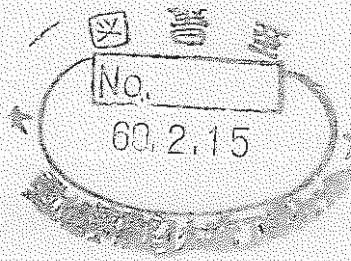


ナトリウム火災防護設備基礎試験



1984年8月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
T	N941 84-124
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

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

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

1984年8月

ナトリウム火災防護設備基礎試験

川部 隆平*

姫野 嘉昭*

藤枝 平*

奥村 泰伸**

佐藤 稔*

要 旨

ナトリウム漏洩・火災基礎試験装置(SOFT-1)において次に示す3回の試験を行った。

- (1) Run-A1：ナトリウム燃焼現象の把握を目的として180ℓのナトリウムをプール燃焼させ、ナトリウム中の温度変化、燃焼速度等を求めた。
- (2) Run-B1：火災抑制板の性能評価を目的として、燃焼中のナトリウム180ℓをスリットを有する板で覆い、燃焼抑制効果を求めた。
また、連通管の機能およびその健全性を確認するために約530℃まで昇温させたナトリウムを連通管を通してドレンさせる試験を行った。
- (3) Run-B2：ライナ上のナトリウムの燃焼・流動挙動を解明するため、505℃、約180ℓのナトリウムを大きさ1.2m×2.4mで、1/100勾配を有する鋼板上に流出させて、温度変化・残留物重量等を測定した。

*高速炉安全工学部プラント安全工学室 **現：大同特殊鋼株式会社

これらの結果、以下のことが明らかになった。

- (i) ナトリウムを 400℃に加熱した状態で空気に触れさせたところ着火した。
- (ii) ナトリウム表面温度は7分後に約 650℃となり、その後ほぼ一定となった。
- (iii) 火災抑制板上の空気流が強制対流という保守側の条件のもとでも、火災抑制板（開口面積比1%）の在る時の燃焼速度は、開放プールのその約3%に、エアロゾル発生速度は約5%に減少した。
- (iv) 室温の連通管壁へ燃焼ナトリウムをドレンさせた場合の最大熱流束は 1.2×10^6 W/m²であった。
なお、試験後に行ったカラーチェックでは、この時の連通管の管壁にはクラック等は検出されなかった。
- (v) ライナ試験Run-B2では、ナトリウムの供給終了後に、ライナ上に多量の酸化物が残り、これらが燈芯状に作用してナトリウムの燃焼が進み、ライナ温度は、供給ナトリウム温度より138℃高い643℃に達した。この試験の終了後にライナ上に残った酸化物量は単位面積あたり 8.7kg/m²であった。
- (vi) ライナ上でのナトリウムの最高温度、流速、燃焼速度、ライナへの最大熱伝達率は、それぞれ70℃、0.1m/s、5gNa/m²s、1200W/m²℃であった。
- (vii) 連通管に入る固形物量は少なく、供給ナトリウム量の0.14%であった。
- (viii) エアロゾルの最大発生速度は、1.8g Na/m²s（6.48 kgNa/m²hr）、観測された最大エアロゾル濃度は32gNa/m²であった。

Aug.1984

Basic Test on Sodium Fire Protection Systems

Ryuhei Kawabe *

Yoshiaki Himeno *

Taira Fujieda *

Yasunobu Okumura**

Minoru Sato *

Abstract

At Sodium Leak-Fire Basic Test Rig(SOFT-1), three tests were performed, which were :

- (1) Run-A1 : For the aim of understanding the sodium combustion phenomena, 180 ℓ sodium was burnt in an open pool, and temperature transients in sodium was measured and burning rate were determined.
- (2) Run-B1 : For the evaluation of efficiency of fire suppression board, burning sodium was covered by a slitted board and change in burning rate was observed and drain test was performed using 530 °C sodium to confirm the function and integrity of draining pipe.
- (3) Run-B2 : In order to clarify the burning-hydraulic behavior of sodium on liner, 505°C, 180 ℓ sodium was discharged onto 1.2m× 2.4m steel plate with 1/100 gradient, and temperature transients and mass of residuum were measured.

* FBR Safety Engineering Division, Plant Safety Section.

** Present : Daido Special Metals Co. Ltd Nagoya.

Following results were obtained.

- (i) When sodium was heated up to 400°C and exposed to air, the sodium was ignited.
- (ii) The surface temperature reached 650 °C, 7 min. after the ignition and the temperature was almost constant from that.
- (iii) Under a conservative condition where air flowed over the fire suppression board by forced convection, the sodium burning rate and the aerosol generating rate where pool surface were covered by fire suppression board (opening area 1%) was about 3 % and 5% of those in open pool burning respectively.
- (iv) The maximum heat flux to the draining pipe wall reached 1.2×10^6 W/m². Any cracking, however, was not found on the draining pipe wall even by color check.
- (v) In the liner test Run-B2, on the liner there remained large amount of sodium oxide, which worked as wick, and the soaked sodium burned after sodium supplying finished, resulting liner temperature 643 °C which was higher than the supplied sodium temperature. The amount of sodium oxide was 8.7kg/m² on the liner after the test.
- (vi) The maximum temperature, flow velocity and burning rate of sodium on liner and maximum heat transfer coefficient to the liner were 700 °C, 0.1 m/s, 5 g Na/m²s and 1200 W/ m²°C respectively.
- (vii) The entrained solid mass into the draining pipe was 0.14% of supplied sodium.
- (viii) The maximum aerosol generating rate and maximum aerosol concentration observed were 1.8g Na/m²s and 32 g Na/m³.

SOFT-1 試験実施担当者

山田 敏雄 (プラント安全工学室)

佐々木和一 (")

宇佐美正行 (")

渡辺 智夫 (")

川部 浩康 (現 原子炉二課)

川田 耕嗣 (プラント安全工学室)

下山 一仁 (")

目 次

要 旨	1
目 次	6
List of Tables	7
List of Figures	8
1. 緒 言	9
2. 試験装置	10
3. Run-A1 試験	11
3.1 目 的	11
3.2 試験装置	11
3.3 試験手順	11
3.4 試験結果および考察	12
4. Run-B1 試験	15
4.1 目 的	15
4.2 試験装置	15
4.3 試験手順	15
4.4 測定方法	16
4.5 試験結果および考察	16
5. Run-B2 試験	20
5.1 目 的	20
5.2 試験装置	20
5.3 試験手順および試験条件	21
5.4 測定方法	21
5.5 試験結果および考察	22
6. 結 論	28
7. 参考文献	29

List of Tables

Table 1 : Test Cases in SOFT-1

Table 2 : Specifications of SOFT-1 Components

Table 3 : Test Conditions of Run-A1

Table 4 : Sequence of Operation in Run-B1

Table 5 : Test Conditions of Run-B1

Table 6 : Aerosol Generating Rate Determined in Test Run-B1

Table 7 : Distribution of Residual Sodium in the Forms of Metal, Oxide, and Aerosol Deposits
after Test Run-B1

Table 8 : Test Conditions of Run-B2

Table 9 : Distribution of Residual Sodium in the Forms of Metal, Oxide, and Aerosol Deposits
after Test Run-B2.

List of Figures

- Fig. 1 : Schematics of SOFT-1
- Fig. 2 : Structure of Combustion Cell and Combustion Vessel
- Fig. 3 : Combustion Vessel and Thermocouple Position
- Fig. 4 : Temperature Histories during a Sodium Pool Combustion at Run-A1
- Fig. 5 : Vertical Temperature Distribution in Sodium at Run-A1
- Fig. 6 : Correlation of Temperature Fluctuation in sodium Pool at Run-A1
- Fig. 7 : Heat Generation during a sodium Pool Combustion at Run-A1
- Fig. 8 : Oxygen and Hydrogen Concentration in Exhaust Gas at Run-A1
- Fig. 9 : Control of Fire by a Slit Board and a Fire Suppression Board at Run-B1
- Fig.10 : Effect of a Simulated Fire Suppression Floor(Slit Board) at Run-B1
- Fig.11 : Temperature and Heat Flux on Pipe Wall during a Sodium Draining at Run-B1
- Fig.12 : Schematics of Test Rig for Run-B2
- Fig.13 : Liner Model for Run-B2
- Fig.14 : Temperature of Sodium and Liner at Run-B2
- Fig.15 : Heat Flux and Heat Transfer Coefficient on Liner at Run-B2
- Fig.16 : Combustion Heat Generation Rate from Sodium on Liner at Run-B2
- Fig.17 : Aerosol Generation Rate and Aerosol Concentration at Run-B2
- Fig.18 : Width of Sodium Stream on Liner at Run-B2
- Fig.19 : Thickness of Sodium Stream on Liner at Run-B2
- Fig.20 : Model for Calculation of Sodium Thickness on Liner
- Fig.21 : Velocity of Sodium Stream on Liner at Run-B2
- Fig.22 : Amount of Residuum on Liner after Run-B2

1. 緒 言

原型炉“もんじゅ”の二次系が収納される補助建屋では、ナトリウムの大規模な漏洩火災に備えて各種の防護設備が備えられている。すなわち、ナトリウムとコンクリートの接触を防止するためのライナ、漏洩したナトリウムを建屋の最下層の部屋にドレンするための連通管、ドレンされたナトリウムを窒息消化させるための火災抑制板、等がある。しかし、これらの設計は主に文献をもとに行なわれているため、それらの有効性が明らかでない。また実機で使用するには予め実証試験を行なうことが必要である。

プラント安全工学室では、これらナトリウム漏洩火災関係の研究を新たに展開するために、大規模ナトリウム漏洩火災試験計画を進めており、昭和59年度の試験建屋の完成を待ってこの計画の本格的な試験が開始される。一方、この大規模試験に先立って、ナトリウムの燃焼現象の把握、火災防護設備機能の部分的確認および大規模試験のための試験技術確立を目的とした基礎試験装置(SOFT-1)を建設し、昭和58年から試験を開始した。これまでにTable 1 に示すような3回の試験を行なったが、本報告ではこれらの試験結果について述べる。

2. 試験装置

ナトリウム火災基礎試験装置SOFT-1はFig. 1に示すように、燃焼炉箱、連通管、試験セル、スクラバなどから成り、これらは、それぞれ以下に示す機能を有する。また各機器の概略仕様をTable. 2に示す。

(1) 燃焼炉箱 (Combustion Cell)

-----内部でナトリウムを燃焼させるとともに、燃焼によって漏洩時の燃焼ナトリウムを生成させる。

(2) 連通管(Draining Pipe)

-----実機の漏洩ナトリウムのドレン配管である連通管を模擬したもので、これによって燃焼炉箱から次の試験セルにナトリウムをドレンする。

(3) 試験セル (Test Cell)

-----内部にライナ等火災防護設備を置き、これに外部からナトリウムを供給して火災防護設備の機能を試験する。

(4) スクラバ

-----燃焼炉箱および試験セルからの排気ガスをこれに吸引し、ナトリウムエアロゾルを洗浄除去する。

3. Run-A1 試験

3.1 目的

Run-A1試験では、以下の項目を目的として試験した。

- (a) ナトリウム燃焼現象の定性的な把握 (ナトリウム温度と表面状態, 燃焼終息時間)
- (b) ナトリウム燃焼熱の概略の測定
- (c) エアロゾル発生速度の概略の測定
- (d) 残ナトリウム処理技術の蓄積 (残エアロゾル, 残ナトリウムの取扱法)
- (e) 試験および測定技術の蓄積

ただ、この試験では、スクラバが予期した性能を発揮せず、このため、15分で試験を中止した。このため、上記の目標のうち、エアロゾル発生速度と燃焼終息時間は測定できなかった。この試験では、ナトリウム中および装置各部の温度変化が詳細に測定できたため、ここでは、これに重点をおいて考察を加える。

3.2 試験装置

Run-A1試験では、Fig.2 に示すように燃焼炉箱内の燃焼容器にナトリウムを入れ、ここでプール燃焼を起こさせた。燃焼炉箱は、スクラバの下流側に設けられたブロワによって空気が強制流入されており、3方の側壁に設けたダンパ付窓から空気を吸い込み、他の側壁に設けた排気ダクトから排出した。燃焼容器はFig.3に示すように、直径800mmの円筒形容器で、底部には、内部の全ナトリウムがドレンできるようにテーパがつけられている。容器中央には多数の熱電対が取付けてあり、これらでナトリウム中の高さ方向の温度分布を測定することができる。燃焼容器には上下動可能なフタが取り付けられており、ナトリウムを所定の温度に予熱するまで、このフタを閉じておき酸化を防止するようになっている。

3.3 試験手順

試験は次の手順で行った。まず、約180 lのナトリウム入りの燃焼容器を予熱ヒーターによって400℃に昇温した。次に、スクラバ、ブロワを起動し、ダンパの開度を調節して、燃焼炉箱への吸入空気流量を20 m³/minになるよう調節した。この状態で、データ収録装置を起動し、燃焼容器の遠隔操作で上げて開き、ナトリウムの燃焼を開始した。当初の予定ではナトリウムが燃焼しつくすまでこの状態を維持することになっていた。しかし、スクラバが予期した性能を発揮せず、エアロゾ

ルが大気に大量に放出されたために、試験開始後（フタ開放後）8分で燃焼炉箱吸気ダンパを全閉にし、更に15分後にはフタを降下させ実験を中止した。

試験開始時の条件、および試験中の空気流量をTable 3に示す。

3.4 試験結果および考察

3.4.1 ナトリウム中の温度変化

燃焼容器中心軸上の温度変化をFig.4に示す。Fig.3から明らかなように、TN-7は、ナトリウム液面直上の気相温度である。燃焼抑制板を開いた後は、この温度が一時わずかに低下しているが、その後は、ナトリウムの燃焼による熱で上昇し、最高950℃に達している。また、8分（480秒）後は、燃焼炉箱の空気吸入ダンパーを閉じたことによって、温度の「ゆらぎ」が小さくなっている。ここで、初期にTN-7の温度が低下し、その後上昇した理由は、ナトリウム表面の酸化によって酸化物が生じ、これが芯となって燃焼が始まるため、着火が抑制板の開放よりも遅れたためであると考えられる。

TN-8は、液面直下のナトリウム中温度であり、燃焼抑制板を開放した後、上昇し、650℃でほぼ定常となる。TN-13,15,21は液面下50～140mmのナトリウム中温度であり、液面で生じた熱が伝わってくることにより、これらの部分の温度は全体的にゆるやかに上昇し、燃焼開始約1分後から細かい振動を生じている。

TN-25は燃焼容器壁外側の温度であり、TN-21とはほぼ同じ高さにある。この温度は、TN-21と比較するとわかるように、同様な温度変化を示し、ナトリウム中では水平方向に温度が一様であることがわかる。

ここで、ナトリウムの燃焼面からナトリウム中への熱輸送がナトリウムの熱伝導によるものだけか否かを調べるために、ナトリウム中の上下方向温度分布について、熱伝導方程式を解いた結果と、測定結果との比較を行った。熱伝導方程式は高さ方向一次元のものと考えると、以下のようになる。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

ここで、境界条件としてTN-11, TN-24(Fig.3参照)の測定値を、温度伝導率aとして500℃のナトリウムの物性値 ($6.194 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$) を使用し、(1)式を数値計算で解いてFig.5の結果を得た。この図には測定値もあわせて示してある。同図に示すように、試験開始後3分以降については計算値の方が温度勾配が小さい。よって、試験では静止ナトリウム中の熱伝導現象よりも熱の伝わり方の遅いことがわかる。この原因はまだ明確ではないが、ナトリウム中に酸化物が存在し

熱伝導をさまたげていることなどが考えられる。

Fig.4 に示すように、ナトリウム中の温度T-13, -15, -21 (Fig.3参照) はかなり規則的な振動を示している。この原因としては温度勾配のある場でナトリウムが脈動しているものと考えられることができるが、脈動の原因は不明である。各熱電対出力間の相互相関をとると、Fig.6が得られる。これは時刻100秒～300秒の測定値からトレンドを引き、相関を求めたものである。これらの図では下側の熱電対出力の振動の位相は上側のそれよりも遅れている。このことからナトリウムの脈動は上方(液面)から伝わって来ているものと想像される。相関のピーク位置、すなわち位相の遅れ幅と熱電対位置の関係から、脈動の伝播速度を計算すると3.3～4.0 cm/sとなる。

3.4.2 燃焼生成熱

ナトリウム中温度の測定値を用いると、ナトリウム中へ伝わった熱量を計算することができる。すなわちある時刻tにおけるプール中への熱流束 Q_p は、 ρ_{Na} , C_p , λ をナトリウムの密度、比熱、熱伝導率とすると、

$$Q_p \Big|_{x=x_1}^{x=x_2} = \int_{x_1}^{x_2} \rho_{Na} C_p \frac{dT}{dx} dx - \lambda \frac{dT}{dx} \Big|_{x=x_2} \quad (2)$$

