

大規模ナトリウム漏洩燃焼試験（Ⅰ）

—空気雰囲気におけるナトリウムプール燃焼試験、Run-D1—

1987年5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)

1987年 5月

大規模ナトリウム漏洩燃焼試験 (I)

— 空気雰囲気におけるナトリウムプール燃焼試験, Run-D1 —

宮原信哉*, 佐々木和一*, 山田敏雄*, 姫野嘉昭*

要 旨

空気雰囲気における長時間にわたる大規模ナトリウムプール燃焼の熱伝達特性の把握と解析コードASSCOPSの検証を目的に、試験Run-D1を実施した。

試験では、サファイア施設のコンクリート製二階建試験セルSOLFA-1に直方体のナトリウム燃焼皿(1.5m X 1.5m, プール表面積2.25 m²)を設置し、これに初期温度505℃のナトリウム約500 kgを注入し、酸素ガスを供給しながら約1時間にわたって燃焼させた。試験データから燃焼発熱量と燃焼時の熱伝達機構などを明らかにし、またコードとの比較を行い、次の結論を得た。

- (1) 試験で得た各部の温度変化に対してASSCOPSによる解析値は、セル内の各部で約10%、セル周囲のコンクリート内部で約40%の誤差内で一致し、同コードの高い信頼性を明らかにした。
- (2) 試験で得た燃焼発熱量は70~100 kW/m²で、そのNaプール側と気相側への移行割合は各々約50%であった。なお、後者の割合はNa温度が高くなると増加する。
- (3) 対流と放射によって行われるNaプール燃焼面から建物構造物への熱伝達では、後者の熱流束が全体の60~70%を占める放射熱伝達支配であった。さらに、放射熱伝達機構については、Naプールからの直接伝達とエアロゾルからの間接伝達に分かれるが、後者が全体の60~80%を占めることを明らかにした。
- (4) Na燃焼中に得たエアロゾル濃度約10g-Na/m³の時のコード上の定義によるエアロゾルと側壁の熱放射係数は、約0.3であった。

* 大洗工学センター、安全工学部、プラント安全工学室

May 1987

A Large-Scale Test on Sodium Leak and Fire (I)
- Sodium Pool Fire Test in Air, Run-D1 -

S. Miyahara*, K. Sasaki*,
T. Yamada* and Y. Himeno

Abstract

A large-scale sodium pool fire test has been conducted in an air atmosphere to study the heat transfer of the combustion heat and to validate the ASSCOPS code.

A burning pan (1.5m-W & 1.5m-L, 2.25m² surface area) was installed in a two-stories high concrete test cell, SOLFA-1, then the test was started by filling a sodium (505°C, 500kg in weight) in it. The test was continued for 1 hour by feeding oxygen gas into the cell. From the test results, the following conclusions were drawn.

- (1) Comparison of predicted temperatures by the code with the test results revealed that the agreement was within 10% at the inner portion of the cell, and was within 40% at the surrounding concretes.
- (2) The combustion heat estimated from the present test ranged from 70 to 100 kW/m². Its fractions transferred to the pool and to the surrounding structures were both about 50%.
- (3) In regard to heat transfer of combustion heat to the surrounding structures, its 60 to 70% was transferred by radiation, and the rest was by convection. In addition, radiation heat transfer from the flame to the walls was found to be controlled by that via aerosols suspending in the atmosphere whose fraction ranged from 60 to 80%.
- (4) Test results indicated that radiation coefficient between aerosols suspending in the atmosphere and a wall, that is defined in the code, was about 0.3 under the aerosol concentration at about 10 g-Na/m³; the average value in the test.

* Plant Safety Engineering Section, Safety Engineering Div., OEC

目 次

要 旨	i
Abstract	ii
目 次	iii
List of Tables	iv
List of Figures	v
List of Photographs	viii
緒 論	1
1. 目 的	2
2. 試験装置と計測	3
2. 1 試験装置の概要	3
2. 2 SOLFA-1 試験セル	4
2. 3 ナトリウム燃焼皿	4
3. 試験方法	6
4. ASSCOPS コードによる解析方法	7
4. 1 解析モデルの体系	7
4. 2 解析条件	7
5. 試験結果と解析結果および考察	9
5. 1 SOLFA-1 一階各部の温度時間変化	9
5. 2 ナトリウムプール燃焼による燃焼発熱量	10
5. 3 SOLFA-1 一階の周囲壁への熱伝達	11
5. 4 エアロゾル挙動と気相中ガス成分変化	14
5. 5 試験後のナトリウム洗浄と残留エアロゾルの分布	14
結 論	16
文 献	17
APPENDIX 壁に対する熱流束の計算	19

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

Table 1 : Compositions of Structural Concrete used in SOLFA-1 and in MONJU	20
Table 2 : Test Conditions of Run-D1	21
Table 3 : Test Record of Run-D1	22
Table 4 : Enthalpy Change of the Various Portions for the First 1 hour	23

List of Figures

Fig. 1 : Bird's-eye View of SAPFIRE Facility	24
Fig. 2 : Test Program of SAPFIRE Experiments for JFY1985	25
Fig. 3 : Arrangement of Test Rig for Run-D1	26
Fig. 4 : Instrumentations and Sensors Installed in Test Rig for Run-D1	27
Fig. 5 : Cut View of SOLFA-1 for Run-D1	28
Fig. 6 : Location of Thermocouples in Cell Atmosphere	29
Fig. 7 : Location of Thermocouples on Floor Liner and on Thermal Radiation Shield for Ceiling	30
Fig. 8 : Location of Thermocouples on Thermal Radiation Shield for Wall	31
Fig. 9 : Location of Thermocouples in Wall Concrete	32
Fig. 10 : Location of Thermocouples in Ceiling and Floor Concretes	33
Fig. 11 : Location of Heat Flux Meter on Thermal Radiation Shield for Wall	34
Fig. 12 : Bird's-eye View of Burning Pan for Run-D1	35
Fig. 13 : Location of Thermocouples in Burning Pan	36
Fig. 14 : Oxygen Concentration Change in the Cell during the Test	37
Fig. 15 : Analytical Model and its Initial Conditions for Analysis of Run-D1 in SOLFA-1	38
Fig. 16 : Temperature Changes of Various Portions in the Cell during the Test...	39
Fig. 17 : Code Calculated and Experimental Gas Temperature Changes during the Test	40
Fig. 18 : Code Calculated and Experimental Temperature Changes of Thermal Radiation Shield for Ceiling during the Test	41
Fig. 19 : Code Calculated and Experimental Temperature Changes of Ceiling Concrete during the Test	42
Fig. 20 : Code Calculated and Experimental Temperature Changes of Thermal Radiation Shield for Wall during the Test	43
Fig. 21 : Code Calculated and Experimental Temperature Changes of Wall Concrete during the Test	44

Fig. 22 : Code Calculated and Experimental Temperature Changes of Sodium Pool during the Test	45
Fig. 23 : Code Calculated and Experimental Temperature Changes of Burning Pan during the Test	46
Fig. 24 : Code Calculated and Experimental Temperature Changes of Floor Liner during the Test	47
Fig. 25 : Code Calculated and Experimental Temperature Changes of Floor Concrete during the Test	48
Fig. 26 : Code Calculated and Experimental Heat Generation Rates during the Test	49
Fig. 27 : Code Calculated and Experimental Gas Pressure Changes in the Cell during the Test	50
Fig. 28 : Code Calculated and Experimental Oxygen Concentration Changes in the Cell during the Test	51
Fig. 29 : Distribution of Combustion Heat transfered to the Various Portions of the Cell for the First 1 hour	52
Fig. 30 : Total Heat Flux to Wall during the First 40 minutes	53
Fig. 31 : Radiation and Convection Heat Flux to Wall during the First 40 minutes	54
Fig. 32 : Percent Ratio of Radiation Heat Flux to Wall during the First 40 minutes	55
Fig. 33 : Radiation Heat Flux from Gas and from Pool to Wall during the First 40 minutes	56
Fig. 34 : Percent Ratio of Radiation Heat Flux from Gas to Wall during the First 40 minutes	57
Fig. 35 : Changes of Radiation Coefficient F between Gas and Wall and Aerosol Concentration in the Gas during the First 40 minutes	58
Fig. 36 : Aerosol Concentrations in Cell Atmosphere during the Test.....	59

Fig.37 : Gas Pressure Change in the Cell during the Test	60
Fig.38 : Concentrations of Oxygen and Hydrogen in the Cell during the Test.....	61
Fig.39 : Post-Test Aerosol Distribution in Test Rig	62

L i s t o f P h o t o g r a p h s

Photo. 1 : Heat Flux Meters attached on Thermal Radiation Shield of Wall	63
Photo. 2 : Burning Pan installed in the Cell (Pre-Test)	63
Photo. 3 : Sodium Fire in Burning Pan at the begining of Sodium Supply	64
Photo. 4 : Sodium Pool Fire during the Test	64
Photo. 5 : Post-Test View of Burning Pan	65

結 論

高速増殖原型炉「もんじゅ」では、設計基準内のNa漏洩事故として $1/4 \cdot D \cdot t$ （Dは配管口径、tは配管肉厚）相当の配管破損口からのナトリウム（以下、Naと略す）スプレー燃焼とその後の床上におけるNaプール燃焼を想定している。原子炉補助建屋では、このような事故に備えるため、Na配管はその周囲を内装板・保温材・外装板から成る保温構造で覆い、建屋の床には鋼製の床ライナを張り、床ライナは連通管によって建屋最下層の燃焼抑制槽に連結してある。これらのNa漏洩対策設備によって、漏洩Naは最終的には燃焼抑制槽に回収され、そこで鎮火するよう設計してある。また、事故時の安全評価は、Na燃焼解析コードASSCOPS⁽¹⁷⁾を用いて行っている。

ところで、上記のNa漏洩対策設備の有効性については、水及びNaを用いた部分試験⁽¹¹⁾、⁽¹²⁾、⁽¹³⁾によってその立証を行っている。解析コードについても、国内および海外の比較的小規模な試験の結果⁽⁵⁾、⁽⁶⁾、⁽⁷⁾、⁽⁸⁾、⁽⁹⁾を用いてその検証⁽¹⁰⁾、⁽¹¹⁾、⁽¹²⁾、⁽¹³⁾、⁽¹⁴⁾を行っている。

しかし近年、原子炉の安全設計及び安全評価に関しては、より実機に近い規模での立証試験が要求される傾向にある。Na漏洩燃焼についても同様な要求がある。そこで、「もんじゅ」安全審査の際の行政庁の指摘事項もあり、大型工学試験を計画・実施しより高い信頼性を持った設計と評価を行うこととした。このため、昭和59年度にサファイア施設（大規模Na漏洩火災試験施設、Na取扱量:15 ton）を動燃・大洗工学センターに建設し、大型工学試験による安全設備の機能検証と安全設計及び安全評価コードの検証を開始した。Fig.1に同施設の鳥瞰図を示す。

本報告書では、このサファイア施設を用いた第一回目の試験として、昭和60年度に実施した空気雰囲気におけるNaプール燃焼試験（Run-D1）とその時の試験データを用いたASSCOPSコードの検証について報告する。

1. 目 的

今回のRun-D1試験の目的は、空気雰囲気でのNaプール燃焼における熱伝達特性の把握と設計および安全評価解析コードとして使用されているASSCOPS の大型試験データによる検証にある。この試験は、Fig.2 に示すように、「もんじゅ」53項目対応のための後続する一連の工学試験に先行するものである。

2. 試験装置と計測

2. 1 試験装置の概要

今回の試験では、Fig. 3 に示すようなSOLFA-1 試験セルとその周辺装置であるNa加熱器、Naドレンタンク、及びエアロゾルスクラバーを用いた。

SOLFA-1 試験セルは、「もんじゅ」の原子炉補助建物を模擬したコンクリート製の二階建セルである。Na加熱器では、最大約4 tonのNaを550℃まで加熱することができ、加熱したNaはSOLFA-1 に供給することができる。Naドレンタンクは、試験後の残留NaをSOLFA-1 からドレンによって回収し、貯蔵するためのものである。エアロゾルスクラバーは、試験中にSOLFA-1 で発生するNaエアロゾルをブローアの強制空気流でこれに吸引し、水スクラバー及びHEPAフィルターに捕集するためのものである。

次に装置全体の計測について述べる。

Fig. 4 にSOLFA-1 一階の計測項目と計測点の要点を示す。試験では、初期にNa加熱器からの加熱NaをFig. 4 に示すNa燃焼皿に供給するが、この時の供給Naの温度と流量は、Na加熱器内とNa供給配管内の熱電対およびNa供給配管に取付けたNa電磁流量計でそれぞれ測定した。また、試験中はNa燃焼によって消費されていく酸素を補給するために、外部から酸素ガスを供給したが、その時の流量はガス系配管に設置したオリフィス流量計で測定した。試験中のSOLFA-1 一階の雰囲気圧力は、電送式圧力計で、またSOLFA-1 一階各部の温度は予め配置した熱電対で測定した。

これらの他に、雰囲気中のエアロゾル濃度、酸素濃度、及び水素濃度を測定した。これらのうち、エアロゾル濃度の測定には、雰囲気ガスを吸引して焼結金属フィルタでNaエアロゾルを捕集し、その時のエアロゾル重量とフィルター通過ガス容積の商からエアロゾル濃度を求める方式を採用した。酸素濃度と水素濃度の測定には、前者については磁気式酸素濃度計とガスクロマトグラフを、後者については熱伝導度式水素濃度計とガスクロマトグラフを用いた。

更に、試験の観察・記録は、工業用テレビカメラと赤外線テレビカメラ、及び35mmカメラを設置して行った。

2. 2 SOLFA-1 試験セル

SOLFA-1 試験セルの断面をFig.5 に示す。

まず、この試験セルのコンクリート部については、試験による劣化を想定して、交換可能なパネル構造とした。このため、構造上は実機コンクリート部を模擬してはいないが、熱物性の観点からは実機と同一仕様とし、そのために福井県葉原産の硬質砂岩と、同県三国産の陸砂をその骨材として用いた。Table 1に「もんじゅ」で使用されるコンクリートとSOLFA-1のコンクリートの配合条件を示す。

今回の試験で使用したSOLFA-1の一階については、天井直下に酸素注入配管を設置し、Na燃焼皿を床の鋼製ライナ上に設置した。Na燃焼皿は、これにNa加熱器からのNa供給配管とNaドレンタンクへのNaドレン配管を接続した。天井及び壁は、主に燃焼Naプール表面からの放射熱伝達による温度上昇を防止するために、断熱材層を介して内表面に鋼製の放射熱防止板を張り付けた。また、床については、パーライト・ボード層を介して床コンクリートの上に鋼製ライナを設置した。

計測については、各部の温度測定用に多数の熱電対を設置した。Fig.6に雰囲気中の、Fig.7に床ライナと天井の放射熱防止板の、Fig.8に壁の放射熱防止板の、またFig.9とFig.10にコンクリート内の熱電対位置をそれぞれ示す。

これらの他に、燃焼Naプール表面とエアロゾルを含むガスから周囲壁への放射熱熱流束および対流による熱流束を測定する目的で、二つの熱流束計を壁の放射熱防止板上に張り付けた。これらのうち一方の熱流束計には、燃焼Naプール表面から直接到達する放射熱は遮るがエアロゾルを含むガスからの多重散乱による放射熱流束と対流熱流束は測定できるようにするためにその表面に遮蔽板を取付けた。またもう一方のそれは雰囲気中へ裸で露出させ、全ての熱流束を測定できるようにした。これら熱流束計の設置図をFig.11に、またこれらを壁の放射熱防止板に張り付けた状態をPhoto.1に示す。

2. 3 Na燃焼皿

Na燃焼皿の鳥瞰図をFig.12に、それをSOLFA-1の一階に設置した状態をPhoto.2に示す。Photo.2で2本のNa配管が見えるのは、一方がNa加熱器からのNa供給配管、他方がこれまでの図では説明していないが、Naドレン配管が閉塞した場合に備えた予備のNaド

レン配管である。

図および写真から明らかなように、Na燃焼皿はその形状が直方体で、その内法寸法は $1500\text{mm} \times 1500\text{mm} \times 500\text{mm}$ 、使用材質は炭素鋼である。その内側には、①試験初期の外部からのNa供給中のNa飛散防止、②Na供給中のプール表面の波立防止、③燃焼生成物による試験中のNaドレン配管入口の閉塞防止、などの目的でFig. 12に見えるような多孔板をその底部に設置した。また、側壁内側の上部は二重壁とし、燃焼プール表面火炎による側壁の過度な熱変形防止策とした。壁面と底面の外周は、保温材で覆い、試験中のNaプールからの放熱防止を図った。

次に計測については、NaプールとNaプール表面真上の雰囲気それぞれの温度計測用に50本の熱電対を、またNa燃焼皿底部と周囲の保温材の温度計測用に各1本の熱電対を設置した。Fig. 13に、これら熱電対の配置を示す。なお、これらの熱電対の補償導線の引回しについては、Na燃焼火炎による焼損を回避する対策を施している。

3. 試験方法

試験条件をTable 2 に、試験経過記録をTable 3 に示す。

試験では、予めNa加熱器及びNa供給配管の試験条件までの昇温及びエアロゾルスクラバーの起動を行い、次にNa供給配管のバルブを開いてNa燃焼皿内に温度約505℃のNaを注入して試験を開始し合計約0.5 ton を漏洩させた。試験期間中は、雰囲気中に外部からの酸素を流量約200l/minで約1時間継続して供給した。試験終了時にはこの供給を停止させることでNaプール燃焼を窒息消火させた。Fig. 14に、試験中の雰囲気酸素濃度の時間変化を示す。初期の数分で酸素濃度は21% から急に低下しているが、その後は外部からの酸素供給とNa燃焼による酸素消費の平衡により約17% で安定している。酸素供給停止後は、急速に濃度は低下し、約110分後に数% 以下となっている。

消火後は、Na温度が450℃にまで自然放熱冷却された約4時間経過後に、Na燃焼皿内のNaをNaドレンタンクにドレンした。

試験後のNaおよび燃焼生成物の処理の際は、各部の温度が十分低くなった段階で状況観察を行い、またエアロゾル分布状況を調査し、次にこれらの作業の終了を待ってNa燃焼皿を外部に搬出し残留Na処理を行った。

4. ASSCOPS コードによる解析方法

試験結果の説明の前に、ASSCOPS コードとそれを用いた今回の解析方法について述べる。

4. 1 解析モデルの体系

今回のRun-D1試験の体系を、コード用に単純化して後述する解析に使用した各種の定数および物性値と共に、Fig. 15に示す。

ASSCOPS コードは、既存のスプレー燃焼解析コードSPRAY-IIIM^{(7), (8)}とプール燃焼解析コードSOFIRE-MII^{(5), (6), (9), (16)}を結合させたものである。このコードでは、上下の2つのセルに対して、上部セル(セル2)ではスプレー燃焼を、下部セル(セル1)ではプール燃焼をセル間相互のフィードバックを考慮に入れながら解析することができる。また、これらのセルとは別に、各セルからのガス漏洩とそれに伴う熱の出入りを扱うために、第3のセルを解析対象とすることも出来る。

Run-D1試験の体系は、1セル内でのプール燃焼であるため、コードのセル1についてのみモデル化し、セル2はダミーとした。また、今回の解析対象セルであるSOLFA-1の一階については、その雰囲気ガスが排煙ダクトを通じて大気に接続している。このため、セル3を大気に見立ててモデル化し、これによって解析対象セルと大気とのガス流入を考慮した。さらに、解析対象セル各部については、コードの機能を最大限に利用して、実際の体系を忠実にモデル化した。

4. 2 解析条件

解析の初期条件については、各部の温度、雰囲気圧力、雰囲気中の酸素濃度等は試験開始直前の実測値を用い、各部構造材の物性値(密度、熱伝導率、比熱)については、原則として伝熱工学資料⁽¹⁵⁾および各部材の製造カタログを基にした。ここで、後者の物性値については、実際のNa燃焼皿の底部および床ライナ下のパーライト・ボードの中の支持構造部であるコの字型鋼(材質:炭素鋼)を考慮し、これらの伝熱面積、体積および重量を基に等価物性値として決定した。

各部構造材のメッシュ切りに際しては、熱電対の設置場所が各メッシュの中心になる

ようにした。また、燃焼皿へのNa供給流量とセル内への酸素供給流量は、実験結果を基にそれぞれ2.45 kg/sec, 200 l/minの一定とした。

ガスと各部の対流熱伝達にかかわる係数については、SOFIRE-MIIコードのマニュアル⁽¹⁶⁾及びASSCOPSコードのマニュアル⁽¹⁷⁾での下に示す推奨値を用いた。

水平面(床ライナを除く): 0.14

垂直面 : 0.129

ここで、水平面に対する値は(1)式のFishendenの水平平板の乱流自然対流熱伝達の実験式⁽¹⁸⁾に、また垂直面に対する値は(2)式のJacobによる垂直平板の乱流自然対流熱伝達の実験式⁽¹⁹⁾に基づくものである。

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

$$\text{ただし、} 2 \times 10^7 < Gr \cdot Pr < 3 \times 10^{10}$$

$$Nu = 0.129 (Gr \cdot Pr)^{1/3} \quad (2)$$

$$\text{ただし、} 1 \times 10^9 < Gr \cdot Pr < 1 \times 10^{12}$$

また、Nu:ヌッセルト数

Gr:グラスホフ数

Pr:プラントル数

今回の試験では、これら2式に対するレーレー数、すなわち $Gr \cdot Pr$ は、約 $3 \times 10^9 \sim 2 \times 10^{10}$ であり、それぞれの式の適用範囲内にある。

床ライナについては、その雰囲気ガスとの対流熱伝達について床ライナが水平平板の上向き冷却として作用する。そこで、床ライナに対しては伝熱工学資料⁽¹⁵⁾から0.14の0.09倍である0.0126を用いた。

また、各部間の放射熱伝達に係わる熱放射係数は、西独KfKのFAUNA施設のNaプール燃焼試験^{(13)・(14)}をSOFIRE-MIIコードで解析した際に得た以下の値⁽⁹⁾を用いた。これらの値は、Naエアロゾルのために雰囲気ガスが不透明になるとして決定されたものである。

Naプール <—> ガス 0.65

ガス <—> 構造材 0.5

5. 試験結果と解析結果および考察

5. 1 SOLFA-1 一階各部の温度時間変化

試験開始後約4 時間までの各部の温度時間変化をFig. 16に示す。

図から、試験開始とともに各部の温度は上昇し始め、酸素供給を停止する1 時間までこの上昇が継続している。酸素供給停止後は、Fig. 14に示したような酸素濃度の急速な低下のために、燃焼は停止に向い、このためNa燃焼皿直下の床ライナを除いて各部ともに温度は一様な低下傾向を示している。床ライナは、Na燃焼皿底部からの入熱の継続により、酸素供給停止後も上昇傾向を維持した。

各部温度の内、最高を記録したのは天井で、その放射熱防止板は最高250 ～300 ℃を記録した。しかし、断熱材を介したその上部のコンクリートは最高でもたかだか約63℃に過ぎず、断熱材が十分にその機能を発揮していることが示された。

次に、ASSCOPS コードによる温度解析結果とそれらの実測値との比較について述べる。Fig. 17からFig. 25に両者の比較を示す。Fig. 17は雰囲気ガス温度、Fig. 18は天井の放射熱防止板、Fig. 19は天井のコンクリート、Fig. 20は側壁の放射熱防止板、Fig. 21は側壁のコンクリート、Fig. 22はNa燃焼皿の中のNa、Fig. 23はNa燃焼皿の底板、Fig. 24は床ライナ、Fig. 25は床ライナ下のコンクリートである。いずれの図も、実測値は○、△、+等の記号（熱電対の取付位置については、Fig. 6からFig. 10とFig. 13に示した）で、解析値は実線で示したが、両者の一致は良好である。不一致の見られる箇所については、以下にその検討を行う。

Fig. 17の雰囲気ガス温度変化については、3 点の試験結果の内の2 点（TE-1076 とTE-1077）がやや解析結果を上回っている。これは、これら2 点の熱電対がNaプールの真上に位置し、このためNaプール表面からの過度の放射熱を受けたためと推定する。

Fig. 18の天井の放射熱防止板、Fig. 19の天井のコンクリートについては、いずれも天井の中央部の実測値（放射熱防止板については熱電対：TE-1064、コンクリートについては熱電対：TE-1001とTE-1002 で、後者の二本はコンクリート内表面からそれぞれ12mmと25mmの深さに有る）が中央部を離れた場所のそれより相対的に高く、解析値との差も大きい。放射熱防止板では両者の差は温度上昇幅で最大約8%、コンクリートでは約300%となる。このような差を生じた推定原因を以下に示す。

①コードで使用している(1)式が、水平平板用であるのに対してNa燃焼皿の体系が異なる。

②コードでは、雰囲気ガスが1点近似、天井も水平方向が1点近似と粗い。

上と同様な差は、Fig. 21の側壁コンクリートについても認められる。これら以外の場所については、特にFig. 22のNa、Fig. 23のNa燃焼皿底部、Fig. 24の床ライナ、Fig. 25の床コンクリートについての一致が非常に良好である。

