

ナトリウム棒状燃焼解析コードSOFIRE-M3の開発

1992年11月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒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)

ナトリウム棒状燃焼解析コード SOFIRE-M3 の開発

大野 修司*、 中村 正志*

要 旨

[目的] FBR プラントで想定されるナトリウム棒状漏洩燃焼時の熱的影響評価手法を開発整備する。

[方法] SAPHIRE 施設の密閉型鋼製円筒容器 SOLFA-2 を使用して実施した Na 棒状漏洩燃焼試験 Run-E3 シリーズの結果をもとに、棒状燃焼速度の実験相関式を導出し、Na 燃焼解析コード SOFIRE-MII に組み込む。また、以前に SAPHIRE 施設で行った大規模 Na 漏洩燃焼試験 Run-E2 および Run-D2 の試験後解析を実施し、新たに開発整備した解析コード SOFIRE-M3 の検証を行う。

[結果] 以下の特徴を有する Na 棒状燃焼解析コード SOFIRE-M3 を開発整備した。

- Na 棒状燃焼速度は、Na 漏洩流量、漏洩高さ、雰囲気酸素濃度をもとに、Run-E3 シリーズで導出した実験相関式から計算する。
- 棒状燃焼に伴って発生する反応熱は、ナトリウムと雰囲気ガスとに分配される。この熱移行分配に関するパラメータは、新解析コードを使用した Run-E3 試験の試験後解析により最適化されており、この最適パラメータを使用した場合の Na 燃焼時熱移行評価精度は約 30% 以内である。

また、Run-E2 試験および Run-D2 試験の試験後解析を行った結果、SOFIRE-M3 コードの計算値と試験測定値は良好に一致した。このコードの開発整備により、配管からの現実的なナトリウム漏洩形態である棒状漏洩燃焼に伴う熱影響評価が可能となった。

今後の課題としては、Na 漏洩流量のより大きな範囲の試験データをもとに、実験相関式を改良することが挙げられる。

* 大洗工学センター、安全工学部、プラント安全工学室

Development of Sodium Columnar Combustion Code SOFIRE-M3

Shuji Ohno*, Masashi Nakamura*

Abstract

Computational code SOFIRE-M3 has been developed to evaluate the thermal consequences which would be brought by the sodium columnar leak and fire accident postulated in the FBRs. New code is the improved version of SOFIRE-MII and has following features.

- Sodium columnar combustion rate is calculated from the empirical formula which has been derived from the results of Run-E3 test series and has the terms of sodium leak rate, leak height, and oxygen concentration in the atmosphere.
- Calculational parameters of heat distribution fraction, which determine the reaction heat transferred to both sodium and gas, have been optimized by the post-test calculations of Run-E3 using the SOFIRE-M3 code. The code predicts heat transfer phenomena within 30% of accuracy when the optimized parameters are used.

Calculations of large-scale sodium leak and fire tests Run-E2 and Run-D2, which had been performed at the SAPFIRE facility in 1985 and 1986 respectively, showed good agreement between code calculated and measured data. This SOFIRE-M3 code can contribute in the near future to the more optimized designing and safety evaluation of FBR plant.

Refinement of the empirical formula and improvement of the code remain as future subjects related to the effect of sodium leak rate on the columnar combustion rate.

* Plant Safety Engineering Section, Safety Engineering Division,
O-arai Engineering Center

目 次

要旨	-----	i
Abstract	-----	ii
目次	-----	iii
図表リスト	-----	iv
1. 序論	-----	1
2. ナトリウム棒状漏洩燃焼試験	-----	2
2.1 試験の概要	-----	2
2.2 試験結果	-----	2
2.3 実験関連式の導出	-----	2
3. Na棒状燃焼解析コードの整備	-----	4
3.1 SOFIRE-MII コードの概要	-----	4
3.2 実験関連式の組み込みとコード整備	-----	4
3.2.1 実験関連式の組み込み	-----	4
3.2.2 熱移行パラメータのチューニング	-----	4
3.2.3 モデルの適用範囲	-----	6
3.2.4 その他のコード整備	-----	7
3.3 コード検証	-----	7
3.3.1 Run-E2 試験の解析	-----	7
3.3.2 Run-D2 試験の解析	-----	7
4. 結論	-----	9
謝辞	-----	10
参考文献	-----	11
付録 A	Run-E3 試験後解析の入力データ例 (Run-E3-5 用)	37
B	SOFIRE-M3 コード入力マニュアル (SOFIRE-MII からの変更点)	41
C	Run-E2 試験後解析の入力データ	47
D	Run-D2 試験後解析の入力データ	51

図表リスト

- 図 1 Na 棒状漏洩燃焼事象の評価項目
- 図 2 Na 棒状漏洩燃焼試験装置 (SOLFA-2)
- 表 1 Na 棒状漏洩燃焼試験 (SOLFA-2) の試験条件
- 表 2 Na 棒状漏洩燃焼試験 (SOLFA-2) の結果
- 図 3 Na 棒状漏洩燃焼試験 (SOLFA-2) の結果
- 図 4 棒状燃焼モデルのコードへの組み込み
- 表 3 Run-E3 試験結果と試験後解析結果の比較 (最適パラメータを使用した場合)
- 表 4 Run-E3 試験結果と試験後解析結果の比較 ($\alpha_g=0.6$, $\alpha_s=0.4$ の場合)
- 図 5 SOFIRE-M3 コード計算結果と試験結果の比較 (Run-E3-2)
- 図 6 SOFIRE-M3 コード計算結果と試験結果の比較 (Run-E3-3)
- 図 7 SOFIRE-M3 コード計算結果と試験結果の比較 (Run-E3-4)
- 図 8 SOFIRE-M3 コード計算結果と試験結果の比較 (Run-E3-5)
- 図 9 SOFIRE-M3 コード計算結果と試験結果の比較 (Run-E3-6)
- 図 10 SOFIRE-M3 コード計算結果と試験結果の比較 (Run-E3-7)
- 図 11 SOFIRE-M3 コード計算結果と試験結果の比較 (Run-E3-8)
- 図 12 Na と酸素の反応割合を変化させた場合の C/E の変動
- 図 13 棒状燃焼速度の Na 漏洩流量に対する依存性
- 図 14 Run-E2 試験装置 (SOLFA-2)
- 表 5 Run-E2 試験条件
- 図 15 Run-E2 試験後解析結果
- 図 16 Run-D2 試験装置鳥瞰図
- 図 17 Run-D2 試験における測定項目
- 表 6 Run-D2 試験条件
- 図 18 Run-D2 試験後解析結果

1. 序 論

高速増殖炉プラントの安全評価では設計基準事象のひとつとしてナトリウム漏洩事象が想定され、その中ではナトリウム（以下、Naと略す）の燃焼による熱影響評価を行う必要がある。

従来この評価においては、Naの漏洩燃焼形態として配管から円錐形状に噴出するNaスプレー燃焼および床上に拡がった状態のNaプール燃焼を想定して評価していたが、保温構造が適切な強度を有する配管からの漏洩形態に関する試験結果によると、Naの漏洩形態は下向きの棒状漏洩となることが確認されている^{1),2),3)}。そこで、配管からのより現実的な漏洩形態であるNa棒状漏洩時のNa燃焼とそれに伴う熱移行挙動の評価手法を開発整備する必要が生じた。

Na棒状燃焼挙動とその際の熱影響評価項目を図1に示す。評価すべき主な項目は、燃焼によるガス圧力の変化、建物構造に与える熱影響、建物内外に放出され移行するNaエアロゾル量、等である。漏洩挙動の目視観察によると、Na棒状燃焼挙動を支配する主要因は、漏洩Naの床への衝突飛散によって生成されるNa液滴の燃焼であり、このため、燃焼の激しさを決定するのはNa液滴の飛散割合と液滴サイズ（表面積）であると推定される。そこで、これら定量化が極めて困難な物理量を直接評価せず間接的に考慮に入れたアプローチとして、Na漏洩流量と漏洩高さを変化させたNa棒状漏洩燃焼試験により棒状燃焼を定量化し、解析コードへ組み込むという手法をとった。

本報告書は、上述の目的のために実施したNa棒状漏洩燃焼試験の概要と、その結果に基づくNa棒状燃焼解析コードSOFIRE-M3の開発整備について記述したものである。第2章でNa棒状漏洩燃焼試験の概要を述べ、第3章ではコードの開発整備と検証について記述する。

2. ナトリウム棒状漏洩燃焼試験

2.1 試験の概要

Na 棒状漏洩燃焼試験 Run-E3 は、SAPFIRE 施設の円筒型鋼製密閉容器 SOLFA-2（内容積：約 100 m³）を使用して行った⁴⁾。試験装置の概要を図 2 に示す。試験での測定項目は、容器内各部の温度（ガス、Na プール、容器内外面等）、ガス圧力、ガス中の酸素濃度、Na エアロゾル浮遊量、などの時間推移である。

表 1 に主要な試験条件を示す。試験回数は計 8 回、漏洩継続時間と漏洩 Na 温度は全試験で統一し、それぞれ 5 分、500 °C とした。変化させた試験条件は、Na 漏洩流量と実効漏洩高さ（漏洩流の初速度と漏洩高さから求められる）である。容器内酸素濃度は 1 試験を除いてすべて初期値を 21 %（空気と同じ）とし、試験中は容器内に酸素を供給して、できる限り酸素濃度を一定に維持するようにした。

2.2 試験結果

Na 漏洩率と実効漏洩高さを変えた計 8 回の試験結果を表 2 に示す。Na 棒状燃焼速度は、まず容器内各部の温度変化と Na 漏洩流量から容器内の熱バランスを計算することによって Na の燃焼発熱速度を求め、その値から Na プール燃焼による寄与分を差し引くことによって算出した。Na プール燃焼速度は SOFIRE-MII コード^{5), 6)}のプール計算モデルに基づいて見積った。ちなみに、全燃焼速度に対する Na プール燃焼速度の割合は約 40 % 以下であり、プール燃焼速度の見積り誤差が全体に与える影響は小さい。Na の燃焼発熱速度から燃焼速度への換算は、燃焼による酸素消費と発熱を極端に保守的に見積もらないように、Na と酸素の反応生成物の 60 %（モル濃度）が Na₂O であるとの仮定で行った。なお、表 2 に示した Na 棒状燃焼速度は、燃焼が酸素濃度に比例するとの仮定のもとで、酸素濃度 21 % の条件における値に変換したものである。

2.3 実験相関式の導出

試験の結果、Na 棒状燃焼速度が実効漏洩高さに強く依存することが確認された^{7), 8)}。そこで、棒状燃焼速度が Na 漏洩流量とガス中の酸素濃度に比例するという仮定をおいて、棒状燃焼速度と実効漏洩高さに関する相関式を求めた。試験測定結果と相関式を図 3 および以下に示す。式中の実験定数は空気雰囲気中で実施した 7 試験（Run-E3-1～Run-E3-7）の結果から最小二乗法により求めたものである。

$$B_c = a W H^b C_{O_2}$$

ただし、 B_c : 棒状燃焼速度 (kg-Na/s)

