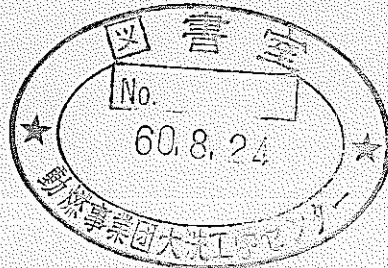


区分変更

変更後資料番号	PNC
決裁年月日	平成10年3月26日

ナトリウム火災防護設備基礎試験(II)

ライナ上の低温ナトリウム流動燃焼試験(Run-B4)



1985年7月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
S	N 941 85-104
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

本資料は、核燃料サイクル開発機構の開発業務を進めるために作成されたものです。したがって、その利用は限られた範囲としており、その取扱には十分な注意を払ってください。この資料の全部または一部を複写・複製・転載あるいは引用する場合、特別の許可を必要としますので、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

ものです。

複、転載

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)



1985年7月

ナトリウム火災防護設備基礎試験（II）
 ライナ上の低温ナトリウム流動燃焼試験(RUN-B4)－



川部隆平＊＊、姫野嘉昭＊、
 川田耕嗣＊、官口公秀＊

要旨

漏洩ナトリウムの流動性を明らかにする目的で、温度250 °Cの低温ナトリウムのライナ上流動燃焼試験を行った。試験には、長さ約2.4m、幅約1.2m、ライナ勾配1/100を有し裏面断熱の水平なライナ試験体を用い、その端部に幅200mm、高さ10mmのノズルを固定し、ノズルから水平方向に流量約1 ℥/secで総量約160kgのナトリウムを220秒間穏やかに流した。試験中はライナ上のナトリウムの流動性及び燃焼状況を観察し、またライナ各部の温度測定も行った。試験後は、試験体各部に残留したナトリウム燃焼生成物の回収とそれらの分布を調べた。試験中及び試験後のデータとそれらの解析から、次に述べる結果を得た。

- (1) ノズルからの流出ナトリウムは、最初は限定された流路幅の中を流れた。しかし、しばらくすると流出ナトリウムの先端が放熱のために一時凍結し、凍結によって形成された固化ナトリウムが流路をライナ全面に広げた。凍結ナトリウムは、次々と流入するナトリウムによって容易に再融解され、その後のナトリウム流動は円滑に推移した。
- (2) ナトリウムからライナに対する熱流束は約80kw/m²以下で、前回の高温ナトリウム(505 °C)試験の時と比べ小さい。ただ、熱伝達率は300～500w/m²°Cと前回と同様な値であった。
- (3) 試験後の残留ナトリウム燃焼生成物は、ライナ上では平均約1 kg/m²のほぼ均一な分布を示し、連通管内については大きな固体燃焼物の流入は認められていない。このことと前回の高温ナトリウムを用いた同様な試験結果から、実機における流路閉塞の可能性は排除できるものと結論される。

*大洗工学センター安全工学部プラント安全工学室、**現：日立製作所エネルギー研究所



NOT FOR PUBLICATION

July 1985

PNC SN941 85-104

Basic Test on Sodium Fire Protection Systems (II)

- Flow and Combustion of Low Temperature Sodium on Simulated Floor Liner-

Ryuhei Kawabe**, Yoshiaki Himeno*, Kouji Kawada*,
and Kimihide Miyaguchi*.

Abstract

Flow and combustion test of low temperature sodium (250°C) on a simulated floor liner has been conducted to give an answer to the possible flow blockage or flow plugging. The simulated floor liner used for this purpose was 2.4m in length and 1.2m in width having liner gradient of 1/100. The bottom surface of the liner was well thermally insulated. In the test, 160kg of sodium was slowly spilled from a nozzle having a wide opening at flow rate of 1ℓ/sec for 200sec. The nozzle was attached to the side of the liner. Flow pattern and combustion characteristics of sodium have been monitored during the test, and temperatures of the flowing sodium and a liner steel have also been measured. In the post-test examinations, distribution of residual sodium and sodium oxide on the floor liner as well as that in a drain pipe was determined. The results thus obtained were summarized as follows.

- (1) At beginning of the test, although the spilled sodium froze for a certain period of time due to its heat transfer to the liner, it remelted by taking heat from a successive flowing sodium at higher temperature. Therefore, on the liner sodium flowed continuously without being blocked its flow path.
- (2) Heat flux from sodium to the liner was less than 80kw/m², while related heat trans-

*Oarai Engineering Center, Safety Engineering Division, Plant Safety Section

**Present : Hitachi Energy Research Laboratory.

fer coefficient was 300 ~500w/ $m^2\text{C}$. The latter value was almost the same to that obtained from the similar test with hot sodium (505 °C).

- (3) Post-test examination revealed that the distribution of residual sodium and sodium oxide on the floor liner was almost uniform with the average value of 1kg/ m^2 . No massive combustion products that may cause flow plugging was found in a sodium drain pipe.

