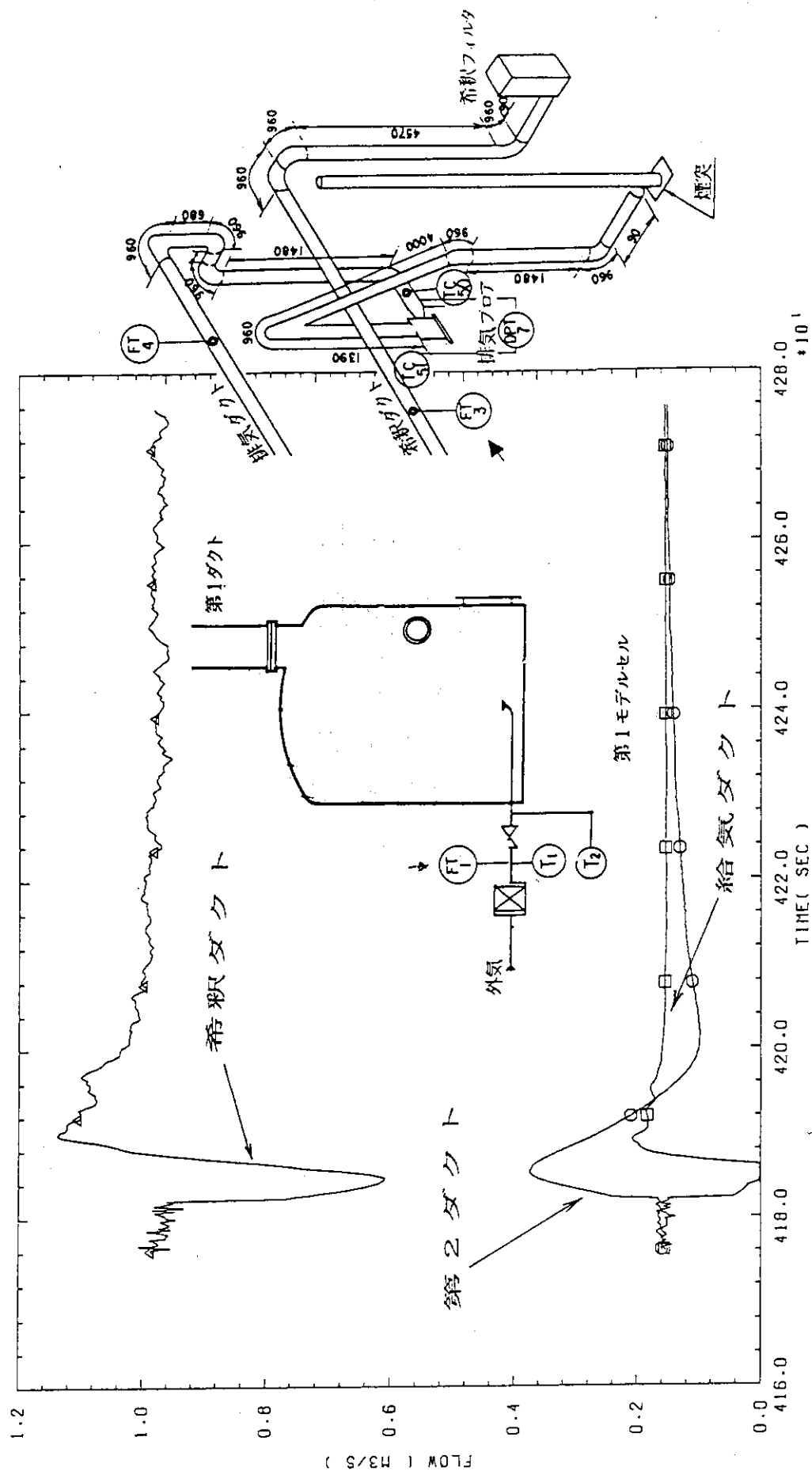


図4.3.9 給気ダクト、第2ダクト及び希釈ダクト内の空気の流量

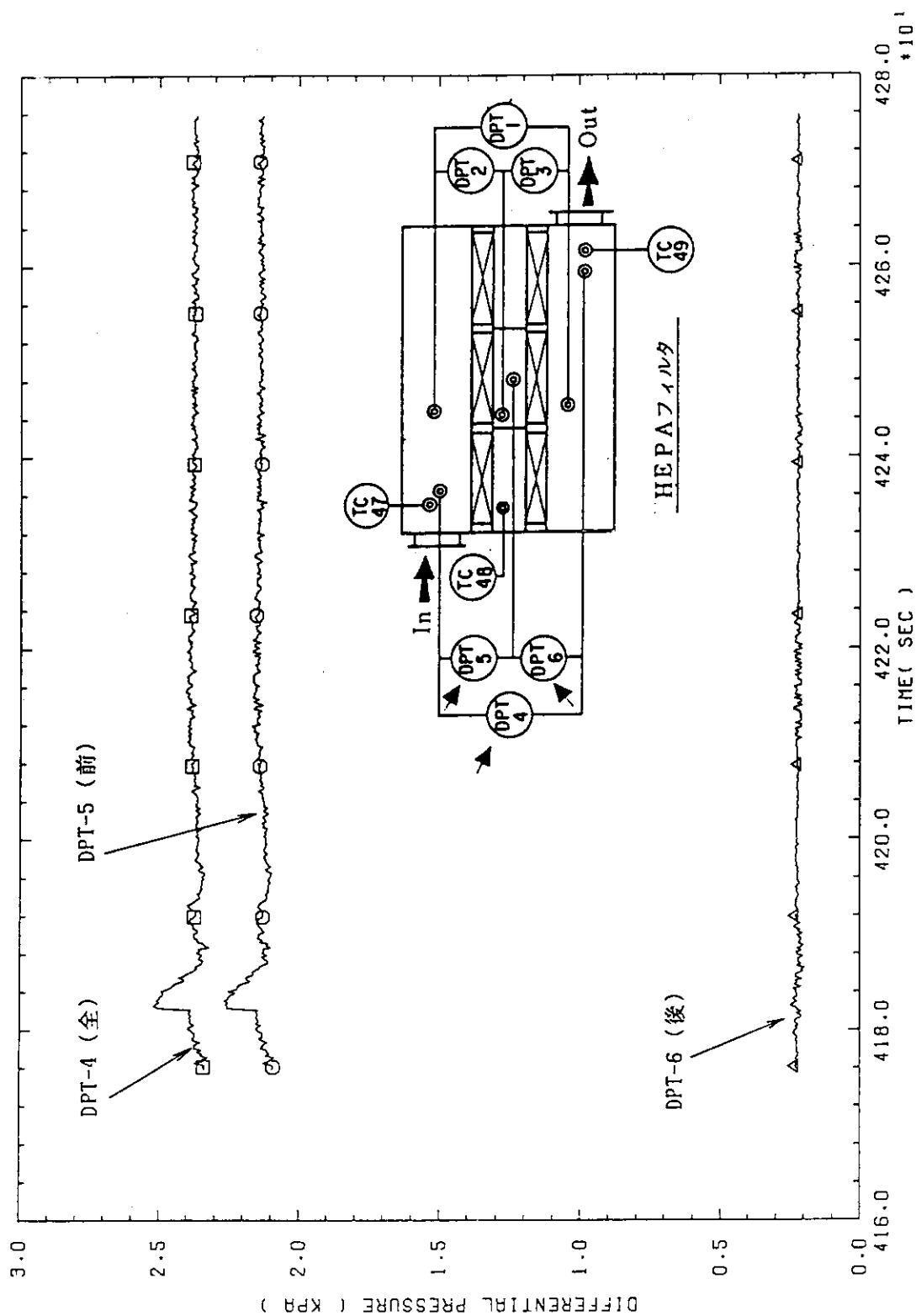


図4.3.10 HEPAフィルタの差圧変化

4. 4 抽出器 5 段相当の火災

4. 4. 1 試験の目的

本試験は、5 台の抽出器が火災になった場合を模擬したものである。BOIL 4001 は平成元年 1 月 24 日に、BOIL 5001 は平成 2 年 7 月 19 日に実施した。BOIL 5001 は、BOIL 4001 の再現性を確かめる試験である。

4. 4. 2 試験条件

表 4. 4 に BOIL 4001 と BOIL 5001 の試験条件を示した。両試験の条件は同一である。

表 4. 4 抽出器 5 段相当のボイルオーバー燃焼試験の条件

No.	項目	試験条件
1	燃焼皿の大きさ (燃焼面積)	抽出器 5 段相当 (0.384 m^2) ($48\text{cmW} \times 80\text{cmL} \times 40\text{cmH}$)
2	溶媒の体積 (初期温度)	50 リットル (40°C) ($\text{TBP} = 30\%$ 、ドデカン = 70%)
3	水相の体積 (初期温度)	50 リットル (40°C)
4	換気回数	30 回/h (給気流量 $500\text{m}^3/\text{h}$)
5	希釈流量	$3820\text{m}^3/\text{h}$
6	第 2 ダクトの管路長	10m
7	HEPA フィルタ台数	6 台 (Half size) / 段 $\times$ 2 段 計 12 段
8	第 1 モデルセル内圧力	$50 \sim 100\text{mmHg}$
9	燃焼皿のセル内位置	セル中央部 1 基

4. 4. 3 BOIL 4001 試験の結果

(1) 燃焼の挙動と温度の変化

図 4. 4. 1 に溶媒のセル内燃焼挙動を示した。即ち、溶媒火災時に燃焼皿から蒸発した溶媒の消費速度、燃焼速度及び煤煙と未燃焼溶媒の移行速度を示した。燃焼末期のピークは、ボイルオーバー燃焼に起因したものである。図の結果から、ボイルオーバー燃焼は着火後 43.7 分に発生したことが分かる。図 4. 4. 2 は、燃焼皿中の溶媒相の下層にある水相の温度上昇を示す。図 4. 4. 3 は、溶媒燃焼に伴う第 1 モデルセル内の発熱速度及び第 1 ダクトへの燃焼ガスの熱移流速度を示した。図中の発熱速度と熱移流速度の差は、第 1 モデルセルの壁に移動した熱移流速度である。

図 4. 4. 4 に試験装置内の気相の温度分布を示す。図中には、第 1 モデルセル内の気相温度、第 1 ダクトと第 2 モデルセルの気相温度及びフィルタチェンバー出入口の気相温度を示した。図 4. 4. 5 に第 1 モデルセルの床から 1.71m の高さに

おけるセル水平方向の気相温度の変化を示す。図4.4.6に第1モデルセル内の気相温度変化をセルの中心軸方向に対して示した。図4.4.7に第1モデルセル、第1ダクト及び第2モデルセル内の気相温度を示す。図4.4.8に第1モデルセルと第2ダクトの内壁温度を示す。図4.4.9に第2ダクトの内壁温度と第3ダクト及び排気ダクトの気相温度を示した。図4.4.10にフィルタケーシング内の気相温度を示した。ボイルオーバー燃焼による温度ピーク高さは約47℃である。

(2) 圧力の変化

図4.4.11に第1モデルセルから第2モデルセルを通り第2ダクトまでの圧力変化を示す。第1モデルセル内の定常燃焼時の圧力は-1.8~-3.0kPa（ゲージ圧）であるが、ボイルオーバー燃焼時の最大圧力は正圧になっている。図4.4.12は、第2ダクト、第3ダクト、フィルタチェンバー及び排気ダクトの圧力変化を示した。圧力ピークは管路行程にしたがって低下している。第2ダクトから第3ダクトの圧力低下は、ミキサー部の管径が拡大したことによる流動抵抗によると考えられる。

(3) 流量の変化

図4.4.13に給気ダクト、第2ダクト、希釈ダクト及び排気ダクト内の流量の変化を示す。ボイルオーバー燃焼時に第2ダクト内の流量は一時的に増加している。なお、給気ダクトには逆止弁、希釈ダクトには逆流防止ダンパが設置されている。

(4) フィルタの差圧変化

図4.4.14にH E P Aフィルタ前後に設置した差圧計による前段H E P Aフィルタ、後段フィルタ及び前後2段フィルタの差圧変化を示した。煤煙の負荷により、前段フィルタの差圧のみが上昇していることが分かる。

4.4.4 B O I L 5 0 0 1 試験の結果

(1) 燃焼の挙動

図4.4.15に溶媒の燃焼挙動を示した。図中には、燃焼皿から蒸発した溶媒の消費速度、燃焼速度及び煤煙と未燃焼溶媒の移行速度を示す。図4.4.16に燃焼皿中の溶媒相下層にある水相の温度上昇を示す。図から、ボイルオーバー燃焼の時間は着火後50.7分に発生したことが分かる。図4.4.17に溶媒燃焼に伴うセル内の発熱速度と第1ダクトへの燃焼ガスの熱移流速度を示す。発熱速度と熱移流速度の差は、セル壁への熱移動速度である。

図4.4.18に試験装置内の気相温度を示す。図中には、第1モデルセル内の火炎温度と気相温度、第1ダクト及び第2モデルセルの気相温度及びフィルタチェンバー出入口の気相温度が示されている。図4.4.19に第1モデルセルの底面から1.71mの高さにおける気相温度をセル水平方向に対して示す。図4.4.

20に第1モデルセル内の気相温度をセルの中心軸方向に対して示した。図4. 4. 21に第1モデルセル、第1ダクト及び第2モデルセル内の気相温度を示す。図4. 4. 22には、第2ダクトの内壁温度、第3ダクト及び排気ダクトの気相温度を示した。図4. 4. 23にフィルタチェンバー内の気相温度を示す。図4. 4. 24に第1モデルセル及び第2ダクトの壁面における温度変化を示した。

(2) 圧力の変化

図4. 4. 25は第1モデルセルから第2モデルセルを通して第2ダクトまでの圧力の変化を示したものである。図4. 4. 26に第2ダクト、第3ダクト、フィルタチェンバー及び排気ダクトの圧力変化を示した。圧力のピークは、管路の行程に沿って減衰している。

(3) 流量の変化

図4. 4. 27に給気ダクト、第2ダクト、希釈ダクト及び排気ダクト内の流量の変化を示した。ボイルオーバー燃焼時には、第2ダクト内の流量は一時的に増加する。

(4) フィルタの圧力損失

図4. 4. 28にHEPAフィルタ前後に設置した差圧計による前段フィルタ、後段フィルタ及び前後2段フィルタの差圧変化を示す。煤煙の負荷により、前段フィルタの差圧のみが上昇している。

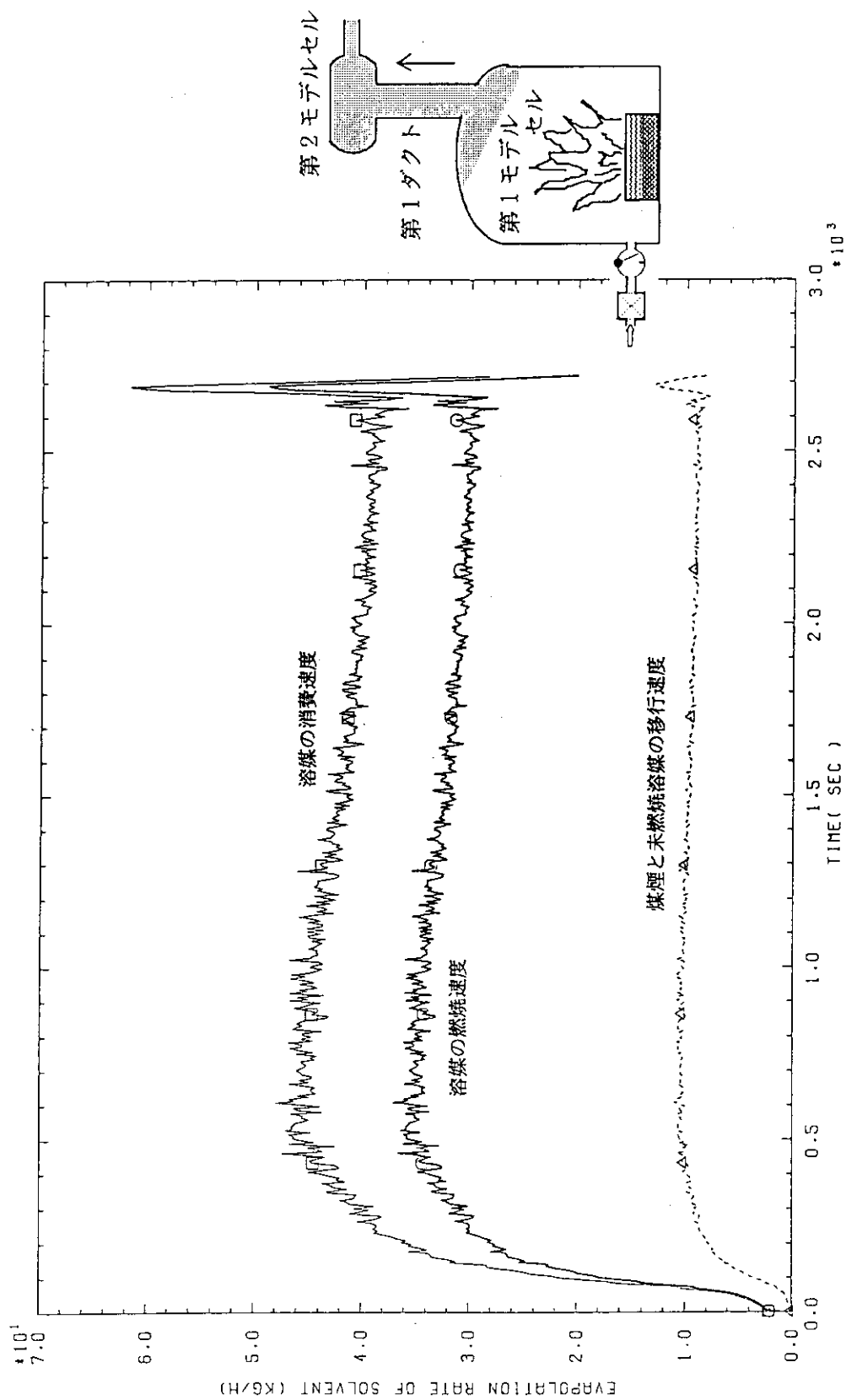


図4.4.1 溶媒の消費速度、燃焼速度、及び煤煙と未燃焼溶媒の移行速度 (kg/h)

BOIL4001 1990.01.24

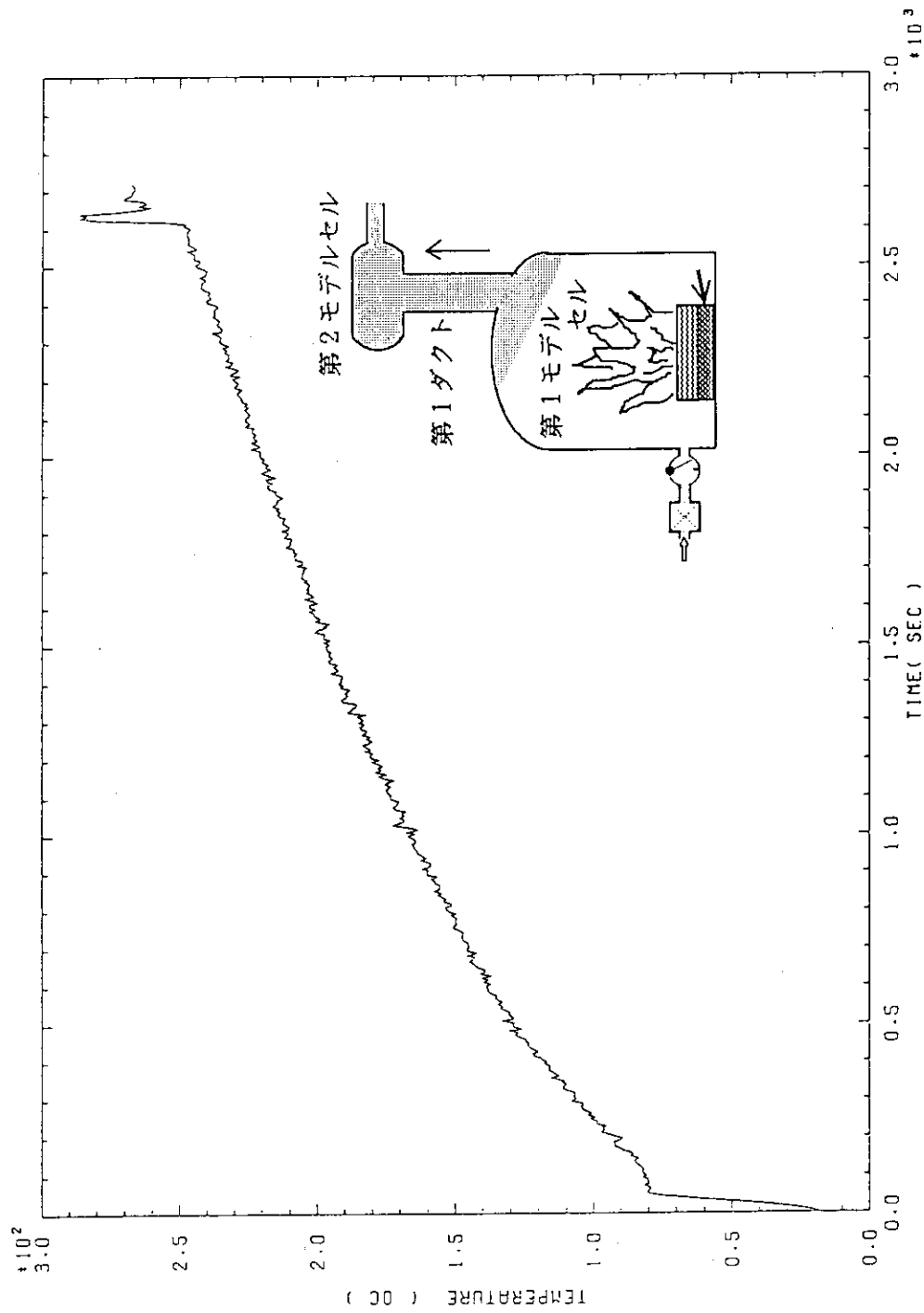
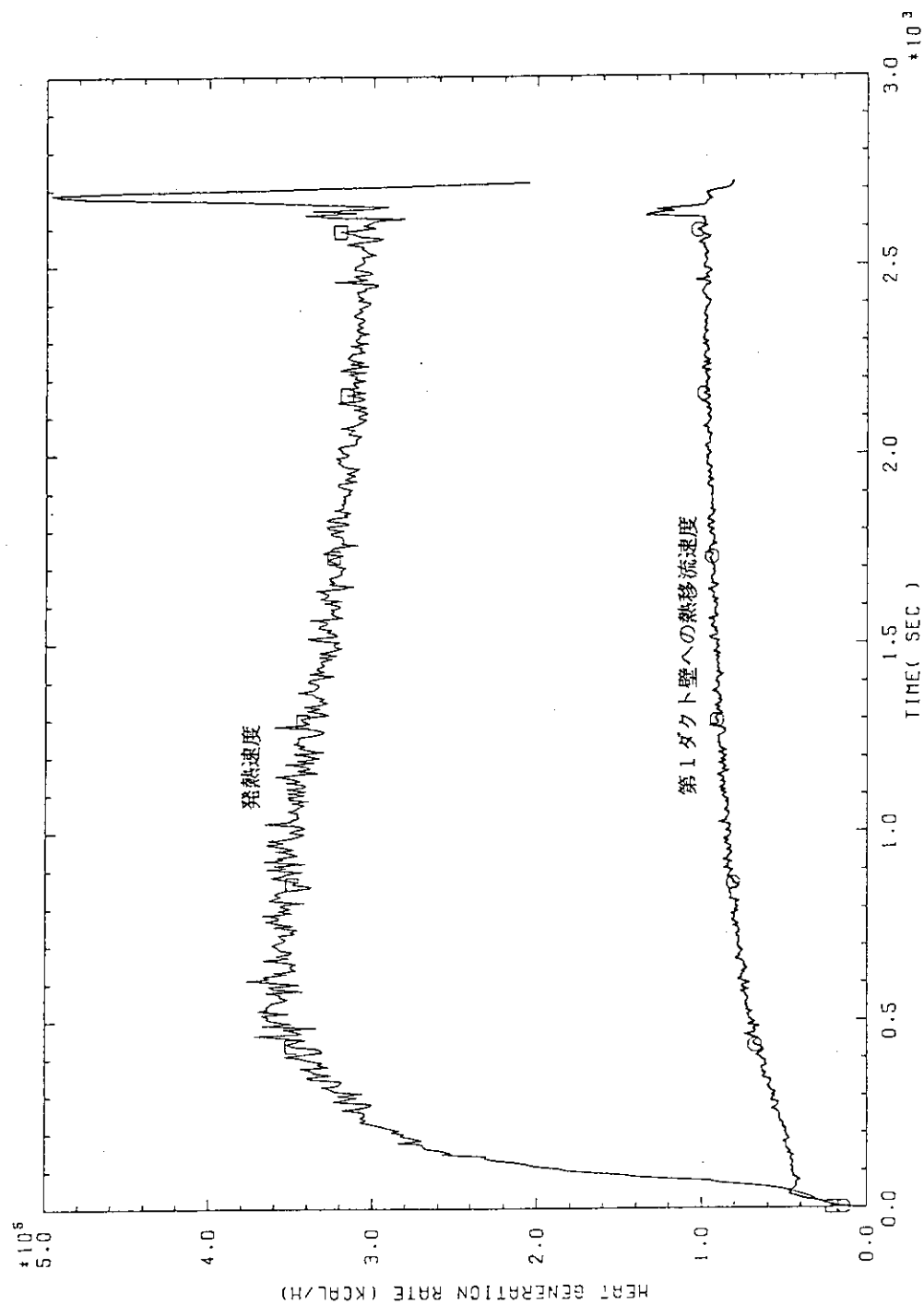


図4.4.2 燃焼中の水相温度 (TC31, °C)

BOIL4001 1990.01.24

図4.4.3 溶媒の燃焼に伴う発熱速度及び第1ダクトへの熱移流速度 (kcal/h)

BOIL4001 1990.01.24

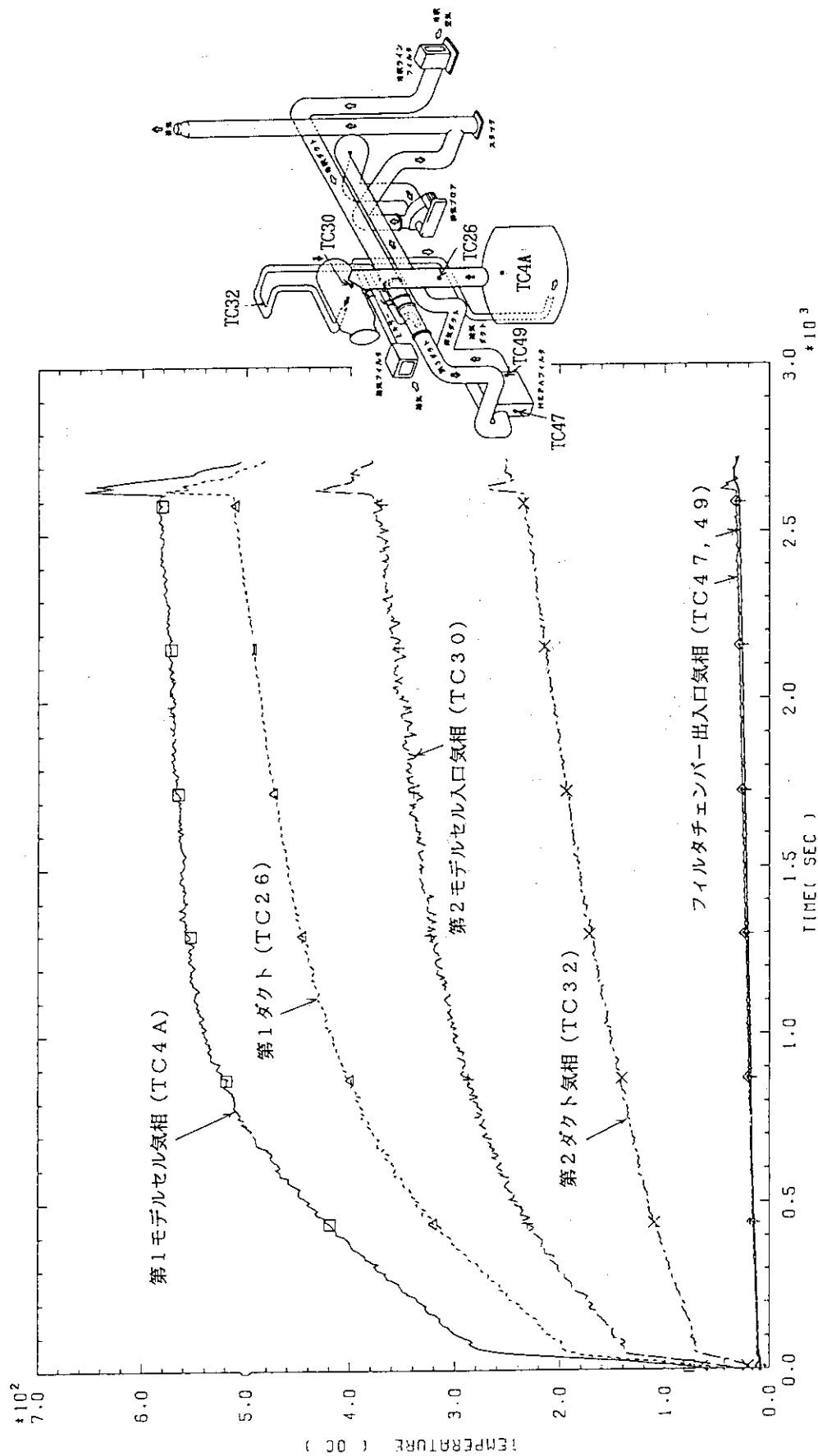


図4.4.4 第1モデルセル, 第1ダクト及び第2モデルセル内の気相温度 (°C)

BOIL4001 1990.01.24

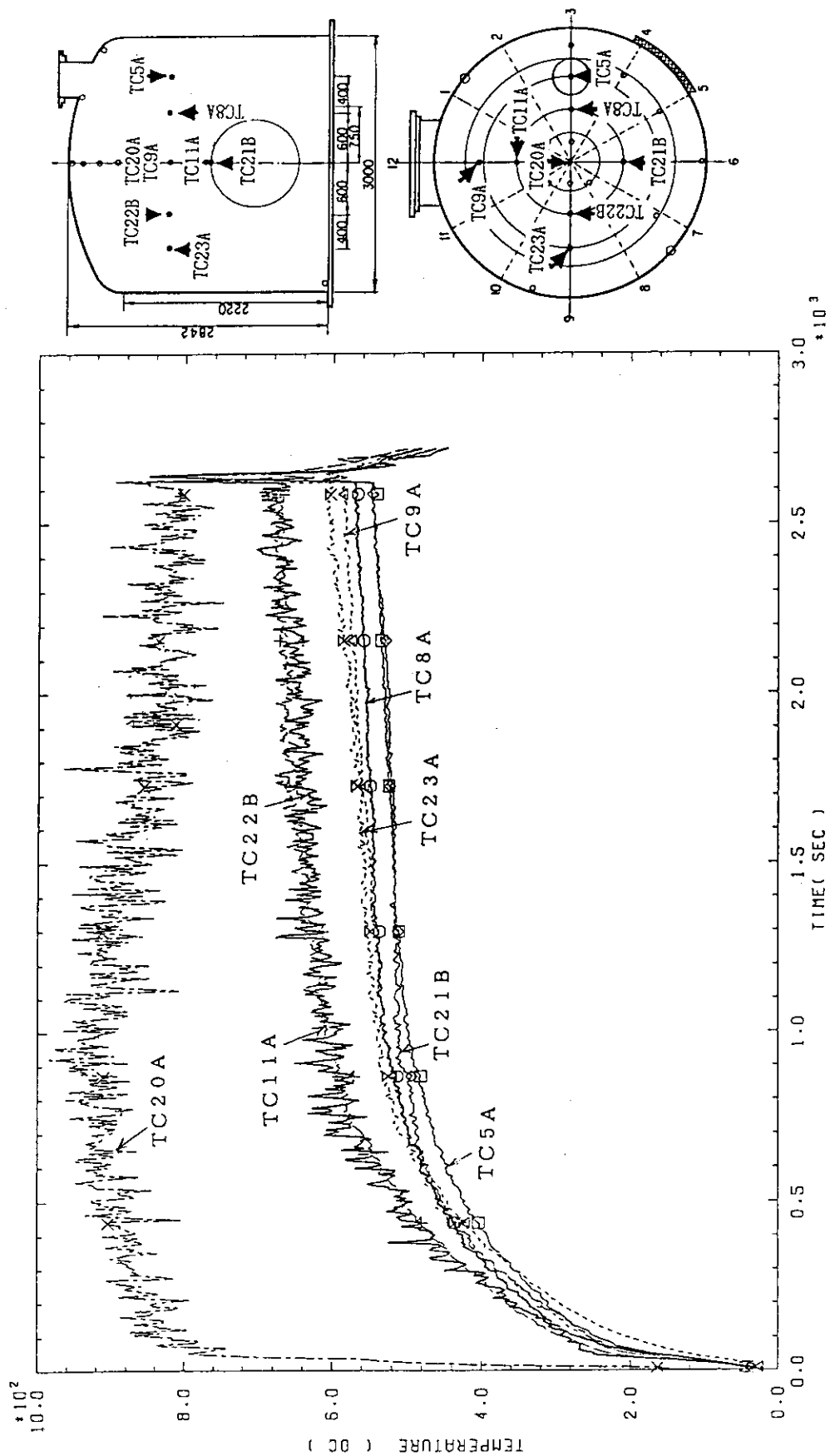


図4.4.5 第1モデルセル内の気相 (火炎) 温度 (°C)

BOIL4001 1990.01.24

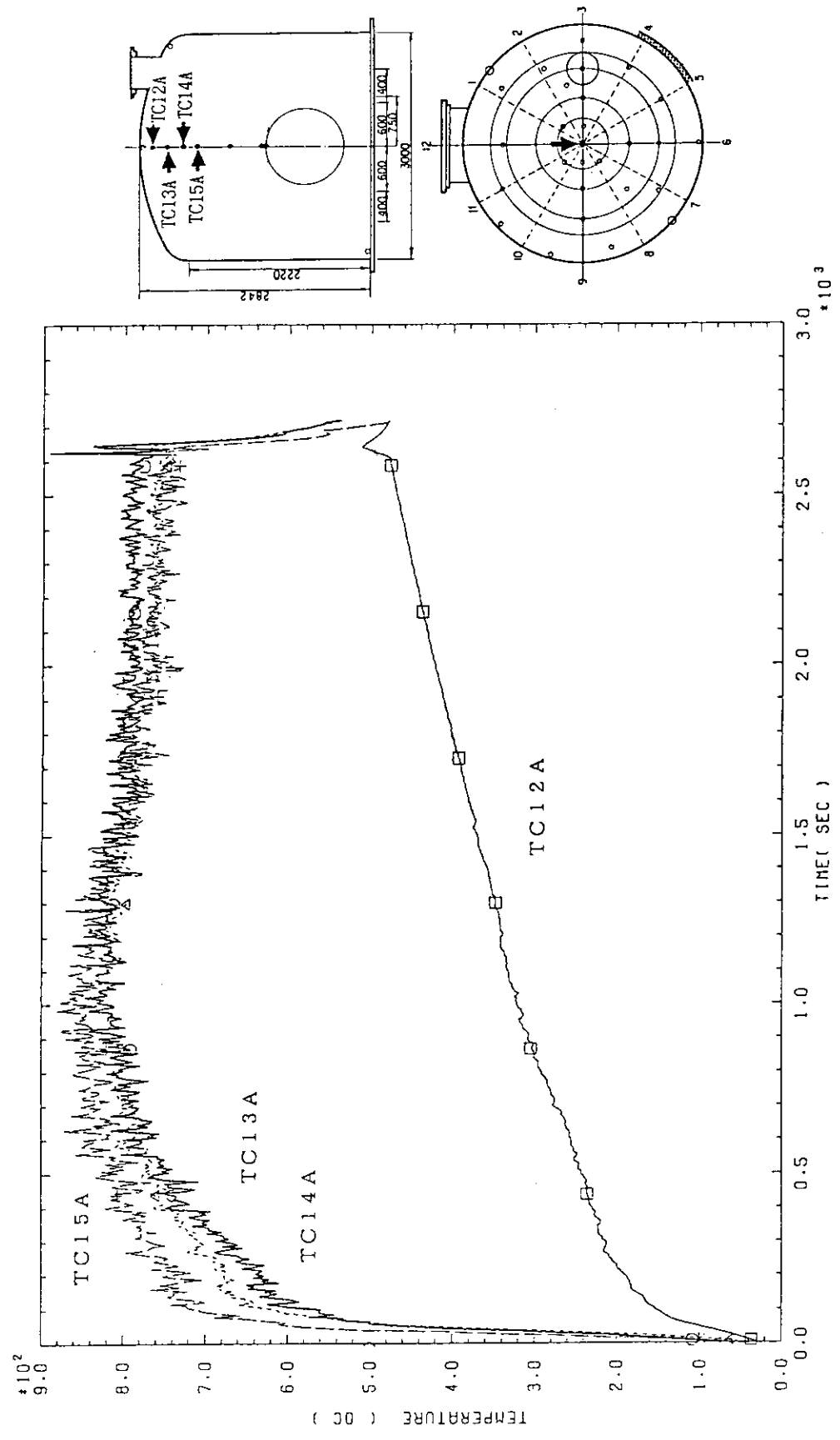


図4.4.6 第Iモデルセル内の気相 (火炎) 温度 (°C)

B01L4001 1990.01.24

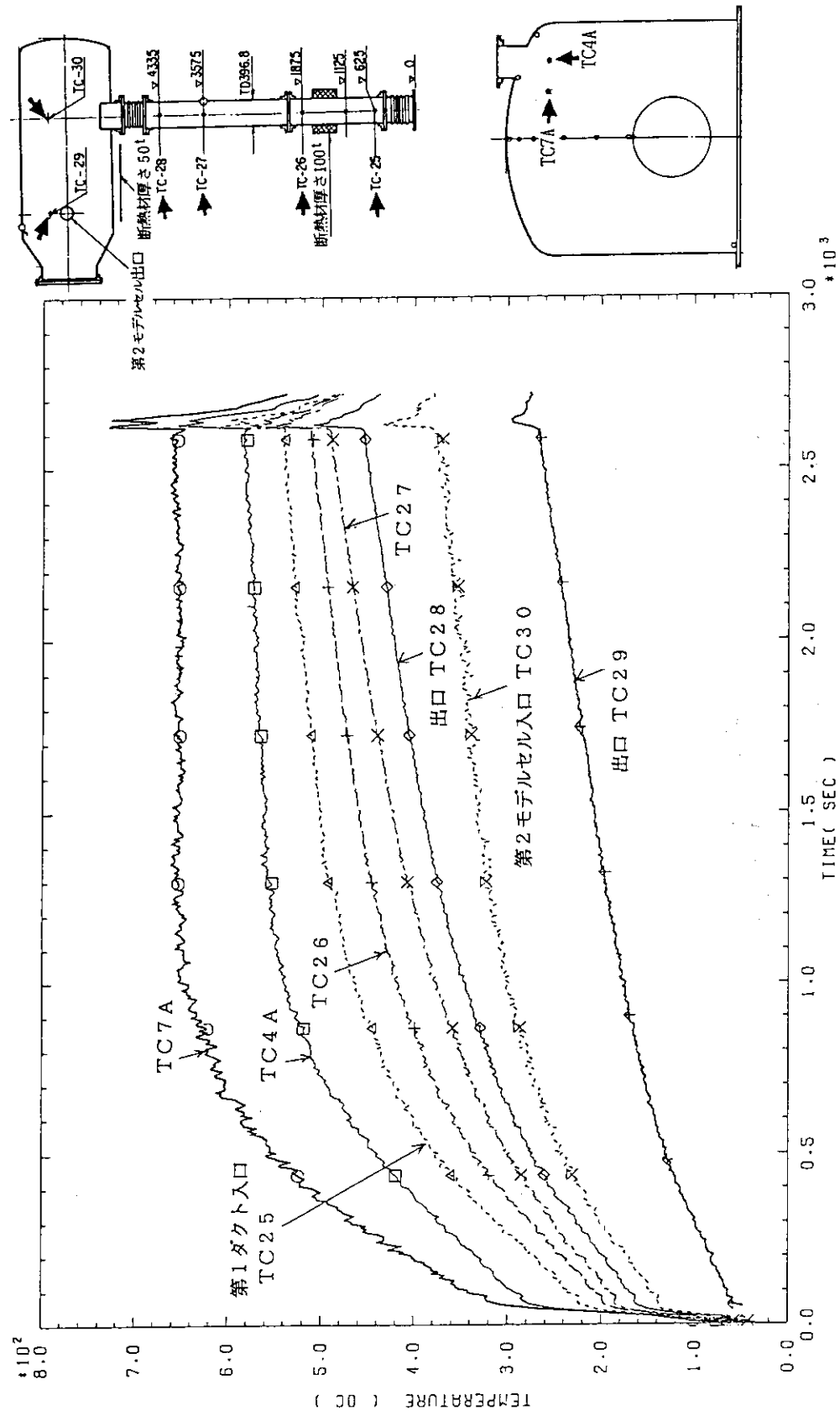


図 4.4.7 実証試験装置内の気相温度分布 (°C)

BOIL4001 1990:01.24

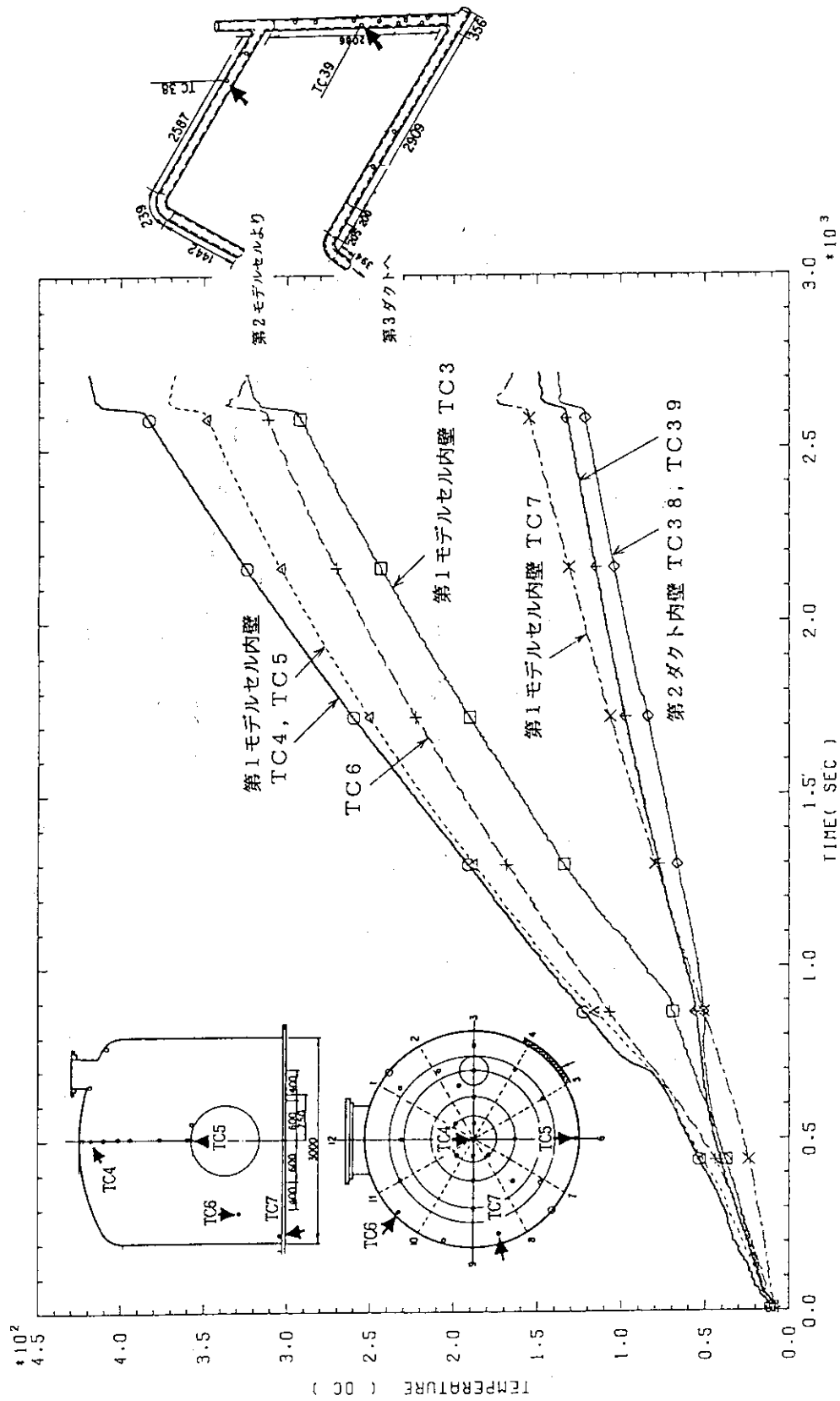


図4.4.8 第1モデルセル, 第2ダクトの壁面温度 (°C)

BOIL4001 1990.01.24

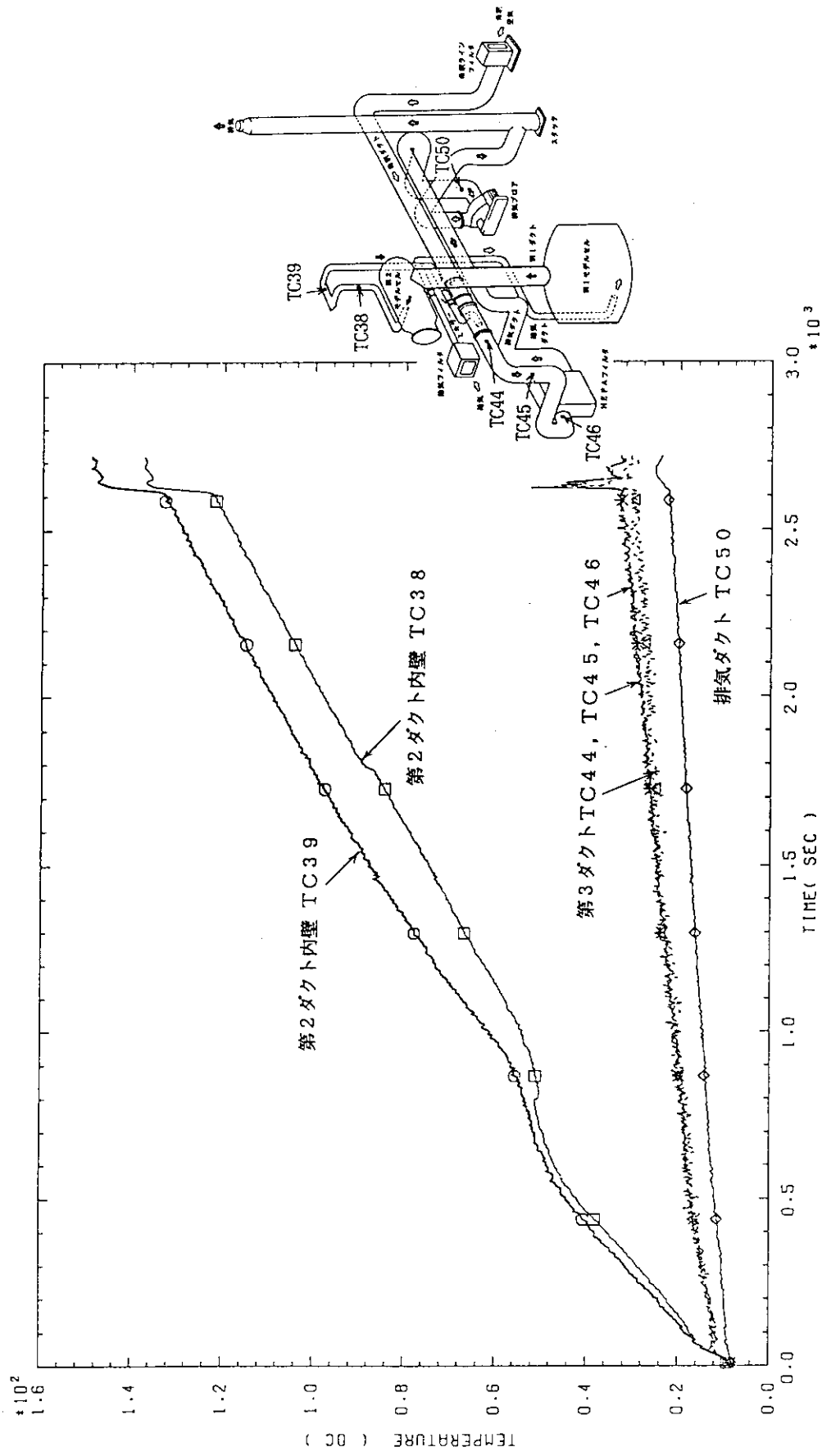


図4.4.9 第2ダクト内壁温度, 第3ダクト気相及び排気ダクト気相温度 (°C)

B0IL4001 1990.01.24

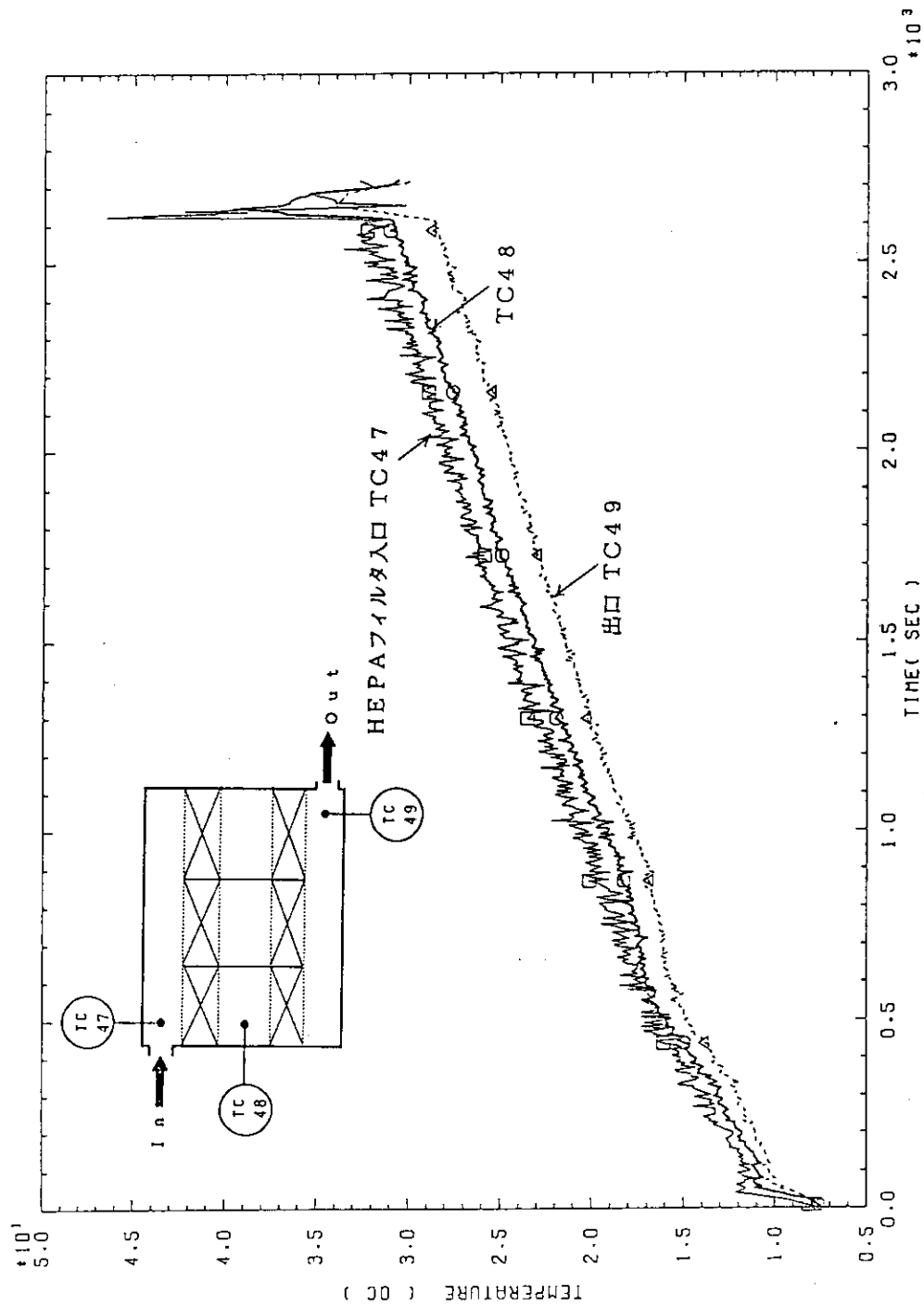


図4.4.10 HEPAフィルタチェンバー内気相温度 (°C)

BOIL4001 1990.01.24

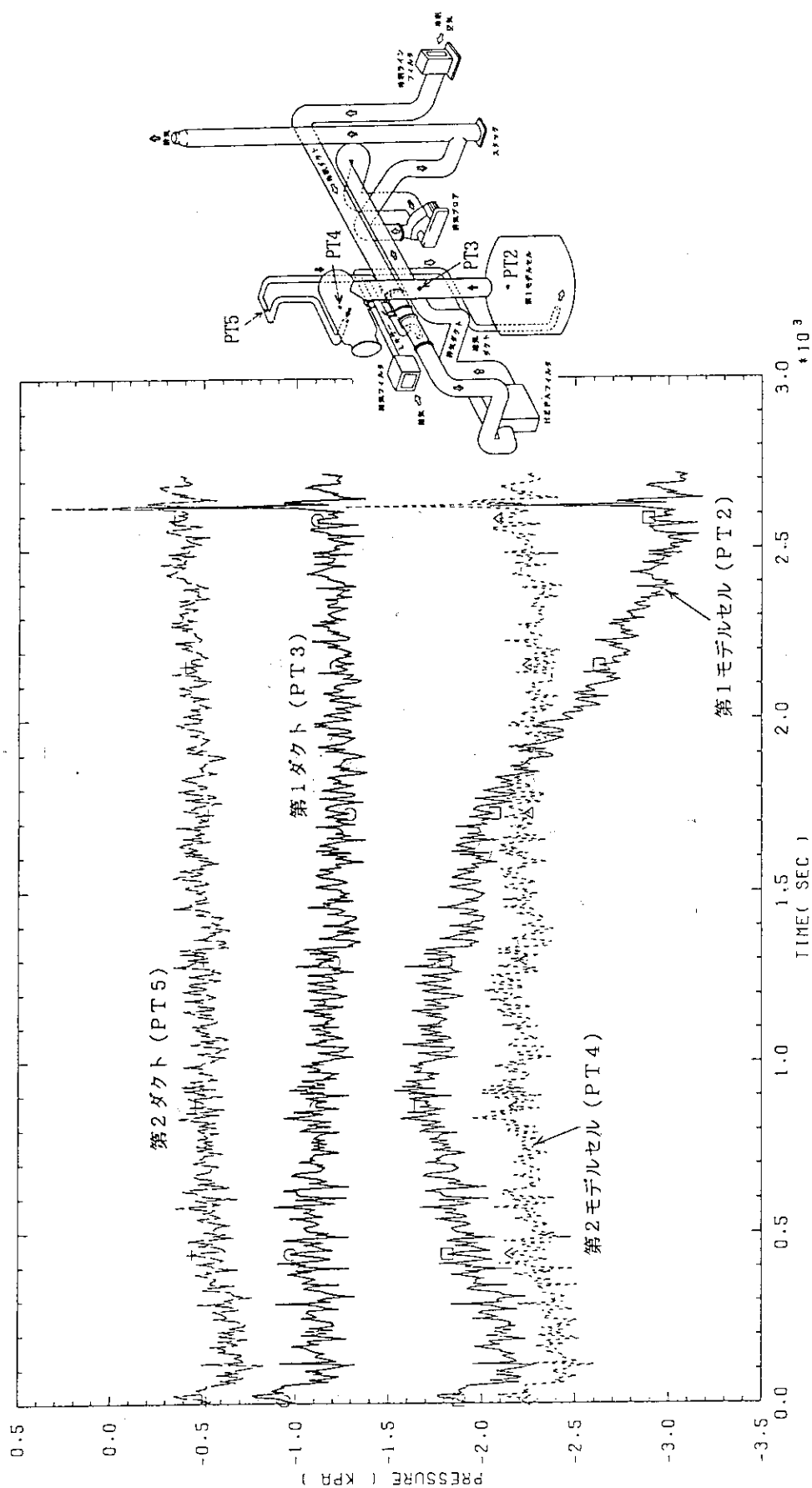
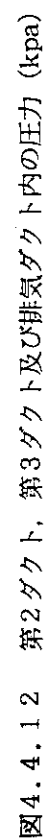


図4.4.11 第1モデルセル, 第1ダクト, 第2モデルセル及び第2ダクト内の圧力 (kpa)



BOIL4001 1990.01.24

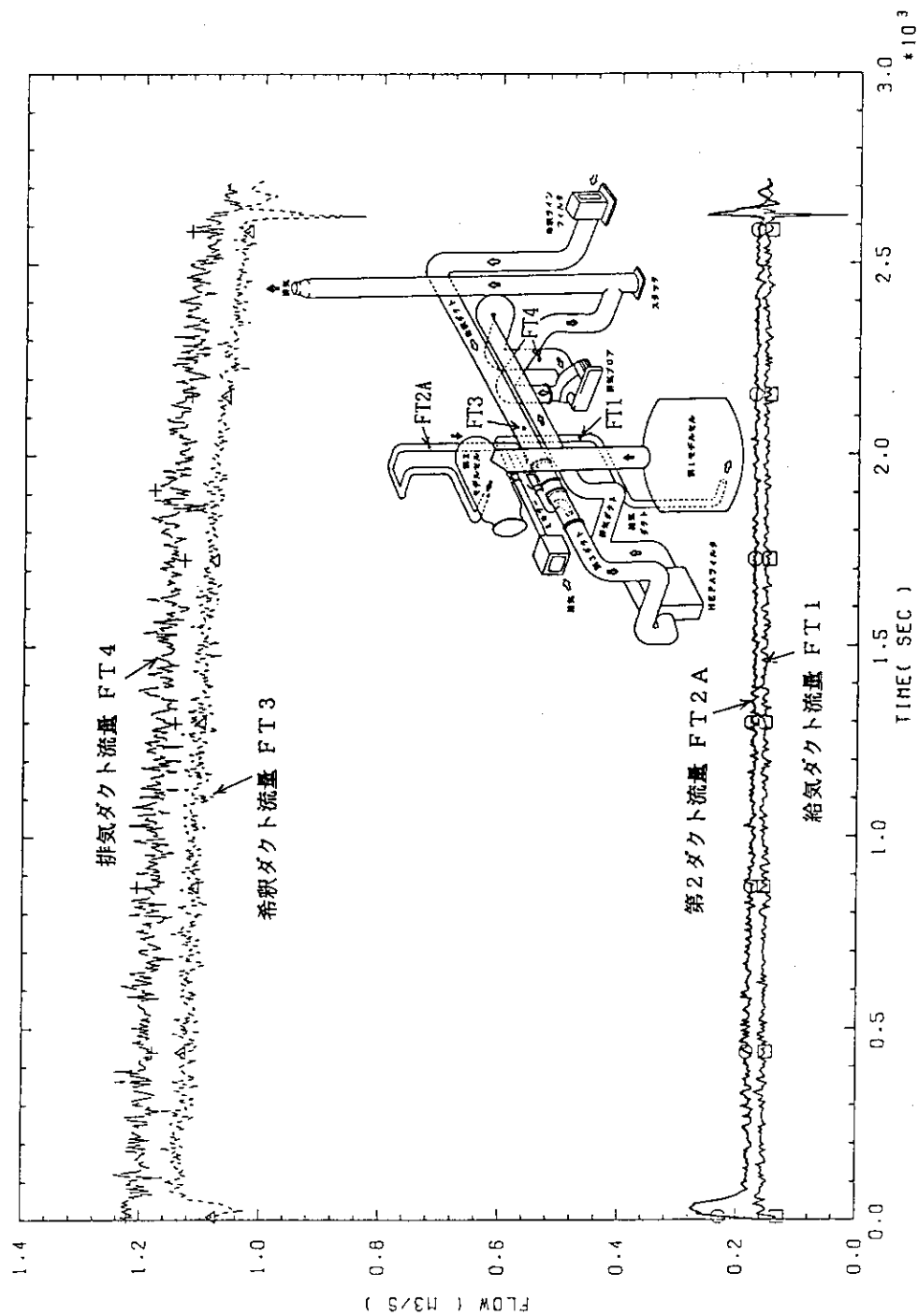


図4.4.13 実証試験装置内の気体流量 (m³/s)

BOIL4001 1990.01.24

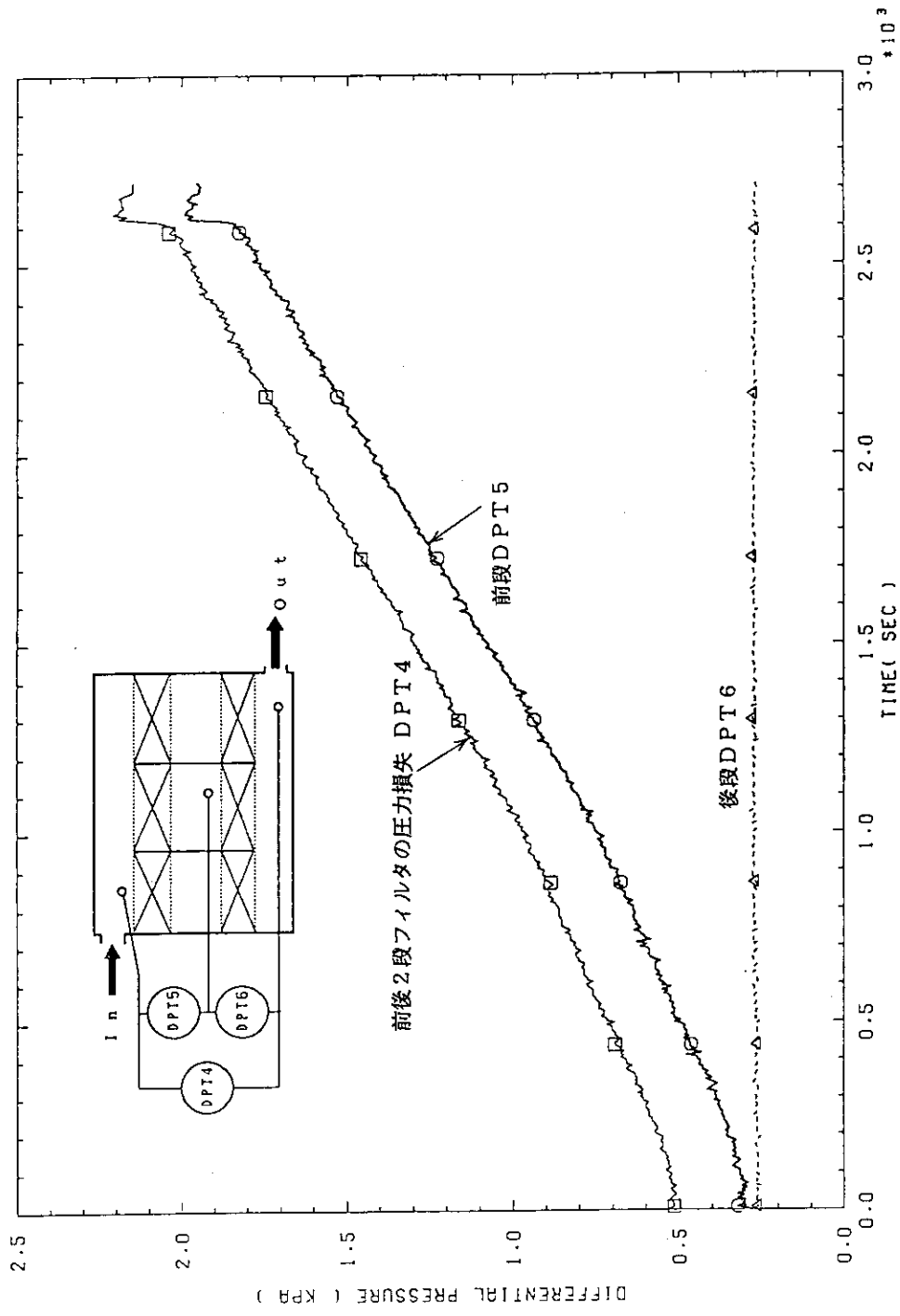


図4.4.14 HEPAフィルタにおける圧力損失 (kPa)

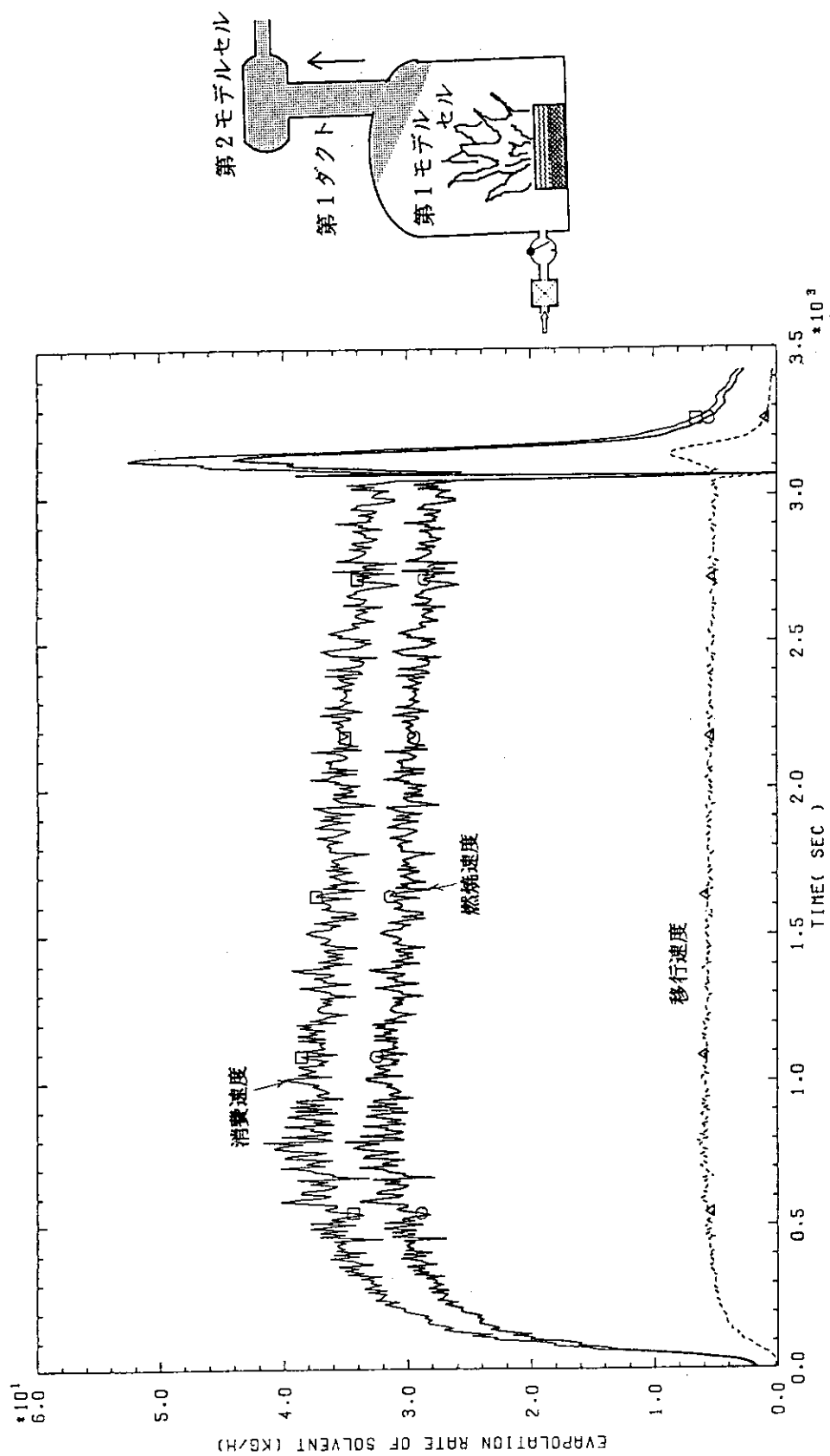


図4.4.15 溶媒の消費速度、燃焼速度、及び煤煙と未燃焼溶媒の移行速度 (kg/h)