W : Na漏洩流量 (kg-Na/s)

H : 実効漏洩高さ (m)

C_{O_2} : ガス中の酸素のモル分率 (-)

a, b : 実験定数

$a=2.28E-1$

$b=1.18$

(相関係数=0.956)

3. Na 棒状燃焼解析コードの整備

3.1 SOFIRE-MII コードの概要^{5), 6), 9)}

本研究で新しい棒状燃焼モデルを組み込む解析コードは SOFIRE-MII である。この解析コードは、米国で開発された空間一点近似の Na プール燃焼解析コード SOFIRE-II⁵⁾を改良したもので、平板に関する強制対流熱伝達と物質伝達のアナロジーに基づく Na 棒状燃焼モデルが組み込まれている。このため、Na の漏洩によるプールへの流入、Na 燃焼による棒状流の温度変化など、棒状漏洩に関する熱と物質の収支についてはすでにモデリングされており、今回の組み込みでは、基本的には棒状燃焼速度の算出法に関する改良のみを行えば良いことになる。

3.2 実験相関式の組み込みとコード整備

3.2.1 実験相関式の組み込み

Run-E3 試験から導出した Na 棒状燃焼速度の実験相関式を SOFIRE-MII コードに組み込んだ。相関式に含まれる 2 つの実験定数 (a, b) は試験結果から最小二乗法により求めたものであるため、全ての試験結果を過大に評価するような保守的な値ではない。棒状燃焼速度は、漏洩高さ、各時刻における Na 漏洩流量、ガス中の酸素濃度から計算され、この燃焼速度に応じた酸素消費速度と発熱速度が求められ、系内の熱および物質の収支計算に使われる。ここで、Na と酸素の反応による発生熱の移行については以下のように扱う。

第 1 章でも述べたように、棒状漏洩燃焼は漏洩流が床へ落下衝突した際にできる Na 液滴または飛沫の燃焼が支配的な現象である。この Na 液滴の燃焼で発生した熱は、熱伝導、対流、輻射の伝熱メカニズムにより周囲のガス、構築物および Na 中へ移行するが、これらの挙動を詳細に評価するためには、Na の衝突後の飛散分裂挙動、周囲ガスの流動などを正確に評価する必要がある。少なくとも本コードのような一点近似コードでの評価は不可能である。このため、この熱移行挙動をグローバルに扱うために、全燃焼発熱量のうちガスへ移行する割合および Na 中へ移行する割合を表すパラメータ α_g , α_s ($\alpha_g + \alpha_s = 1.0$, 各 α の値は一定) を定義し、これらのパラメータの最適値を決定するというアプローチをとった (図 4 参照)。すなわち、このモデルのもとでは、時刻 t における燃焼発熱速度を $q(t)$ とすると、Na 棒状燃焼によるガスおよび Na の受熱速度はそれぞれ、 $\alpha_g q(t)$, $\alpha_s q(t)$ となる。

3.2.2 熱移行パラメータのチューニング

上記の熱移行パラメータ α_g , α_s は以下の方法により最適化した。

- (a) α_g と α_s を設定 ($\alpha_g + \alpha_s = 1.0$)
- ↓
- (b) 実験関連式を組み込んだコードによる Run-E3-2~Run-E3-8 (注1) の試験後解析
- ↓
- (c) 各部の温度変化 (注2) に関する平均 C/E (コード計算値/試験測定値) の評価 (注3)
- ↓
- (d) 各部の平均 C/E が等しいか (ばらつきが大きい場合は (a) へ戻る)

(注1) Run-E3-1 について比較を行わなかったのは、この試験に限って容器壁の外面温度を測定しなかったために適切な C/E の評価ができないと判断したことによる。

(注2) 平均 C/E を評価した項目は、最高ガス圧力、Na 受け皿の温度上昇値 (漏洩終了時の温度と初期温度の差)、容器壁平均温度の上昇値 (漏洩終了時の温度と初期温度の差)、である。

(注3) 平均 C/E とは、各試験 (Run-E3-2~Run-E3-8) 毎に得られた C/E 値の相加平均である。

上記の方法によるパラメータ最適化の結果、 α_g と α_s はそれぞれ 0.67, 0.33 と決定した。このときのコード計算値と試験測定値を比較させて表3に、また、参考のため、これらのパラメータが最適値と少し異なる場合 ($\alpha_g=0.6$, $\alpha_s=0.4$) の結果を表4に示す。最適パラメータセットを用いた場合、各試験各評価項目の中で最も C/E の悪いものは 1.81 あるいは 0.67 であるが、ほとんどの C/E 値は 0.7~1.3 の範囲内にあり、これらの評価精度は約 30% 以内が確保されているといえる。なお、この試験後解析に使用した入力データの一例を付録-A に示す。

ここで、Run-E3 に関するコード解析結果と試験結果の相違について考察を加えておく。図5~図11に Run-E3-2 から Run-E3-8 のコード計算値と試験測定値の比較を示す。図示した項目はガス圧力、Na 受け皿平均温度、容器壁平均温度、容器内酸素濃度、の時間推移である。すべての試験に共通して、漏洩開始後初期におけるガス圧力の上昇勾配はコード計算値の方が大きい傾向が見られる。これは、実際の Na 燃焼領域付近 (Na 液滴が飛散している部位) の酸素濃度が他の部分よりも低くなっているにも係わらず、コード内では容器内の酸素濃度が一様であるとの仮定に基づいて計算していることが原因と考えられる。この効果については、例えば現在開発中の3次元 Na 燃焼解析コード SOLFAS^{8),10)}などを使用してガスの多次元熱流動を考慮した解析を行い、評価検討する必要があると考える。Na 受け皿と容器壁の平均温度推移については比較的一致が良好である。容器内酸素濃度は、容器内のガスを循環サンプリングして測定したため、試験測定値にはガス輸送遅れと輸送中の酸素拡散などに起因する比較的大きな誤差が含まれている。また、Na と酸素との化学反応の仮定によってコード計算値にはかなり大きな違いが現れる。これらのことが原因となって、図にみられるような大きな差異が現れたものと考えられる。

ところで、上記のパラメータ最適化にあたっては、SOFIRE-M3 コードの解析条件として、Na と酸素の反応生成物の 60% が Na₂O であるとの仮定をおいた。これは棒状燃焼関連式を導出する際の反応の仮定と整合をとる観点から設定した条件である。このため、この解析条

件が結果にどの程度の影響を与えるかを定量的に把握する目的のもとに、Na と酸素の反応の仮定だけを変化させて Run-E3-2～Run-E3-8 の試験後解析を実施した。その結果得られた各評価項目毎の平均 C/E を図 12 に示す。一般に Na₂O の生成割合が大きいと、単位質量 Na の反応による発熱量は減少するものの、Na の燃焼に伴う酸素の消費が少なくなるため Na のトータル燃焼量が増加するため、結果的に熱的影響は大きく見積もられる。したがって、図 5 からわかるように、Na₂O の生成割合が大きくなるほど C/E も大きくなる傾向が現れる。

3.2.3 モデルの適用範囲

第 2 章および第 3 章で述べてきたように、SOFIRE-M3 コードに組み込まれている Na 棒状燃焼相関式は Na 棒状漏洩燃焼試験 Run-E3 の結果に基づいて導出しパラメータの最適化を施したものである。したがって、本相関式の適用範囲については、Run-E3 試験の実施範囲等から以下のように考えられる。

漏洩高さ：6 m 以下

これは、Run-E3 試験の実効漏洩高さが 1～6 m であることから決定した。

Na 漏洩流量：0.7 kg/s 以上

Run-E3 の実施範囲は 0.7～2.3 kg/s である。一方、燃焼相関式は棒状燃焼速度が Na 漏洩流量に比例するとの仮定のもとに導出したものであるが、この仮定は下記の理由により妥当または保守的な仮定であると考えられる。

導出した相関式をもとに、棒状燃焼速度の Na 漏洩流量に対する依存性を調べる。式を変形して対数をとると、

$$\ln(Bc/H^{**1.28}) = \ln W + \ln(0.228 Co^2)$$

となる。そこで、試験結果に基づいて $\ln(Bc/H^{**1.28})$ と $\ln W$ の相関を見てみると、図 13 からわかるように、方向係数（グラフ上の傾き）は 1 より小さい傾向となっている。これは、漏洩流量が増大すると、漏洩流量に対する Na 液滴飛散量が低下する、または、液滴周囲の酸素濃度が低下する、などの液滴相互干渉効果が促進されるためだと推定される。

漏洩Na温度：約 500 ℃ 以下

試験はすべて漏洩 Na 温度 500 ℃ の条件で実施した。過去の多くの Na 燃焼試験結果によると、Na 温度がこれ以下の場合には燃焼速度は減少する方向であると考えられ、このため本実験相関式は保守的な結果を与えるといえる。

上記の 3 つの漏洩条件のうち、Na 漏洩流量に関しては、棒状燃焼速度がこれに比例するという仮定が妥当または保守的であると述べた。これについては、大口径配管で想定される漏洩流量は Run-E3 の実施範囲よりもかなり大きい値となるため、評価結果へ与える影響が大きい。したがって、漏洩流量のより大きい試験による確認とそれを通じた実験式の改良が今後の課題として挙げられる。

3.2.4 その他のコード整備

棒状燃焼相関式の組み込みに伴い、入力データの変更の必要が生じた。従来の SOFIRE-MII コードの入力データからの変更点を付録-B に示す。ここでは、コード整備の一環として実施した各種計算機能の向上についても同時に記述している。

3.3 コード検証

実験相関式を組み込み、熱移行に関するパラメータをチューニングした新解析コード SOFIRE-M3 のコード検証のために、SAPFIRE 施設で以前に実施した配管からの Na 漏洩燃焼試験 Run-E2 および Run-D2 の解析を実施した。

3.3.1 Run-E2 試験の解析

Na 漏洩燃焼試験 Run-E2 は、配管からの Na 漏洩形態とそのときの Na 燃焼、熱移行挙動を調べるために、1985 年に実施した試験である³⁾。

試験容器として鋼製密閉容器 SOLFA-2 を使用し、試験方法、計測等は第 2 章で述べた Na 棒状漏洩燃焼試験と類似している。図 14 と表 5 にそれぞれ、Run-E2 試験の試験装置図および試験条件を示す。Na 漏洩流量は 3.1 kg/s、漏洩継続時間 15 分、Na 温度 505 °C、漏洩高さ 2 m である。

SOFIRE-M3 コードの解析条件としては、Na と酸素の反応生成物は 60% が Na₂O とし、3.2 で示した熱移行割合に関するパラメータの最適値を使用した。解析で使用した入力データを付録-C に示す。

解析結果と試験結果の比較のため、容器内ガス圧力、容器壁平均温度、Na 受け皿平均温度、容器内酸素濃度の時間推移を図 15 に示す。容器壁温度の試験測定値については、容器内の異なる位置の温度を示してある。いずれの項目についてもコード計算値と試験測定値の一致は良好である。ガス圧力ピーク値、Na 受け皿平均温度の上昇値、Na 漏洩中の壁温度上昇値の C/E はそれぞれ、1.2, 0.9, 1.4 である。Na 漏洩終了後に酸素濃度が非連続的な推移を示しているのは、Na 漏洩終了と容器内への酸素供給終了のタイミングがずれているためである。

