

もんじゅナトリウム漏えい事故の原因究明

— ナトリウムによる漏えい速度、漏えい形態の確認実験 —

1996年11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下さい。

〒311-13 挨城県東挨城郡大洗町成田町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

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to : Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-machi, 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) 1996



もんじゅナトリウム漏えい事故の原因究明 —ナトリウムによる漏えい速度、漏えい形態の確認実験—

下山 一仁※ 西村 正弘※ 宇佐美 正行※²
宮原 信哉※ 三宅 収※ 田辺 裕美※

要旨

「もんじゅ」2次主冷却系でのナトリウム漏えい事故の原因究明の一環として、動燃大洗工学センターのナトリウム漏洩火災基礎試験装置 SOFT-1 を用いた燃焼実験を2回実施した。本実験の目的は、破損した温度計からのナトリウムの漏えい速度と漏えい形態の確認、温度計周辺の配管保温構造とフレキシブルチューブへの影響の確認、及び温度計の温度履歴の「もんじゅ」との比較である。

漏えい速度は、実験に用いた模擬温度検出器の流路が確保された条件で $56(\pm 2)g/sec$ が得られた。この漏えい速度を「もんじゅ」事故当該部に補正し $53g/sec$ の値を得た。ただし、熱電対ウェル先端アニュラス部の流路断面積は公称寸法を、また漏えいナトリウムの加圧圧力は漏えい期間中の最高圧力値 $1.65kg/cm^2G$ とした。

漏えい形態について、特に初期の挙動は温度検出器コネクタとフレキシブルチューブの接続状態が漏えいナトリウムの落下の様子に影響を与える。第1回実験では、「もんじゅ」事故後に現場で確認された状況に合わせて、チューブを始めから外して実験を開始したのに対し、第2回実験では接続した状態で実験を開始した。第2回実験では、漏えい開始から17秒後にチューブをコネクタのエルボ部に固定するふくろナットによる接続が外れて、第1回実験の初期状態と同じになった。接続が外れるまでの漏えい形態は、エルボ部継ぎ目からの液滴の飛散やチューブの被覆を貫いて流線状の流れが特徴的であったのに対し、接続が外れてからの漏えい形態は、チューブの内外を伝って最下端部から連続的に滴下する流れが主流であり、時折散発的にエルボ部付近からの飛散が見られた。

配管保温構造（外装板等）への影響については、第1回実験においてコネクタのエルボ部に近い部分の外装板に腐食による穴が開いたが、第2回では特に穴等の損傷は見られず、その差はナトリウム漏えい時間の違いによると考えられる。

温度検出器の熱電対信号は、「もんじゅ」の当該温度と極めて良く似た挙動が得られ、ナトリウムの流出と熱電対信号履歴の関係を十分説明できることが確認できた。

※ 大洗工学センター 安全工学部 プラント安全工学室

※2 核物質管理部 輸送対策室

Investigation on the Sodium Leak Accident of Monju
- Sodium Leak Test Simulating the Monju Leak -

Kazuhito SHIMOYAMA[※], Masahiro NISHIMURA[※], Masayuki USAMI^{※2},
Shinya MIYAHARA[※], Osamu MIYAKE[※], and Hiromi TANABE[※]

Abstract

Sodium fire experiments were carried out two times using the Sodium Fire Test Rig (SOFT-1) in the Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corp (PNC) as a part of works to research the cause of the accident in secondary main cooling system of Monju. The purposes of these experiments are to confirm the leak rate and leakage form of sodium from damaged thermometer, to confirm the damage to the piping insulating structure around the thermometer and to the flexible tube, and to compare the temperature history of the signal from the thermometer between the experiments and Monju.

In the experiments $56(\pm 2)$ g/sec was obtained as the leak rate under the condition of ensuring the leakage pass in the simulated thermometer. This leak rate was corrected to 53g/sec to take account of manufacturing error of the thermometer between the experiment and Monju. In calculation of this leak rate, it is assumed that the annulus size of thermometer well tip is a nominal distance and pressure value to the leakage sodium is $1.65\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$, which was the maximum one during the leakage of Monju.

Concerning the leakage form, connection condition between the thermometer and flexible tube affected the dropping style of the leaking sodium especially in its initial behavior. For the connection condition of the thermometer and flexible tube at the beginning of the experiments, the first experiment was started removing the connection to simulate the post accident observation results of Monju, while the second one was started in connected condition. In the second experiment, the connection condition became to be equal with the initial state of the first experiment 17 seconds after the beginning of the leak ; the cap nut which fixed the flexible tube to the elbow connector came off.

Until the connection came off, the typical leakage form was the dispersion from the elbow connector as a droplet and the flow penetrating the covering of the flexible tube as a streamline, while after the connection came off, the leakage form was mainly the flow continuously dropped from the lowest part of flexible tube along inside and outside of the flexible tube.

Concerning about the damage to the piping insulating structure (outer casing, etc.), in the first experiment, a hole opened by the corrosion in the outer casing of the insulator near the elbow connector while it did not in the second experiment. The difference of the leak duration seems to be the reason of this difference.

The behavior of signal from the simulated thermometer was very similar to that of the damaged thermometer in Monju and it was confirmed this temperature history could be sufficiently explained by moving of the temperature contact position of the thermocouple following the runoff of leakage sodium.

※ Plant Safety Engineering Section, Safety Engineering Division Oarai Engineering Center
※2 Transportation Management Office, Nuclear Material Control Division Head Office

目 次

| | Page |
|-------------------------------------|------|
| 1. はじめに | 1 |
| 2. 試験体及び試験装置 | 2 |
| 2.1 試験体 | 2 |
| 2.1.1 温度検出器の細管破断面形状 | 2 |
| 2.1.2 温度検出器の内部構造 | 2 |
| 2.1.3 エルボ及びフレキシブルチューブ | 2 |
| 2.1.4 試験体の予熱設備及び保温構造 | 2 |
| 2.1.5 水による予備試験 | 3 |
| 2.2 試験装置 | 3 |
| 2.2.1 試験セル | 3 |
| 2.2.2 ナトリウム供給設備 | 3 |
| 2.2.3 漏えいナトリウム受け皿 | 4 |
| 2.2.4 排煙処理設備 | 5 |
| 2.2.5 実験計測系 | 5 |
| 3. 実験方法 | 7 |
| 3.1 実験条件 | 7 |
| 3.1.1 ナトリウム温度 | 7 |
| 3.1.2 ナトリウム圧力 | 7 |
| 3.1.3 実験雰囲気中酸素濃度 | 7 |
| 3.2 実験計測 | 7 |
| 3.3 実験方法 | 8 |
| 3.3.1 ナトリウム純度 | 8 |
| 3.3.2 実験装置運転方法 | 8 |
| 3.3.3 キャリアガスブロー | 10 |
| 3.3.4 実験後の観察及び解体検査 | 10 |
| 4. 実験結果 | 11 |
| 4.1 実験経過 | 11 |
| 4.2 Run-B5-1実験 | 11 |
| 4.2.1 漏えいナトリウム量 | 11 |
| 4.2.2 実験計測データ | 12 |
| 4.2.3 ビデオカメラ、赤外線カメラによる映像収録 | 13 |
| 4.2.4 実験後観察 | 14 |
| 4.2.5 実験後解体寸法測定 | 16 |
| 4.2.6 ガス、ナトリウム化合物及びエアロゾルの分析結果 | 17 |

| | |
|---------------------------------------|----|
| 4.3 Run-B5-2実験 | 18 |
| 4.3.1 漏洩ナトリウム量 | 18 |
| 4.3.2 実験計測データ | 19 |
| 4.3.3 ビデオカメラ、赤外線カメラによる映像収録 | 20 |
| 4.3.4 実験後観察 | 21 |
| 4.3.5 実験後解体寸法測定 | 25 |
| 4.3.6 ナトリウム化合物及びエアロゾルの分析結果 | 25 |
| 5. 実験結果の評価 | 27 |
| 5.1 ナトリウム漏えい速度の評価 | 27 |
| 5.1.1 加熱タンク連続式液面計の校正 | 27 |
| 5.1.2 Run-B5-1実験ナトリウム漏えい流量 | 27 |
| 5.1.3 Run-B5-2実験ナトリウム漏えい流量 | 28 |
| 5.1.4 ナトリウム漏えい流量と水による漏えい流量校正試験の比較 | 29 |
| 5.1.5 もんじゅ事故当該部からのナトリウム流量の推定 | 29 |
| 5.1.6 ナトリウム漏えい流量低下の原因 | 30 |
| 5.2 温度検出器熱電対の温度履歴とナトリウム漏えい挙動の評価 | 32 |
| 5.2.1 温度検出器熱電対の信号処理装置 | 32 |
| 5.2.2 もんじゅ当該熱電対と漏えい実験プロセス熱電対挙動 | 32 |
| 5.2.3 漏えい実験プロセス熱電対の温度計測位置の移動 | 32 |
| 5.3 ナトリウム漏えい形態の評価 | 33 |
| 5.3.1 温度計ウェル段付部位での破損に伴う微小ナトリウム漏えいの可能性 | 34 |
| 5.3.2 フレキシブルチューブからのナトリウム漏えい | 34 |
| 5.3.3 フレキシブルチューブ最下端からの棒状ナトリウム漏えい | 34 |
| 6. まとめ | 36 |
| 7. 謝 辞 | 38 |
| 8. 参考資料 | 39 |

| | |
|------------------------------|------------|
| 添付資料-1 「ナトリウム漏えい実験時の時間経過」 | 付1-1～付1-5 |
| 添付資料-2 「ナトリウム漏えい実験時のビデオ映像分析」 | 付2-1～付2-3 |
| 添付資料-3 「Run-B5-1実験データ集」 | 付3-1～付3-16 |
| 添付資料-4 「Run-B5-2実験データ集」 | 付4-1～付4-17 |

表リスト

| | Page |
|---|------|
| 表3.1 Run-B5-1実験 データ収録リスト | 40 |
| 表3.2 Run-B5-2実験 データ収録リスト | 41 |
| 表3.3 Run-B5-1実験 ナトリウム中不純物濃度 | 42 |
| 表3.4 Run-B5-2実験 ナトリウム中不純物濃度 | 43 |
| 表4.1 Run-B5-1実験 試験セル内部のガス及びナトリウムエアロゾル分析結果 | 44 |
| 表4.2 Run-B5-1実験 ナトリウムエアロゾル化学形態 | 45 |
| 表4.3 Run-B5-1実験 ナトリウムエアロゾル量 | 45 |
| 表4.4 Run-B5-1実験 ナトリウム化合物形態分析結果 | 46 |
| 表4.5 Run-B5-2実験 計測用熱電対の健全性確認結果（実験後） | 47 |
| 表4.6 Run-B5-2実験 ナトリウムエアロゾル量 | 48 |
| 表4.7 Run-B5-2実験 ナトリウムエアロゾル化学形態 | 48 |

図リスト

| | Page |
|---|------|
| 図1.1 ナトリウム漏えい燃焼模擬実験の全体概要 | 49 |
| 図1.2 ナトリウムによる漏えい速度、漏えい形態の確認実験装置構成 | 50 |
| 図2.1 2次主冷却系の温度計の構造図 | 51 |
| 図2.2 热電対ウェル模擬破断面（写真はRun-B5-2に使用したもの） | 52 |
| 図2.3 試験体温度検出器の断面構造図 | 53 |
| 図2.4 温度検出器内部のナトリウム流路 | 54 |
| 図2.5 試験体へのフレキシブルチューブ取付方法 | 55 |
| 図2.6 ナトリウム漏えい試験体の構造図 | 56 |
| 図2.7 試験体の予熱設備 | 57 |
| 図2.8 実験前後の水による流量校正試験結果 | 58 |
| 図2.9 Run-B5-1実験 SOFT-1試験装置フローシート | 59 |
| 図2.10 Run-B5-2実験 SOFT-1試験装置フローシート | 60 |
| 図2.11 Run-B5-1実験 機器配置図 | 61 |
| 図2.12 Run-B5-2実験 機器配置図 | 62 |
| 図2.13 ナトリウム加熱タンクと連続式液面計測定範囲 | 63 |
| 図2.14 Run-B5-1実験 実験計測用熱電対取付図（1） | 64 |
| 図2.15 Run-B5-1実験 実験計測用熱電対取付図（2） | 65 |
| 図2.16 圧力計、液面計等実験計測位置 | 66 |
| 図2.17 Run-B5-2実験 実験計測用熱電対取付図（1） | 67 |
| 図2.18 Run-B5-2実験 実験計測用熱電対取付図（2） | 68 |
| 図3.1 Run-B5-2実験用純化系鳥瞰図 | 69 |
| 図3.2 Run-B5-2実験に使用したコールドトラップ構造図 | 70 |
| 図4.1 Run-B5-1実験 プロセス熱電対の実験開始直前の断線と復帰 | 71 |
| 図4.2 Run-B5-1実験 計測用熱電対の破損（TF-1H及びTO-1H） | 72 |
| 図4.3 Run-B5-1実験 漏えい開始45秒後のビデオカメラ映像 | 73 |
| 図4.4 Run-B5-1実験 漏えいするナトリウムの形態（赤外線カメラ映像） | 74 |
| 図4.5 Run-B5-1実験 試験体コネクタ部へのナトリウム化合物付着状況 | 75 |
| 図4.6 Run-B5-1実験 損傷した試験体の実験後観察 | 76 |
| 図4.7 Run-B5-1実験 漏えいナトリウム受け皿上のナトリウム堆積物 | 77 |
| 図4.8 Run-B5-1実験 模擬温度検出器の実験後解体検査結果 | 78 |
| 図4.9 Run-B5-1実験 ナトリウム供給配管内の残ナトリウム | 79 |
| 図4.10 Run-B5-1実験 模擬温度検出器の寸法測定結果（1） | 80 |

| | |
|--|-----|
| 図4.11 Run-B5-1実験 模擬温度検出器の寸法測定結果（2） | 81 |
| 図4.12 Run-B5-2実験 ナトリウム加熱タンク温度・圧力、及びナトリウム流量 | 82 |
| 図4.13 Run-B5-2実験 ナトリウム加熱タンク液面計出力（デーカロガとペンレコーダ） | 83 |
| 図4.14 Run-B5-2実験 燃焼部近傍ガス温度計測熱電対の破損 | 84 |
| 図4.15 Run-B5-2実験 ナトリウムの漏えい形態（ビデオカメラ及び赤外線カメラ映像） | 85 |
| 図4.16 Run-B5-2実験 フレキシブルチューブ燃焼部の移動 | 86 |
| 図4.17 Run-B5-2実験 ナトリウム化合物付着状況と電線管内ナトリウム上昇位置 | 87 |
| 図4.18 Run-B5-2実験 試験体外装板及びフレキシブルチューブ損傷状況 | 88 |
| 図4.19 Run-B5-1及びRun-B5-2実験の試験体外装板表面温度の比較 | 89 |
| 図4.20 Run-B5-2実験 試験体外装板から落下したナトリウム化合物 | 90 |
| 図4.21 Run-B5-2実験 フレキシブルチューブ解体検査結果 | 91 |
| 図4.22 Run-B5-2実験 漏えいナトリウム受け皿内堆積物 | 92 |
| 図4.23 Run-B5-2実験 プロセス熱電対の解体検査 | 93 |
| 図4.24 Run-B5-2実験 コネクタ部の解体結果及び損傷したエルボ | 94 |
| 図4.25 フレキシブルチューブとエルボ接続部付近の温度挙動 (Run-B5-2及びRun-B5-2実験の比較) | 95 |
| 図4.26 Run-B5-2実験 ナトリウム供給配管内の残ナトリウム | 96 |
| 図4.27 Run-B5-2実験 実験後の温度検出器解体寸法検査結果 | 97 |
| 図4.28 Run-B5-2実験 ナトリウムエアロゾル採取箇所 | 98 |
| 図4.29 Run-B5-2実験 化学形態分析用試料採取場所 | 99 |
| 図5.1 ナトリウム加熱タンク連続式液面計の校正試験結果（常温） | 100 |
| 図5.2 Run-B5-1実験 ナトリウム加熱タンク連続式液面計出力値から算出した ナトリウム漏えい量と漏えい流量 | 101 |
| 図5.3 Run-B5-2実験 ナトリウム加熱タンク連続式液面計とナトリウム 電磁流量計から求めたナトリウム漏えい量と流量 | 102 |
| 図5.4 Run-B5-2実験 ナトリウム漏えい流量変動と温度検出器コネクタ内部 温度挙動 | 103 |
| 図5.5 Run-B5-1実験 低ナトリウム漏えい流量の考えられる原因と対策 | 104 |
| 図5.6 もんじゅ当該温度検出器及びRun-B5-2実験プロセス温度検出器の温度履歴 | 105 |
| 図5.7 ナトリウム漏えい実験のプロセス温度検出器温度履歴 (上段：Run-B5-1、下段：Run-B5-2) | 106 |
| 図5.8 Run-B5-2実験 プロセス温度検出器とコネクタ及び フレキシブルチューブ内部の温度履歴比較 | 107 |
| 図5.9 Run-B5-2実験 プロセス温度検出器とフレキシブルチューブ内部の温度履歴比較 | 108 |
| 図5.10 Run-B5-2実験 プロセス温度検出器とフレキシブルチューブ外表面の温度履歴比較 | 109 |

1. はじめに

高速増殖原型炉「もんじゅ」2次主冷却系でのナトリウム漏えい事故の原因究明の一環として、漏えいナトリウムやナトリウム化合物の挙動に関する調査を行った。これは破損した温度検出器からのナトリウムの漏えい速度や漏えい形態を明らかにするとともに、漏えいしたナトリウムの燃焼が周囲の機器構造物（換気空調ダクトやグレーチング等）に与える影響を評価する目的で実施したもので、ナトリウム漏えい燃焼模擬実験は3段階に分けて行った。図1.1にその全体概要を示す。第1段階は温度計などナトリウムの漏えい部を局部的に模擬し、漏えい速度、漏えい形態の確認を行った。第2、3段階はさらに模擬空調ダクト、作業用足場材のグレーチング等を設置し、それらの機器構造物への影響について調べた。本報では第1段階の「ナトリウムによる漏えい速度、漏えい形態の確認実験」について述べる。なお第2、3段階の「ナトリウム漏えい燃焼実験－I, II」は、別報告書でまとめられる。

「ナトリウムによる漏えい速度、漏えい形態の確認実験」は、ナトリウム漏洩火災基礎試験装置 (SOFT-1: Sodium Fire Test Rig) を用いて2回実施した。本実験は、破損した温度検出器と同じ構造の試験体からナトリウムを漏えいさせることにより、

- (1) 破損した温度検出器からのナトリウム漏えい速度と漏えい形態の確認
 - (2) ナトリウム燃焼による温度検出器周辺の配管保温構造（特に、外装板）、及び試験体に設置された熱電対の信号ケーブルを保護するフレキシブルチューブに対する熱的影響の確認
 - (3) 温度検出器の熱電対温度履歴を測定し、「もんじゅ」の事故時の温度履歴と比較することによる温度検出器内部のナトリウム漏えい経路とその時間履歴の確認
- の3項目を確認することとした。

第1回目の実験 (Run-B5-1) を1996年2月15日に、第2回目の実験 (Run-B5-2) を同3月28日に行った。実験は図1.2の実験装置構成図に示すナトリウム仕切弁を開いて試験体にナトリウムを供給し、模擬温度検出器からのナトリウムの漏えいを開始した。漏えいナトリウムの圧力、温度は、「もんじゅ」のナトリウム漏えい事故発生時のプラント状態に合わせた。漏えい部の圧力損失係数、及びそのプラント状態から求めた漏えい流量は約50g/secである^[2]。第1回目の実験結果の漏えい流量はその約1/3程度（平均17g/sec）と小さかった。その原因を特定することはできなかったが、金属片等の異物混入が原因である可能性が極めて低いことから、ナトリウム供給配管内の残留空気等によるナトリウム中の不純物が試験体の低温部に析出して流路を狭めた可能性が高いと判断した。その経験を反映し、第2回目の実験では、実験前のナトリウム純化運転により試験体に供給するナトリウムの不純物濃度を下げ、またナトリウム供給配管中への空気の侵入を防ぐためのガスページ方法を改善して行った。このような経緯でナトリウムによる漏えい実験を2回実施した。

2. 試験体及び試験装置

2.1 試験体

2.1.1 温度検出器の細管破断面形状

「もんじゅ」2次主冷却系の温度計の構造を図2.1に示す。破損したウェル細管付根段付部は、もんじゅ当該箇所の破損した温度検出器を模擬してウェル細管部を長手方向に対して垂直に完全に分離破断した形状とした^[1]。図2.2に試験体のウェル模擬破断面を示す。

2.1.2 温度検出器の内部構造

試験体の温度検出器の断面構造図を図2.3に示す。破損したウェル細管付根段付部から侵入するナトリウムが温度検出器内部を通りコネクタに達するまでの間で、ナトリウム漏えい流量を左右する狭隘部の構造と断面積を図2.4に示す。先端①のアニュラス部（設計ノミナル値： 4.52mm^2 ）が最も狭く、熱電対のアダプタとホルダが密着して流路が確保されない場合は③のキー溝部（設計ノミナル値： 4.15mm^2 ）が最も狭くなる。

2.1.3 エルボ及びフレキシブルチューブ

もんじゅ当該箇所の事故後の観察では、コネクタに接続する45°エルボ（以下、エルボ）とフレキシブルチューブ（以下、チューブ）の間に約40mmのギャップがあり、チューブは熱電対の補償導線にぶら下がる格好で観察されている^[1]。チューブを固定するふくろナット（以下、ナット）は発見されていない。

実験ではこの観察結果を踏まえ、事故当時の温度検出器とチューブは接続されていなかったか、あるいは漏えいするナトリウムの燃焼の影響を受けて漏えい事故中に外れたものか両方の可能性を考えた試験体構成とした。図2.5(1)に示すようにRun-B5-1では、チューブをエルボから取り外し40mmのギャップを設けてその内部の補償導線で固定する方法とし、Run-B5-2では図中(2)に示すように通常の施工法通りチューブをナットでエルボに固定し、他方をもんじゅ当該箇所と同様の配置とした電線管に取り付けた。

2.1.4 試験体の予熱設備及び保温構造

図2.1に示すもんじゅ当該温度計の構造を模擬して^[2]、図2.6に示す下部の1/4断面までを部分的に模擬した試験体を使用した。

試験体（温度検出器）の温度勾配をもんじゅ当該部と同様にするため、図2.7に示すようにナトリウム供給配管（2B）と2次主冷却配管を模擬した取付用平板に予熱設備を施した。

2.1.5 水による予備試験

試験体の温度検出器への加圧圧力と漏えい流量の関連を調べるために水を用いて流動試験を実施した。動粘性係数を出来る限りナトリウムに近づけるため水温を約85°Cまで上げ、加圧圧力を変えてレイノルズ数を変化させ、ナトリウム実験に反映できるようにした。

高温水、及び常温水を用いて行った試験体流量校正試験結果（図2.8参照）から、ナトリウム漏えい実験温度のナトリウム質量流量に換算した結果を以下の表に示す。尚、ここで得られた結果の誤差は10%である。

| | 実験前 (85°C) | 実験後 | |
|-------------|------------|----------|------------|
| | | 85°C | 20°C |
| Run-B5-1試験体 | - | 53 g/sec | - |
| Run-B5-2試験体 | 50 g/sec | 50 g/sec | 53.6 g/sec |

2.2 試験装置

試験装置は、試験セル、ナトリウム加熱タンク、排煙処理装置等から構成される。Run-B5-1、Run-B5-2それぞれの実験のフローシートを図2.9、図2.10に示す。試験体にナトリウムを供給する系統や排煙処理の系統など、両実験で基本的体系に違いは無いが、Run-B5-2ではナトリウム中の不純物濃度を低く抑えるためのナトリウム純化系を増設するとともにキャリアガスラインをナトリウム供給配管の二カ所に接続した。

図2.11にRun-B5-1の機器配置図を、図2.12にRun-B5-2の機器配置図を示す。

2.2.1 試験セル

実験は、ナトリウム漏洩火災基礎試験装置（SOFT-1）を使用して行う。試験セル形状は、縦・横・奥行き各3mの矩形セル（内容積：約27m³）で、鋼板（SS400）製である。また、セル内底部には鋼板製の漏えいナトリウム受皿を二重に設置した。

2.2.2 ナトリウム供給設備

2.2.2.1 ナトリウム加熱タンク

図2.13にナトリウム加熱タンクの断面図、及び連続式液面計の測定範囲を示す。タンクは、上部12B配管、下部8B配管とそれをつなぐレデューサで構成され、その高さは900mmである。タンク上部はフランジ構造で、その内容積は常温時で約50.3lである。

タンクのナトリウム液面を測定するための連続式液面計は、容器底部より70mmから850mmまでの間が有効測定範囲でその内容積は約46.6l（常温時）である。

実験開始直前のタンク内のナトリウム量を以下に示す。Run-B5-1に比べてRun-B5-2のナトリウム量が少ない理由は、ナトリウム不純物濃度を低く抑えるために事前に純化運転し

た際に、純化系に一部移行したためである。

| | 加熱タンク内ナトリウム量 |
|------------|---------------------------|
| Run-B5-1実験 | 約37.5kg (44.9 l at 485°C) |
| Run-B5-2実験 | 約33.8kg (40.4 l at 480°C) |

2.2.2.2 ナトリウム供給系

ナトリウム加熱タンクより試験体までナトリウムを供給する系統で、1/2Bサイズと2Bサイズの2種類の配管からなる。図2.11、図2.12に示すように、系統のほとんどが1/2Bの配管にて占められるが試験体の熱電対ウェル管台取付用平板直前の550mmが2Bである。供給系配管の全長はRun-B5-1が約5.4m、Run-B5-2が約7.6mである。

2.2.2.3 カバーガス供給系

実験中のナトリウム加圧圧力を一定に保つため、ガス供給系にヘッダー（3.7 l 容器を2台）を設けた。ガス供給配管サイズは1/2Bである。

また、ナトリウム供給配管途中はRun-B5-1で1箇所、Run-B5-2で2箇所に実験前後にアルゴンガスをバージするキャリアガス配管を設けた。後者で2箇所に設けた理由は、供給配管内の残留空気を極力減らすためである。配管は全て1/4インチサイズである。

2.2.3 漏えいナトリウム受け皿

漏えいナトリウム受け皿は、第一受け皿（内側）と、第二受け皿（外側）の二重構造とした。

第一受け皿は、Run-B5-1では900mm×900mm、Run-B5-2では1000mm×800mmである。第二受け皿は、Run-B5-1、Run-B5-2とも1800mm×1800mmである。全ての受け皿はその周囲を200mm縁上げしている。Run-B5-1とRun-B5-2とで第一受け皿の寸法が違う理由は、試験体とチューブの接続状態の違いにより、受け皿への飛散状況が異なると予想されたためである。

燃焼形態を確認する上で障害となるナトリウムエアロゾルの発生をできる限り抑制するために、第一受け皿にはナトリウム消火材（ナトレックス）を約100mmの厚さで敷きつめた。このナトレックス面から温度検出器中心部までの高さは、もんじゅの当該温度検出器中心部とその直下にある換気空調ダクトまでの距離850～950mm（配管熱膨張による変化分があるので幅を持っている）^[2]を確保できる高さの950mmとした。

また、その他にそれらの受け皿を支持する架台（450mmH）とそれら全体を受けるキャッチパンを設置した。

2.2.4 排煙処理設備

ナトリウム燃焼時のエアロゾルを試験セル内から極力排除するため、燃焼する直上部にフードを取り付け、排煙ダクトにエアロゾルを導きやすくした。

- ・構成機器 : 排煙スクラバ、HEPAフィルタ、排気プロア等
- ・排気流量 : $50\text{Nm}^3/\text{min}$ (最大)

2.2.5 実験計測系

2.2.5.1 実験計測用熱電対及び圧力計取付位置

(1) Run-B5-1実験

図2.14、図2.15に示す各部（試験セル、試験体、チューブ、ナトリウム漏えい受け皿、外装板、ナトリウム供給配管、及びナトリウム加熱タンク）にK型（CA）シース熱電対を取り付けた。

ナトリウムの加圧圧力は、ナトリウム加熱タンクから試験体に入るまでのナトリウム供給配管、バルブ等の圧損、及びナトリウム漏えい位置（高さ）とのヘッド差分を考慮してナトリウム加熱タンクにて行うため、試験体直前の圧力を測定する目的から図2.16に示す試験体手前2B配管にナトリウム中圧力計を設置した。但し、温度変化に弱いひずみゲージタイプのため、測定管台を立ち上げ直接ナトリウムが接触しないようガス空間部を介してナトリウム供給配管内の圧力を測定した。

(2) Run-B5-2実験

図2.17、図2.18に示す各部（試験セル、試験体、チューブ、漏えいナトリウム受け皿、外装板、ナトリウム供給配管、及びナトリウム加熱タンク）にK型（CA）、及びR型（白金-ロジウム）のシース熱電対を取り付けた。Run-B5-1でナトリウム燃焼の影響で実験途中に破断したK型熱電対取付位置についてはR型熱電対に交換した（図中にRで表示）。

圧力測定に関してはRun-B5-1と同様とした。また、ナトリウム流量を測定するため、ナトリウム供給配管に電磁流量計を設けた。

2.2.5.2 ガス及びナトリウムエアロゾルサンプリング

漏えいナトリウムの燃焼によって発生するエアロゾルの化学形態、及び燃焼雰囲気の酸素濃度を測定するため、試験体上部（温度検出器中心部より650mm上）の雰囲気をサンプリングする装置を取り付けた。（図2.16参照）

- ・サンプリング回数：4回
- ・サンプリング方式：ステンレス製真空容器（内容積： 1.86l ）に吸引する。
- ・サンプリング間隔：ナトリウム漏えい開始3分後に第1回目を実施し、その後、3分

毎に行った。

- ・サンプリング時間：約1分

2.2.5.3 実験データ収録装置

各部温度、圧力、及びナトリウム加熱タンク液面測定データの収録は、データ収録装置、ハイブリットレコーダ、及びペンレコーダで行った。以下にデータ収録装置の型式とスキャン速度を示す。ハイブリットレコーダ、及びペンレコーダは共通である。

| | データ収録装置 | スキャン速度 |
|------------|-----------------------------|--------|
| Run-B5-1実験 | ひふみ model 3081 (横河電機製) | 2秒 |
| Run-B5-2実験 | スーパーデータロガ 7V08 (日本電気三栄製) | 0.5秒 |

2.2.5.4 映像収録システム

(1) Run-B5-1実験 (図2.11参照)

①赤外線カメラ

試験体正面から温度検出器、チューブを含めた全体を撮影する。映像は、計測室のビデオデッキを通してモニターに接続した。温度範囲は、200~950°Cの範囲内で設定した。また、カメラの覗き窓は、赤外線を遮断しないようにアクリル、ガラス等は設けずに直接撮影した。

②ビデオカメラ

試験体正面、及び側面から撮影した。覗き窓のアクリル板を通して映像を撮影するため、アクリル板に試験セル外部からの光が反射しないように、レンズとアクリル板の間を暗幕で覆った。

(2) Run-B5-2実験 (図2.12参照)

①赤外線カメラ

Run-B5-1では試験体正面からだけの撮影であったのに対して、Run-B5-2では側面からも撮影するため赤外線カメラを一台増設した。増設したカメラの温度範囲は、既設と同じように200~950°Cの範囲内で設定した。

②ビデオカメラ

試験体正面、及び側面から撮影した。Run-B5-1で覗き窓のアクリル板にナトリウムエアロゾルが付着して撮影不可能となった経験を反映してのぞき窓を開口とした。

3. 実験方法

3.1 実験条件

3.1.1 ナトリウム温度

- ・ Run-B5-1実験 : 485°C
- ・ Run-B5-2実験 : 480°C

Run-B5-1では40%出力時のもんじゅ2次系IHX出口ナトリウム温度485°C^[1]を採用したが、Run-B5-2ではもんじゅ事故当時40%出力に向けて温度上昇中の当該部ナトリウム温度480°C^[2]を採用した。

3.1.2 ナトリウム圧力

模擬温度検出器のウェル破断部近傍をもんじゅ事故当時の当該部圧力 : 1.65 kg/cm²G^[2]とするため、ナトリウム加熱タンク加圧圧力を次のように設定した。

ナトリウム漏えい位置とナトリウム加熱タンクの高低差は、490mmナトリウム漏えい位置が高い。従って、その高さをヘッド差分の圧力に換算すると、

$$\text{Head} = \rho z$$

ρ : ナトリウム密度(kg/m³)

z : 高低差(m)

$$\begin{aligned}\text{Head} &= 836(\text{kg}/\text{m}^3) \cdot 0.49(\text{m}) = 0.04 \times 10^{-4}(\text{kg}/\text{m}^2) \\ &= 0.04(\text{kg}/\text{cm}^2)\end{aligned}$$

よって、1.65 kg/cm²G に0.04 kg/cm² を加えて1.69 kg/cm²G となる。従って、ナトリウム加熱タンクの初期圧力を1.69kg/cm²Gに設定した。なお、実験終了時の液面は更に約780mm 低くなり、開始時に比べ0.06 kg/cm² 圧力降下があるので、模擬温度検出器のウェル破断部近傍では1.59 kg/cm²G となる。

3.1.3 実験雰囲気中酸素濃度

~21%空気雰囲気

3.2 実験計測

Run-B5-1は表3.1に示すとおり温度51点をはじめとして56点の計測を行った。

一方、Run-B5-2では表3.2に示す温度70点の他、ナトリウム供給配管の流量等を加えて76点の計測を行った。Run-B5-1と比べて点数が増加したのは、特にガス空間温度、及びチ

ユーブ部への熱電対数が増えたためである。

3.3 実験方法

3.3.1 ナトリウム純度

(1) Run-B5-1実験

実験後に加熱タンク内のナトリウムをサンプリングして行った成分分析結果を表3.3に示す。この中で偏析等の影響が大きいと思われるNo.1, No.2を除き、No.3, No.4の結果を採用してその平均値から溶存酸素濃度を17.3ppmとした。

(2) Run-B5-2実験

ナトリウム中の不純物（特に酸素）を除去するためのナトリウム純化運転を実施した。表3.4に純化運転前後の不純物濃度分析結果を示す。純化運転前の分析対象サンプルはナトリウム加熱タンクにナトリウムを供給したドラム缶より採取し、運転後は純化系配管の一部を切断して採取した。また、純化系の鳥瞰図、及びコールドトラップ構造図を図3.1、図3.2に示す。

表3.4に示す溶存酸素、水素濃度の分析結果からわかるように、コールドトラップによる純化運転を行ったことにより、不純物濃度を運転前の半分以下（酸素濃度：9.2ppm→4.0ppm、水素濃度：0.54ppm→0.16ppm）に低下させることができた。

尚、Run-B5-2の純化運転前のナトリウム純度に比べ、Run-B5-1のナトリウム純度が悪い理由は、加熱タンク内に残っていたナトリウム（過去に行った実験の残り）の純度が悪いこと、及びそれに追加したナトリウムが工業用（純度96.0%）であることが影響しているものと考えられる。一方、Run-B5-2ではタンク内の全ナトリウムを除去し洗浄した後、原子力級（純度99.0%）のナトリウムを入れたため、溶存酸素・水素濃度が低く抑えられている。

3.3.2 実験装置運転方法

まずナトリウム加熱タンク内のナトリウム、及びナトリウム供給配管、試験体部を実験条件の温度まで昇温した。実験開始直前には、排煙処理装置、データ収録装置を作動するとともに、ナトリウム加熱タンク内のカバーガス圧力を所定の圧力に加圧した。

実験は、ナトリウム供給配管のバルブを開いて試験体にナトリウムを供給することで開始した。実験中は、ナトリウム漏えい速度、及び形態を計測・観察するため、温度・圧力・ナトリウム液面計の実験データ測定とビデオカメラ・赤外線カメラによる映像データ収録を実施した。

実験終了は、後述する実験の停止条件に達した時とした。一方、地震や停電等の異常が発生した場合には強制的に終了することとした。終了の際には速やかにナトリウム仕切弁

を閉じて、試験セル内のナトリウム化合物温度が常温に降下した後、ナトリウム処理、及び試験体解体作業を行うこととした。

3.3.2.1 ナトリウム漏えい速度の計測方法

事故時の運転状態と同じ温度、圧力のナトリウムを試験体（温度検出器）に供給し、ナトリウム加熱タンク内の液面計より得られた液位履歴の勾配より漏えい流量を算出することとした。Run-B5-2ではナトリウム供給配管に設けた電磁流量計も使用した。

3.3.2.2 ナトリウム漏えい形態の確認方法

温度検出器のコネクタ部あるいはチューブより漏えいするナトリウムをビデオカメラ、赤外線カメラで観察するとともに、試験体外表面と漏えいナトリウム受皿上に設置する熱電対の温度履歴から漏えい形態を確認することとした。実験後のナトリウム化合物堆積状態も参考にした。

3.3.3.3 ナトリウム燃焼による熱的影響の評価方法

温度検出器コネクタ部、配管外装板、チューブ等に設置する熱電対の温度履歴、及び実験後の試験体ナトリウム付着状況や損傷状況を観察することにより、それら構造物への熱的影響を評価した。

3.3.2.4 プロセス熱電対の出力信号

模擬温度検出器のプロセス熱電対温度履歴を記録し、もんじゅの事故時に示した温度履歴^[2]と比較することによって、温度検出器内部のナトリウム漏えい経路とその時間履歴を確認した。また、Run-B5-2ではもんじゅの温度検出器に設置されている信号処理装置と同じものを装備した。

3.3.2.5 実験の停止条件

| | Run-B5-1 実験 | Run-B5-2 実験 |
|------------|-------------|-------------|
| タンク液面計出力 | 0 mV | 同左 |
| ナトリウム漏えい時間 | 20分経過 | 30分経過 |
| 排煙処理装置 | スクラバ目詰まり | 同左 |
| その他 | 試験装置の異常 | 同左 |

Run-B5-1ではナトリウムの漏えい流量が想定流量を下回ったため、Run-B5-2では時間を更に10分延長した。

3.3.3 キャリアガスブロー

Run-B5-2では、ナトリウム仕切弁閉後、試験体内に残留したナトリウムをアルゴンキャリアガス供給系より、 $1.0 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ の圧力を加圧しアルゴンガスブローを行った。

3.3.4 実験後の観察及び解体検査

試験体へのナトリウム付着状況や損傷程度を観察するとともに、漏えいナトリウム受皿上に堆積したナトリウム化合物状態を観察した。

また、燃焼したナトリウム化合物の化学形態を同定するための分析サンプル採取も行った。

4. 実験結果

4.1 実験経過

第1回目の実験（Run-B5-1）を1996年2月15日に、第2回目の実験（Run-B5-2）を同3月28日に行った。実験は、ナトリウム仕切弁を開いて試験体にナトリウムを供給し、温度検出器からのナトリウムの漏えいを開始した。実験中は、ナトリウム漏えい速度、及びナトリウム漏えい形態を計測・観察するため、温度・圧力・ナトリウム液位計のデータ測定とビデオカメラ、赤外線カメラによる映像データ収録を行った。また、ナトリウムの燃焼により発生するエアロゾルを回収するために、排煙処理装置を連続して運転した。添付資料-1に実験時の時間経過を示す。

4.2 Run-B5-1実験

4.2.1 漏えいナトリウム量

Run-B5-1実験での漏えい流量は17g/secで、事前解析で推定した流量約50g/secに対して1/3程度のナトリウム漏えい流量であった。このため、予定したナトリウム漏えい量に達する前に実験停止条件：実験時間20分に達したため実験を終了した。ナトリウム加熱タンクからナトリウム供給配管、及び試験体に供給したナトリウム量は、加熱タンクのナトリウム液位を測定する接点式液面計により求めた実験前（150°C）と実験後（15°C）の液位差から算出した。以下に実験前後の加熱タンク液位とナトリウム量の関係を示す。

| | 加熱タンク液位 (485°Cに換算した底部からの高さ) | ナトリウム容積 | ナトリウム重量 (比重0.836kg/l) |
|---------|--------------------------------|---------------|--------------------------|
| 実験前 | 819mm (770(±5)mm, at 150°C) | 44.9 (±0.4) l | 37.54 (±0.33) kg |
| 実験後 | 469mm (430(±2)mm, at 15°C) | 19.1 (±0.2) l | 15.97 (±0.15) kg |
| 実験中の供給量 | 819mm → 469mm | 25.8 (±0.6) l | 21.6 (±0.48) kg |

ナトリウム量の誤差は、実験前後とも加熱タンク接点式液面計の測定誤差である。実験前の測定誤差：±5mmは接点式液面計取付寸法、及びナトリウムチャージ時（液体）の液面の揺らぎによるもの、実験後の測定誤差：±2mmは液面計寸法読み取り誤差、及び個体の状態におけるナトリウム液面の不均一性を考慮したものである。

加熱タンクから試験体に供給したナトリウムは21.6 (±0.48) kg、ナトリウム供給配管中に残った約1.3kgを除いた20.3 (±0.48) kgが総漏えいナトリウム量である。よって、実

験時間20分の平均漏えい流量は、測定誤差2.4%を考慮して16.9（±0.4）g/secである。

実験中の加熱タンク温度、圧力履歴も含め、以下にまとめる。

| | |
|-----------------------------|---|
| 実験時間（ナトリウム仕切弁開時間） | 20分0秒 |
| 加熱タンクナトリウム温度 | 486°C（開始時）→492°C（終了時） |
| 加熱タンクカバーガス圧力 | 1.73kg/cm ² G（開始直前） 1.67(±0.1)kg/cm ² G（実験中） |
| 漏えい位置のナトリウム圧力 ^{※1} | 1.63(±0.1)kg/cm ² G（開始時） →1.60(±0.1)kg/cm ² G（終了時） |
| 総ナトリウム漏えい量 | 20.3（±0.48）kg |

※1：漏えい位置（温度検出器ウェル破損位置）のナトリウム圧力は、加熱タンクカバーガス圧力からその漏えい位置と加熱タンクナトリウム液面の高低差をヘッド圧に換算して差し引いたもの。実験直前で0.52m、実験終了時で0.87m加熱タンクのナトリウム液面が低い。

4.2.2 実験計測データ

実験データとして計測した温度：51点、圧力：2点、その他、液位、流量、弁開閉信号各1点の合計56点の計測データを添付資料-3に示す。データプロット図中の0分は、ナトリウム仕切弁を開いて加熱タンクからナトリウムの供給を開始した時点を示す。

4.2.2.1 プロセス熱電対の断線

プロセス熱電対(TI-1H)は図4.1に示す①実験開始約1時間前に断線し、②開始直前(約40秒前)に復帰した。

この断線は、熱電対の絶縁低下を防ぐためアダプタ部に熱電対素線、及びリード線を込み込むように埋め込まれているエポキシ樹脂が試験体の昇温熱の影響で膨張し、それより熱膨張率が悪い素線が引きちぎられる格好となってアダプタ内部の素線が断線したものと考えられる（実験終了後の解体検査で、断線が確認された）。なお、ここに使用されているエポキシ樹脂の耐用温度は約150°Cである^[3]。耐用温度とは、適当時間（例えば短期試験で4時間、長期試験で1週間）内に試験片が実用に耐えなくなる程度まで損傷する（外観、重量、強度などで評価）に要する温度を言う。

図2.3の温度検出器内熱電対構造図に示すアダプタ部は、通常100°C未満の温度で使用する設計となっているが、実験では温度検出器からナトリウム供給配管側への空気（酸素）の侵入を防ぐ目的でナトリウム仕切弁側からアルゴンガスバージを行った。この影響により供給配管中で加熱された高温のガスがアダプタ部を加熱したものと思われる。図4.1中①の断線時の試験体温度は、アダプタ部より約50mm保温材中に入ったニップル部(TI-3H)

が約240℃、コネクタ部外表面（TI-6H）が約90℃で、これらの温度からアダプタ部は100℃以上に達していたと推定できる。

キャリアガスパージは実験開始約3分前に停止しており、その結果実験開始直前（約1分前）にプロセス熱電対の信号が復帰した。その指示値は460℃を示しており、プロセス熱電対が計測するナトリウム供給配管中のガス温度とほぼ一致することから、熱電対としては正常な値を示していることになる。このことから、この復帰は断線した素線が再び接觸したことによるものと考えられる。

また、図中③でコネクタ部の温度が100℃付近から約60℃まで低下しているのは、排煙処理装置の運転により試験セルの外気を強制的に取り込み、コネクタ部が空冷されたものである。

なお、プロセス熱電対の示す温度挙動ともんじゅ事故時の当該温度挙動の比較については第5章で述べる。

4.2.2.2 計測用熱電対の破損

実験中のナトリウムの燃焼温度は、チューブの熱電対から700℃～800℃と想定される。ナトリウム燃焼の影響により破損した熱電対は、チューブ外表面の最下部（TF-6H）と、外装板表面のコネクタ下部（TO-1H）の2箇所である。いずれもK型シーズ熱電対で、シーズ径が1.0mm φである。

図4.2に示すように、TF-1Hが実験開始約10分後、TO-1Hが実験開始約16分後にそれぞれ短絡している。短絡後はシーズ、あるいはアースと素線がナトリウム等の影響で接地することによって、電気ヒータや計測機器等からの電気ノイズを拾いやすく、数百度の幅で振動を繰り返す。実験後の観察では、熱電対先端部分の破損を確認した。

4.2.3 ビデオカメラ、赤外線カメラによる映像収録

図2.11に示すように、試験セル側壁にビデオカメラ2台（正面、側面）、赤外線カメラ1台（正面）を設置し、実験中のナトリウム漏えい挙動の観察を行った。添付資料-2に各カメラの時間変化を分析した結果を示す。

4.2.3.1 ビデオカメラ映像観察結果

ビデオカメラの映像から、ナトリウム仕切弁の開操作後3秒に温度検出器コネクタに接続したエルボ部より最初のナトリウム漏えいが認められた。また、漏えい開始30秒頃からはチューブの最上端付近からの火炎が明瞭となった。その後、発生したエアロゾルの影響で映像は次第に不鮮明となり、約2分30秒後には全く見えなくなった。

4.2.3.2 赤外線カメラ映像観察結果

200°Cから950°Cまでの温度範囲を青や赤の異なる色で表示した赤外線カメラの映像からは、実験開始後30~40秒後に画面上に発色が見られた。図4.3下段に示す赤外線カメラの映像は漏えい開始45秒後のものである。発色部分は次第に明確となり大きく揺れ動く様子から、正面ビデオ映像で見られた火炎の挙動を表示しているものと考えられる。

火炎発生元は、図4.4に示すように実験開始約1分後はチューブ上端であったが、時間とともにチューブ上を下向きに移動して、約2分後はU字形状部の最下点に達し、更にその後は右部（温度検出器の反対側）を上向きに移動した。チューブ被覆材である軟質ポリ塩化ビニル（JIS K6723）の発火温度は約440°Cで^[4]、赤外線カメラの温度推移からもこの火炎は被覆材の燃焼によるものであることがわかる。火炎の動きが穏やかとなった（約5分後）以後は、エルボ部近辺が最も高い温度域となった。同高温域については、時間とともに領域が拡大しては下部がくびれて落下するという周期的な挙動を示した。また、チューブ最下部から定常的なナトリウムの落下が顕著に認められた。

4.2.4 実験後観察

実験後の試験セル内壁、漏えいナトリウム受け皿上、排煙処理装置のフード・ダクトの内面、及び試験体外装板の表面には多量のエアロゾルの付着が観察された。以下に実験後状況観察、及びその解体後観察結果を述べる。

4.2.4.1 試験体

図4.5は実験直後の試験体正面を映した写真である。温度検出器上部の外装板表面には綿状のエアロゾルが付着している。また、温度検出器より下部の外装板は一部茶褐色に変色し、損傷が確認された。チューブは表面を覆っていた被覆がU字形状部のほとんどで焼失していた。コネクタ部とチューブ間にはナトリウム化合物の盛り上がり（長さ約120mm、幅約95mmの楕円形状）が観察され、その表面は潮解して一部氷柱状に垂れ下がっている化合物も確認できる。このナトリウム化合物の回収重量は約333gである。コネクタ部のアルミキャップ表面は酸化した様子を観察できるが、その形状はほぼ原型通り残されている。

図4.6の上段に示すように、試験体表面のエアロゾル、ナトリウム化合物を取り除くとエルボ部に損傷が見られ、チューブ側に接続するネジ部が一部焼失していた。また、外装板は温度検出器エルボ部に近接した垂直面に長さ50mm×幅16mm、外装板のくぼみ部の水平面に幅16mm×奥行き15mmほどの連続した損傷孔が観察され、内部の保温材が見える状態となっていた。

4.2.4.2 フレキシブルチューブ

図4.5に示すようにチューブ表面を覆っていた被覆がU字形状部のほとんどで焼失しており、コネクタ側からのその寸法はU字形状部内側で740mm、外側で685mmである。その表面を覆うナトリウム化合物を取り除くと図4.6に示すU字形状部最下端には幅18mm、25mmの貫通穴が観察された。チューブの外表面には固いナトリウム化合物が付着しており、その回収重量は98gである。チューブ内部にも金属ナトリウムもしくはナトリウム化合物が閉塞していた。

チューブ、及び内部の温度検出器用の補償導線の実験前重量は2.0kg、それに対して実験後その表面、内部にナトリウム化合物が付着した状態で1.7kgである。ナトリウム化合物がその重量に加わっているにもかかわらず0.3kgの減であり、これは被覆材やチューブ本体の焼失分であることがわかる。

4.2.4.3 漏えいナトリウム受け皿

図4.7に示すように厚さ100mmのナトレックスを入れた第一受け皿は、一部にナトレックスが見える以外は表面全体を黄色い殻の様に固まったナトリウム化合物が覆っていた。チューブ直下にあたる位置は一部黒色に変色しており、チューブの被覆材の燃焼化合物と思われる。第一受け皿の垂直部（一般構造用圧延鋼材、肉厚6mm）は波状に変形が見られ、ナトリウム燃焼熱の影響を受けたことがわかる。

第一受け皿上のナトリウム化合物の断面は、表面に見える黄色い堆積物が深さ20mm、その下に黒色層が20mmあり、ナトレックスが焼け焦げたような様子が観察される。更にその下にナトレックスが焼結された層が20mm存在し、その下部が健全なナトレックスが残っていた。この様子から推測して、試験体から漏えいするナトリウムはナトレックスの表面で燃焼し、ナトレックスによる漏えいナトリウムの燃焼抑制効果はほとんどなかったことが推測される。

第一受け皿上の堆積物回収量は、回収総重量から実験前に封入したナトレックス重量を差し引いた約18.6kgである。ナトリウム化合物が全て Na_2O と仮定した場合、金属ナトリウム重量として13.8kgである。

また、第二受け皿上にも飛散したナトリウムの燃焼化合物が観察され、実験中あるいは実験後に降り積もったエアロゾルも含めた回収量は273gである。

4.2.4.4 模擬温度検出器の解体

温度検出器のウェル、ニップル部の解体により、その内部に残留する11gの金属ナトリウムを回収した。この実験では実験終了後ガスブローを行っていないこと、及びもんじゅ温度検出器のキー溝がコネクタ側からみて右下方向に位置しているのに対して、本実験では左斜め45° 上側にありニップル部にナトリウムが残りやすい構造であったことがこの理

由と考えられる。これらの解体検査結果をまとめたものを図4.8に示す。

また、コネクタ内部（端子板のニップル側）にも金属ナトリウムが24g残留していた。端子板表面は炭化していたが、その形状は取付前とほとんど変化がない。補償導線、リード線は被覆が完全に焼失しており、回収したナトリウム化合物の洗浄後にアダプタ内に存在するはずのリード線と素線の接続部が回収され、接続部近傍の素線が断線していた。

また、ナトリウム漏えい流量が予想値の1/3程度であったことから、その原因として考えられるナトリウム化合物や切り粉などの流路を塞ぐ異物がないか特に注意して観察したが、解体時にも発見されなかった。

4.2.4.5 ナトリウム供給配管

実験後のナトリウム供給配管内部からは、試験体からナトリウム仕切弁までの間に1.3kgの残留ナトリウム量が回収された。図4.9には試験体直前の2Bナトリウム供給配管切断面を示す。配管断面の約2/3が金属ナトリウムで覆われている。

4.2.5 実験後解体寸法測定

低流量の原因として考えられるナトリウム流路断面積の小さい箇所を中心に行った実験後の解体寸法測定結果を図4.10、及び図4.11に示す。熱電対シースの外径寸法は、以下の表に示すように公称値 $3.2\text{mm } \phi$ に対して全測定箇所の平均 $3.195\text{mm } \phi$ で、製作精度範囲内であることがわかる。測定はマイクロメータ（1/1000mm）で、測定箇所はシース全長を30mm刻みで13箇所について行った。1箇所だけ（表中の最大値） $3.2\text{mm } \phi$ を越える寸法があったが、シース先端に近い部分で、ウェル部やボス部の流路面積に影響を与える箇所ではない。この結果から、

| | 測定結果 | 公称値 |
|----------|------------------------|----------------------|
| 測定箇所の最大値 | $3.201\text{mm } \phi$ | |
| 測定箇所の最低値 | $3.166\text{mm } \phi$ | $3.2\text{mm } \phi$ |
| 平均 | $3.195\text{mm } \phi$ | |

図4.10に示すように、模擬温度検出器ウェル破断面の先端部に微小なバリの付着が観察されるものの、製作寸法より若干大きめの貫通穴でもありナトリウム流量に影響を与えるものではない。同じように、ボス部、キー、キー溝部とも温度検出器製作精度範囲内にあり、ナトリウムの流量に大きな影響を及ぼす寸法ではない。

4.2.6 ガス、ナトリウム化合物及びエアロゾルの分析結果

4.2.6.1 実験中の試験セル内ガスサンプル分析結果

ナトリウム漏えい開始後3分間隔で約1分間行った試験セル内の雰囲気ガスサンプルの分析結果を表4.1に示す。水素濃度はいずれも0.01%以下、酸素濃度は2サンプルで分析結果が得られなかったものの開始3分後に19.8%、12分後に18.2%と空気雰囲気よりわずかながら低い濃度であった。試験セルへの酸素（空気）の供給は、予備解析により十分であることがわかっており、この酸素濃度の低下はガスサンプリング位置がナトリウム燃焼部直上である排煙ダクト入口付近であったことが原因と考えられる。

表4.1に示すヘッダーNo.2, No.3の酸素濃度の分析不可は、サンプリングヘッダーが負圧状態にあったことによる分析作業時の空気巻き込みがその原因である。サンプリングは予め真空に引いたヘッダーに試験セル内のガスをサンプリングするもので、ガスサンプリング配管途中に設けたナトリウムエアロゾルを捕集するための焼結フィルタがガスサンプリング中に目詰まりを起こし、ヘッダーが負圧状態のままでガスサンプリングを終了したためである。

4.2.6.2 実験中のナトリウムエアロゾル濃度

前項のガスサンプリング配管中に取り付けた焼結フィルタで行ったエアロゾルサンプリング量から、実験中のエアロゾル濃度を求めた。表4.1にその結果を示す。漏えい開始3分後は $1.95\text{mg}/\text{m}^3$ であったが、その後は $5\text{mg}/\text{m}^3$ 前後で推移しており、漏えいしたナトリウムの燃焼状態がほぼ一定に推移したものと考えられる。

4.2.6.3 ナトリウムエアロゾルの化学形態

実験後に試験装置内の各部からサンプリングしたエアロゾルの化学形態は、表4.2に示すように、そのほとんどが Na_2CO_3 である。これらのサンプル採取は、出入口扉付着エアロゾルが18時間後、その他が21～22時間後に行った。全5サンプルのうち、試験セル出入口扉部で Na_2O_2 が他に比べて多いのは、ナトリウムエアロゾルが20～30mm程度盛り上がった状態で付着しておりその内部にあるエアロゾルが空気と遮断されていたためと考えられる。

4.2.6.4 エアロゾルから回収したナトリウム量

実験後に、試験セル内壁、排煙処理装置内から回収した全ナトリウムエアロゾルを水溶液化し、ナトリウム量の算出を行った結果、表4.3に示すようにナトリウム重量で4.7kg回収した。回収量が特に多かったのは、水スクラバーの循環水中で2.6kg、次いで排煙ダクト内の1.1kgである。

この実験で漏えいしたナトリウム量20kg（4.2.1項参照）のうち1/4がナトリウムエアロゾルになっていることがわかる。因みに受け皿上のナトリウム量は14kgで（4.2.4.3項参照）、全漏えいナトリウム量の3/4に相当する。

4.2.6.5 ナトリウム化合物の化学形態

実験の2日後に回収した試験体付着あるいは受け皿上に堆積したナトリウム化合物の化学形態分析結果を表4.4に示す。コネクタ部に付着した化合物中のほとんどはNa₂Oであり、堆積物もNa₂O₂が含まれているもののNa₂Oが多い。また、ナトリウム化合物以外の成分については、特に堆積物上ではナトレックス中の成分が影響していると推定される。

4.3 Run-B5-2実験

4.3.1 漏えいナトリウム量

| | 加熱タンク液位 (480°Cで算出した底部からの高さ) | ナトリウム容積 | ナトリウム重量 (比重0.837kg/l) |
|---------|--------------------------------|----------------|--------------------------|
| 実験前 | 757.4mm | 40.38(±1.1) l | 33.8(±0.92)kg |
| 実験後 | 74mm | 2.40(±0.12) l | 2.0(±0.1)kg |
| 実験中の供給量 | 757.4mm → 74mm | 37.98(±1.22) l | 31.8(±1.02)kg |

実験直前の加熱タンク内ナトリウム量は、ナトリウムチャージ時（150°C）の接点式液面計から算出した37.7kg（±0.33kg：加熱タンク接点式液面計取付寸法誤差とナトリウム液面の揺らぎに伴う測定誤差の合計±5mmをナトリウム量に換算した）から、ナトリウム純化運転の際に純化系に移行した量、及びナトリウム供給配管（NV-1からNV-2まで）に移行した量の合計3.9kg（±0.59kg：純化系配管据え付け寸法誤差と純化運転直後の純化系配管温度分布測定誤差を合わせて15%とした）を除いた33.8kg（±0.92kg）となる。これは480°Cで40.38 l の容積であり、加熱タンク内のナトリウム液面に合わせると底部より757.4mm位置である。

一方、実験後の加熱タンク内の残ナトリウム量はそのドレン量から2.0（±0.1）kg、480°Cのナトリウム容積に換算して2.4 l である。この値から実験終了時（480°C）の加熱タンク内のナトリウム液位は底部から74mmであることがわかる。

これらを上記の表にまとめ実験中の供給ナトリウム量を算出すると31.8（±1.02）kg、ナトリウム温度480°Cにおいて37.98（±1.22） l の容積となる。このうち、試験体から漏

えいさせた総ナトリウム量は、ナトリウム供給配管に残った0.2kgを除いた31.6（±1.02）kgである。実験時間10分22秒の平均漏えい流量は、ナトリウム量測定誤差3.2%を考慮して50.8（±1.6）g/secである。

以下に実験中の加熱タンク温度、圧力履歴等をまとめた。また図4.12にナトリウム漏えい中の加熱タンク温度・カバーガス圧力・ナトリウム流量を、図4.13にナトリウム液位の変化履歴を示す。

| | |
|-----------------------------|---|
| 実験時間（ナトリウム仕切弁開時間） | 10分22秒 |
| 加熱タンクナトリウム温度 | 478°C（開始時）→483°C（終了時） |
| 加熱タンクカバーガス圧力 | 1.73kg/cm ² G（開始直前） 1.66kg/cm ² G（開始時）→1.63kg/cm ² G（終了時） |
| 漏えい位置のナトリウム圧力 ^{※1} | 1.61kg/cm ² G（開始時）→1.53kg/cm ² G（終了時） |
| 総ナトリウム漏えい量 | 31.6kg（配管に残った分を引いた値） |

※1：漏えい位置（熱電対ウェル破損位置）のナトリウム圧力は、加熱タンクカバーガス圧力からその漏えい位置と加熱タンクナトリウム液面の高低差をヘッド圧に換算して差し引いたもの。実験直前で0.58m、実験終了時で0.12m加熱タンクのナトリウム液面が低い。

4.3.2 実験計測データ

実験データとして計測した温度：70点、圧力：2点、流量：2点、その他、液位、弁開閉信号各1点の合計76点の計測データを添付資料一4に示す。データプロット図中の0分は、ナトリウム仕切弁を開いて加熱タンクからナトリウムの供給を開始した時点を示す。また、ハイブリットレコーダに収録した熱電対21点はデータチャートを示す。

4.3.2.1 実験データのノイズ

図4.13にナトリウム加熱タンク液面計出力のデータロガとペンレコーダのデータを比較して示す。これは同時に2台の機器に収録したものであるが、データロガの出力図には2mVほどのノイズが階段上に現れている。これは同一のペンレコーダに収録した他のデータについても同様のノイズが確認されていることから、ペンレコーダのノイズをデータロガが拾ったものと判断できる。

また、実験開始5分後に見られる縦軸を振り切っている大きなノイズの原因は、データロガの配線構造にある。データロガは全チャンネルを2系統（0ch～31ch及び32ch～63ch）に分割し収録しているが、それぞれのマイナス側が共通となっている。今回の実験では、漏えい受け皿上のガス空間温度を測定する熱電対T-30H（44ch）が図4.14下段に示すよう

に実験開始5分後に断線・接地を繰り返したことによるノイズが、このチャンネルとマイナス側を共通している32ch以後のすべてに同様のノイズとして確認される。

液面計出力のデータは、ナトリウム漏えい流量を算出する上で重要なデータであることから、ノイズの少ないペンレコーダのチャートをデジタル値として取り込みグラフ化したもの（図4.13下段）を用いる。

4.3.2.2 計測用熱電対の破損

試験セル内に配線した計測用熱電対の実験後の素線間抵抗、及び素線－シース間抵抗を測定した結果、表4.5に示すように試験体プロセス熱電対（TI-1H）、第一受け皿表面温度（TD-4）、第一受け皿表面中心温度（TD-7H）、燃焼部近傍ガス温度（T-29H、T-30H、T-31H）、その他ハイブリットレコーダで計測した4点を合わせて計10点に絶縁不良が観察された。

受け皿上のガス空間温度を測定するための熱電対：T-29Hは、図4.14上段に示すように実験開始約4分30秒後から急激に温度が上昇しており、またT-30Hは実験開始約5分後から激しく上下に振動し、熱電対が断線し短絡と接地を繰り返している。これらの熱電対は受け皿から上方に立ち上げて設置しており、実験後観察の結果から受け皿上に敷かれたナトレックス表面付近の熱電対シースが破損していることを確認している。つまり、このような温度履歴を示した原因是、漏えいナトリウムが受け皿上のナトレックス表面に広がりそこでプール燃焼を起こして熱電対シースを破損させたものと推定され、燃焼部付近のガス温度が急激に上昇したものではない。

4.3.3 ビデオカメラ、赤外線カメラによる映像収録

図2.12に示すように、試験セル側壁にビデオカメラ、赤外線カメラ各2台（正面、側面）を設置し、実験中のナトリウム漏えい挙動の観察を行った。添付資料一2に各カメラの時間変化履歴を観察した結果を示す。

4.3.3.1 ビデオカメラ映像観察結果

ナトリウム仕切弁の開操作8秒後に温度検出器コネクタ部に接続したエルボ部付近から発煙とともに最初のナトリウムの漏えいが認められ、エルボ部付近から周囲への液滴の飛散が観察された（図4.15上段）。14秒後にはチューブの上端部（エルボ部との接続箇所近傍）で被覆材（軟質ポリ塩化ビニル製）の火炎と思われる最初の発炎が見られた。15秒～22秒にかけてはチューブの左半分（温度検出器端子部に接続されている側）で同被覆材を突き破って流出するナトリウムの流線が数カ所で観察され（図4.15中段）、この後チューブの左半分で被覆材の火炎が顕著となってきた。また25秒後にチューブが十数mm程度ずれ落ちる挙動が確認されており、この時点ではチューブをエルボ部に保持していたふくろナ

ット（亜鉛合金ダイカスト製；JIS H5301）が溶融しナットの拘束力が失われたものと推定される。この後ナトリウムの液滴の飛散が断続的に見られたが、約1分後からはチューブの最下端からの連続的な滴下が主流となった（図4.15下段）。その後、発生したエアロゾルのため映像は次第に不鮮明となり、2分後には正面カメラでも全く見えなくなってしまった。側面に設置したカメラは、エアロゾルのため30秒後には見えなくなった。

4.3.3.2 赤外線カメラ映像観察結果

赤外線カメラでは200°Cから950°Cまでの温度範囲を青や赤の異なる色で表示したが、実験開始8秒後に最初の発色が見られた（図4.15上段）。発色部分は15～22秒にチューブの左半分全体に広がり、大きく揺れ動く様子から、正面ビデオ映像で見られた火炎の挙動に対応しているものと考えられる（図4.15中段）。漏えい形態としては、ビデオカメラで見られたチューブ被覆材を貫通しての流線や液滴は見えず、1分以後チューブ最下端からの滴下が観察された（図4.15下段）。3分後からはチューブの左側の温度が低下していくとともに火炎が徐々にチューブの右半分に移行し、これ以後ナトリウム仕切弁閉操作まで画面での高温域は主にチューブ下部と外装板表面となった（図4.16）。漏えい停止以後は、それまで相対的に低温を表示していたチューブが高温となった。

今回の実験では、ナトリウム仕切弁を閉じた後、アルゴンガスによる供給配管内ナトリウムのバージ操作を行った。この直後、一旦止まっていたチューブ最下端からのナトリウムの滴下が再び見られるとともに、チューブの温度が低下したが、配管内の残留ナトリウムがなくなって滴下が終了すると温度の再上昇が見られた。

第1回実験と同様、今回も赤外線カメラの温度表示は、全般に時間の経過とともに低下していく傾向が見られた。実験計測用熱電対の出力からは特に同様な傾向は見られないことから、赤外線カメラと被写体の間に存在するエアロゾル濃度等の影響により見かけ上表示温度の低下が生じているものと考えられる。

4.3.4 実験後観察

実験後の試験セル内壁、受け皿上、排煙処理装置のフード・ダクト、及び試験体外装板の表面には多量のエアロゾルの付着が観察され、Run-B5-1とほぼ同様である。以下に実験後状況観察、及びその解体結果を述べる。

4.3.4.1 ふくろナットの焼失

エルボとチューブを接続させているふくろナットは一部焼失していた。チューブは温度検出器コネクタのエルボ部にふくろナットで接続されているが、ふくろナットが亜鉛合金ダイカスト（融点約380°C^[5]）であることから、漏えい開始後の比較的早い段階で保持力

を失うことが予想されていた。正面からのビデオカメラ映像で、ナトリウム仕切弁を開いた25秒後にチューブが数センチずれ落ちるのが観察されており、この時点で保持力が失われたと推定される。

4.3.4.2 試験体

Run-B5-1では、温度検出器エルボ部からチューブ上端部のみをナトリウム化合物が厚く覆っていたのに対し、今回は図4.17に示すように黄色の化合物がチューブの左側全体を覆い、エルボ部への付着量はむしろ少なくなっていた。チューブ外表面に付着したナトリウム化合物の回収重量は399gである。もんじゅ事故の場合^[2]と異なり、温度検出器のアルミキャップへのナトリウム化合物の付着がほとんどないのはRun-B5-1と同様である。

4.3.4.3 試験体外装板

外装板は、Run-B5-1ではコネクタ部近傍のみ塗装が焼失し一部穴が開いていたが、今回は図4.18上段に示すように外装板には開口欠損等の損傷はなく外装板の曲面部が下の部分まで広く塗装が焼けていた。2回の実験で装置構成上、及び実験運転上の違いを以下の表に示す。

| | Run-B5-1実験 | Run-B5-2実験 |
|--------------|--------------------------|--------------|
| 装置構成 | チューブとエルボの間に 40mmのギャップ | ふくろナットにて接続 |
| 実験時間 | 20分0秒 | 10分22秒 |
| 平均ナトリウム漏えい流量 | 17g/sec | 51g/sec |
| その他 | — | 実験後キャリアガスブロー |