となる。 x_1 をナトリウム中最上部の熱電対(TN-8)位置、 x_2 を最下部の熱電対(TN-24)位置とし、各熱電対位置で差分化し、測定値を代入すると、(2)式から、 Q_p を計算することができる。

一方、気相側に伝わった熱は排気ガスの昇温と燃焼炉箱の温度上昇となって現われる。排気ガスに伝わった熱 Q_g は排気ガス温度測定値を用いて(3)式から計算する。

$$Q_g = \rho_g C_{pg} (T_{ex} - T_{in}) \frac{1}{S} \quad (3)$$

ここで、 W : 流量、 S : プール表面積、 T_{ex} : 排気ガス温度、 T_{in} : 室温、 ρ_g , C_{pg} : 空気の密度、比熱である。

炉箱壁に伝わった熱 Q_m は壁温測定値から(4)式を用いて計算する。

$$Q_m = C_{pm} \rho_m d_m \frac{dT}{dt} \frac{S_m}{S} \quad (4)$$

(ここで、 C_{pm} , ρ_m , d_m , S_m は壁の比熱、密度、厚み、表面積)

(2)式、(3)式、(4)式および各測定値からそれぞれ Q_p , Q_g , Q_m を求め、それらの和をとると、全発熱量を得るがその結果をFig.7に示す。また発熱量からは燃焼速度を計算することができるので、その値を同図右側縦軸に示してある。ただし、ここでは燃焼反応を



と仮定している。

3.4.3 酸素および水素濃度

試験中および試験前後の酸素および水素濃度測定値を Fig.8に示す。測定に用いたガスクロマトグラフのサンプリング系がきわめて大きな遅れ時間を持っているため、サンプリング頻度が約20分に1回と少ない。

試験中のサンプリングは10時37分の1回だけであるが、試験直後の測定（10時48分）における酸素、水素濃度が試験前と異なっていることから燃焼中の排気ガスの濃度が遅れて測定されたものと判断される。水素は湿分とナトリウムの反応によって生じるが、最大でも15ppm程度であり、可燃限界～6%と比べてはるかに低い。

4. Run-B1 試験

4.1 目的

Run-B1では、以下の項目を目的とした。

- (1) 火災抑制板の性能評価
- (2) 連通管のナトリウムドレン時の概略挙動の把握とその健全性の確認
- (3) 貯留タンクの性能評価
- (4) ナトリウム燃焼現象の把握
- (5) 試験および測定技術の蓄積

試験は予定どおり進められ、当初の目的はほぼ達成された。

4.2 試験装置

Run-B1試験では、燃焼炉箱内の燃焼容器にナトリウムを入れ、これを強制空気対流下で燃焼させ、高温になったナトリウムを連通管を通じて試験セル内の貯留タンクを模擬したドラム缶へドレンした。燃焼容器のフタは、燃焼抑制板とスリット板の二重構造となっており、これをFig.9に示すように上下させて、全開の場合、スリット板だけがある場合、全閉の場合の各燃焼状態が実現できるようにになっている。スリットの大きさは約8mm幅、300mm長さのもの2ヶ（間隔500mm）で、総面積は4789mm²であり、ナトリウム面積に対する比は火災抑制板実機（現設計）に近い0.96%である。

連通管は、Fig. 1に示すように水平部（勾配5.6/100）と垂直部から成っている。連通管材質は炭素鋼（STPG38）で、管径は3B（Sch20）である。

なお、スクラバーは試験Run-A1の経験をもとに、試験前に大幅な改造をおこないエアロゾル捕集効率を向上させてある。

4.3 試験手順

試験手順と操作時刻をTable 4に示す。まず、燃焼容器にナトリウムをチャージし、これを電気ヒータで加熱昇温した。所定の温度400℃になった所でヒータを切り、データ集録装置、スクラバを起動し、燃焼抑制板およびスリット板を引き上げた。この操作後にナトリウムの燃焼が始まり、ナトリウム温度も上昇する。所定の温度（燃焼容器ほぼ中央の熱電対 TN-22が550℃；熱電対位置はFig.3参照）になった所でスリット板をおろし、スリット板の燃焼抑制効果を調べた。燃焼速度が下がると、放熱によりナトリウム温度はしだいに低下していく。所定の温度（TN-22が500℃）

にまで下がった時に再びスリット板を上げて着火させ、ナトリウムを昇温した。所定の温度（TN-22が530℃）になった所でドレン弁を開き、連通管を通してナトリウムをドレンする連通管試験を行った。ドレン弁を開いて30分後に燃焼抑制板をおろして燃焼容器に残ったナトリウムの燃焼を鎮火し、燃焼容器、連通管、貯留タンクの自然冷却を待った。

なお、試験開始時の条件を Table 5に示す。

4.4 測定方法

燃焼容器内におけるナトリウムの燃焼速度を求めるため、Run-A1と同様ナトリウムの温度、循環空気の温度・流量、燃焼炉箱の温度を測定し、これらから燃焼発熱量を計算した。

連通管には、管の外壁温度を測るための熱電対が、ナトリウムのドレン方向に沿った5箇所に、また各箇所毎には90°方向に4ヶ所の、計20本設置してある。

この他、試験前後の貯留タンクの重量を測定してドレン量を求め、試験後、燃焼容器・連通管を洗浄し、その前後の重量差から残留物・付着物の量を求めた。またスクラバー洗浄水を滴定し、エアロゾル捕獲量を求めた。

4.5 試験結果および考察

4.5.1 火災抑制板の燃焼抑制効果

測定結果をもとに計算で得た燃焼発熱量をFig.10に示す。グラフの右側縦軸には、Run-A1のFig.7と同様に、(5)式の燃焼反応を仮定して発熱量からナトリウム燃焼速度に換算して示してある。温度データ等からの発熱量計算法はRun-A1と同様である。

スリット板を降した前後の燃焼発熱量の比較から、スリット板がある場合の燃焼速度は開放の場合の約3%に抑えられることがわかる。ここでは、この結果と、SOFIRE¹⁾コードの2セルモデルに使用されている物質伝達式からの計算値との比較を以下に行う。

SOFIREの2セルモデルでは2つのセルの間の物質伝達に(6)式で表わされるBrownの実験式²⁾を用いている。

$$Sh = 0.0546 Gr^{0.55} Sc(L/H)^{1/3} \quad (6)$$

ここで、Sh, Gr はそれぞれシャーウッド数、グラスホフ数であり、代表長さは2つのセルをつなぐ流路の長さHである。Grの実験範囲は

$$3 \times 10^4 < Gr < 4 \times 10^7$$

であり、流路の長さHと幅Lの比の実験範囲は

$$0.0825 < H/L < 0.66$$

であった。また、この実験は、2つのセルとも自然対流という条件で行われたものである。

ところで、今回の試験では、 H/L は上記の Brownの実験式の有効範囲にあるが、 Gr は、後述するように 619であり Brownの実験式の有効範囲と比べて著しく小さい。またスリット板の上側の流れが自然対流ではなく強制対流場と言う違いもある。このため、(6)式を用いた計算値はあくまでも参考値に過ぎないが、以下にその値を求める。

グラスホフ数の定義式に今回の試験条件を代入すると次の値になる。

$$Gr = H^3 g \beta \Delta \theta / \nu^2 = 619 \quad (7)$$

ここで

$$H = 5 \times 10^{-3} \text{m (スリット板厚)}$$

またシュミット数 $Sc = 1$ とすると、Brownの実験式により

$$Sh = 2.19$$

ここで

$$L = 8 \times 10^{-3} \text{m (スリット幅)}$$

これより、物質伝達率 h_D は、 D を拡散係数として

$$h_D = ShD/H = 18.7 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

となる。スリット上側の酸素濃度を 20 Vol%，下側を 0% とすると、スリットを通過する酸素量は、スリット面積と物質伝達率を用いて

$$Sh \times h_D \times (0.2 - 0.0) \times \rho_{O_2} = 2.4 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$$

となり、ナトリウム燃焼量に換算すると、ナトリウム燃焼反応が Na_2O_2 の生成を伴う(5)式に従うとした場合は次のようになる。

$$2.4 \times 10^{-5} \times \frac{46}{32} \times \frac{1}{S} = 6.9 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^2\text{s} = 0.069 \text{ g/m}^2\text{s}$$

ただし、ナトリウム燃焼反応が Na_2O の生成を伴う(8)式に従うとした場合は、この2倍、 $0.138 \text{ g/m}^2\text{s}$ となる。

これらの値は今回の試験における実測値の $1/2 \sim 1/4$ である。



4.5.2 連通管の管壁熱伝達

連通管壁材への熱衝撃の程度を知るため次の方法で壁の実測外側温度から管壁内側での熱流束

を算出した。

壁の外側を断熱と仮定すると、境界条件として、内側温度を与えると、熱伝導方程式を解くことで、外側温度を決めることができる。差分式で表示すると、これは(9)式で表わされる。

$$\begin{pmatrix} \text{外 側} \\ \text{温 度} \\ b_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{応} & 0 \\ \text{答} & \backslash \\ a_{i,j} & \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{内 側} \\ \text{温 度} \\ x_j \end{pmatrix} \quad (9)$$

ここで b_i は外側温度の時系列データ（初期値からの変動分）、 x_j は内側温度の時系列データの階差（変化分）、 $a_{i,j}$ が応答行列である。 $a_{i,j}$ は熱伝導方程式を解くことで得られるため、 b_i に測定値を代入し、 x_j を未知数とした連立方程式を解けば内壁温度 x_j が求まる。ただし、この時 $i_{\max} > j_{\max}$ でないと解が不安定となるために未知数の数を方程式の数より少なくしておき、各式の残差の自乗和を最小とするよう x_j を決める。このようにして内面の温度変化がわかると、熱流束も計算できる。すなわち、内面温度がステップ状に変化した時の熱流束変化 ϕ_i を求めておき、これと計算された温度変化 x_j のたたみ込み積分を作ればよい。こうして求めた熱流束の一例を壁外側温度の測定結果と併せてFig.11に示す。これは熱流束が最大となった連通管下部におけるデータであるが、このように $1.2 \times 10^6 \text{ W/m}^2$ という大きな値を示す。この時の管内ナトリウム流速は、ドレンタンクの液位上昇から計算でき7.9 m/sであった。

試験前後に、管外径、管の曲がり測定したが大きな塑性変形は見い出されなかった。また試験後、連通管のカラーチェックを行なったが異常は検出されなかった。

4.5.3 スクラバ捕獲ナトリウム量

スクラバ洗浄水のナトリウム捕獲量からエアロゾル発生量を計算した。スリット板の無い場合の捕獲量は0.98 g/sであり、スリット板の有る場合（スリット板で燃焼容器がふたをされている場合）の捕獲量は0.052g/sであった。これらの数値より、スリット板によるエアロゾル発生抑制効果は約1/20（開放プール面の約5%）となる。

また、次のRun-B2試験でスクラバの効率0.96を得たが、この効率から空気流量、燃焼速度をもとにエアロゾル濃度・発生率のそれぞれの計算を行うと、Table 6 のようになる。

4.5.4 残留ナトリウム量

試験終了後、装置各部の残留ナトリウム量と酸化ナトリウム量を重量測定と滴定によって求めた。測定結果をTable 7に示す。これらの合計はチャージ量162.3 kgよりも多くなるが、これは

反応生成物中の酸素が加わったためである。

燃焼容器内には底に40～90mmにわたって、酸化物がドレンされずに残っていた。また連通管内は水平部（約3 m）に2.1 kgの金属ナトリウムが残留していた。これらの原因は、連通管の垂直部（長さ約6 m）の熱膨張により、エルボ部が上方に変位（実測値によれば最大33mm）し、水平部の勾配が逆転したことによる。

5. Run-B2 試験

5.1 目的

Run-B2試験では、ライナ上での漏洩ナトリウムの挙動に注目しており、以下の項目を求めることを目的とした。

- (i) ライナ上を流下するナトリウムの流速、厚み、幅
- (ii) ライナ上を流下するナトリウムの燃焼速度
- (iii) ナトリウム・ライナ間の熱伝達率
- (iv) ドレン後ライナ上に残るナトリウム量
- (v) 連通管入口での固形物量
- (vi) エアロゾル発生量
- (vii) スクラバ性能

試験は予定どおり進められ、当初の目的はほぼ達成された。

5.2 試験装置

Run-B2に用いた装置の概略図をFig.12に示す。この試験では、試験セル内に設置した模擬ライナ上に外部からナトリウムを注ぎ、この時のナトリウムとライナの温度変化および試験後の残留ナトリウム量等を求めた。

(i) ライナ構造

ライナは厚さ8mmの炭素鋼(SS41)で製作されており、幅、長さはFig.13に示すようにそれぞれ1.219m、2.438mである。ライナは現設計を反映させて1/100の勾配にしてあり、上流側にはナトリウム供給ノズルが設けてあり、下流側にはドレンのための連通管が設置してある。縁にはオーバーフロー止が設けてあり、下流側では、これが120°の角度で狭められ、ナトリウムがドレンされ易くなっている。供給ノズルから連通管までの有効長は2.3m、オーバーフロー止内の有効ライナ面積は2.75m²である。

(ii) ナトリウム供給ノズル

今回の試験では、配管からのナトリウム漏洩は模擬せず、スプレイ燃焼を生じないように、ナトリウムをライナ上に水平でおだやかに流出させるようにした。ノズルの形状は幅200mm、高さ10mmであり、これは、ノズルでのナトリウムの幅、流速が、予想されたライナ上でのナトリウム流下幅、流速とほぼ一値するように選んだものである。

(iii) ナトリウム供給ノズル

ナトリウム供給タンクは、内径 500mm、高さ1,110 mmの円筒容器で、内容積はカバーガス部を含めて約 218ℓである。

(iv) ドレンタンクおよびメッシュタンク

ライナからドレンされたナトリウムは、下方のドレンタンクに溜められる。ドレンタンクの入口ノズルは、ドレン管内の空気の循環をなるべく早くなくするよう底から244 mmまでの高さに導いてある。また、ライナから連通管に入る固形物の量を知るために、ドレン管の入口にメッシュを設け、試験後このメッシュにトラップされた固形物の重量を測定した。

5.3 試験手順および試験条件

スクラバ、データ集録システムを起動した状態で、あらかじめナトリウム供給タンク内で昇温したナトリウムを、ナトリウム弁を開くことでノズルを通じてライナ上に流出させた。このときナトリウム供給タンクのカバーガス圧をあらかじめ定めた値に調節することにより、流出速度が一定になるようにした。ナトリウムが全て流出した後、ナトリウム配管にカバーガスが巻き込まれたのを確認して弁を閉じた。その後、ナトリウムがドレンされ、ライナ上に残ったナトリウムの燃焼が鎮火し、温度が下がるのを待ってデータ集録を停止した。

ナトリウム流量、空気流量等試験条件を Table 8 に示す。

5.4 測定方法

この試験ではライナ上のナトリウム温度、液位、ライナ、温度、エアロゾル濃度、および排気ガス温度、試験セル壁温度を測定した。ナトリウム温度は、ライナ表面から高さ 4 mmの位置に設けた熱電対で、またライナ温度は裏面に直接つけた熱電対で測定した。これらの温度データから、ライナへの熱流束、熱伝達率および、全発熱量を算出した。また接近した2点のナトリウム温度のゆらぎの相関をとり、そのピーク位置のずれからナトリウム流速を計算した。

エアロゾル濃度はガスサンプリングにより求めた。すなわち、サンプリングラインに設けた焼結金属フィルタに 1 ℓのガスを吸引し、その時に捕集されたナトリウム量からエアロゾル濃度を計算した。また、Run-B1と同様、スクラバ洗浄水中のナトリウム濃度から、スクラバによるエアロゾル捕集量を求めた。

ナトリウム液位はライナ上の流動挙動を知るためのもので、ナトリウムの厚みおよび流下幅がわかるよう、多数の接点式液面計を設置した。

5.5 試験結果および考察

5.5.1 ナトリウムおよびライナの温度

Fig.14に、ナトリウム供給ノズルから 400mmおよび 2,000mmの位置におけるナトリウムおよびライナ裏面の温度変化を示す。ノズルに近い 400mmでのナトリウム温度は、ナトリウムが供給されている間は、供給ナトリウムとほぼ同じ温度である約 500℃を示し、ナトリウムの供給が停止した後は、燃焼熱による温度上昇を示す。一方、ノズルから 2,000mm離れた位置のナトリウム温度は、ライナを流下する間にライナに熱を奪われるため、ゆるやかに上昇していく。ただ、この試験では、定常に達する前にナトリウム供給が終わっている。ナトリウムの供給終了後は、ライナ表面ではナトリウム酸化物を芯とした燃焼が続き、このためナトリウム温度は 700℃程度にまで上昇する。ノズルから 2,000mmの位置では最高 800℃にまでなっているが、これは 600秒以後の温度の上がり方が急なこと、ライナ裏面温度が上昇していないことなどから、ここのデータはナトリウム液面より上に位置している火炎の温度を示しているものと推定する。ライナ上に残ったナトリウムの燃焼はおよそ10分ほど続き、その後放熱によりしだいにライナ温度は低下していく。