さて、上の比較から、一部に不一致が認められるが、今回の試験結果からもASSCOPSが設計および安全評価コードとしてNaプール燃焼を高い精度で解析出来ることが明らかになった。

5. 2 ナトリウムプール燃焼による燃焼発熱量

燃焼発熱量についても、試験結果とコード解析結果との比較を行った。ここで、試験からの燃焼発熱量 Q は、次のような方法で決定した。Fig. 16に、試験期間中の各部の温度変化を示したが、このような温度データからSOLFA-1一階の雰囲気ガス、床、壁、天井の各構造材ならびにNa燃焼皿のそれぞれのエンタルピー上昇分を求め、これらの和から供給Naのエンタルピー分とNaプールのエンタルピー変化分を差し引き、次に示す(3)式を用いて燃焼発熱量とした。この方法は、既報のRUN-B3⁽³⁾で使用したと同様な方法である。

$$Q = Q_{\text{ceil}} + Q_{\text{wall}} + Q_{\text{floor}} + Q_{\text{gas}} + Q_{\text{pan}} - Q_{\text{Na, in}} - Q_{\text{pool}} \quad (3)$$

ただし、

Q_{ceil} : セルの天井構造材の受けた熱量 (kcal/hr)

Q_{wall} : セルの壁構造材の受けた熱量 (kcal/hr)

Q_{floor} : セルの床構造材の受けた熱量 (kcal/hr)

Q_{gas} : セル内の雰囲気ガスの受けた熱量 (kcal/hr)

Q_{pan} : セル内のNa燃焼皿の受けた熱量 (kcal/hr)

$Q_{\text{Na, in}}$: Na燃焼皿に供給したNaの熱量 (kcal/hr)

Q_{pool} : 燃焼皿中のNaプールの熱量変化 (kcal/hr)

Fig. 26に、このようにして決定した燃焼発熱量 Q と対応するコード解析結果を示す。

(3) 式から得た試験結果は、実線で、またコード解析結果は◆で表示た。

試験結果は、初期に非常大きな値を示しているが、その後は酸素供給中、酸素供給停止後を問わず変動はあるものの燃焼発熱量は時間経過と共に徐々に減少している。酸素供給中の値は $70 \sim 100 \text{ kW/m}^2$ で、Run-B1⁽¹⁾で報告した空気雰囲気中の表面積 0.5 m^2 (今回の試験の約1/5)のNaプール燃焼で得た値 100 kW/m^2 に近い。なお、初期の非常に大きな値は、Naを燃焼皿に供給した際の飛散Naの燃焼が加わったためで、その時の燃焼状態をPhoto. 3に示しておいた。また、参考までにNaの供給を停止した時点での燃焼状況を、Photo. 4に示す。

次に、コード解析結果に着目すると、上記の試験結果との対応は良好である。ただ、細かい点では多少の相違が見られる。すなわち、コードではNa飛沫の燃焼まではモデル化されていないため、初期の非常に大きな値は再現されていない。時間経過に対しては、酸素供給中は解析結果が試験結果を下回り、その後はこの関係が逆転している。これは、解析と試験とでガス漏洩挙動に相違があるためである。すなわち、Fig. 27に示したガス圧の解析値と試験値の比較を見ると、試験開始直後の両者の一致は良好なるも、解析ではその後のガス圧変化がうまく再現されていない。原因は、試験ではSOLFA-1一階につながっている排煙ダクト入口部のダンパーが、エアロゾルの沈着によって徐々にその流動抵抗を増加させていったためである。しかし、解析ではこの入口部ダンパーの流動抵抗を一定と置き、途中の漏洩流量変化を考慮していない。またこのために、解析では、本来Naの燃焼に消費されるべき酸素供給期間中の酸素が外部に排出され、逆に酸素供給停止後は排出されるべき酸素が流入しているとしたためである。このことは、Fig. 28に示す試験期間中の雰囲気酸素濃度変化に現れている。

このように、全般的には解析の試験との一致は良好で、ここでもコードの信頼性が立証された。

5. 3 SOLFA-1 一階の周囲壁への熱伝達

まず始めに、試験で得た燃焼発熱量のNaプール側および気相側への熱伝達の割合について述べる。Table 4 及びFig. 29に(3)式を用いて得た燃焼発熱量の各部への熱伝達割

合を示す。表および図から、燃焼発熱量の50% 弱がNaプール側に、残りの50% 強が雰囲気周囲の構造物へ伝達したことがわかる。なお、この割合についてはRun-B1試験⁽¹⁾では、前者が約70%, 後者が約30% である。今回のRun-D1とこのRun-B1との試験条件の違いは、プール面積が約5:1, 雰囲気対流条件が自然対流と強制対流、初期Na温度が505℃と400℃である。雰囲気対流条件のみからは、Run-B1の方が雰囲気周囲構造物への熱伝達割合が大きくなるはずであるが、結果は逆である。よって、ここに示した割合は初期Na温度に依存するものと判断する。

次に、雰囲気への熱伝達については、前5.1節から雰囲気ガス温度の試験結果に対する解析結果の一致が良く、コード解析で用いた熱放射係数の妥当なことが分かる。

側壁に対する熱伝達については、計算方法の詳細をAPPENDIXに示したが、Fig. 30に全熱流束の時間変化を試験と手計算の両方について示す。試験で得た値は、雰囲気中へ裸で露出させた熱流束計が破損するまでの約40分間に得た測定値 $Q_{m, total}$ であり、手計算で得た値は、コード解析に用いた熱伝達式から放射と対流に関する見掛けの熱伝達率を計算で求め、これに試験で得たガス温度と壁温をあてはめて求めた全熱流束 $Q_{c, total}$ である。測定値と計算値の一致は非常に良い。

上のような計算で得た全熱流束 $Q_{c, total}$ のうちの対流熱伝達による熱流束 $Q_{c, conv}$ 及び試験で得た全熱流束 $Q_{m, total}$ から、手計算で求めた対流熱流束 $Q_{c, conv}$ をさし引くことで求めた放射熱流束 $Q_{c, rad}$ (ただし、 $Q_{c, rad} = Q_{m, total} - Q_{c, conv}$)をFig. 31に示す。図から、初期のNa供給期間中は放射熱流束 $Q_{c, rad}$ が対流熱流束 $Q_{c, conv}$ を上回るが、Na供給完了から酸素供給開始までの間は両者はほぼ等しく、その後は時間の経過とともに放射熱流束が徐々に増加して大きくなっていることが分かる。Fig. 31の2つの熱伝達機構による熱流束を基に、全熱流束に対する放射熱流束の割合とその時間変化を求めてFig. 32に示す。図から、Naプール燃焼中は放射熱流束が全体の60~70%を占め、熱伝達機構は放射熱伝達支配であることが分かる。

上の求めた放射熱流束を、Naプール表面からによるもの $Q_{m, rad, pool}$ と雰囲気中のエアロゾルからによるもの $Q_{c, rad, gas}$ とに分離し、その時間変化を示した図がFig. 33である。ただし、 $Q_{m, rad, pool}$ および $Q_{c, rad, gas}$ は、次の式から計算した。

$$Q_{m, rad, pool} = Q_{m, total} - Q_{m, shield} \quad (4)$$

$$Q_{c, rad, gas} = Q_{m, shield} - Q_{c, conv} \quad (5)$$

ここで、 $Q_{m, shield}$ はFig. 11の遮蔽板を取付けた熱流束計での測定値である。

また、これらのうちで雰囲気中のエアロゾルからの放射熱流束の占める割合をFig. 34に示す。

上に示した図から、壁に対する放射熱流束は、雰囲気中のエアロゾルからのそれが全体の60～80%を占め、Naプール表面からの放射熱流束よりも壁に対する放射熱伝達の支配的な機構であることが分かる。

最後に、雰囲気中のエアロゾルから壁に対する放射熱伝達について、その見掛けの熱放射係数を求める。定義より、次の(6)式が成立する。

$$Q_{rad, gas} = F \cdot \sigma \cdot (T_g^4 - T_w^4) \quad (6)$$

ただし、

$Q_{rad, gas}$: 雰囲気中のエアロゾルと壁との間の放射熱流束
(kcal/m²hr)

F : 熱放射係数 (形態係数 f 及び雰囲気中のエアロゾルと壁のそれぞれの熱放射率 ϵ_g , ϵ_w との積であるが、この場合は $f = 1$ である)

σ : ステファン・ボルツマン定数 (4.88×10^{-8} kcal/m²hr K⁴)

T_g : ガス温度 (K)

T_w : 壁温度 (K)

$Q_{rad, gas}$ としてFig. 33に示した $Q_{c, rad, gas}$ の値と T_g 、 T_w にそれぞれの試験結果からの値を(6)式に代入して求めた熱放射係数 F の時間変化を、エアロゾル濃度の時間変化とともにFig. 35に示す。図から、エアロゾル濃度の上昇と共に F が低下することとエアロゾル濃度が約10g-Na/m³ の時の熱放射係数 F が約0.3 であることがわかる。前者のエアロゾル濃度に対する変化は、 F がNaプールからの熱放射の影響を受けていることを示す。また、後者の熱放射係数 F の値については、本報告書の始めのASSCOPSコードによる解析の入力条件設定の際に仮定したように、雰囲気中のエアロゾルは放射熱に対して完全不透明ではないことを示している。ただし、前の章のASSCOPSによる解析

では、使用した雰囲気エアロゾルと壁との間の熱放射係数値が、上で求めた値と比べると大きな0.5であったことから、間接的に妥当な結果を与えたものとする。

5. 4 エアロゾル挙動と気相中ガス成分変化

Fig. 36に試験期間中のSOLFA-1一階の雰囲気エアロゾル濃度変化を示す。濃度は酸素供給中は燃焼のために徐々に上昇し、酸素供給の停止約20分後に最高値である約12g-Na/m³を記録している。酸素供給停止以降も濃度上昇の続いた原因は、Fig. 37に示したように、酸素供給後に初めて雰囲気圧力がそれまでの正圧から負圧となり、そのためにエアロゾルの排出が停止したためである。約20分以降は、濃度は徐々に低下し、Naドレン時には約2g-Na/m³以下となった。

次に、雰囲気酸素濃度および水素濃度変化については、測定結果をFig. 38に示す。試験時の酸素供給は、Na燃焼皿へのNa供給が完了した時点以降に約200l/minの一定流量で1時間継続している。図から、酸素濃度は初期に急激な減少を示し、酸素供給期間中はほぼ一定値を、酸素供給停止後は急激に低下している。

水素濃度は、酸素供給停止後徐々に上昇し、Naドレン後の酸素濃度が約3.2%に達した時点で、その上昇が速くなり、最高値を経て低下している。このような変化の理由は、燃焼中は発生した水素ガスも燃焼火炎で消費されるが、酸素濃度が低下し、燃焼が終息すると発生する水素ガスが消費されないためと推定する。

5. 5 試験後のナトリウム洗浄と残留エアロゾルの分布

残Na等の処理に当たっては、予めSOLFA-1一階の雰囲気中に炭酸ガスを注入し、これによって残留Na等の化学的安定化を図った。内部観察と写真撮影は、各部の温度が室温近くまで低下した時点で行った。

Na燃焼皿の状況をPhoto. 5に示す。目視観察では、Na燃焼皿の中のNaは殆どがドレンされ、多孔板上に燃焼生成物が厚さ約10mm程度残留しているだけであった。天井、床、側壁にはNaエアロゾルが薄く付着しているのを認めた。

処理は、始めにエアロゾルに対して行い、各壁面上のエアロゾルを水を付けたウエスで拭き取った。また、その時の回収エアロゾルから、中和滴定によって壁面の付着Naエ

アロゾル量を求めた。Fig. 39にこの時に得たNaエアロゾル分布割合を示す。次に行ったNa燃焼皿内の残留燃焼生成物の処理は、盲蓋をしたNa燃焼皿を外部に搬出して行った。

結 論

空気雰囲気における大規模かつ長時間にわたるナトリウムプール燃焼の熱伝達特性の把握とプール燃焼解析コードASSCOPSの検証を目的に、サファイア施設のコンクリート製二階建の試験セルSOLFA-1を使用した最初の大型試験Run-D1を実施した。試験では、SOLFA-1一階に表面積 2.25 m^2 のナトリウム・プールを形成することの出来る燃焼皿($1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$)を設置し、これに温度 $505\text{ }^\circ\text{C}$ のナトリウムを約 500 kg 注入して約1時間燃焼させた。試験中は、セル内に酸素ガスを供給して、雰囲気酸素濃度を約 17% に維持し、試験の終了時にはこの酸素ガス供給を停止することで燃焼を終息させた。また、試験で得たデータから燃焼時の諸特性を把握するとともにコード解析値との比較を行い、次の結論を得た。

- (1) 試験で得た各部の温度変化に対してASSCOPSによる解析値は、セル内の各部で約 10% 、セル周囲のコンクリート内部で約 40% の誤差内で一致し、同コードの信頼性が検証された。
- (2) 試験で得た燃焼発熱量は $70\sim 100\text{ kW/m}^2$ で、そのNaプール側と気相側への移行割合は各々約 50% であった。なお、後者の割合はNa温度が高くなると増加する。
- (3) 対流と放射によって行われるNaプール燃焼面から建物構造物への熱伝達では、後者の熱流束が全体の $60\sim 70\%$ を占める放射熱伝達支配であった。さらに、放射熱伝達機構については、Naプールからの直接伝達とエアロゾルから間接伝達に分かれるが、後者が全体の $60\sim 80\%$ を占めた。
- (4) Na燃焼中に得たエアロゾル濃度約 10 g-Na/m^3 の時のコード上の定義によるエアロゾルと側壁の放射熱伝達に関する熱放射係数は、約 0.3 であった。

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, SN941 84-124, 1984年 8月
- (2) 川部, 姫野, 川田, 宮口, , 「ナトリウム火災防護設備基礎試験(II)ーライナ上の低温ナトリウム流動燃焼試験(RUN-B4)ー」, PNC 報告書, SN941 85-104, 1985年 7月
- (3) 姫野, 宮原, 川田, 川部, 佐々木, 山田, 宮口, , 「ナトリウム火災防護設備基礎試験(III)ー二次系ナトリウムの事故推移に関する縮尺モデル試験, Run-B3ー」, PNC 報告書, SN941 85-130, 1985年 9月
- (4) 姫野, 宇佐美, 木下, 山田, , 「ナトリウム火災防護設備基礎試験(IV)ー水による二次系主配管ナトリウム漏洩模擬試験ー」, PNC 報告書, SN941 86-088, 1986年 8月
- (5) 三菱重工業(株), 三菱原子力工業(株), , 「一次収納構造健全性試験ー第2報, ナトリウム火災コードの改修ー」, PNC 報告書, SJ222 77-08(2), 1977年 7月
- (6) 八木, 長沼, , 「一次収納構造健全性試験(II)ー第2報, ナトリウム火災解析コードの検証ー」, PNC 報告書, SJ222 78-01(2), 1978年 4月
- (7) 宮原, 三塚, , 「ナトリウム・スプレー燃焼の解析」, PNC 報告書, ZN241 83-09, 1983 年 4月
- (8) 宮原, 前田, , 「ナトリウム・スプレー燃焼の解析(II)」, PNC 報告書, ZN241 83-10, 1983 年 7月
- (9) O. Miyake, R. Kawabe, et al., "COMPARISON OF SOPIRE-III PREDICTIONS WITH THE RESULTS OF GERMAN FAUNA F5 AND F6 TESTS," PNC Report, SN941 85-67, March 1985
- (10) 八木, 長沼, , 「一次収納構造健全性試験ー第1報, ナトリウム漏洩試験ー」, PNC 報告書, SJ222 77-08(1), 1977年 7月
- (11) 八木, 長沼, , 「一次収納構造健全性試験(II)ー第1報, ナトリウム漏洩試験ー」, PNC 報告書, SJ222 78-01(1), 1978年 4月

(TN)

- (12) 中原, 佐野, 他., 「ナトリウムスプレ燃焼試験-第一分冊: ナトリウムスプレ燃焼実験-」, PNC 報告書, SJ222 82-16(1), 1982年12月
- (13) W. Cherdron, S. Jordan., "Die Natrium-Brandversuche in der FAUNA-Anlage auf Brandflaechen bis 12 m²," KfK 3041 (1983)
- (14) W. Cherdron, Ch. Hosemann., "The Sodium Fire Tests FAUNA 5 AND FAUNA 6," KfK PSB-Bericht nr. 1667 (K1. II) (1982)
- (15) 日本機械学会編., 「伝熱工学資料(改訂第3版)」, 1975年
- (16) 三菱原子力工業㈱., 「ナトリウム火災解析コードSOFIRE-MII使用マニュアル」, PNC 報告書, SJ206 82-01, 昭和56年
- (17) 里見, 山崎, 他., 「ナトリウム火災解析コードASSCOPS Ver. 1.1 (インプットマニュアル)」, PNC 報告書, SN952 84-13, 1984 年
- (18) 甲藤., 「伝熱概論」, P.174, 養賢堂, 昭和56年
- (19) 日本機械学会編., 「伝熱工学資料(改訂第2版)」, 1966年

A P P E N D I X 壁に対する熱流束の計算

壁に対する熱流束の計算は、以下の三つの実測結果を基に行った。

対流熱伝達と放射熱伝達による全熱流束、 $Q_{m, total}$:

遮蔽板を設置しない熱流束計による測定値で、

$Q_{m, conv}$: 対流熱流束

$Q_{m, rad, gas}$: 雰囲気中エアロゾルからの放射熱流束

$Q_{m, rad, pool}$: Naプール表面からの放射熱流束

の三者の和

対流熱伝達と雰囲気中エアロゾルからの放射熱流束、 $Q_{m, shield}$:

遮蔽板を設置した熱流束計による測定値で、

$$Q_{m, conv} + Q_{m, rad, gas}$$

である

対流熱流束、 $Q_{c, conv}$:

Jacob による垂直平板の乱流自然対流熱伝達の実験式⁽¹⁹⁾に試験結果のガス温度と壁温度をあてはめて求めた計算値

本文中で述べたように、 $Q_{m, conv} = Q_{c, conv}$ と仮定すると、

放射熱流束、 $Q_{c, rad}$ は、

$$Q_{c, rad} = Q_{m, total} - Q_{c, conv}$$

で求まる。

また、Naプール表面からの放射熱流束、 $Q_{m, rad, pool}$ と雰囲気中エアロゾルからの放射熱流束、 $Q_{c, rad, gas}$ は、それぞれ、

$$Q_{m, rad, pool} = Q_{m, total} - Q_{m, shield}$$

$$Q_{c, rad, gas} = Q_{m, shield} - Q_{c, conv}$$

で求まる。

**Table 1 Compositions of Structural Concrete
used in SOLFA-1 and in MONJU**

		SOLFA-1	MONJU
Materials	Cement	Flyash B	Flyash B
	Aggregate	Graywacke	Graywacke
	Retarder	————	Pz. No.8
	AE Water Reducing Agent	Pz. No. 5L	303A
Maximum Size of Coarse Aggregate (mm)		25	25
Design Strength (kgf/cm²)		240	240
Bulk Density (kg/m³)		2150	2150
Water Cement Ratio (%)		49.6	55
Sand Percentage (%)		40.3	43
Slump (cm)		8±2.5	12±1.5
Air Content (%)		3±1	4±1

PSS—SFE—343

Table 2 Test Conditions of Run-D1

Sodium Fedded	: 550 kg
Sodium Feed Rate	: 2.56 kg/s
Feed Duration	: 215 sec
Sodium Temperature	: 505°C, Hot-Leg Temperature of Monju IHTS
Surface Area of Sodium Pool	: 2.25 m ²
Depth of Sodium Pool	: 0.3 m
Oxygen Injection Rate	: 0.2 m ³ /min

PSS-SFE-452

Table 3 Test Record of Run-D1

Time	Record	Time after Initiation of Sodium Feed
11:37	Start-up of Aerosol Scrubber	
13:41	Pressurization of Cover Gas in Sodium Heater	
13:51	Start-up of Data Aquisition System	
13:59	Start of Sodium Feed	0
14:03	End of Sodium Feed	3 min 35 sec
14:06	Start of Oxygen Injection (0.2m ³ /min)	7 min 00 sec
15:00	End of Oxygen Injection	60 min 29 sec
17:55	Drain of Sodium in Burning Pan	3 hr 56 min
23:51	Turn-off of Data Aquisition System	9 hr 52 min

PSS-SFE-453

Table 4 Enthalpy Change of the Various Portions for the First 1 hour

	Enthalpy Change (kcal)
Sodium Pool, Burning Pan and Thermal Insulator, $Q_{\text{Na,pool}} + Q_{\text{pan}} + Q_{\text{ins}} - Q_{\text{Na,in}}$	6.554×10^4
Ceiling , Q_{ceil}	2.551×10^4
Wall , Q_{wall}	2.857×10^4
Floor , Q_{floor}	2.057×10^4
Gas , Q_{Gas}	2.243×10^2
Total, $Q_{\text{Na,pool}} + Q_{\text{pan}} + Q_{\text{ins}} - Q_{\text{Na,in}}$ $+ Q_{\text{ceil}} + Q_{\text{wall}} + Q_{\text{floor}} + Q_{\text{Gas}}$	1.404×10^5