目次

1. 緒言-----	6
2. 試験装置と試験方法-----	6
2.1 試験装置-----	6
2.2 試験方法-----	7
3. 試験結果と考察-----	7
3.1 Na流動状況に関する観察結果-----	7
3.2 ライナ上のNaの温度変化とNaの流動状況-----	8
3.3 Na供給タンクおよびドレンタンクの液面変化 から推定したライナ上のNa流動-----	8
3.4 ライナへの熱伝達-----	9
3.5 残留Na量の測定結果-----	9
4. 結論-----	9
文献-----	10
謝辞-----	10

図表集

Fig.1 Schematics of Test Rig for Run-B4 -----	11
Fig.2 Liner Model for Run-B4 -----	12
Fig.3 Amount of Residuum on Liner after Test-----	13
Fig.4 Sodium Temperature Distribution on Liner (Time 20sec)-----	14
Fig.5 Sodium Temperature Distribution on Liner (Time 150sec)-----	14
Fig.6 Temperature of Sodium on Liner-----	15
Fig.7 Change in Sodium Amounts of Supply Tank and Drain Tank-----	16
Fig.8 Heat Flux and Heat Transfer Coefficient on Liner-----	17
Table 1 Test Conditions of Run-B4-----	18
Table 2 Distribution of Residual Sodium in the Forms of Metal, Oxide, and Aerosol Deposits after Test-----	19

1. 緒言

「もんじゅ」53項目では、漏洩ナトリウム（以下Naと略す）の流動性に関する課題が指摘されており、漏洩Naが床ライナ上をすみやかに連通管に向かって流れ、また連通管内では流路閉塞を起こすことなく原子炉補助建屋の最下段の燃焼抑制槽に流入することの確認が求められている。

このためすでに昭和59年度上期に、「もんじゅ」二次系の定格運転温度相当の505 °CのNaを用いて床ライナ上のNaの流動性と連通管内のNaの流動性（ドレン性能）に関する試験を行い、Naの流動状況と燃焼状況を調べている。

ところで、実機のNa温度は上記の試験のように505 °Cだけでなく、原子炉の運転状態によってはこれより低い場合もある。また炉外燃料貯蔵ラックのごとき本来内部のNa温度の低い機器もある。さらに、高温Naが漏洩した場合も、床ライナ上を連通管に向かって長い距離を流れる間に、放熱や周囲構造物への熱伝達によって冷却され、結果的に低温になることも考えられる。低温Naでは、それが流れる間に凝固して流れが堰き止められることも考えられる。そこで前回の高温Na試験に続いて、昭和59年度上期には次の諸項目を明らかにする目的に、低温Naによる床ライナの流動燃焼試験を行った。本報告書では、この結果について報告する。

- (a) ライナ上のNaの流動性とNaからライナに対する熱伝達率
- (b) ライナ上のNa燃焼生成物（残留物）の量
- (c) Naがライナから連通管に流入する時の固体物（固体状Na燃焼生成物）の量

2. 試験装置と試験方法

2.1 試験装置

試験装置は、先の高温Na試験〔文献(1)〕に用いたものと厳密に同一で、Na供給部、試験セルおよびNaドレンタンクの3つの部分で構成されている。Fig.1にその概略を示す。

Na供給タンクには、周囲に加熱用のヒータが、またタンク内にはNa供給流量測定用の液面計が取りつけてある。試験セルには、発生するエアロゾルを排出するための排気ダクトおよび外気を取り入れるための空気流入ダクトがあり、試験中は外部のプロアーの起動によってエアロゾルの排出が行われる。試験セルの計測点は、壁温と排出ガス温度測定用の熱電対である。床ライ

ナは、試験セルの下部に据付けてあり、床ライナとNaドレンタンクを結ぶ連通管の途中にはメッシュが取りつけてある。メッシュは、試験後に解体して連通管の流路を阻害するような固形状の燃焼生成物の流入があったか否か調べるためにものである。ドレンタンクには、流入Naによる液面上昇を計測できるよう液面計が設置してある。

床ライナ試験体の詳細をFig.2 に示す。概略寸法は、長さ2.4m、幅1.2mで、周囲にはNaのオーバーフロー防止用の縁が設けてある。またノズルからドレンタンクに向かって1/100 の勾配が付けてあり、ライナ下部は保温材で断熱されている。なおオーバーフロー防止用縁の内側のライナ実効面積は2.75m²である。試験時には、Naはノズルから水平方向に流出させて床ライナ上を流し、ドレン口すなわち連通管に排出させた。ノズルからドレン口までの直線距離は2.3mである。ノズルのNa流出部の形状は、幅200mm、高さ10mmである。ライナの計測点については、ライナ上のNa温度測定用とライナ裏面の温度測定用に多数の熱電対を配置し、またNaの流動状況を調べる目的から複数の接触式液面計を配置した。なお、床ライナは前回のRUN-B2試験に用いたと同一であるため、より詳細は前報を参照されたい。