ライナ裏面の温度は、ナトリウム温度に追従して上昇し、600℃以上（測定された最高値は643℃）になる。ナトリウム温度が放熱により下がり、ライナ温度より低くなると、ライナ温度も下がり始める。

5.5.2 ライナへの熱伝達率

ライナ裏面の温度変化データを整理すると、ライナ表面の温度と熱流束が得られる。計算法は、Run-B1試験の連通管の管壁熱流束を求めた方法と同様で、ここでは略す。得られた熱流束とその変化を、ノズルから 400mm、2,000mmの位置について、Fig.15に示す。計算された表面温度は、裏面温度測定値よりわずかに早く温度変化しているだけでほとんど変わらない。計算された熱流束、表面温度と、測定されたナトリウム温度を用いて、熱伝達率が定まる。これを同じくFig.15に示す。

熱伝達率はナトリウム供給初期には 500~1200W/m²℃と大きな値を示すが、時間が経つにしたがって低下し、ナトリウム供給の終了する 180秒では 250~300 W/m²℃となる。これは燃焼が進むにしたがってNa酸化物が沈殿し、熱伝導がさまたげられたのが原因と考える。

5.5.3 燃焼速度

ライナ上での燃焼速度を求めるため次の方法で発熱量を計算した。燃焼熱は、ライナの温度上昇、試験セル壁の温度上昇、排気ガスの温度上昇、試験セル壁から外部への熱損失となる。この

うち、ライナおよび試験セル壁の温度上昇分は、各部の温度測定値の時間変化割合と、熱容量の積をとって求めた。

排気ガスへの伝熱量は、セル出口ガス温度と入口温度との差と空気流量、密度、比熱から計算した。一方、試験セル壁から外部への熱損失量は直接測定していないため、次の自然対流熱伝達式^{3) 4)}を用いて計算した。

$$\text{垂直壁} \quad Nu=0.0214(Gr \cdot Pr)^{2/5} \quad (10)$$

$$\text{天井} \quad Nu=0.14(Gr \cdot Pr)^{1/3} \quad (11)$$

試験中は壁の温度分布が一様でなく、また壁面には補強のためのリブ等があるため、厳密にはこれらの式をそのまま使用できない。しかし、この損失熱量の全発熱量に占める割合は、後述のように、あまり大きくないので問題はない。

Fig.16に全発熱量の計算結果を示す。ライナ上にナトリウムが供給されている間は、ナトリウムの顕熱が供給されているわけであり、これがライナへの伝熱量となって現われるので、前記の燃焼熱計算法は成立しない。したがってナトリウムを供給している180秒以前のライナへの伝熱量は計算していない。

計算結果によれば最大発熱量は150 kWで、ナトリウム供給停止10分後にも60kW程度の発熱がある。その後は発熱量は小さくなっているが、計算誤差等のため完全には0とにならない。

発熱量から燃焼速度を計算すると最大5 g Na/m²s(18kgNa/m²hr)となり、Run-A1,B1で測定された値9 g Na/m²sよりかなり小さい。

この原因としてはRun-A1,B1では、プール状のナトリウムが燃焼するのに対して、本試験の180秒以後は酸化物を芯とした燃焼となっていること、またライナ上全域が同じ燃焼率となっているのではなく、部分的に低燃焼速度となっている所があることなどが考えられる。

5.5.4 エアロゾル濃度

Fig.17に、排気ダクトからガスをサンプリングして求めたエアロゾル濃度と、スクラバ洗浄水をサンプリング・滴定してもとめたエアロゾル捕集量を示す。同図に示すように、エアロゾル濃度は32gNa/m³の高濃度に達している。スクラバによるエアロゾル捕集量は、スクラバ捕集効率等を考慮してライナ単位面積当たりのエアロゾル発生量に換算して示したが、空気流量がほぼ一定であるため、エアロゾル濃度の変化がガスおよび洗浄水の輸送遅れ時間だけ遅れて現われた形となっている。

5.5.5 ナトリウムの流れ状況および流速

Fig.18にナトリウム流れ幅測定用液面計のon信号発生時刻をプロットしたものを示す。縦軸に

液面計の幅方向位置を、横軸にon信号発生時刻を示す。この図から分かるようにナトリウムが到達した時にはナトリウムの流れ幅は 300mm程度であるが、その後10~20秒経過すると幅 600mm以上に広がっている。

Fig.19に深さ用液面計のon信号発生時刻を示す。縦軸に液面計接点の高さを、横軸にon信号発生時刻を示す。同図に示すようにナトリウムが到達した時のナトリウムの厚みは8~10mmであるが、その後12mm以上の厚みとなる。

重力によりナトリウムが横に拡がろうとする力と、表面張力とが釣り合っているとするとFig. 20のように (接触角 = 0°) 次の(11)式が成立する。

$$2\sigma = \int_0^l \rho gh dh = \frac{1}{2} \rho gl^2 \quad (12)$$

500℃の物性値を代入すると ($\rho = 832\text{kg/m}^3$, $\sigma = 0.157\text{N/m}$)

$$l = \sqrt{\frac{4\sigma}{\rho g}} = 8.77 \times 10^{-3}\text{m}$$

となり、初期の液深とほぼ一致する。

後に液深が大きくなったのは、下部に酸化物が沈澱したか、もしくはナトリウムの先端部の下部がライナに熱を奪われ凝固したのが原因と考える。

Fig.18,19 からナトリウムのフロントは、約0.2m/sの速度で移動していたことがわかる。

2つの熱電対出力の相関のピーク位置から流速を計算した結果をFig.21に示す。これはノズルから約 400mmの位置にある熱電対TL-3とTL-5およびTL-5とTL-6 (それぞれ熱電対間距離は25mm) の測定結果をもとに計算したものである。2種のプロットは、TL-5とTL-6の組み合わせの方がやや大きめに流速を算出しているが、両方とも比較的よく一致している。この計算結果では、ナトリウム供給の初期は~0.26m/s と高流速で、50秒以降0.1m/sとほぼ一定となっているが、この流速の低下は燃焼が進むにつれて酸化物がライナ表面に沈着し、流れの抵抗となったのが原因と考える。

5.5.6 残留ナトリウム量

試験が終了した後で、各部に残ったナトリウム量を測定した。この結果をTable 9にしめす。このうちエアロゾルに関する量は滴定によって決定したためにナトリウムだけの量となっており、他の量は重量を測定したため酸化物の重量も含んでいる。

ライナ上にはドレンされなかった酸化物が23.75 kg残されており、これは供給されたナトリウ

ムの14.7%にあたる。この酸化物の長さ方向の分布はFig.22に示すとおりで、ほぼ一様に分布している。

連通管入口に設けたメッシュにトラップされた酸化物の量は、4層のメッシュで計210gとわずかに供給ナトリウムの0.14%であった。これらの酸化物も、形状から判断して(第3層5メッシュの所にトラップされた酸化物の大きさは第2層メッシュ孔より大きい)固形物がトラップされたものではなく、表面張力でメッシュに付着していたものが試験後に酸化したものとする。

エアロゾルとなったナトリウムは総計3.09kgであった。これを燃焼したナトリウムと比較すると次のようになる。燃焼したナトリウムはエアロゾルになったものを除くとすべてライナ上に沈着したとする。またライナ上に沈着したものは Na_2O_2 になっているものとする、燃焼したナトリウム量はエアロゾル分を加えて

$$23.75 \times \frac{23}{23+16} + 3.09 = 17\text{kg}$$

となる。総燃焼ナトリウム量に対するエアロゾル分の比は

$$3.09/17 = 18.2\%$$

となり、これまでに得られたデータに近い値となる。

スクラバで捕集されたエアロゾル量からスクラバ効率が計算できる。総合効率は99.6%であり、95.7%は水洗浄塔内のメッシュにトラップされることがわかった。

6. 結 論

SOFT-1試験装置を用い、ナトリウムの燃焼現象の把握、火災防護設備の機能確認を目的として3回の試験を行ない次の結果を得た。

(1) Run-A1試験により判明した事項

- (i) ナトリウムを 400℃に加熱して、燃焼抑制板を開けて空気に触れさせたところ着火した。
- (ii) ナトリウム表面温度は7分後に約 650℃となり、その後ほぼ一定となった。
- (iii) 燃焼発生熱量は90~150 kW/m² であり、これは燃焼反応生成物をNa₂O₂ と仮定すると、8~14 g Na/m²sの燃焼速度に相当する。
- (iv) ナトリウム中への伝熱速度は熱伝導方程式で示されるものより遅い。
- (v) ナトリウム中の熱電対の出力は規則的なゆらぎを示す。このゆらぎは上方から下方へ伝播し、その伝播速度は 3.3~4.0 cm/sであった。

(2) Run-B1試験により判明した事項

- (i) 火災抑制板の開口部の一部を模擬したスリット板で、燃焼中のナトリウム面を覆い、火災抑制板の燃焼抑制効果を確認した。また燃焼で生じた高温ナトリウムを連通管を通じてドレンし、連通管の機能および健全性を確認した。
- (ii) スリット板上の空気流が強制対流という保守側の条件のもとでも、スリット板（開口面積比1%）が在る時の燃焼速度は開放プールのその約3%、エアロゾル発生速度は約5%であった。
- (iii) 連通管内のナトリウム流速は7.9m/sであり、管壁への最大熱流束は 1.2×10^6 W/m² であった。なお、カラーチェックによっても管壁にはクラック等は検出されなかった。
- (iv) 燃焼容器底部は29/100の勾配を有しているが、ドレン後もここに23.7kg（使用ナトリウム量 162 kg）の酸化ナトリウムが残った。

(3) Run-B2試験により判明した事項

- (i) 505℃、約 180ℓのナトリウムを1.2m×2.4mの 1/100勾配の鋼板（ライナ）上に流出させて、温度・残留物重量等を測定した。
- (ii) ナトリウム供給終了後、ライナ上に多量の酸化物が残り、これが燈芯状に作用してナトリウムの燃焼が進むことから、ライナ温度は、供給ナトリウム温度より高い 643℃に達する。また試験終了後ライナ上に残った酸化物量は8.7kg/m²であった。
- (iii) ライナ上でのナトリウムの最高温度、流速、燃焼速度、ライナへの最大熱伝達率は、それぞれ700℃、0.1m/s、5 gNa/m²s、1200W/m²℃であった。

- (iv) 連通管に入る固形物量は少なく、供給ナトリウム量の0.14%であった。
- (v) エアロゾルの最大発生速度は $1.8\text{gNa}/\text{m}^2\text{s}$ 、観測された最大エアロゾル濃度は $32\text{gNa}/\text{m}^3$ であった。
- (vi) スクラバのエアロゾル捕集総合効率は99.6%であり、水洗浄塔内のメッシュだけでも95.7%に達する。

謝 辞

本試験の計画にあたっては、FBR開発本部原型炉建設部・向和夫副主任研究員とFBR本部安全ブロック・広井博副主任研究員（当時）に「もんじゅ」設計との調整等をお願いした。また、FBR本部安全ブロック・渡辺章主幹には高所からの御指導をいただいた。さらに、高速炉安全工学部プラント安全工学室の試験グループ各位には、試験の準備と実施における安全確保で協力いただいた。

ここに、これら関係者に謝辞を表します。

7. 参考文献

- 1) P.Beiriger, etc., "SOFIRE II User Report " Atomics International Division, Rockwell International, March 1973
- 2) W.G.Brown "Natural Convection through Rectangular Openings in Partitions-2 Horizontal Partitions" Int. J. Heat Mass Transfer Vol.5, PP.869, 1962
- 3) 甲藤 "伝熱概論" P.139 養賢堂 昭和39年12月
- 4) 同上 P.174

Table 1 Test Cases in SOFT-1

Run No.	Objectives
Run - A1	to study a sodium pool combustion phenomena
Run - B1	to study performance of fire suppression floor and effectiveness of draining pipe
Run - B2	to understand leak sodium behavior on liner

(PSS-SFE-001)

Table 2 Specifications of SOFT-1 Components

(unit: mm)

Components	Items	Specifications
Combustion Cell	Size	1,400 x 1,400 x 1,400
	Wall Material	SS41 3.2 ^t
Combustion Vessel	Size	800 ϕ , 400 ^h
	Diameter of Nozzle	4B
	Material	SUS304, 5 ^t
Motor Valve	Diameter	4B
Draining Pipe	Diameter	3B
	Material	STPG38 Sch20
Test Cell	Size	3,000 x 3,000 x 3,000
	Wall Material	SS41 3.2 ^t
Exhaust Gas Duct	Diameter	350 ϕ
Scrubber	Diameter	800 ϕ
Blower	Air Flow Rate	Max. 100 m ³ /min.
Water Pump	Water Flow Rate	Max. 300 ℓ /min.

(PSS-SFE-002)

Table 3 Test Conditions of Run-A1

Items		Values
Amount of Charged Sodium		162.0 kg
Temperature of Sodium at Test Start		400°C
Room Temperature		12.2°C
Relative Humidity		78%
Air Flow Rate into Combustion Cell	0 ~ 8 min.	0.33 m ³ /s
	8 ~ 15 min.	0.21 m ³ /s
Duration of Fire Suppression Board being Opened		15 min.

(PSS-SFE-003)

Table 4 Sequence of Operation in Run-B1

Time	Operation
	Sodium Charge into Combustion Vessel
9:00	Start Heat up of Combustion Vessel
9:58	Start Water Scrubber Operation
13:13	Start Data Acquisition System
13:14	Lift up Fire Suppression Board and Slit Board
13:29	Put down Slit Board
14:23	Lift up Slit Board
14:27	Open Drain Valve
14:57	Put down Fire Suppression Board
15:16	Stop Data Acquisition System

(PSS-SFE-004)

Table 5 Test Conditions of Run-B1

Items	Values
Amount of Charged Sodium	162.3 kg
Temperature of Sodium at Test Start	400°C
Room Temperature	22.1°C
Relative Humidity	66%
Air Flow Rate into Combustion Cell	0.10 m ³ /s

(PSS-SFE-005)

Table 6 Aerosol Generating Rate Determined in Test Run-B1

	Aerosol Gen- erating Rate	Aerosol/ Burnt Na	Aerosol Conc. in Exhaust Gas
Open Pool	2 g Na/m ² s	22%	10 g Na/m ³
With Slit Board	0.1 g Na/m ² s	37%	0.5 g Na/m ³

(PSS-SFE-006)

Table 7 Distribution of Residual Sodium in the Forms of Metal, Oxide, and Aerosol Deposits after Test Run-B1

Form	Position	Mass (kg)
Solid Sodium (with Oxide)	Combustion Vessel	23.7
	Draining Pipe	3.9
	Stop Valve	0.2
	Storage Tank	142.0
	Sub-total	169.8
Aerosol Deposit	Combustion Cell	0.07
	Air Duct	0.30
	Fire Suppression Board Slit Board	0.21
	Heater Box	0.002
	Scrubber	3.83
	Sub-total	4.4
Total		174.2

(PSS-SFE-007)

Table 8 Test Conditions of Run-B2

Items	Values
Amount of Supplied Sodium	150.5 kg
Temperature of Supplied Sodium	505°C
Flow Rate of Supplied Sodium/Supplying Duration	1 l/s, 185s
Preheat Temperature of Mesh Tank	400°C
Room Temperature	14.6°C
Relative Humidity	30%
Air Flow Rate into Test Cell	0.083 m ³ /s

(PSS-SFE-008)

Table 9 Distribution of Residual Sodium in the Forms of Metal, Oxide, and Aerosol Deposits after Test Run-B2

Item			Mass	Sodium** Distribution		
Sodium Supplied to Liner			150.5 kg			
Undrained	Residuum on Liner		23.75	14.7%		
Drained 135.1 kg	Mesh Tank	1st Mesh #1	0 g	0.21	83.4%	
		2nd Mesh #2	40 g			
		3rd Mesh #5	110 g			
		4th Mesh #10	60 g			
	Draining Pipe		0.035	Aerosol Distribution		
	Drain Tank		134.9			
Aerosol 3.09 kg	Floor, Wall of Test Cell		0.7535*	24.4%	Scrubber Trap Efficiency	
	Exhaust Gas Duct		0.2717*	8.8%		
	Scrubber	Water	1865.8 [*] g	1.9416*	63.2%	95.7%
		Demister	2.53*			0.13
		HEPA Filter	72.23*			3.76
	Discharge to Atmosphere***		(0.008)*			0.41
	Gas Sampling Tube etc.		0.1116*		3.6%	

* Sodium Mass, Determined by Acidimetry.

