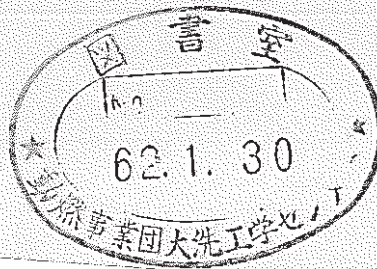


# 大規模ナトリウム漏洩燃焼試験 (III)

空気雰囲気における大規模Naスプレー燃焼試験Run-E<sub>1</sub>



1986年12月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
T	N9410 86-124
<p>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</p> <p>動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室</p>	

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)

大規模ナトリウム漏洩燃焼試験（Ⅲ）  
（空気雰囲気における大規模Naスプレー燃焼試験、Run-E<sub>1</sub>）

森井 正\*，福地 平\*，  
山田 敏雄\*，姫野 嘉昭\*

### 要 旨

1985年9月27日（金）、大洗工学センターのSAPPHIRE施設のSOLFA-2（100 m<sup>3</sup> SUS製容器）試験装置を用いて、空気雰囲気中における大規模・長時間のNaスプレー燃焼試験（RUN-E<sub>1</sub>）を実施した。主なNaスプレー試験条件は、以下の通りである。

スプレー流量	510 g/sec
スプレー経過時間	1800 sec
スプレーNa温度	505 °C
スプレー落下高さ	約 4 m

試験開始直後から、Naスプレー燃焼により容器内ガス温度と圧力は急上昇し、約1.2分後に、ガス最高温度が約700 °C、最高圧力が約1.24kg/cm<sup>2</sup>-gに到達した。その後、酸素濃度の低下（試験容器は密封状態のため）とともに温度・圧力は比較的ゆっくりと低下した。試験容器内の酸素は、ほぼ4分で消費し尽くされたが、この時の酸素消費速度からNaスプレー燃焼速度（100% Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub>反応を仮定）を求めると、160g-Na/secとなり、これは、Naスプレー流量の約30%が途中のガス相で燃焼したことに相当する。スプレーコーン内部温度は1000°C以上になり、スプレー液滴まわりの燃焼域の温度を拾ったため、いくつかの熱電対は破損した。スプレー燃焼期間中は、高さ方向には大きな酸素濃度差は見られなかった。これは、試験容器内の強い自然対流によるガスの混合のためである。

試験容器内のエアロゾル濃度は、試験開始約5分後に最大17.5g-Na/m<sup>3</sup>に到達し、その後急激に減少して、約20分後には1g-Na/m<sup>3</sup>以下になった。

---

\* 大洗工学センター，安全工学部，プラント安全工学室

Dec., 1986

Large Scale Sodium Fire Test ( III )  
(Large Scale Test of Sodium Spray Fire in Air, Run-E1)

Tadashi Morii \* , Taira Fukuchi \* ,  
Toshio Yamada\* , Yoshiaki Himeno \*

Abstract

On Sept. 27, 1985, a large scale sodium spray fire test (RUN-E1) has been conducted in an air atmosphere using the SOLFA-2 test vessel (100m<sup>3</sup> made from SUS) of the SAPPFIRE facility. The major test conditions are as follows.

Spray Rate : 510 g/sec  
Spray Period : 1800 sec  
Spray Inlet Temperature : 505 °C  
Spray Falling Height : 4 m

As a sodium spray started, the gas pressure and temperature rose rapidly and reached to the maximum values 1.24kg/cm<sup>2</sup>-g and 700°C, respectively, after about 1.2 minutes. The oxygen in the test vessel was consumed completely after 4 minutes. From oxygen consumption rate during this time, burning rate of sodium was calculated to be 160g-Na/sec that was equivalent to about 30% of the sodium spray rate (under the assumption of 100% Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub> production).

Many thermo-couples installed in a spray corn region have been failed due to their exposure to the high temperature above 1000 °C, which suggested the existence of a burning zone around the sodium droplets.

No remarkable distribution of oxygen concentration was observed in the vertical direction of the vessel during a spray, indicating that the gas within the vessel was well mixed by natural convection due to gas temperature difference between the outside and the inside of a spray corn.

Aerosol concentration has reached the maximum value of 17.5g-Na/m<sup>3</sup> after 5 min and decreased below 1g-Na/m<sup>3</sup> after 20 min.

---

\* FBR Plant Safety Sec., Safety Engineering Div., OEC.

要 旨 .....	I
目 次 .....	III
List of Tables .....	IV
List of Figures .....	V
1. 緒 論 .....	1
2. 試験装置 .....	2
2.1 試験装置の概要 .....	2
2.1.1 Na加熱器 .....	2
2.1.2 ストレージタンク .....	2
2.1.3 ドレンタンク .....	3
2.1.4 窒素ガス供給設備 .....	3
2.2 SOLFA-2試験セルの概要 .....	4
2.2.1 試験セル .....	4
2.2.2 燃焼抑制装置 .....	5
2.2.3 Naスプレーノズル .....	6
2.3 測定装置 .....	6
3. 試験方法および試験条件 .....	10
3.1 試験方法 .....	10
3.2 試験条件 .....	11
4. 試験結果と考察 .....	12
4.1 ガスの圧力 .....	12
4.2 ガスの温度 .....	12
4.3 各部構造材温度 .....	13
4.4 壁への熱流束 .....	15
4.5 酸素ガス濃度 .....	16
4.6 エアロゾル濃度 .....	17
4.7 ガス流速分布 .....	17
5. 結 論 .....	19
参考文献 .....	20
Appendix A 酸素濃度計の遅れ .....	21

L i s t o f T a b l e s

Table 1.1	Scale of Spray Fire Tests Performed in Japan and Sodium Leak of Monju DBA .....	22
Table 3.1	Progress of Run-E1 Test .....	23
Table 3.2	Test Conditions of Run-E1 .....	24

L i s t o f F i g u r e s

Fig 2.1	Arrangement of Test Rig for Run-E1 .....	25
Fig 2.2	SOLFA-2 Overview .....	26
Fig 2.3	Apparatus for sodium fire suppression .....	27
Fig 2.4	Mechanism of fire suppression .....	28
Fig 2.5	Spray Nozzle .....	29
Fig 2.6	Measurement of Spray Droplets Size (Water Test) .....	30
Fig 2.7	Arrangement of Thermo-couples .....	31
Fig 2.8	Setting of Heat Flux Meter on Vessel Wall .....	32
Fig 4.1	Gas Pressure and Sodium Spray Rate .....	33
Fig 4.2	Gas Temperature .....	34
Fig 4.3	Gas Temperature above of Spray Nozzle on a Center Line .....	35
Fig 4.4	Gas Temperature above of Spray Nozzle on 90cm away from a Center Line .....	35
Fig 4.5	Positions of Thermo-couples below Spray Nozzle .....	36
Fig 4.6	Temperature below Spray Nozzle (3.114m down from spray Nozzle) .....	37
Fig 4.7	Temperature below Spray Nozzle (3.984m down from spray Nozzle) .....	37
Fig 4.8	Temperature below Spray Nozzle .....	38
Fig 4.9	Typical Temperature Distribution of Atmosphere in Vessel (at 40 sec after spray discharge) .....	39
Fig 4.10	Vessel outside Wall Temperature .....	40
Fig 4.11	Protection Steel Temperature .....	41
Fig 4.12	Temperature below Catch Pan .....	41
Fig 4.13	Inner and Outer Surface Temperature of Vessel Ceiling .....	42
Fig 4.14	Heat Flux to Vessel Wall .....	43
Fig 4.15	Oxygen Concentration .....	44
Fig 4.16	Sodium Aerosol Concentration .....	45
Fig 4.17	Sodium Aerosol Plate Out on Floor .....	45

L i s t o f F i g u r e s ( c o n t i n . )

Fig 4.18	Gas Flow Pattern (1)	.....	46
Fig 4.19	Gas Flow Pattern (2)	.....	47
Fig 4.20	Gas Flow Vector (1)	.....	48
Fig 4.21	Gas Flow Vector (2)	.....	49
Fig A.1	Sampling System of Oxygen Meter	.....	50
Fig A.2	Correction of Oxygen Concentration Test Data	.....	51



## 1. 緒 論

原型炉「もんじゅ」では、設備設計上の想定Na漏洩事故として、配管の $1/4 \cdot Dt$ 相当破損によるNaスプレー燃焼を考えている。Naスプレー燃焼による事故室の温度と圧力の上昇は、ナトリウム燃焼解析コード「ASSCOPS」を使用して評価している。

ASSCOPSコードのスプレー燃焼モデルの実験検証として、スプレー火災実験による検証<sup>1), 2)</sup>があるが、これらの実験の、スプレー時間が短い(～20 sec)ため、より長時間で、より大規模なスプレー燃焼試験が実機との対応上必要となってきた。<sup>3)</sup>

Table 1.1にこれまで国内で実施されたNaスプレー燃焼試験の規模と、本試験および「もんじゅ」設計事故の規模との比較を示す。

本報告書は、今回行った長時間大規模な試験について報告するもので、第2章で、SOLFA-2試験装置の説明を行い、試験に用いたスプレーノズルのスプレー特性を取得するため、前もって実施した水によるスプレー試験についても言及する。第3章では試験方法および試験条件を、第4章では試験結果と考察を記載し、最後に結論を第5章にまとめた。

## 2. 試験装置

### 2.1 試験装置の概要

大規模ナトリウム漏洩燃焼試験装置 SOLFA-2 は、Na 加熱器、試験容器 SOLFA-2、ストレージタンク、ドレンタンク、窒素ガス供給設備等から構成されている。Fig 2.1 にその全体構成図を示す。以下に構成機器の仕様について説明する。

#### 2.1.1 Na 加熱器

Na 加熱器は、Na を試験温度まで昇温しガスで加圧して、SOLFA-2 内へ供給する設備である。Na 供給流量の制御は、ガス圧を制御することによって行う。供給する Na の流量の測定は、Na 加熱器と試験容器を結ぶ Na 配管の途中に設けた電磁流量計で行う。

Na 加熱器の仕様を以下に示す。

#### Na 加熱器仕様

型 式	上部フランジ付縦置円筒容器
内 容 積	5.36 m <sup>3</sup>
寸 法	φ1300 (D) × 4300 (H) × 10 (t)
材 質	SUS 304
ヒータ容量	70 kw (AC200 [V], 3φ, 50 [HZ])
最高使用温度	550 °C
最高使用圧力	-1 ~ 5 kg/cm <sup>2</sup> -g

#### 2.1.2 ストレージタンク

ストレージタンクは、試験に使用する Na を貯蔵するタンクで、Na 加熱器への充填は、このタンクより行う。

また、ストレージタンク内の Na の純化を必要とする場合には、ストレージタンクに隣接するコールドトラップで行うことができる。

ストレージタンクの仕様を以下に示す。

ストレージタンク仕様

---

型 式	横置円筒容器
容 量	20 m <sup>3</sup>
寸 法	φ2500 (ID) × 4480 (H) × 14(t)
材 質	S U S 304
最高使用温度	550 °C
最高使用圧力	-1 ~ 5 kg / cm <sup>2</sup> -g

## 2.1.3 ドレンタンク

実験終了後、燃焼抑制槽内に溜まったNaは、試験容器下部に設けられたドレン配管を通して、ドレンタンクへ回収する。

ドレンタンクは、横置円筒容器で、実験室床ピットに設置されている。

ドレンタンクの仕様を以下に示す。

ドレンタンク仕様

---

型 式	横置円筒容器
容 量	6 m <sup>3</sup>
寸 法	φ1500 (ID) × 3582 (H) × 9(t)
材 質	S U S 304
最高使用温度	450 °C
最高使用圧力	-1 ~ 3 kg / cm <sup>2</sup> -g

## 2.1.4 窒素ガス供給設備

窒素ガス供給設備は、Na加熱器、試験セル、ストレージタンク、ドレンタンクのカバーガス圧制御を行っている。また、本設備は、真空系も兼ねており、Na加熱器へのNa充填を行うとともに、今回のRun-E1試験で容器内にNaスプレーを一定供給するときの、Na加熱器ガス圧制御や、試験終了後容器内への不活性ガス供給をも行っている。

窒素ガス供給設備仕様を以下に示す。

## 窒素ガス供給設備

材 質	S G P
配管サイズ	2 B
最高使用圧力	- 1 ~ 5 kg / cm <sup>2</sup> -g
流 体	窒 素 ガ ス

## 2.2 試験容器SOLFA-2の概要

SOLFA-2とともにその内部の燃焼抑制装置、Naスプレーノズル等の構成機器について、それらの仕様を以下に説明する。Fig 2.2 にSOLFA-2試験セル構成図を示す。

## 2.2.1 SOLFA-2容器

内容積111m<sup>3</sup>のステンレス製縦置円筒容器で、上部と胴部にメンテナンス用マンホールがボルトナットで固定してある。内部には、Naスプレーノズルや火災抑制板および燃焼抑制槽が、さらに胴部には、スプレー燃焼によって生ずる熱や圧力から容器を保護するための水冷ジャケットと、ラプチャディスクが設けられている。

試験セル、水冷ジャケット、ラプチャディスクの各仕様を以下に列挙する。

## 試験セル仕様

型 式	縦置き円筒型上部開閉フランジ付き
容 積	全空間容積 111 m <sup>3</sup> 燃焼抑制槽上部空間容積 95.5 m <sup>3</sup> " 下部空間容積 15.5 m <sup>3</sup>
概 略 寸 法	φ3600(ID)×10816(H)×25(t)
材 質	S U S 304
最高使用温度	4 0 0 ℃
最高使用圧力	- 1 ~ 2 kg / cm <sup>2</sup> -g

水冷ジャケット仕様

型 式	二重円筒容器
容 積	6.18 m <sup>3</sup>
概 略 寸 法	φ3800(OD)×φ3650(ID)×7040(H)×6(t)
材 質	SS 41

ラプチャディスク仕様

型 式	反転式(新潟BS&Bセイフティシステムズ株式会社製 RB-90)
容 積	NICKEL/ALLOY 200
サ イ ズ	8 インチ
設 計 破 裂 圧	1.71 kg/cm <sup>2</sup> -g

## 2.2.2 燃焼抑制装置

今回報告するRun-E1試験は、前で説明した様にスプレー燃焼に関するデータを取得するのが目的で、プール燃焼等の影響をできる限り排除するためスプレーノズルの下部に燃焼抑制装置を設けている。

燃焼抑制装置の構造は、Fig 2.3 に示す様に、炭素鋼(SM41B)製の燃焼抑制槽と一般炭素鋼(SS41)製の燃焼抑制板から成っており、スプレーノズルから噴出したNaは、燃焼を伴いながら燃焼抑制板上に滴下する。

燃焼抑制板では、滴下したNaが、1/100の傾斜にそって燃焼抑制槽内へ流れ込み自然鎮火する。

尚、燃焼したNaが、燃焼抑制槽内で自然鎮火するメカニズムについては、Fig 2.4に概説する。

燃焼抑制装置の仕様を以下に示す。

燃焼抑制装置仕様

## (1) 燃焼抑制槽

材 質	SM41B
寸 法	φ3400(ID)×φ250(H)×6(t)

## (2) 燃焼抑制板

材 質	S S 4 1
寸 法	$\phi 3400 \times 4.5t$

## 2.2.3 N a スプレーノズル (Fig 2.5)

N a スプレーノズルから噴出された N a の液滴径は、水を使ったスプレー性能実験で、実測しており平均径は約 2 mm (体積平均径) である。

Fig 2.6 にスプレーノズルの水試験要領およびその結果を示す。

N a スプレーノズルの仕様を以下に示す。

N a スプレーノズル仕様

材 質	S U S 304
ノズル☆個数	1 個
スプレーコーン角度	約 35°
スプレー落下高さ	3980 (H)

## 2.3 測定装置

R u n - E 1 試験から得られるデータとして、密閉セル内での N a スプレー燃焼に伴う各部温度変化、熱流束、圧力変化、酸素濃度変化およびエアロゾル濃度がある。

以下にそれぞれの測定内容について説明する。

## (1) 各部温度変化測定

温度測定用の熱電対配置は、Fig 2.7 に示す様に、スプレーコーン内に15箇所、スプレーコーン外に3本1組で10組を配置した。

スプレーコーン内の熱電対で測定されるのは、N a 液滴・炎および内部ガス温度である。しかし、それぞれを分離するのは困難であり、これらの温度の混じったものとなる。

スプレーコーン外側に設けた熱電対は、3本が1組で、各組では熱電対相互の相関関数を求めて、その位置でガス対流速度を求める。ただ、熱電対の空気温度に対する時定数が長く、速いガス対流は測定出来ない可能性があることから、熱電対相互の最適距離を見つけるために熱電対相互の間隔を 5 cm、15 cm、20 cm と変えて10箇所配置した。燃焼抑制槽には、燃焼抑制板上の N a 厚さおよび温度測定用に 5 本、槽内プールの量および温度測定

用に3本、抑制槽温度測定に3本を配置した。

その他、試験容器壁や水冷ジャケットの温度測定用として、計29本の熱電対を配置した。

ここで、温度測定用に使用した熱電対は、直径1.0 mmφの被接地型C-A（クロメル-アルメル）熱電対である。

## (2) 放射熱流束測定

スプレーコーン内の高温部から、容器側壁への対流と、熱放射による伝熱量を別々に測定するため、壁表面のほぼ同じ位置（スプレーノズルと同じ高さの位置）に2つの熱流束計を並べて設置し、一方のみに放射熱をシールドする遮蔽板を設けた（Fig 2.8 に熱流束計取付図を示す）。シールド板を有する熱流束計は、対流のみを測定するものであり、もう一方の熱流束計の測定値との差から放射熱のみによる熱流束を求めた。

## (3) 酸素濃度変化測定

スプレー燃焼速度は、試験容器内の酸素濃度変化から求める。この時の酸素濃度の測定は、磁気式酸素濃度計やガスクロマトグラフィおよび自動ガスサンプリング装置により測定した。