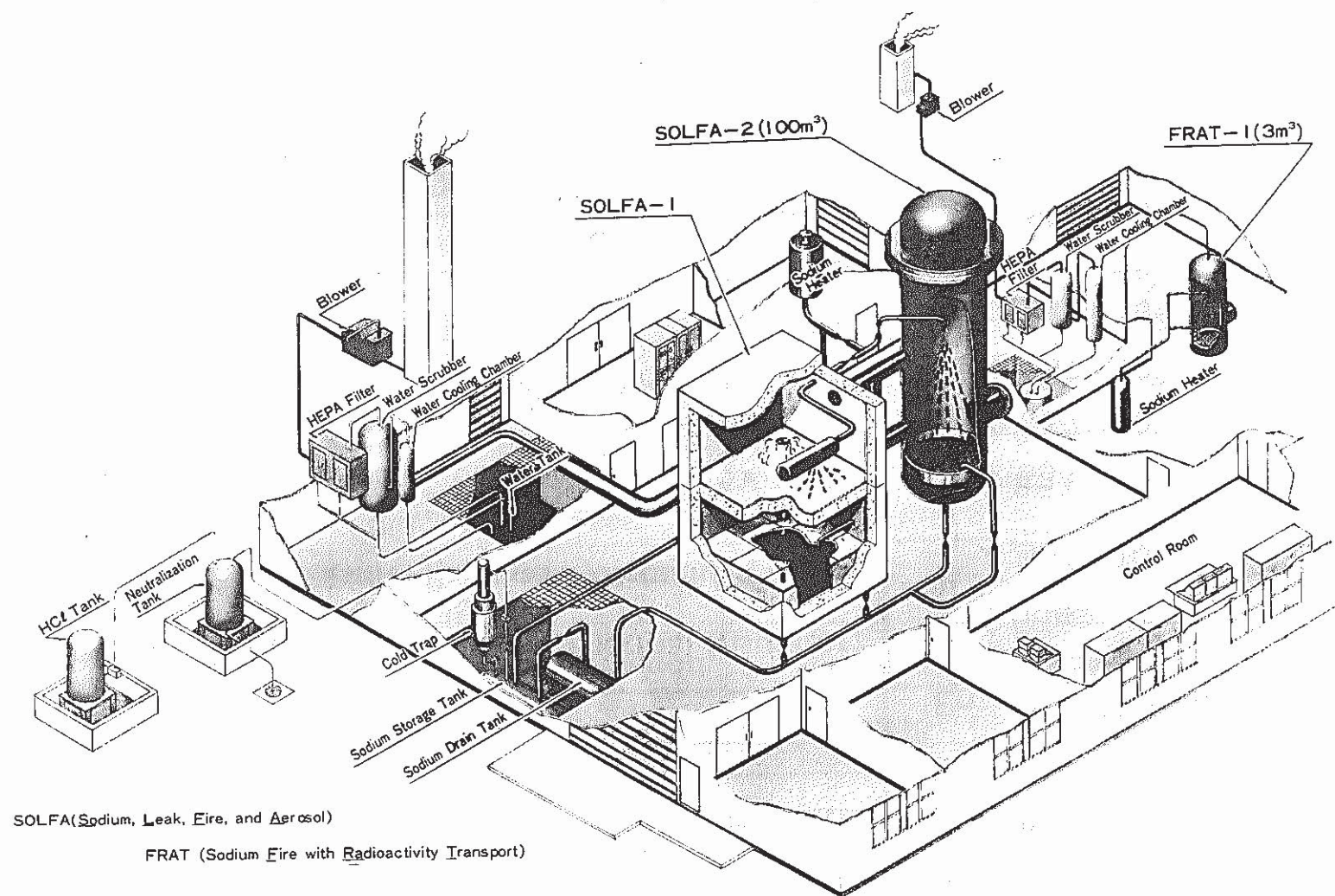


Fig. 1 Bird's-eye View of SAPFIRE Facility

PSS-SFE-455

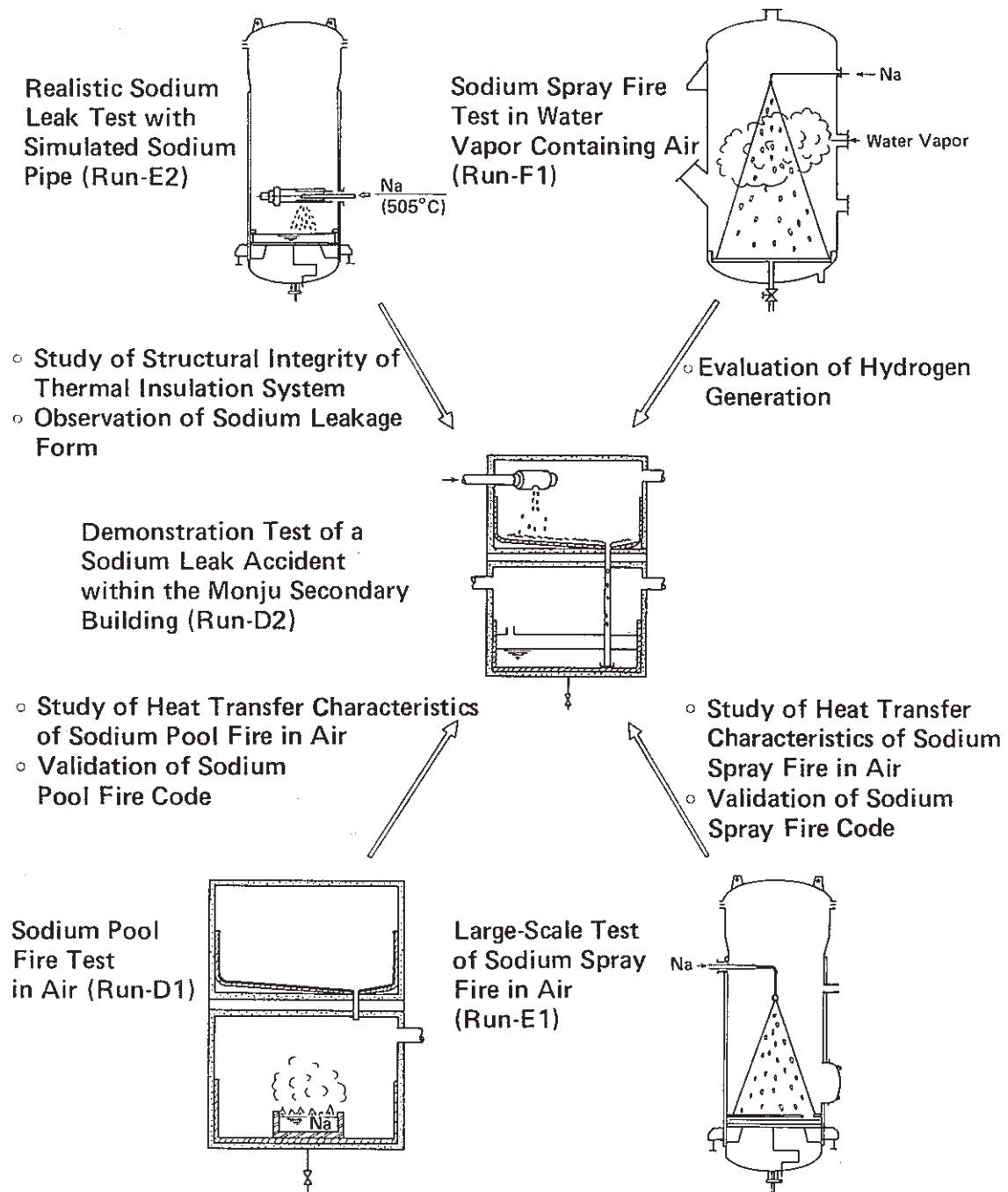


Fig. 2 Test Program of SAPFIRE Experiments for JFY1985

PSS-SFE-456

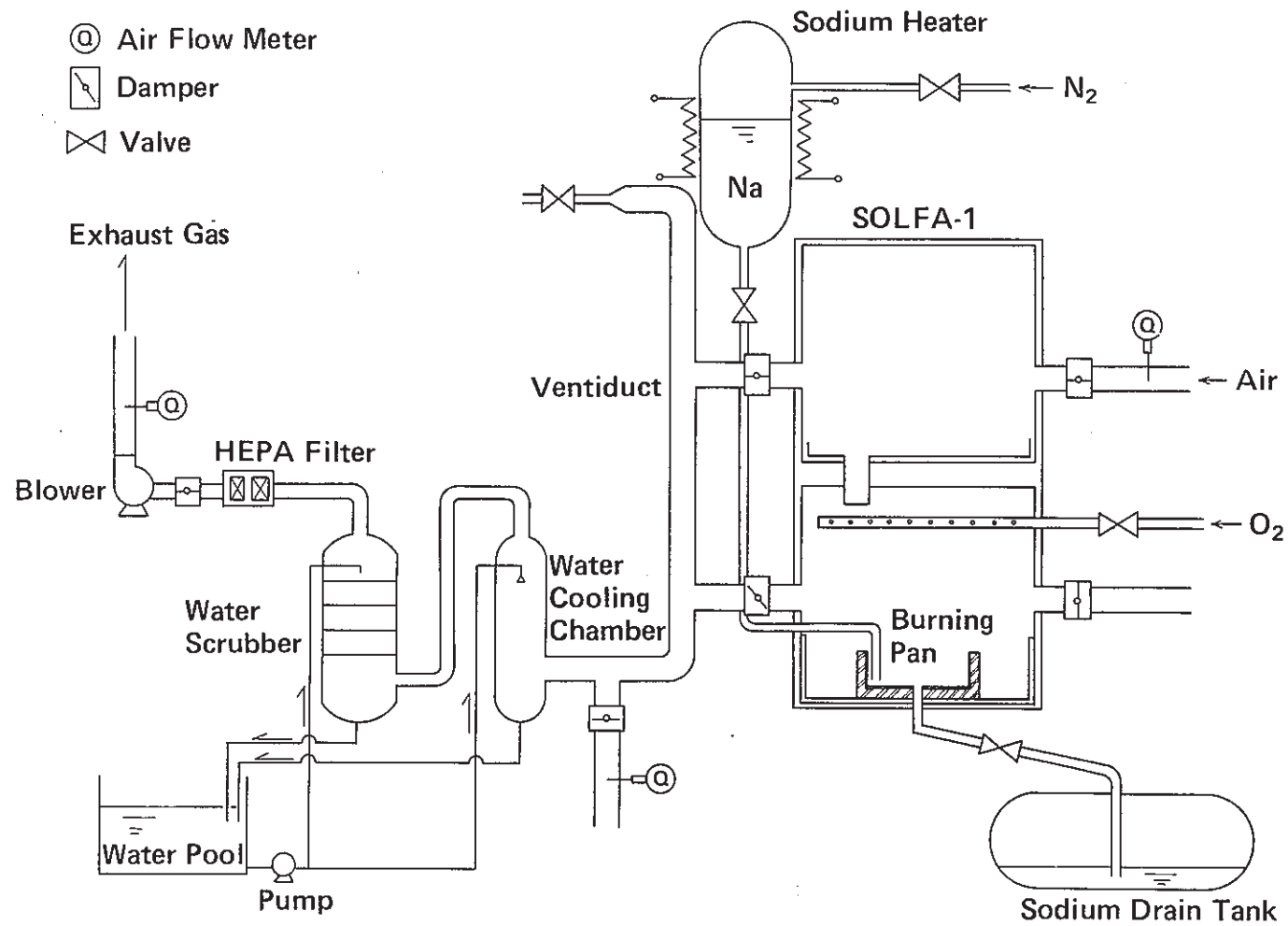


Fig. 3 Arrangement of Test Rig for Run-D1

PSS-SFE-457

Note for keys

- | | |
|---|----------------------------------|
| (T) Thermocouple | (O ₂) Oxygen meter |
| (P) Pressure gauge | (H ₂) Hydrogen meter |
| (F) Flow meter | (D) Displacement meter |
| (C) Aerosol concentration meter | |
|  TV Camera | |

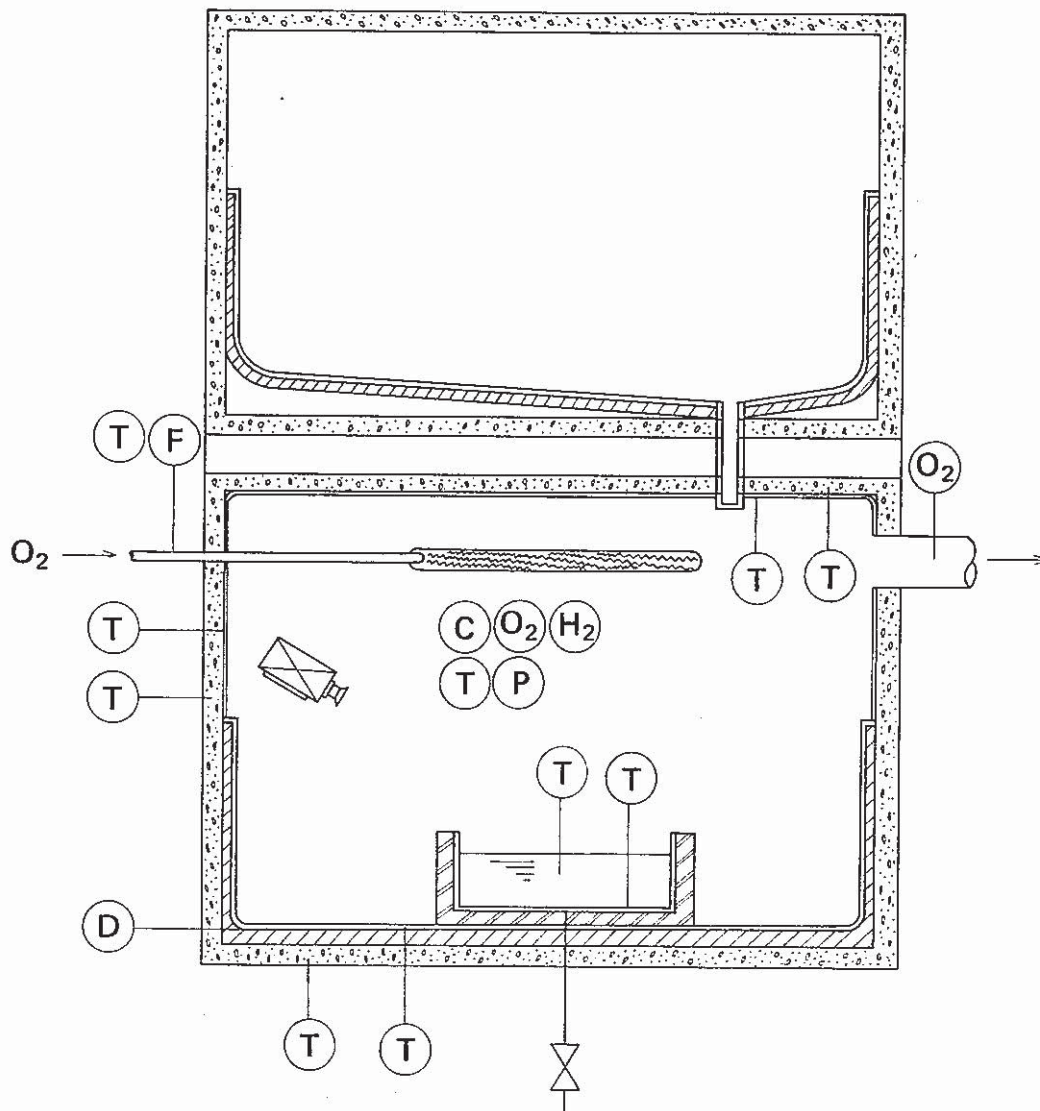


Fig. 4 Instrumentations and Sensors Installed in Test Rig for Run-D1

PSS-SFE-458

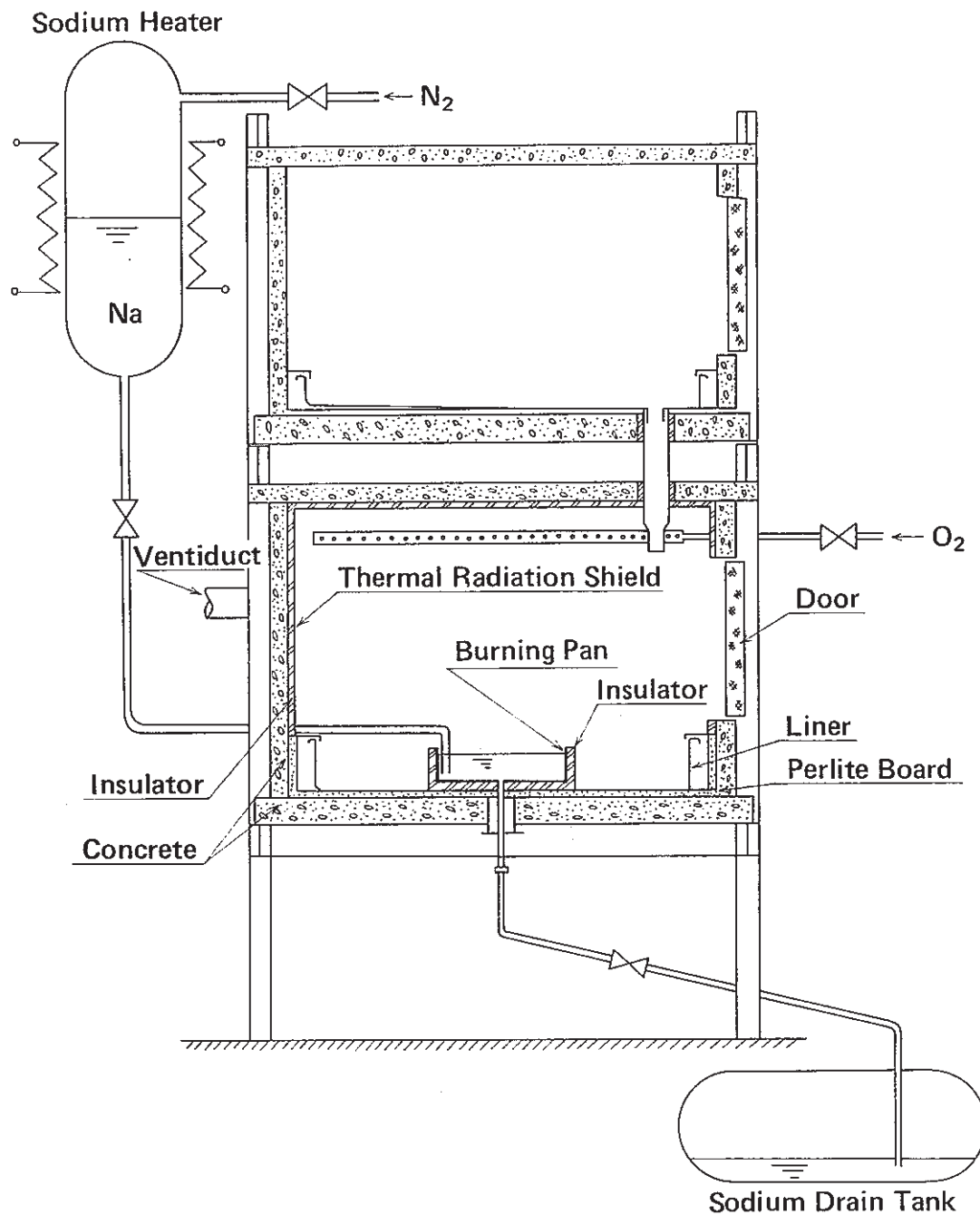
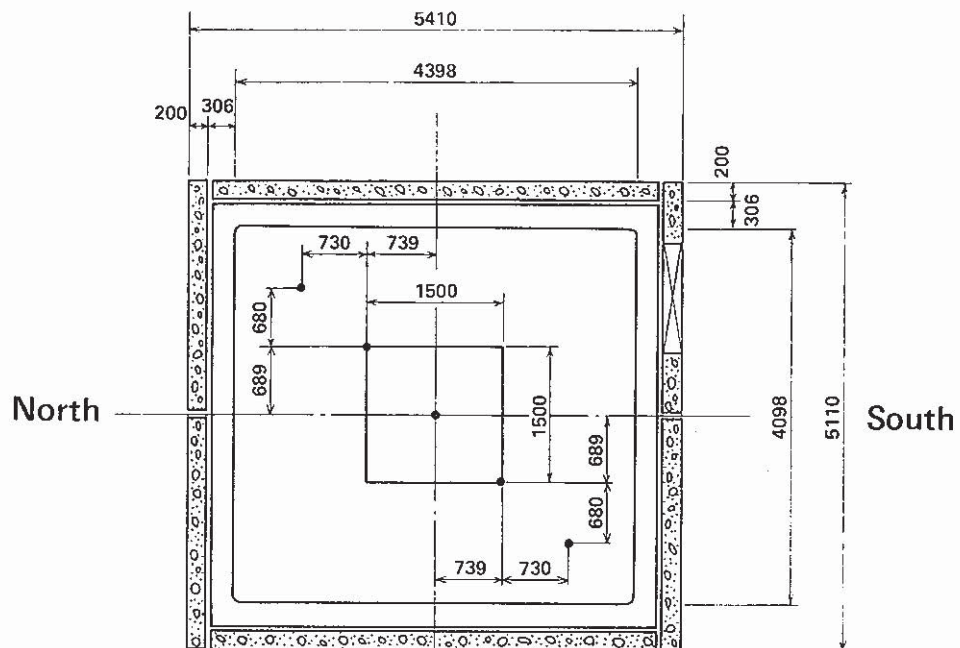
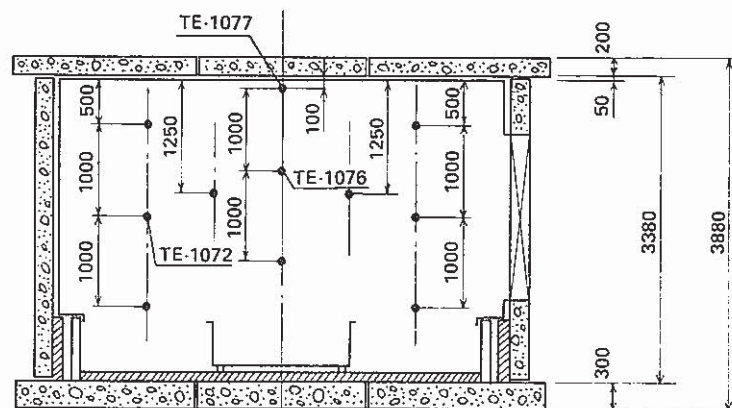


Fig. 5 Cut View of SOLFA-1 for Run-D1

PSS-SFE-459



— Top View —



— Side View, North-South Cross-section —

unit : mm

Fig. 6 Location of Thermocouples in Cell Atmosphere

PSS-SFE-460

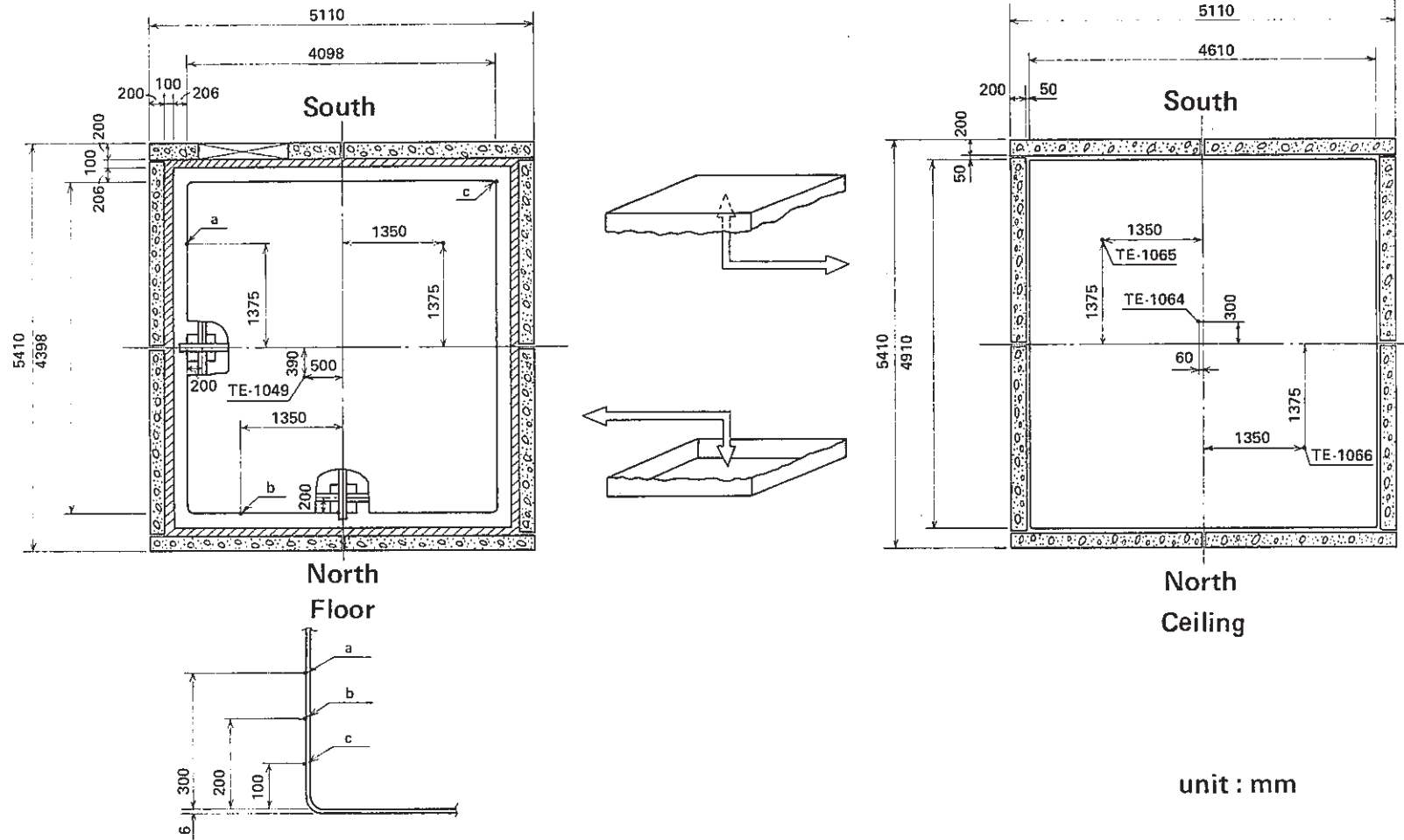


Fig. 7 Location of Thermocouples on Floor Liner and on Thermal Radiation Shield for Ceiling