The others determined by Weight, include Sodium Oxide.

** Distribution Ratio calculated without distinction of Sodium and Sodium Oxide.

*** Determined by Aerosol Sampling Data.

(PSS-SFE-009)

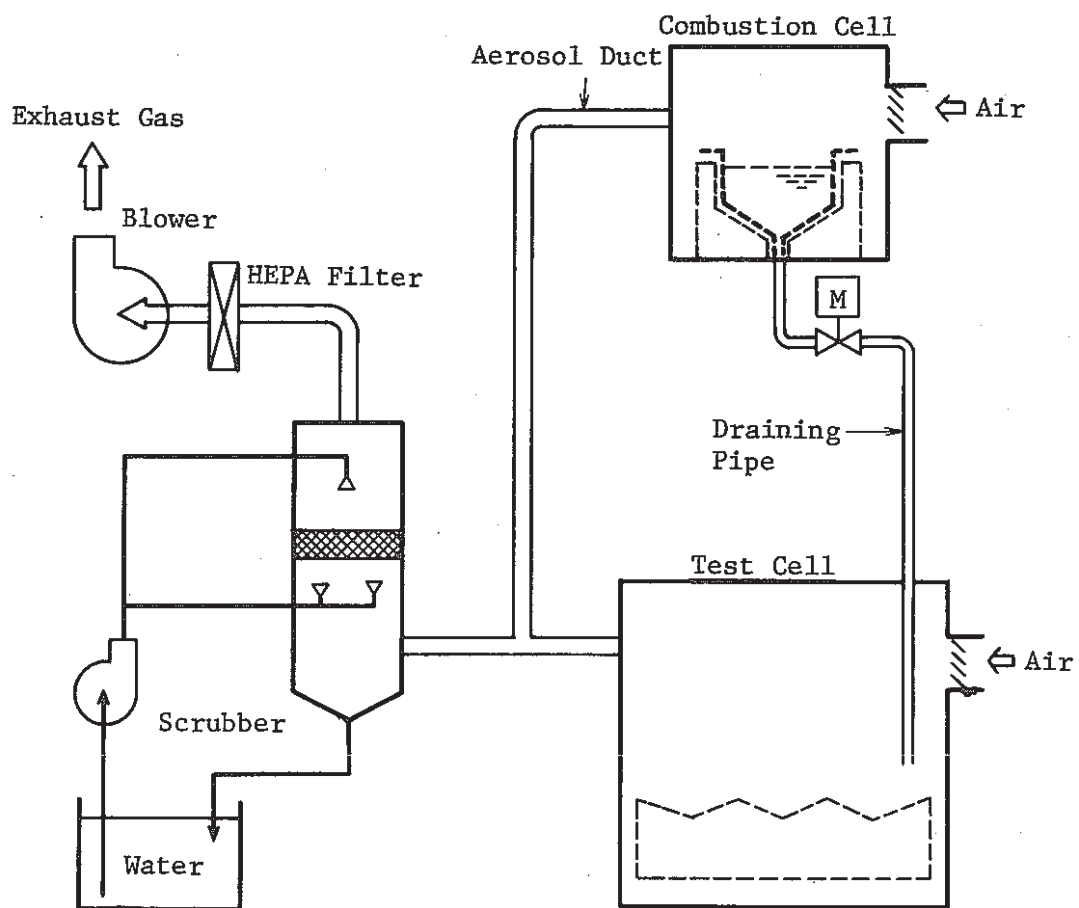


Fig. 1 Schematics of SOFT-1

(PSS-SFE-010)

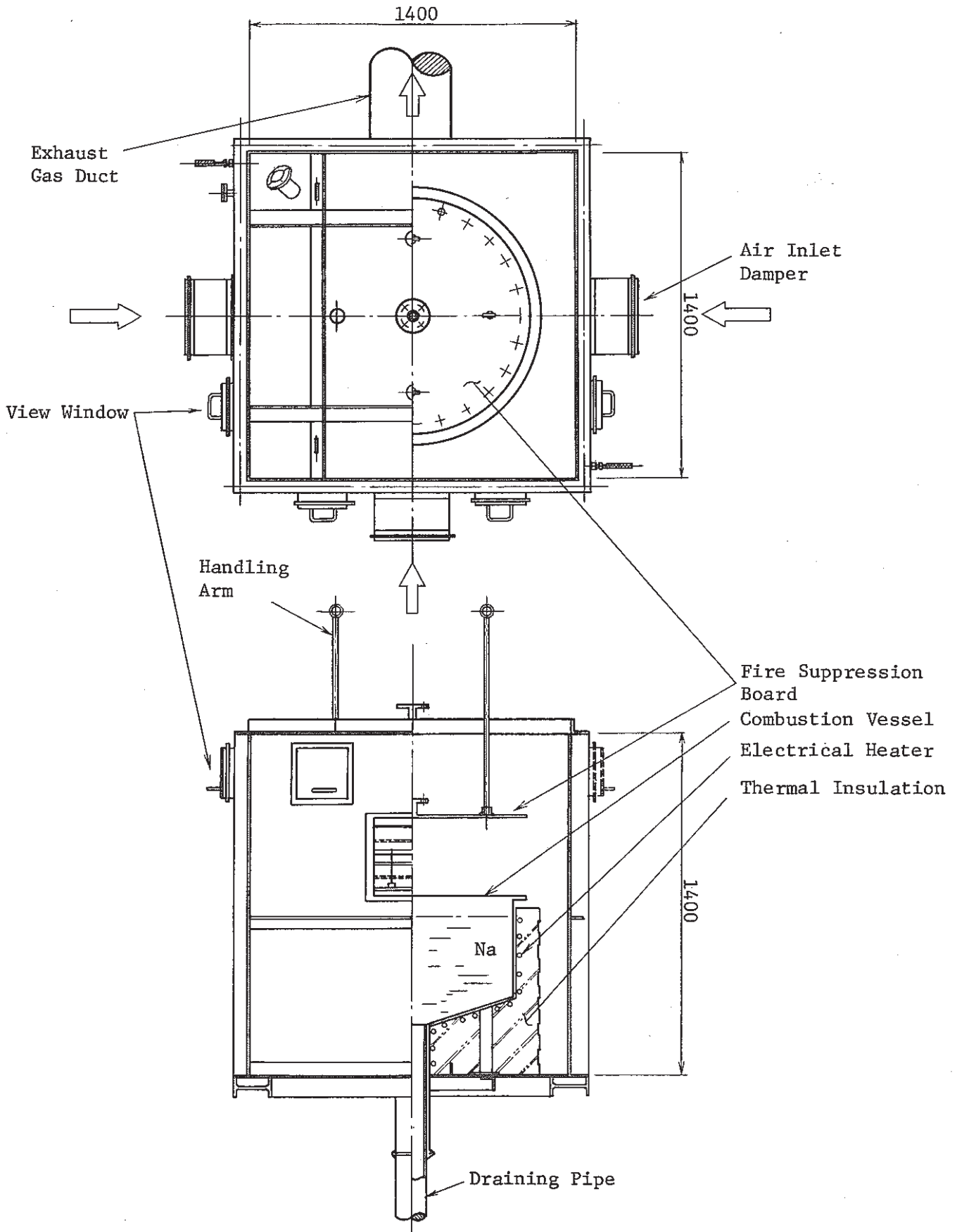


Fig. 2 Structure of Combustion Cell and Combustion Vessel

(PSS-SFE-011)

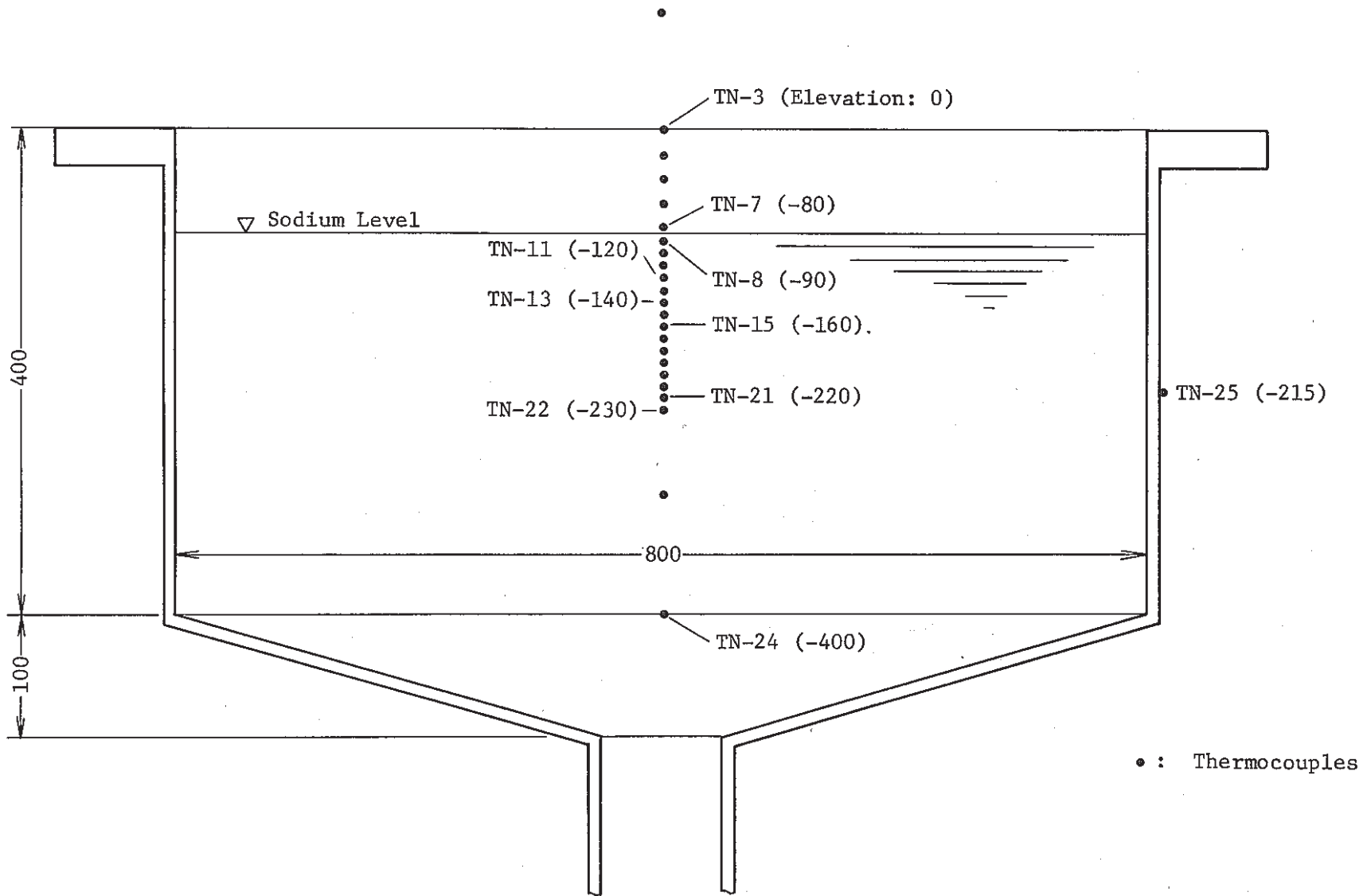


Fig. 3 Combustion Vessel and Thermocouple Position

(PSS-SFE-012)

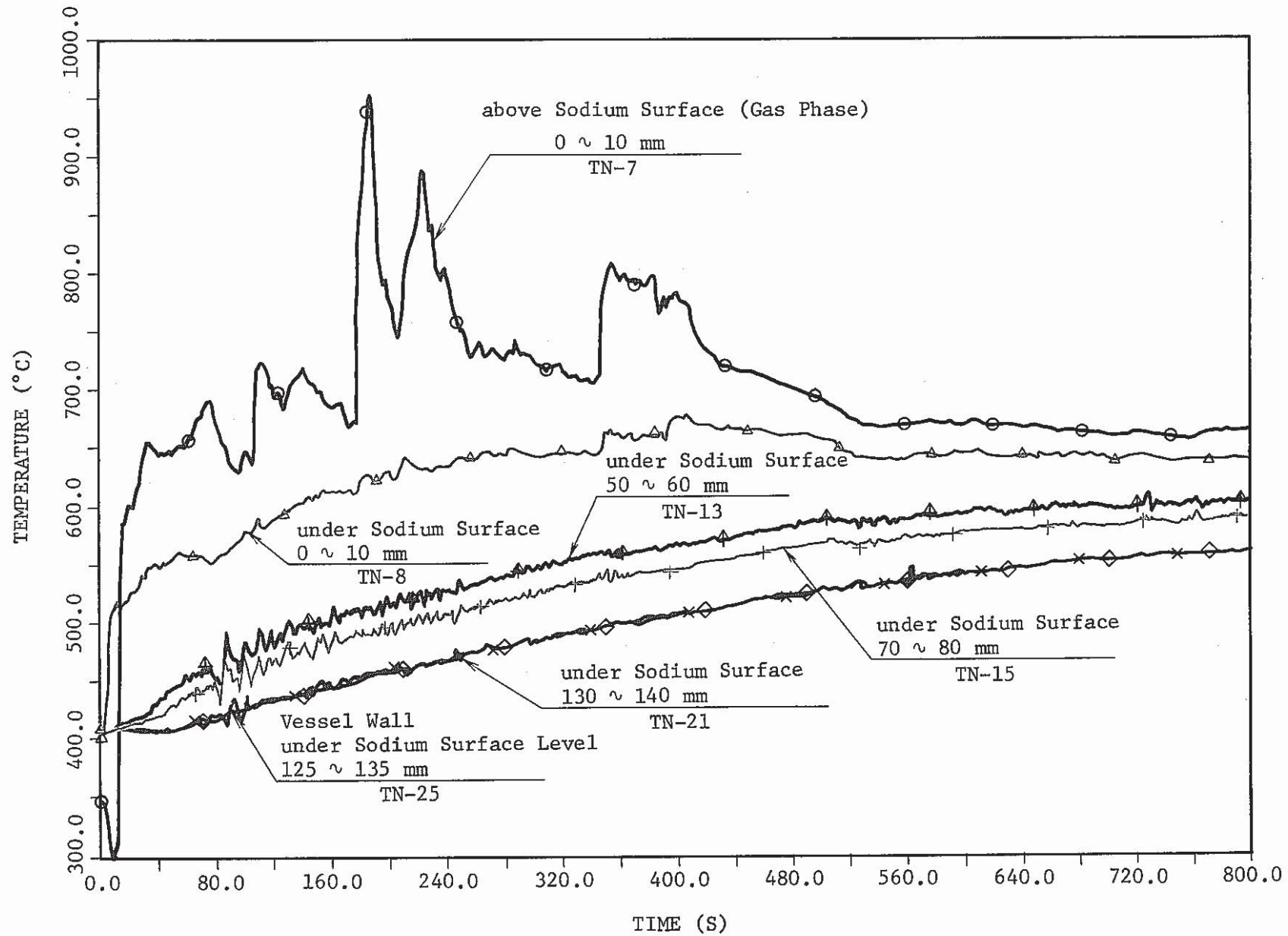


Fig. 4 Temperature Histories during a Sodium Pool Combustion at Run-A1

(PSS-SFE-013)