SOLFA-2容器の様な縦長円筒容器で、その下半分においてNaスプレー燃焼を発生させた場合、高さ方向にかなりの酸素濃度分布が生じると予想される。そこで、試験容器上部には自動ガスサンプリング装置を、中間部には磁気式酸素濃度計を、下部には磁気式酸素濃度計とオンラインガスクロマトグラフィを設置して、それぞれの箇所での測定を行った。

Fig 2.2 に酸素濃度測定器の配置図を示す。また、以下に各測定容器の仕様を示す。

### ① 磁気式酸素濃度計

型 式 : 6395型磁気式酸素分析計（三鷹工業株式会社製）  
 測定レンジ : 0～25 vol%  
 応答速度 : 約20秒/90%応答（分析計単体）  
 指 示 : 連続指示

### ② オンラインガスクロマトグラフィ

型 式 : 370T型酸素水素分析装置（ガスクロ工業株式会社製）  
 カ ラ ム : モレキュラシブ  
 分 解 能 : 1/30%  
 指 示 : 最小インターバル5分の間欠測定方式

③ 自動ガスサンプリング装置

自動ガスサンプリング装置では、酸素濃度分析用ガスを試験セル内からサンプリングする。

ガスのサンプリングは、試験容器に設けたガスサンプリングノズルから容器内ガスを2000CCのシリンダに吸引する。このときのサンプリング間隔は、任意にタイマで設定できる。サンプリングの本数（シリンダ本数）は最大15本である。

ガス分析は、補集したサンプリングガスを自動ガスサンプリング装置から取外し、ガスクロマトグラフィに掛けて行なう。

(4) 容器内ガス圧力変化測定

密閉容器内でNaスプレー燃焼に伴う雰囲気ガス圧力変化の測定は、SOLFA-2上部に設けた圧力計で測定した。また、この圧力計は、密閉容器内にNaを一定供給するため、容器内圧力と加熱器ガス圧力との差圧を一定に保つようフィードバック制御信号としても使用した。この圧力計の仕様を以下に示す。

圧 力 計 仕 様

型 式	:	電子式圧力伝送器（横河北辰電機株式会社製）
測定レンジ	:	-1 ~ 3 kg/cm <sup>2</sup> -g
測定精度	:	±0.25% OF F.S

(5) 観察装置

スプレー燃焼形態を観察するため、試験容器の上部とスプレーノズルの側部からスプレーノズルを覗む形でビデオカメラでセットした。

(6) 反応生成物の組成量と割合の測定

スプレー燃焼に伴って発生するエアロゾルの濃度や沈降するエアロゾル量および壁に付着するエアロゾルの量は次のようにして測定した。

- ① エアロゾル濃度は、エアロゾルの重量濃度自動サンプラで、発生したエアロゾルを任意の時間にサンプリングした。このサンプリングでは、サンプリングガスを約2000CC吸引し、このとき吸引ラインに設けた孔径2ミクロンの焼結フィルタによってエアロゾル



を捕集する。次に、この捕集したエアロゾルを水に溶解して、定量分析によりNa量として求める。

② 沈降エアロゾルは、沈降エアロゾルサンプリング装置を使ってサンプリングを行う。沈降するエアロゾルのサンプリングは、上向きに設置した $\phi 36^{(1D)}$ の上皿にエアロゾルを溜め、その量を、原子吸光分析によるエアロゾル組成の分析および定量分析により求める。

③ 壁に付着したエアロゾルは、試験終了後、試験容器内壁の各部から50cm平方の範囲のエアロゾルをかき落とし、定量分析を行った。

また、燃焼抑制槽内に残存したNa燃焼生成物については、重量および残Na厚測定により求めた。

以上に述べた計測のうち、各部温度測定、放射熱流束測定、磁気式酸素濃度、容器内ガス圧力およびNaスプレー流量の測定データは、計算機（HP1000）を使って収録する。データの収録間隔は、試験開始から1時間までは50（msec）、その後10時間は500（msec）である。

### 3. 試験方法および試験条件

#### 3.1 試験方法

Table 3.1 に R u n - E 1 の基本手順を示す。

ストレージタンクから充填した N a を、N a 加熱器で目的とする温度まで昇温する。次に N a 加熱器のカバーガス圧力と試験容器内ガス圧との差圧を一定に制御する。なお、この差圧を制御するのは N a スプレー流量を一定値に保つために必要となるもので、自動フィードバック制御によって行った。

以上の準備が整った所で N a を供給する。供給は、スプレーノズル手前に設けた N a 弁を開き、N a 配管からスプレーノズルを介して試験容器内に N a をスプレーした。

試験データの収録は、N a スプレー開始から11時間まで計算機（H P 1000）を使って M T（磁気テープ）に収録した。試験開始から1時間までは、データ収録間隔50msec(20Hz)で行い、その後10時間は500msec(2 Hz)で行った。また、スプレー期間中は、スプレー形態および燃焼形態の観察のため、ビデオカメラ2台を作動させた。

N a スプレーは、N a 流量を積算して、総 N a 供給量が920kgに到達した時点で停止した。

スプレー供給停止後は、エアロゾルの挙動に関する測定のため、試験容器内雰囲気を乱さない様にし、エアロゾル重量・濃度自動サンプラおよび沈降エアロゾル自動サンプリング装置で、試料の採取を行った。

燃焼抑制槽内に溜まった N a は、その温度が450℃以下まで下がるのを待って、不純物沈澱タンクへドレンした。

試験容器内に残存する N a 燃焼生成物や壁に付着するエアロゾルについては、常温まで温度が下がってから、試験容器内に固形ドライアイス（C O<sub>2</sub>）を約50kg投入し、N a の安定化処理を行った後、マンホールを開放して残 N a およびエアロゾルの回収を行い、残量を求めた。

### 3.2 試験条件

試験条件をTable 3.2 にまとめた。主な試験条件の決定根拠を以下に示す。

(1) Na 温度：505℃

「もんじゅ」2次主冷却系のNa最高温度に対応。

(2) Na スプレー流量：36.7ℓ/min

本試験流量は水試験でのスプレーデータを用いて、ナトリウム燃焼解析コードで予備解析を実施し、その結果から判断した装置の耐圧上許容される最大流量36.7ℓ/minとした。なお、予備解析によると、この流量での最高圧力は1.1kg/cm<sup>2</sup>-gで、装置の設計圧1.5kg/cm<sup>2</sup>-g以下である。

(3) 供給Na総量：1ton

Naの処理のし易さ等から判断した。

(4) スプレー広がり角度：40度

スプレーノズルの特性によるが、スプレーがSOLFA-2内壁に当たらない最大の角度でもある。

## 4. 試験結果と考察

### 4.1 ガス圧力

Na スプレー流量とともにガス圧力変化をFig 4.1 に示す。

ガス圧力は、スプレー燃焼とともに急激に上昇し、約1.2分後に最大値である1.24kg/cm<sup>2</sup>-gに到達し、その後は、比較的ゆるやかに低下した。なお、Na 漏洩開始後約350秒の時点で、圧力低下率にわずかな変化が見られるのは、この時刻にNa 漏洩流量が上昇したためである。スプレー流量は、前述したように、Na 加熱器のカバーガス圧制御とNa 流調弁の制御とで行う予定であった。しかし、これがうまく行かず実際の制御は人手で行なった。このため、流量に若干の変動を生じた。

### 4.2 ガス温度

Fig 2.7 に示したように、数多くの熱電対を試験容器内に配置しているが、これらの内のガス中のもので測定した結果を、Fig 4.2 に示す。図から、まずスプレーコーン内部のガス温度(B) (TE-2082) は、Na スプレー開始後急激に上昇して1000℃を越えた。次に、スプレーコーンの外側ガス温度(TE-2085) は、容器上部で最大値700℃を越え、側部でも最大値600℃以上となった。上部のガス温度(TE-2052) が高いのは、スプレーコーン内の熱いガスが浮力で上昇したためと考える。

次にこれらの(A)、(B)、(C)のそれぞれの部分について、もう少し詳しく調べてみる。ノズル上部のガス空間に配置した熱電対のうち、中心軸上に配置してある熱電対(TE2040、2041、2042、2046、2052、2058) の出力結果をFig 4.3 に、中心軸から水平方向90cm離れた軸上に配置された熱電対(TE2043、2044、2049、2055、2061) の出力結果をFig 4.4 に示す。両方の図からわかるように、それぞれの軸上のガス温度は、どれもほとんど同じであり、かつ異なる軸上のガス温度もほぼ同じ挙動を示した。これより、スプレーノズル上部のガス空間では、十分な対流による混合が生じており、ガス温度の不均一はほとんどないことがわかる。

ノズルより下の空間には、Fig 4.5 に示した様に熱電対が配置されており、Na スプレーが落下する際の広がり範囲を推定出来るようにしてある。ノズルより下に配置されている熱電対には、当然、Na スプレーがぶつかることが予想される。このため、Fig 4.5 に示した熱電対のうち、Ⓔと記したもの(TE-2075, 2076, 2077, 2078, 2080) はNa 漏洩中

に焼損した。

Fig 4.6 に上から4段目に配置された4つの熱電対 (TE-2082, 2083, 2084, 2085)、Fig 4.7 に上から5段目に配置された5つの熱電対 (TE-2027、2086、2087、2088、2089) の出力結果を示す。図から、最高温度は1000℃を越えているが、Naの沸点は約900℃程度であることから、Na液滴のまわりの燃焼ゾーンの、炎を測定していることを示している。さらに、Na漏洩開始後200~300秒で、スプレーコーン内部の温度が急に低下しているが、これは後述するように酸素がこの時刻前後に消費し尽くされたためである。

次に、Naスプレーが落下する際の広がり範囲をこれらの温度から類推する。

前述のスプレーノズル上部空間のガス温度の最高値が800℃程度であり、Naの沸点が約880℃程度であることを考慮すると、温度が800~900℃以上を示せばNaスプレーが通過したものと見なせる。このこととFig 4.6 から、広がり境界は、Fig 4.5 においてTE-2083, 2084の間を、Fig 4.7 からはTE-2087近傍にあると判断できる。一方、Fig 4.8 にあと3本の生き残った熱電対の温度を記す。同図より、TE-2079, 2081は、Naスプレーが通過したと考えられる。以上の事より、スプレーの広がり範囲を推測すると、Fig 4.5 の様になる。すなわち、スプレーの落下範囲は、円すい状ではなく、むしろ、つりがね状に近い。Fig 4.9 に、Na漏洩開始後40秒の時点における試験容器内のガス温度分布を示す。Naスプレー落下範囲 (ノズルの位置は☆で表わされており、Naは、上方向に落下しているところになる。) がよくわかる。この図で特徴的なことは、スプレー落下範囲内でも温度差があり、中心部の方が端部よりも温度が低いことである。これは、スプレーコーン内部になるほど、燃焼のために酸素濃度が減少し、結果的に燃焼速度が小さくなっているため、現象的にはろうそくの炎と同じである。

#### 4.3 各部構造材温度

Fig 4.10 に、試験容器の天井部と側壁部の外表面温度を示す。天井部では、最大約130℃まで上昇している。一方、側壁部は、水冷ジャケット間の水の冷却効果により、初期からの温度上昇は高々10℃である。

Fig 4.11 にスプレー接触防止板まわりの構造材温度を示す。スプレー接触防止板は、高温のNaスプレーが直接試験容器に当たらないようにする目的で設置されている。接触防止板、試験容器とも内表面温度であり、板表面のガス温度の影響を強く受ける。図より、上部の方が下部より温度が高い。また、接触防止板により、例えば、TE-2024、TE-2011 とでは約200℃、TE-2026、TE-2014 とでは約150℃程度の温度差が接触防止板と試験容器との

間についている。

Fig 4.12 にナトリウム受皿下部板の外表面温度を示す。受皿中央部で最高約560℃となりスプレーNaの温度505℃を上回っている。なお、中央部の温度に比べて、周辺部の温度が低いのは、受皿の支支構造物への放熱による。この他、Na温度測定用に多数熱電対を配置していたが、熱電対導線をNa液面すなわち高温の燃焼面が通過したため焼き切れた。

最後に試験容器天井について内側と外側の表面温度を比較したのがFig 4.13 である。図から内外表面の温度差 $\Delta T$ は初期に300℃を越えている。天井部での容器肉厚は25mmであるので、このときの容器中の熱流束は、

$$g \sim \frac{14}{25 \times 10^{-3}} \cdot 300 = 170000 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{hr}$$

となり、実測された最大熱流束 $14000 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{hr}$  (次節参照)の10倍にもなり矛盾している。これは容器内側に配置された熱電対が、単に、容器内壁に点溶接されているだけなため、壁近傍のガス温度を測定している可能性が強いためであり、ここでは参考値として示しておくに止める。

今後、内表面温度を精度よく測定するために、みぞを作って、熱電対の先端を埋め込む等の対策が必要と考える。

4.4 壁への熱流束

第2章でも述べたように、試験容器側壁部表面のほぼ同じ位置に2つの熱流束計を並べ、これらで、対流のみ及び対流に放射の加わった熱流束を測定した。Fig 4.14 に測定結果を示す。

垂直板の自然対流熱伝達は、右図の次式で与えられる。

$$N_{um} = 0.56 (Gr_x \cdot Pr)^{1/4}$$

$$10^5 < Gr_x \cdot Pr < 10^{11}$$

$$N_{um} = 0.021 (Gr_x \cdot Pr)^{2/5}$$

$$10^8 < Gr_x \cdot Pr < 10^{14}$$

本実験においては、代表長さ9 m、ガス温度700℃（最高値）、壁温100℃であることから、

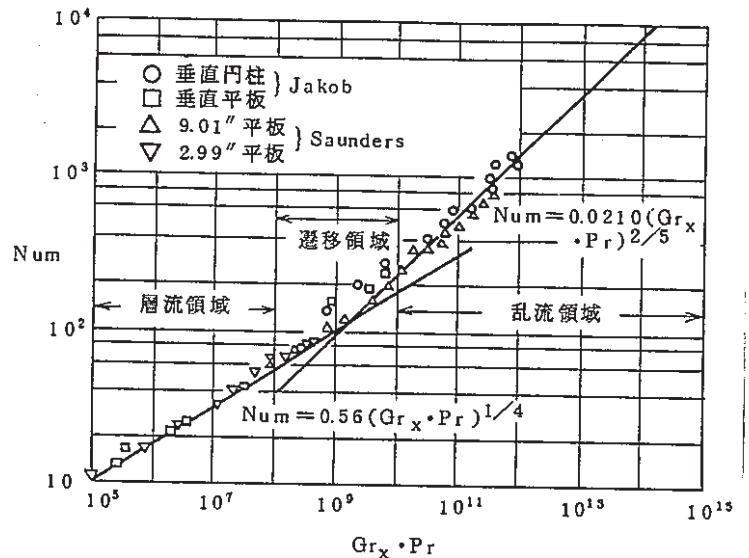
$$Gr \cdot Pr \sim 1.5 \times 10^{12}$$

となり、上式より  $N_{um}$  は、約2000である。この値から熱流束を求めると、

$$g \sim Nu \frac{\lambda}{L} \Delta T = 2000 \times \frac{0.03}{9} \cdot (700 - 100) = 4000 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{hr}$$

ここで、 $\lambda$  : 空気の熱伝導度

となり、Fig 4.14 の  $q_{conv}$  の最大値（ $\sim 11000 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{hr}$ ）の約1/3 にすぎない。これは、700℃もの高温のエアロゾル混入ガスは、それ自身かなりの熱放射エネルギーを持ち、それからの多重散乱放射は、シールド板では防ぎきれないため  $q_{conv}$  にこの熱放射エネルギーが含まれているものと推定する（ちなみに、ガスは、シールド板の内側を自由に行き来する）。



エアロゾル混入ガスの放射エネルギーは、混合物の放射を $\epsilon_g$ とすると、

$$q \sim \epsilon_g \cdot 4.88 \cdot ((700 + 273)/100)^4 = 44000 \cdot \epsilon_g \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{hr}$$

になり、もし $\epsilon_g = 1$ とすると、最大44000 Kcal/m<sup>2</sup>・hrの大きな熱流束となる。実際の $\epsilon_g$ の値は未知であるが、Fig 4.14 の $q_{conv}$ には、このガスからの放射熱流束もふくまれているものとする。

なお、シールド板のない熱流束の最大値が14000Kcal/m<sup>2</sup>・hr程度であることより、 $\epsilon_g$ の上限値は、(14000-4000)/44000=0.23であると予想する。

#### 4.5 酸素濃度変化

第2章で述べたように、SOLFA-2容器は、縦長なため、高さ方向に酸素濃度分布を生じた場合に備えて、容器上部には自動ガスサンプリング装置を、中間部と下部には磁気酸素濃度計を設置している。磁気式酸素濃度計は、自動ガスサンプリング方式に比べて連続的に酸素濃度を測定出来る利点があるが、試験容器から測定器までガスラインで接続する必要があり、そのため測定時間遅れが存在する。Appendix-Aにその補正方法および補正結果を示す。

Fig 4.15 に、補正後の酸素濃度変化の測定結果を示す。図からわかるように、磁気式酸素濃度計の測定値(B)、(C)には、まだ3分程度の時間遅れがあるが、ガスサンプリング方式のデータ(A)には、時間遅れは存在しない。この3分の時間遅れは、Appendix-Aに記載した方法では補正し切れない時間遅れであると考えられる。酸素濃度変化で重要なのは、その減少速度、すなわち、酸素消費速度である。図からわかるように、容器中部と下部とでは、酸素消費速度はほとんど同じであるが、上部ではこれらと比べて少し大きい。この差が測定方法の相異によるものか、又は何らかの物理現象を反映しているのかは明らかでない。ただ、その差はさほど大きくないことから第0近似として酸素濃度の空間分布はなく全体として、一様であったと考えて良い。