B0IL5001

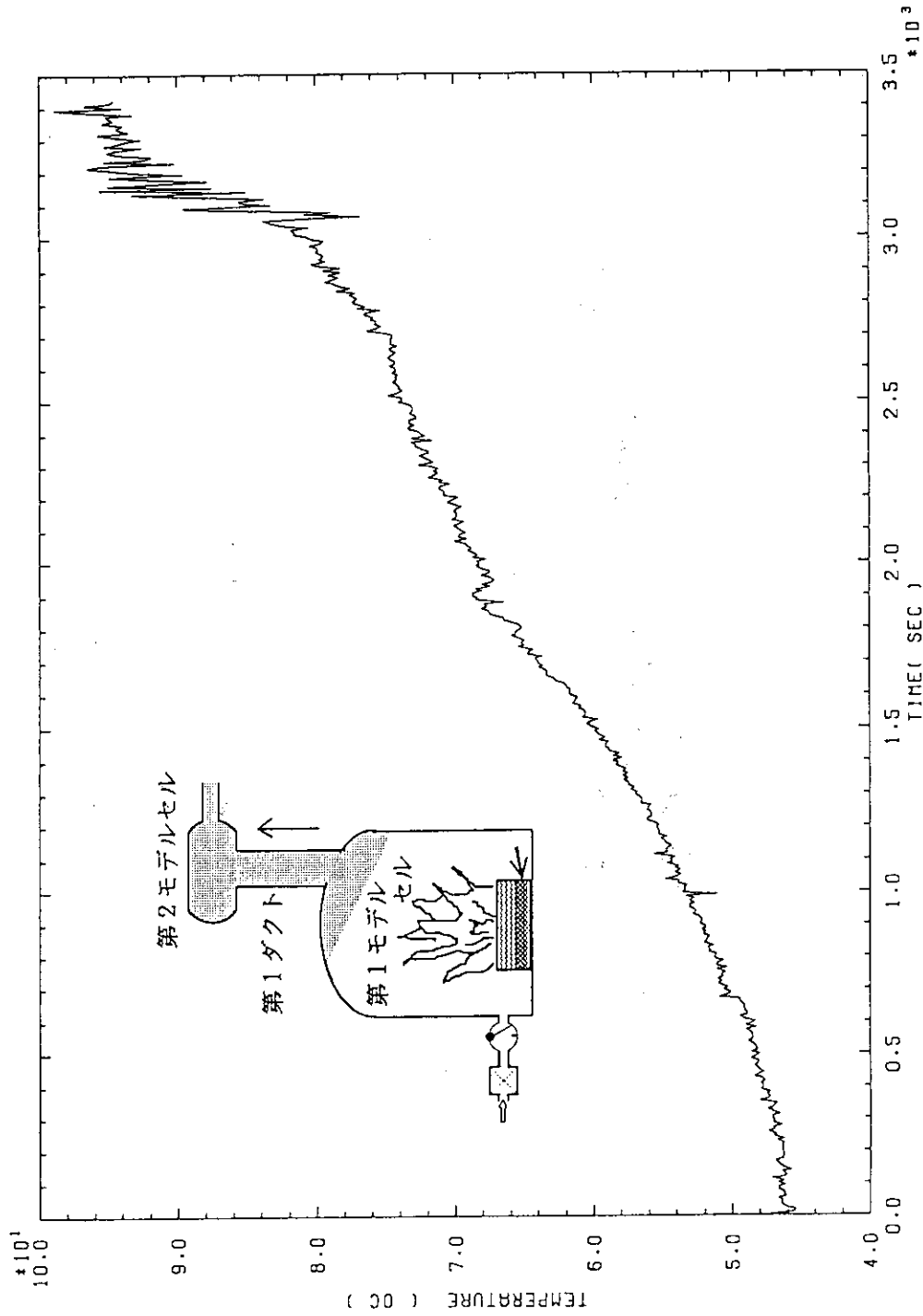


図4.4.16 燃焼中の水相温度 (TC31, °C)

BOIL5001 1990.07.19

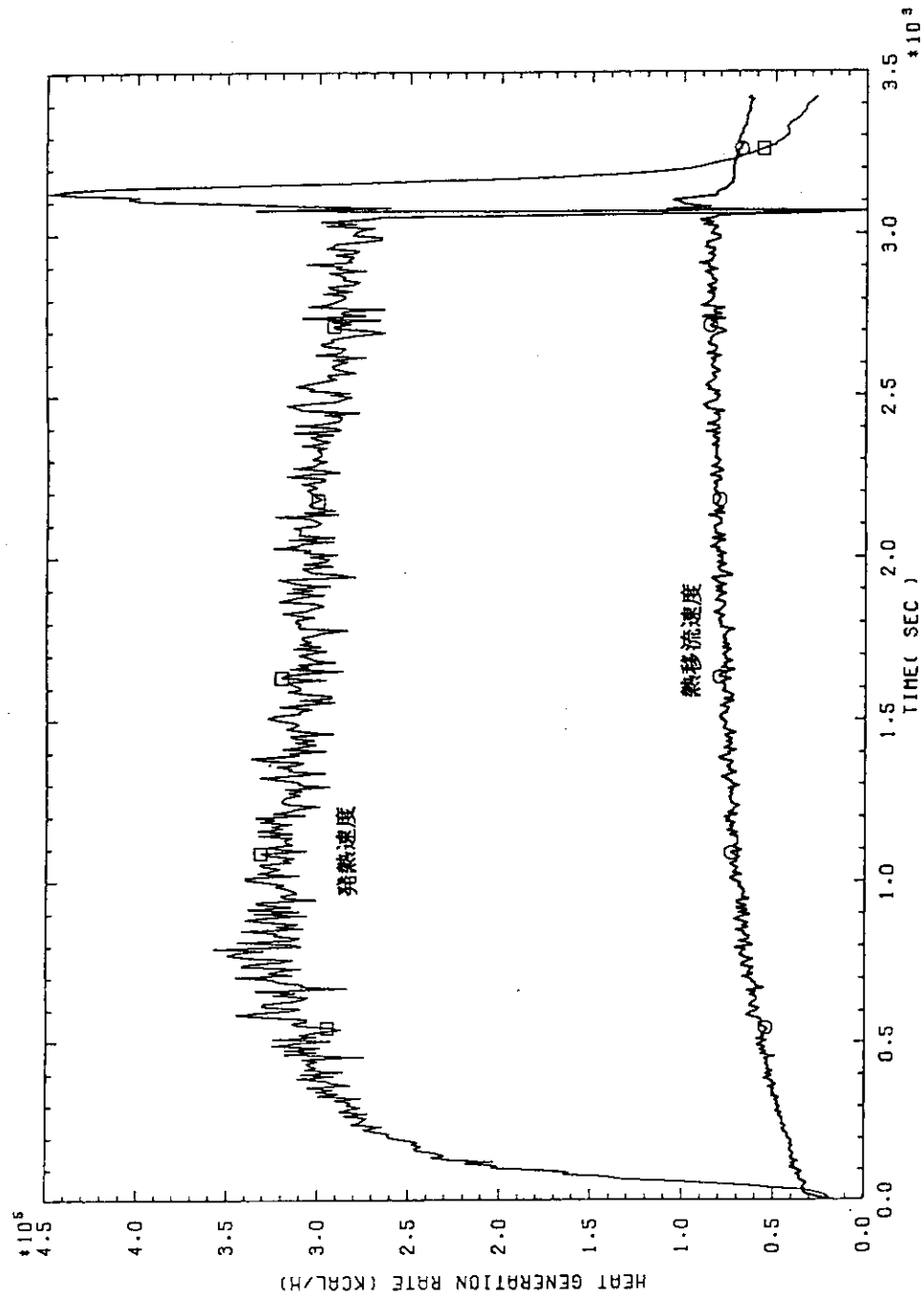


図4.4.17 溶媒の燃焼に伴う発熱速度及び第1ダクトへの熱移流速度 (kcal/h)

BOIL5001 1990.07.19

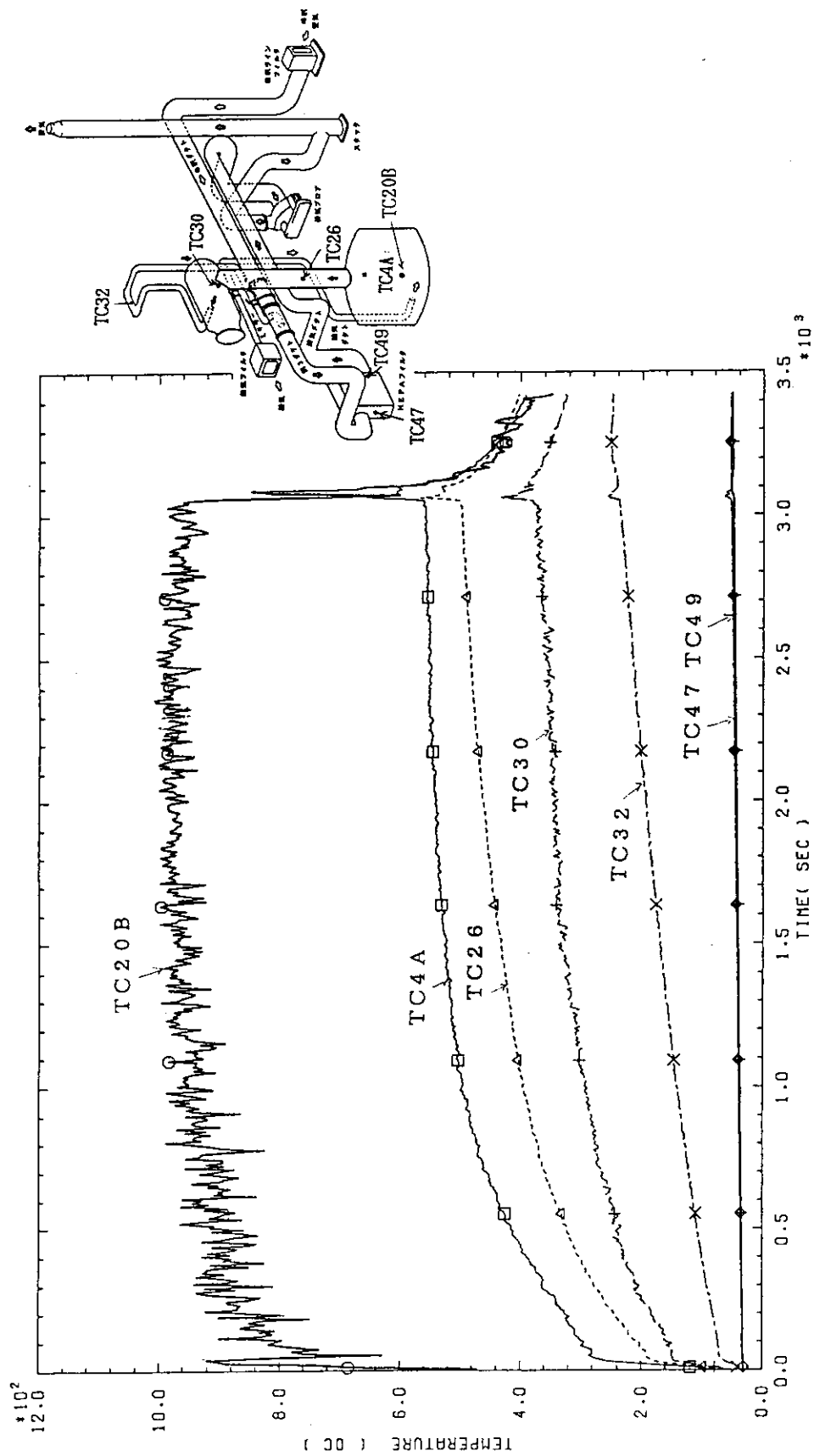


図4.4.18 実験装置内の気相温度分布 (°C)

B0IL5001 1990.07.19

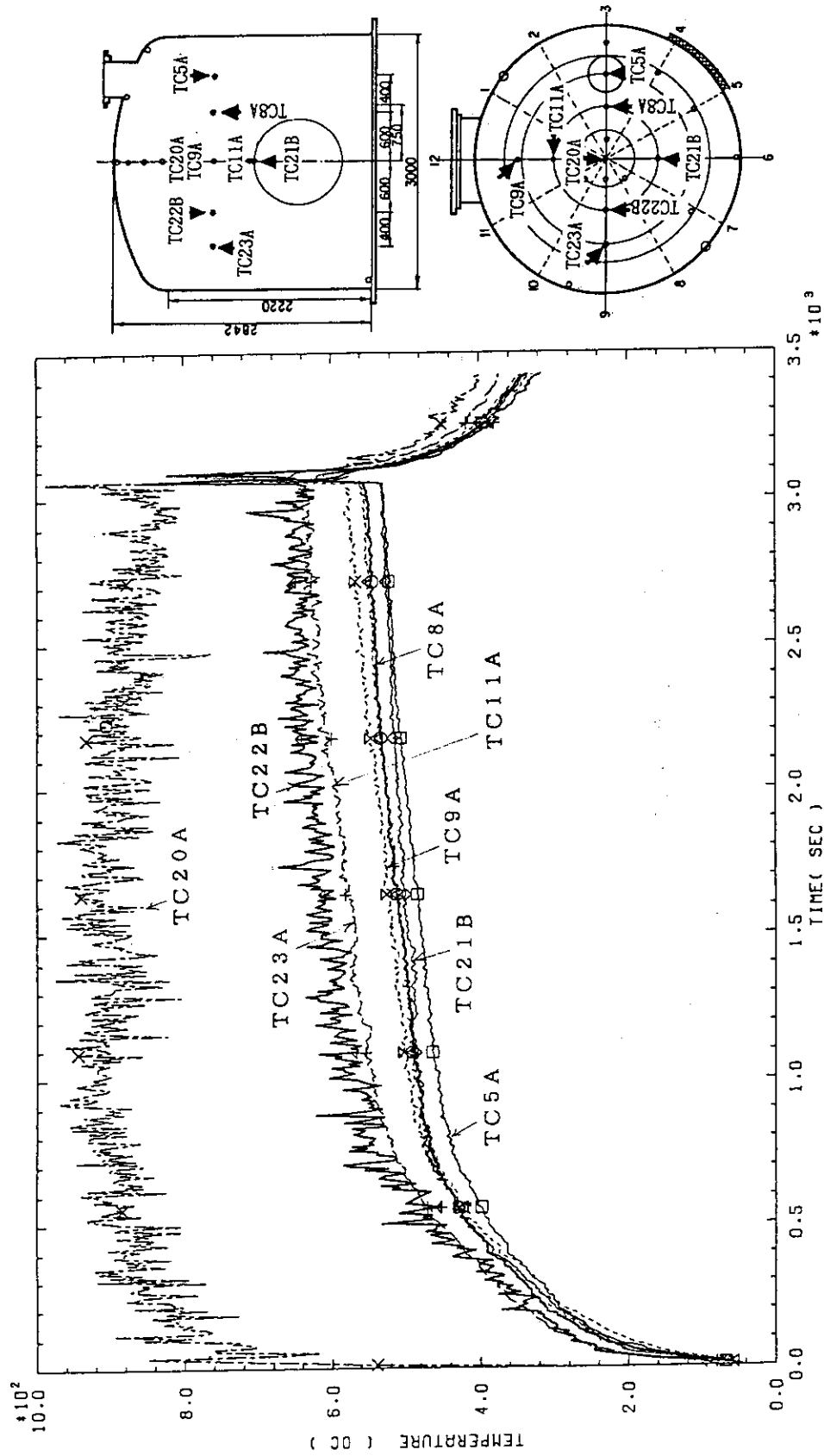


図4.4.19 第1モデルセル内の気相 (火炎) 温度 (°C)

B01L5001 1990.07.19

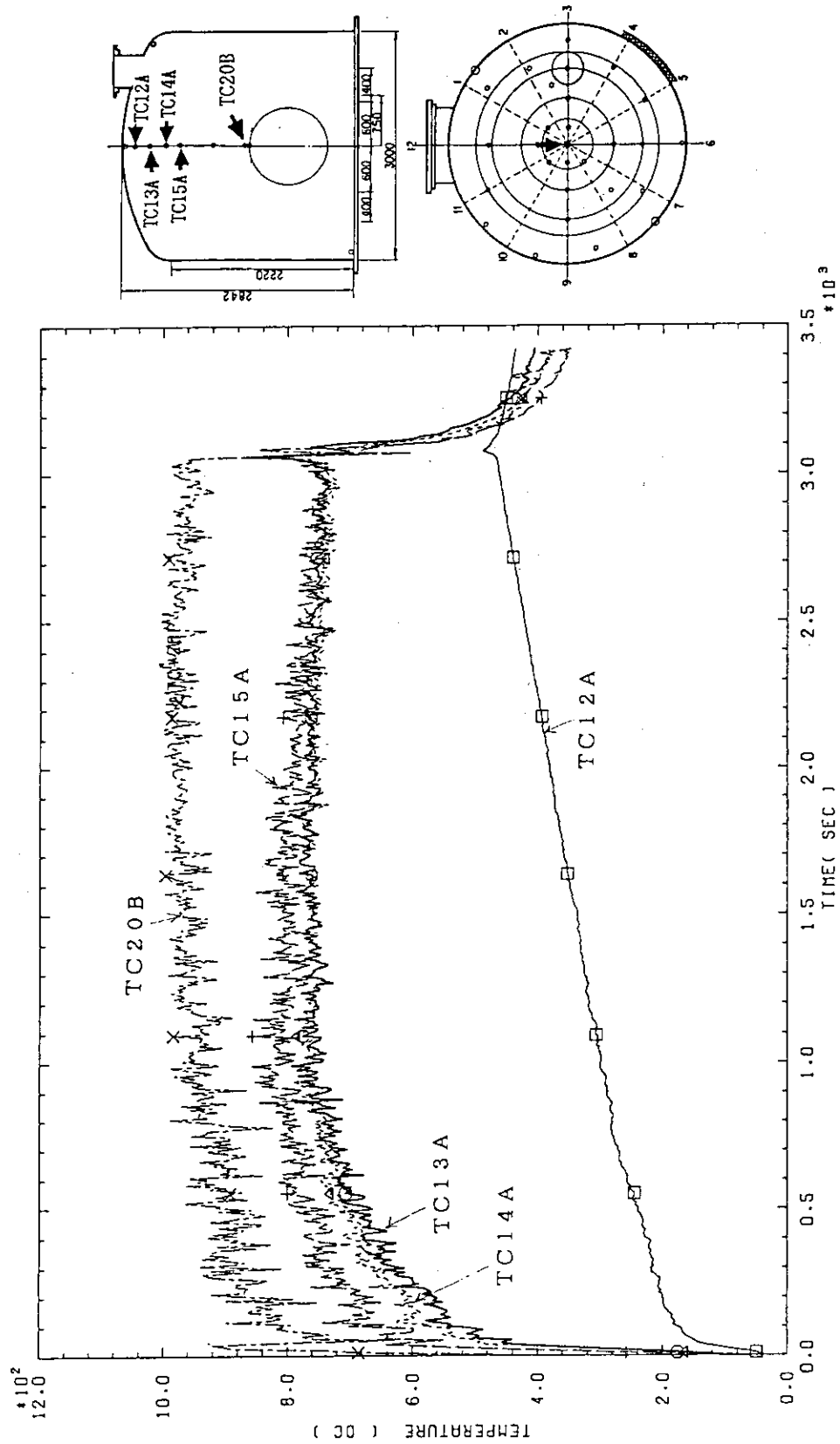
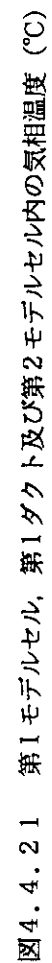


図4.4.20 第1モデルセル内の気相 (火炎) 温度 (°C)



B0IL5001

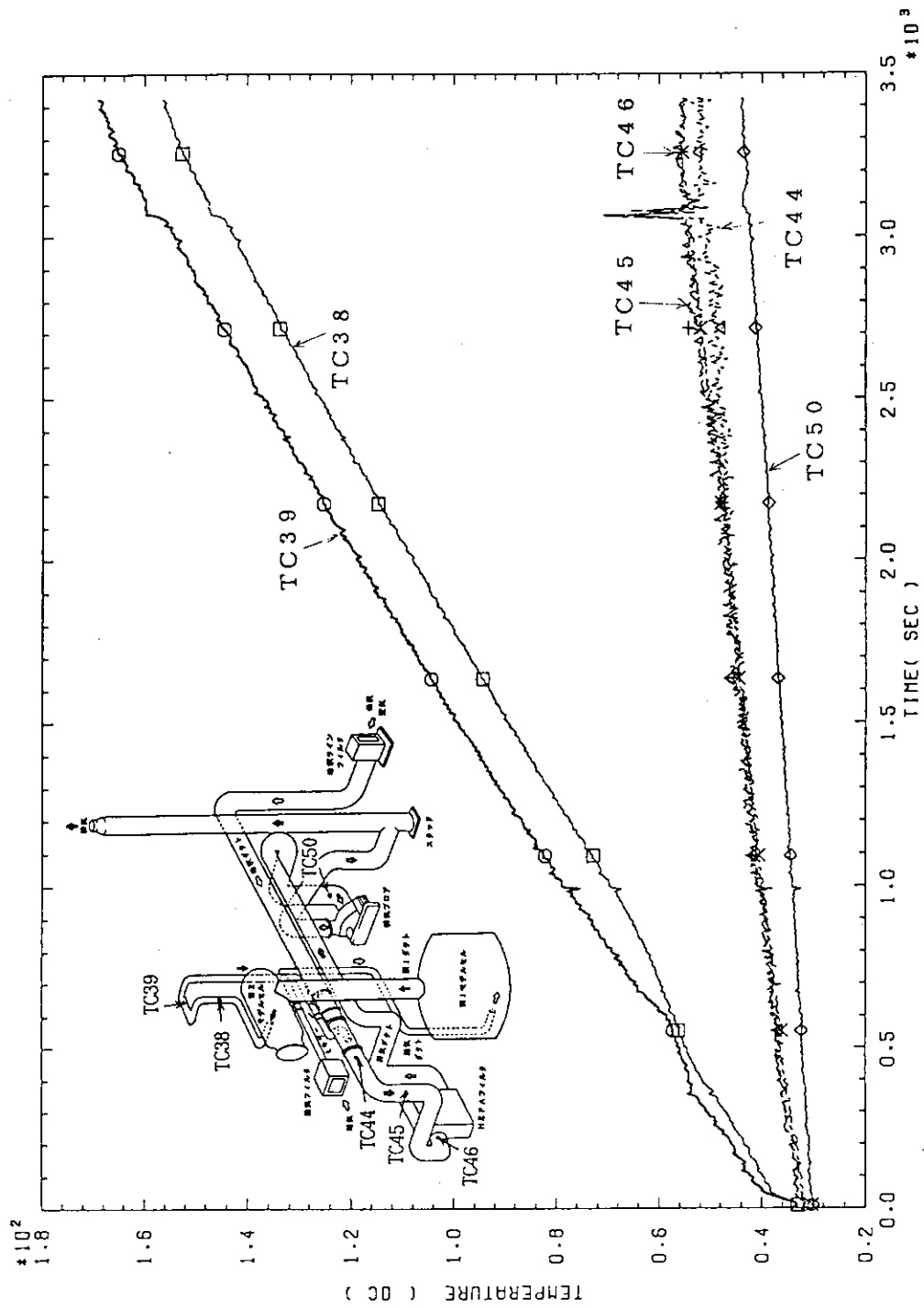


図4.4.2.2 第2ダクト内壁温度, 第3ダクト気相及び排気ダクト気相温度 (°C)

B01L5001 1990.07.19

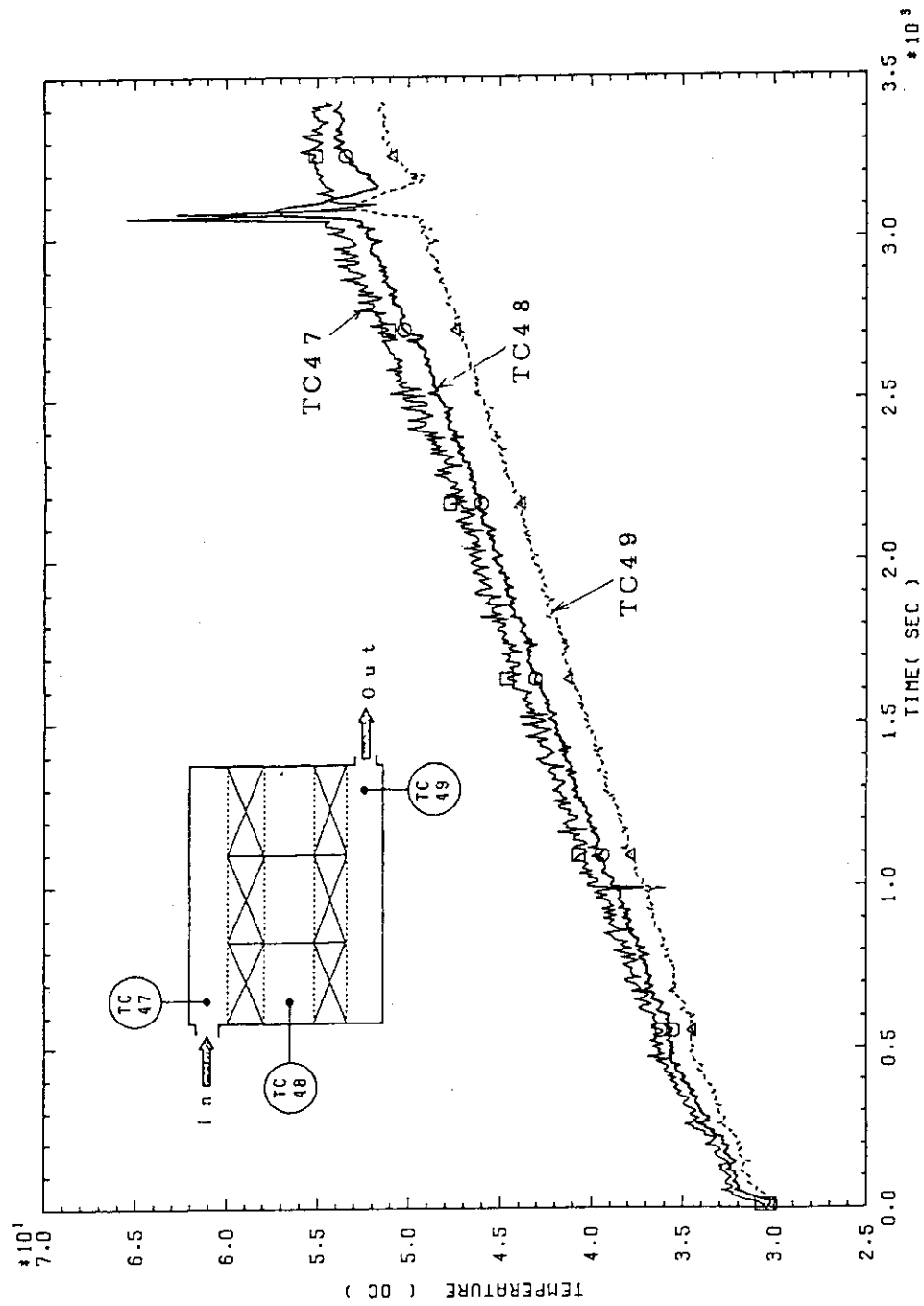


図4.4.23 HEPA フィルタチャンバー内気相温度 (°C)

B01L5001 1990.07.19

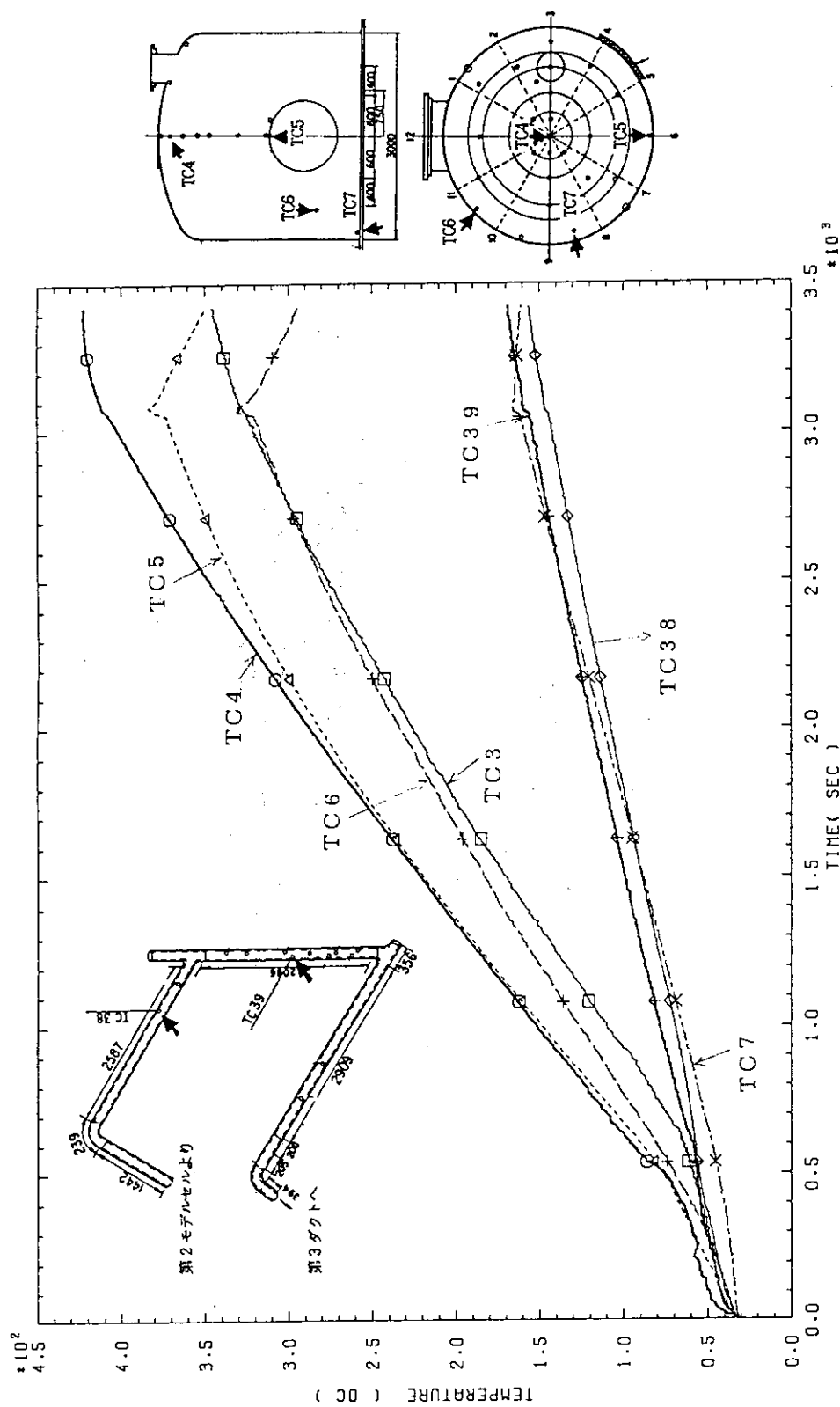


図4.4.24 第1モデルセル, 第2ダクトの壁面温度 (°C)

B01L5001 1990.07.19

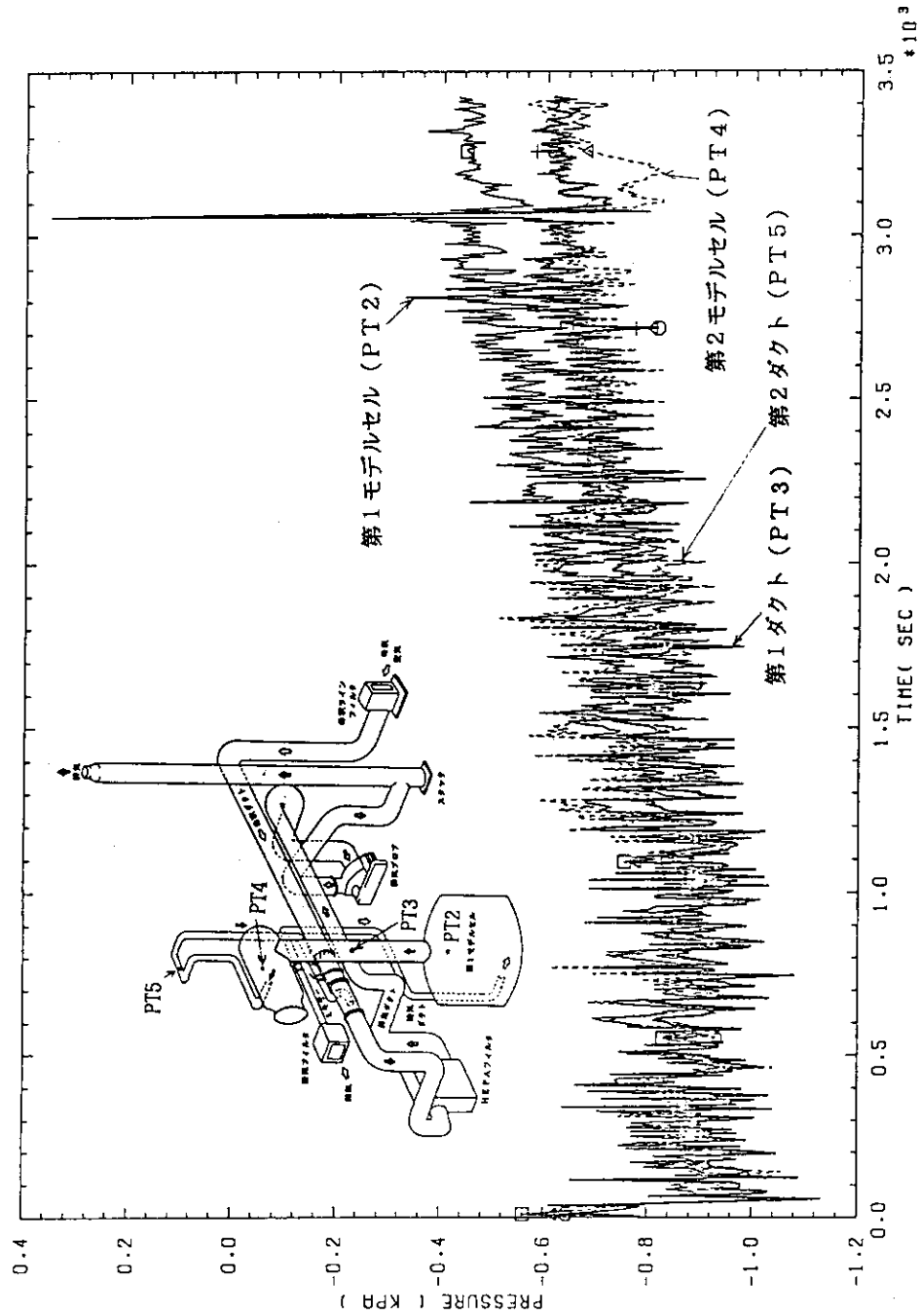


図4.4.25 第1モデルセル, 第1ダクト, 第2モデルセル及び第2ダクト内の圧力 (kPa)

B0IL5001 1990.07.19

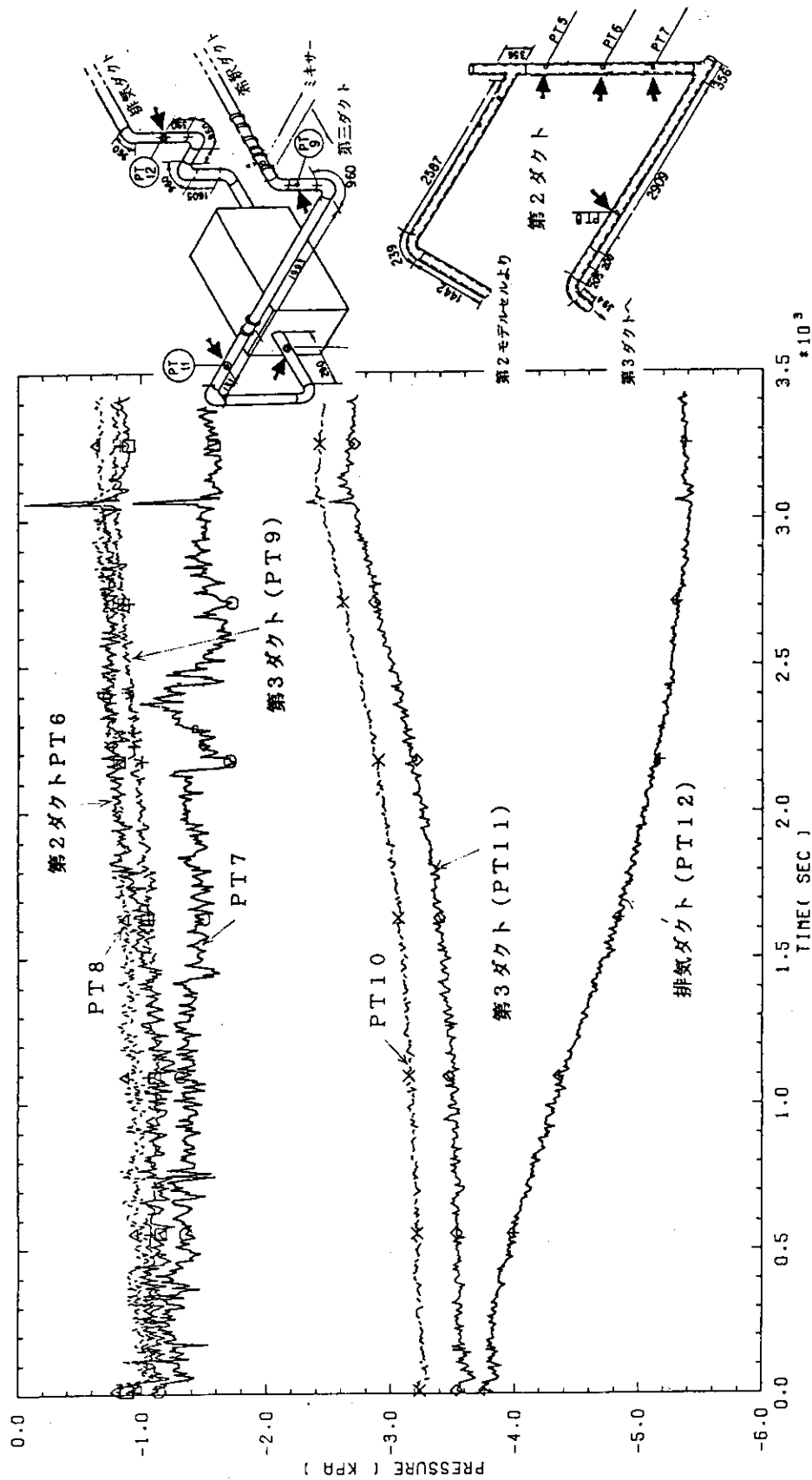


図4.4.2.6 第2ダクト, 第3ダクト及び排気ダクト内の圧力 (kPa)

B0IL5001 1990.07.19

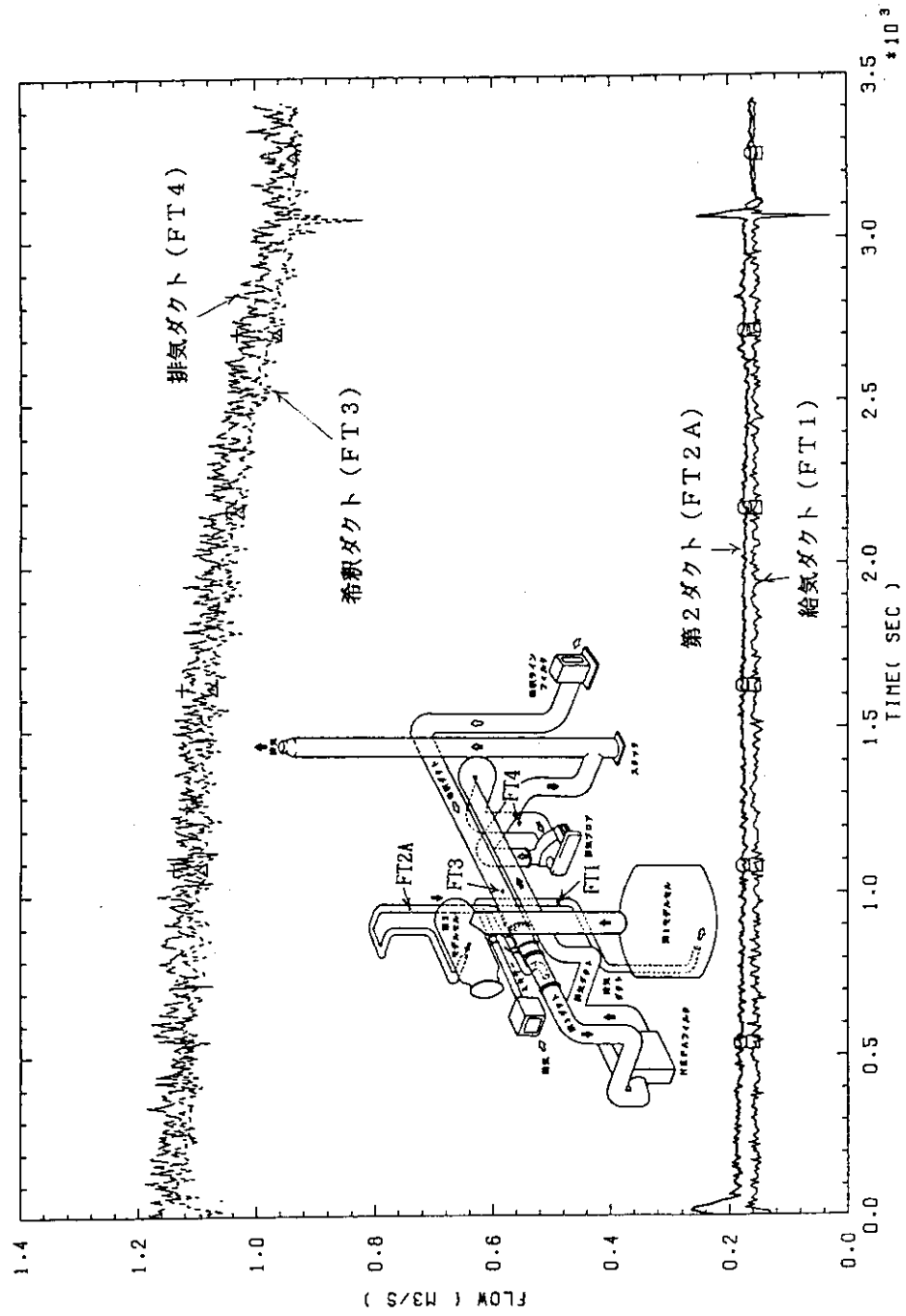


図 4.4.27 実証試験装置内の気体流量 (m³/s)

B01L5001 1990.07.19

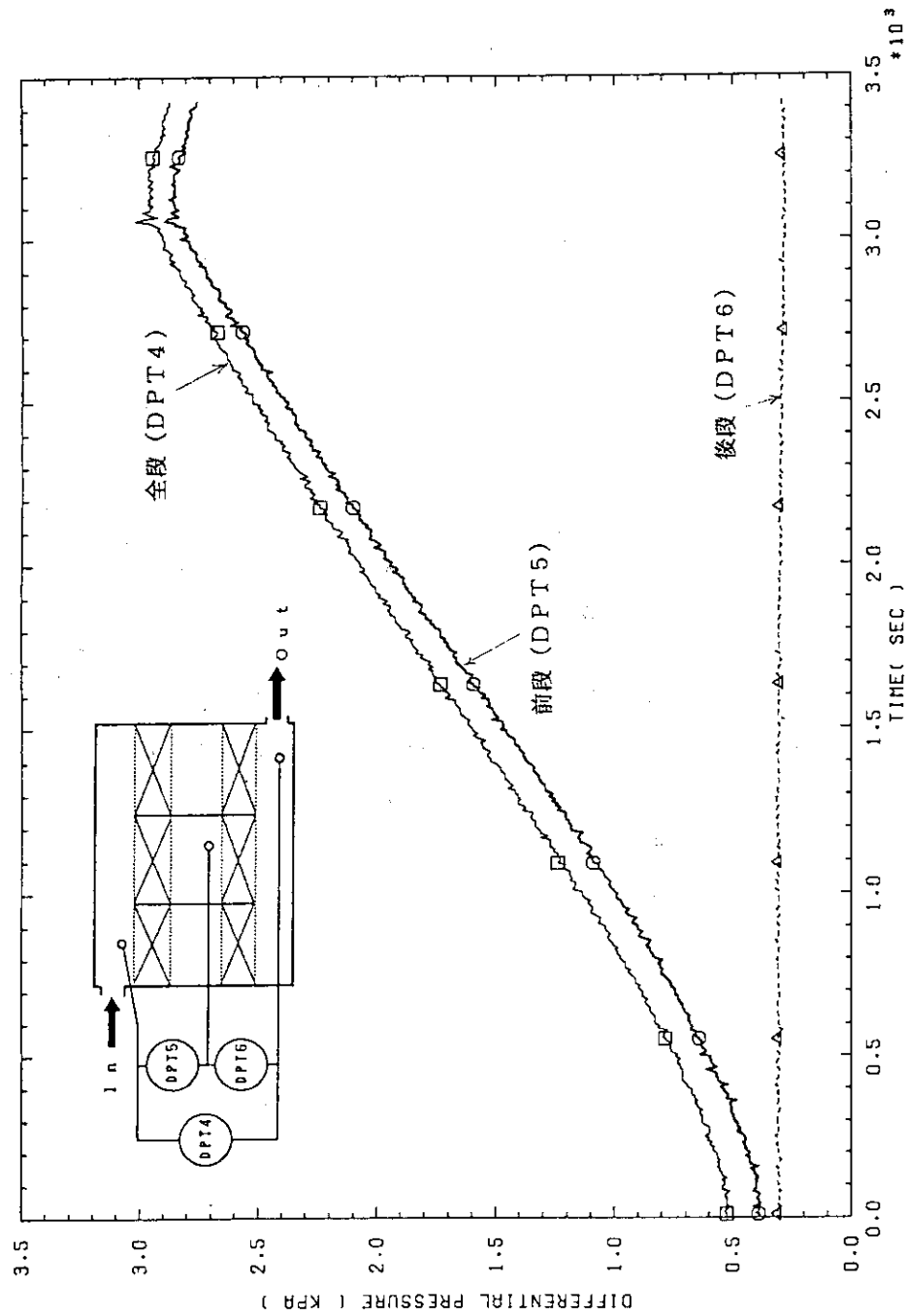


図4.4.28 HEPAフィルタにおける圧力損失 (kPa)

4. 5 抽出器6段相当のボイルオーバー燃焼試験

4. 5. 1 試験の目的

本試験は、6台の抽出器が火災になった場合を模擬したもので、BOIL3001（昭和63年5月25日）、BOIL5004（平成2年10月16日）及びBOIL5005（平成2年12月11日）の3回のボイルオーバー燃焼試験である。BOIL5004とBOIL5005は、BOIL3001の再現性を確かめる目的で実施した。

4. 5. 2 試験条件

表4. 5にBOIL3001とBOIL5004の試験条件を示した。両試験は同一の試験条件である。

表4. 5 抽出器6段相当のボイルオーバー燃焼試験の条件

No.	項目	試験条件
1	燃焼皿の大きさ（燃焼面積）	抽出器6段相当（0.461 m ² ） （48cmW×96cmL×40cmH）
2	溶媒の体積（初期温度）	60リットル（40℃） （TBP=30%、ドデカン=70%）
3	水相の体積（初期温度）	60リットル（40℃）
4	換気回数	30回/h（給気流量560m ³ /h）
5	希釈流量	3820m ³ /h
6	第2ダクトの管路長	10m（短管）
7	HEPAフィルタ台数	6台（Half size）/段×2段 計12段
8	燃焼皿のセル内位置	セル中央部 1基

4. 5. 3 BOIL3001試験の結果

（1）燃焼の挙動と温度の変化

図4. 5. 1にBOIL3001における溶媒の燃焼挙動を示す。図中の曲線は燃焼皿から蒸発した溶媒の消費速度、燃焼速度及び煤煙と未燃焼溶媒の移行速度を表わしている。燃焼末期のピークは、ボイルオーバー燃焼に起因する速度の増加を示している。溶媒に着火すると溶媒は定常的に燃焼するが、長時間燃焼を継続させると水相が沸騰し、急激なボイルオーバー燃焼を引き起こす。図4. 5. 2は、燃焼皿中の溶媒相の下層にある水相の温度上昇を示した。図から、ボイルオーバー燃焼は着火後45.8分に発生したことが分かる。図4. 5. 3は、溶媒の燃焼に伴うセル内の発熱速度及び第1ダクトへの燃焼ガスの熱移流速度を示した。発熱速度と熱移流速度の差は、セルの壁方向に流れた熱移動速度である。

図4.5.4に試験装置内の気相の温度を示した。図中には、第1モデルセル内の火炎温度と気相温度、第1ダクト及び第2モデルセルの気相温度及びフィルタチャンバー出入口の気相温度を示した。図4.5.5は、第1モデルセルの床から1.7 mの気相温度変化をセル水平方向に対して示したものである。セル出口下部(TC-5A)の温度は低い。図4.5.6に第1モデルセル内の気相温度の変化をセルの中心軸方向に対して、図4.5.7に第1モデルセル、第1ダクト及び第2モデルセル内の気相温度の変化を示した。図4.5.8に第2ダクトの内壁温度、第3ダクト及び排気ダクトの気相温度を、また、図4.5.9にフィルタケーシング内の気相温度を示した。ボイルオーバー燃焼による温度ピークの値は約79℃である。図4.5.10に第1モデルセル及び第2ダクトの壁面における温度変化を示した。

(2) 圧力の変化

図4.5.11に第1モデルセルから第2モデルセルを介して第2ダクトまでの区間の圧力変化を示した。第1モデルセル内の圧力ピークの最大値は6 kPaである。この値は、実施したボイルオーバー燃焼試験の中で最大の圧力ピークである。図4.5.12に第2ダクト、第3ダクト、フィルタチャンバー及び排気ダクトの圧力変化を示した。圧力ピークは管路にしたがって低下している。第2ダクトから第3ダクトの圧力低下は、ミキサー部の管径の拡大による流動抵抗に起因していると考えられる。

(3) 流量変化

図4.5.13に給気ダクト、第2ダクト、希釈ダクト及び排気ダクト内の流量変化を示す。第2ダクト内の流量は、ボイルオーバー燃焼により一時的に増加する。

(4) フィルタの差圧変化

図4.5.14にフィルタチャンバーに設置した差圧計による前段フィルタ、後段フィルタ及び前後2段のフィルタの差圧変化を示した。煤煙の負荷により、前段フィルタの差圧のみが上昇していることが分かる。

4. 5. 4 B O I L 5 0 0 4 試験の結果

(1) 燃焼の挙動と温度の変化

図4.5.15 B O I L 5 0 0 4における溶媒の燃焼挙動を示した。即ち、燃焼皿から蒸発した溶媒の消費速度、燃焼速度及び煤煙と未燃焼溶媒の移行速度が示されている。図4.5.16は、燃焼皿中の溶媒相の下層にある水相の温度上昇を示す。図から、ボイルオーバー燃焼は着火後53.5分に発生したことが分かる。図4.5.17に溶媒の燃焼に伴うセル内の発熱速度及び第1ダクトへの燃焼ガスの熱移流速度を示す。発熱速度と熱移流速度の差は、壁方向に移動した熱移流速度である。図4.5.18には、試験装置内の気相の温度を示す。図中には、第1モデルセル内の火炎温度と気相温度、第1ダクト及び第2モデルセルの気相温度及びフ

フィルタチェンバー出入口の気相温度を示されている。

図4. 5. 19に第1モデルセルの底面から1. 71 mの高さにおける気相温度変化をセル水平方向に対して示す。図4. 5. 20は、第1モデルセル内の気相温度をセルの中心軸方向に対して示したものである。図4. 5. 21は第1モデルセル、第1ダクト及び第2モデルセル内の気相温度を示す。図4. 5. 22に第2ダクトの内壁温度、第3ダクト及び排気ダクトの気相温度を示す。図4. 5. 23にフィルタチェンバー内の気相温度を示す。ボイルオーバー燃焼時の温度ピーク高さは約69℃である。図4. 5. 24に第1モデルセル及び第2ダクトの壁面における温度変化を示す。

(2) 圧力の変化

図4. 5. 25に第1モデルセルから第2モデルセルを通り第2ダクトまでの圧力を示す。図4. 5. 26に第2ダクト、第3ダクト、フィルタチェンバー及び排気ダクト内の圧力変化を示す。圧力ピークは管路行程に沿って減衰している。

(3) 流量変化

図4. 5. 27に給気ダクト、第2ダクト、希釈ダクト及び排気ダクト内の流量変化を示す。燃焼末期の第2ダクト内の流量は、ボイルオーバー燃焼により一時的に増加している。

(4) フィルタの差圧

図4. 5. 28にフィルタチェンバーに設置した差圧計による前段フィルタ、後段フィルタ及び前後2段のフィルタの差圧変化を示す。煤煙の負荷により、前段フィルタの差圧のみが上昇していることが分かる。

4. 5. 5 BOIL5005試験の結果

BOIL5005は、BOIL5004の結果をふまえ、水相と溶媒の初期温度を高くして、その他の条件は同じにした場合の試験を実施した。即ち、BOIL5005では初期温度は約63℃である。水相の初期温度を高くすると、水相の沸騰時間が短縮する。表4. 6にBOIL5005の試験条件を示した。

表4. 6 BOIL5005の試験条件

燃焼皿の大きさ	抽出器6段相当 (48cmW×96cmL×40cmH)
溶媒の体積	60リットル (TBP=30%, ドデカン=70%)
水相の体積	60リットル
水相と溶媒の初期温度	63℃
換気回数	30回/h (給気流量560m ³ /h)
希釈流量	3820m ³ /h
第2ダクトの管路長	10m (短管)
HEPAフィルタ台数	6台 (Half size) / 段×2段 計12台
燃焼皿のセル内位置	セル中央部 1基

(1) 燃焼の挙動と温度変化

図4. 5. 29に溶媒の燃焼挙動を示した。図中には、燃焼皿から蒸発した溶媒の消費速度、燃焼速度及び煤煙と未燃焼溶媒の移行速度が示されている。図4. 5. 30に燃焼皿中の溶媒相の下層にある水相の温度上昇を示す。図から、ボイルオーバー燃焼は着火後51. 7分であることが分かる。水相の初期温度が63℃と高いにもかかわらず、沸騰までの時間は短縮されていない。図4. 5. 31に溶媒の燃焼に伴うセル内の発熱速度及び第1ダクトへの燃焼ガスの熱移流速度を示す。

図4. 5. 32に試験装置内の気相の温度を示す。図中には、第1モデルセル内の火炎温度と気相温度、第1ダクト及び第2モデルセルの気相温度及びフィルタチェンバー出入口の気相温度を示す。図4. 5. 33に第1モデルセルの底面から1. 71 mの高さにおける気相温度をセル水平方向に対して示す。図4. 5. 34に第1モデルセル内の気相温度をセルの中心軸方向に対して示す。図4. 5. 35は第1モデルセル、第1ダクト及び第2モデルセル内の気相温度を示す。図4. 5. 36は第2ダクトの内壁温度、第3ダクト及び排気ダクトの気相温度を示す。図4. 5. 37はフィルタチェンバー内の気相温度の変化である。ボイルオーバー燃焼時の温度ピークは約65℃である。図4. 5. 38に第1モデルセル及び第2ダクトの壁面における温度変化を示す。

(2) 圧力の変化

図4. 5. 39は第1モデルセル、第2モデルセル、第2ダクトの圧力変化である。図4. 5. 40に第2ダクト、第3ダク、フィルタチェンバー及び排気ダクトの圧力変化を示す。

(3) 流量の変化

図4. 5. 41に給気ダクト、第2ダクト、希釈ダクト及び排気ダクト内の流量変化を示す。第2ダクト内の流量は、ボイルオーバー燃焼により一時的に増加している。なお、給気ダクトと希釈ダクトには逆止弁と逆流防止ダンパが設置されている。

(4) フィルタの圧力損失

図4. 5. 42にフィルタチェンバーに設置した差圧計による前段H E P A フィルタ、後段フィルタ、及び前後2段のフィルタの差圧変化を示す。煤煙の負荷により、前段フィルタの差圧のみが上昇している。

B01L3001 1988.05.25

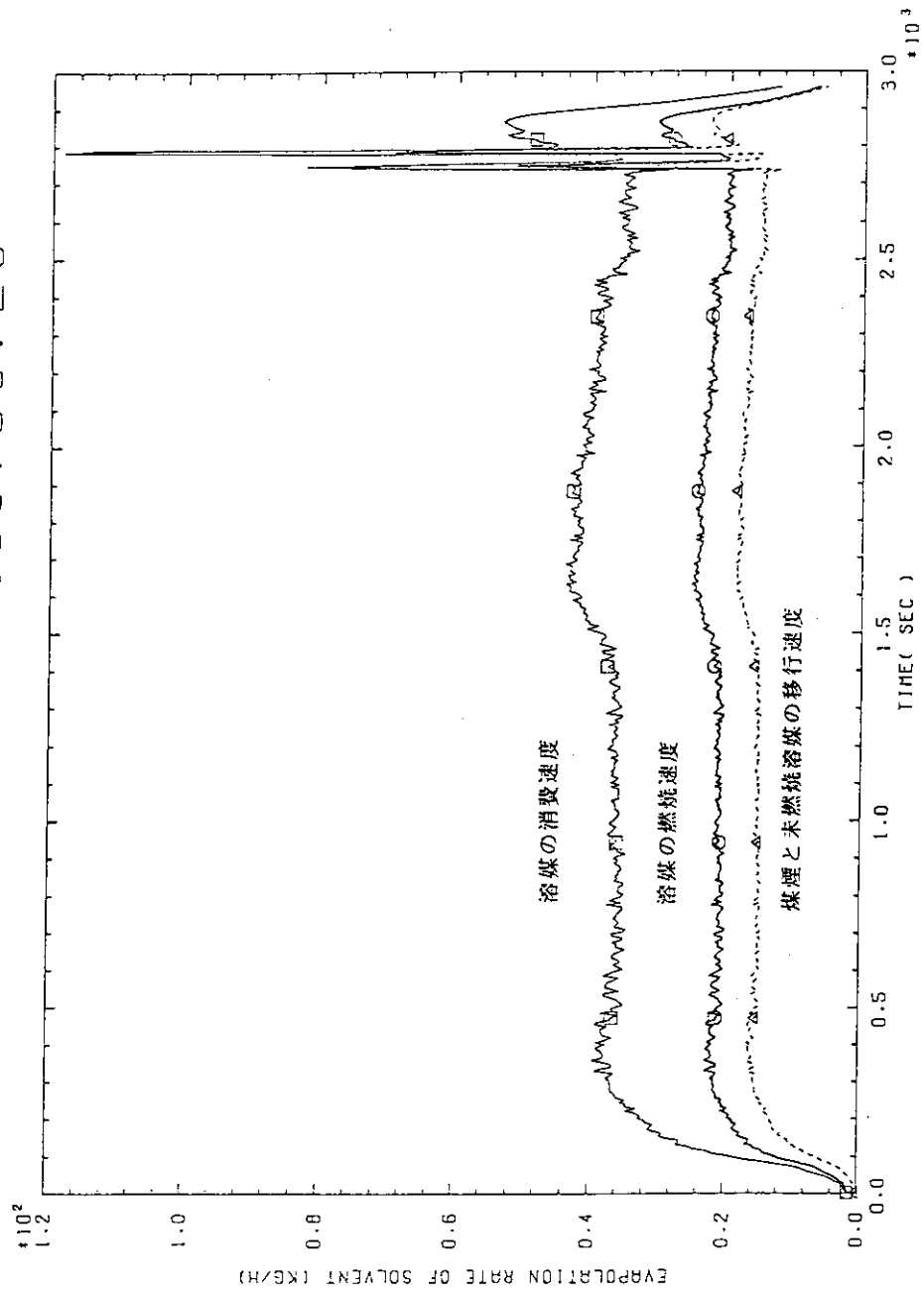


図4.5.1 溶媒の消費速度, 燃焼速度及び煤煙と未燃焼溶媒の移行速度の時間変化

B01L3001 1988.05.25

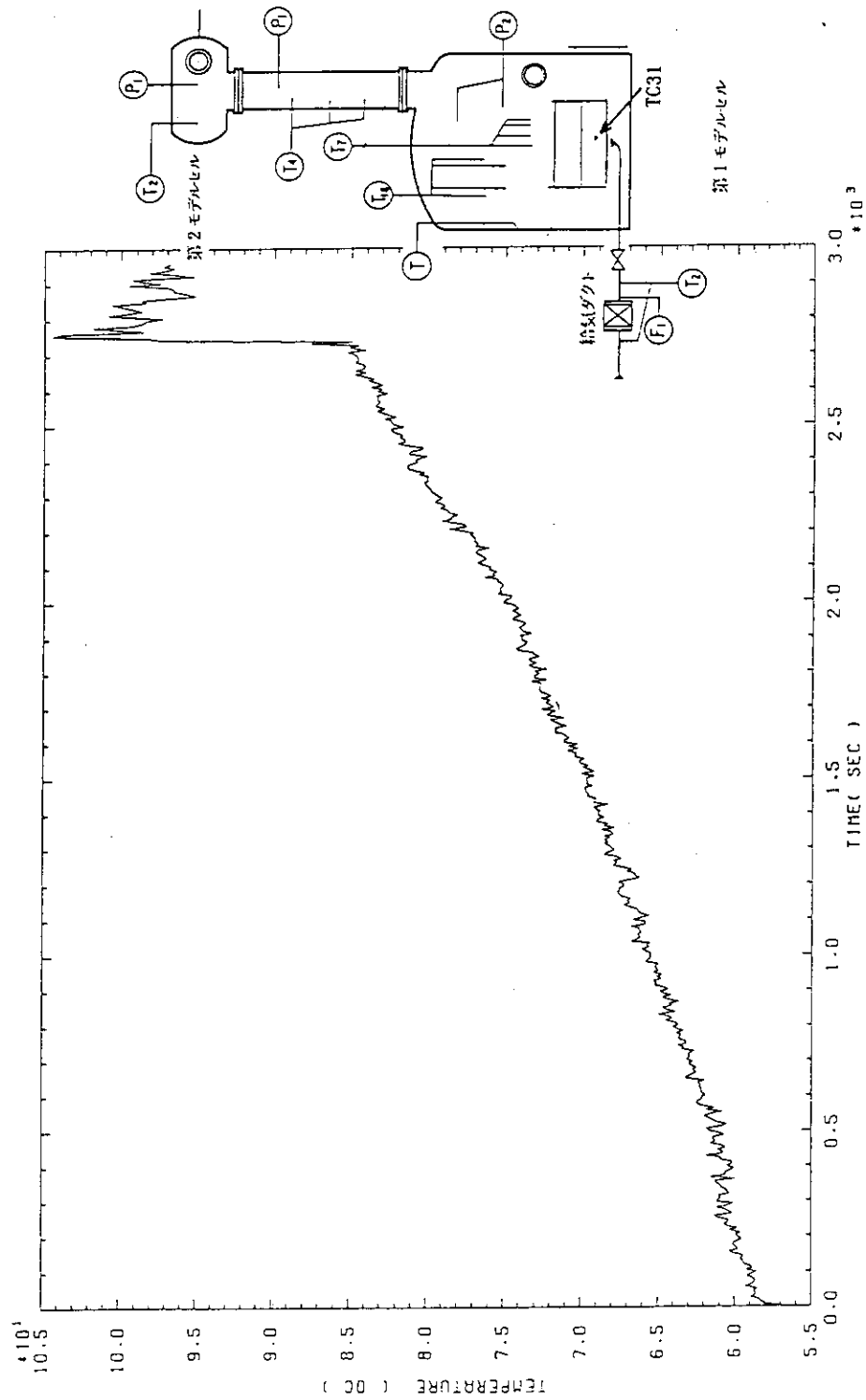


図 4. 5. 2 燃焼中の水相温度の上昇 (TC31)