2.2 試験方法

試験方法および試験手順も前回の試験と同様である。すなわち、エアロゾル排出系のプローパーとデータ収録装置をまず起動させ、つぎに昇温Naを供給タンクのカバーガスを加圧することによってライナ上に流出させた。Table 1 に試験条件を示す。Na温度250 °C、使用Na量約160kgで、ノズルからのNa流出流量は約1 l/secである。

3. 試験結果と考察

3.1 Na流動状況に関する観察結果

ライナ上に流出させたNaは、流れる間に表面に白色の酸化皮膜を形成し、この酸化皮膜が流動しなかったためにNaはこの皮膜の下を流れドレン口に排出された。Na供給中は、一部で熱電対との接觸部でNaが発火して時々炎を生じたが、これ以外にはNa燃焼は生じてはいない。Naの供給停止後は、酸化皮膜のみが残され溶融金属Naの殆どがドレンタンクに回収された。

3.2 ライナ上のNaの温度変化とNaの流動状況

熱電対による温度測定結果を基にライナ上のNa温度分布を調べたので、その代表的な結果をFig.4 とFig.5 に示す。Fig.4 はNa供給開始後20秒の時点での分布であり、Fig.5 は150 秒の時点での分布である。これらの図から、Naは始め表面張力のために広がることなく流れだが、後に流れの先端が凍結したことによって流路が変わり、ライナの全面に広がって流れたことが分かる。また、流れる間にライナ側への熱伝達のためにNa温度が低下し、例えばFig.4 ではノズル付近で約150 °C であったものが流れの先端で約25°C に、またFig.5 では先端の温度がノズル付近と比べて約50°C 低くなっている。Fig.6 はこのNa温度低下をより明確に示したもので、ノズルから1.8mの位置のNaの温度時間変化を示したものである。ここでも、Naは一旦凍結し、その後次々と供給されるNaによって再融解していることが分かる。なお、一時的なNaの凍結にもかかわらず、再溶融のためにNaの流動性に対する障害は生じてはいない。

ところで試験の計画の時点では、多数の接触式液面計からの信号を基にNa流路の正確な把握を行う予定であったが、上述のごとく途中でライナ全面に流路が広がったため、これが出来なかった。また、2 本の熱電対信号の相関を基に、ライナ上のNa流速を求める予定であったが、明確な相関は得られなかった。

3.3 Na 供給タンクおよびドレンタンクの液面変化から推定したライナ上のNa流動

Fig.7にNa供給タンクおよびドレンタンクのそれぞれの液面変化を示す。図には、これら2つのタンク内のNa保有量の総和も示したが、初期のNa供給量とこの総和との差分がライナ上および連通管内に残留したNa量となる。なお比較のため、前回の高温Naによる試験結果も示した。

図より、初期はライナ上でのNaの一時的な凍結のため、ドレンタンクへのNa流入開始は遅く試験開始後約75秒である。高温Na試験では、これが試験開始約20秒で始まっている。一定時間が経過すると、上述したNa再融解のためにドレンタンクに向かうNa量は増加している。

3.4 ライナへの熱伝達

先に報告した高温Na試験と同様、ライナ裏面の温度変化データを基にライナ表面温度および熱流束を求め、この熱流束と実測されたNa温度とからライナに対する熱伝達率を求めた。ノズルから400mm の位置について得た結果をFig.8 に示す。同図には、比較のために高温Na試験の結果も示す。

Na 温度が低いため熱流束も高温Na試験で得た値より小さく約80kw/ m²以下であるが、熱伝達率は300 ~500w/ m² °Cと同様な値である。ただし、算出された熱伝達率の精度は高温Na試験で得たそれと比べ悪い。

3.5 残留Na量の測定結果

試験が終了しライナが十分に冷却された後に、各部の残留Na量(酸化Na量)の計測を行った。結果をTable 2 に示す。比較のため前回の高温Na試験の結果も示した。

すでに述べたように、試験中のNa燃焼がないため、ライナ上の残留酸化物量は約1kg/ m²と前回と比べて少ない。メッシュで捕獲された量も少なく、連通管の流路を阻害するような固体物も認められていない。メッシュおよび連通管の残留物が前回と比べて僅かに増えているのは、低温NaであるがためにNaの表面張力が増し構造材の一部に残留したためと考える。ライナ上については、Fig.3 にノズルからドレン口の間にについて残留物重量分布を前回のそれと比較して示す。ほぼ均一な分布を示しており、局所的な偏在はない。

4. 結論

温度250 °Cの低温Naを使用してライナ上のNa流動試験を行った。試験では、ほぼ水平なライナに対して口の広いノズルから水平方向にNaを流出させた時の、ライナ上のNaの流動性、Na燃焼状況を調べた。また得られた結果は、前回の高温Na試験の結果との比較検討を行い、次の結論を得た。

- (1) 流出Naは初期は限定された流路を形成した。しかし、ライナへの熱伝達のため途中で一時凍結して凍結部以外に流れが広がり、試験開始後約170 秒にはライナ全面に広がる流れとなった。流れの広がりと新たな流入Naによって、凍結Naは暫くして融解し、その後は円滑