---

\* 細かい議論をすれば、スプレーコーン内の酸素濃度の少ないガスが、対流により、上部に運ばれるので、上部の酸素濃度の減少速度は、中部・下部のそれよりも早くなる。



酸素消費速度は、図から、約4分で容器内全酸素量を消費し尽くす値である。SOLFA-2の容積は95.5m<sup>3</sup>あり、燃焼反応を100%過酸化ナトリウム生成反応と仮定すると、酸素消費速度が最大となるデータを用いて計算するとNaの燃焼速度は、

$$2 \text{Na} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{Na}_2\text{O}_2$$

$$95.5 \times \frac{273}{293} \times 0.21 \times 2 / (4 \times 60) \times 23 = 160 \text{ gNa/s}$$

$$22.4 \cdot 10^{-3}$$

となり、スプレーNa流量(510 gNa/s)の約30%にも相当する。

#### 4.6 エアロゾル濃度変化

試験容器内エアロゾル濃度変化は、エアロゾル自動サンプラーのフィルタに付着したエアロゾルを水に溶かし、中和滴定によって求めた。Fig 4.16 に測定結果を示す。最大エアロゾル濃度は約20 g-Na/m<sup>3</sup>で、濃度減は約20分後に1 g-Na/m<sup>3</sup>以下となった。容器内のエアロゾルは、容器内壁や床に付着・沈降して減衰してゆくが、Fig 4.17 に床への沈降量(沈降フラックス)の測定結果を示す。

#### 4.7 ガス流速分布

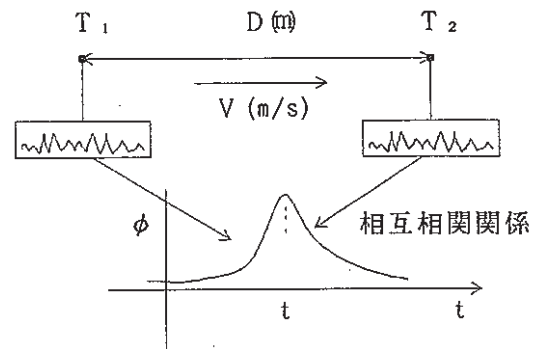
試験容器内(スプレーコーン外の領域)のガス流速は、熱電対の相関関数を計算することによって評価することができる。

すなわち、ある距離を離れた2つの熱電対で、ガスの温度ゆらぎを測定し、2つのゆらぎ信号から相互相関関数を求める。下図においてゆらぎが、速度VでT<sub>1</sub>からT<sub>2</sub>に移動していると、

$$T_2(t) \sim T_1\left(t - \frac{D}{V}\right)$$

と考えられるので、相互関数は、

$$\phi \sim \frac{1}{T} \int_0^T T_1(t-T)T_2(t)dt$$



で定義されるので上式を代入すると、

$$\phi(t) \sim \frac{1}{T} \int_0^T T_1(t-T) T_1\left(t - \frac{D}{V}\right) dt$$

となる。この関数は  $T_1$  信号の自己相関関数と考えられるので

$$t = \frac{D}{V} \quad \text{の時、最大となる。}$$

従って、 $\phi(t)$  を計算して、最大値を読み取ると、 $D/V$  の値がわかる。

熱電対は、Fig 2.7 に示す様に、スプレーノズルの上部空間に、10ヶ所設けられており、これらは、おのおの場所で周方向、垂直方向にある距離だけ離して3本ずつ配置してあるために、それぞれの方向のガス流速をもとめることが出来る。

上記、熱電対のゆらぎの相関より推定したガスの流れパターンを、スプレー関係後1分、2.5分、5分、10分、20分、27分の時刻ごとにFig 4.18 からFig 4.19 に示す。図からわかるように、流れのパターンは、かなり複雑で、しかも時刻ごとに変化している。流れの駆動力は、Naスプレーによる下方向の力と、スプレーコーン内の高温ガスによる上向きの浮力とのバランスで決まる。Naスプレーによる下方向のガスを引きずり込む力は、主にNaスプレー流量で決まり、実験中は、ほぼ一定と見なせる。このため、ガスの流れは、スプレーコーン内部と上部ガス温度の差による浮力が、時刻とともに変化するために図に示す様に流れのパターンが変化してゆくものとする。

なお、Fig 4.21、Fig 4.22 に相関により求めたガス流速のベクトル図を示す。Fig 4.19 からFig 4.20 は、このデータをもとに推定したものである。

## 5. 結 論

1985年9月27日(金)SAPFIRE施設のSOLFA-2試験容器を用いた最初のNa燃焼実験として大規模空気雰囲気中Naスプレー燃焼実験を実施した。使用したスプレーノズルは、いわゆるフルコーン型スプレーノズルで、Na燃焼試験に先立ち、水を用いてその特性を実測した。その結果、以下の値を得、またこれを使用した燃焼解析コードによる予備解析を行い、実験の安全性を事前に確かめた。

スプレー流量	.....	36.7	ℓ/min
平均粒径	.....	1.6	mm (面積平均径)
		2.2	mm (体積平均径)
コーン広がり角	.....	36°	

予備解析の結果を考慮に入れて、以下のNa試験条件を設定した。

スプレー流量	36.7 ℓ/min
スプレー経過時間	1800 sec
スプレーNa温度	505 °C
スプレー落下高さ	約 4 m

試験は、トラブルもなく順調に終了し、以下の結果を得た。

- (1) ガス圧力は、Naスプレー開始後、直ちに急激に上昇し、約1.2分後に最大1.24kg/cm<sup>2</sup>gとなった。
- (2) スプレーコーン内の温度は1000°Cを越え、落下するNa液滴のまわりに高温の燃焼域が存在していることが立証された。スプレーコーン外のガス温度は、予想以上に均一であり、スプレーコーン内外のガス温度差による自然対流で、容器内ガスは十分に混合されていることがわかった。
- (3) 酸素濃度変化から求めたNaスプレー燃焼速度は、100%過酸化ナトリウム生成反応を仮定すると、160 gNa/secであり、これはNaスプレー流量510gNa/sの約30%に相当する。また、酸素濃度の高さ方向の差はさほどなくガスは十分に混合されていたことがわかった。
- (4) エアロゾル濃度は、最大約20g-Na/m<sup>3</sup>で、約20分後には1 g-Na/m<sup>3</sup>以下となった。
- (5) 隣接した2つの熱電対の出力ゆらぎの相関により、ガス流速を求め、スプレーノズル上部

の空間におけるガスの流れパターンを評価した。その結果、Na スプレー期間中のガスの流れパターンは、刻々と変化する、複雑な乱流挙動を示すことが判明した。

#### 謝辞

本試験の実施に当り、プラント安全工学室の佐々木和一氏、宮原信哉氏、加藤木洋一氏、川田耕嗣氏には技術面での協力をいただいた。これら各位に謝意を表します。

#### (参考文献)

1) 八木. , 他. , 「一次収納構造健全性試験」, PNC SJ222 77-08 (1)、(1977.7).

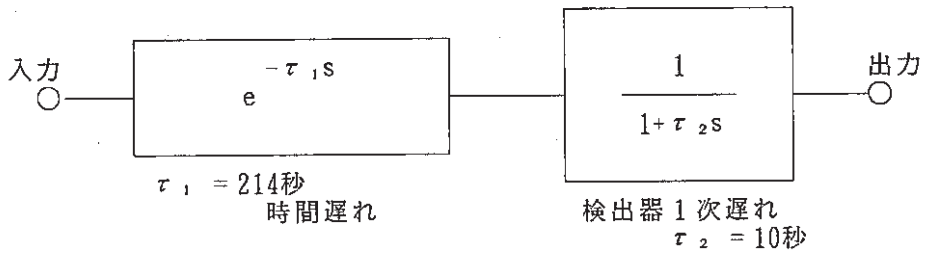
1) “ . , 他. , 「一次収納構造健全性試験」, PNC SJ222 77-08 (2)、(1977.7).

1) 宮原. , 他. , 「ナトリウムスプレー燃焼の解析(Ⅱ)」, PNC ZN241 83-10、(1983.7.).

Appendix A 酸素濃度の応答遅れ

Fig. A-1に酸素計サンプリング系統図を示す。

この酸素計の検出遅れを，下図のように（むだ時間）+（1次遅れ）でモデル化する。



出力を  $y(t)$  ，入力を  $x(t)$  とすると，

$$\tau_2 \frac{d y(t)}{d t} + y(t) = x(t - \tau_1) \quad (A-1)$$

となる。

よって，出力  $y$  から，入力  $x$  を求めるには，

$$x(t) = \tau_2 \frac{d y(t + \tau_1)}{d t} + y(t + \tau_1) \quad (A-2)$$

より，計算すればよい。

試験時のデータを用いて，上式に従って数値微分して， $x$  を求めたグラフをFig. A-2に示す。

図には，(A-2) 式の右辺の第1項と第2項の補正值も記入した。全補正後のデータは，もちろん第1項と第2項との和であるが，図から第2項，すなわち，サンプリング配管部での時間遅れが支配的であることがわかる。

Table 1.1

COMPARISON OF SPPAY FIRE TESTS PERFORMED IN JAPAN  
AND DESIGN BASIS SODIUM LEAK ACCIDENT POSTURATED FOR MONJU

	Spray Direction	Vessel Volume (m <sup>3</sup> )	Spray Period (sec)	Average Spray Rate (g/sec)
Hitachi	upward	1.93	8-20	20-50
Mitsubishi	downward	21	60	300
OEC/PNC (Present Test)	downward	100	1800	500
'MONJU' 1/4Dt Pipe Leak of IHTS	downward	2000	3800	3000

(PSS-SFE-313)

Table 3.1

Progression of RUN-E1 Test

Time	Test Progression
9/26	
14:33	Sodium Charge in Sodium Heater Tank
15:19	Start of Heating of Sodium in Heater Tank .....250 °C
9/27	
9:50	Input of Stop Conditions for CENTUN
13:22	Start of Aerosol Scrubber
:31	Completion of Heating of Sodium ..... 505°C
:42	Stop of Cover Gas Control
:50	Start of Cover Gas Control of Sodium Heater Tank
:52	Switch off of SCR Control Heater
:54	Start of Data Recording
:57	Sodium Spray Start (Flow Rate : 36.7 ℓ/min)
14:30	Sodium Spray End (Total Supplied Sodium:1101ℓ)
:32	Stop of Cover Gas Control of Sodium Heater Tank
:41	Change of Temperature Level of Pre-Heating of Sodium Piping (505°C →250°C)
:55	Evacuation of Sedimentation Tank
15:01	Drain of Remaining Sodium In Fire Suppression Bucket
:01	Stop of Aerosol Scrubber
9/28	
0:17	Start of Cover Gas Control of Test Vessel
:01	Stop of Data Recording

(PSS-SFE-314)

Table 3.2 Test Conditions of RUN-E1

Spray Conditions	
(1) Sodium Temperature	505 °C
(2) Spray Flow Rate	36.7 ℓ/min
(3) Mass of Supplied Sodium	1101 ℓ
(4) Spray Duration	30 min
(5) Height of Falling Nozzle	4.23 m
(6) Delivery Pressure at Spray Nozzle	1.5 kg/cm <sup>2</sup> -g
(7) Mean Droplet Diameter*	1.6mm (Surface Mean Diameter) 2.2mm (Volume Mean Diameter)
* These Data are obtained by the results of water spray test	
Test Vessel Conditions	
(1) Oxygen Concentration	21 %
(2) Gas Pressure	atmospheric pressure
(3) Vessel Volume	95.5 m <sup>3</sup>
Sodium Drainage	
After an hour from sodium spray discharge, sodium temperature decreased below 400 °C and sodium was drained to the tank.	

(PSS - SFE - 315)



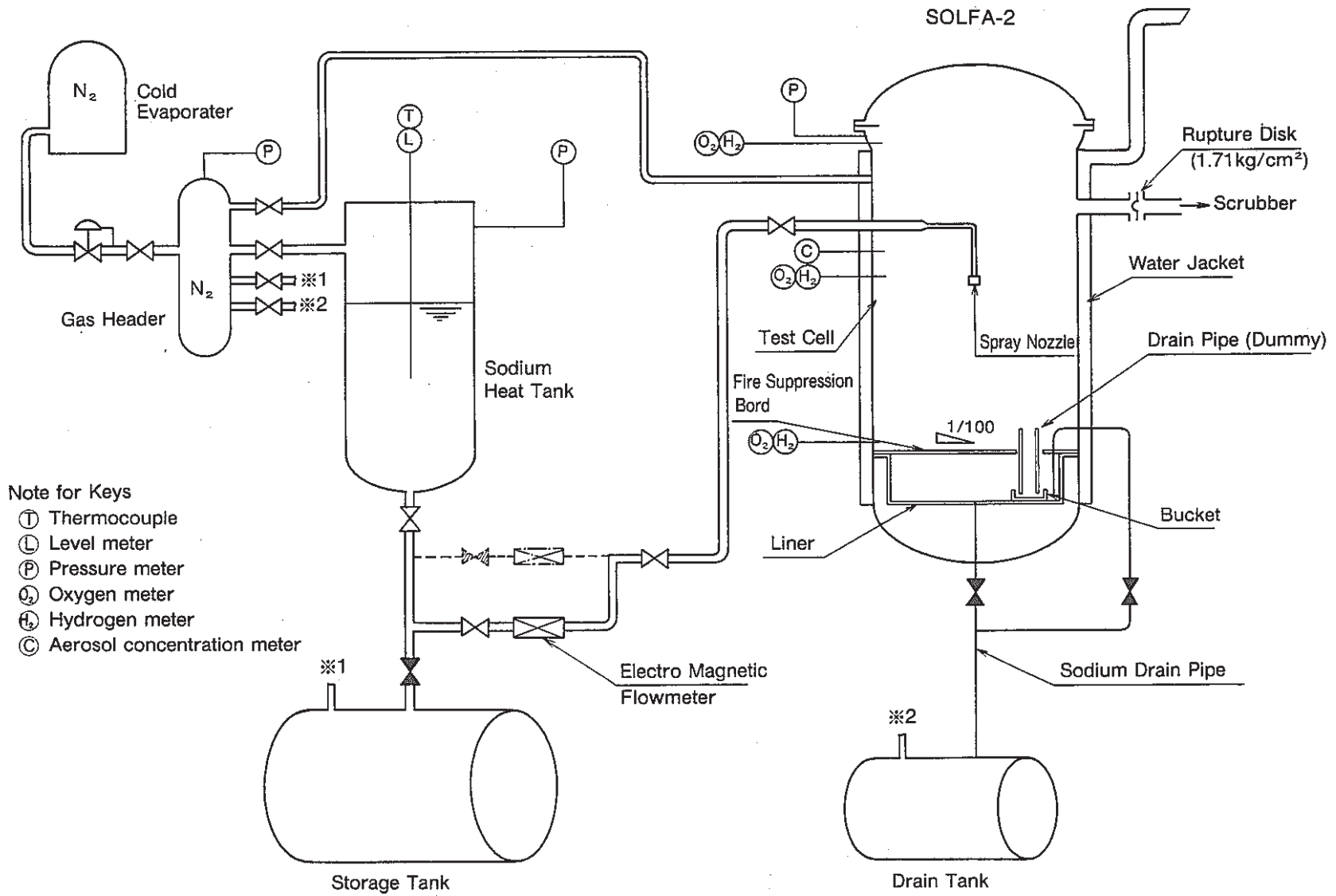


Fig.2.1 Arrangement of Test Rig for Run-E1

(PSS-SFE-316)

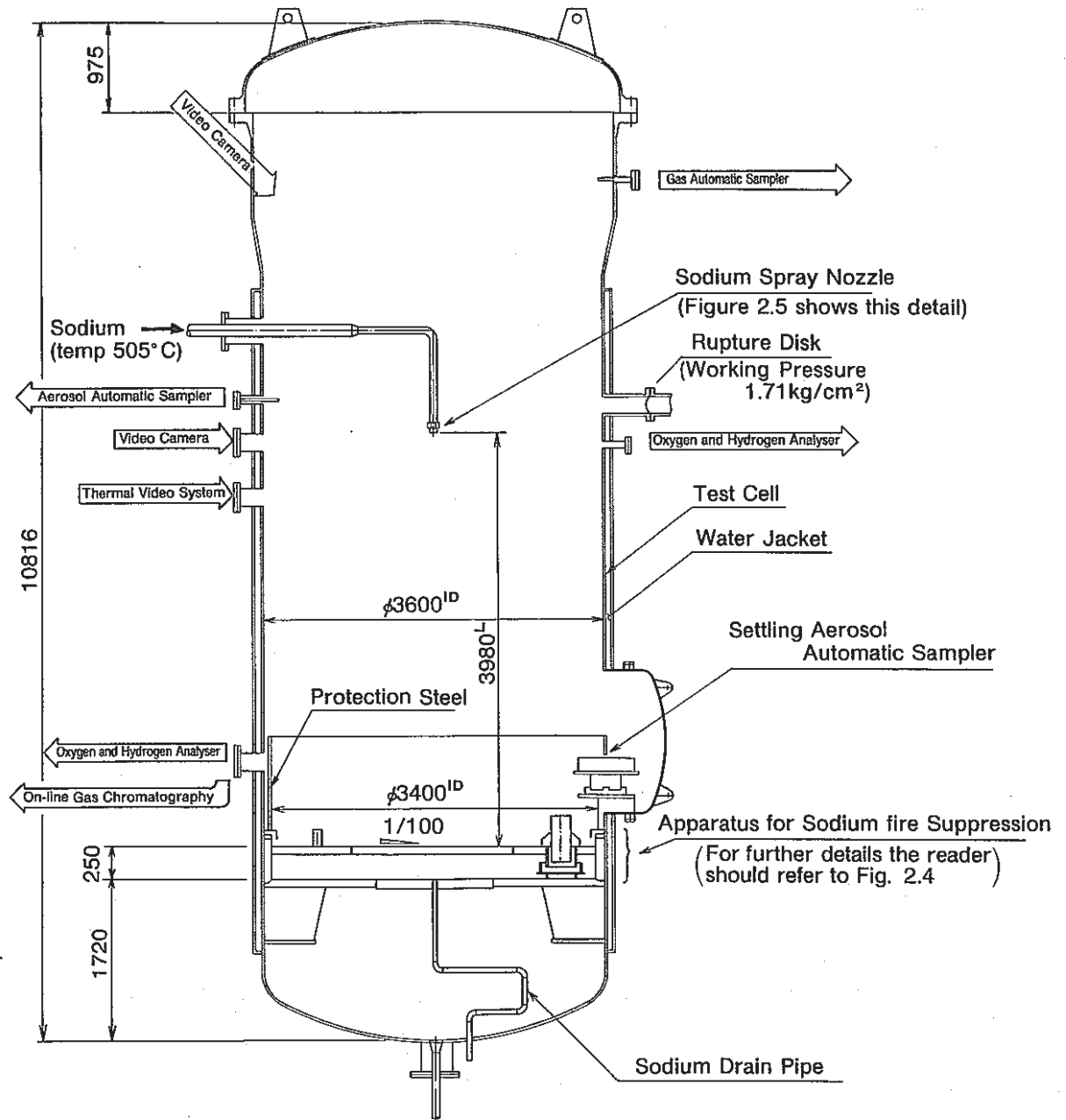


Fig.2.2 SOLFA2 Overview (PSS-SFE-317)