PSS-SFE-461

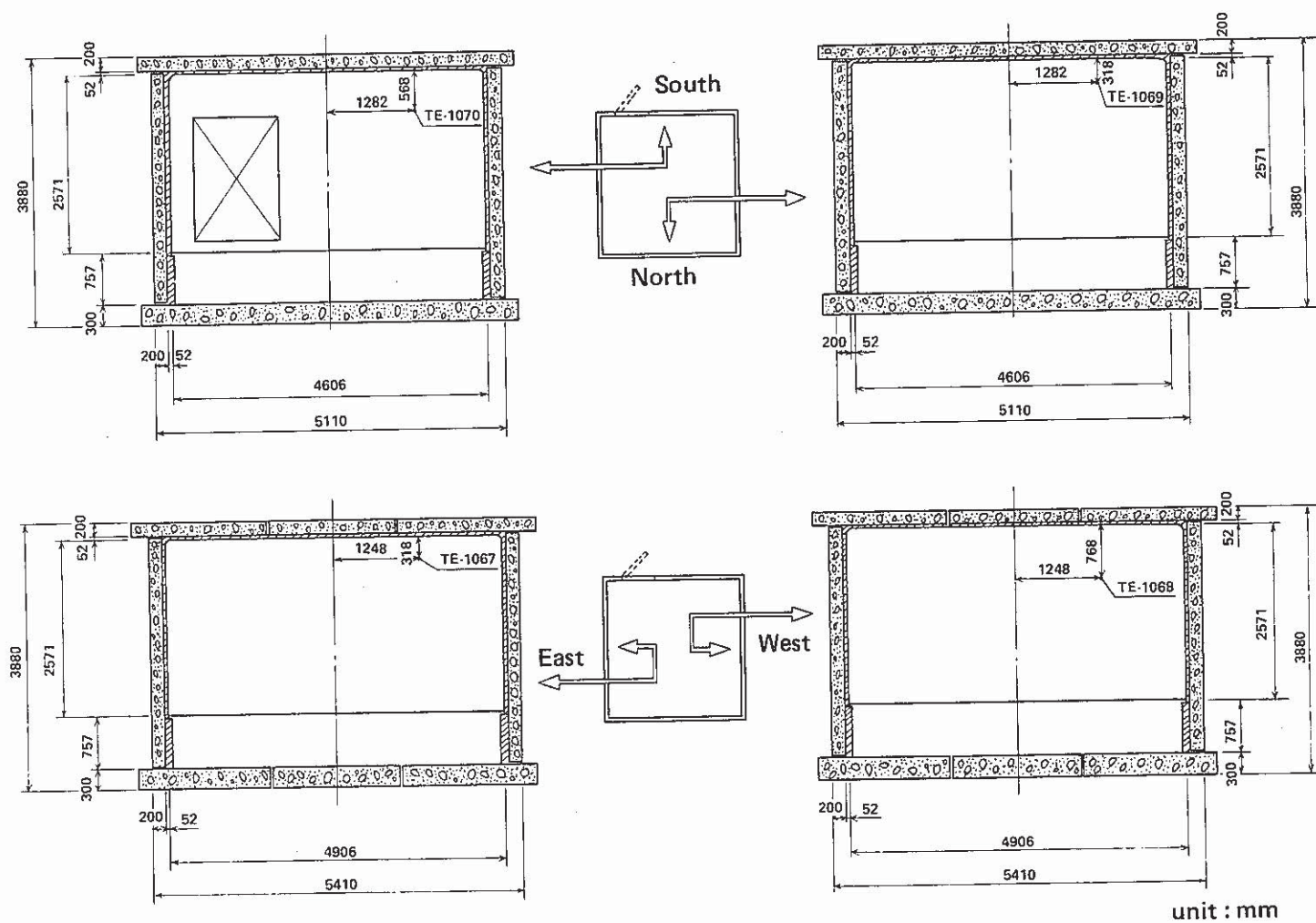


Fig. 8 Location of Thermocouples on Thermal Radiation Shield for Wall

PSS-SFE-462

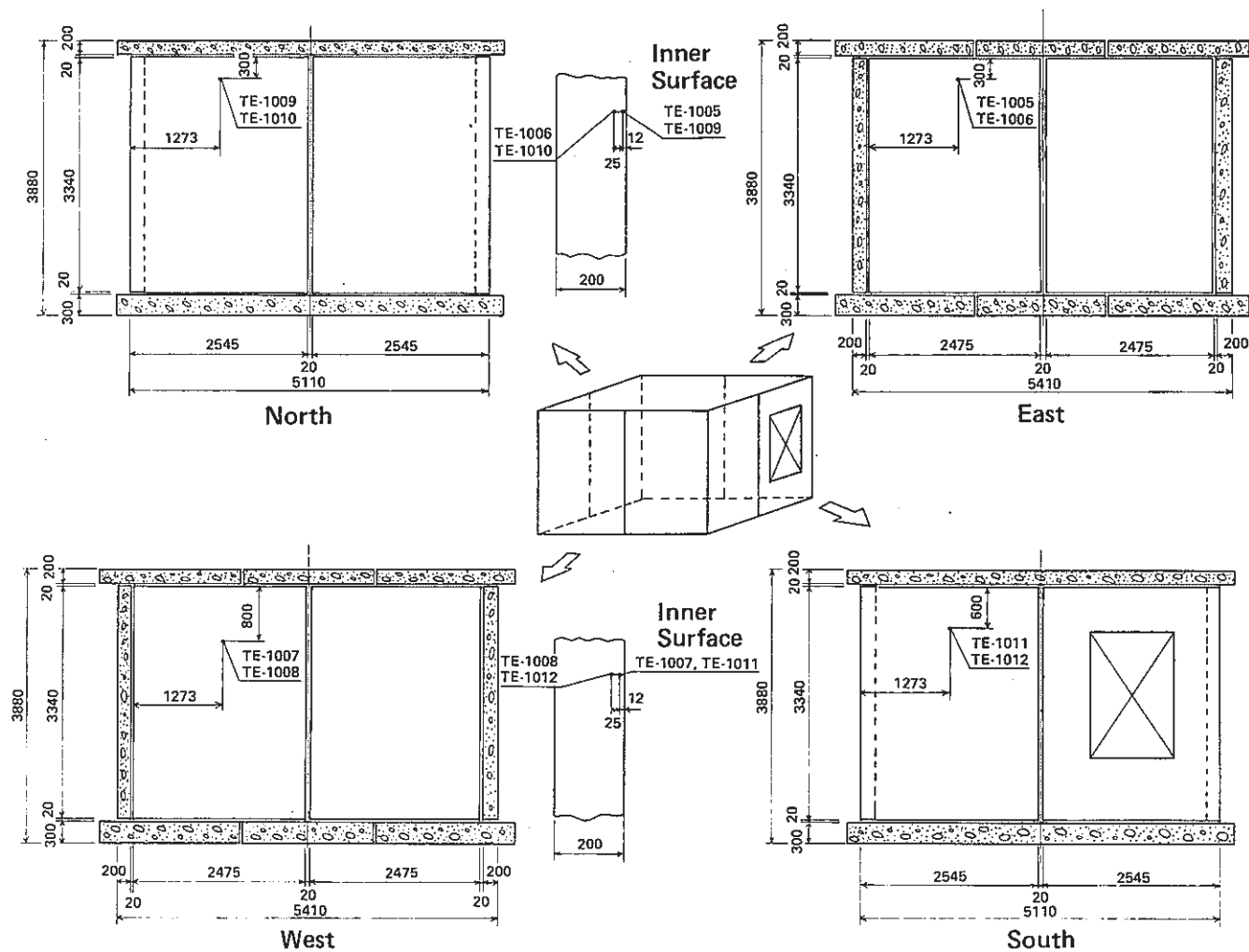


Fig. 9 Location of Thermocouples in Wall Concrete

PSS-SFE-463

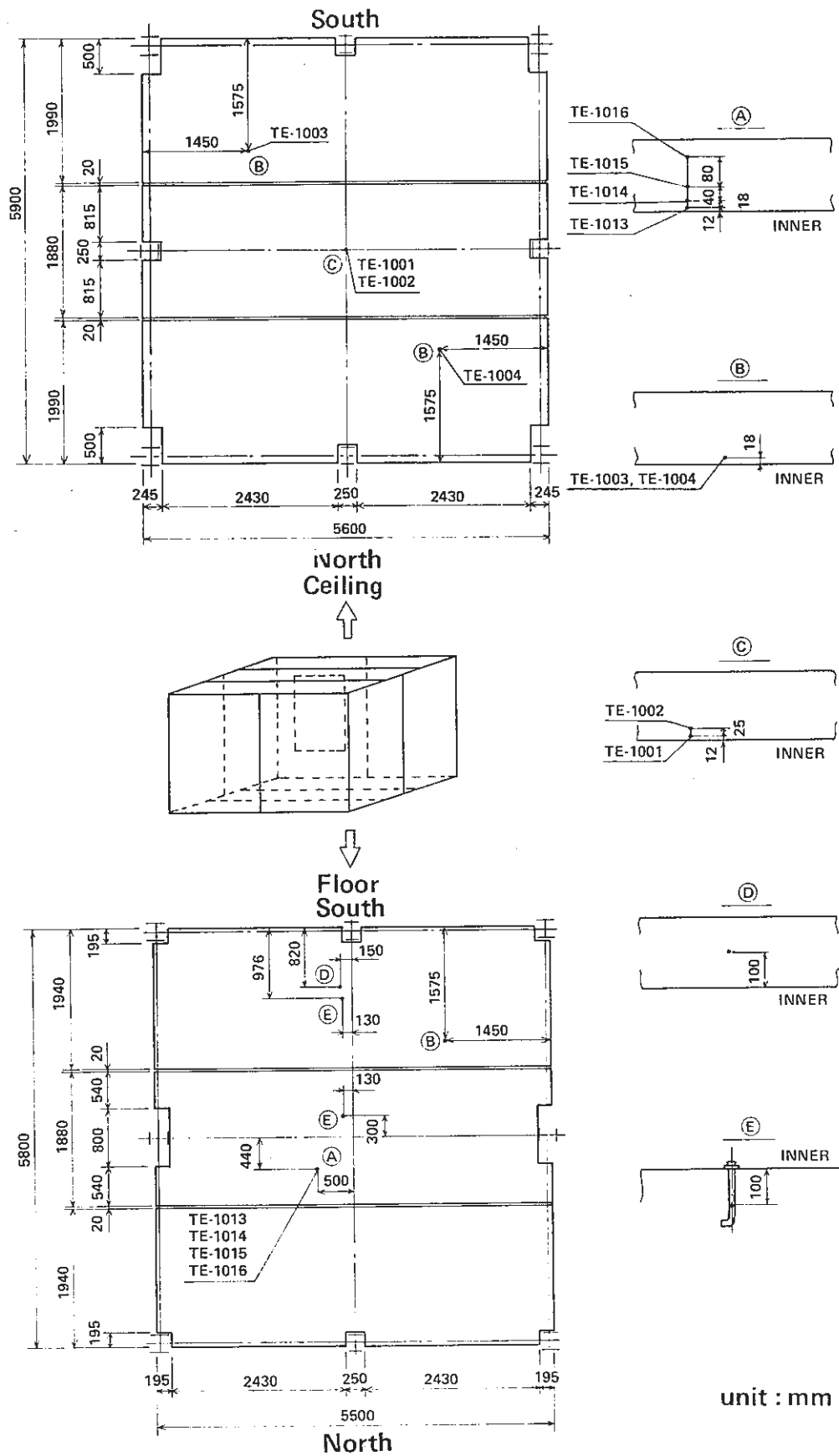


Fig. 10 Location of Thermocouples in Ceiling and Floor Concretes

PSS-SFE-464

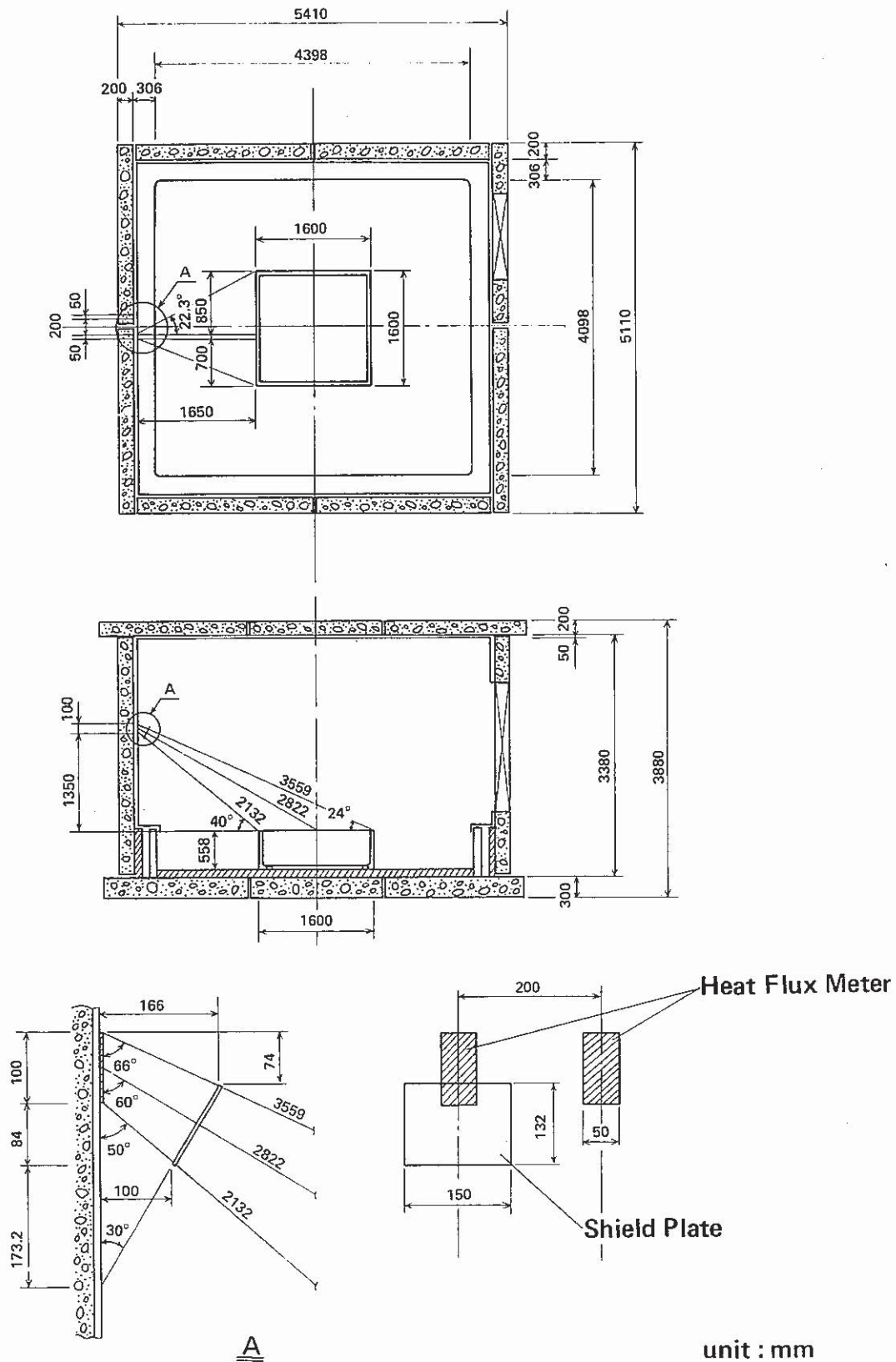


Fig. 11 Location of Heat Flux Meter on Thermal Radiation Shield for Wall

PSS-SFE-465

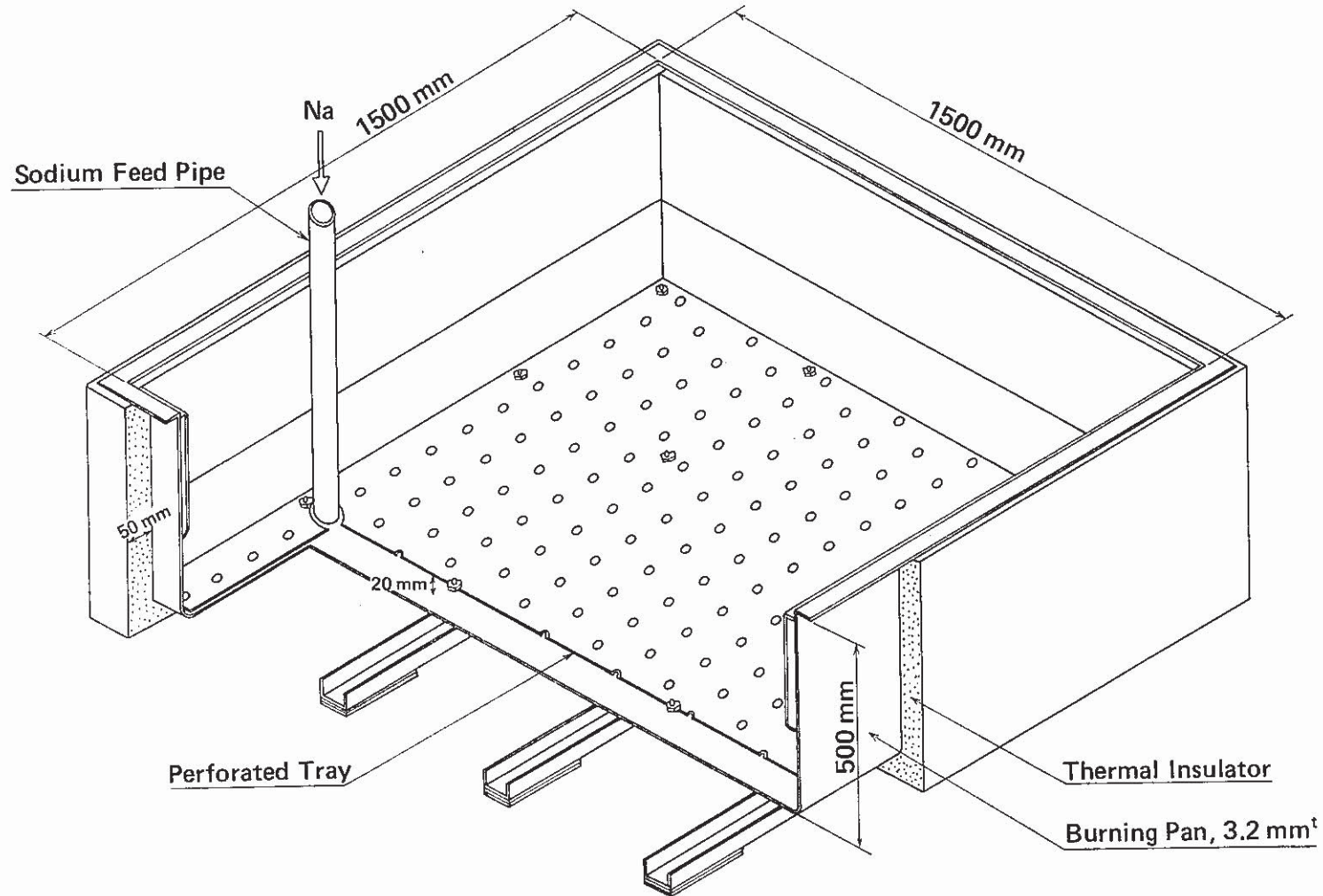


Fig. 12 Bird's-eye View of Burning Pan for Run-D1

PSS-SFE-466

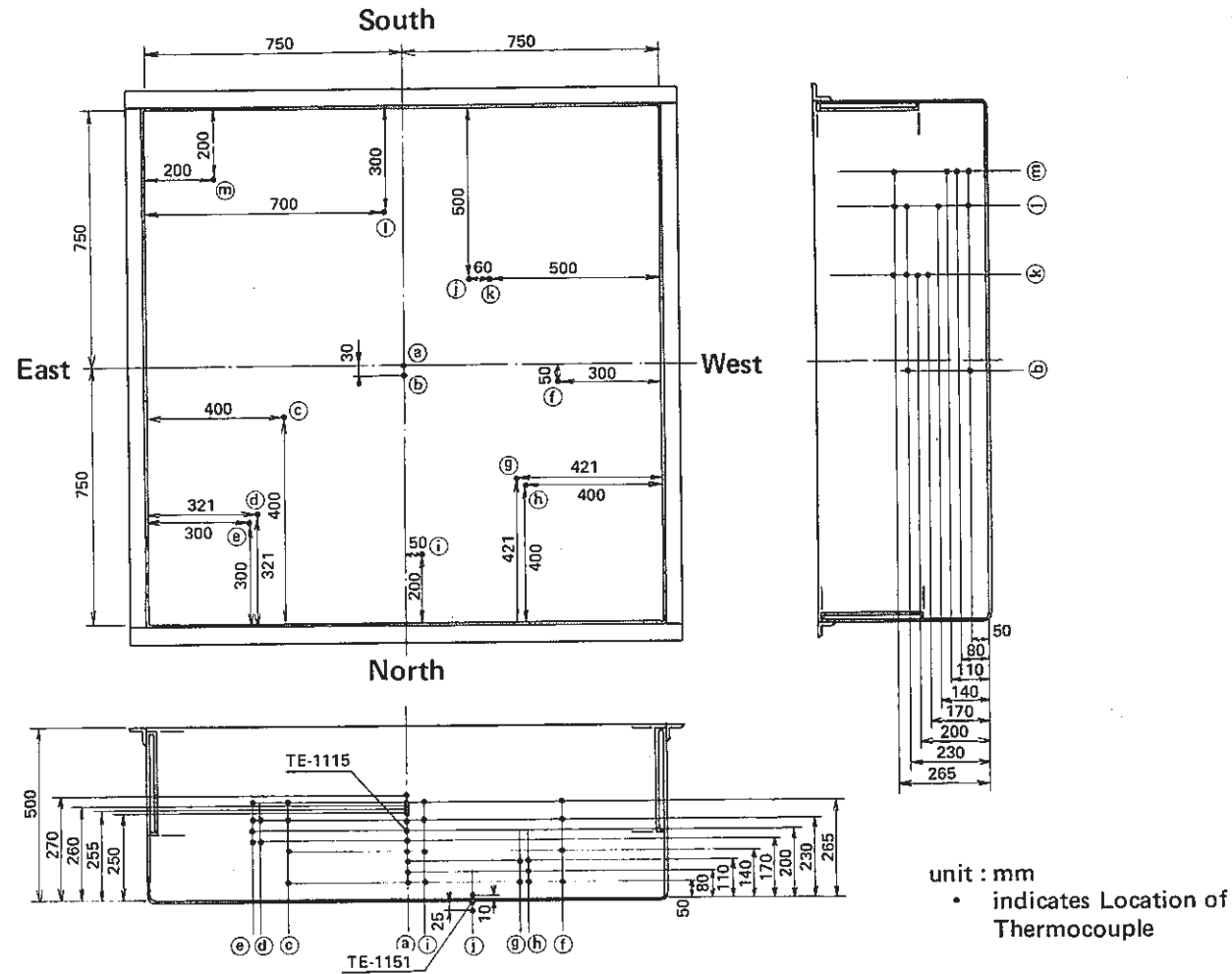


Fig. 13 Locations of Thermocouples in Burning Pan

PSS-SFE-467

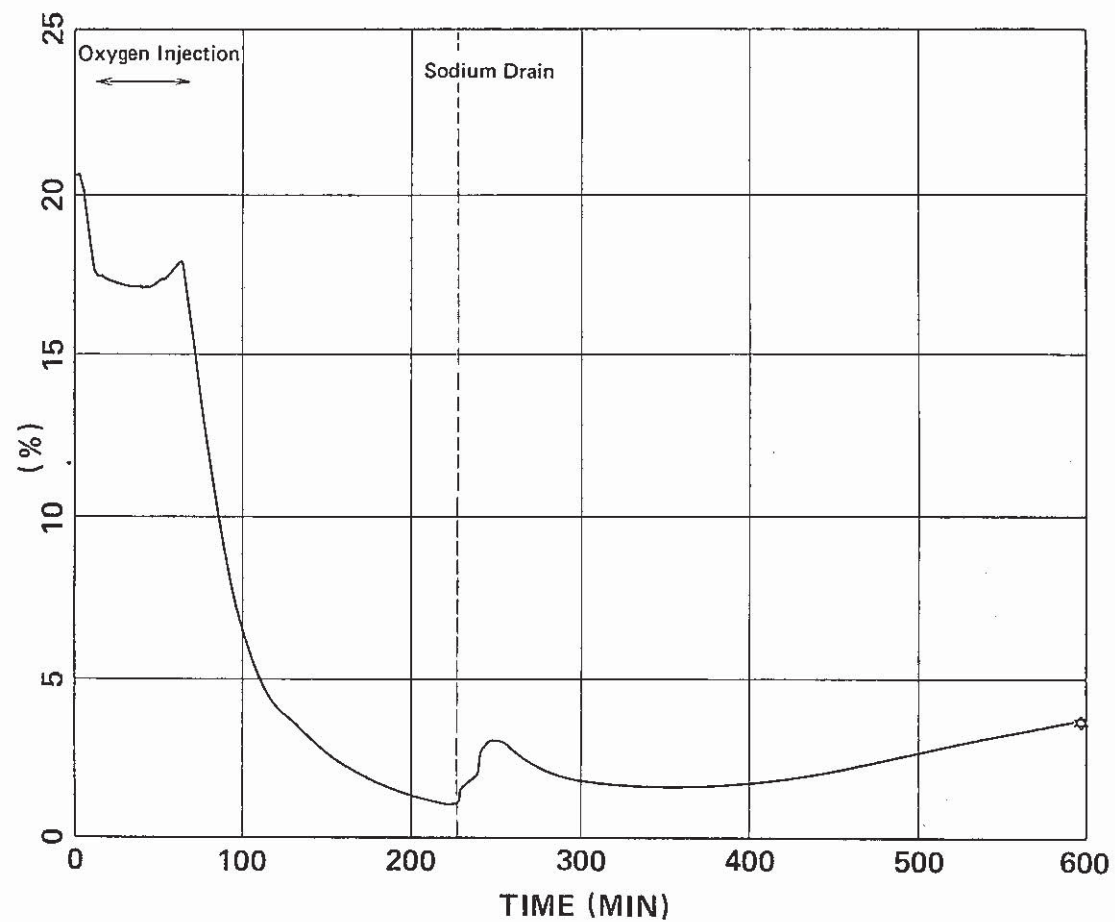


Fig. 14 Oxygen Concentration Change in the Cell during the Test

PSS-SFE-468

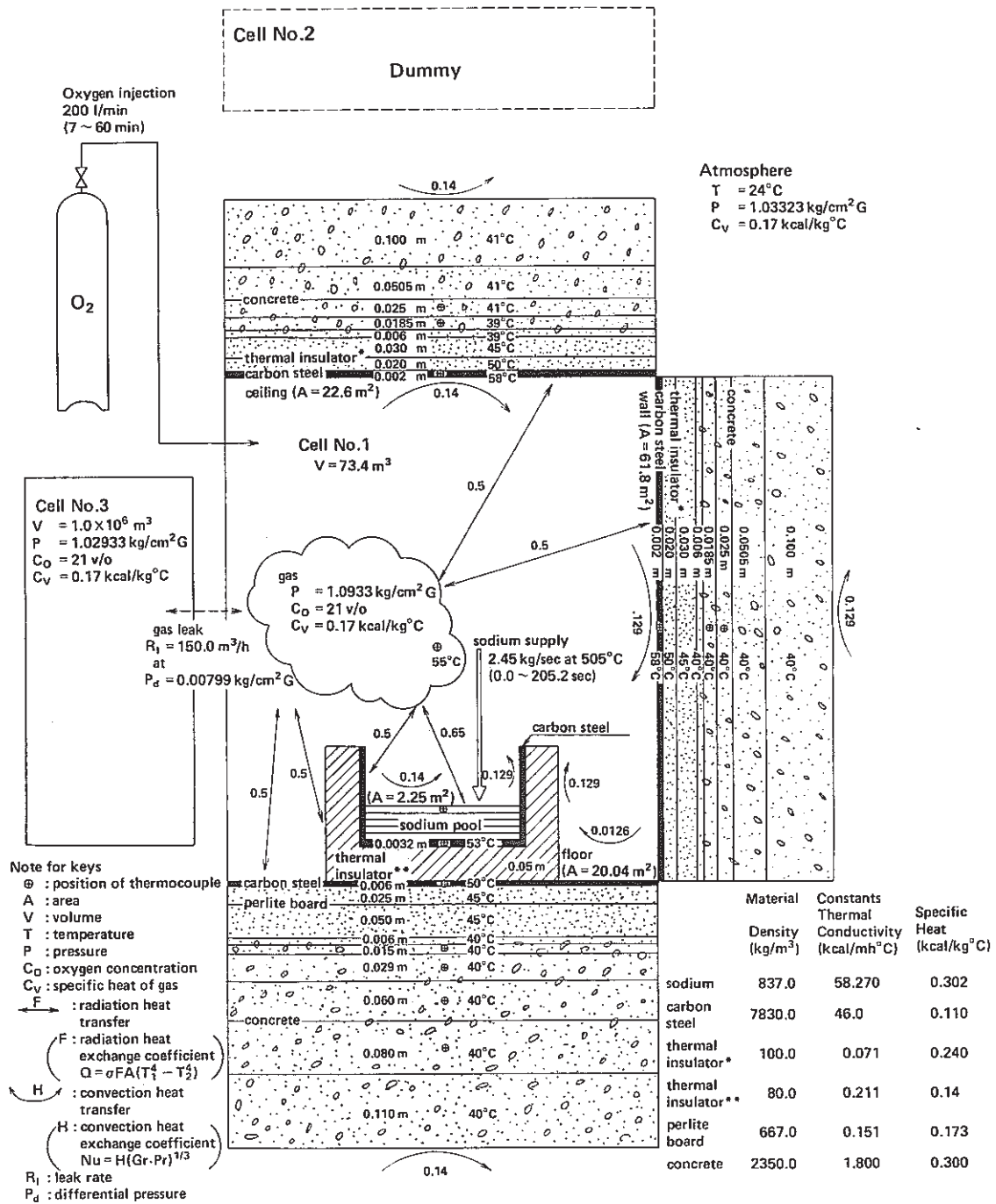


Fig. 15 Analytical Model and Its Initial Conditions for Analysis of Run-D1 in SOLFA-1