3.3.2 Run-D2 試験の解析

Run-D2 試験は、配管からの Na 漏洩に始まり鋼製ライナとドレン配管を介した Na 移送、燃焼抑制槽における鎮火までの事象推移に対して Na 漏洩燃焼対策設備が健全に機能することの確認を目的として、1986 年に実施した¹¹⁾。

試験は、原型炉の原子炉補助建屋を模擬したコンクリート製二階建セル SOLFA-1 を用いて行われた。試験装置の鳥瞰図を図 16 に、試験計測と試験条件をそれぞれ図 17 と表 6 に示す。Na 漏洩流量は 3.2 kg/s、漏洩継続時間 15 分、Na 温度 505 °C、漏洩高さ 2 m であり、

前述の Run-E2 と同程度であるが、雰囲気気密閉条件でなく開放条件である点で Run-E2 と大きく異なる。

試験では、上部セルで Na 棒状燃焼とプール燃焼が同時に進行し、下部セルにおいては上部セルから移送された Na が燃焼抑制槽に貯留されるという事象推移を示したが、SOFIRE-M3 コードによる解析は Na 混合燃焼（棒状+プール状燃焼）の進行している上部セルのみを対象とした。解析条件としては、Run-E2 の場合と同様に、Na と酸素の反応生成物は 60% が Na_2O とし、Na 棒状燃焼熱の移行割合に関するパラメータの最適値を使用した。上部セルにはガス排気ダクトを通じて圧力開放条件にあるため、解析においてはガスリーク計算モデルを使用した。また、Na プールからの Na 流出計算機能も使用し、床を流れて連通管から流出される Na を熱および質量バランス的に模擬した。解析で使用した入力データを付録-D に示す。

解析結果を試験結果と比較させて図 18 に示す。Na 漏洩期間中の各部の温度推移は、全般にコード計算値と試験測定値の一致は良好である。Na 棒状燃焼中の床ライナ温度と壁コンクリート内部温度の上昇値に関する C/E はそれぞれ 1.1, 1.4 である。酸素濃度については、試験における測定で循環させたセル内ガスをサンプリングする方式をとったため、ガスのサンプリング遅れとその間の酸素拡散により試験測定値に比較的大きな誤差が生じたものと思われる。初期から 20 分程度までのガス温度と酸素濃度推移が非連続的になっているのは、この間に実施した Na 漏洩の停止、セル内への酸素供給の開始と供給流量の変更などが影響を与えているためである。

以上、Run-E2 および Run-D2 の試験後解析の結果、配管からの Na 漏洩時の棒状+プール状燃焼、すなわち混合燃焼とそれに伴う熱移行挙動について、SOFIRE-M3 コードが妥当な計算結果を与えることが確認された。

4. 結 論

SAPFIRE 施設で実施したナトリウム棒状漏洩燃焼試験 Run-E3 をもとに導出したナトリウム棒状燃焼速度の相関式を SOFIRE-MII コードに組み込み、整備を行った（新コード名：SOFIRE-M3）。新たに開発整備したこのナトリウム棒状燃焼解析コード SOFIRE-M3 は以下の主な特徴を有する。

- ナトリウム棒状漏洩時の燃焼速度は、Na 漏洩流量、漏洩高さ、雰囲気酸素濃度をもとに、Run-E3 シリーズで導出した実験相関式から計算される。
- 棒状燃焼に伴って発生する反応熱は、ナトリウムと雰囲気ガスとに分配される。この熱移行分配に関するパラメータは、新解析コードを使用した Run-E3 試験の試験後解析により最適化されている。この最適パラメータセットを使用した場合のコードの熱移行評価精度は約 30% 以内である。

また、以前に実施された大規模 Na 漏洩燃焼試験 Run-E2 および Run-D2 の試験後解析を実施した結果、今回棒状燃焼モデルを組み込んだ SOFIRE-M3 コードによる計算値と試験測定値は良好に一致した。この SOFIRE-M3 コードの開発整備により、配管からの現実的な漏洩形態であるナトリウム棒状漏洩燃焼に伴う熱影響評価が可能となった。

今後の課題としては、Na 漏洩流量のより大きな範囲の試験データをもとに、実験相関式を改良することが挙げられる。

謝 辞

本研究の実施にあたり、プラント安全工学室の原 広 室長、三宅 収 担当役、宮原 信哉 副主研から多くの有益な助言を頂きました。また、解析コードを使用した実際の計算および図表作成の多くは検査開発 (株) の松木 卓夫氏に実施してもらいました。これらの方々に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 姫野、他、「ナトリウム火災防護設備基礎試験 (III) - 二次系ナトリウム火災の事故推移に関する縮尺モデル試験、Run-B3 -」、PNC SN941 85-130、1985 年 9 月
- 2) 姫野、他、「ナトリウム火災防護設備基礎試験 (IV) - 水による二次系配管ナトリウム漏洩模擬試験 -」、PNC SN9410 86-088、1986 年 8 月
- 3) 森井、他、「大規模ナトリウム漏洩燃焼試験 (IV) - 空気雰囲気における模擬配管からのナトリウム漏洩燃焼試験、Run-E2 -」、PNC SN9410 87-088、1987 年 6 月
- 4) 大野、他、「ナトリウム棒状漏洩燃焼試験 - 燃焼速度とエアロゾル発生速度 -」、PNC SN9410 89-154、1989 年 11 月
- 5) P. Beiriger, et al., "SOFIRE-II User Report," AI-AEC-13055, 1973
- 6) 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 SJ206 82-01
- 7) 大野、他、「ナトリウム棒状落下流の燃焼速度とエアロゾル放出速度」、日本原子力学会 1990 年年会、C13
- 8) S. Ohno, et al., "Test and Code Development for Evaluation of Sodium Fire Accidents in the FBRs," 1990 Int. Fast Reactor Safety Mtg., Aug. 1990
- 9) O. Miyake, et al., "Sodium Pool Combustion Codes for Evaluation of Fast Breeder Reactor Safety," J. Nucl. Sci. & Tech., 28[2], Feb. 1991
- 10) 大野、他、「SOLFAS Ver.0.3 の開発 (インプットマニュアル)」、PNC SN9520 89-010、1989 年 5 月
- 11) 宮原、他、「大規模ナトリウム漏洩燃焼試験 (V) - 二次系ナトリウム漏洩事故の事象推移に関する総合模擬試験、Run-D2 -」、PNC SN9410 87-117、1987 年 9 月

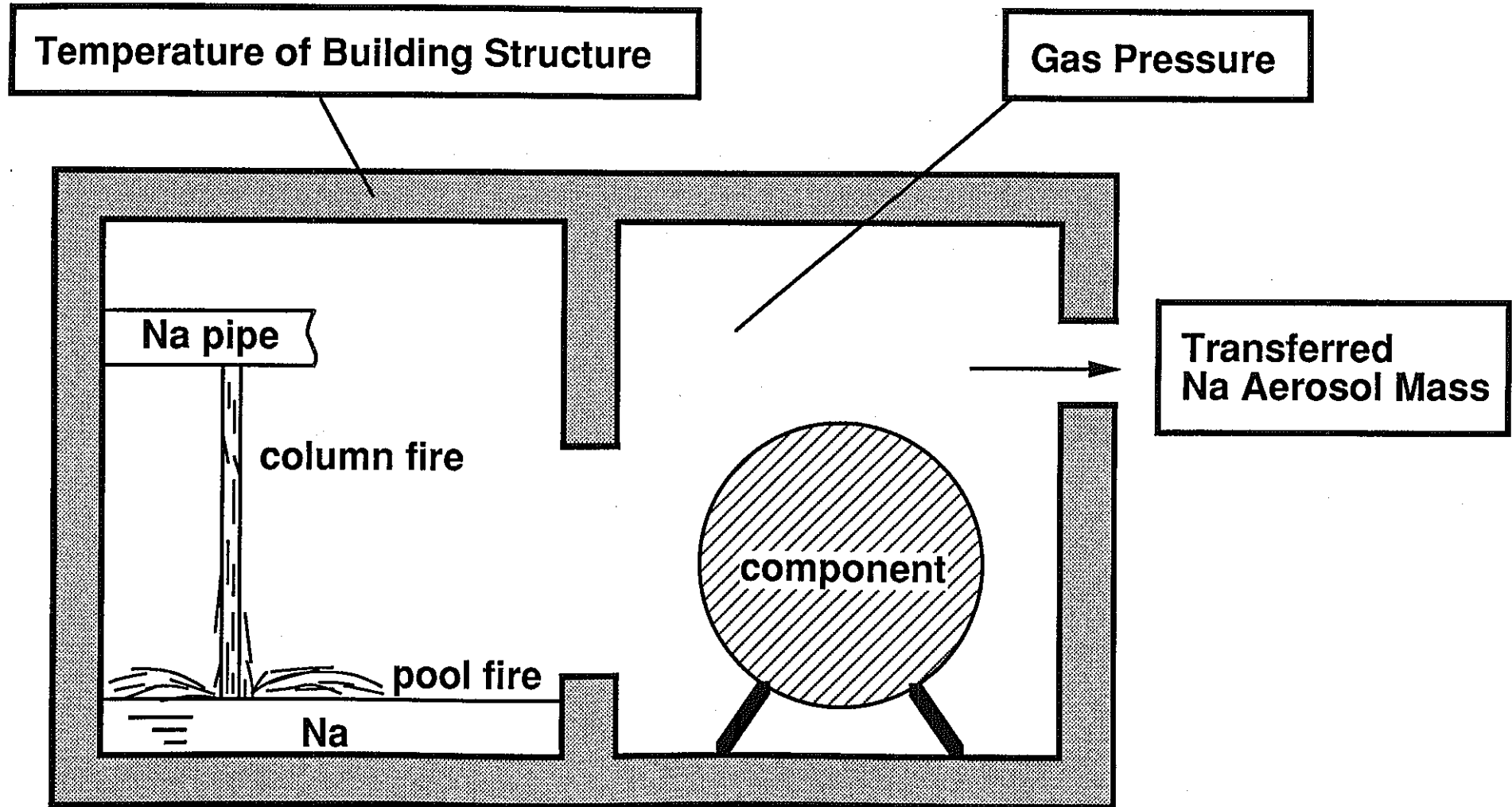
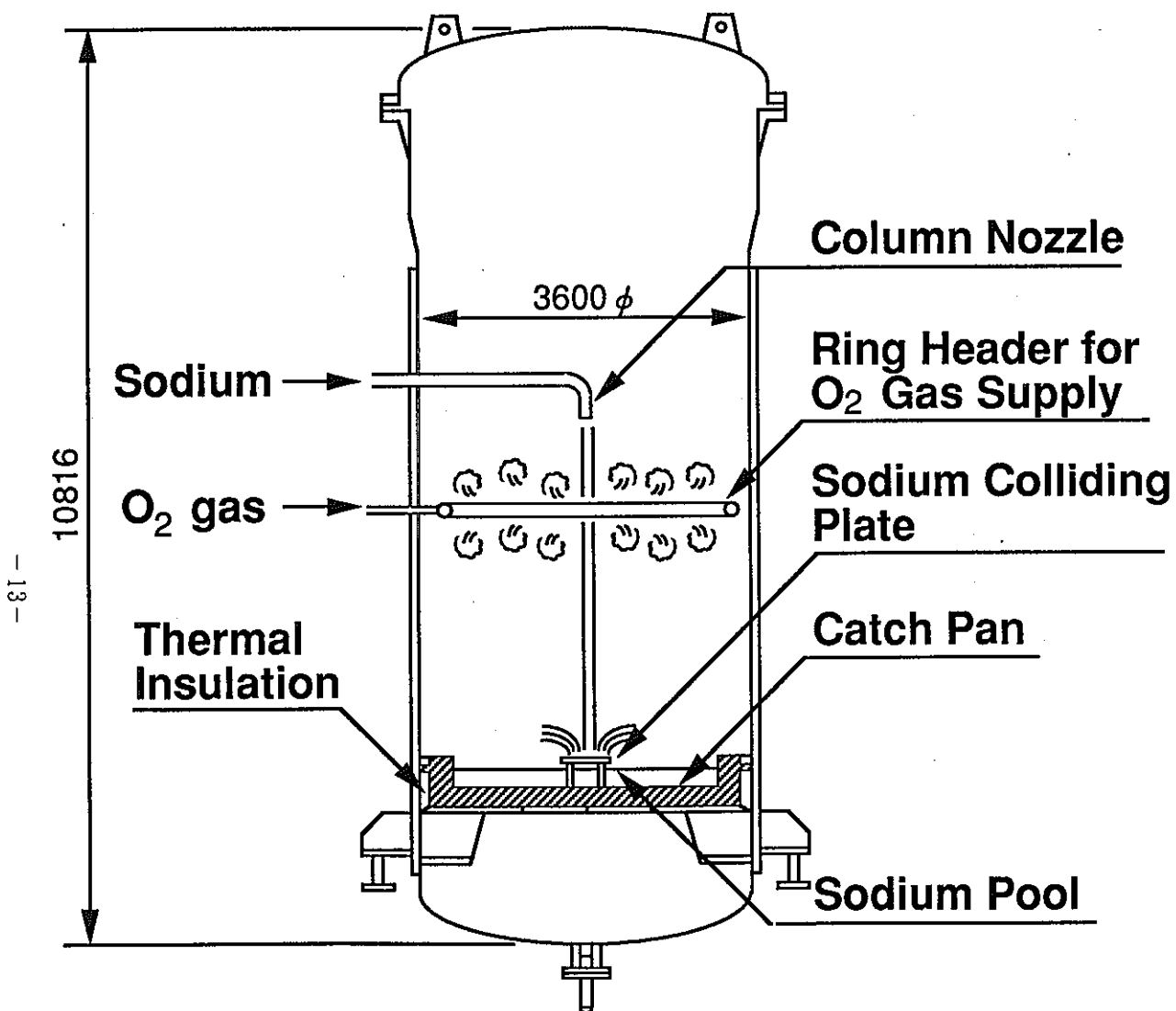