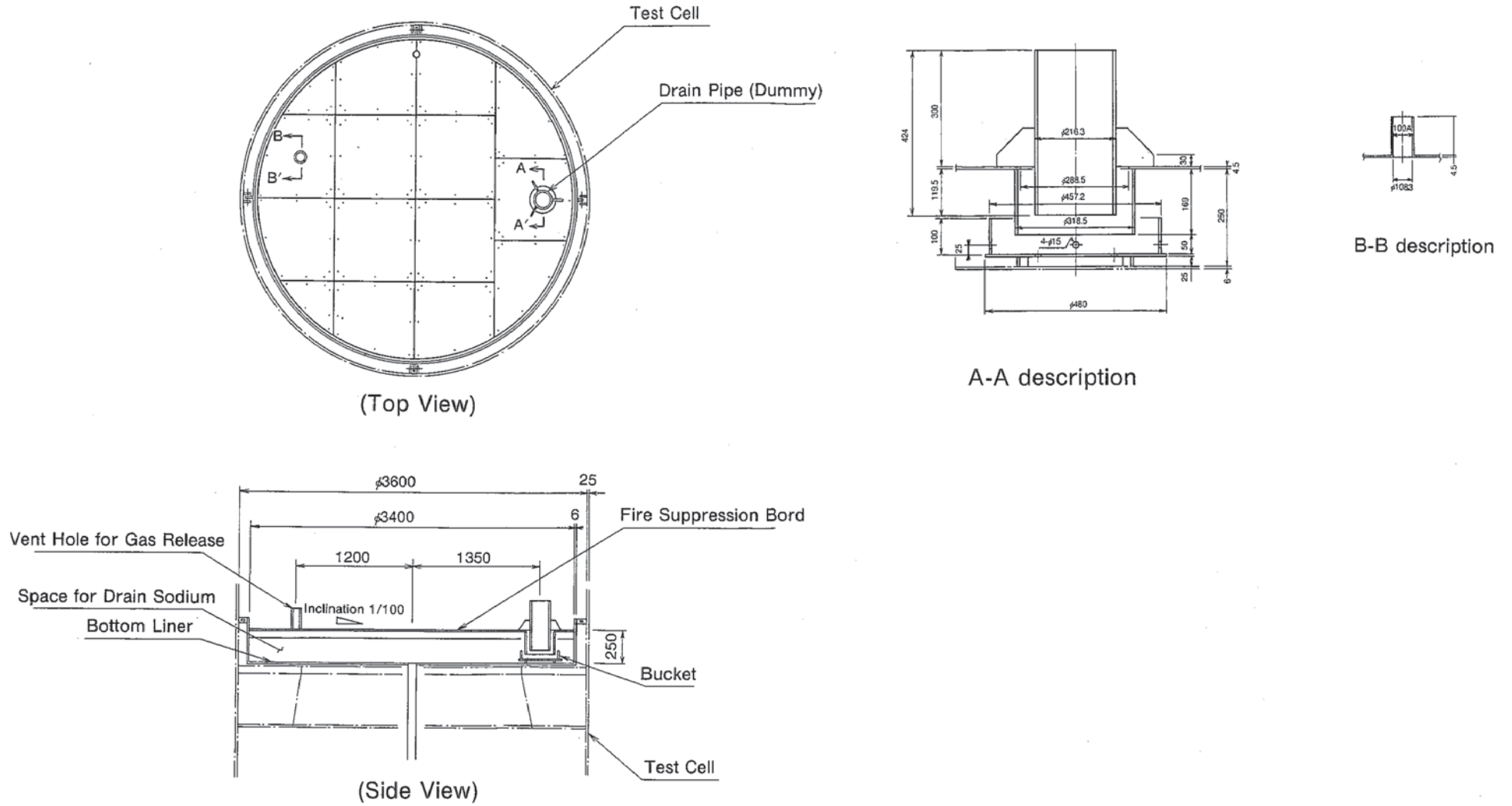
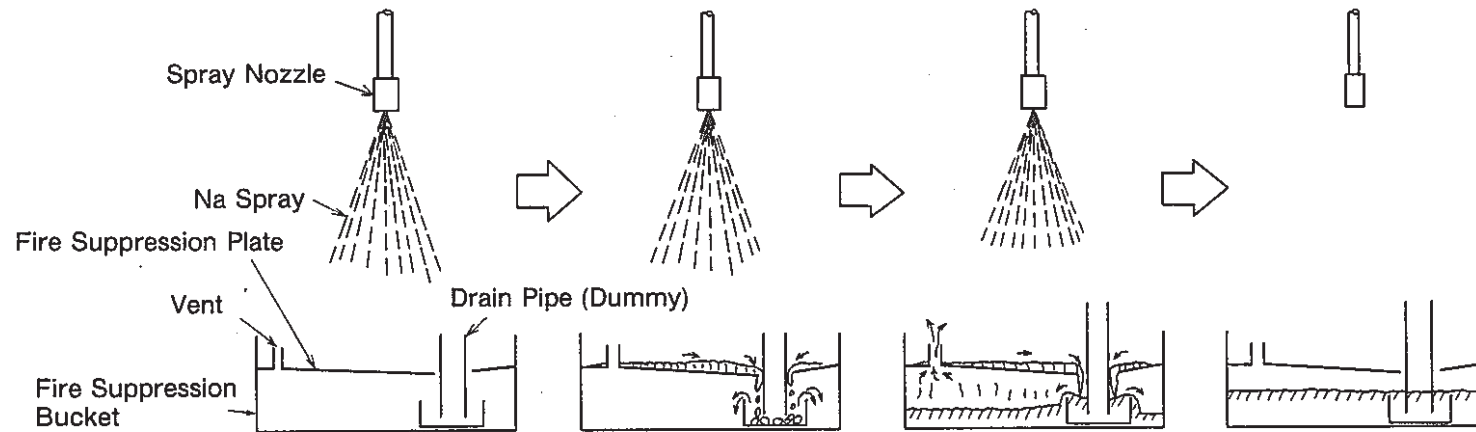


Fig.2.3 Apparatus for Sodium Fire Suppression

(PSS-SFE-318)



(1) Sodium has been sprayed at the flow rate of 39 l/min from the nozzle.  
 ○ Sodium Temperature 505° C  
 (2) Sprayed sodium has fallen down on the fire suppression plate.

(1) Sodium has flowed into the drain pipe along a decline of the plate.  
 (2) Sodium has flowed down through a gap between the drain pipe and the fire suppression plate and gathered in the bucket.

(1) Excessive gas equivalent to a volume of sodium inflow and thermally expanding gas has been relieved through the vent.

(1) Sodium has stopped burning due to consumption of oxygen gas in the bucket.

Fig.2.4 Mechanism of Fire Suppression

(PSS-SFE-319)

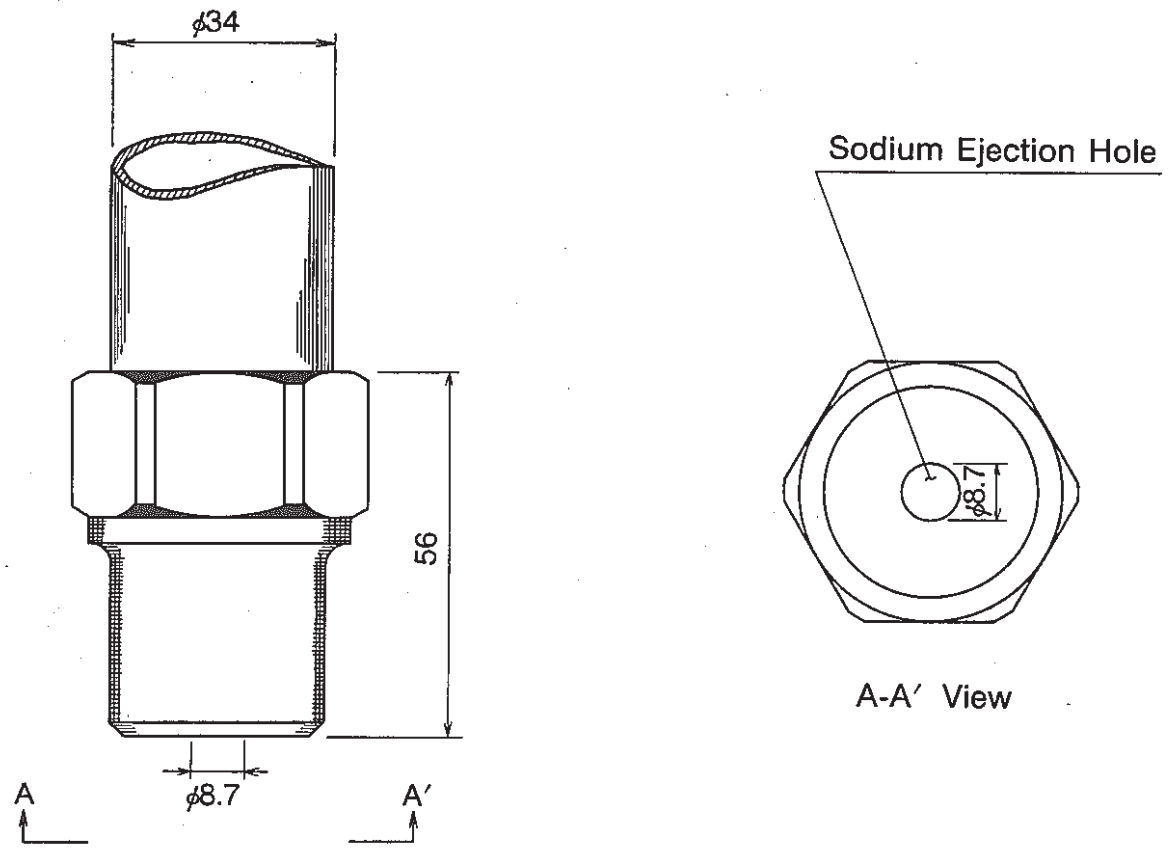


Fig.2.5 Spray Nozzle

(PSS-SFE-320)

### Test Results (Water)

( ) : Calculated as a sodium

	Condition
Nozzle Type	1EX4400-0N
Spray Pattern	Full Cone
Pressure	1.5 kg/cm <sup>2</sup>
Flow Capacity	33.5 l/min (36.7 l/min)
Spray Angle	35°
Mean Surface Diameter	1.6 mm
Mean Volume Diameter	2.2 mm

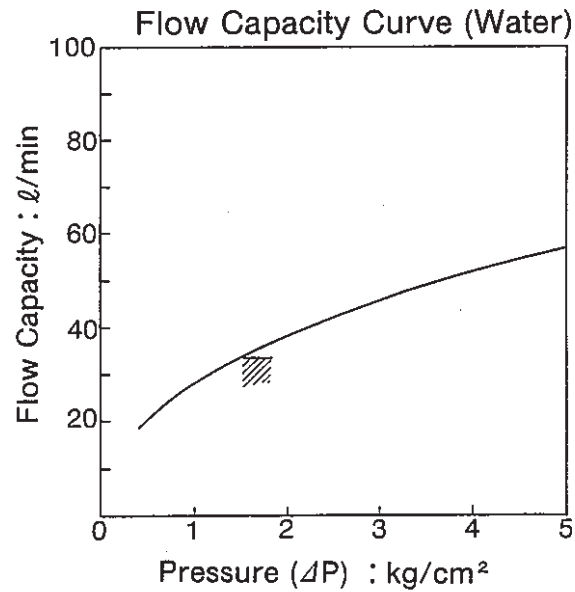
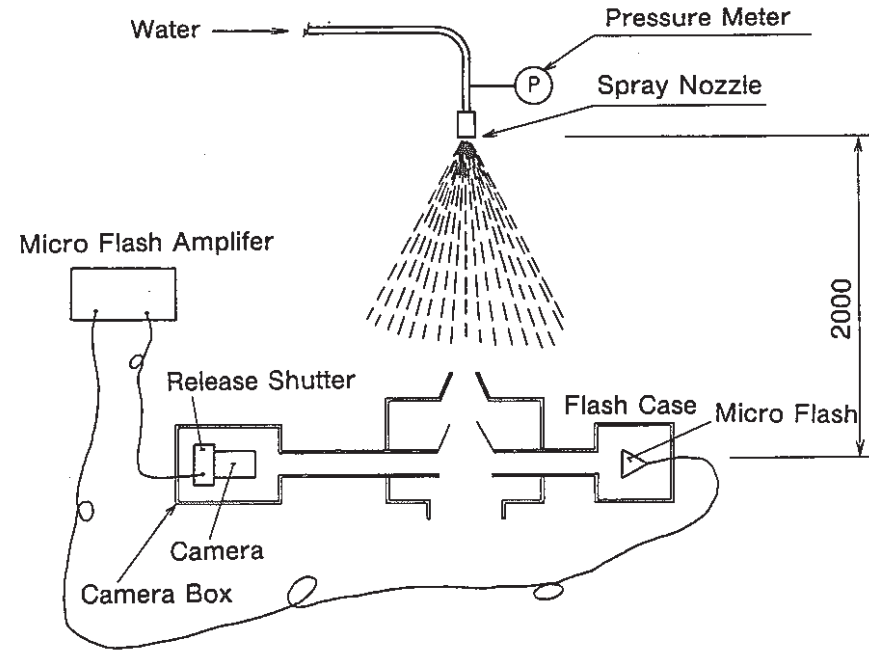


Fig.2.6 Measurement of Spray Droplets Size (Water test) (PSS-SFE-321)

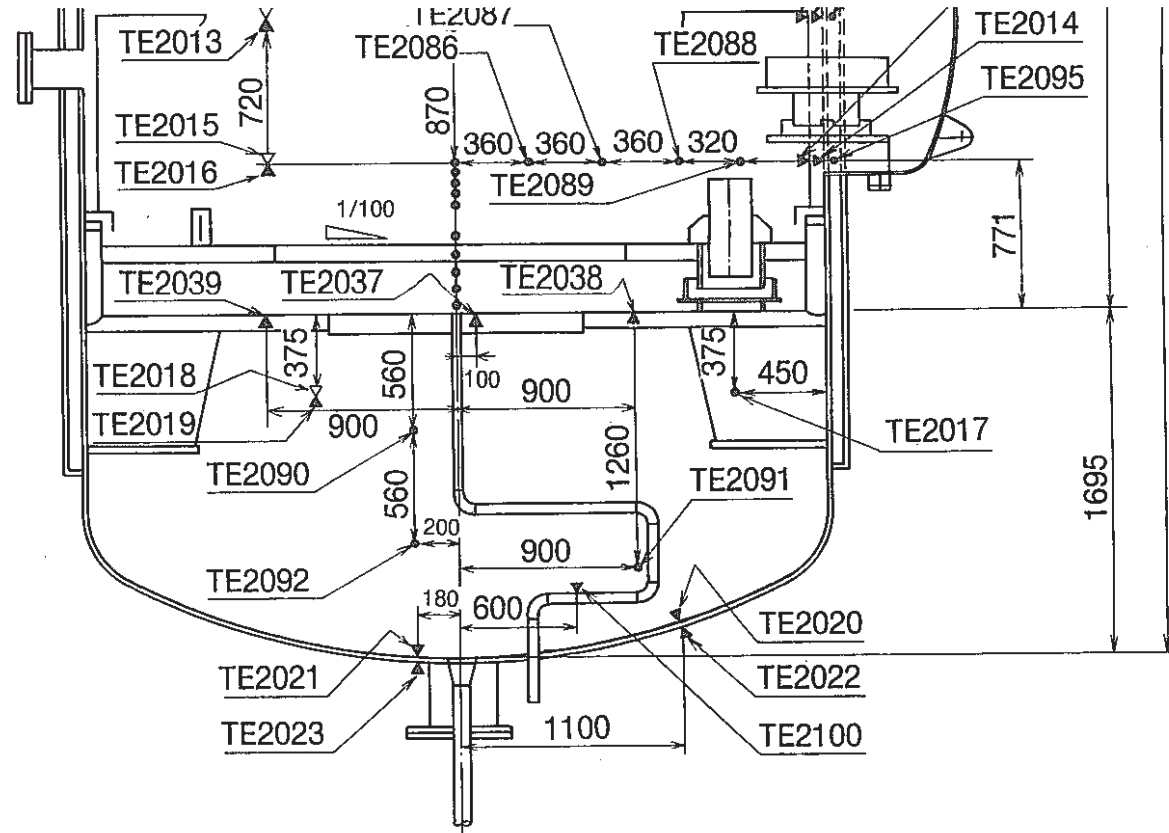


Fig.2.7 Arrangement of Thermo-couples  
(PSS-SFE-322)