BOIL3001 1988.05.25

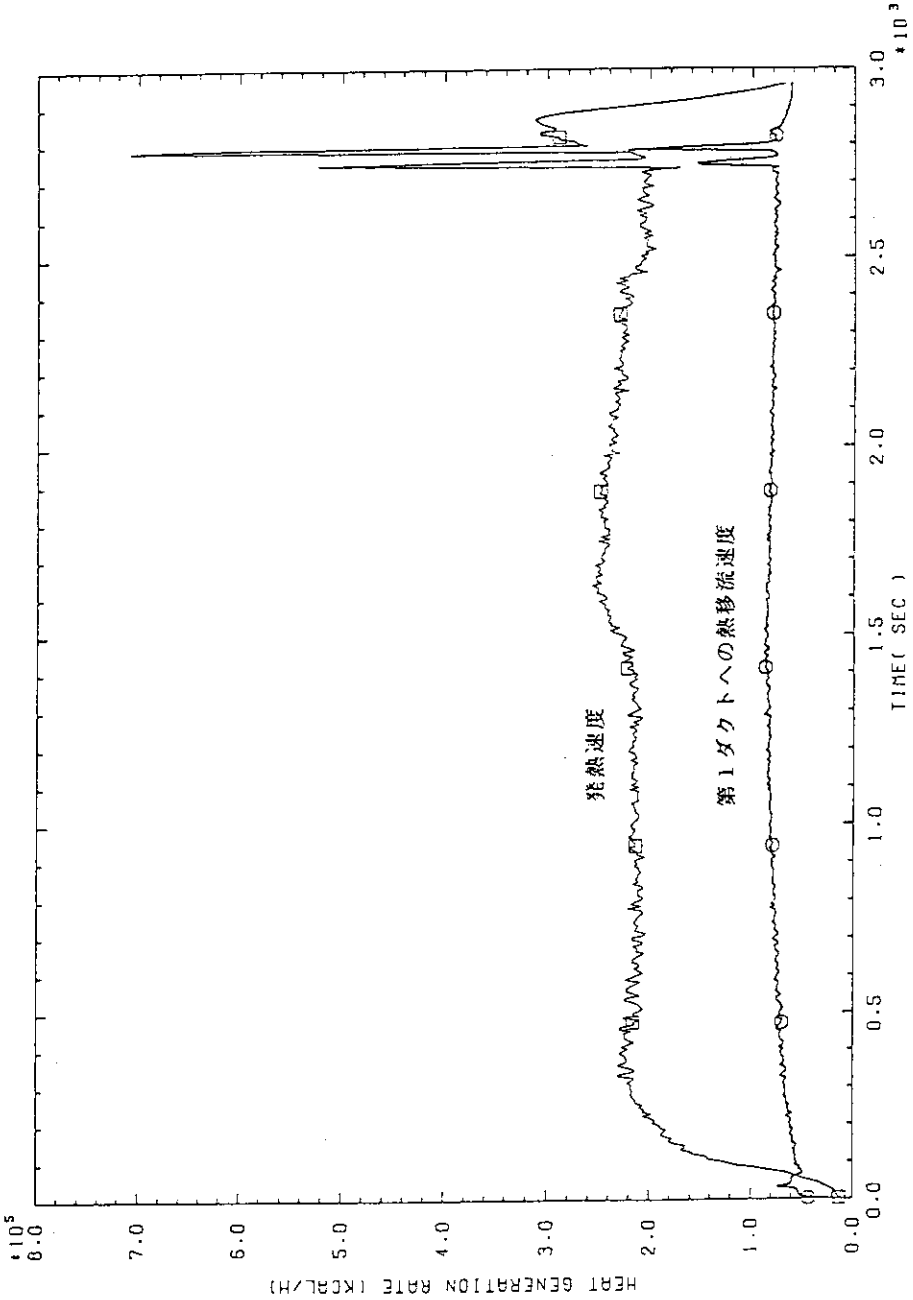


図4.5.3 溶媒の燃焼に伴う発熱速度及び第1ダクトへの熱移流速度

BOIL3001 1988.05.25

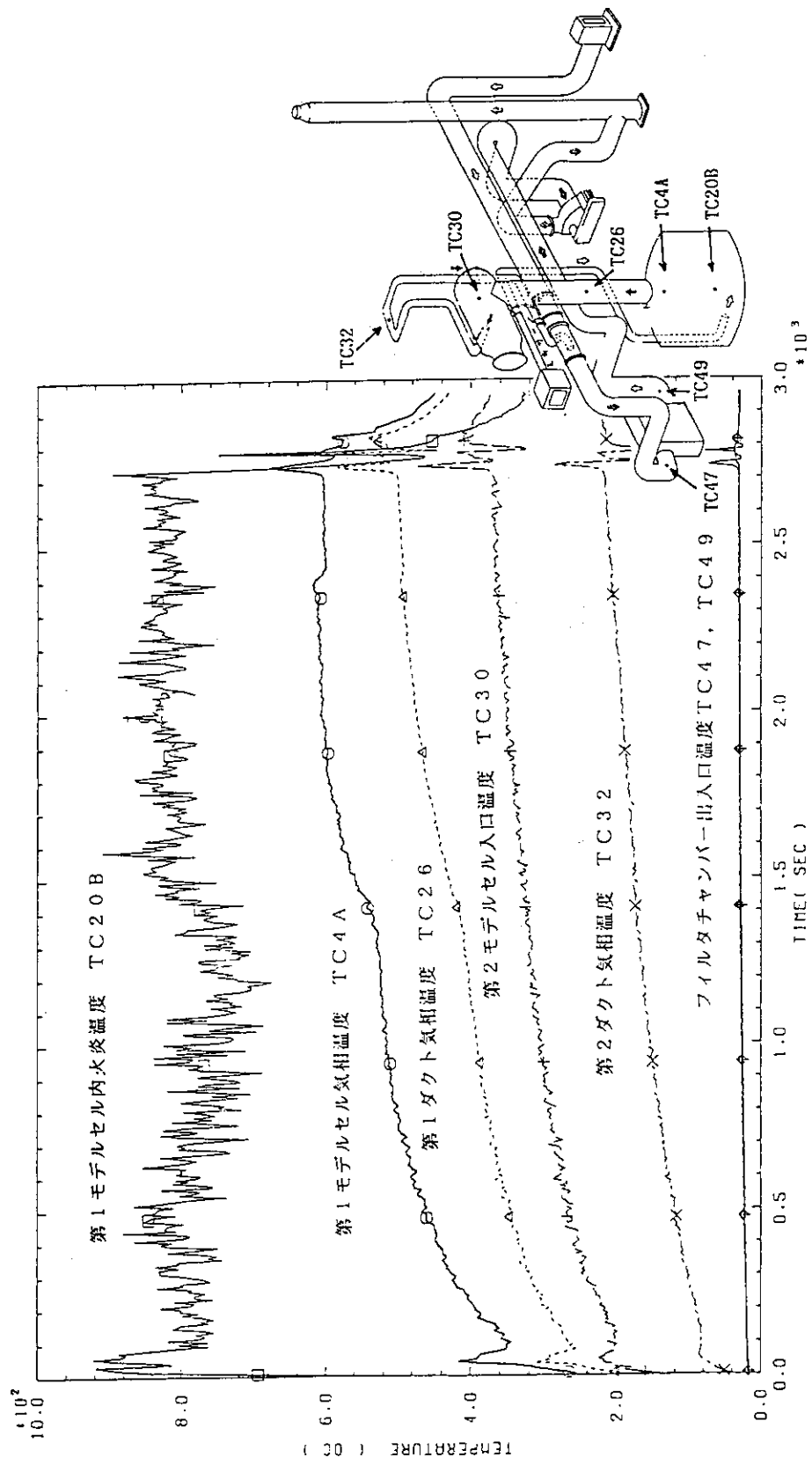


図4.5.4 実証試験装置内の温度分布

BOIL3001 1988.05.25

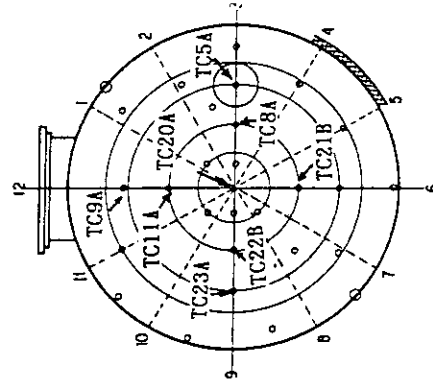
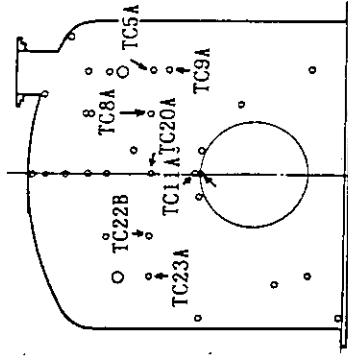
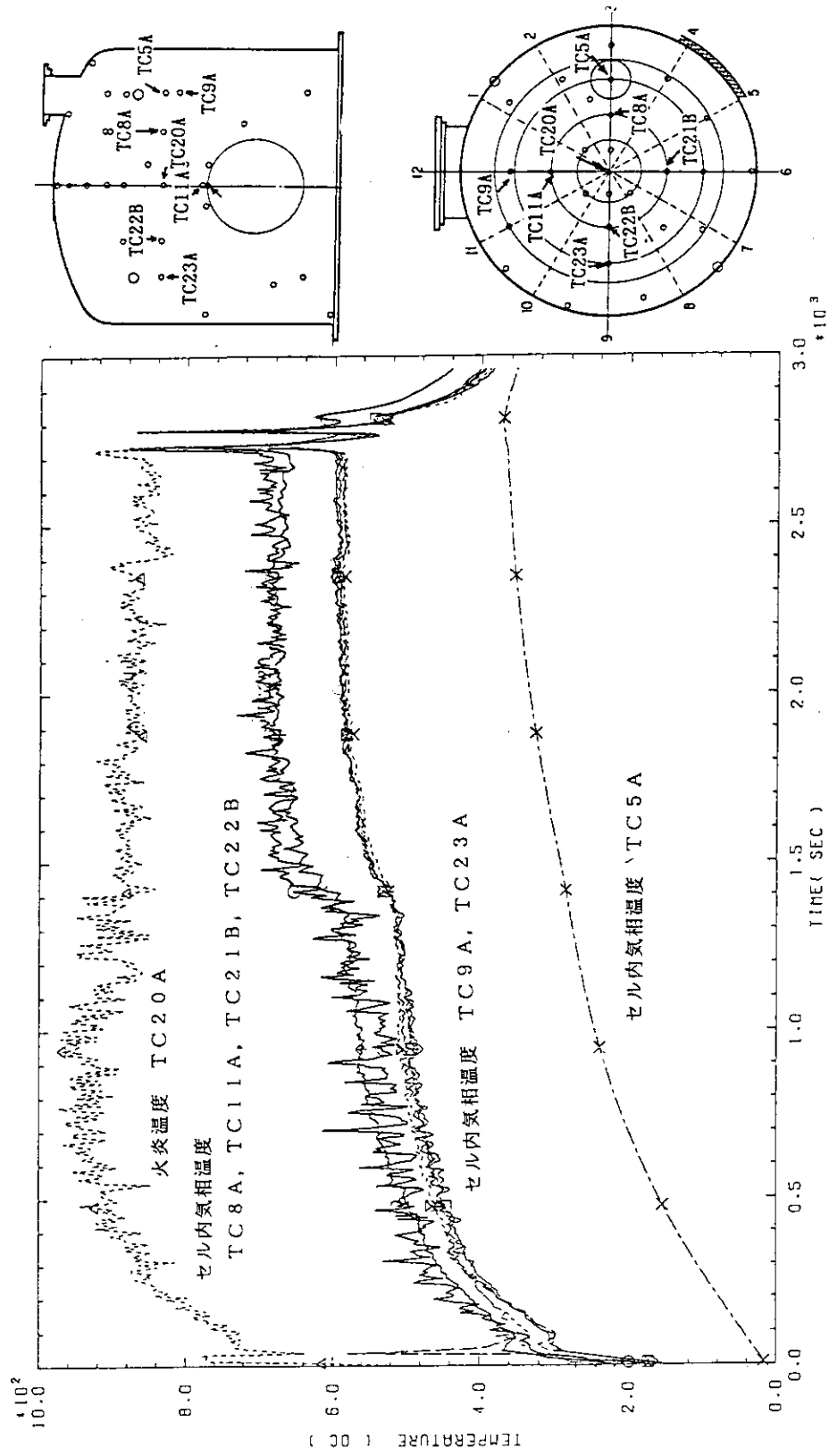


図4.5.5 第1モデルセル内の温度変化 (床からの距離1.71m位置におけるセル水平方面の温度変化)

B01L3001 1988.05.25

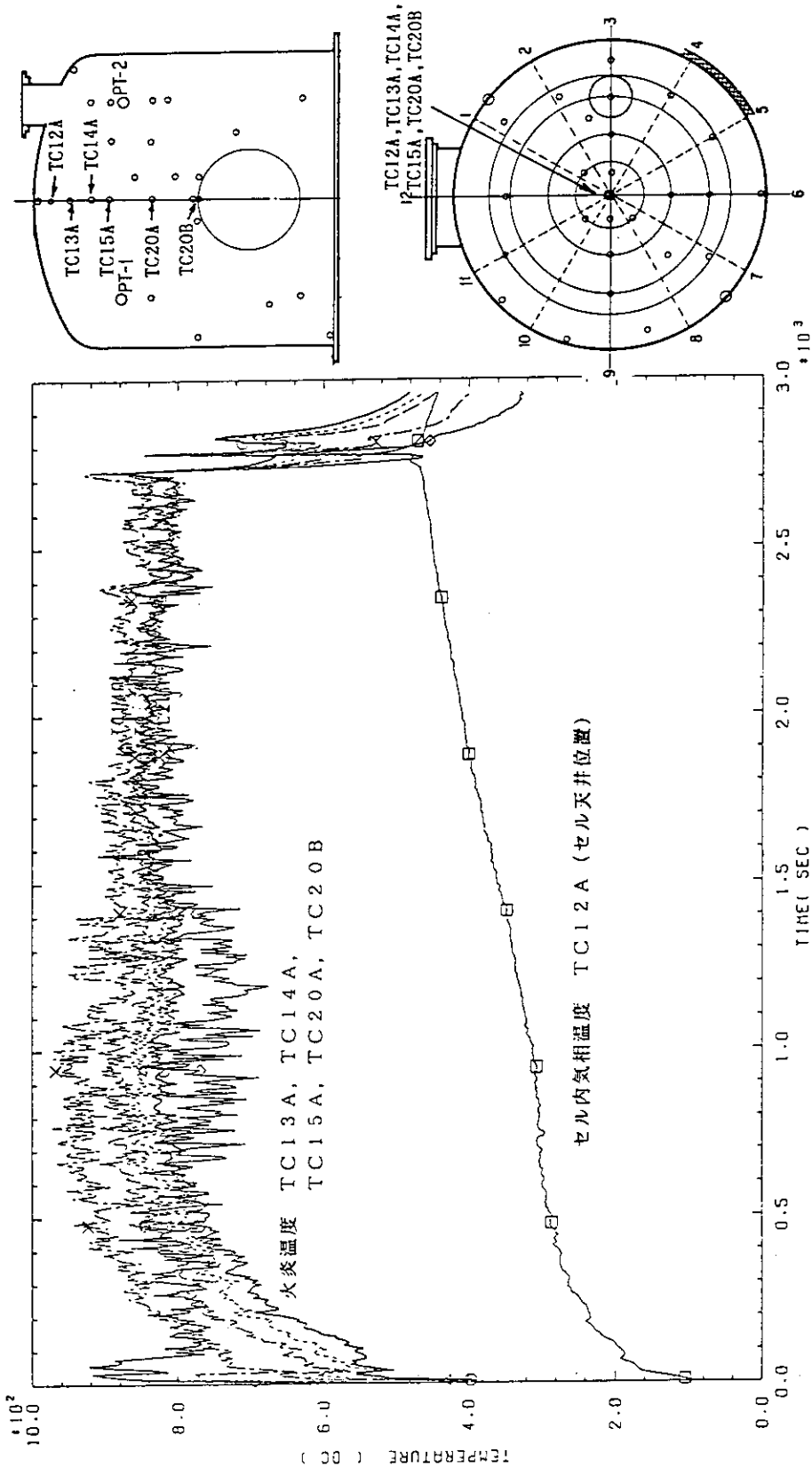


図4.5.6 第1モデルセル内の火炎温度 (セル中心軸の後方向の温度変化)

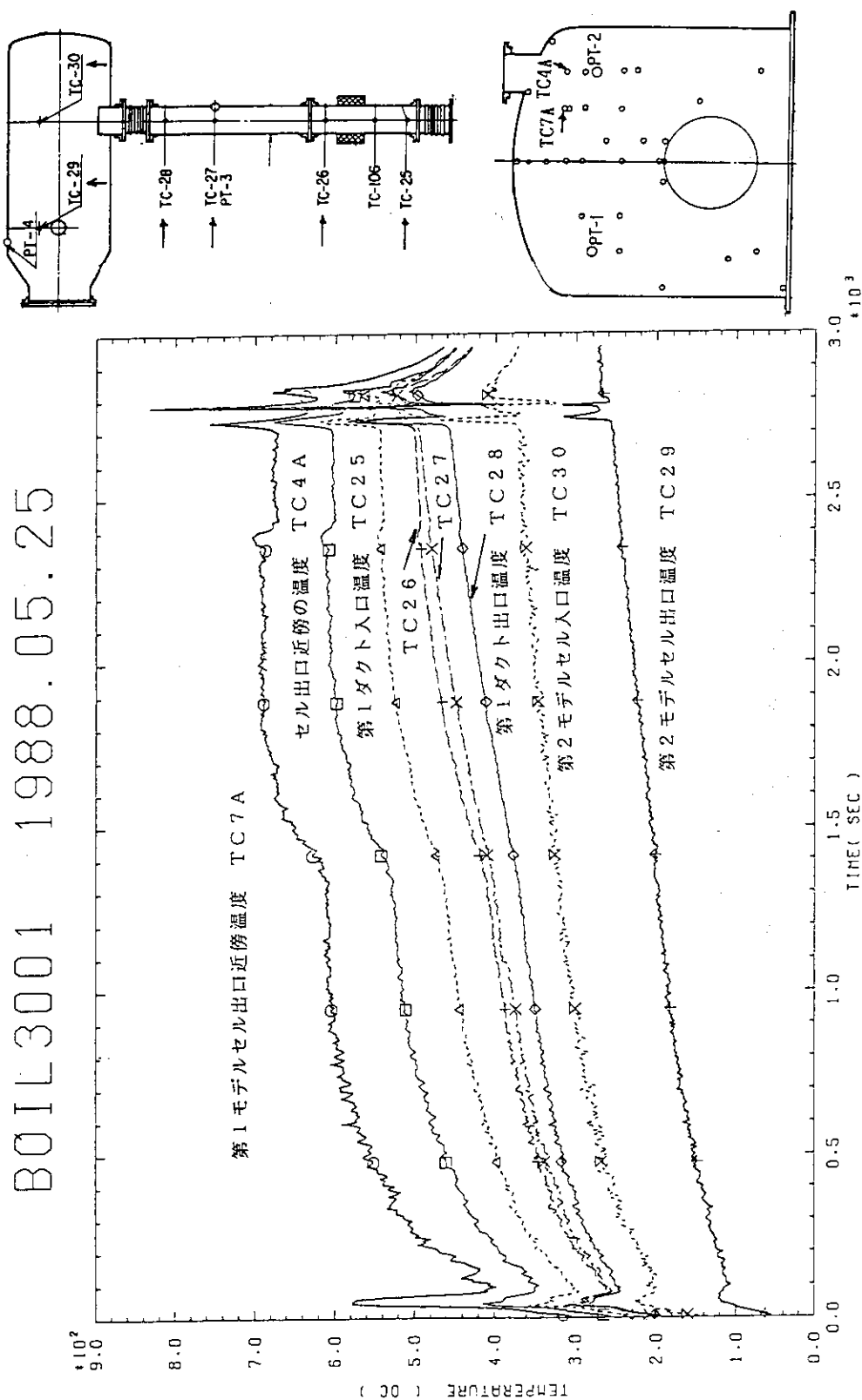


図4.5.7 第1モデルセル, 第1ダクト及び第2モデルセル内の気相温度変化

B01L3001 1988.05.25

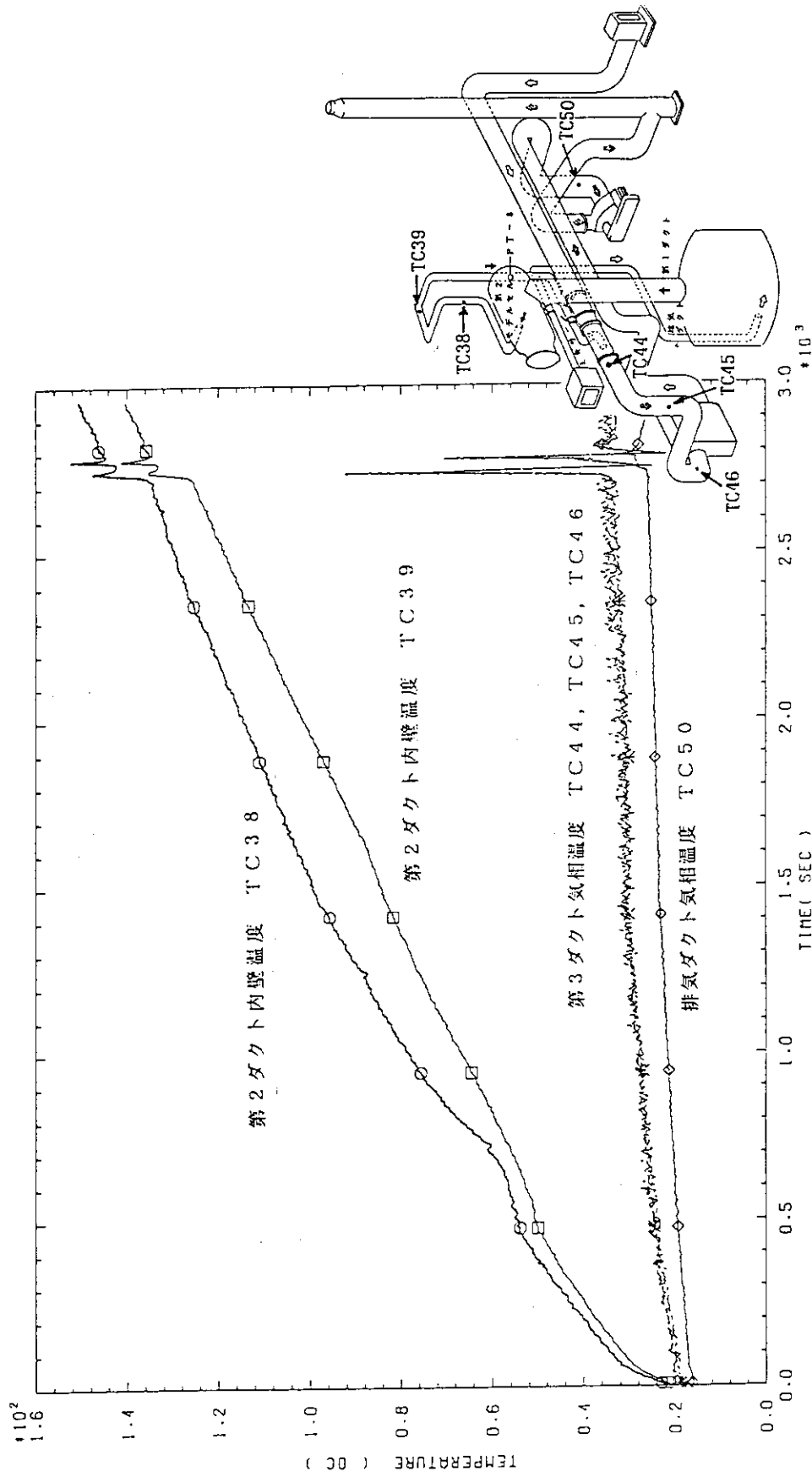


図4.5.8 第2ダクト内壁温度, 第3ダクト気相及び排気ダクト気相温度の変化

B01L3001 1988.05.25

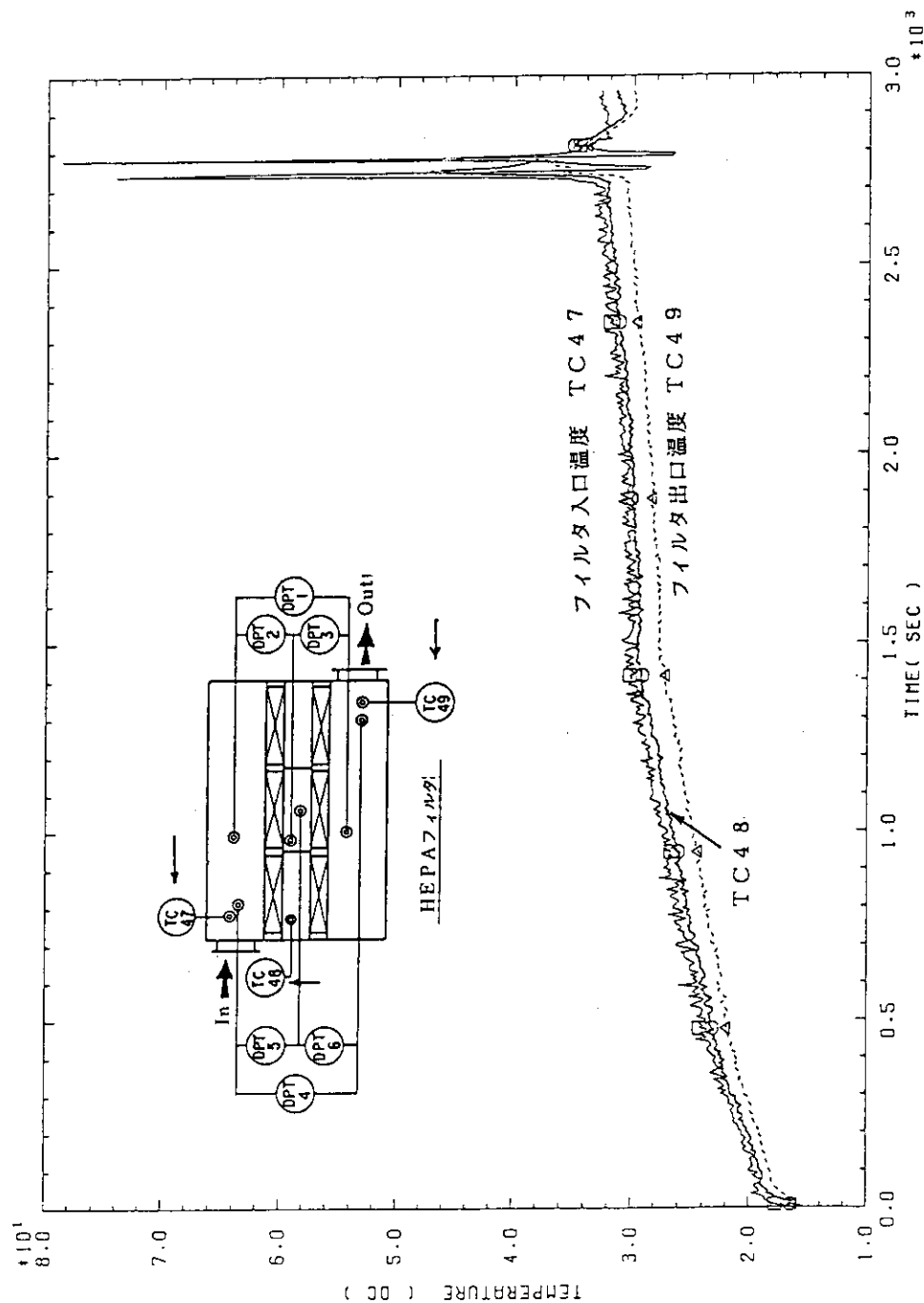


図4.5.9 フィルタチャンバー内気相温度

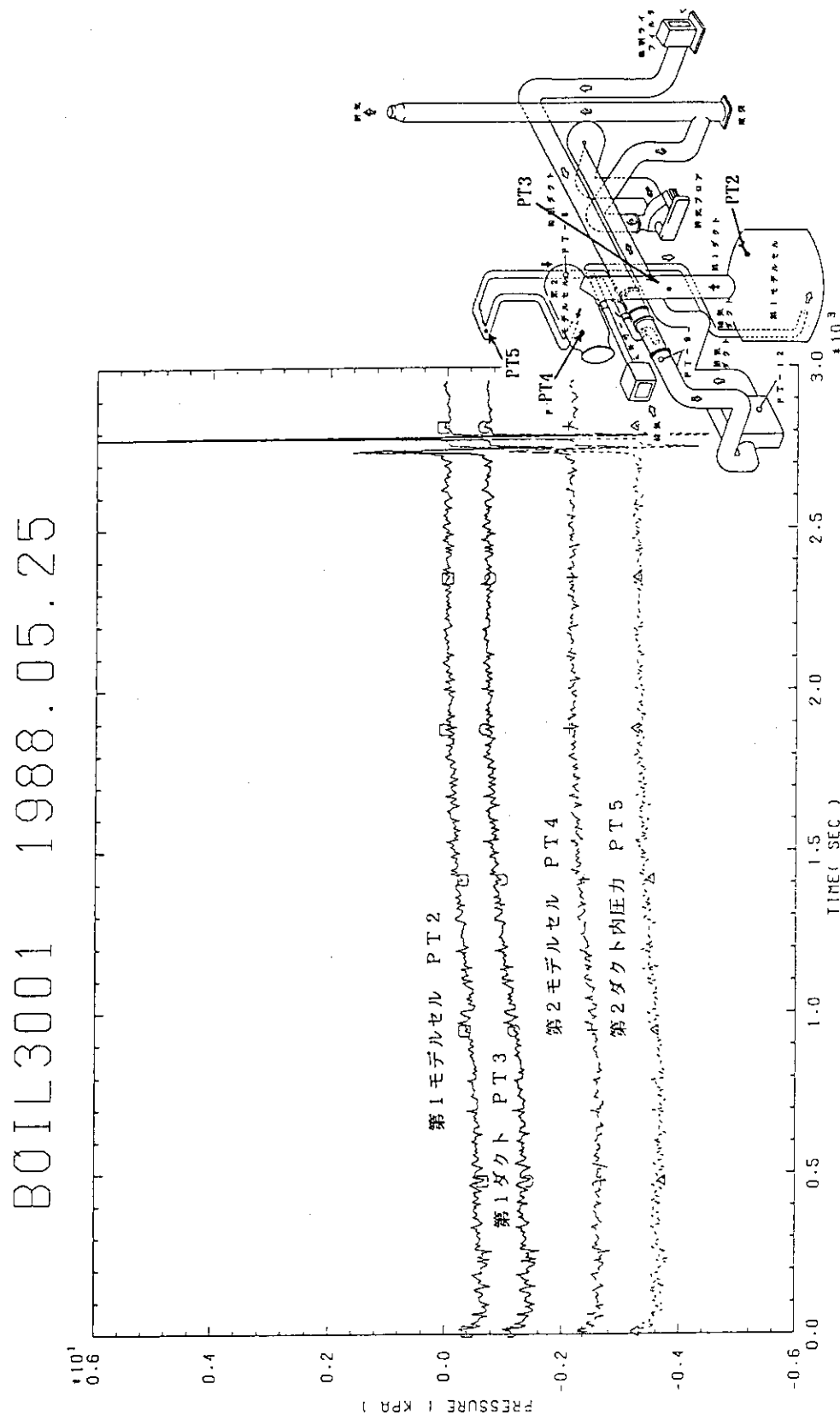


図4.5.1.1 第1モデルセル, 第1ダクト, 第2モデルセル及び第2ダクト内の圧力変化

B01L3001 1988.05.25

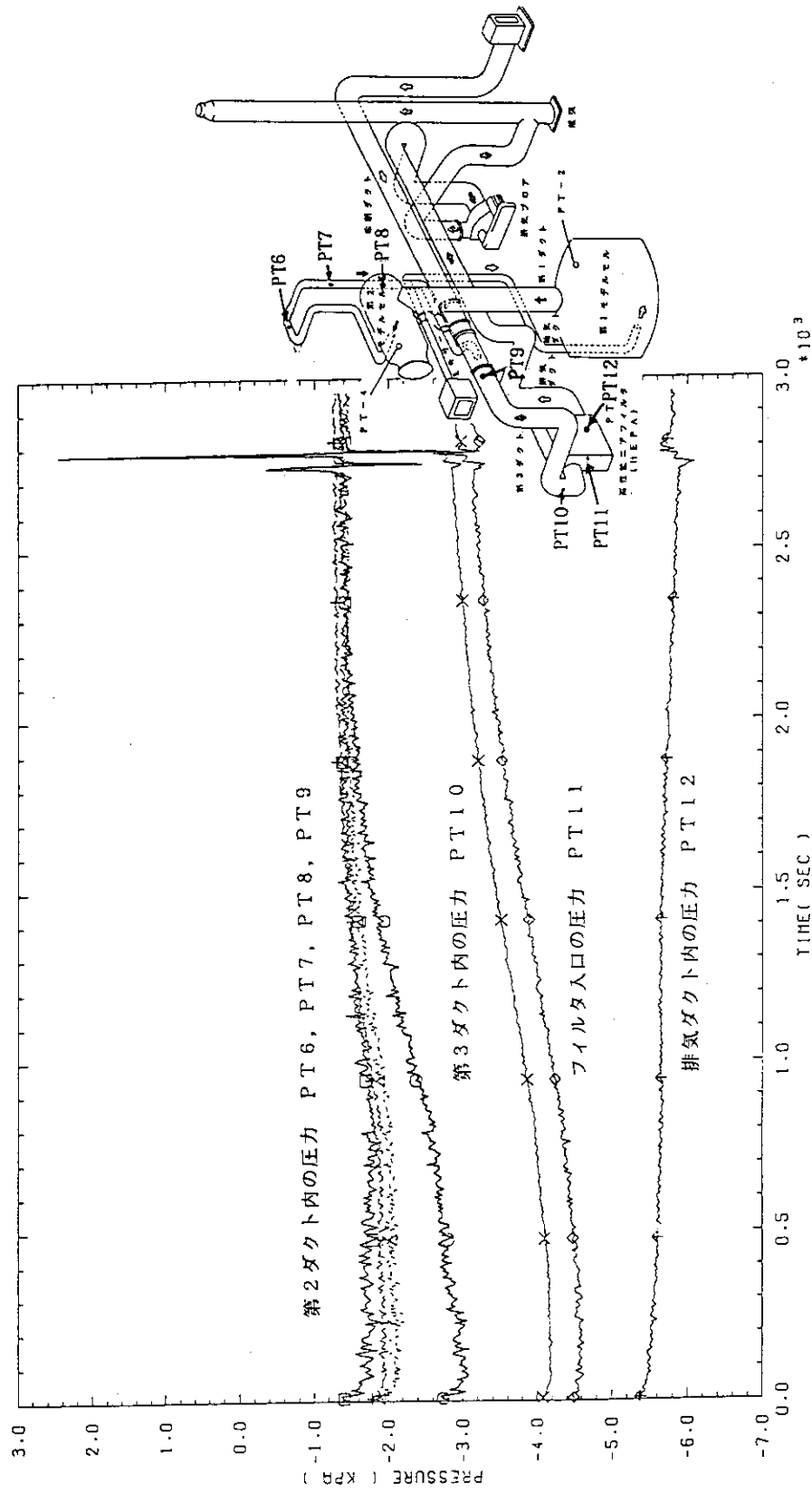


図4.5.12 第2ダクト, 第3ダクト及び排気ダクト内の圧力変化

BOIL3001 1988.05.25

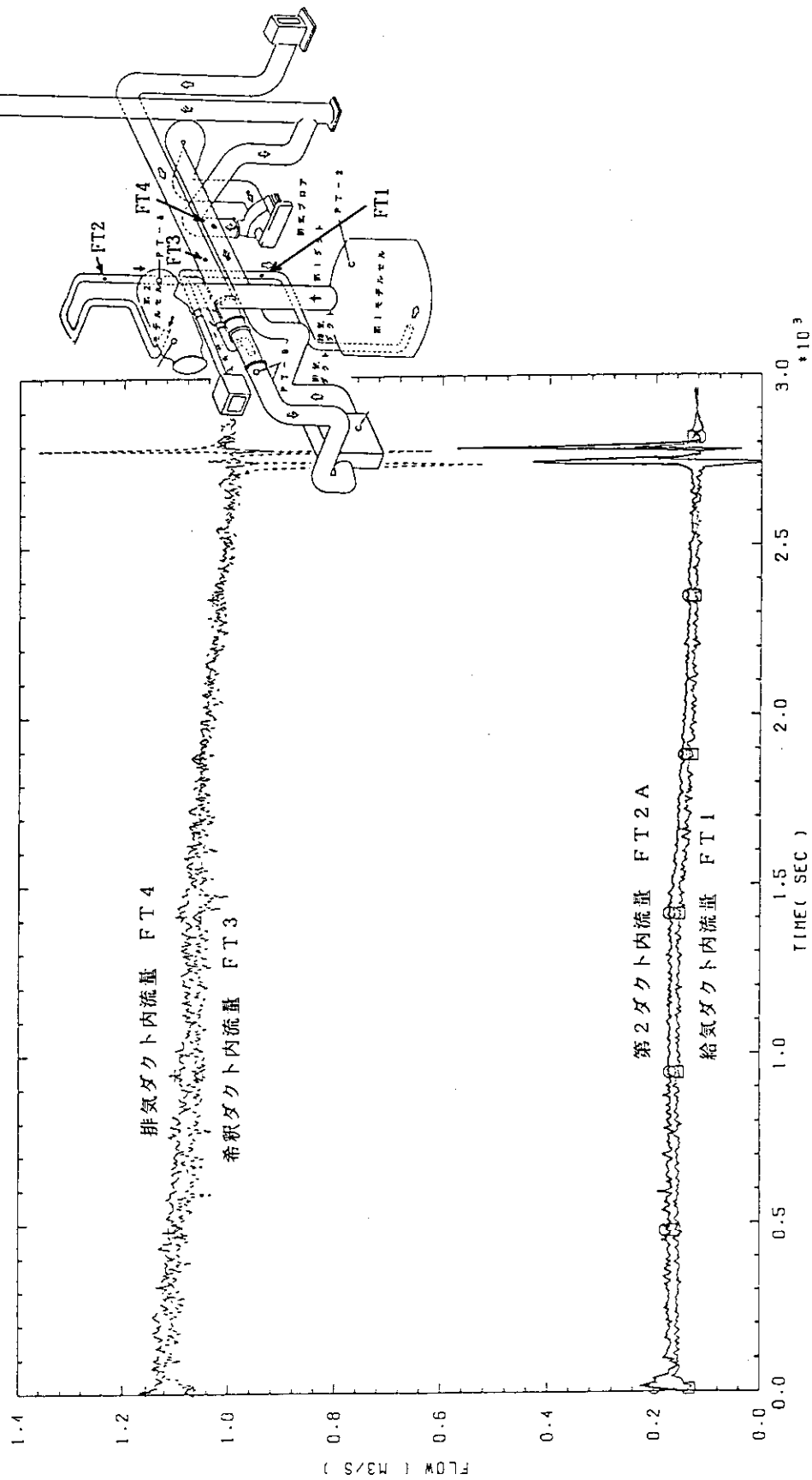


図4.5.13 実証試験装置内の流量の変化

BOIL3001 1988.05.25

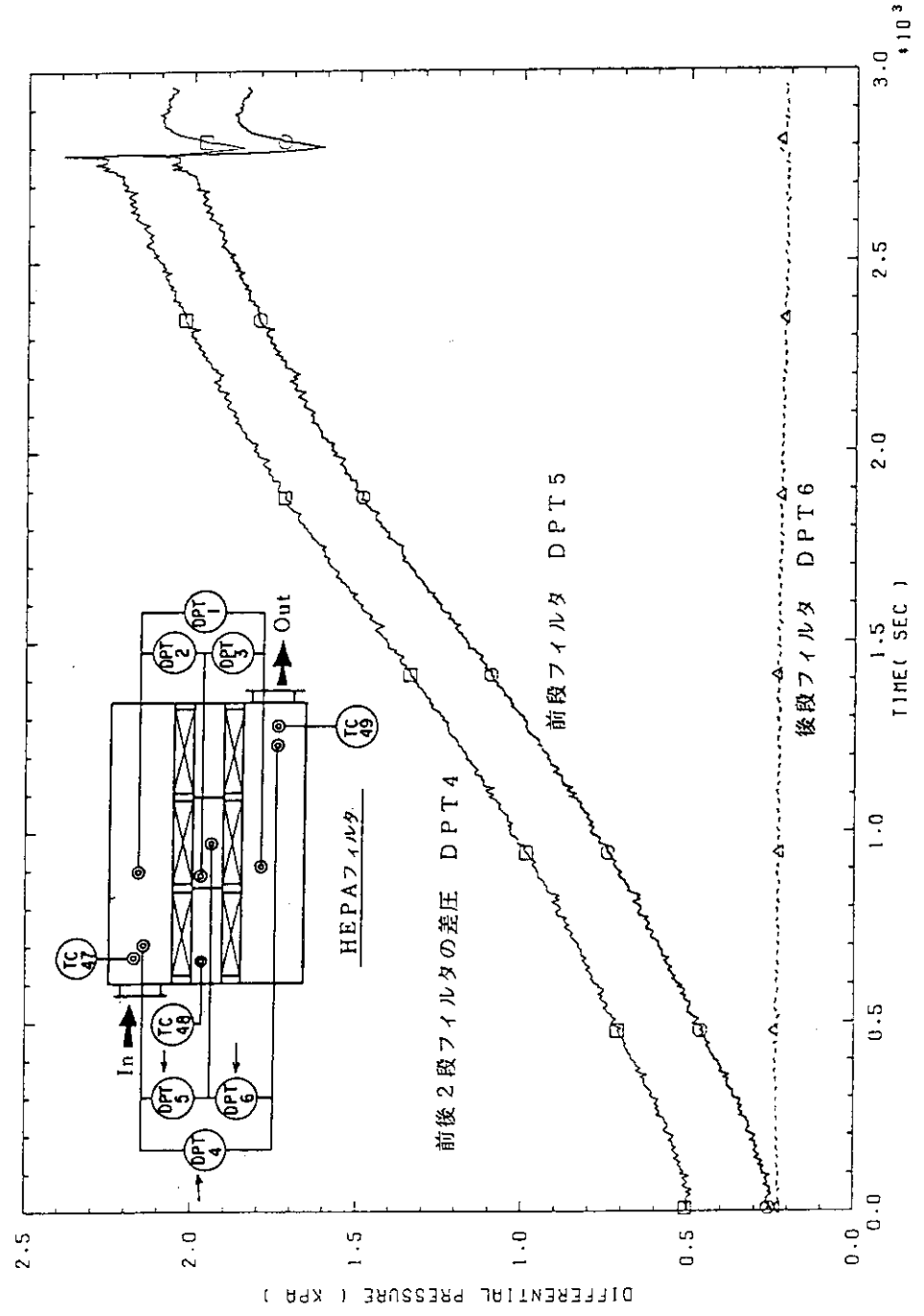


図4.5.14 HEPAフィルタの差圧変化

B01L5004 1990.10.16

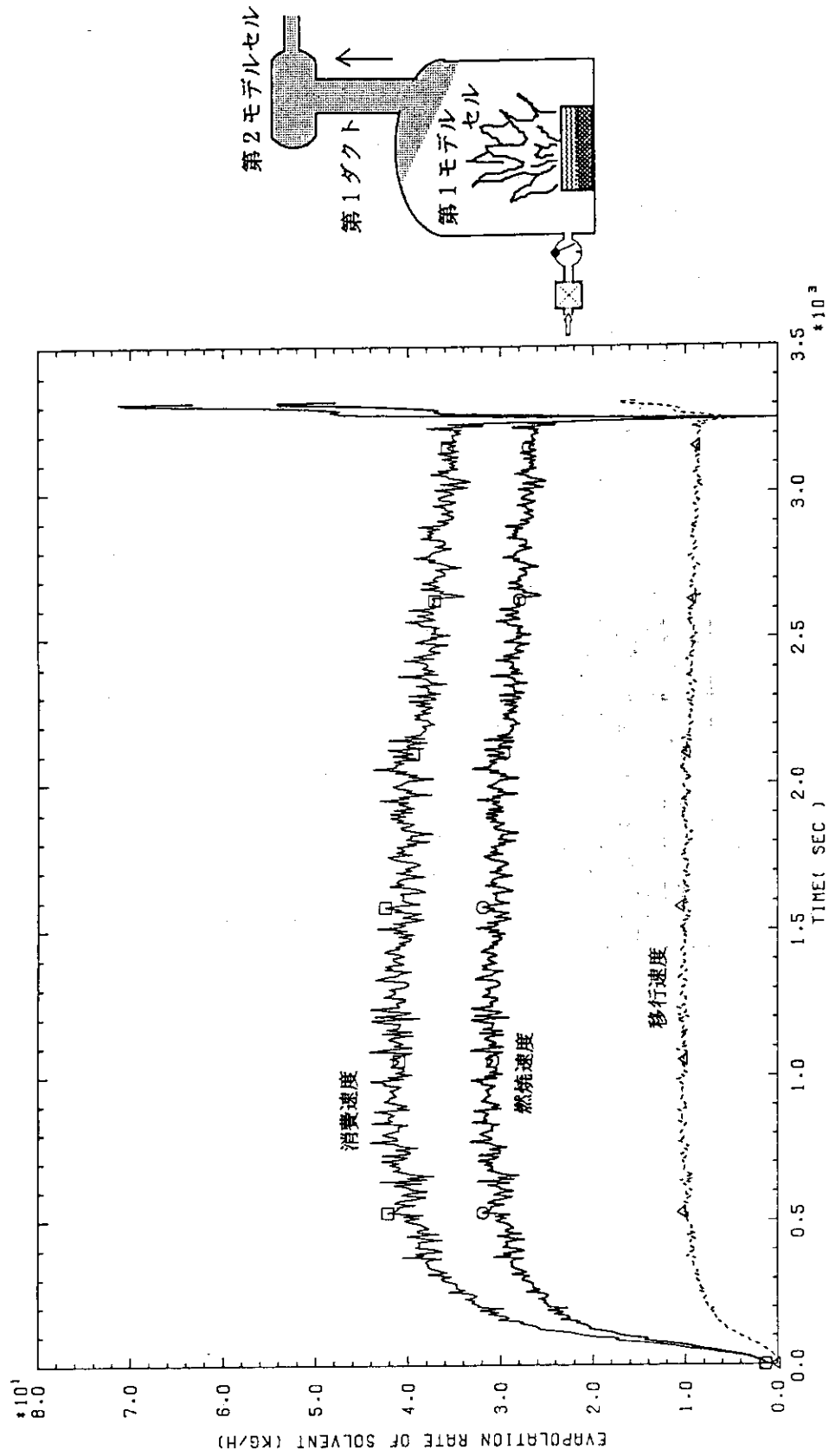


図4.5.15 溶媒の消費速度, 燃焼速度, 及び煤煙と未燃焼溶媒の移行速度 (kg/h)

B0IL5004

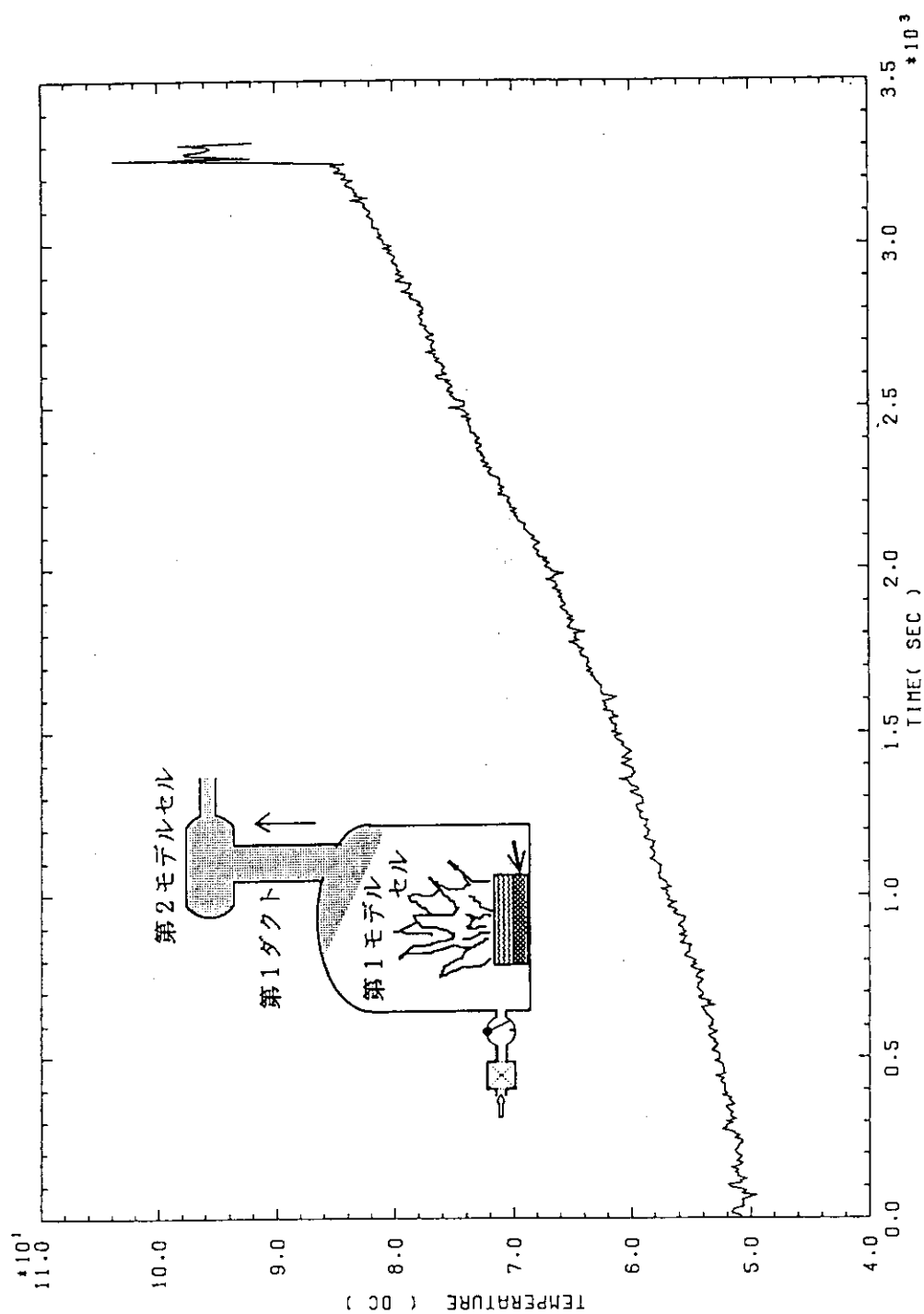


図 4.5.1.6 燃焼中の水相温度 (TC31, °C)

BOIL5004 1990.10.16

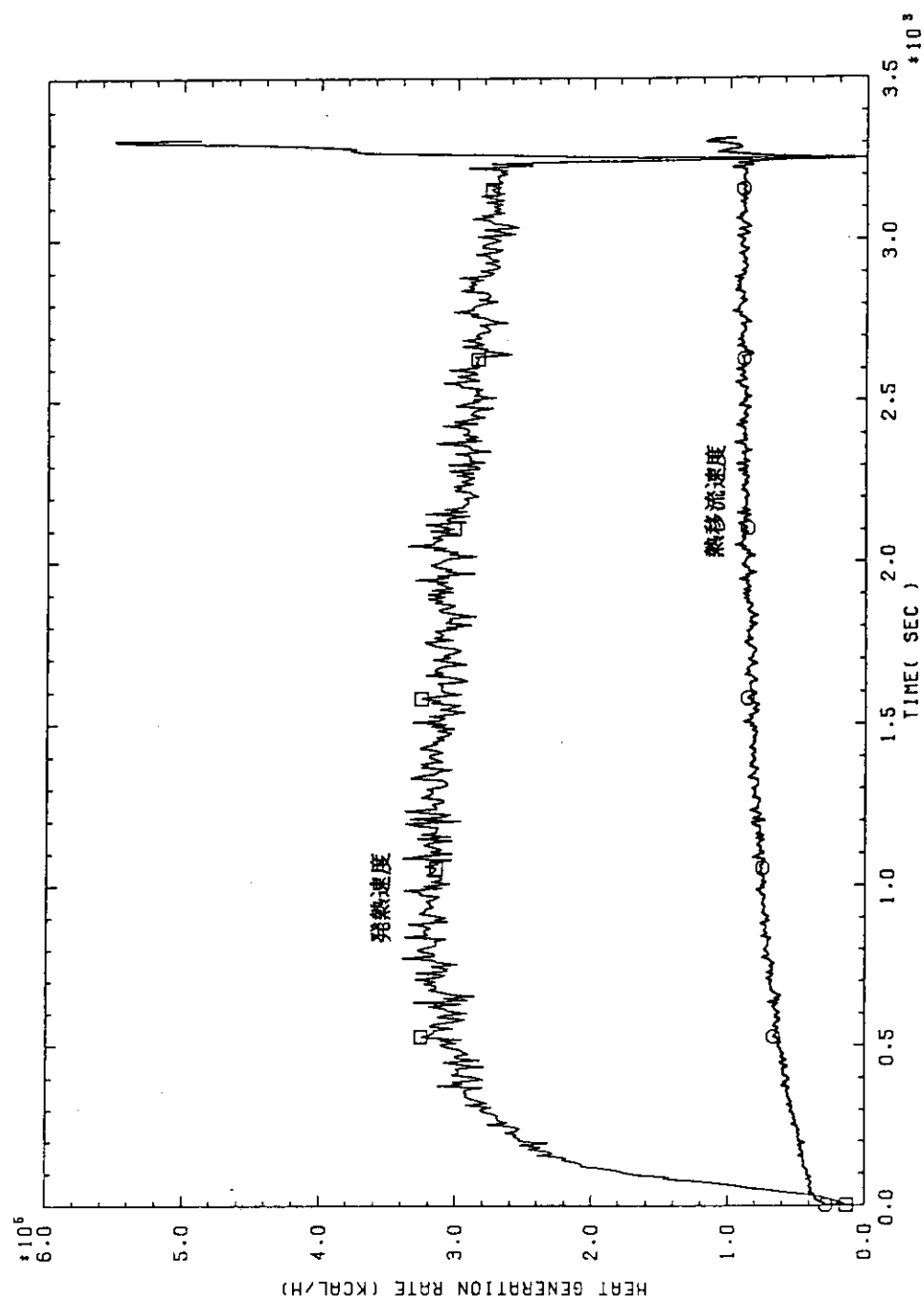


図 4.5.1.7 溶媒の燃焼に伴う発熱速度及び第1ダクトへの熱移流速度 (kcal/h)

B01L5004 1990.10.16

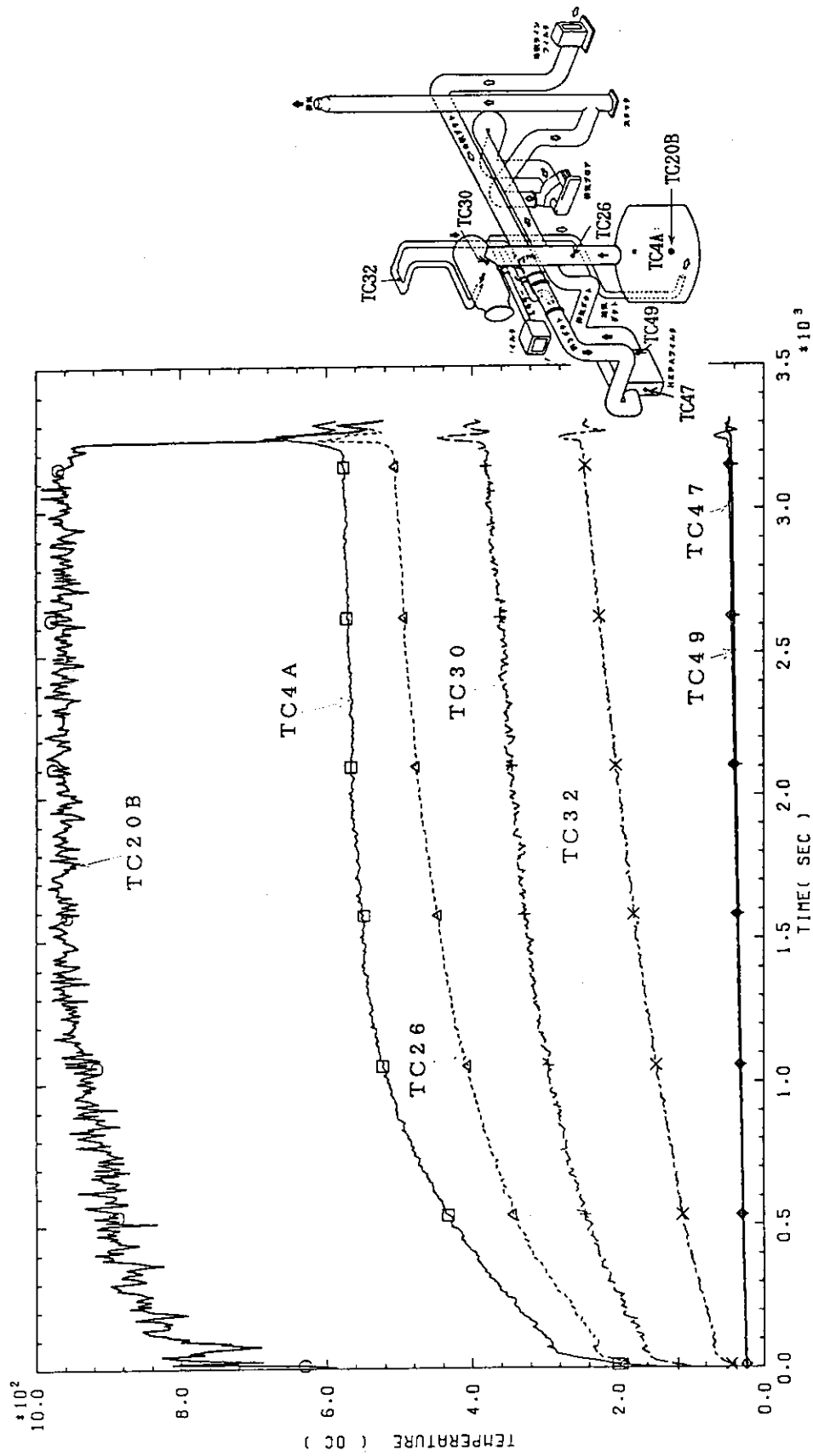


図 4.5.18 実証試験装置内の気相温度分布 (°C)

B0IL5004 1990.10.16

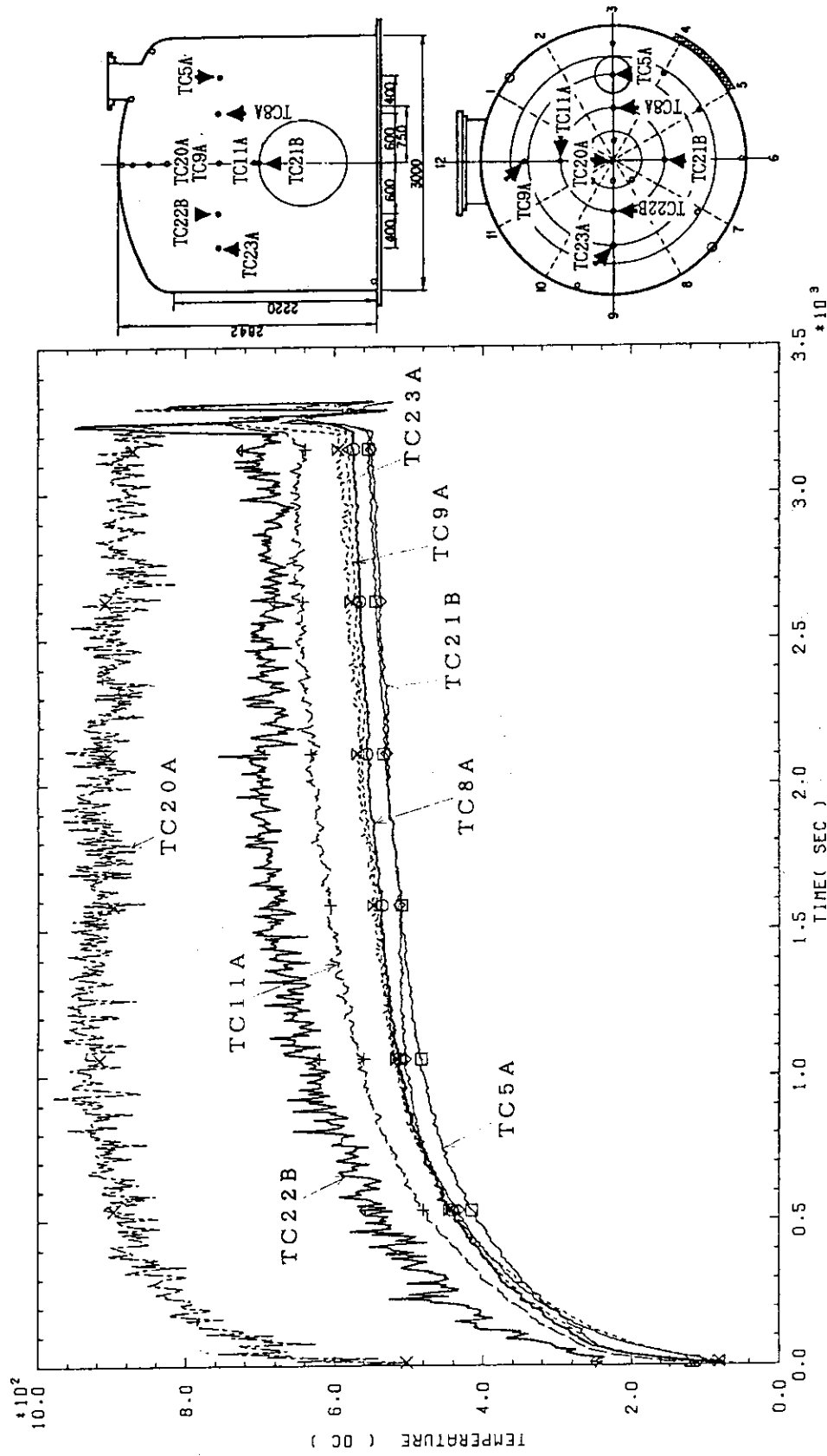


図4.5.19 第1モデルセル内の気相 (火炎) 温度 (°C)

B0IL5004 1990.10.16

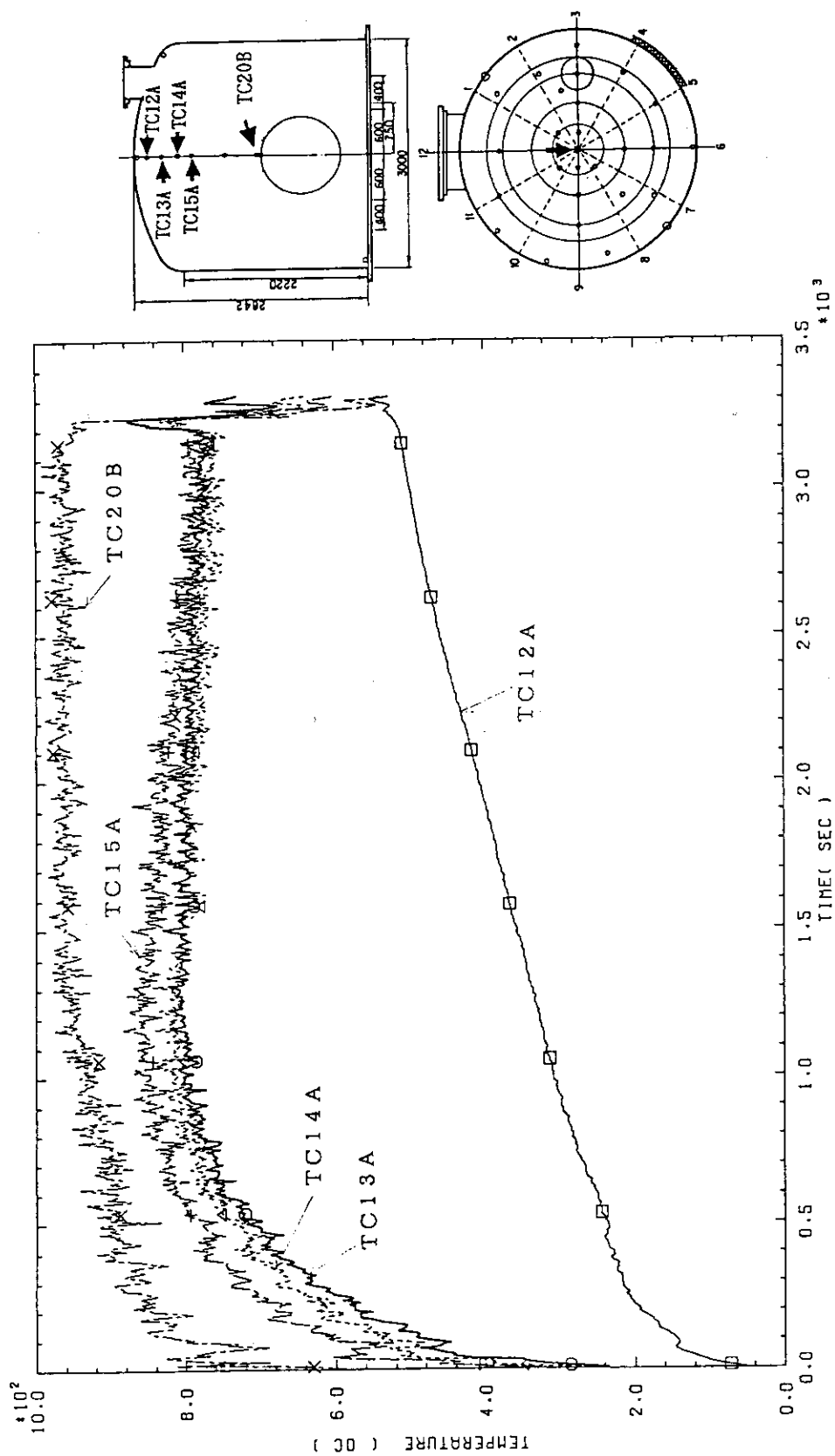


図4.5.20 第1モデルセル内の気相 (火炎) 温度 (°C)

B01L5004 1990.10.16

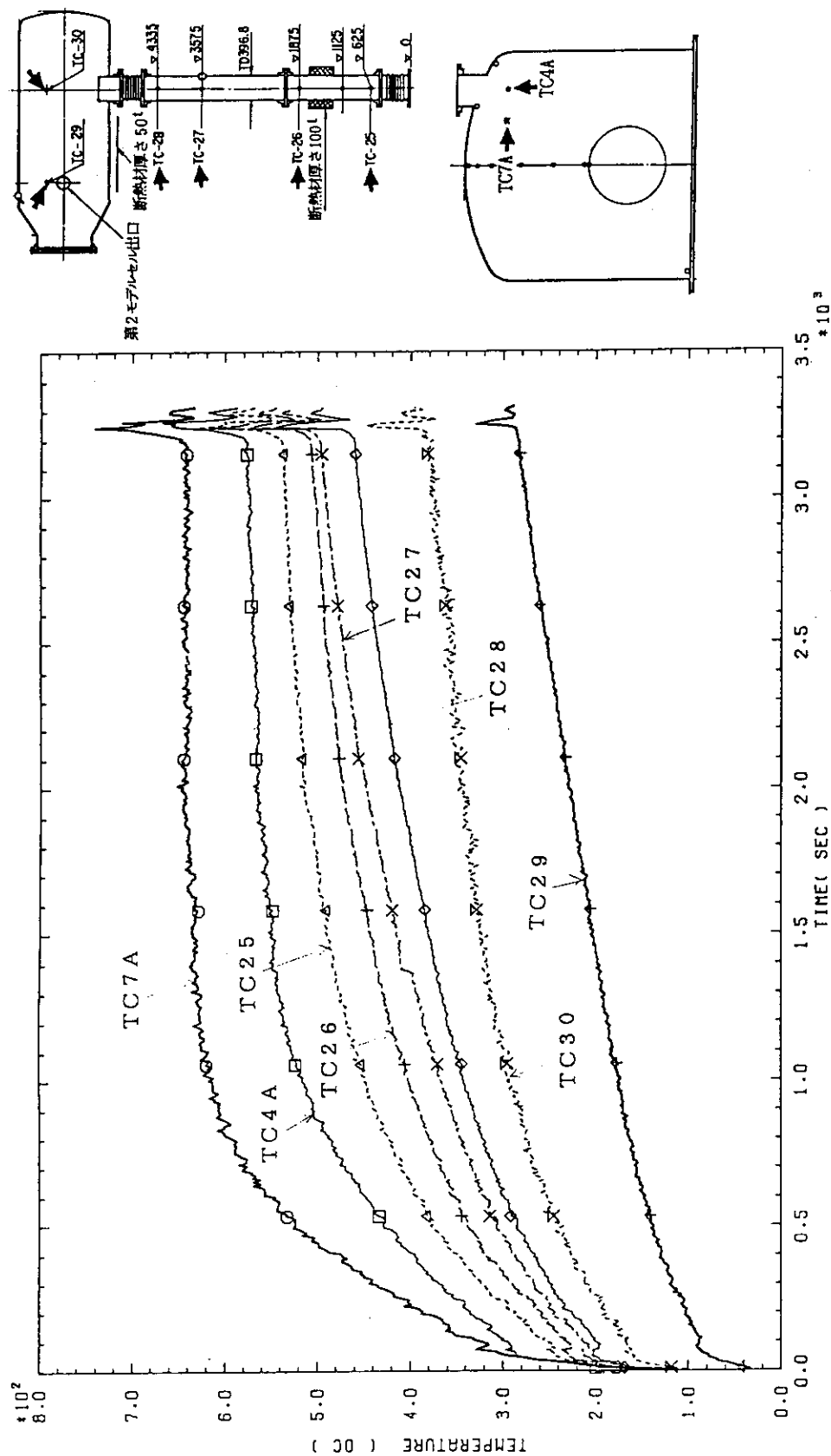


図4.5.21 第1モデルセル, 第1ダクト及び第2モデルセル内の気相温度 (°C)