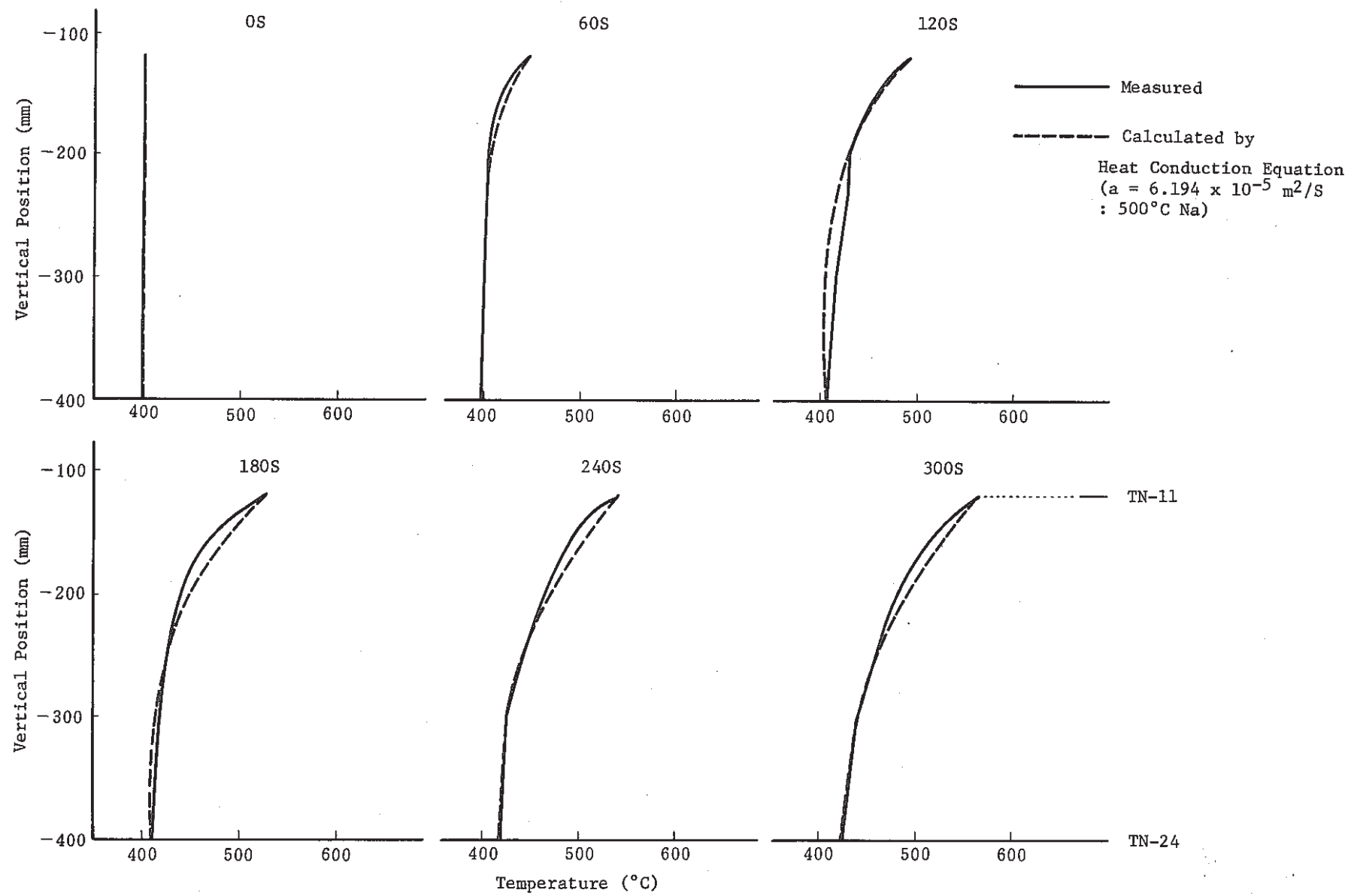


Fig. 5 Vertical Temperature Distribution in Sodium at Run-A1

(PSS-SFE-014)

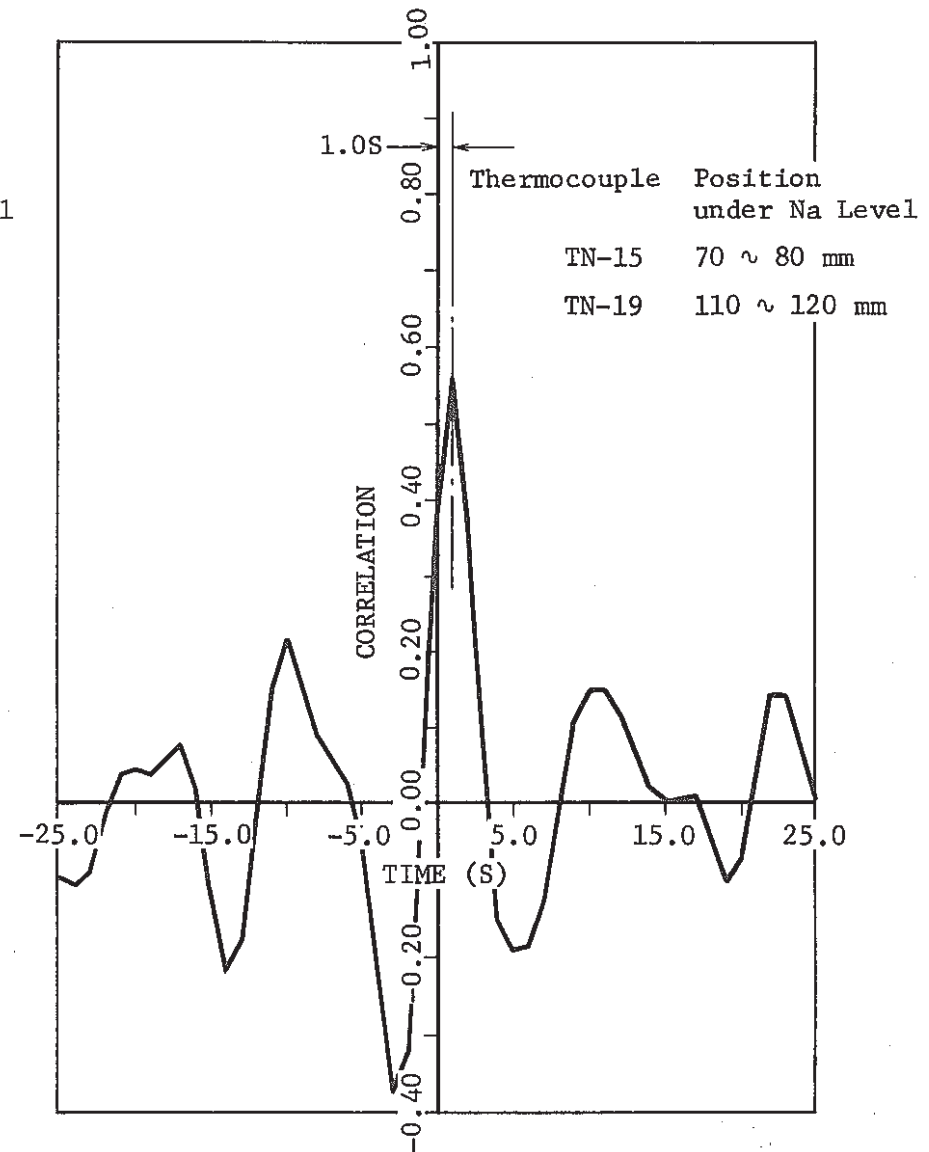
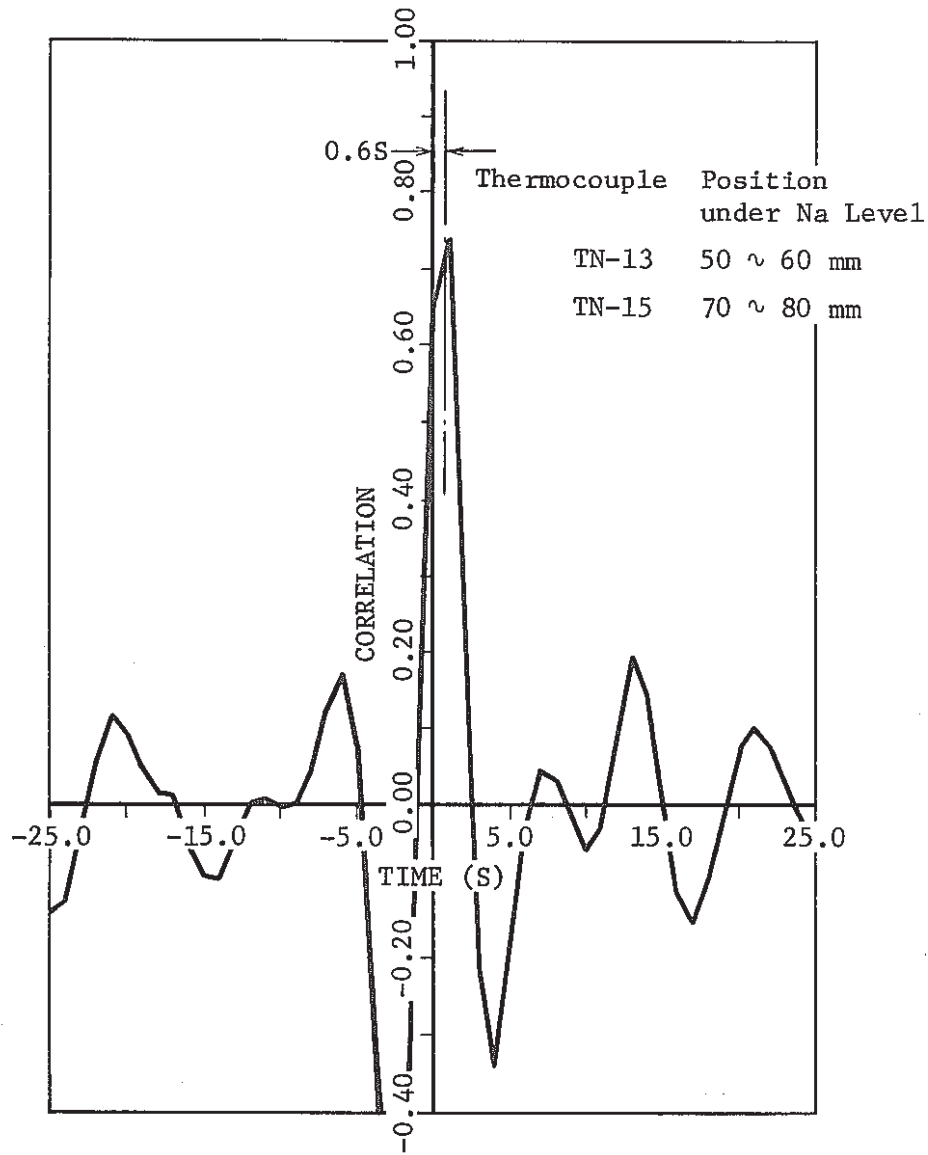


Fig. 6 Correlation of Temperature Fluctuation in Sodium Pool at Run-A1

(PSS-SFE-015)

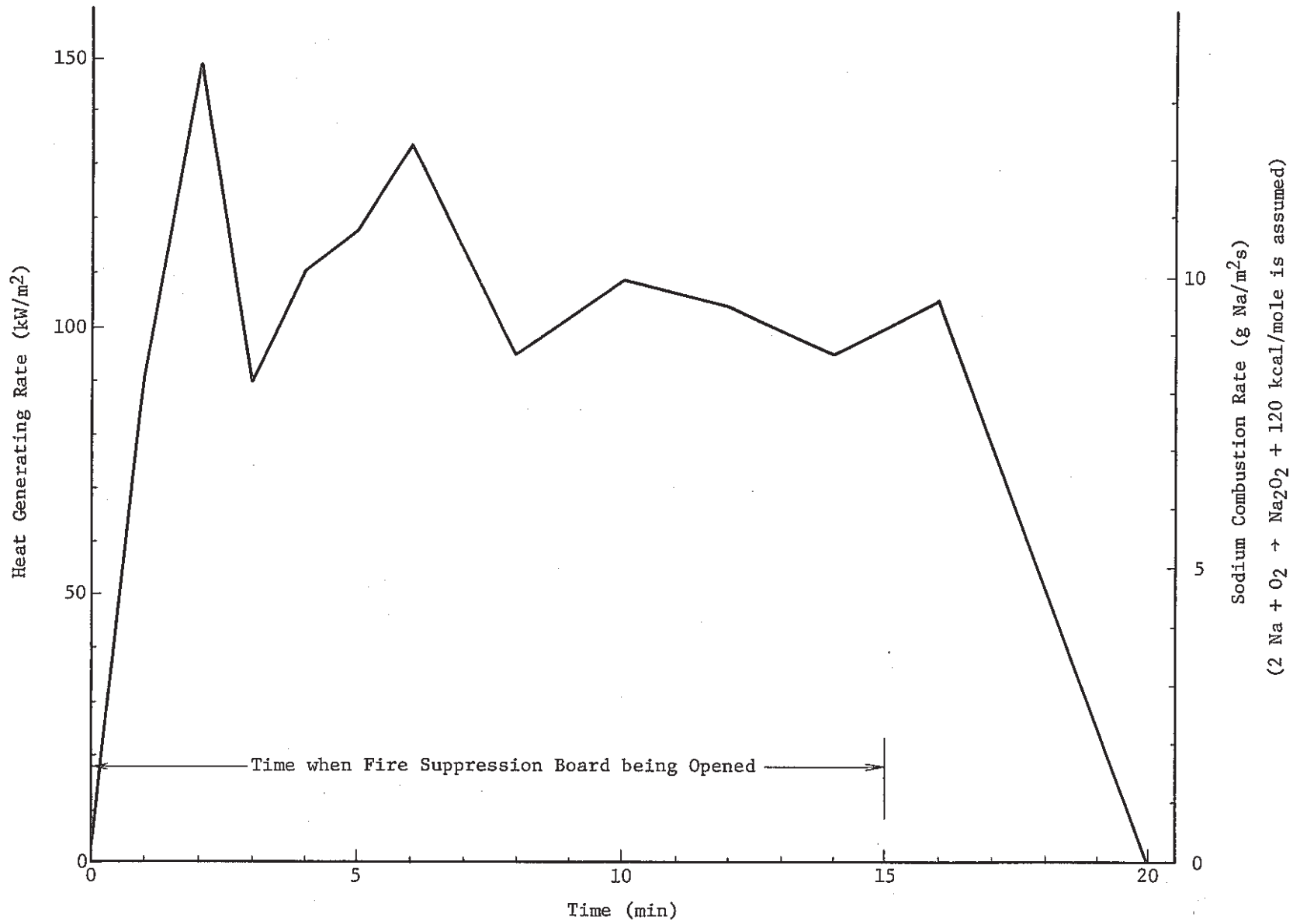


Fig. 7 Heat Generation during a Sodium Pool Combustion at Run-A1

(PSS-SFE-016)

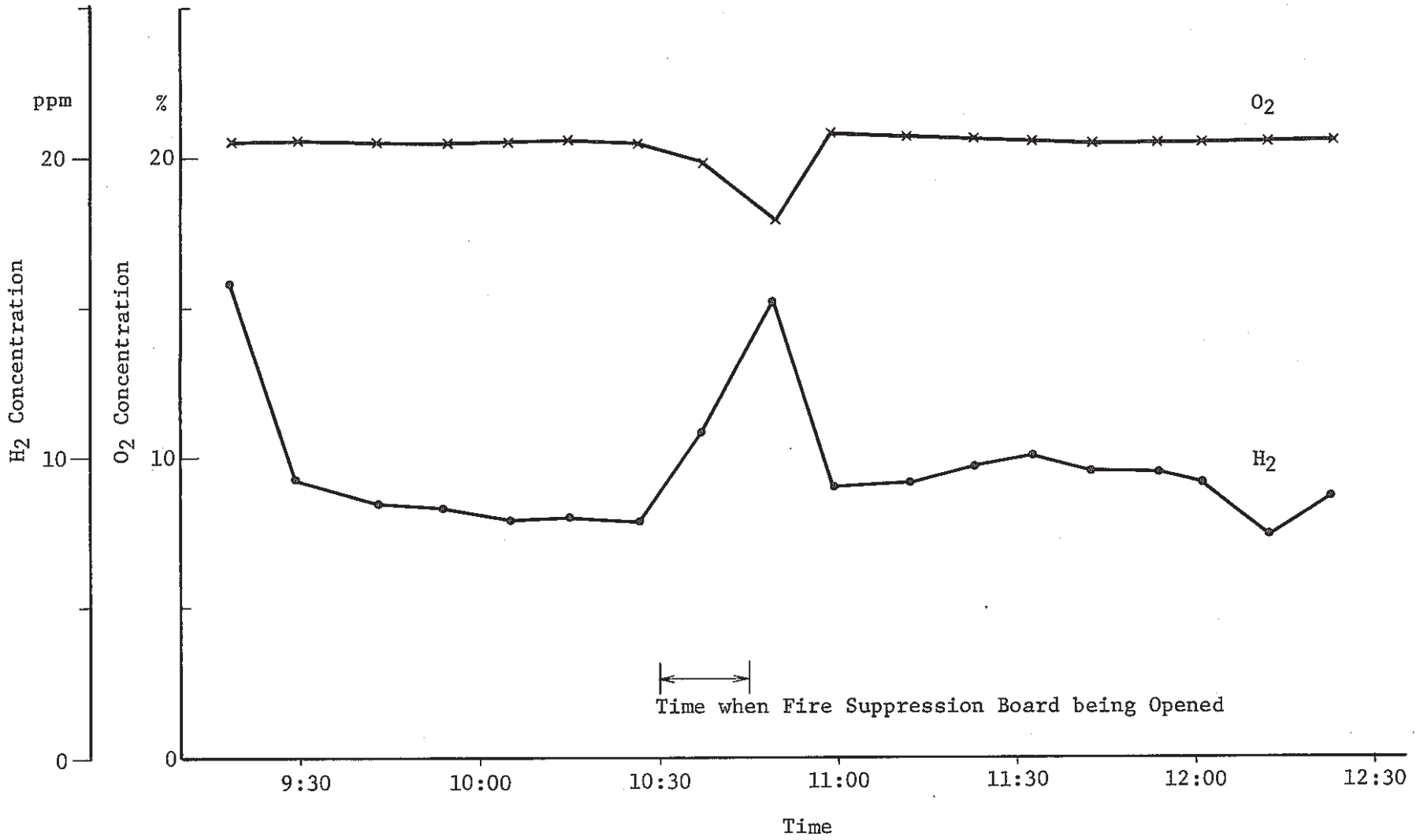


Fig. 8 Oxygen and Hydrogen Concentration in Exhaust Gas at Run-A1

(PSS-SFE-017)