図1 Na棒状漏洩燃焼事象の評価項目



Vessel Volume : 100 m³

Thermal insulter surrounds the vessel outer surface.

Measured Data

- Sodium Pool Temp.
- Gas Temp.
- Vessel Wall Temp.
- Gas Pressure
- Oxygen Concentration

図2 Na棒状漏洩燃焼試験装置 (SOLFA-2)

表1 Na棒状漏洩燃焼試験(Run-E3)の試験条件

number of tests	8
leak rate	0.7 - 2.3 kg/s
leak duration	5 min.
sodium temp.	500 °C
effective leak height	1 - 6 m
nozzle diameter	28 mm (17 mm for 1 run)
initial oxygen conc.	21 % (3% for 1 run)

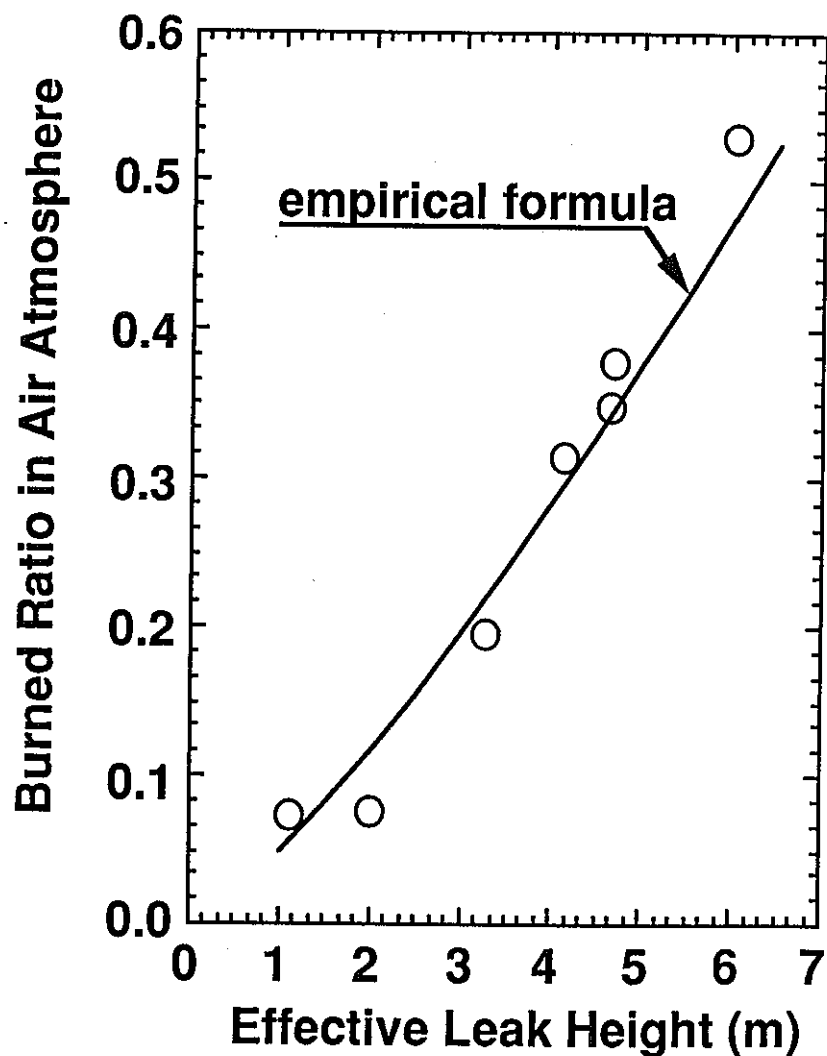
表2 Na棒状漏洩燃焼試験(Run-E3)の結果

Run No.	Nozzle diameter (mm)	Leak height (m)	Colliding velocity (m/s)	Leak rate (kg-Na/s)	Initial oxygen conc. (%)	Oxygen supply rate (N-m ³ /min)	Columnar combustion rate (kg-Na/s)
Run-E3-1	28.0	4.0	9.58	1.97	21	2.24	0.746
Run-E3-2	28.0	4.0	9.56	1.96	21	3.65	0.681
Run-E3-3	28.0	4.0	8.99	0.793	21	1.36	0.250
Run-E3-4	28.0	1.0	4.64	0.705	21	0.986	0.051
Run-E3-5	28.0	2.5	8.03	2.01	21	4.77	0.393
Run-E3-6	28.0	1.0	6.30	2.30	21	3.13	0.175
Run-E3-7	16.7	4.0	10.9	1.15	21	3.69	0.608
Run-E3-8	28.0	4.0	9.68	2.00	3	0	0.039*

Notice : (a) In all experiments, sodium temperature is 500°C and leak duration is 5 min.

(b) Colliding velocity was estimated from initial velocity and leak height.

* combustion rate under the oxygen concentration of 3%



$$[\text{burned ratio}] = \frac{[\text{columnar burning rate}]}{[\text{columnar leak rate}]}$$

Columnar combustion rate

$$B_c = a W H^b C_{O_2}$$

W : leak rate

H : leak height

C_{O_2} : oxygen volume fraction

a, b : empirical constants

図3 Na棒状漏洩燃焼試験(Run-E3)の試験結果

Columnar combustion rate

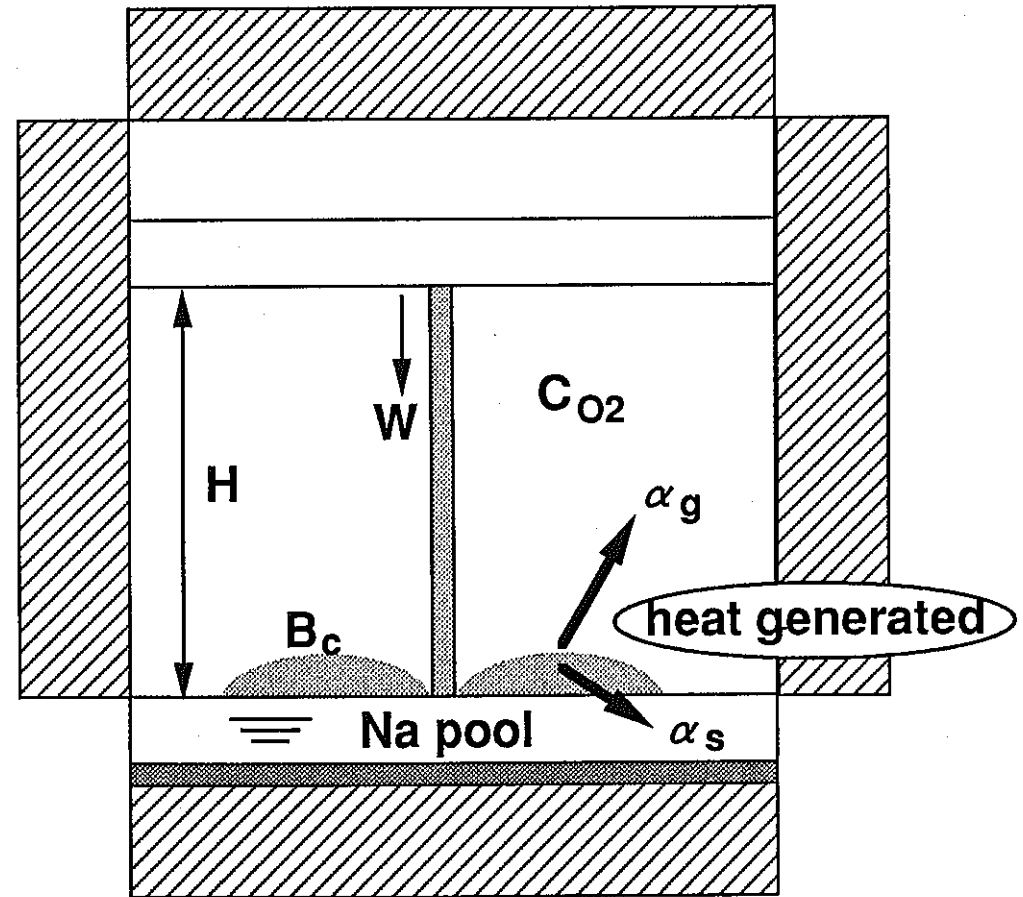
$$\underline{B_c = a W H^b C_{O_2}}$$

W : leak rate

H : leak height

C_{O_2} : oxygen volume fraction

a, b : empirical constants



α_g : heat distributed to gas

α_s : heat distributed to sodium

図4 棒状燃焼モデルのコードへの組み込み

表3 Run-E3試験結果と試験後解析結果の比較
(最適パラメータを使用した場合)