BOIL5004

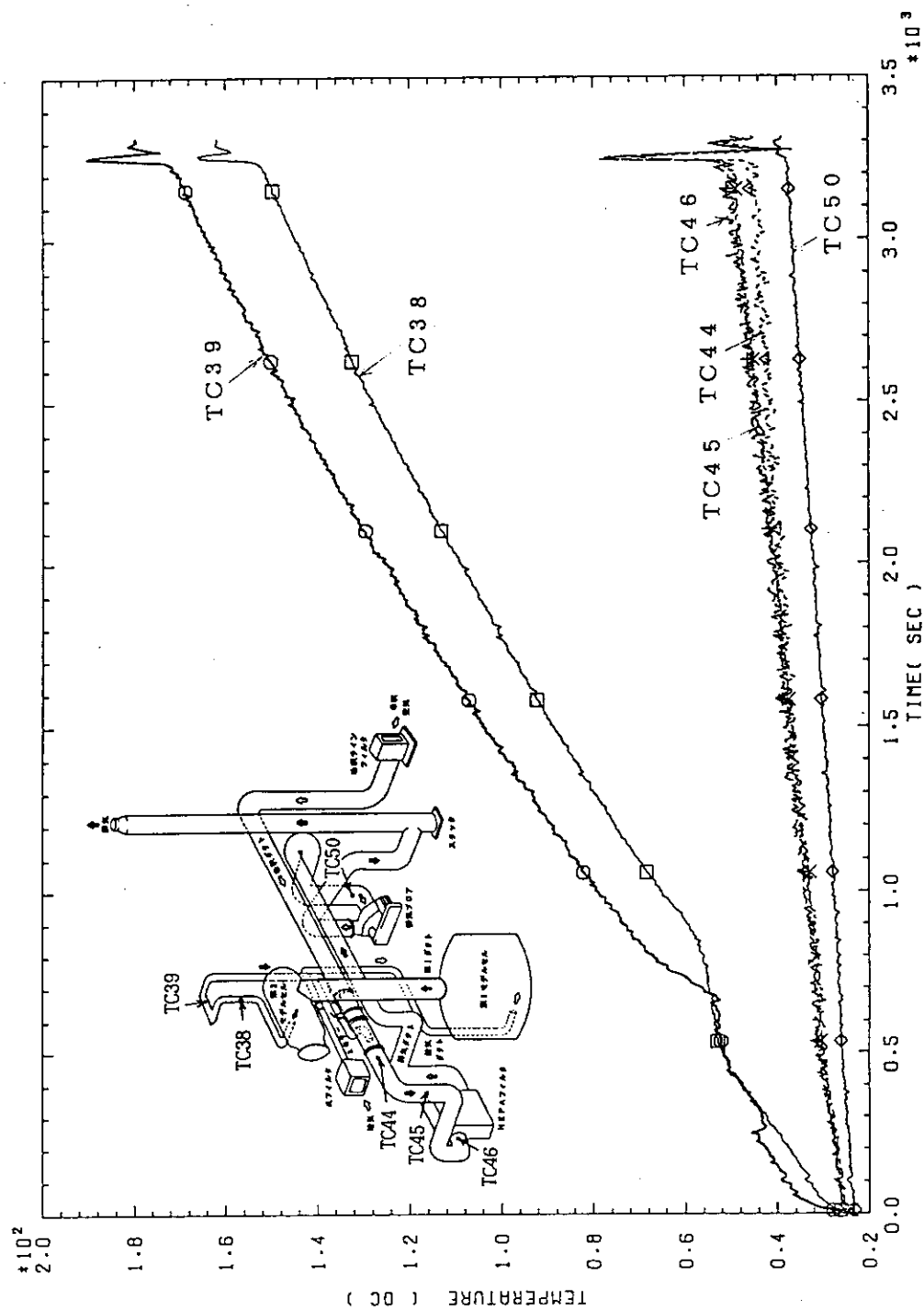


図4.5.2.2 第2ダクト内壁温度、第3ダクト気相及び非気ダクト気相温度 (°C)

B01L5004 1990.10.16

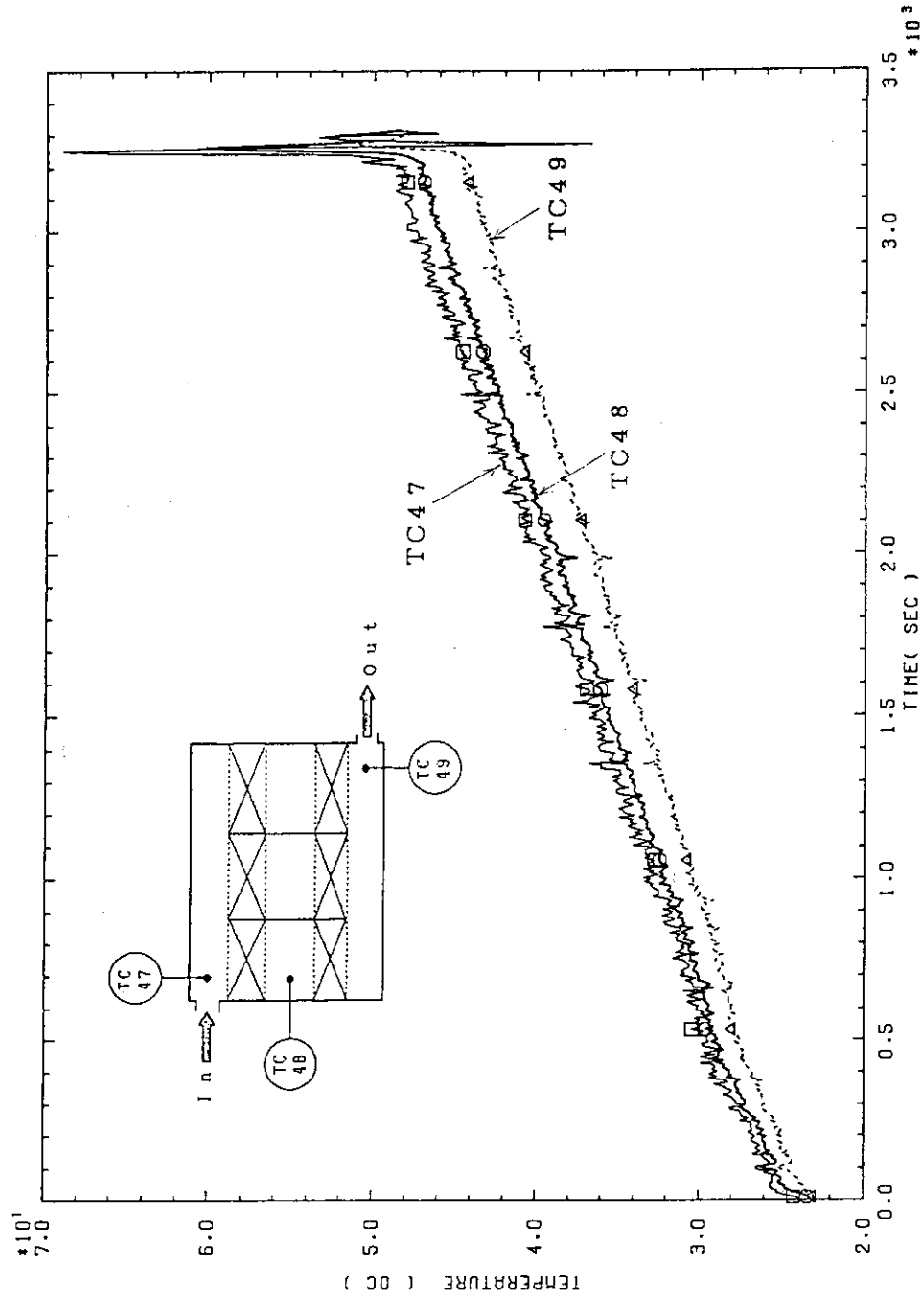


図4.5.2.3 HEPA フィルタチェンバー内気相温度 (°C)

B01L5004 1990.10.16

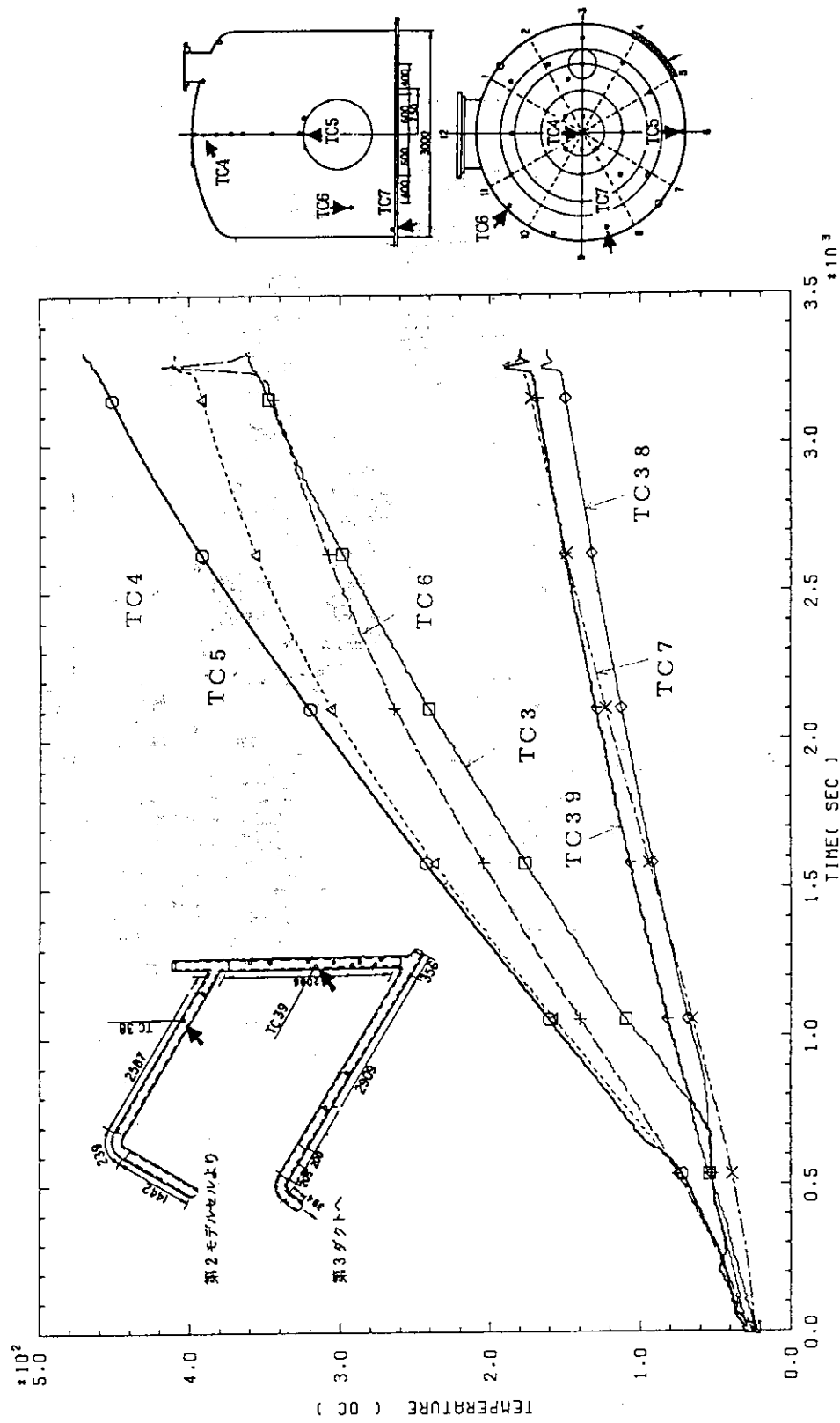


図4.5.24 第1モデルセル, 第2ダクトの壁面温度 (°C)

B01L5004 1990.10.16

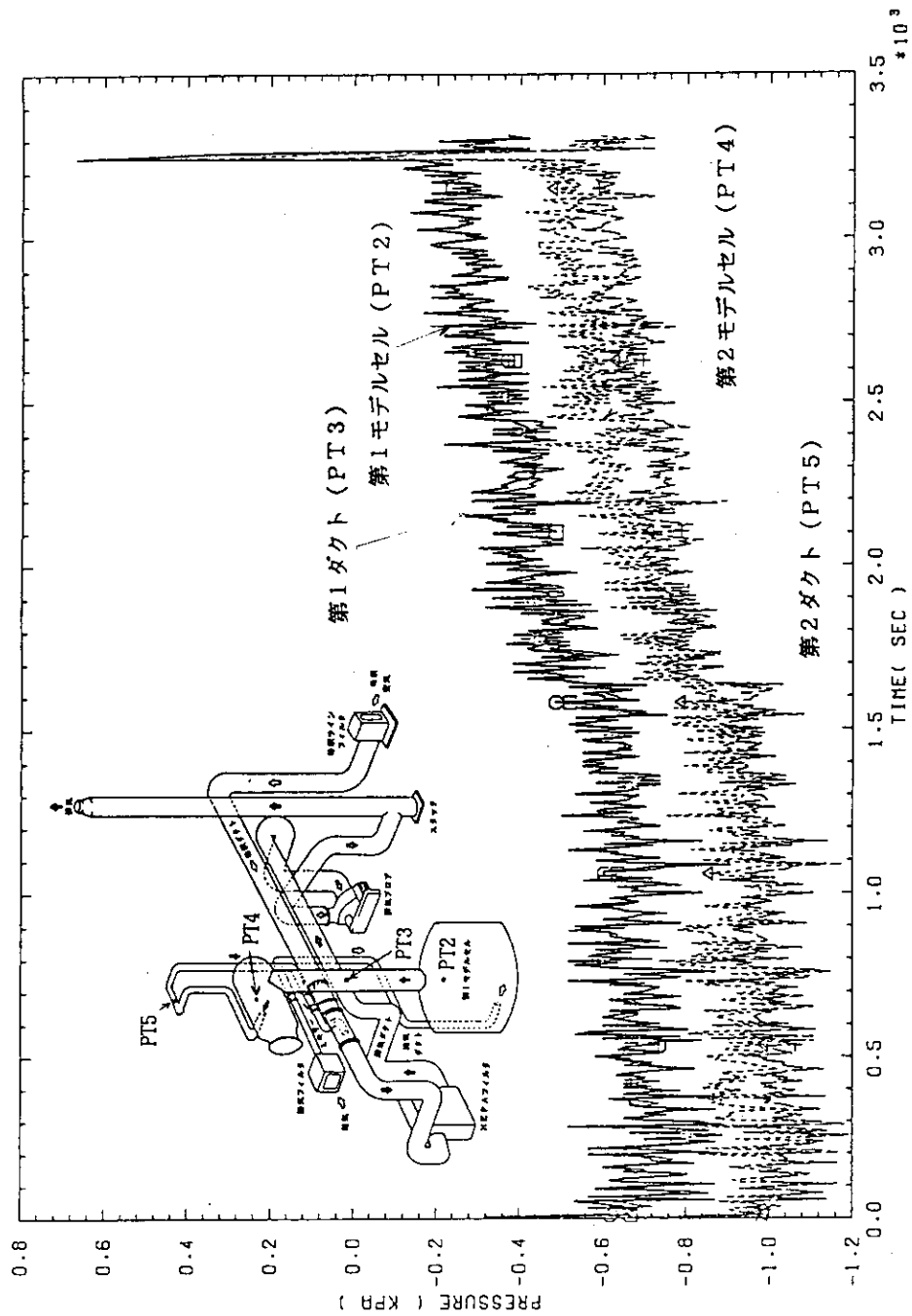


図4.5.25 第1モデルセル, 第1ダクト, 第2モデルセル及び第2ダクト内の圧力 (kPa)

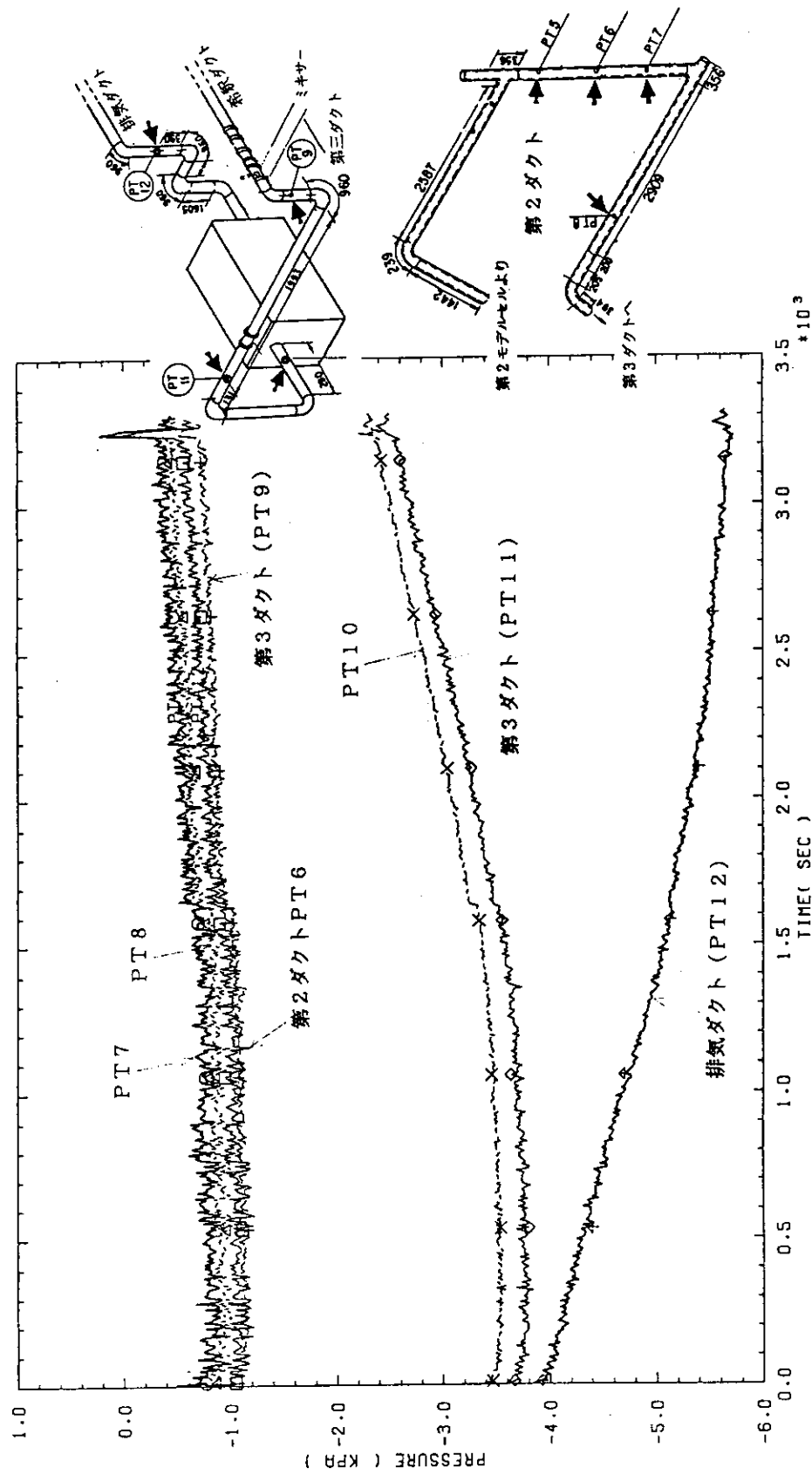
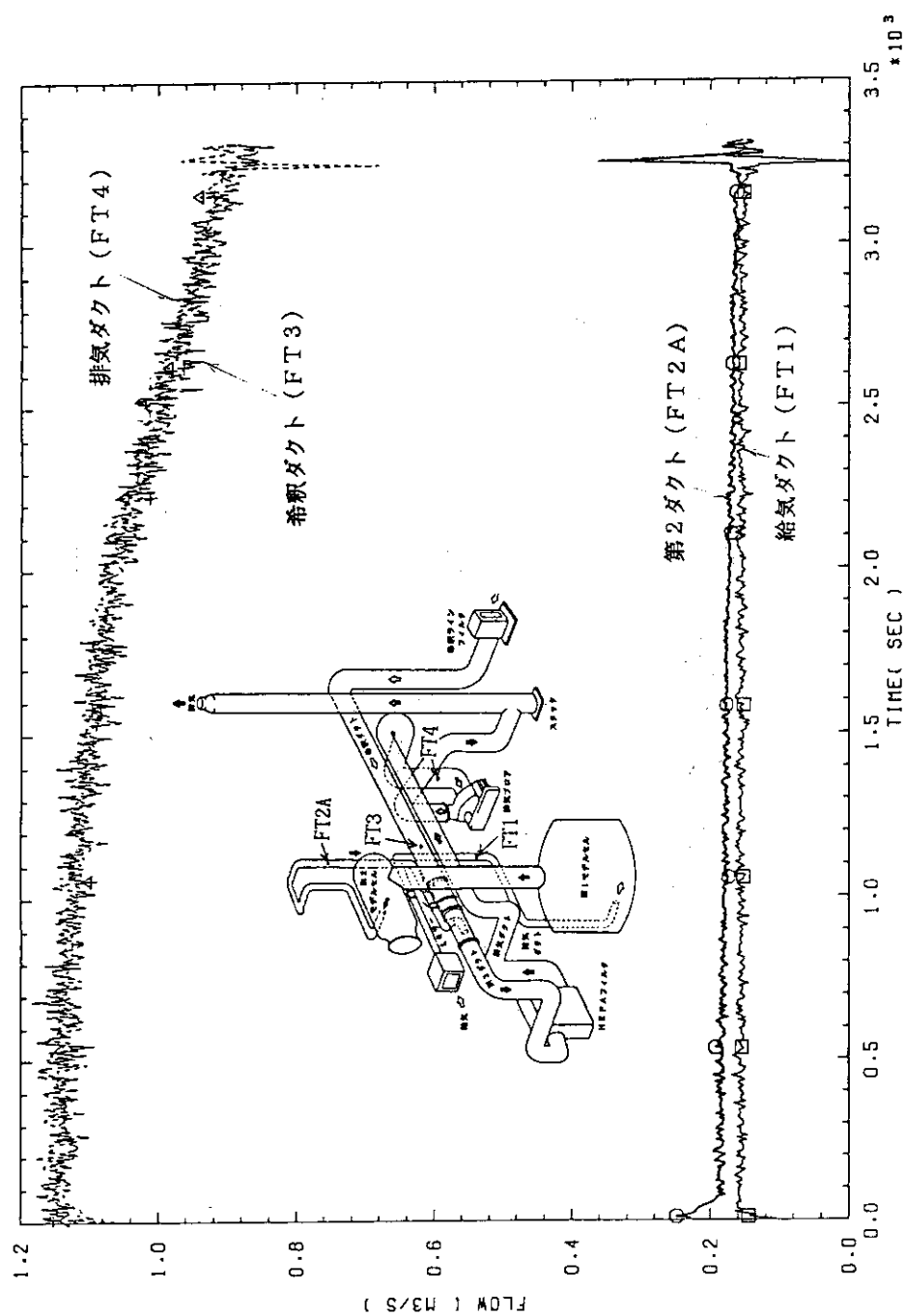


図4.5.26 第2ダクト, 第3ダクト及び排気ダクト内の圧力 (kPa)

B0IL5004 1990.10.16

図 4.5.27 実証試験装置内の気体流量 (m³/s)

B01L5004 1990.10.16

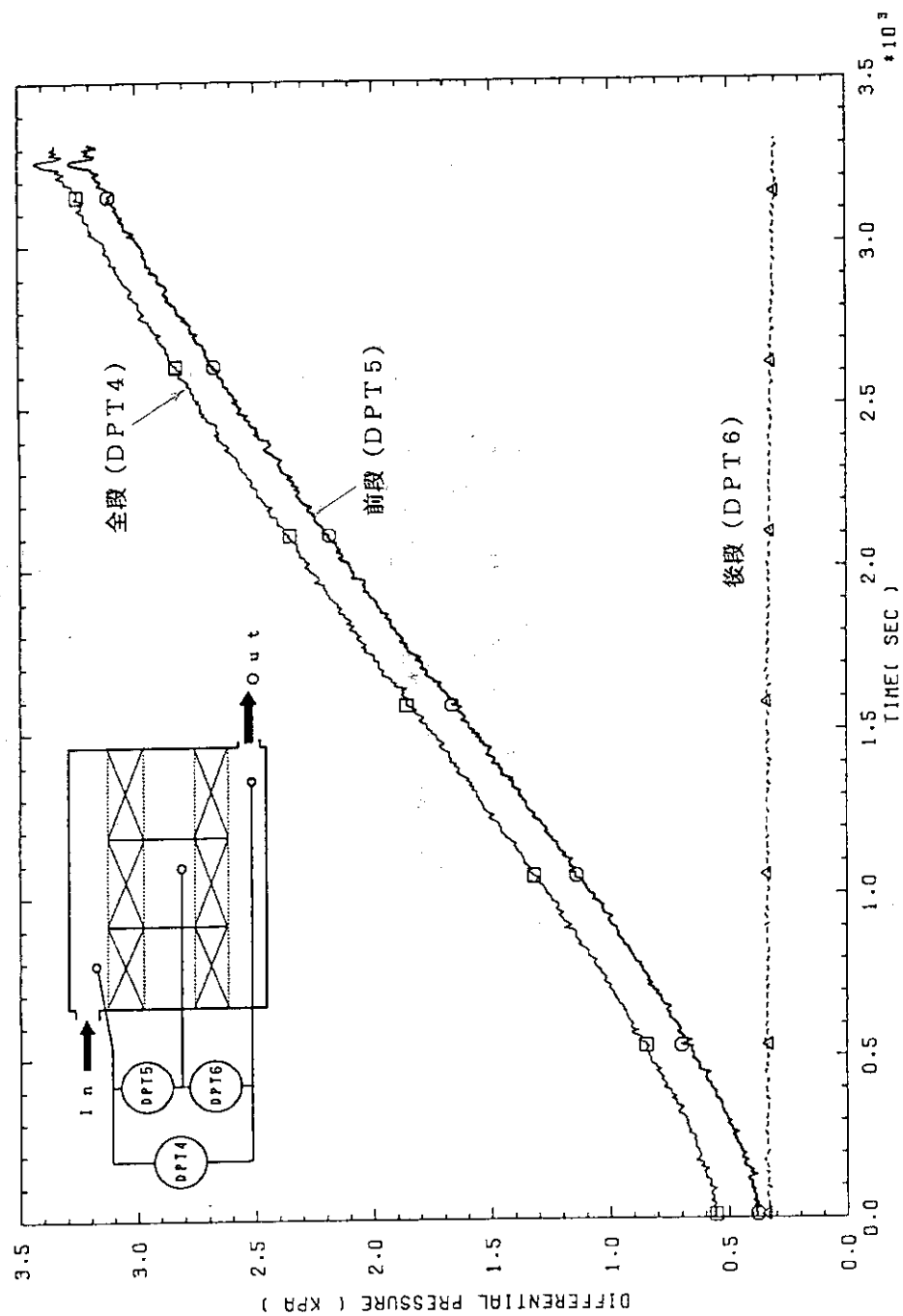


図4.5.28 HEPA フィルタにおける圧力損失 (kPa)

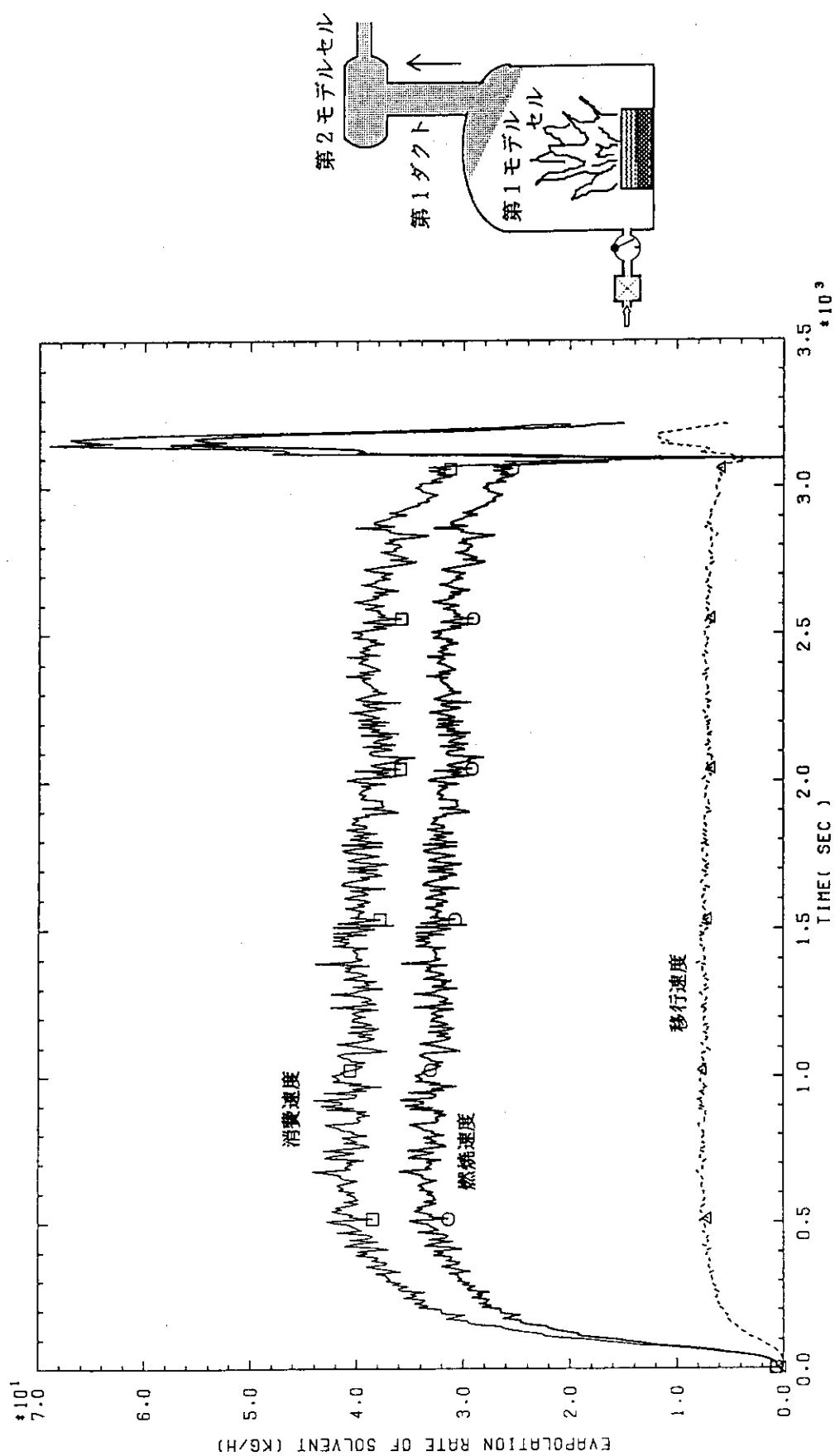


図 4.5.29 溶媒の消費速度, 燃焼速度, 及び煤煙と未燃焼溶媒の移行速度 (kg/h)

B01L5005 1990.12.11 TCD

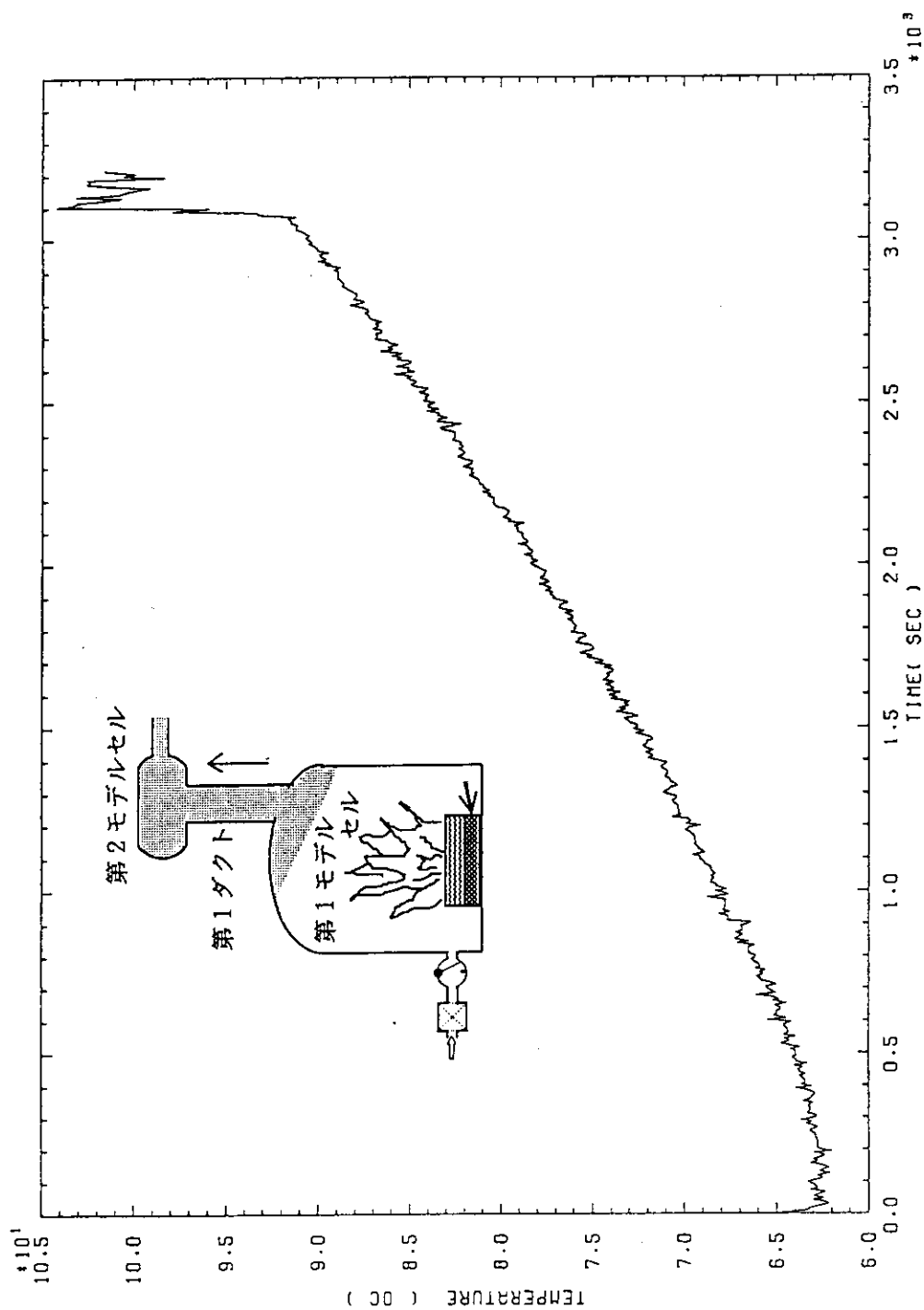


図4.5.30 燃焼中の水相温度 (TC31, °C)

B01L5005 1990.12.11

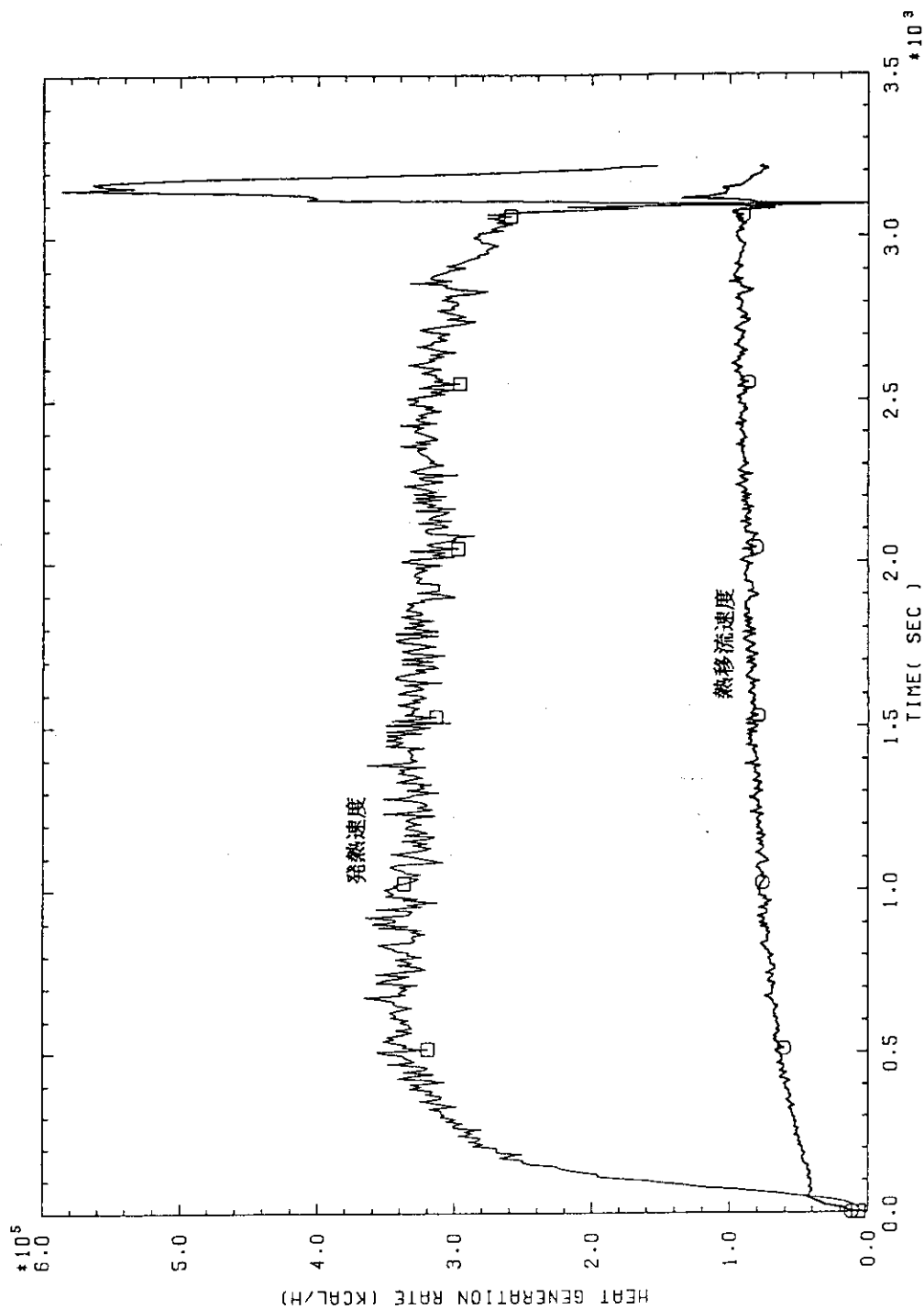


図4.5.31 溶媒の燃焼に伴う発熱速度及び第1ダクトへの熱移流速度 (kcal/h)

BOIL5005 1990.12.11

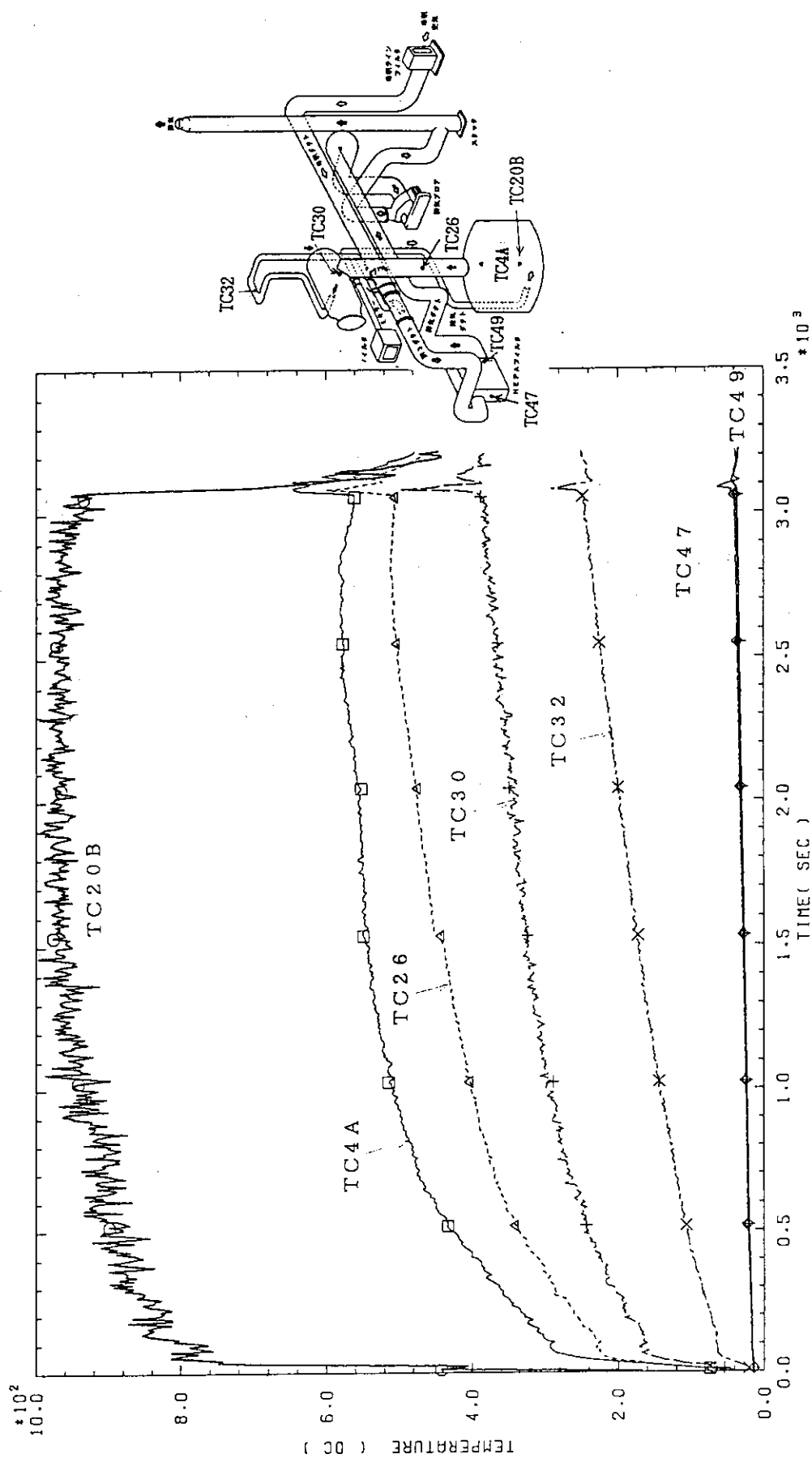


図 4.5.3.2 実証試験装置内の気相温度分布 (°C)

B01L5005 1990.12.11

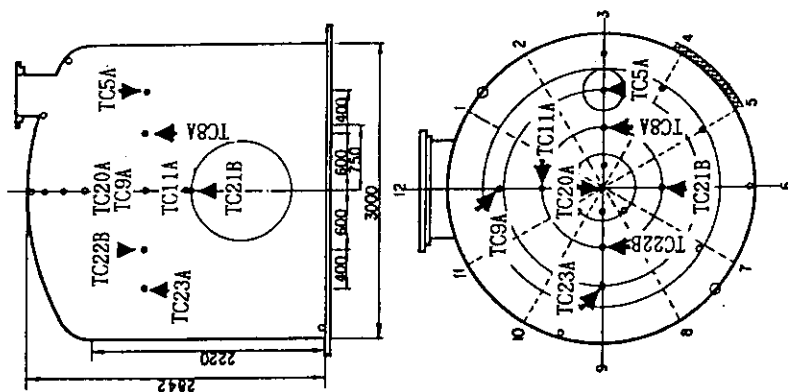
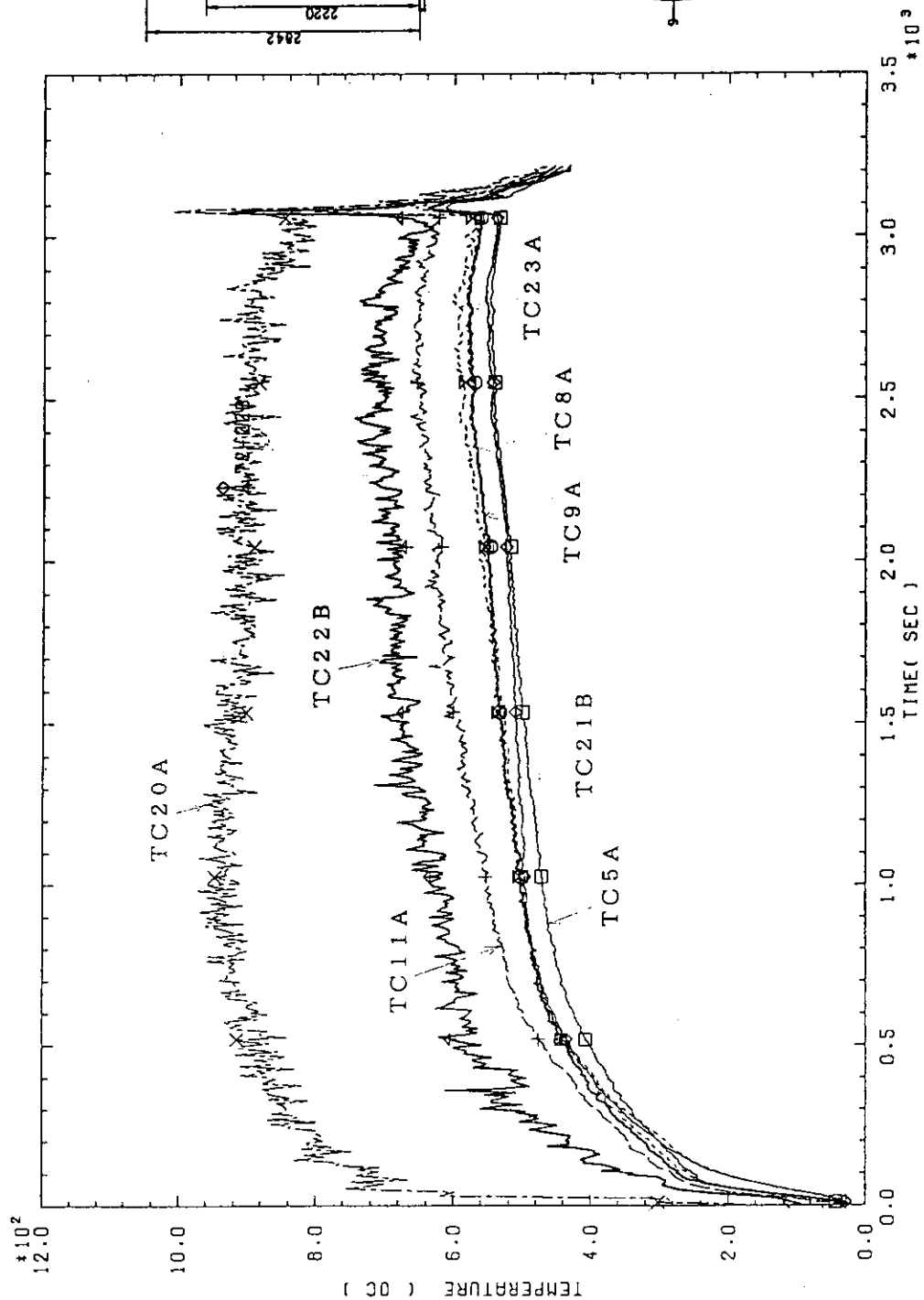


図 4.5.3.3 第1モデルセル内の気相 (火炎) 温度 (°C).

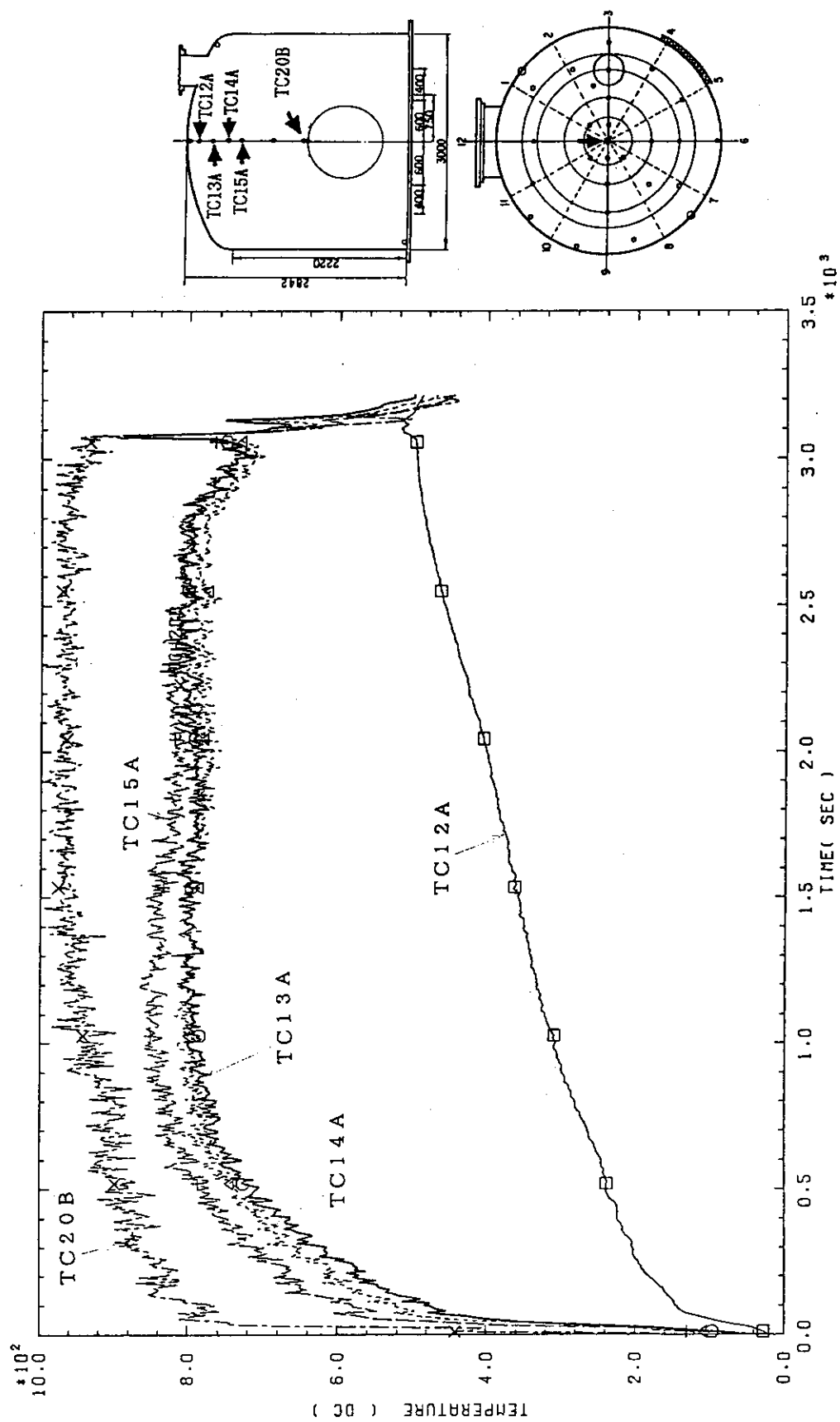


図4.5.34 第1モデルセル, 第1ダクト及び第2モデルセル内の気相温度 (°C)

B01L5005 1990.12.11

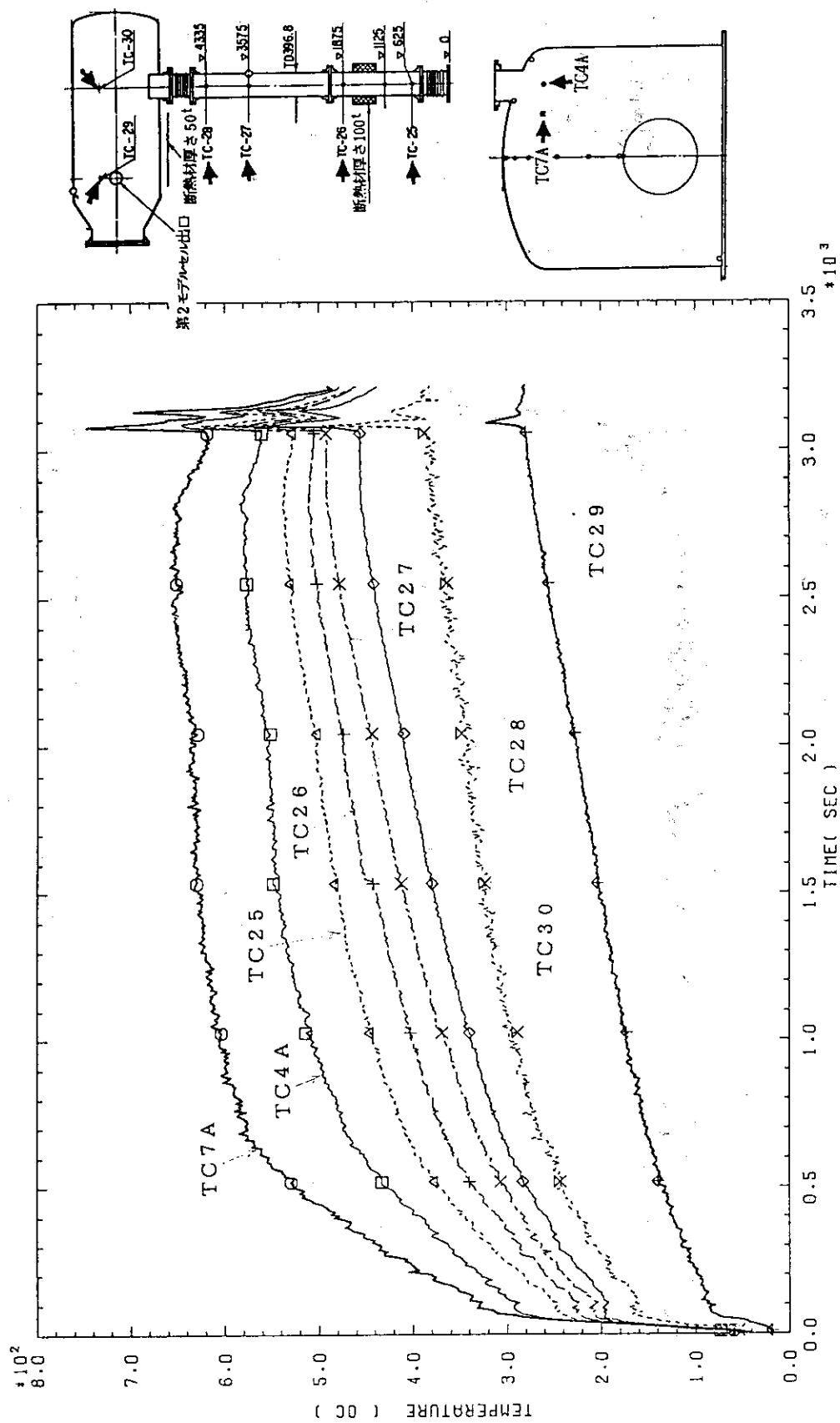


図4.5.35 第1モデルセル内の気相 (火炎) 温度 (°C)

B01L5005

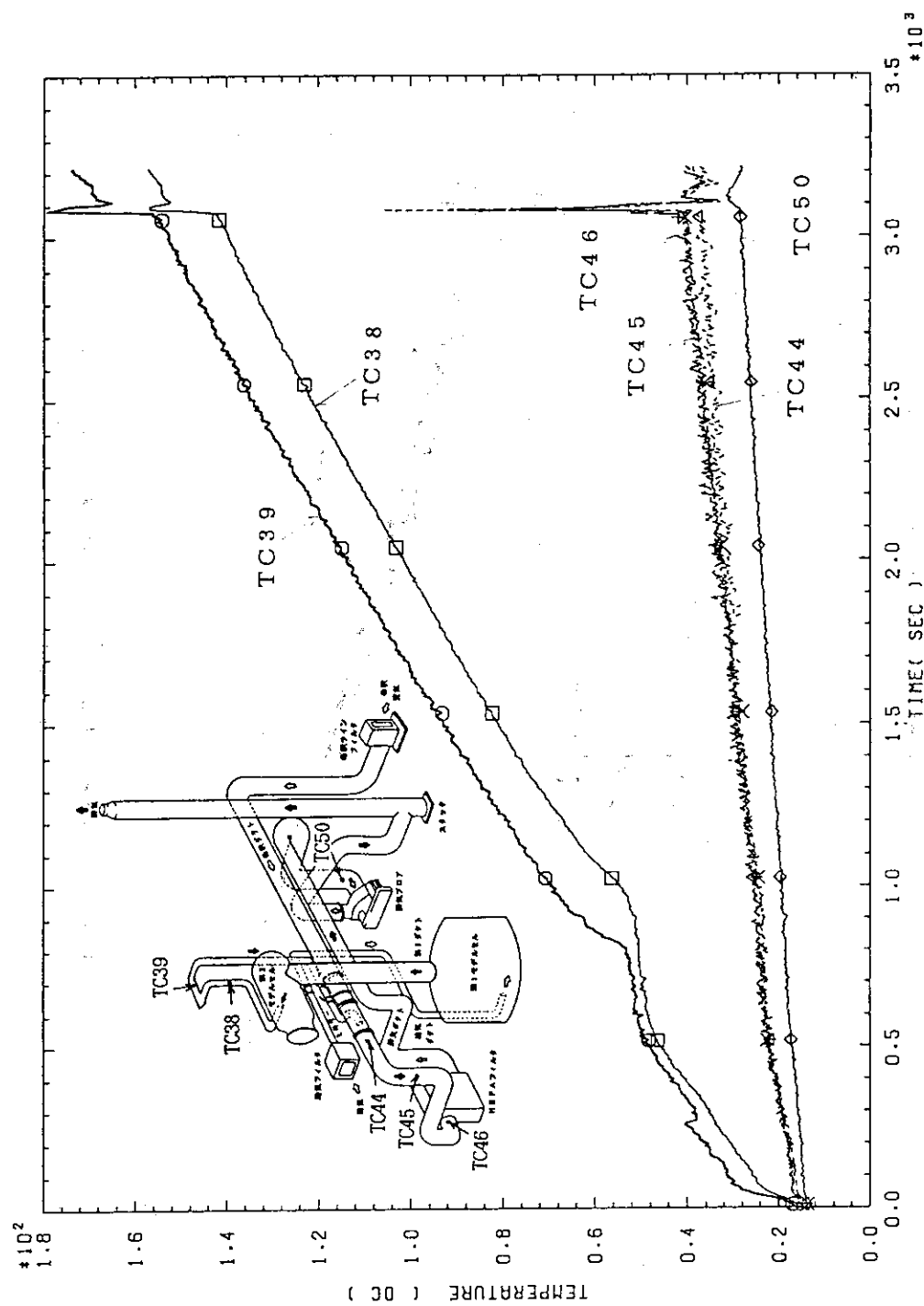


図4.5.3.6 第2ダクト内壁温度, 第3ダクト気相及び排気ダクト気相温度 (°C)

B01L5005 1990.12.11

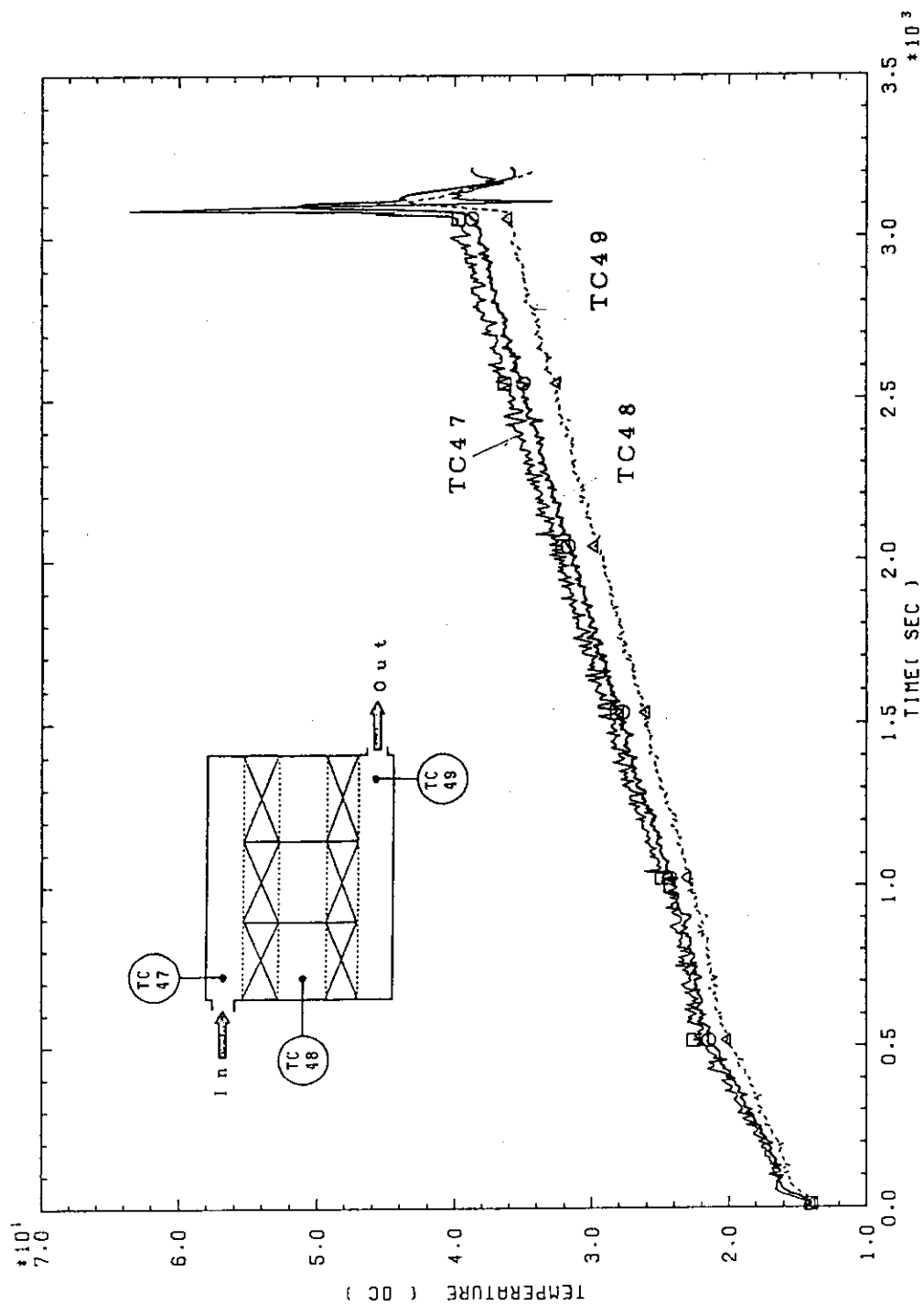


図4.5.37 HEPA フィルタチェンバー内気相温度 (°C)

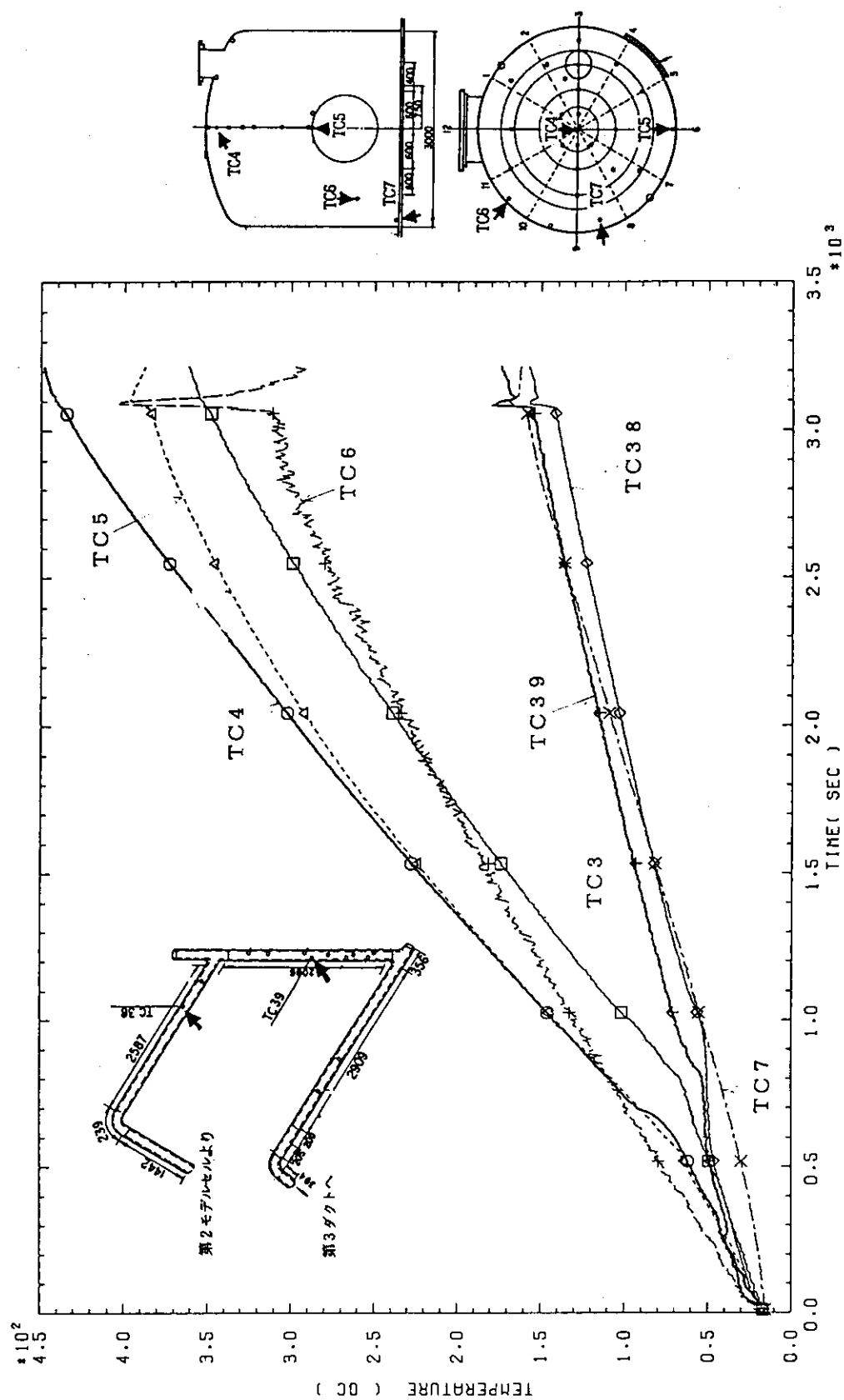


図4.5.38 第1モデルセル, 第2ダクトの壁面温度 (°C)