PSS-SFE-469

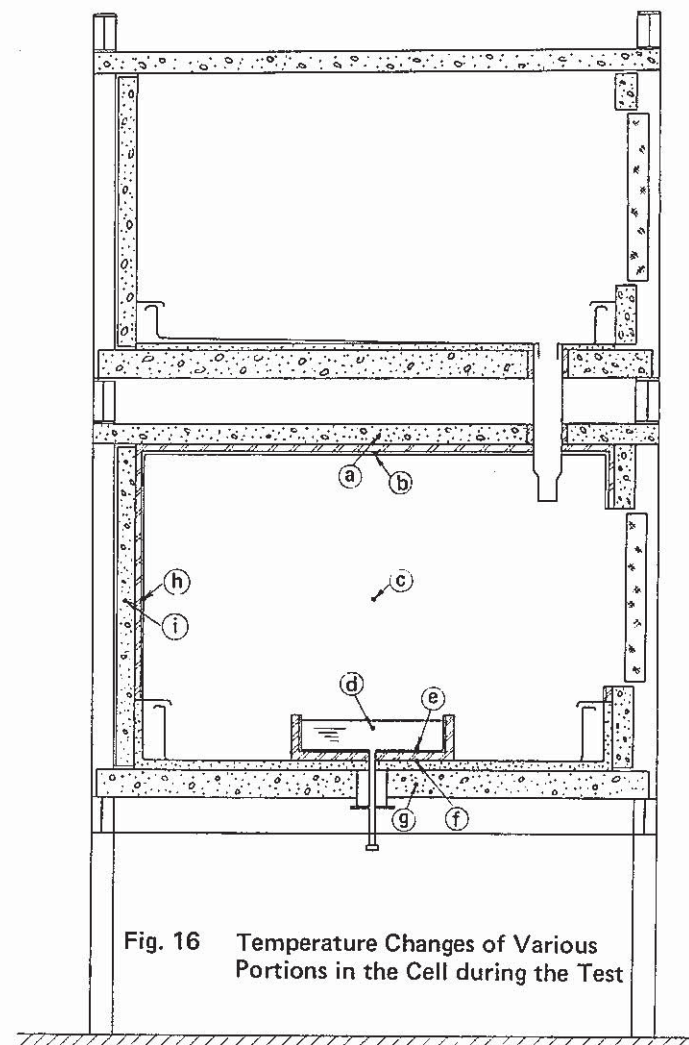
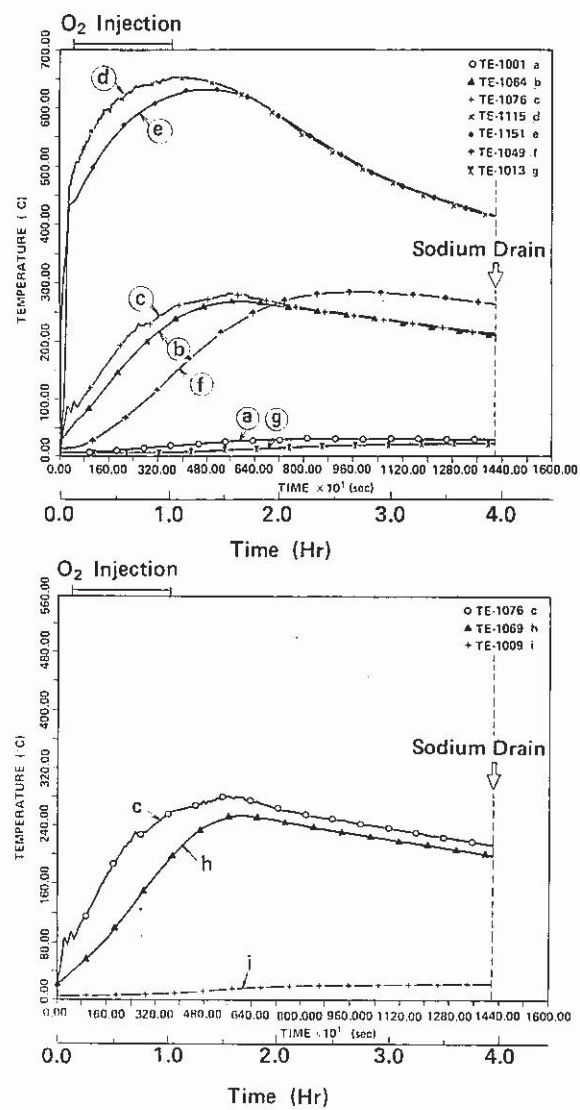


Fig. 16 Temperature Changes of Various Portions in the Cell during the Test

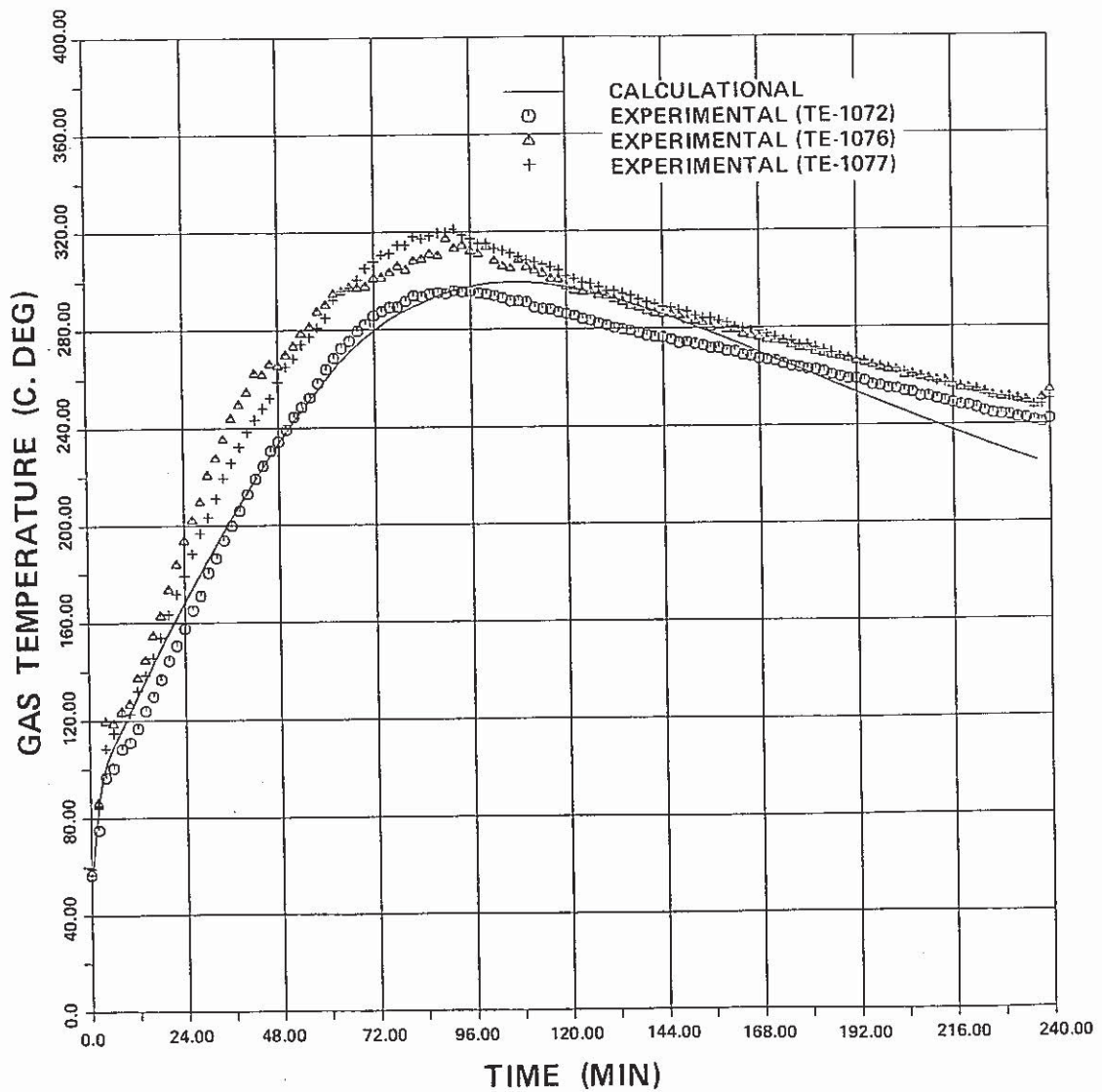


Fig. 17 Code Calculated and Experimental Gas Temperature Changes during the Test

PSS-SFE-471

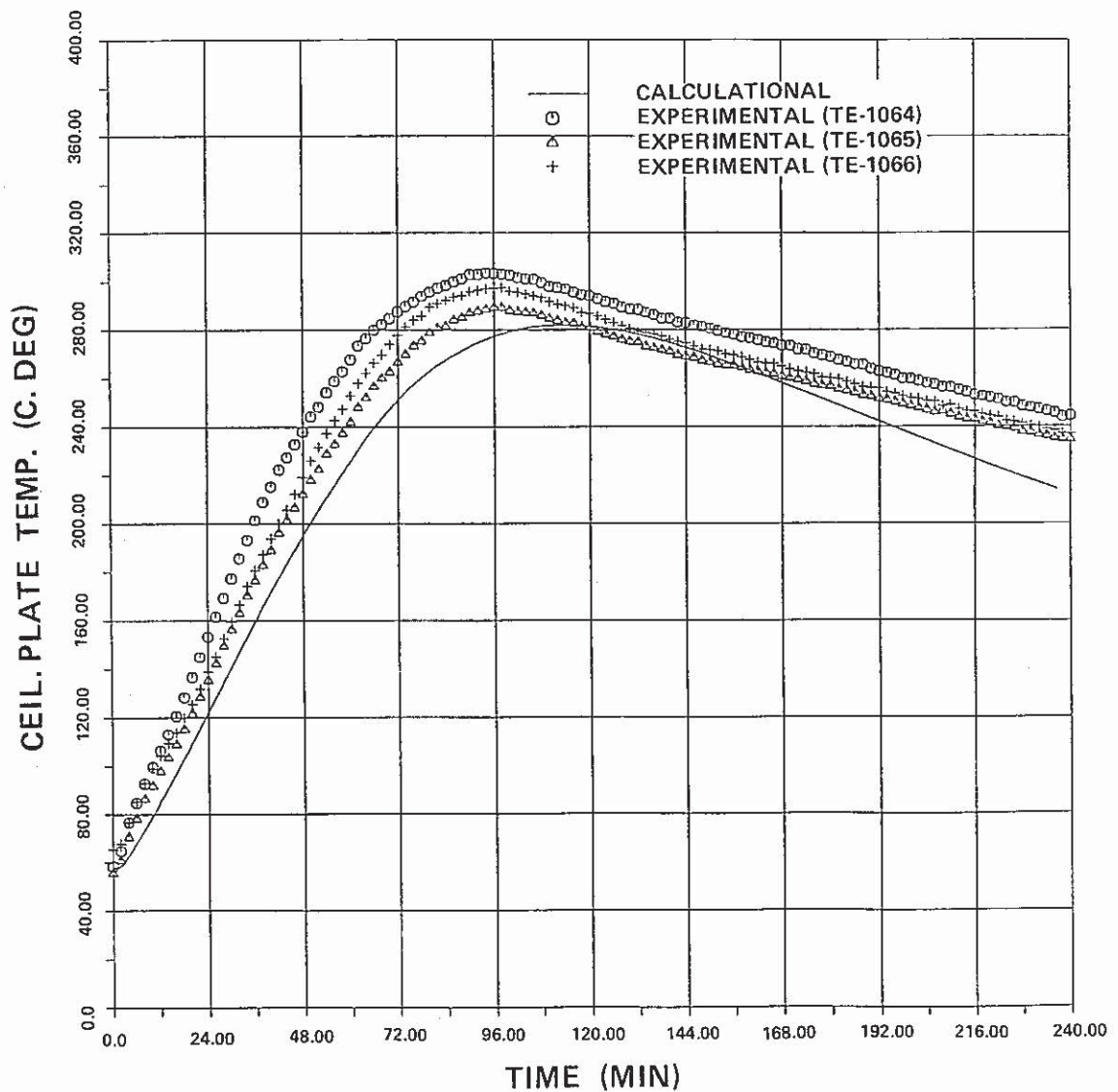


Fig. 18 Code Calculated and Experimental Temperature Changes of Thermal Radiation Shield for Ceiling during the Test

PSS-SFE-472

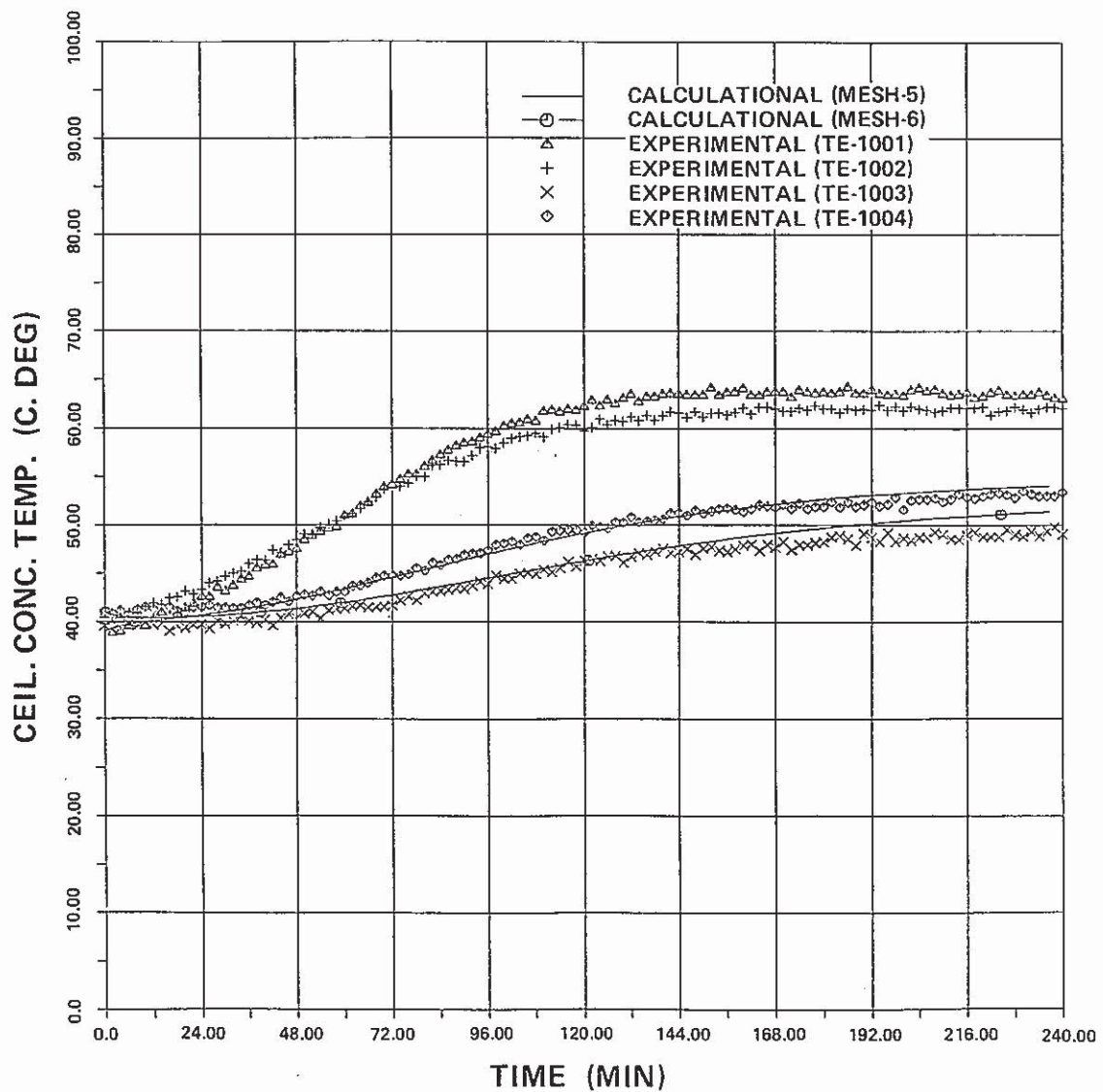


Fig. 19 Code Calculated and Experimental Temperature Changes of Ceiling Concrete during the Test

PSS-SFE-473

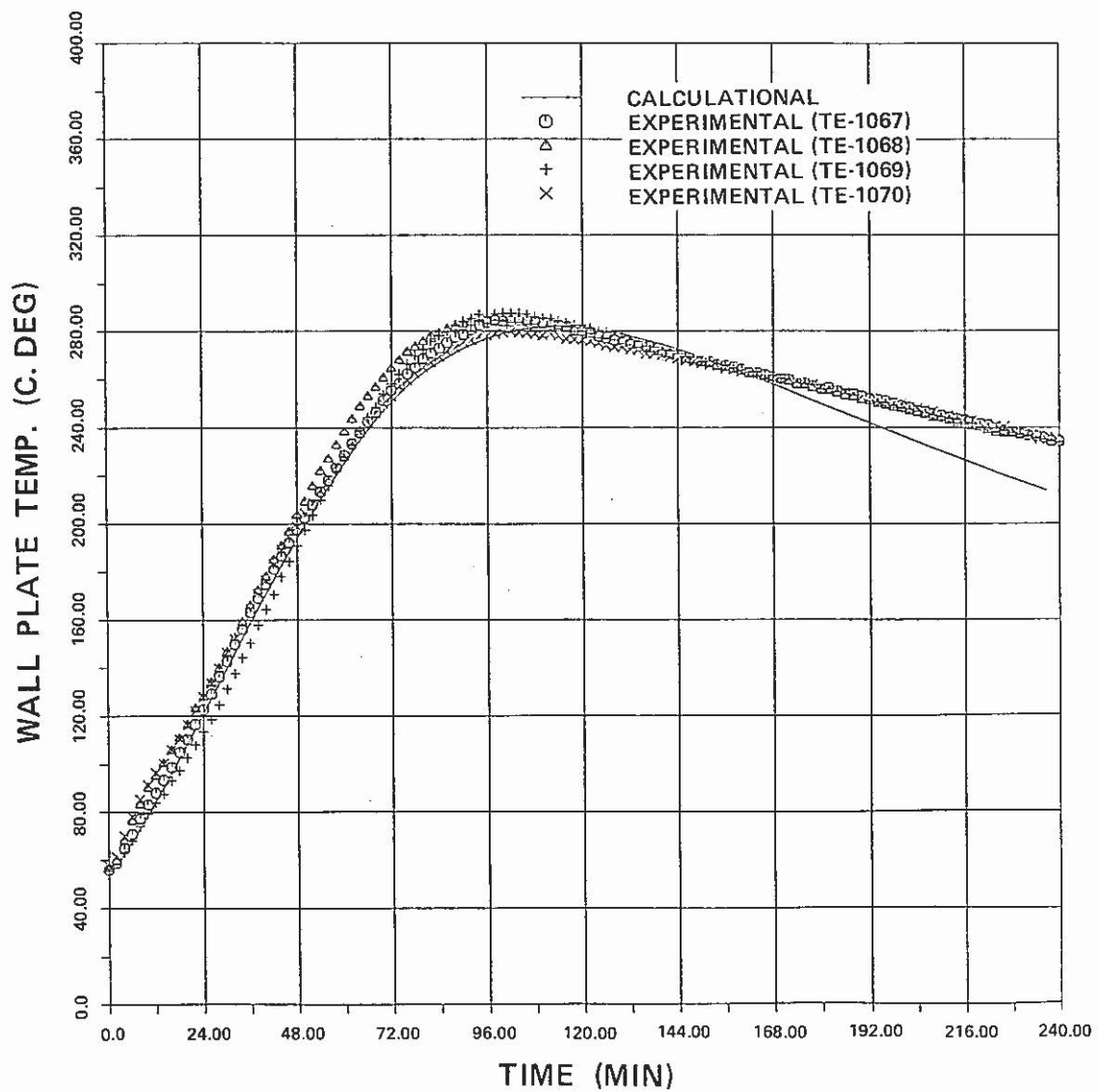


Fig. 20 Code Calculated and Experimental Temperature Changes of Thermal Radiation Shield for Wall during the Test

PSS-SFE-474

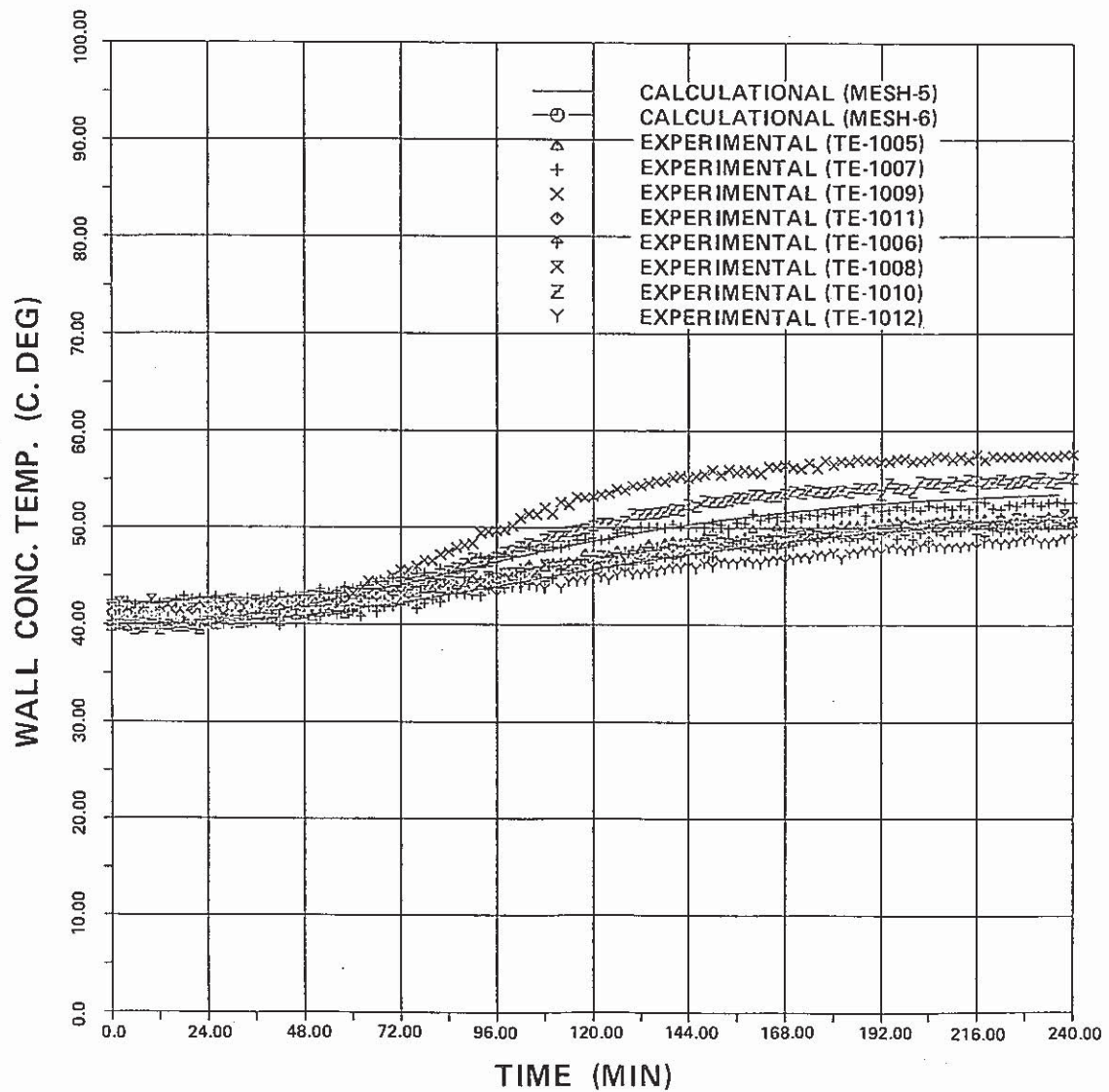


Fig. 21 Code Calculated and Experimental Temperature Changes of Wall Concrete during the Test