試験No.	ガス最高圧力 (kg-f/cm ²)		Na受け皿温度 上昇値 (°C)		壁温度上昇値 (°C)		Na総燃焼量 (kg)	
							C	E
Run-E3-2	1.68	1.35	722	1.38	57.4	0.92	51.5	0.88
	1.24		522		62.1		58.2	
Run-E3-3	1.05	1.02	682	1.01	29.6	0.96	33.4	0.97
	1.03		675		30.7		34.5	
Run-E3-4	0.47	1.02	520	0.78	6.99	1.21	23.8	0.86
	0.46		664		5.80		27.7	
Run-E3-5	1.46	1.25	746	1.16	55.5	1.30	102.3	1.09
	1.17		641		42.7		93.5	
Run-E3-6	1.11	1.31	607	0.98	35.8	1.81	70.2	1.15
	0.85		620		19.8		61.1	
Run-E3-7	1.49	1.30	762	1.26	49.1	0.98	34.2	0.96
	1.15		605		50.2		35.8	
Run-E3-8	0.54	0.89	363	1.16	6.07	0.67	9.04	0.93
	0.61		312		9.00		9.69	
平均C/E	1.16		1.11		1.12		0.98	

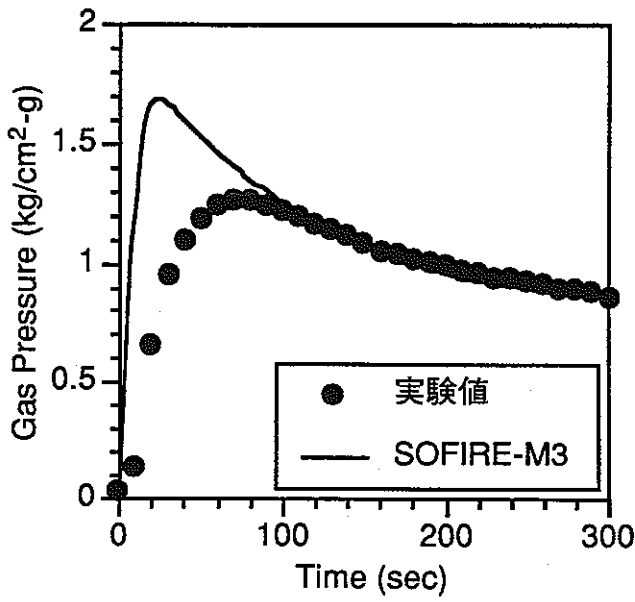
注) コード計算値は、以下の仮定で実施した。
 反応熱の雰囲気ガスへの移行割合：67%
 反応熱のNaへの移行割合：33%
 反応生成物Na₂O中の生成割合：60% (モル比)

表4 Run-E3試験結果と試験後解析結果の比較
($\alpha g=0.6, \alpha s=0.4$ の場合)

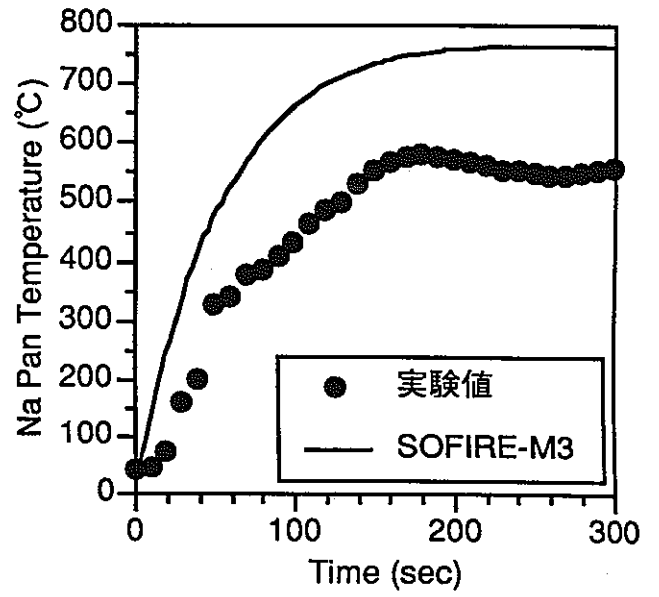
左上：コード計算値 (C)	右：C/E
左下：試験測定値 (E)	

試験No.	ガス最高圧力 (kg-f/cm ²)		Na受け皿温度 上昇値 (°C)		壁温度上昇値 (°C)		Na総燃焼量 (kg)	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Run-E3-2	1.59	1.28	777	1.49	53.4	0.86	51.6	0.89
	1.24		522		62.1		58.2	
Run-E3-3	0.99	0.96	736	1.09	27.6	0.90	33.8	0.98
	1.03		675		30.7		34.5	
Run-E3-4	0.46	1.00	538	0.81	6.51	1.12	24.2	0.87
	0.46		664		5.80		27.7	
Run-E3-5	1.39	1.19	804	1.25	51.4	1.20	102.8	1.10
	1.17		641		42.7		93.5	
Run-E3-6	1.06	1.25	644	1.04	32.9	1.66	70.7	1.16
	0.85		620		19.8		61.1	
Run-E3-7	1.41	1.23	825	1.36	46.1	0.92	34.2	0.96
	1.15		605		50.2		35.8	
Run-E3-8	0.50	0.82	369	1.18	5.62	0.62	9.04	0.93
	0.61		312		9.00		9.69	
平均C/E	1.10		1.18		1.04		0.98	

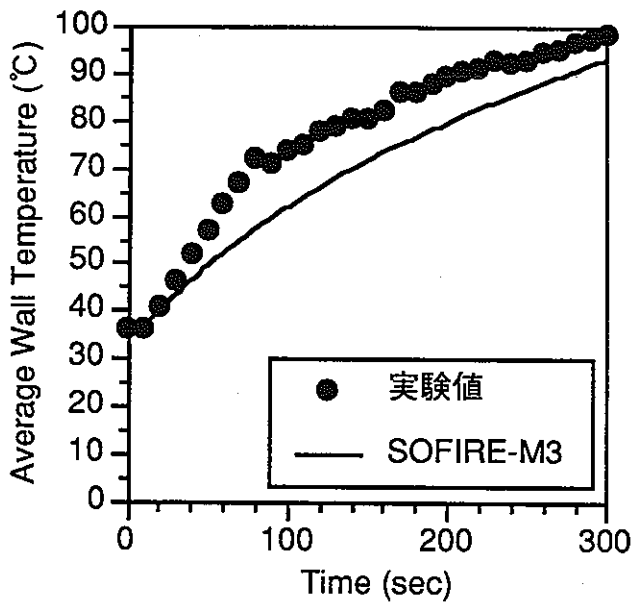
注) コード計算値は、以下の仮定で実施した。
 反応熱の雰囲気ガスへの移行割合：60%
 反応熱のNaへの移行割合：40%
 反応生成物Na₂O中の生成割合：60% (モル比)