B0IL5005 1990.12.11

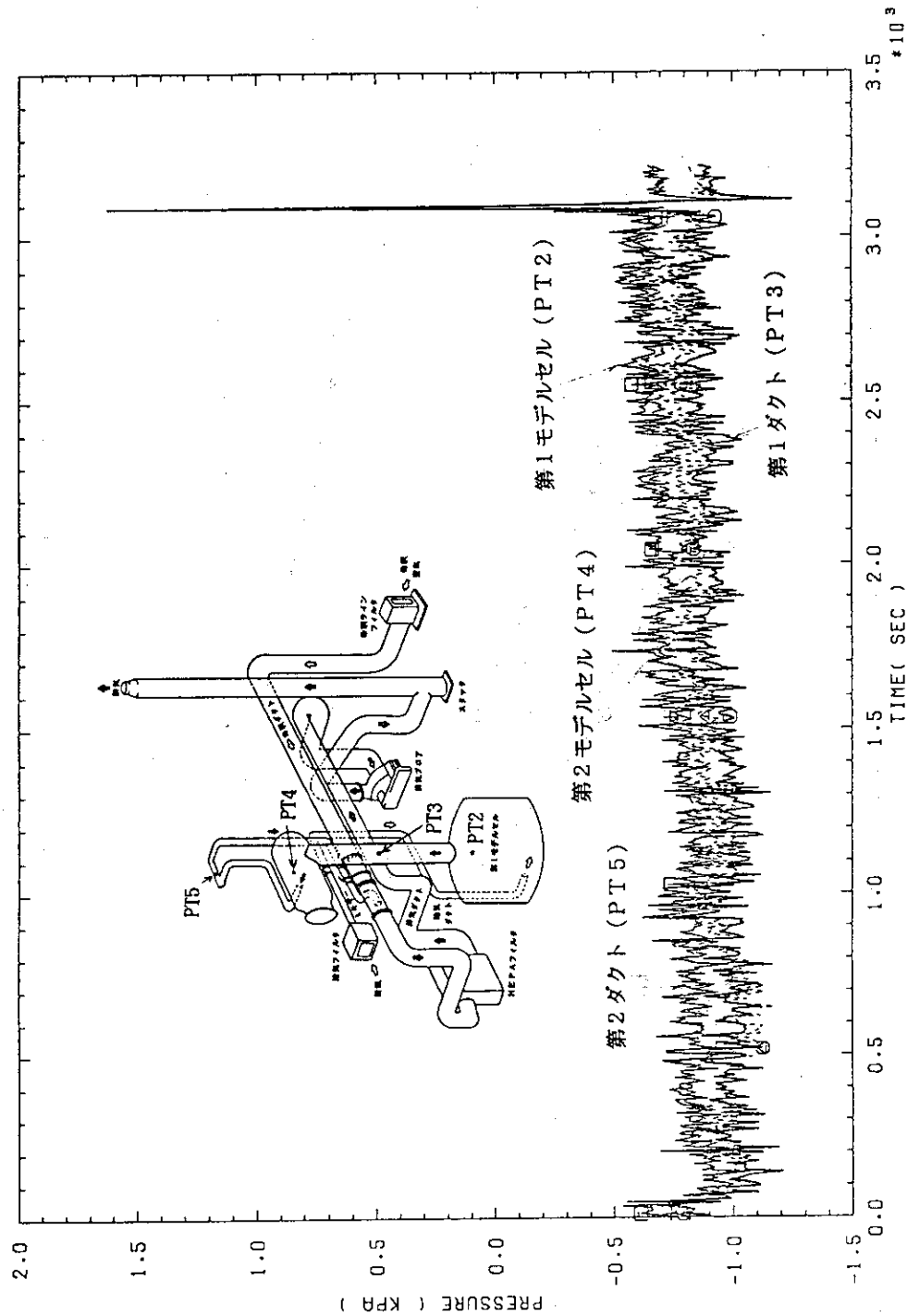


図4.5.39 第1モデルセル, 第1ダクト, 第2モデルセル及び第2ダクト内の圧力 (kPa)

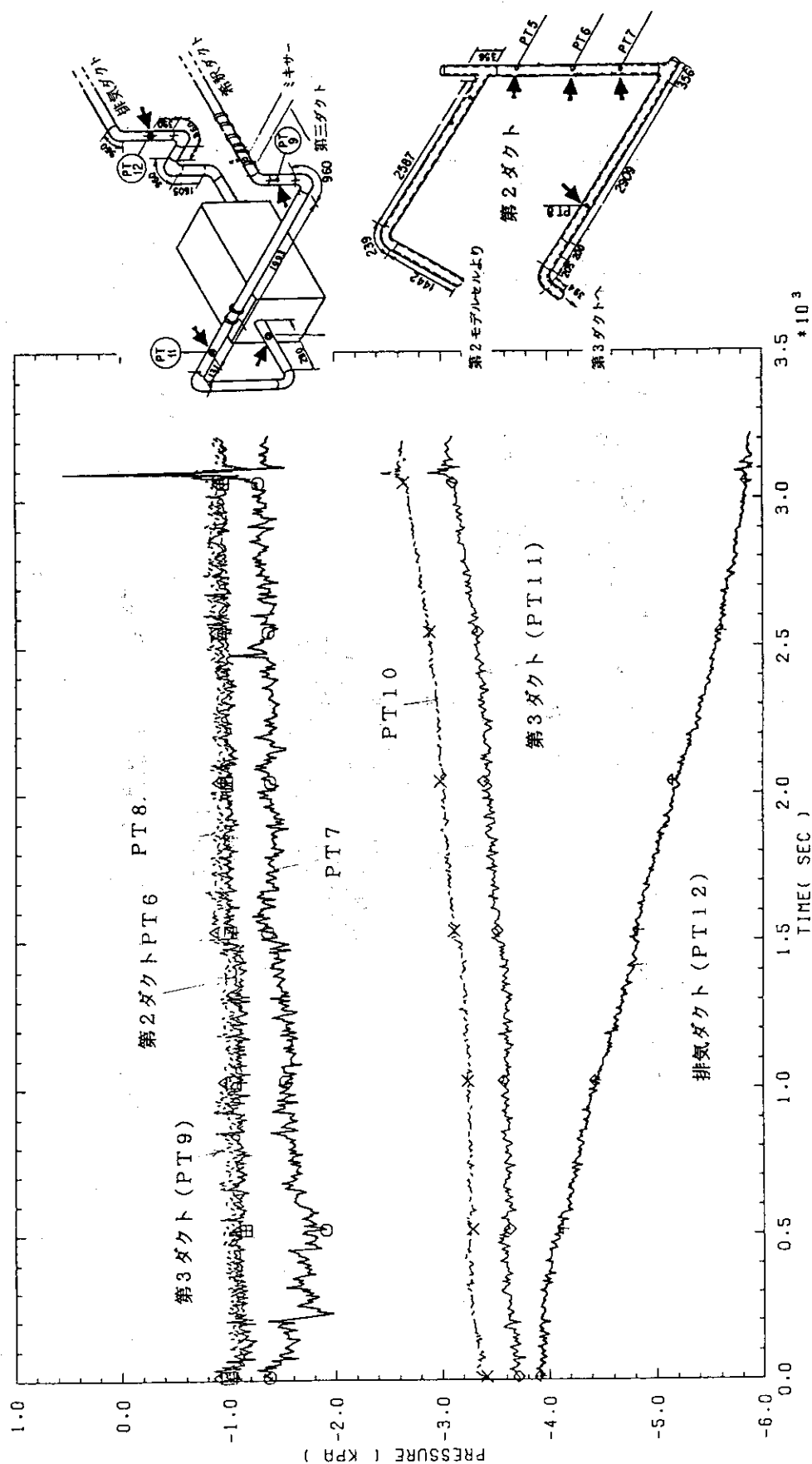
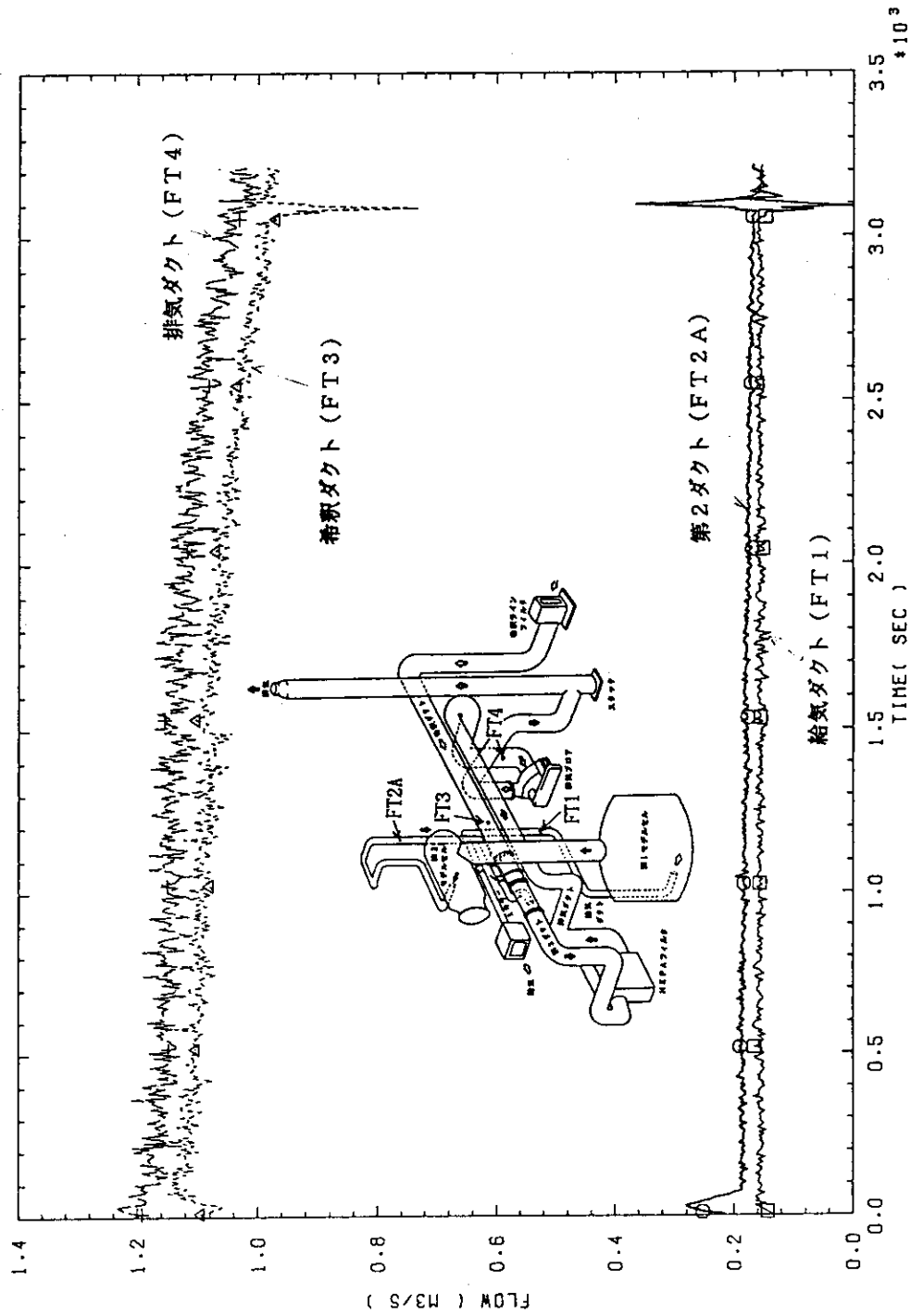


図4.5.40 第2ダクト, 第3ダクト及び排気ダクト内の圧力 (kPa)

B0IL5005 1990.12.11

図4.5.4.1 実証試験装置内の気体流量 (m³/s)

B01L5005 1990.12.11

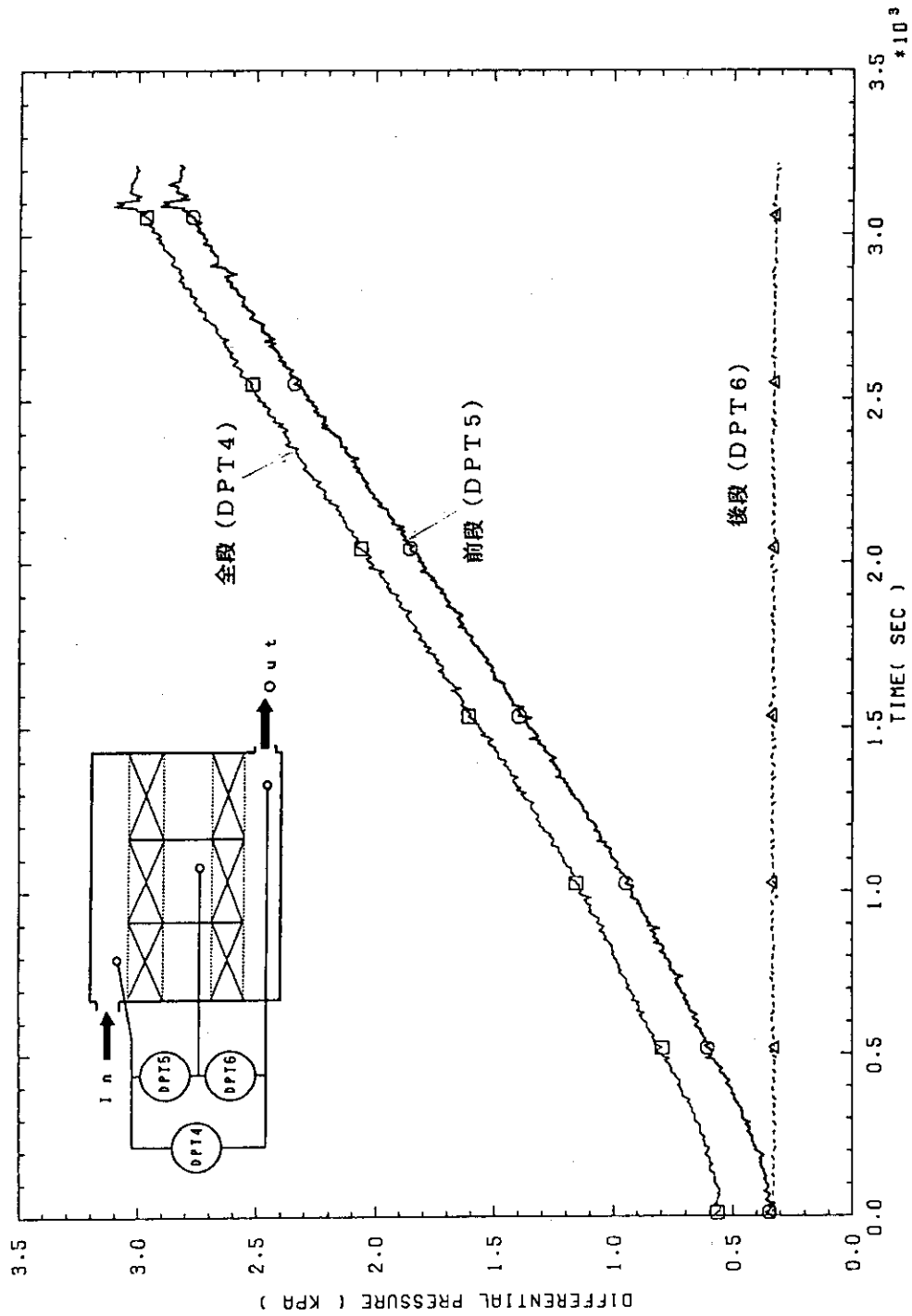


図4.5.4.2 HEPA フィルタにおける圧力損失 (kPa)

4. 6 抽出器7段相当の火災

4. 6. 1 試験の目的

本試験は、7台の抽出器が火災になった場合を模擬したもので、ボイルオーバー燃焼の規模が最大となる条件を見いだす目的で実施した。BOIL5002は平成2年8月23日に、BOIL5003は平成2年9月20日に実施した。

4. 6. 2 試験条件

表4.7にBOIL5002とBOIL5003の試験条件を示した。両試験は同一の試験条件である。

表4.7 抽出器7段相当のボイルオーバー燃焼試験の条件

No.	項目	試験条件
1	燃焼皿の大きさ(燃焼面積)	抽出器7段相当(0.538 m^2) ($48\text{cmW} \times 112\text{cmL} \times 40\text{cmH}$)
2	溶媒の体積(初期温度)	70リットル(40°C) ($\text{TBP}=30\%$ 、ドデカン $=70\%$)
3	水相の体積(初期温度)	70リットル(40°C)
4	換気回数	30回/h(給気流量 $560 \text{ m}^3/\text{h}$)
5	希釈流量	$3820 \text{ m}^3/\text{h}$
6	第2ダクトの管路長	10m(短管)
7	HEPAフィルタ台数	6台(Half size)/段 $\times$ 2段 計12段
8	燃焼皿のセル内位置	セル中央部 1基

4. 6. 3 BOIL5002試験の結果

BOIL5002では、着火後約2600秒の時点で第1モデルセルの内壁温度が設定値を超え、ボイルオーバー燃焼が発生する以前にインターロックが作動した。そのため、給気ダンパーが閉じて火災は鎮火した。

(1) 燃焼の挙動と温度の変化

図4.6.1に溶媒の燃焼挙動を示した。図中には、燃焼皿から蒸発した溶媒の消費速度、燃焼速度及び煤煙と未燃焼溶媒の移行速度が示されている。図4.6.2に燃焼皿中の溶媒相の下層にある水相の温度上昇を示す。図4.6.3に溶媒の燃焼に伴うセル内の発熱速度及び第1ダクトへの燃焼ガスの熱移流速度を示す。

図4.6.4に試験装置内の気相の温度を示す。図中には、第1モデルセル内の火災温度と気相温度、第1ダクト、第2モデルセルの気相温度及びフィルタチェンバー出入口の気相温度を示す。図4.6.5に第1モデルセルの底面から1.71mの高さにおける気相温度をセル水平方向に対して示す。図4.6.6は第1モデルセルの燃焼挙動を示す。

ルセル内の気相温度をセルの中心軸方向に対して示す。図4. 6. 7は第1モデルセル、第1ダクト及び第2モデルセル内の気相温度を示す。図4. 6. 8に第2ダクトの内壁温度、第3ダクト及び排気ダクトの気相温度を示した。図4. 6. 9にフィルタチェンバー内の気相温度を示す。図4. 6. 10に第1モデルセル及び第2ダクトの壁面における温度を示す。

(2) 圧力の変化

図4. 6. 11は、第1モデルセル、第2モデルセル、第2ダクトの圧力変化を示した。図4. 6. 12に第2ダクト、第3ダクト、フィルタチェンバー及び排気ダクトの圧力変化を示した。

(3) 流量変化

図4. 6. 13に給気ダクト、第2ダクト、希釈ダクト及び排気ダクト内の流量を示した。

(4) フィルタの圧力損失

図4. 6. 14にフィルタチェンバーに設置した差圧計による前段HEPAフィルタ、後段フィルタ、及び前後2段のフィルタの差圧変化を示す。煤煙の負荷により、前段フィルタの差圧のみが上昇している。

4. 6. 4 BOIL5003の試験結果

BOIL5002試験はボイルオーバー燃焼が発生する前に鎮火したので、BOIL5003ではインターロックの条件をゆるめて再度試験を実施した。

(1) 燃焼の挙動と温度の変化

図4. 6. 15に溶媒の燃焼挙動を示した。図中には、燃焼皿から蒸発した溶媒の消費速度、燃焼速度及び煤煙と未燃焼溶媒の移行速度が示されている。図4. 6. 16に燃焼皿中の溶媒相の下層にある水相の温度上昇を示す。図から、ボイルオーバー燃焼は着火後48.6分に発生したことが分かる。図4. 6. 17に溶媒の燃焼に伴うセル内の発熱速度及び第1ダクトへの燃焼ガスの熱移流速度を示す。

図4. 6. 18に試験装置内の気相の温度を示す。図中には、第1モデルセル内の火炎温度と気相温度、第1ダクト及び第2モデルセルの気相温度及びフィルタチェンバー出入口の気相温度が示されている。図4. 6. 19に第1モデルセルの底面から1.71mの高さにおける気相温度変化をセル水平方向に対して示す。図4. 6. 20に第1モデルセル内の気相温度をセルの中心軸方向に対して示す。図4. 6. 21に第1モデルセル、第1ダクト及び第2モデルセル内の気相温度を示す。図4. 6. 22に第2ダクトの内壁温度、第3ダクト及び排気ダクトの気相温度を示す。図4. 6. 23にフィルタチェンバー内の気相温度を示す。ボイルオーバー燃焼時の温度ピークは約105℃である。図4. 6. 24に第1モデルセル及び第2ダクトの壁面における温度変化を示す。

(2) 圧力の変化

図4. 6. 25に第1モデルセルから第2モデルセルを通り第2ダクトまでの圧力変化を示す。図4. 6. 26に第2ダクト, 第3ダクト, フィルタチェンバー及び排気ダクトの圧力変化を示す。

(3) 流量変化

図4. 6. 27に給気ダクト, 第2ダクト, 希釈ダクト及び排気ダクト内の流量変化を示す。第2ダクト内の流量は, ボイルオーバー燃焼により一時的に増加する。

(4) フィルタの差圧

図4. 6. 28にフィルタチェンバーに設置した差圧計による前段H E P Aフィルタ、後段フィルタ、及び前後2段のフィルタの差圧変化を示す。煤煙の負荷により、前段フィルタの圧力損失のみが上昇している。

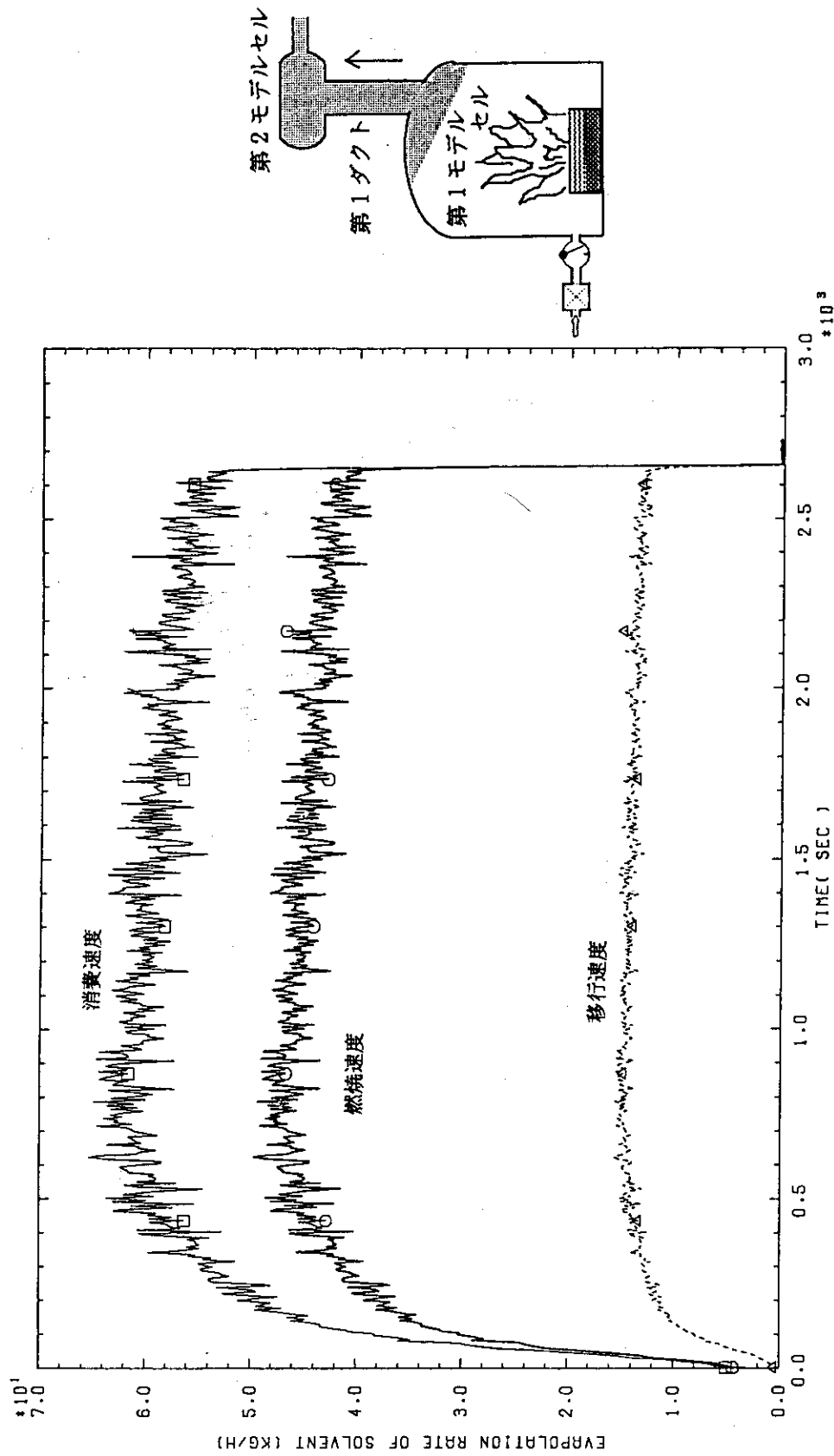


図4.6.1 溶媒の消費速度、燃焼速度、及び煤煙と未燃焼溶媒の移行速度 (kg/h)

B01L5002

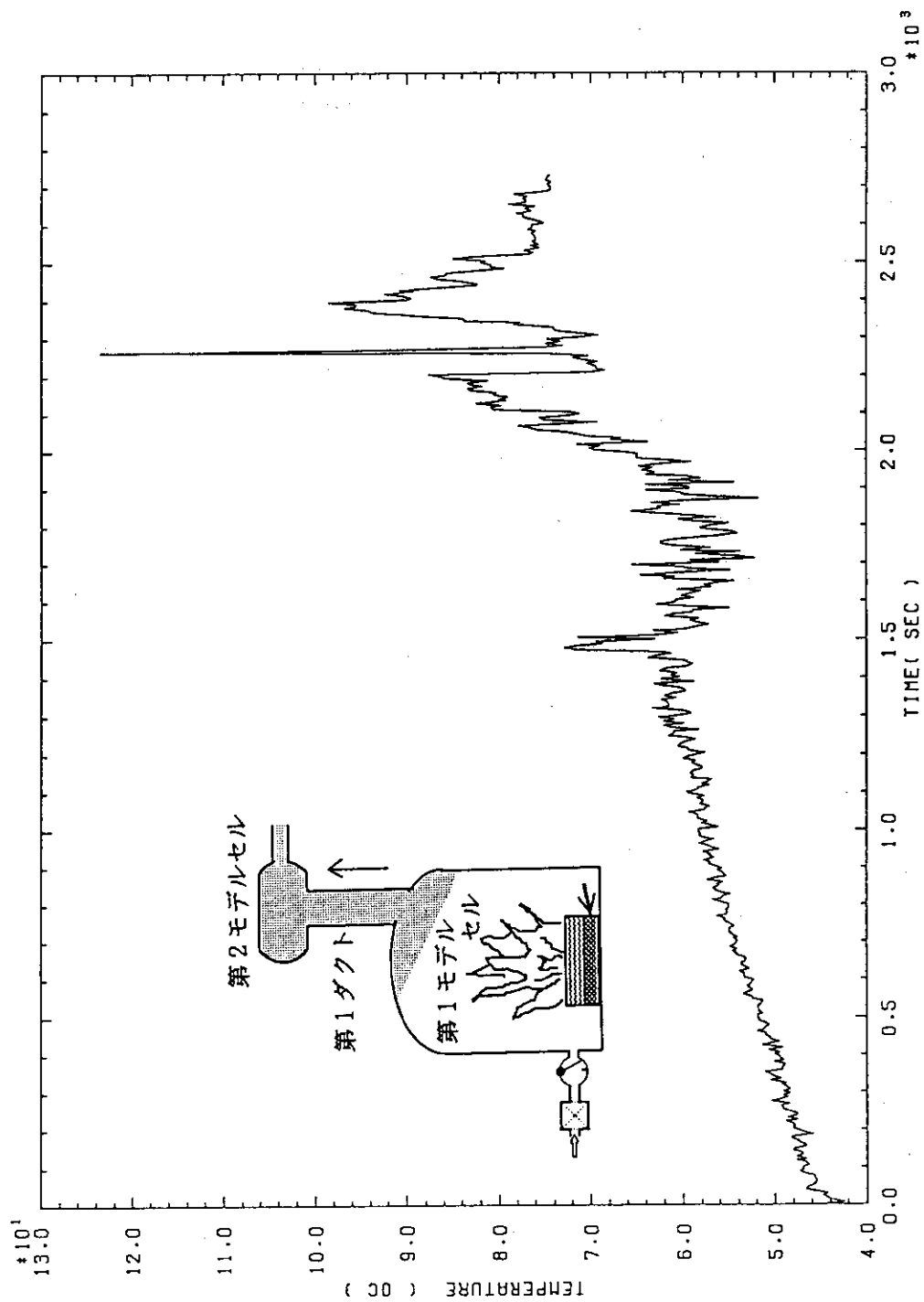


図4.6.2 燃焼中の水相温度 (TC31, °C)

BOIL5002 1990.08.23

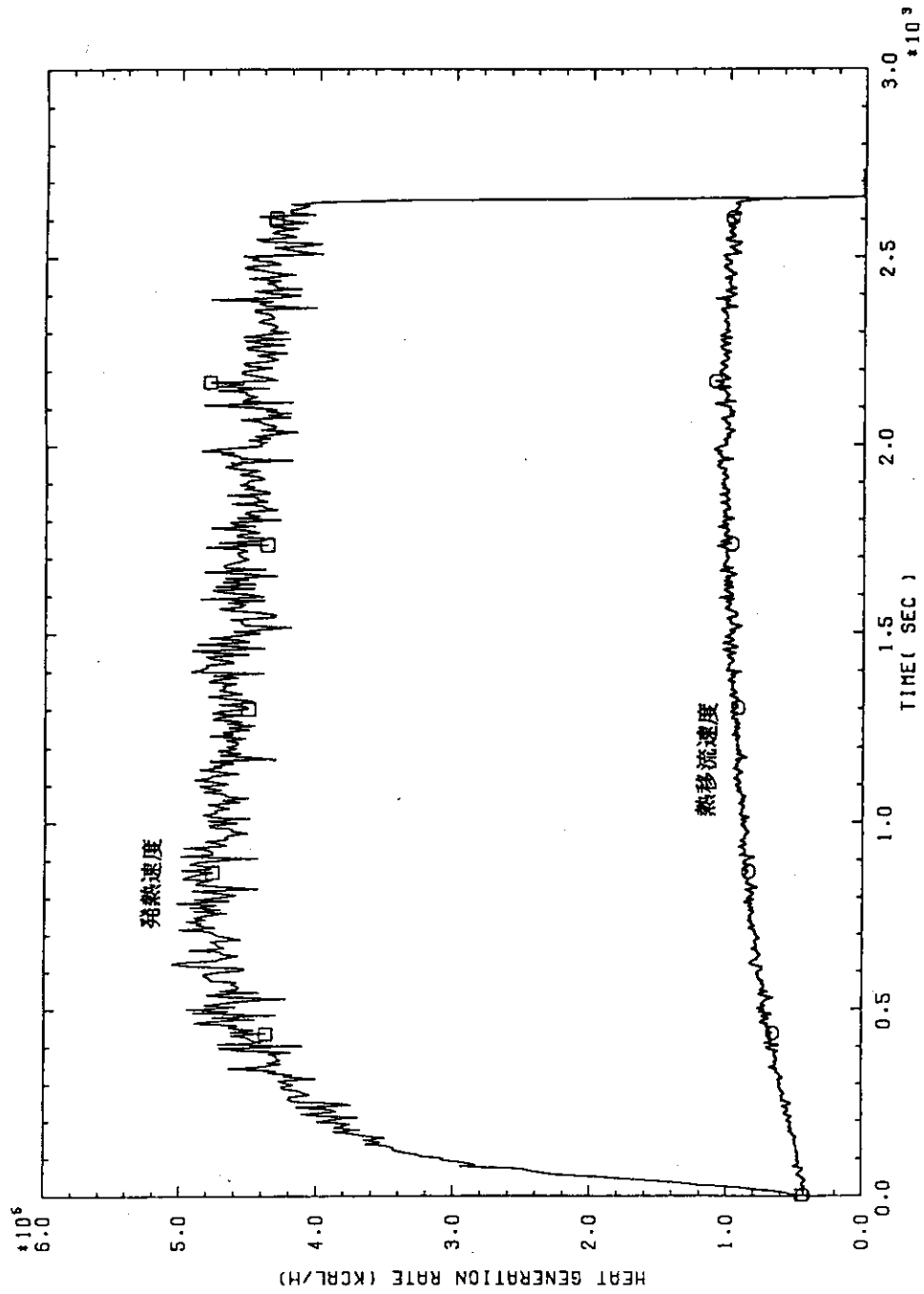


図 4. 6. 3 溶媒の燃焼に伴う発熱速度及び第 1 ダクトへの熱移流速度 (kcal/h)

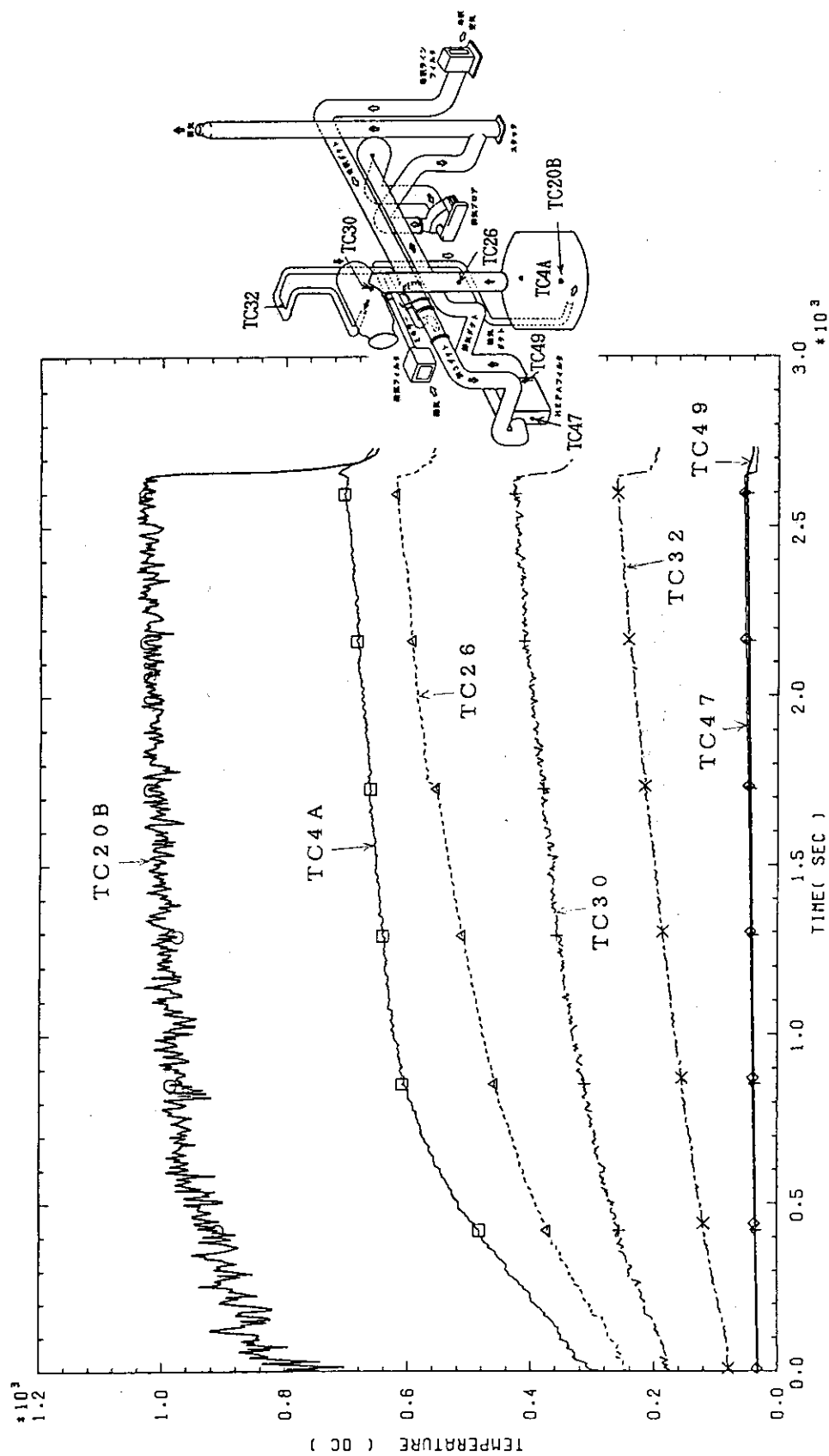


図4.6.4 実証試験装置内の気相温度分布 (°C)

B01L5002 1990.08.23

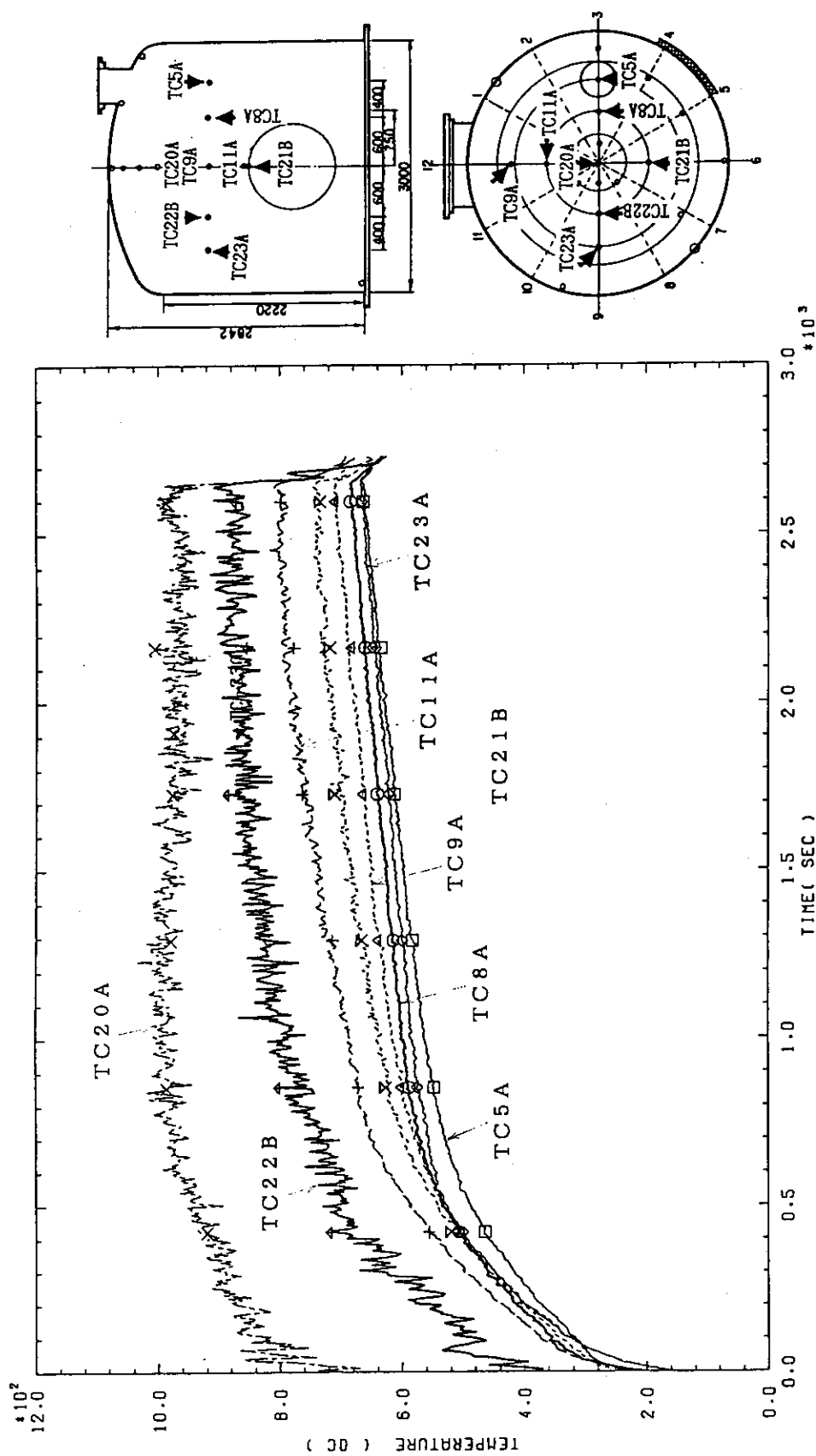


図4.6.5 第1モデルセル内の気相 (火炎) 温度 (°C)

BOIL5002 1990.08.23

JAERI-M 93-019

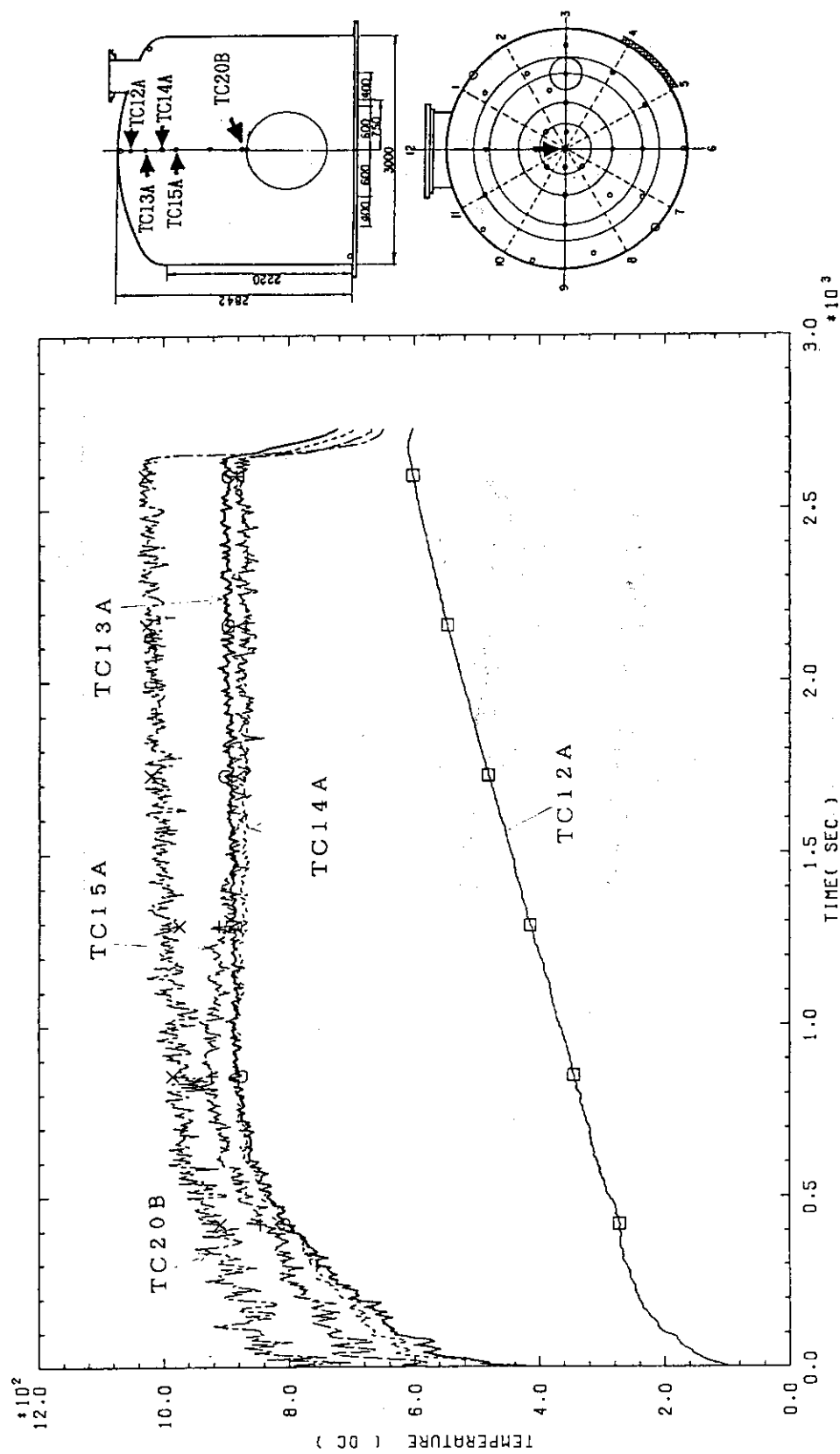


図4.6.6 第1モデルセル内の気相 (火炎) 温度 (°C)

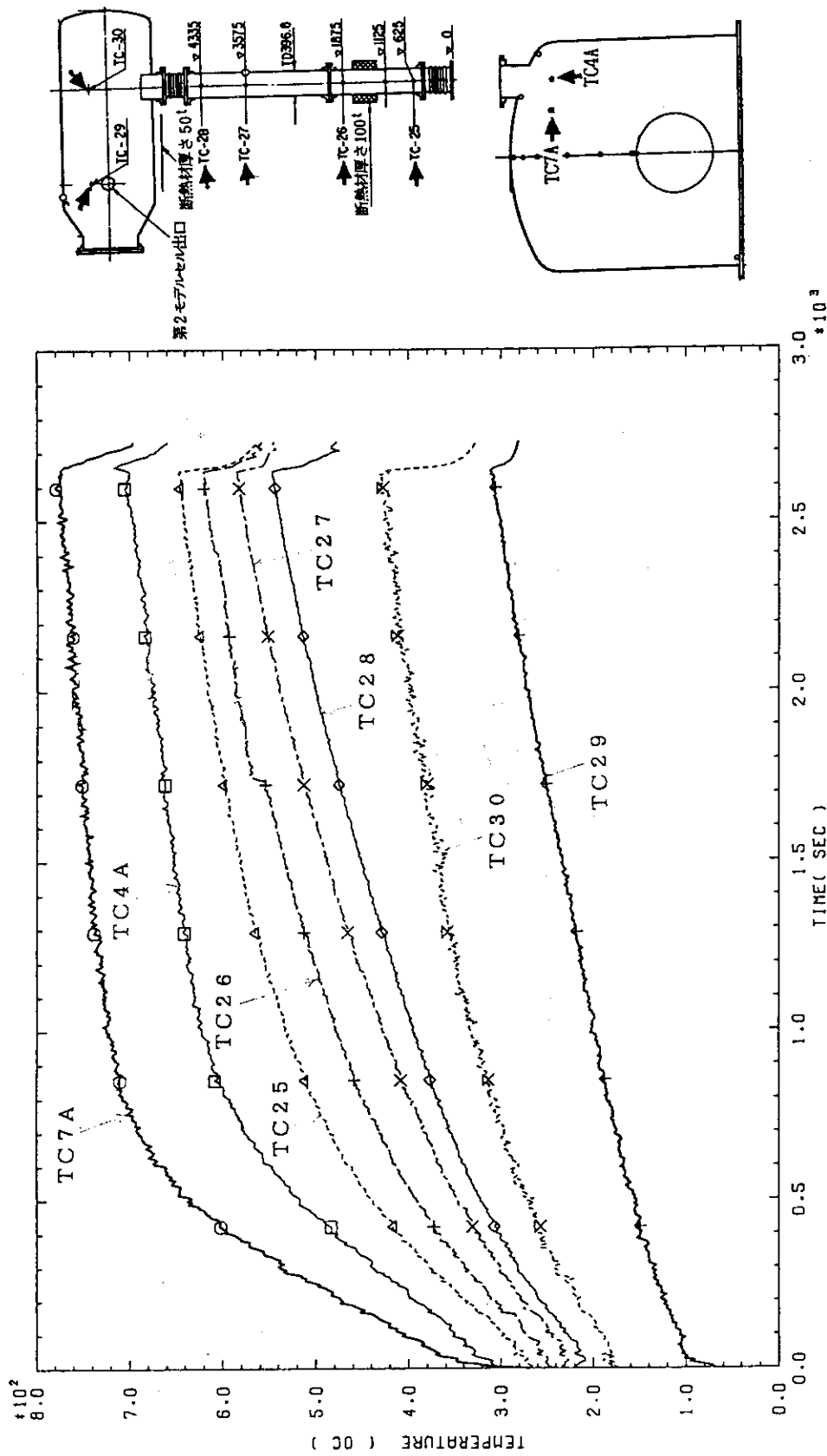


図4.6.7 第1モデルセル, 第1ダクト及び第2モデルセル内の気相温度 (°C)

B01L5002

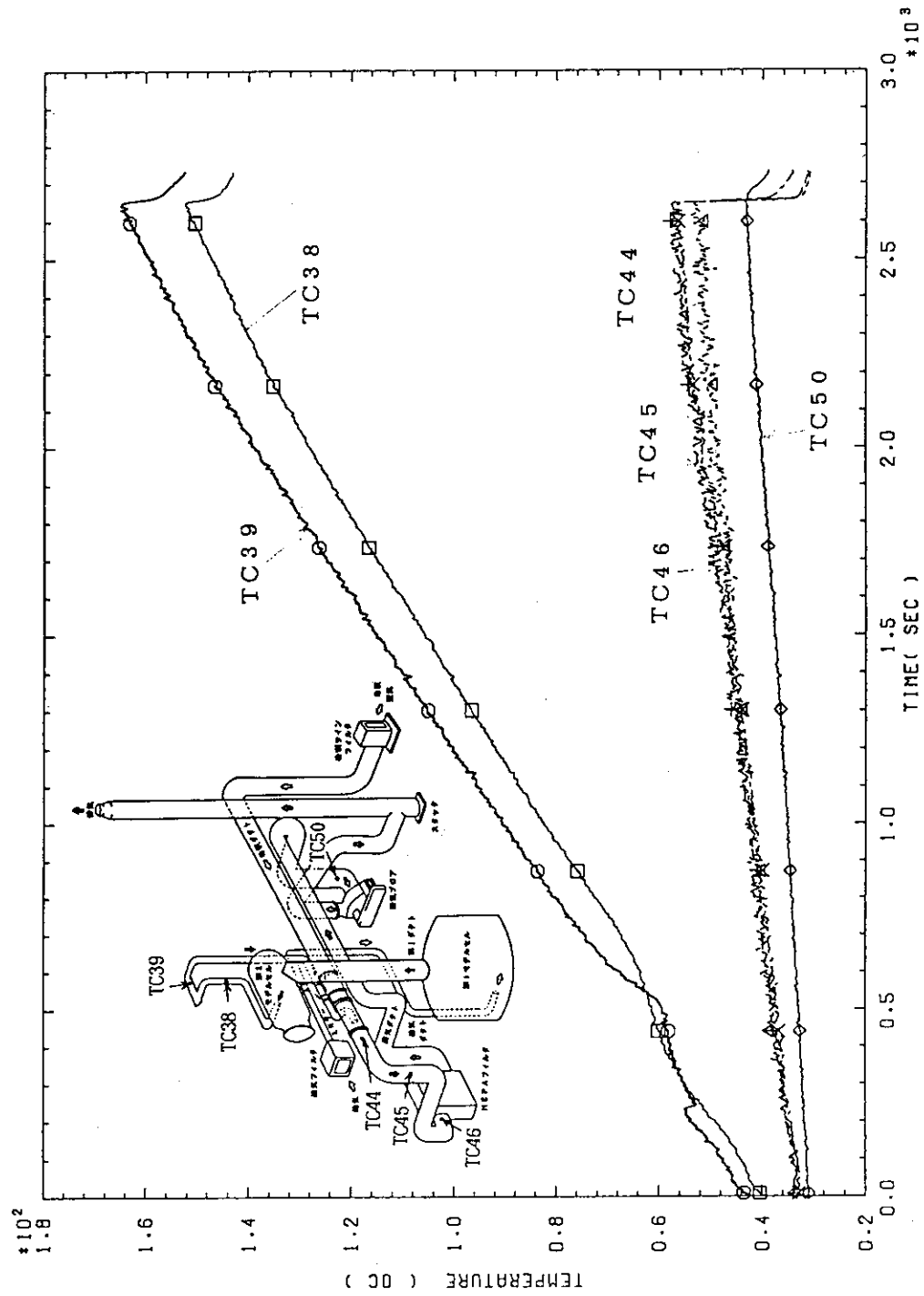


図4.6.8 第2ダクト内壁温度, 第3ダクト気相及び排気ダクト気相温度 (°C)

B0IL5002 1990.08.23

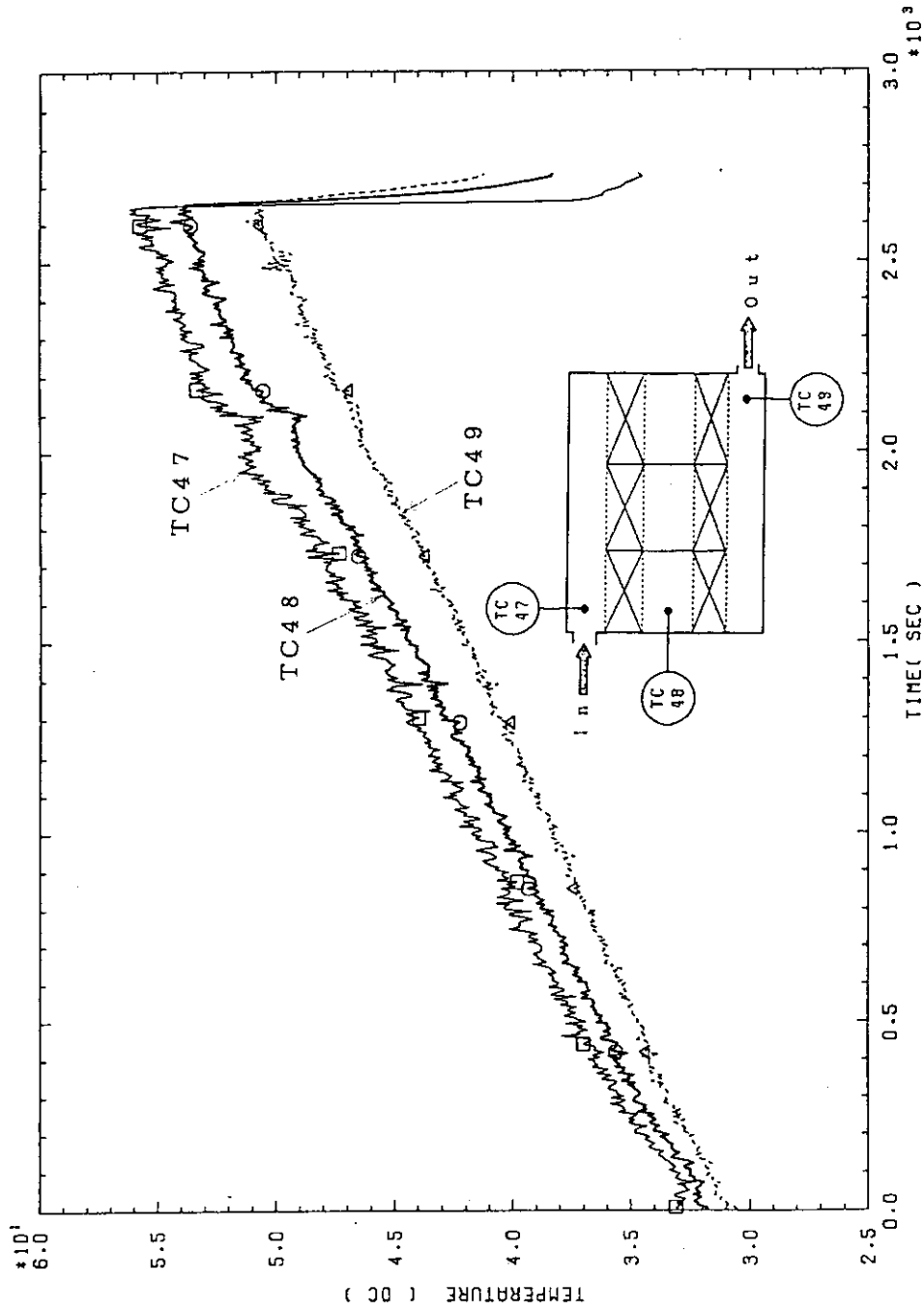


図4.6.9 HEPA フィルタチャンバー内気相温度 (°C)

BOIL5002 1990.08.23

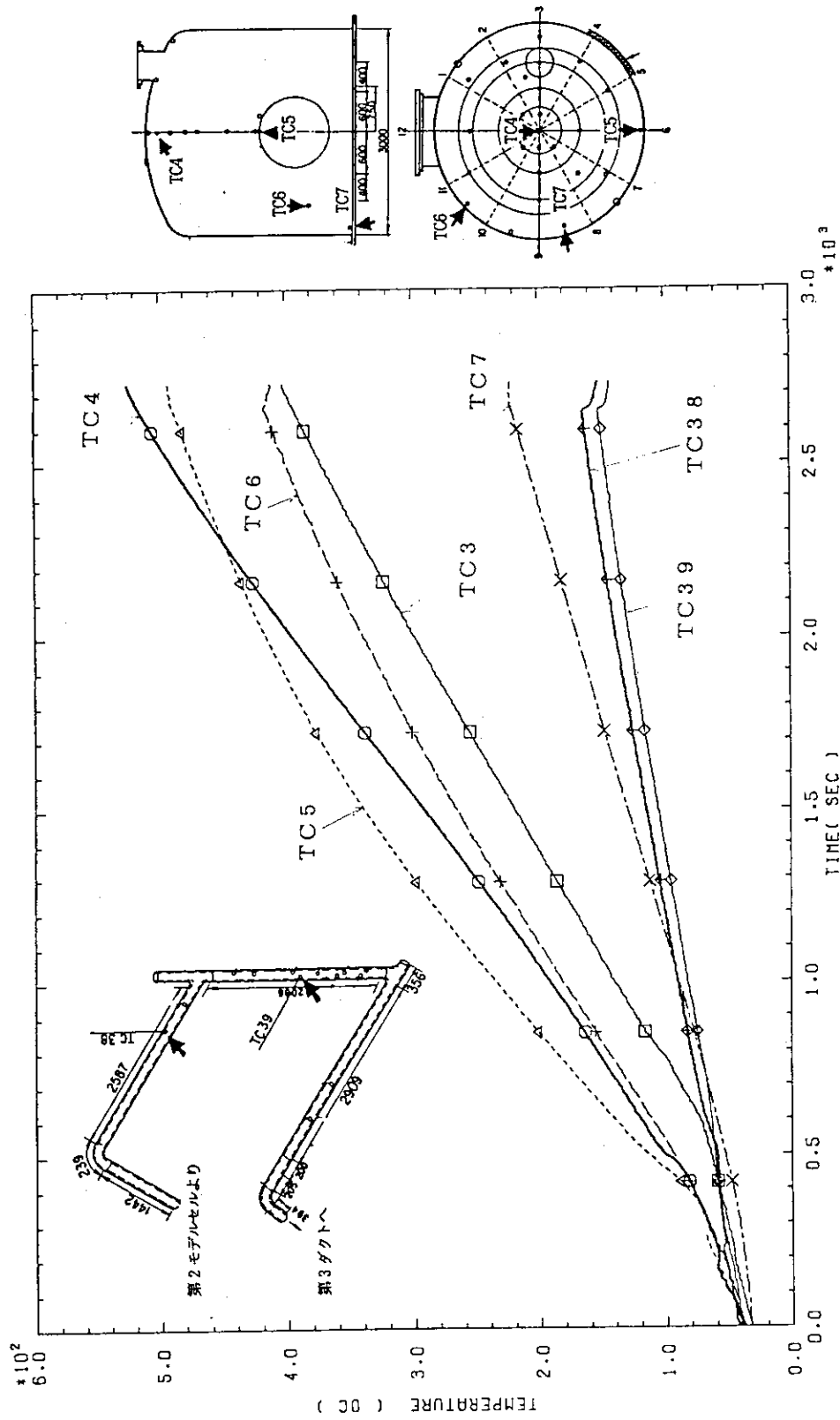


図4.6.10 第1モデルセル, 第2ダクトの壁面温度 (°C)

BOIL5002 1990.08.23

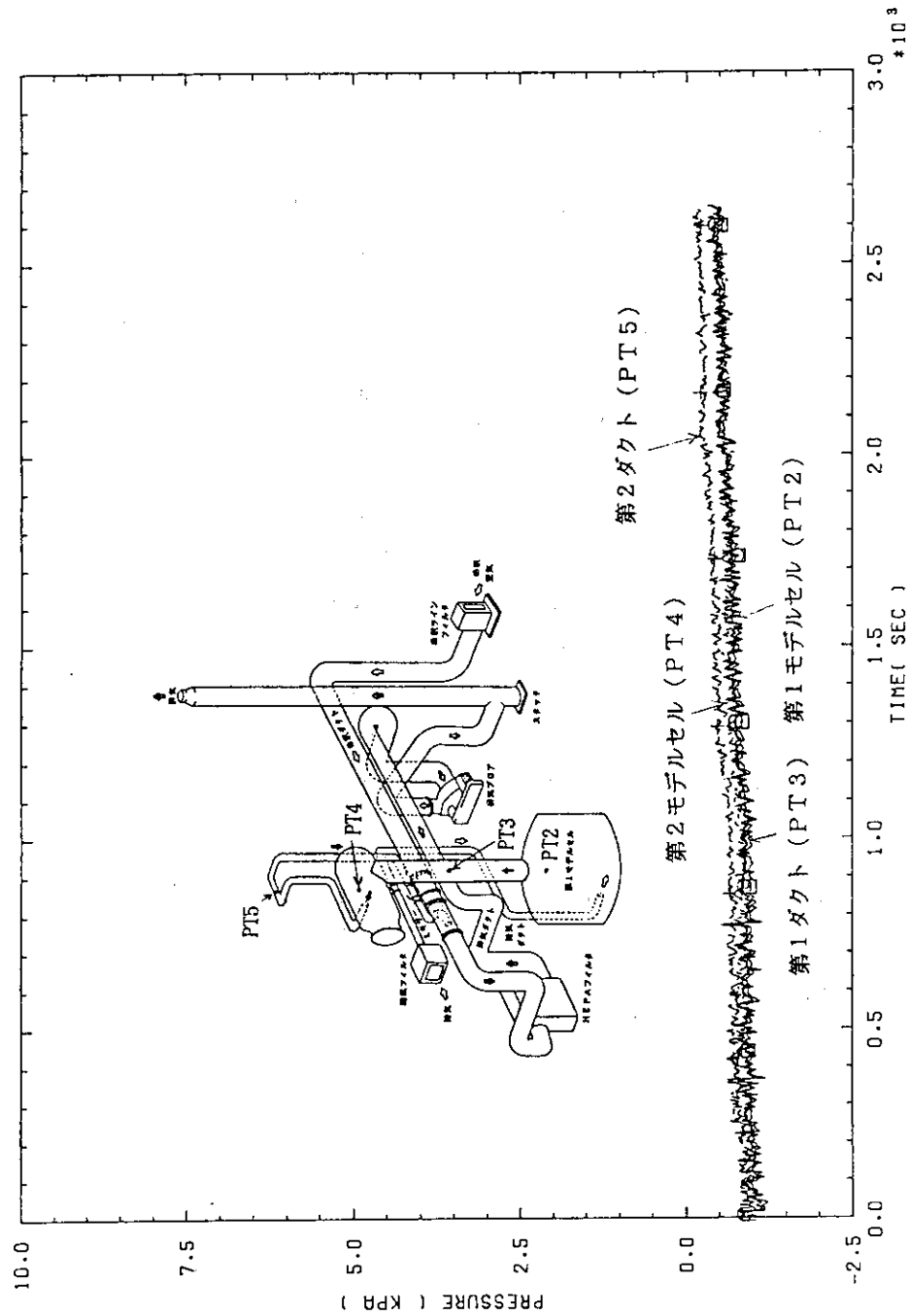


図4.6.1.1 第1モデルセル, 第1ダクト, 第2モデルセル及び第2ダクト内の圧力 (kPa)