図4.19に試験体外装板表面の温度履歴（TO-1H、TO-2H、及びTO-3H）を比較したグラフを示す。コネクタ下部の外装板表面温度は、漏えい開始後約10分まで同じような履歴を示すが、Run-B5-1では13分過ぎに900°Cを越える急激な温度上昇があった後、断線している。一方、Run-B5-2で10分過ぎに一時的に900°C付近まで上昇しているが、これは漏えい終了後に行ったキャリアガスブローの影響と考えられる。両者のデータを比較してみると実験開始後約10分までの温度履歴が似ており、チューブとエルボ部の接続有無によるナトリウム漏えい形態の違いは外装板損傷に影響を与えるほどのものではないと推定できる。また、その間のナトリウム漏えい流量もRun-B5-2が2倍以上多いが、これもあまり影響していない。これらのことからRun-B5-1の外装板に開いた穴の原因は、Run-B5-1が約2倍長い漏えい時間にあると推定できる。もんじゅ事故当該部の外装板にも200mmを越す大きな

開口損傷のあったこと^[2]が領ける。

また、Run-B5-2の外装板曲面部が下の部分まで広く塗装が焼けていたことについては、図4.19下段に示す外装板表面中間部（TO-2H）の温度が実験開始5分以後に急激な温度上昇があり700°Cを越えていることから、外装板表面でナトリウム燃焼が起こっていた可能性がある。実験後観察では図4.20に示すように外装板から受け皿上に落下するナトリウム燃焼化合物の形跡が、また第二受け皿上には外装板から落下したナトリウム化合物0.42kgが回収された。

4.3.4.4 フレキシブルチューブ

チューブは右側（温度検出器と接続している反対側）部分まで被覆材が焼失していた。また、チューブの金属部（複合電気亜鉛メッキ鋼板；JIS G3313）の数カ所に開口部が見られた（図4.18）。

また、温度検出器からの漏えいナトリウムはチューブ内部を通り、電線管内部に達していた。実験後の解体では、図4.17に示すように電線管内部の約100mm立ち上がった位置まで主に金属ナトリウムが閉塞していた。そのチューブを解体したところ、図4.21に示すようにチューブ、及び電線管内部に詰まっていたナトリウム化合物は、チューブと電線管接続部を中心に電線管側（上方）が100mm、チューブ側（下方）が200mmの領域は未燃焼の金属ナトリウムが閉塞していた。また、電線管内の閉塞位置より更に280mm上方の電線管内面、及び補償導線には、金属ナトリウムあるいはナトリウムベーパーの付着があった。これは、一時的にこの位置までナトリウムが上昇した可能性を示している。なお、もんじゅ事故当該部ではこの電線管の接続部より210mm上方まで閉塞物が観測されている^[2]。それ以外のチューブ内部には補償導線被覆の燃焼化合物とナトリウムの燃焼化合物が混じり合う形で閉塞していた。

このチューブ解体時に、切断箇所において熱電対補償導線の絶縁抵抗を測定し、補償導線の短絡箇所を探ったところ、図中の切断箇所⑤と⑥の間で短絡していることがわかった。その短絡箇所より電線管側の補償導線被覆も勿論燃焼して炭化物になっているが、その補償導線が炭化物を挟み込んでいたために短絡していなかった。このことから図中の⑤、⑥位置、チューブ最下端より50～200mmの間に最終短絡箇所が存在し、そこでできた接点の温度を拾いプロセス熱電対の温度として示していたものと推定される。

4.3.4.5 漏えいナトリウム受け皿

図4.22に示すように、第一受け皿はナトレックスの焼結したものと思われる濃い灰色の部分が10箇所ほど見られる以外はうす白黄色のナトリウム化合物に覆われていた。図中に堆積物の断層写真を示すが大まかに5つの層にわかれており、表層に近いほうから第一層、

第二層、第三層、第四層、第五層とすると、第一層はうす白黄色のぱりぱりとしたナトリウム化合物からなり、第二層は灰色の柔らかめの層、第三層はきわめて黒色に近い灰色の軽石のような層、第四層は白っぽい灰色の軽石のような層、第五層は白色の粉っぽく非常に崩れやすい層であった。第一受け皿中のナトリウム化合物の堆積物は、受け皿の淵にせりあがる傾向がみられ中心部近くほど堆積物の層はうすかった。第一受け皿の垂直部はRun-B5-1と同様に変形がみられた。特にRun-B5-2では試験体の外装板をつたったナトリウムが第一受け皿から溢れ出ている箇所があり、受け皿上でのナトリウム燃焼がRun-B5-1より激しかったことが想定できる。受け皿上の堆積物回収量は、回収総重量から分離できるナトレックスをふるい落としたものに第二受け皿にて回収した分も含めて55.3kgであった。

4.3.4.6 試験体熱電対の解体

図4.23に試験体熱電対解体写真を示す。熱電対はアダプタ部がホルダーより5mmコネクタ側に突き出した状態で取り出された。これは、実験中にナトリウム供給側からスプリングに加わった荷重と、漏えいナトリウム温度の影響でスプリングが焼きなまされたものと考えられる。また、コネクタ接続面より5mm突き出た状態ができていた理由は、実験直後に連続して行ったキャリアガスバージによりアダプタ部に荷重が加わっていたためと考えられる。

Run-B5-1同様、ウェルとニップル接続部（テーパーネジ）からのナトリウム漏えいが観察された。その漏えい量は、保温材中に染みだしたナトリウムを水溶液処理後して分析した結果、表4.7に示すように約90gであった。

また、ウェル、ニップル、コネクタ部とも、実験後のガスバージの効果により、残留ナトリウムはほとんどなかった。因みに、Run-B5-2のキー溝の位置はもんじゅ事故当該部と同様右下側の垂直面より37°位置である。

図4.24上段に温度検出器コネクタ部の実験前後の写真を示す。コネクタ内部にはナトリウムがほとんど無く、表面が炭化した端子板とリード線、補償導線とそれにからみついた炭化物が見られた。

4.3.4.7 損傷した45°エルボ

コネクタ部に接続されているエルボ（アルミニウム製；JIS H5202）が、ナトリウム漏えい実験では2回ともチューブ側のネジ山部が焼失していた。図4.24下段にRun-B5-2で損傷したエルボを示す。アルミニウムの融点は約660°C^[5]でナトリウム燃焼温度の影響を受けて溶融する可能性は十分ある。

図4.25に示すエルボ部に最も近い熱電対（Run-B5-1で40mm離れたチューブ内入口部、Run-B5-2ではチューブ外表面のエルボ接続部）の温度履歴では、両実験ともナトリウム漏えい中はエルボの融点未満の供給ナトリウム温度に近い値でほぼ一定に推移し、漏えい終

了後一時的にその融点を越える。つまり、ナトリウムが漏えいしている時は、ナトリウムの燃焼熱が供給するナトリウムによって冷却されているが、漏えい終了後は供給されるナトリウムが無くなりエルボ部に付着したナトリウムが燃焼するため一時的に温度が上昇し、エルボの損傷を引き起こしたと考えられる。また、ビデオ映像撮影する目的で試験体に向けてに積極的に外気（空気）を送り込んだため、もんじゅ当該部にできた温度検出器コネクタ部を覆うナトリウム化合物が形成されず、漏えい終了後の残ナトリウムの燃焼に勢いが生じてエルボの損傷をより大きくしたものと推定される。

一方、もんじゅ当該部では欠損を伴う損傷が観察されていない。もんじゅ当該部も漏えい終了時には同じようにエルボ部へ付着するナトリウムがあったと推測できるが、漏えい実験のように積極的に空気を送り込むことが無く、むしろ漏えい部直下の空調ダクト、グレーティング、及び床ライナー上におけるナトリウム燃焼の影響で温度検出器付近は酸素濃度が低い状態にあったこと、及び事故後に観察された温度検出器全体を覆うナトリウム化合物^[2]により温度検出器への空気の侵入を遮断した可能性が高いこと等が考えられ、漏えい終了時にエルボ部でのナトリウム燃焼が起らなかった可能性が高い。

4.3.4.8 ナトリウム供給配管

熱電対ニップル、コネクタ部と同じように、実験後のガスバージ効果により、ナトリウム供給配管内部からは回収された残留ナトリウムはRun-B5-1の1/5程度の200gであった。図4.26には試験体直前の2Bナトリウム供給配管切断面を示す。配管断面のおよそ1/3が金属ナトリウムで覆われている。

4.3.5 実験後解体寸法測定

ナトリウム流路断面積に係わる箇所を中心に行った実験後の解体寸法測定結果を図4.27に示す。ほとんどの測定箇所が製作精度の範囲内であった。但し、アダプタ部にあるスプリングは、実験前より6mm程度短くなっていた。

4.3.6 ナトリウム化合物及びエアロゾルの分析結果

4.3.6.1 エアロゾルから回収したナトリウム量

実験後に行った試験セル内壁、排煙処理装置内から回収した全ナトリウムエアロゾルを水溶化し、ナトリウム量の算出を行った結果を表4.6に、またサンプル採取箇所を図4.28に示す。試験装置内部、及び排煙処理装置から回収したナトリウム量は12.5kg、Run-B5-1に比べて漏えいナトリウム量が多いことを示す。また、回収量の分布を見ると、Run-B5-1で最も多かった水スクラバーの循環水はほぼ同じ量であるのに対し、試験セル内壁では極端に多い。水スクラバーの回収量が前回とほぼ同じ量となったのは、排煙処理装置の

運転時間と吸引風量がほとんど同じであったためと推定できる。また、試験セル内壁に多かった理由として、漏えい量が多かったことと、漏えい終了後にフィルタの目詰まりにより排煙処理装置の運転を一時停止したためと推定できる。

4.3.6.2 ナトリウム化合物の化学形態

表4.7に回収したナトリウム化合物の化学形態分析結果を、図4.29にそのサンプル採取箇所を示す。Run-B5-1と同様にナトリウム化合物以外の成分も多く見られ、その原因にナトレックス中の成分が影響していることを推定している。

5. 実験結果の評価

もんじゅ事故時の挙動を解明するため、SOFT-1試験装置を使用して行った2回の実験結果をもとに、当該温度検出器からのナトリウム漏えい速度、漏えい形態、及び当該熱電対の温度履歴を解析し温度検出器内部のナトリウム漏えい経路とその時間履歴を評価する。

5.1 ナトリウム漏えい速度の評価

実験中のナトリウム漏えい流量は、加熱タンク液面（LK-1H）の変化率から求める。Run-B5-2実験ではナトリウム供給配管途中に取り付けたナトリウム電磁流量計（F-1H）も参考にする。

5.1.1 加熱タンク連続式液面計の校正

加熱タンク連続式液面計の型式は誘導型連続式ナトリウム液面計（以下、連続式液面計）で、プローブ長さ1110mm中780mmの有効測定長を持つ。有効測定範囲は、図2.13のナトリウム加熱タンク図面に示す通り、プローブ下端30mmの不感部分を除き下端より810mmまで、加熱タンクに挿入した場合底部から70mm位置より上方850mmまでである。有効測定範囲内における出力値は、0～100mVの電気信号で得られる。

連続式液面計の校正は、使用するナトリウム温度での零点及び傾きを調整するもので、本加熱タンクにある接点式液面計1点と実験終了時のナトリウム液面実測法によりその調整が可能である。また、測定範囲内の直線性の確認はアルミニウム管を用いて代用することが可能で、常温で行った結果を図5.1に示す。液面計出力は0～100mV範囲より大きな範囲での出力値となっているが、これは使用温度（200～600°C）を外れていたことによるものである。この結果から、有効測定範囲において十分直線性があることを確認できる。

従って、4.2.1項及び4.3.1項に示した実験前後のナトリウム液面実測値を連続式液面計の零点及び傾きに合わせることによって、実験中のナトリウム漏えい量、漏えい流量を評価することができる。

5.1.2 Run-B5-1実験ナトリウム漏えい流量

実験前後の加熱タンク内ナトリウム液面レベル（4.2.1項参照）と連続式液面計出力の関係、及びその時のナトリウム量は以下の通りである。

| | 液面計出力 | 加熱タンク底部 からの寸法 | 加熱タンクの ナトリウム内容積 | ナトリウム重量 (485°C換算) |
|-------|----------|------------------|--------------------|----------------------|
| 試験開始時 | 95.49 mV | 819 mm | 44.9(±0.4) ℥ | 37.54(±0.33)kg |
| 試験終了時 | 47.6 mV | 469 mm | 19.1(±0.2) ℥ | 15.97(±0.15)kg |

図5.2上段に連続式液面計出力値をもとに加熱タンク内容積に換算して求めたナトリウム漏えい量の時間変化履歴を示す。加熱タンクの内容積は、内部構造物（液面計ウェル、熱電対ウェル）の容積を除くとともに、実験温度485°Cにおけるタンクの熱膨張も考慮した値である。なお、連続式液面計出力値は添付資料-3の付図3-5.3に示す。

図中①はナトリウム仕切弁を開けた直後から温度検出器コネクタ部からのナトリウム漏えいが確認できるまでの時間4秒で、仕切弁と温度検出器の途中にあるナトリウム供給配管中に充填されたナトリウム量に相当する1.51(±0.04)kgである。②が実験中のナトリウム漏えい量を示し、実験開始4秒から終了20分までのナトリウム漏えい量は20.06(±0.48)kgである。その間の平均ナトリウム漏えい流量は16.8(±0.4)g/secである。

このナトリウム漏えい量の時間変化を10秒間の平均流量に算出しナトリウム漏えい流量履歴としたものを図5.2下段に示す。漏えい開始直後のピーク流量は試験体直前までのナトリウム供給配管への充填期間であり、本議論の対象から除外して考える。漏えい開始4秒以後から実験終了までの漏えい流量は、16.8(±2)g/secの範囲でほぼ一定に推移していることがわかる。

5.1.3 Run-B5-2実験ナトリウム漏えい流量

Run-B5-1同様、加熱タンク内ナトリウム液面レベル（4.3.1項参照）と連続式液面計出力の関係、及びその時のナトリウム量は以下の通りである。

| | 液面計出力 | 加熱タンク底部 からの寸法 | 加熱タンクの ナトリウム内容積 | ナトリウム重量 (480°C換算) |
|-------|----------|------------------|--------------------|----------------------|
| 試験開始時 | 91.89 mV | 757.4 mm | 40.38(±1.1) ℥ | 33.80(±0.92)kg |
| 試験終了時 | 0 mV | 74 mm | 2.4(±0.07) ℥ | 2.01(±0.06)kg |

図5.3に連続式液面計出力値をもとに加熱タンク内容積に換算して求めたナトリウム漏えい量の時間変化履歴を示す。算出方法はRun-B5-1と同様で、連続式液面計オリジナルの出力値を図4.13に示す。図中の①はナトリウム仕切弁を開けてから最初のナトリウム漏えいが確認できるまでの時間で、Run-B5-1より時間が長いのは温度検出器に接続したチューブへのナトリウム移行時間が含まれるためである。ビデオ映像によると8秒後に最初のナトリウム漏えいを確認しているが、図中に示す加熱タンクナトリウム液面の落ち込みは7秒で止まっている。この間のナトリウム量は約1.79(±0.06)kgである。その後、②の領域で1.47(±0.05)kgのナトリウムが漏えいし、実験開始34秒後に③で漏えい流量の低下が見られる。その間に9.61(±0.30)kg漏えい後、④で再び漏えい流量が回復し、実験終了まで18.72(±0.58)kgのナトリウムが漏えいした。

このナトリウム漏えい量から平均ナトリウム漏えい流量を算出すると次のように、

- ② : $53.9(\pm 1.7)\text{g/sec}$ (7~34秒)
- ③ : $38.0(\pm 1.2)\text{g/sec}$ (34~287秒)
- ④ : $55.9(\pm 1.7)\text{g/sec}$ (287~622秒)

図中③のナトリウム漏えい流量は②、④に比べて約2/3程度低下している。

一方、図5.3の下段に示すようにナトリウム電磁流量計出力値(F-1H)でも同じようにナトリウム流量の低下が見られる。この図中で実験開始5分以後の流量が単発的に90g/sec付近まで立ち上がっているのは、4.3.2.2項に示す熱電対の破損に伴うノイズである。図中に○で示した液面計から算出したデータは30秒間の平均流量をプロットしたもので、電磁流量計データに比較して全体的に流量値が15%程度低い。この流量計は設置当初から傾向を探るための参考データに位置付けていたこともあり事前校正は行っておらず、また電磁流量計から求めた実験中の全漏えいナトリウム量は加熱タンクに保有していたナトリウム量を上回っていることからも流量値に対する信頼は低い。よって、ナトリウム流量値については液面計から算出したものを用いる。しかし、全く測定原理の異なる液面計と電磁流量計から極めてよく似た流動傾向が得られたことから、上述のステップ上の変化があったことは間違いない。

以上の結果より、本実験では開始5分までの低流量域は何らかの閉塞物等により一時的に低下し、その後閉塞物が何らかの理由で剥がれるなどして流量が復帰したと考えられる。復帰した後の流量が温度検出器自体の持つ最小流路断面積とその流動抵抗によるナトリウム流量 : 55.9g/sec である。ナトリウム流量の一時的な低下の原因については次項以後に述べる。(が、もんじゅ事故時の温度検出器をほぼ模擬したこの試験体の結果を踏まえると、もんじゅでもこの様な現象が起こっていた可能性も考えられる。)

5.1.4 ナトリウム漏えい流量と水による漏えい流量校正試験の比較

上記ナトリウム実験により得られたナトリウム漏えい流量 : $55.9(\pm 1.7)\text{g/sec}$ に対して、実験前後に行った水による校正試験の漏えい流量は、水試験で得られた流量と加圧圧力をもとに流量と圧力損失の関係を無次元化整理しナトリウムに置き換えた $53.6(\pm 5.4)\text{g/sec}$ で、両者の漏えい流量はほぼ一致していることがわかる。因みに、同一試験体(Run-B5-2)で水を用いた校正結果は、実験前後で漏えい流量(特性)の差異は認められなかった(2.1.6項参照)。

5.1.5 もんじゅ事故当該部からのナトリウム流量の推定

ナトリウム実験により得られたナトリウム漏えい流量 : $55.9(\pm 1.7)\text{g/sec}$ をもとに、もんじゅ事故当該温度検出器からのナトリウム漏えい流量を算出する。

温度検出器内部の流路断面積で最も狭い熱電対ウェル破損部位の先端アニュラス部寸法について、もんじゅとナトリウム漏えい実験を比較する。キー溝部の流路断面積は、キー溝部とアダプターとアダプター・ホルダーの隙間部の合計面積であり、先端アニュラス部の3.5倍以上であることから、ナトリウム漏えい流量は先端アニュラス部に規定される。なお、もんじゅ事故当該温度検出器のアニュラス部寸法には公称値を使用する。

| | もんじゅ（公称値） | ナトリウム漏えい実験 |
|-------------|-----------------------|-----------------------|
| 熱電対ウェル開口部内径 | 4.0 mm ϕ | 4.033 mm ϕ |
| 熱電対シース外径 | 3.2 mm ϕ | 3.186 mm ϕ |
| 開口部断面積 | 4.524 mm ² | 4.803 mm ² |
| 開口部断面積比 | 1.0 | 1.06 |

また、漏えい部の圧力についてもんじゅとナトリウム漏えい実験を比較する。もんじゅでの漏えい部圧力は、漏えいが始まってから終了時するまで最大値1.65kg/cm²G^[2]を採用する。ナトリウム漏えい実験でもまた加熱タンク内のナトリウム液位低下に伴い圧力が下降しているが、その最大値（初期値）である1.61kg/cm²G（4.3.1項参照）を用いる。

もんじゅ当該部からのナトリウム漏えい流量を漏えい実験で得たナトリウム流量をもとに温度検出器流路断面積及び漏えい部圧力から算出すると、

$$\begin{aligned}
 \text{もんじゅ当該部漏えい流量} &= \text{実験の漏えい流量} \times \text{断面積比} \times (\text{漏えい部圧力比})^{1/2} \\
 &= 55.9 \text{ g/sec} \times (4.524 / 4.803) \times (1.65 / 1.61)^{1/2} \\
 &= 53.3 \text{ g/sec}
 \end{aligned}$$

となり、ナトリウム漏えい流量53g/secと推定される。

5.1.6 ナトリウム漏えい流量低下の原因

図5.4に示す実験開始34秒後から4分13秒間のナトリウム漏えい流量は、その前後に比べ約2/3に落ち込んでいる。また、図5.2に示すRun-B5-2の実験では、想定した1/3の流量で実験中一定に推移している。

(1) Run-B5-2実験

先ず、第2回目Run-B5-2の流量低下の原因を考える。図5.4にナトリウム流量変化と温

度検出器コネクタ内部に取り付けた計測用熱電対 (TI-8H、TI-9H) の温度挙動を示す。TI-9Hはコネクタ内の補償導線取り出し口付近に設けてあり、実験開始4秒後には漏えいナトリウムを感じし、徐々に漏えいナトリウム温度 (480°C) に近づいていく。一方、TI-8Hは端子板中心より30mm上方にあり、TI-9Hに比べて温度上昇が鈍いことからその間はナトリウムに接触せず、コネクタ内部の徐々に上昇するガス温度を測定していたものと思われる。しかし、27.5秒過ぎに急激な温度上昇があり750°C以上に達し、その10秒後には漏えいナトリウム温度 (480°C) 付近まで低下している。同時にコネクタ下部のTI-9Hも50°C程度の温度上昇が見られる。4.3.4.1項で述べたチューブを固定するふくろナットは25秒後に焼失してチューブが数センチずれ落ちており、ここで酸素が入り込む可能性があるが、チューブとエルボの接続部に近いTI-9Hの温度上昇がTI-8Hに比べて遅れていること、及び最高到達温度が低いことなどからこの影響は考え難い。恐らく、アダプタ部にあるエポキシ樹脂や熱電対リード線のテフロン被覆などが温度が上昇したと共に伴いそれら自身が燃焼したか、あるいはナトリウムとの反応により燃焼したか、いずれにしろ温度検出器内部の物質が影響している可能性が高い。

また、ナトリウム流量が一時的に低下した時間とこのコネクタ内部の温度上昇がほぼ一致していることから、上述したエポキシ樹脂やテフロン被覆などの燃焼を考えるとその燃焼化合物が端子板のリード線取り出し口 (10mm φ) 、あるいはエルボ側の補償導線取り出し口 (14mm φ) 等の流路が狭い箇所を塞ぎ、一時的な流量低下が生じた可能性が高い。その後、通過するナトリウムによってその化合物が取り除かれ、再び温度検出器ウェル部の最小流路断面積から得られる定常流量に復帰したものと思われる。実験後の解体検査では、コネクタ内の流路に流量を低下させるような化合物の閉塞はなかったものの、流路とは関係のないコネクタキャップ内面や隙間に粒状の燃焼炭化物が数多く存在しており、流路を塞ぐ要因が十分存在していることが伺える。

(2) Run-B5-1実験

一方、第1回目Run-B5-1の低流量の原因是、コネクタ部よりむしろ熱電対ウェル破断部やアダプタ内のキー溝部等の流路断面積の小さいところでの閉塞の可能性が高い。図5.5に考えられる原因と試験体解体検査結果を含めた可能性の検討、及びその対策をまとめると。

ナトリウムの漏えい流量16.8g/secを得るために穴径は2.3mm φで、コネクタ内部の流路をナトリウム燃焼化合物等で閉塞させ、更に20分間一定流量が継続することは考え難い。また、漏えい開始初期から低流量であったことから、コネクタ内部でナトリウムやエポキシ樹脂等の燃焼化合物が閉塞するには時間が早すぎる。この実験で使用したナトリウムの溶存酸素濃度は3.3.1項に示す通り17ppmで、ナトリウム純化運転を行った第2回目の4.0ppmに比較して4倍以上純度が悪い。このナトリウム中の不純物かまたはナトリウム供給配管内の残留酸素との反応による酸化物が流路断面積の小さい箇所に析出し、流量を低

下させた可能性が高いと推定される。

5.2 温度検出器熱電対の温度履歴とナトリウム漏えい挙動の評価

もんじゅ事故当該部からのナトリウム漏えい挙動を評価するため、もんじゅCループ IHX二次側出口ナトリウム温度履歴と、2回のナトリウム漏えい実験で得たプロセス熱電対温度履歴を比較し、その事象推移について検討する。

5.2.1 温度検出器熱電対の信号処理装置

図5.6上段はもんじゅの当該熱電対温度履歴を、下段はRun-B5-2実験で得たプロセス熱電対の温度履歴を示す。また、2回の実験で信号処理装置を使用していないプロセス熱電対の温度履歴生データを図5.7に示す。

図5.6の熱電対挙動で上端でカットされている最高温度が、同じ信号処理装置を使用したにもかかわらずもんじゅの600°Cに対して漏えい実験では約750°Cと高い値を示したのは、信号処理後のデータ収録装置の違いが原因である。信号処理装置自身は、0~600°C範囲内の温度に直線性を持たせるようその前後の温度範囲も処理できる設計となっており、信号処理装置からは0~600°C範囲外の領域も電気信号として出力されている。もんじゅではその信号収録の上限を600°Cとしてそれ以上の信号をカットしていた（下限も同様）。一方、漏えい実験ではその信号処理装置から出力される信号をカットせずに図形処理を行ったため、結果的にその上限値に150°Cの温度差が生じた。

図5.7上段に示すRun-B5-1のプロセス熱電対の温度履歴で、実験前に一度断線している点については4.2.2.1項で述べた。

5.2.2 もんじゅ当該熱電対と漏えい実験プロセス熱電対挙動

図5.6に示すもんじゅ当該熱電対と漏えい実験プロセス熱電対の挙動を比較すると、ナトリウム漏えい開始からの急激な温度低下、その後ナトリウム温度付近まで上昇して数十秒間ほぼ一定に推移し、漏えい開始1分後に600°Cを上回る温度に達している。その後、10分間その温度を維持した後300°C以下に連続的に低下している。両者の挙動はほぼ一致していることがわかる。

図5.7上段のRun-B5-1で得た温度履歴は、漏えい開始前後の断線信号を発している箇所を除けば漏えい開始から10分後までは同じ傾向にある。その後の300°C以下の温度低下勾配が逆になっているのは、チューブを温度検出器に接続しなかったこと（40mmのギャップ）の違いによる漏えい燃焼形態に若干の違いがあったものと推定される。

5.2.3 漏えい実験プロセス熱電対の温度計測位置の移動

実験後、チューブ内にあるプロセス熱電対補償導線の絶縁・抵抗を部分的に測定し短絡

箇所を探ったところ、4.3.4.4項で述べたようにチューブ最下端部より電線管側に50～200mm立ち上がった部分で短絡していることがわかった。これはプロセス熱電対が示す温度履歴の最終計測位置に相当するものと推定できる。

図5.8～図5.10にRun-B5-2のプロセス熱電対とチューブ、及び電線管内部の温度履歴を示す。図5.8の①漏えい開始4秒後の100℃付近への急激な低下は、コネクタ内端子板上の補償導線とリード線の接続部（金属面が表面に露出している部分）、あるいはアダプタ内のエポキシ樹脂、あるいはリード線被覆が溶融、または燃焼し熱電対素線、リード線がナトリウムと接触して、その時のナトリウム温度を示したものと考えられる。

その後30秒付近までの緩やかな温度上昇は、漏えいするナトリウムによるコネクタ部やチューブの加熱、及びチューブ外表面被覆の燃焼によるものと想定される。これを裏付けるように図5.8②のチューブ入口付近の内部温度（TF-6H, TF-7H）、及び図5.10⑧の外表面温度（TF-1H, TF-2H）とよく似た傾向を示している。特に図5.8②に示すTF-7Hとよく一致しており、この時間帯のプロセス熱電対はチューブ最下端に向う途中の何処かで短絡しているものと思われる。

また、漏えい開始後30秒付近に現れるコネクタ内部における急激な温度上昇（図中の③）をプロセス熱電対が感知している。図5.6のもんじゅ当該熱電対の温度履歴にも同じような温度上昇があることから、もんじゅの事故時も同じようにコネクタ内部で一時的な燃焼挙動があったものと推察される。

その後、図5.9に示すチューブ最下端位置の内部温度（TF-8H）が、実験開始3分30秒付近（図中④）と5分以後（図中⑤）でプロセス熱電対と比較的一致している。この時間帯におけるチューブ最下端より電線管側の熱電対（TF-9H）は、全く違う温度挙動であることから、この時間帯のプロセス熱電対はチューブ最下端で短絡していたと考えられる。

ナトリウムの漏えい終了10分22秒以後は、図5.9中の⑥に示すチューブ最下端部より電線管側のTF-9Hとよく一致している。

以上、チューブの温度履歴、及び試験後解体結果で得た補償導線の短絡箇所から、プロセス熱電対温度計測位置の時間変化を推定すると、漏えい開始直後の急激な温度低下から600℃を越える温度までの1分間はコネクタ内部の端子板よりチューブ側へ徐々に短絡箇所が移動しており、4～5分後にチューブ最下端に到達する。更に漏えい開始10分以後300℃以下に低下したところで最下端より電線管側のナトリウム燃焼の起こっていない箇所、恐らく解体検査でわかった最終的な短絡位置（最下端より50～200mm）に移動したものと推定できる。

5.3 ナトリウム漏えい形態の評価

もんじゅナトリウム漏えい事故時の当該温度検出器からのナトリウム漏えい形態について

て、ナトリウム漏えい実験によるビデオ映像（4.2.3項、4.3.3項）、実験後の観察（4.2.4項、4.3.4項）、及びプロセス熱電対の温度挙動（5.2項）をもとに推定する。

5.3.1 温度計ウェル段付部位での破損に伴う微小ナトリウム漏えいの可能性

温度計ウェル段付部位での破損に伴い熱電対ウェル、ニップル部を通過してチューブ内部に漏えいするナトリウムは、もんじゅ当該熱電対と漏えい実験のプロセス熱電対の挙動が一致していることから、細管破断直後に流路最小面積に規定される最大流量（漏えい実験では56g/sec）で漏えいしたと推定される。

細管の完全破断前に微小亀裂からのナトリウム漏えいはあまり考え難く、仮に起こっても熱電対ウェル部に止まっていたと思われる。これは、微小漏えいによるナトリウムがニップル部に達すると熱電対アダプタ部のエポキシ樹脂が溶融して熱電対の温度信号に断線等の異常が観察されると推定できるからである。もしエポキシ樹脂に影響を与えない程度のナトリウム温度であったと仮定すると、その位置でナトリウムはフリーズし、その後細管が破断して漏えいするナトリウムを温度検出器内に止まらせることになる。

従って、細管の完全破断前にニップル部に達する微小ナトリウム漏えいの可能性は低いと推定できる。

5.3.2 フレキシブルチューブからのナトリウム漏えい

細管破断直後にコネクタ部を通過し、チューブ内に漏えいしたナトリウムは電線管側まで到達し、管内を流れるナトリウム流の先頭温度が100℃未満になる位置でフリーズし、管内部を閉塞させる。その後、チューブの内圧が上昇し、エルボの接続部やチューブから外部に漏えいする。図4.15の実験開始17秒後のビデオカメラ映像に示すようにチューブ被覆材を突き破って広範囲に流出するナトリウムが観察できる。この時点では漏えいするナトリウム温度が低いためまだ燃焼していない。

実験開始25秒後にチューブが数cmずれ落ちる挙動が確認されており、この時点でチューブをエルボ部に保持していたふくろナット（亜鉛合金ダイカスト；融点約380℃^[5]）が溶融したと推定される。もんじゅと同様、実験でもふくろナットは焼失した。約15秒で着火したチューブの被覆材（軟質ポリ塩化ビニル製）は、この間勢いよく燃焼していることから、ふくろナットを溶融させる熱源はナトリウムよりもむしろ被覆材の燃焼熱が主要因と思われる。

5.3.3 フレキシブルチューブ最下端からの棒状ナトリウム漏えい

漏えいを開始してから約1分間は、ナトリウムの燃焼よりもむしろ被覆材等の燃焼の方が主流であった。その後チューブの最下端部からの連続的なナトリウムの滴下が主流となり、最下端部を中心に燃焼が継続する。実験後の観察からもそのほとんどがチューブを伝って

漏えいしており、ビデオ映像で確認できる最初のチューブ被覆からのナトリウム飛散を除けば温度検出器からはスプレイ状に飛散していないことがわかる。外装板表面を伝って流れるナトリウムもほとんど無い。

ビデオ、赤外線カメラ映像分析、及び実験後の受け皿上に飛散するナトリウムの観察結果から、少なくともチューブが切断されるまでは漏えいするナトリウムは棒状で直下に位置する換気空調ダクトに落下するものと推定できる。

また、チューブ最下端部を中心に燃焼が継続することによって、もんじゅで見られたようにチューブが切断される^[2]のは時間の問題と考えられる。

6. まとめ

「もんじゅ」2次主冷却系でのナトリウム漏えい事故の原因究明の一環として、大洗工学センターのナトリウム火災基礎試験装置（SOFT-1）を用いた「ナトリウムによる漏えい速度、漏えい形態の確認実験」を2回実施した。この実験の目的である(1)破損した温度検出器からのナトリウムの漏えい速度と漏えい形態の確認、(2)温度検出器周辺の配管保温構造等への影響の確認、(3)温度検出器の温度履歴の「もんじゅ」との比較結果、及びそれらの実験結果から「もんじゅ」事故への推定について以下に述べる。

(1) ナトリウムの漏えい速度と漏えい形態

漏えい速度については、Run-B5-1実験（第1回目）では想定流量の約1/3、平均17g/secの結果が得られた。この原因は供給配管内の残留酸素やナトリウム不純物の影響により、模擬温度検出器の狭隘部が詰まり加減であったため、漏えい速度が十分に得られなかつたと考えられることから、これらへの対策を講じて次の実験を行った。Run-B5-2実験（第2回目）では前半と後半で漏えい速度が異なり、それぞれ38g/sec及び56g/secであった。前半の低流量は、信号線の被覆材等が流路を塞ぎかけた可能性が高く、後半の56（±2）g/secが漏えい速度として信頼性のある値と結論された。

漏えい形態のうち、特に初期の挙動については、チューブとコネクタのエルボ部の接続状態が鍵となる。Run-B5-1では、もんじゅ現場で事故後確認された状況に合わせて、チューブを始めからエルボ部から外して実験を開始したのに対し、Run-B5-2では接続した状態で実験を開始した。Run-B5-2では、漏えい開始から17秒後にふくろナットによる接続が外れて、Run-B5-1の初期状態と同じになった。接続が外れるまでの漏えい形態は、コネクタ部継ぎ目からのナトリウム液滴の飛散やチューブの被覆を貫いて流線状の流れが特徴的であったのに対し、接続が外れてからの漏えい形態は、チューブ下端からの連続的な滴下が主流であり、時折散発的にコネクタ部付近からの飛散が見られた。

(2) 温度検出器周辺の配管保温構造等への影響

配管保温構造（外装板等）への影響については、Run-B5-1においてコネクタ部のエルボ接続部に近い部分の外装板に腐食による穴が開いたが、Run-B5-2では特に穴等の損傷は見られず、その差はナトリウムの漏えい時間の違いによると考えられる。また、温度検出器コネクタに接続されている亜鉛合金ダイカスト製のふくろナット、アルミニウム製の45°エルボ、複合電気亜鉛メッキ鋼板製のチューブ金属部は、何れもナトリウム燃焼の影響で一部焼失した。

(3) 温度検出器の温度履歴の比較

温度検出器の熱電対信号は、Run-B5-2でもんじゅの当該温度と極めて良く似た挙動が得られ、ナトリウムの流出に従って温度接点の位置が次第に移動していくことにより十分説明できることが確認できた。漏えい時間約10分で得た温度検出器の温度接点位置はチューブ最下端より電線管側50～200mmの間である。また、チューブから電線管側へのナトリウム流出は、チューブと電線管の接続部より100～380mm間に到達しており、もんじゅ事故時の210mmとほぼ一致する。

(4) 「もんじゅ」事故への推定

「ナトリウムによる漏えい速度、漏えい形態の確認実験」により得たナトリウム漏えい速度56（±2）g/secについて、もんじゅ事故当該部に補正し53g/secの値を得た。ただし、熱電対ウェル先端アニュラス部の流路断面積は公称寸法を、また漏えいナトリウムの加圧圧力は漏えい期間中の最高圧力値1.65kg/cm²Gとした。

また、温度検出器コネクタ部に接続されているエルボが、もんじゅでは欠損を伴う損傷が観察されていないのは、漏えいするナトリウム（約480℃）によってエルボ（アルミニウム製）の融点以下の温度に保たれしたこと、またナトリウム漏えいの終盤は事故後に観察された温度検出器全体を覆うナトリウム化合物が温度検出器への空気の侵入を遮断し、エルボ部でのナトリウム燃焼が起こり難くなつたことによるものと推定される。

7. 謝 辞

本実験の遂行にあたり、「もんじゅ」ナトリウム漏えい事故当該部の状況についてもんじゅ建設所プラント第二課金子義久副主任研究員及び同課員に調査して戴いた。試験体流量校正試験については安全工学部原子炉工学室軍司稔副主任研究員ならびに大木義久氏に、ナトリウム純化設備の設置及び純化運転については安全工学部機器・構造安全工学室吉田英一副主任研究員ならびに石崎公人副主任研究員に、試験体寸法検査や材料検査については安全工学部機器・構造安全工学室青木昌典氏ご協力戴いた。また、本試験を行うにあたっての試験体製作、試験運転、データ測定、化学分析、及び実験解析に関してプラント安全工学室の大野修司副主任研究員、川田耕嗣研究員、内山尚基研究員、栗原成計研究員、東興機械工業(株)の鈴木和右氏、中根啓二氏、手塚健一氏、川村忠氏、郡司仁氏、真家光良氏、及び原子力技術(株)の加藤一憲氏をはじめ関係者に多大なるご協力を戴いた。さらに、実験を公開するにあたって実験室の整備や映像機材設置など安全工学部高須宏雄研究員、プラント安全工学室柴崎洋一氏をはじめ安全工学部及び管理部総務課の多くの関係者にご協力戴いた。ここに深く感謝の意を表します。

8. 参考資料

- [1] 「40%出力試験中における2次主冷却系ナトリウム漏えい事故」の原因調査状況（第3報報告書），動力炉・核燃料開発事業団 高速増殖炉もんじゅ建設所（1996年3月）
- [2] 「40%出力試験中における2次主冷却系ナトリウム漏えい事故について（第4報報告書）」，動力炉・核燃料開発事業団 高速増殖炉もんじゅ建設所（1996年9月）
- [3] 永井彰一郎，金丸 競，「非金属工業材料」，日刊工業新聞社（1964）
- [4] 森 五郎，「非金属材料データブック」，日本規格協会（1983）
- [5] 「機械工学便覧」，日本機械学会（1987）

表3.1 Run-B5-1実験 データ収録リスト

| Tag. No. | 取付け 部位 | 取付け位置 | 種類 | ひふみ 収録 | ※ハイブリッド レコーダー | ※ソーラー |
|-------------|----------------|---------------------------|----|-----------|------------------|-------|
| TI-1H | 試験体部 | プロセスT/C | K型 | 1ch | | ※ソーラー |
| TI-2H | | ウェル管台部(壁から30mm) | K型 | 2ch | | |
| TI-3H | | ニップル部(壁から170mm) | K型 | 3ch | | ※ソーラー |
| TI-4H | | 試験体内保温材部(壁から30mm) | K型 | 4ch | | |
| TI-5H | | 試験体内保温材部(壁から170mm) | K型 | 5ch | | |
| TI-6H | | 熱電対コネクタ付け根付近下部 | K型 | 6ch | | ※ソーラー |
| TO-1H | 外装板 | 試験体外装板表面 コネクタ下部 | K型 | 7ch | | |
| TO-2 | | 試験体外装板表面 中間部 | K型 | | 1ch | |
| TO-3H | | 試験体外装板表面 最下部 | K型 | 8ch | | ※ソーラー |
| TF-1H | ルギアブル チューブ部 | ルギ外表面 最下部 | K型 | 9ch | | ※ソーラー |
| TF-2H | | ルギ内部 入口部 | K型 | 10ch | | ※ソーラー |
| TF-3H | | ルギ内部 入口から250mm | K型 | 11ch | | |
| TF-4H | | ルギ内部 入口から500mm(最下部) | K型 | 12ch | | |
| TF-5H | | ルギ内部 入口から750mm | K型 | 13ch | | |
| TF-6H | | ルギ内部 入口から1000mm | K型 | 14ch | | |
| TD-1 | 第1漏えい 受け皿 | 第1受け皿表面(北側300mm, 西側300mm) | K型 | | 2ch | |
| TD-2H | | 第1受け皿表面(北側300mm, 中心) | K型 | 15ch | | |
| TD-3 | | 第1受け皿表面(北側300mm, 東側300mm) | K型 | | 3ch | |
| TD-4 | | 第1受け皿表面(北側150mm, 西側150mm) | K型 | | 4ch | ※ソーラー |
| TD-5 | | 第1受け皿表面(南側150mm, 東側150mm) | K型 | | 5ch | |
| TD-6H | | 第1受け皿表面(中心, 西側300mm) | K型 | 16ch | | |
| TD-7H | | 第1受け皿表面(中心) | K型 | 17ch | | |
| TD-8H | | 第1受け皿表面(中心, 東側300mm) | K型 | 18ch | | |
| TD-9 | | 第1受け皿表面(南側150mm, 西側150mm) | K型 | | 6ch | |
| TD-10 | | 第1受け皿表面(南側150mm, 東側150mm) | K型 | | 7ch | |
| TD-11 | | 第1受け皿表面(南側300mm, 中心) | K型 | | 8ch | |

※ : データ収録装置

| Tag. No. | 取付け 部位 | 取付け位置 | 種類 | ひふみ 収録 | ※ハイブリッド レコーダー | ※ソーラー |
|-------------|----------------|------------------------------|---|-----------|------------------|----------------|
| TD-12 | 第2漏えい 受け皿 | 第2受け皿表面(第1皿北側150mm, 中心) | K型 | | 9ch | |
| TD-13 | | 第2受け皿表面(北側150mm, 第1皿西側150mm) | K型 | | 10ch | |
| TD-14 | | 第2受け皿表面(北側150mm, 第1皿東側150mm) | K型 | | 11ch | |
| TD-15 | | 第2受け皿表面(南側707mm, 第1皿西側150mm) | K型 | | 12ch | |
| TD-16H | | 第2受け皿表面(中心, 南側707mm) | K型 | 19ch | | |
| TD-17 | | 第2受け皿表面(南側707mm, 第1皿東側150mm) | K型 | | 13ch | |
| TD-18 | 第1受け皿 | 第1受け皿裏面(中心) | K型 | | 14ch | |
| T-1H | ナトリウム 供給配管部 | 試験体接続2B配管温度 | K型 | 20ch | | |
| T-2H | | 試験体・配管接続部表面温度 | K型 | 21ch | | |
| T-3H | | 試験体表面温度 | K型 | 22ch | | |
| T-4H | | 圧力計用1B管管温度 | K型 | 23ch | | |
| T-11 | | ナトリウム加熱タック壁 | K型 | | 15ch | |
| T-12 | | ナトリウム供給配管立ち上がり | K型 | | 16ch | |
| T-13 | | ナトリウム供給配管水平部 | K型 | 17ch | ※ソーラー | |
| T-14 | | ナトリウム供給配管水平部(2B手前) | K型 | 18ch | ※ソーラー | |
| T-15H | | 供給配管(1/2B)水平部 | K型 | 24ch | | |
| T-21H | | コネクタ上部(650mm)ガス温度 | K型 | 25ch | | |
| T-22 | | 切西側ガス温度 | K型 | | 19ch | |
| T-23 | | 切東側ガス温度 | K型 | | 20ch | |
| T-24 | | 切天井内壁温度 | K型 | | 21ch | |
| T-25 | 試験切内部 | 切南側ガス温度 | K型 | | 22ch | |
| T-26 | | 排煙ダクト入口 | K型 | | 23ch | |
| T-27 | | サーピングゾン覗き窓部ガス吸い込み口 | K型 | | 24ch | |
| T-28 | | ナトリウム漏えい受け皿下(中心) | K型 | | 25ch | |
| TK-1H | ナトリウム 加熱タック | 加熱タンクナトリウム温度 | K型 | 27ch | | |
| LK-1H | | 加熱タンク液面 | FL70~950(mm) →0~100(mV) | 28ch | | |
| PK-1H | | 加熱タンクカバーガス圧力 | 0~10(kg/cm ² G) →0~1000(mV) | 29ch | | |
| P-2H | ナトリウム 供給配管部 | ナトリウム供給配管(2B)内部圧力 | 0~20(kg/cm ² G) →0~1000(mV) | 30ch | | |
| FE-01 | 排煙処理装置 | スクラバ排気流量 | 0~60(Nm ³ /min) →1~5(V) | | | ※ソーラー (ダブル) |
| S.S | ナトリウム バルブ | ナトリウム仕切弁開閉信号 | Off - On → 0-5(V) | 26ch | | |

表3.2 Run-B5-2実験 データ収録リスト

(1/2)

| Tag. No. | 取付け 部位 | 取付け位置 | 種類 | データ印 収録 | M/Fリット レコーダ | バン レコーダ |
|-------------|----------------|------------------------------------|----------|------------|----------------|------------|
| TI-1H | 試験体 温度計 | 試験体プロセスT/C | K型(3.2φ) | 0ch | | バ'ルコ2 |
| TI-2H | | ウェル管台部（壁から30mm） | K型(1.6φ) | 1ch | | |
| TI-3H | | ニップル部（壁から170mm） | K型(1.6φ) | 2ch | | |
| TI-4H | | 試験体内保溫材部（壁から30mm） | K型(1.6φ) | 3ch | | |
| TI-5H | | 試験体内保溫材部（壁から170mm） | K型(1.6φ) | 4ch | | |
| TI-6H | | 熱電対コネクタ付け根付近下部 | K型(1.6φ) | 5ch | | |
| TI-7H | | 熱電対コネクタ部付け根付近（保溫材中） | K型(1.0φ) | 6ch | | バ'ルコ2 |
| TI-8H | | 熱電対コネクタ内端子板（上部） | K型(1.0φ) | 7ch | | |
| TI-9H | | 熱電対コネクタ内端子板（下部） | K型(1.0φ) | 8ch | | バ'ルコ2 |
| TO-1H | 外装板 | 試験体外装板表面 コネクタ下部 | R型(1.0φ) | 9ch | | バ'ルコ3 |
| TO-2H | | 試験体外装板表面 中間部 | K型(1.0φ) | 10ch | | |
| TO-3H | | 試験体外装板表面 最下部 | K型(1.0φ) | 11ch | | |
| TF-1H | ルギアブル カーブ部 | ルギ外表面入口ゾイント部 | R型(1.6φ) | 12ch | | バ'ルコ3 |
| TF-2H | | ルギ外表面入口から250mm | R型(1.6φ) | 13ch | | バ'ルコ3 |
| TF-3H | | ルギ外表面最下部 | R型(1.6φ) | 14ch | | バ'ルコ4 |
| TF-4H | | ルギ外表面入口から750mm | R型(1.6φ) | 15ch | | バ'ルコ4 |
| TF-5H | | ルギ外表面電線管接続部 | K型(1.0φ) | 16ch | | |
| TF-6H | | ルギ内部入口 | K型(1.0φ) | 17ch | | |
| TF-7H | | ルギ内部入口から250mm | K型(1.0φ) | 18ch | | |
| TF-8H | | ルギ内部入口から約500mm（最下部） | K型(1.0φ) | 19ch | | |
| TF-9H | | ルギ内部入口から約750mm | K型(1.0φ) | 20ch | | |
| TF-10H | | ルギ内部入口から約1000mm | K型(1.0φ) | 21ch | | |
| TF-11H | | ルギ内部電線管接続部 | K型(1.0φ) | 22ch | | |
| TF-12H | | 電線管内部接続部から210mm (実機でのナトリウム侵入位置) | K型(1.0φ) | 23ch | | |
| TD-2H | 受け皿 | 第1受け皿表面 (北側300mm, 中心) | K型(1.0φ) | 24ch | | |
| TD-4 | | 第1受け皿表面 (北側150mm, 西側150mm) | K型(1.0φ) | 25ch | | |
| TD-5 | | 第1受け皿表面 (南側150mm, 東側150mm) | K型(1.0φ) | 26ch | | バ'ルコ5 |
| TD-7H | | 第1受け皿表面 (中心) | K型(1.0φ) | 27ch | | |
| T-1H | ナトリウム 供給配管部 | 試験体接続B配管温度 | K型(1.0φ) | 28ch | | |
| T-2H | | 試験体・配管接続部表面温度 | K型(1.0φ) | 29ch | | |
| T-3H | 試験体 | 試験体表面温度 | K型(1.0φ) | 30ch | | |
| T-14 | ナトリウム 供給配管部 | ナトリウム供給配管 (NV-1～NV-2の中間位置) | K型(1.6φ) | 31ch | | バ'ルコ5 |
| T-18 | | ナトリウム供給配管(1/2B)立ち上がり部 | K型(1.6φ) | 32ch | | バ'ルコ6 |
| T-19 | | ナトリウム供給配管(1/2B)水平部M内 | K型(1.0φ) | 33ch | | |
| T-20 | | ナトリウム供給配管(1/2B)水平部2B手前 | K型(1.0φ) | 34ch | | バ'ルコ6 |
| T-21H | 試験切内部 | コネクタ上部 (650mm) ガス温度 | K型(1.0φ) | 35ch | | |
| T-22 | | ガス西側ガス温度 | K型(1.0φ) | 36ch | | |
| T-23 | | ガス南側温度 | K型(1.0φ) | 37ch | | |

| Tag. No. | 取付け 部位 | 取付け位置 | 種類 | データ印 収録 | ハイ'リット レコーダ | バン レコーダ |
|-------------|----------------|--------------------------------|------------------------------|------------|----------------|------------|
| T-24 | 試験切内部 | 缶天井壁温度 | K型(1.0φ) | 38ch | | |
| T-25 | | 缶南側ガス温度 | K型(1.0φ) | 39ch | | |
| T-26 | | 排煙ダクト入口 | K型(1.0φ) | 40ch | | |
| T-27 | | リビングゾン引き窓部ガス吸い込み口 | K型(1.0φ) | 41ch | | |
| T-28 | | ナトリウム漏えい受け皿下 (中心) | K型(1.0φ) | 42ch | | |
| T-29H | | 燃焼部近傍ガス温度 (コネクタ下部600mm) | K型(1.0φ) | 43ch | | バ'ルコ6 |
| T-30H | | 同上 (T-29取付位置より西側200mm) | K型(1.0φ) | 44ch | | |
| T-31H | | 同上 (T-29取付位置より西側400mm) | K型(1.0φ) | 45ch | | |
| S.S | | ナトリウム仕切弁開閉信号 | On - On → 0-5(V) | 46ch | | |
| TK-1H | ナトリウム 加熱タック | 加熱タンクナトリウム温度 | K型(1.6φ) | 47ch | | バ'ルコ1 |
| LK-1H | | 加熱タンク液面 | FL:70～650(mm) →0～100(mV) | 48ch | | バ'ルコ1 |
| PK-1H | | 加熱タンクカバーガス圧力 | 0～10(kg/cm²G) →0～1000(mV) | 49ch | | バ'ルコ1 |
| P-2H | ナトリウム 供給配管部 | ナトリウム供給配管(B)内部圧力 | 0～10(kg/cm²G) →0～1000(mV) | 50ch | | |
| F-1H | | ナトリウム供給配管ナトリウム流量 | 0～10(l/min) →1～5.8(V) | 51ch | | |
| TO-1HK | 試験体 | 試験体外装板表面 コネクタ部 | K型(1.0φ) | 52ch | | |
| TI-1HY | | 試験体プロセスT/C (信号処理装置接続) | K型(3.2φ) | 53ch | | |
| FE-01 | バルブ | スラバ流量 | 0～80(Nm³/min) →1～5(V) | 54ch | | |
| TD-1 | 第1受け皿 | 第1受け皿表面 (北側300mm, 西側300mm) | K型(1.0φ) | | | 1ch |
| TD-3 | | 第1受け皿表面 (北側300mm, 東側300mm) | K型(1.0φ) | | | 2ch |
| TD-6H | | 第1受け皿表面 (中心, 西側300mm) | K型(1.0φ) | | | 3ch |
| TD-8H | | 第1受け皿表面 (中心, 東側300mm) | K型(1.0φ) | | | 4ch |
| TD-9 | | 第1受け皿表面 (南側150mm, 西側150mm) | K型(1.0φ) | | | 5ch |
| TD-10 | | 第1受け皿表面 (南側150mm, 東側150mm) | K型(1.0φ) | | | 6ch |
| TD-11 | | 第1受け皿表面 (南側150mm, 中心) | K型(1.0φ) | | | 7ch |
| TD-12 | | 第2受け皿表面 (第1皿北側150mm, 中心) | K型(1.0φ) | | | 8ch |
| TD-13 | | 第2受け皿表面 (第1皿西側100mm) | K型(1.0φ) | | | 9ch |
| TD-14 | | 第2受け皿表面 (第1皿東側100mm) | K型(1.0φ) | | | 10ch |
| TD-15 | 第2受け皿 | 第2受け皿表面 (南側707mm, 第1皿西側150mm) | K型(1.0φ) | | | 11ch |
| TD-16H | | 第2受け皿表面 (南側707mm, 中心) | K型(1.0φ) | | | 12ch |
| TD-17 | | 第2受け皿表面 (南側707mm, 第1皿東側150mm) | K型(1.0φ) | | | 13ch |
| TD-18 | | 第1皿受け皿裏面温度 (中心) | K型(1.0φ) | | | 14ch |
| T-4H | ナトリウム 加熱タック | 圧力計管台(1B)温度 | K型(1.0φ) | | | 15ch |
| T-11 | | ナトリウム加熱タンク (壁) | K型(1.6φ) | | | 16ch |
| T-12 | | ナトリウム供給配管バルブ (NV-1) | K型(1.6φ) | | | 17ch |
| T-13 | | ナトリウム供給配管 (ナトリウム加熱タック～NV-1の中間) | K型(1.6φ) | | | 18ch |
| T-15 | | キャリアガス配管バルブ (NV-3) | K型(1.6φ) | | | 19ch |
| T-16 | | Na供給配管バルブ (NV-2) | K型(1.6φ) | | | 20ch |
| T-17 | | キャリアガス配管バルブ (NV-4) | K型(1.6φ) | | | 21ch |

[単位 : Wt. ppm]

| 試料No. | Na採取量 (g) | O ₂ | Fe | Cr | Ni | Cl | K | Ca | Li | B | Cd | Si |
|--------------|--------------|----------------|-----|-----|-----|------|-------|------|------|-----|-----|------|
| No.1 | 1.76 | 10.7 | < 5 | < 1 | < 1 | | | | | | | |
| No.2 | 4.26 | 30.5 | < 5 | < 1 | < 1 | | | | | | | |
| No.3 | 2.50 | 17.8 | | | | | | | | | | |
| No.4 | 3.17 | 16.8 | | | | | | | | | | |
| No.5 | 1.02 | | | | | < 30 | < 300 | < 10 | < 10 | < 1 | < 1 | 16 |
| No.6 | 1.19 | | | | | 39 | < 300 | < 10 | < 10 | < 1 | < 1 | 16 |
| もんじゅ 判定基準 | | | < 5 | < 1 | < 1 | < 30 | < 300 | < 10 | < 10 | < 1 | < 1 | < 10 |

* 分析対象元素により前処理、分析方法が異なるため、1試料で全ての元素分析はできない。

No.1とNo.2の酸素濃度にはらつきがみられるがその原因としてNo.1はサンプル管が短くナトリウムを溶かし出す際低温でナトリウムが落下してしまい低値になったものと思われる。またNo.1, No.2はサンプル管上端に近く中心部のNo.3, No.4にくらべると偏析の影響が大きいと思われる。

したがって酸素濃度としてNo.3とNo.4の平均値の17.3ppmを採用する。

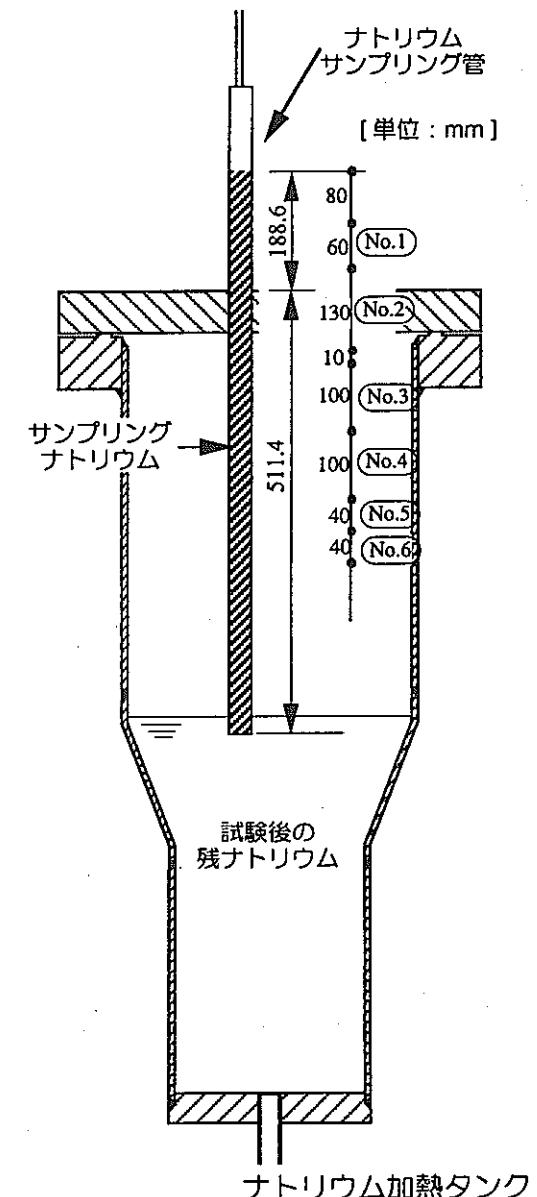
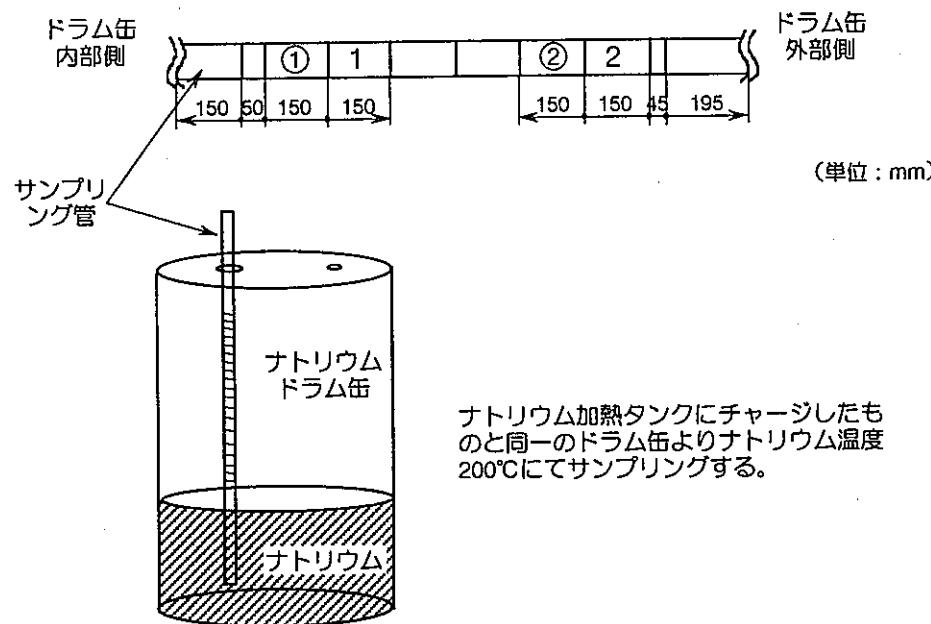


表3.3 Run-B5-1実験 ナトリウム中不純物濃度

純化運転前

(サンプリング位置)



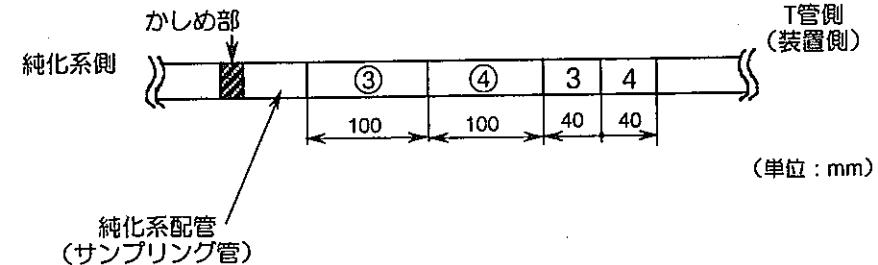
ナトリウム加熱タンクにチャージしたも
のと同一のドラム缶よりナトリウム温度
200°Cにてサンプリングする。

(分析結果)

| | 位置 | 分析結果 | 分析結果の平均 |
|------|----|---------|---------|
| 酸素濃度 | ① | 9.15ppm | 9.16ppm |
| | ② | 9.16ppm | |
| 水素濃度 | 1 | 0.61ppm | 0.54ppm |
| | 2 | 0.46ppm | |

純化運転後

(サンプリング位置)



(純化運転条件)

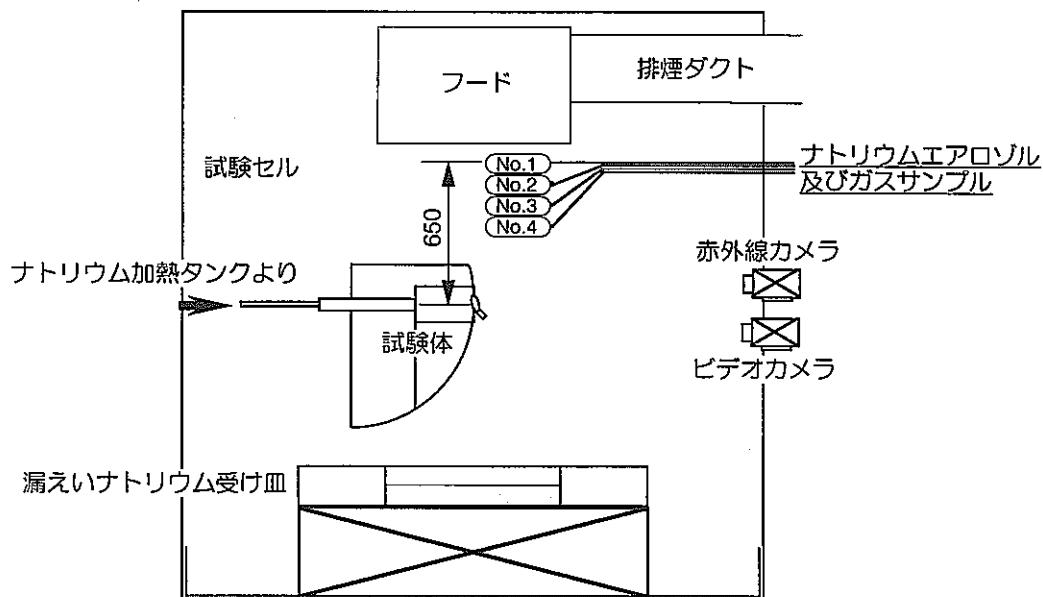
コールドトラップ温度 120°C
純化運転運転時間 41時間

純化運転後に、純化系ライン(1/2B)一部を切断し、両端
をシグによりかしめてサンプリングする。

(分析結果)

| | 位置 | 分析結果 | 分析結果の平均 |
|------|----|---------|---------|
| 酸素濃度 | ③ | 4.42ppm | 3.97ppm |
| | ④ | 3.52ppm | |
| 水素濃度 | 3 | 0.14ppm | 0.16ppm |
| | 4 | 0.17ppm | |

表3.4 Run-B5-2実験 ナトリウム中不純物濃度



(酸素、水素ガス濃度分析結果)

| 試料名 | サブリソグ 時間 ※ナトリウム仕切弁開を0秒として | サンプルの性状 | 定量分析結果 | |
|-----------|------------------------------|---------|-------------------------|-------------------------|
| | | | 水素 (H ₂) V% | 酸素 (O ₂) V% |
| ヘッダー No.1 | 3分04秒から約1分 | ガス | 0.01%以下 | 19.8% |
| ヘッダー No.2 | 6分04秒から約1分 | ガス | 0.01%以下 | 分析不可 |
| ヘッダー No.3 | 9分04秒から約1分 | ガス | 0.01%以下 | 分析不可 |
| ヘッダー No.4 | 12分04秒から約1分 | ガス | 0.01%以下 | 18.2% |

(ナトリウムエアロゾル濃度分析結果)

| 試料名 | サブリソグ 時間 ※ナトリウム仕切弁開を0秒として | ナトリウムサブリソグ量 (g×10 ⁻³) | | | サブリソグガス量 (m ³ ×10 ⁻³) | ナトリウムエアロゾル濃度 (g/m ³) |
|----------------|------------------------------|-----------------------------------|---------|-----|--|----------------------------------|
| | | 焼結フィルタ | サブリソグ配管 | 合計 | | |
| No.1焼結フィルタ及び配管 | 3分04秒から約1分 | 1.4 | 1.5 | 2.9 | 1.5 | 1.9 |
| No.2焼結フィルタ及び配管 | 6分04秒から約1分 | 1.4 | 1.5 | 2.9 | 0.6 | 4.8 |
| No.3焼結フィルタ及び配管 | 9分04秒から約1分 | 1.7 | 1.7 | 3.4 | 0.6 | 5.7 |
| No.4焼結フィルタ及び配管 | 12分04秒から約1分 | 1.9 | 1.7 | 3.6 | 0.7 | 5.1 |

※ 実験中のガス温度 (T-21H) はサブリソグ期間中変動 (上昇) しており、サブリソグガス温度はその平均値約50°Cを用いて計算した。

表4.1 Run-B5-1実験 試験セル内部のガス及びナトリウムエアロゾル分析結果

表4.2 Run-B5-1実験 ナトリウムエアロゾル化学形態

[単位: Wt%]

| 試料名 | Na ₂ O ₂ | Na ₂ O | Na ₂ CO ₃ | NaOH |
|-------------------|--------------------------------|-------------------|---------------------------------|------|
| No.1 出入口扉付着 | 14.4 | 0 | 85.6 | 0 |
| No.2 第2受け皿上 | < 0.1 | 0 | 100 | 0 |
| No.3 外装板表面 (コ桫上部) | < 0.2 | 0 | 100 | 0 |
| No.4 ナトリウム供給配管上部 | < 0.2 | 0 | 100 | 0 |
| No.5 排煙ダクト入口部 | < 0.1 | 0 | 100 | 0 |

表4.3 Run-B5-1実験 ナトリウムエアロゾル量

| 試料名 | ナトリウム濃度 (mg/l) | 溶液量 (l) | ナトリウム量 (g) |
|----------------|-------------------|------------|---------------|
| 試験セル内面 | 回収液 No.1 | 6480 | 8.51 |
| | 回収液 No.2 | 6480 | 17.4 |
| | 回収液 No.3 | 17600 | 22.3 |
| 排煙ダクト内部 | | 29500 | 37 |
| HEPAフィルター No.1 | 265 | 300 | 79.5 |
| HEPAフィルター No.2 | 418 | 300 | 125 |
| スクラバー循環水 | 2030 | 1281 | 2600 |
| 第2漏えいナトリウム受け皿上 | 44600 | 1.6 | 208 |

表4.4 Run-B5-1実験 ナトリウム化合物形態分析結果

[単位 : Wt%]

| 試料名 | Na | Na ₂ O ₂ | Na ₂ O | NaOH | Na ₂ CO ₃ | Na化合物以外の成分 | 全Na量／試料重量(g) |
|--------------------------------------|-----|--------------------------------|-------------------|------------------------|---------------------------------|------------|--------------|
| No.1 コネクタ下部の氷柱状部分 | 4.9 | 0 | 82.1 | 0 | 13.0 | 0 | 0.13／0.18 |
| No.2 フレキシブルチューブ下部の外表面 | 0 | 0.6 | 0 | NaOH 20.5 NaCl 30.0 | 29.7 | 19.2 | 0.07／0.19 |
| No.3 ナトリウム受け皿上堆積物 (試験体直下表面部) | 0 | 23.5 | 38.2 | 21.7 | 14.0 | 2.6 | 0.12／0.18 |
| No.4 ナトリウム受け皿上堆積物 (試験体直下内部) | 4.3 | 13.1 | 55.9 | 0 | 26.2 | 0.5 | 0.12／0.18 |
| No.5 ナトリウム受け皿上堆積物 (黒色生成物中の黒色部) | 1.1 | 0.9 | 36.1 | 0 | 51.5 | 10.4 | 0.09／0.18 |
| No.5 ナトリウム受け皿上堆積物 (黒色生成物中の白色部) | 1.1 | 0 | 0 | 0 | 45.7 | 53.2 | 0.05／0.20 |
| No.6 ナトリウム受け皿上堆積物 (ナレックス付近表面の黒色部) | 0 | 4.0 | 38.0 | 0 | 48.2 | 9.8 | 0.10／0.19 |
| No.6 ナトリウム受け皿上堆積物 (ナレックス付近表面の白色部) | 0 | 0 | 0.7 | 1.1 | 74.5 | 23.7 | 0.06／0.16 |