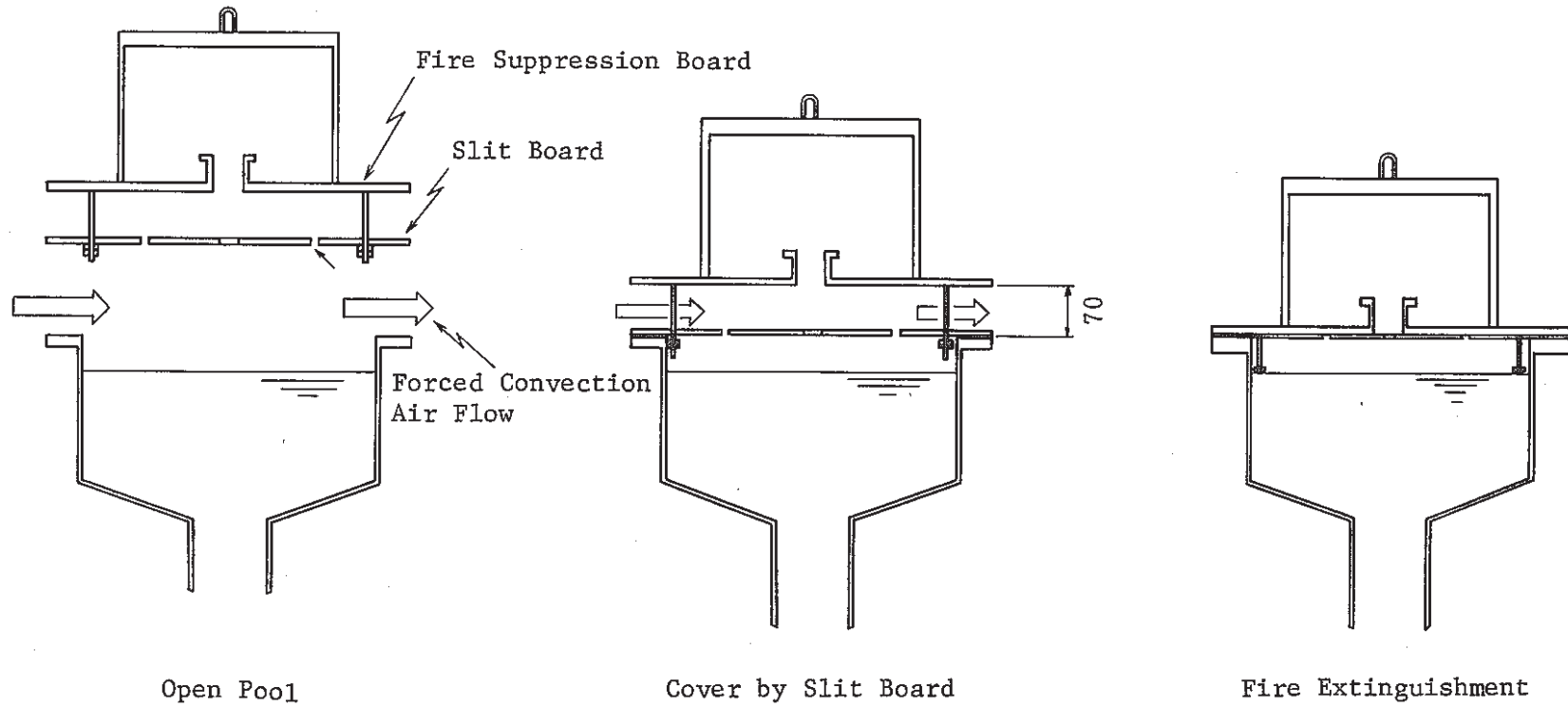


Fig. 9 Control of Fire by a Slit Board and a Fire Suppression Board at Run-B1

(PSS-SFE-018)

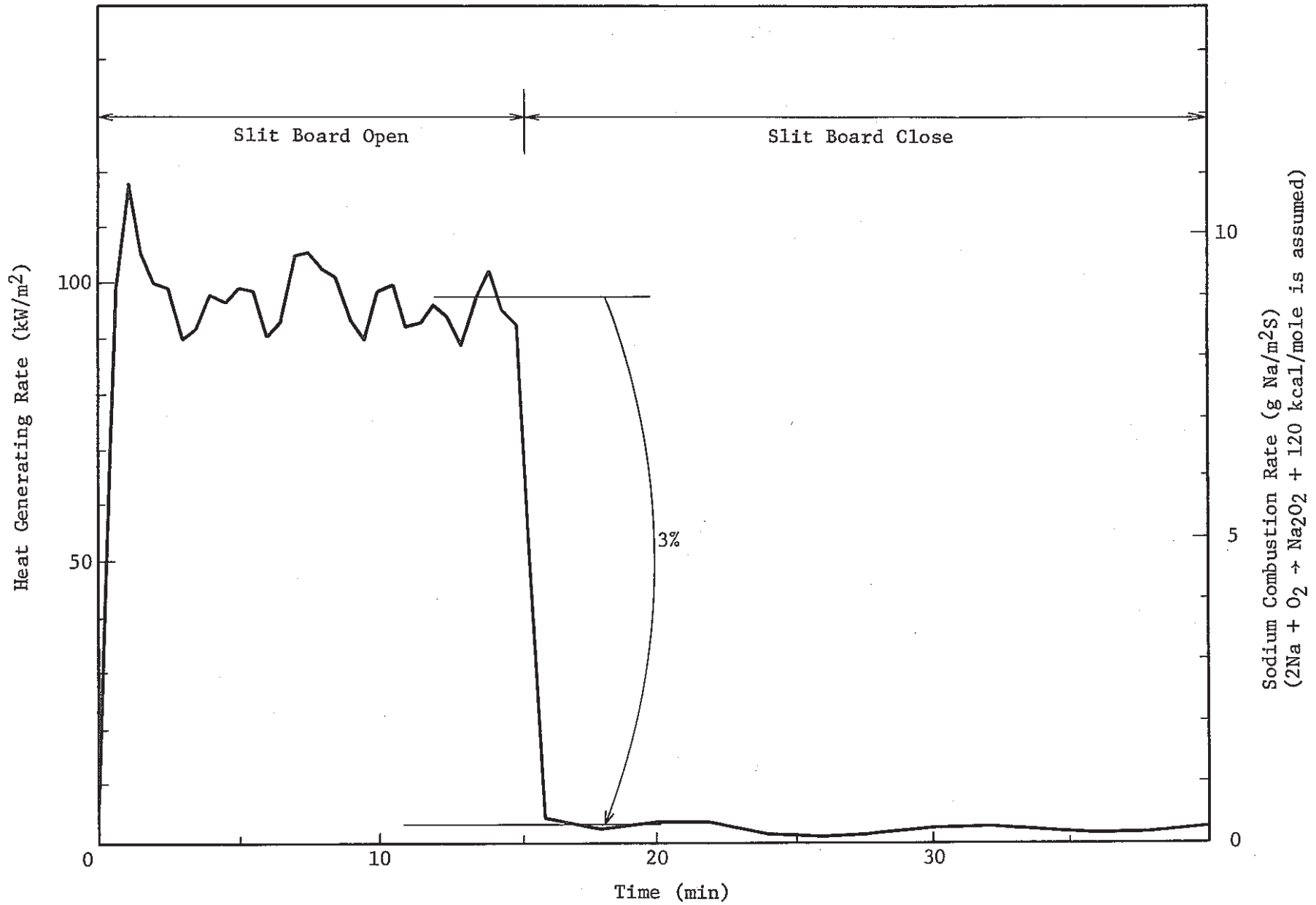


Fig. 10 Effect of a Simulated Fire Suppression Floor (Slit Board) at Run-B1

(PSS-SFE-019)

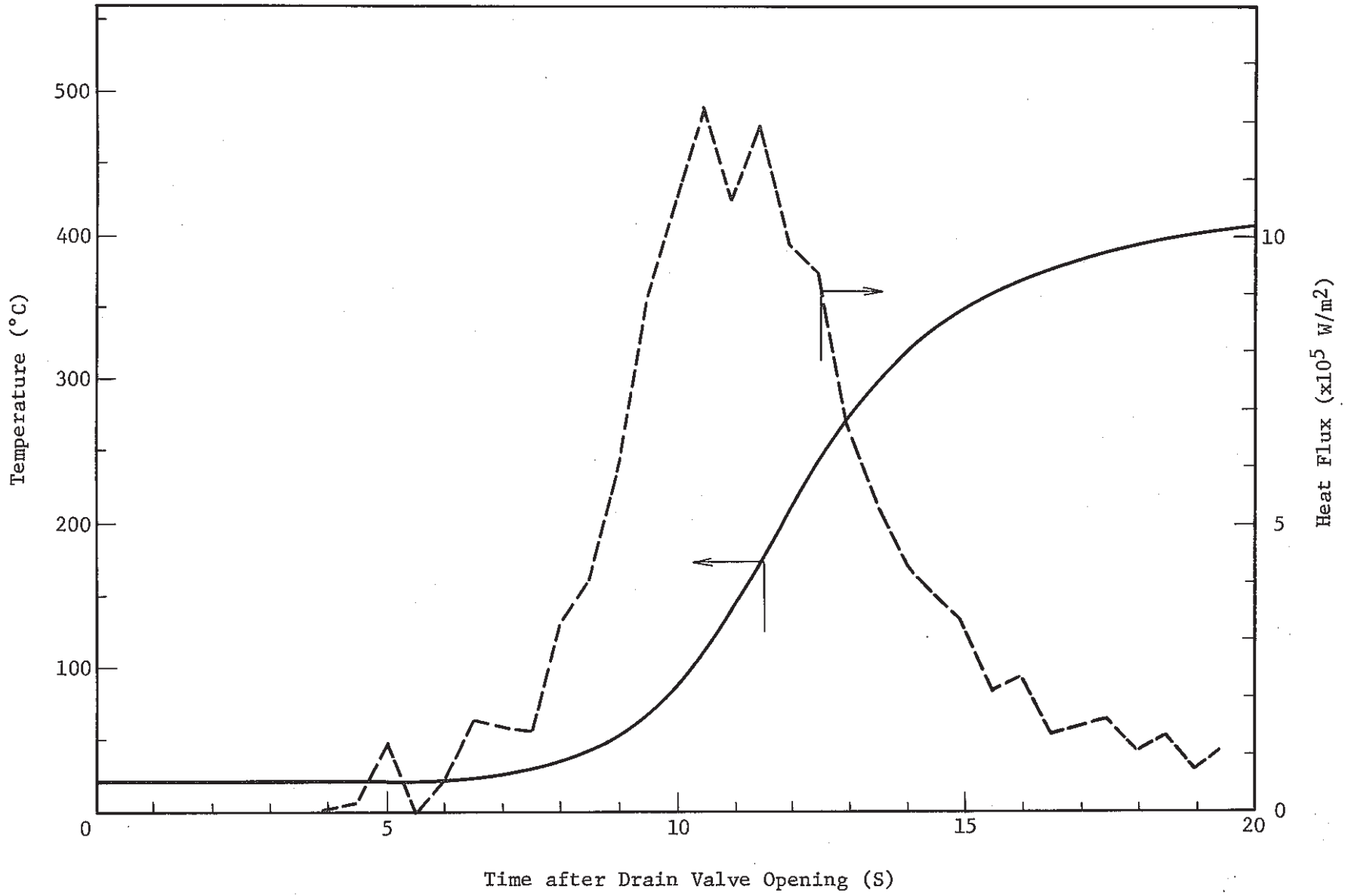


Fig. 11 Temperature and Heat Flux on Pipe Wall during a Sodium Draining at Run-B1

(PSS-SFE-020)

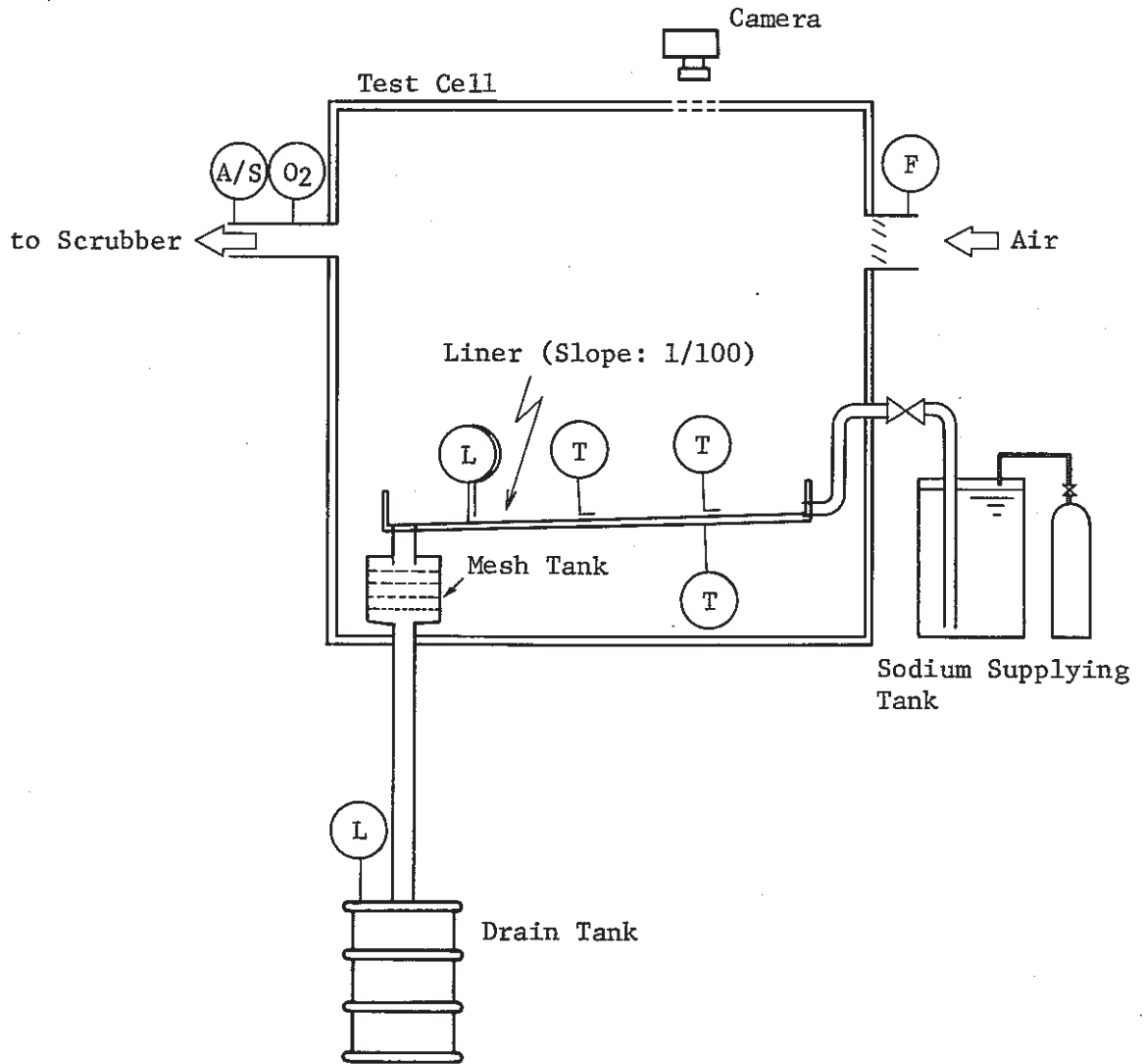


Fig. 12 Schematics of Test Rig for Run-B2

(PSS-SFE-021)