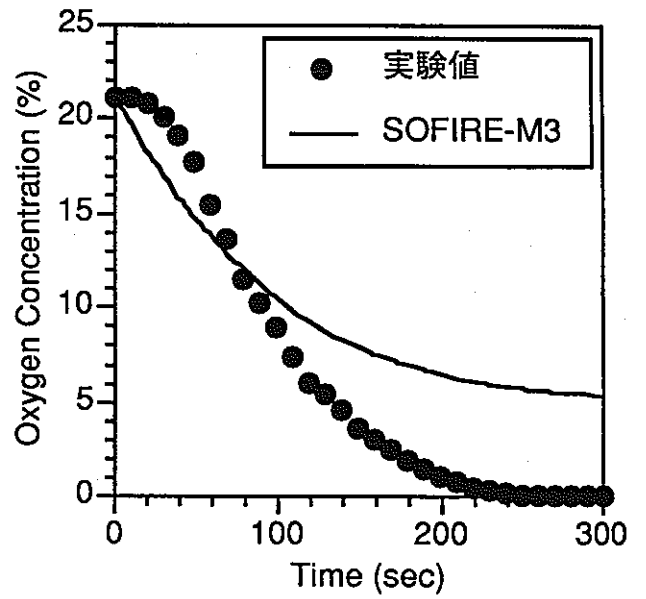
(a) ガス圧力



(b) Na受け皿平均温度

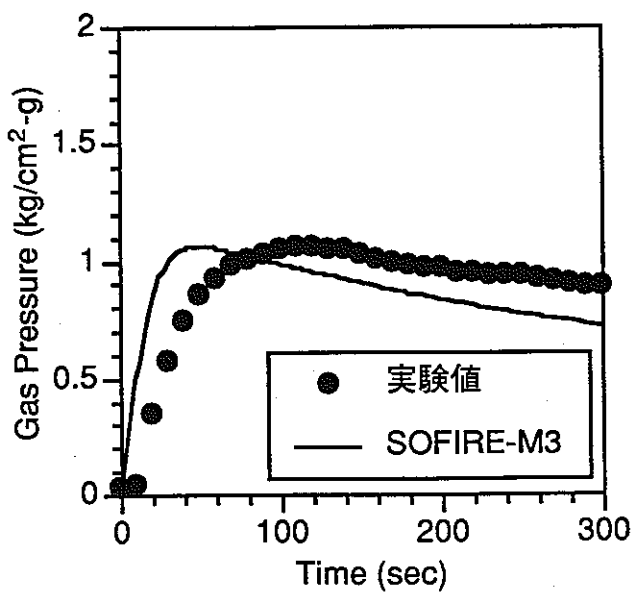


(c) 壁平均温度

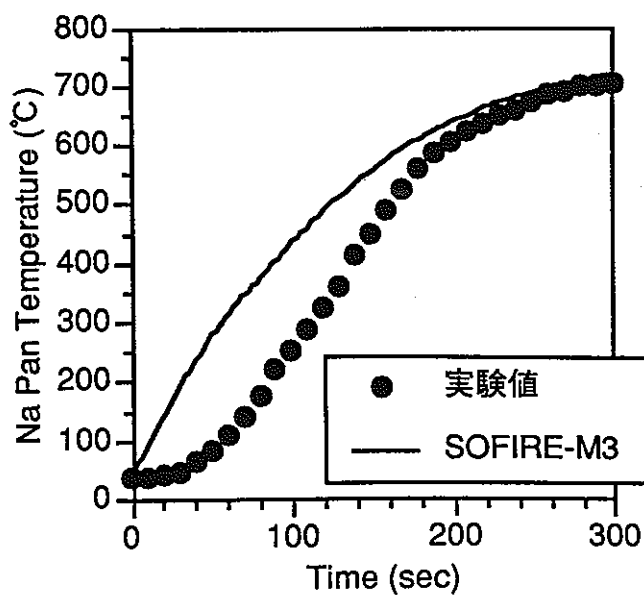


(d) 酸素濃度

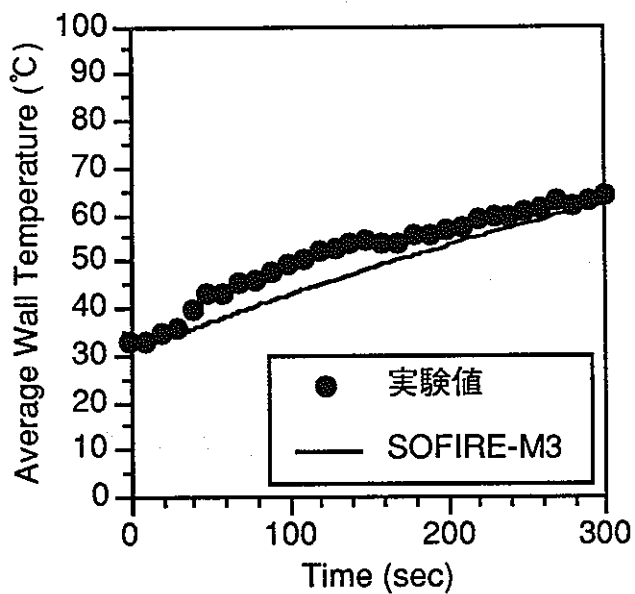
図5 SOFIRE-M3コード計算結果と試験結果の比較 (Run-E3-2)



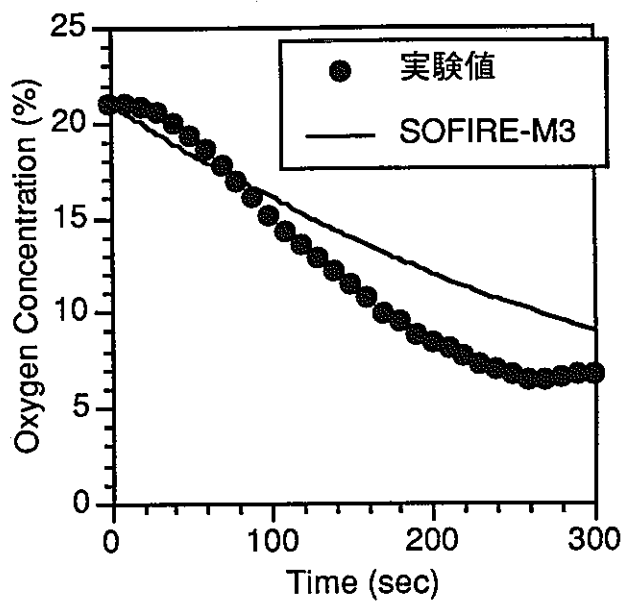
(a) ガス圧力



(b) Na受け皿平均温度

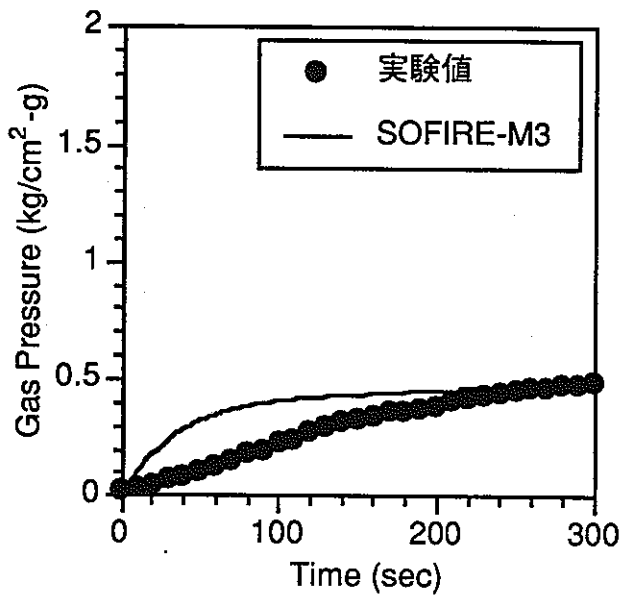


(c) 壁平均温度

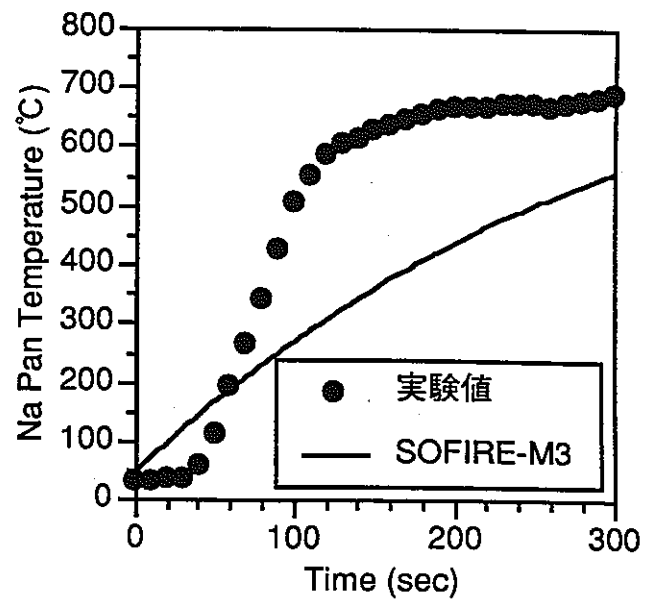


(d) 酸素濃度

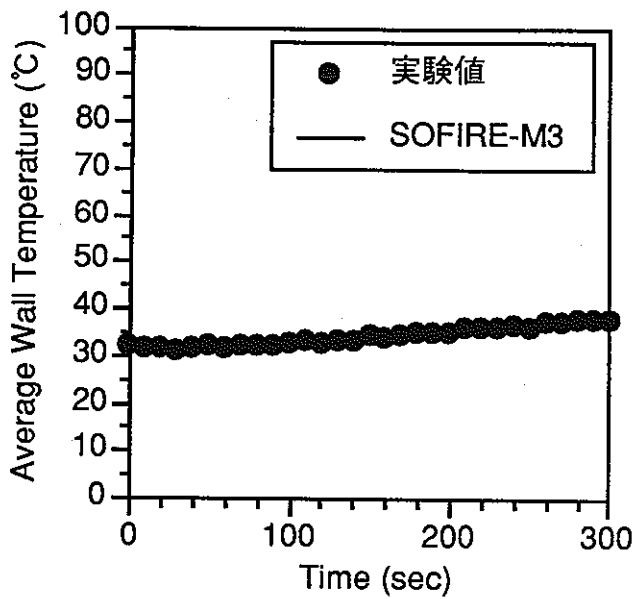
図6 SOFIRE-M3コード計算結果と試験結果の比較 (Run-E3-3)



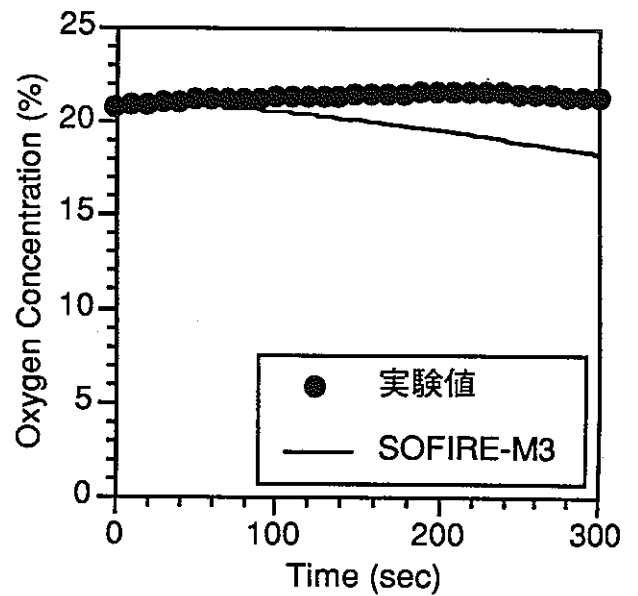
(a) ガス圧力



(b) Na受け皿平均温度

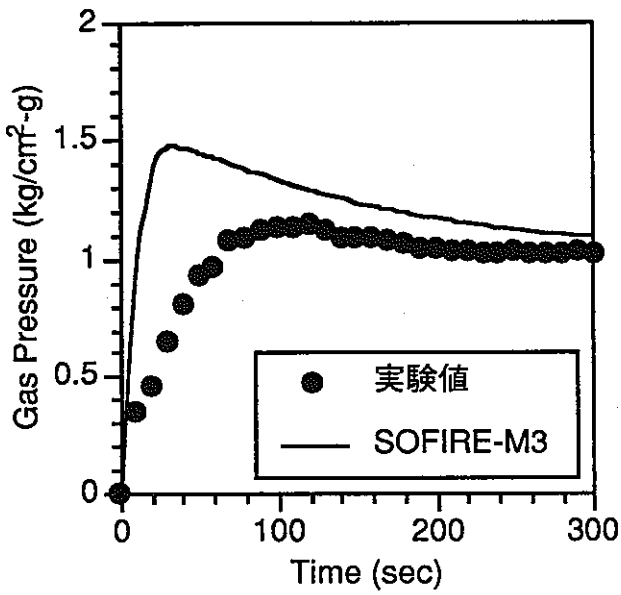


(c) 壁平均温度

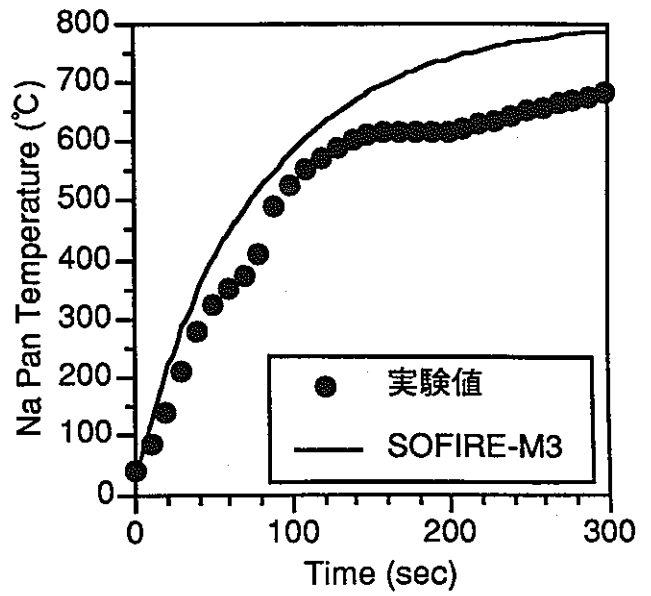


(d) 酸素濃度

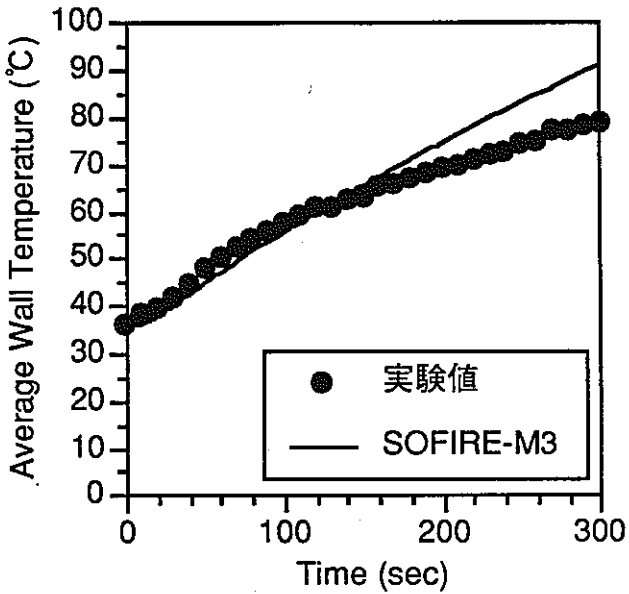
図7 SOFIRE-M3コード計算結果と試験結果の比較 (Run-E3-4)