※ No.2 フレキシブルチューブ下部の外表面 : EDX及びXRD結果より、NaCl及びNaOHが多量に含まれていると考えられるが、Na以外の成分も多く含まれているため、NaClとNaOHの定量的な判断は困難。そこでEDXの定量結果を考慮して、全Na量からNa₂O₂及びNa₂CO₃中のNaを差し引いたNa量を半量ずつNaCl及びNaOHとした。

※※ ナトリウム受け皿上(試験体直下内部) : 全Na量、形態分析結果(HCl消費量)及び溶解時の状況から、金属ナトリウムを含むと判断した。

表4.5 Run-B5-2実験 計測用熱電対の健全性確認結果（実験後）

| Tag. No. | 取付け 部位 | 取付け位置 | 種類 | 実験後の状態 | 備考 |
|-------------|----------------|-------------------------------------|----------|---------------|----|
| TI-1H | 試験体 温度計 | 試験体プロセスT/C | K型(3.2φ) | 7 Ω / 0 MΩ | |
| TI-2H | | ウェル管部 (壁から30mm) | K型(1.6φ) | 18 Ω / 20 MΩ | |
| TI-3H | | ニップル部 (壁から170mm) | K型(1.6φ) | 18 Ω / 20 MΩ | |
| TI-4H | | 試験体内保温材部 (壁から30mm) | K型(1.6φ) | 18 Ω / 20 MΩ | |
| TI-5H | | 試験体内保温材部 (壁から170mm) | K型(1.6φ) | 18 Ω / 20 MΩ | |
| TI-6H | | 熱電対コネクタ付け根付近下部 | K型(1.6φ) | 18 Ω / 20 MΩ | |
| TI-7H | | 熱電対コネクタ付け根付近 (保温材中) | K型(1.0φ) | 202 Ω / 20 MΩ | |
| TI-8H | | 熱電対コネクタ内端子板 (上部) | K型(1.0φ) | 206 Ω / 20 MΩ | |
| TI-9H | | 熱電対コネクタ内端子板 (下部) | K型(1.0φ) | 209 Ω / 20 MΩ | |
| TO-1H | 外装板 | 試験体外装板表面 コネクタ下部 | R型(1.0φ) | 9 Ω / 20 MΩ | |
| TO-2H | | 試験体外装板表面 中間部 | K型(1.0φ) | 205 Ω / 20 MΩ | |
| TO-3H | | 試験体外装板表面 最下部 | K型(1.0φ) | 204 Ω / 20 MΩ | |
| TF-1H | ルギアブル チャーブ部 | ルギ外表面入口ゾーン下部 | R型(1.6φ) | 9 Ω / 20 MΩ | |
| TF-2H | | ルギ外表面入口から250mm | R型(1.6φ) | 9 Ω / 20 MΩ | |
| TF-3H | | ルギ外表面最下部 | R型(1.6φ) | 9 Ω / 20 MΩ | |
| TF-4H | | ルギ外表面入口から750mm | R型(1.6φ) | 9 Ω / 20 MΩ | |
| TF-5H | | ルギ外表面電線管接続部 | K型(1.0φ) | 202 Ω / 20 MΩ | |
| TF-6H | | ルギ内部入口 | K型(1.0φ) | 205 Ω / 20 MΩ | |
| TF-7H | | ルギ内部入口から250mm | K型(1.0φ) | 203 Ω / 20 MΩ | |
| TF-8H | | ルギ内部入口から約500mm (最下部) | K型(1.0φ) | 202 Ω / 20 MΩ | |
| TF-9H | | ルギ内部入口から約750mm | K型(1.0φ) | 204 Ω / 20 MΩ | |
| TF-10H | | ルギ内部入口から約1000mm | K型(1.0φ) | 204 Ω / 20 MΩ | |
| TF-11H | | ルギ内部電線管接続部 | K型(1.0φ) | 202 Ω / 20 MΩ | |
| TF-12H | | 電線管内ルギ接続部から210mm (実機でのナトリウム侵入位置) | K型(1.0φ) | 201 Ω / 20 MΩ | |
| TD-2H | 受け皿 | 第1受け皿表面 (北側300mm, 中心) | K型(1.0φ) | 200 Ω / 20 MΩ | |
| TD-4 | | 第1受け皿表面 (北側150mm, 西側150mm) | K型(1.0φ) | 205 Ω / 0 MΩ | |
| TD-5 | | 第1受け皿表面 (南側150mm, 東側150mm) | K型(1.0φ) | 206 Ω / 20 MΩ | |
| TD-7H | | 第1受け皿表面 (中心) | K型(1.0φ) | 203 Ω / 0 MΩ | |

| Tag. No. | 取付け 部位 | 取付け位置 | 種類 | 実験後の状態 | 備考 |
|-------------|----------------|----------------------------|----------|---------------|----|
| T-1H | ナトリウム 供給配管部 | 試験体接続2B配管温度 | K型(1.0φ) | 203 Ω / 0 MΩ | |
| T-2H | ナトリウム 供給配管部 | 試験体・配管接続部表面温度 | K型(1.0φ) | 205 Ω / 20 MΩ | |
| T-3H | | 試験体表面温度 | K型(1.0φ) | 203 Ω / 20 MΩ | |
| T-14 | | ナトリウム供給配管 (NV-1～NV-2の中間位置) | K型(1.6φ) | | |
| T-18 | | ナトリウム供給配管(1/2B)立ち上がり部 | K型(1.6φ) | | |
| T-19 | 試験部内部 | ナトリウム供給配管(1/2B)水平部内 | K型(1.0φ) | | |
| T-20 | | ナトリウム供給配管(1/2B)水平部2B手前 | K型(1.0φ) | | |
| T-21H | | コネクタ上部 (650mm) ガス温度 | K型(1.0φ) | 205 Ω / 20 MΩ | |
| T-22 | 試験部内部 | 北西側ガス温度 | K型(1.0φ) | 201 Ω / 20 MΩ | |
| T-23 | | 北南側壁温度 | K型(1.0φ) | 203 Ω / 20 MΩ | |
| T-24 | | 北天井壁温度 | K型(1.0φ) | 203 Ω / 20 MΩ | |
| T-25 | | 北南側ガス温度 | K型(1.0φ) | 202 Ω / 20 MΩ | |
| T-26 | | 排煙ダクト入口 | K型(1.0φ) | 203 Ω / 20 MΩ | |
| T-27 | | サーピングゾーン覗き窓部ガス吸い込み口 | K型(1.0φ) | 204 Ω / 20 MΩ | |
| T-28 | | ナトリウム漏えい受け皿下 (中心) | K型(1.0φ) | 203 Ω / 20 MΩ | |
| T-29H | | 燃焼部近傍ガス温度 (コネクタ下部600mm) | K型(1.0φ) | 190 Ω / 0 MΩ | |
| T-30H | | 同上 (T-29取付位置より西側200mm) | K型(1.0φ) | - / 0 MΩ | |
| T-31H | | 同上 (T-29取付位置より西側400mm) | K型(1.0φ) | 190 Ω / 0 MΩ | |
| TK-1H | 加熱タンク | 加熱タンクNa温度 | K型(1.6φ) | | |
| TO-1HK | 試験体 | 試験体外装板表面 コネクタ | K型(1.0φ) | 13 Ω / 20 MΩ | |
| TI-1HY | | 試験体アロゼT/C (信号処理装置) | K型(3.2φ) | | |

表4.6 Run-B5-2実験 ナトリウムエアロゾル量

| | 溶液総量 | ナトリウム濃度 | ナトリウム量 |
|-----------|------|---------|--------|
| | ℓ | g/ℓ | g |
| ボス部よりの漏れ | 15 | 5.94 | 89.1 |
| *セル内洗浄1 | 343 | 22.8 | 7820 |
| *セル内洗浄2 | 333 | 0.258 | 85.9 |
| スクラバフィルタ1 | 192 | 1.10 | 211 |
| スクラバフィルタ2 | 192 | 1.24 | 238 |
| スクラバ循環水 | 1324 | 1.94 | 2570 |
| スクラバダクト内 | 40 | 38.4 | 1540 |

*セル内洗浄の液には、排煙用のフードと第二受け皿、架台等を洗浄した溶液も含まれる。

表4.7 Run-B5-2実験 ナトリウムエアロゾル化学形態

[単位: Wt%]

| | | Na | Na ₂ O ₂ | Na ₂ O | NaOH | Na ₂ CO ₃ | Na化合物以外の成分 |
|-------|---------------------|-----|--------------------------------|-------------------|------|---------------------------------|------------|
| NO.1 | 第一受け皿内 黄色化合物 | - | 29.4 | - | 28.4 | 35.6 | 6.6 |
| NO.3 | 第一受け皿内 黄色化合物の下 | 0.5 | 0.2 | 0 | 0 | 54.8 | 44.5 |
| NO.5 | フレキ付着 ツララ部 | - | 27.6 | 13.2 | 17 | 22.6 | 19.6 |
| NO.7 | 外装板表面 | - | 6.1 | - | 25.9 | 40.6 | 27.4 |
| NO.9 | 排気ダクト上 | - | 0 | - | 14.6 | 48.3 | 37.1 |
| NO.11 | 第一受け皿底部 ナトレックス直上 | - | 0 | 0 | 0 | 56.1 | 43.9 |

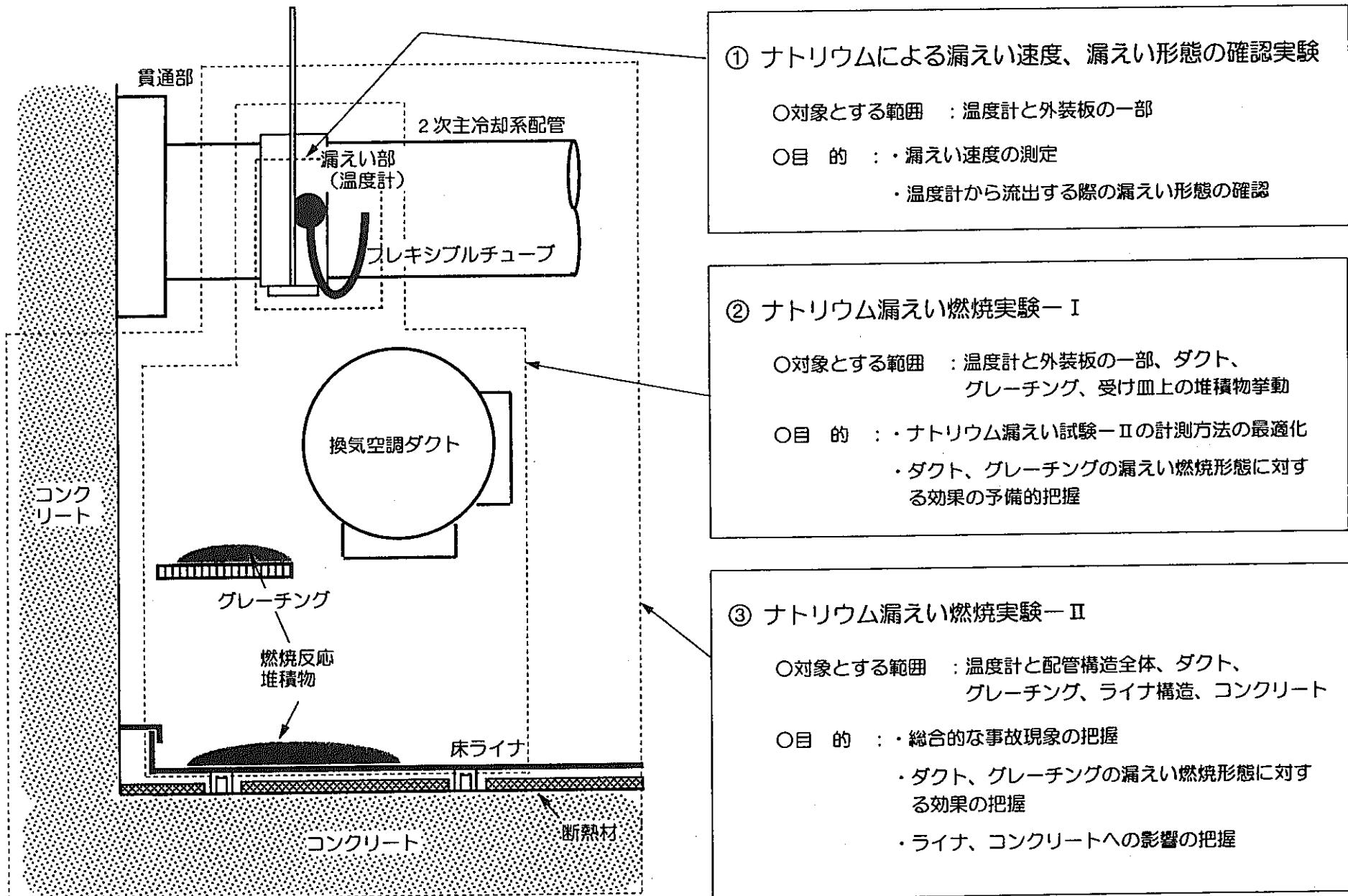


図1.1 ナトリウム漏えい燃焼模擬実験の全体概要

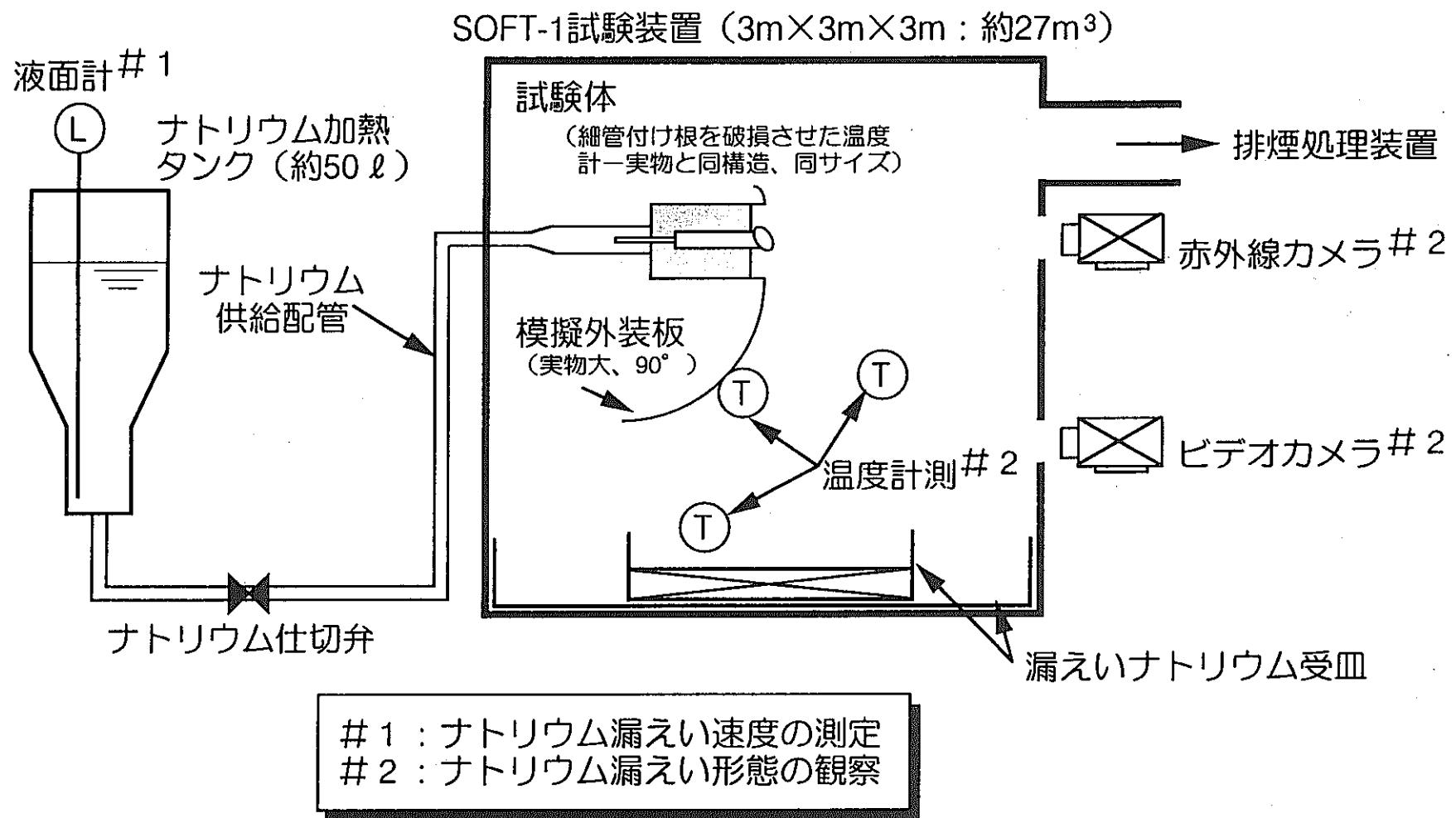
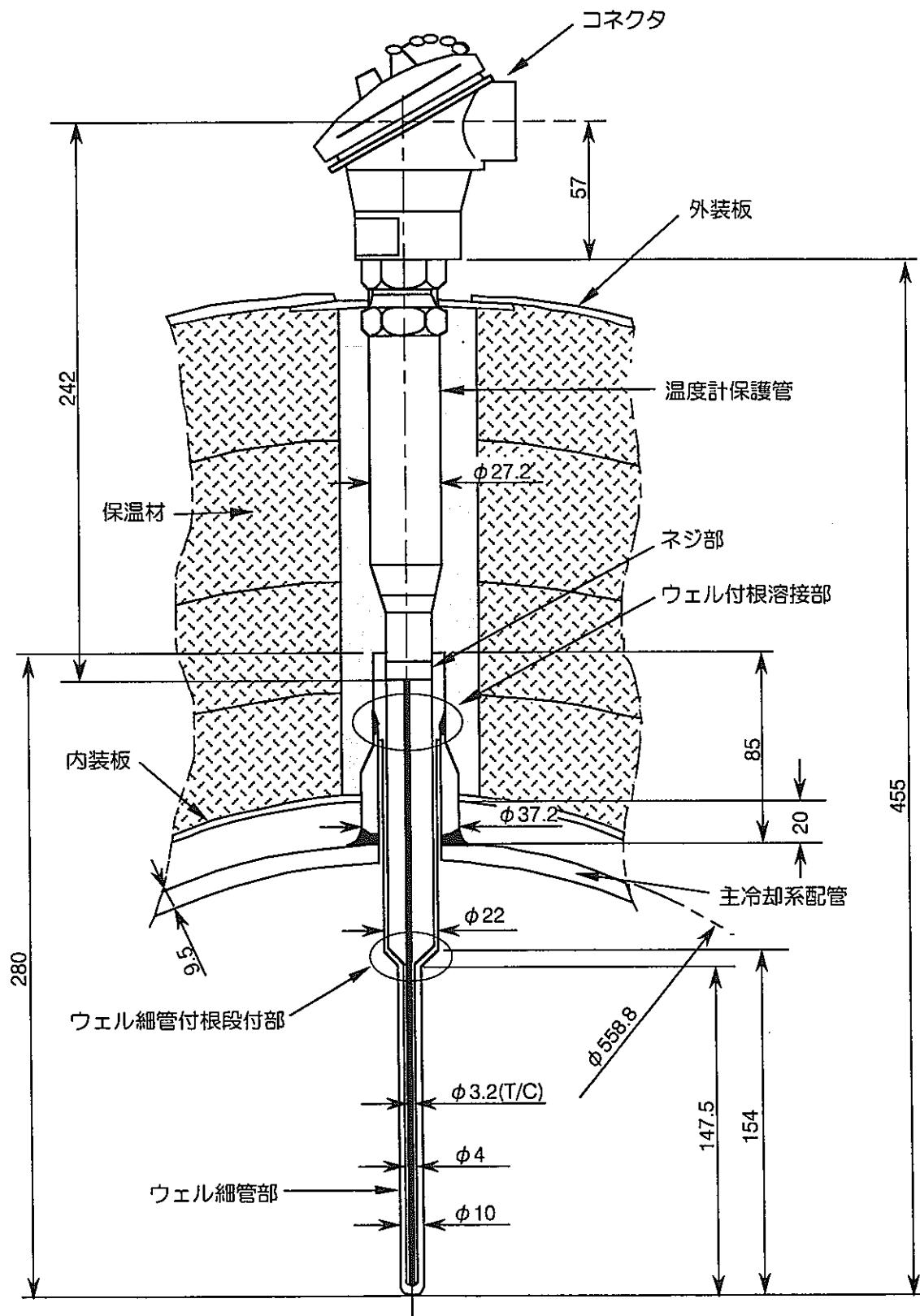


図1.2 ナトリウムによる漏えい速度、漏えい形態の確認実験装置構成



单位 : mm

図2.1 2次主冷却系の温度計の構造図

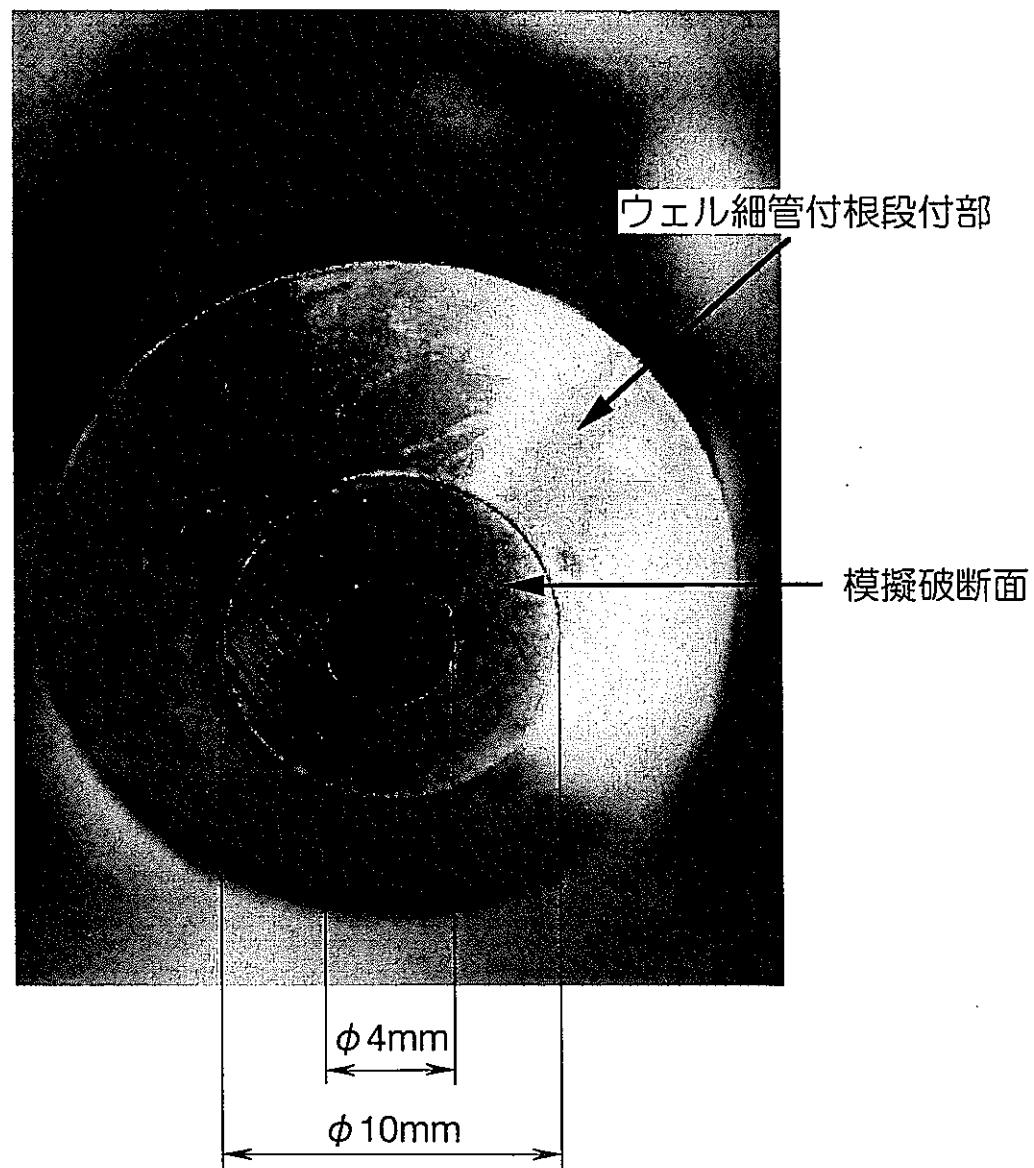


図2.2 热電対ウェル模擬破断面（写真はRun-B5-2に使用したもの）

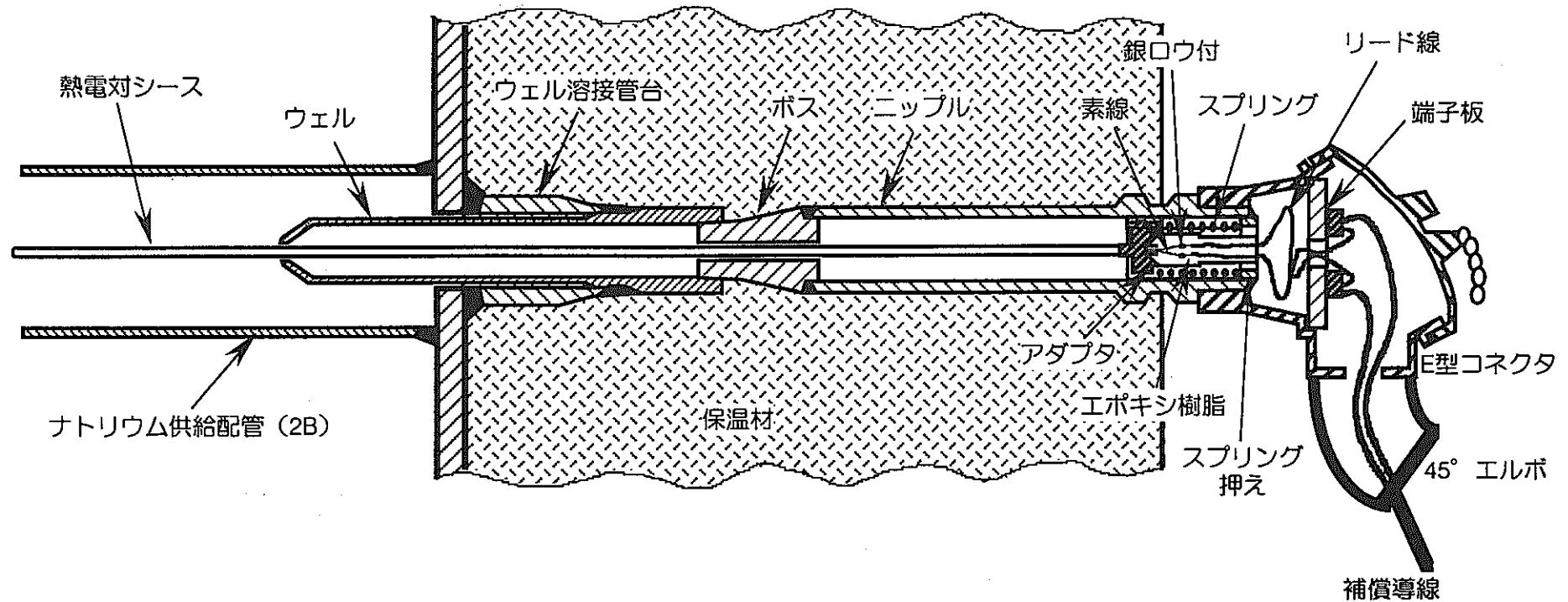


図2.3 試験体温度検出器の断面構造図

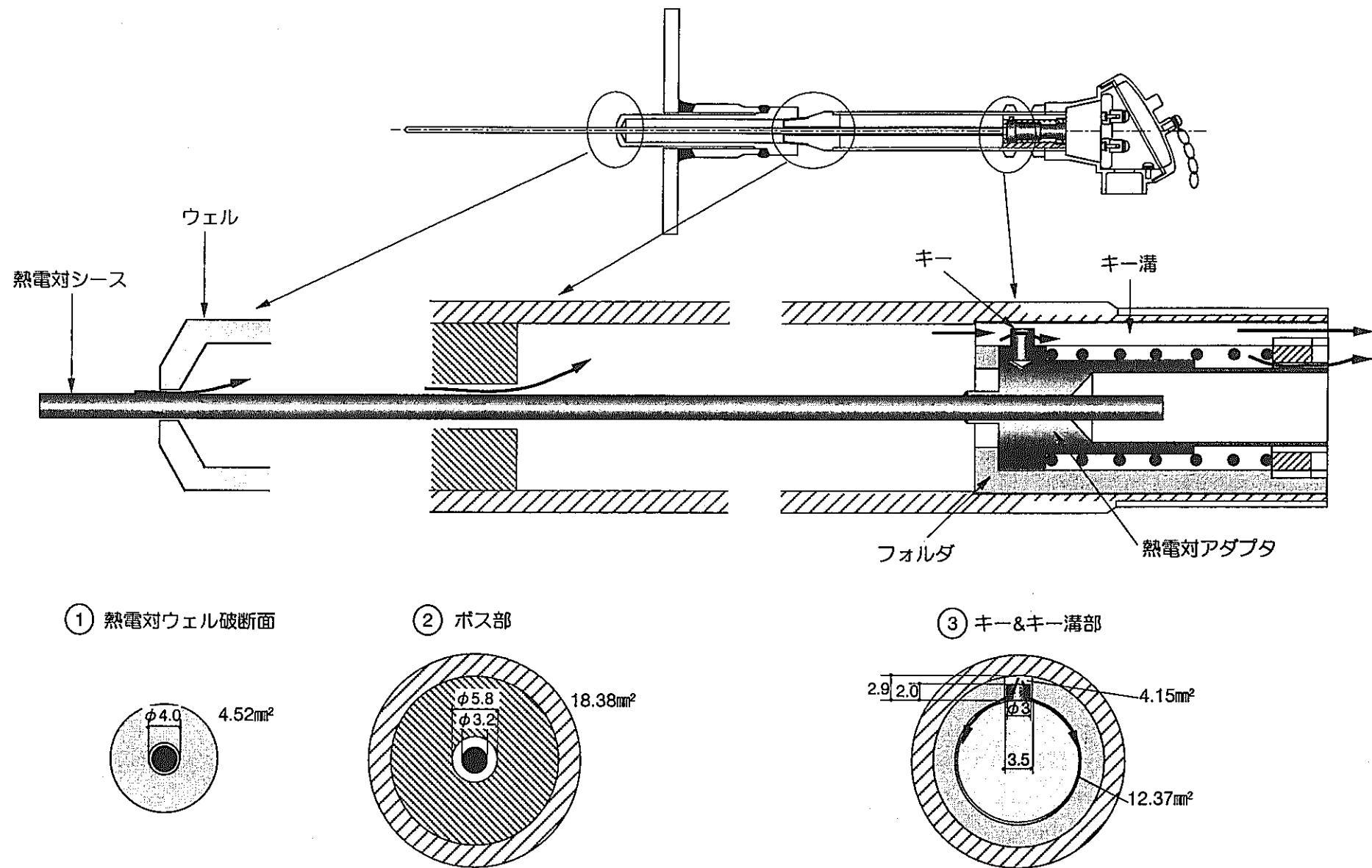
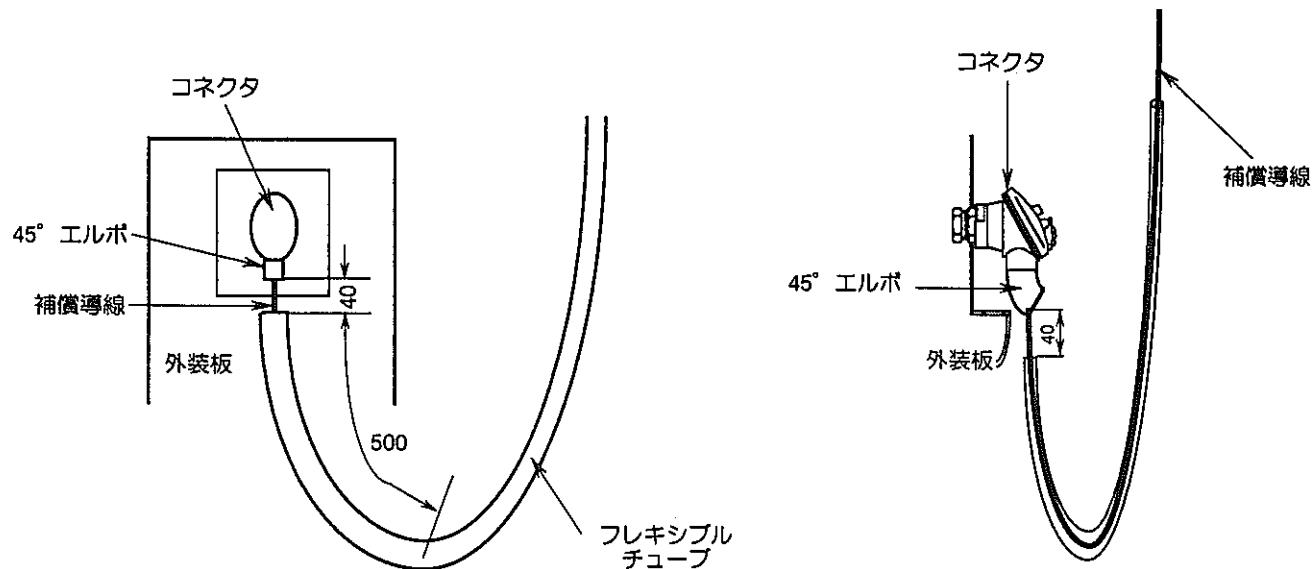
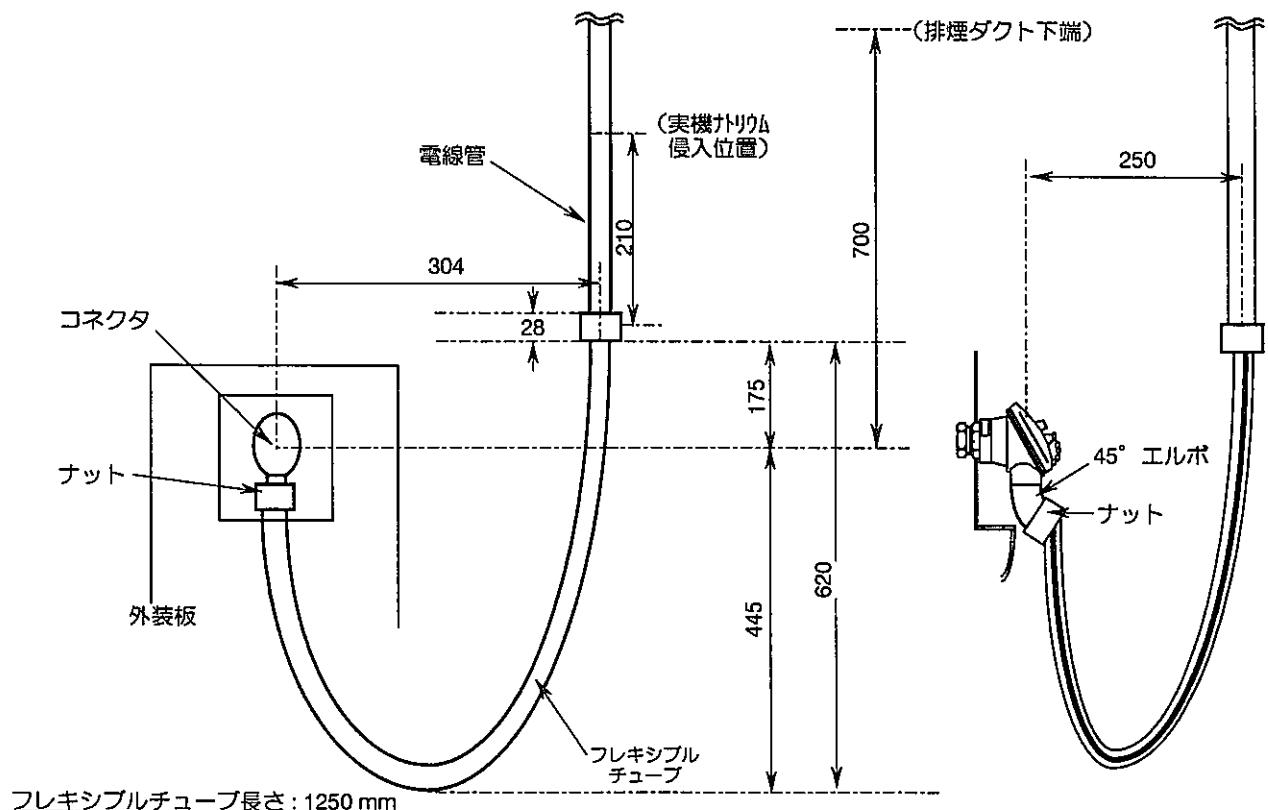


図2.4 温度検出器内部のナトリウム流路



(1) Run-B5-1実験用取付図



単位: mm

(2) Run-B5-2実験用取付図

図2.5 試験体へのフレキシブルチューブ取付方法

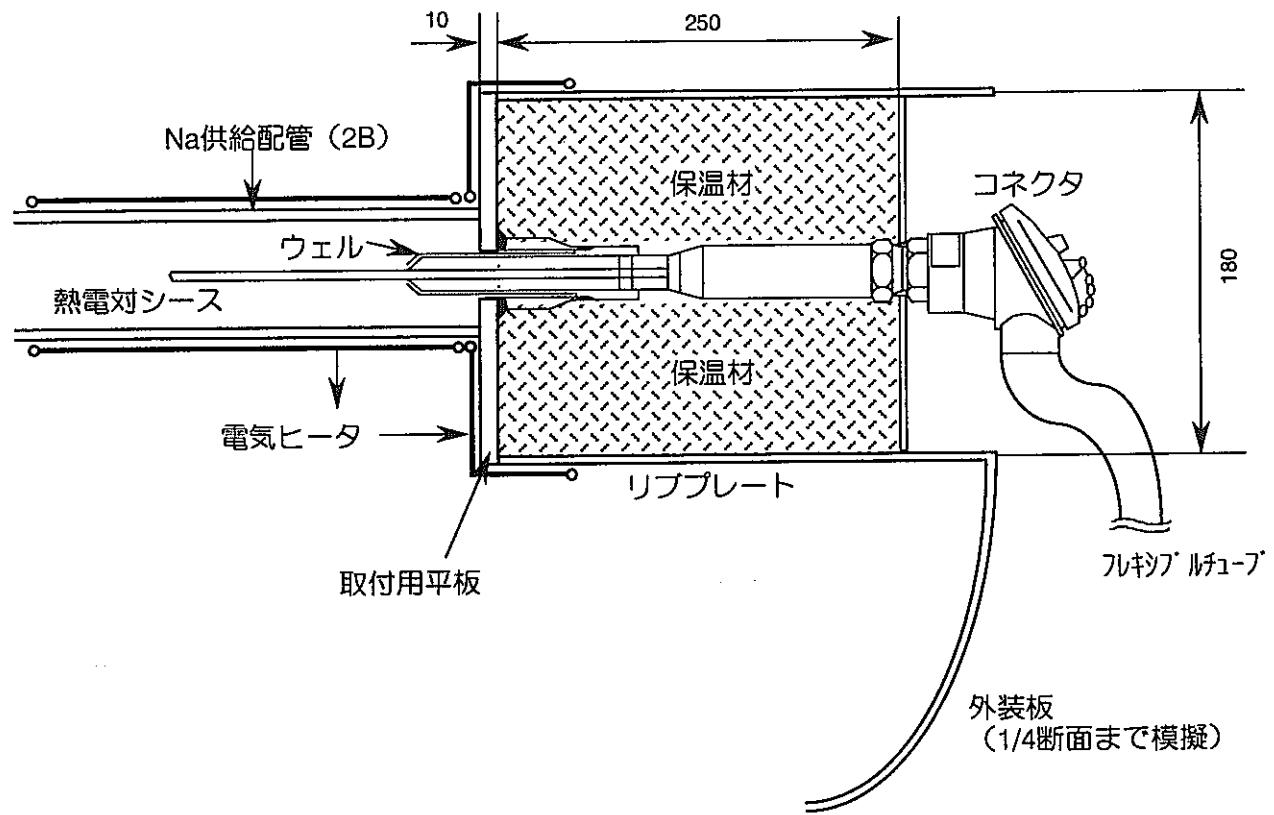


図2.7 試験体の予熱設備

単位: mm

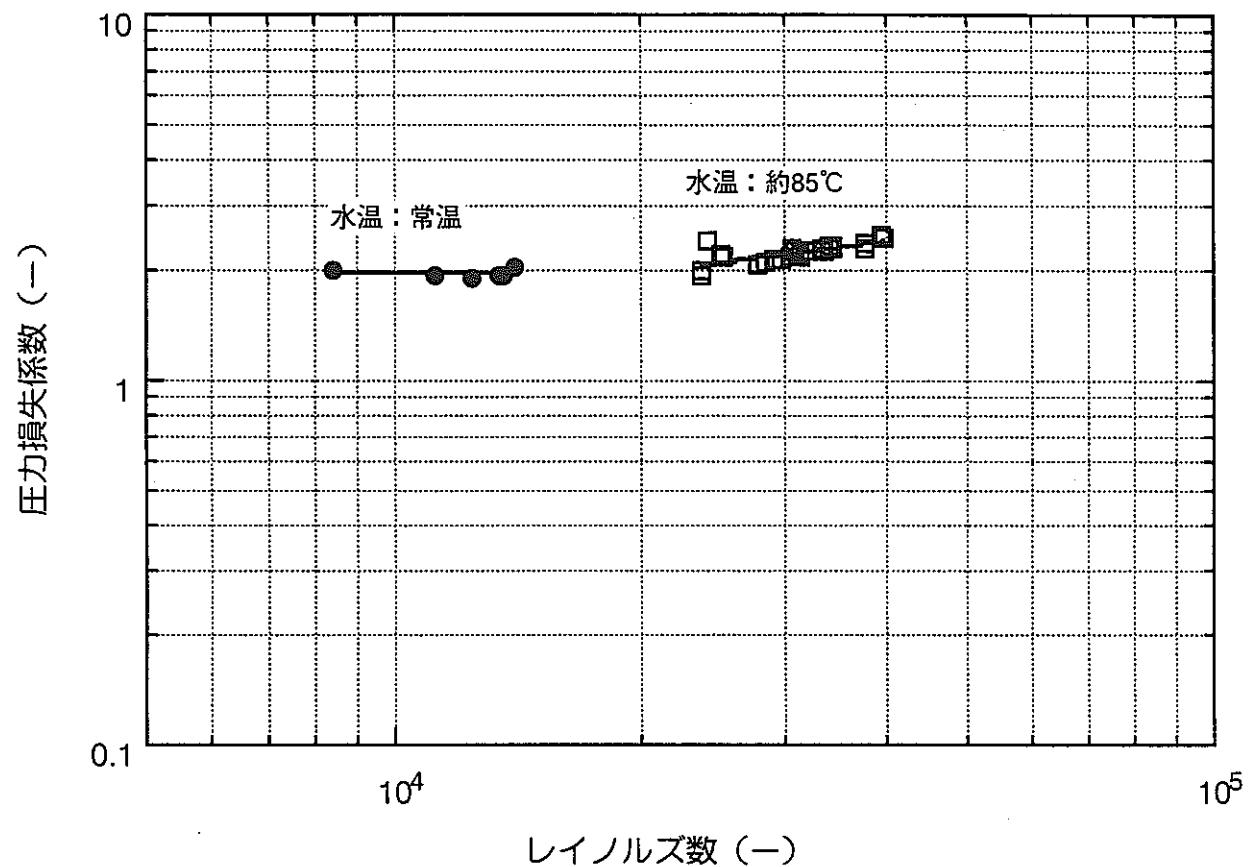
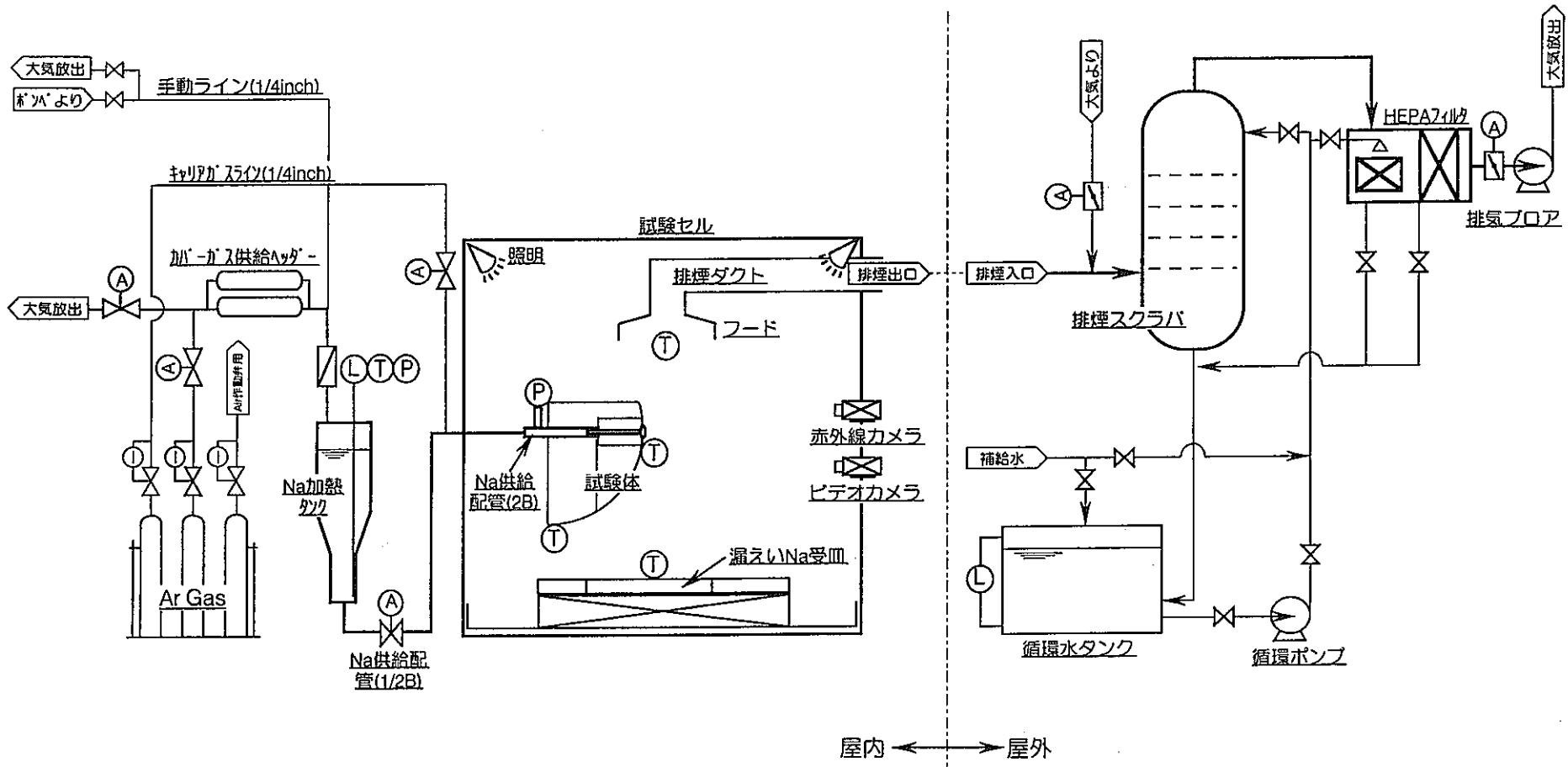


図2.8 実験前後の水による流量校正試験結果



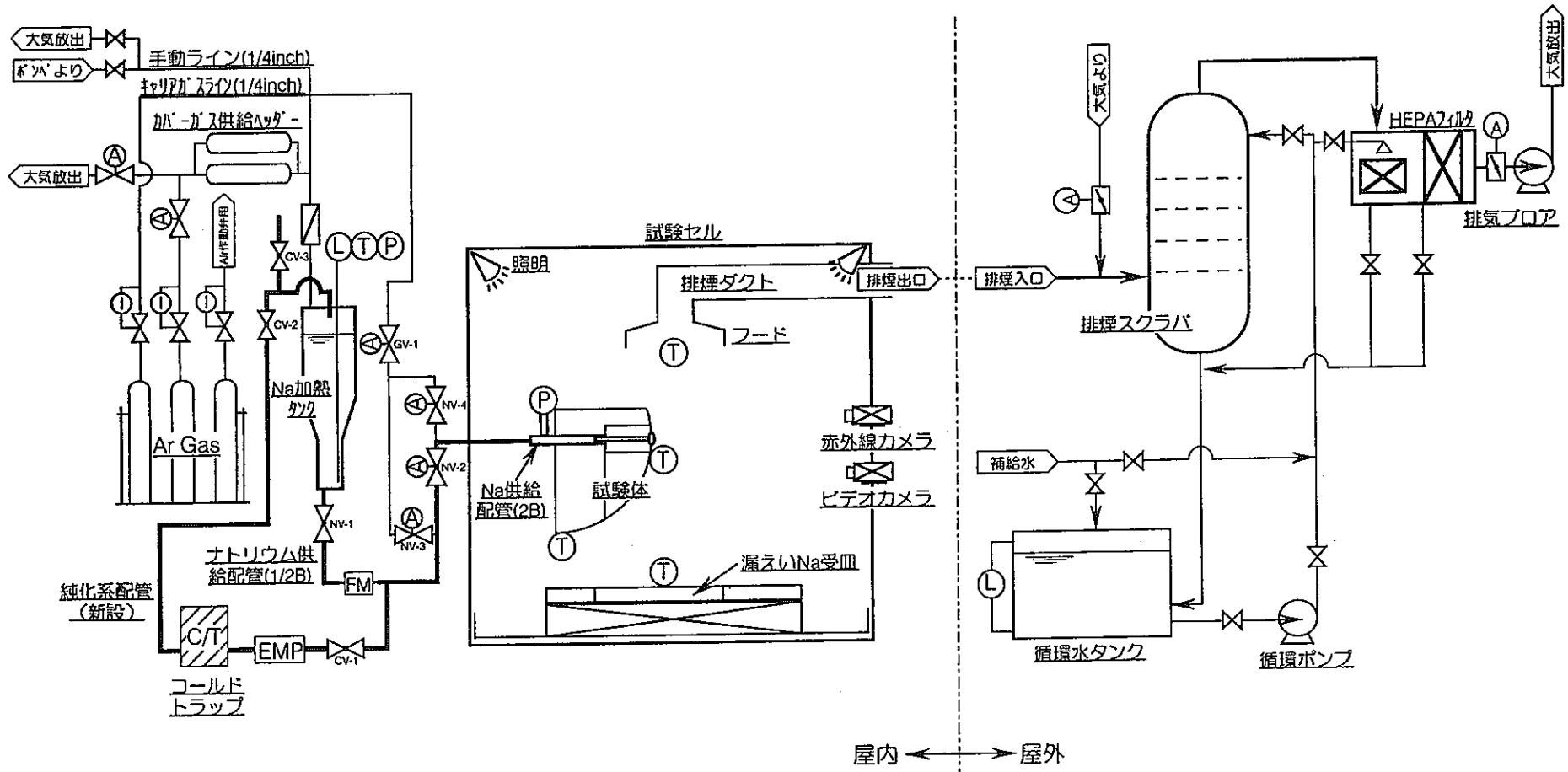
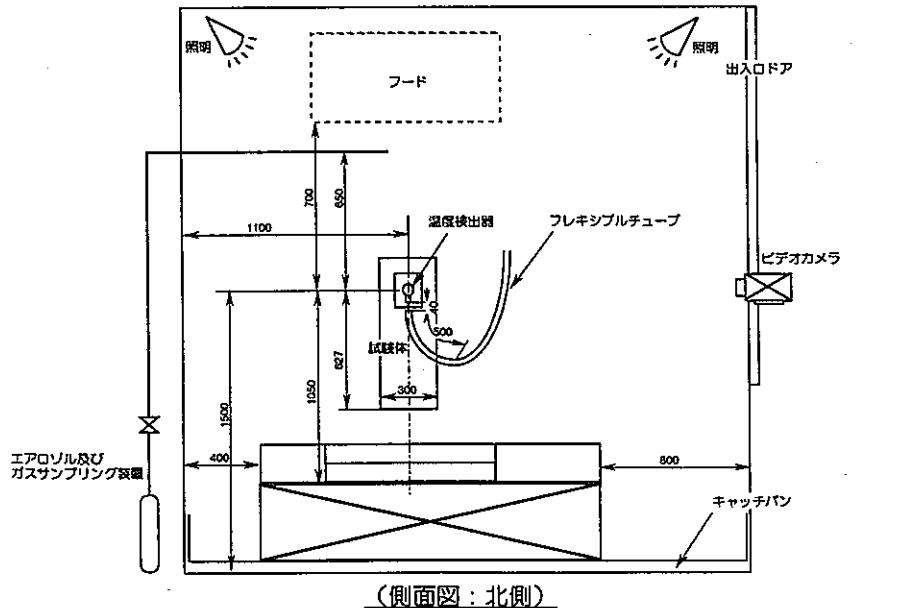
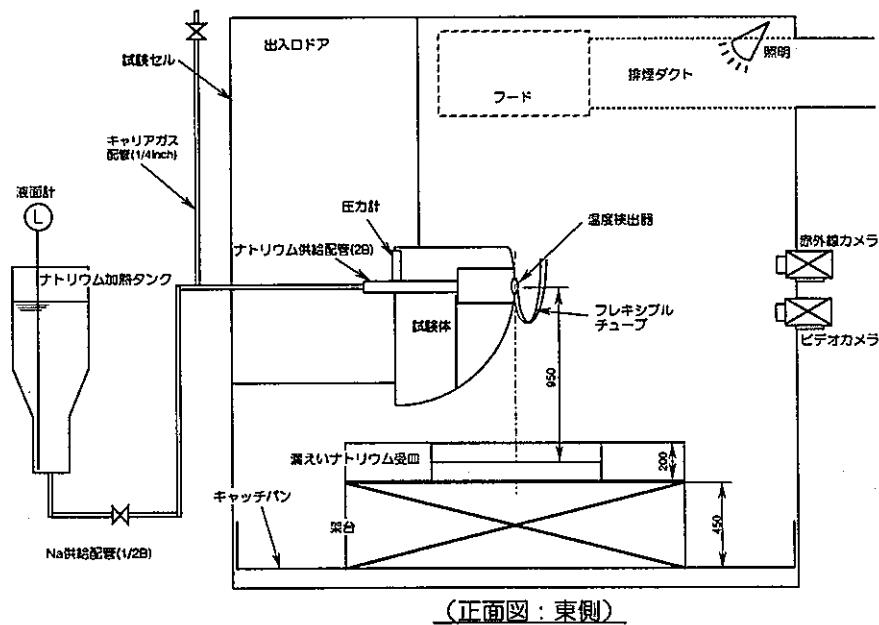
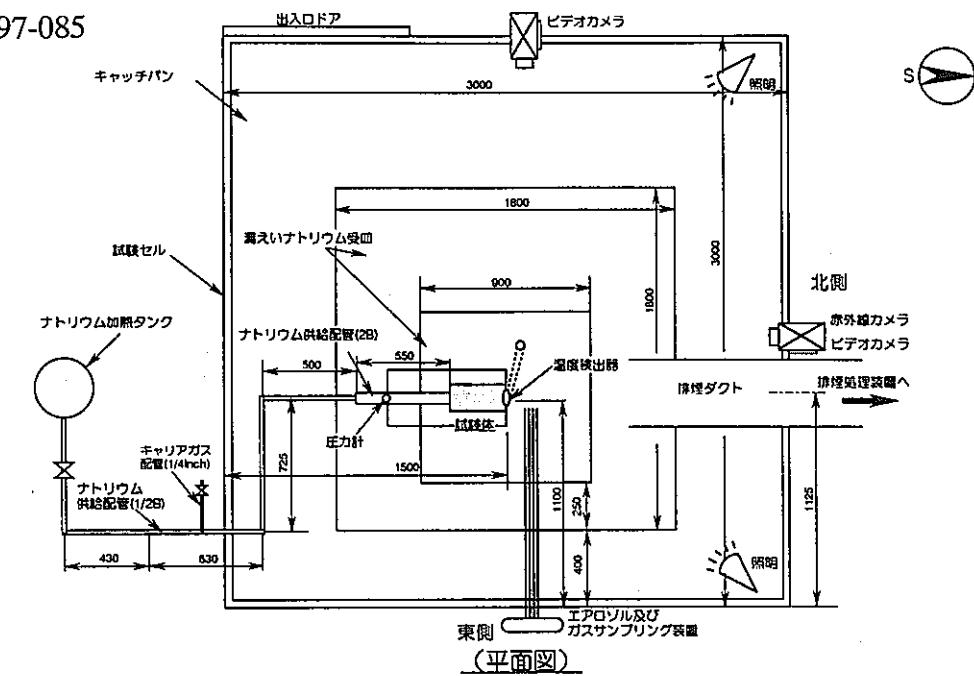


図2.10 Run-B5-2実験 SOFT-1試験装置フローシート



単位 mm

図2.11 Run-B5-1実験 機器配置図

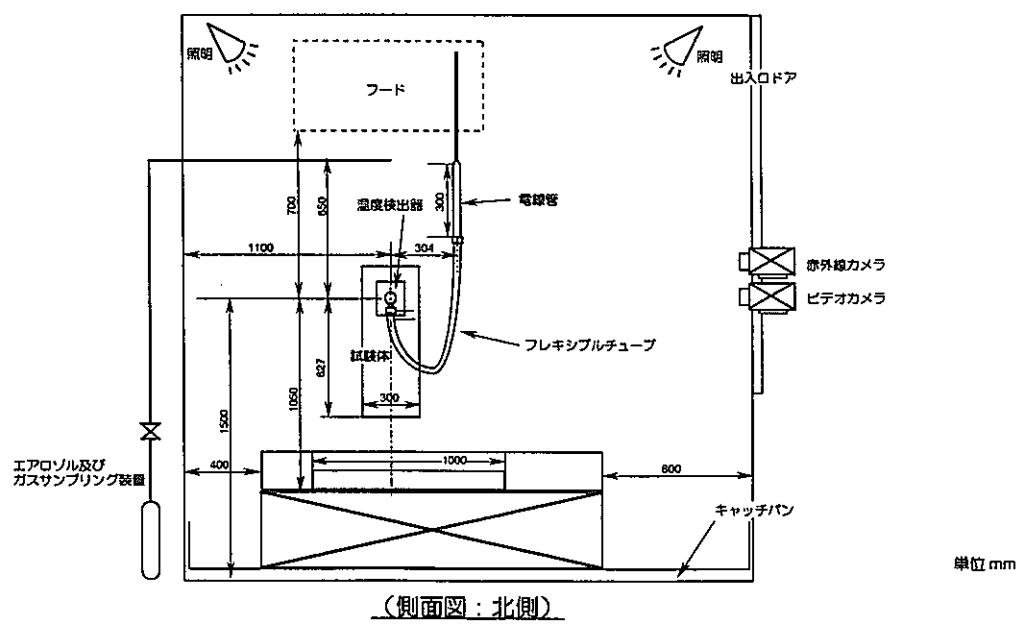
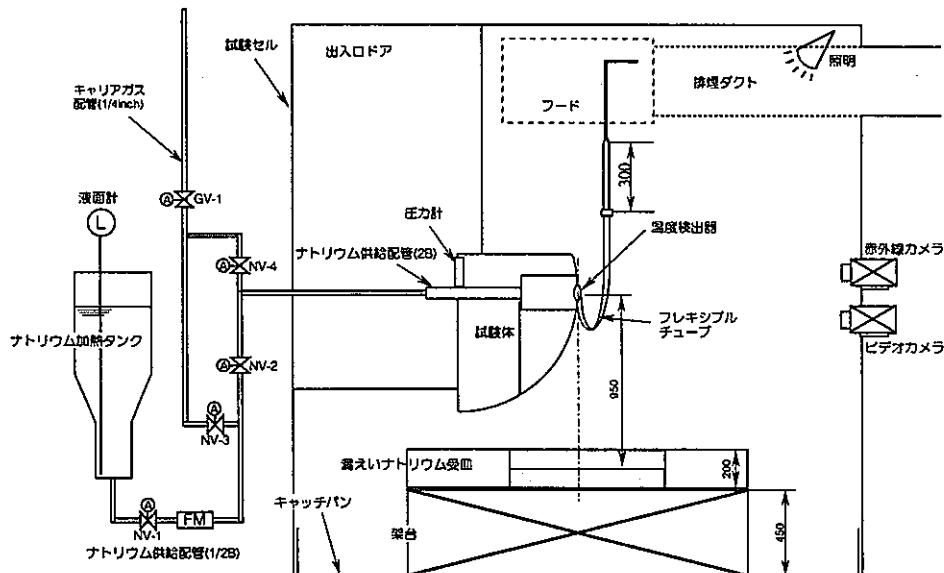
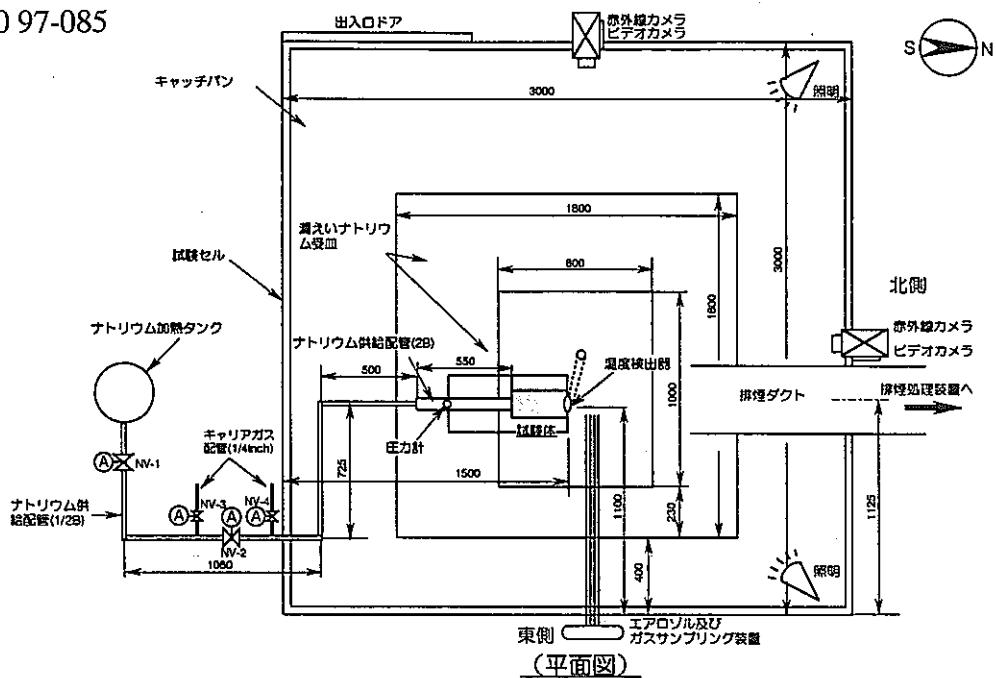


図2.12 Run-B5-2実験 機器配置図

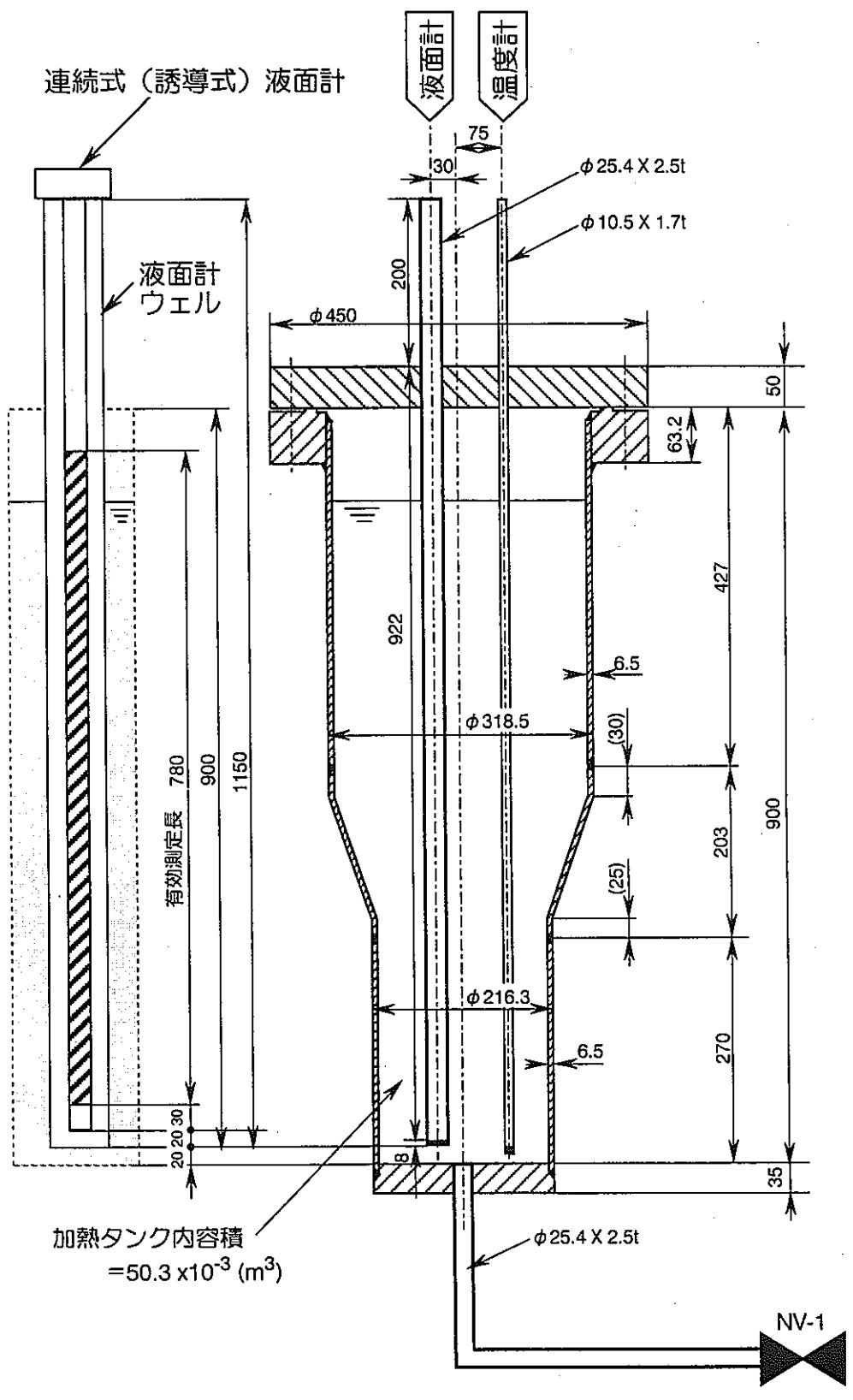
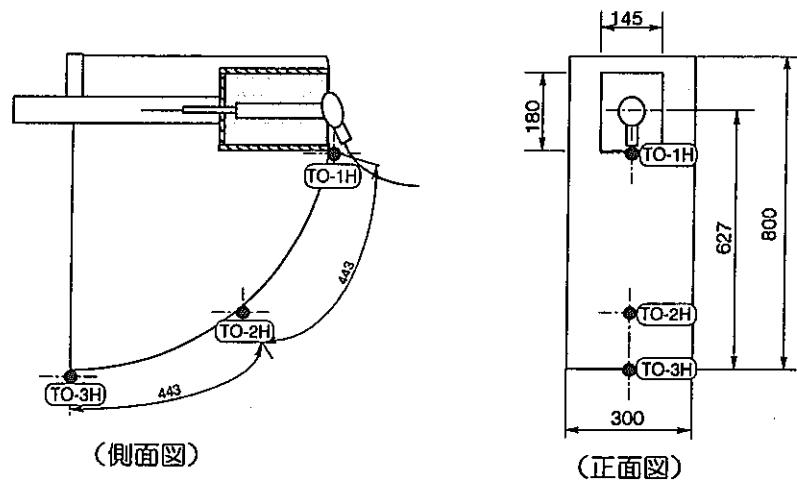
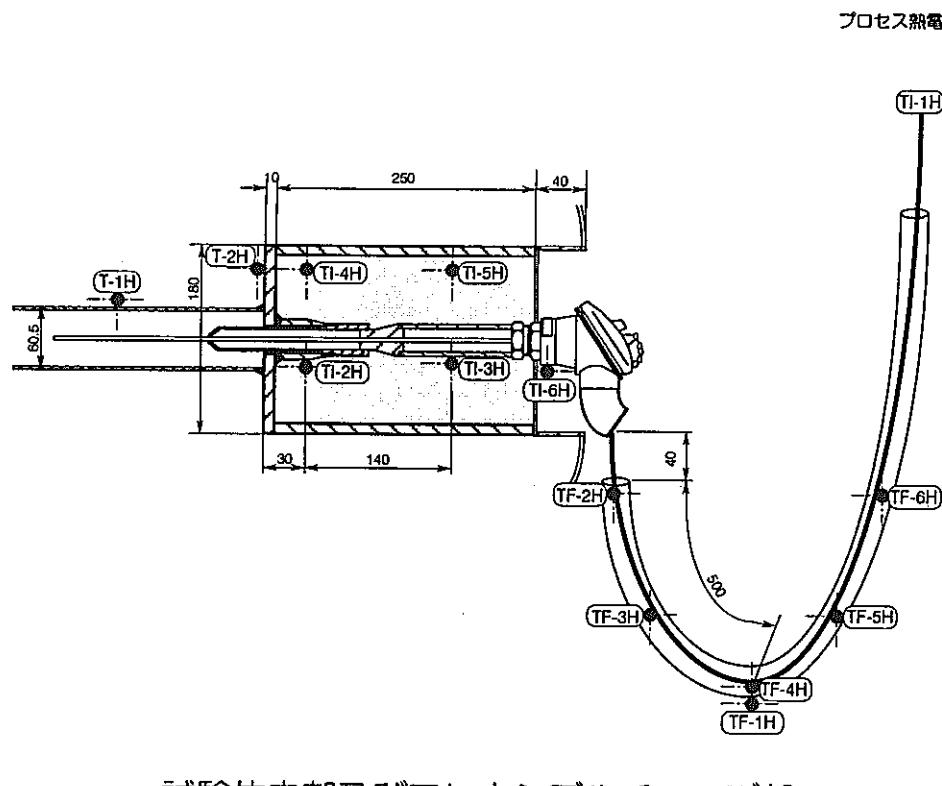
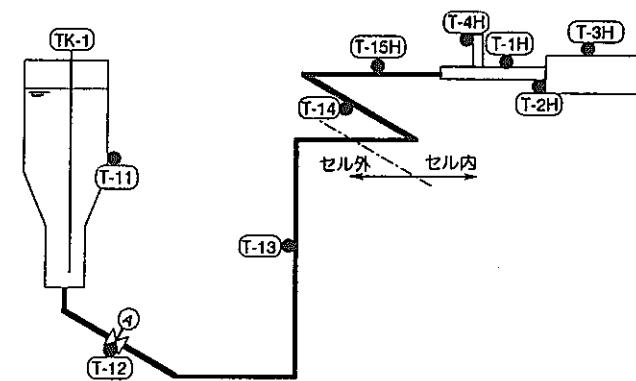