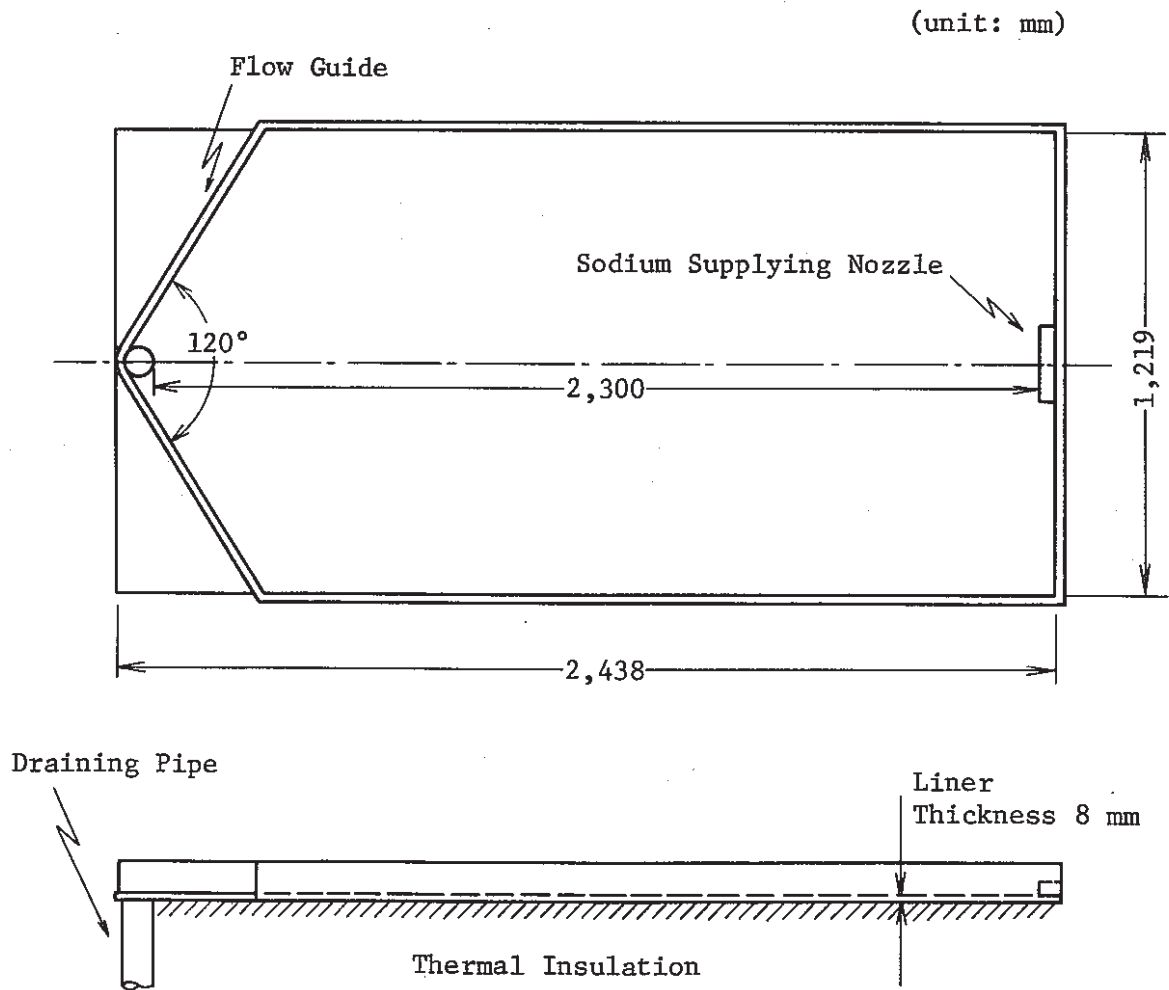


Fig. 13 Liner Model for Run-B2

(PSS-SFE-022)

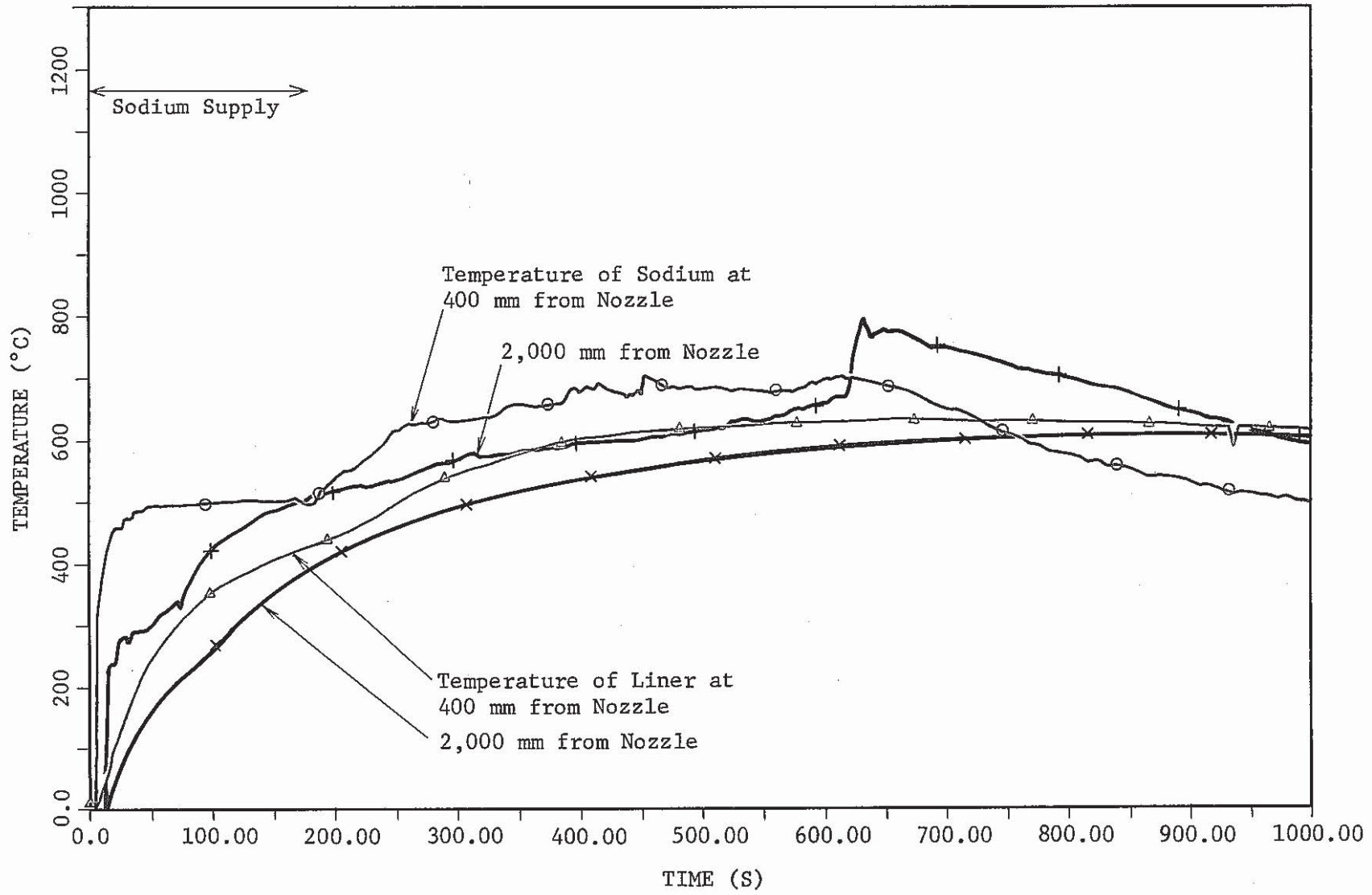


Fig. 14 Temperatures of Sodium and Liner at Run-B2

(PSS-SFE-023)

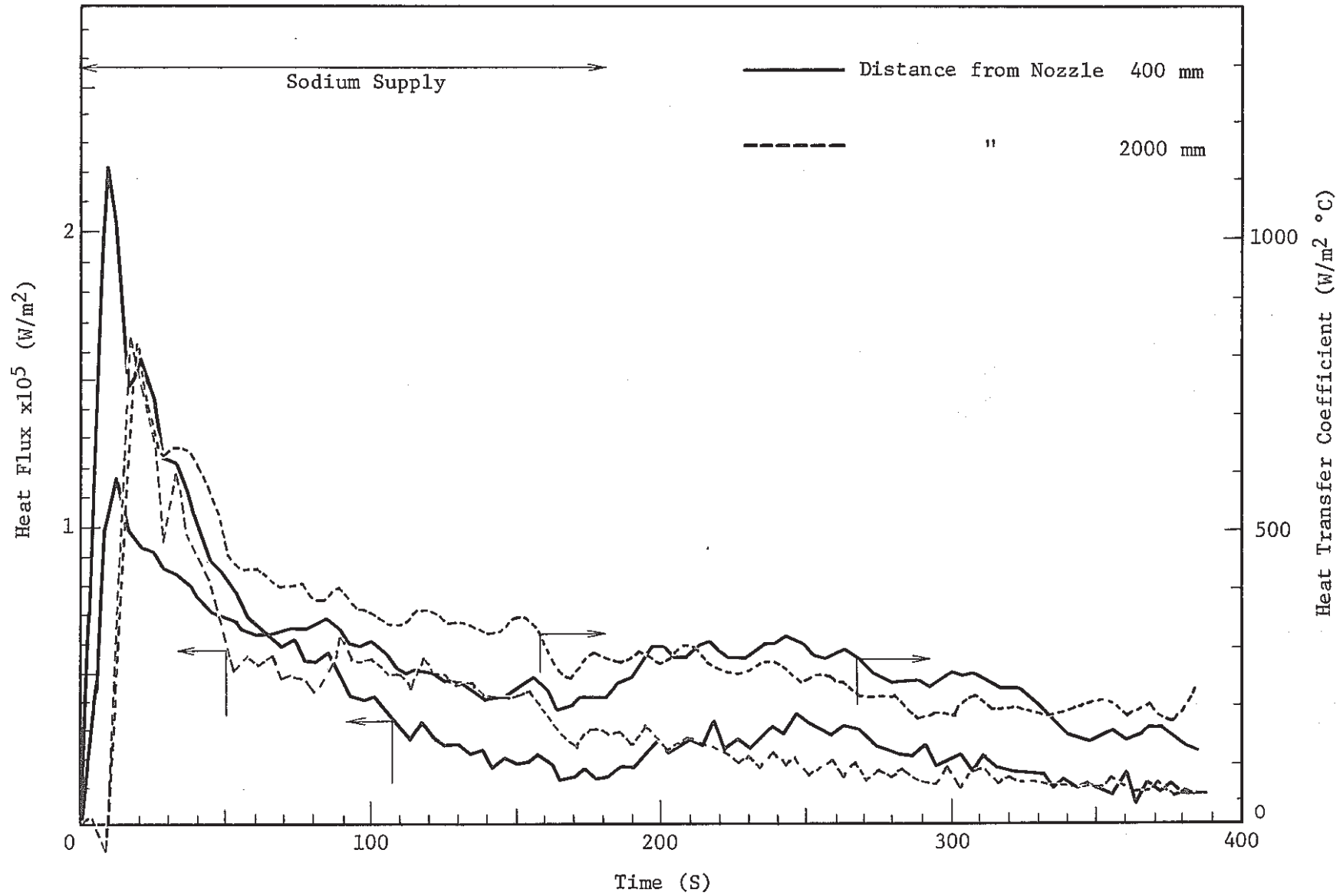


Fig. 15 Heat Flux and Heat Transfer Coefficient on Liner at Run-B2

(PSS-SFE-024)

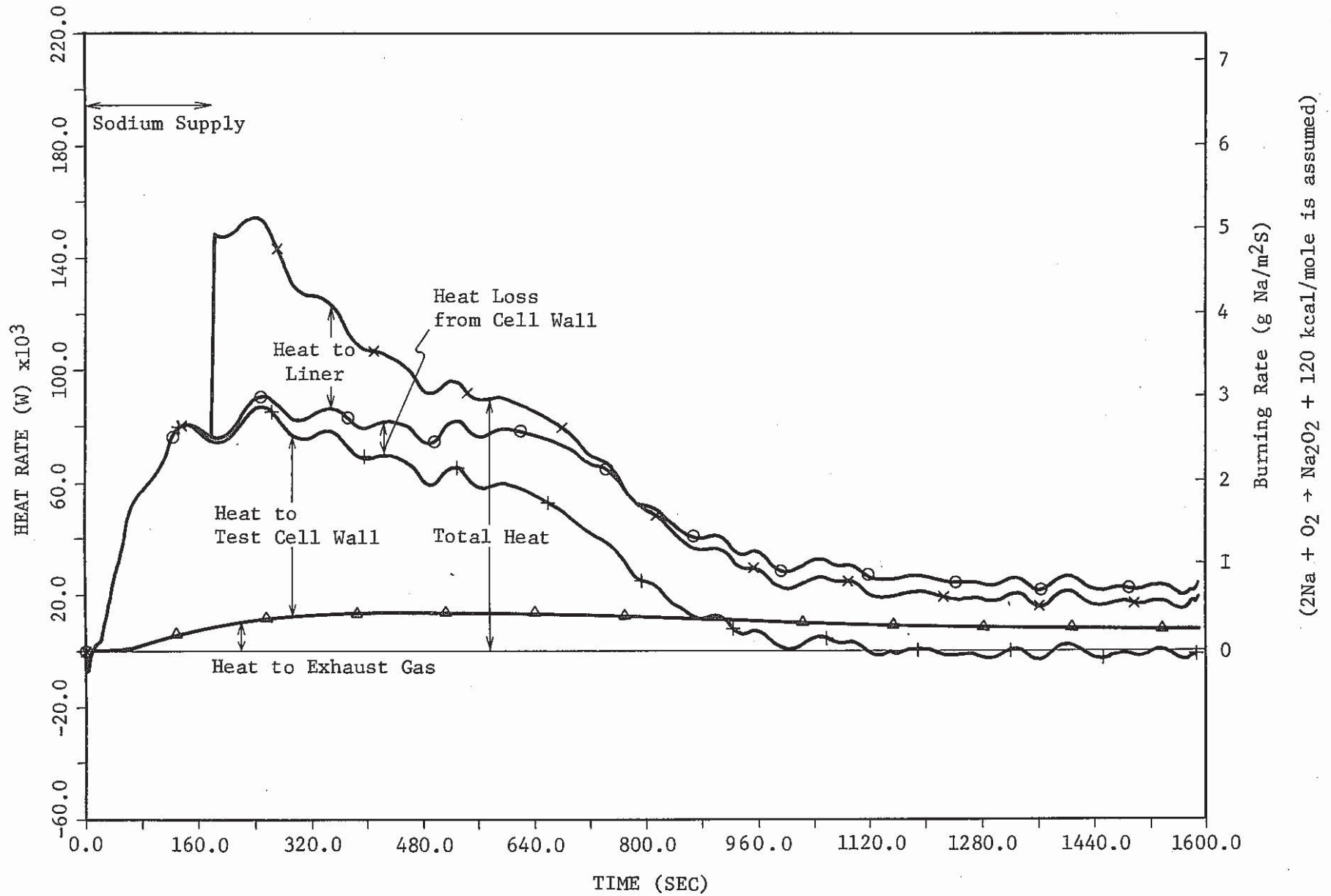


Fig. 16 Combustion Heat Generation Rate from Sodium on Liner at Run-B2

(PSS-SFE-025)