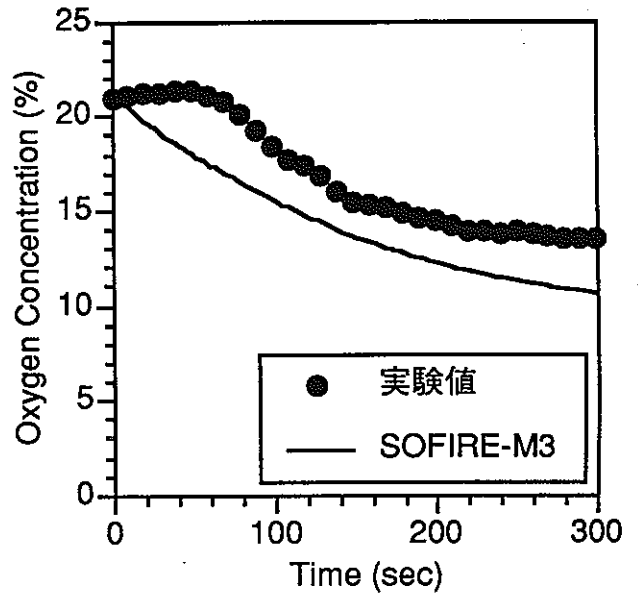
(a) ガス圧力



(b) Na受け皿平均温度

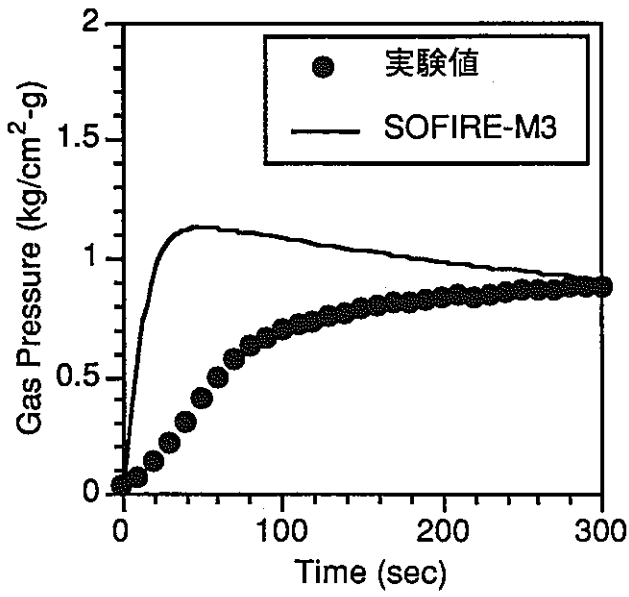


(c) 壁平均温度

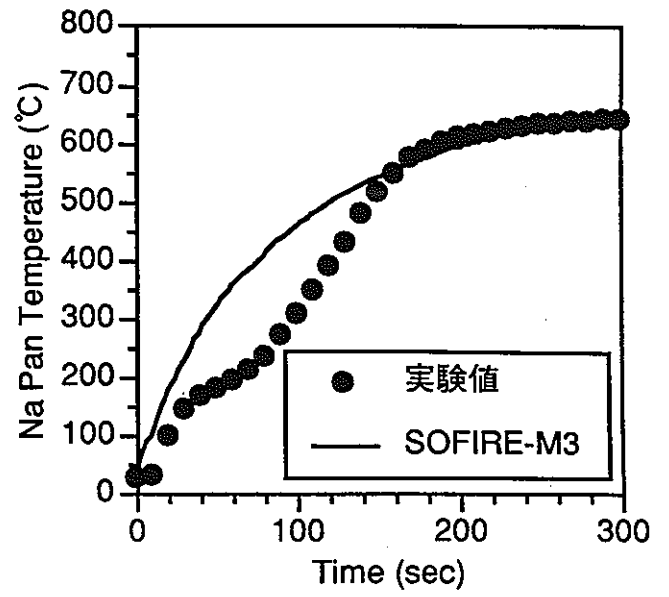


(d) 酸素濃度

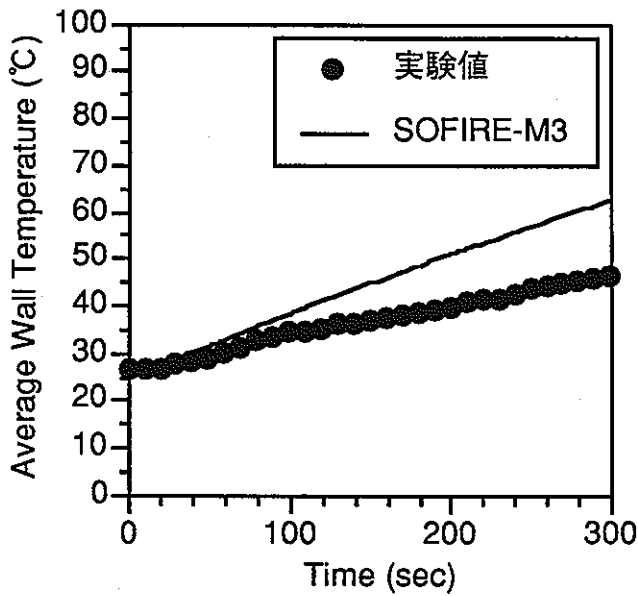
図8 SOFIRE-M3コード計算結果と試験結果の比較 (Run-E3-5)



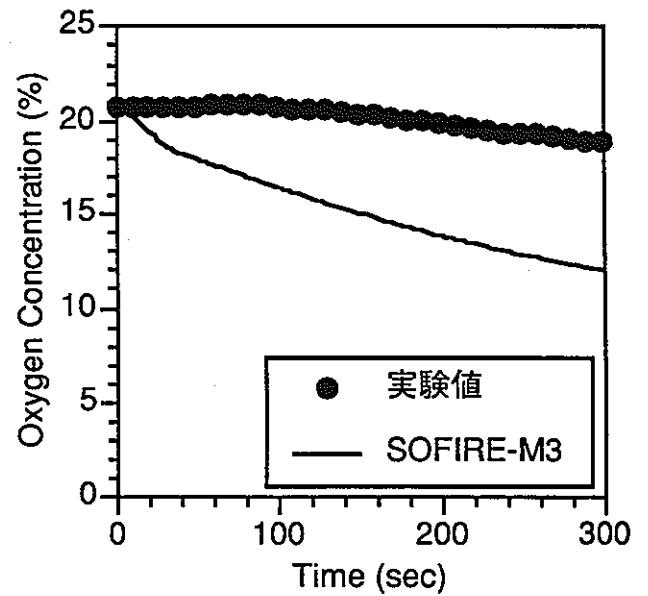
(a) ガス圧力



(b) Na受け皿平均温度

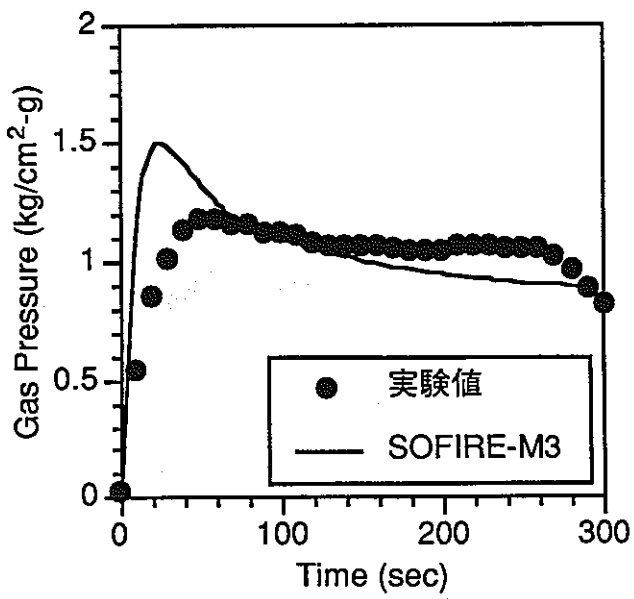


(c) 壁平均温度

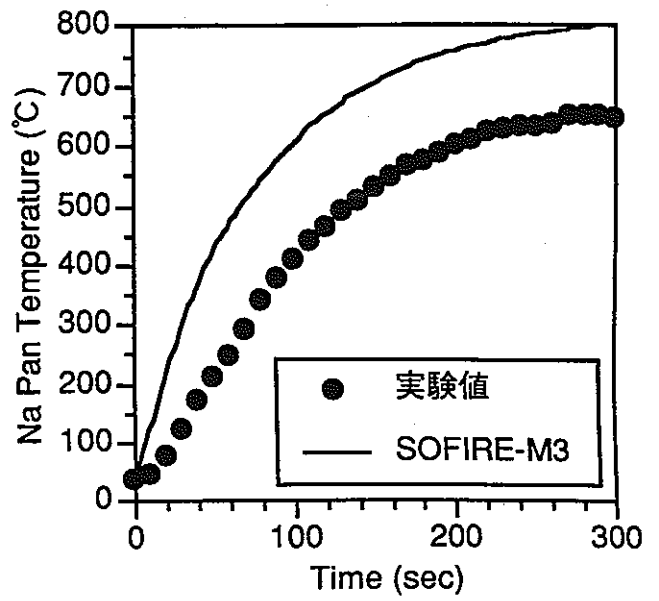


(d) 酸素濃度

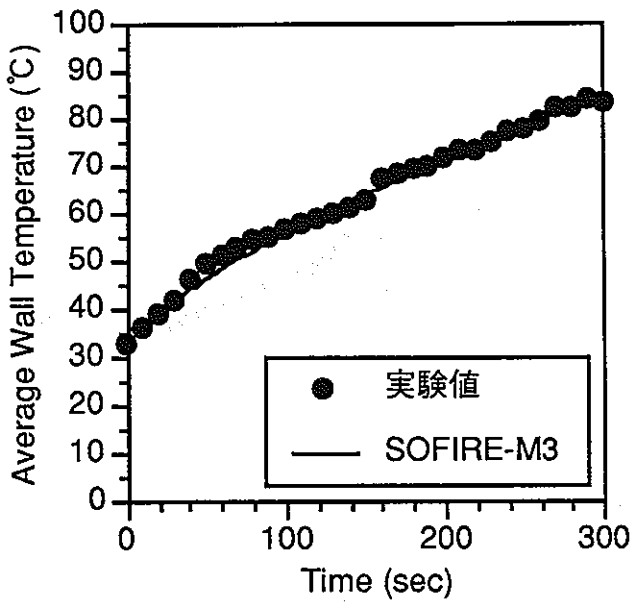
図9 SOFIRE-M3コード計算結果と試験結果の比較 (Run-E3-6)