図2.13 ナトリウム加熱タンクと連続式液面計測定範囲



試験体外装板（正面）



ナトリウム供給配管

単位 mm

図2.14 Run-B5-1実験 実験計測用熱電対取付図 (1)

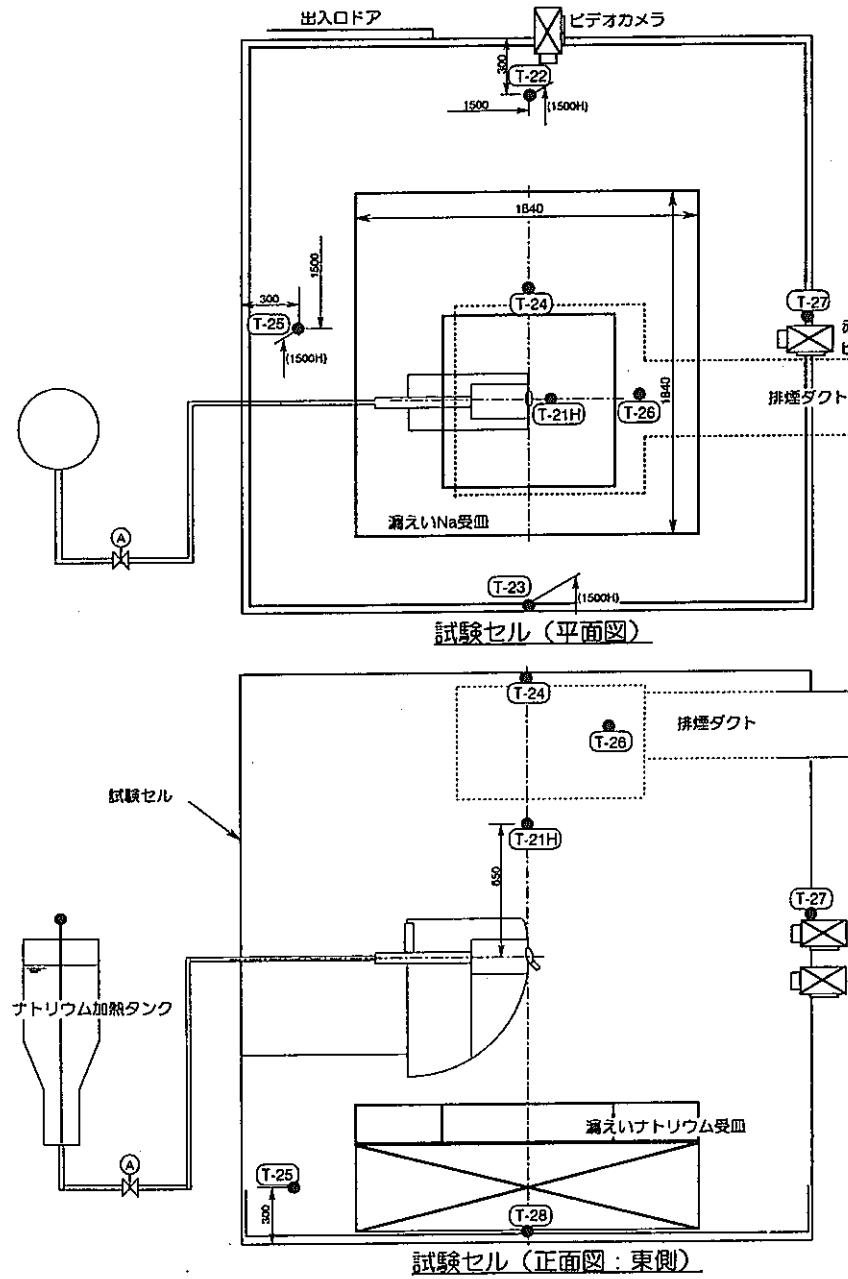
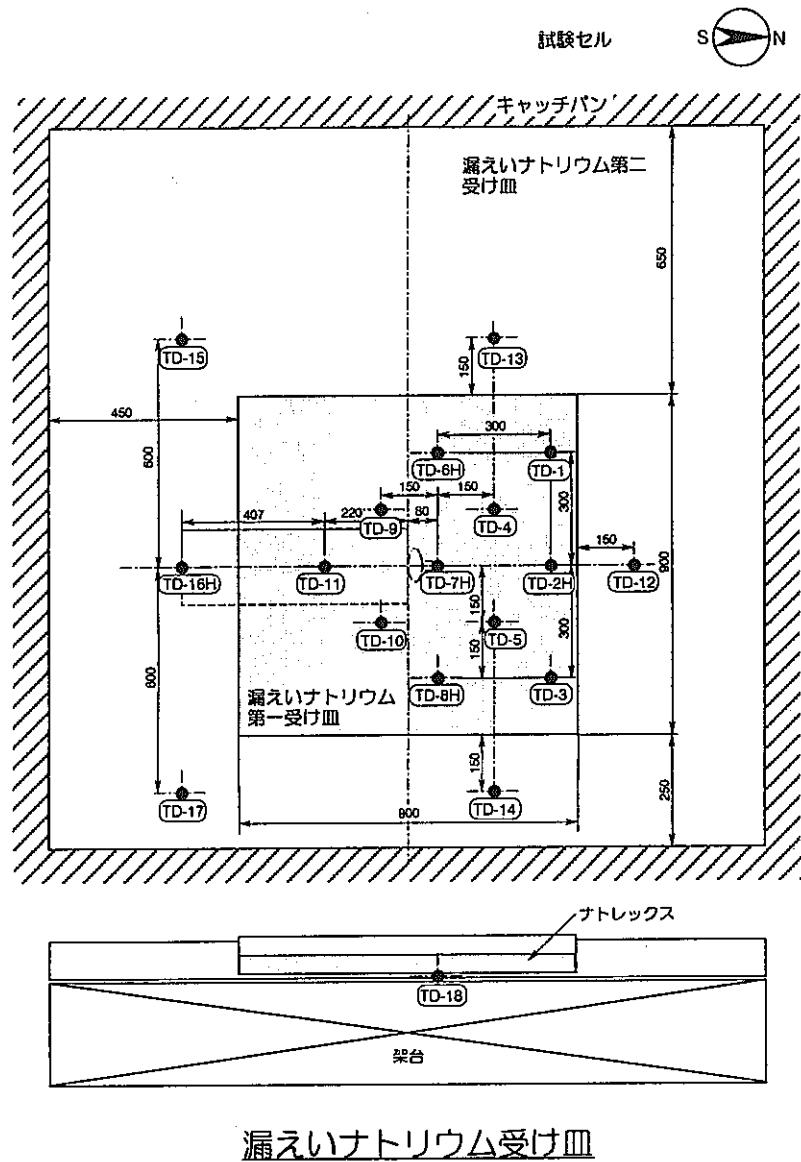


図2.15 Run-B5-1実験 実験計測用熱電対取付図 (2)

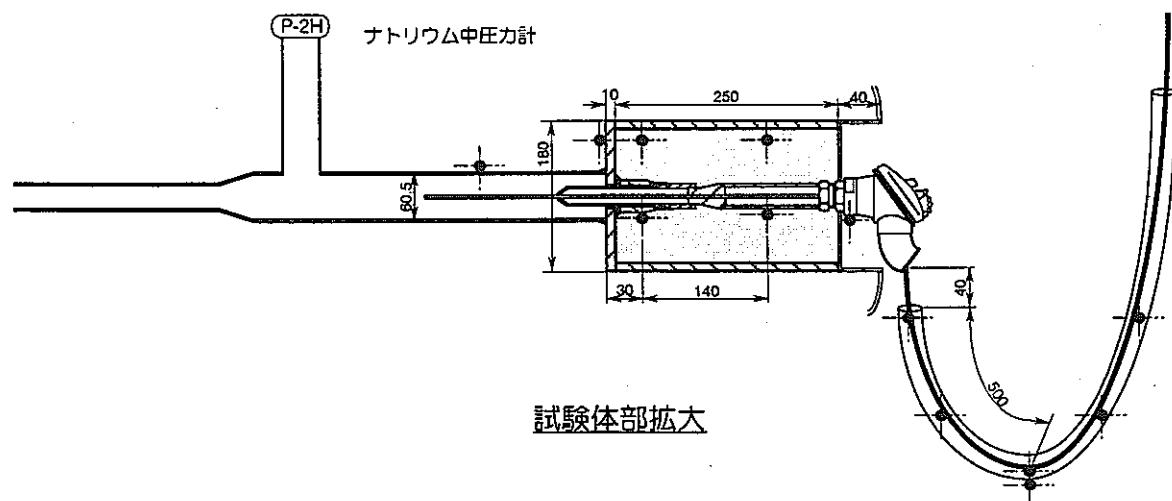
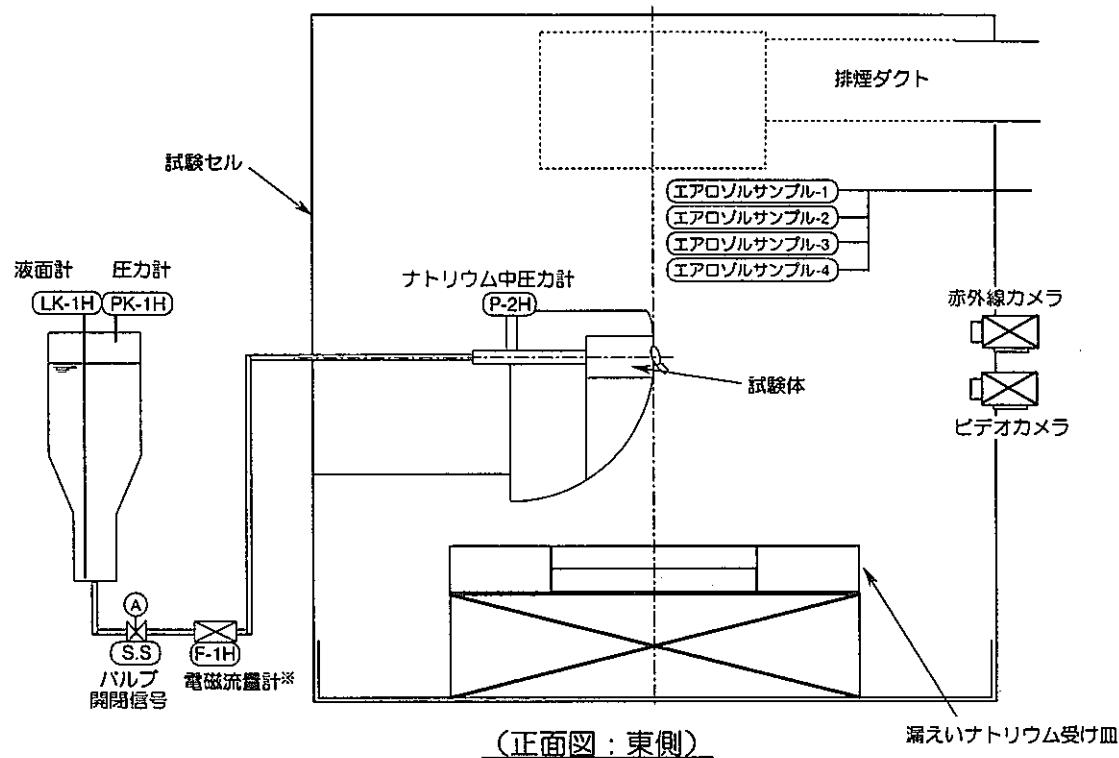
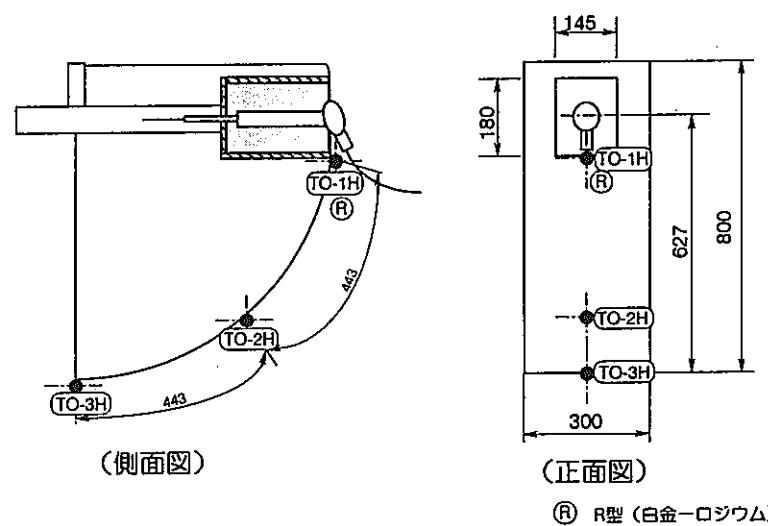
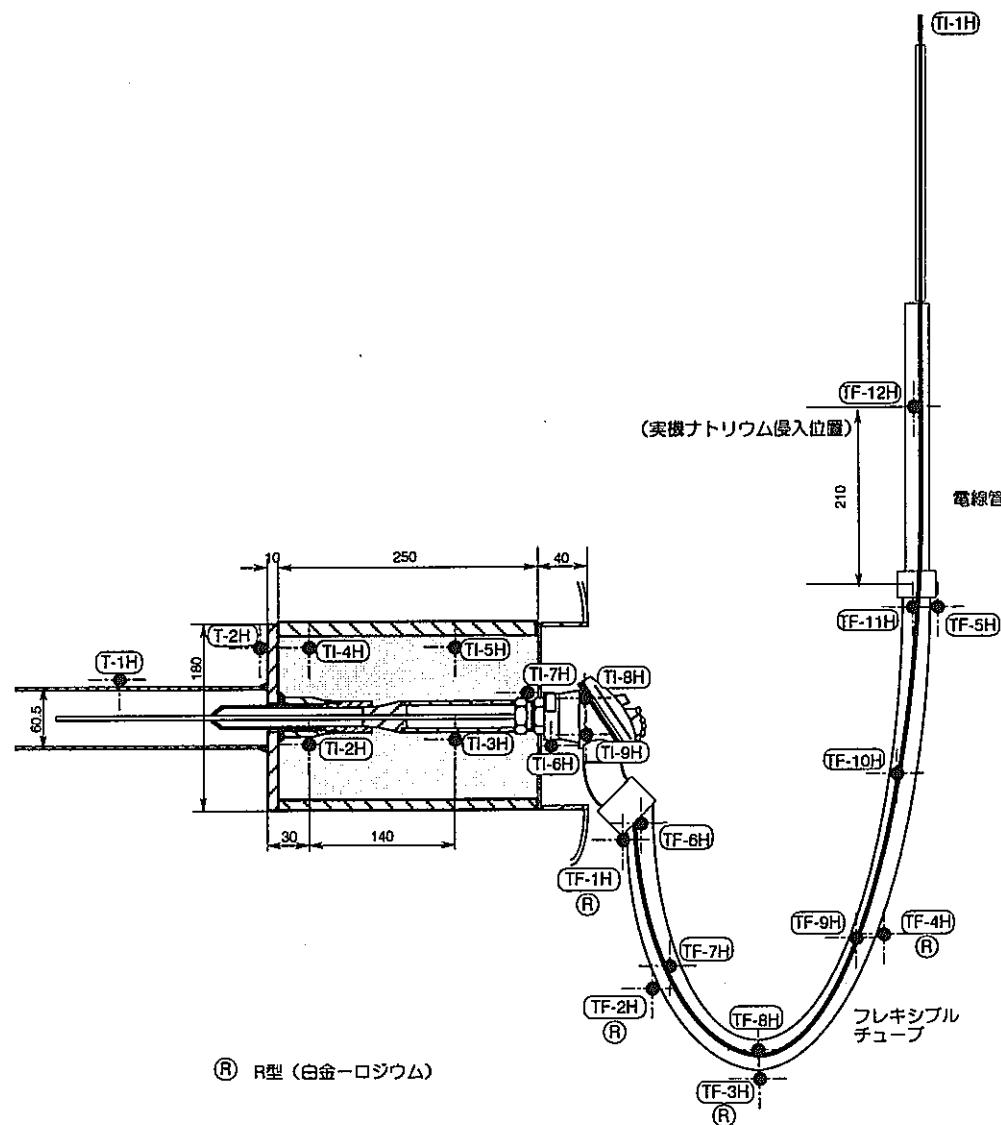
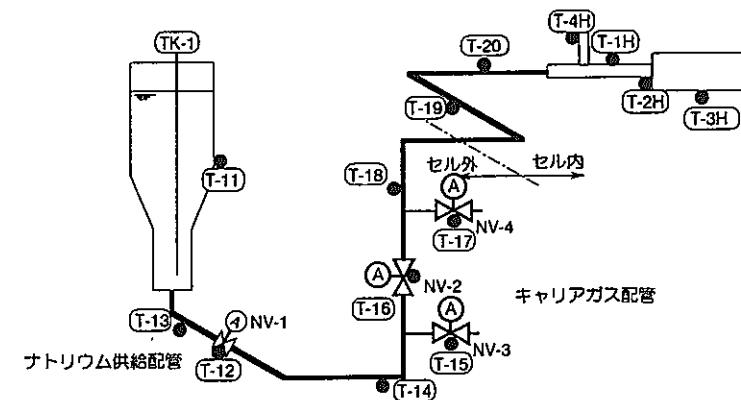


図2.16 圧力計、液面計等実験計測位置

プロセス熱電対



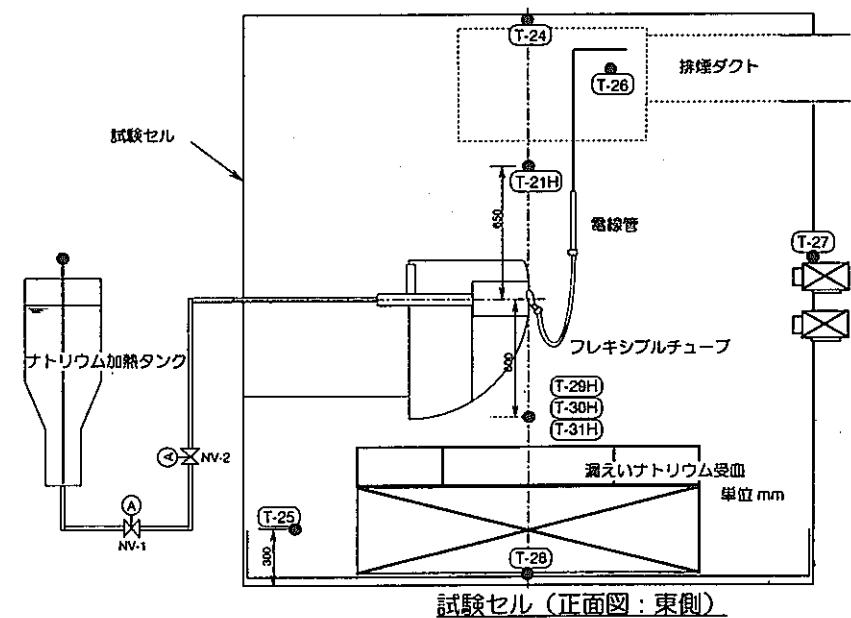
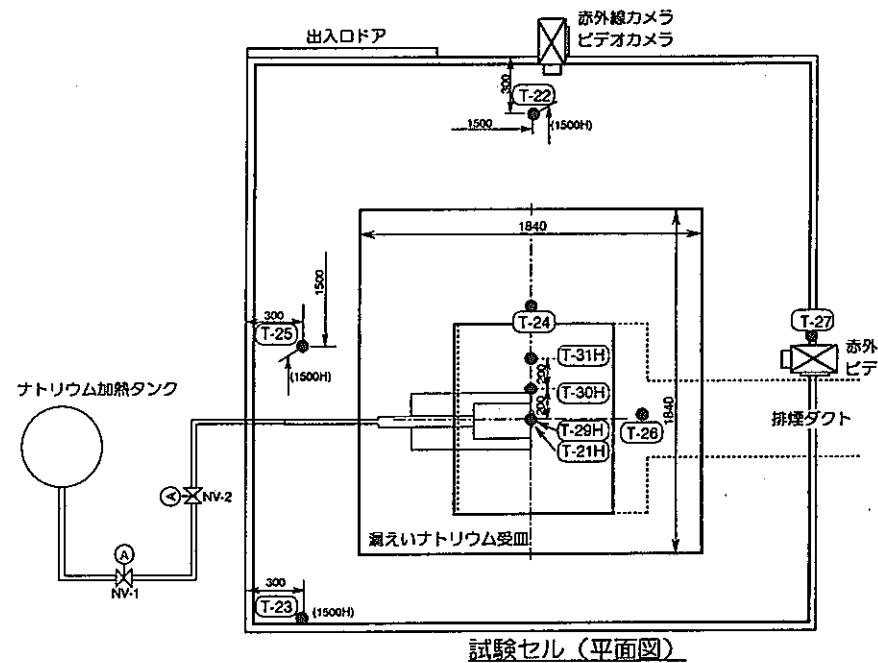
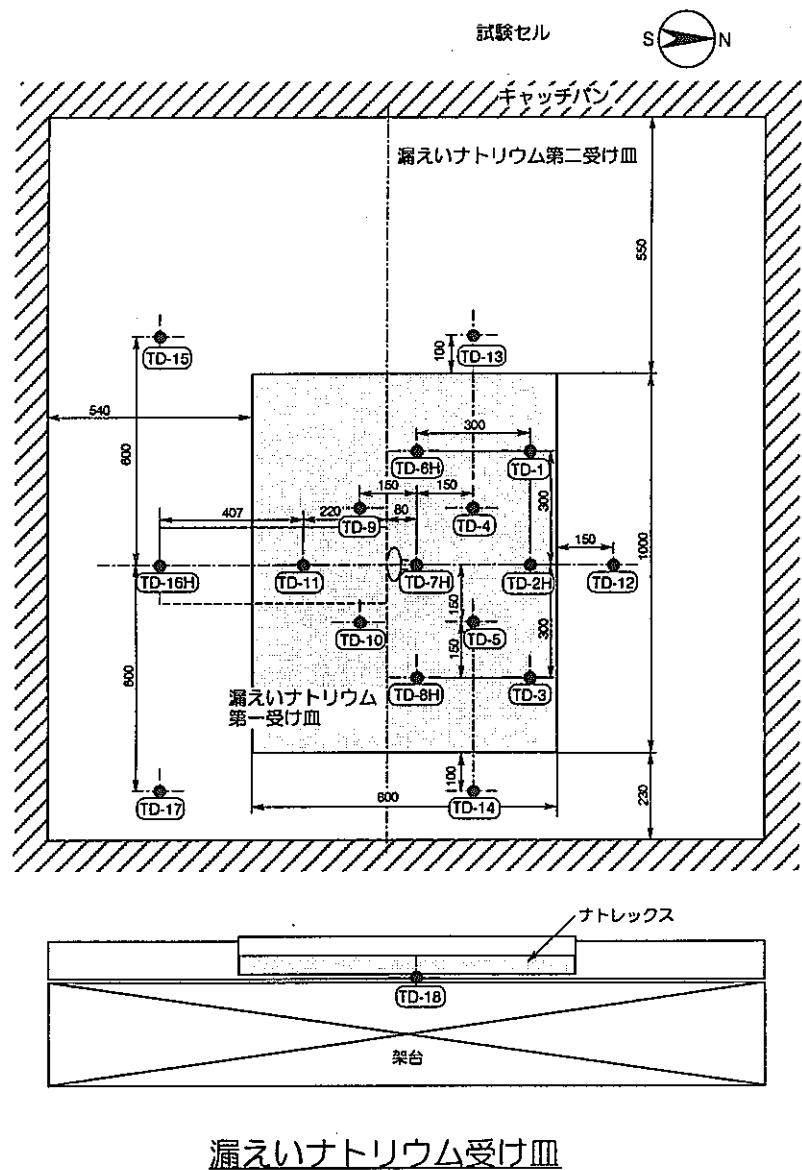
試験体外装板（正面）



ナトリウム供給配管、キャリアガス配管

単位 mm

図2.17 Run-B5-2実験 実験計測用熱電対取付図 (1)



単位 mm

図2.18 Run-B5-2実験 実験計測用熱電対取付図（2）

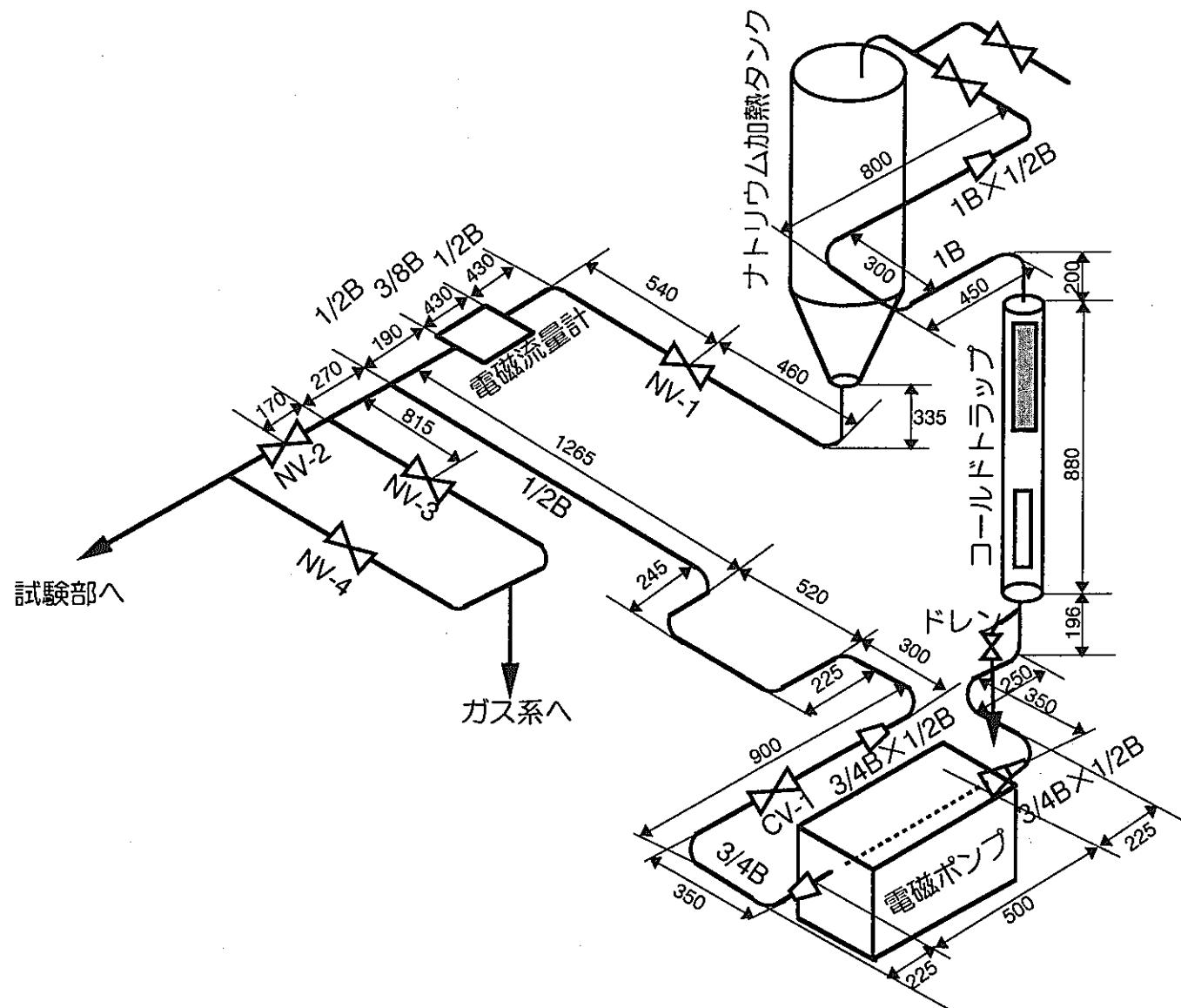


図3.1 Run-B5-2実験用純化系鳥瞰図

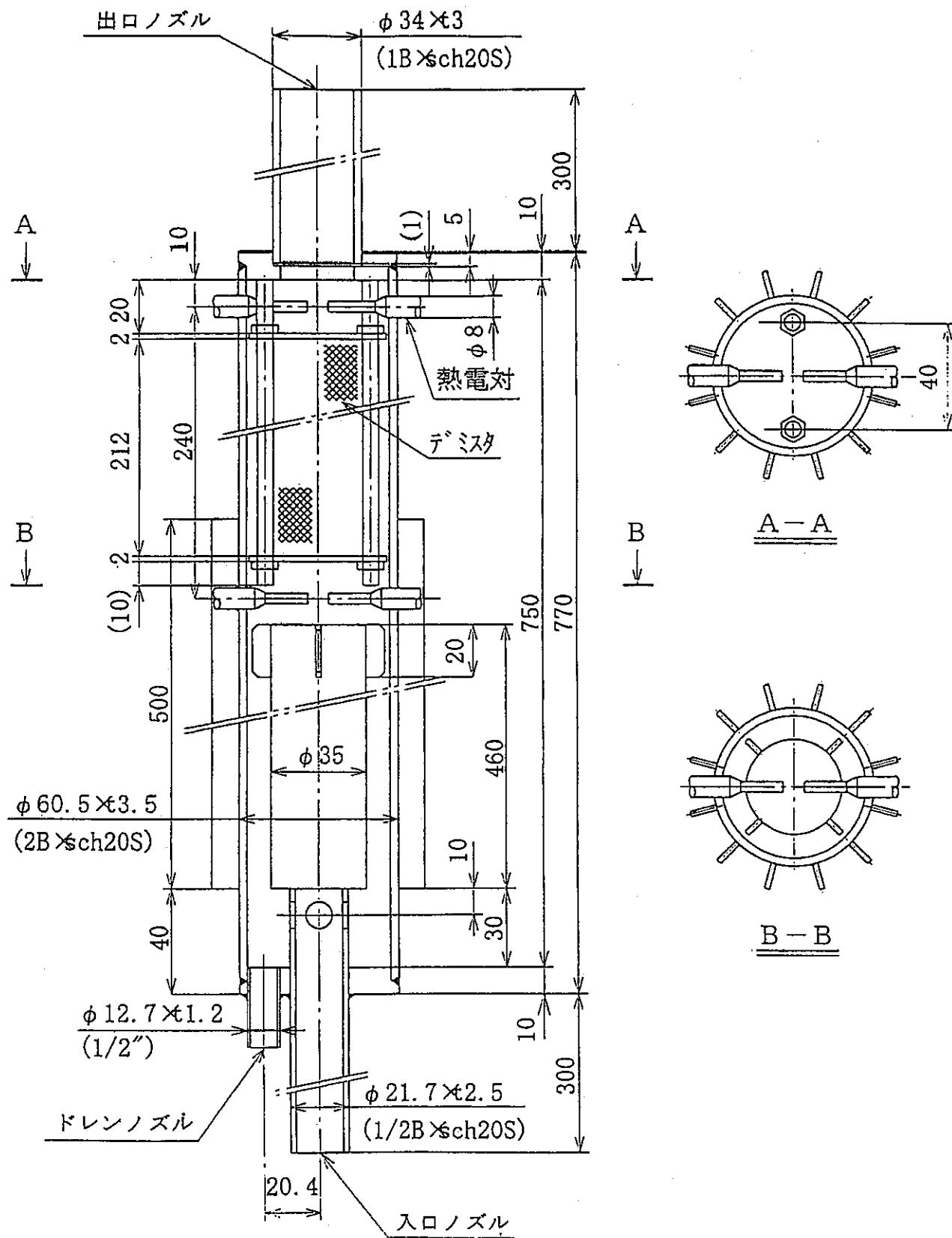


図3.2 Run-B5-2実験に使用したコールドトラップ構造図

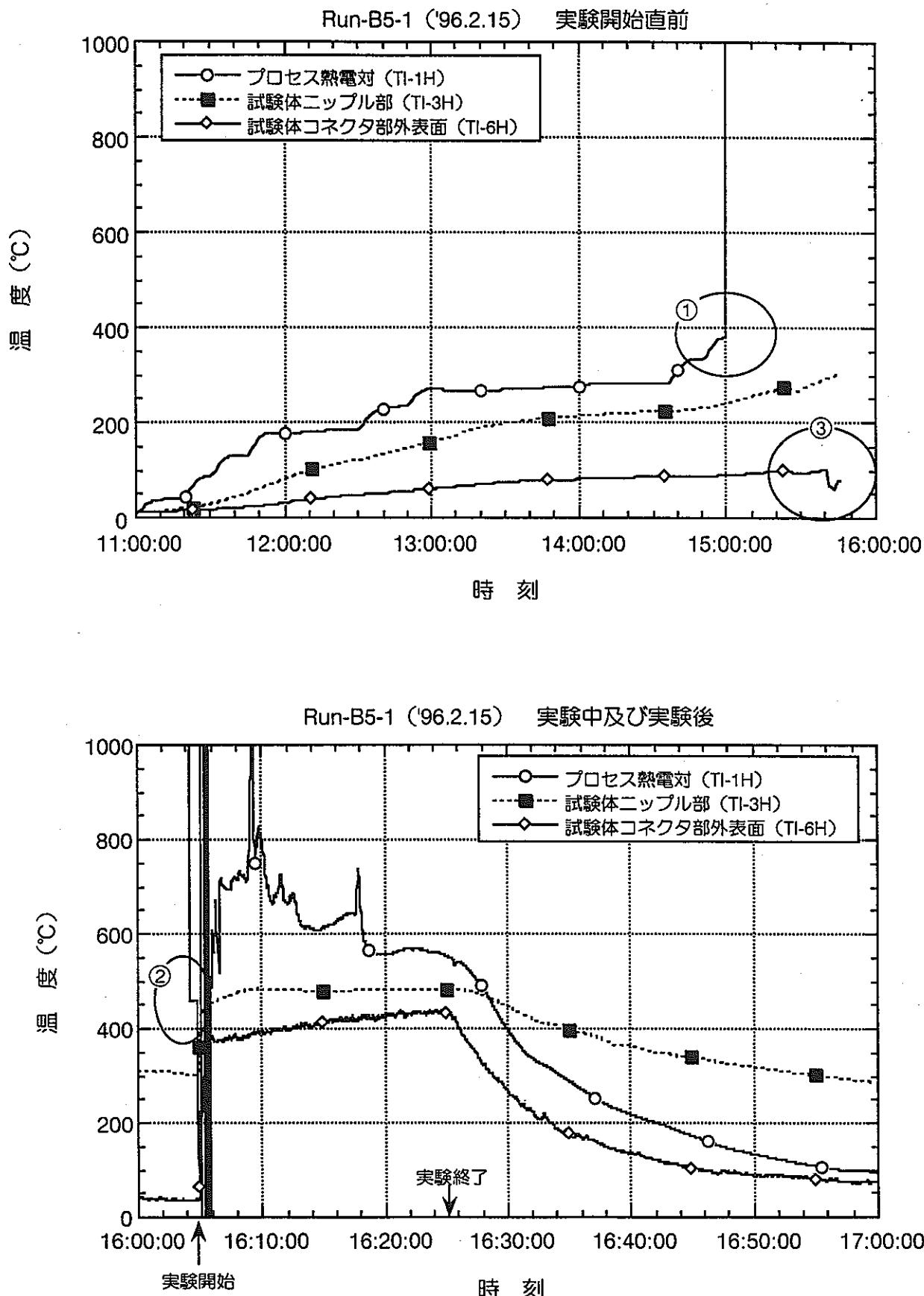


図4.1 Run-B5-1実験 プロセス熱電対の実験開始直前の断線と復帰

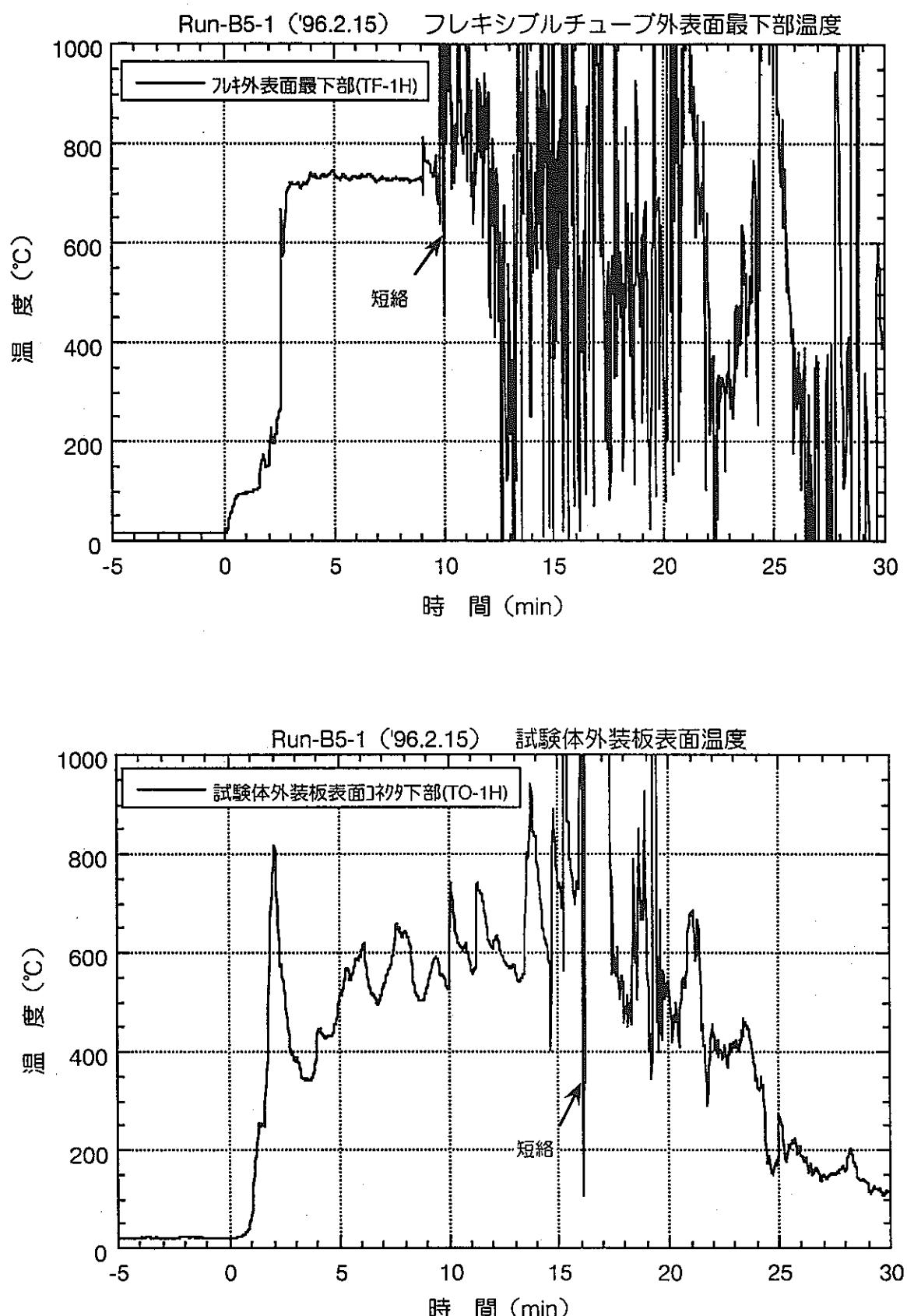
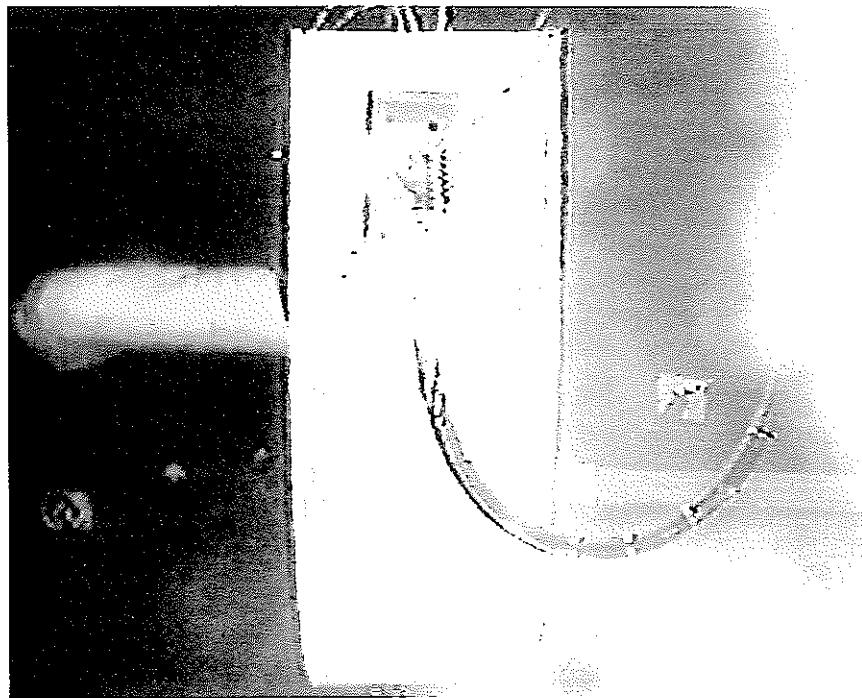
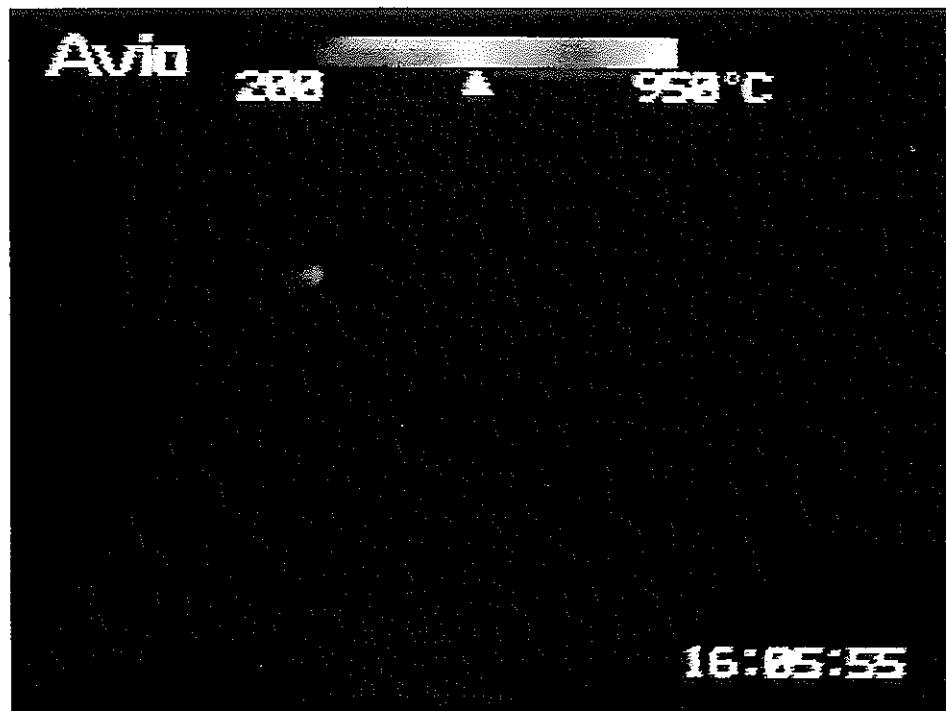


図4.2 Run-B5-1実験 計測用熱電対の破損 (TF-1H及びTO-1H)

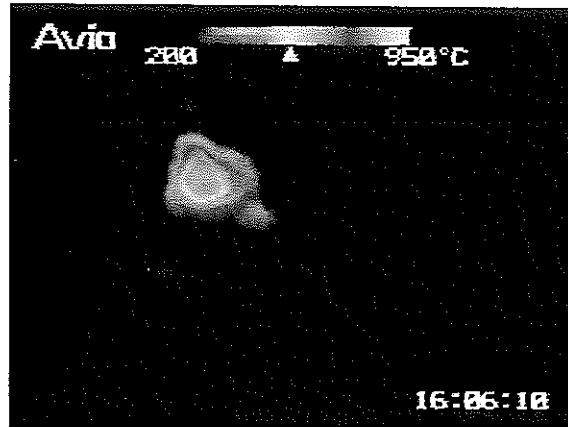


ビデオカメラ映像

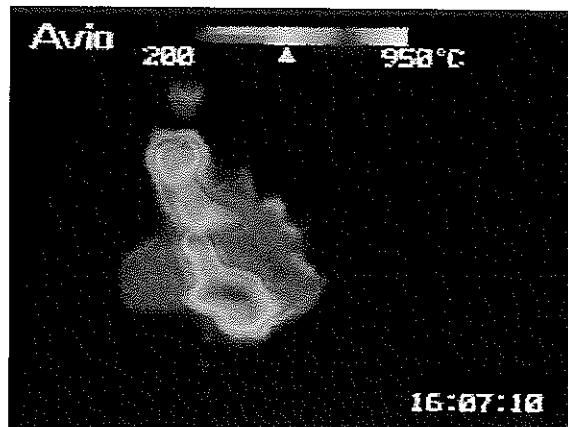


赤外線カメラ映像

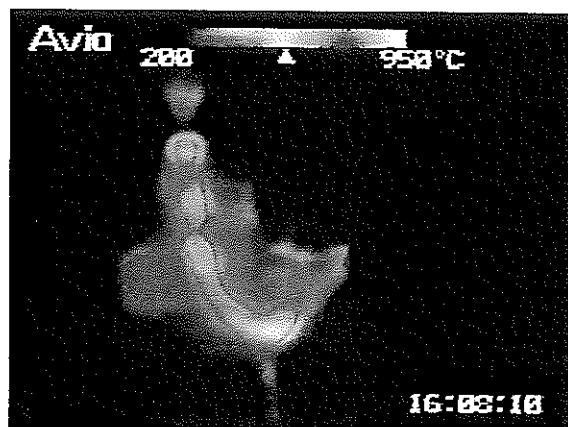
図 4.3 Run-B5-1実験 漏えい開始45秒後のビデオカメラ映像



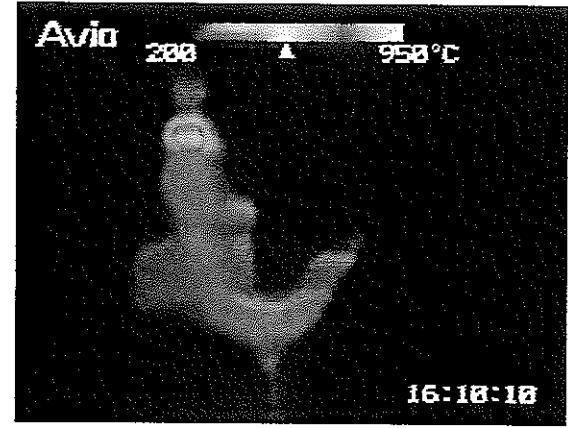
実験開始 1分後



実験開始 2分後

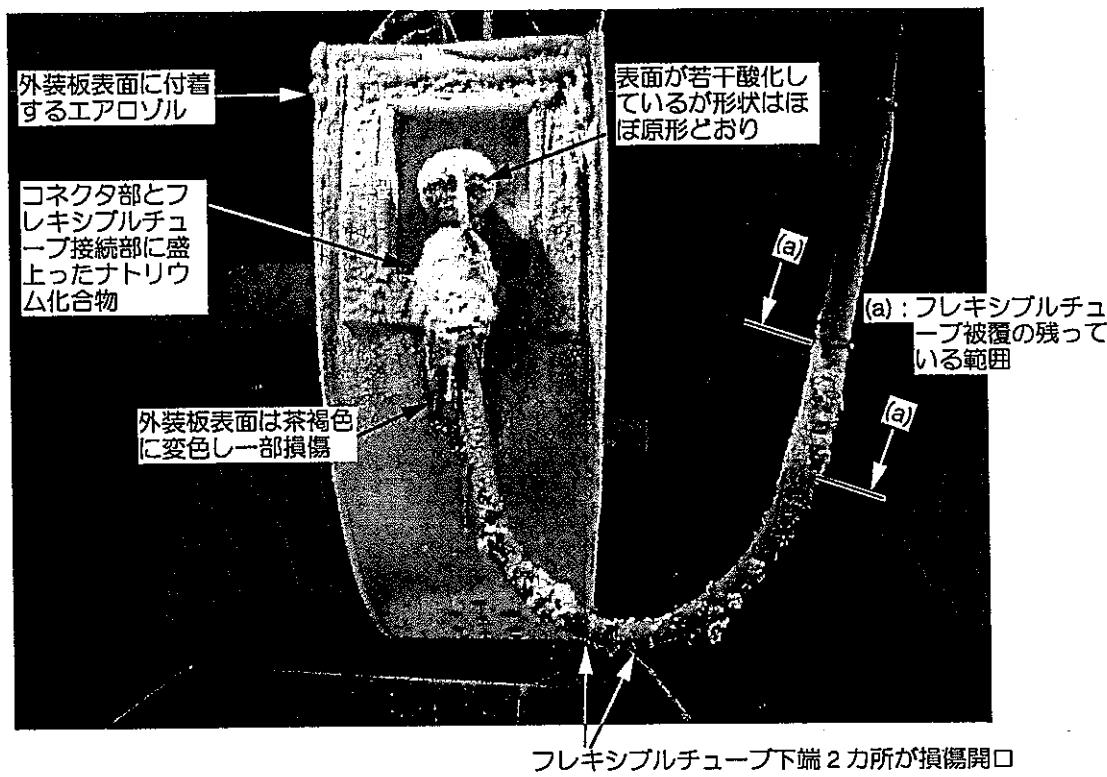


実験開始 3分後



実験開始 5分後

図4.4 Run-B5-1実験 漏えいするナトリウムの形態
(赤外線カメラ映像)



(試験体へのナトリウム化合物付着状況)

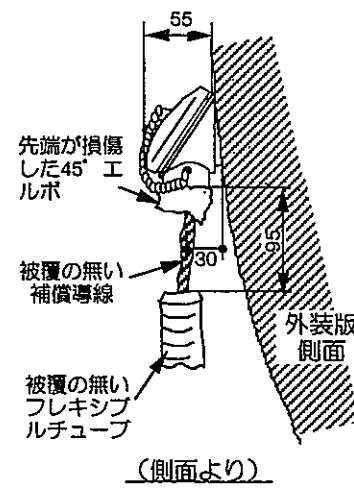
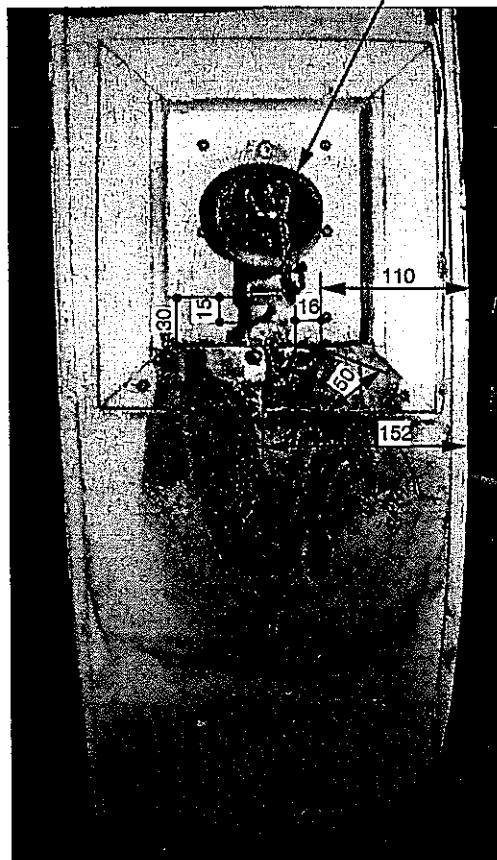


(試験体コネクタ部の拡大)

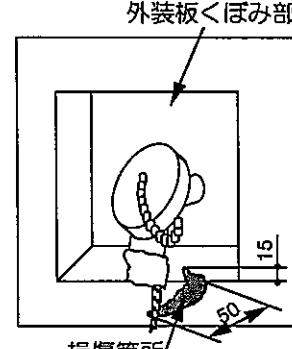
(単位: mm)

図4.5 Run-B5-1実験 試験体コネクタ部へのナトリウム化合物付着状況

E型コネクタ部アルミキャップ表面

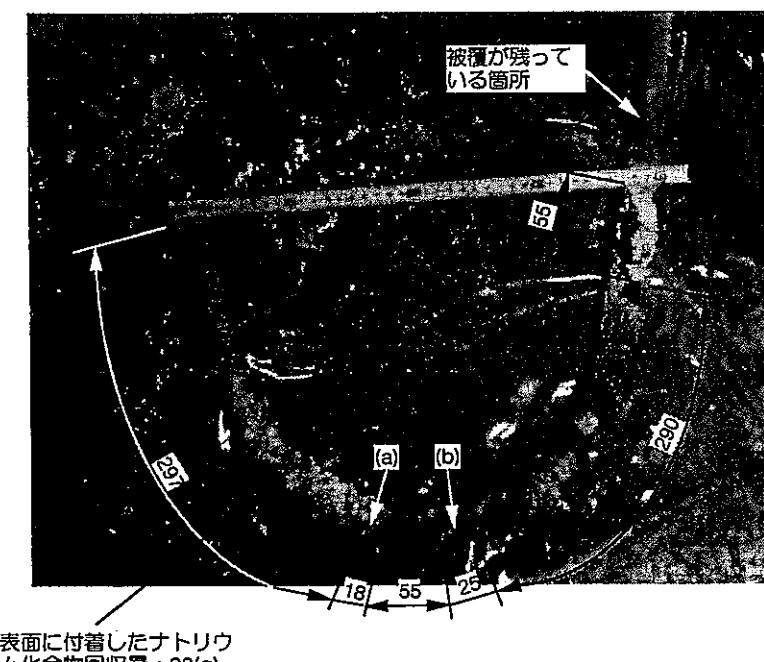


(側面より)



(正面斜め上より)

(試験体外装板と45°エルボ継ぎ手)



(1).フレキシブルチューブ重量測定

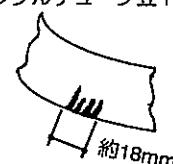
実験前：フレキシブルチューブ = 1.4(kg)
補償導線 = 0.6(kg)

合計 約2.0 (kg)

実験後：
フレキシブルチューブ + 補償導線
+ ナトリウム化合物 = 約1.7(kg)

(2).欠損箇所の形状・寸法観察

(a) : フレキシブルチューブ立下がり部の貫通穴



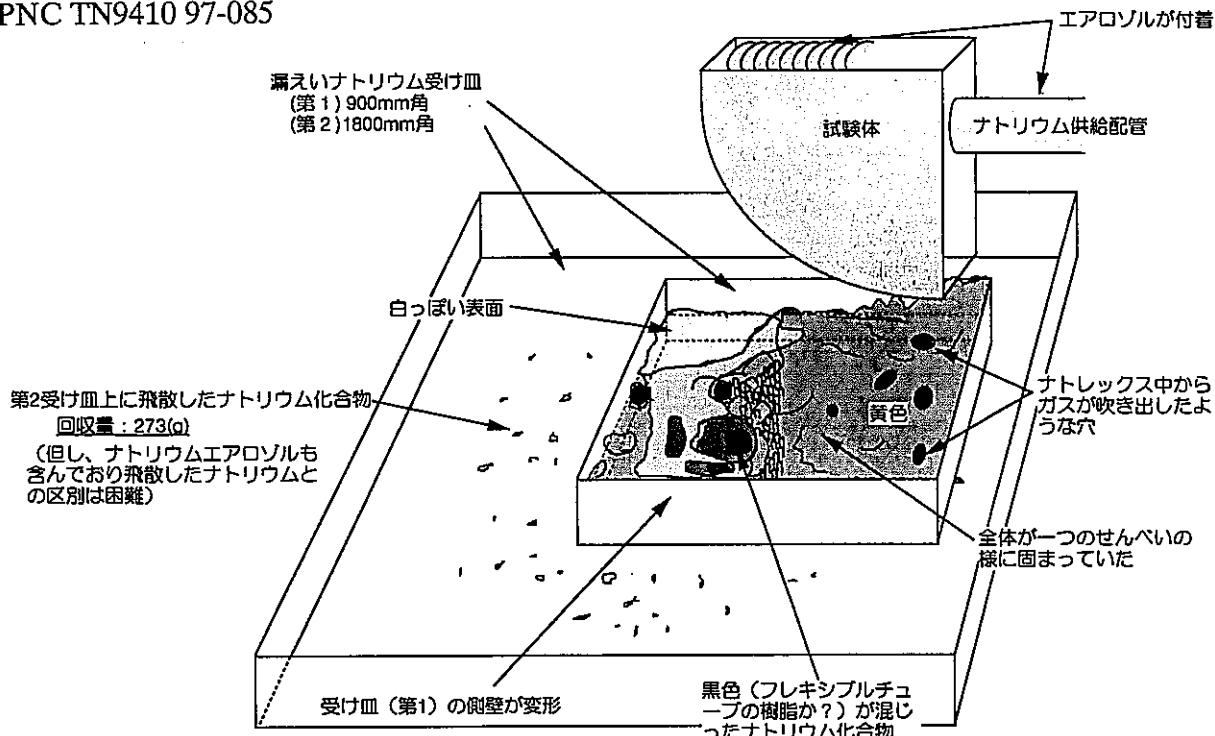
(b) : フレキシブルチューブ最下部の貫通穴



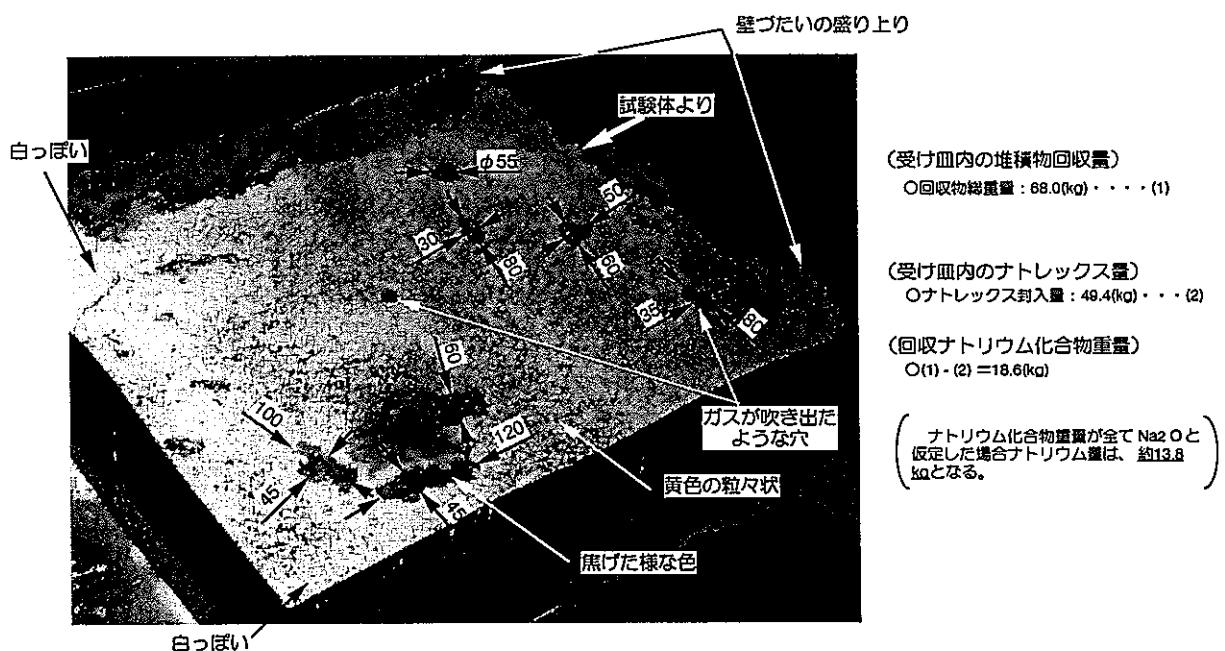
単位: mm

(フレキシブルチューブ)

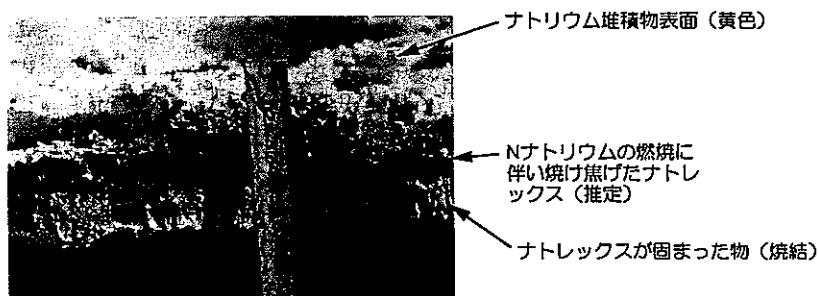
図4.6 Run-B5-1実験 損傷した試験体の実験後観察



(ナトリウム受け皿上のナトリウム化合物と付着エアロゾル)



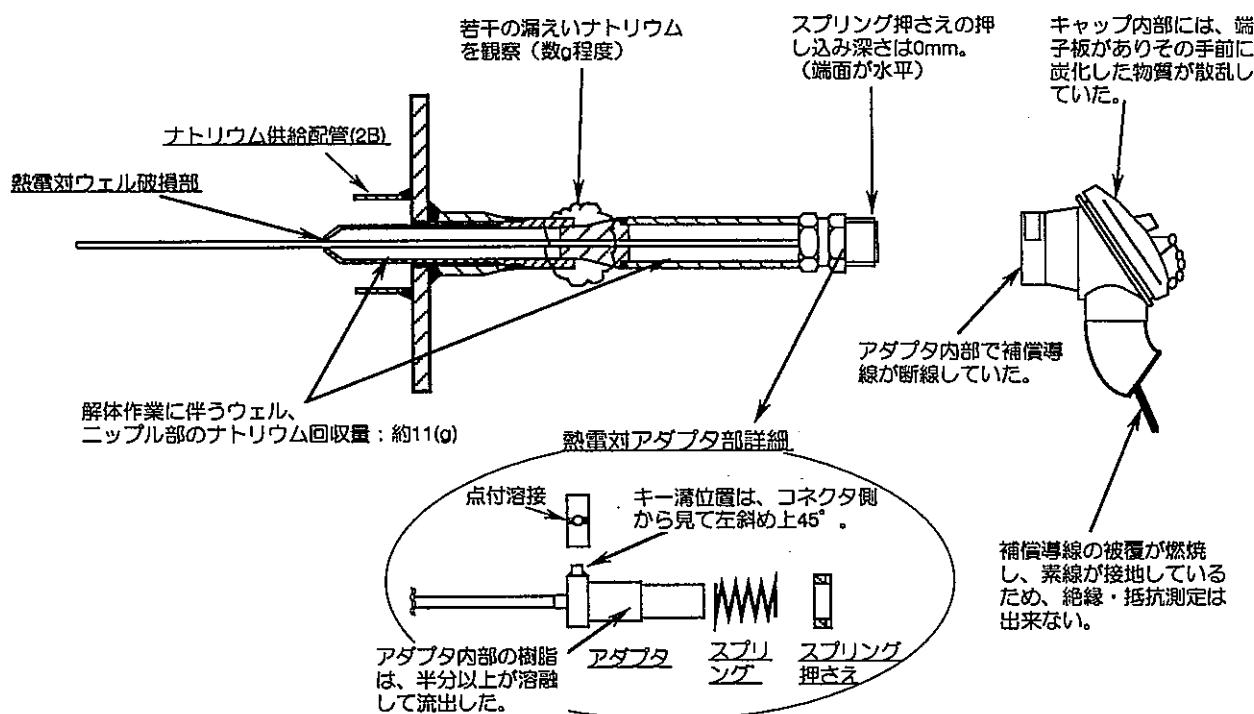
(ナトリウム受け皿上の堆積物とその回収量)