PSS-SFE-475

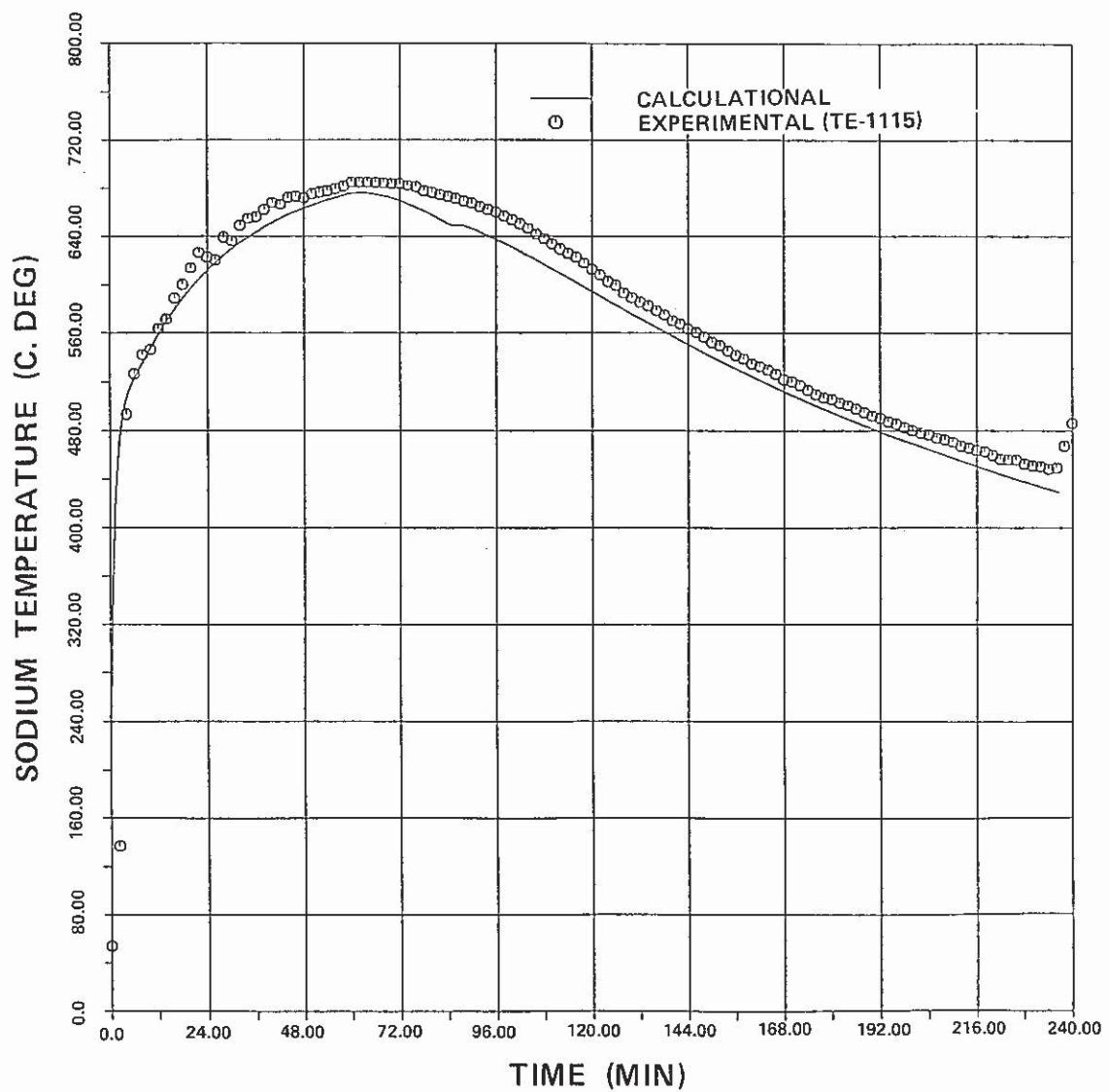


Fig. 22 Code Calculated and Experimental Temperature Changes of Sodium Pool during the Test

PSS-SFE-476

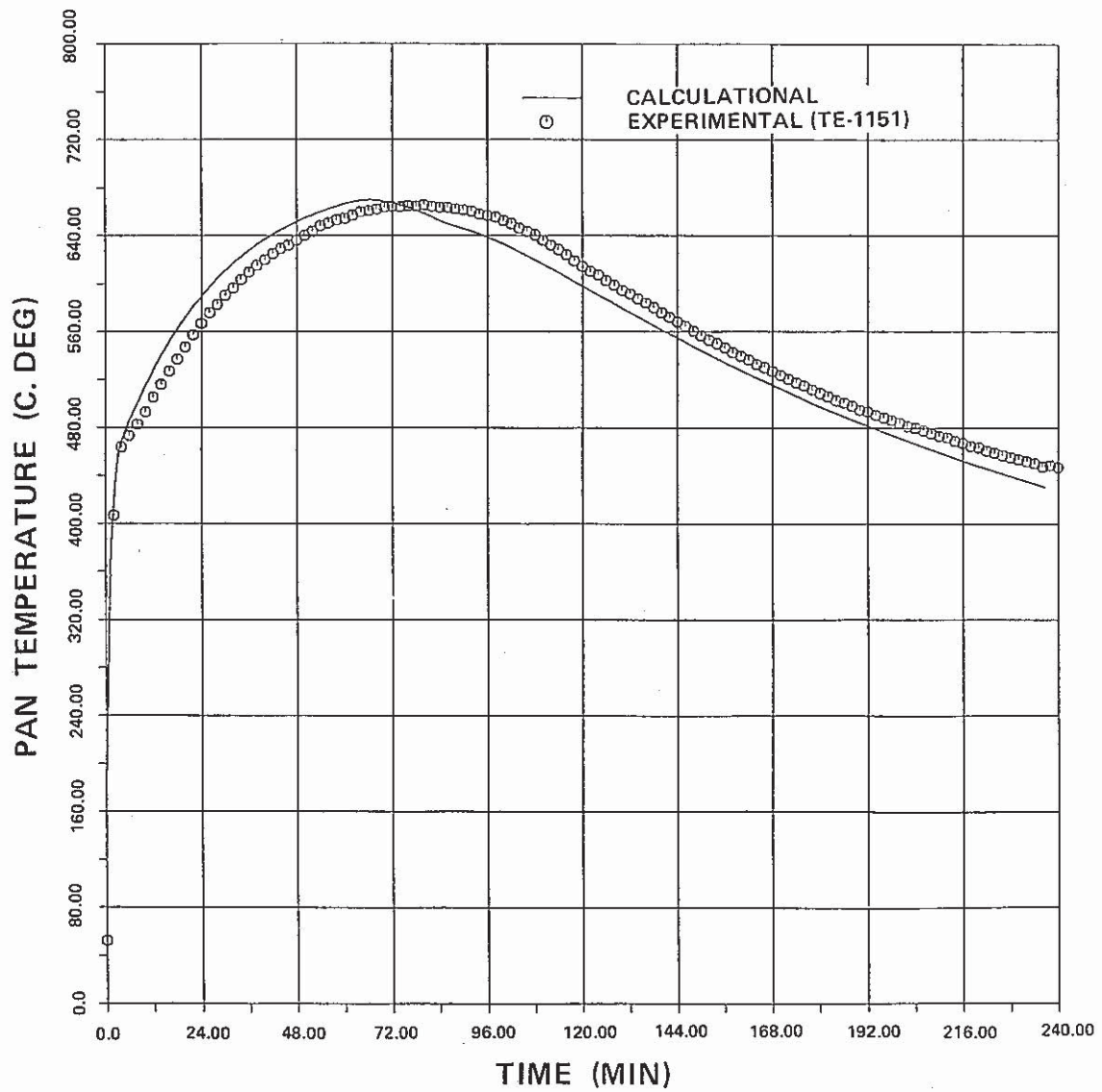


Fig. 23 Code Calculated and Experimental Temperature Changes of Burning Pan during the Test

PSS-SFE-477

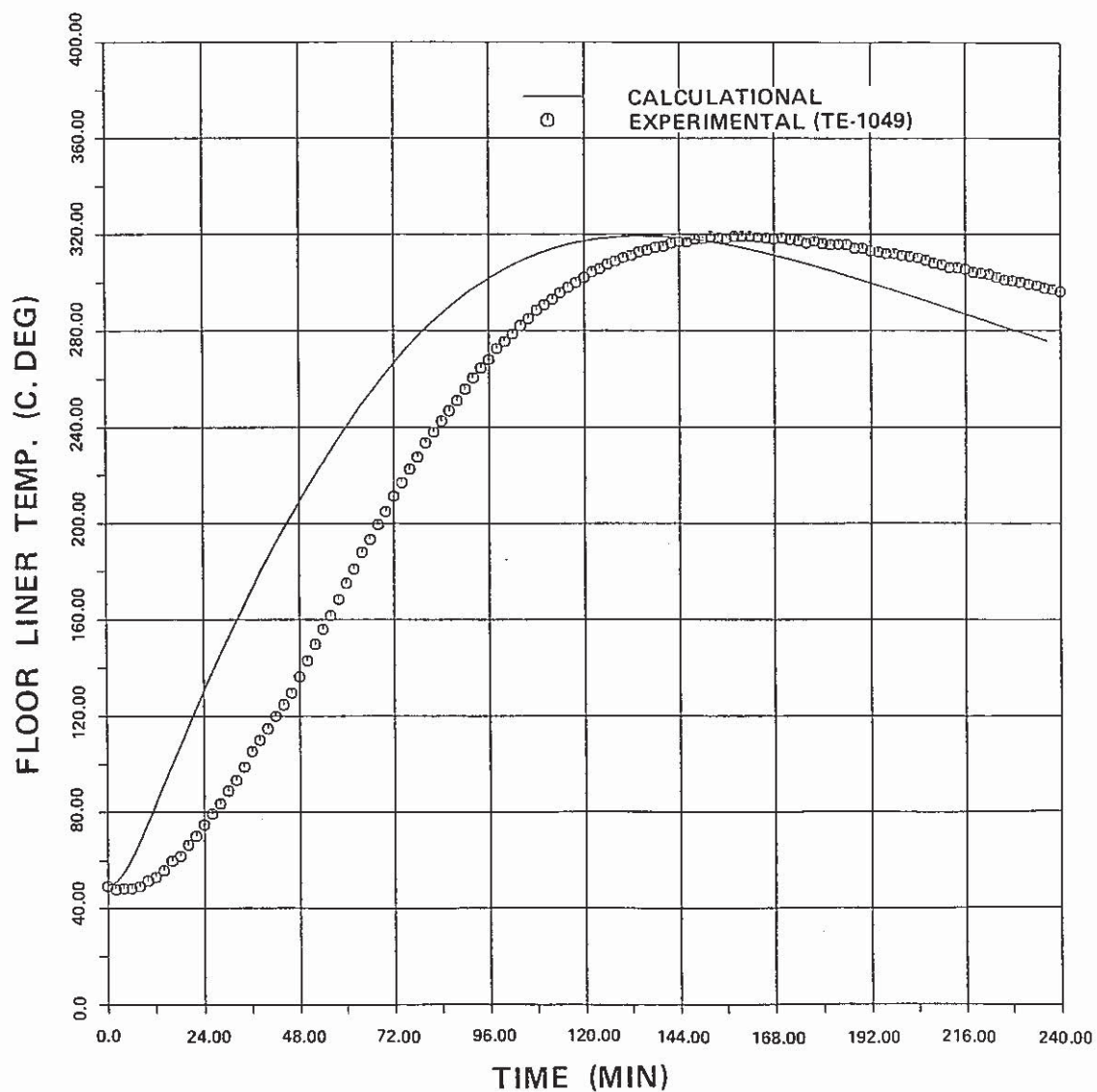


Fig. 24 Code Calculated and Experimental Temperature Changes of Floor Liner during the Test

PSS-SFE-478

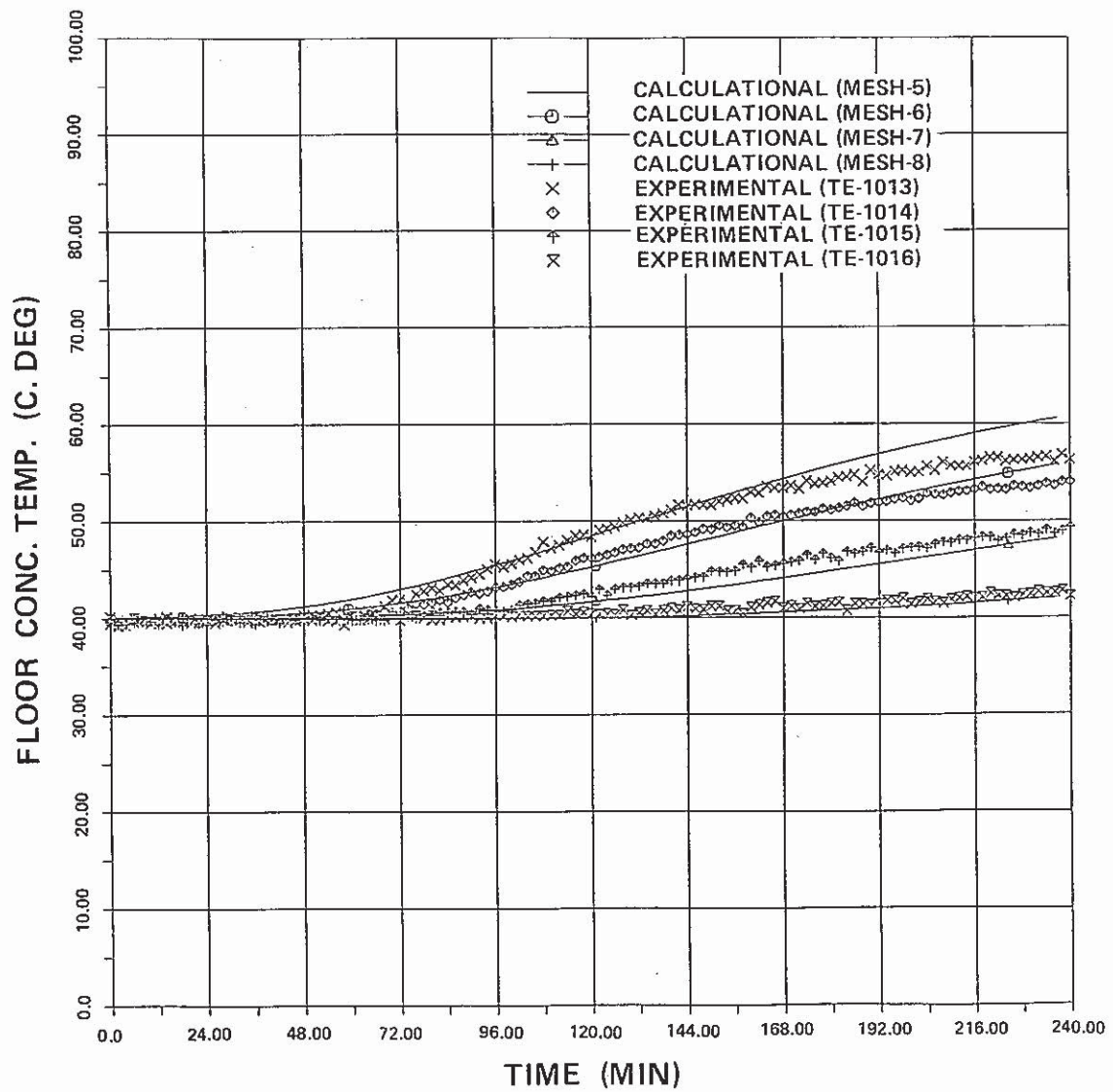


Fig. 25 Code Calculated and Experimental Temperature Changes of Floor Concrete during the Test

PSS-SFE-479

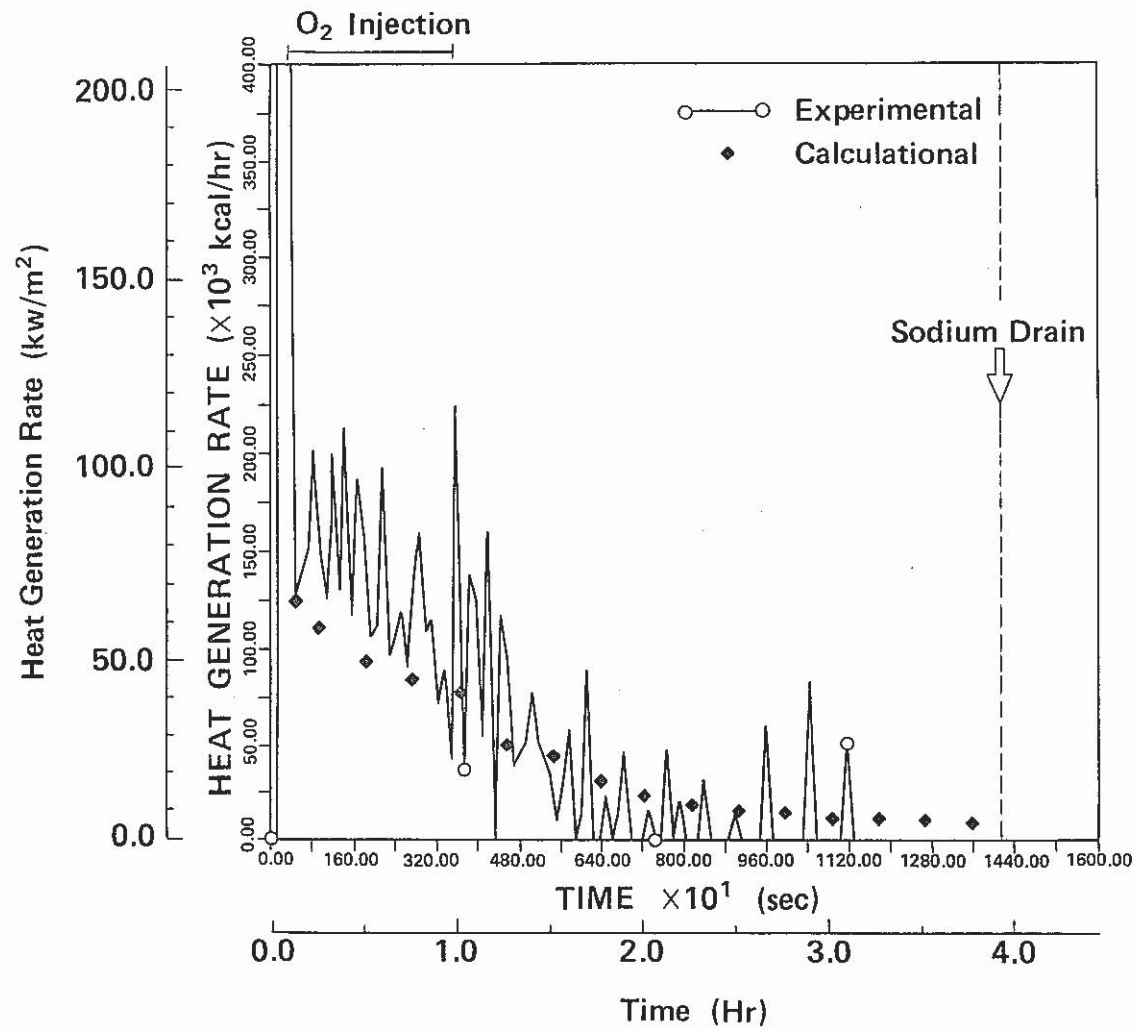


Fig. 26 Code Calculated and Experimental Heat Generation Rates during the Test

PSS-SFE-480

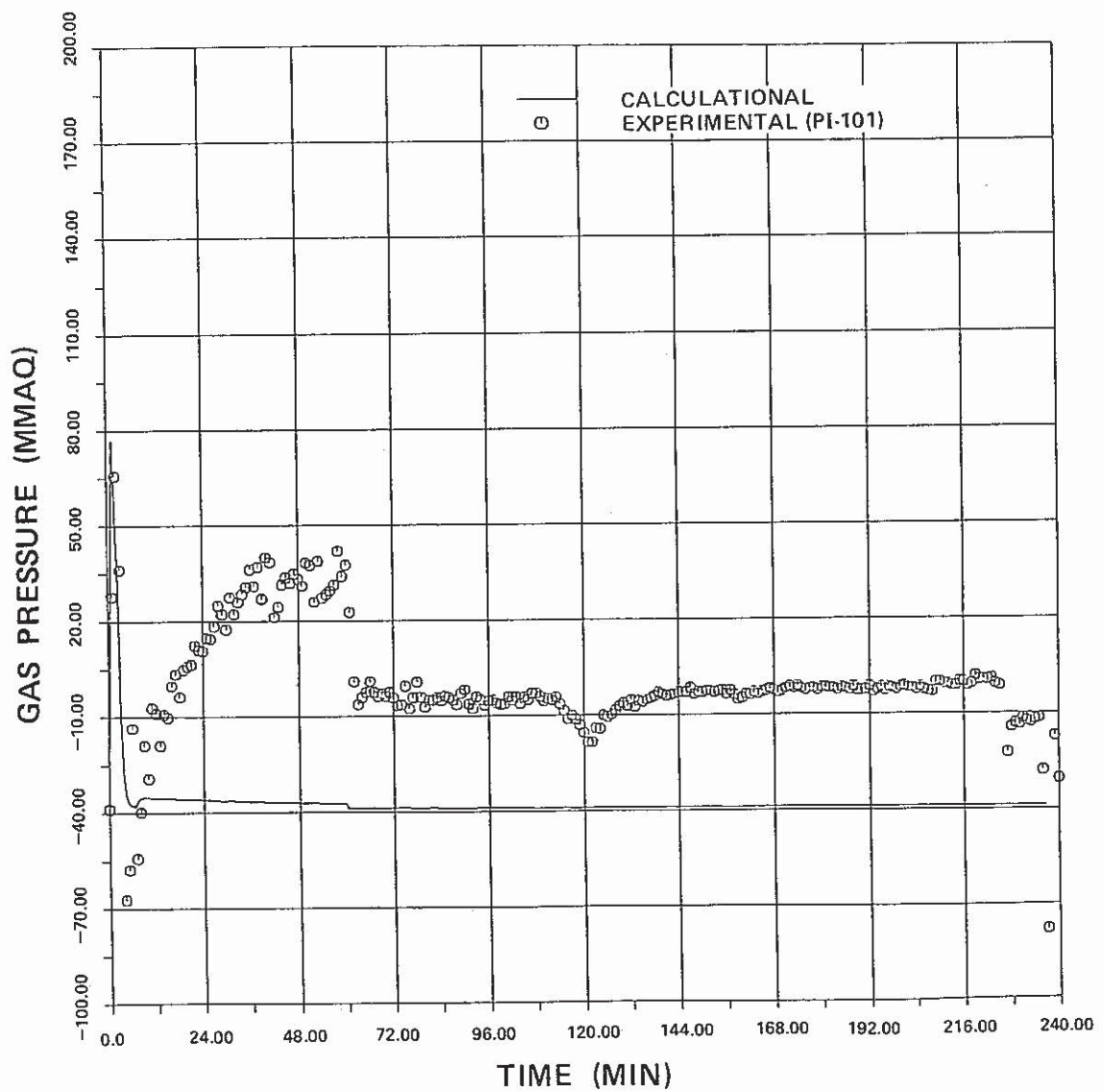


Fig. 27 Code Calculated and Experimental Gas Pressure Changes in the Cell during the Test