な流れが確保された。尚、流動Na表面には酸化皮膜が形成され、Naはその下を流れ、Naの流動停止後はこの酸化皮膜がライナ上に残った。Na流動中は、一時的な炎の発生を除くとNa燃焼は認められなかった。

- (2) ライナに対する熱流束は約80kw/ m²以下、また熱伝達率は前回の高温Na試験で得た結果とほぼ同じ300 ~500w/ m²℃であった。
- (3) 試験後の残留Na酸化物量とその分布については、ライナ上についてはほぼ均一で平均約1kg/m²(酸化物)、連通管については大きな固形状酸化物の流入は認められなかった。これらより、実機での流路閉塞の可能性は排除出来るものと考える。

文献

- (1) 川部、姫野、藤枝、奥村、佐藤. , 「ナトリウム火災防護設備基礎試験」, PNC 報告書, SN 941 84- 124, 1984年8月.

謝辞

本試験実施に当たり、旧高速炉安全工学部の関係者の方々には高所からの御指導をいただいた。また、旧原型炉建設部機械課と旧高速炉開発本部の関係者には、原型炉設計との調整に関する労を煩わせた。これら御指導と御協力をいただいた関係者各位に謝意を表します。

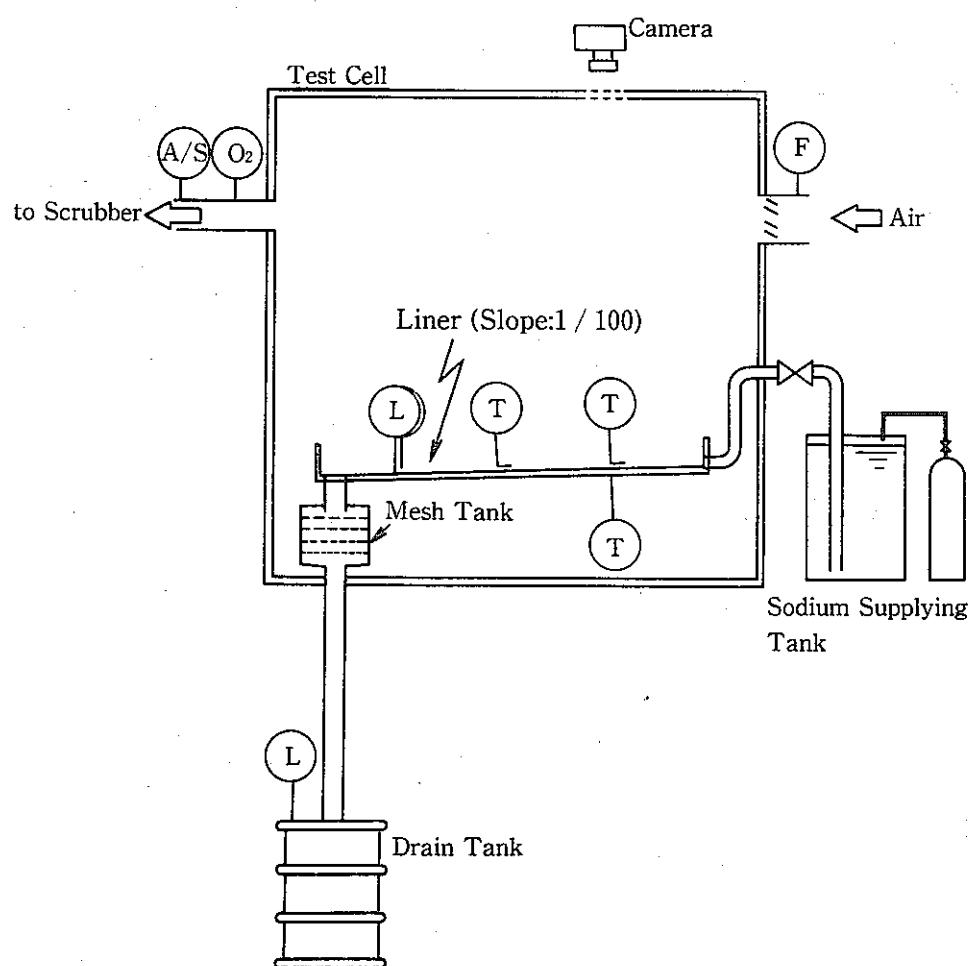


Fig.1 Schematics of Test Rig for Run-B4
(PSS-SFE-021)