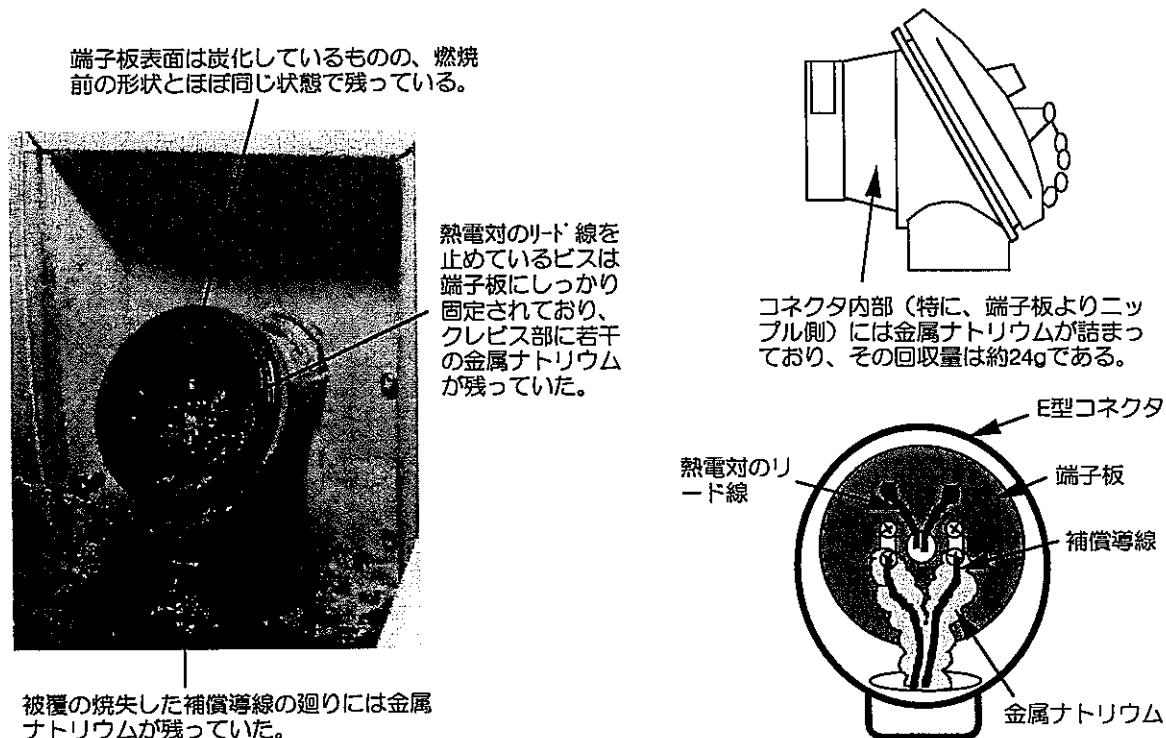
(堆積物の断面状況)

单位：mm

図4.7 Run-B5-1実験 漏えいナトリウム受け皿上のナトリウム堆積物



(模擬温度検出器の実験後解体検査結果)



(コネクタ内部の損傷状況と付着ナトリウム量)

図4.8 Run-B5-1実験 模擬温度検出器の実験後解体検査結果

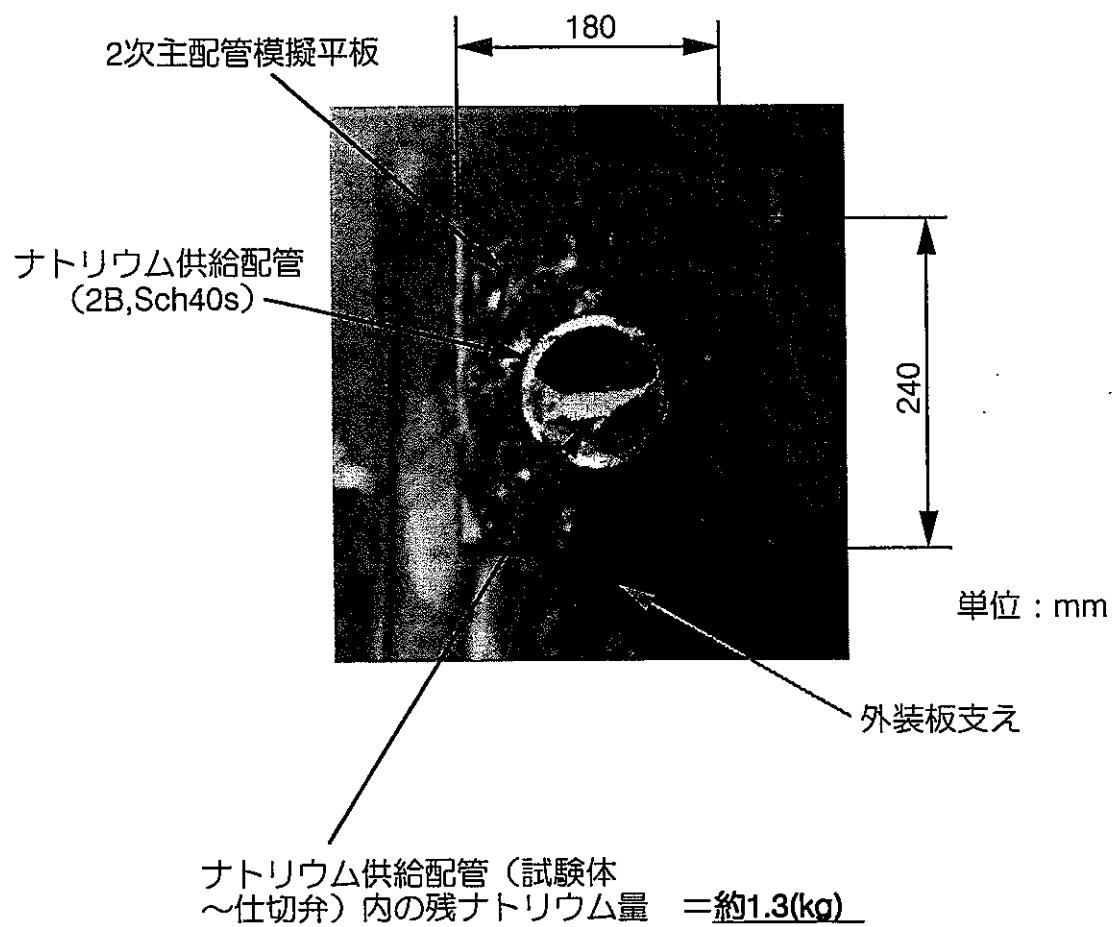


図4.9 Run-B5-1実験 ナトリウム供給配管内の残ナトリウム

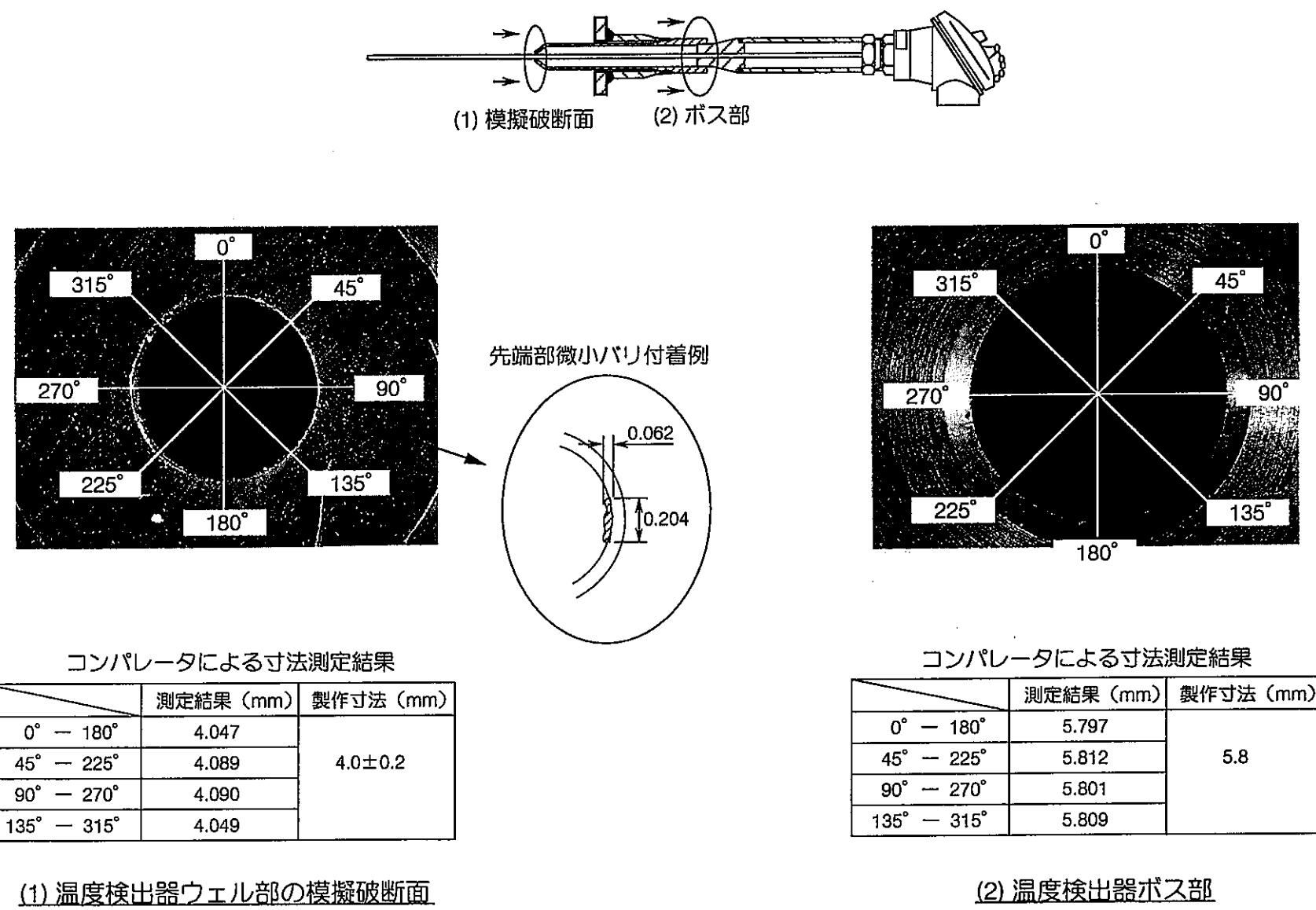


図4.10 Run-B5-1実験 模擬温度検出器の寸法測定結果（1）

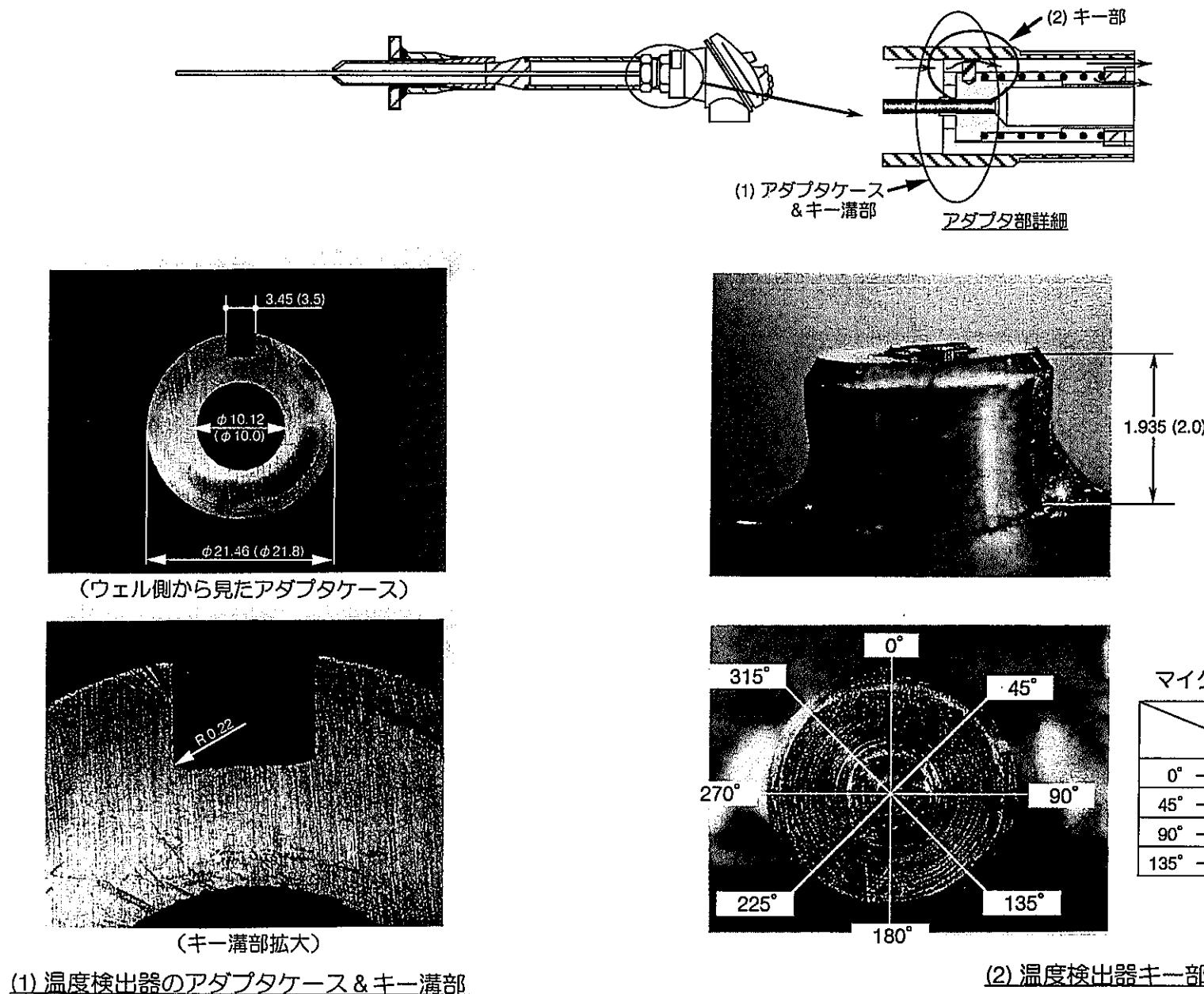


図4.11 Run-B5-1実験 模擬温度検出器の寸法測定結果（2）

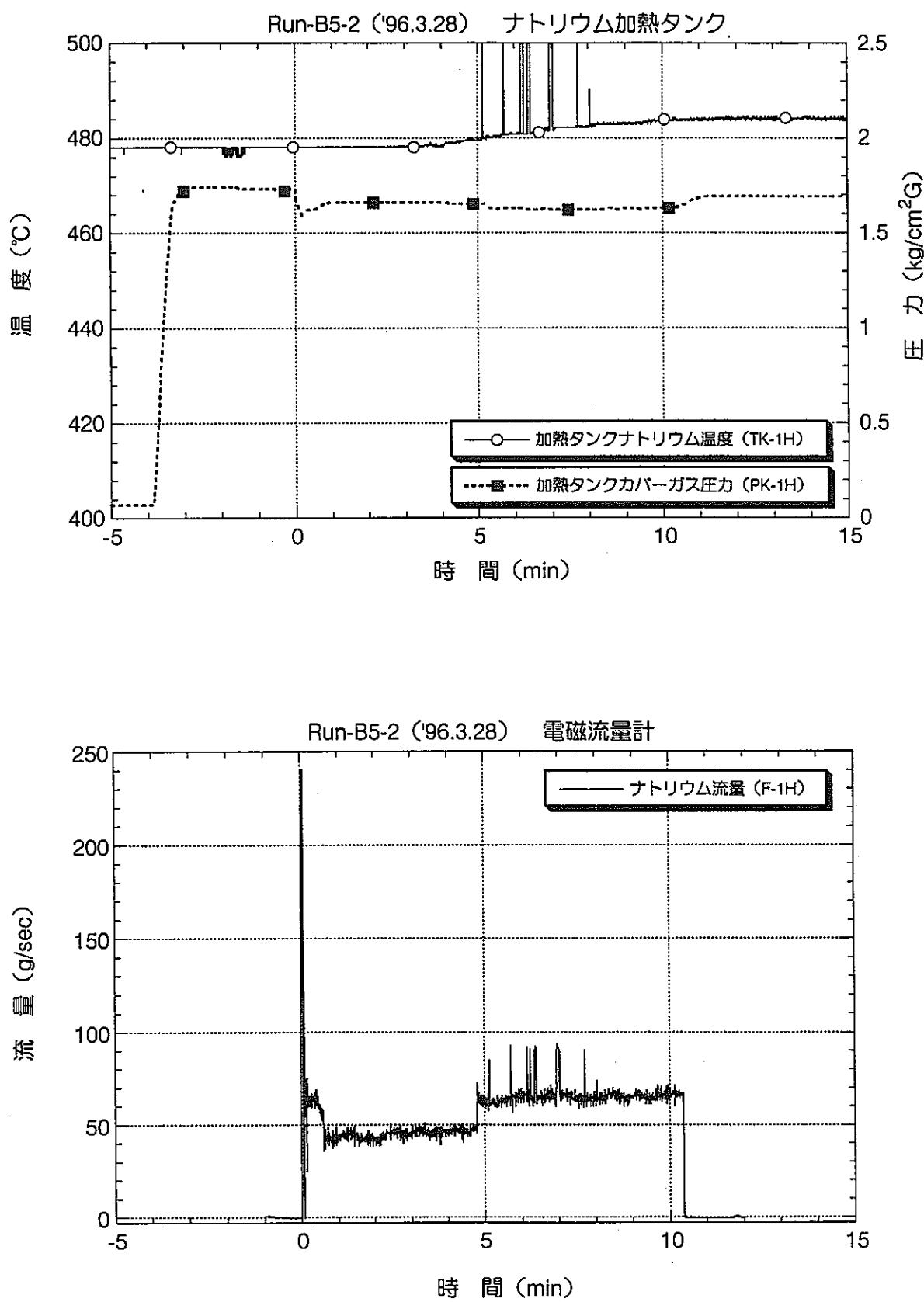


図4.12 Run-B5-2実験 ナトリウム加熱タンク温度・圧力、及びナトリウム流量

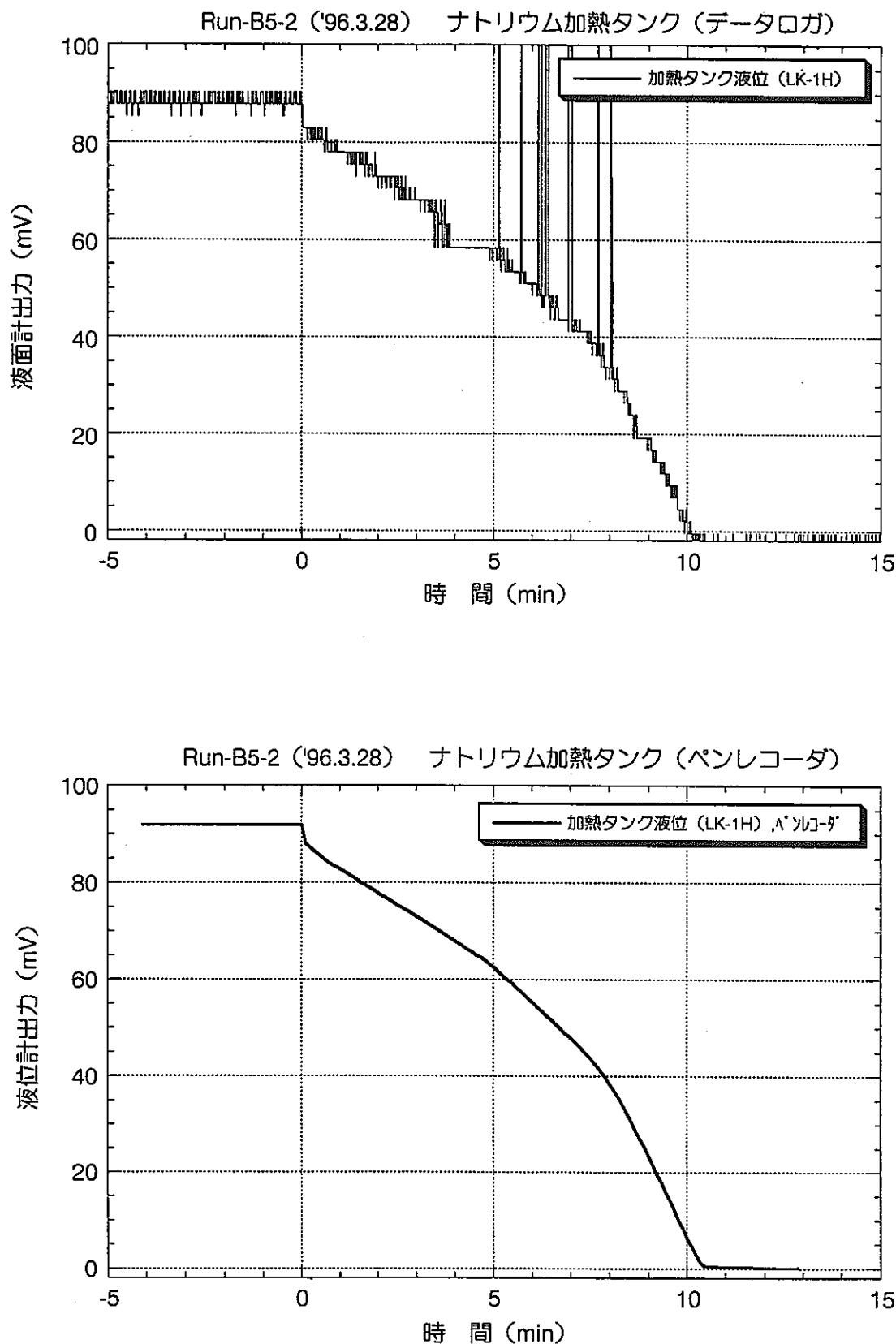


図4.13 Run-B5-2実験 ナトリウム加熱タンク液面計出力
(データロガとペンレコーダ)

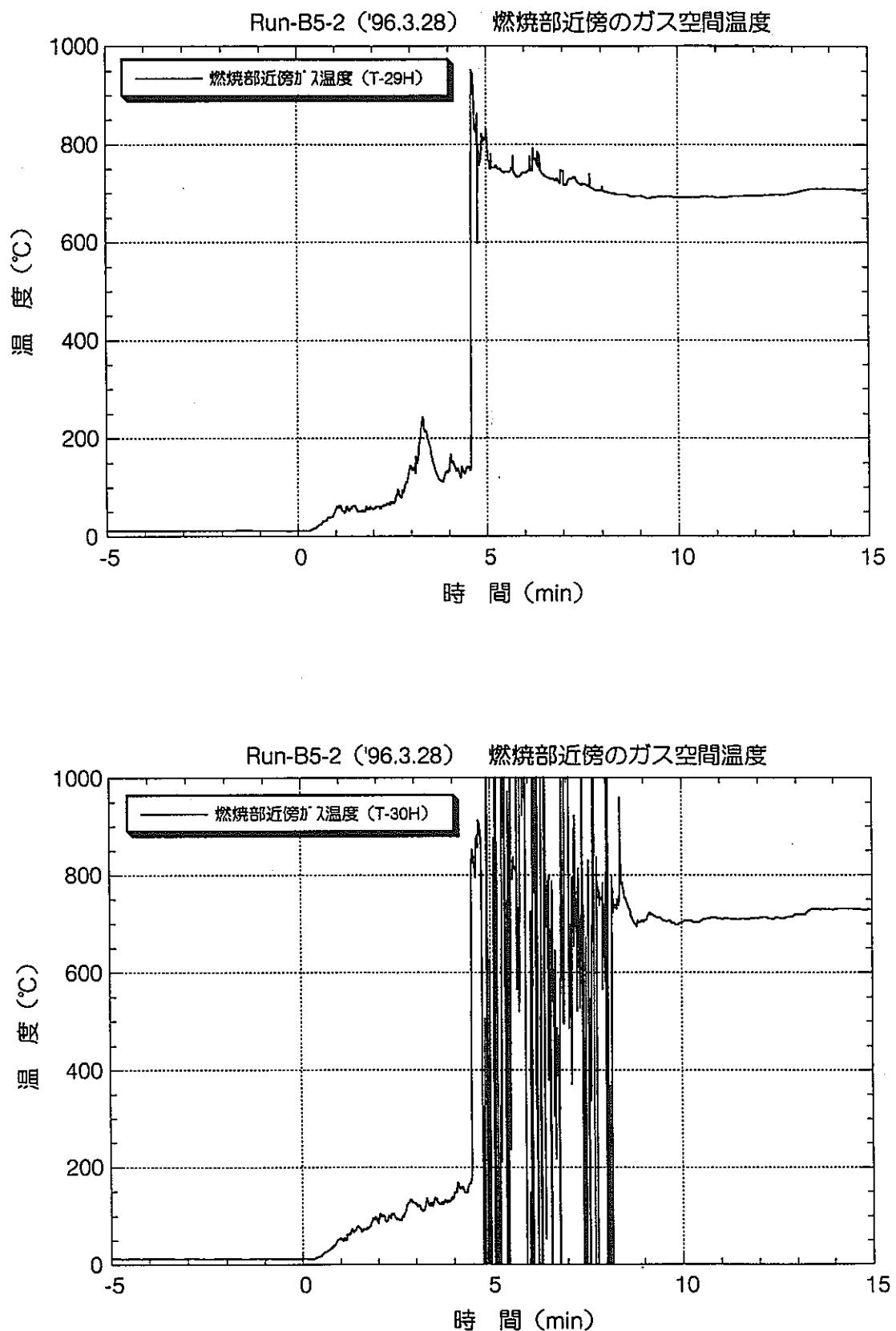
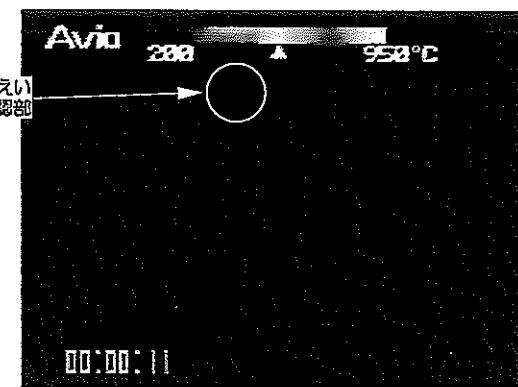
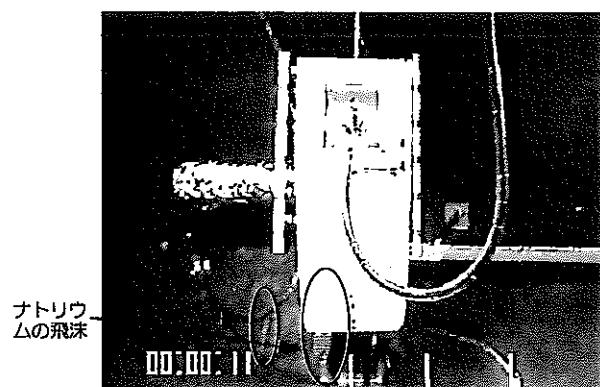
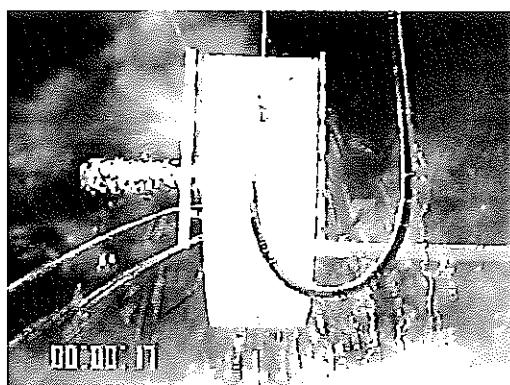


図4.14 Run-B5-2実験 燃焼部近傍ガス温度計測熱電対の破損

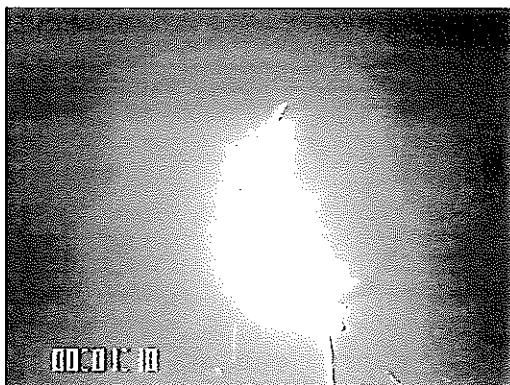
(1)実験開始11秒後：ナトリウム漏えい開始初期



(2)実験開始17秒後：フレキシブルチューブ被覆材の燃焼



(3)実験開始1分10秒後：フレキシブルチューブ最下端よりの連続的滴下

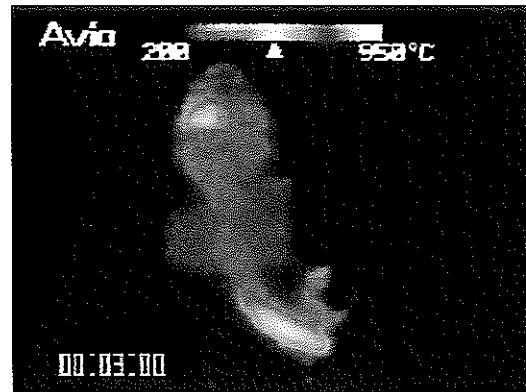


【ビデオカメラ映像】

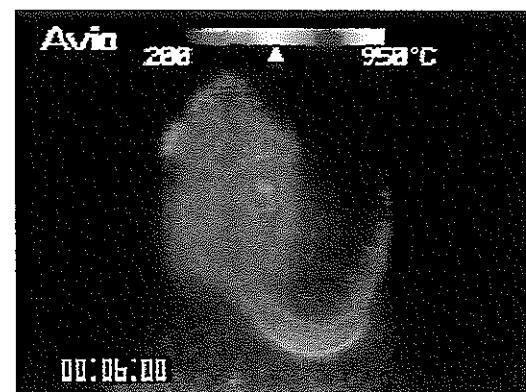


【赤外線カメラ映像】

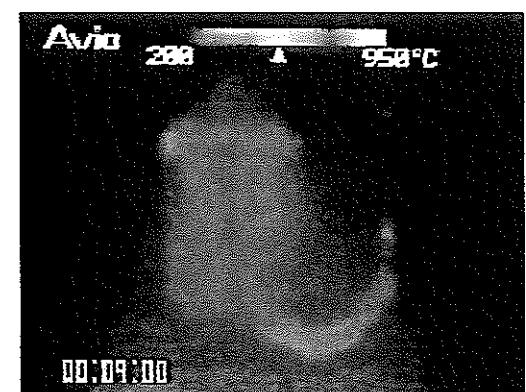
図4.15 Run-B5-2実験 ナトリウムの漏えい形態
(ビデオカメラ及び赤外線カメラ映像)



実験開始 3分後



実験開始 6分後



実験開始 9分後

【赤外線カメラ映像】

図 4.16 Run-B5-2実験 フレキシブルチューブ燃焼部の移動

電線管ナット上部から380mmまで
補償導線にナトリウム化合物の付
着が見られる
(右写真の指さし場所)

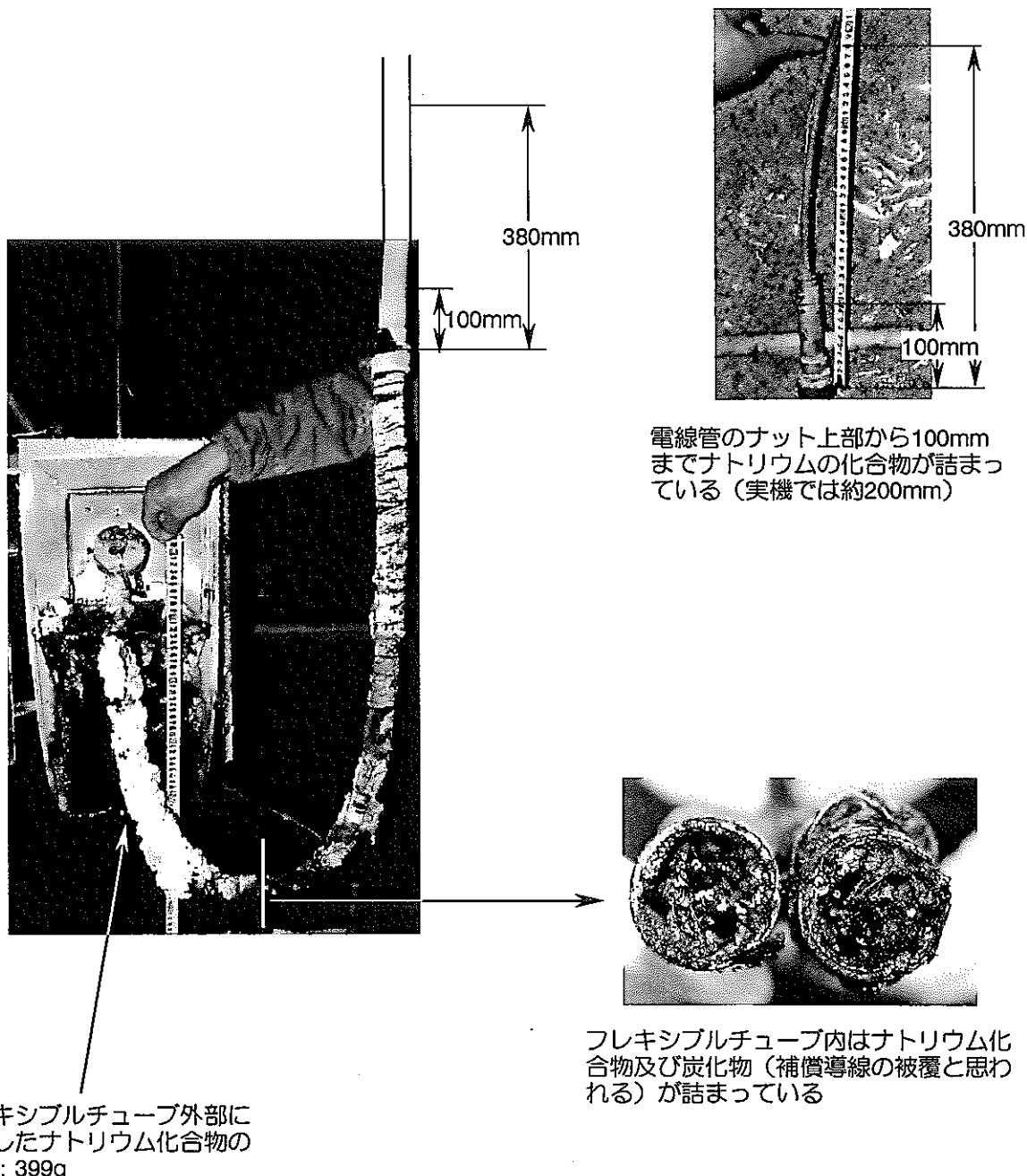
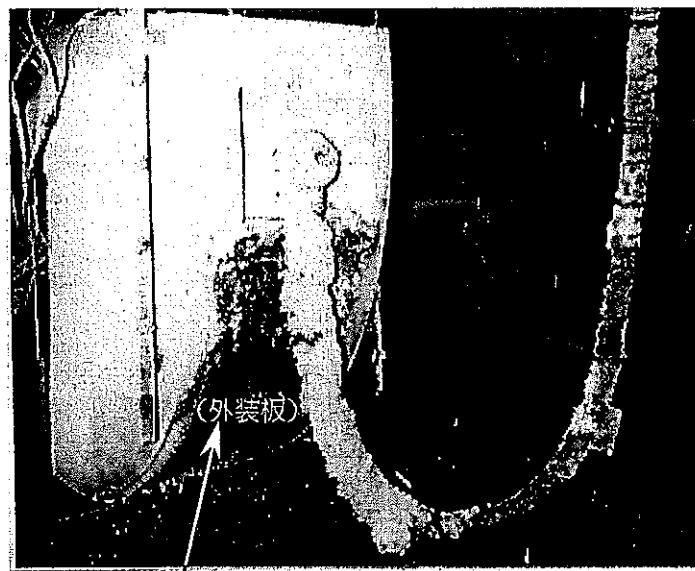
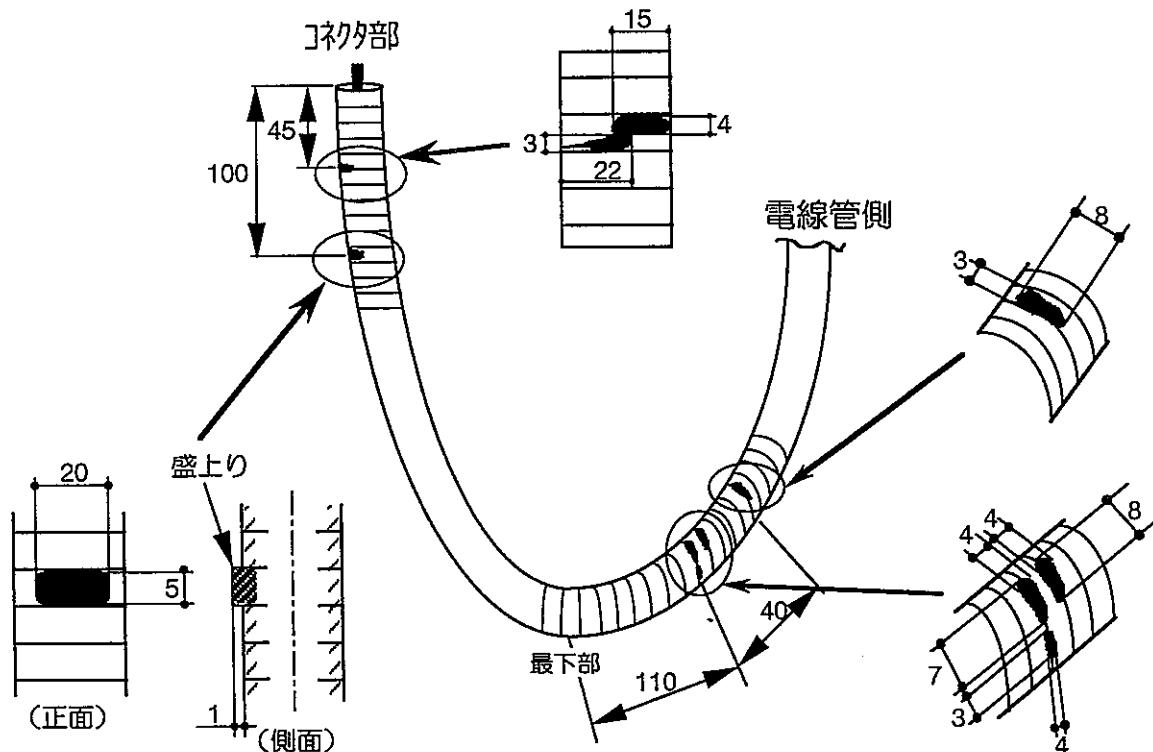


図 4.17 Run-B5-2実験 ナトリウム化合物付着状況と電線管内
ナトリウム上昇位置



熱による変形、変色を観察
(貫通するような欠陥孔は無し)

試験体外装板の損傷状況



フレキシブルチューブ解体後の損傷状況

図4.18 Run-B5-2実験 試験体外装板及びフレキシブルチューブ損傷状況

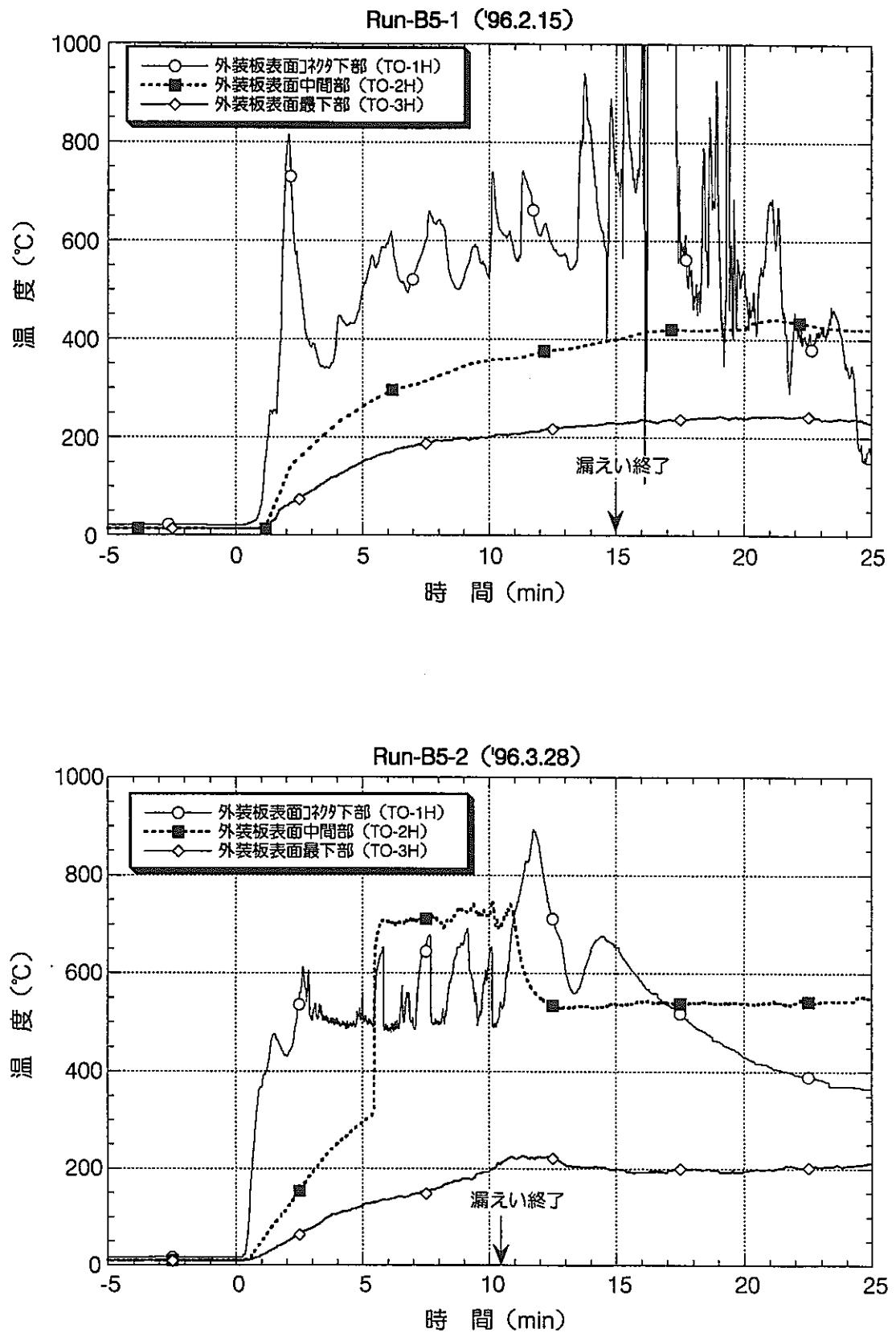
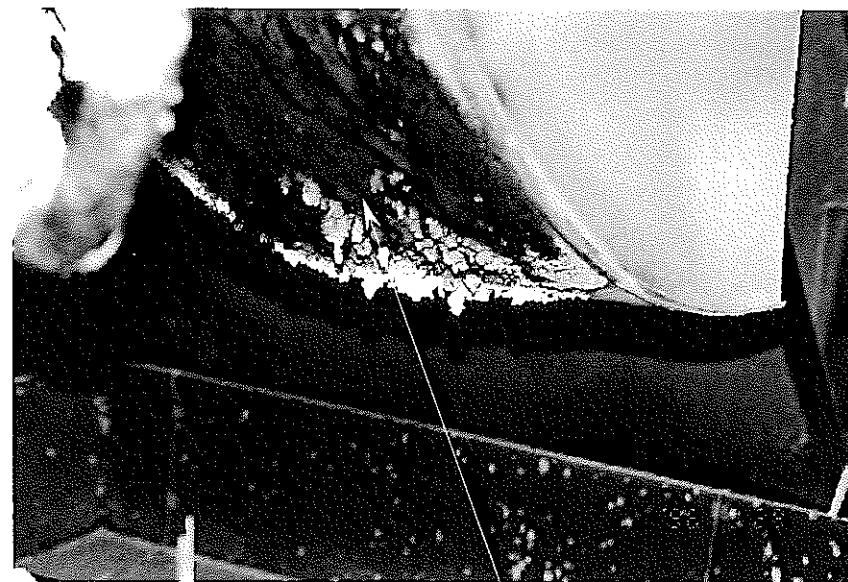
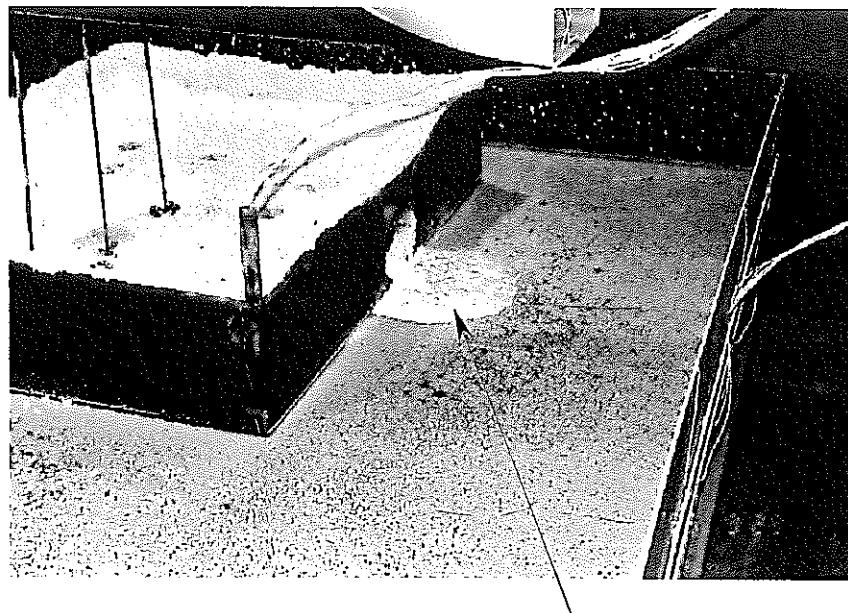


図4.19 Run-B5-1及びRun-B5-2実験の試験体外装板表面温度の比較

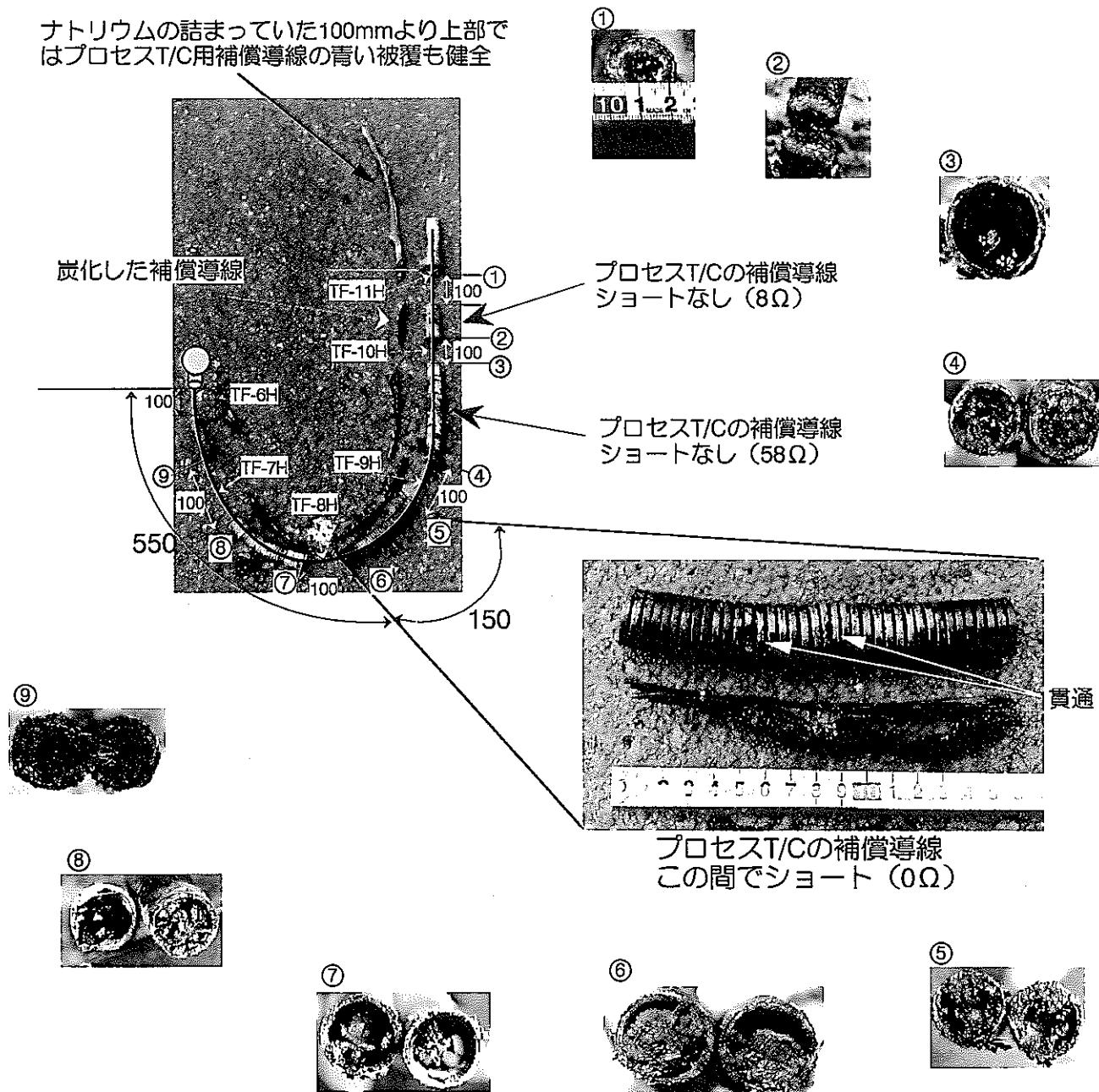


漏塗装がほとんど焼け落ちている
試験体外装板の表面



外装板から第2受け皿上に落下したナ
トリウム化合物の回収量：約0.42kg

図4.20 Run-B5-2実験 試験体外装板から落下したナト
リウム化合物

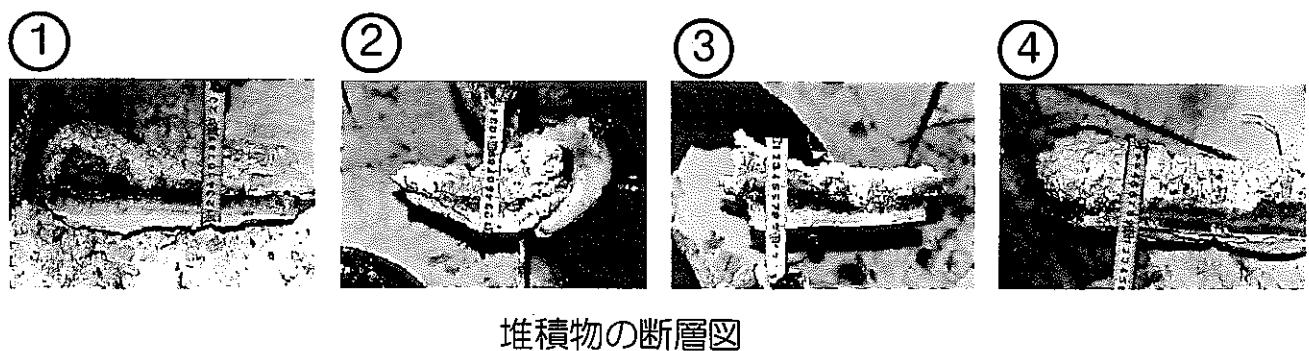
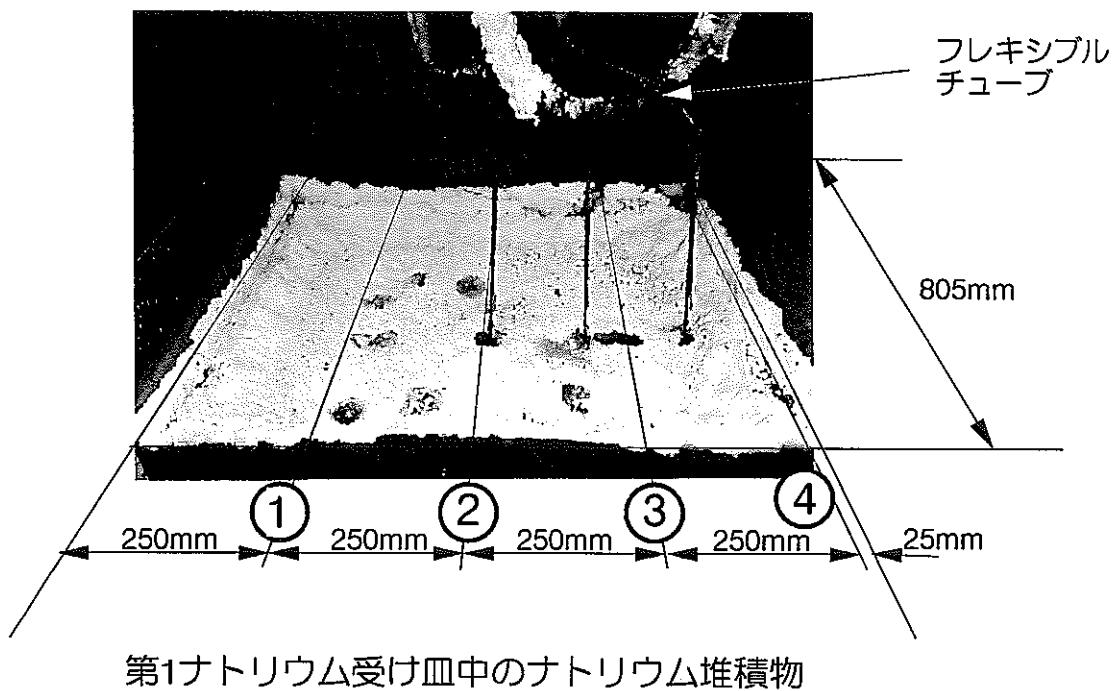


【切断場所】

- TF-6H周辺 フレキ内部入り口から100mm
- TF-7H周辺 フレキ内部入り口から約200~300mm
- TF-8H周辺 フレキ内部入り口から約450~550mm
- TF-9H周辺 フレキ内部入り口から約700~800mm
- TF-10H周辺 フレキ内部入り口から約950~1050mm
- TF-11H周辺 フレキ内部電線管接続部からフレキ方向へ100mm

単位 : mm

図 4.21 Run-B5-2実験 フレキシブルチューブ解体検査結果



第1受け皿内ナトリウム化合物の回収重量・・・55.3kg
(但し、一部ナトレックスも含む)

図4.22 Run-B5-2実験 漏えいナトリウム受け皿内堆積物

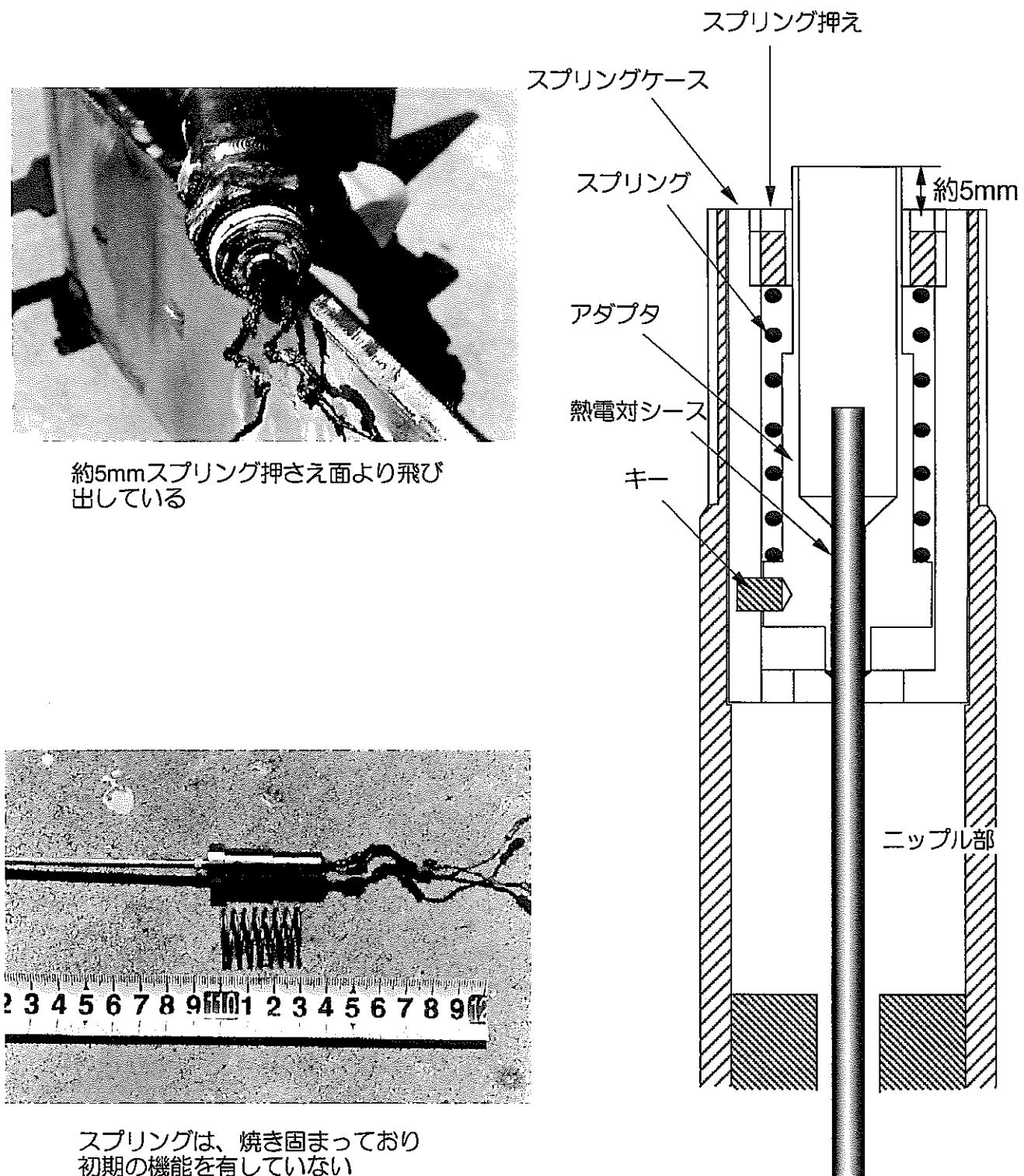


図4.23 Run-B5-2実験 プロセス熱電対の解体検査

【実験後のコネクタ内部状況】

【実験前のコネクタ内部状況】



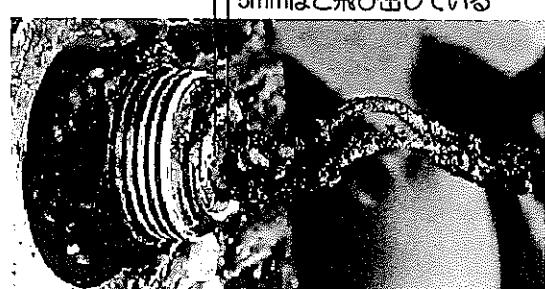
①. 損傷した端子板



②. 端子板取り外し



③. 熱電対リード線



④. コネクタカバー取り外し後

コネクタ部の解体検査



損傷した45° エルボ

図4.24 Run-B5-2実験 コネクタ部の解体検査及び損傷したエルボ

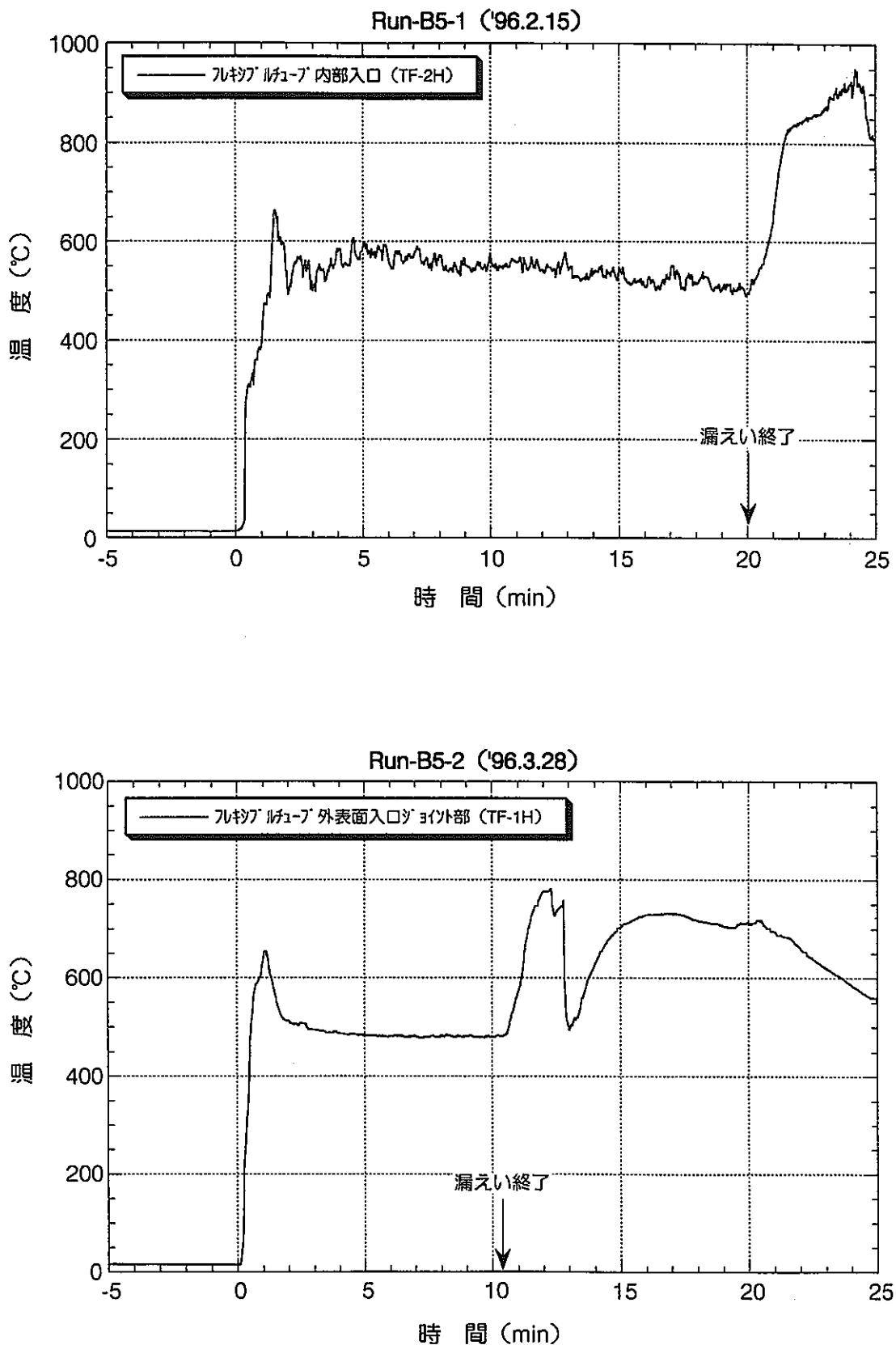


図4.25 フレキシブルチューブとエルボ接続部付近の温度挙動
(Run-B5-1及びRun-B5-2実験の比較)

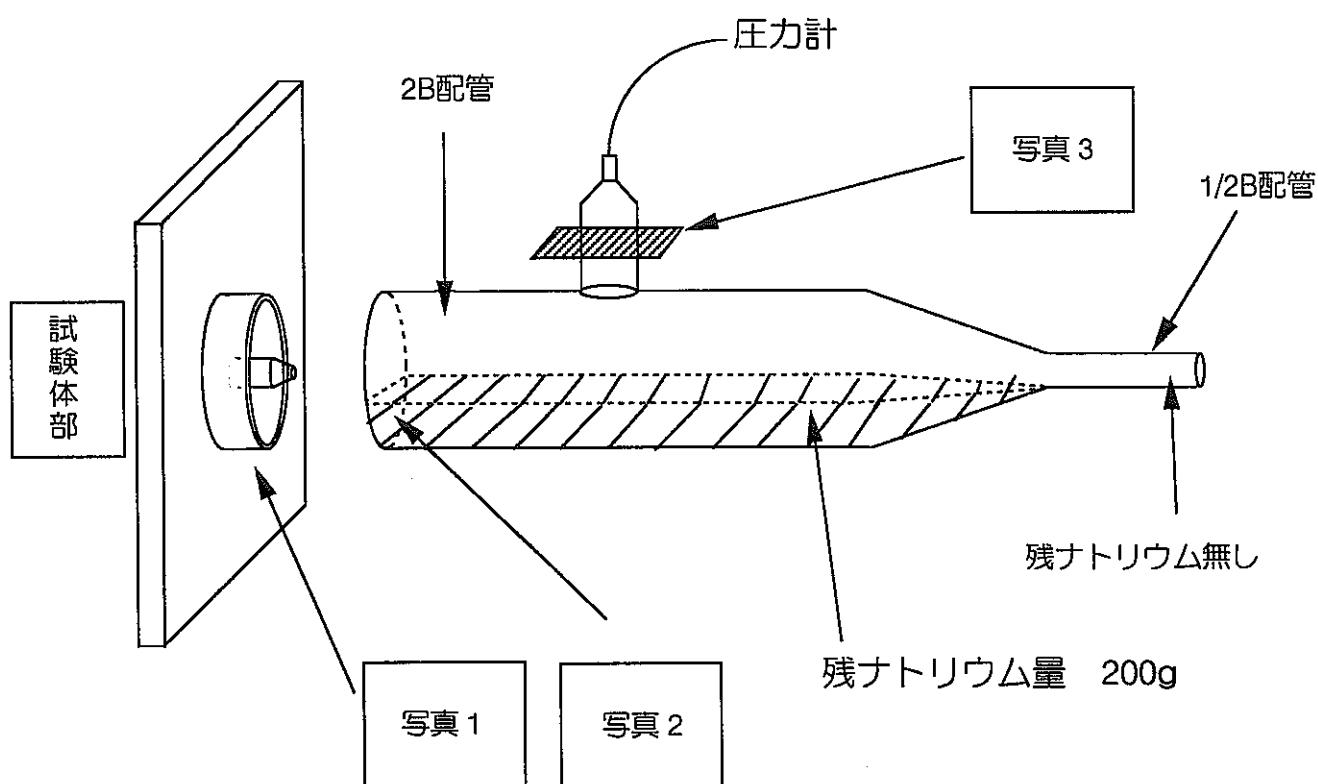
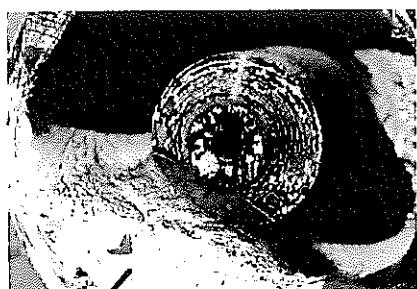


写真 1 溫度計ウエル破断部



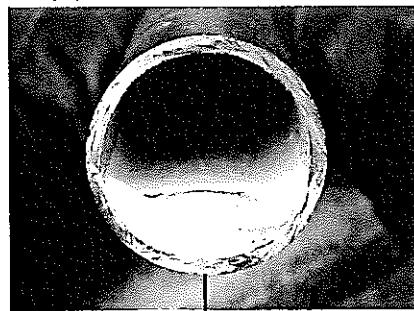
下
1/2B配管との接合部
高さまでナトリウムが残る

写真 3 圧力計内部



ナトリウムの入りこんだ形跡無し

写真 2 2B配管内部



下

図 4.26 Run-B5-2実験 ナトリウム供給配管内の残ナトリウム

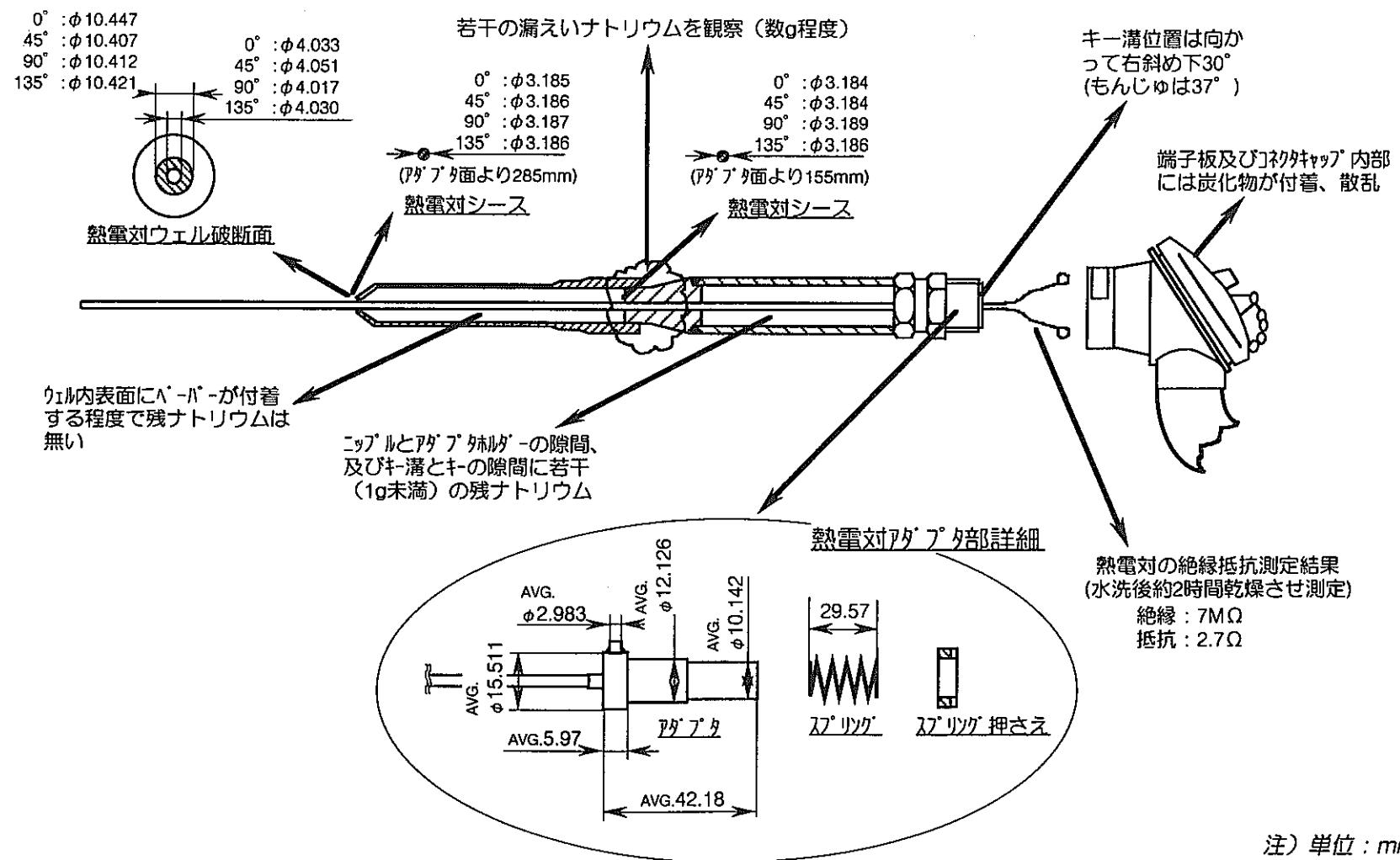
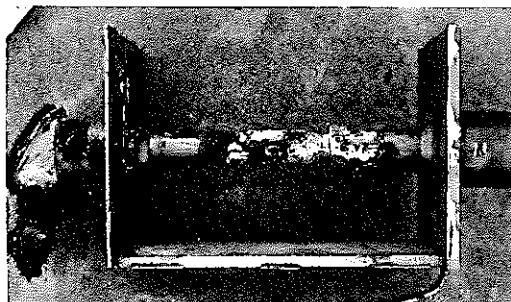