PSS-SFE-481

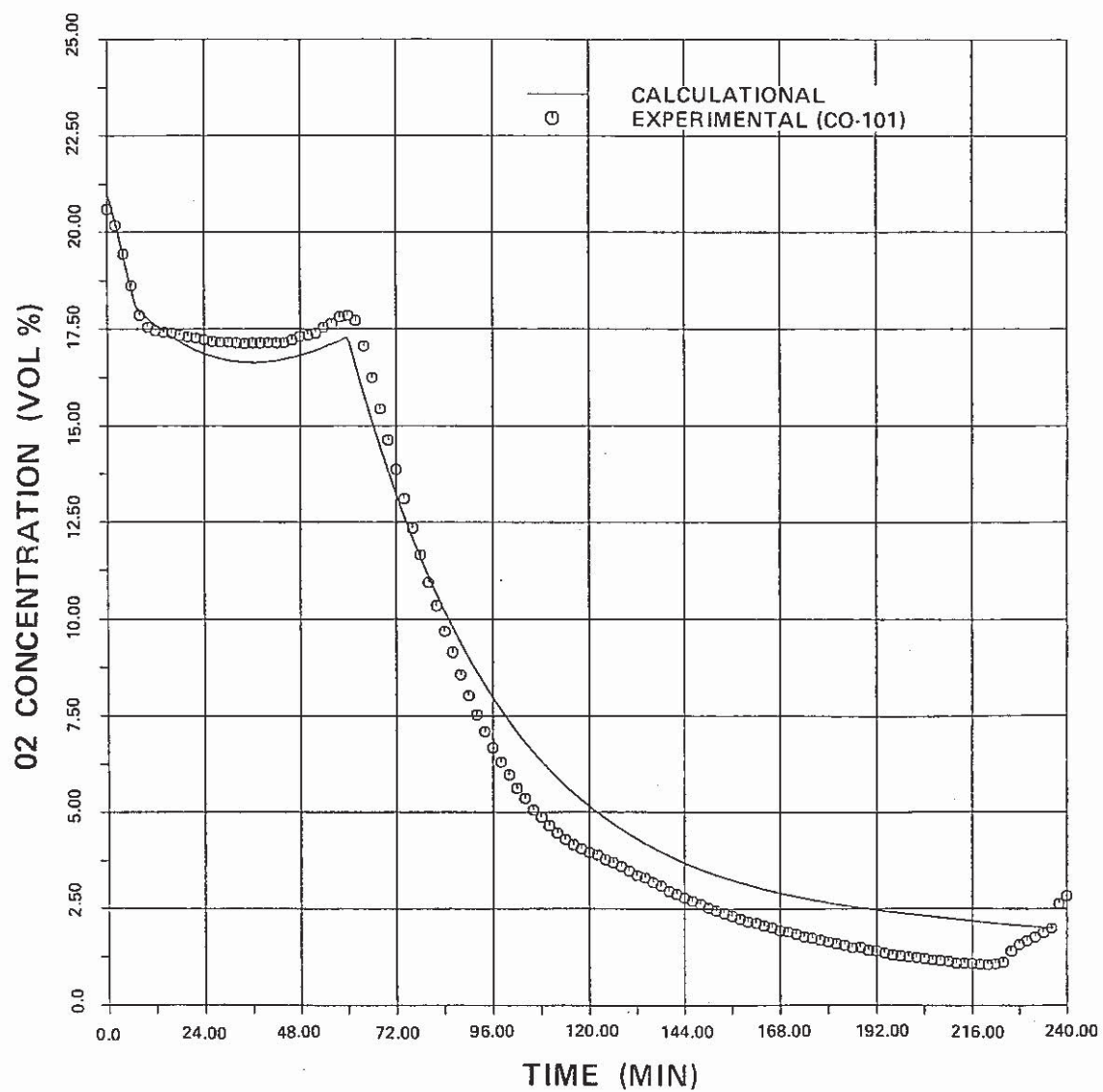


Fig. 28 Code Calculated and Experimental Oxygen Concentration Changes in the Cell during the Test

PSS-SFE-482

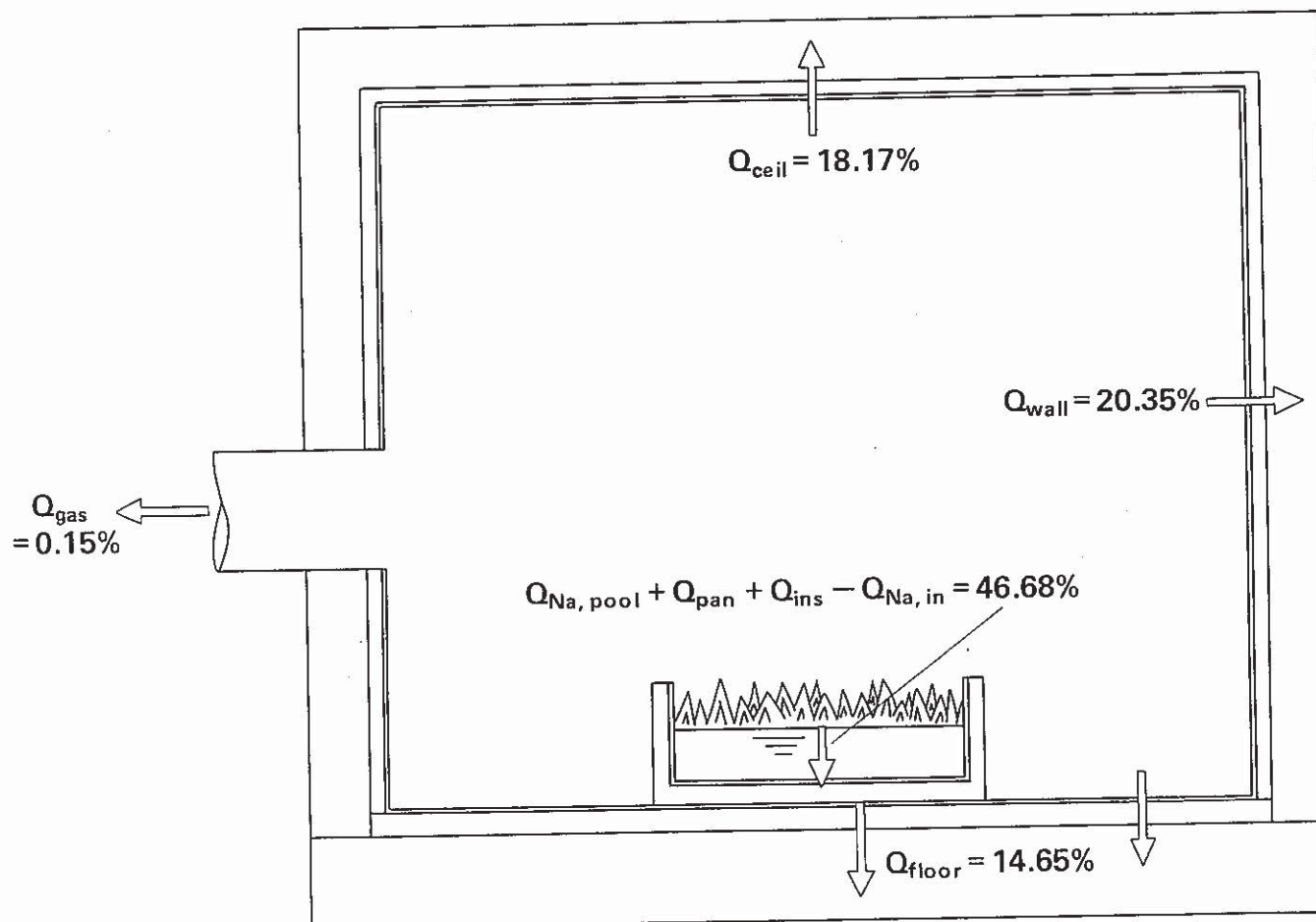


Fig. 29 Distribution of Combustion Heat Transferred to the Various Portions of the Cell for the First one hour

PSS-SFE-483

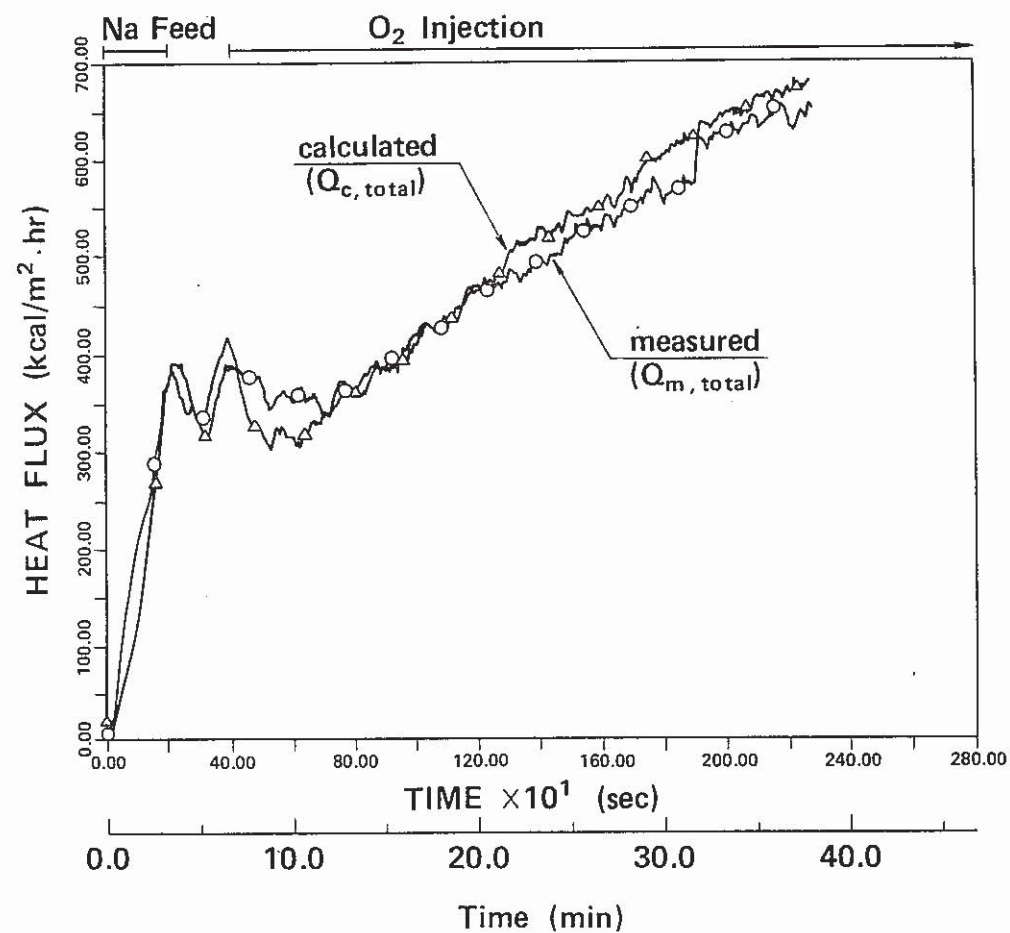


Fig. 30 Total Heat Flux to Wall during the First 40 minutes

PSS-SFE-484

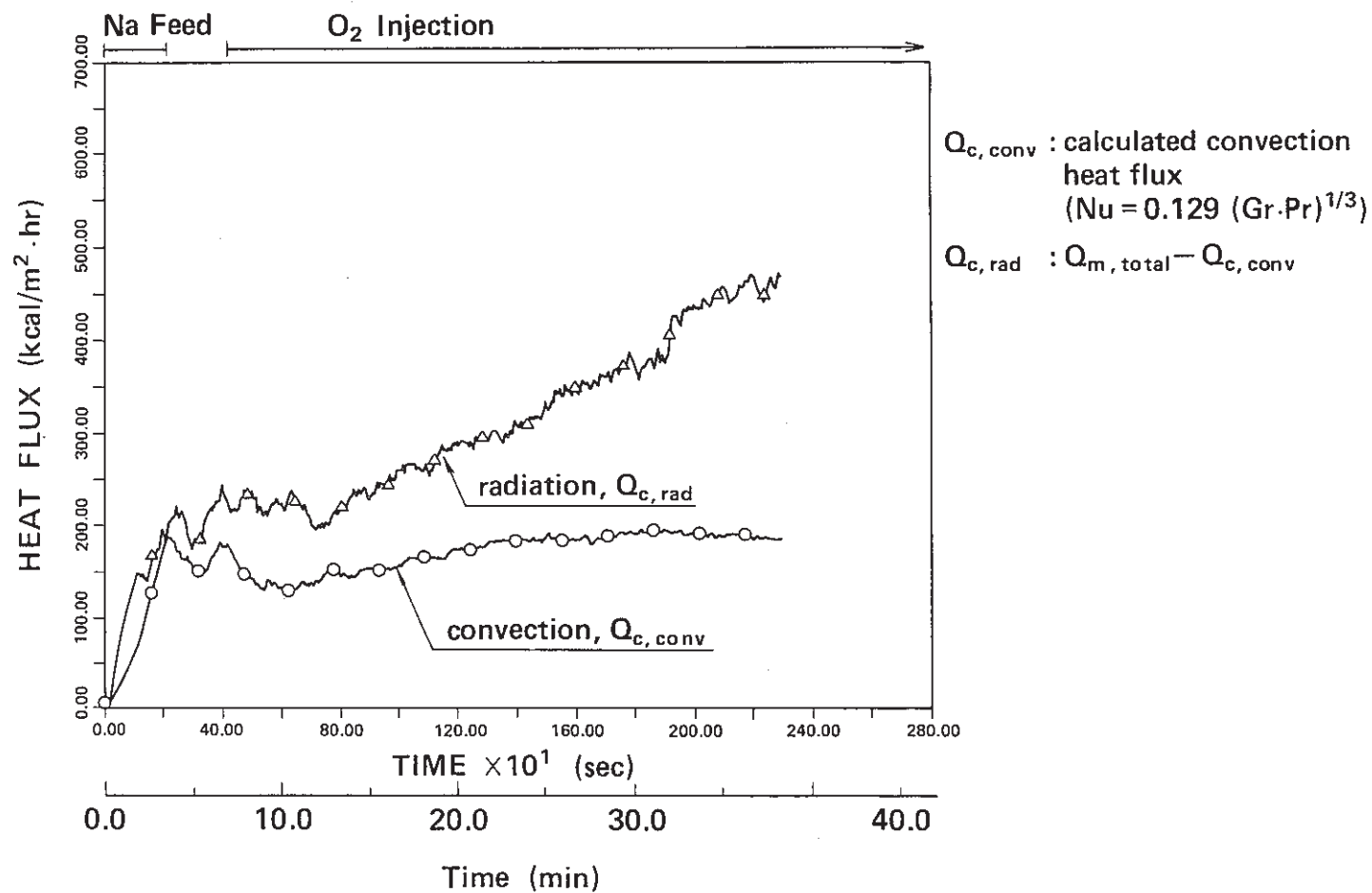


Fig. 31 Radiation and Convection Heat Flux to Wall during the First 40 minutes

PSS-SFE-485

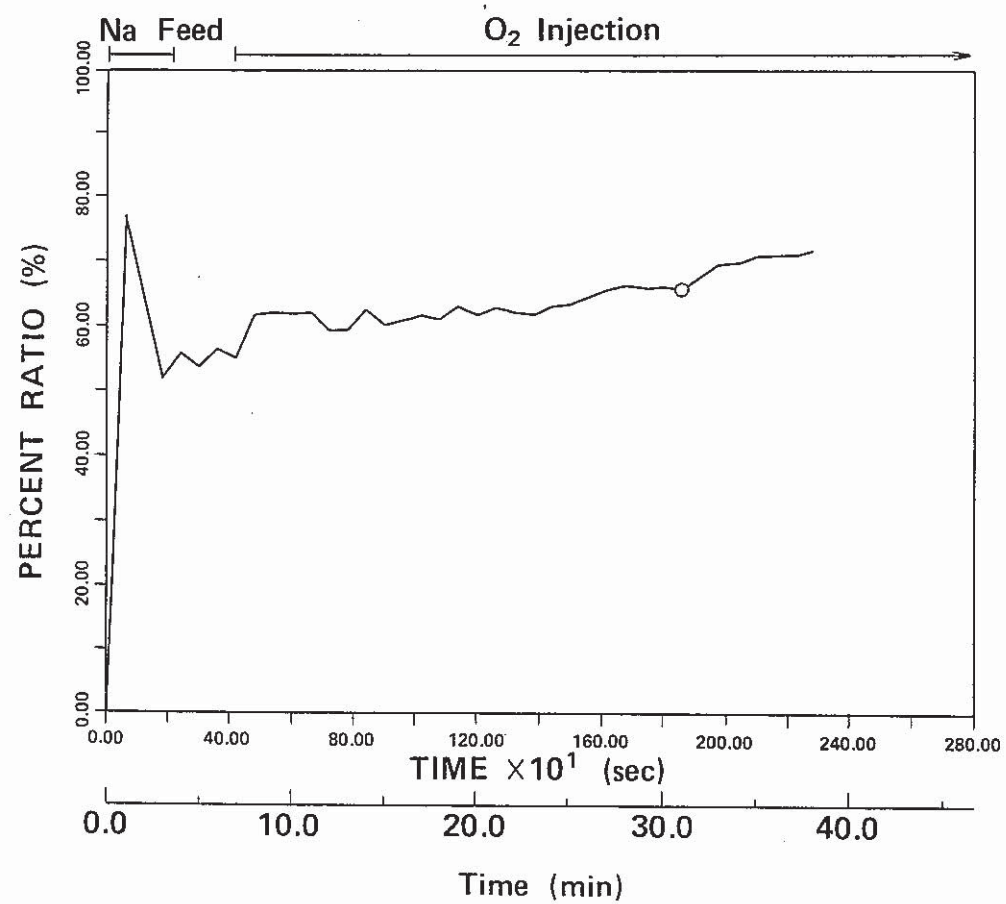


Fig. 32 Percent Ratio of Radiation Heat Flux to Wall during the First 40 minutes

PSS-SFE-486

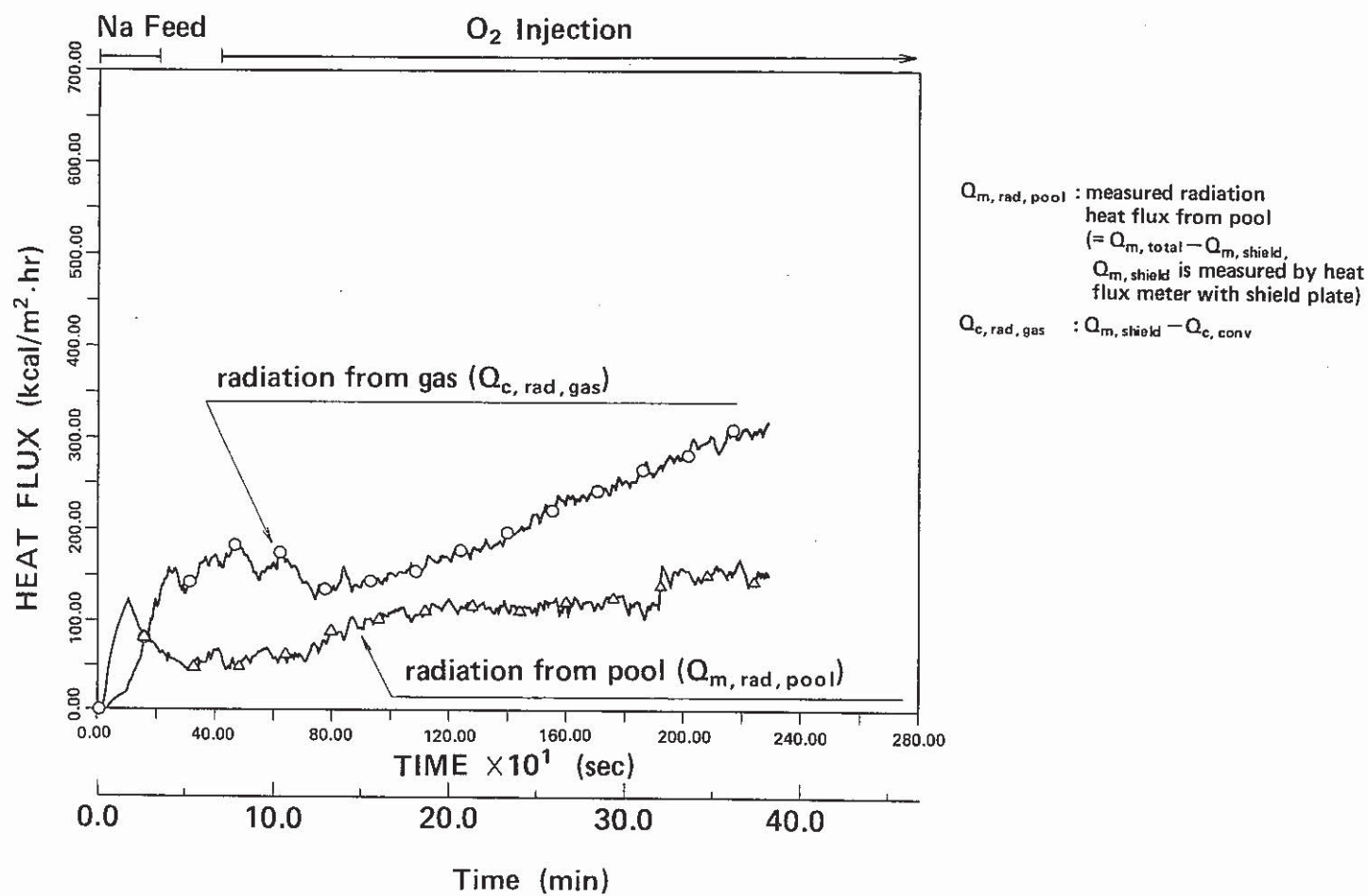


Fig. 33 Radiation Heat Flux from Gas and from Pool to Wall during the First 40 minutes

PSS-SFE-487

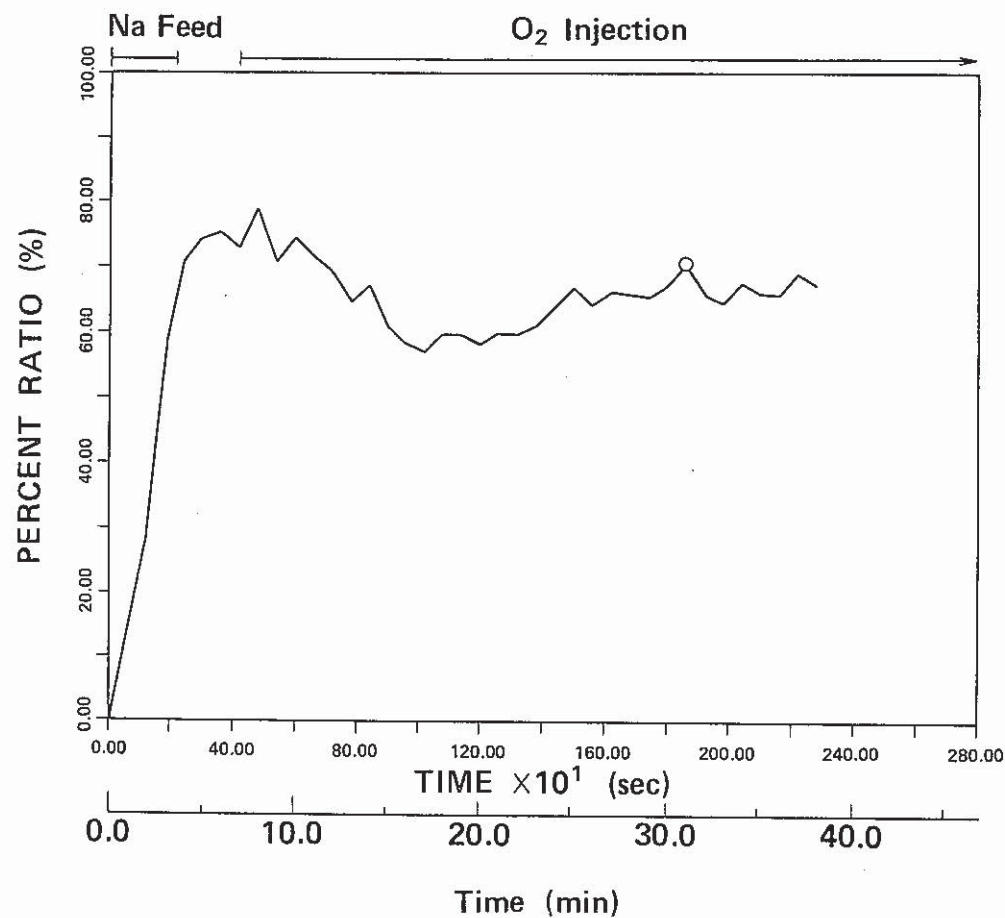


Fig. 34 Percent Ratio of Radiation Heat Flux from Gas to Wall during the First 40 minutes