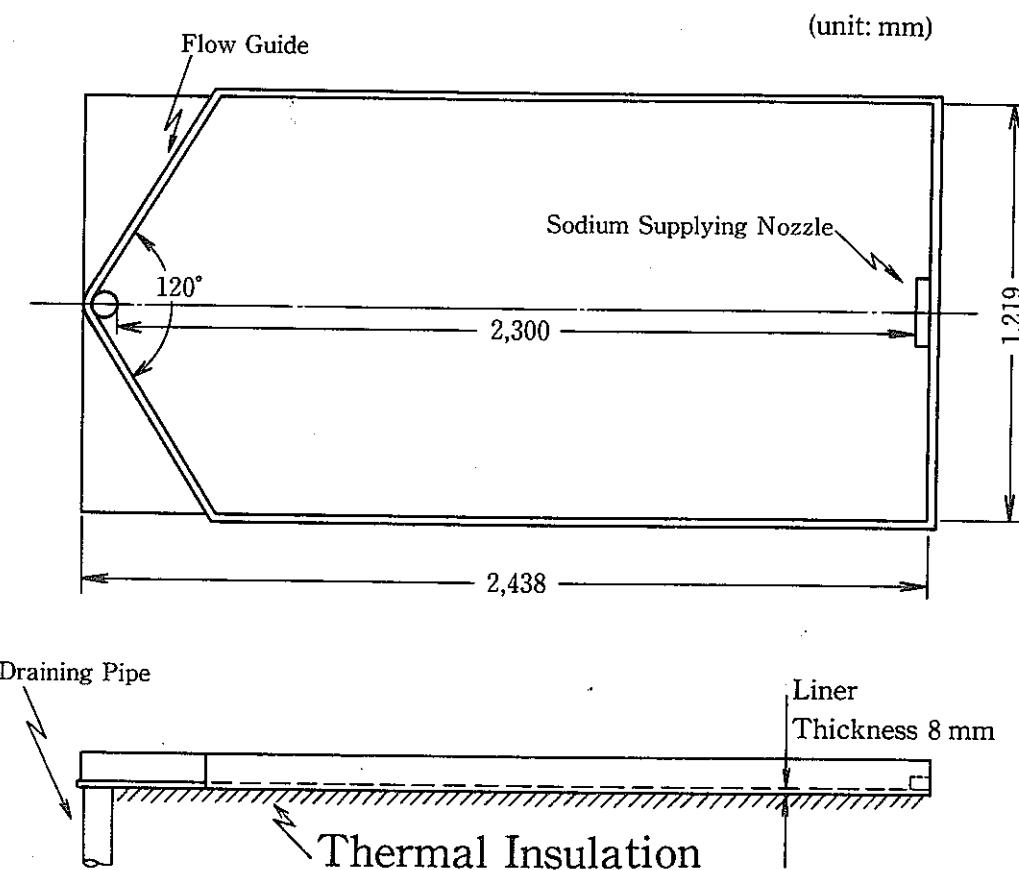


Fig.2 Liner Model for Run-B4
(PSS-SFE-022)

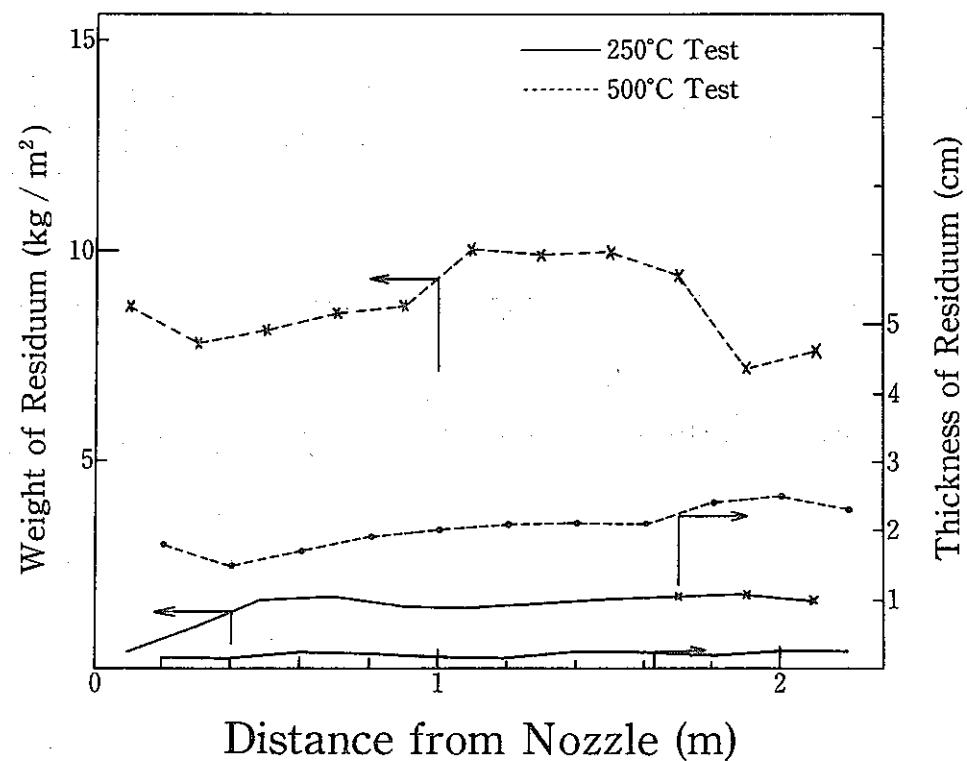


Fig.3 Amount of Residuum on Liner after Tests

(PSS-SFE-140)