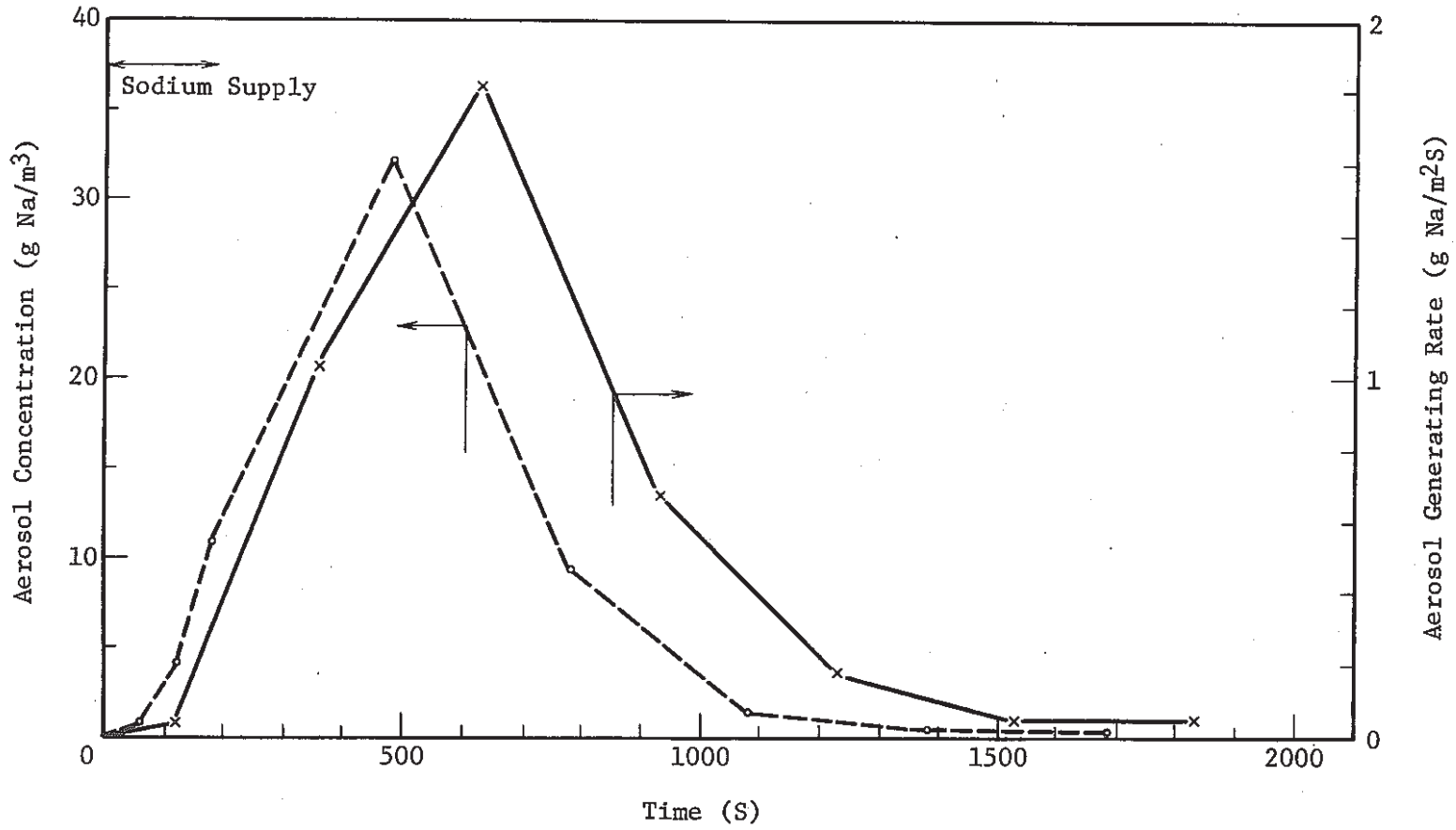


Fig. 17 Aerosol Generation Rate and Aerosol Concentration at Run-B2

(PSS-SFE-026)

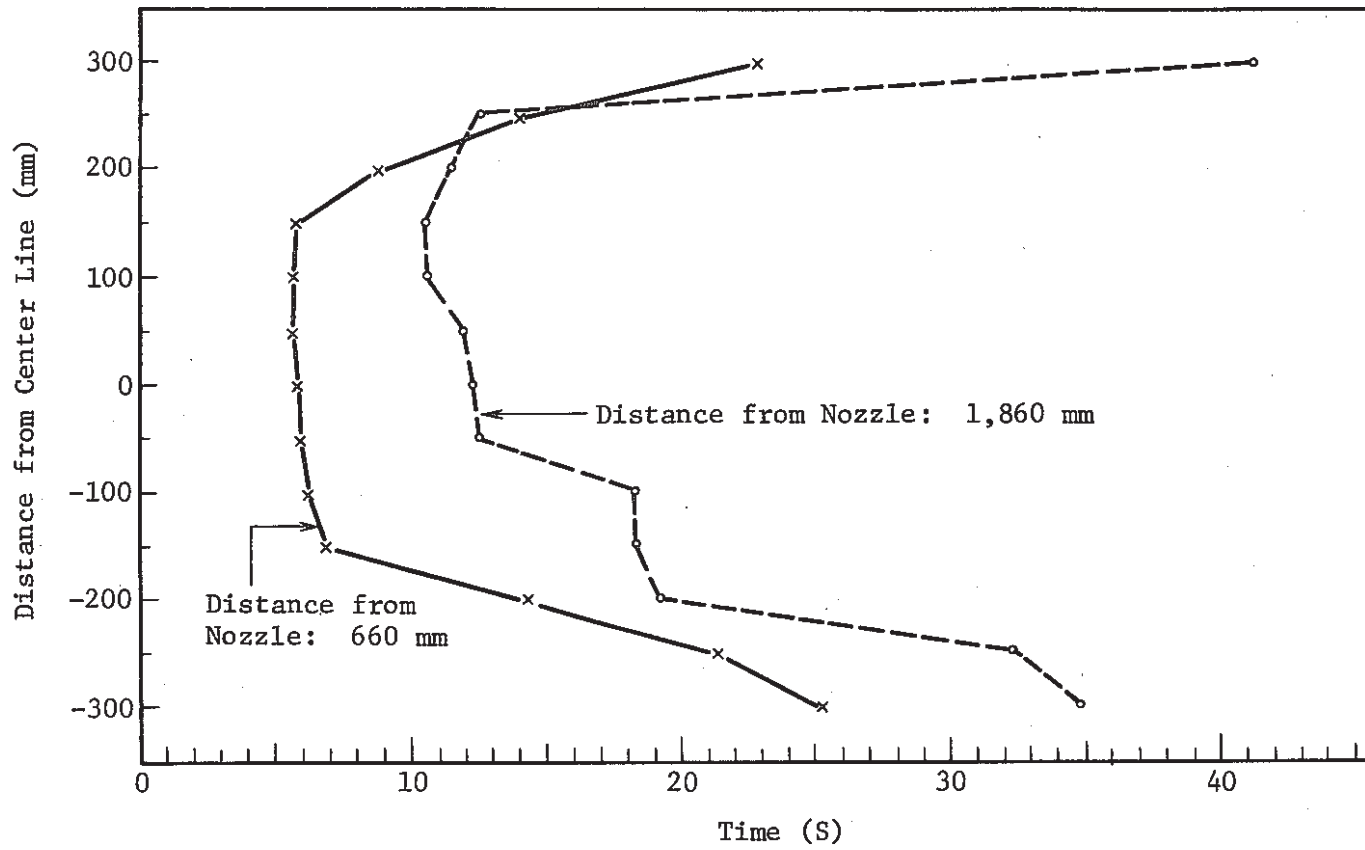


Fig. 18 Width of Sodium Stream on Liner at Run-B2

(PSS-SFE-027)

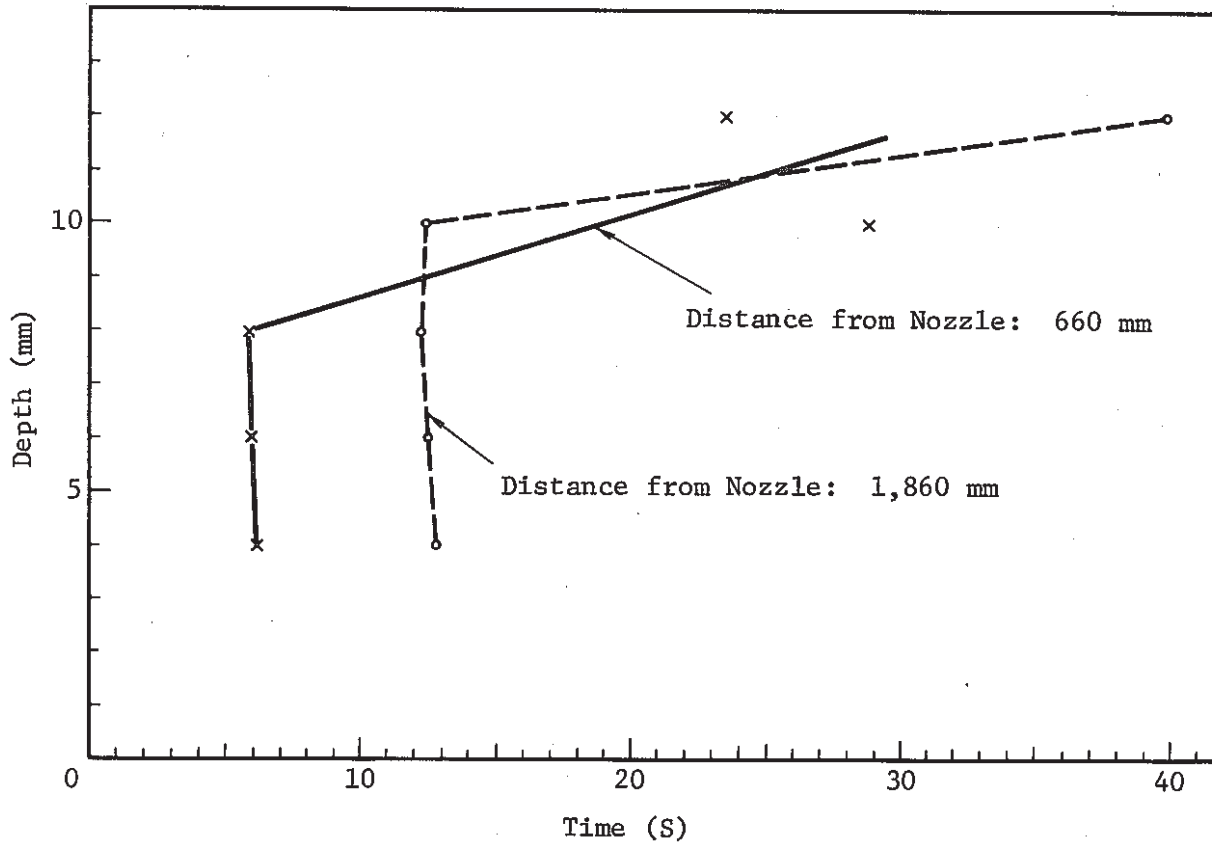


Fig. 19 Thickness of Sodium Stream on Liner at Run-B2

(PSS-SFE-028)

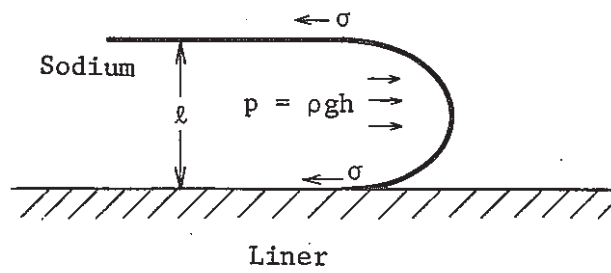


Fig. 20 Model for Calculation of Sodium Thickness on Liner

(PSS-SFE-029)

55

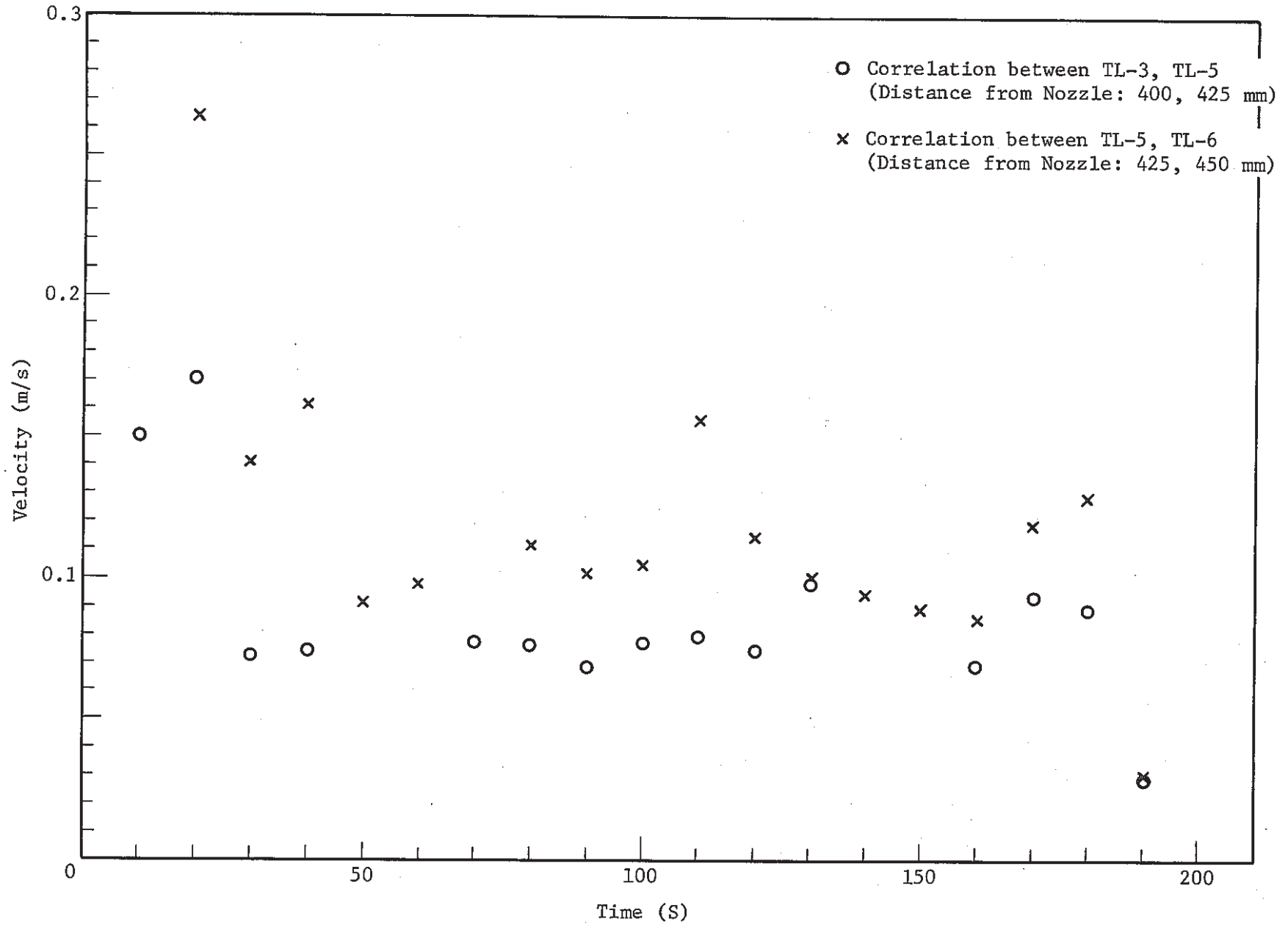


Fig. 21 Velocity of Sodium Stream on Liner at Run-B2

(PSS-SFE-030)

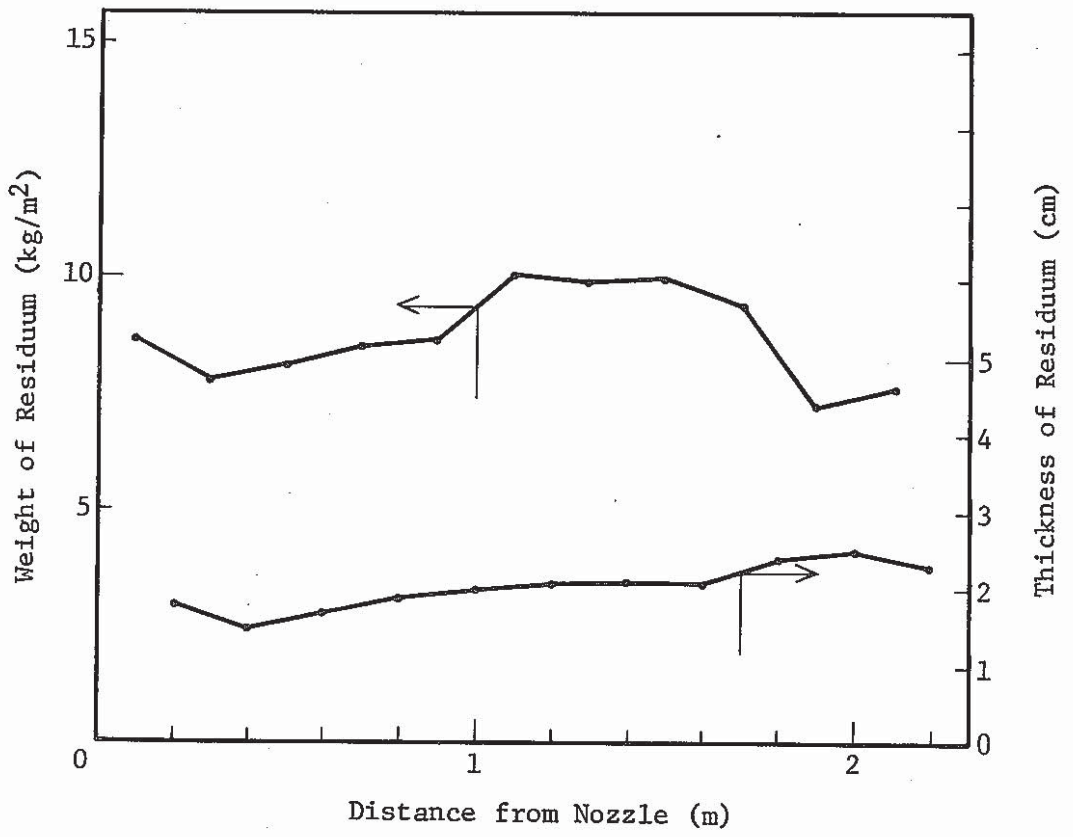


Fig. 22 Amount of Residuum on Liner after Run-B2

(PSS-SFE-031)