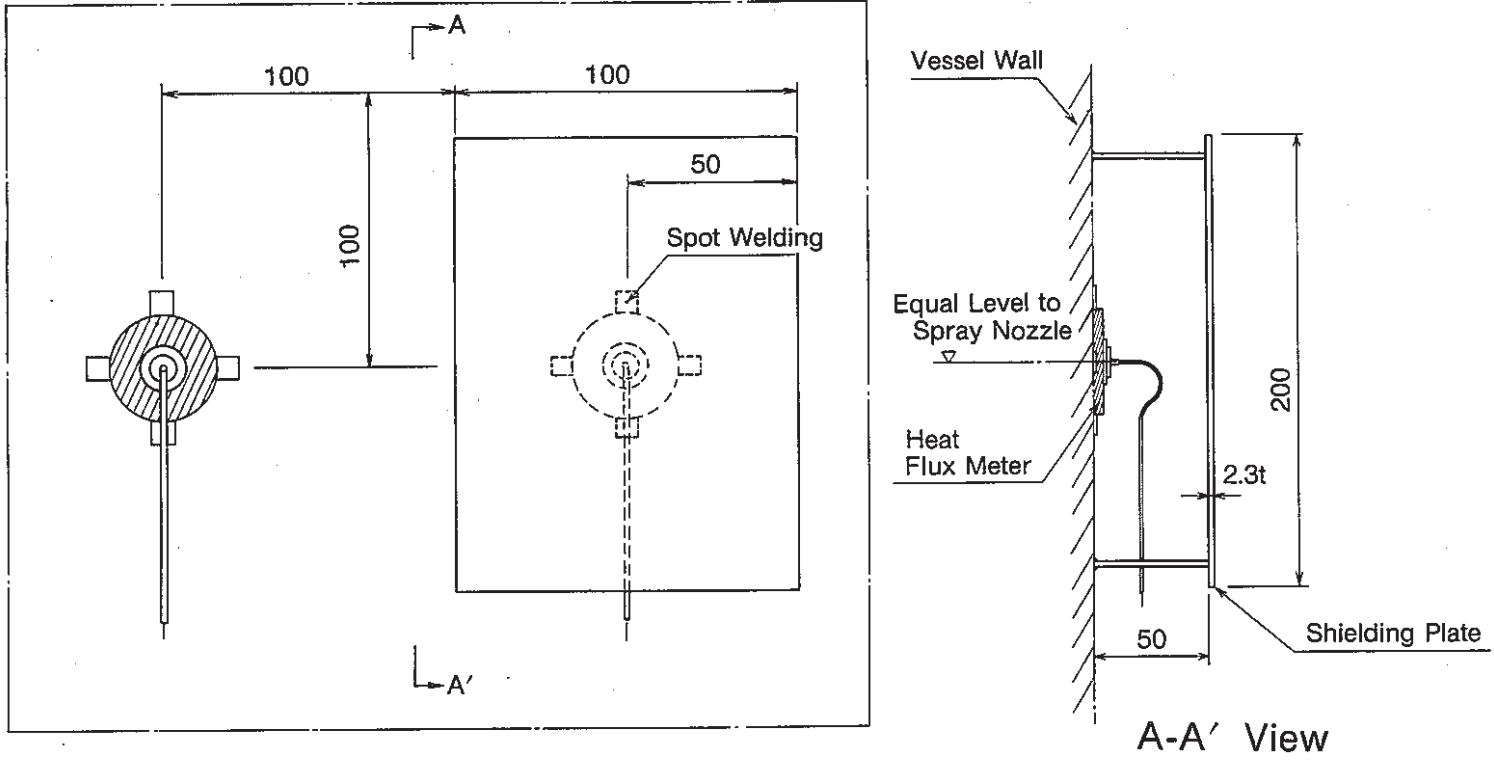


Fig.2.8 Setting of Heat Flux Meter on Vessel Wall (PSS-SFE-323)

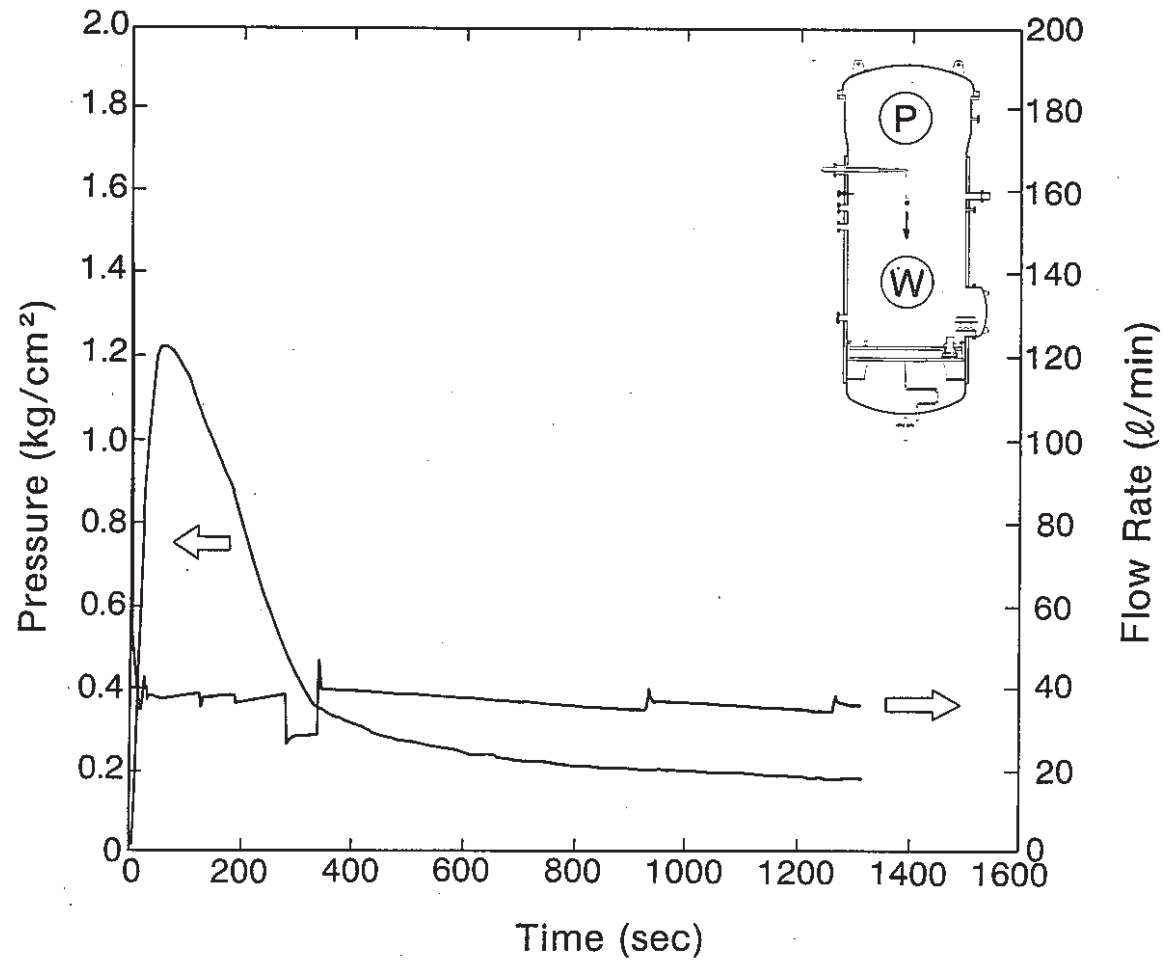


Fig.4.1 Gas Pressure and Sodium Spray Rate (PSS-SFE-324)

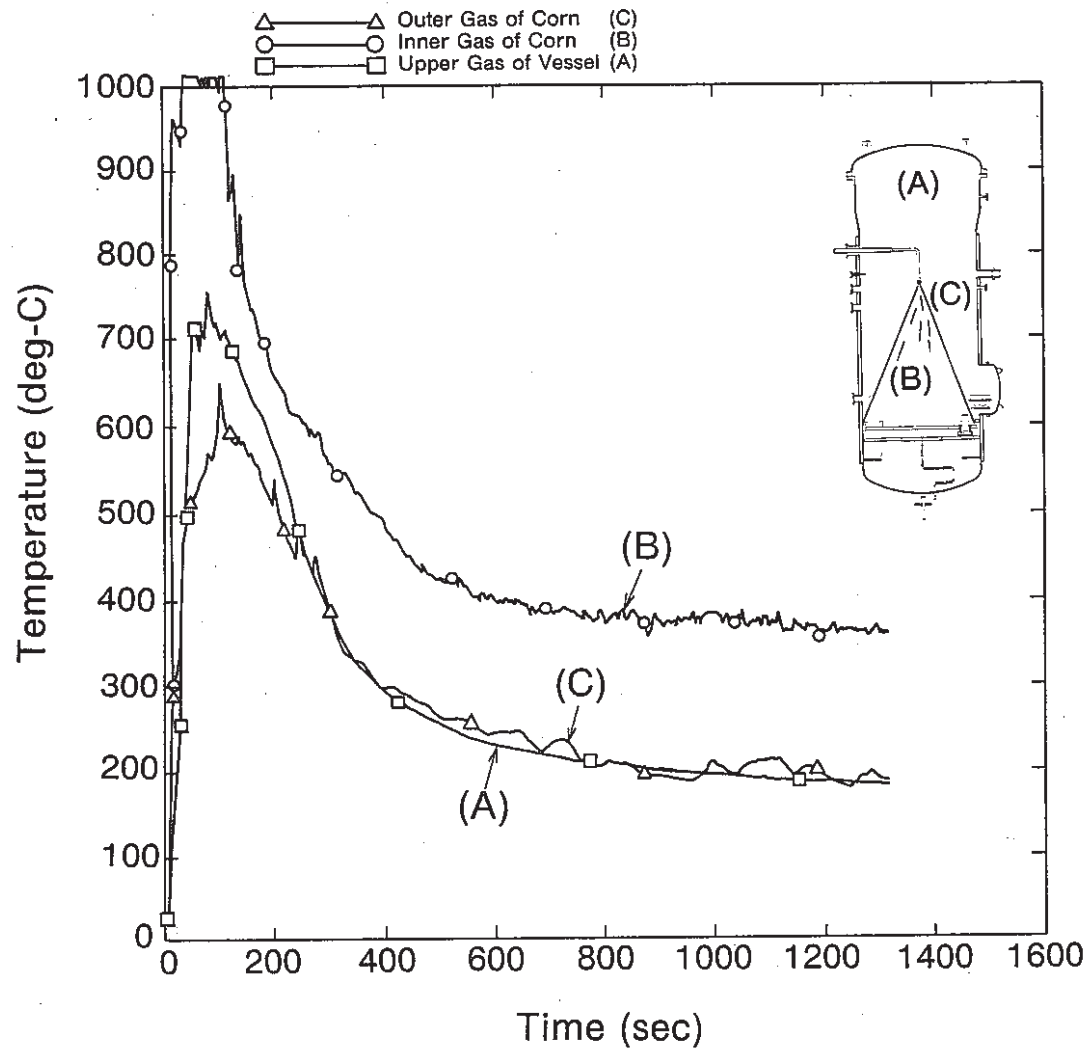


Fig.4.2 Gas Temperature (PSS-SFE-325)

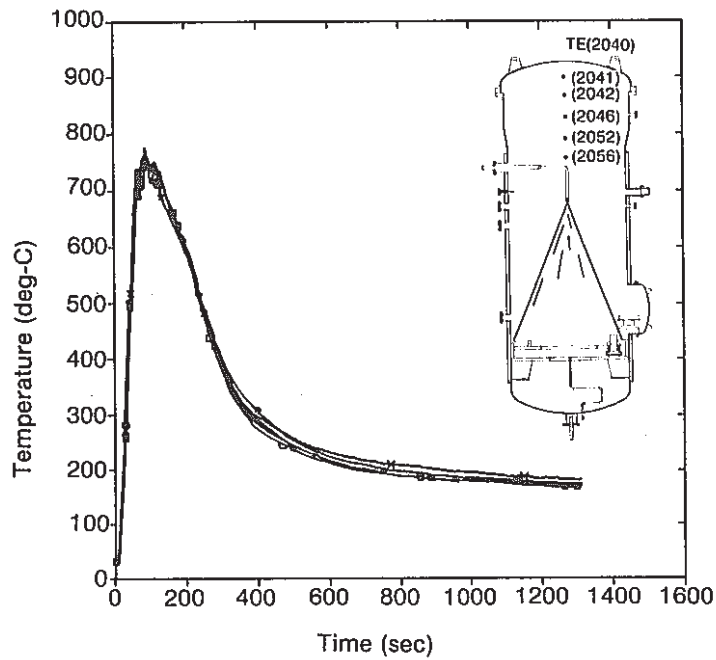


Fig.4.3 Gas Temperature above Spray Nozzle on a Center Line

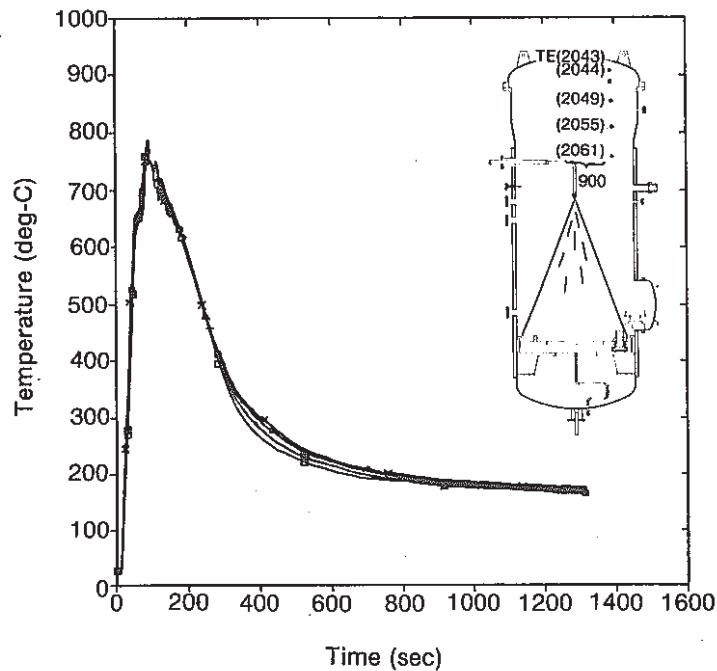


Fig.4.4 Gas Temperature above Spray Nozzle on 90 cm away from a Center Line (PSS-SFE-326)

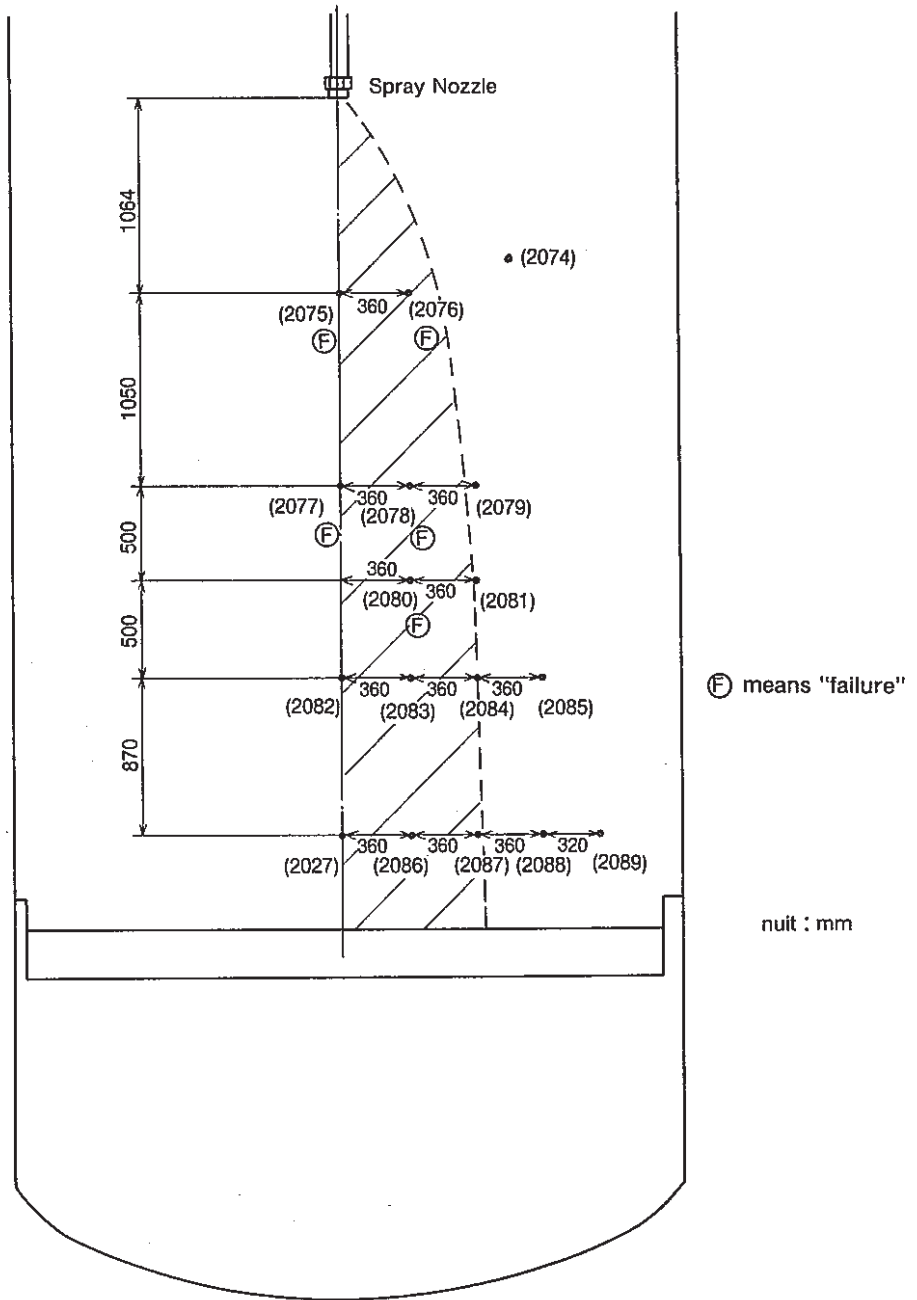


Fig.4.5 Positions of Thermo-couples below Spray Nozzle (PSS-SFE-327)