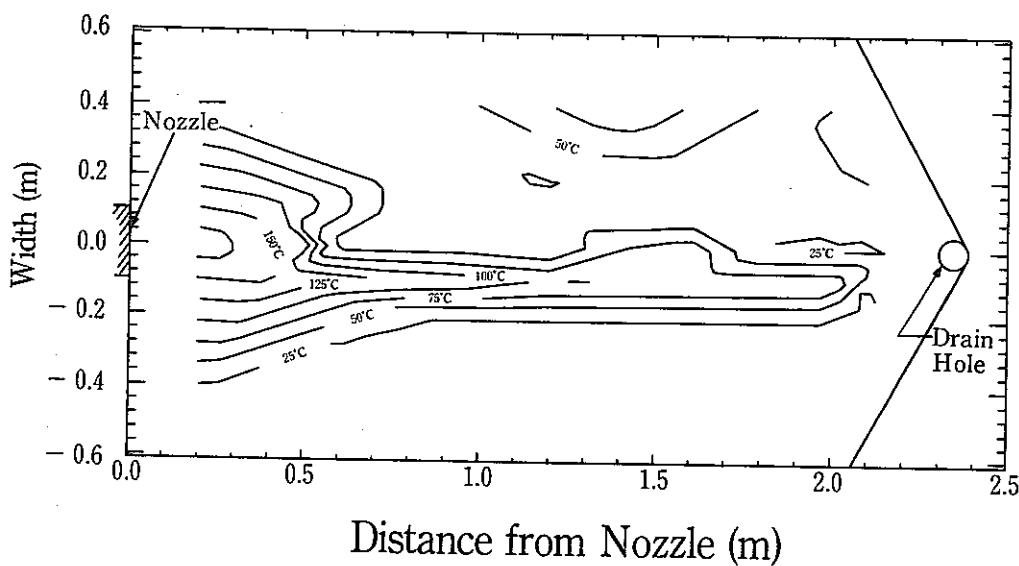


Fig.4 Sodium Temperature Distribution on Liner
(Time 20 s)

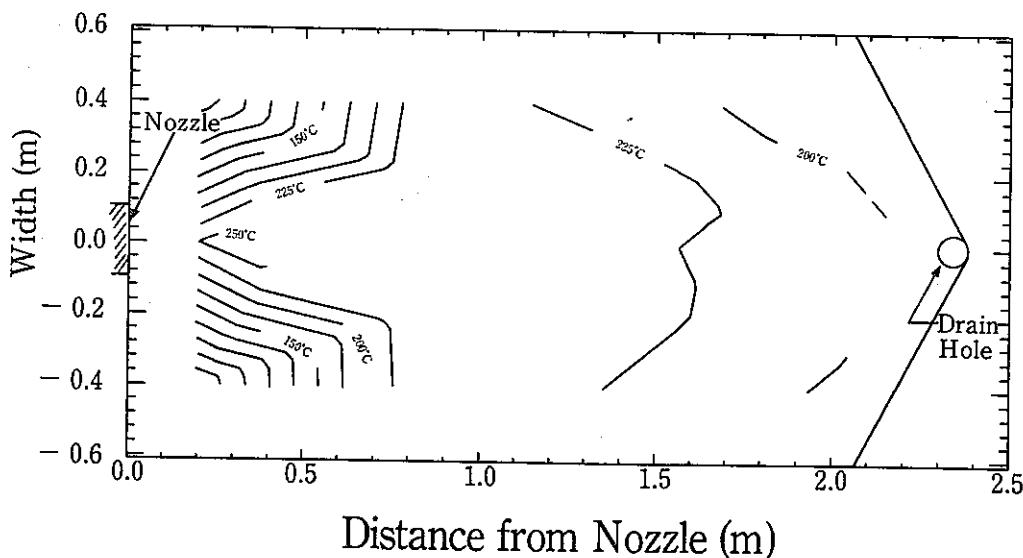


Fig.5 Sodium Temperature Distribution on Liner
(Time 150 s)

(PSS-SFE-141)