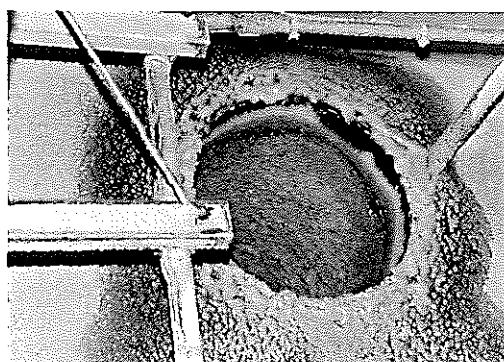
図4.27 Run-B5-2実験 実験後の温度検出器解体寸法検査結果



ニップルーウェル管台接続
部からのナトリウム漏れ
89.1g



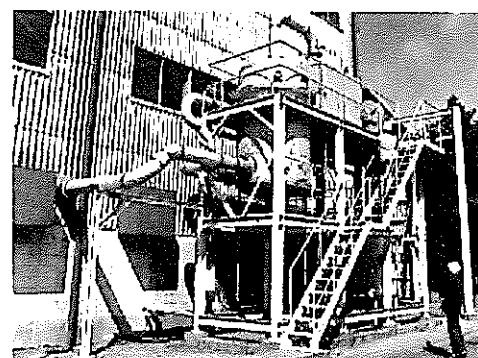
スクラバHEPAフィルタ
449 g



スクラバダクト内
1540 g

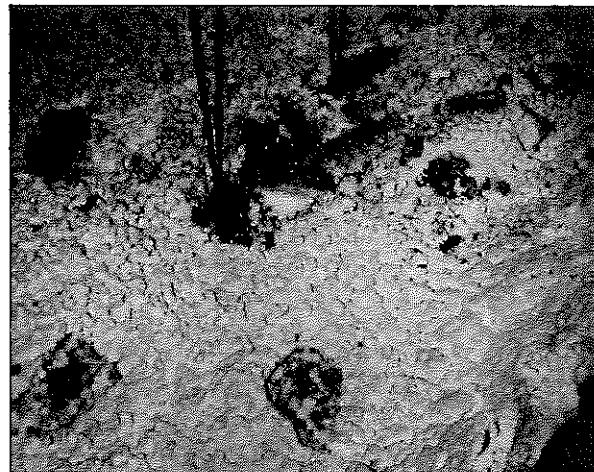


試験セル内（含フード、架台等）
7906 g



スクラバ循環水
2570 g

図4.28 Run-B5-2実験 ナトリウムエアロゾル採取箇所



No.1 第一受け皿内黄色化合物
No.3 第一受け皿内黄色化合物の下
No.11 第一受け皿底部 ナトレックス直上



No.5 フレキシブルコンジット付着化合物



No.7 外装板表面



No.9 排気ダクト上部

図4.29 Run-B5-2実験 化学形態分析用試料採取場所

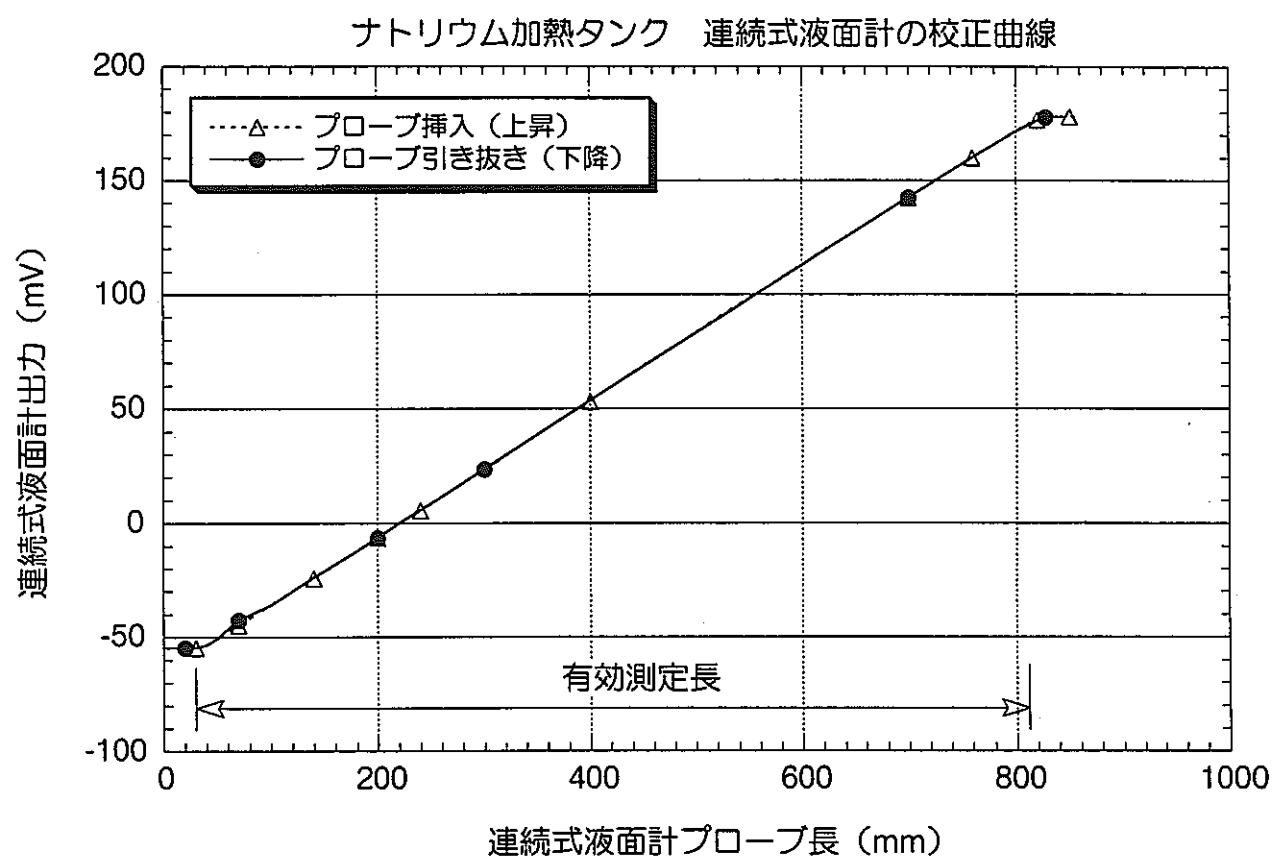


図5.1 ナトリウム加熱タンク連続式液面計の校正試験結果（常温）

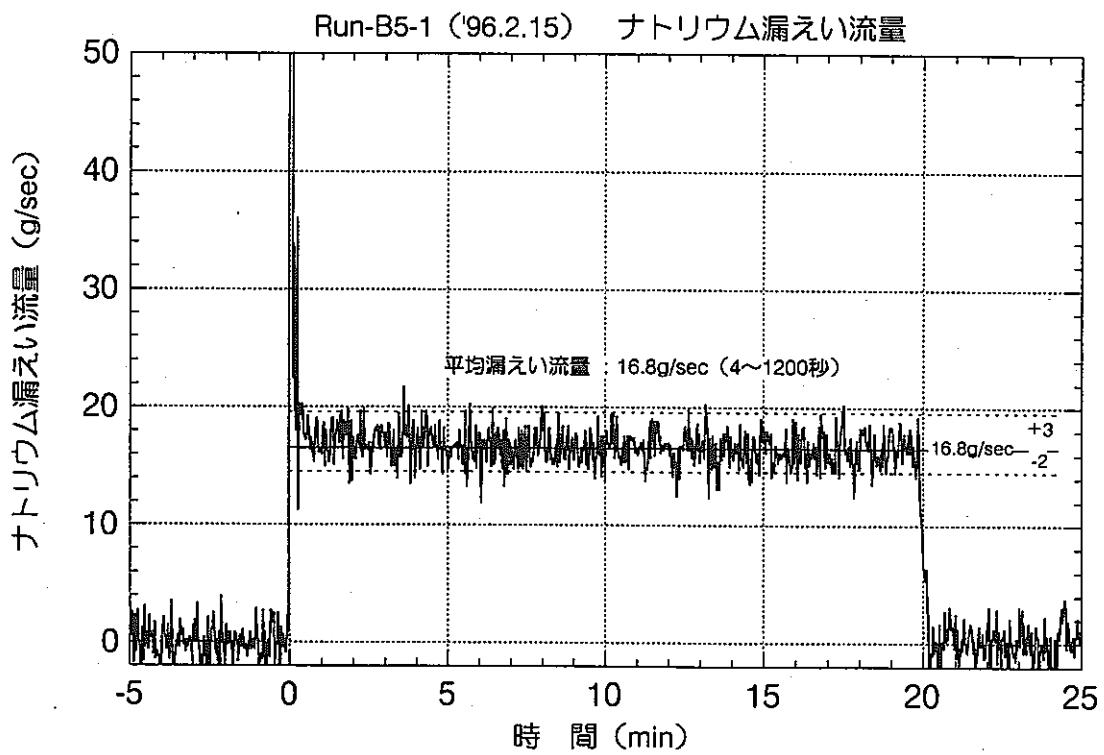
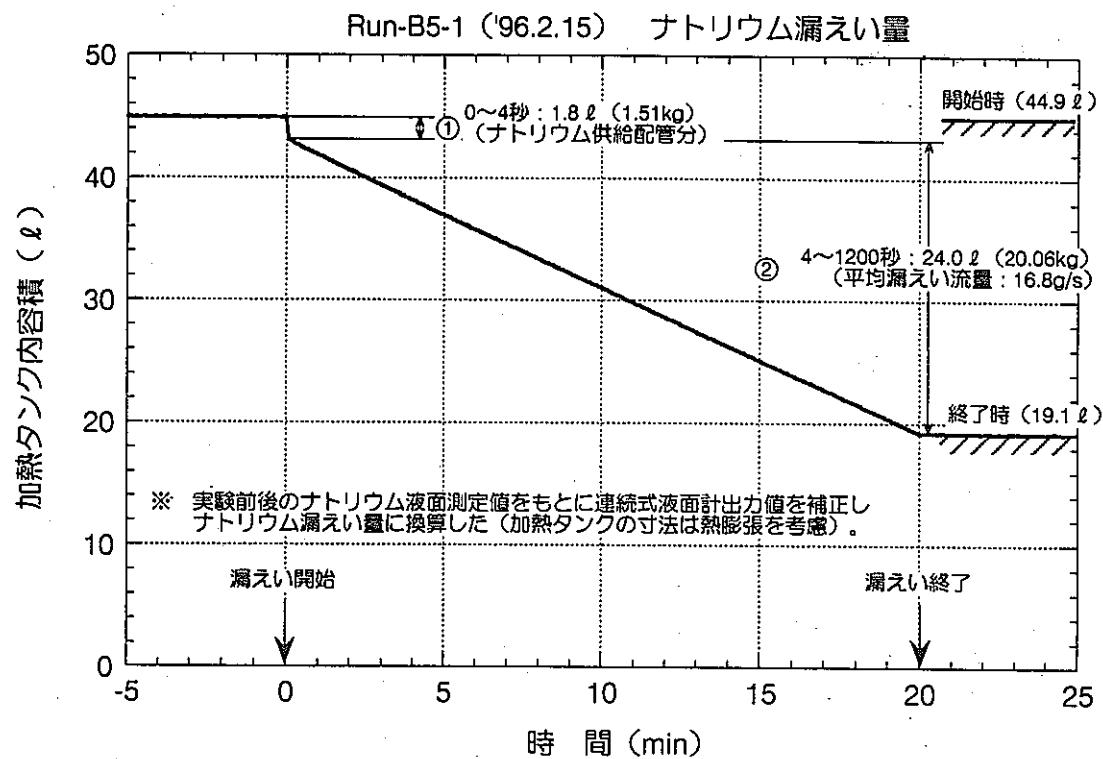


図5.2 Run-B5-1実験 ナトリウム加熱タンク連続式液面計出力値
から算出したナトリウム漏えい量と流量

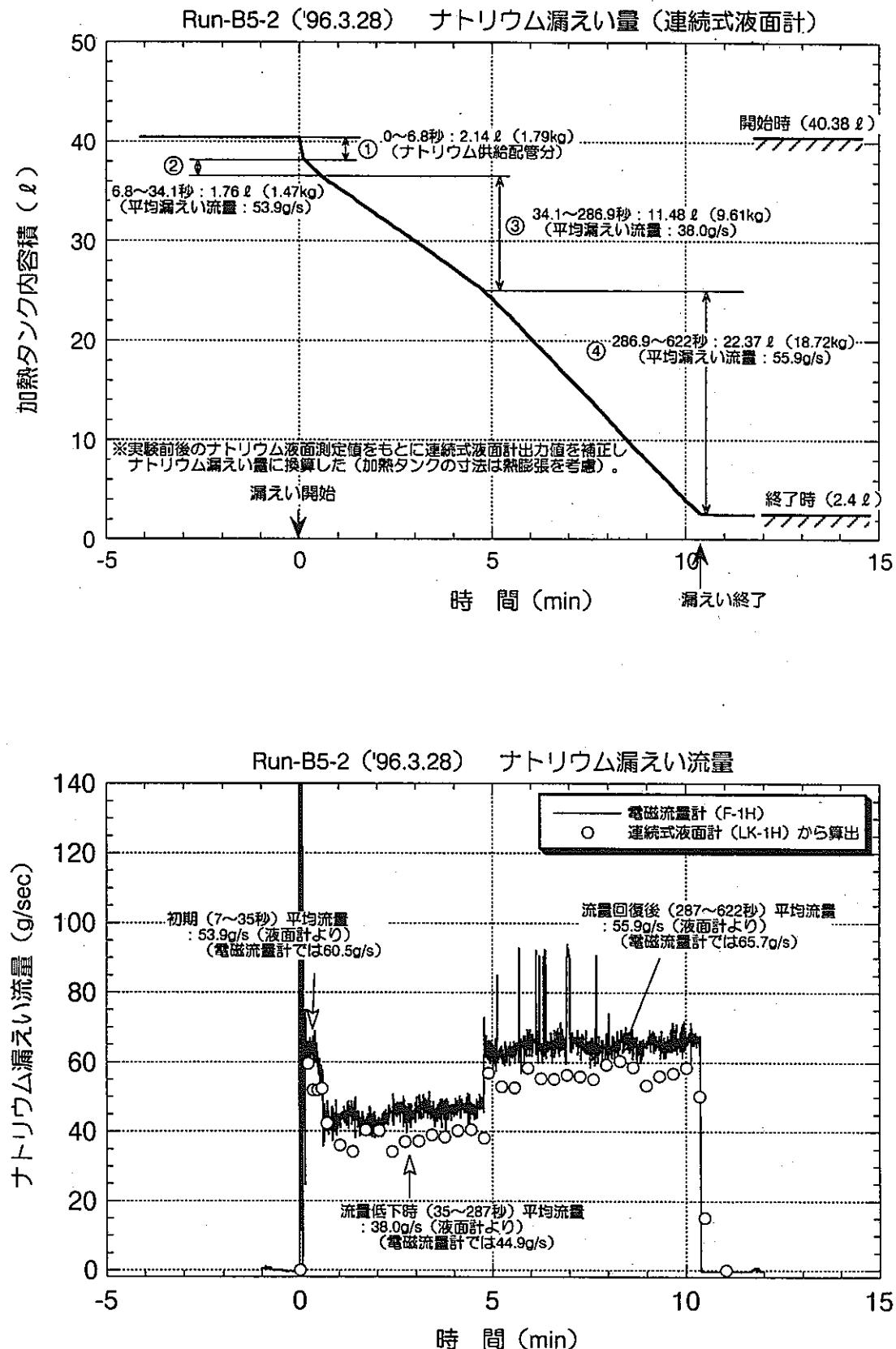


図5.3 Run-B5-2実験 ナトリウム加熱タンク連続式液面計とナトリウム電磁流量計から求めたナトリウム漏えい量と流量

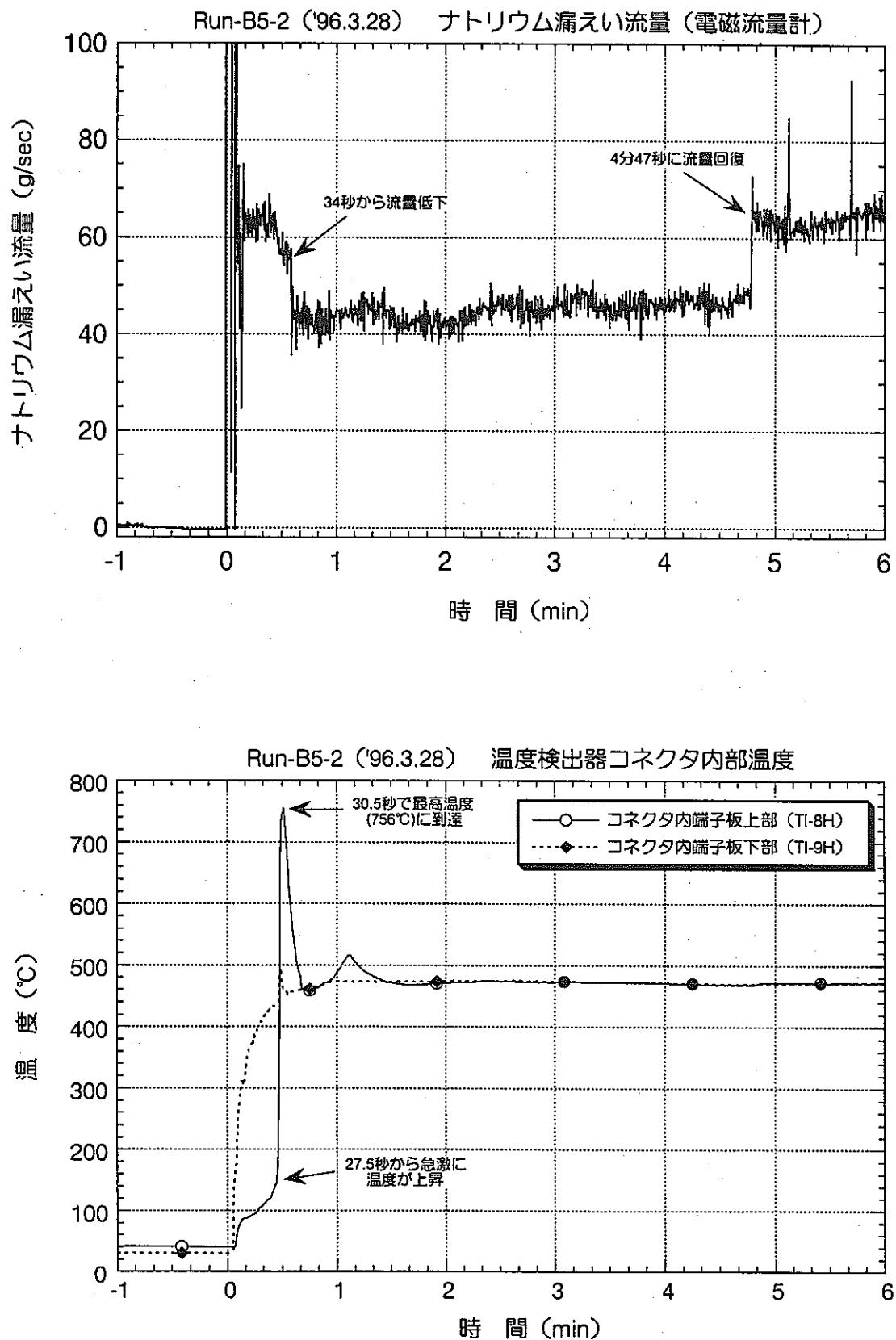


図5.4 Run-B5-2実験 ナトリウム漏えい流量変動と温度検出器
コネクタ内部温度挙動

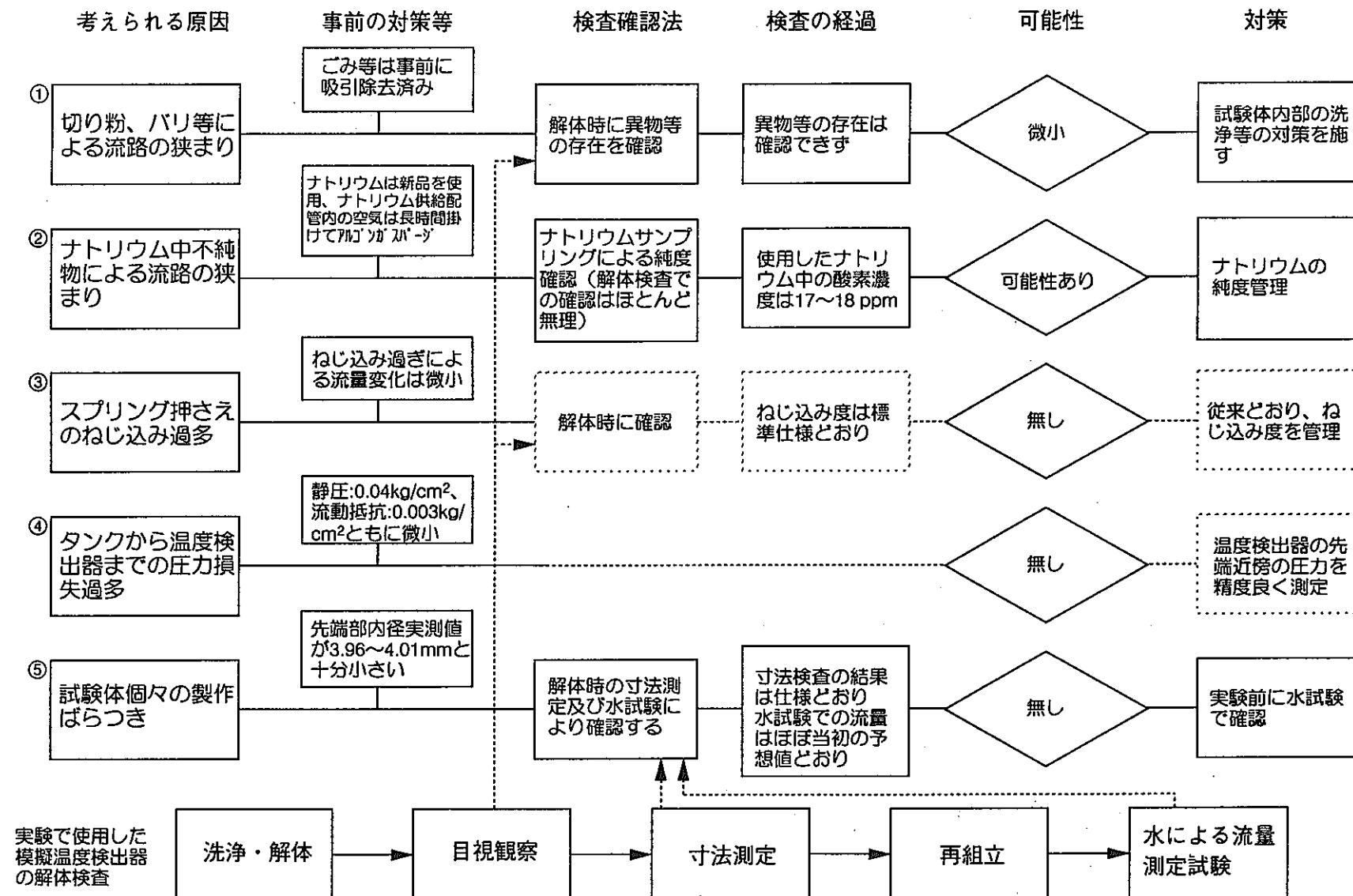


図5.5 Run-B5-1実験 低ナトリウム漏えい流量の考え方される原因と対策

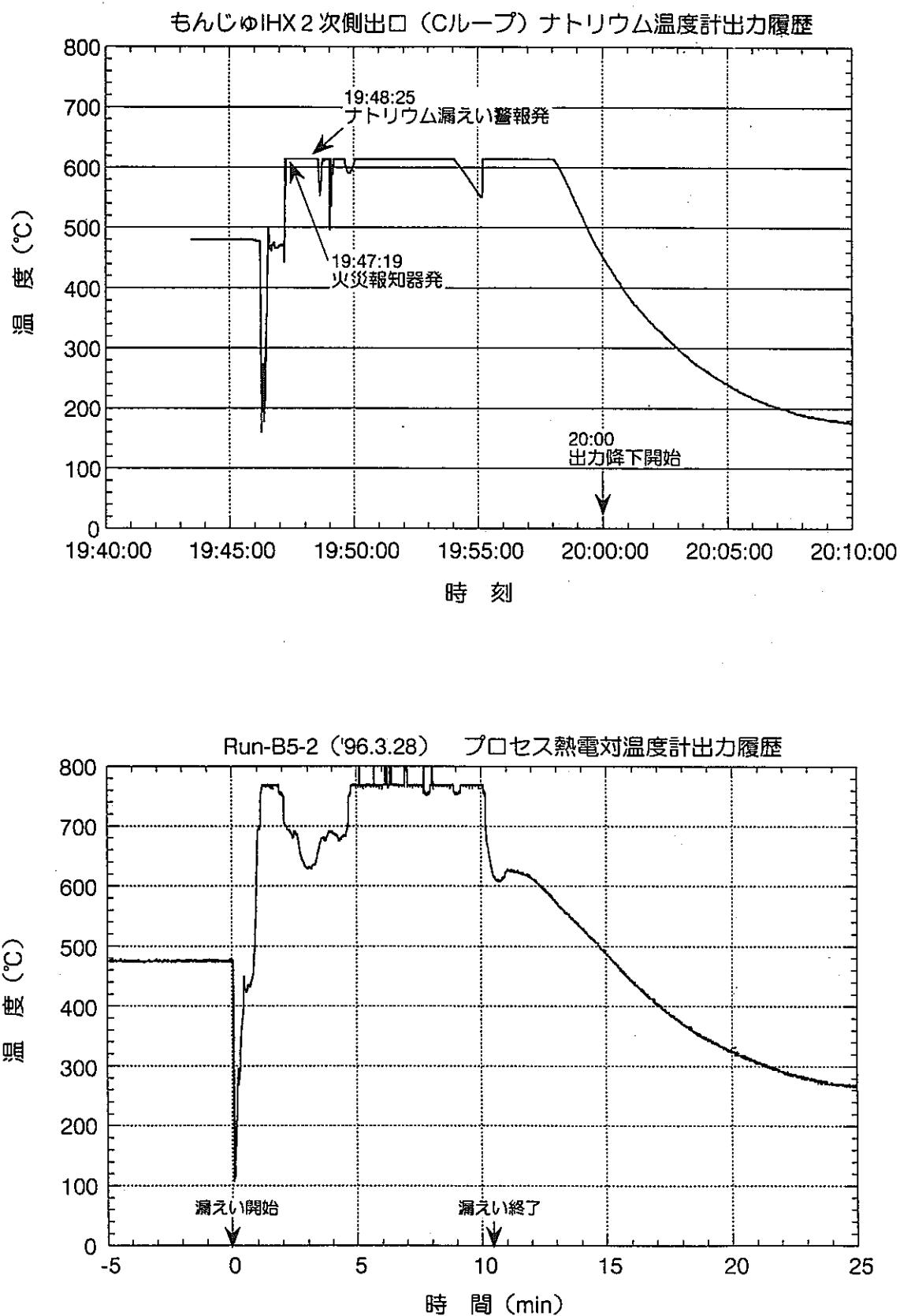


図5.6 もんじゅ当該温度検出器及びRun-B5-2実験プロセス温度検出器の温度履歴

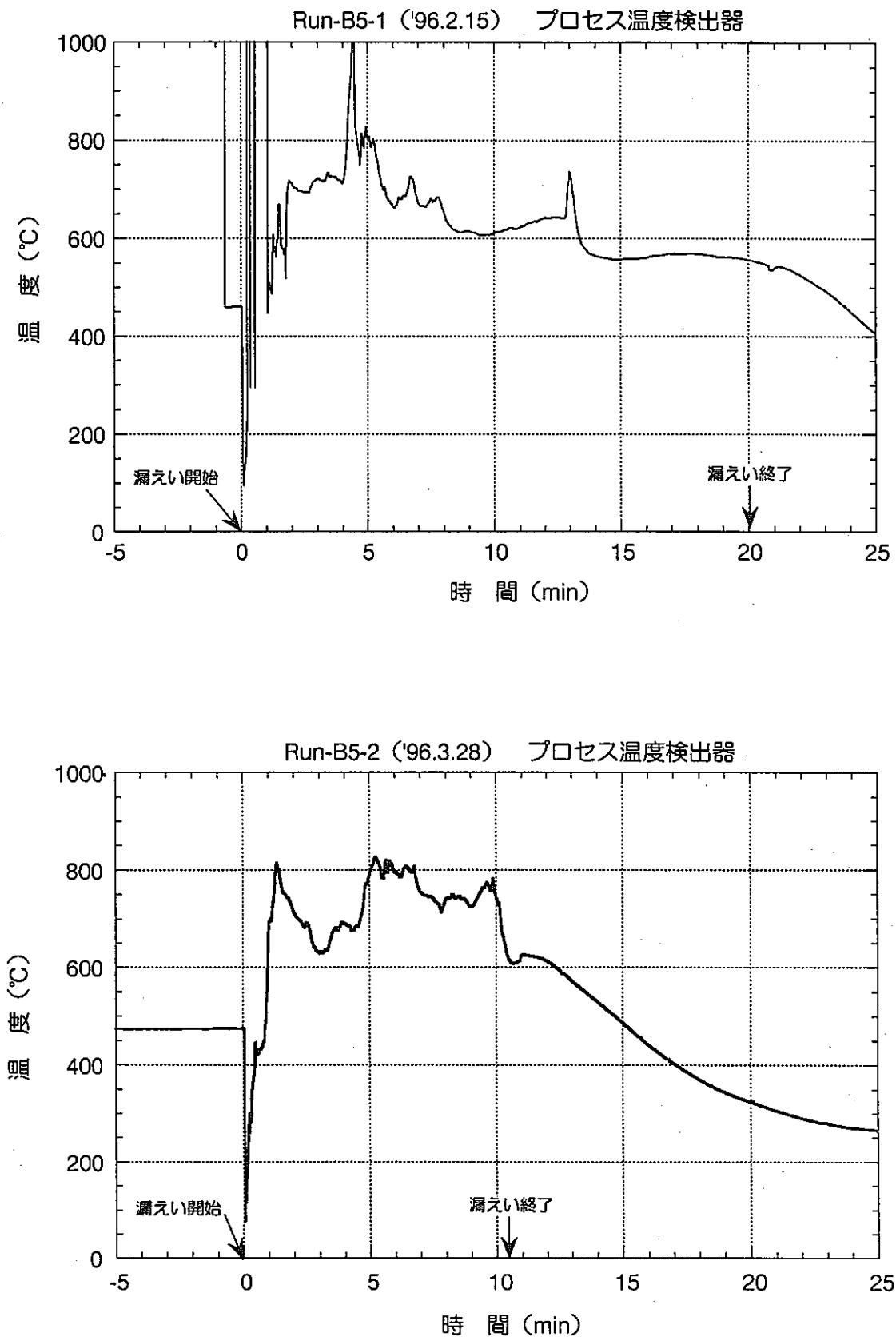


図5.7 ナトリウム漏えい実験のプロセス温度検出器温度履歴
(上段 : Run-B5-1、下段 : Run-B5-2)

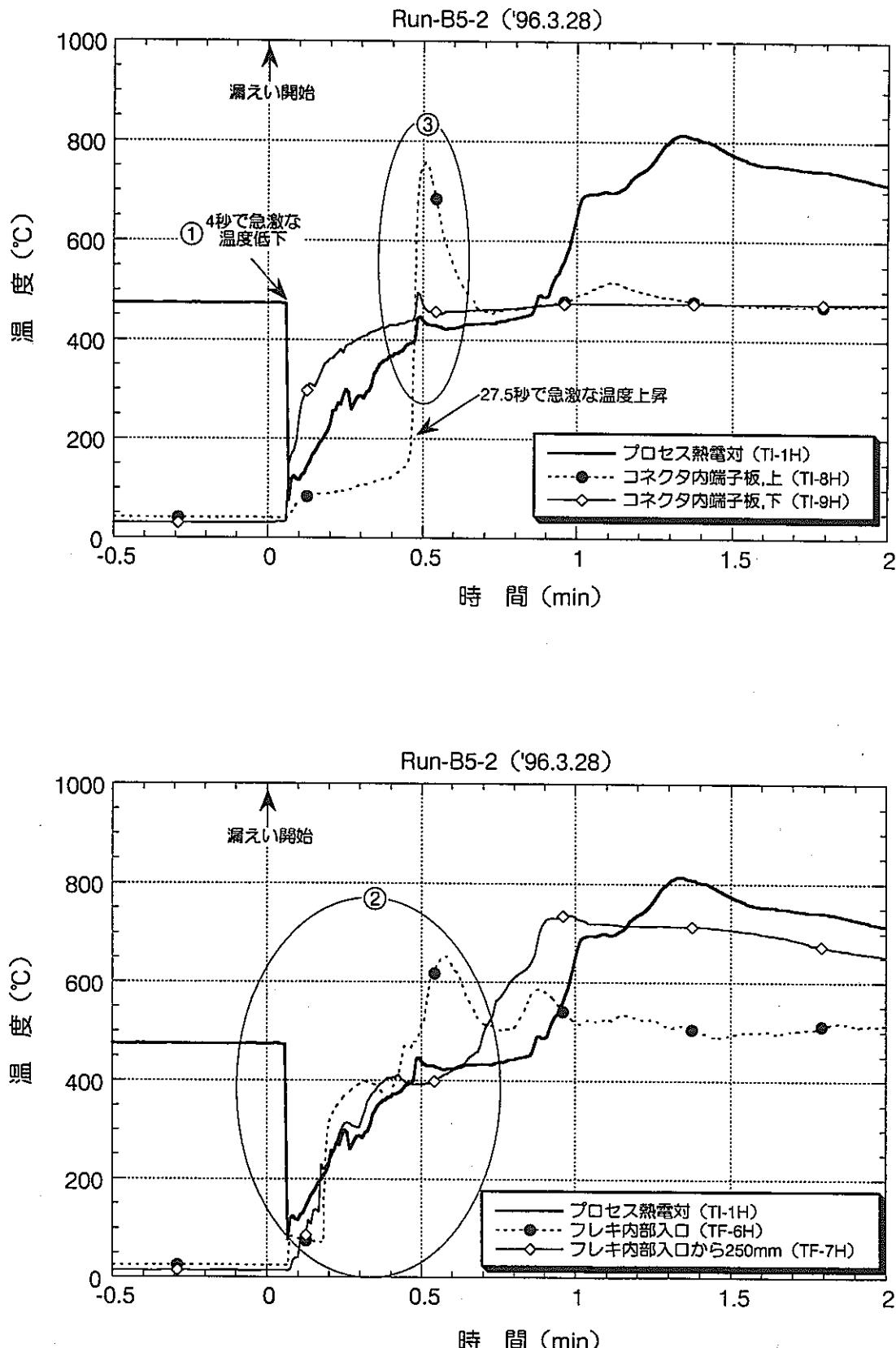


図5.8 Run-B5-2実験 プロセス温度検出器とコネクタ及びフレキシブルチューブ内部の温度履歴比較

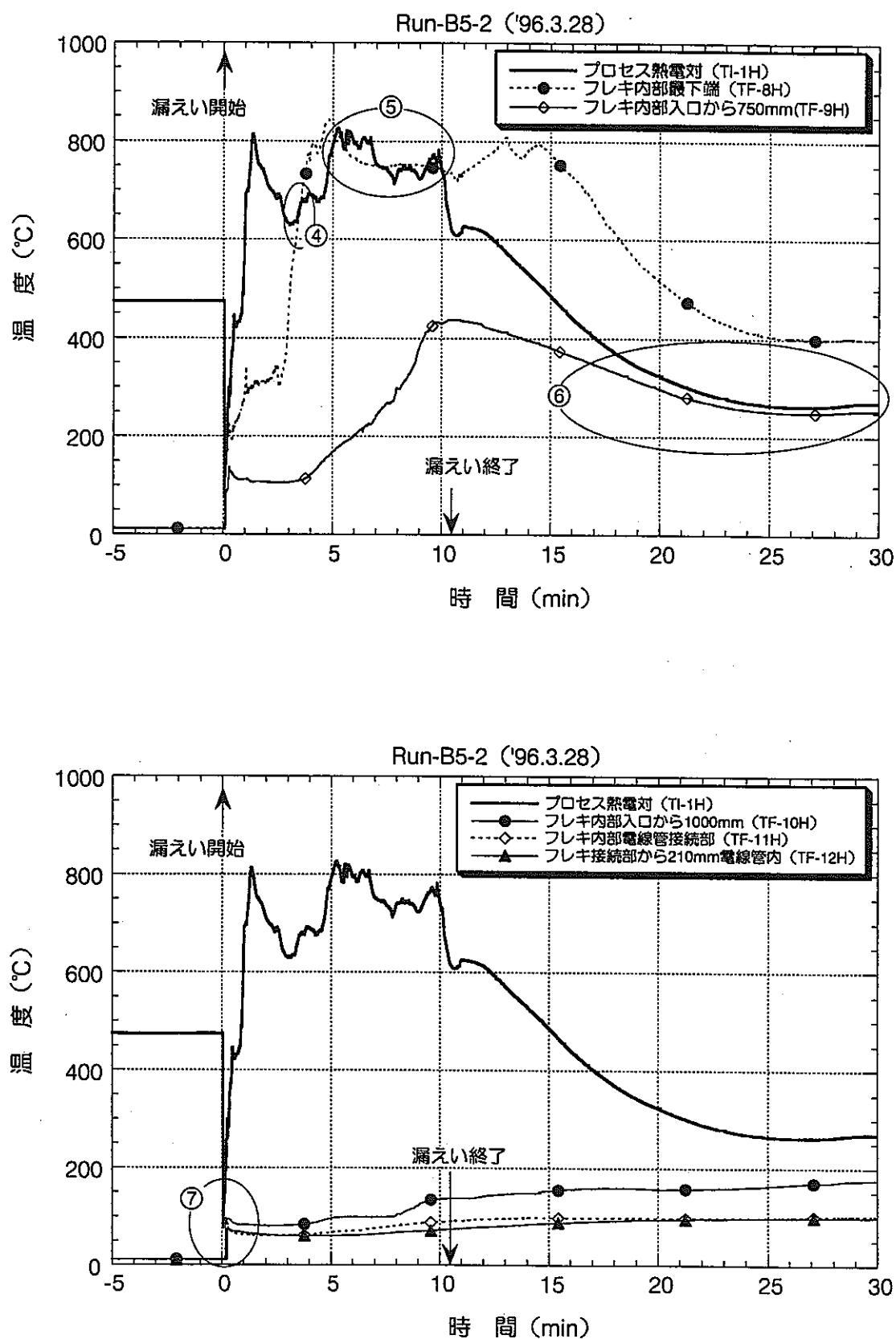


図5.9 Run-B5-2実験 プロセス温度検出器とフレキシブルチューブ内部の温度履歴比較

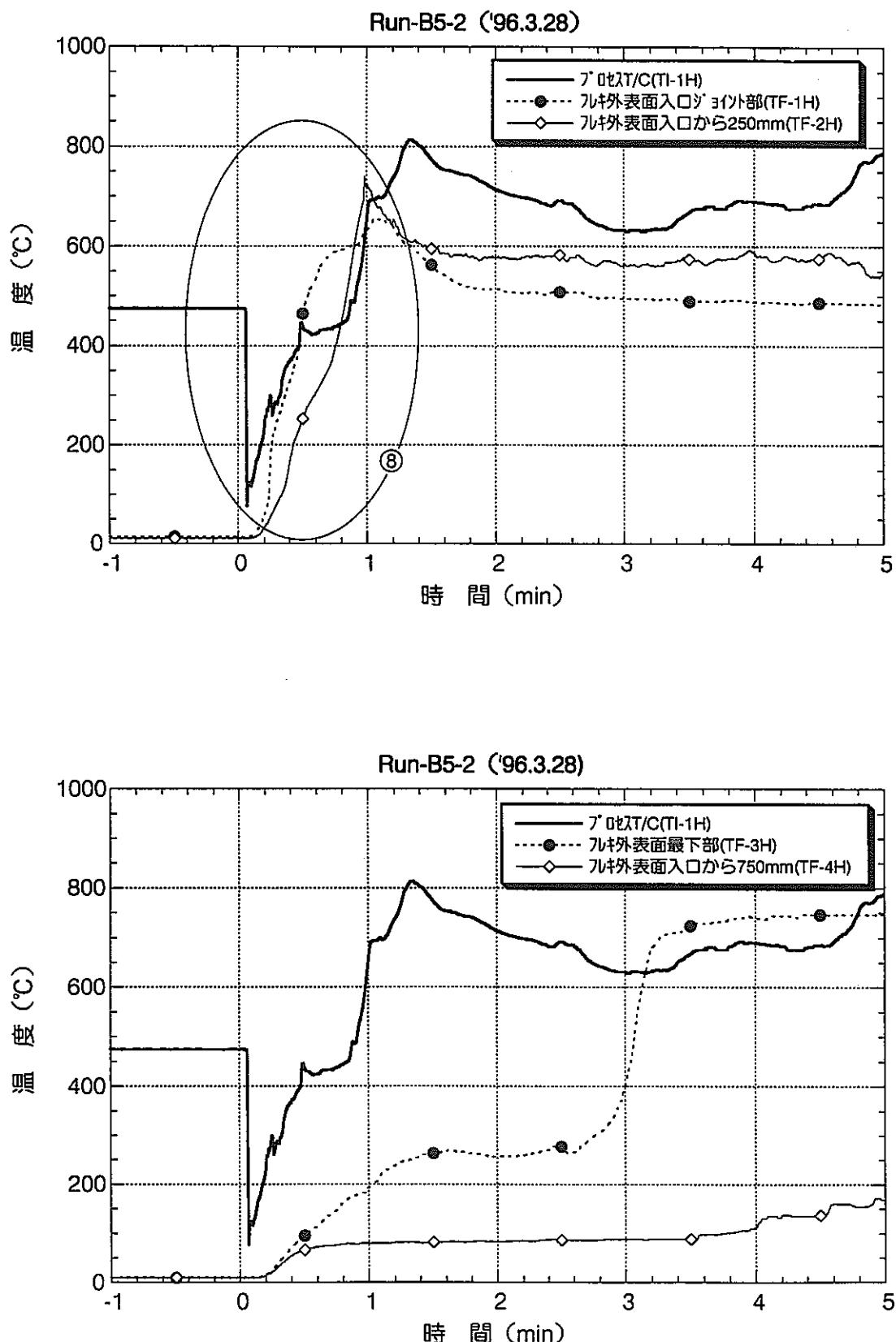


図5.10 Run-B5-2実験 プロセス温度検出器とフレキシブルチューブ外表面の温度履歴比較

添付資料－1

ナトリウム漏えい実験時の時間経過

SOFT-1 Run-B5-1実験付1-1～1-3
SOFT-1 Run-B5-2実験付1-4～1-5

SOFT-1 Run-B5-1試験 時間経過

(1996.2.15 9:00 ~ 21:00)

- 9:00 Na加熱タクシ予熱開始
 11:00 試験体及びNa供給配管予熱開始
 15:00 装置周辺確認

| | |
|----------------|---|
| F安第3 建家火災報知器 | OFF |
| 実験室シャッター | 閉 |
| Arガスボンベ 残圧チェック | Air作動用OK (50kg/cm ² G) ガバーナー用OK (100kg/cm ² G) |
| 試験セル内照明 | OK |
| 立入禁止区域設定 | 完了 |

- 15:10 プロセスT/C 断線
 15:20 試験体昇温
 (供給配管A,B=480°Cset、試験体A,B=480°Cset、加熱タンク=480°Cset)
 15:25 圧力計(P-2)校正(一時的にキャリアガスOFF)
 15:31 装置状態確認

| | |
|-------------------|--------------------------|
| 加熱タンクNa温度(TK-1H) | 484 °C |
| 加熱タンクNa液位(LK-1H) | 95.27mV |
| 加熱ガバーナー圧力(PK-1H) | 0.23kg/cm ² G |
| Na供給ライン温度(T-15H) | 426°C |
| 試験体壁温度(T-2H) | 479°C |
| コネクタ部温度(TI-6H) | 96.4°C |
| アロットC温度(TI-1H) | -----°C |
| コネクタ上部ガス温度(T-21H) | 20°C |

- 15:34 スクラバ起動
 15:43 スクラバ流量安定
 15:43 セル内気温、温度測定
 15:46 計測系収録開始(チャートスピードを高速モードに変更)
 15:47 ひふみストップ
 15:48 ひふみ試験時計測(高速モード)スタート
 15:49 Naタンク加圧開始
 15:50 タンク圧力静定
 15:50 バルブモード確認
 15:51 装置状態確認

| | |
|-------------------|--------------------------|
| 加熱タンクNa温度(TK-1H) | 486°C |
| 加熱タンクNa液位(LK-1H) | 95.53mV |
| 加熱ガバーナー圧力(PK-1H) | 1.72kg/cm ² G |
| Na供給ライン温度(T-15H) | 429°C |
| 試験体壁温度(T-2H) | 476°C |
| コネクタ部温度(TI-6H) | 44.5°C |
| アロットC温度(TI-1H) | -----°C |
| コネクタ上部ガス温度(T-21H) | 12.4°C |

- 15:52 準備完了(試験開始の指示を仰ぐ)
 15:56 Na加熱タクシ状態確認

| | |
|-----------------|--------------------------|
| タクシ内Na温度(TK-1H) | 487°C |
| タクシ内ガス圧力(PK-1H) | 1.73kg/cm ² G |
| タクシ液位(LK-1H) | 95.50mV |

- 16:00 16:05試験開始に決定
 16:00 実験開始及びペーシング使用禁止連絡
 16:02 キャリアガスOFF
 16:04:52 Na供給バルブ OPEN
 16:04:56 Na漏えい確認
 16:05 加圧圧力確認

| | |
|------------------|--------------------------|
| Na加熱タクシ圧力(PK-1H) | 1.67kg/cm ² G |
| Na供給配管圧力(P-2H) | 1.37kg/cm ² G |

16:06:22 装置温度監視 (1:30経過)

| | |
|------------------------|-------|
| ルキシブルチューブ外表面温度 (TF-1H) | 150°C |
| Na漏えい受け皿表面温度 (TD-7H) | 17°C |
| セル内ガス温度 (T-21H) | 34°C |

16:07:56 No.1サブ'リング'開始

16:08:24 プロセス T/C 復帰? (指示値は約 730 °C)

16:08:56 No.1サブ'リング'終了

16:08:56 装置温度監視 (4:00経過)

| | |
|------------------------|-------|
| ルキシブルチューブ外表面温度 (TF-1H) | 740°C |
| Na漏えい受け皿表面温度 (TD-7H) | 18°C |
| セル内ガス温度 (T-21H) | 47°C |

16:10:56 No.2サブ'リング'開始

16:11:56 No.2サブ'リング'終了

16:11:56 装置温度監視 (7:00経過)

| | |
|------------------------|-------|
| ルキシブルチューブ外表面温度 (TF-1H) | 743°C |
| Na漏えい受け皿表面温度 (TD-7H) | 18°C |
| セル内ガス温度 (T-21H) | 56°C |

16:13:56 No.3サブ'リング'開始

16:14:56 No.3サブ'リング'終了

16:14:56 装置温度監視 (10:00経過)

| | |
|-----------------|-------|
| 外装板表面温度 (TO-1H) | 589°C |
| 外装板表面温度 (TO-3H) | 205°C |

16:16 スクラバ流量低下気味 →ダンパ開度を上げる。

16:16 ルキシブルチューブ外表面熱電対 (TF-1H) 破損を確認 (データでは16:15:33)

16:16:56 No.4サブ'リング'開始

16:17:56 No.4サブ'リング'終了

16:23:26 外装板表面熱電対 (TO-1H) 破損を確認 (データでは16:20:55)

16:23:26 切内ガス温度 (T-21H) 78°C

16:24:52 Na供給バルブ CLOSE

16:25 試験後データ採取

| | |
|------------------|--------------------------|
| 加熱タンクNa温度(TK-1H) | 492°C |
| 加熱タンクNa液位(LK-1H) | 47.7mV |
| 加熱バルブ圧力(PK-1H) | 1.66kg/cm ² G |
| Na供給ライン温度(T-15H) | 472°C |
| 試験体壁温度(T-2H) | 476°C |
| コネクタ外部温度(TI-6H) | 462°C |
| プロセスT/C温度(TI-1H) | (539°C) |
| 漏えいNa受け皿(TD-7H) | 24°C |

16:27 Na加熱タックガスプロ-

| | |
|------------------|--------------------------|
| タック内ガス圧力 (PK-1H) | 0.20kg/cm ² G |
| タック液位 (LK-1H) | 47.73mV |

16:27 スクラバ流量低下気味 →ダンパ開度を上げる。

16:29 全系ヒータ OFF

16:34 装置状態監視データ採取 (表-1-1参照)

16:36 ページング使用禁止解除

16:46 マイク OFF

17:00 装置状態監視データ採取(2) (表-1-1、表1-2参照)

17:11 データ収録装置 (ひふみ) 一時停止 (試験時データ収録終了)

17:12 データ収録装置 (ひふみ) 収録再開 (試験後データ収録開始)

17:12 計測系収録開始 (チャートスピードを低速モードに変更)

17:24 データ収録装置 (ひふみ) 一時停止 (試験時データのフロッピーディスクへのため)

17:25 サブ'リング' タック圧力データ採取

| | |
|---------|---------|
| タックNo.1 | -22cmHg |
| タックNo.2 | -54cmHg |
| タックNo.3 | -55cmHg |
| タックNo.4 | -50cmHg |

17:25 装置状態監視データ採取(3) (表-1-1参照)

17:30 ビデオ停止

PNC TN9410 97-085

17:51 スクラバ停止 (試験開始1時間45分経過)

18:18 データ収録装置(ひふみ) 収録再開

18:30 Na加熱タツケ-外採取

18:30 立入禁止区域解除

18:40 気温、湿度測定

| | |
|------------------|--------------------------|
| タツケ内Na温度 (TK-1H) | 427°C |
| タツケ内ガス圧力 (PK-1H) | 0.10kg/cm ² G |

21:00 装置状態監視データ採取(4) (表-1-1参照)

| | 気温 | 湿度 |
|------|-------|------|
| 実験室内 | 10 °C | 58 % |
| セル内 | 11 °C | 50 % |

注) サーモビジョンの時計は実験マスター時刻より19sec進んでいる。

以上

SOFT-1 Run-B5-2試験 時間経過

(1996.3.28 14:30 ~ 21:00)

- 14:30 事前打ち合わせ（試験体温度が低いためスクラバは運転していない）
 15:04 スクラバ起動
 15:09 スクラバ流量安定 ダンバ開度39%、流量 46m³/min
 15:15 装置状態確認

| | |
|---|------------------------|
| Na加熱タンク (TK-1H) | 479°C |
| Na供給系配管 (T-14) II (T-20) | 465°C 482°C |
| Na純化系切断部 (根本) (中間) (先端) | 234°C 84°C 33°C |
| キャリアガス系配管 (T-17) (NV-3) (根本) (先端) | 476°C 223°C 31°C |
| 試験体壁温度 (T-2H) | 479°C |
| 試験体ニップル部付根温度 (TI-7H) | 131°C |
| プロセスT/C温度 (TI-1H) | 482°C |
| 燃焼部近傍ガス温度 (T-29) | 12°C |
| Na加熱タンク液面 (LK-1H) | 92mV |
| Na加熱タンクカバーガス圧力 (PK-1H) | 0.04Kg/cm ² |

- 15:18 セル内気温、湿度測定 12.9°C、54%
 15:26 スクラバ 水循環ポンプ起動
 15:31 キャリアガス流出操作 開始
 15:44 スクラバ HEPAフィルタ側 水ドレン
 15:52 計測機器収録開始
 15:54 キャリアガス流出操作 終了
 15:54 実験室内 8 mmビデオ 収録開始
 16:04 バルブモードチェック

- 16:04 試験開始のページング
 16:05 Na加熱タツク加圧

| | 液面系出力 (mV) | Na加熱タンク 圧力 (kg/cm ² G) |
|-----|---------------|--------------------------------------|
| 加圧前 | 92.15 | 0.05 |
| 加圧後 | 91.89 | 1.71 |

- 16:08 装置状態確認

| | |
|-----------------------------|--------------------------|
| Na加熱タンク (TK-1H) | 479°C |
| Na供給系配管 (T-14) II (T-20) | 466°C 483°C |
| キャリアガス系配管 (T-17) | 478°C |
| 試験体壁温度 (T-2H) | 478°C |
| 試験体ニップル部付根温度 (TI-7H) | 122°C |
| プロセスT/C温度 (TI-1H) | 472°C |
| 燃焼部近傍ガス温度 (T-29) | 12°C |
| Na加熱タンク液面 (LK-1H) | 91.89mV |
| Na加熱タンクカバーガス圧力 (PK-1H) | 1.71Kg/cm ² G |

16:10:11 NV-2 OPEN

16:10:19 Na漏洩確認
 16:13:19 ガスサンプリング第1回目 開始
 16:14:19 ガスサンプリング第1回目 終了
 16:15:01 スクラバ流量 41.8Nm³/minで安定
 16:16:19 ガスサンプリング第2回目 開始
 16:16:26 スクラバ循環水タンク液位 702mm
 16:16:34 スクラバ流量安定
 16:17:19 ガスサンプリング第2回目 終了
 16:18:10 スクラバ流量安定
 16:19:19 ガスサンプリング第3回目 開始
 16:20:19 ガスサンプリング第3回目 終了

16:20:33 NV-2 CLOSE
 Na漏洩試験 終了 (停止条件) 液面系出力 0 mV

16:22:19 ガスサンプリング第4回目 開始
 16:22:20 試験体内残留Naガスプローチ
 16:23:19 ガスサンプリング第4回目 終了
 16:24:28 ガス供給Air弁 (CV-2) CLOSE
 16:24:40 試験後データ採取

| | |
|--------------------------|--------------------------|
| Na加熱タンク (TK-1H) | 486°C |
| Na供給系配管 (T-14) (T-20) | 468°C 485°C |
| キャリアガス系配管 (T-17) | 472°C |
| 試験体壁温度 (T-2H) | 478°C |
| 試験体ニップル部付根温度 (TI-7H) | 464°C |
| プロセスT/C温度 (TI-1H) | 476°C |
| 燃焼部近傍ガス温度 (T-29) | 719°C |
| Na加熱タンク液面 (LK-1H) | 0 mV |
| Na加熱タンクカバーガス圧力 (PK-1H) | 1.69Kg/cm ² g |

16:27:00 試験後データ採取 終了
 16:27:30 ガスプローチAir弁 (CV-3) OPEN
 16:27:45 ガスプローチAir弁 (CV-3) CLOSE
 16:28 スクラバ差圧300をこえる
 16:34 セルに蓋をする
 16:41:20 全系ヒーター OFF
 16:41:25 スクラバ 排気プロワ停止
 16:42 ペンレコチャートスピード変更
 16:50:38 排気プロワ起動
 16:53 スクラバ復帰
 18:15 立入禁止区域解除

以上

添付資料－2

ナトリウム漏えい実験時のビデオ映像分析

SOFT-1 Run-B5-1実験 付2-1～2-2

SOFT-1 Run-B5-2実験 付2-3

SOFT-1 Run-B5-1試験 ビデオ画像分析

1. 映像の種類

- 1) ビデオカメラ映像 1 (試験体正面)
- 2) ビデオカメラ映像 2 (試験体側面)
- 3) 赤外線カメラ映像 (試験体正面)

2. 映像観察結果

(1/2)

| Time 種類 | ビデオカメラ映像 1 (試験体正面) | ビデオカメラ映像 2 (試験体側面) | 赤外線カメラ映像 (試験体正面) | 備 考 |
|------------|---|-------------------------|--------------------------------------|------------|
| 0:00 | | | | NaIアリ OPEN |
| 0:03 | Naの漏えい確認 | Naの漏えい確認 | | |
| 0:10 | Naの漏えいが間欠的 | 小流量のため漏えい部真下に落下 | | |
| 0:15 | 間欠漏えいからやや連続的になる | | | |
| 0:23 | ルキ樹脂の燃焼らしきレッド色の発光あり | | | |
| 0:30 | ルキ外表面を流れるNa量增加 | ルキ樹脂の間欠燃焼により漏えいNaを飛散させる | | |
| 0:35 | | | 漏えい部及び落下するNaを映像で確認 | |
| 0:40 | ルキ樹脂の燃焼が断続的に継続し始める | | | |
| 0:50 | | | ルキ樹脂の燃焼(炎)が鮮明になる(中心付近は800°C程度) | |
| 1:00 | Naの漏えいが連続的になる ルキ樹脂の燃焼が連続的に継続し始める | | | |
| 1:30 | ルキ樹脂の燃焼が入口(コネクタ側)より約100mm程度まで進行 コネクタ出口付近にNa化合物の固まりができ始めている | | | |
| 2:00 | ルキ樹脂の燃焼が入口(コネクタ側)より約400mm程度まで進行 | | ルキ最下部まで火炎が到達 コネクタ表面温度が200°C付近まで到達 | |
| 2:30 | (NaIアリの影響により、ビデオカメラの映像が見えなくなつた) | | 漏えいNaは棒状で、約300°Cとなる | |

(2/2)

| 種類 Time | ビデオカメラ映像 1 (試験体正面) | ビデオカメラ映像 2 (試験体側面) | 赤外線カメラ映像 (試験体正面) | 備 考 |
|------------|-----------------------|-----------------------|---|--------------|
| 3:00 | | | フレキ最下端より電線管側に向かって火炎が進行 その温度は約500°C前後 外装板の表面が複写熱の影響で加熱され映像で確認 | |
| 5:00 | | | フレキ最下端より電線管側に向かって火炎温度が200~300°C前後に低下 コネクタ下部付近が最も高い温度(約400°C)を表示 漏えいNaはフレキ外表面を伝つて最下端部より連続的に落下(200~300°C前後) | |
| 6:00 | | | フレキ入口付近の炎が広がりつつある | |
| 7:00 | | | フレキ最下端部の温度が上昇し始める(400~500°C) | |
| 10:00 | | | フレキ入口と最下端部中間の温度が300°C以下に低下 | |
| 15:00 | | | フレキ最下端部から滴り落ちるようNaが落下 | |
| 16:00 | | | フレキ最下端部が貫通しそこからNaが落下するような流れに変化 | |
| 20:00 | | | Naの漏えいは継続 | Naバーレフ CLOSE |
| 20:20 | | | フレキ入口付近の温度が上昇し始める | |
| 21:00 | | | 残Naの漏えいがほぼ終了 | |

SOFT-1 Run-B5-2試験 ビデオ画像分析

1. 映像の種類

- 1) 試験体正面（ビデオカメラ、赤外線カメラ）
- 2) 試験体側面（ビデオカメラ、赤外線カメラ）

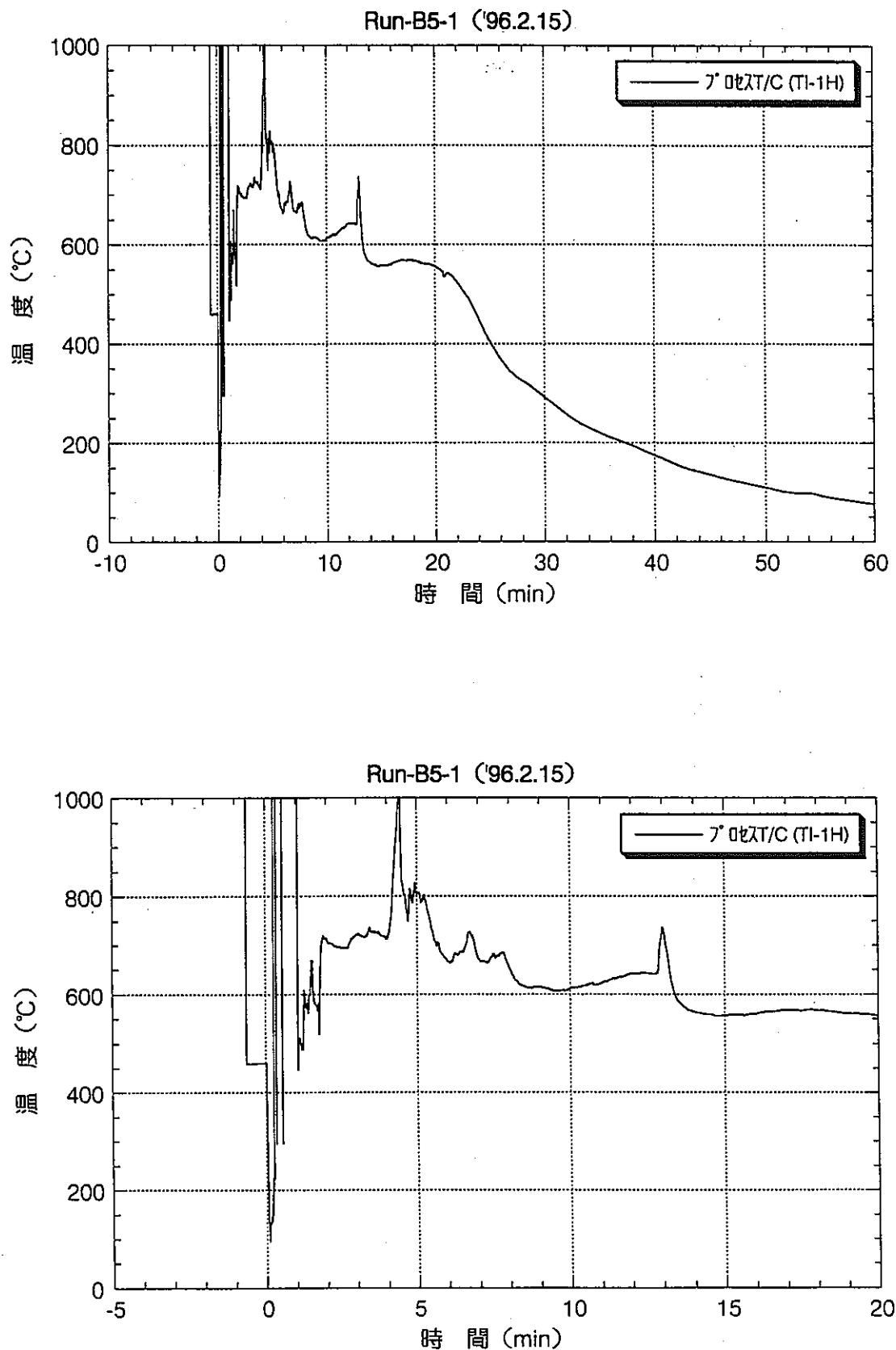
2. 映像観察結果

| カメラ位置、種類 時間 | 試験体正面 | | 試験体側面 | |
|-----------------------|----------------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------------------|
| | ビデオカメラ | 赤外線カメラ | ビデオカメラ | 赤外線カメラ |
| 0:00 (NV-2 OPEN) | | | | |
| 0:08 | Na漏えい確認 | | Na漏えい確認 | |
| 0:10 | | Na漏えい確認 | | Na漏えい確認 |
| 0:15 | フレキに着火 | | | |
| 0:17 | フレキの隙間からNaが吹き出す(0:16~0:19) | 高温部がフレキに一気に広がる | | |
| 0:20 | | | Naエアロゾルにより漏えい部観察不可能 | |
| 0:25 | フレキがエルボから外れる | フレキ温度が上昇する | 爆発音が聞こえる | |
| 0:30 | | | ときおり受け皿よりNaがはねる | フレキ最下部まで燃焼する |
| 0:45 | 断続的Na漏えい | | 受け皿部エアロゾルにより観察不可能 | |
| 1:00 | フレキ下部からの連続的漏えいに変化 | | | |
| 1:10 | | フレキの炎が小さくなりフレキ表面が最高温度となる | | |
| 1:20 | | フレキ温度が下がり始める。外装板きりかき部、フレキ最下部が最高温度 | | |
| 1:28 | | | | フレキからたちのぼる炎がなくなる |
| 1:30 | エアロゾルにより漏えい部観察不可能 | | | |
| 2:00 | エアロゾルによりフレキ燃焼観察不可能 | | | |
| 2:20 | | | | 画像が不鮮明となり始める。(Naエアロゾルによると思われる) |
| 2:45 | | 漏えい部のNa温度は、ほぼ供給タンク温度となる。定常状態となる。 | | |
| 9:00 | | | | 観察不可能となる |
| 10:22 (NV-2 CLOSE) | | | | |