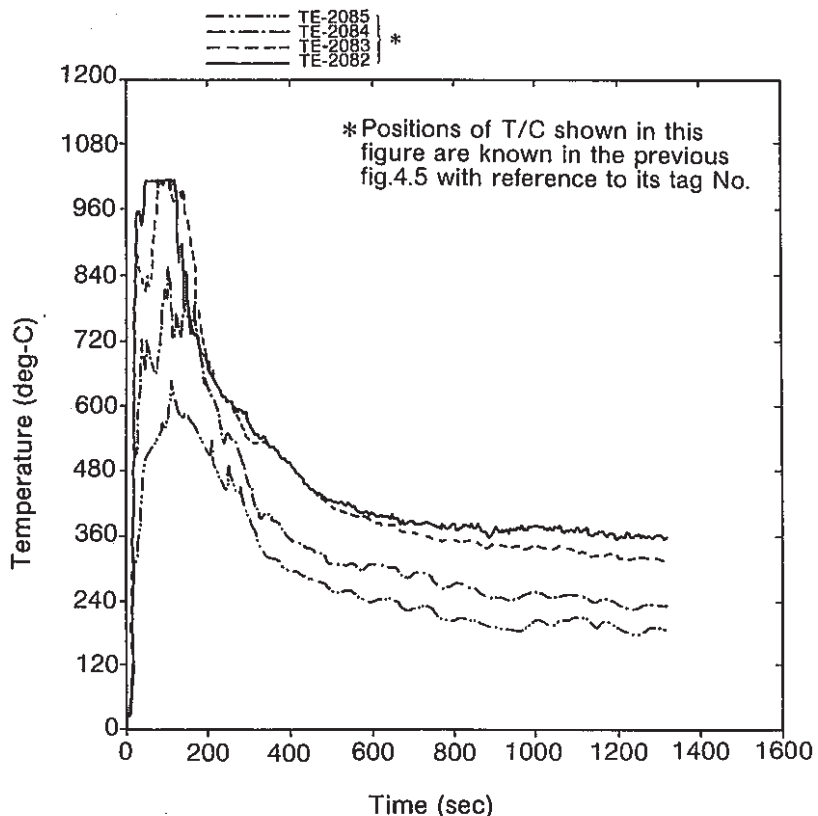


Fig.4.6 Temperature Below Spray Nozzle (3.114m down from spray nozzle)

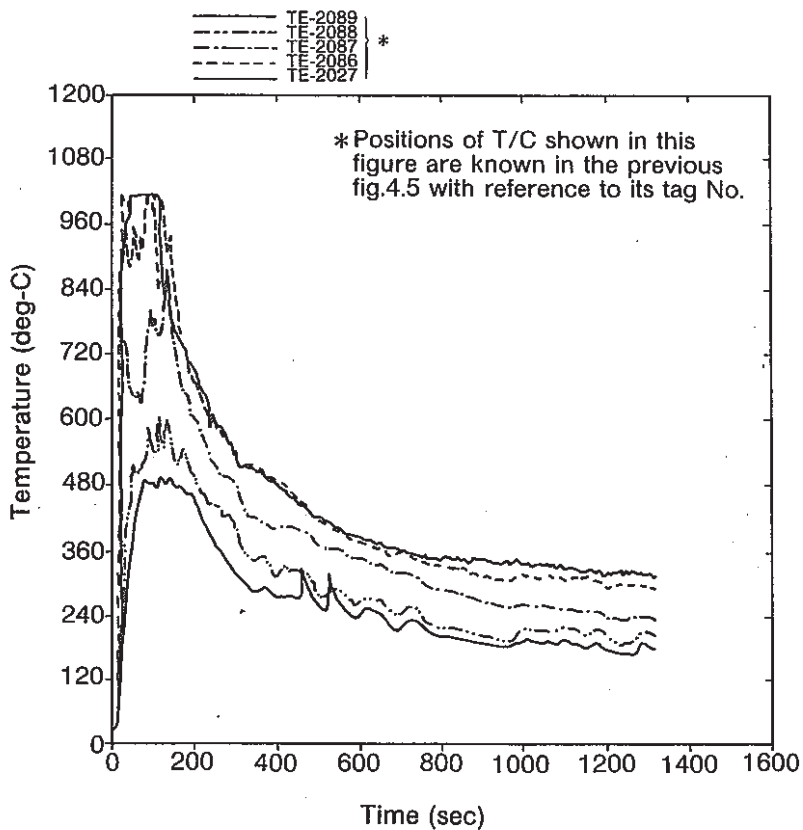


Fig.4.7 Temperature Below Spray Nozzle (3.984m down from spray nozzle) (PSS-SFE-328)

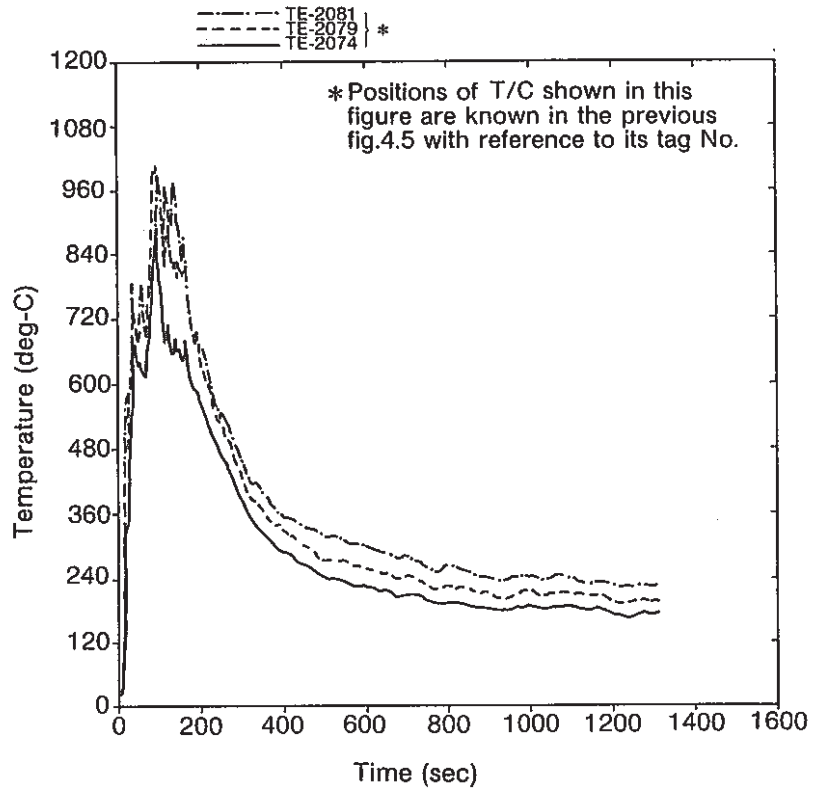


Fig.4.8 Temperature Below Spray Nozzle (the rest of thermocouples which have not been broken) (PSS-SFE-329)



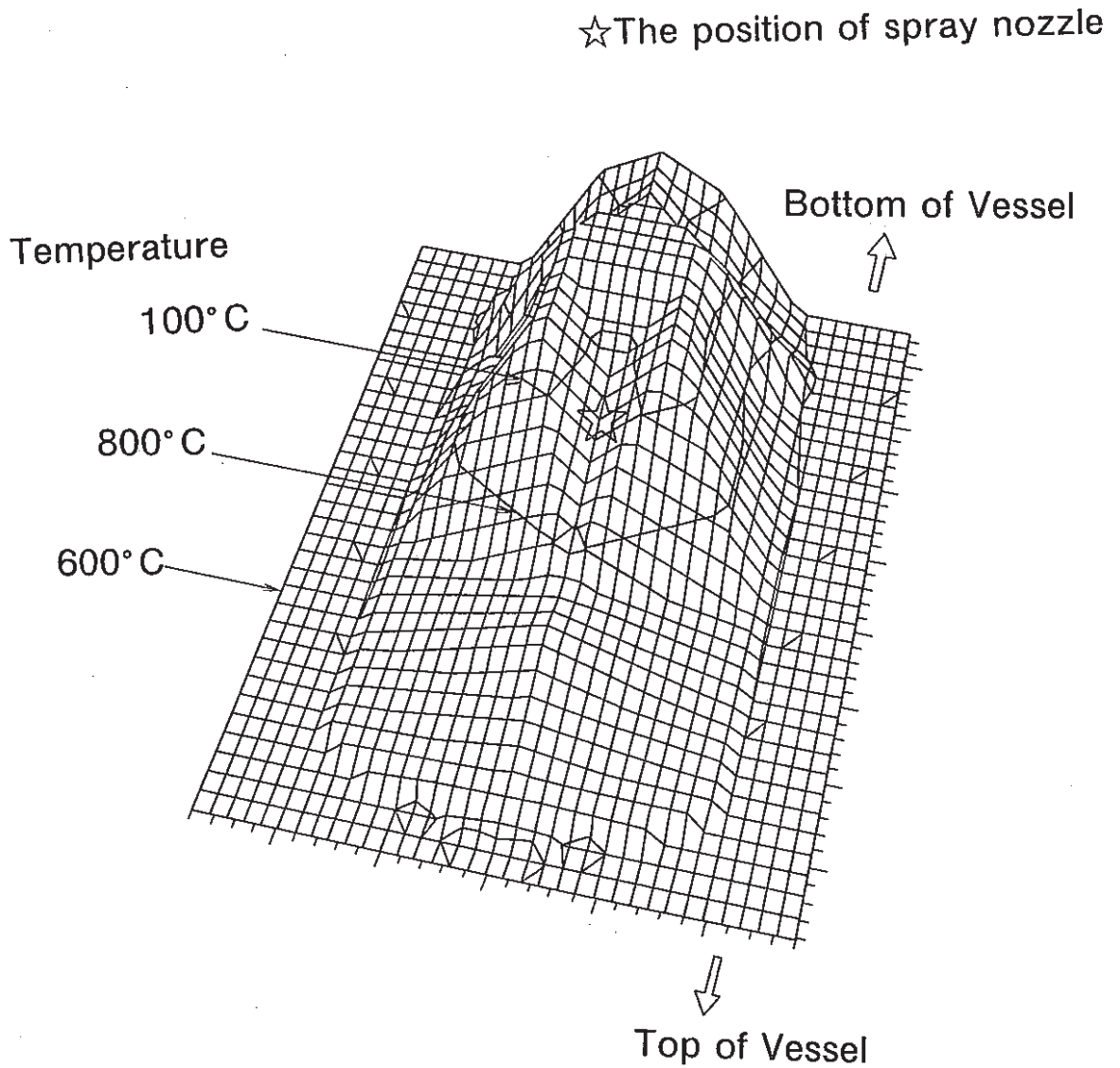


Fig.4.9 Typical Temperature Distribution of Atmosphere in Vessel (at 40 sec after spray discharge)

(PSS-SFE-330)

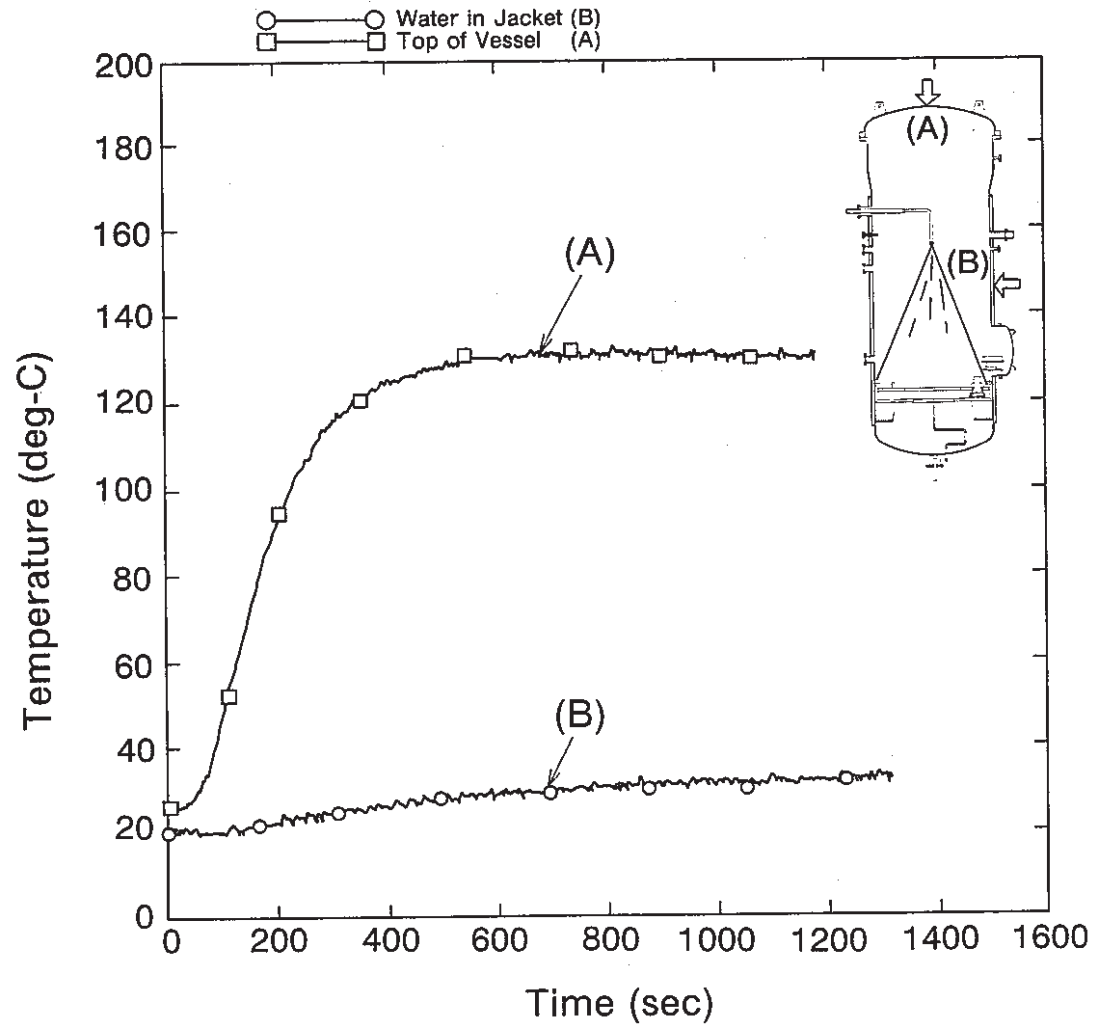


Fig.4.10 Outside Wall Temperature of Vessel

(PSS-SFE-331)

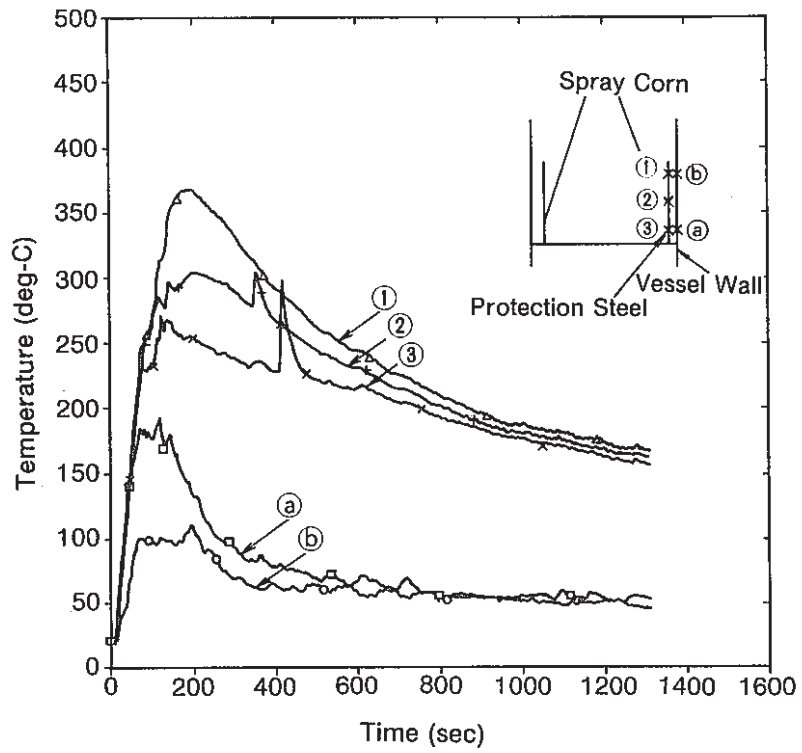


Fig.4.11 Protection Steel

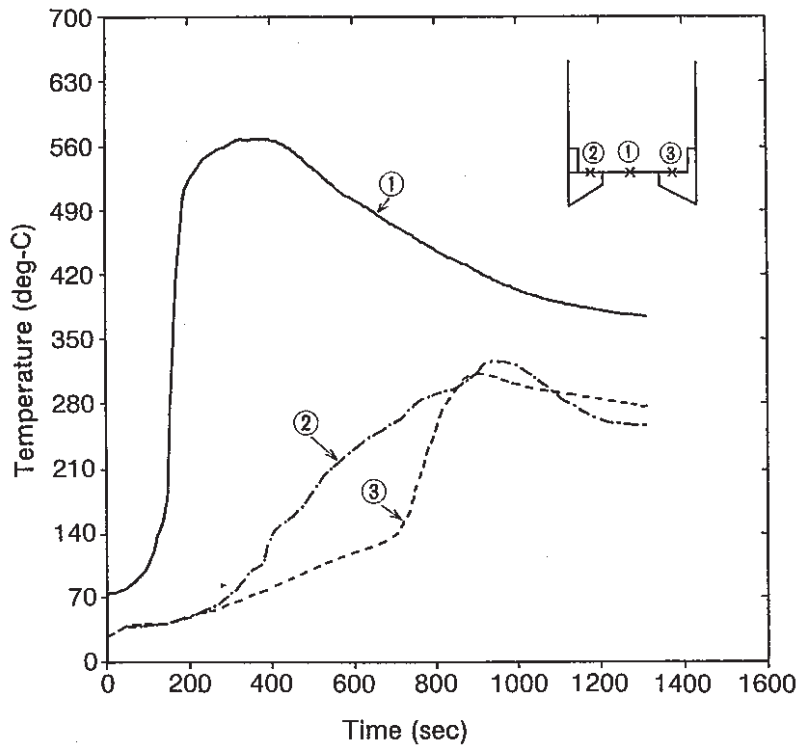


Fig.4.12 Temperature Below Catch Pan (PSS-SFE-332)