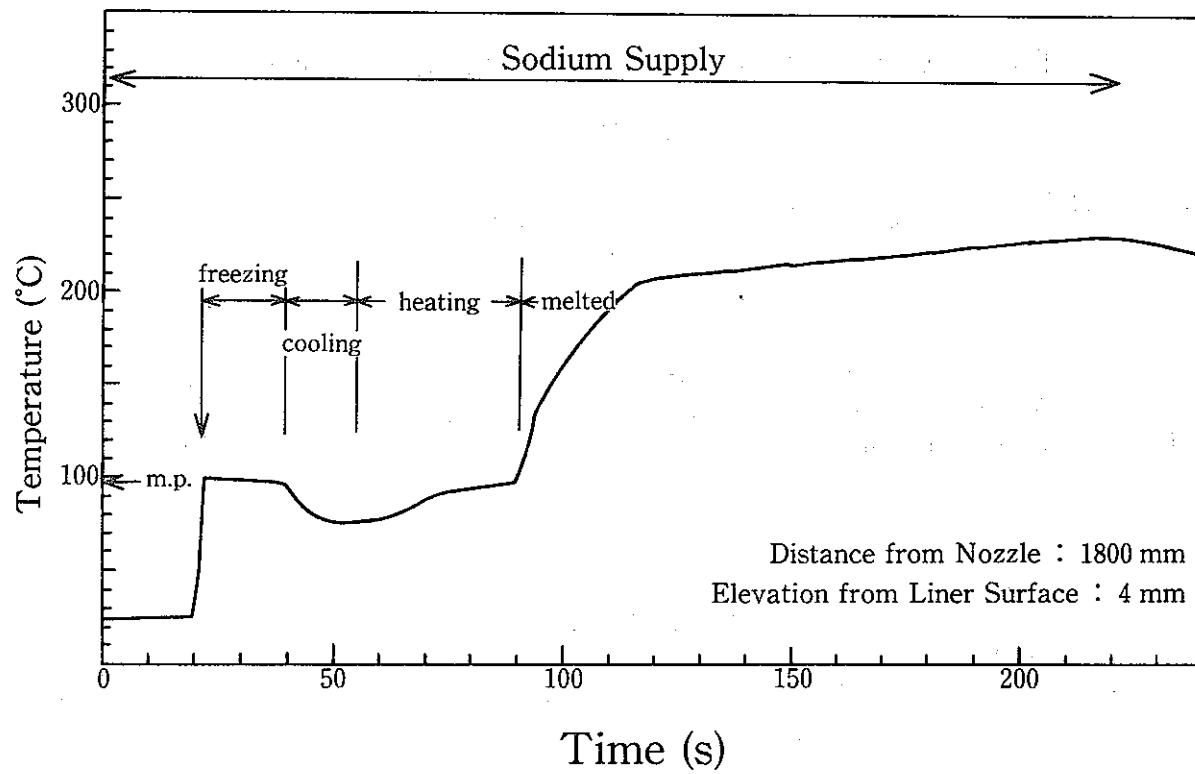


Fig.6 Temperature of Sodium on Liner

(PSS-SFE-038)

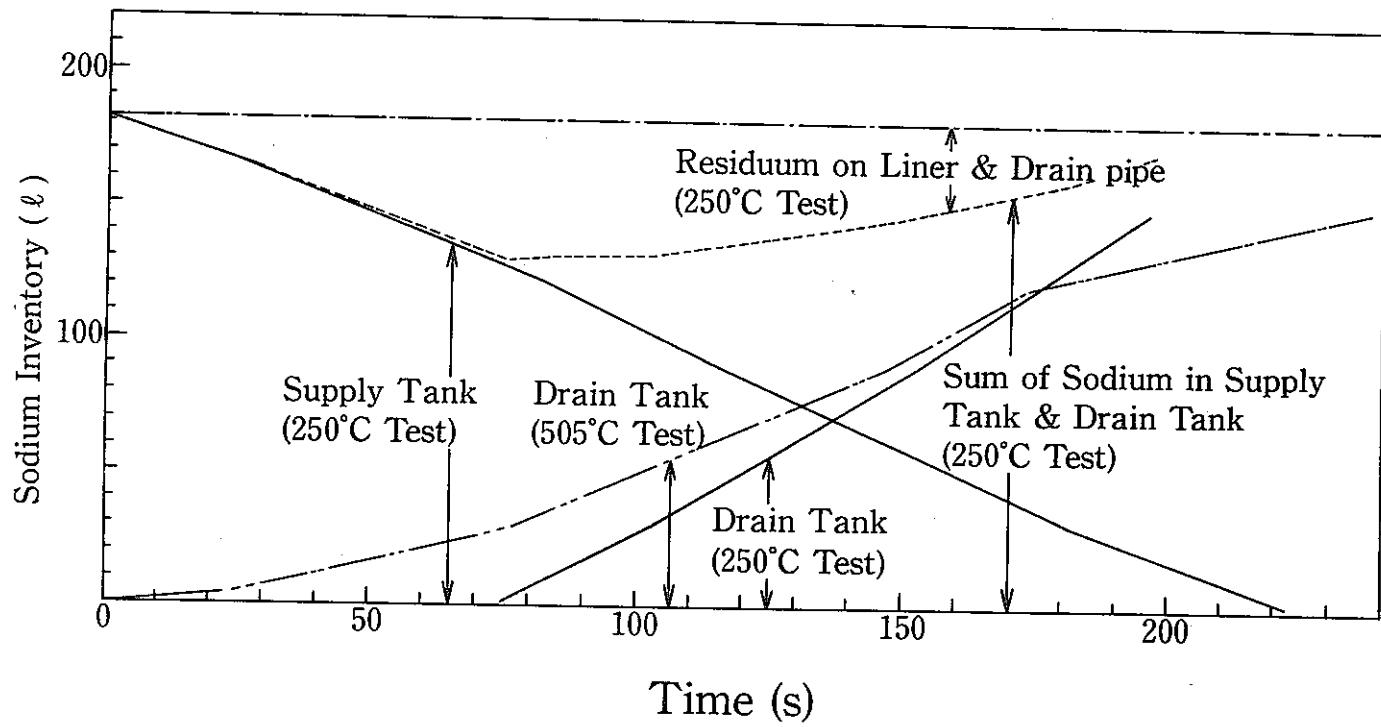


Fig.7 Change of Sodium Amounts in Supply Tank and Drain Tank

(PSS-SFE-142)