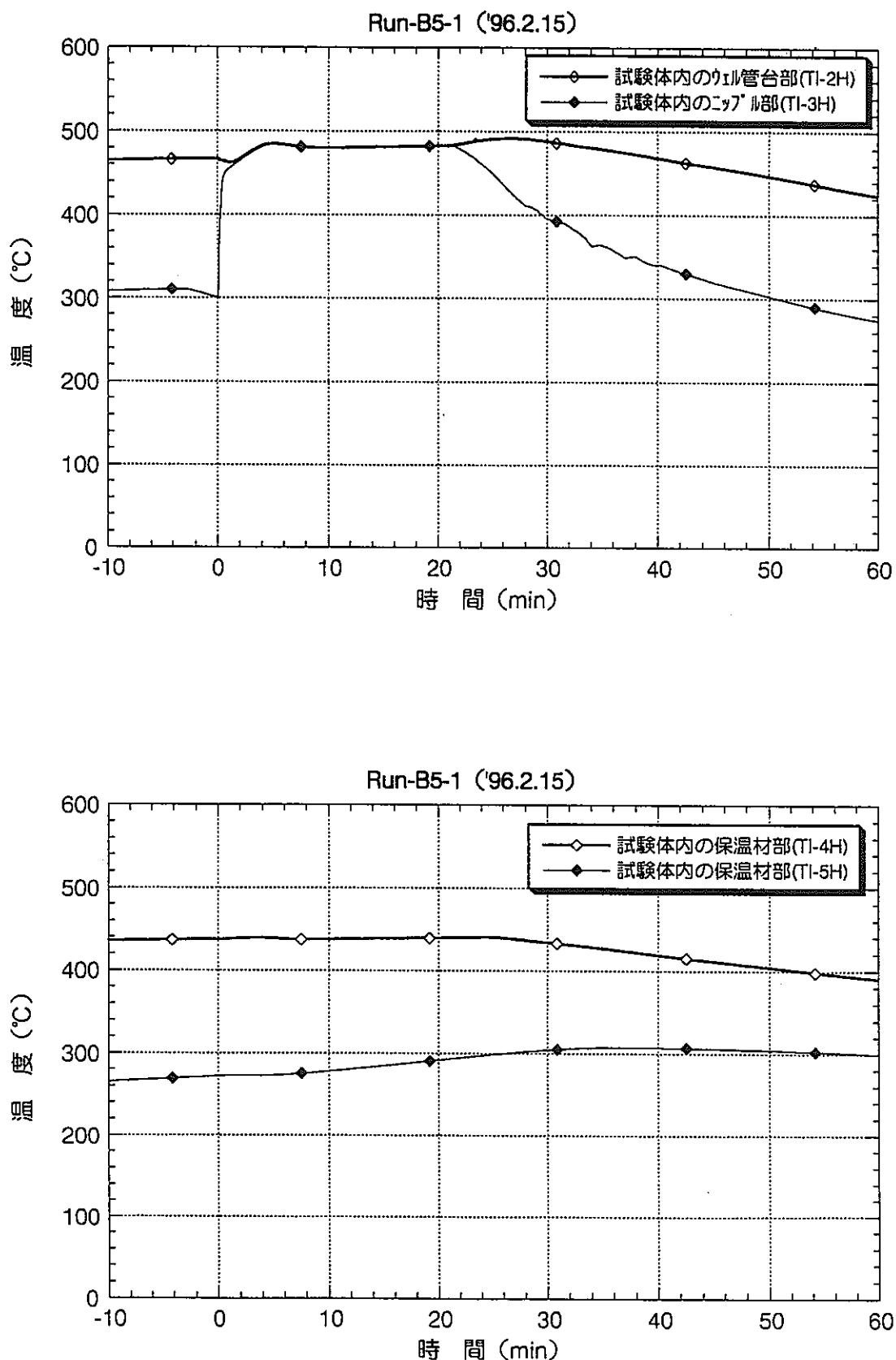
添付資料－3

Run-B5-1実験データ集

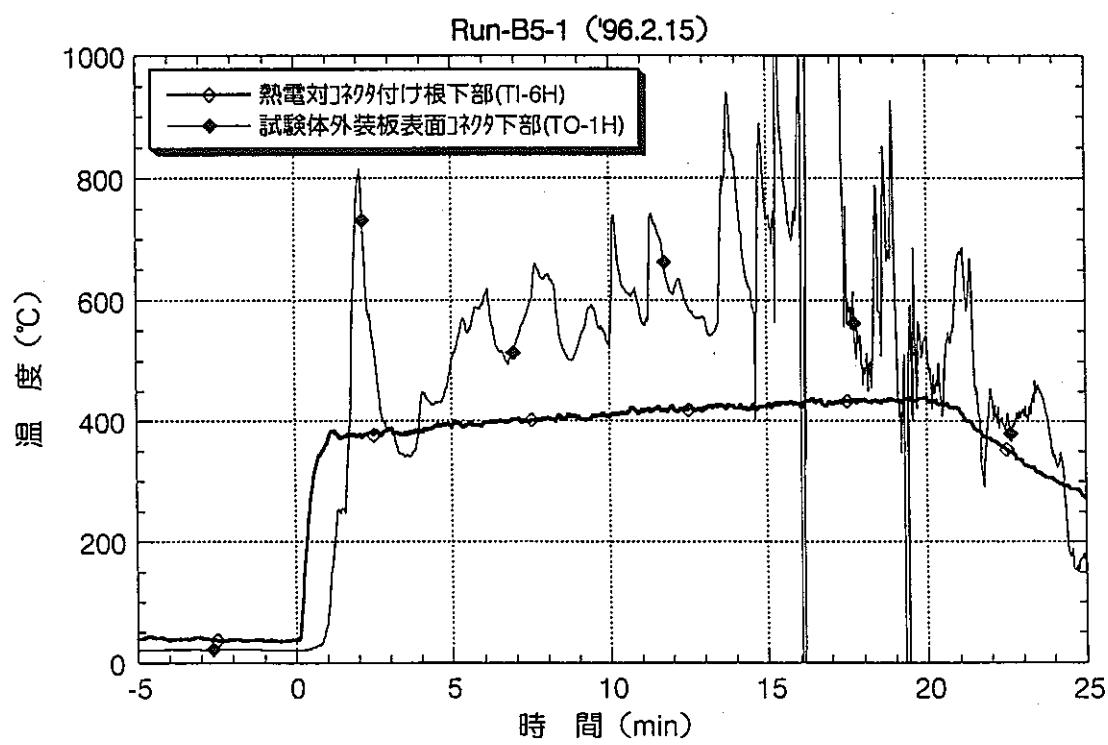
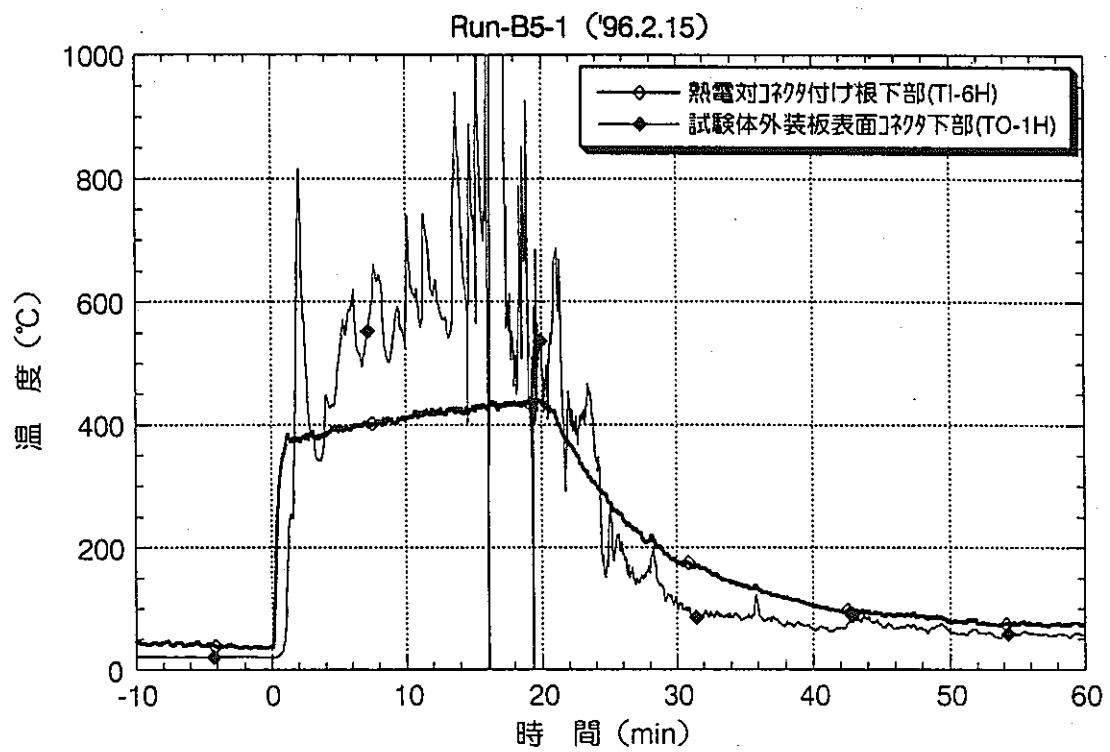
| | |
|--|-------|
| 付図3-1.1 模擬温度計 (TI-1H) | 付3-1 |
| 付図3-2.1 試験体部 (TI-2H, TI-3H, TI-4H, TI-5H) | 付3-2 |
| 付図3-2.2 試験体部-② (TI-6H, TO-1H) | 付3-3 |
| 付図3-2.3 試験体部-③ (TO-2H, TO-3H) | 付3-4 |
| 付図3-3.1 フレキシブルチューブ部 (TF-1H, TF-2H) | 付3-5 |
| 付図3-3.2 フレキシブルチューブ部-② (TF-3H, TF-4H, TF-5H, TF-6H) | 付3-6 |
| 付図3-4.1 漏えい受け皿 (TD-1, TD-3, TD-4, TD-5) | 付3-7 |
| 付図3-4.2 漏えい受け皿-② (TD-2H, TD-6H, TD-7H, TD-8H) | 付3-8 |
| 付図3-4.3 漏えい受け皿-③ (TD-9, TD-10, TD-11, TD-12, TD-13, TD-14) | 付3-9 |
| 付図3-4.4 漏えい受け皿-④ (TD-16H, TD-15, TD-17, TD-18) | 付3-10 |
| 付図3-5.1 ナトリウム供給系 (T-1H, T-2H, T-3H, T-4H, T-5H) | 付3-11 |
| 付図3-5.2 ナトリウム供給系-② (T-11, T-12, T-13, T-14) | 付3-12 |
| 付図3-5.3 ナトリウム供給系-③ (TK-1H, LK-1H, PK-1H, P-2H) | 付3-13 |
| 付図3-6.1 試験セル内部 (T-21H, T-22, T-23, T-24, T-25) | 付3-14 |
| 付図3-6.2 試験セル内部-② (T-26, T-27, T-28) | 付3-15 |
| 付図3-7.1 スクラバ流量、他 (FE-01, S.S) | 付3-16 |



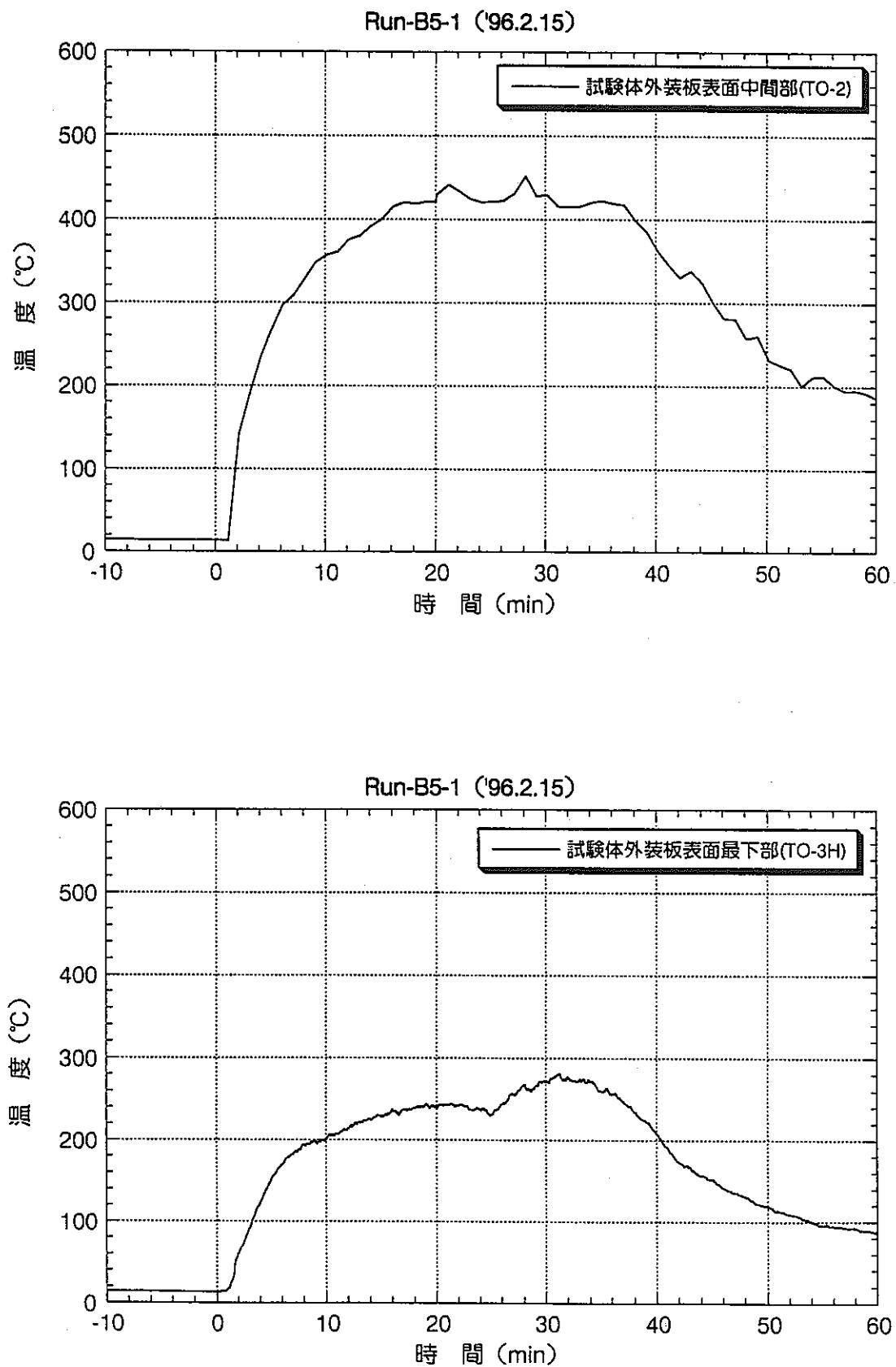
付図3-1.1 SOFT-1 Run-B5-1実験データ（模擬温度計）



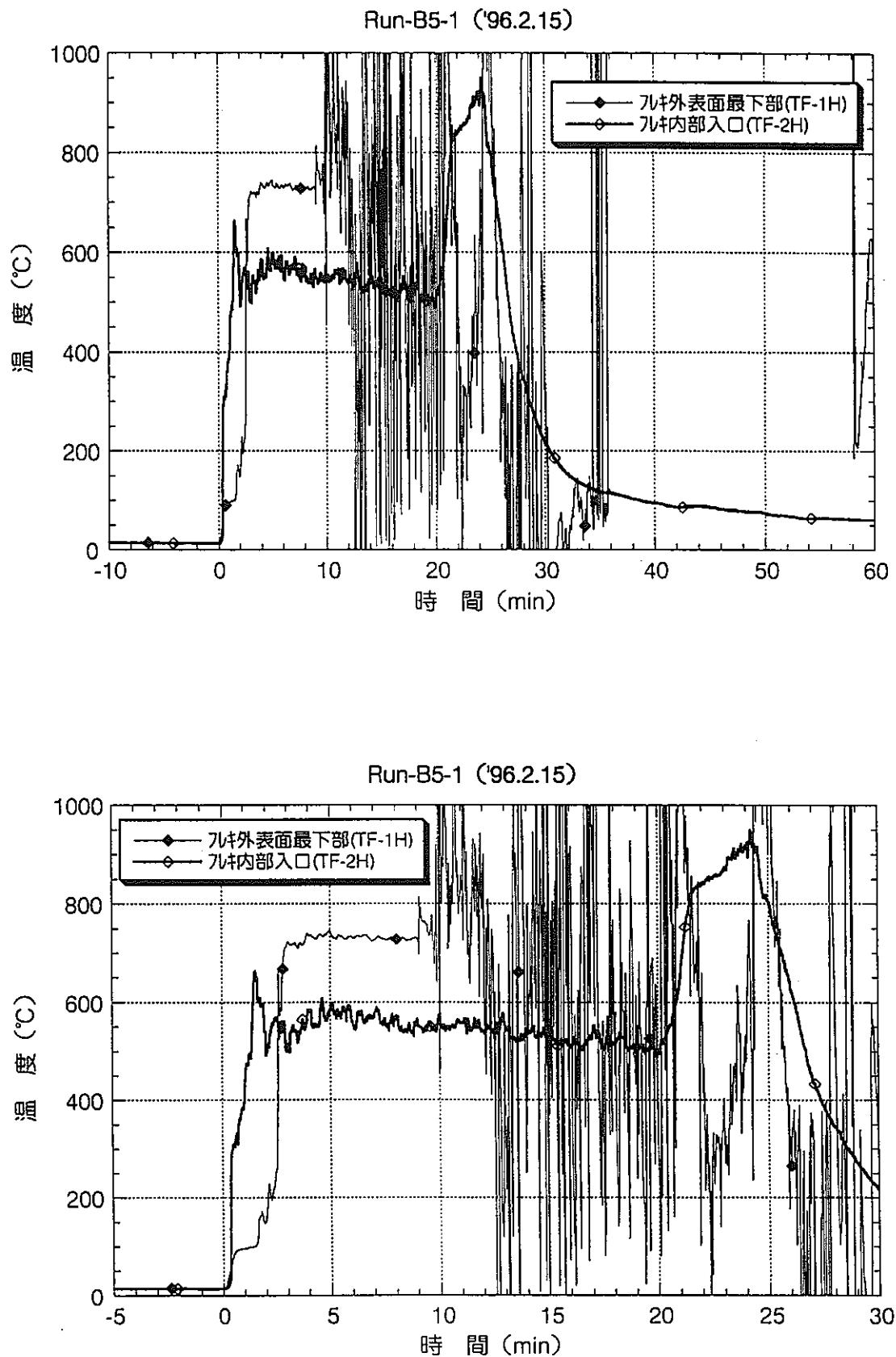
付図3-2.1 SOFT-1 Run-B5-1実験データ（試験体部）



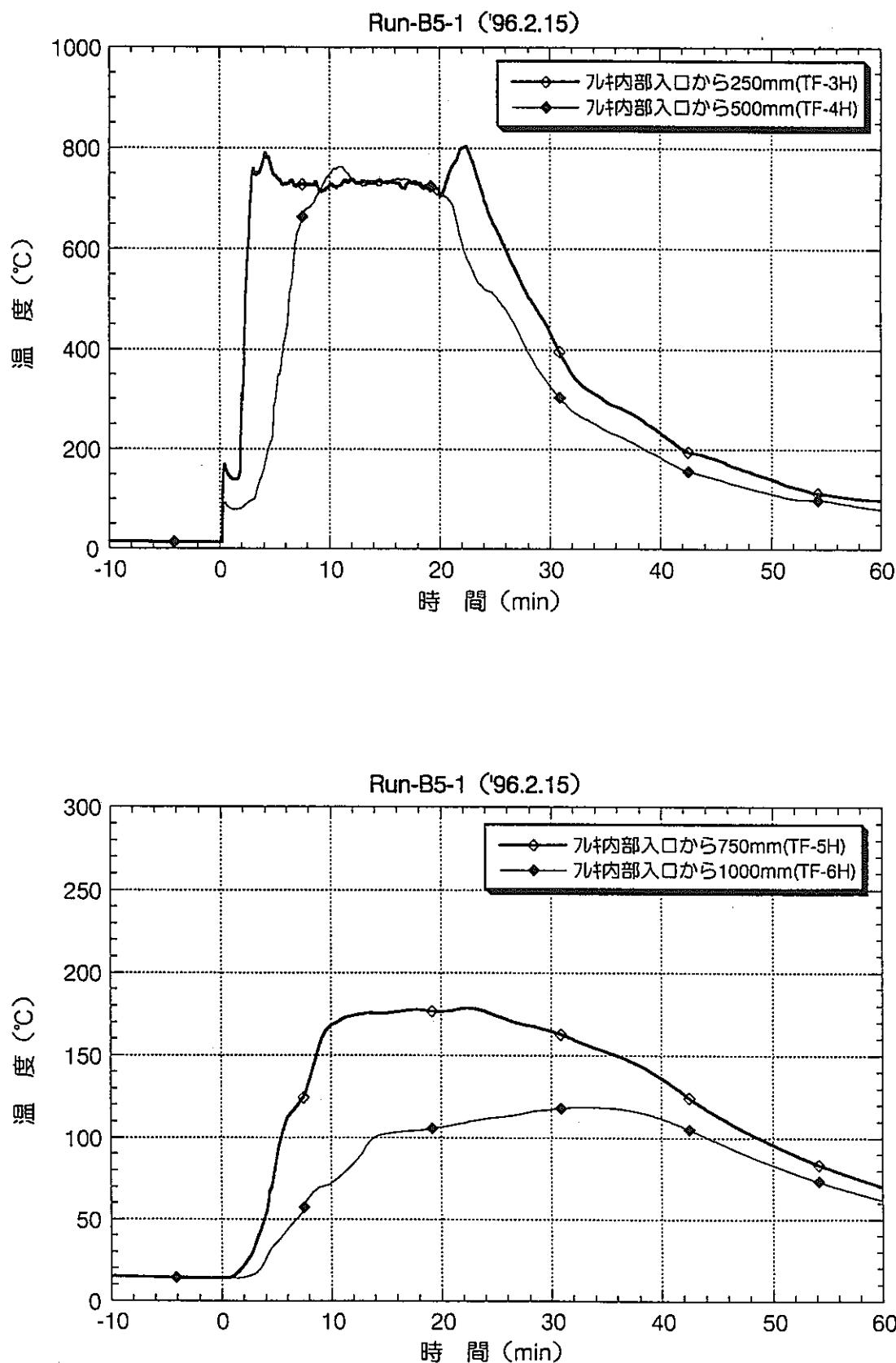
付図3-2.2 SOFT-1 Run-B5-1実験データ（試験体部-②）



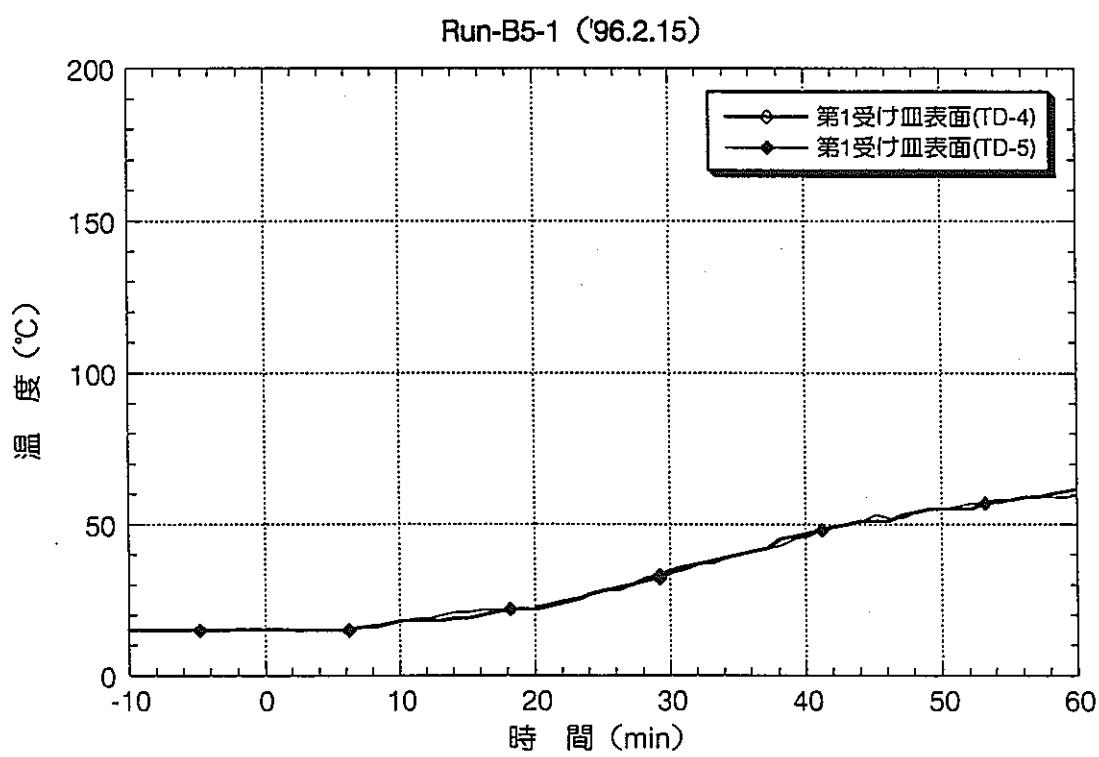
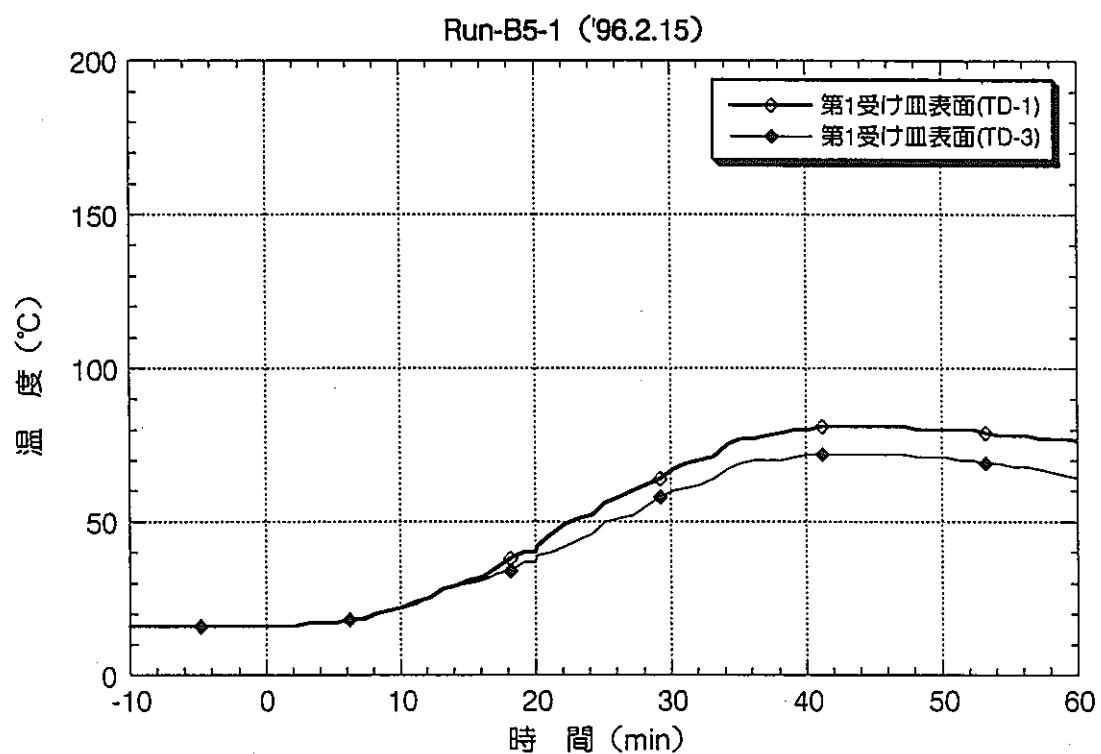
付図3-2.3 SOFT-1 Run-B5-1実験データ（試験体部-③）



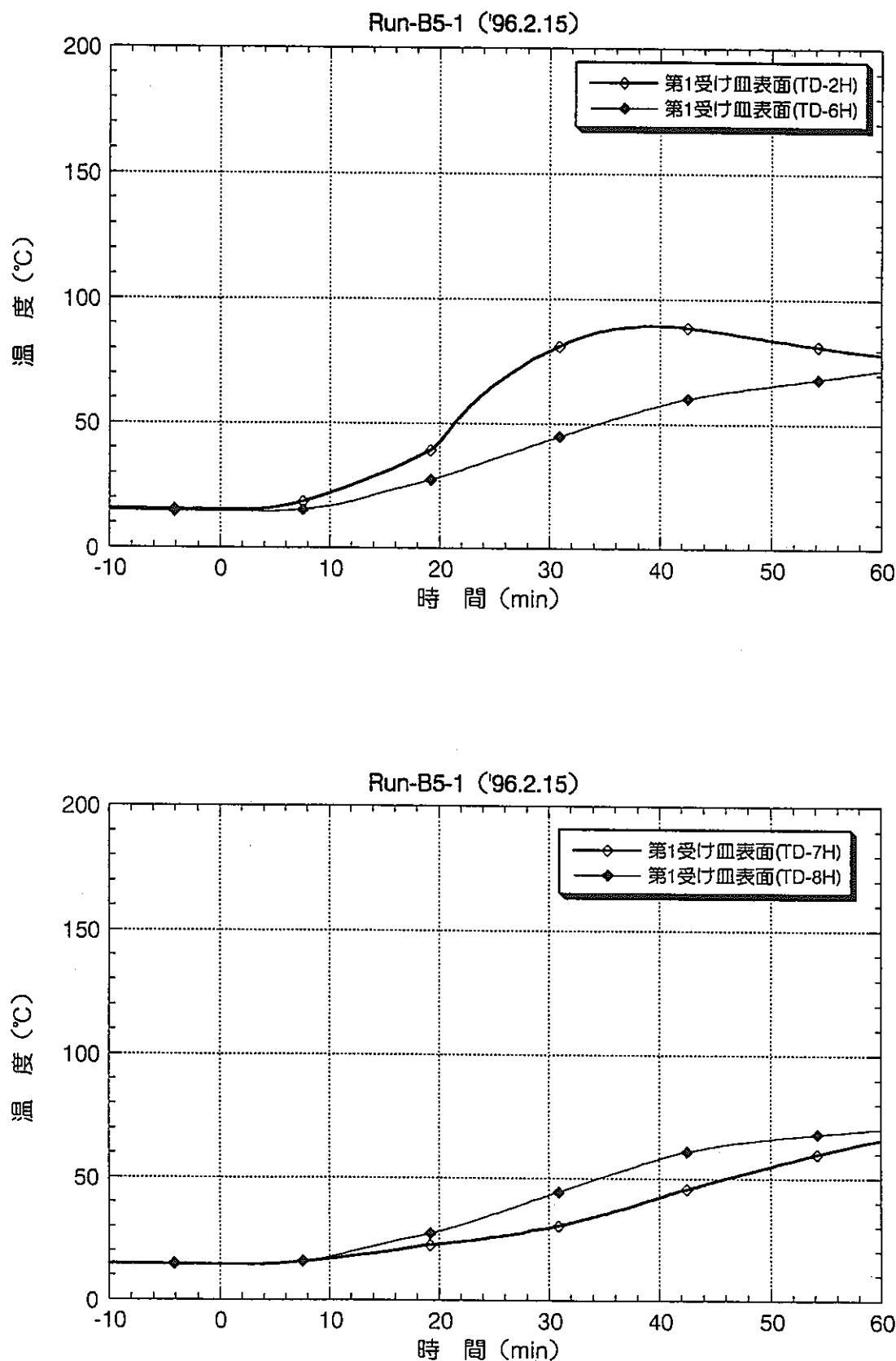
付図3-3.1 SOFT-1 Run-B5-1実験データ（フレキシブルチューブ部）



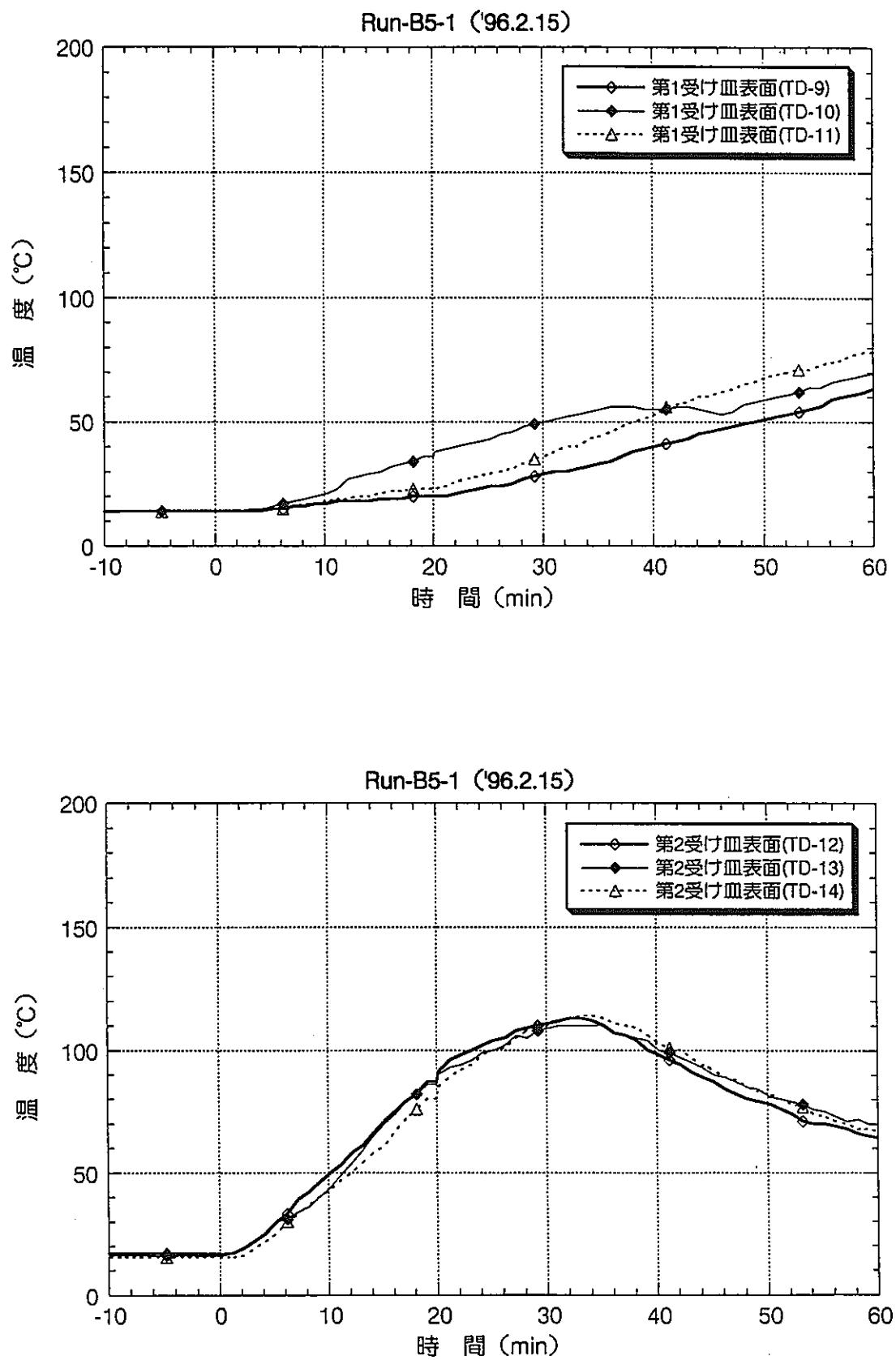
付図3-3.2 SOFT-1 Run-B5-1実験データ（フレキシブルチューブ部-②）



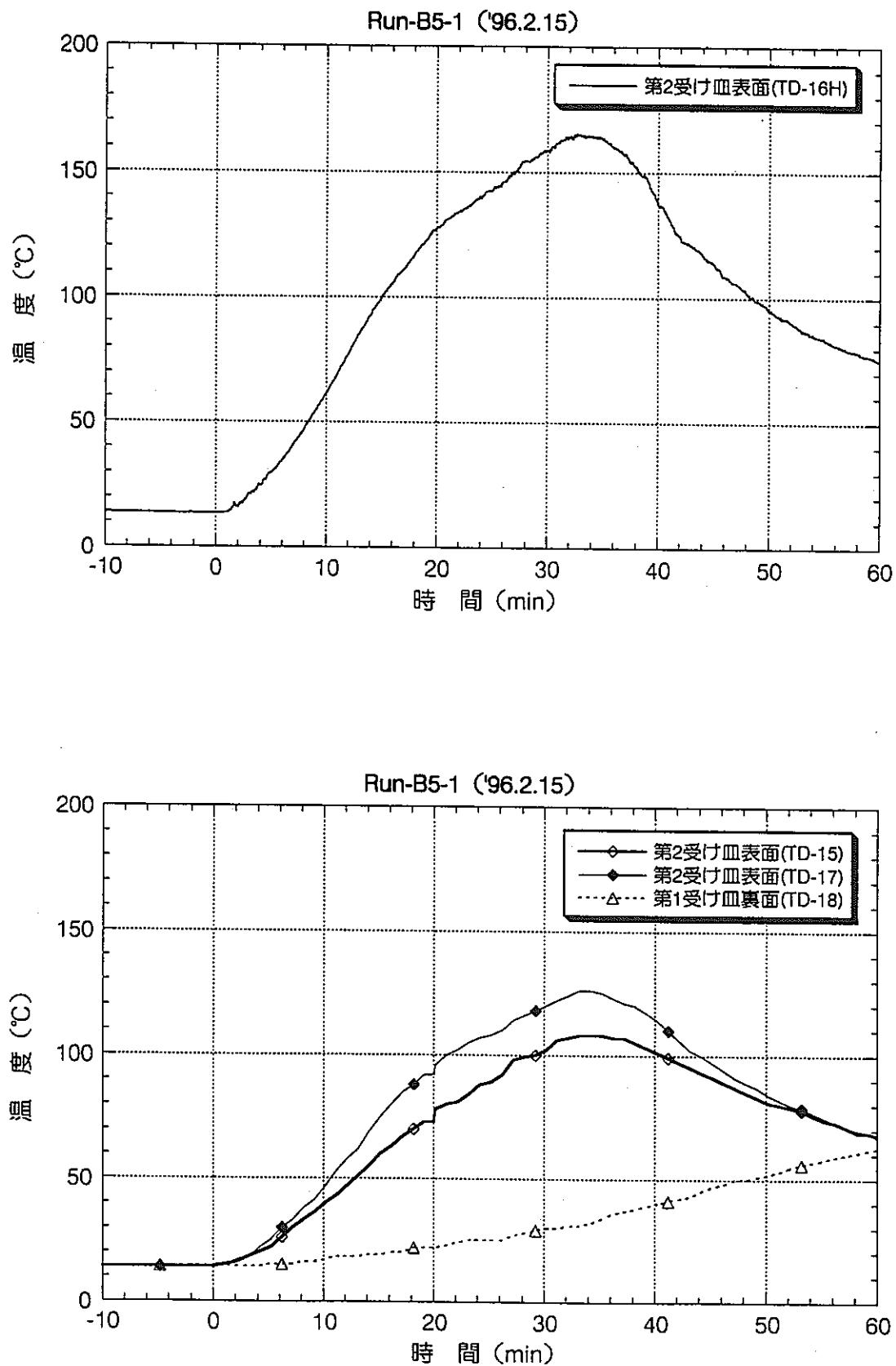
付図3-4.1 SOFT-1 Run-B5-1実験データ（漏えい受け皿）



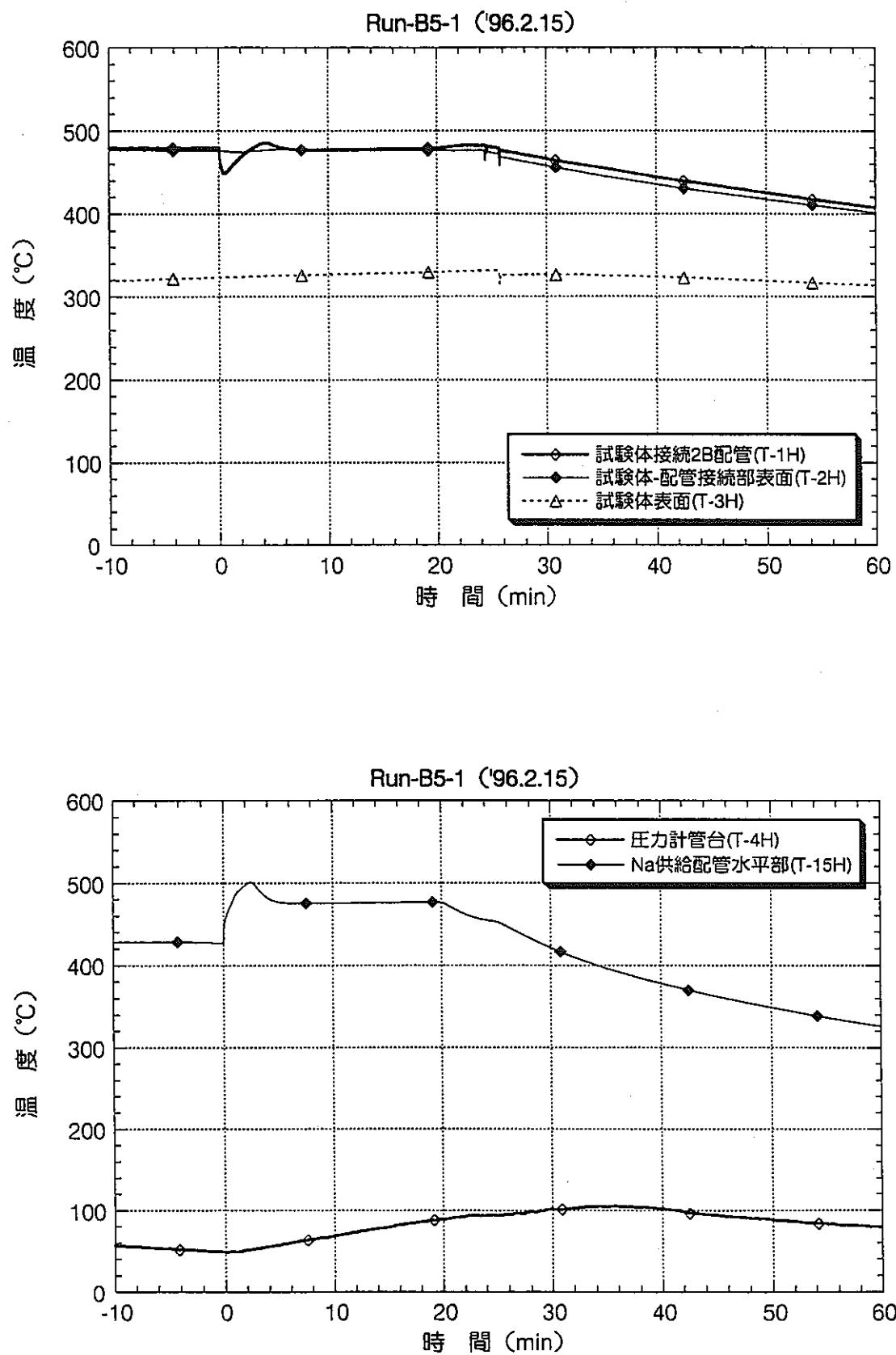
付図3-4.2 SOFT-1 Run-B5-1実験データ（漏えい受け皿-②）



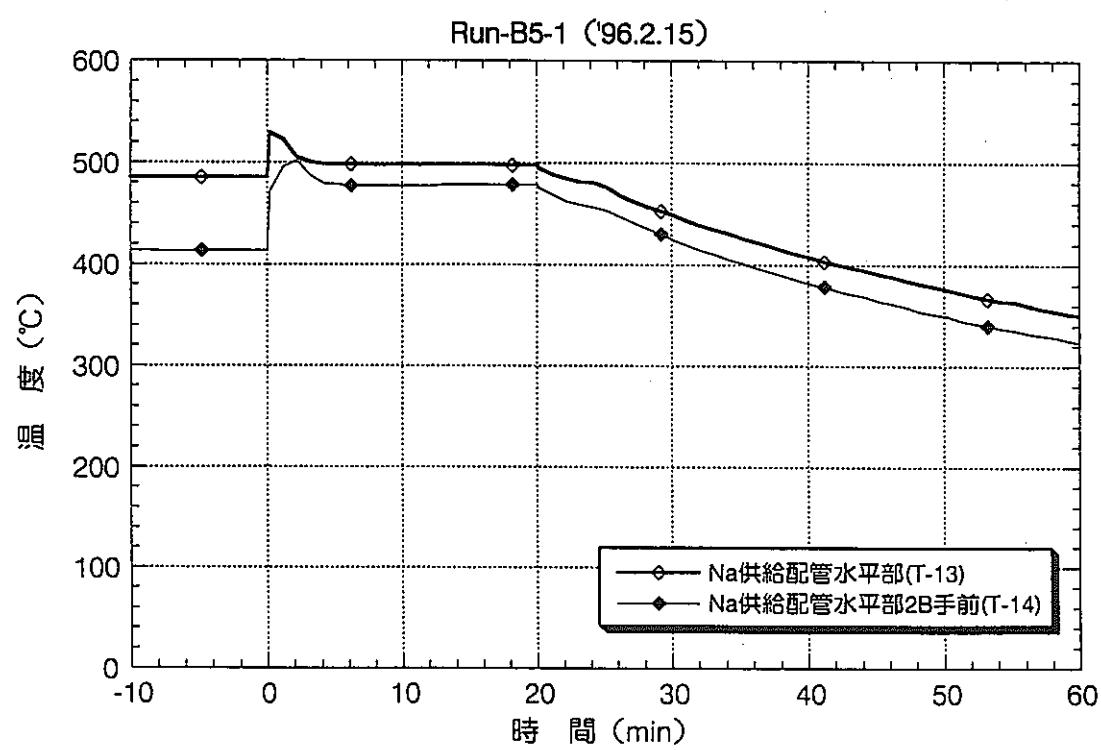
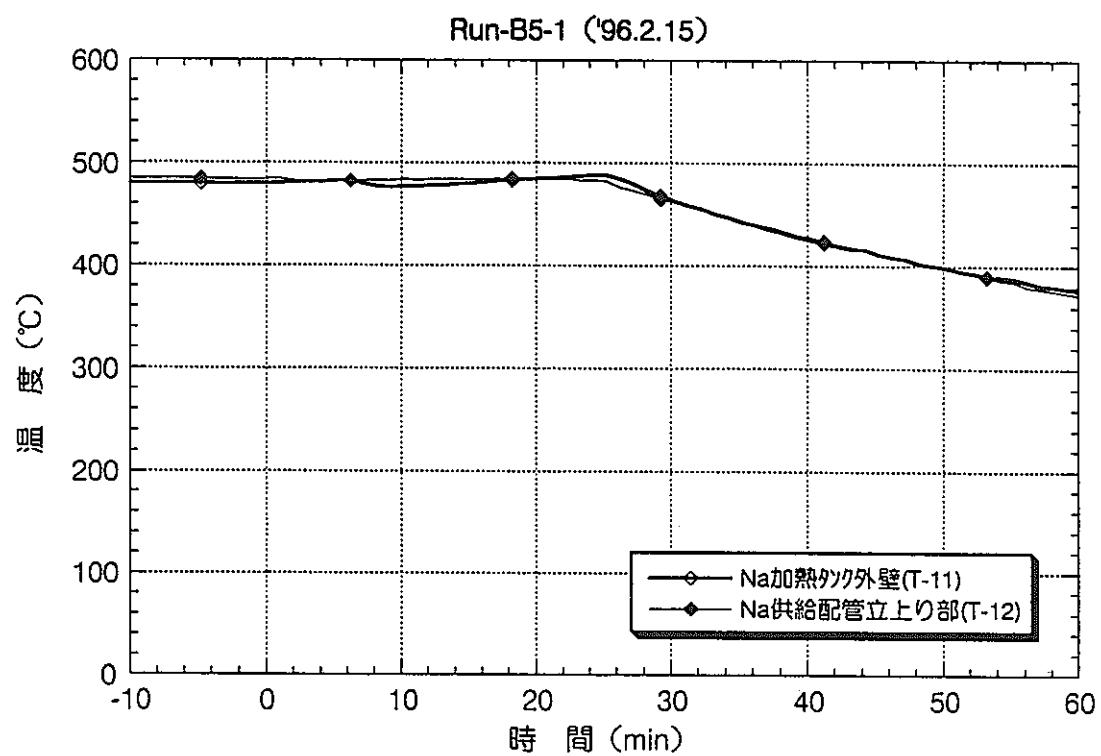
付図3-4.3 SOFT-1 Run-B5-1実験データ（漏えい受け皿-③）



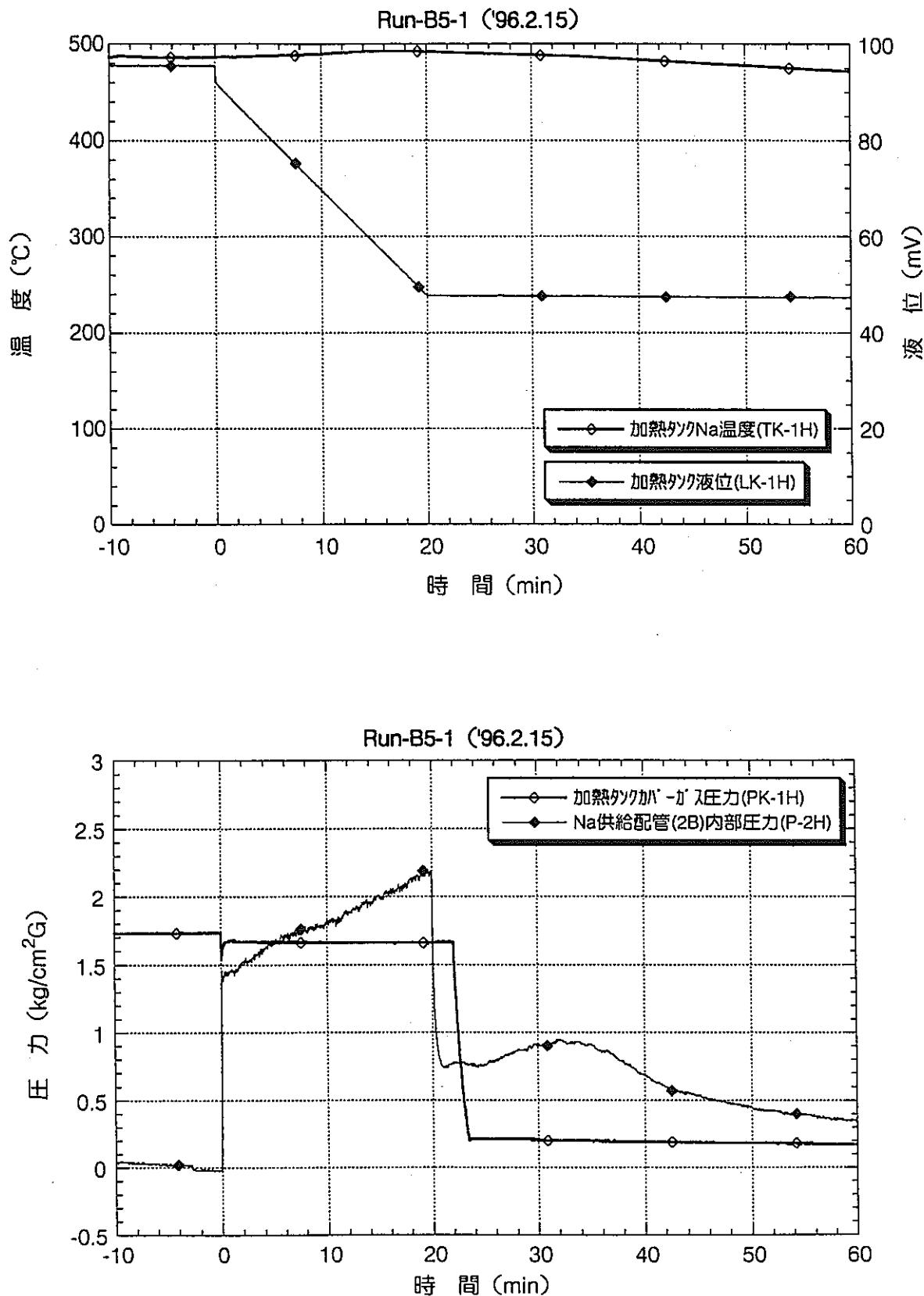
付図3-4.4 SOFT-1 Run-B5-1実験データ（漏えい受け皿-④）



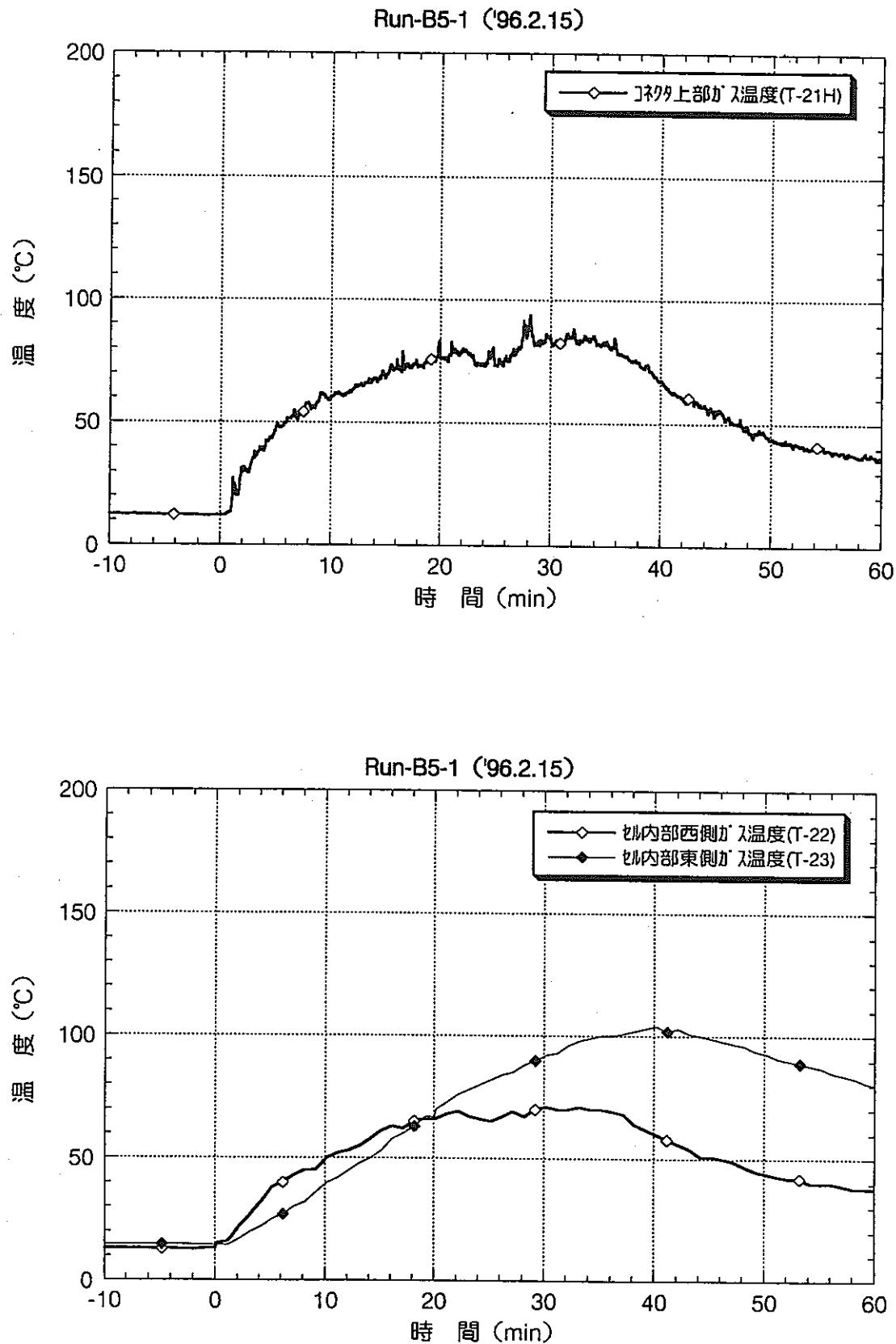
付図3-5.1 SOFT-1 Run-B5-1実験データ（ナトリウム供給系）



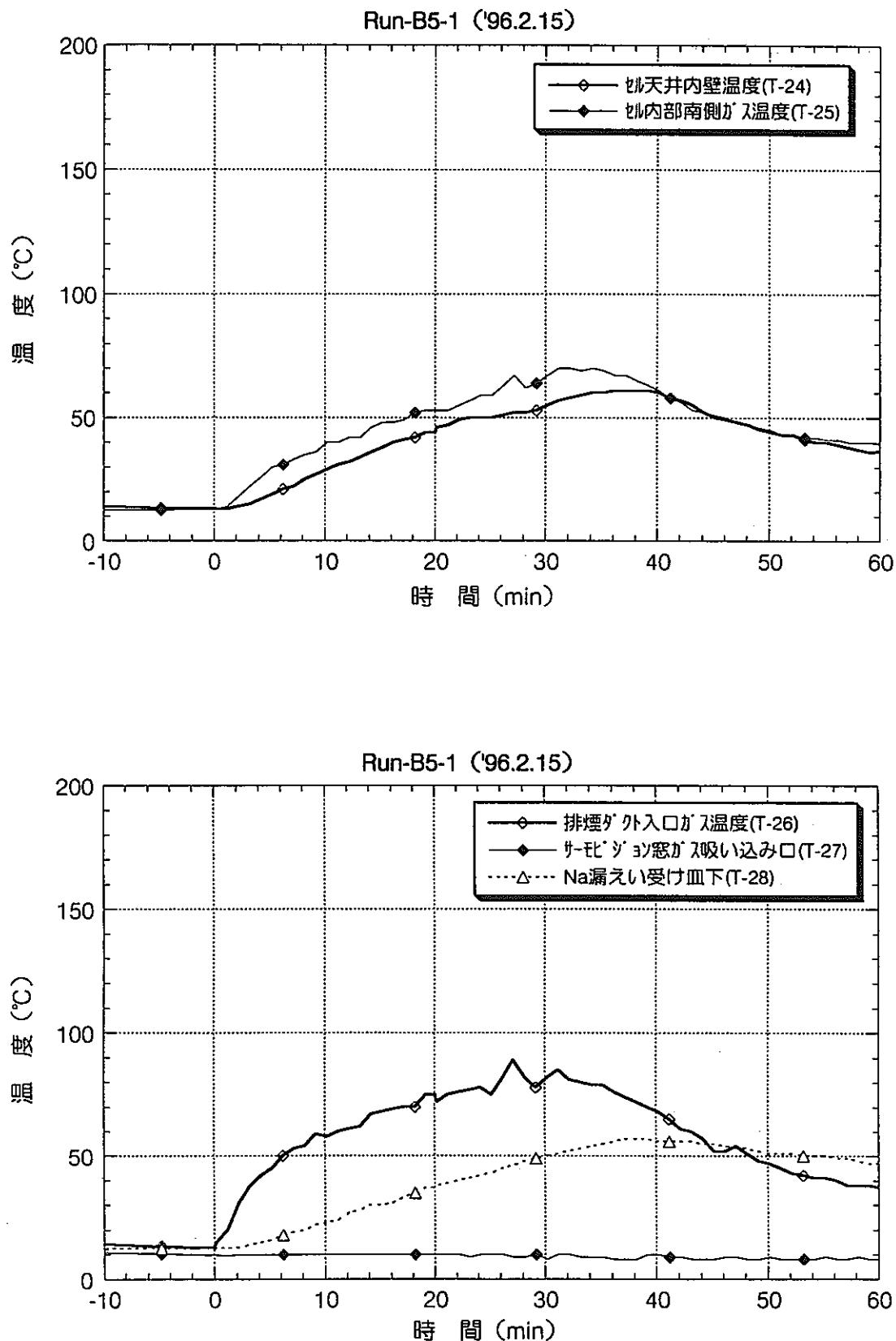
付図3-5.2 SOFT-1 Run-B5-1実験データ（ナトリウム供給系-②）



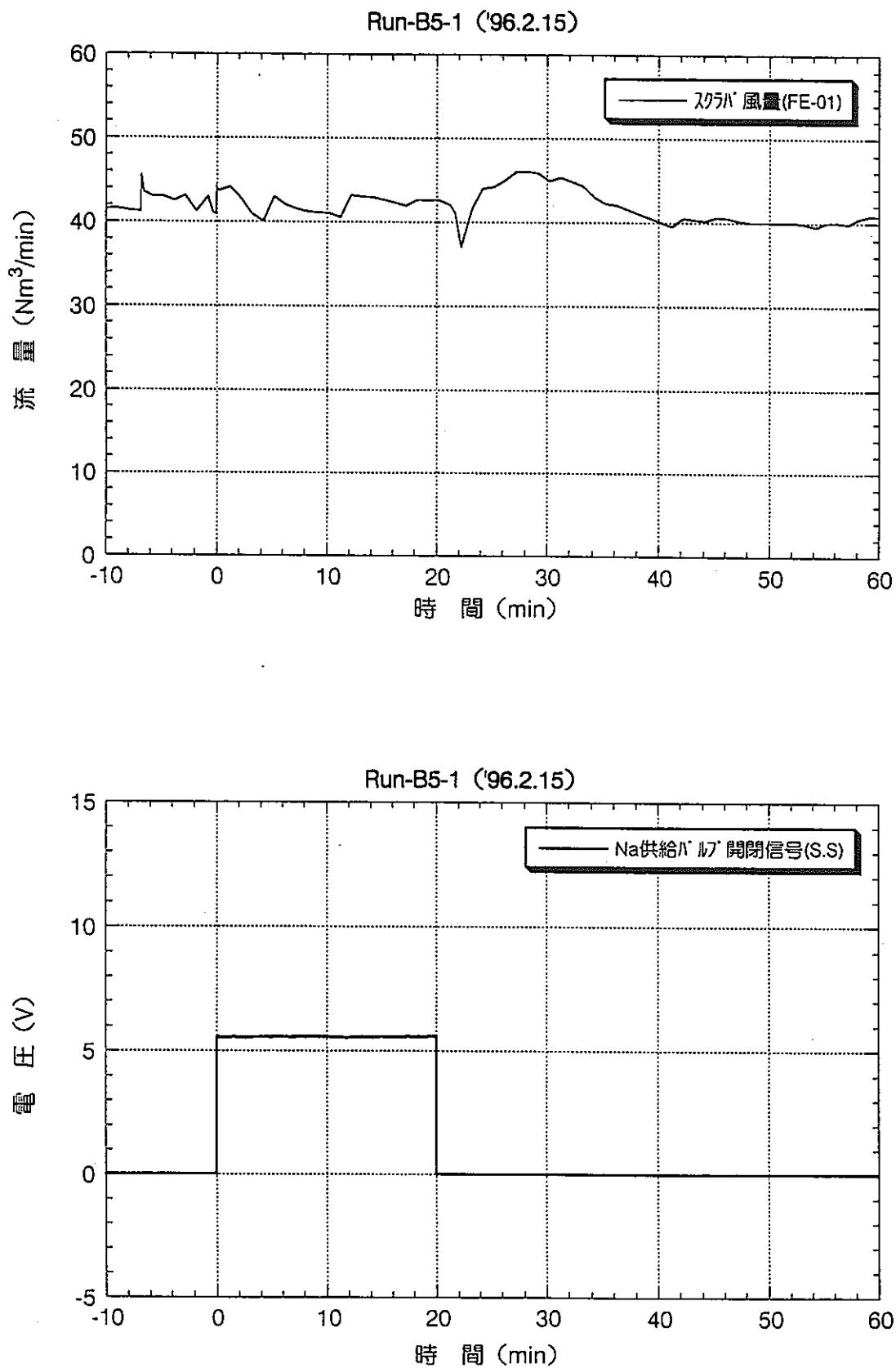
付図3-5.3 SOFT-1 Run-B5-1実験データ（ナトリウム供給系-③）