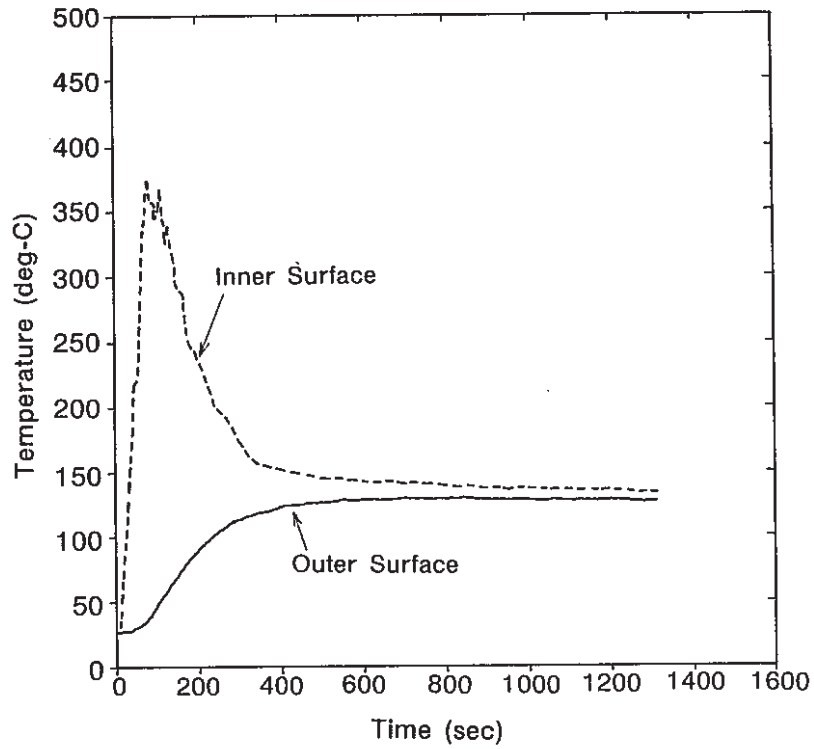


Fig.4.13 Inner and Outer Surface Temperature of Vessel Ceiling

(PSS-SFE-333)

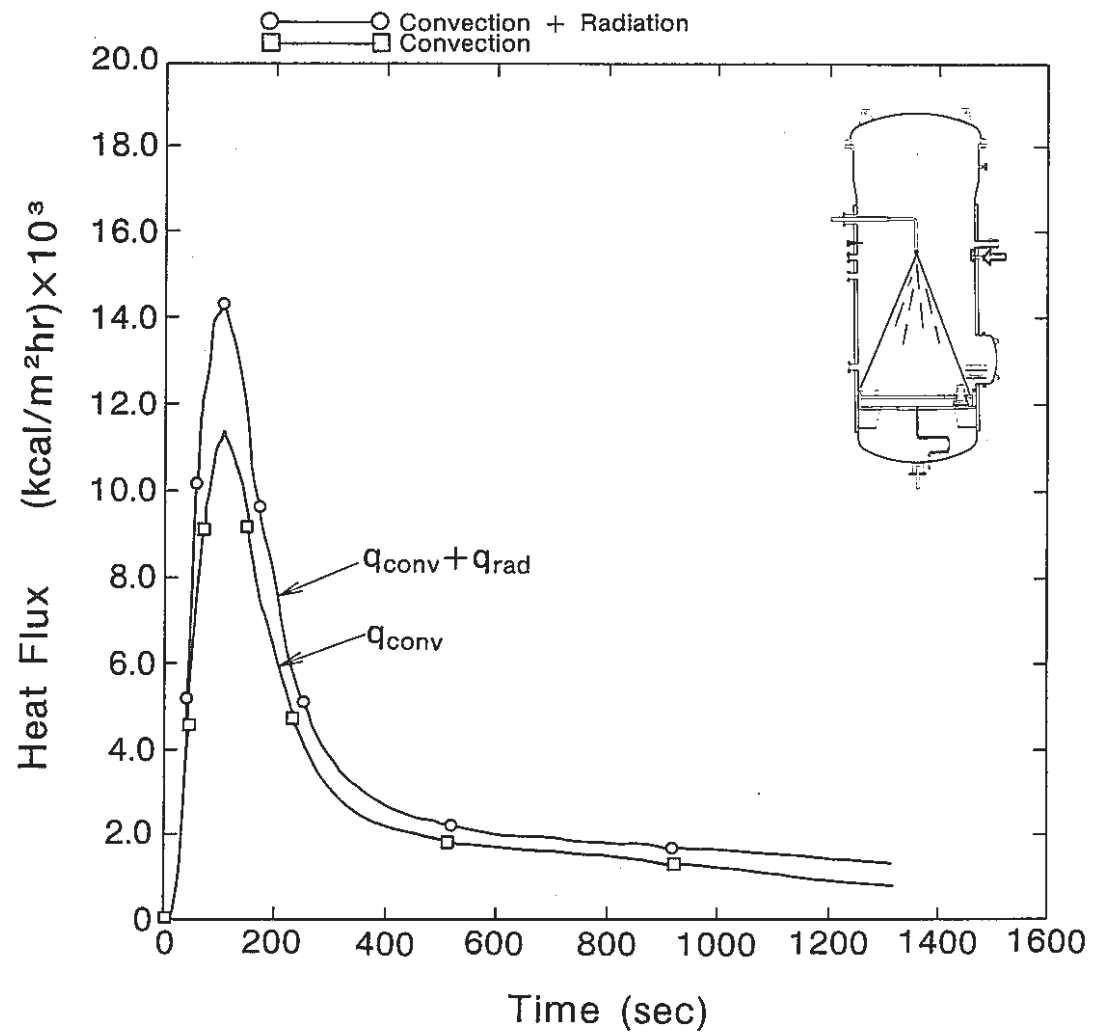


Fig.4.14 Heat Flux to Vessel Wall

(PSS-SFE-334)

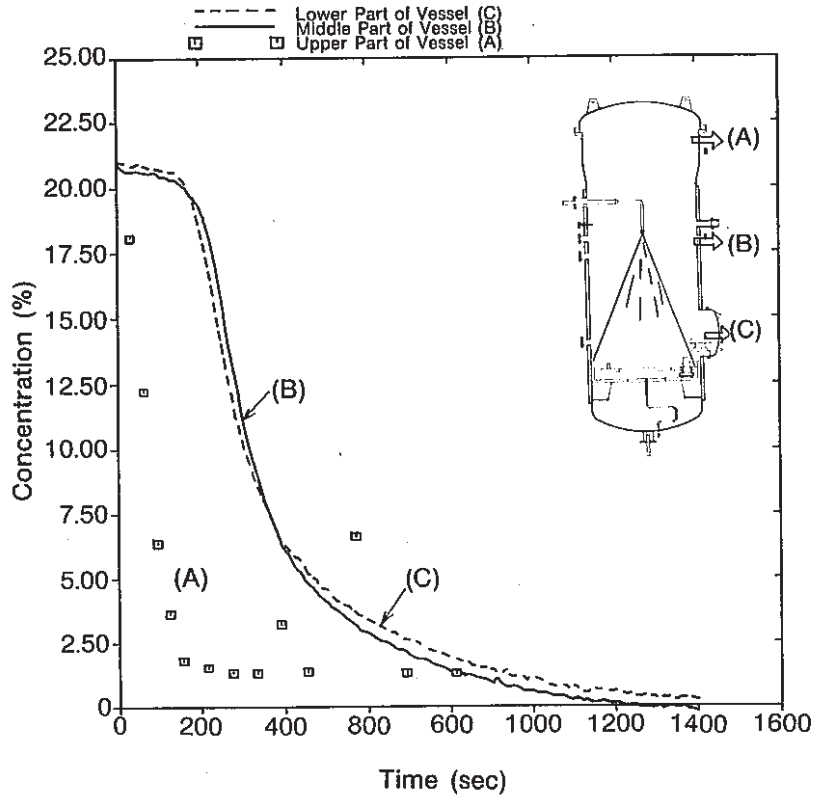


Fig.4.15 Oxygen Concentration  
(Data (A) from Gas Automatic Sampler)  
(Data (B), (C) from Oxygen Meter)  
(PSS-SFE-335)

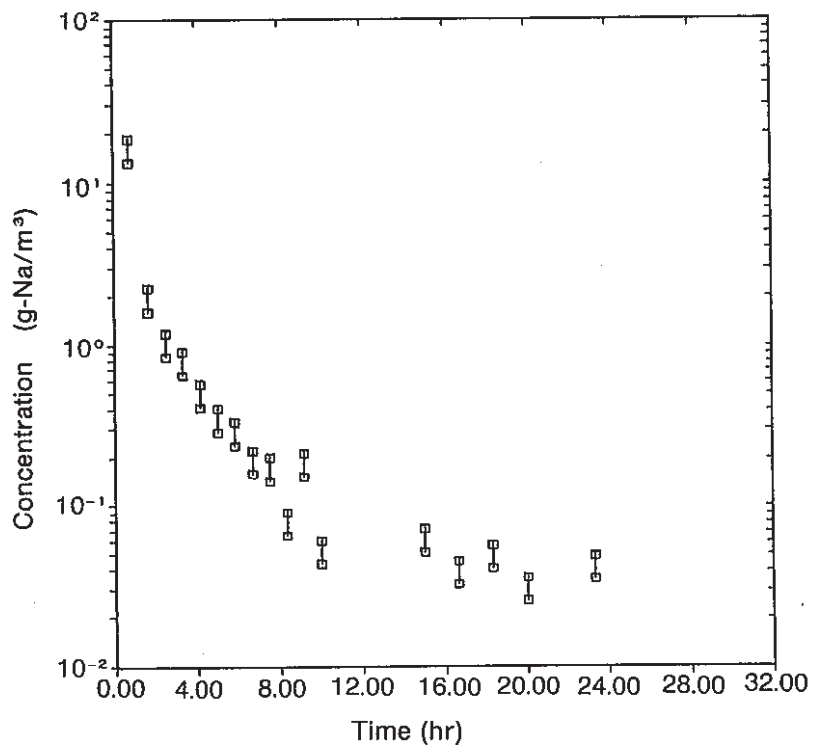


Fig.4.16 Sodium Aerosol Concentration

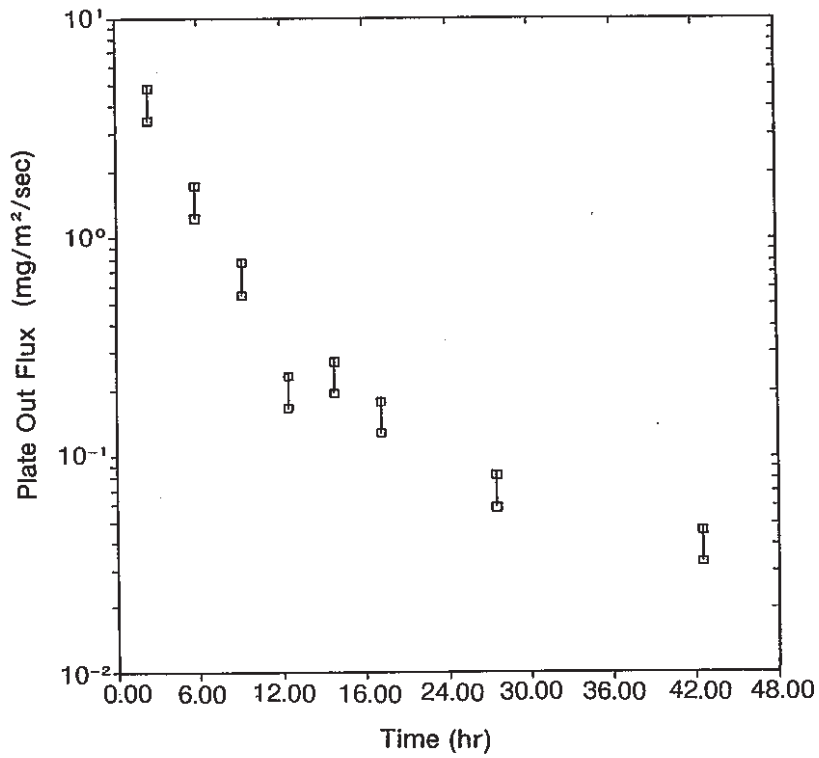
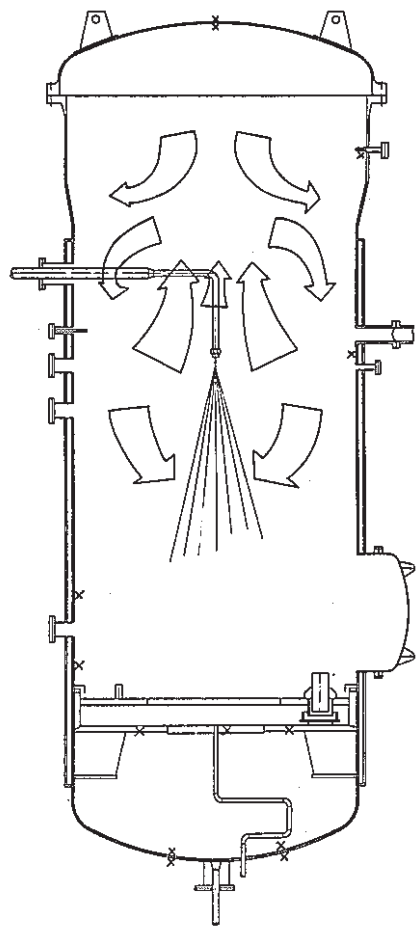
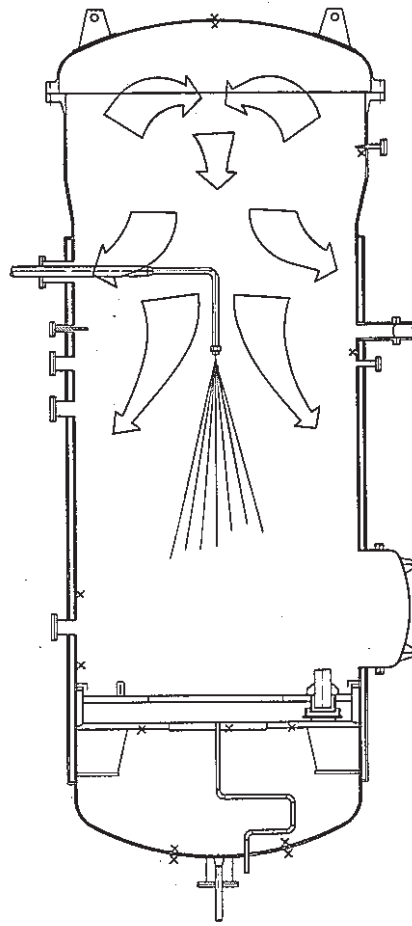


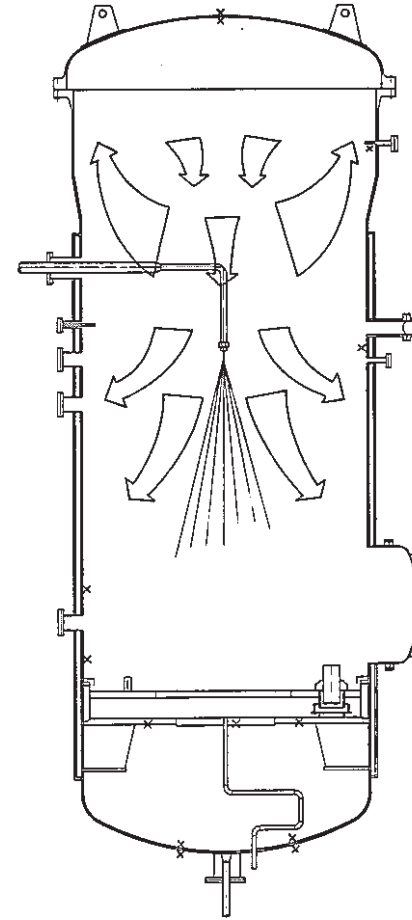
Fig.4.17 Sodium Aerosol Plate Out on Floor (PSS-SFE-336)



(1 min)



(2.5 min)

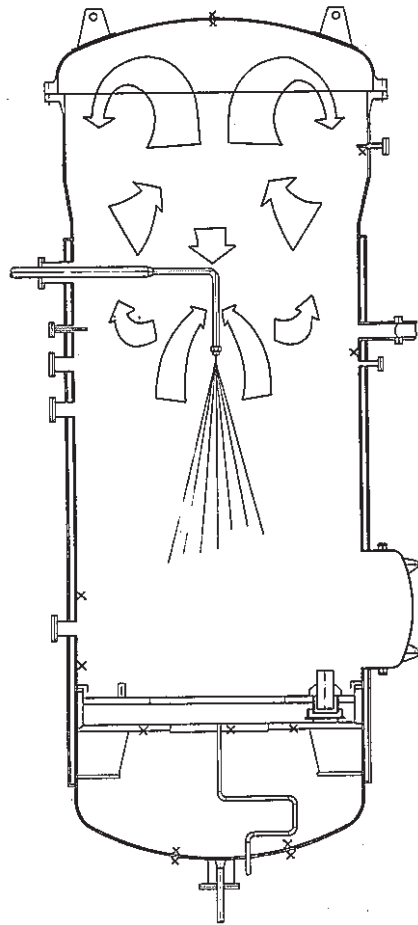


(5 min)

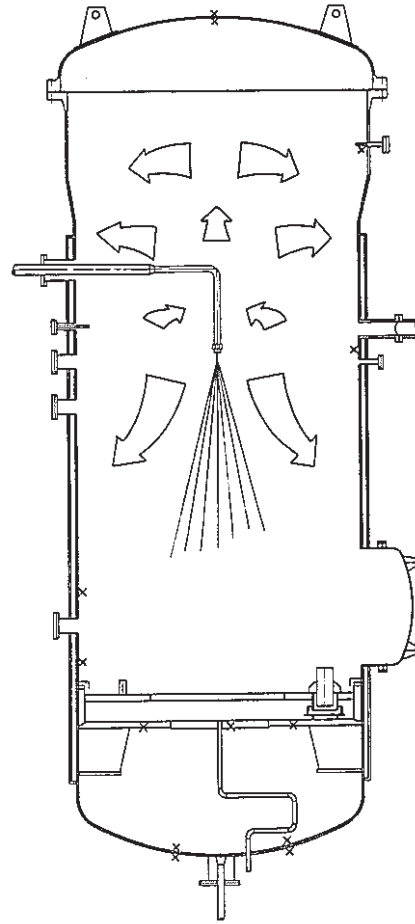
Fig.4.18 Gas Flow Pattern (1)