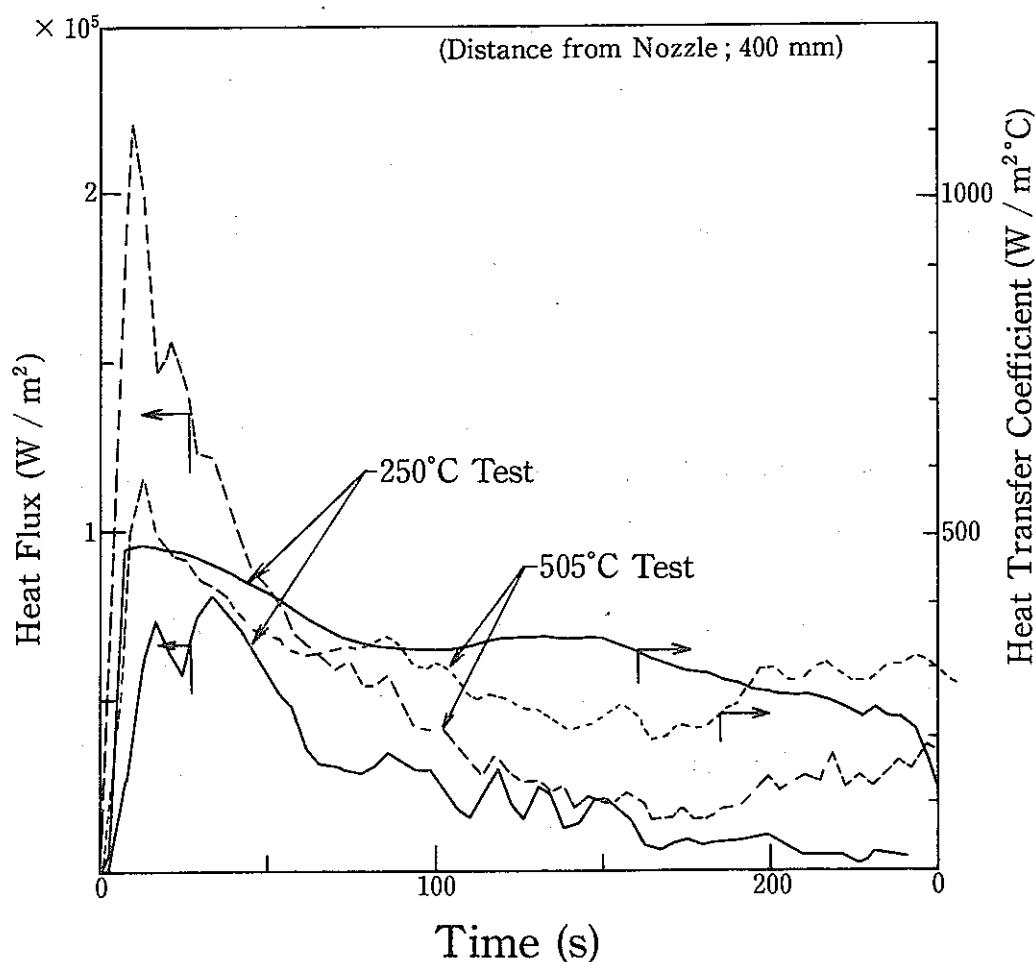


Fig.8 Heat Flux and Heat Transfer Coefficient on Liner
(PSS-SFE-143)

Table 1 Test Conditions of Run-B4

Items	Values
Amount of Supplied Sodium	159.6 kg
Temperature of Supplied Sodium	250°C
Flow Rate of Supplied Sodium Supplying Duration	$\sim 1 \ell / s$, 220 s
Preheat Temperature of Mesh Tank	200°C
Room Temperature	22.2°C
Relative Humidity	72%
Air Flow Rate into Test Cell	$0.083 \text{ m}^3 / \text{s}$

(PSS-SFE-144)

Table 2 Distribution of Residual Sodium
in the Forms of Metal, Oxide, and
Aerosol Deposits after Tests

Item	Mass		
	505°C Test	250°C Test	
Sodium Supplied to Liner	150.5 kg	159.6 kg	
Undrained	Residuum on Liner	23.75 kg	4.09 kg
Drained 135.1 kg	Mesh Tank	1st Mesh #1	0 g
		2nd Mesh #2	40 g
		3rd Mesh #5	110 g
		4th Mesh #10	60 g
	Draining Pipe	0.035 kg	0.1 kg
	Drain Tank	134.9 kg	157.0 kg
	Aerosols	3.09 kg	0.002 kg

(PSS-SFE-145)