付図3-6.1 SOFT-1 Run-B5-1実験データ（試験セル内部）



付図3-6.2 SOFT-1 Run-B5-1実験データ（試験セル内部-②）

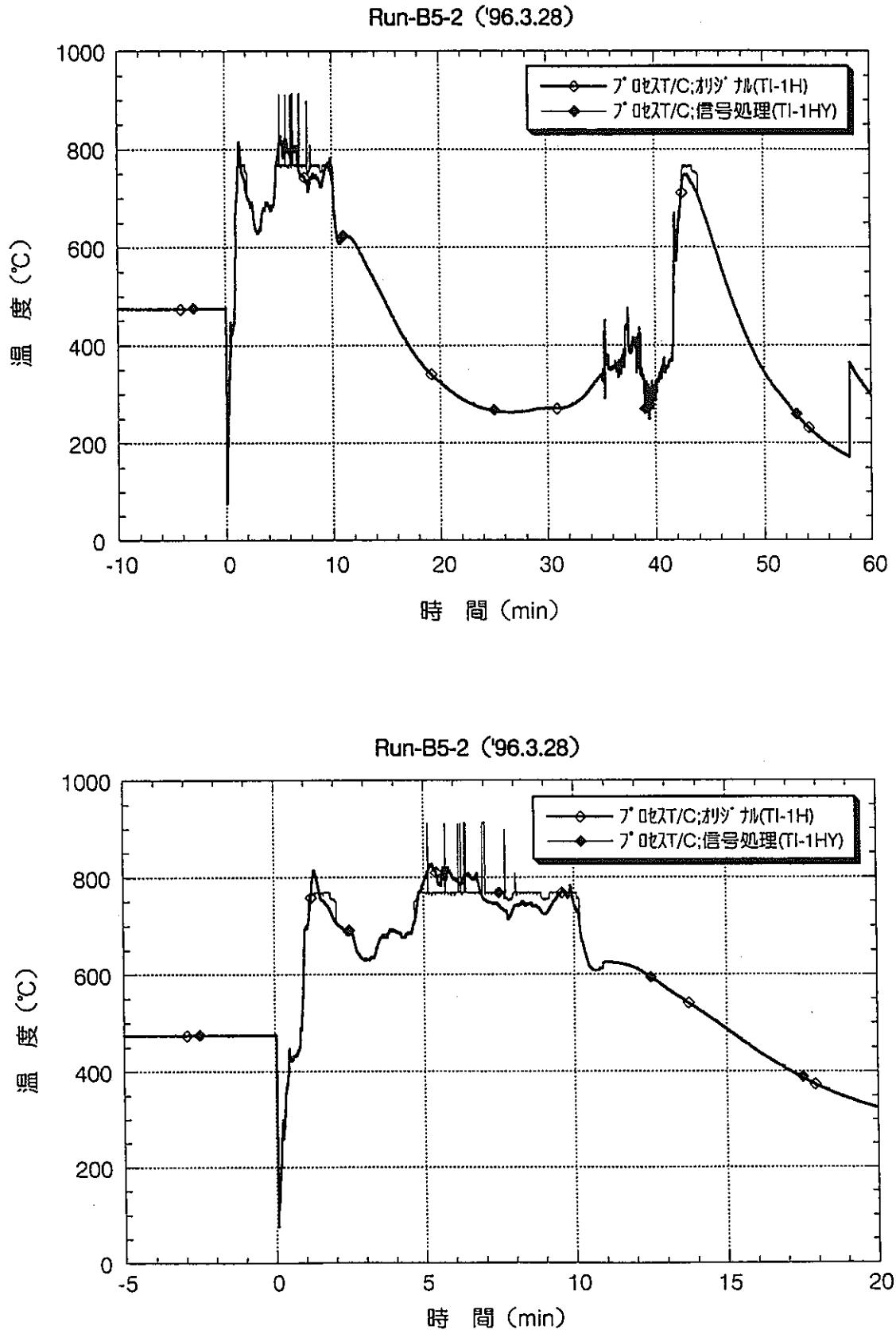


付図3-7.1 SOFT-1 Run-B5-1実験データ（スクラバ流量、他）

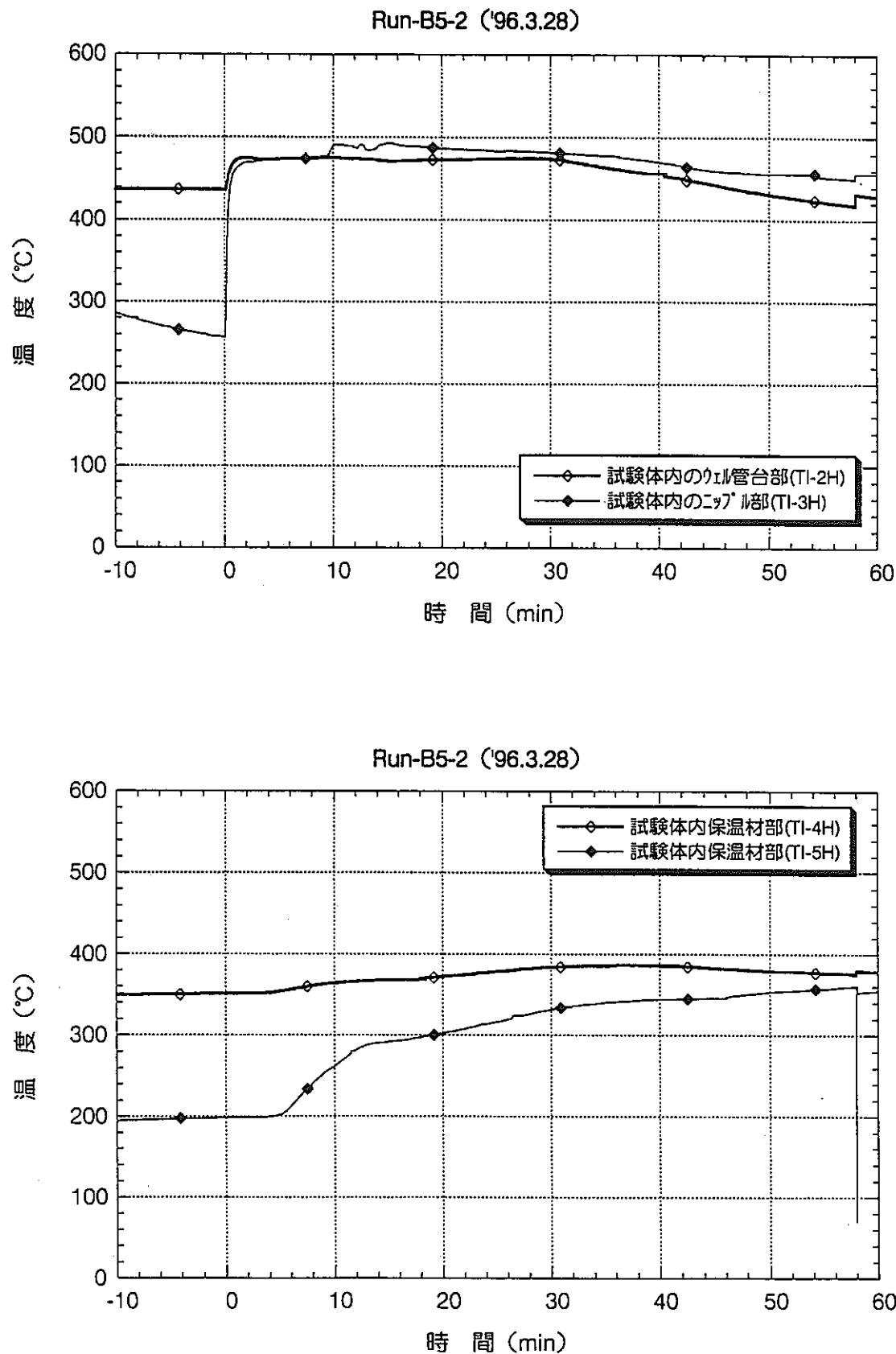
添付資料－4

Run-B5-2実験データ集

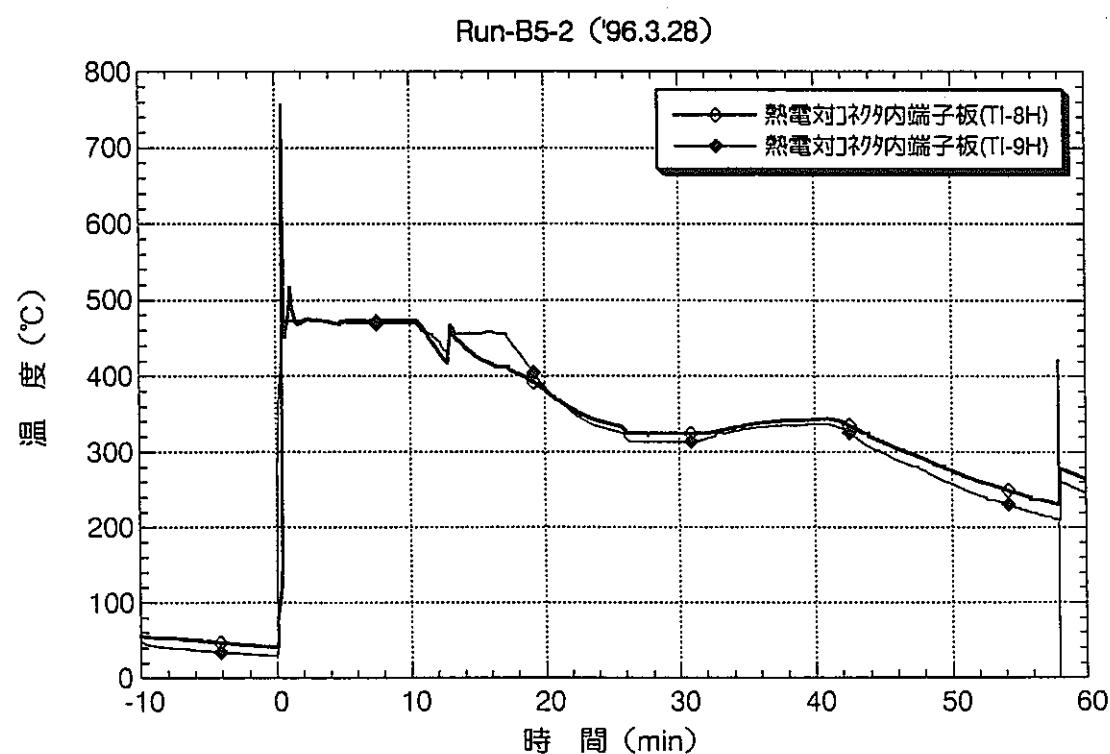
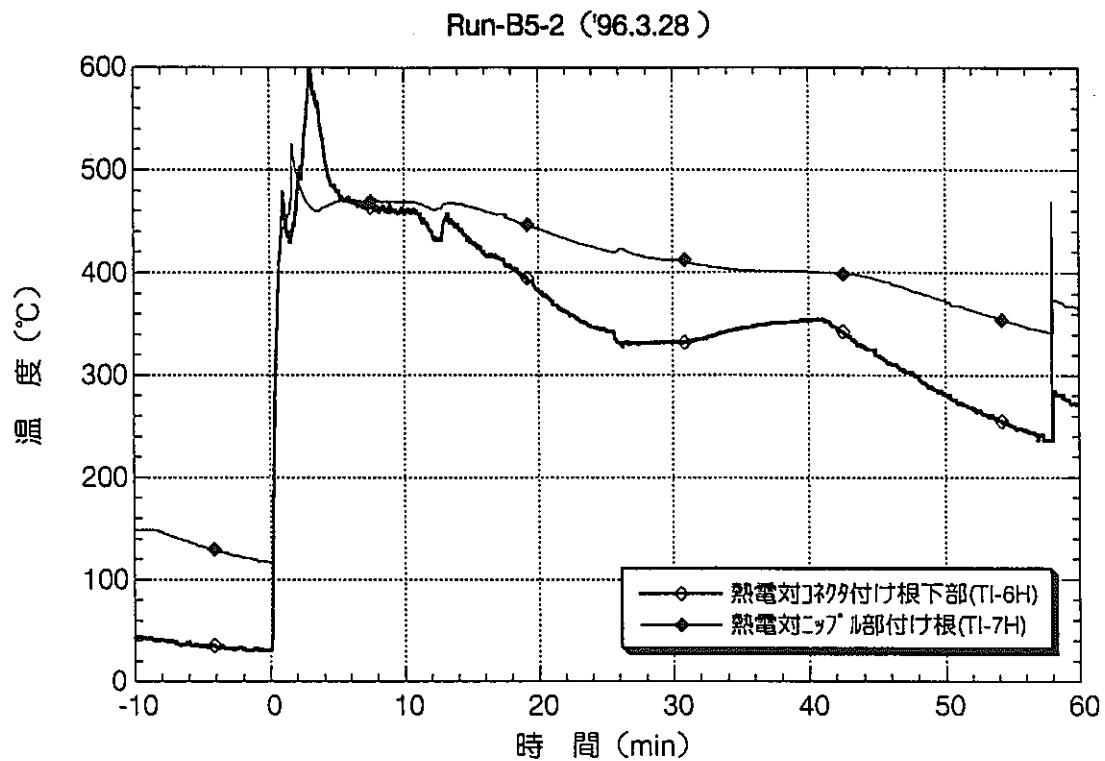
| | |
|--|-------|
| 付図4-1.1 模擬温度計 (TI-1H, TI-1HY) | 付4-1 |
| 付図4-2.1 試験体部 (TI-2H, TI-3H, TI-4H, TI-5H) | 付4-2 |
| 付図4-2.2 試験体部-② (TI-6H, TI-7H, TI-8H, TI-9H) | 付4-3 |
| 付図4-2.3 試験体部-③ (TO-1H, TO-1HK, TO-2H, TO-3H) | 付4-4 |
| 付図4-3.1 フレキシブルチューブ部 (TF-1H, TF-2H, TF-3H, TF-4H) | 付4-5 |
| 付図4-3.2 フレキシブルチューブ部-② (TF-5H, TF-6H, TF-7H, TF-12H) | 付4-6 |
| 付図4-3.3 フレキシブルチューブ部-③ (TF-8H, TF-9H, TF-10H, TF-11H) | 付4-7 |
| 付図4-4.1 漏えい受け皿 (TD-2H, TD-4, TD-5, TD-7H) | 付4-8 |
| 付図4-5.1 ナトリウム供給系 (T-1H, T-2H, T-3H, T-14, T-18) | 付4-9 |
| 付図4-5.2 ナトリウム供給系-② (T-19, T-20, TK-1H, LK-2H) | 付4-10 |
| 付図4-5.3 ナトリウム供給系-③ (PK-1H, P-2H, F-1H) | 付4-11 |
| 付図4-6.1 試験セル内部 (T-21H, T-22, T-23, T-24) | 付4-12 |
| 付図4-6.2 試験セル内部-② (T-25, T-26, T-27, T-28) | 付4-13 |
| 付図4-6.3 試験セル内部-③ (T-29H, T-30H, T-31H) | 付4-14 |
| 付図4-7.1 スクラバ流量、他 (FE-01, S.S) | 付4-15 |
| 付図4-8.1 ハイブリットレコーダー① | 付4-16 |
| 付図4-8.2 ハイブリットレコーダー② | 付4-17 |



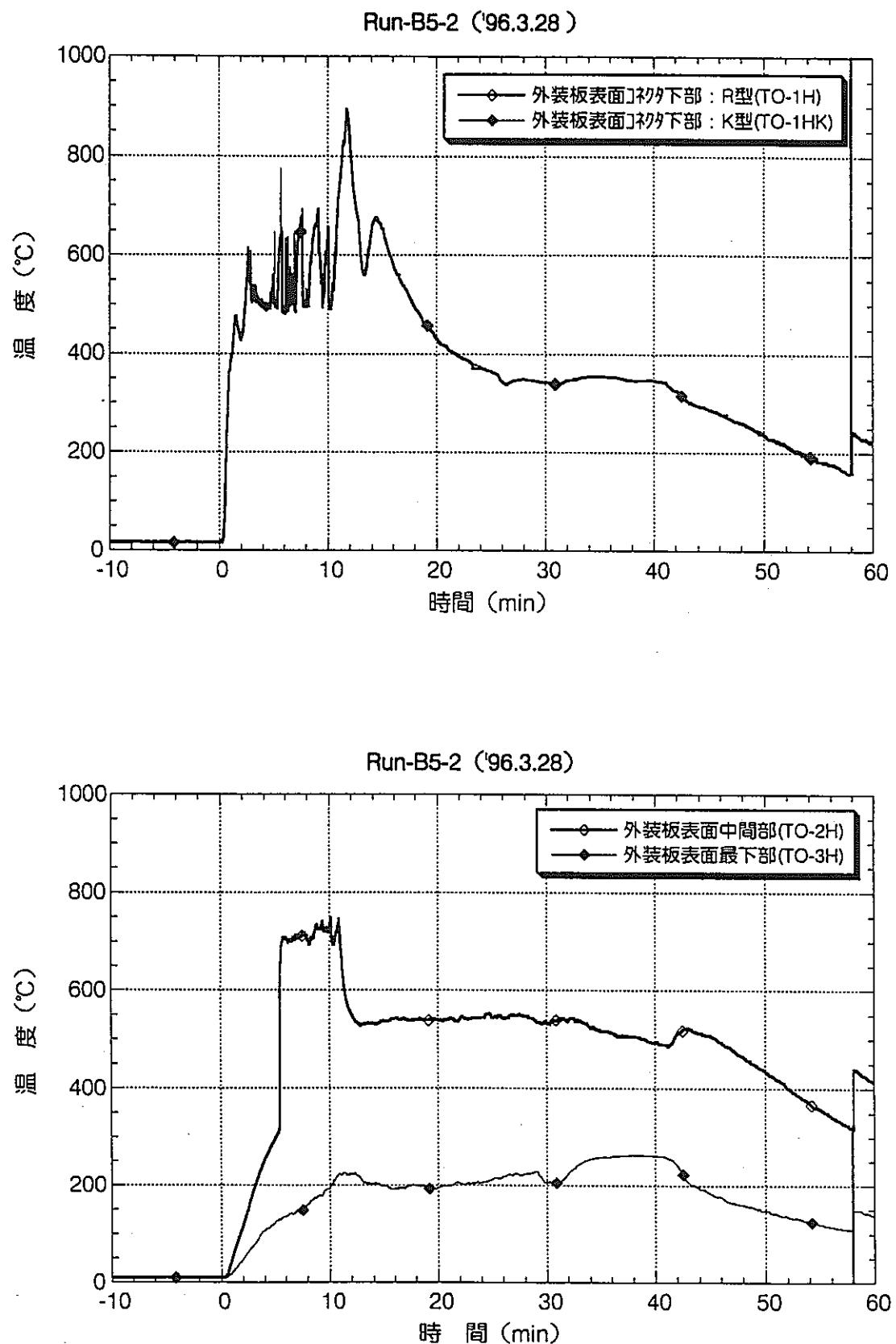
付図4-1.1 SOFT-1 Run-B5-2実験データ（模擬温度計）



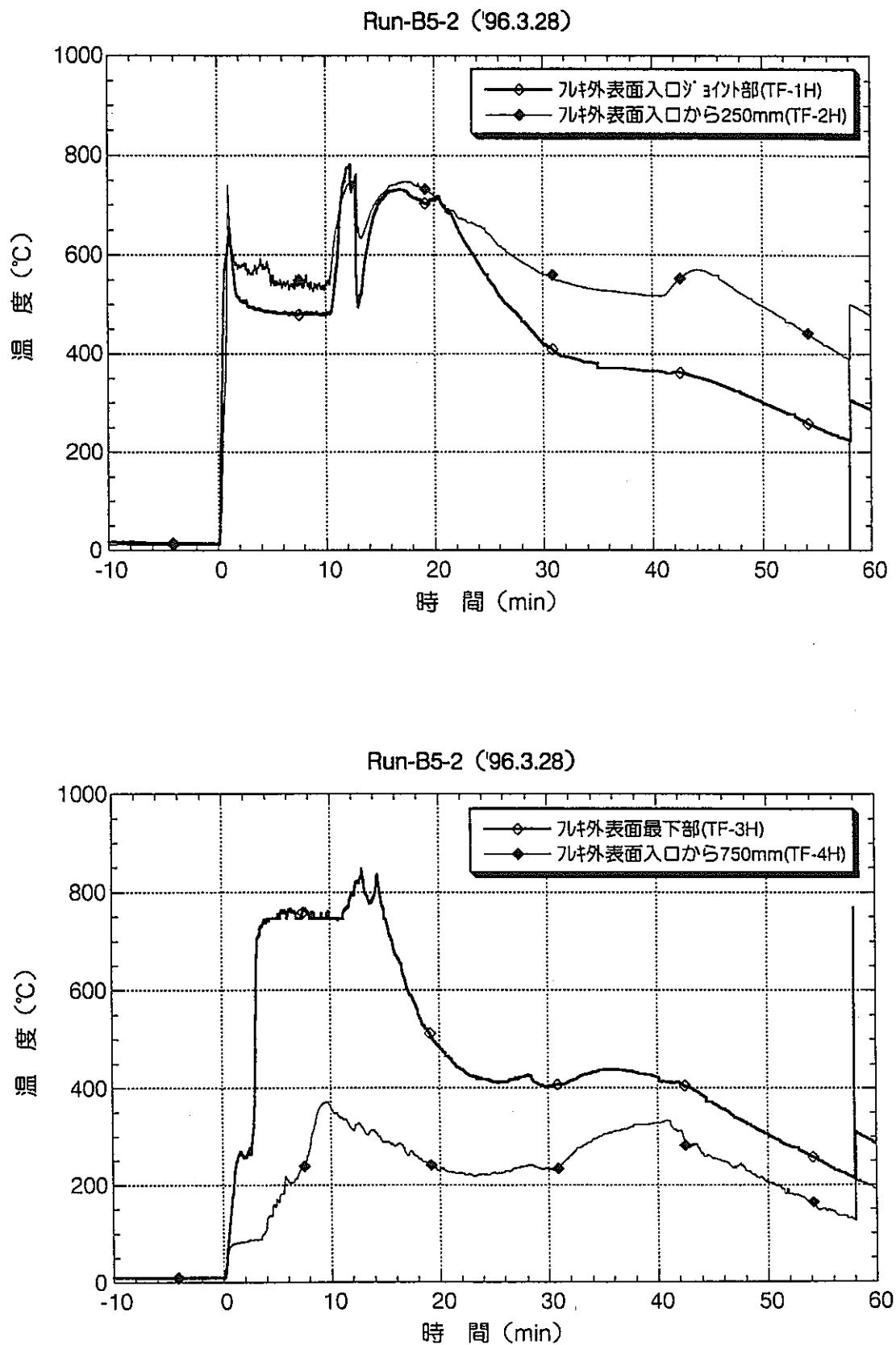
付図4-2.1 SOFT-1 Run-B5-2実験データ（試験体部）



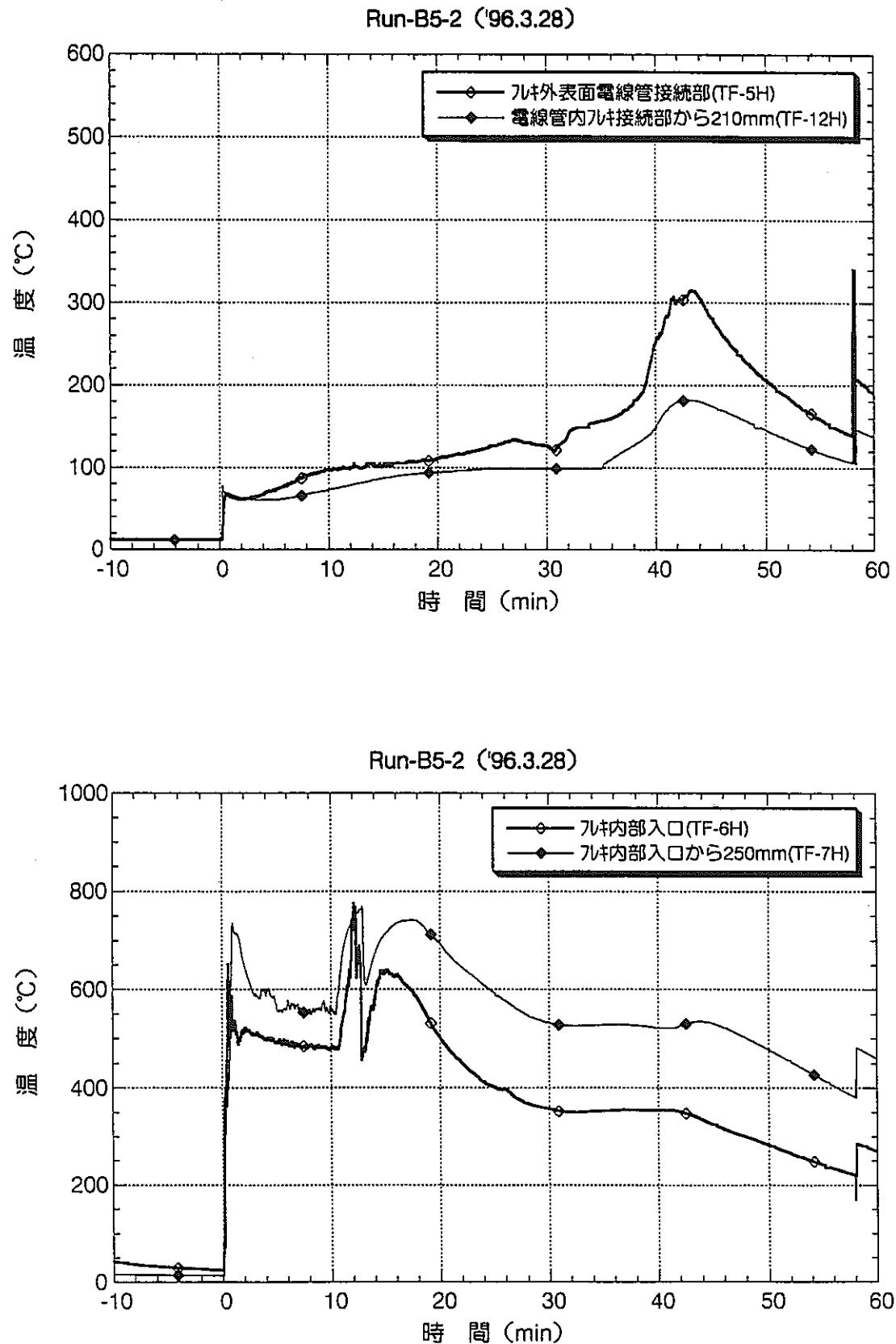
付図4-2.2 SOFT-1 Run-B5-2実験データ（試験体部-②）



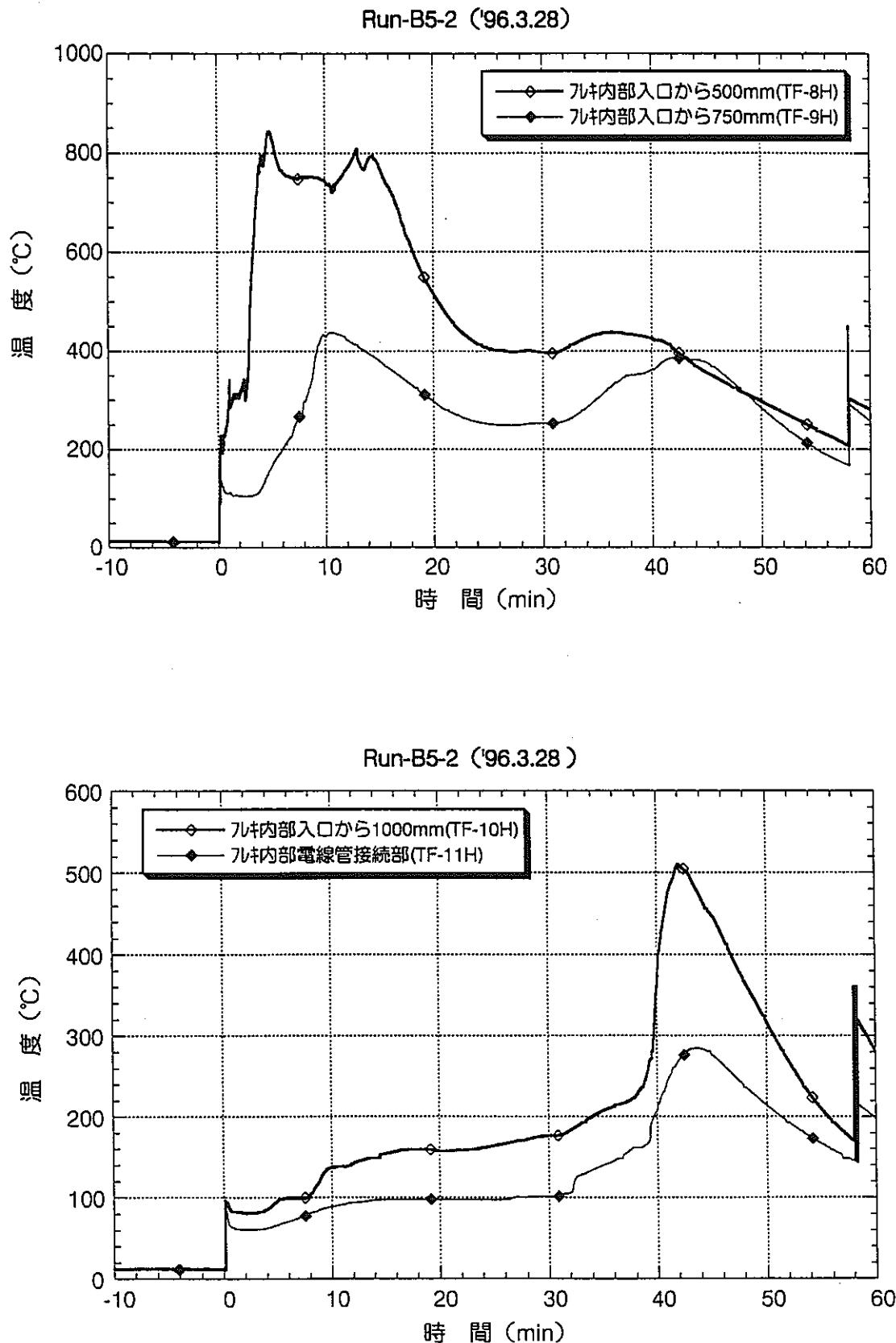
付図4-2.3 SOFT-1 Run-B5-2実験データ（試験体部-③）



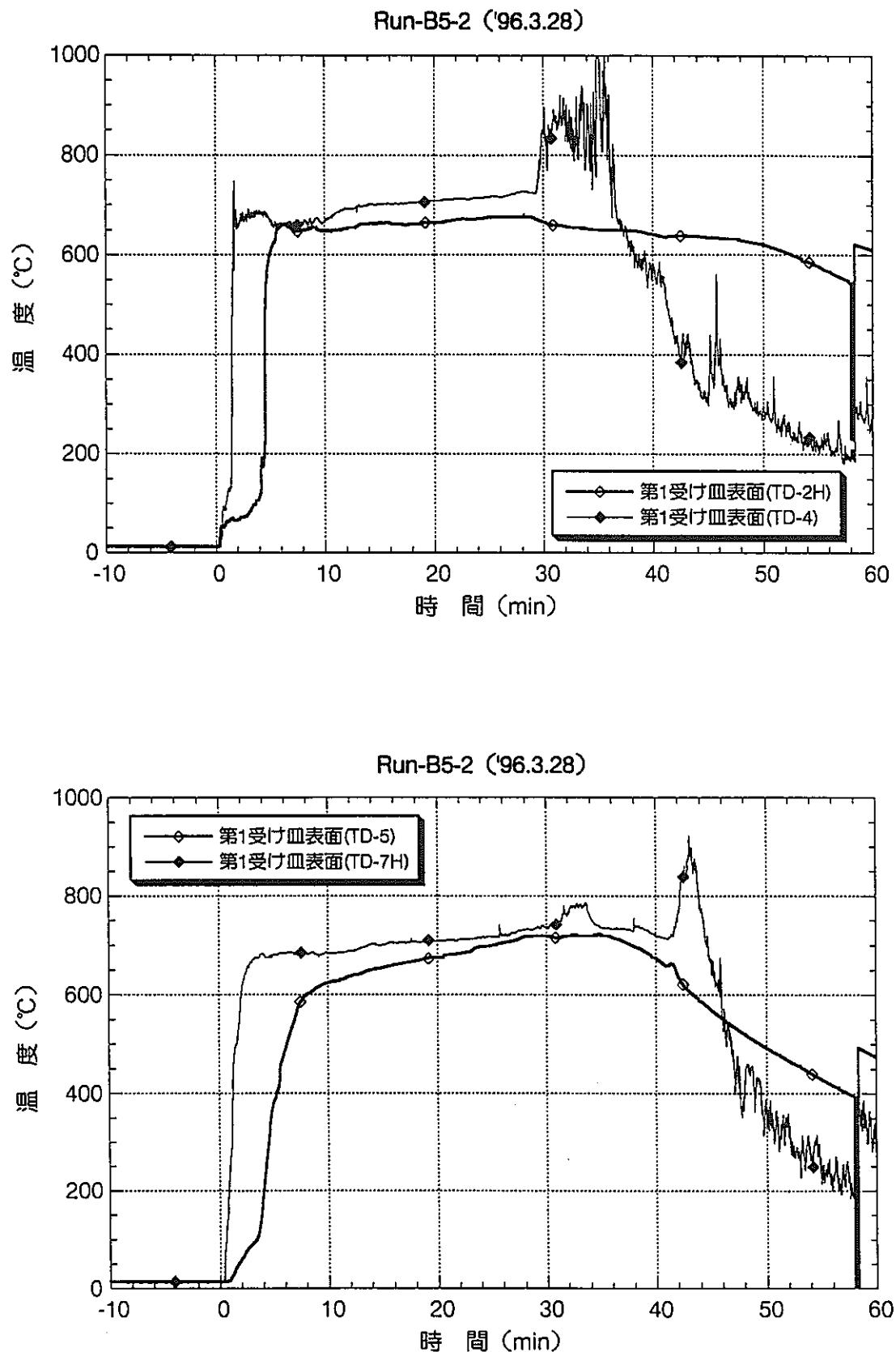
付図4-3.1 SOFT-1 Run-B5-2実験データ（フレキブルチューブ部）



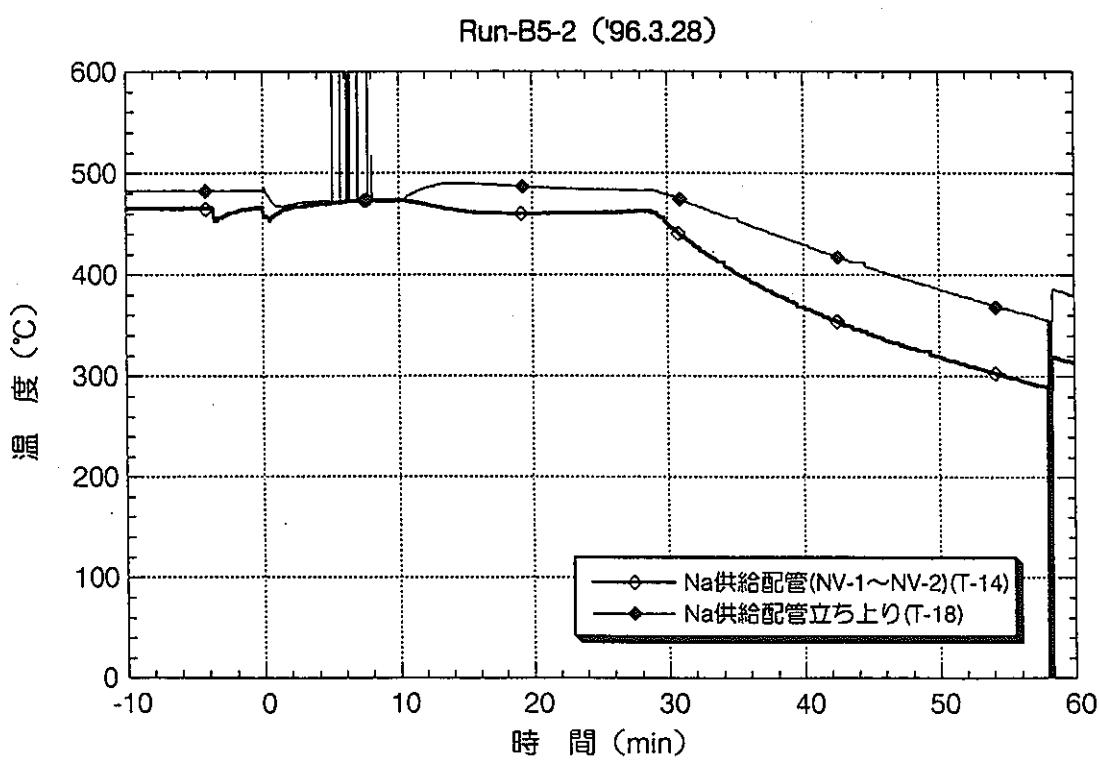
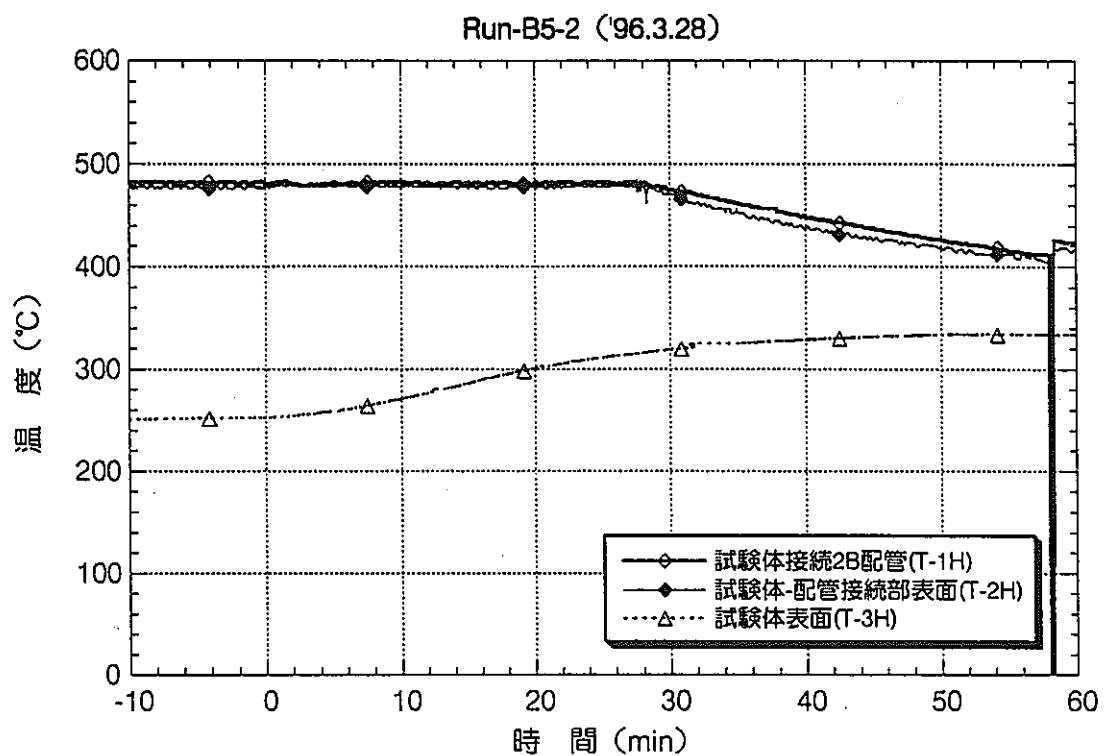
付図4-3.2 SOFT-1 Run-B5-2実験データ（フレキシブルチューブ部-②）



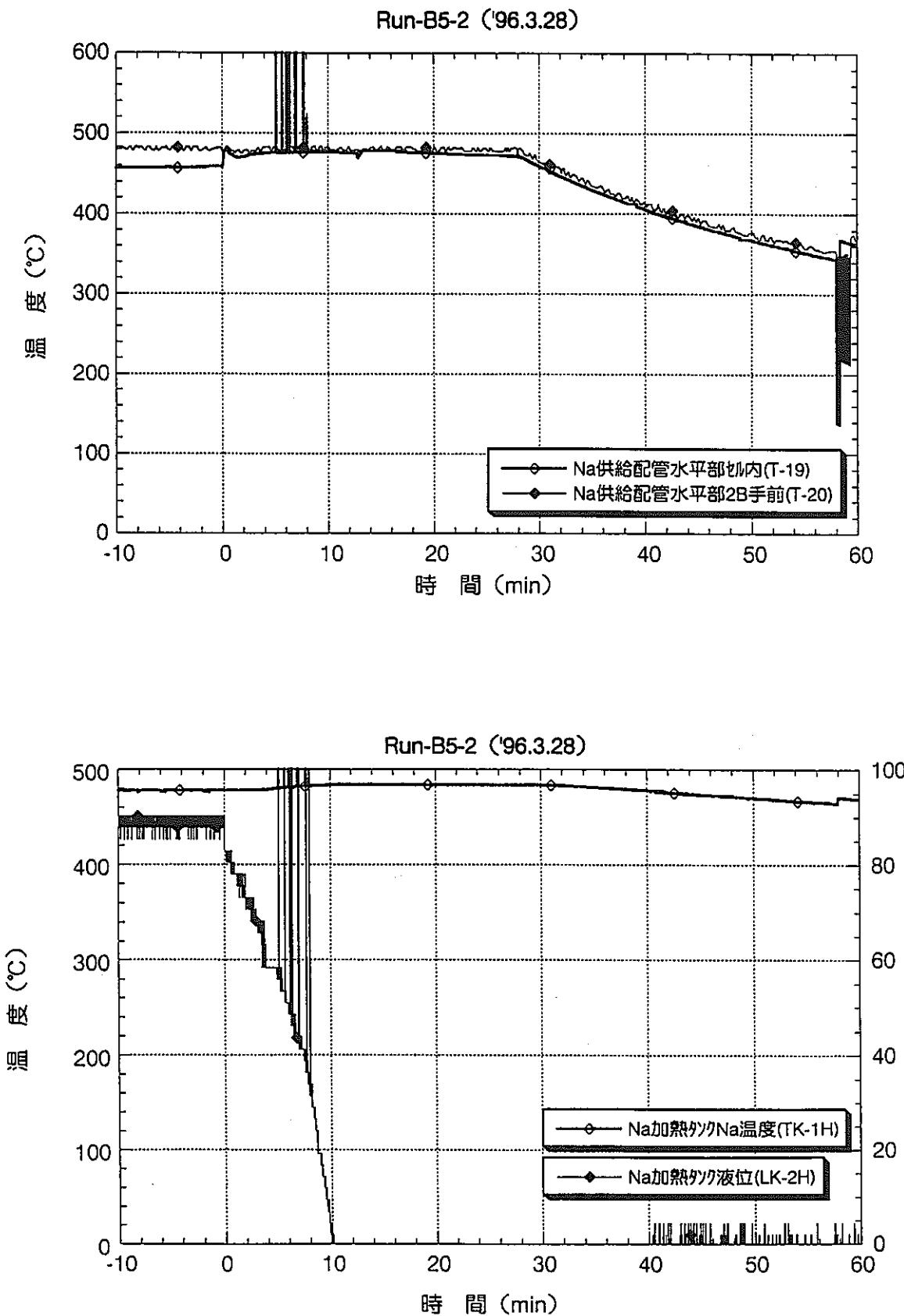
付図4-3.3 SOFT-1 Run-B5-2実験データ（フレキシブルチューブ部-③）



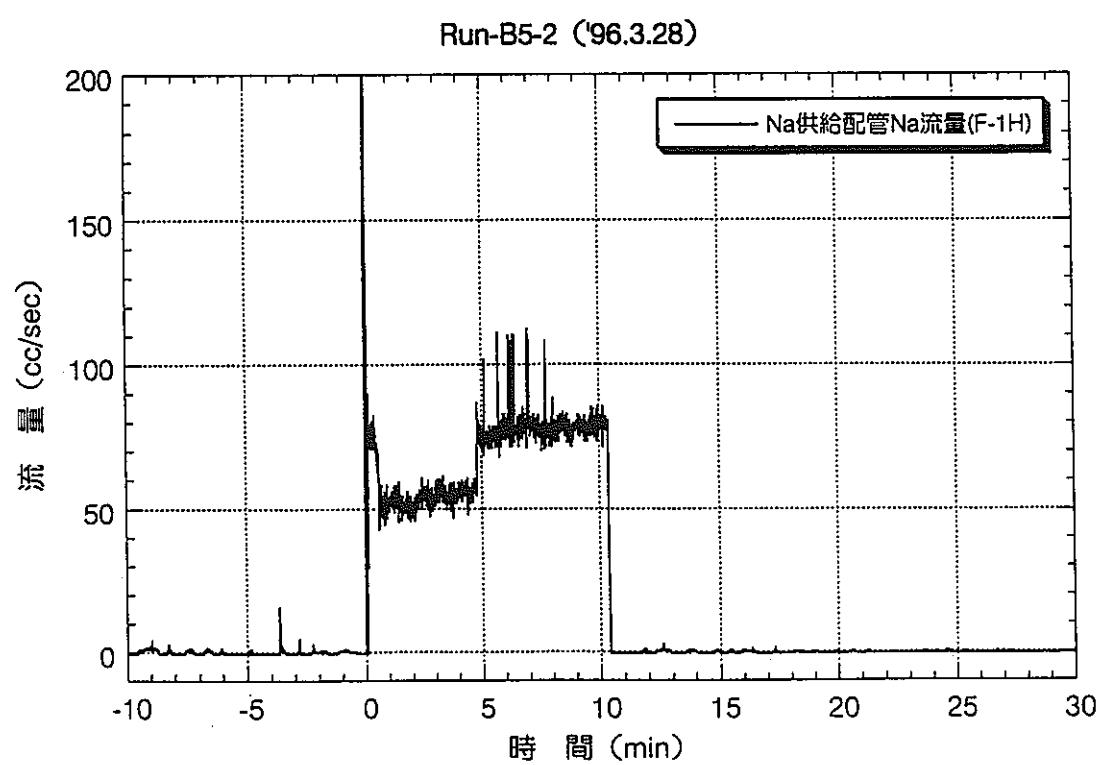
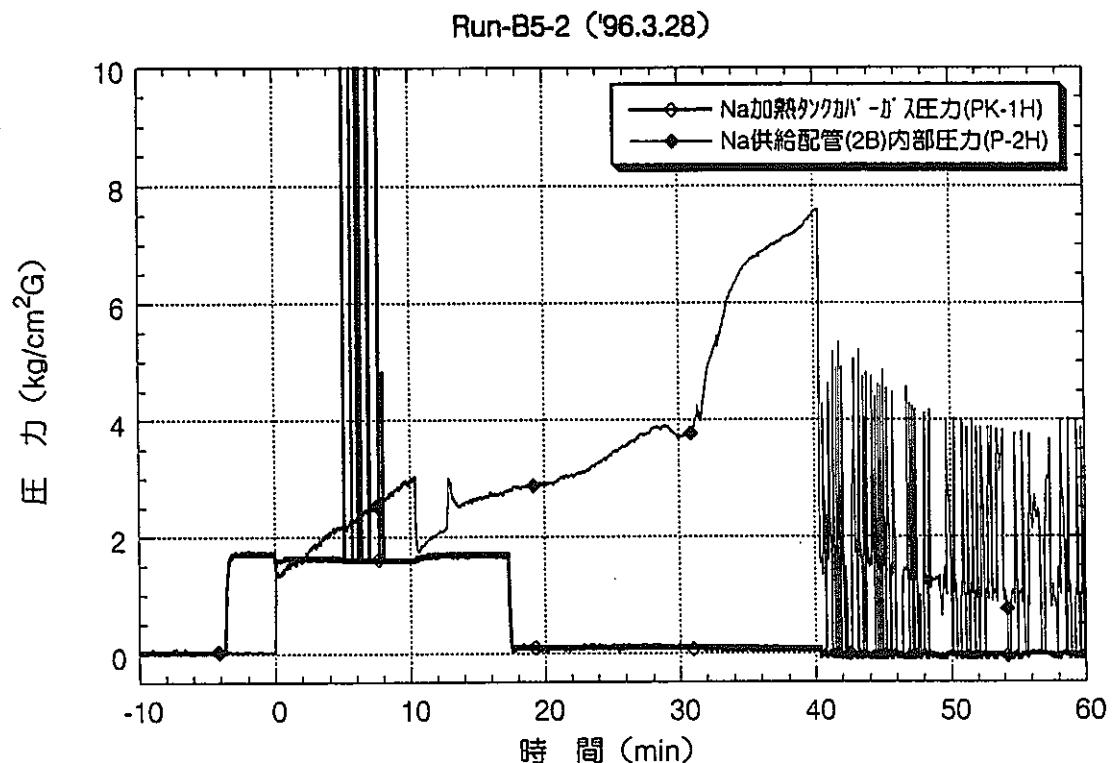
付図4-4.1 SOFT-1 Run-B5-2実験データ（漏えい受け皿）



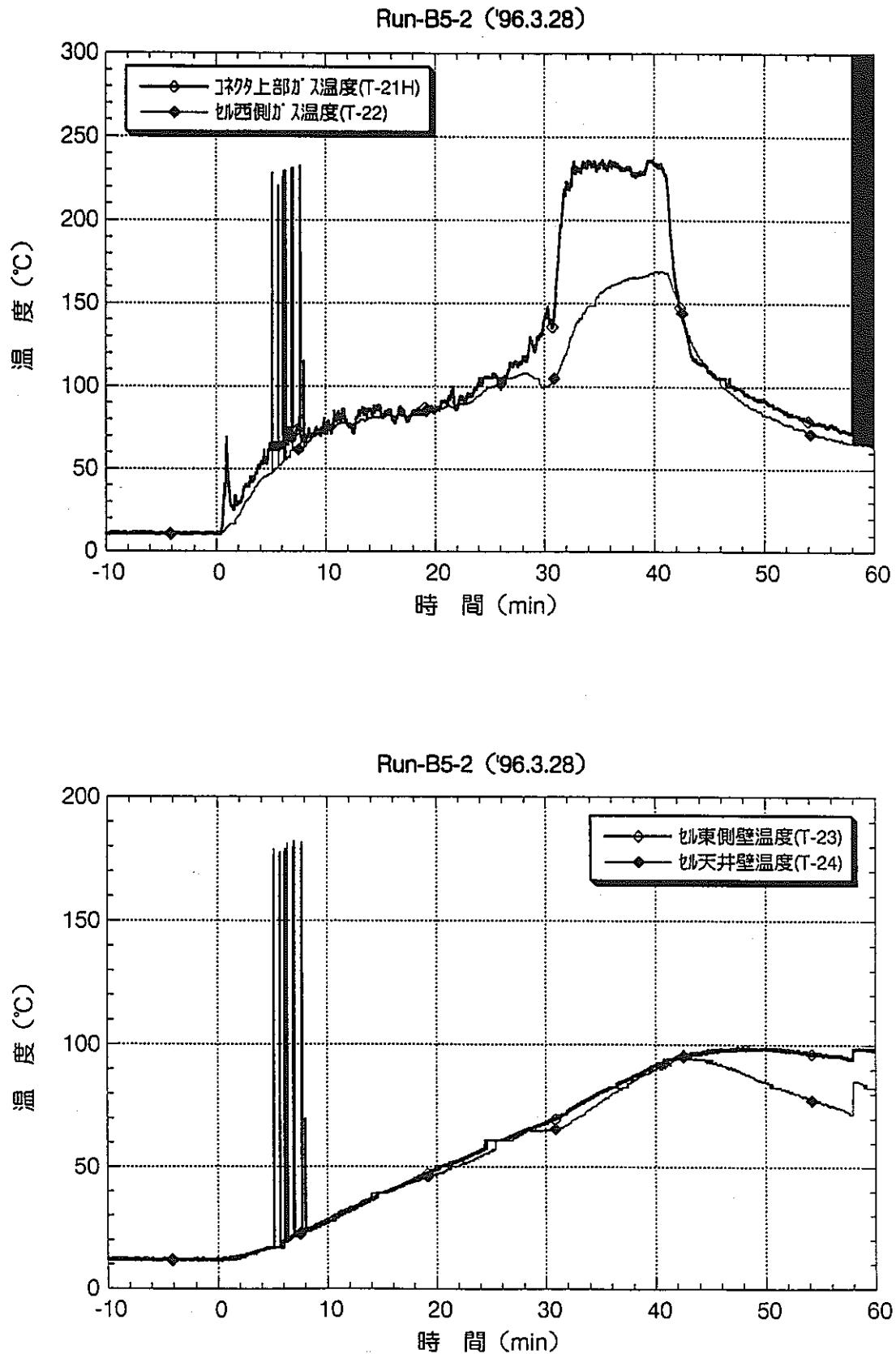
付図4-5.1 SOFT-1 Run-B5-2実験データ（ナトリウム供給系）



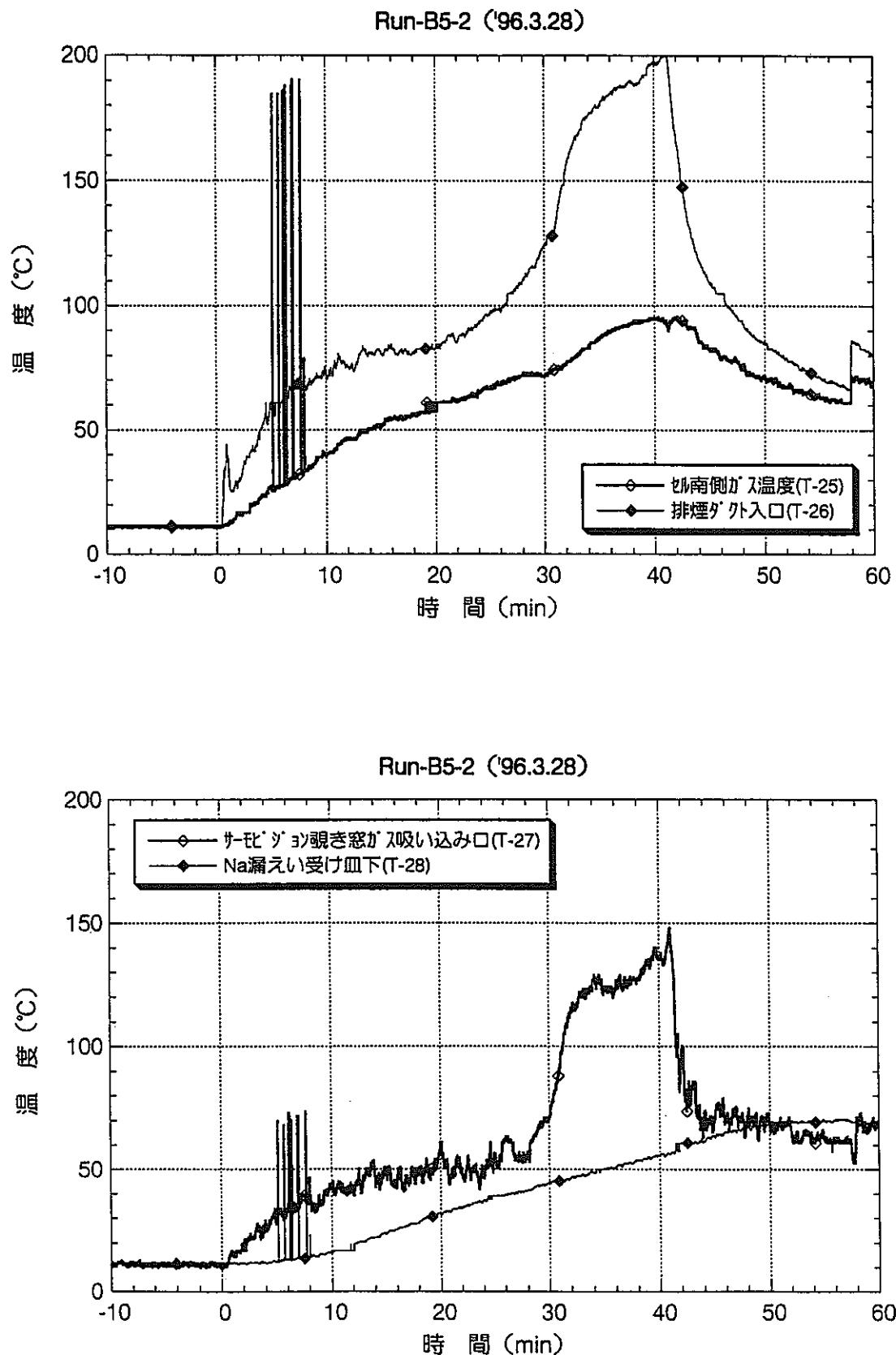
付図4-5.2 SOFT-1 Run-B5-2実験データ（ナトリウム供給系-②）



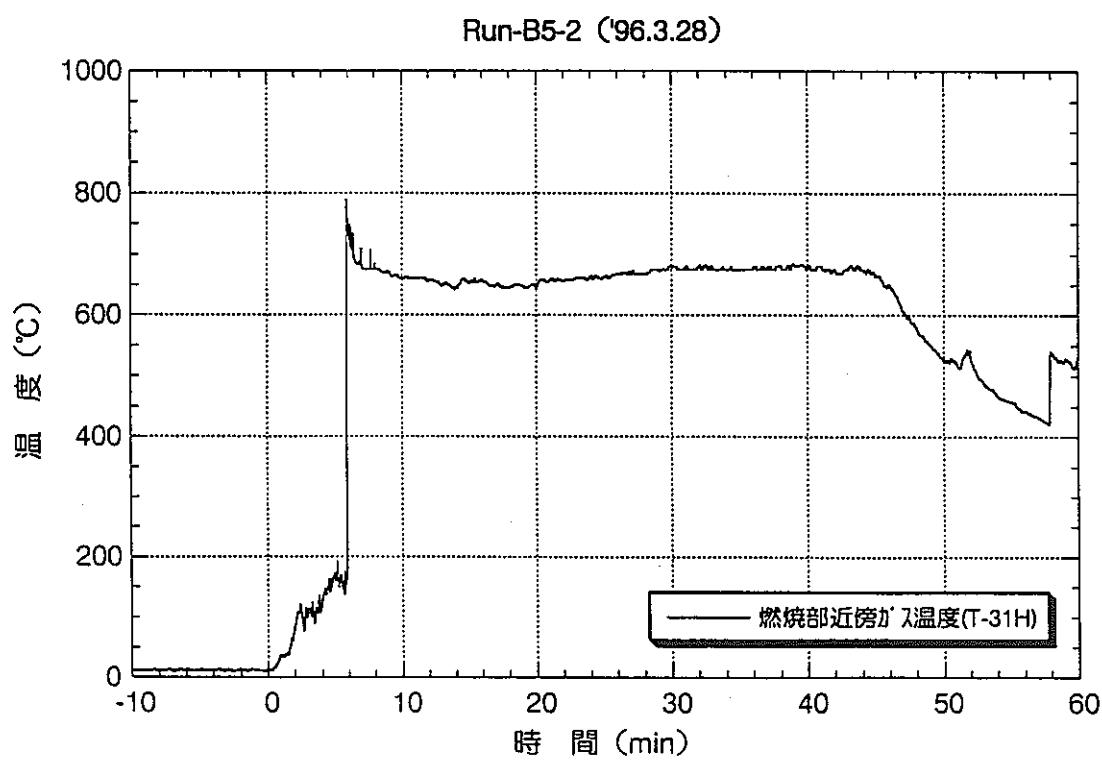
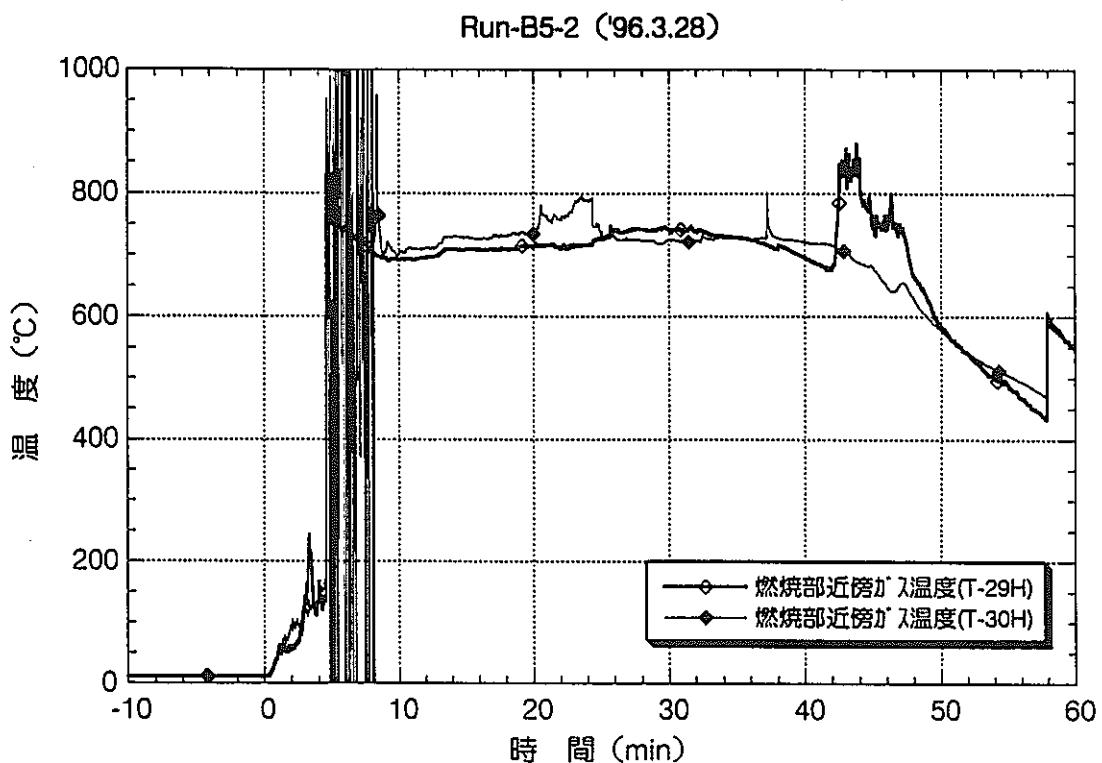
付図4-5.3 SOFT-1 Run-B5-2実験データ（ナトリウム供給系-③）



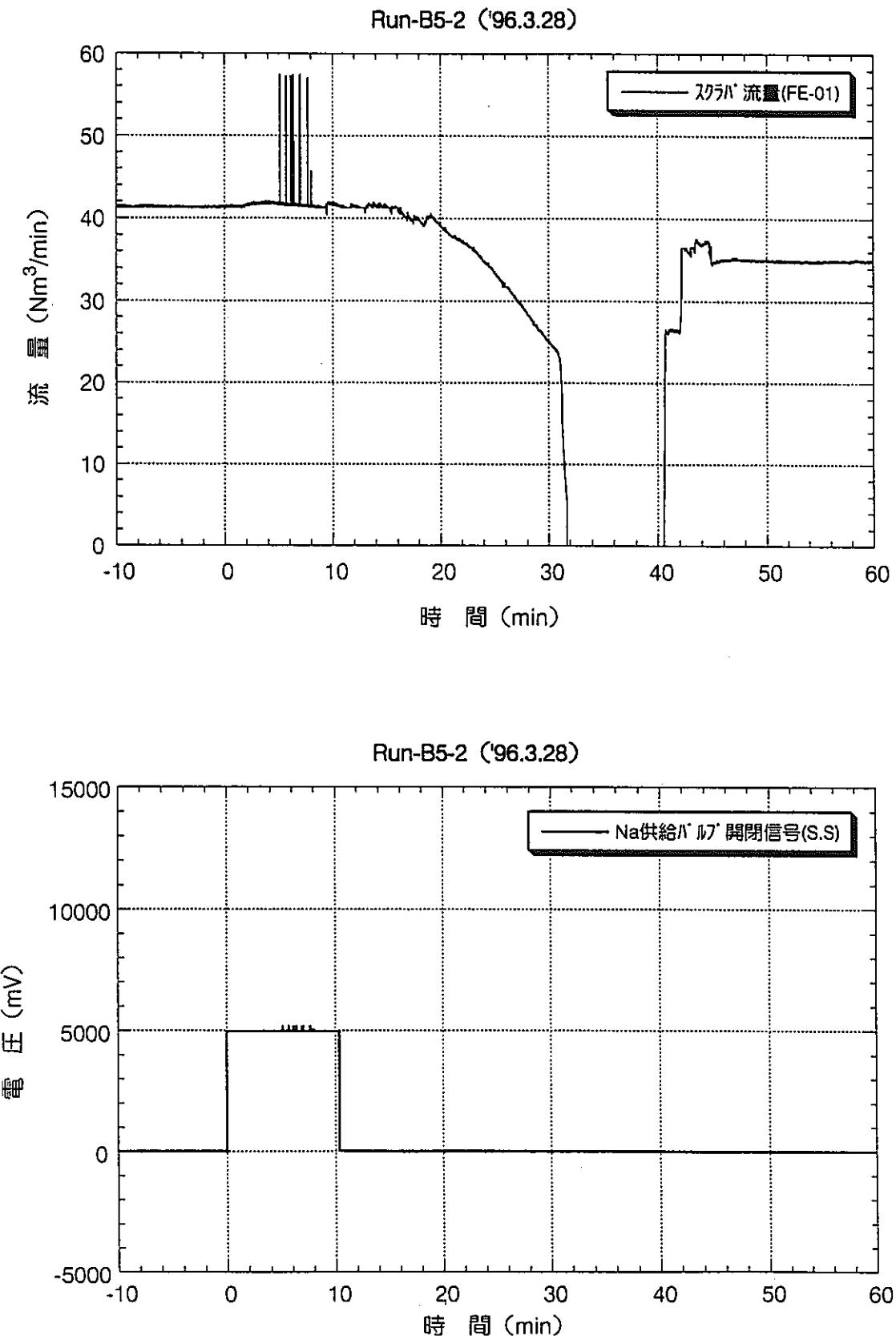
付図4-6.1 SOFT-1 Run-B5-2実験データ（試験セル内部）



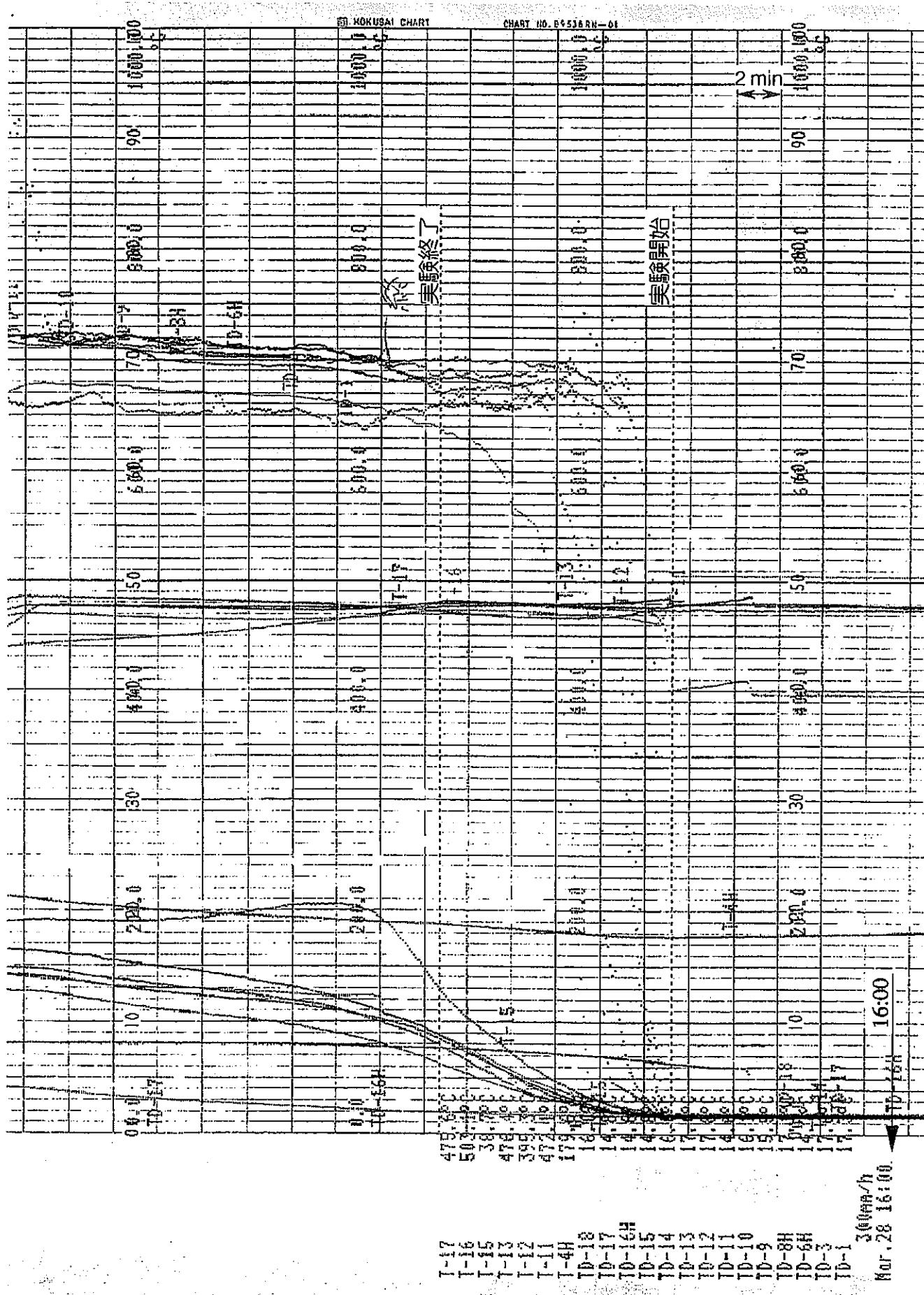
付図4-6.2 SOFT-1 Run-B5-2実験データ（試験セル内部-②）



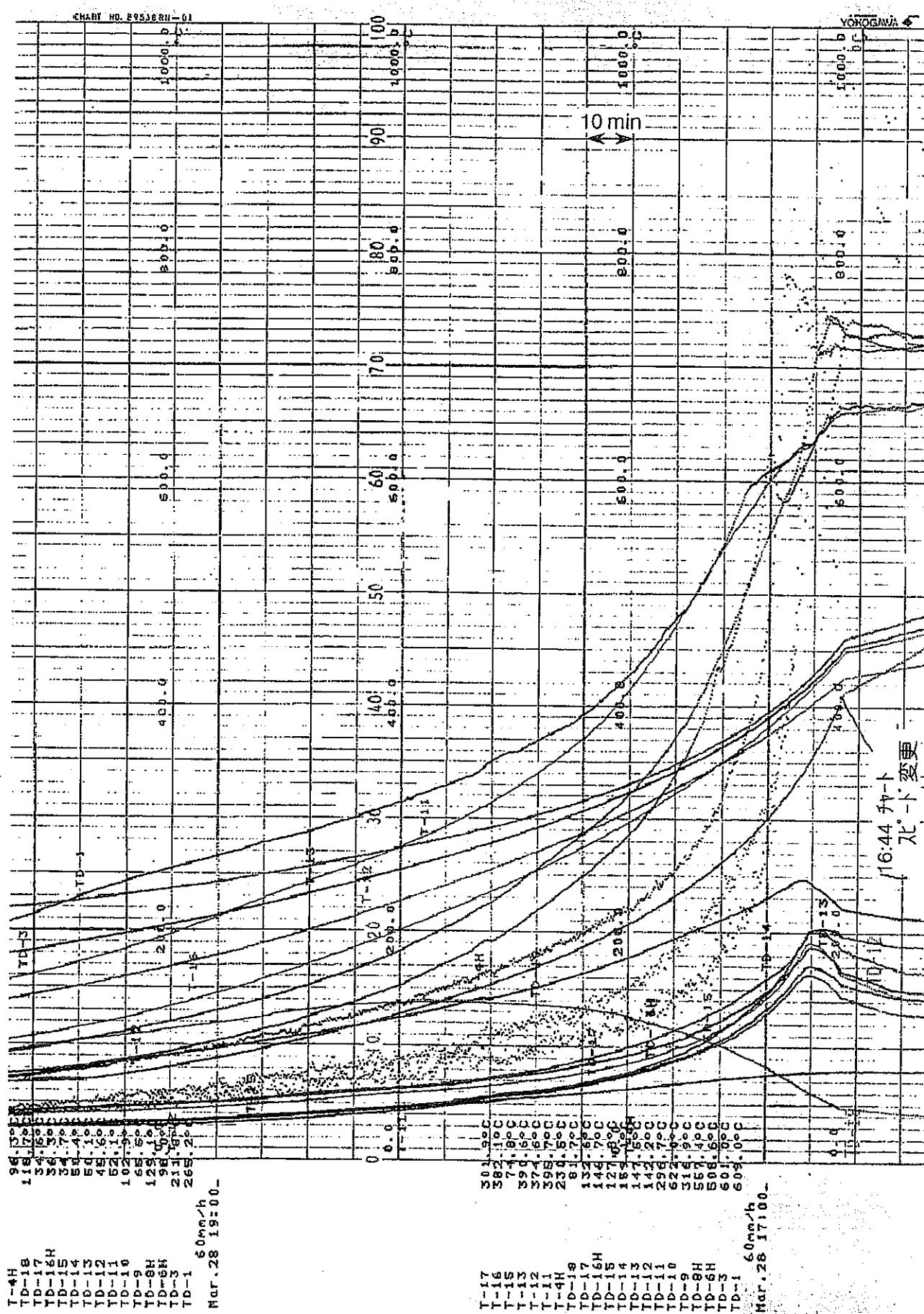
付図4-6.3 SOFT-1 Run-B5-2実験データ（試験セル内部-③）



付図4-7.1 SOFT-1 Run-B5-2実験データ（スクラバ流量、他）



付図4-8.1 SOFT-1 Run-B5-2実験データ（ハイブリットレコーダ -①）



付図4-8.2 SOFT-1 Run-B5-2実験データ（ハイブリットレコーダ -②）