B01L5002 1990.08.23

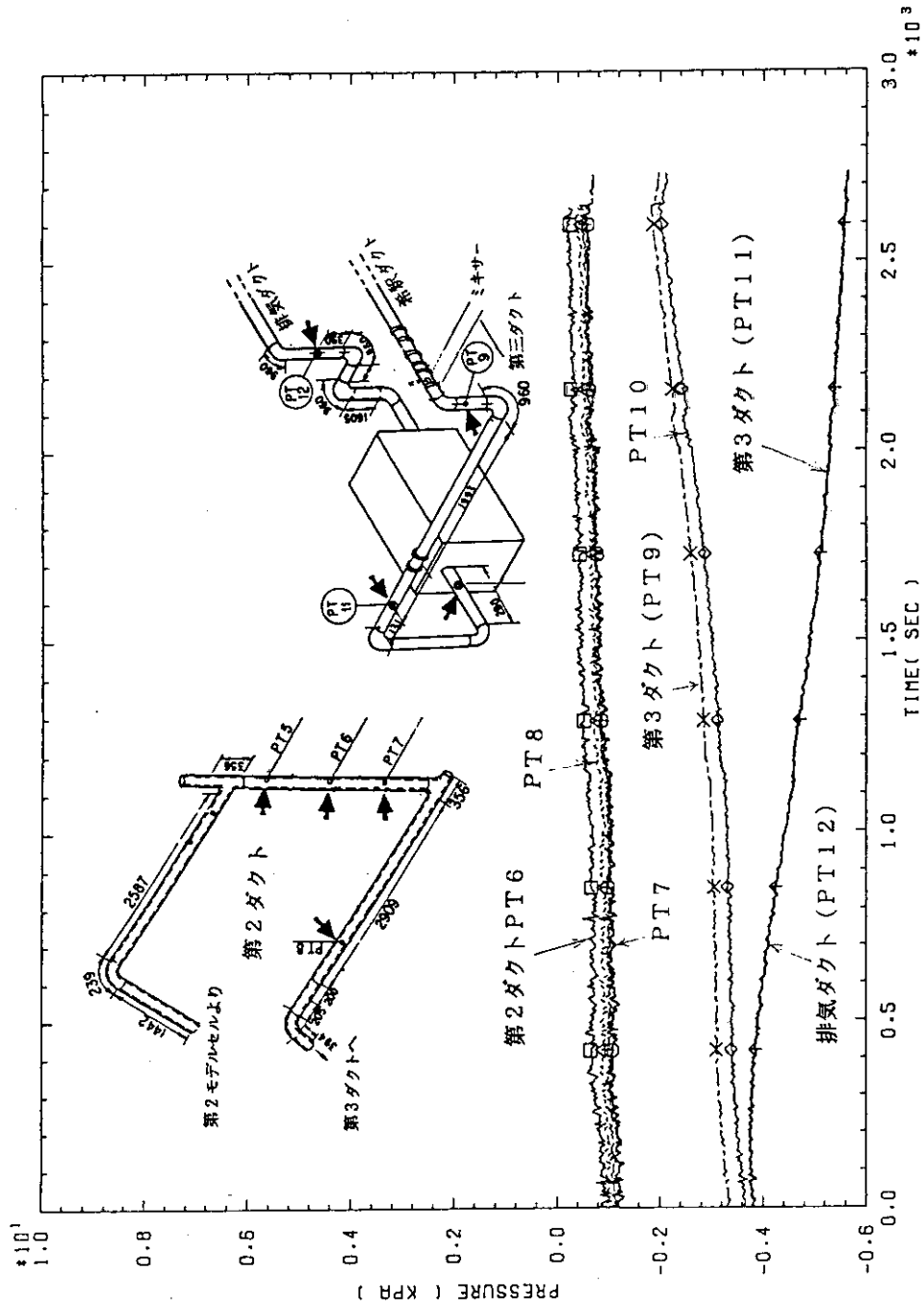
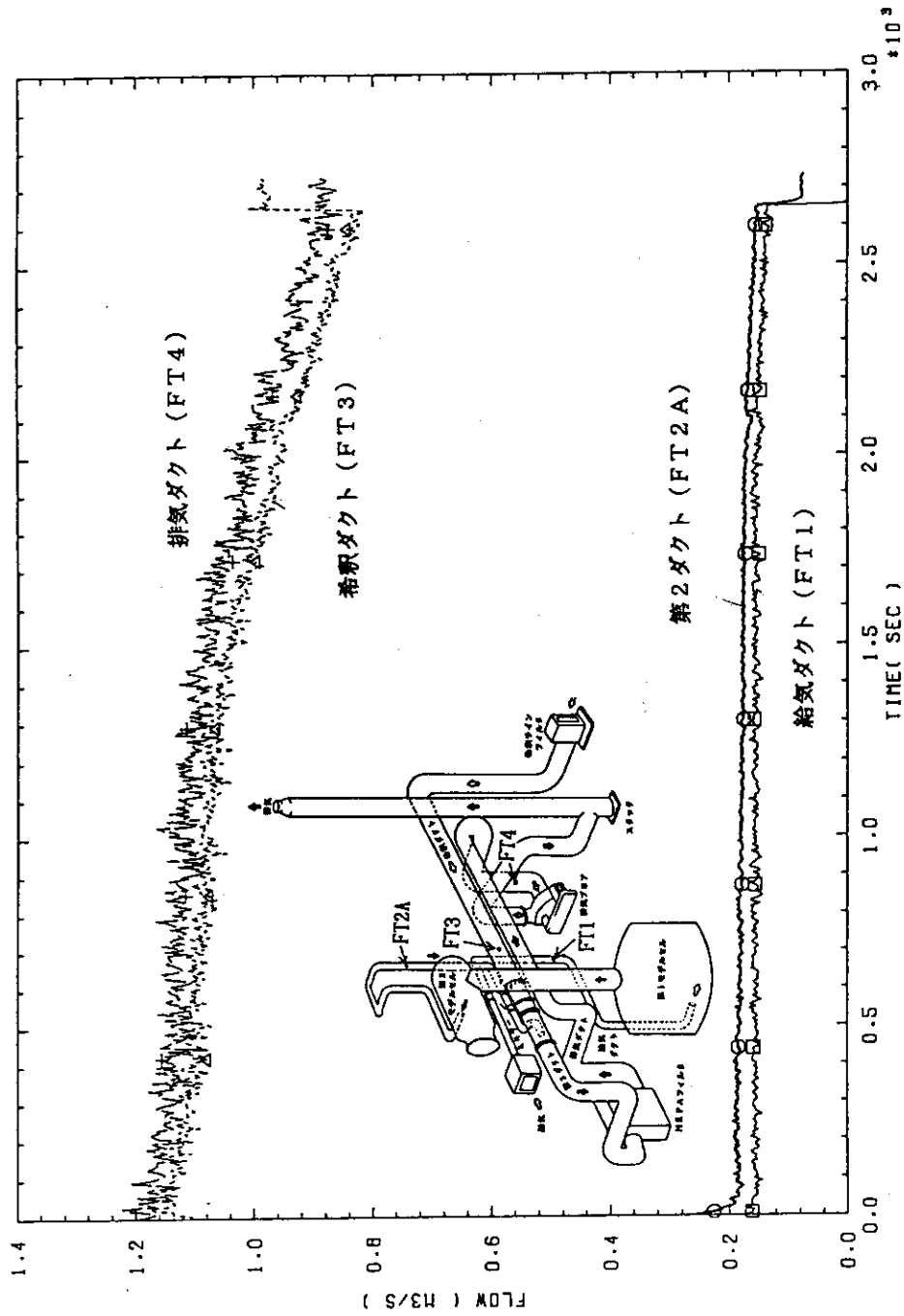


図4.6.12 第2ダクト, 第3ダクト及び排気ダクト内の圧力 (kPa)

B0IL5002 1990.08.23

図4.6.13 実証試験装置内の気体流量 (m^3/s)

B01L5002 1990.08.23

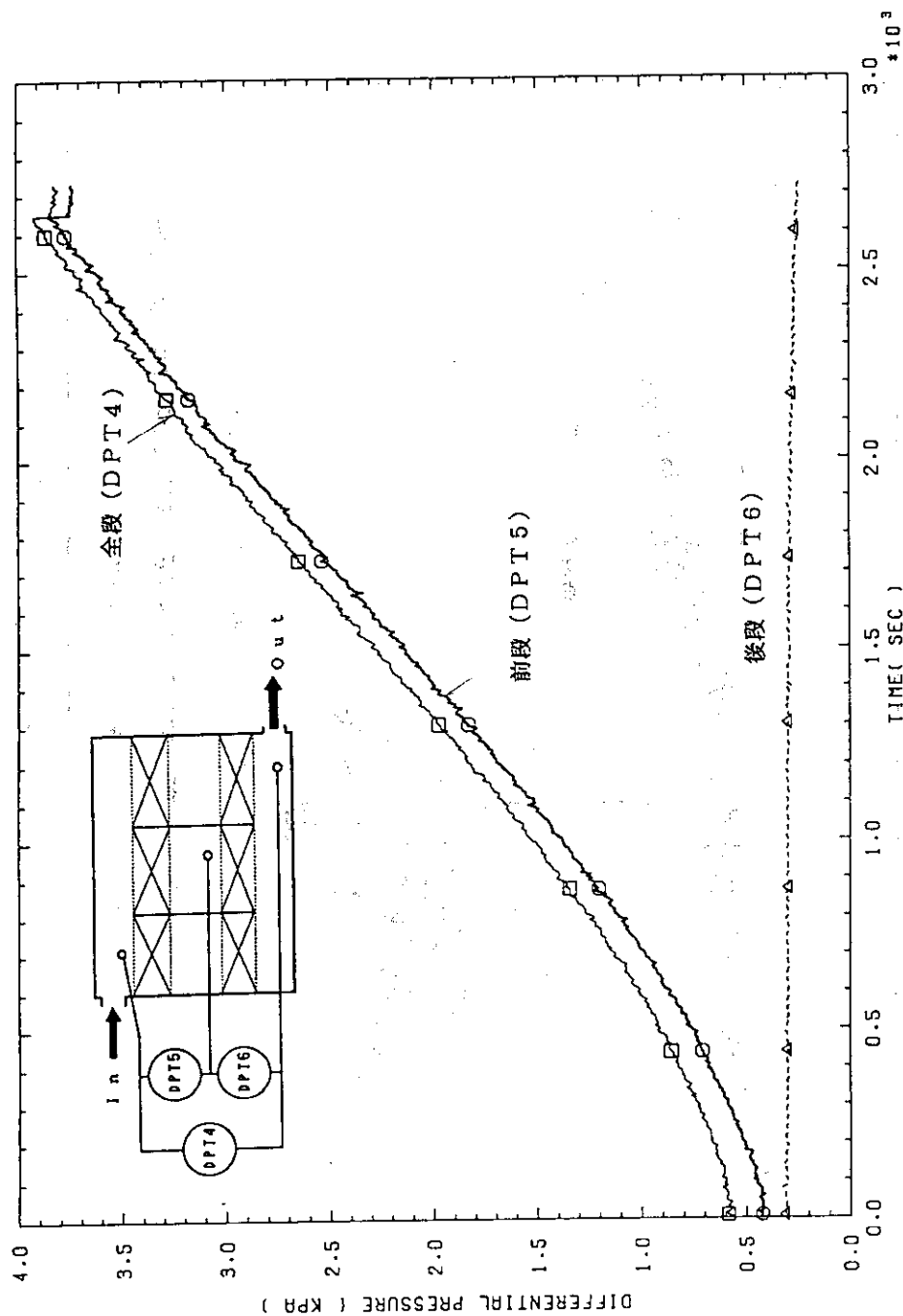


図4.6.1.4 HEPAフィルタにおける圧力損失 (kPa)

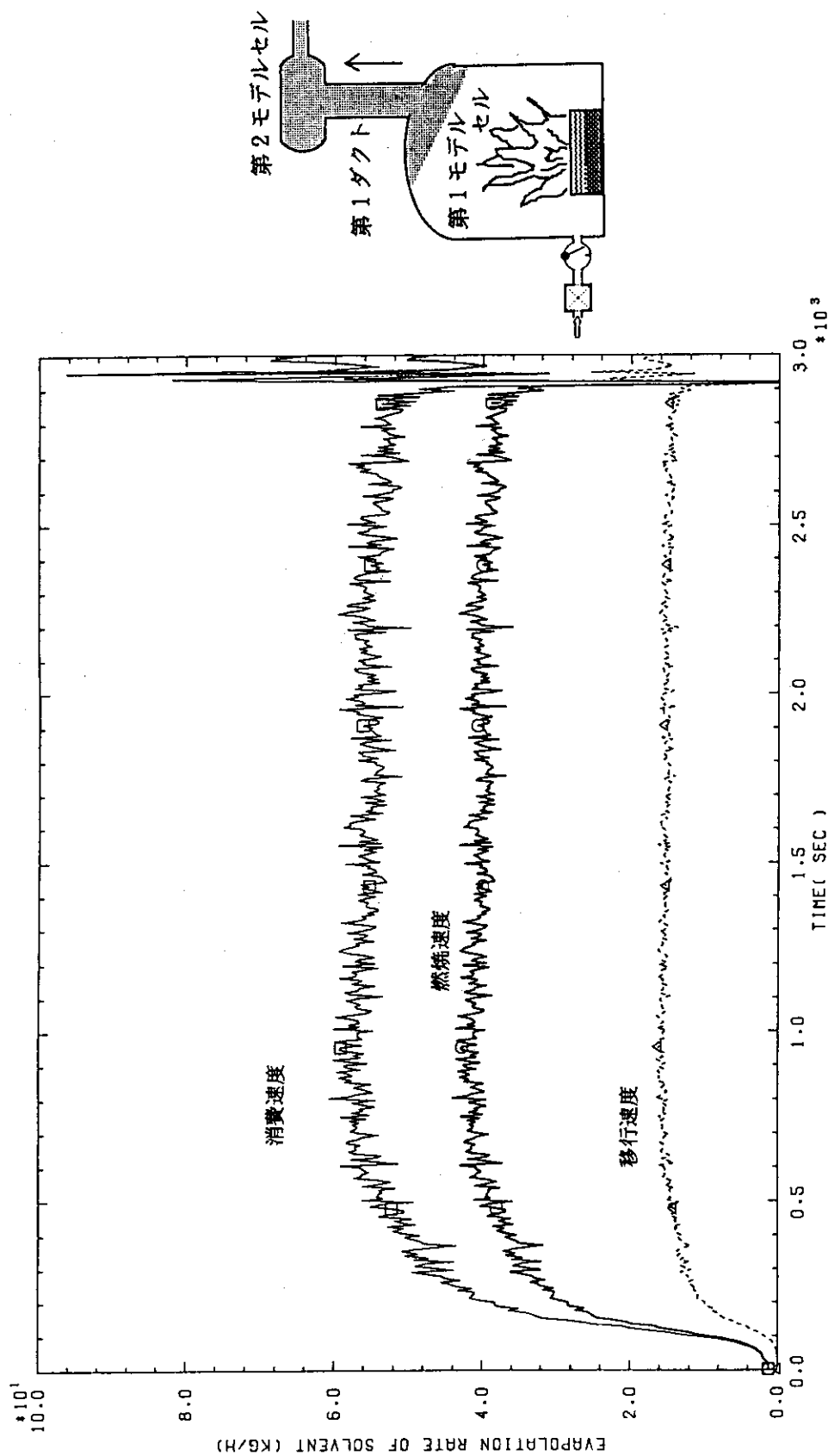


図4.6.15 溶媒の消費速度, 燃焼速度, 及び煤煙と未燃焼溶媒の移行速度 (kg/h)

BOIL5003

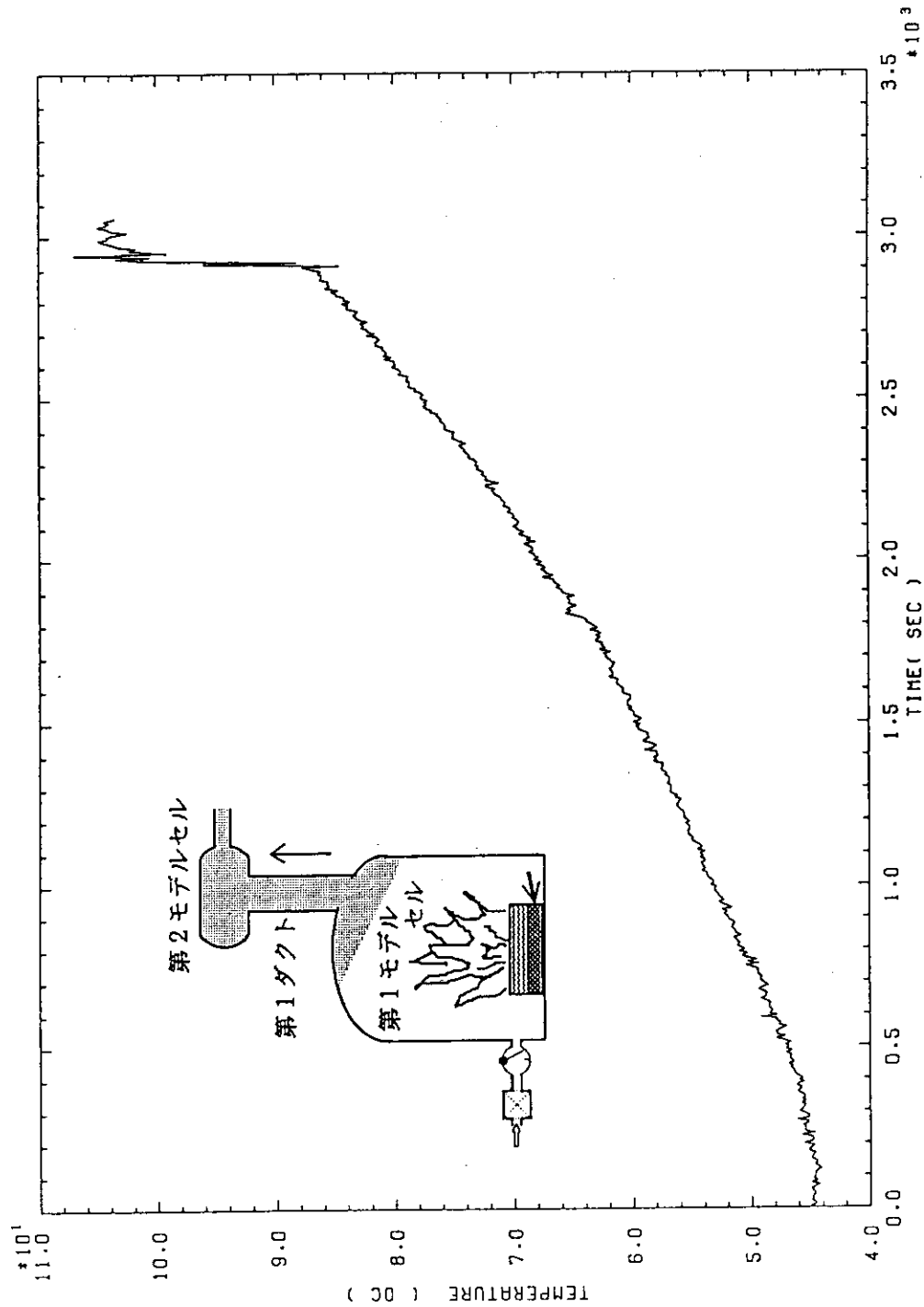


図4.6.16 燃焼中の水相温度 (TC31, °C)

BOIL5003 1990.09.20

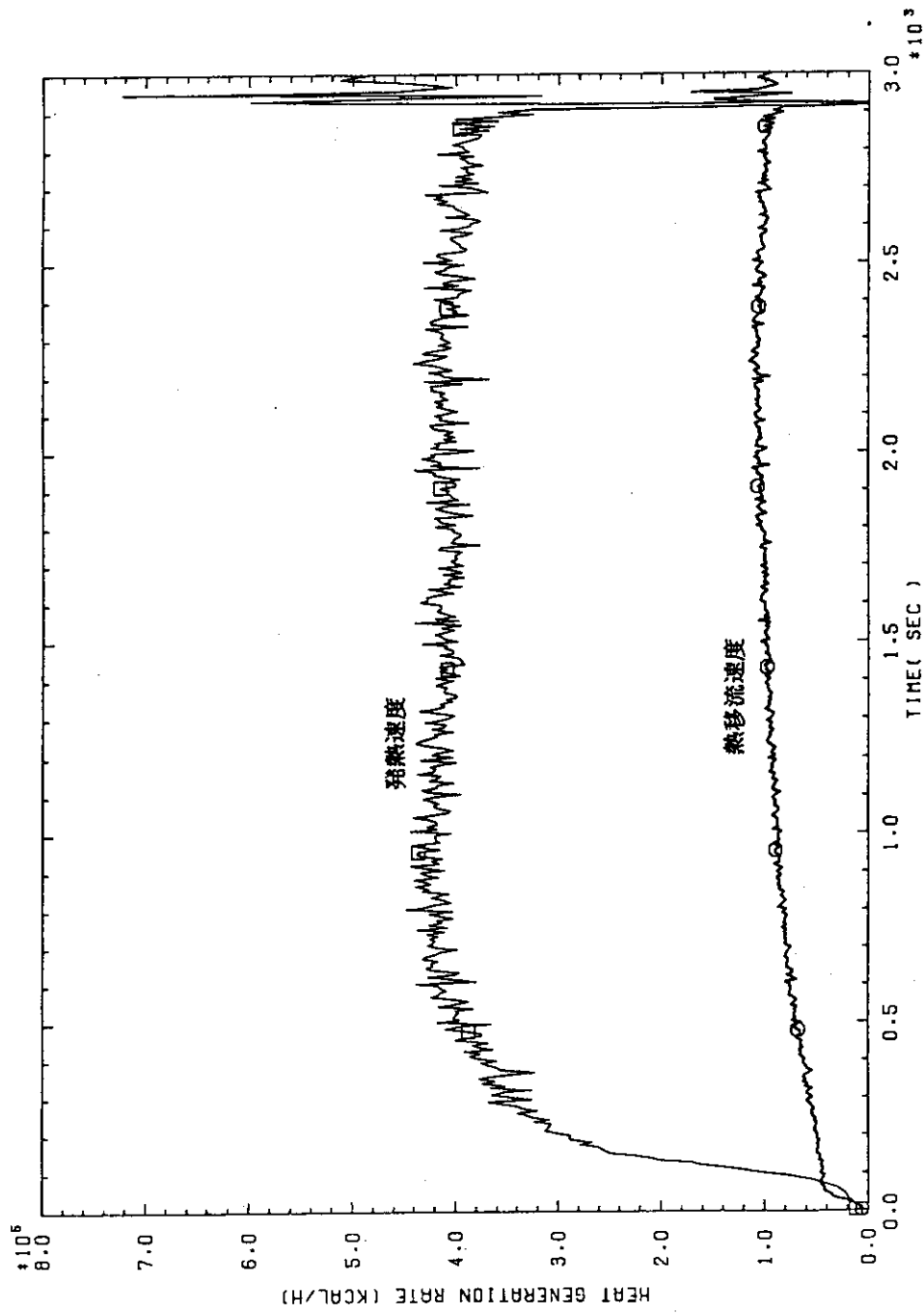


図4.6.17 溶媒の燃焼に伴う発熱速度及び第1ダクトへの熱移流速度 (kcal/h)

B01L5003 1990.09.20

JAERI-M 93-019

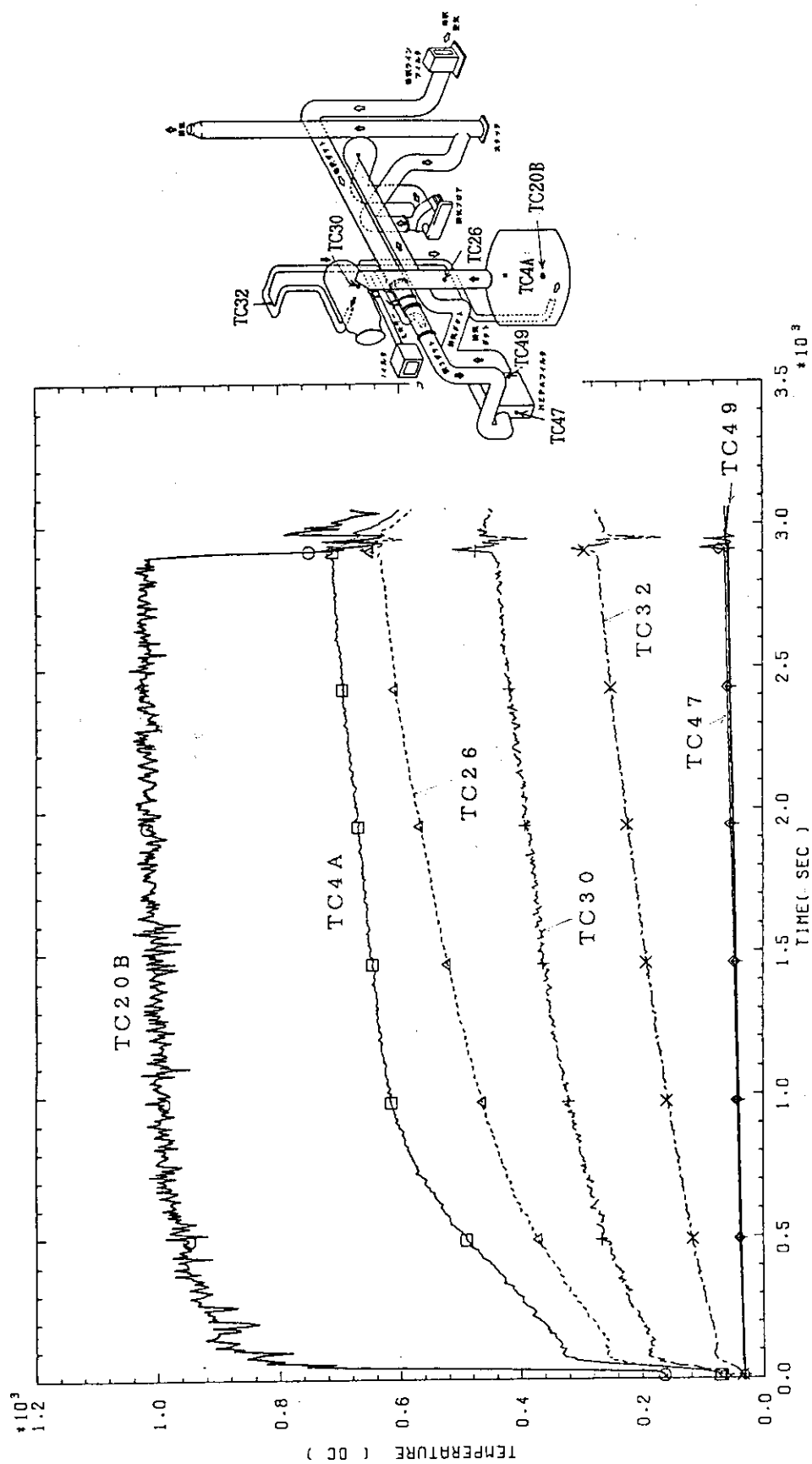


図4.6.18 実証試験装置内の気相温度分布 (°C)

B01L5003 1990.09.20

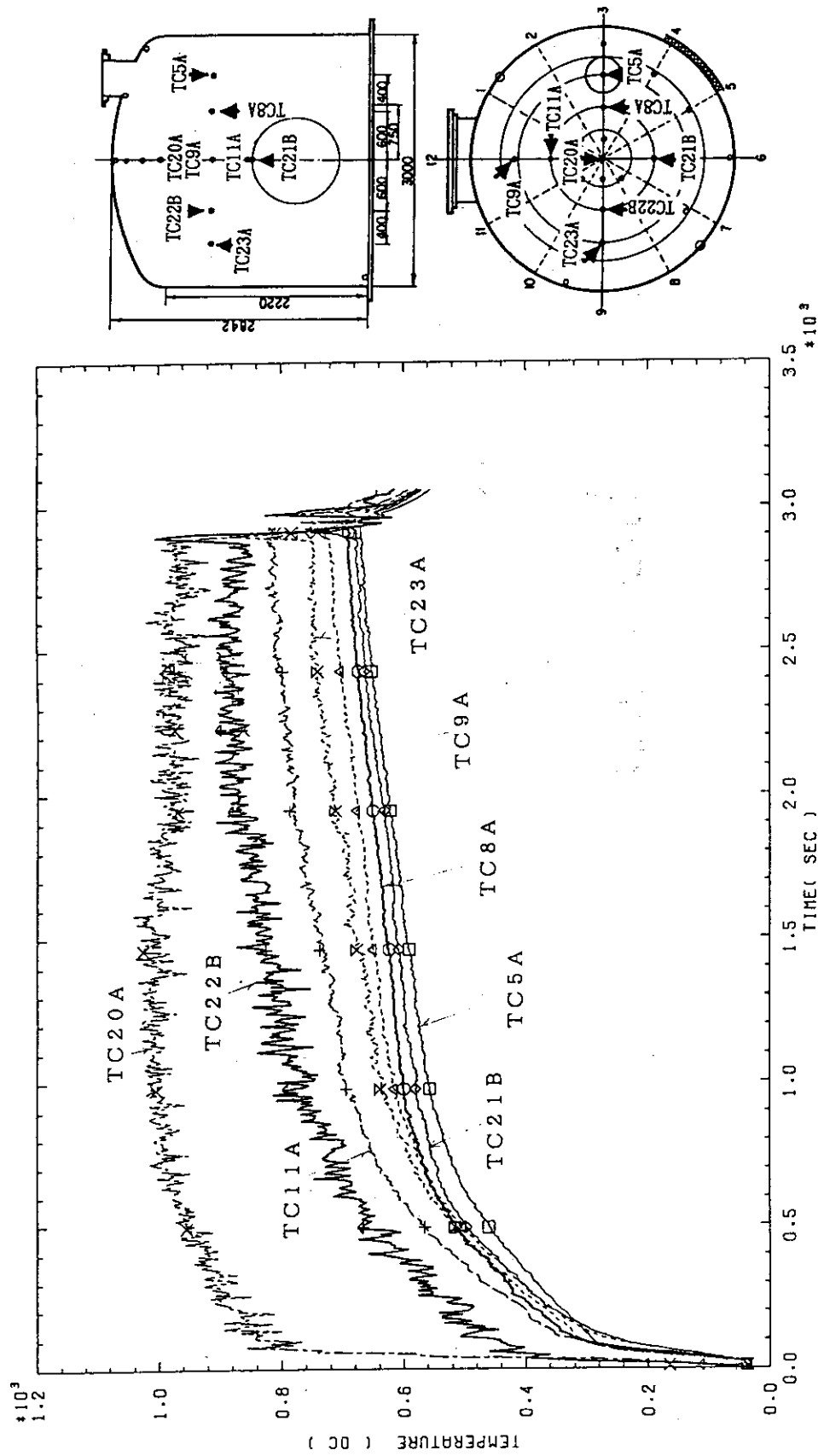


図4.6.19 第1モデルセル内の気相 (火炎) 温度 (°C)

B0IL5003 1990.09.20

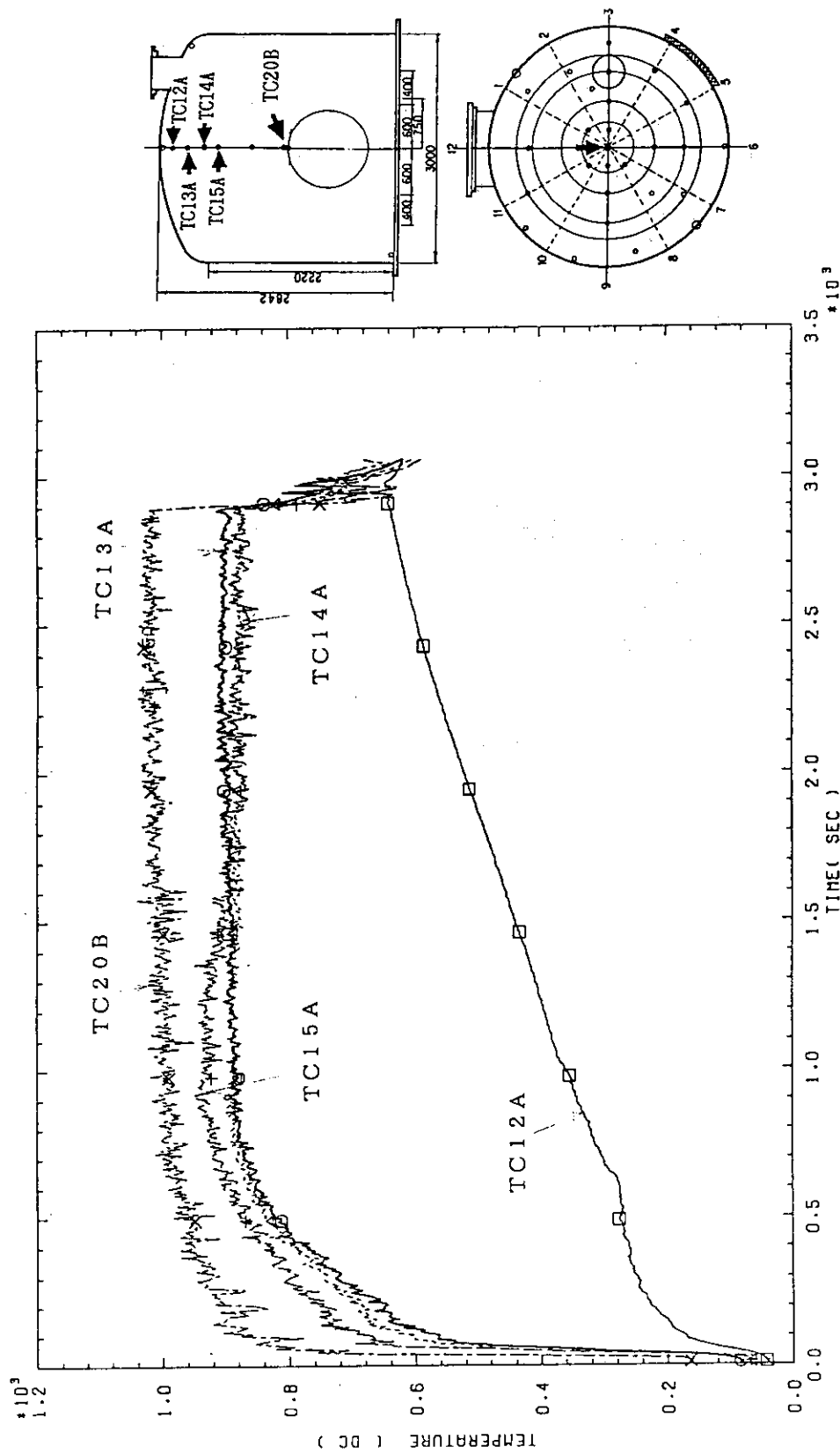


図4.6.20 第1モデルセル内の気相 (火炎) 温度 (°C)

B01L5003 1990.09.20

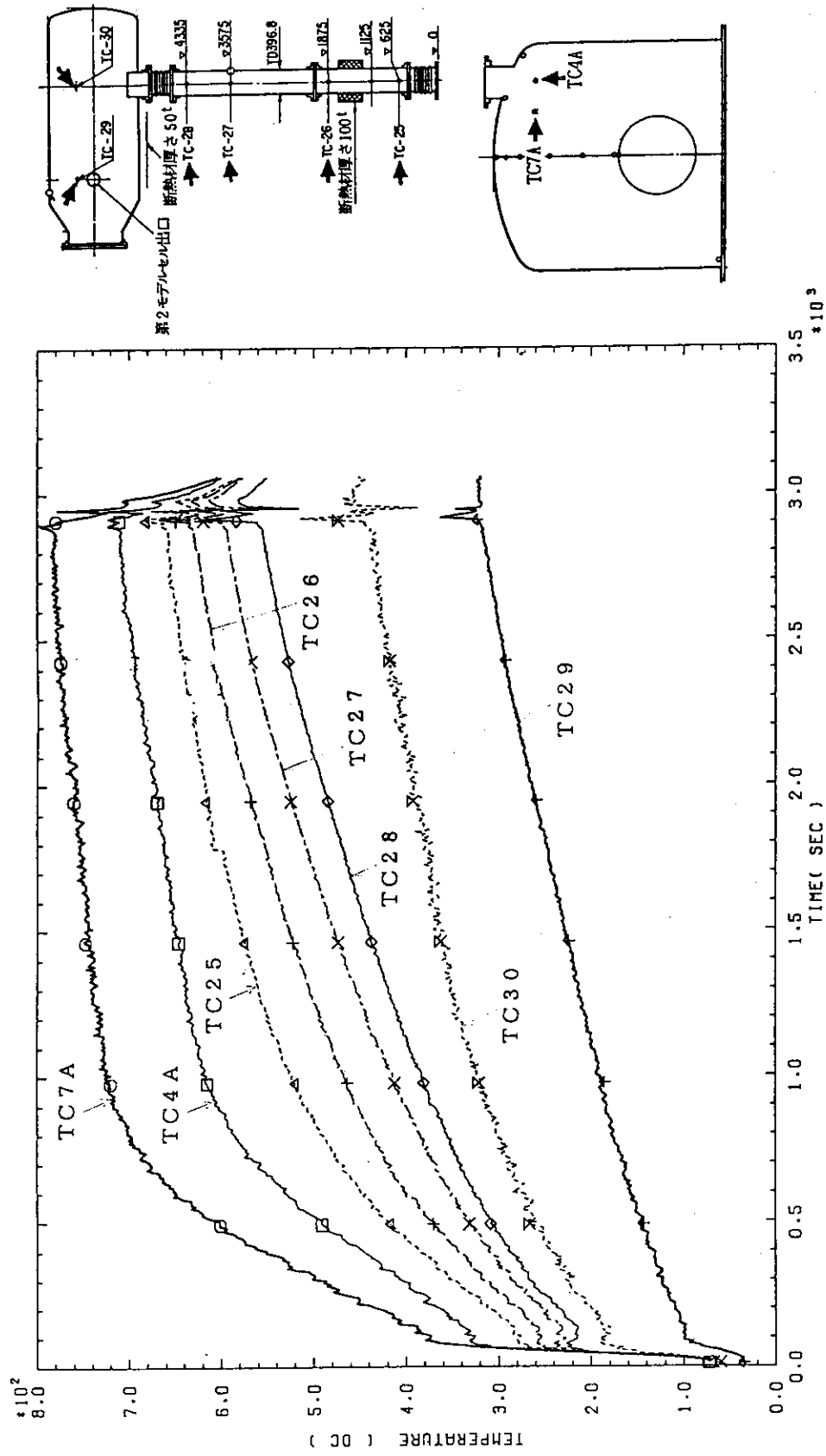


図4.6.21 第1モデルセル, 第1ダクト及び第2モデルセル内の気相温度 (°C)

BOIL5003

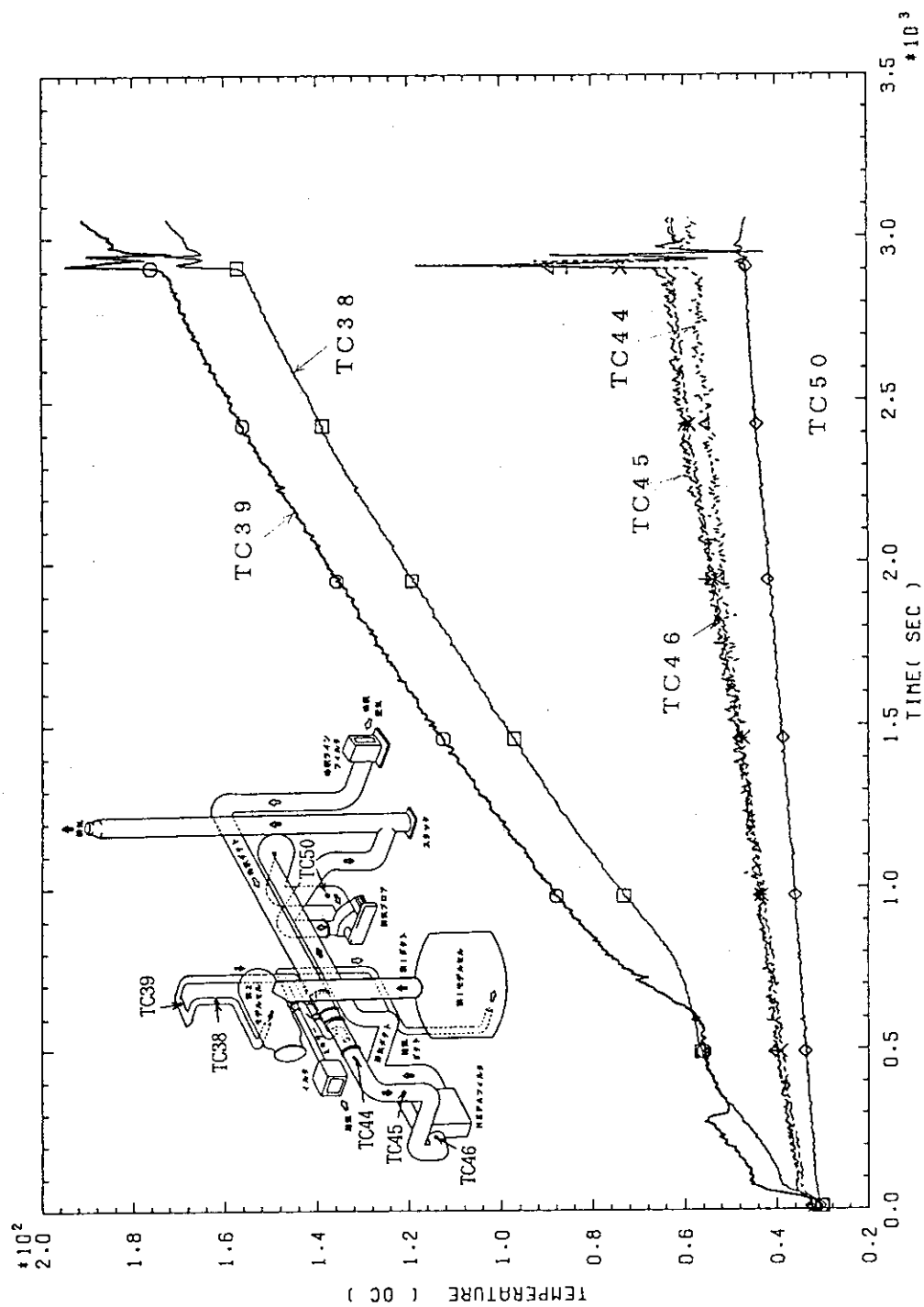


図4.6.2.2 第2ダクト内壁温度, 第3ダクト気相及び排気ダクト気相温度 (°C)

B0IL5003 1990.09.20

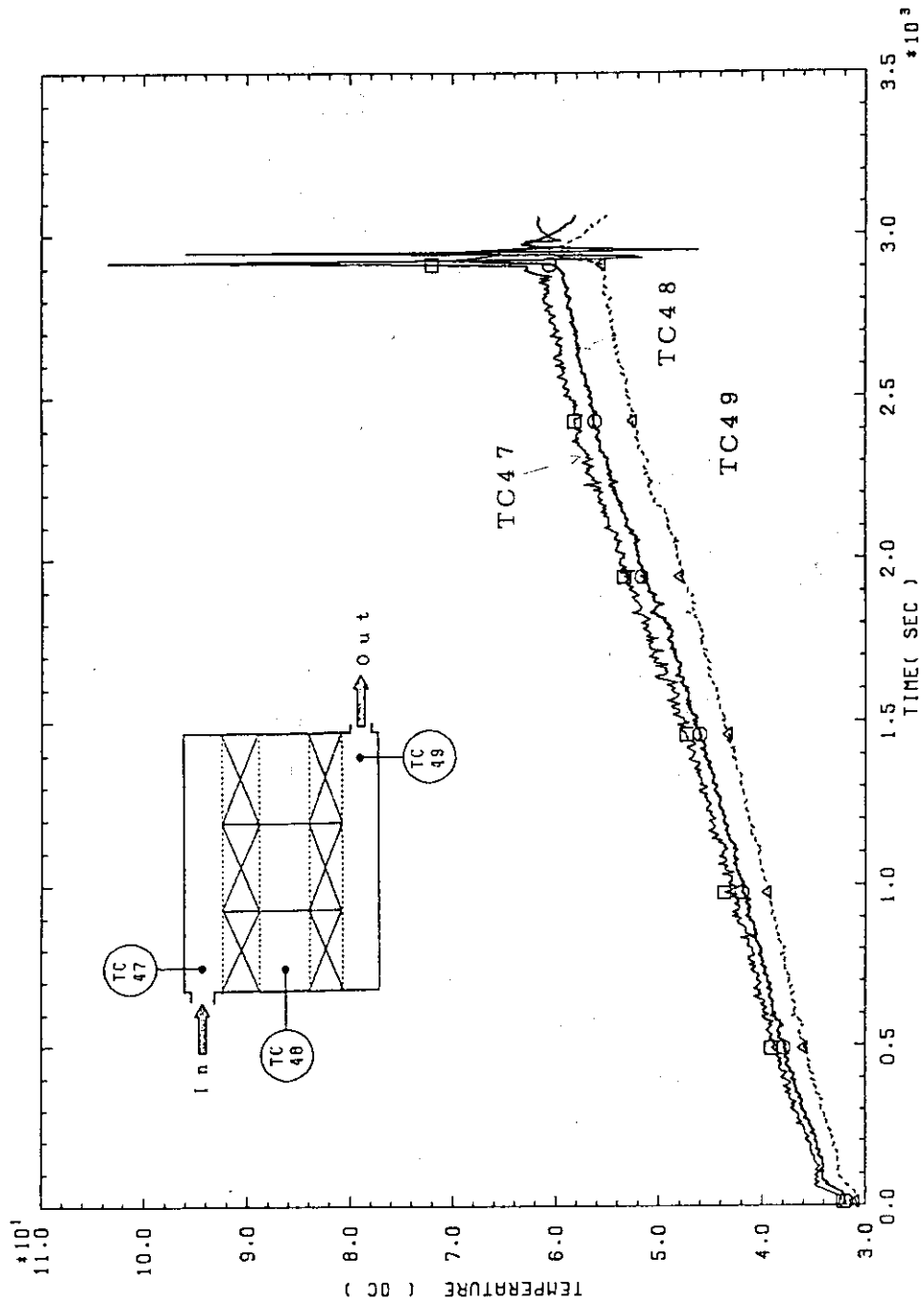


図4.6.23 HEPAフィルタチェンバー内気相温度 (°C)

B01L5003 1990.09.20

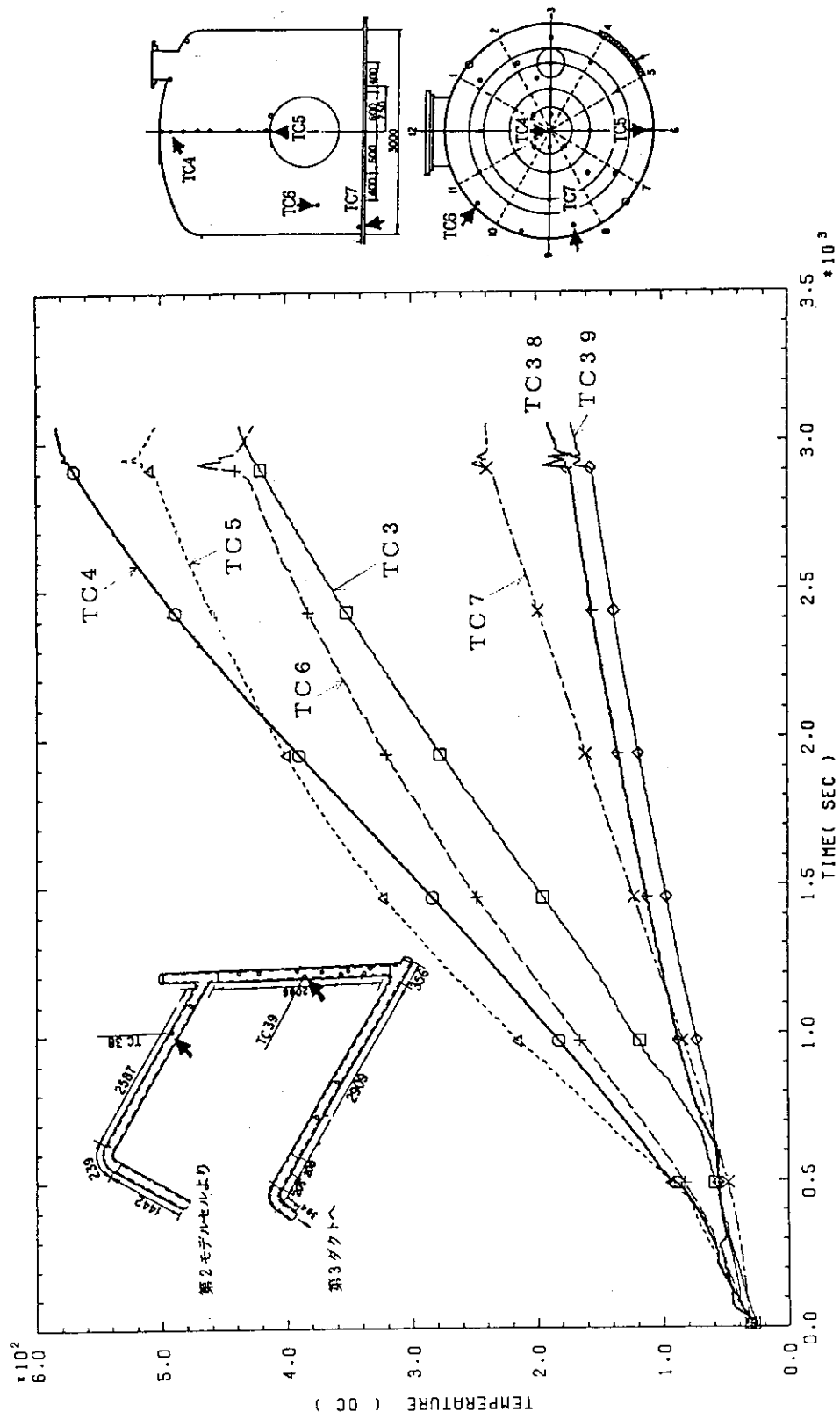


図4.6.2.4 第1モデルセル, 第2ダクトの壁面温度 (°C)

B01L5003 1990.09.20

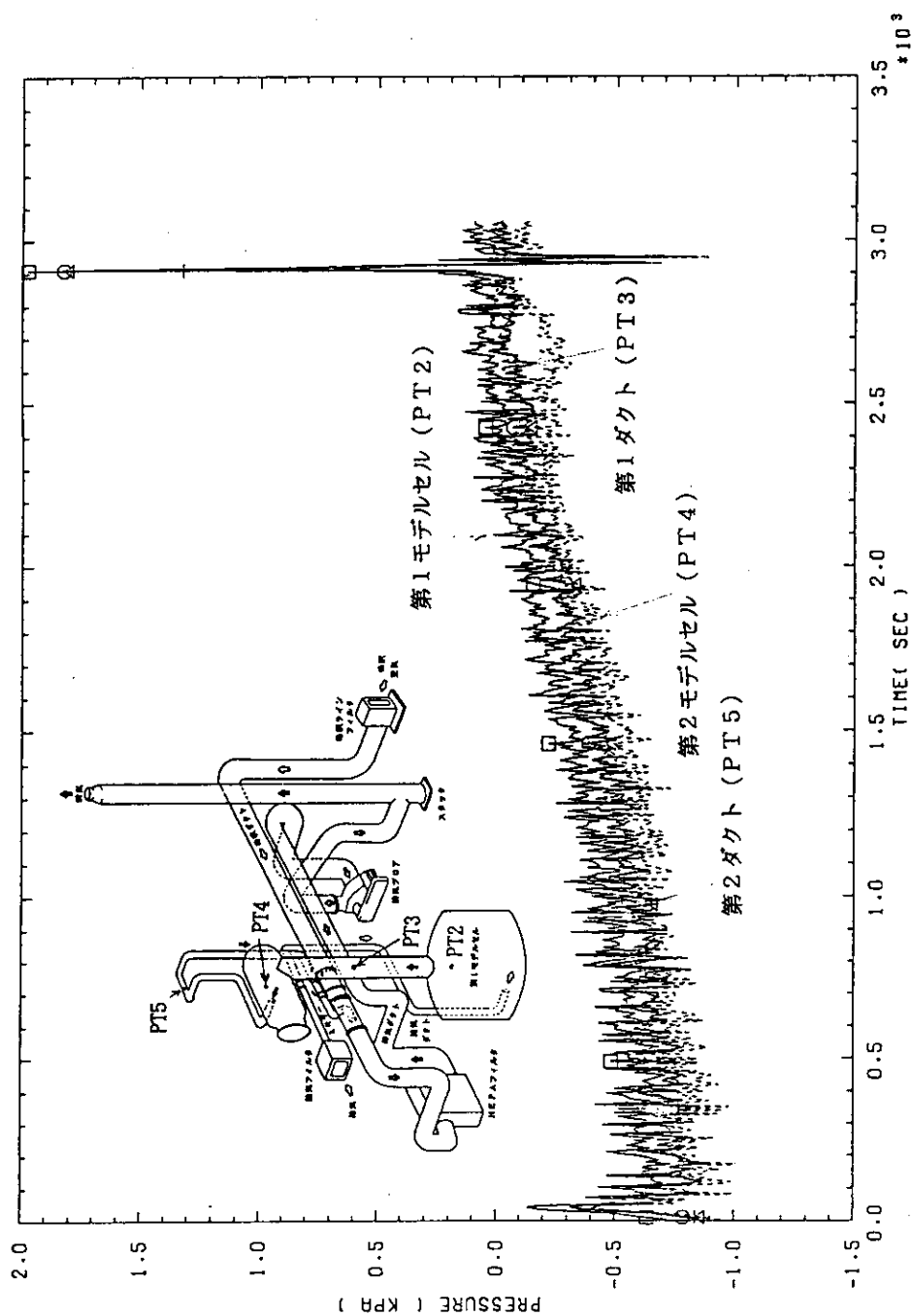


図4.6.2.5 第1モデルセル, 第1ダクト, 第2モデルセル及び第2ダクト内の圧力 (kPa)

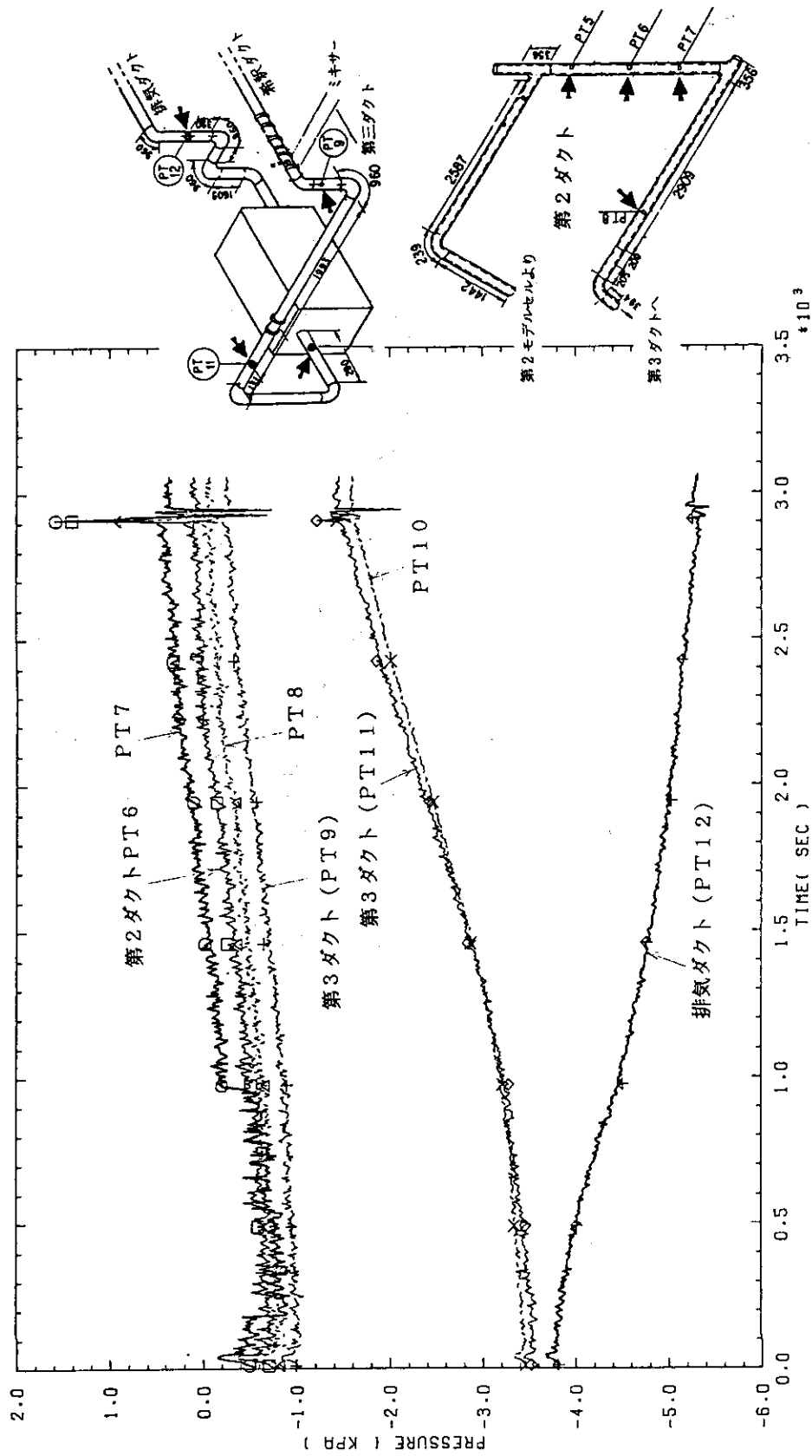
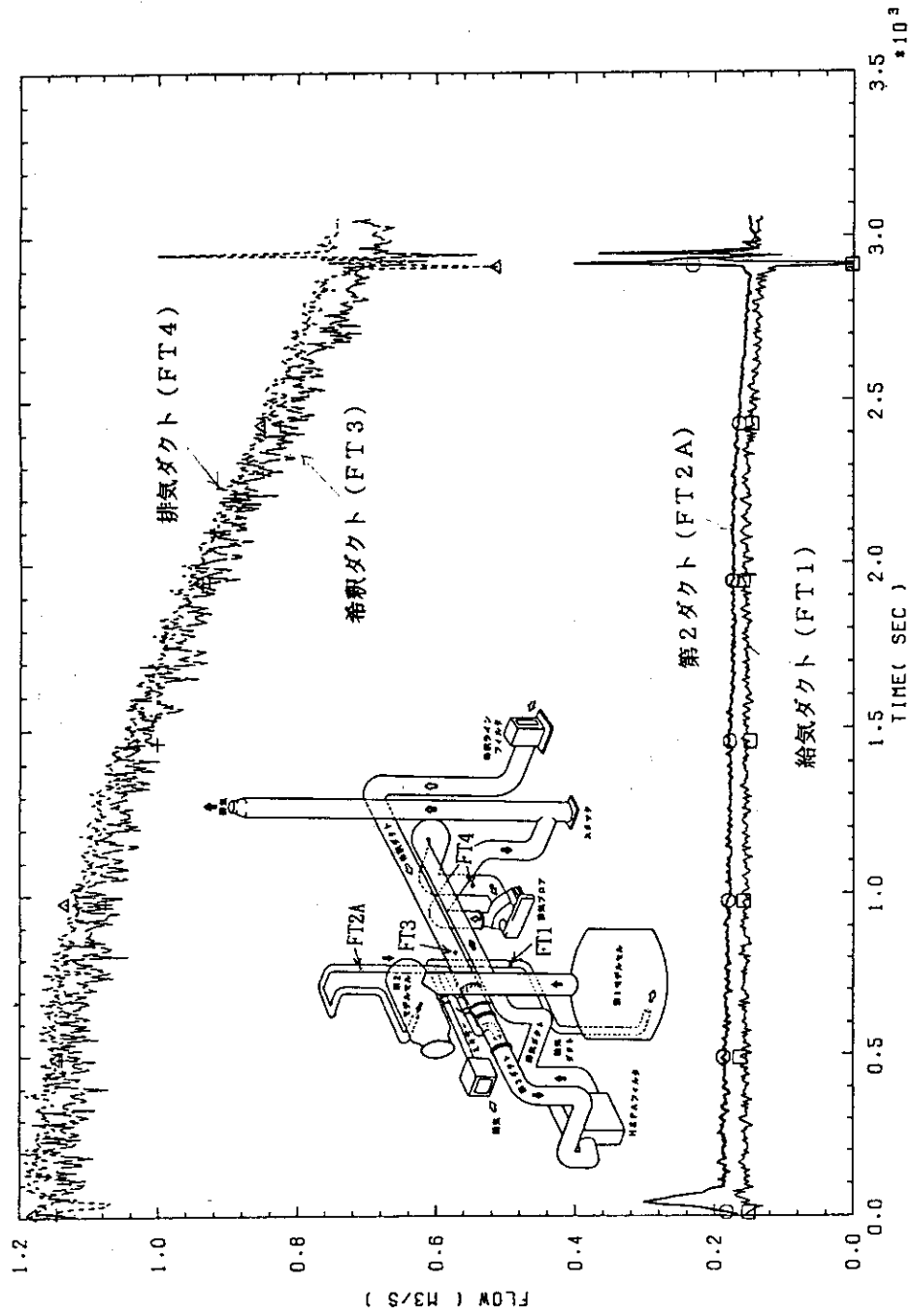


図4.6.26 第2ダクト, 第3ダクト及び排気ダクト内の圧力 (kPa)

B01L5003 1990.09.20

図4.6.27 実証試験装置内の気体流量 (m³/s)

B01L5003 1990.09.20

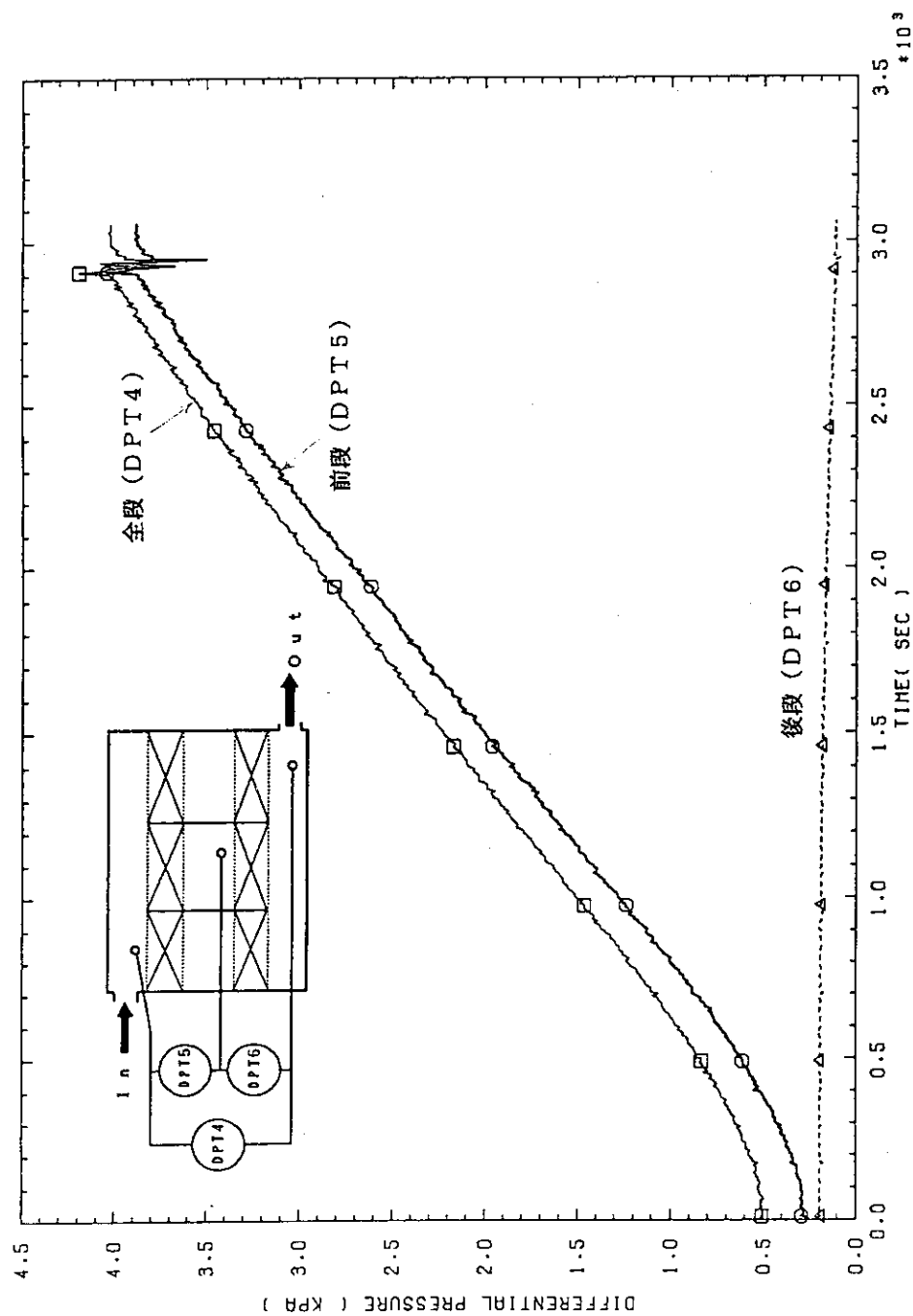


図4.6.28 HEPAフィルタにおける圧力損失 (kPa)

4. 7 抽出器 9 段相当の火災

4. 7. 1 試験の目的

BOIL3003は、9台の抽出器が火災になった場合を模擬（抽出器9段相当の溶媒火災）した試験で、昭和63年11月16日に実施した。

4. 7. 2 試験条件

BOIL3003試験の試験条件を表4.8に示す。

表4.8 抽出器9段相当のボイルオーバー燃焼試験の条件

No.	項目	試験条件
1	燃焼皿の大きさ（燃焼面積）	抽出器9段相当 (0.691 m^2) ($48\text{cmW} \times 144\text{cmL} \times 40\text{cmH}$)
2	溶媒の体積（初期温度）	90リットル (40°C) ($\text{TBP} = 30\%$ 、ドデカン = 70%)
3	水相の体積（初期温度）	90リットル (40°C)
4	換気回数	30回/h（給気流量 $560 \text{ m}^3/\text{h}$ ）
5	希釈流量	$3820 \text{ m}^3/\text{h}$
6	第2ダクトの管路長	10m（短管）
7	HEPAフィルタ台数	6台（Half size）/段 $\times$ 2段 計12段
8	燃焼皿のセル内位置	セル中央部 1基

4. 7. 3 試験の結果

（1）燃焼の挙動と温度の変化

BOIL3003は、セルへの給気流量に比較して燃焼面積が大きな試験である。従って、セル内火災の状況は不完全燃焼になっていると考えられる。図4.7.1にBOIL3003における溶媒の燃焼挙動を示す。図中の3本の曲線は、燃焼皿から蒸発した溶媒の消費速度、燃焼速度及び煤煙と未燃焼溶媒の移行速度を表わしている。鎮火直前のピークは、溶媒相の下層にある水相の沸騰に起因するボイルオーバー燃焼の結果である。図4.7.2に燃焼皿中の溶媒相の下層にある水相の温度上昇を示した。図から分かるように、着火後ボイルオーバー燃焼は40.8分に発生した。燃焼面積が大きいので、水相の沸騰は早くなる。図4.7.3に溶媒の燃焼に伴うセル内の発熱速度及び第1ダクトへの燃焼ガスの熱移流速度を示した。

図4.7.4に実証試験装置内の気相の温度を示した。図中には、第1モデルセル内の火災温度と気相温度、第1ダクト及び第2モデルセルの気相温度及びフィルタチャンバー出入口の気相温度を示した。図4.7.5に第1モデルセルと第2ダクトの壁面温度分布を示した。図4.7.6に第1モデルセルの床から1.71mの距離にお

ける気相温度をセル水平方向に対して示した。火炎部の温度は1000℃に達している。図4.7.7に第1モデルセル内の気相温度の変化をセルの中心軸方向に対して示した。TC-12Aの温度は低いので、セルの天井には火炎は達していない。

図4.7.8に第1モデルセル、第1ダクト及び第2モデルセル内の気相温度の変化を、図4.7.9に第2ダクト内壁温度、第3ダクト及び排気ダクトの気相温度を示した。また、図4.7.10にHEPAフィルタケーシング内の気相温度を示した。フィルタ位置のボイルオーバー燃焼による温度ピーク値は約100℃である。

(2) 圧力の変化

図4.7.11に第1モデルセル、第2モデルセル、第2ダクトまでの圧力変化を示した。第1モデルセル内の圧力ピークの最大値は2 kPaである。図4.7.12に第2ダクト、第3ダクト、フィルタチャンバー及び排気ダクトの圧力変化を示した。

(3) 流量の変化

図4.7.13に給気ダクト、第2ダクト、希釈ダクト及び排気ダクト内の流量変化を示す。給気ダクトには逆止弁が、希釈ダクトには逆流防止ダンパーが設置されているが、ボイルオーバー燃焼時には流量の減少がみられる。BOIL3003試験の給気流量は小さい。これは、燃焼面積が大きなことに起因して第1モデルセル内の圧力が上昇し、給気流量が抑制されたからである。また、フィルタに対する煤煙の負荷量が大きく、希釈ダクト及び排気ダクト内の流量は低下している。