PSS-SFE-488

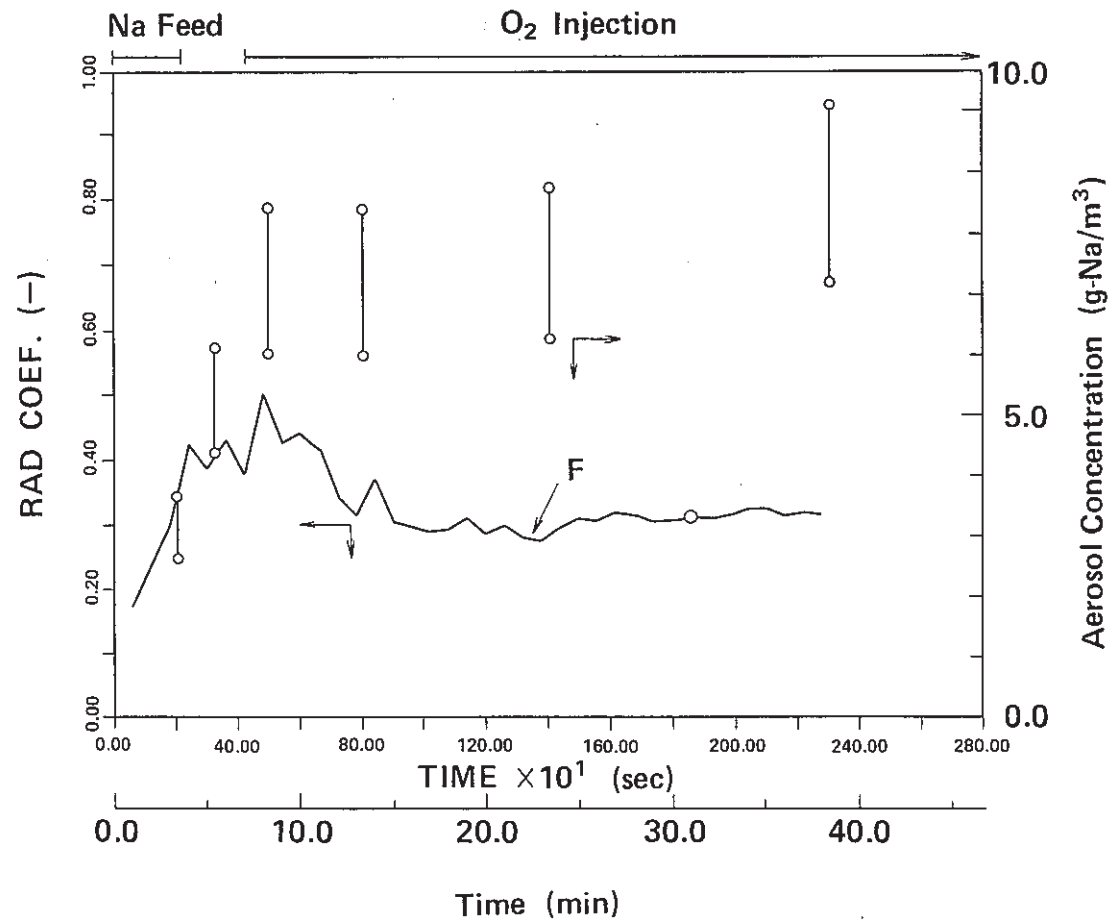


Fig. 35 Changes of Radiation Coefficient F between Gas and Wall and Aerosol Concentration in the Gas during the First 40 minutes

PSS-SFE-489

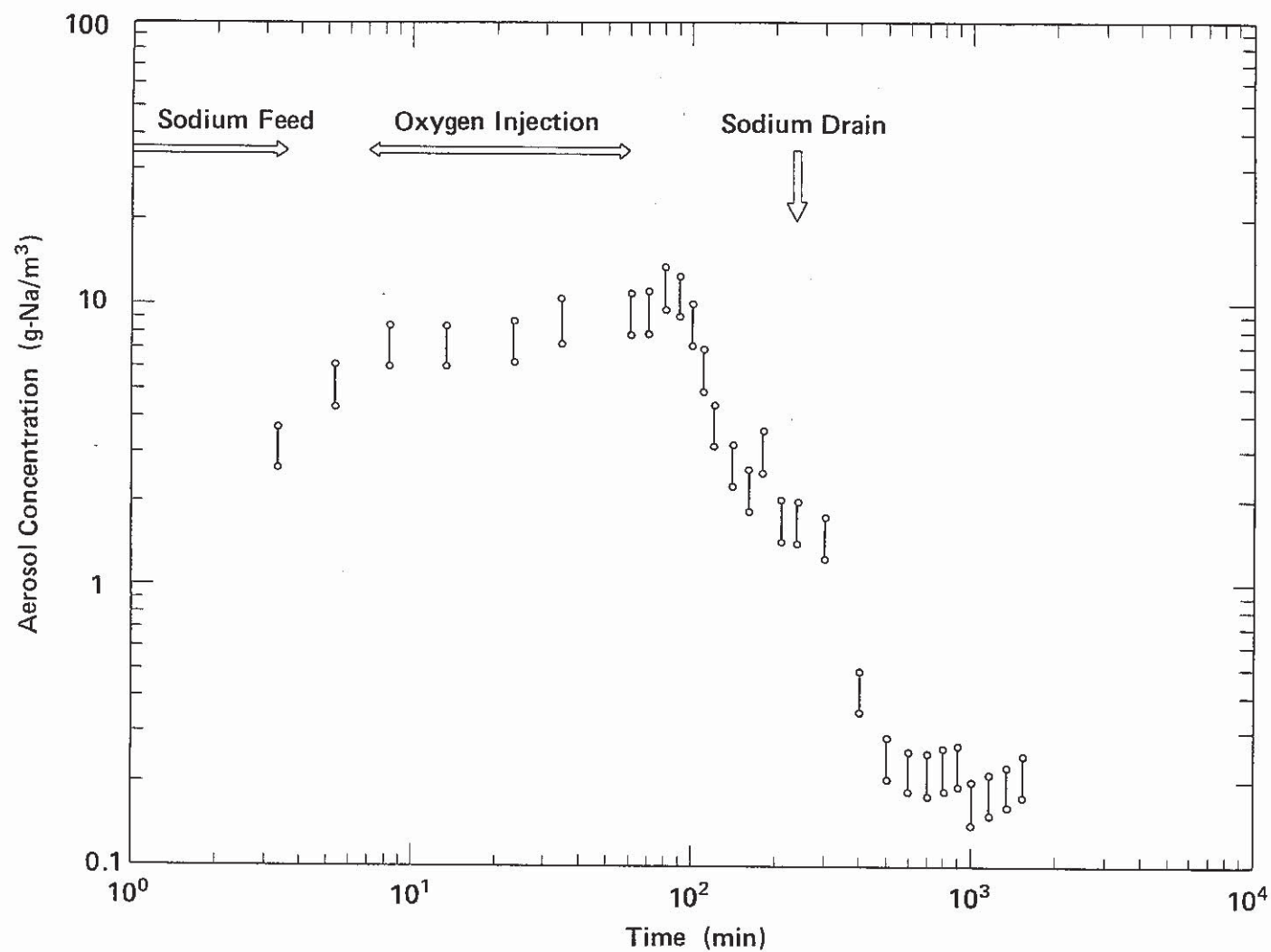


Fig. 36 Aerosol Concentrations in Cell Atmosphere during the Test

PSS-SFE-490

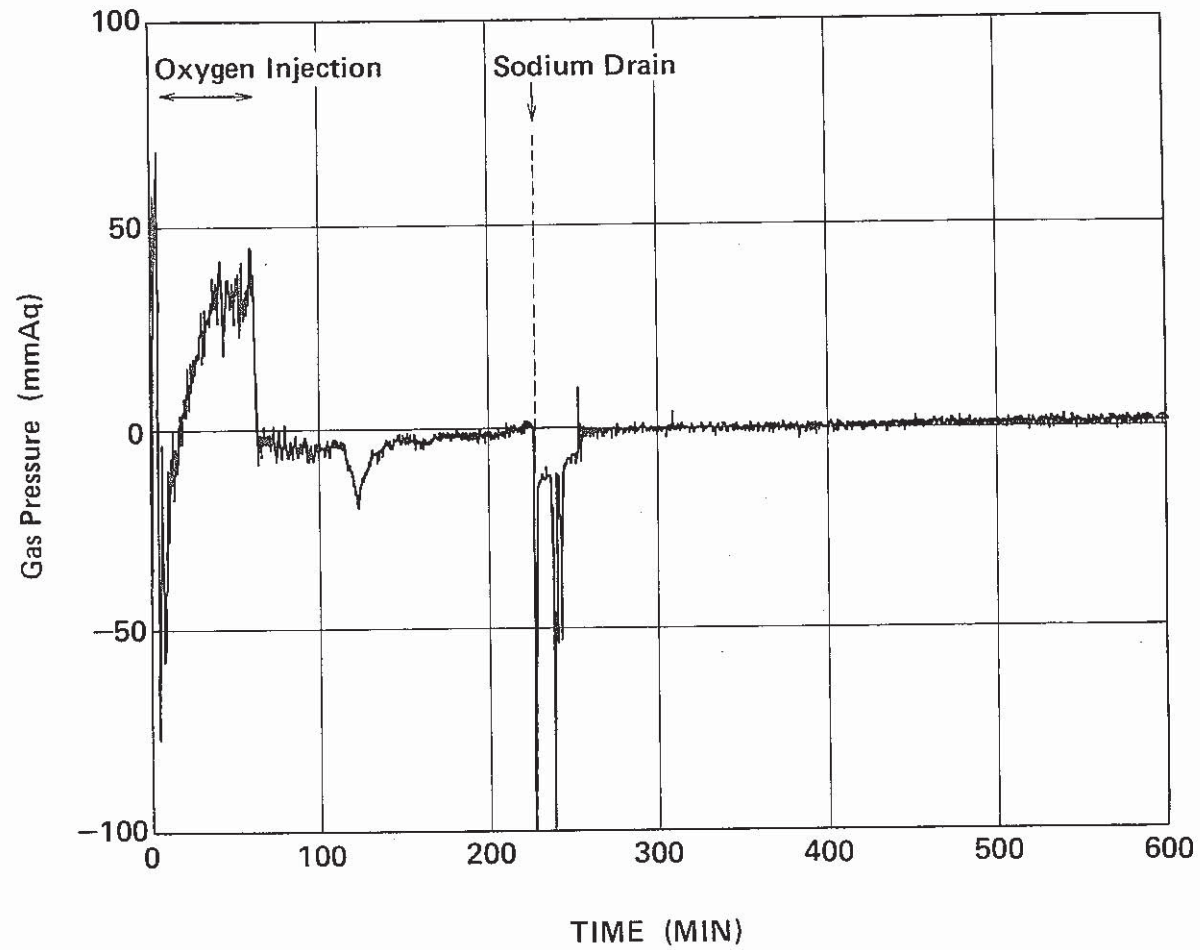


Fig. 37 Gas Pressure in the Cell during the Test

PSS-SFE-491

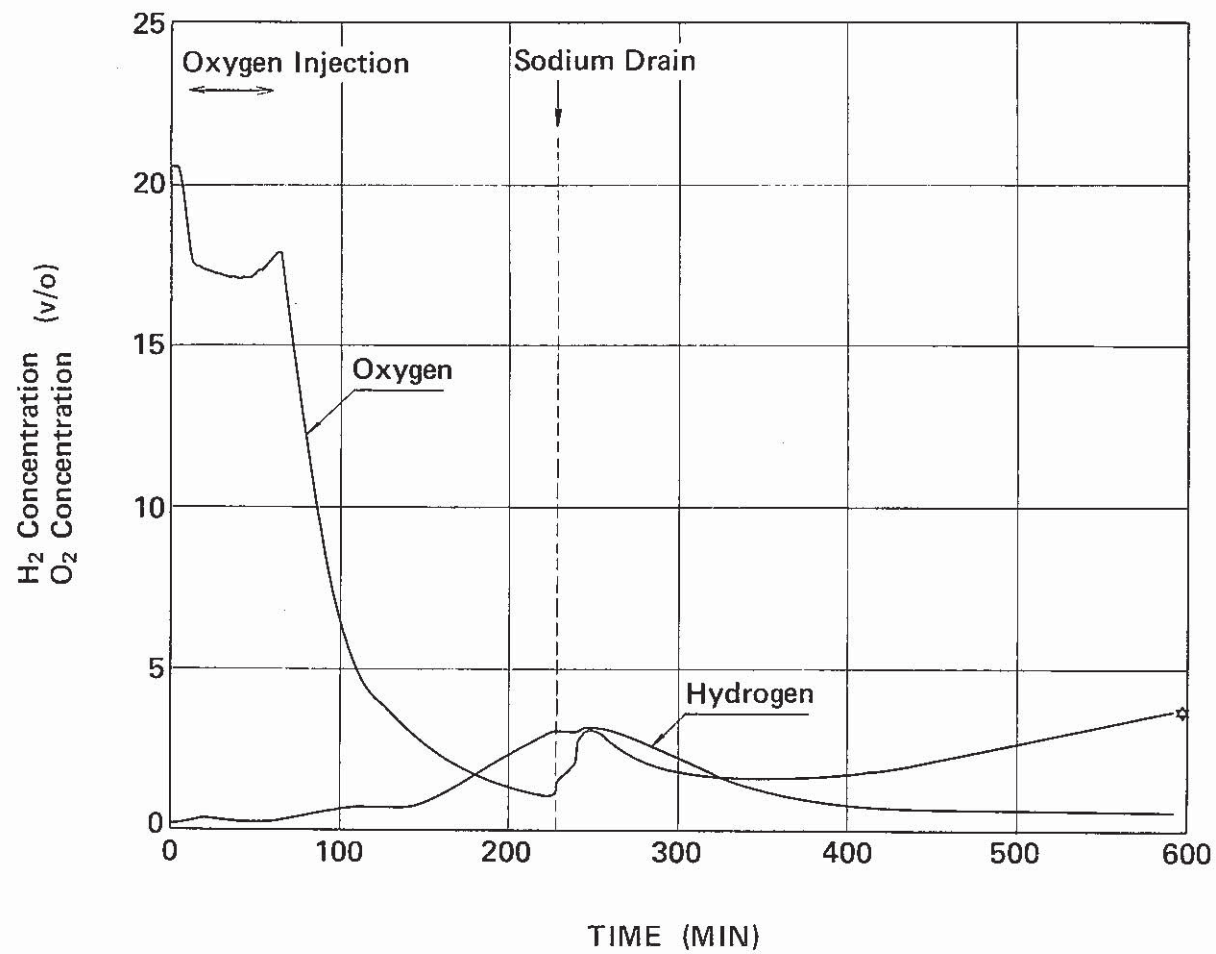


Fig. 38 Concentrations of Oxygen and Hydrogen during the Test

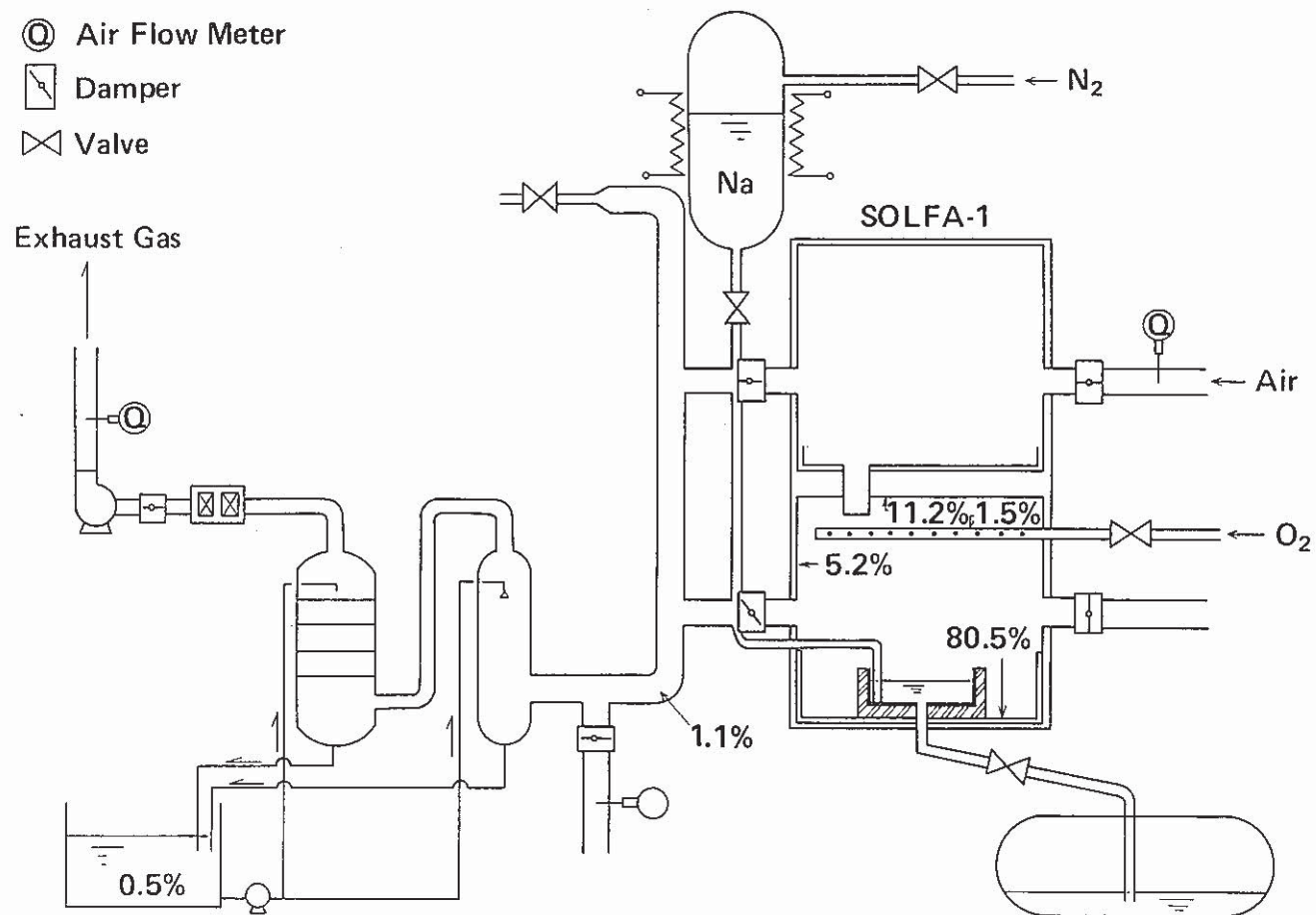


Fig. 39 Post-Test Aerosol Distribution in Test Rig

PSS-SFE-493

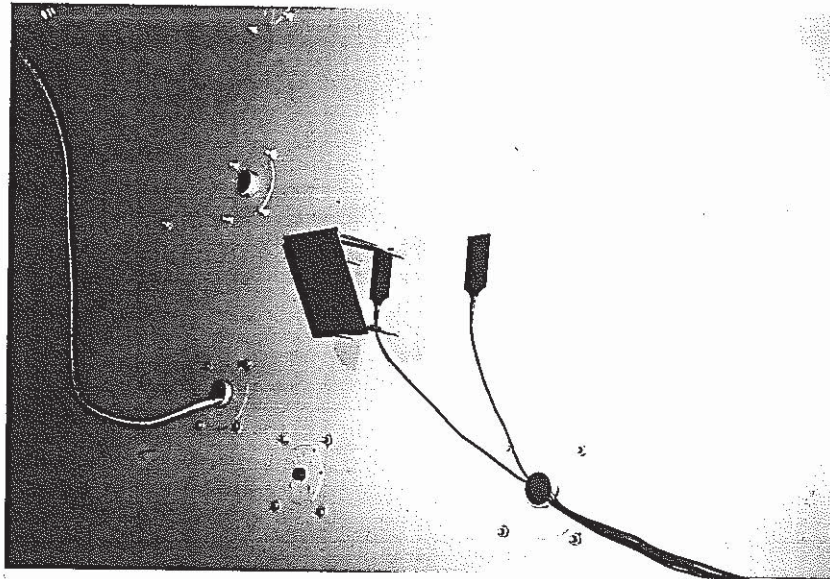


Photo. 1

Heat Flux Meters attached on Thermal Radiation Shield of Wall

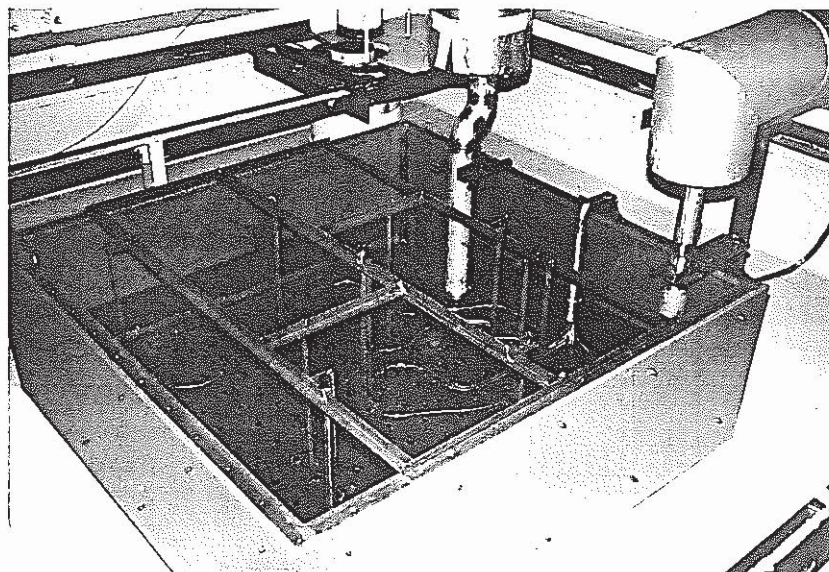
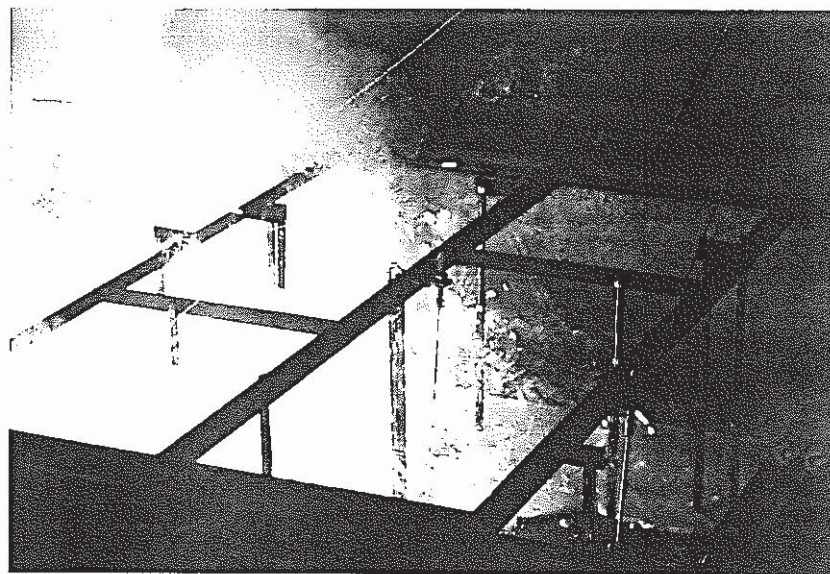


Photo. 2

Burning Pan installed in the Cell (Pre-Test)



FUJICOLOR 87

Photo. 3

Sodium Fire in Burning Pan at the beginning of Sodium Supply



FUJICOLOR 87

Photo. 4

Sodium Pool Fire during the Test

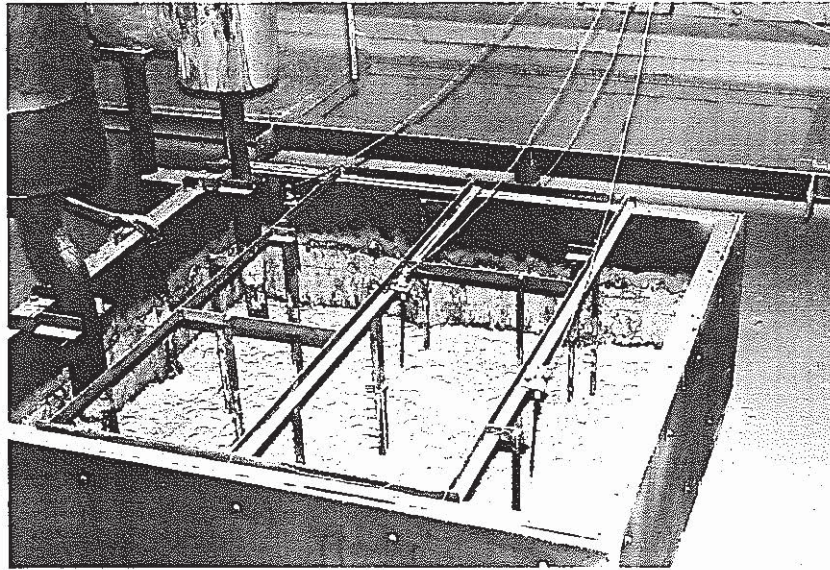


Photo. 5
Post-Test View of Burning Pan