(PSS-SFE-337)

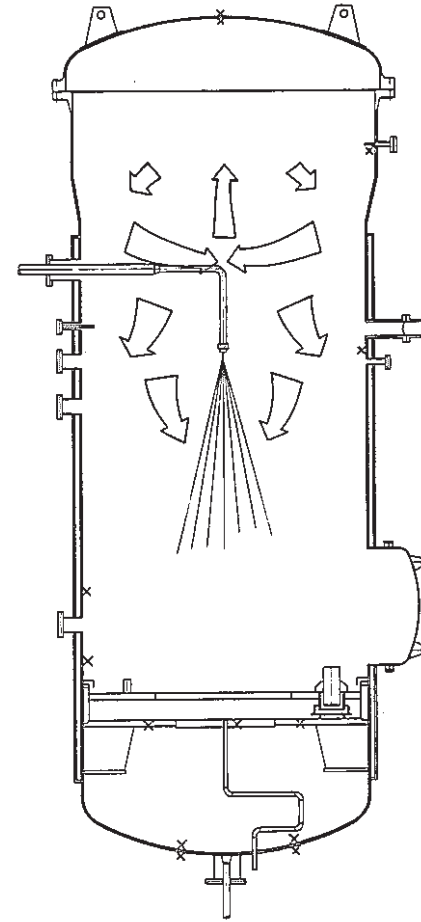




(10 min)



(20 min)



(27 min)

Fig.4.19 Gas Flow Pattern (2)

(PSS-SFE-338)

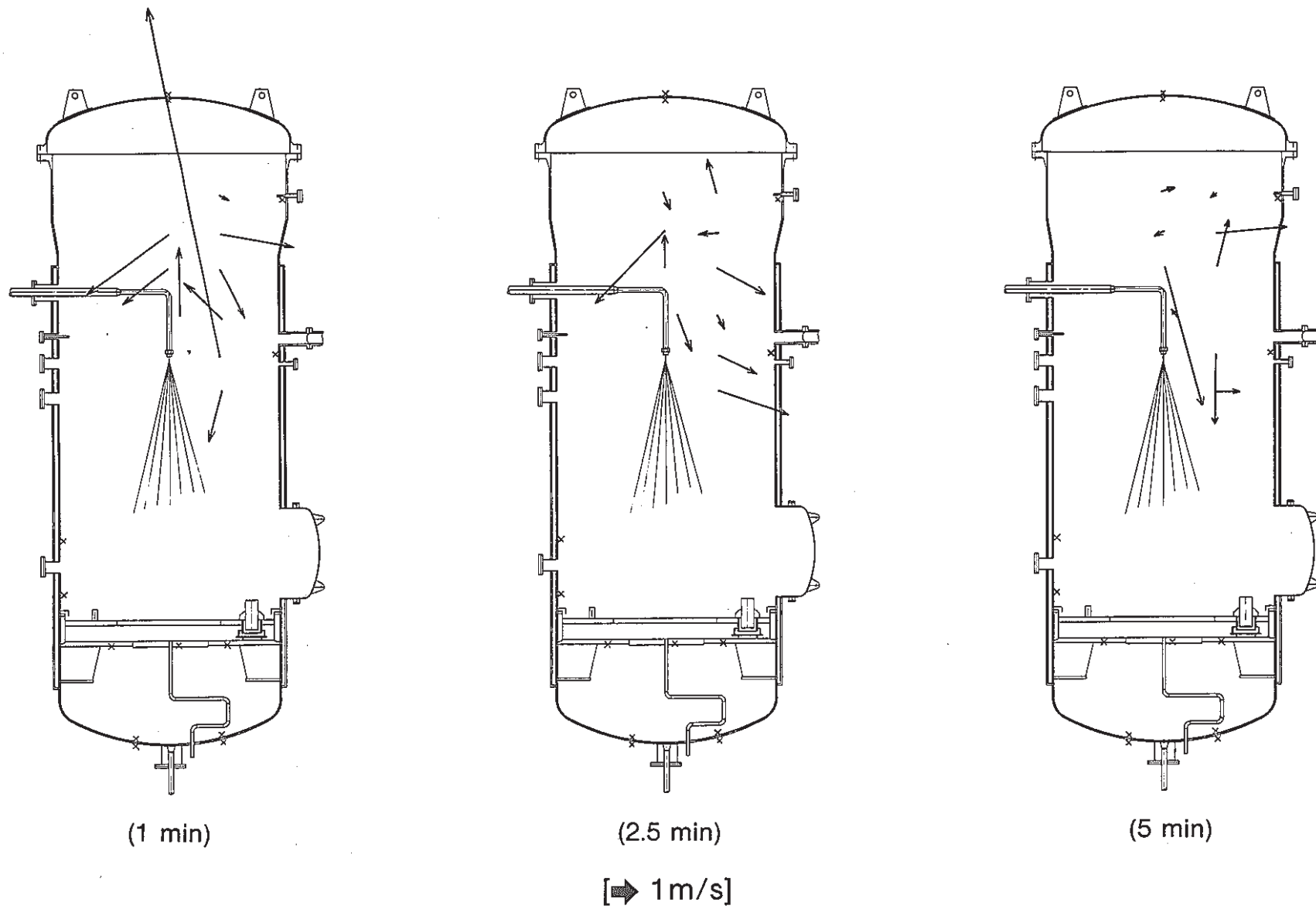
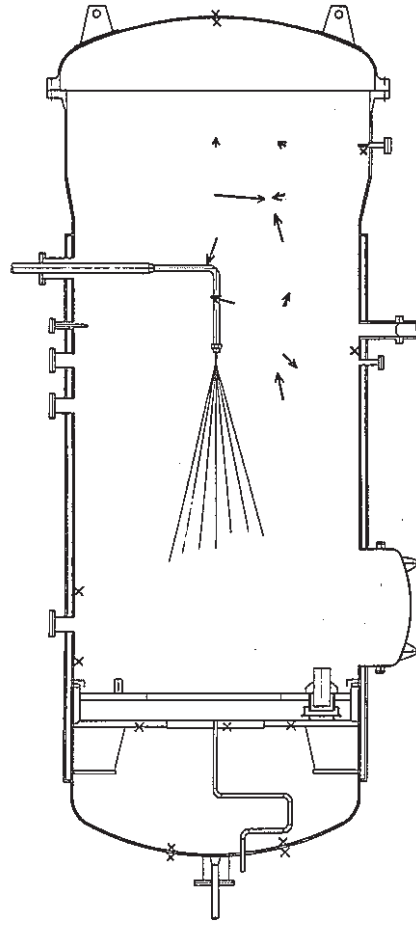
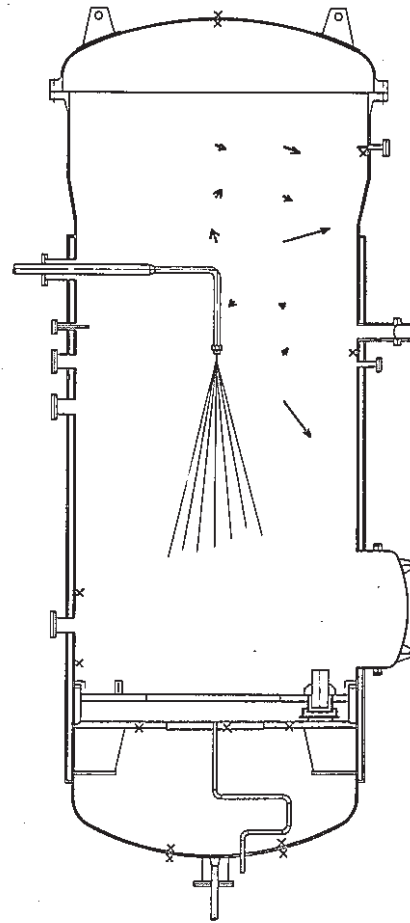


Fig.4.20 Gas Flow Vector (1)

(PSS-SFE-339)

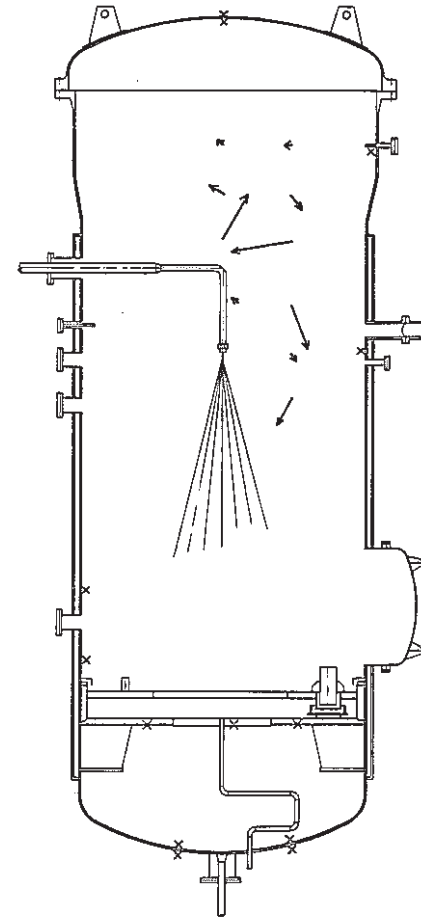


(10 min)



(20 min)

[→ 1m/s]



(27 min)

Fig.4.21 Gas Flow Vector (2)

(PSS-SFE-340)

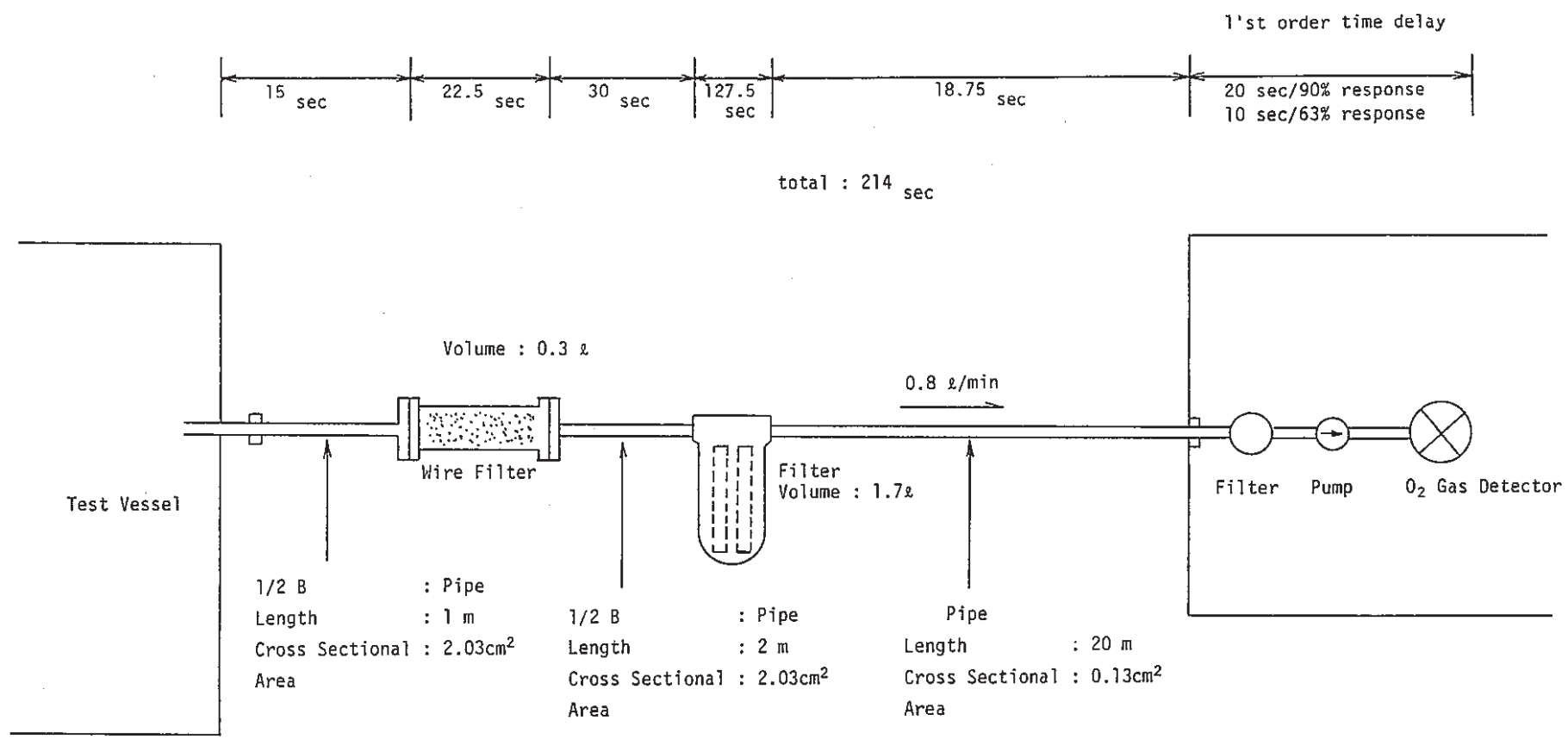


Fig.A.1 Samp 1 ing System of Oxygen Meter

(PSS-SFE-341)

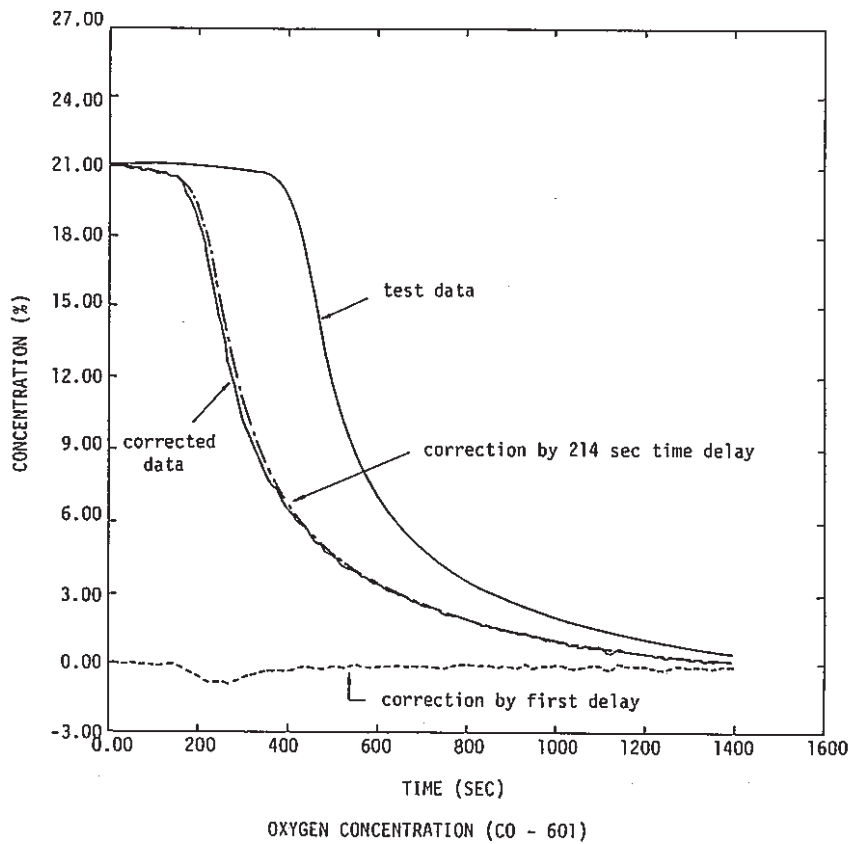
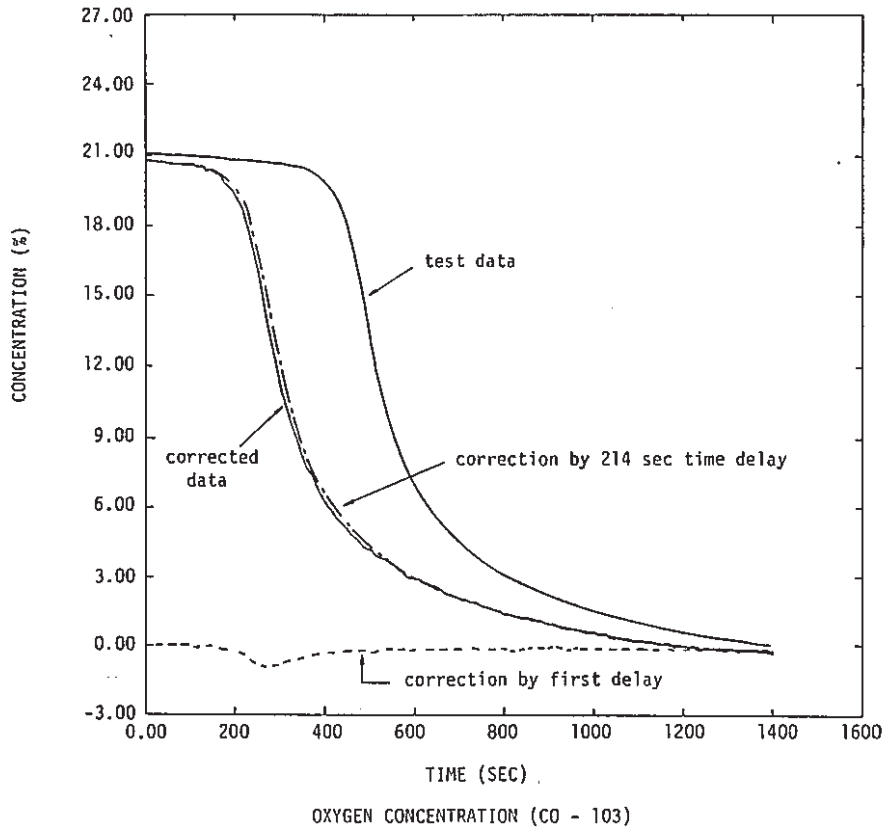


Fig.A.2 Correction of Oxygen Concentration Test Data

(PSS-SFE-342)