(4) フィルタの差圧変化

図4.7.14にフィルタチャンバーに設置した差圧計による前段HEPAフィルタ差圧、後段フィルタ差圧及び前後2段フィルタの差圧を示した。煤煙の負荷により、前段フィルタの差圧のみが上昇したことが分かる。本試験は燃焼面積が大きいので、差圧の上昇は大きい。ボイルオーバー燃焼時のフィルタの差圧上昇は4 kPaである。

BOIL3003 1988.11.16

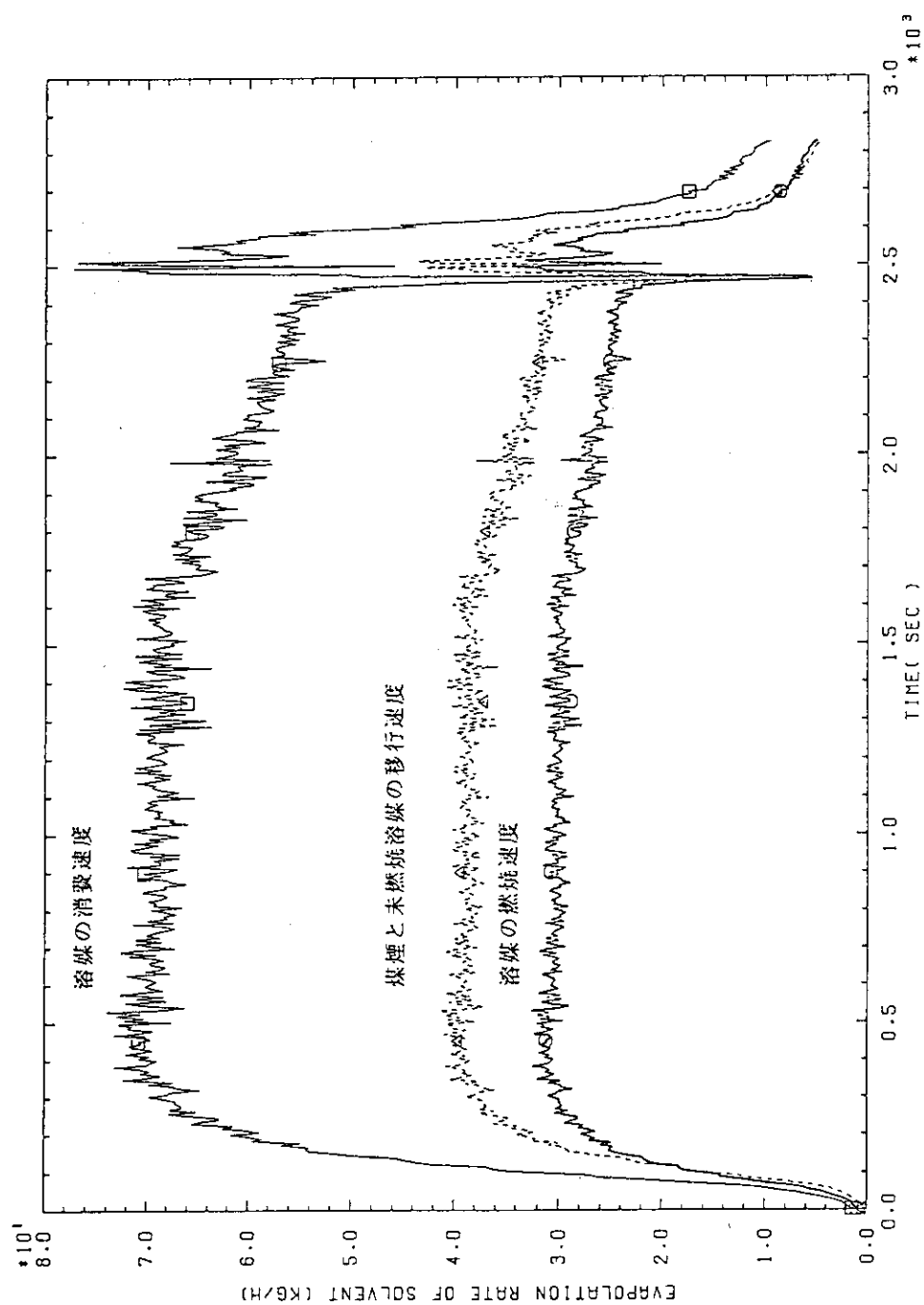


図4.7.1 溶媒の消費速度、燃焼速度及び煤煙と未燃焼溶媒の移行速度の時間変化

BOIL3003 1988.11.16

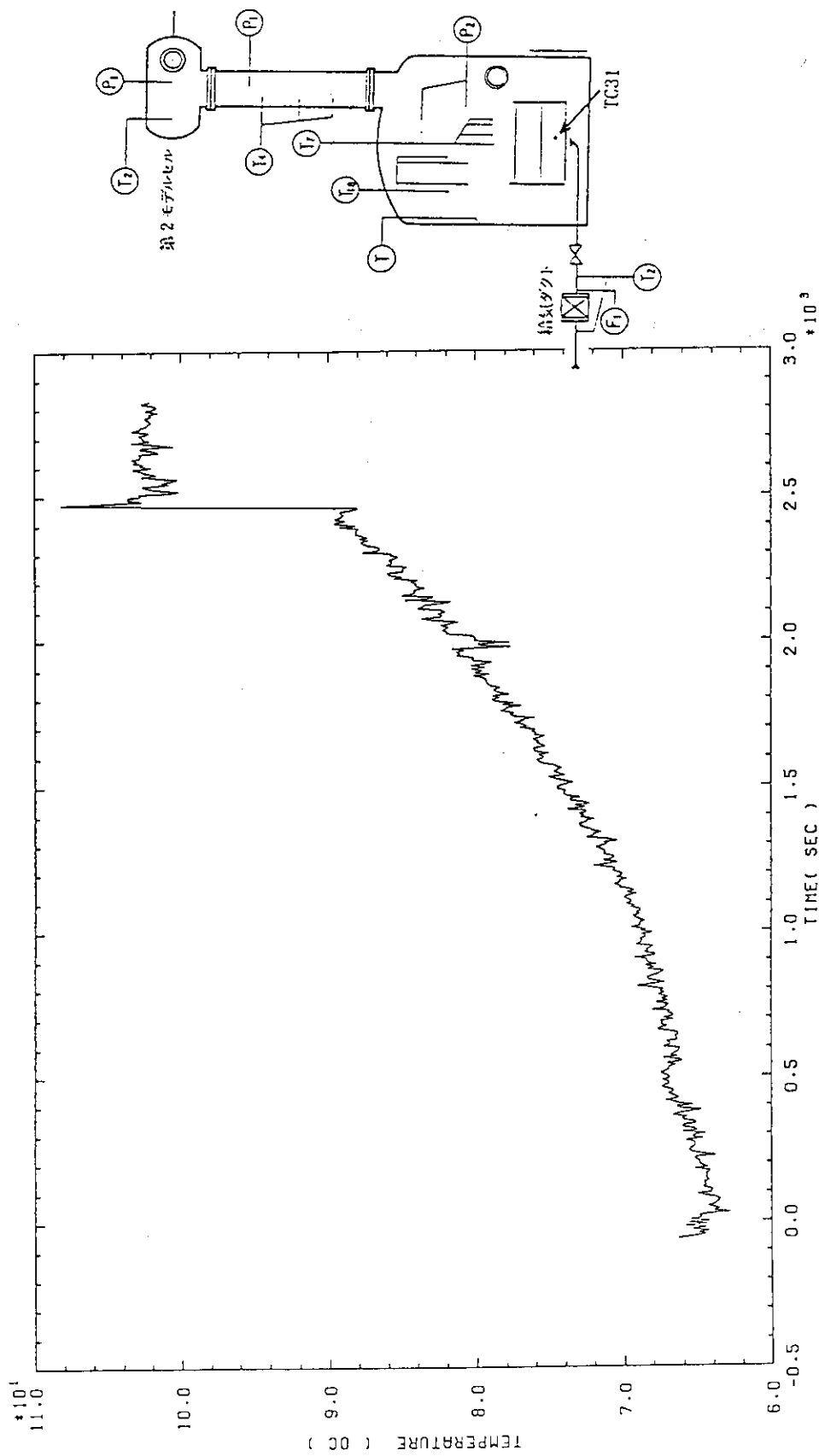


図4.7.2 燃焼室中の水相温度の上昇 (TC31)

BOIL3003 1988.11.16

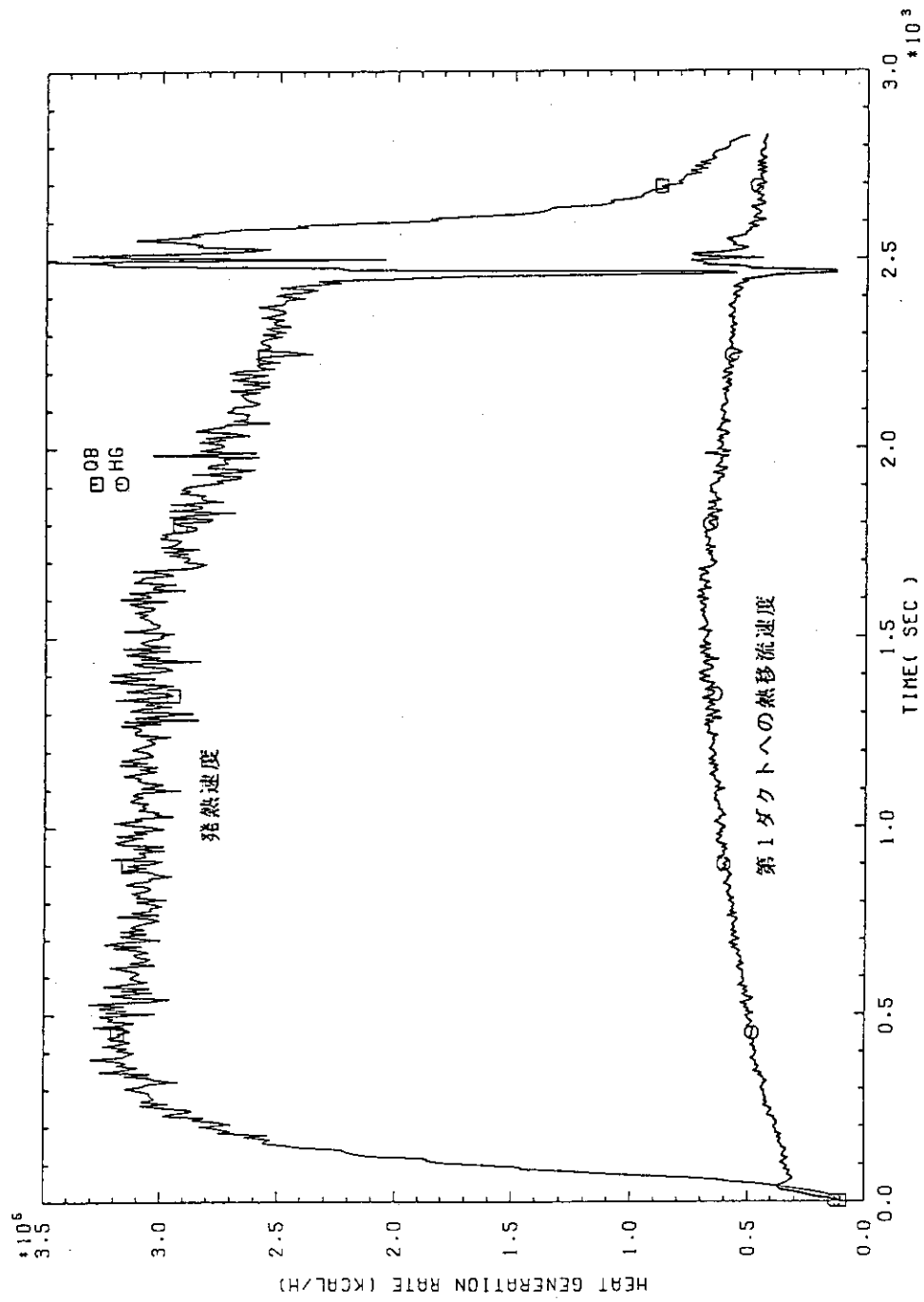


図4.7.3 溶媒の燃焼に伴う発熱速度及び第1ダクトへの熱移流速度

BOIL3003 1988.11.16

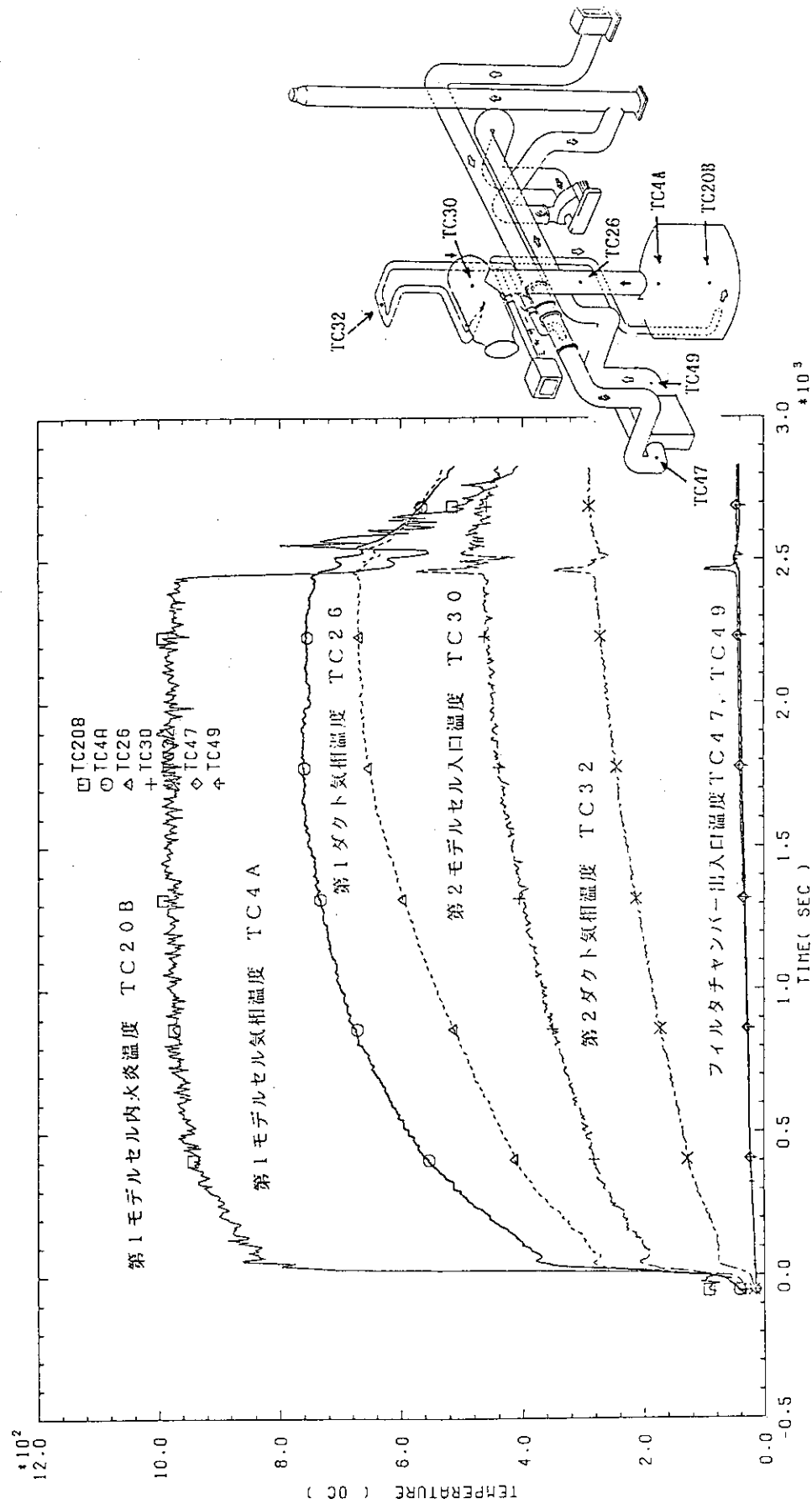


図4.7.4 実証試験装置内の温度分布

BOIL3003 1988.11.16

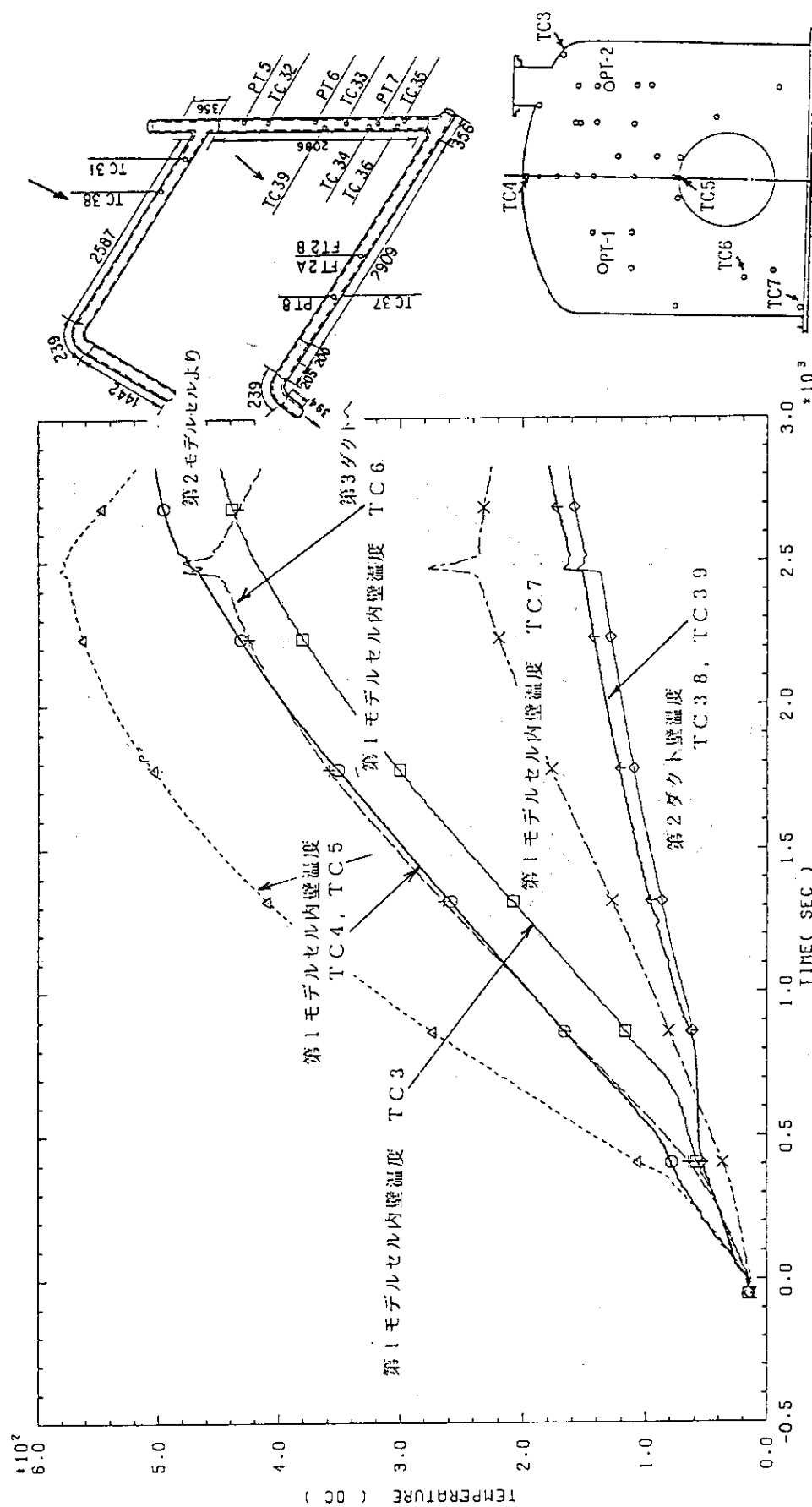


図4.7.5 第1モデルセル, 第2ダクトの壁面温度の変化

BOIL3003 1988.11.16

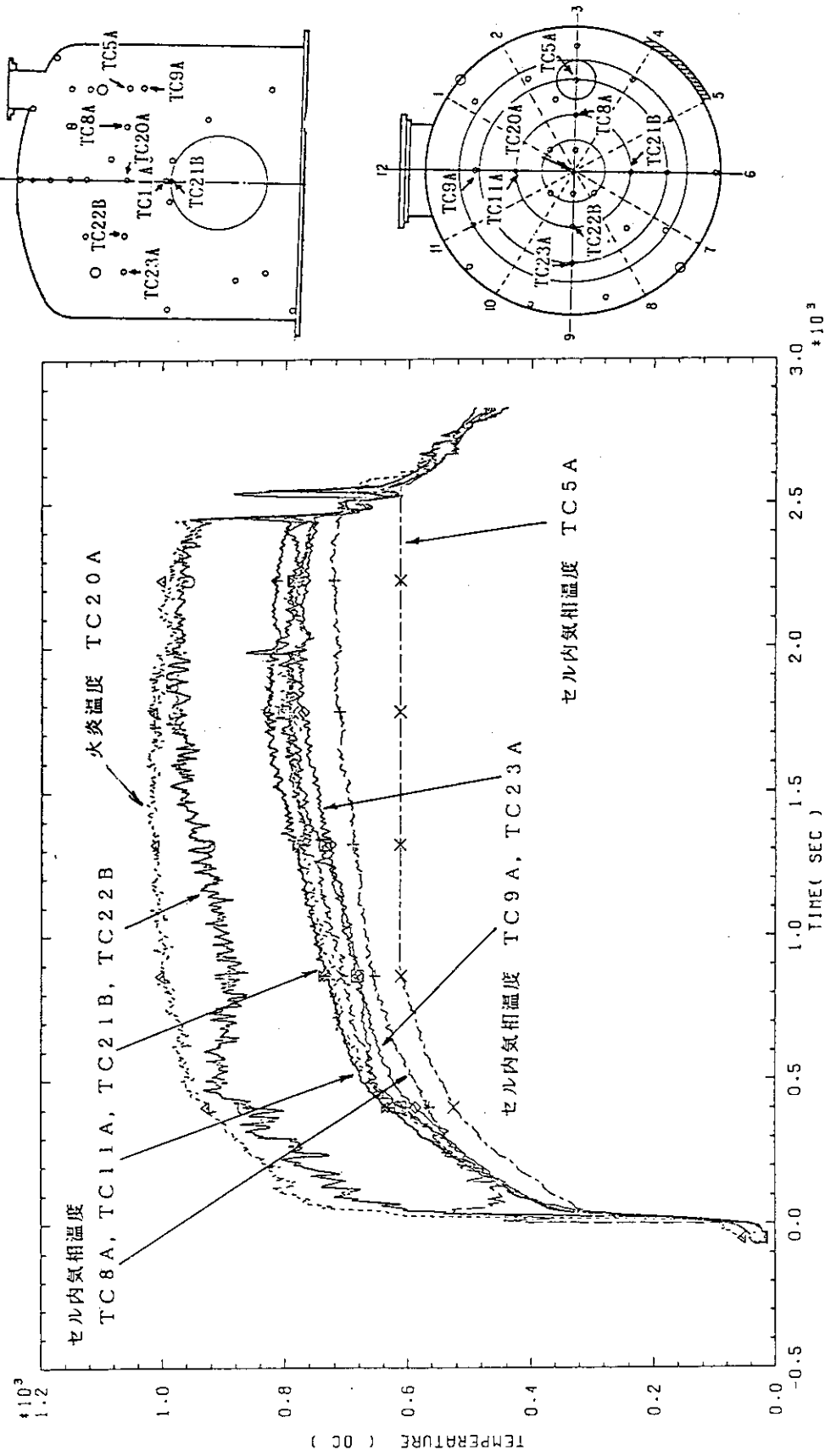


図4.7.6 第1モデルセル内の温度変化(床からの距離1.71m位置におけるセル水平方向の温度変化)

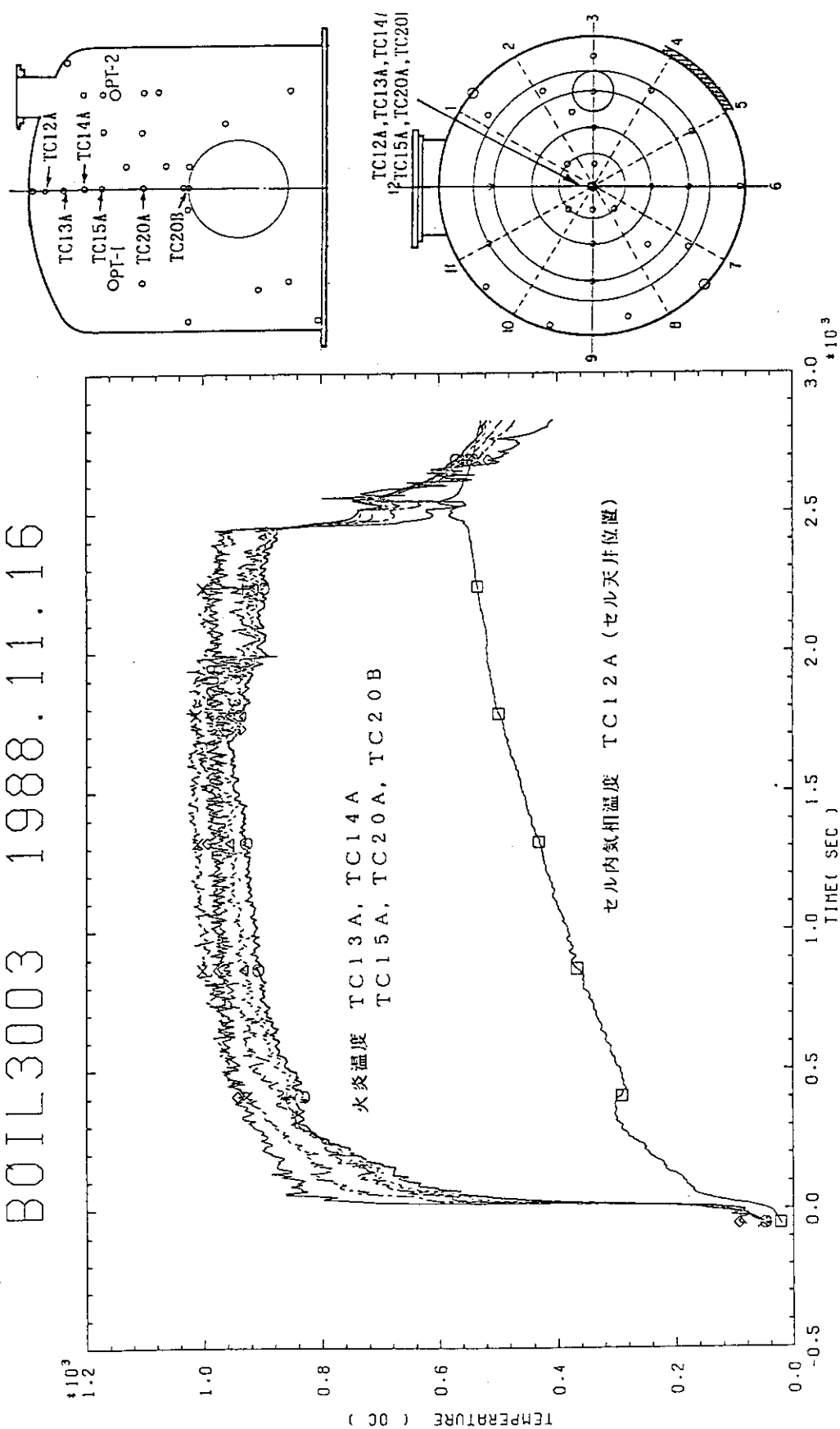


図4.7.7 第1モデルセルの火炎温度 (セル中心軸の後方向の温度変化)

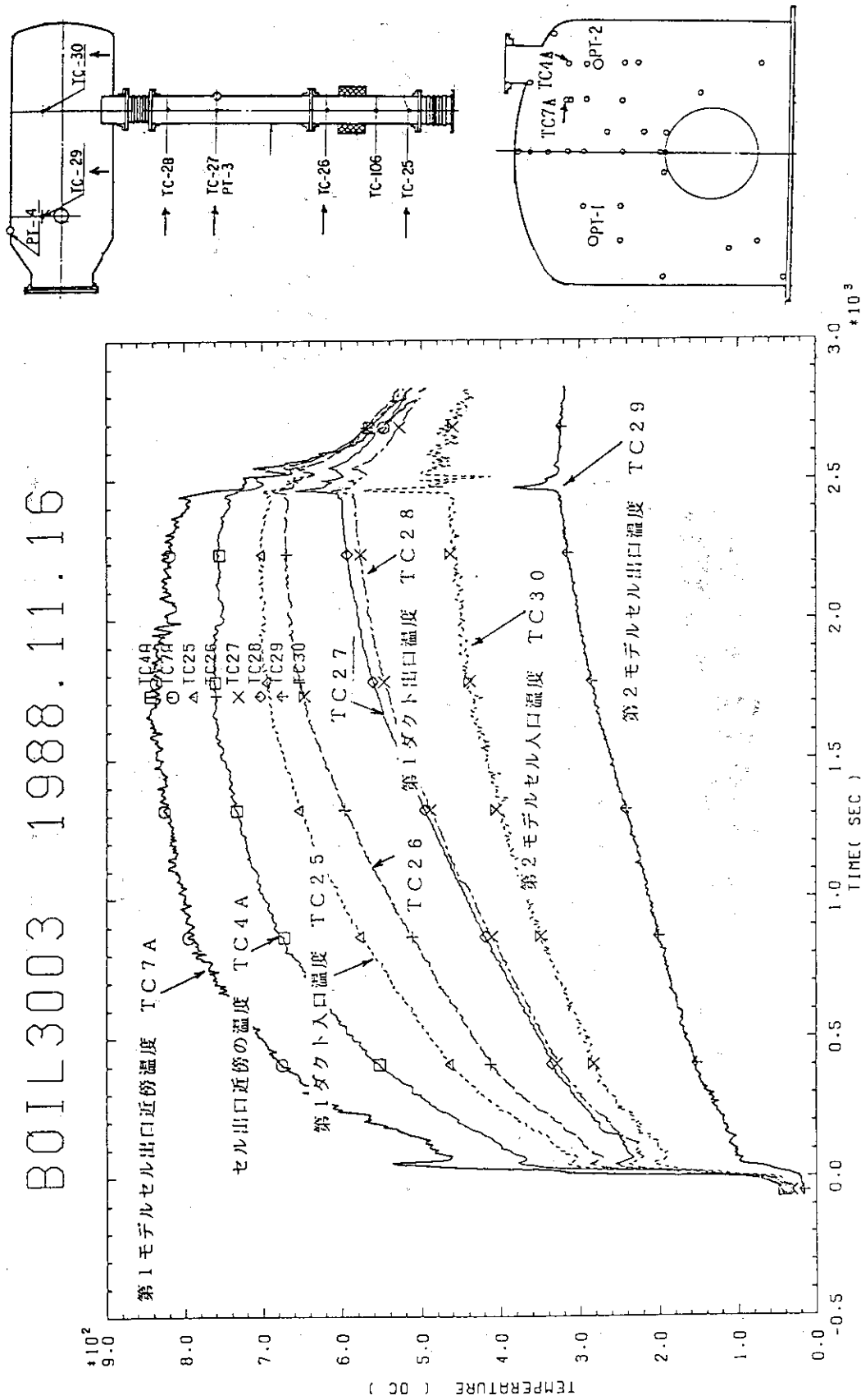


図4.7.8 第1モデルセル, 第1ダクト及び第2モデルセル内の気相温度変化

BOIL3003 1988.11.16

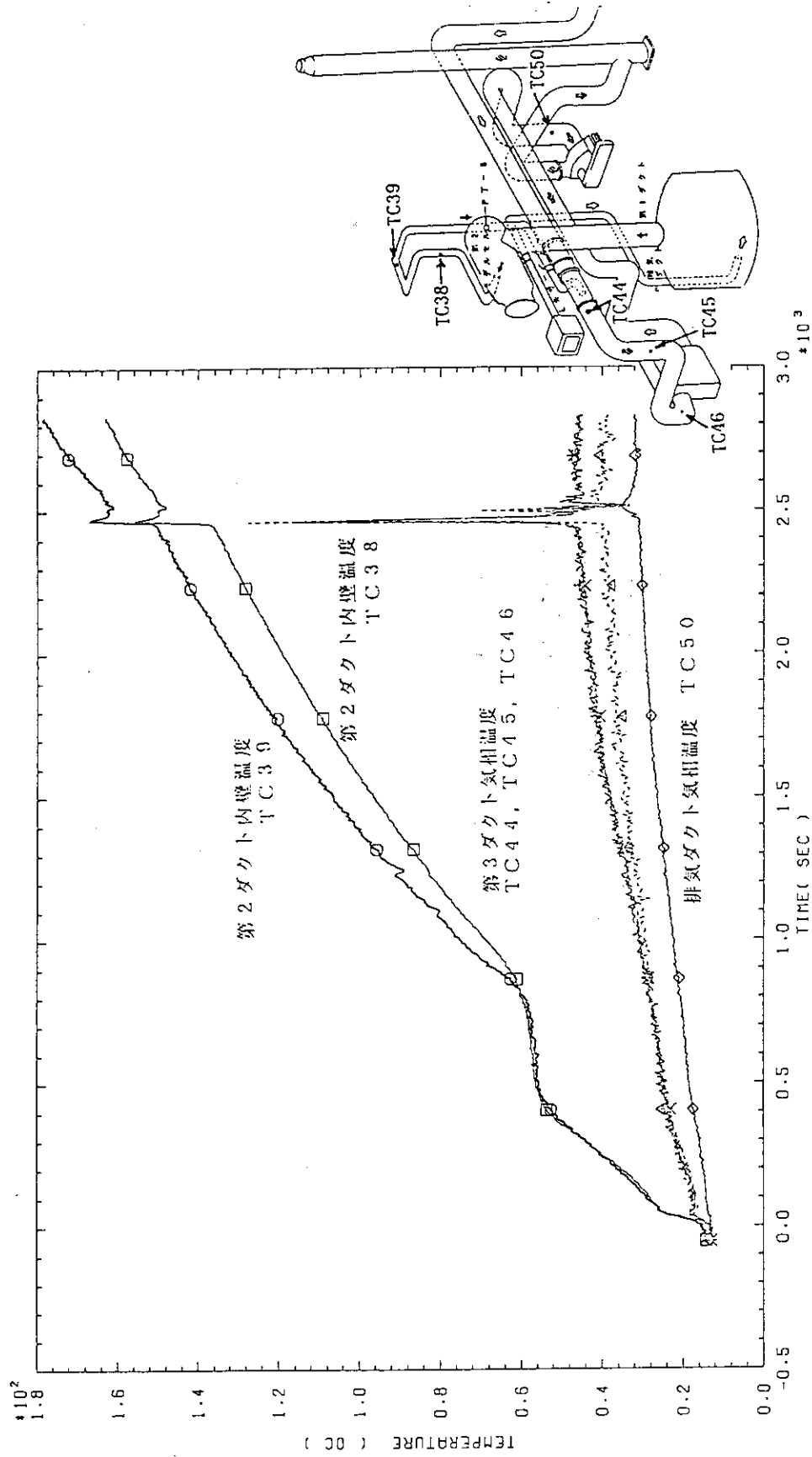


図4.7.9 第2ダクト内壁温度, 第3ダクト気相及び排気ダクト気相温度の変化

BOIL3003 1988.11.16

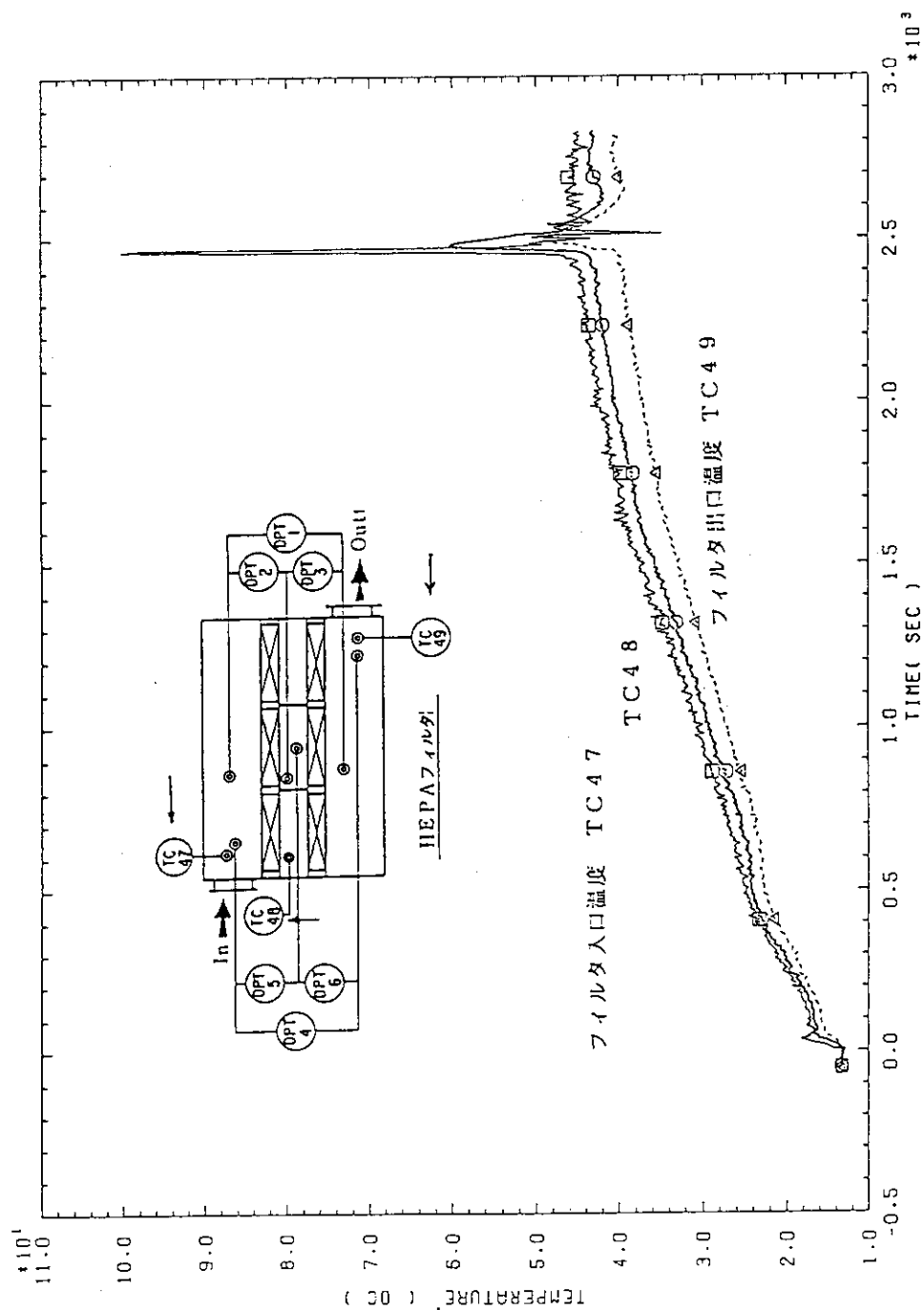


図4.7.10 フィルタチャンバー内気相温度

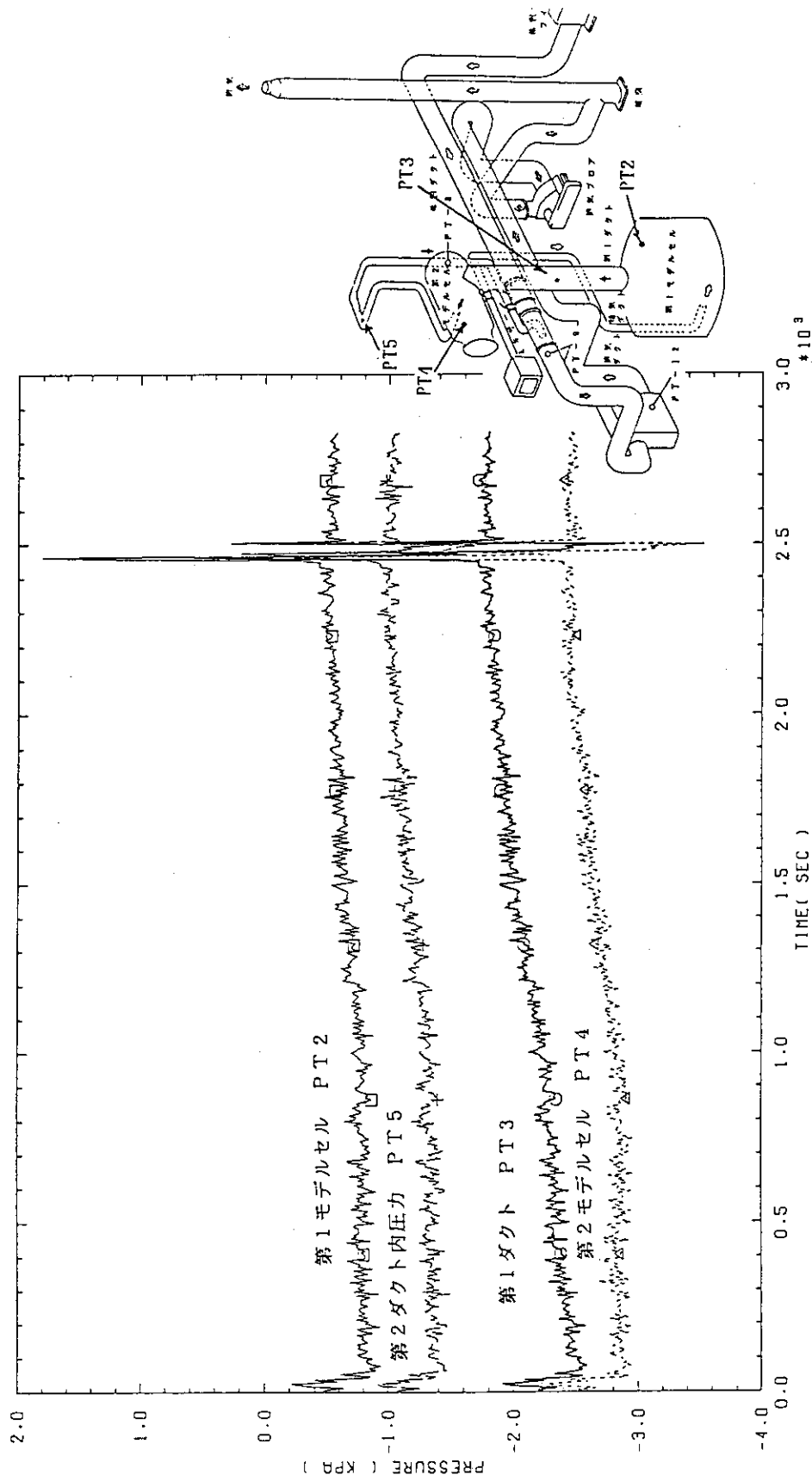


図4.7.11 第1モデルセル, 第1ダクト, 第2モデルセル及び第2ダクト内の圧力変化

BOIL3003 1988.11.16

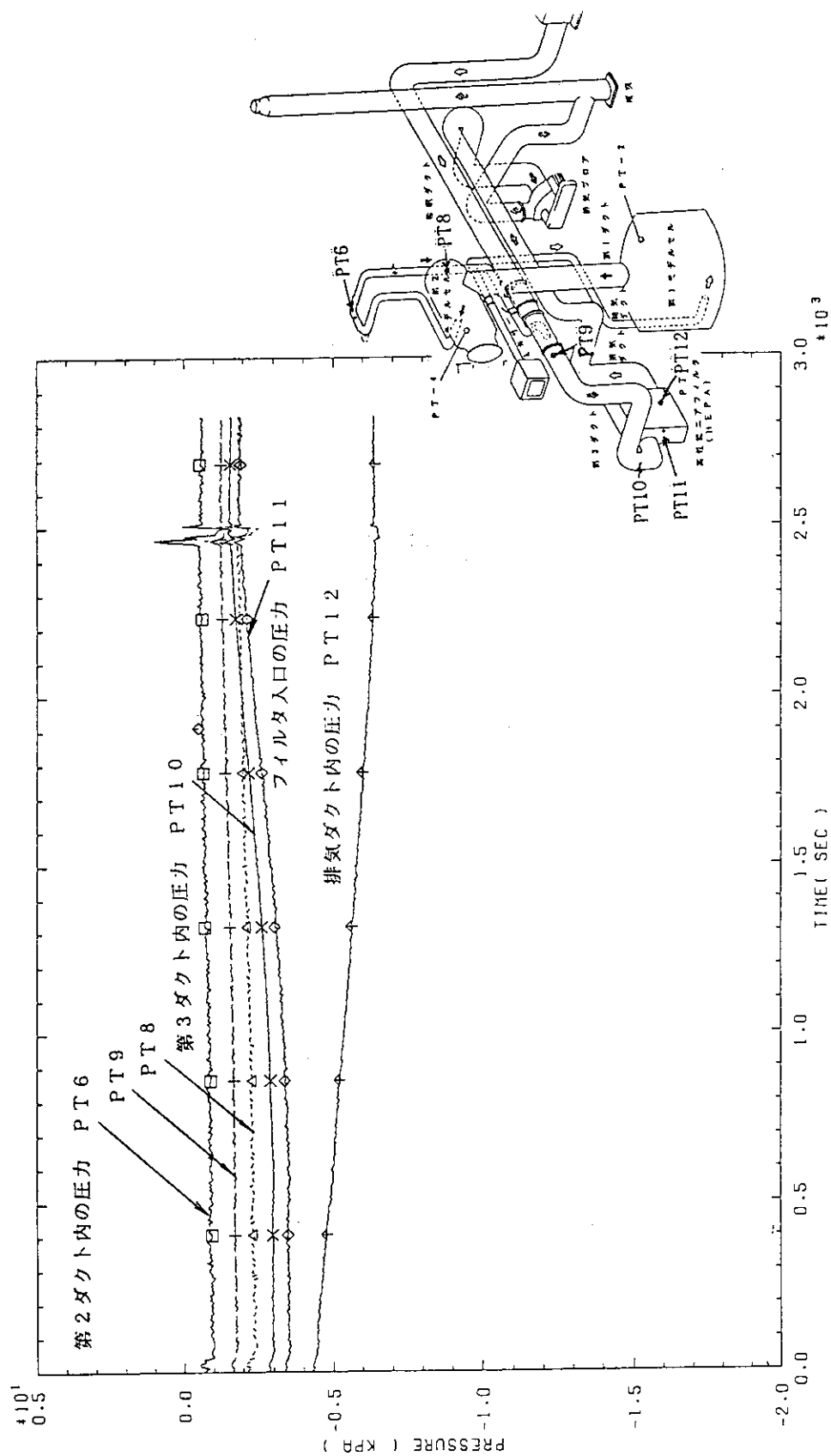


図4.7.1.2 第2ダクト, 第3ダクト及び排気ダクト内の圧力変化

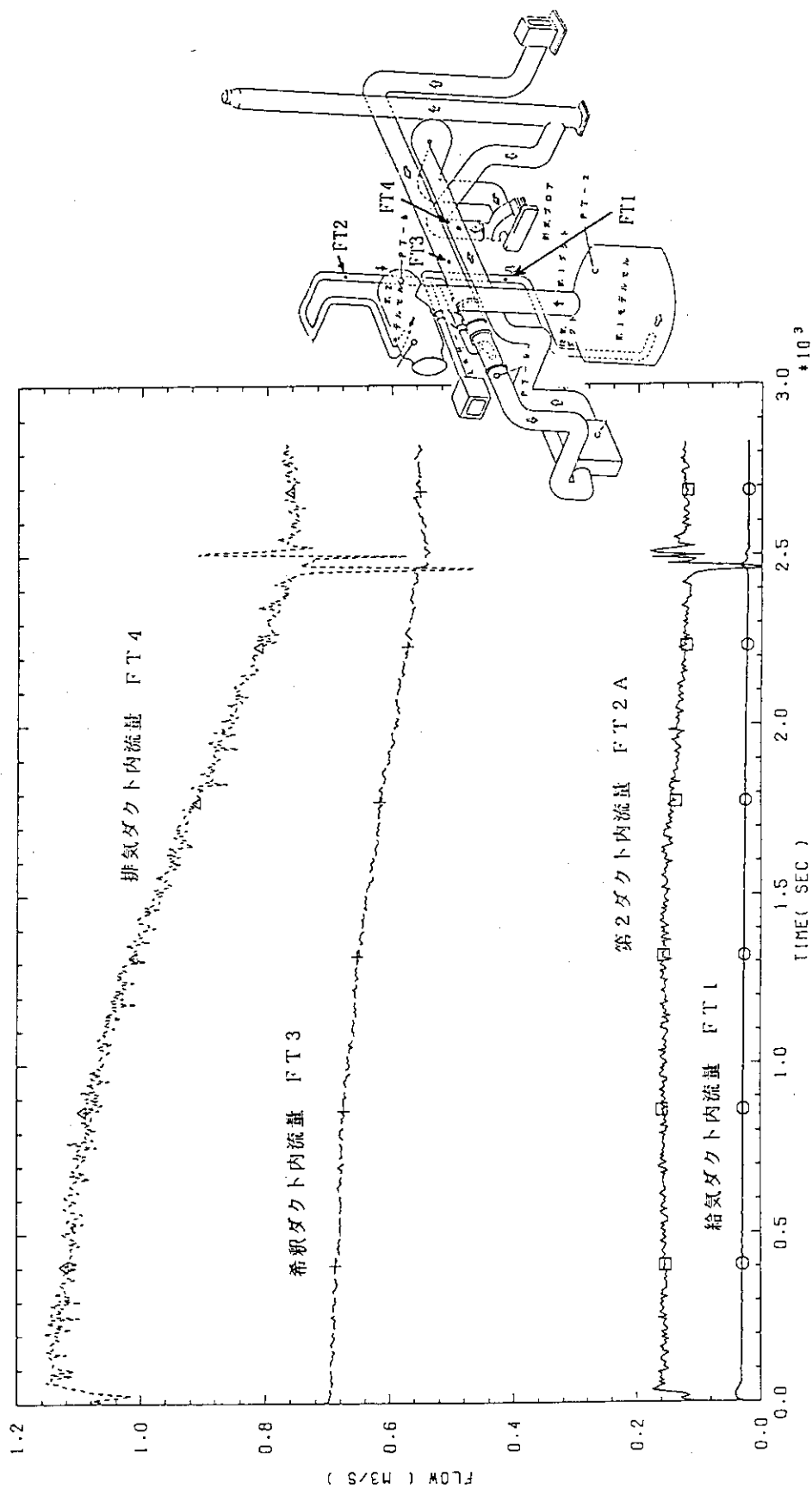


図4.7.13 実証試験装置内の流量変化

BOIL3003 1988.11.16

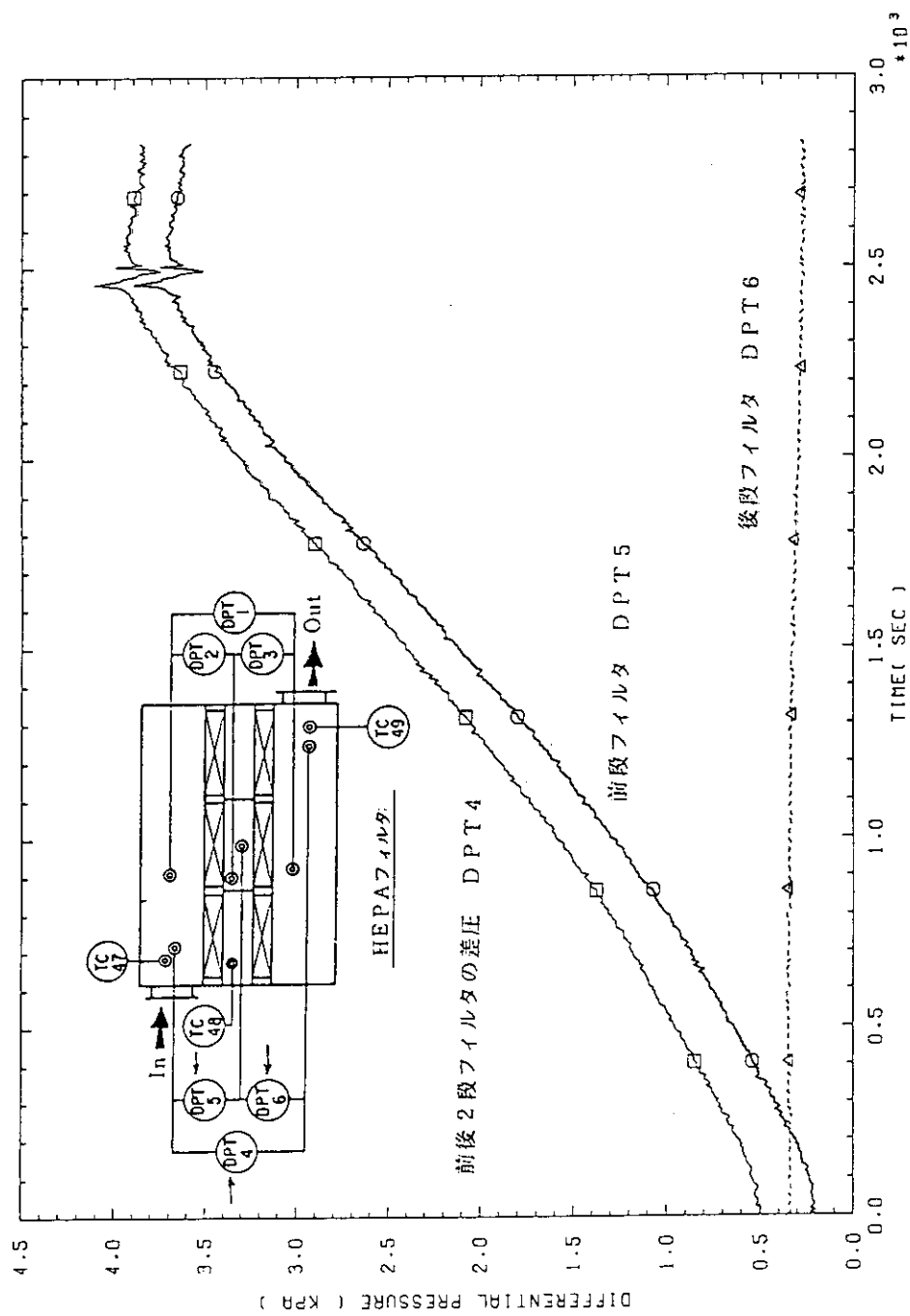


図4.7.14 HEPAフィルタの差圧変化

5. 実証試験の考察

昭和62年から平成2年度まで、セル換気系実証試験装置を用いて実施した10ランのボイルオーバー燃焼試験の結果に基づき、ボイルオーバー燃焼時の挙動について考察を行う。

5. 1 試験条件

ボイルオーバー燃焼試験では、溶媒火災時の定常燃焼状況の把握と燃焼の末期に発生するボイルオーバー燃焼による圧力や温度等の上昇と流量の増加、圧力波の伝播と減衰を調べると共に、燃焼の規模を検討した。昭和62年度～平成2年度までに実施したボイルオーバー燃焼試験の条件は、すでに表3.3に示した。溶媒燃焼の条件は、第1モデルセルへの空気の換気回数を30回/h ($= 0.158 \text{ m}^3/\text{min}$)とし、燃焼面積を抽出器相当段として1段 (0.0768 m^2) から9段 (0.6912 m^2) まで変化させた。

5. 2 定常燃焼の挙動

表5.1に燃焼の規模を表す抽出器相当段、溶媒の消費速度と燃焼速度及び燃焼効率を示した。ここで、溶媒の消費速度は燃焼皿中の溶媒体積の減少量の測定から、燃焼速度は燃焼ガスの組成とセルへの給気流量の測定から決定された。燃焼効率は溶媒消費速度と燃焼速度の比で定義されている。表には、着火から30分後の煤煙の負荷による前段(DPT-5)のHEPAフィルタの差圧(kPa)と差圧上昇速度(Pa/s)の値が示されている。

図5.1に実施した10ランの試験について、定常燃焼時の溶媒消費速度を、図5.2に定常燃焼時の燃焼速度を示した。図中の消費速度と燃焼速度は、抽出器相当段(燃焼皿の大きさ)によって変化している。消費速度と燃焼速度は、相当段数の大きさに従って増加するが、5～7段相当の試験ではばらつきがみられる。消費速度と燃焼速度は、燃焼の初期に最大となり、ボイルオーバー燃焼の直前に最小値になる。これは、溶媒火災により発生した煤煙がHEPAフィルタに捕捉されてフィルタの目詰まりが進行し、排気流量の低下が起こるからである。図5.3は、定常燃焼時の溶媒の消費速度、燃焼速度及び燃焼効率を抽出器相当段に対して示したものである。図中には、溶媒の消費速度と燃焼速度の最大値と最小値が示されている。

図の結果により、定常燃焼時の燃焼状況には以下の特徴が認められた。

- ① 消費速度と燃焼速度の差は、抽出器相当段（燃焼表面積）の増加にともない増大する傾向にある。
- ② 6段相当の条件下においては、消費速度と燃焼速度の差にばらつきが見られる。
- ③ 燃焼効率も相当段数と共に減少する傾向にあるが、6段相当の1ケースは著しく低い値となっている。

これらの特徴は、燃焼が給気流量と燃焼面積に依存するだけでなく、セル内の熱流動状態にも依存することを示唆している。すなわち、給気ダクトからの外気の流入、燃焼皿の大小、炎の大きさや方向、浮力の違い、燃焼ガスの対流などが相互に絡み合っていると考えられる。即ち、熱流動状態がセル空間で準定常的なフローパターンを形成し、燃焼速度や燃焼効率に影響を与えているものと思われる。6段相当の燃焼条件のばらつきは、セル内の熱流動が偶然的な変動によって変化し、その影響が燃焼条件に係わってくると考えられる。

5. 3 非定常燃焼（ボイルオーバー燃焼）の挙動

溶媒の定常燃焼が継続し、溶媒相の下層に存在する水相が沸騰するとボイルオーバー燃焼が発生する。ボイルオーバー燃焼時には、火炎がセル全体に広がりセル内の圧力や温度が急速に上昇する。そのため、セルの給気口に設置した逆止弁が作動してセルに流れ込む空気が停止し、火炎は鎮火する。

表5. 2にボイルオーバー燃焼の発生時刻、ボイルオーバー燃焼が発生する直前の第1モデルセル出口（第1ダクトの入口）の酸素濃度、ボイルオーバー燃焼直前の燃焼皿内の残溶媒量を示した。さらに、表にはボイルオーバー燃焼時におけるセル内の圧力ピーク（PT-2）とボイルオーバー燃焼直前の圧力値の差、第2ダクトにおける流量ピーク（FT-2B）とボイルオーバー燃焼直前の流量値の差が示されている。また、第1ダクト入口の温度ピーク（TC-25）とボイルオーバー燃焼直前の温度値の差及び水相体積の減少量を示した。ボイルオーバー燃焼直前の残溶媒量は、初期溶媒量と試験後に測定した残存溶媒量、給気流量、燃焼ガスの組成から決定された。この算出法を採用した理由は、ボイルオーバー燃焼時のガス組成の分析時間が燃焼の変化に十分追従していないからである。しかし、ボイルオーバー燃焼時の溶媒の消費量は1～3 kgのオーダーであり、ボイルオーバー燃焼直前の残溶媒量は5～30 kgであるので、算出された残溶媒量はかなり正確であると思われる。水相減少量は、試験前の水相量と試験後に秤量した水相量との差である。この差は、ボイルオーバー燃焼時に水蒸気や液滴状の飛沫となって放出されたものである。

5. 4 圧力の挙動

図5. 4は、実施した10ランの試験について、ゲージ圧で示された第1ダクト内の圧力変化（PT-2）と抽出器相当段の関係を示したものである。定常燃焼時のセル内圧力は負圧で推移するが、ボイルオーバー燃焼が発生すると鋭いピークをもって立ち上がる。1段、6段及び7段相当の試験では、鋭いピークが2本生じている。これは、ボイルオーバー燃焼が2回発生したことを意味している。

5. 5 流量の挙動

図5. 5に第2ダクト（FT-2A）で測定した流量変化を抽出器相当段に対して示した。BOIL3003（9段相当）において、定常燃焼時の流量が漸減している理由は、煤煙によってHEPAフィルタが目詰まりし、流動抵抗が増加したためである。ボイルオーバー燃焼時には、流量は鋭いピークをもって立ち上がる。このピークは、燃焼皿の大きさが6段相当（BOIL3001）の場合に最も高い結果を得た。また流量ピークは、1段、6段及び7段相当の試験では2本発生している。BOIL20A1（3段相当）では、このピークは広がっている。

5. 6 温度の挙動

図5. 6に第1ダクト内の燃焼ガスの温度変化を抽出器相当段（燃焼皿の大きさ）に対して示した。温度の測定位置（TC-25）は第1ダクトの入口である。図5. 7にフィルタチェンバー（TC-47）に流入する流体の温度変化を抽出器相当段に対して示した。9段及び7段相当の溶媒火災試験では、燃焼面積が大きいのでフィルタ位置の温度ピークは100℃を超えている。しかし、HEPAフィルタの耐熱温度である200℃には十分な余裕があることが分かる。

5. 7 HEPAフィルタの差圧挙動

図5. 8は、HEPAフィルタの前段（DPT-5）の差圧変化を10ランの試験について示した。煤煙によるHEPAフィルタの目詰まり速度は、相当段数にほぼ比例する傾向にある。また、ボイルオーバー燃焼時の圧力波はフィルタに到達するまでに減衰するので、差圧ピークは低い値になっている。フィルタの目詰まりの度合いは、溶媒の燃焼量に比例しているが、溶媒蒸気や水蒸気のフィルタ上の凝結にも依存していると考えられる。

図5. 9は定常燃焼時のHEPAフィルタの差圧上昇をフィルタの単位濾過面積当たりの溶媒消費積分量（ $\int \dot{m}_d dt / S$ ）に対して示した。図5. 10はボイルオーバー燃焼時の差圧を溶媒燃焼積分量（ $\int \dot{m}_b dt / S$ ）に対してプロットしたものである。燃焼積分量は、消費積分量に燃焼効率を掛けて算出した。ここで、フィル

タの単位濾過面積当たりの積算量の算出法は、溶媒の消費速度と濾過面積の商 ($\dot{m}_v / S$) や燃焼速度と濾過面積の商 ($\dot{m}_b / S$) の時間積分から決定した。S の値は、ハーフサイズの H E P A フィルタ 6 台の濾過面積 ($= 67.8 \text{ m}^2$) である。6 段相当の試験 (B0IL3001(◎)) では、消費積算量に対して差圧の速度が低い、燃焼積算量に対しては高くなっている。これは、B O I L 3 0 0 1 の燃焼効率の低さが反映したものである。9 段相当 (B0IL3003(○)) では、溶媒の消費速度と燃焼速度はともに実施した試験の中では最大であった。しかし、差圧の上昇は低い。9 段相当の試験では、不完全燃焼が進んで煤煙の発生量が多くなると考えられたが、フィルタの目詰まり度合いは大きくない。この理由は、煤煙の発生量が燃焼皿の大きさに比例しており、9 段相当の溶媒燃焼でも煤煙の発生は増大していないことを意味している。

5. 8 ボイルオーバー燃焼の規模

ボイルオーバー燃焼の規模は、セル内の圧力上昇や流量ピークなどから推定できる。しかしながら、燃焼皿の大きさによって必ずしもボイルオーバー燃焼の規模は規定できず、様々な燃焼現象の要因が絡んでいるものと考えられる。

(1) 圧力ピークと流量ピーク

図 5. 11 は、ボイルオーバー燃焼時の第 1 モデルセル内の圧力ピークと第 2 ダクトを通過した流量ピーク高さを抽出器相当段数 (燃焼皿の大きさ) に対してプロットしたものである。6 段相当の試験は 3 回実施したので、図中の●印 (圧力ピーク) と○印 (流量ピーク) は 3 組ある。1 組の○印と●印から延びた 1 組の▲印と△印は、1 回目のボイルオーバー燃焼 (○と●) の後、2 回目のボイルオーバー燃焼が発生したことを示している。ボイルオーバー燃焼が発生すると、セルの給気口の逆止弁が閉じて火災は一旦は鎮火するが、セル内が負圧になるとダンパーが開き、再び給気が開始される。給気により酸素濃度が燃焼限界に達すれば、セル壁や燃焼皿などは高温に加熱されているので、セル内に充満した溶媒蒸気が再着火して 2 回目のボイルオーバー燃焼が発生する可能性がある。▲印と△印は、このような 2 回目のボイルオーバー燃焼のデータである。

1 回目のボイルオーバー燃焼において、5 段相当の燃焼規模は低い。6 段、7 段、9 段相当の条件下では、6 段相当の最高値を除いてほぼ同じレベルにある。3 段相当では、7 段や 9 段相当の条件より低いレベルにある。2 回目のボイルオーバー燃焼が起こると、いずれの場合でも 1 回目のボイルオーバー燃焼の規模より燃焼の規模は高くなる。

(2) 溶媒量と水相量

図 5. 11 の結果を解釈するために、ボイルオーバー燃焼直前の燃焼皿中の残存

溶媒量とボイルオーバー燃焼時に蒸発した水相の体積の影響について調べた。図5. 12に表5. 2に示したボイルオーバー燃焼直前の残存溶媒量(○)とボイルオーバー燃焼時に減少した水相量(●)を示した。また、これらの値を燃焼面積(抽出器相当段)で割った値を□印(溶媒)と■印(水相)の破線で示した。図の結果から、ボイルオーバー燃焼直前の残存溶媒量とボイルオーバー燃焼時の減少水相量は共に、抽出器相当段数とともに増加する傾向がみられる(燃焼直前の残存溶媒量は7段相当の場合より6段相当のほうが大きい)。また、減少水相量は、抽出器相当段と共に増加している。残存溶媒量を燃焼面積で割った値については、1段相当において特に高くなっているほかは、相当段数との明確な相関はみられない。減少水相量を燃焼面積で割った値については、6段相当段以上で増加傾向にある。

(3) 酸素濃度

図5. 13に1回目のボイルオーバー燃焼直前のセル内の酸素濃度と抽出器相当段の関係を示した。酸素濃度はセル出口(第1ダクト入口)で測定した値であるが、第1モデルセルには給気口から絶えず外気が入っているため、セル出口の酸素濃度が12%以下になっても火災は鎮火しない。その理由は、セル空間のかなりの部分で燃焼を継続するだけの酸素濃度(12%以上)が存在しているからである。図の結果から、酸素濃度は抽出器相当段の増加で減少する傾向にある。また、1段相当の燃焼条件では、酸素濃度は外気の濃度と同じ20%を保っており、セル内の燃焼は完全燃焼していることが分かる。また、3段相当の燃焼においても十分な酸素量が存在している。酸素濃度と相当段の関係は、5段相当の燃焼条件下でやや低い値となっているが、図5. 3に示した燃焼効率と対応している。

(4) 燃焼ガスの温度上昇

図5. 14にボイルオーバー燃焼時の第1ダクト入口(TC-25)における排気ガスの温度上昇を示した。温度上昇の値は、第1ダクト入口で測定した温度ピークからボイルオーバー燃焼直前の値を差し引いたものである。図中の○印は1回目のボイルオーバー燃焼、△は2回目のボイルオーバー燃焼のデータである。1段相当の燃焼条件下では、1回目の温度上昇より2回目のほうがるかに高い。これは、1回目のボイルオーバー燃焼の鎮火後、2回目のボイルオーバー燃焼が発生するまでの時間が長く、セル内に蓄積した溶媒蒸気量が1回目より多かったものと考えられる。3段相当のボイルオーバー燃焼は1回だけ発生したが、燃焼による温度上昇は大きい。これは、放出した溶媒の蒸気量とセル内の酸素量の多さに起因して完全燃焼に近いボイルオーバー燃焼が起こったものと思われる。5段相当のボイルオーバー燃焼は、燃焼直前の酸素濃度の低さを反映して温度の上昇は少ない。6段相当のボイルオーバー燃焼では、2回目の温度上昇が高い場合と低い場合がある。7段相当のボイルオーバー燃焼においては、2回目の温度上昇が高い。9段相当の試験では、

ボイルオーバー燃焼は1回起こっているが、温度上昇は極めて弱い。これらの結果から、ボイルオーバー燃焼の規模は抽出器相当段の増加に伴い小さくなっている。この原因は、相当段の増加によりセル内の酸素量が小さくなり、9段相当のボイルオーバー燃焼では著しい不完全燃焼を起こしたと考えられる。

5. 9 ボイルオーバー燃焼の規模を規定する要因

以上の結果をふまえ、ボイルオーバー燃焼の規模を規定する要因について説明する。ボイルオーバー燃焼の規模を規定する要因は、本質的には水相の沸騰によりセル内に放出された溶媒蒸気量と給気ダクトに設置した逆止弁の開閉による空気の供給量に支配されている。

(1) 1回目のボイルオーバー燃焼

- ① 抽出器1段相当の試験では、燃焼面積が小さいことに起因して水蒸気の放出は小さく溶媒の放出量は少なかった。3段相当の燃焼条件では、燃焼面積が3倍に増えたため燃焼の規模はそれだけ大きくなった。セル内の酸素も完全燃焼を起こすに十分な濃度であった。両者の燃焼規模は、溶媒の燃焼面積に支配されている。
- ② 5段相当の燃焼条件では、ボイルオーバー燃焼の規模は小さかった。この原因は、ボイルオーバー燃焼直前におけるセル内の酸素濃度及び燃焼皿中の残存溶媒量が共に低かったことに起因していると考えられる。
- ③ 6段、7段及び9段相当の燃焼条件では、燃焼の規模はほぼ同じであった。しかし、6段相当の試験の場合、燃焼の規模が大きいケースがあった。その原因は、ボイルオーバー燃焼直前の酸素濃度と残存溶媒量が共に大きかったことに起因していると考えられる。7段相当の試験では、溶媒蒸気の放出は大きかったが、セル内の酸素量が少なかったので、燃焼の規模は余り上昇しなかった。
- ④ 9段相当の試験では、酸素不足の影響が強まり、セル内に放出された溶媒蒸気放出は多量であったにもかかわらず、燃焼は酸素不足により著しく不完全であり、ボイルオーバー燃焼の規模は制限された。
- ⑤ ボイルオーバー燃焼試験は再現性が悪く、燃焼の規模にばらつきがみられた。この原因はセル内の熱流動が関係していると考えられ、これが再現性の悪い原因になっていると推定される。

(2) 2回目のボイルオーバー燃焼

- ① 2回目のボイルオーバー燃焼は、1回目の鎮火後、約10数秒後に発生する場合が多い。即ち、水相の沸騰は1回目の鎮火後も継続しており、溶媒蒸気の気相放出は続いている。鎮火後、給気ダクトに設置した逆止弁が再開す

ると2回目のボイルオーバー燃焼が起こる可能性がある。したがって、2回目のボイルオーバー燃焼は、セル内に充満した溶媒蒸気量と酸素量に依存すると考えられる。

- ② 1段相当の試験では、2回目のボイルオーバー燃焼の規模は1回目より大きかった。その理由は、セル内に十分な酸素が存在しており、セル内に充満した溶媒蒸気が完全燃焼したものと考えられる。
- ③ 6段相当の試験（BOIL3001）の場合、2回目に極めて大きい規模のボイルオーバー燃焼が発生した。これは、セル内に放出された溶媒蒸気量が多量であり、かつ、給気ダクトを通して空気の流入が大きかったことに起因したためと思われる。
- ④ 7段相当の試験の場合には、溶媒蒸気量の放出量に比較してセル内の酸素量が低く、燃焼が緩和されたと推測される。

表 5. 1 ボイルオーバー燃焼試験の主要結果 (定常燃焼時)

試験 No.	燃焼皿 相当段 数	溶媒 消費 速度 (g/s)	溶媒 燃焼 速度 (g/s)	燃焼 効率 (%)	H E P A フィルタ 圧力損失	
					圧損 増加量 (kPa)	圧損増加 平均速度 (Pa/s)
BOIL3002	1	0.94-1.2	0.91-1.2	98	0.75	0.208
BOIL20A1	3	3.6-5.3	3.3-4.7	90	1.02	0.568
BOIL4001	5	11 -13	7.8-9.2	72	1.3	0.722
BOIL5001	5	8.9-11	7.6-9.2	84	1.75	0.972
BOIL3001	6	10 -12	5.0-6.5	54	1.41	0.783
BOIL5004	6	9.4-12	7.2-9.2	77	1.9	1.06
BOIL5005	6	8.9-12	7.2-9.4	81	1.64	0.91
BOIL5002	7	15 -17	11-13	76	2.45	1.41
BOIL5003	7	14 -16	10-12	73	2.60	1.44
BOIL3003	9	14 -20	11-15	75	2.70	1.50

表5. 2 ボイルオーバー燃焼試験の主要結果 (ボイルオーバー燃焼時)

試験 No.	燃焼皿 抽出器 相当 段数 (段)	ボイルオ ーバー 燃焼発生 時間 (s)	セル 出口の 酸素 濃度 (v.%)	燃焼 直前の 溶媒量 (推定) (kg)	ボ イ ル オ ー バ ー 燃 焼							
					圧力ピーク 高さ (kPa)		流量ピーク 高さ (m^3/s)		第1ダクトの排ガス 温度上昇 (TC25, °C)			
									1回目		2回目	
					1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目
B0IL3002	1	4230	20.5	4.5	0.5	1.9	0.07	0.22	105 → 220	110 → 455	0.7	
B0IL20A1	3	4100	17.7	5.5	2.2	—	0.22	—	320 → 640	—	2.25	
B0IL4001	5	2620	9.4	12.6	0.7	—	0.09	—	540 → 625	—	4.83	
B0IL5001	5	3040	10.7	12.1	1.0	—	0.09	—	520 → 614	—	4.75	
B0IL3001	6	2790	12.0	22.5	2.3	9.8	0.30	0.53	550 → 630	550 → 760	8.29	
B0IL5004	6	3245	11.6	16.7	2.9	*	0.26	*	540 → 632	550 → 602	7.57	
B0IL5005	6	3080	11.7	18.6	4.5	—	0.33	—	528 → 623	—	8.3	
B0IL5002	7	(2600)	3.5	*	**	—	**	—	**	—	12.23	
B0IL5003	7	2920	5.2	16.6	3.2	6.5	0.27	0.28	664 → 690	640 → 744	14.77	
B0IL3003	9	2500	1.5	32.3	2.6	—	0.28	—	700 → 703	—	19.96	

(**) B0IL5002では、ボイルオーバー燃焼が発生する前にインターロック作動により強制鎮火した。

(*) B0IL5004では、ごく弱い2回目のボイルオーバー燃焼が発生した。

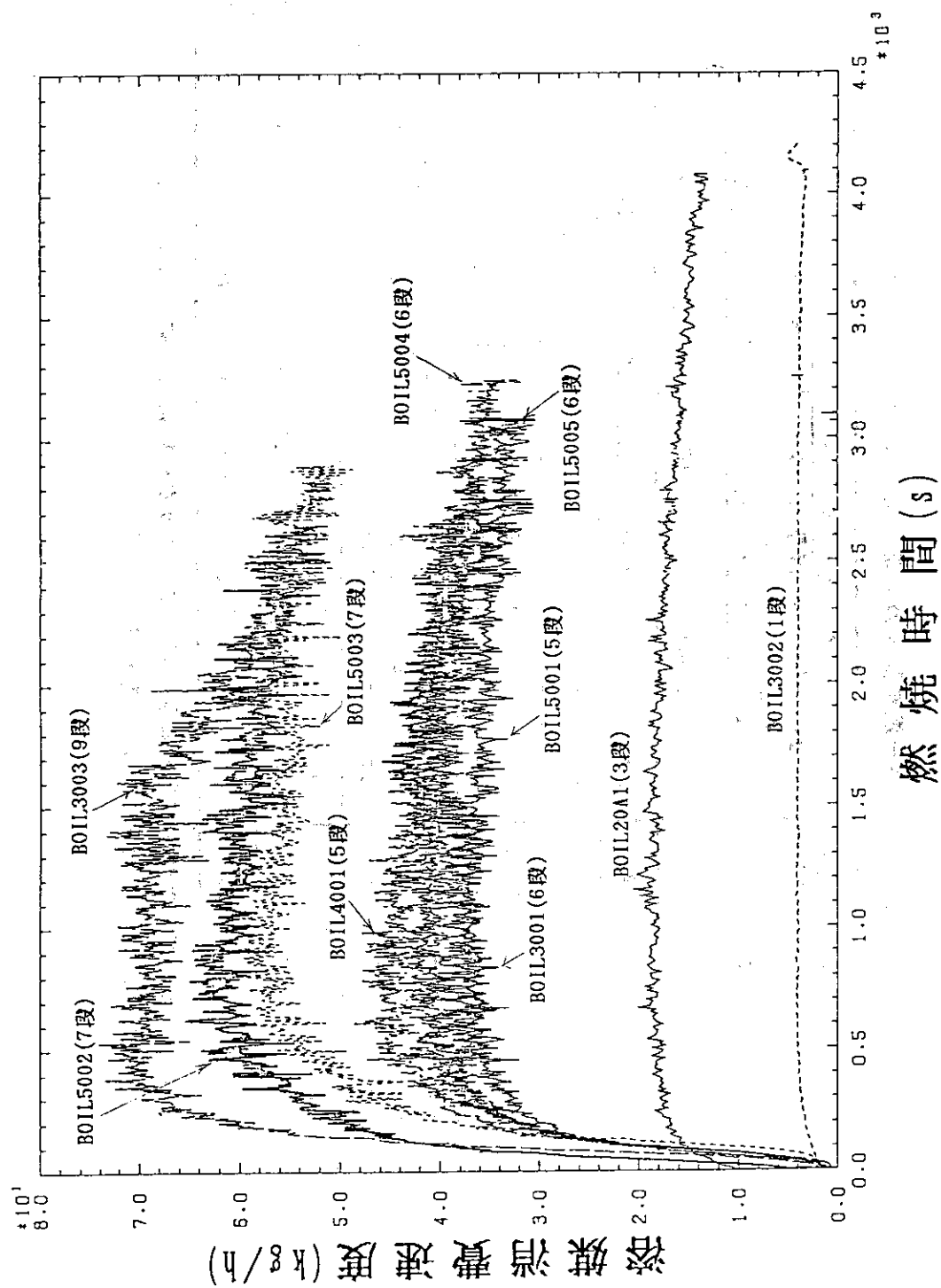


図 5.1 ポイルオーバー燃焼試験における溶媒の消費速度 (kg/h)

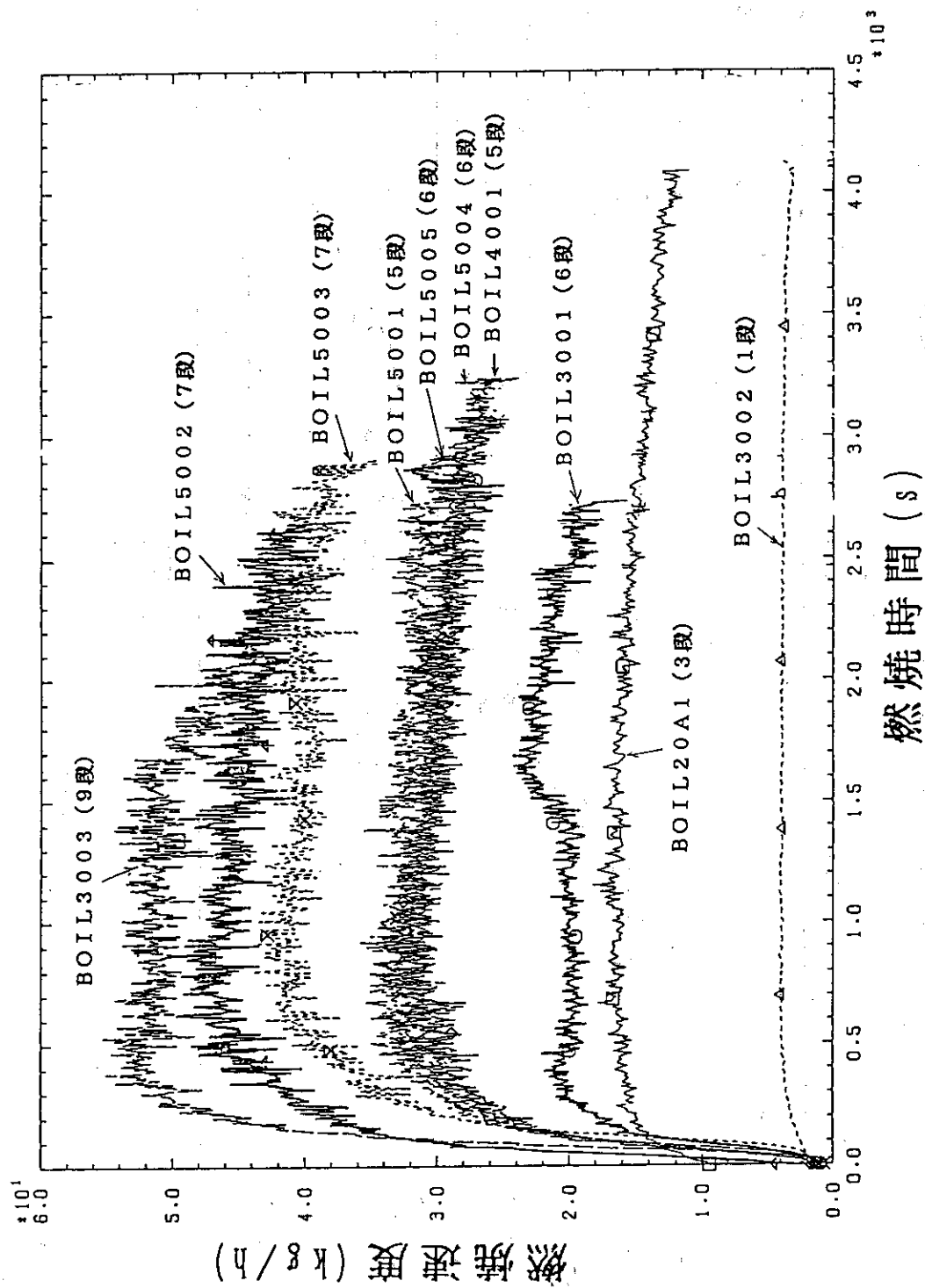


図5.2 燃焼速度の燃焼皿相当段数 (1~9段) による比較

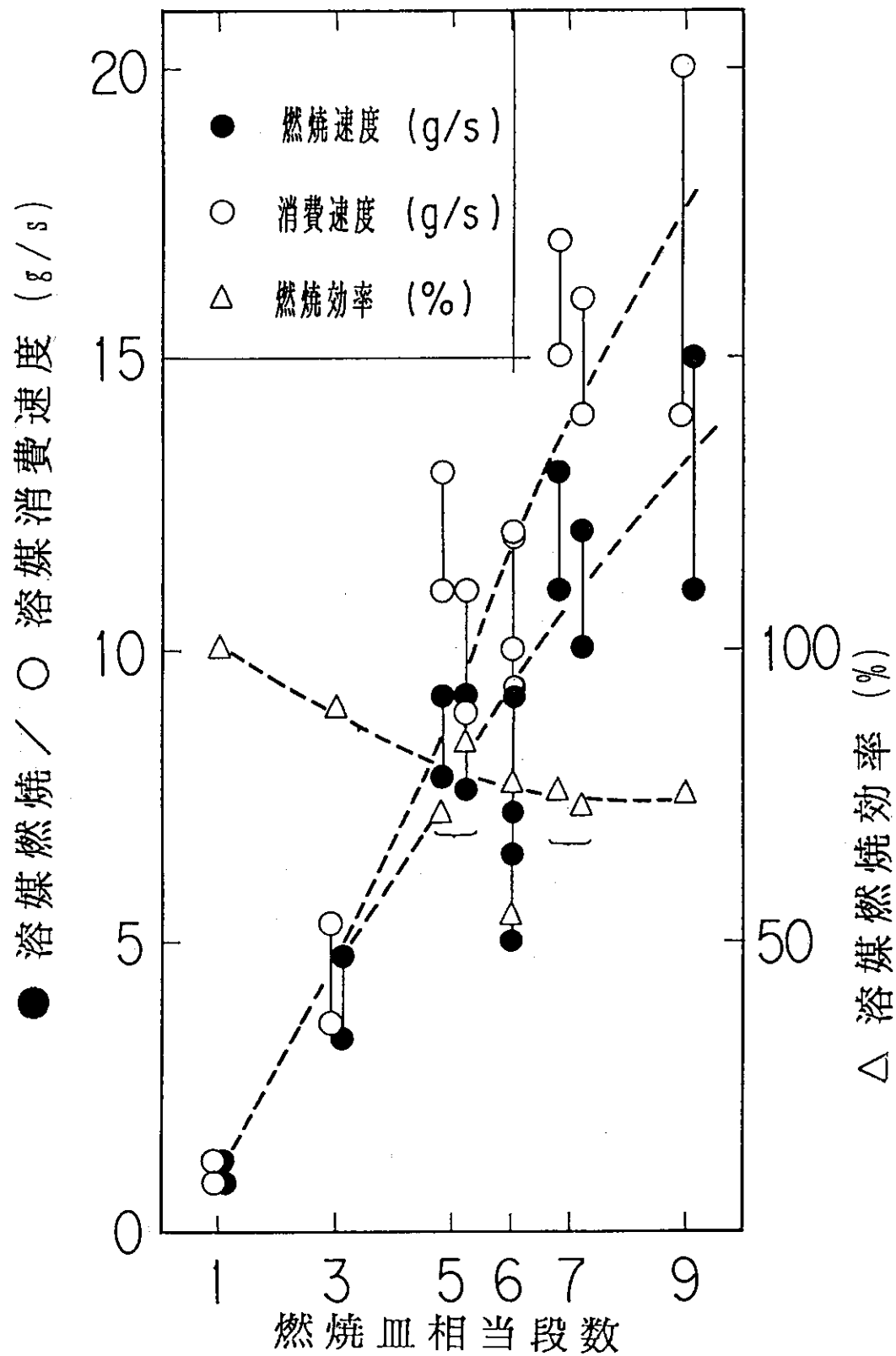


図5.3 溶媒燃焼・消費速度、燃焼効率と燃焼皿相当段数との関係

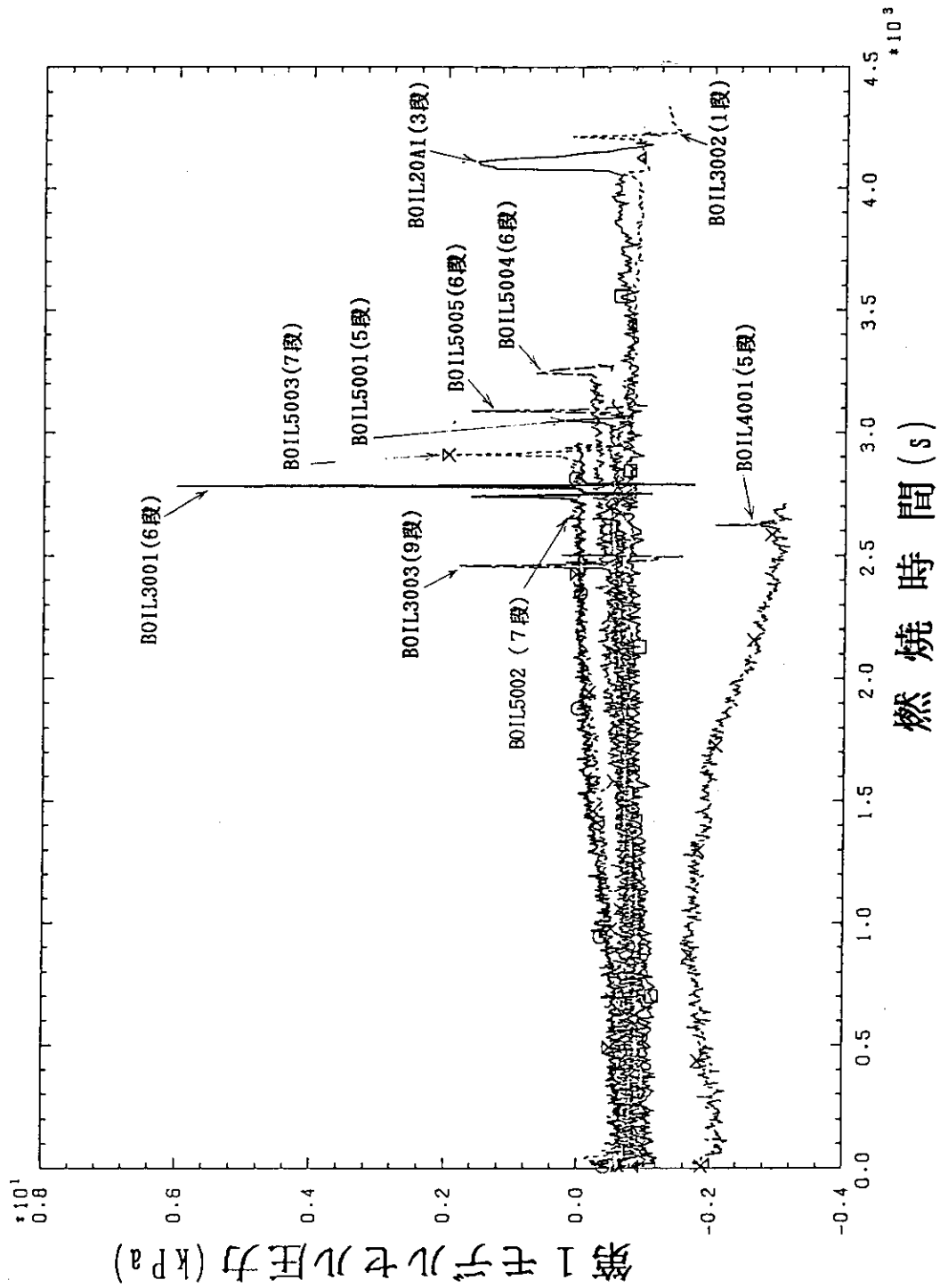


図5.4 ポイルオーバー燃焼試験における第1モデルセル内気相 (ゲージ) 圧力 (kPa)

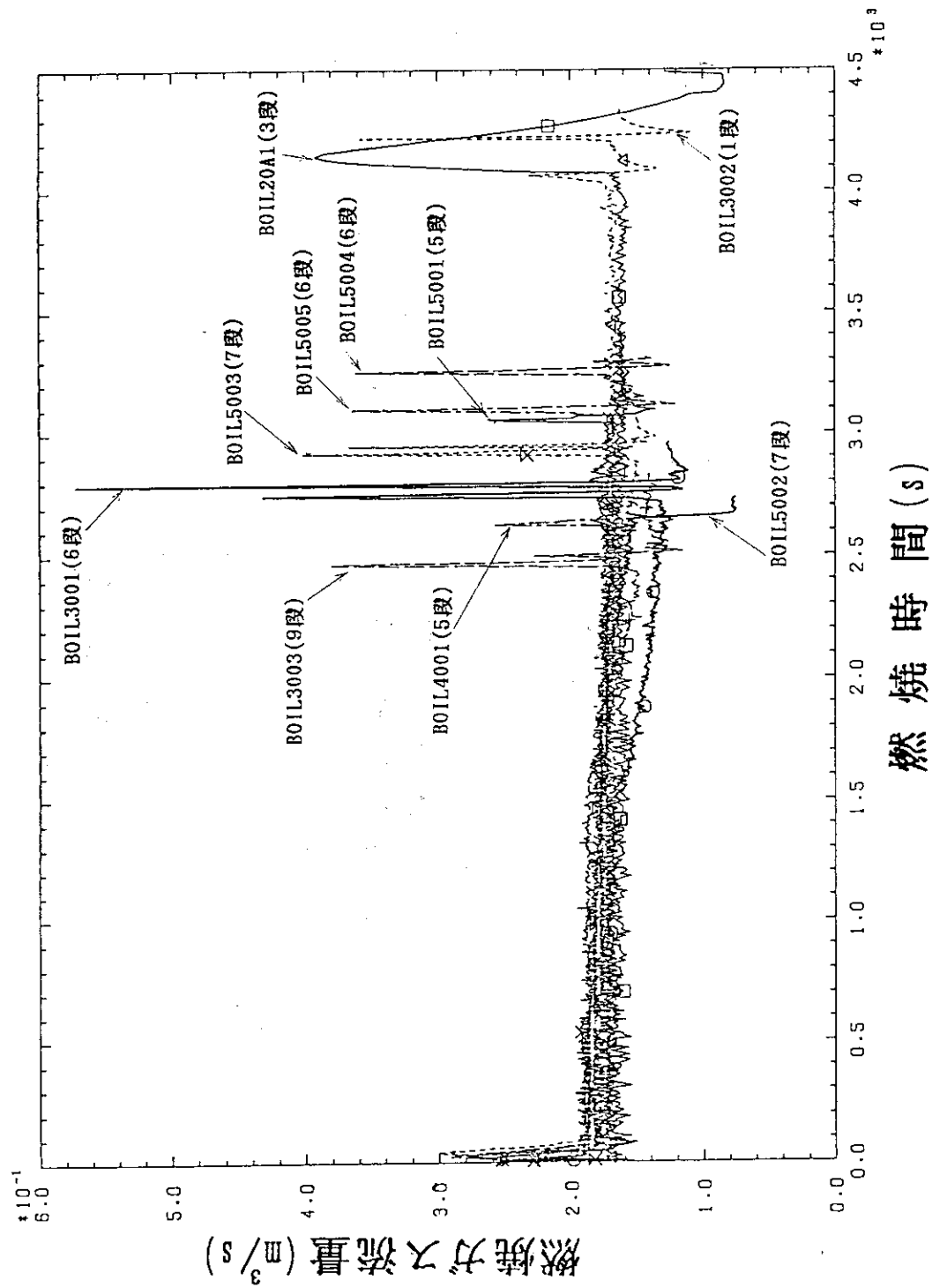


図 5.5 ボイルオーバー燃焼試験における第2ダクト内燃焼ガス流量 (m^3/s)

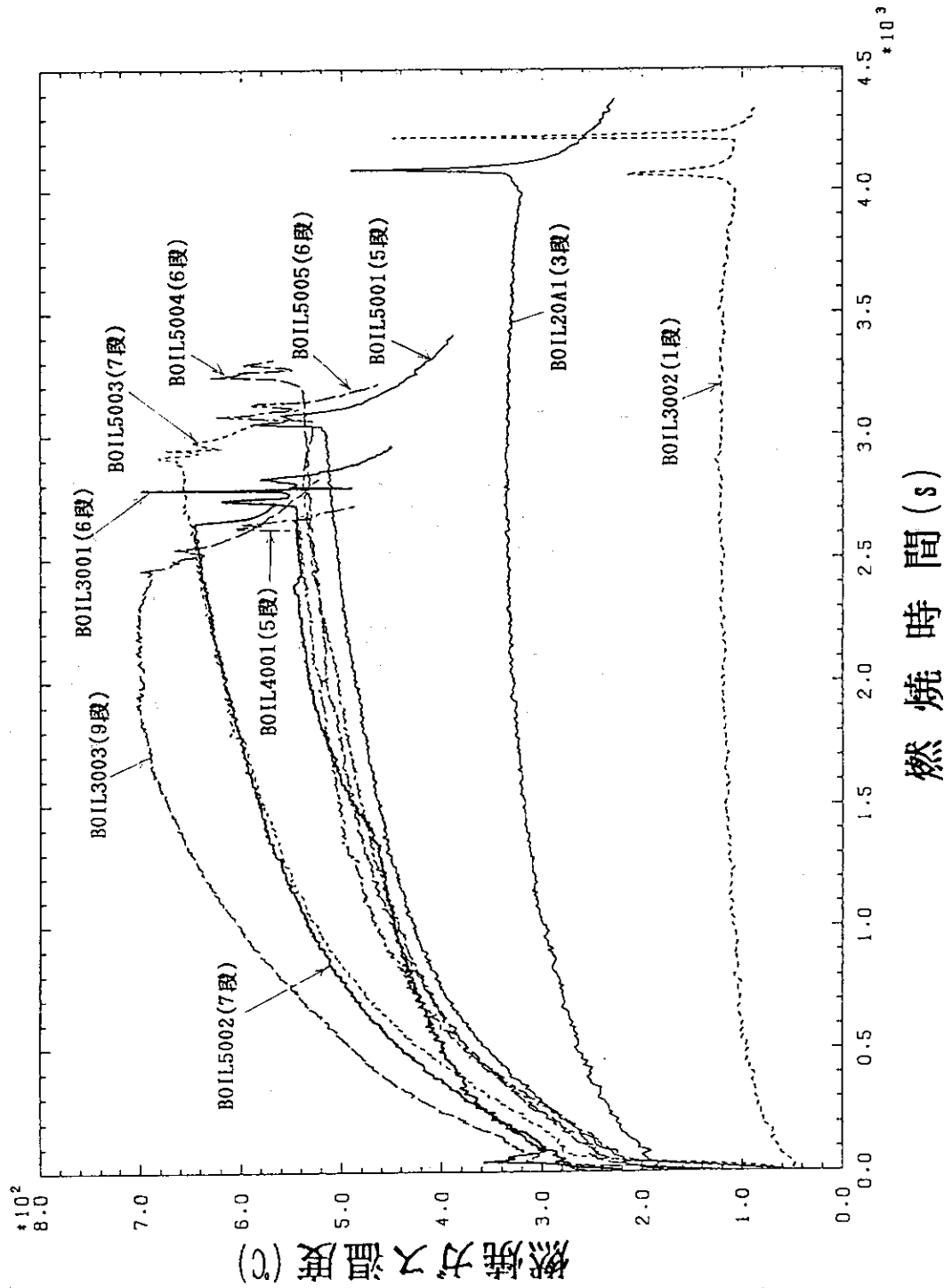


図 5. 6 ボイルオーバー燃焼試験における第1ダクト内燃焼ガス (°C)

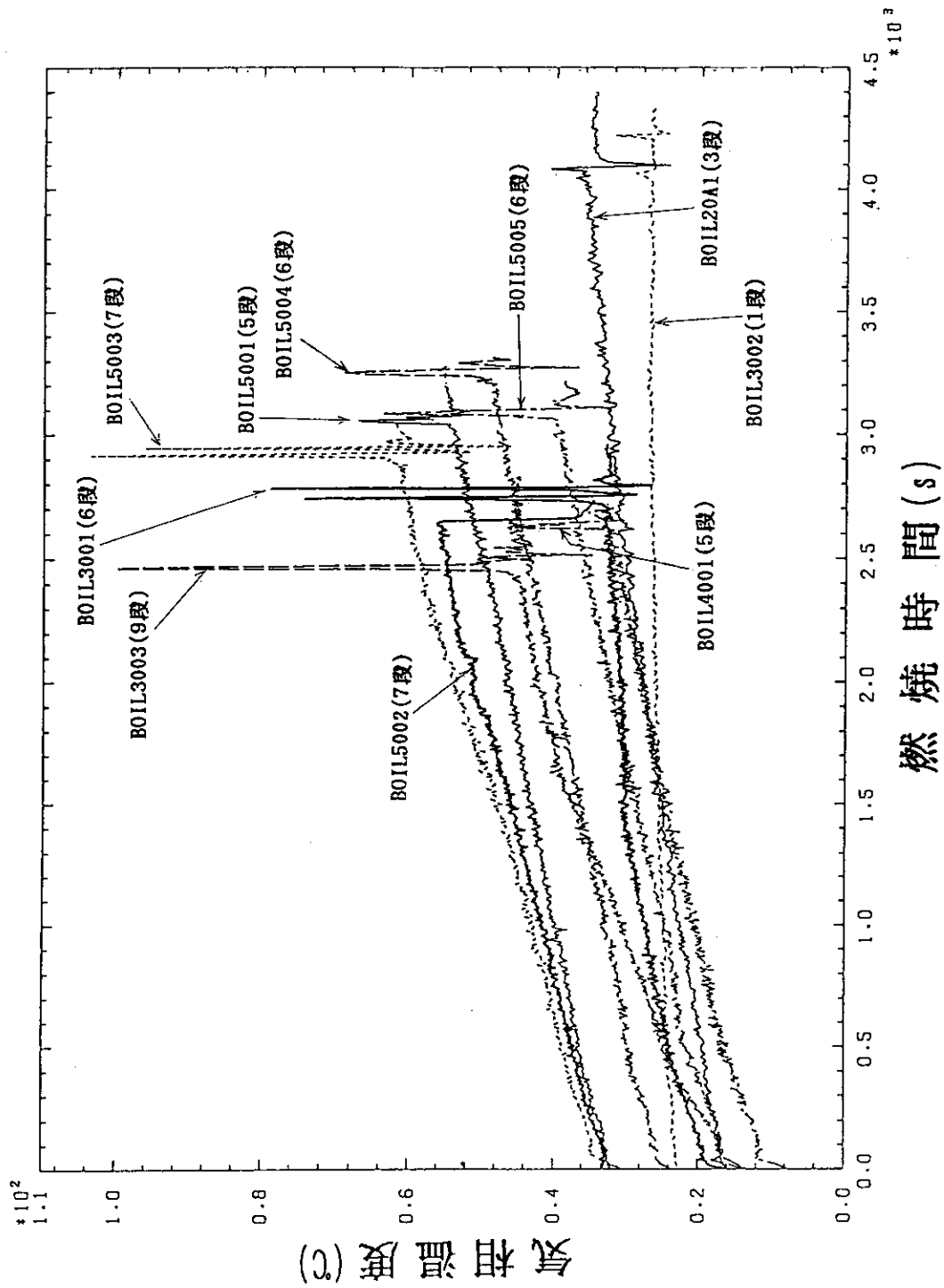


図5.7 ボイルオーバー燃焼試験におけるHEPA フィルタチェンバー内気相温度 (°C)

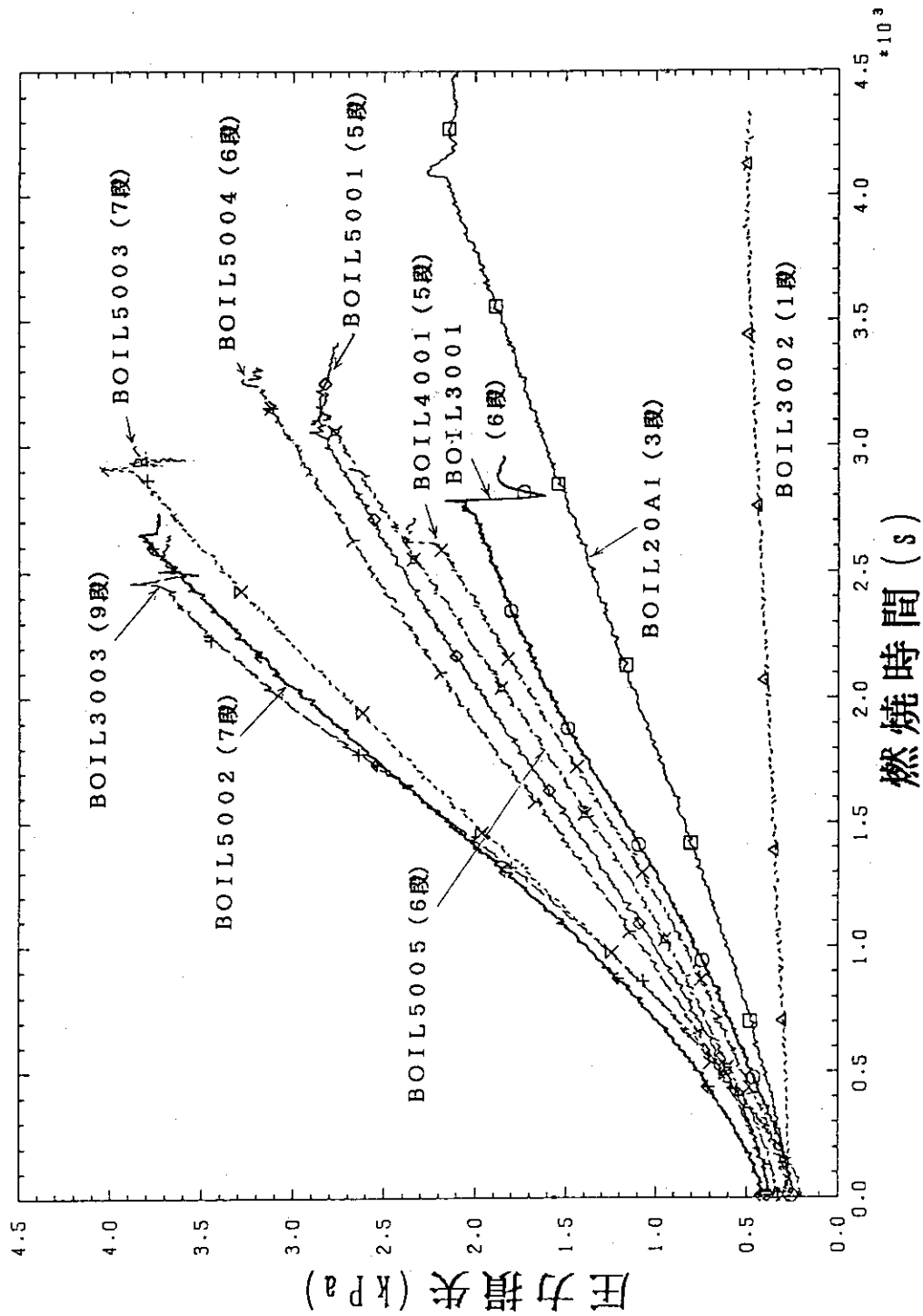


図5.8 HEPA フィルタ圧力損失の増加と燃焼皿相当段数

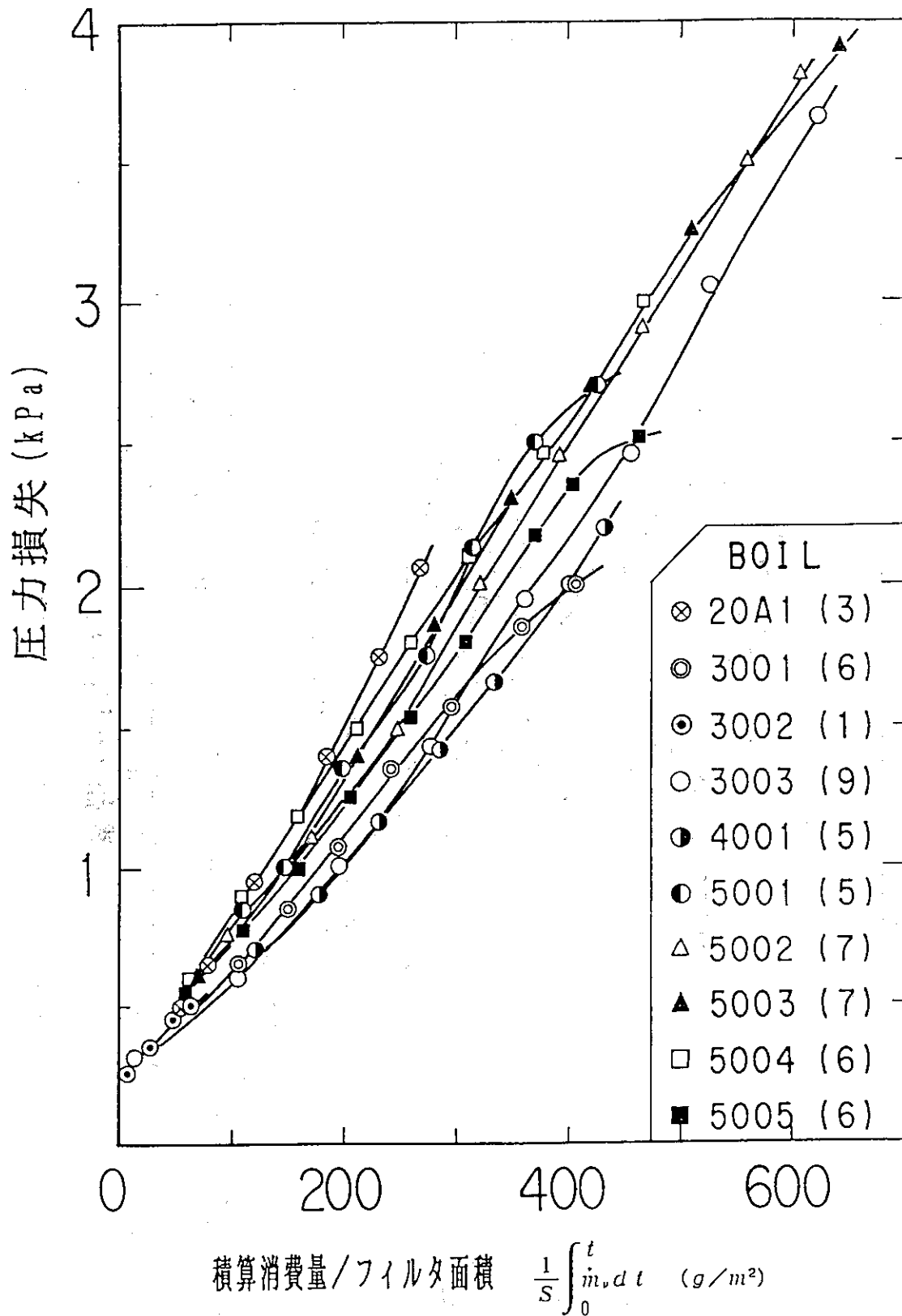


図5.9 HEPAフィルタの圧力損失と溶媒の積算消費量（定常燃焼）

S : フィルタの濾過面積（ハーフサイズフィルタ6台 = 67.8 m²）

$\dot{m}_v$: 溶媒消費量 (g) t : 燃焼時間 (s)

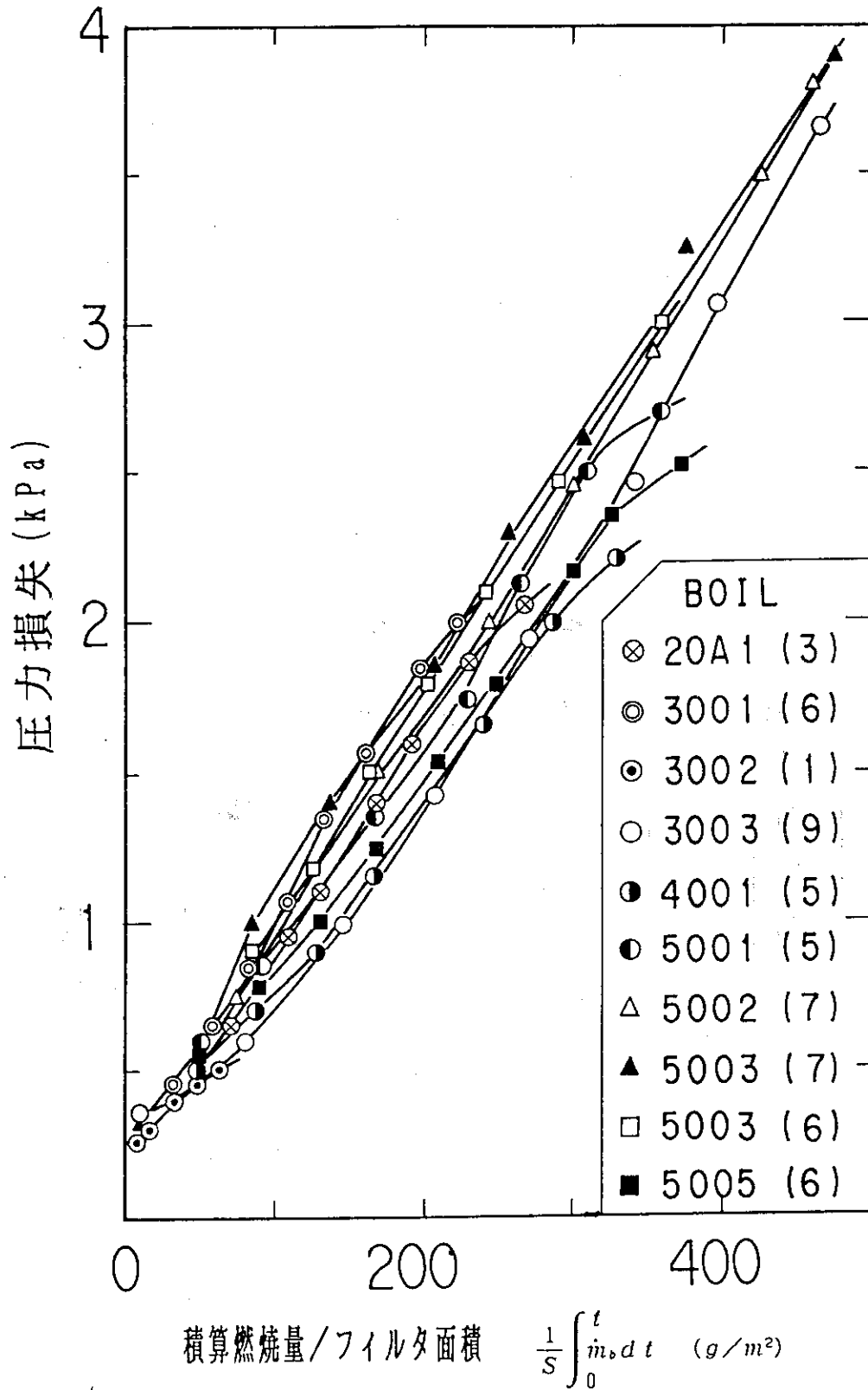


図 5.10 HEPAフィルタの圧力損失と溶媒の積算消費量 (ボイルオーバー燃焼)

S : フィルタの濾過面積 (ハーフサイズフィルタ 6 台 = 67.8 m²)

$\dot{m}_v$: 溶媒消費量 (g) t : 燃焼時間 (s)

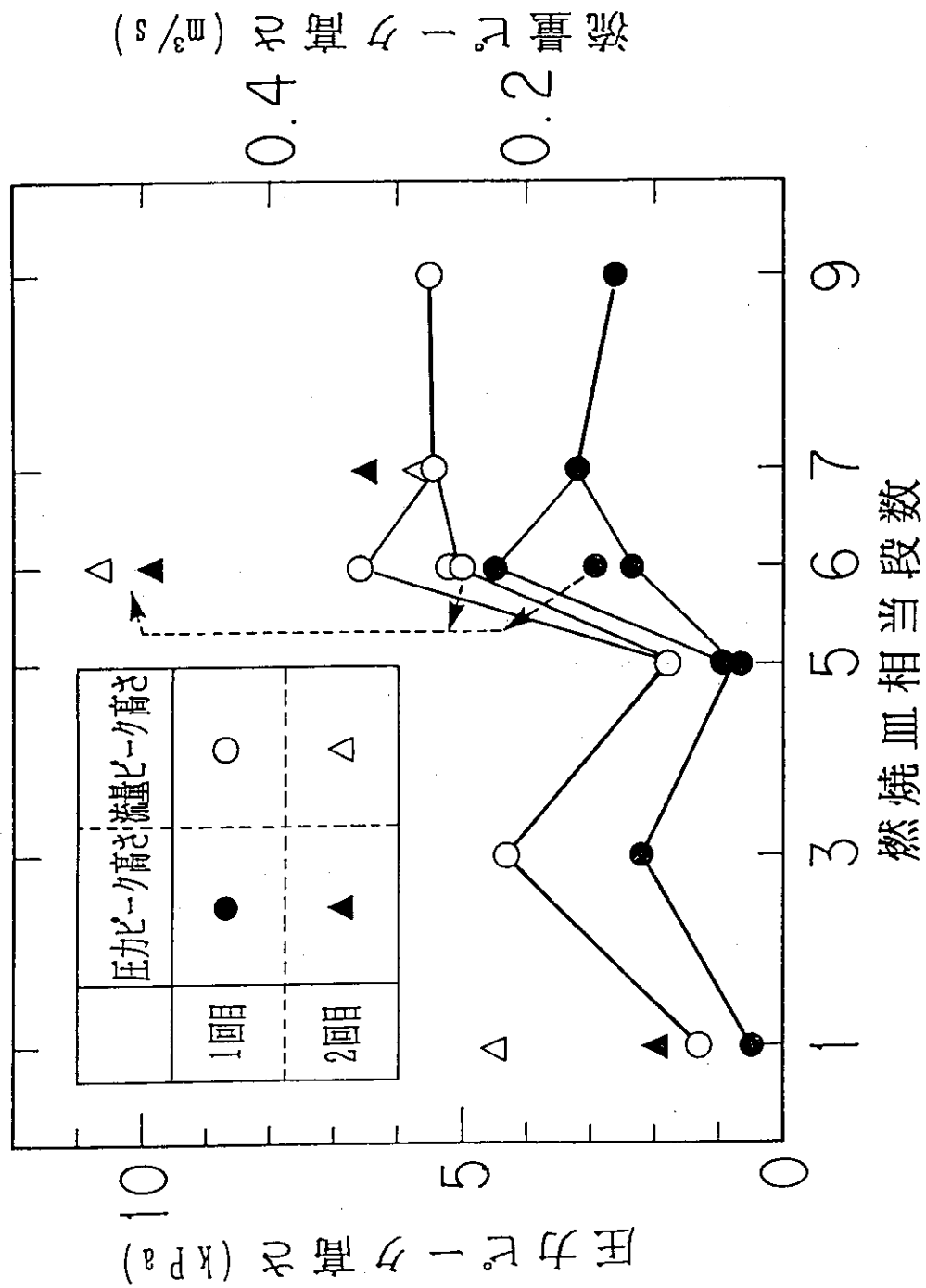


図5.1.1 ポイルオーバー燃焼における圧力と流量のピーク高さの比較

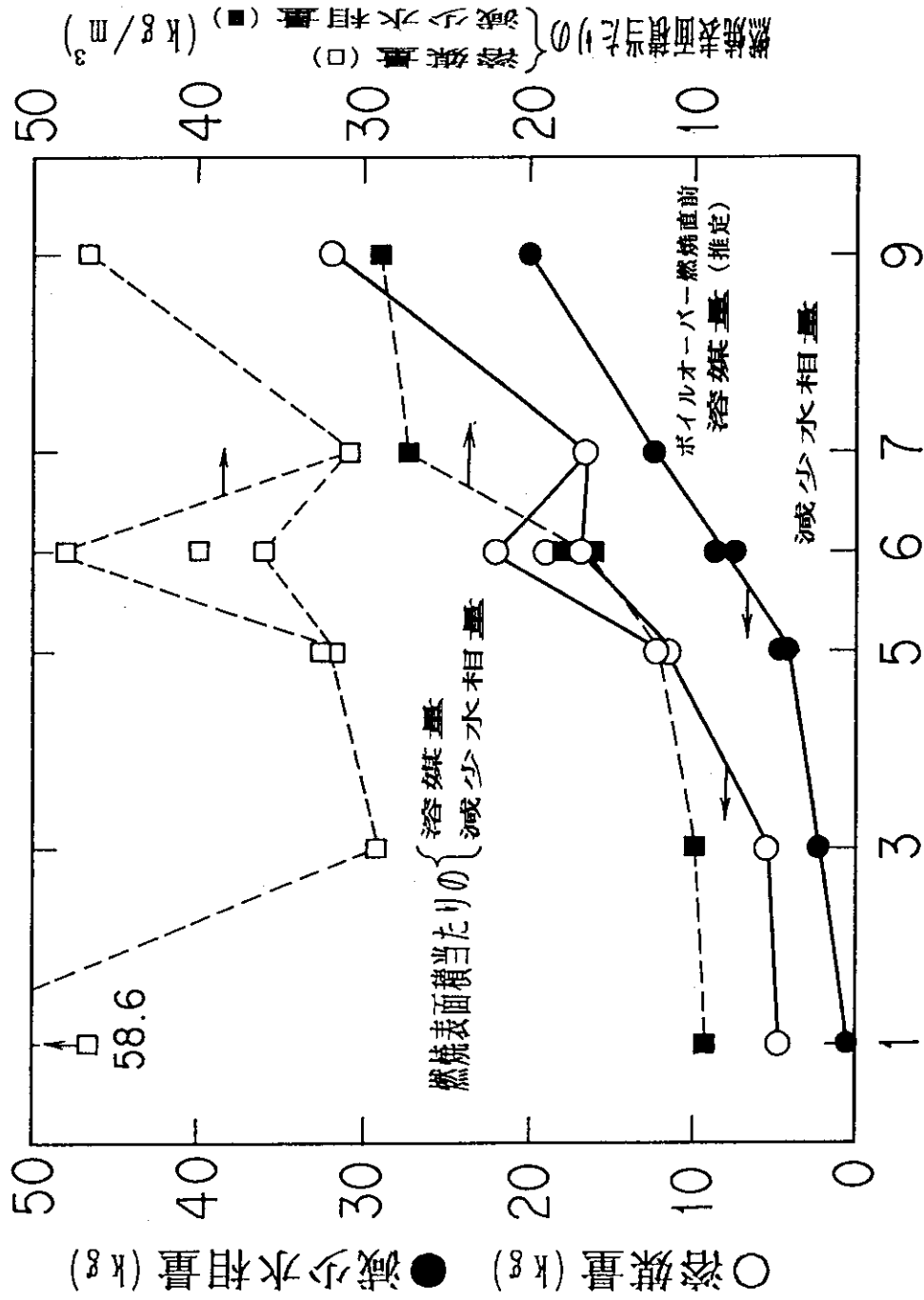


図5.1.2 ボイルオーバー燃焼発生直前の推定溶媒量, 燃焼試験による水相減少量, 及びそれらの燃焼表面積当たりの値の, 相当段数による変化

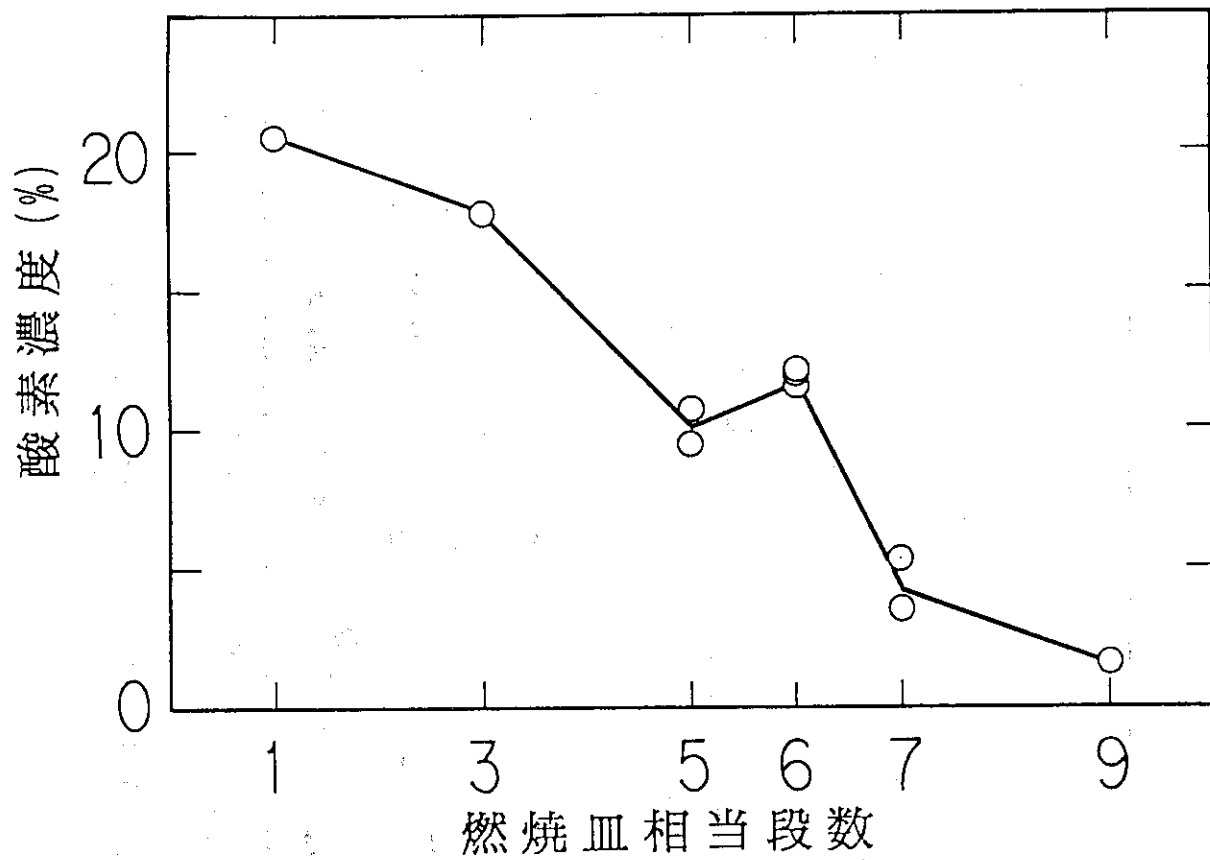


図5.13 ボイルオーバー燃焼直前排気ガス中（第1ダクト）酸素濃度（%）

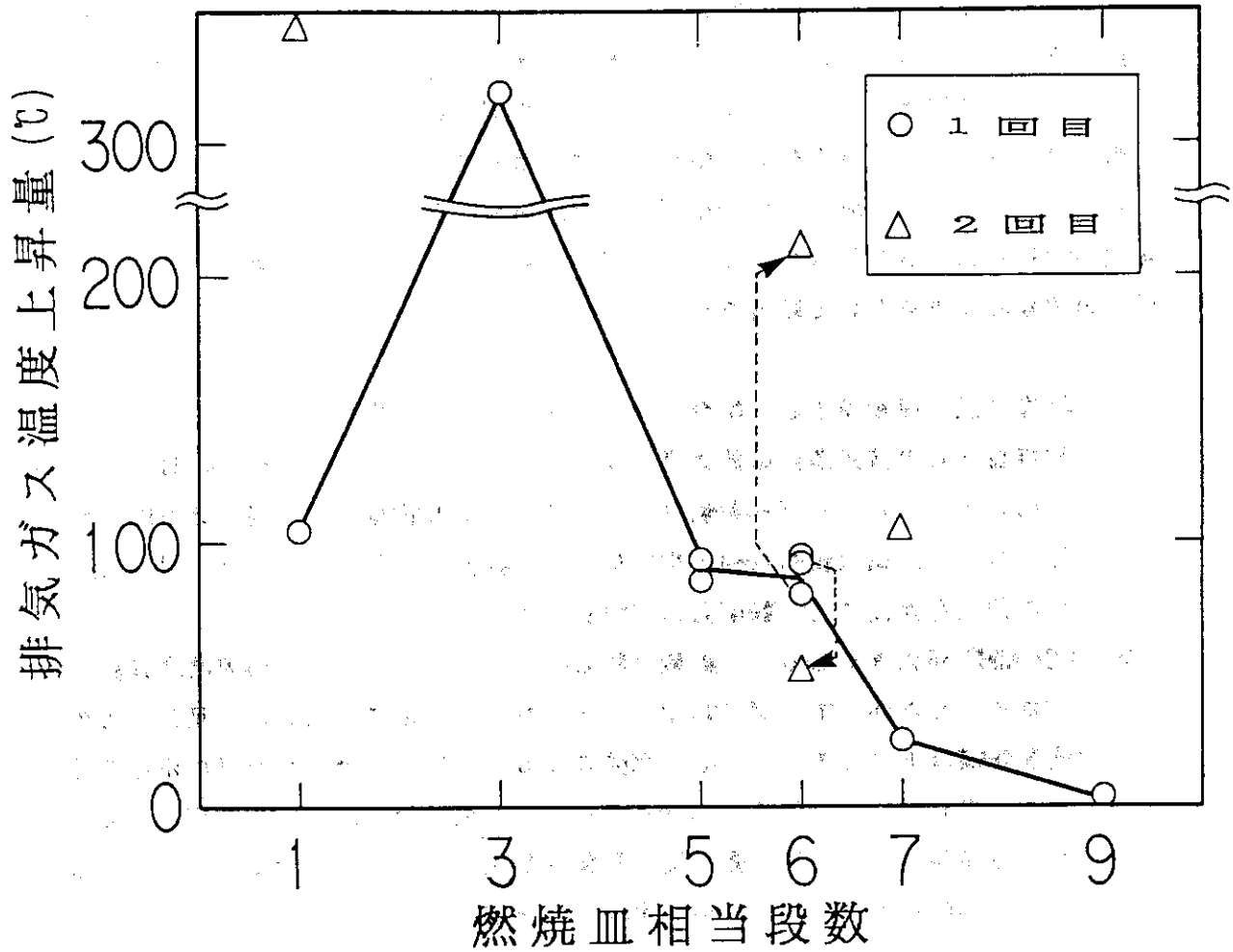


図5.14 ボイルオーバー燃焼による第1ダクト内排気ガス温度の上昇幅 (°C)

6. ま と め

再処理施設のセル内で溶媒火災に伴うボイルオーバー燃焼が発生した場合でも、セル換気系の安全性が確保されることを実証するため、「セル換気系実証試験装置」を用いてボイルオーバー燃焼試験を実施した。試験では、溶媒火災時の定常燃焼の挙動とボイルオーバー燃焼の挙動、及びボイルオーバー燃焼の規模を燃焼面積をパラメータにして実施した。ボイルオーバー燃焼の規模は、セル内の酸素量と溶媒ガス濃度のバランスにより変化し、燃焼の条件によっては数回の燃焼が発生する可能性がある。さらに、試験ではセルやダクト内の温度、圧力、流速の伝播と減衰及び煤煙の負荷によるHEPAフィルタの差圧上昇を測定した。以下にボイルオーバー燃焼の規模に重点をおいて結論をまとめた。

- ① 溶媒の燃焼面積が小さい場合には、酸素濃度はセル内に十分存在しているが、燃焼皿からの溶媒蒸気の放出量は少く、ボイルオーバー燃焼の規模は低い。
- ② 1回目のボイルオーバー燃焼が終了すると、セル内は酸素不足により鎮火する。しかし、鎮火後も水相の沸騰による溶媒蒸気の放出は続いており、給気口の逆止弁が開くと溶媒蒸気は再着火する。
- ③ 燃焼面積が大きくなると、溶媒の燃焼量が大きくなりセル内の熱流動が激しくなる。したがって、ボイルオーバー燃焼を引き起こす酸素が不足し、その燃焼規模は低くなる。しかし、燃焼皿が6段相当の場合、2回目のボイルオーバー燃焼の規模は極めて大きくなった。この原因は、1回目のボイルオーバー燃焼後、セル内に多量の溶媒蒸気が放出されたこと、給気ダクトを通して空気の給気が大きくセル内に酸素が多量に存在したためと思われる。
- ④ 燃焼面積がさらに大きくなると、セル内の溶媒蒸気は多量に存在することになるが、セル内の酸素量は少なくなる。従って、ボイルオーバー燃焼の規模は小さくなる。9段相当の試験では、さらにその傾向が強まり、ボイルオーバー燃焼は著しく不完全になった。

謝 辞

この報告書は、日本原子力研究所が科学技術庁から委託を受けて実施した「再処理施設セル換気系安全性実証試験」のうち、溶媒火災に伴うボイルオーバー燃焼試験の結果を纏めたものである。本実証試験の遂行にあたり、「再処理施設セル換気系安全性実証試験検討委員会（金川昭委員会会長）」において、実証試験の計画、試験方法、試験結果についてご検討を頂いた。ここに厚く感謝する。

文 献

- (1) 西尾、橋本 "再処理施設の溶媒火災に関する安全性実証試験",
JAERI-M 89-032 (1989)
- (2) 高田、小池、塚本、西尾、木谷、宇野、鴨志田、渡邊、橋本
"再処理施設における溶媒火災事象の安全性実証試験",
JAERI-M 91-145 (1991)
- (3) 塚本、高田、小池、西尾、木谷、宇野、鴨志田、渡邊、橋本
"再処理施設における溶媒火災事象の安全性実証試験 (I I)",
JAERI-M 92-047 (1992)
- (4) 高田、小池、塚本、西尾、木谷、宇野、鴨志田、渡邊、橋本
"再処理施設における溶媒火災事象の安全性実証試験 (I I I)",
JAERI-M 92-048 (1992)
- (5) 西尾、山崎 "再処理施設における溶媒火災時の安全性解析コードFACE",
JAERI-M 91-144 (1991)
- (6) G.Nishio, S.Machida "Pool Fires under Atmosphere and Ventilation in Steady-State Burning (Part I)",
Fire Technology, Vol.23, No.2, pp.146, (1987).
- (7) G.Nishio, S.Machida "Pool Fires under Atmosphere and Ventilation in Steady-State Burning (Part II)",
Fire Technology, Vol.23, No.3, pp.186, (1987).
- (8) K.Hashimoto and G.Nishio, et al., "Aerosols Released in Accidents in Reprocessing Plants", Nuclear Technology, Vol.81, pp.278, May (1988).
- (9) G.Nishio and K.Hashimoto, "Release of Radioactive Materials in Simulation Tests of a Postulated Solvent Fire in a Nuclear Fuel Reprocessing Plant", Nuclear Technology, Vol.88, pp.213, Dec. (1989).
- (10) G.Nishio, M.Suzuki, S.Mukaide, et al., "Safety Demonstration Tests of Hypothetical Explosive Burning in the Cell and Air-Ventilation System in a Nuclear Fuel Reprocessing Plant",
Nuclear Technology, Vol.95, pp.325, Sep. (1991).
- (11) M.Suzuki, G.Nishio, J.Takada, et al., "Experimental Analysis on Factors Dominating the Explosive Burning of Solvent in a Cell of a Fuel Reprocessing Plant", Nucl.Eng.and Desi. Vol.135, pp.287, (1992)
- (12) K.Hashimoto, G.Nishio, K.Soda, "Fire Behavior and Filter Plugging

during a Postulated Solvent Fire in the Extraction Process of a Nuclear Fuel REprocessing Plant", Nuclear Technology, Vol.101, 218-226, Feb. 1993.

- (13) G.Nishio and N.Yamazaki, "Development of the Computer Code FACE to Evaluate the Safety of an Air-Ventilation System during Postulated Solvent Fire in a Nuclear Fuel Reprocessing Plant", Nuclear Technology, to be published.