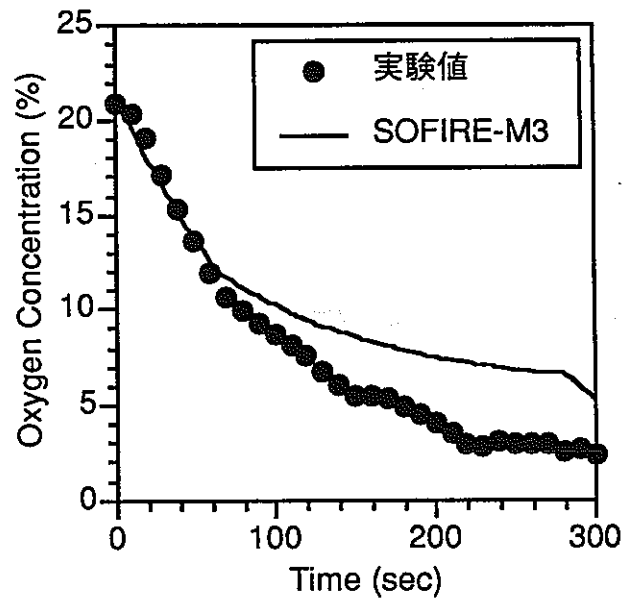
(a) ガス圧力



(b) Na受け皿平均温度

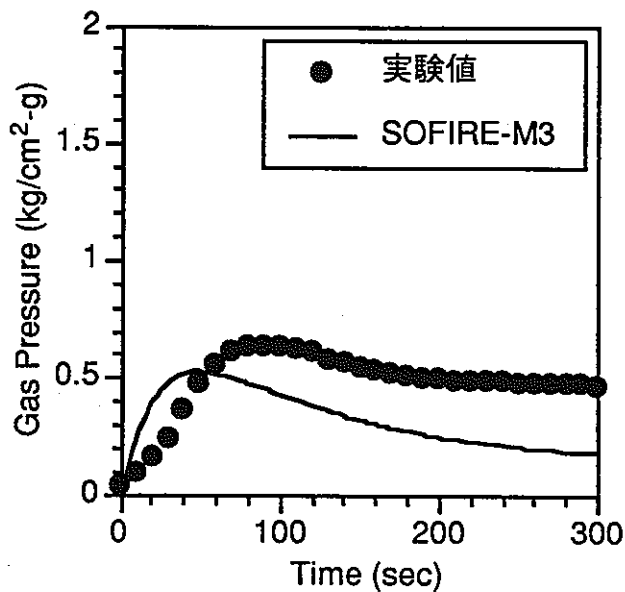


(c) 壁平均温度

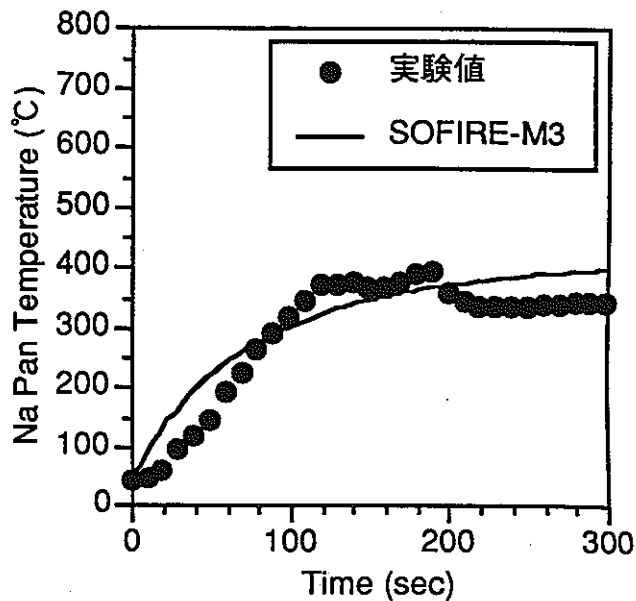


(d) 酸素濃度

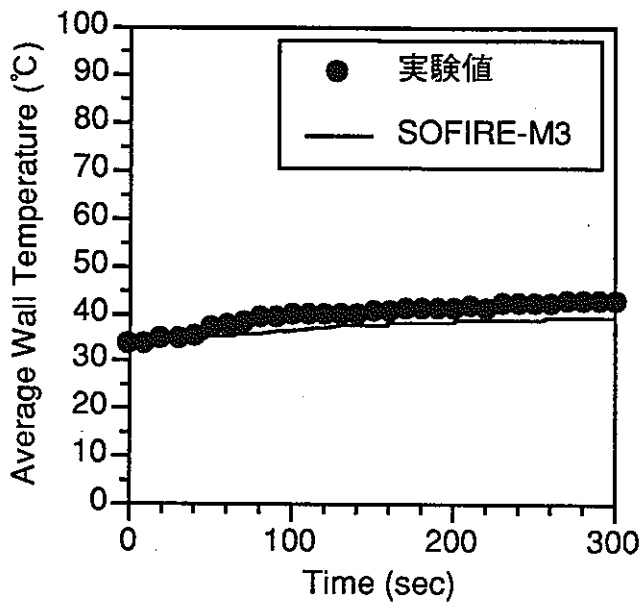
図10 SOFIRE-M3コード計算結果と試験結果の比較 (Run-E3-7)



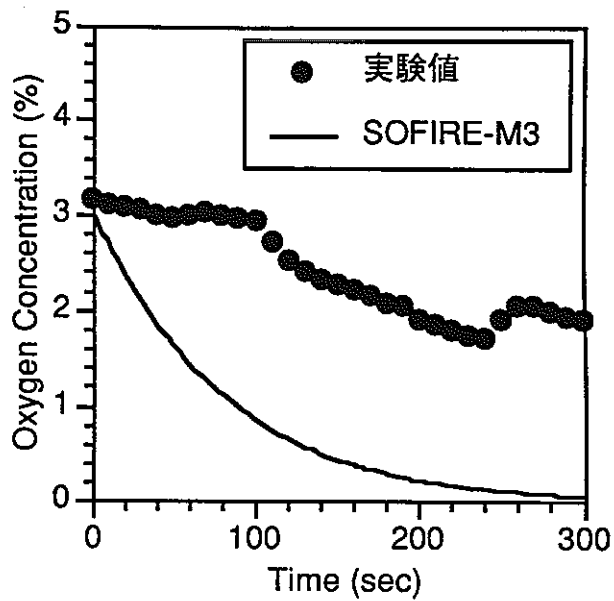
(a) ガス圧力



(b) Na受け皿平均温度



(c) 壁平均温度



(d) 酸素濃度

図11 SOFIRE-M3コード計算結果と試験結果の比較 (Run-E3-8)

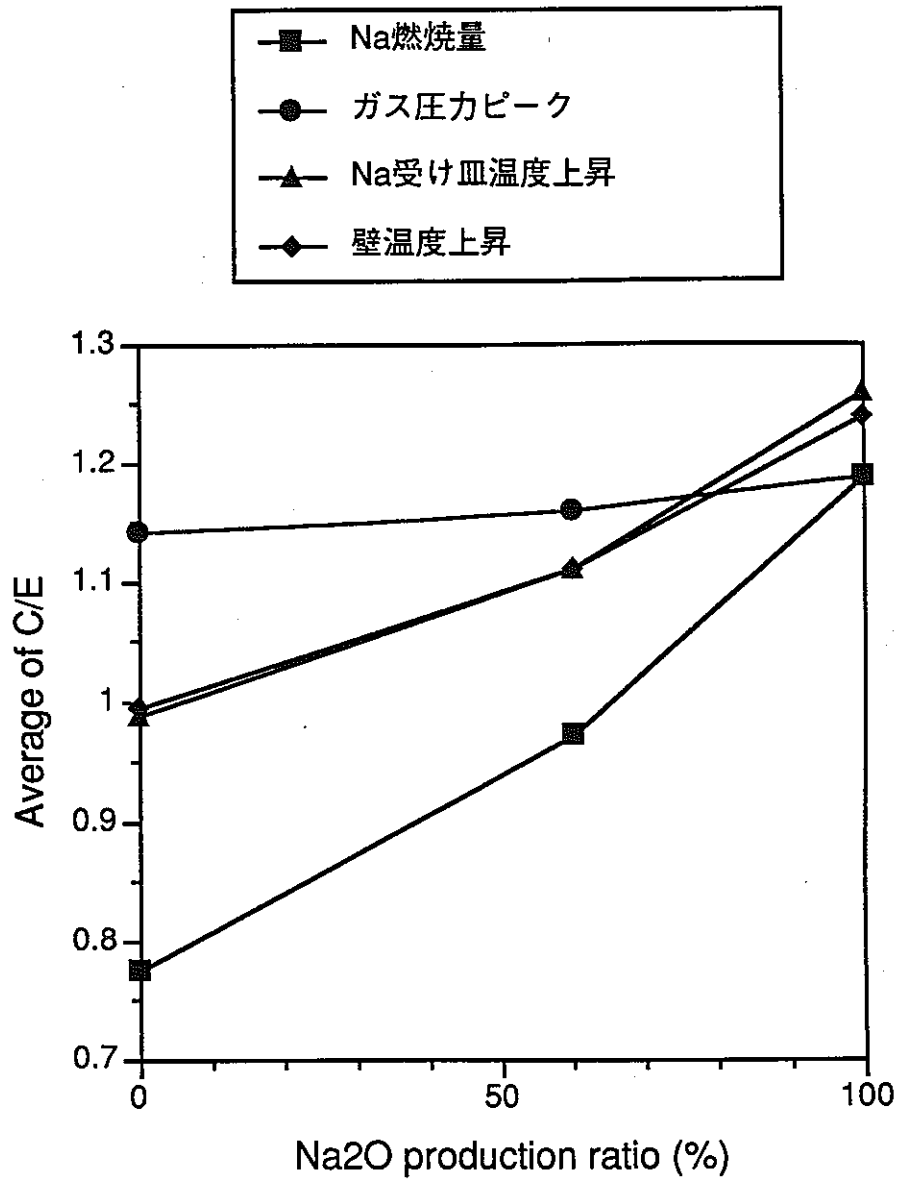


図12 NaとO₂の反応割合を変化させた場合のC/Eの変動

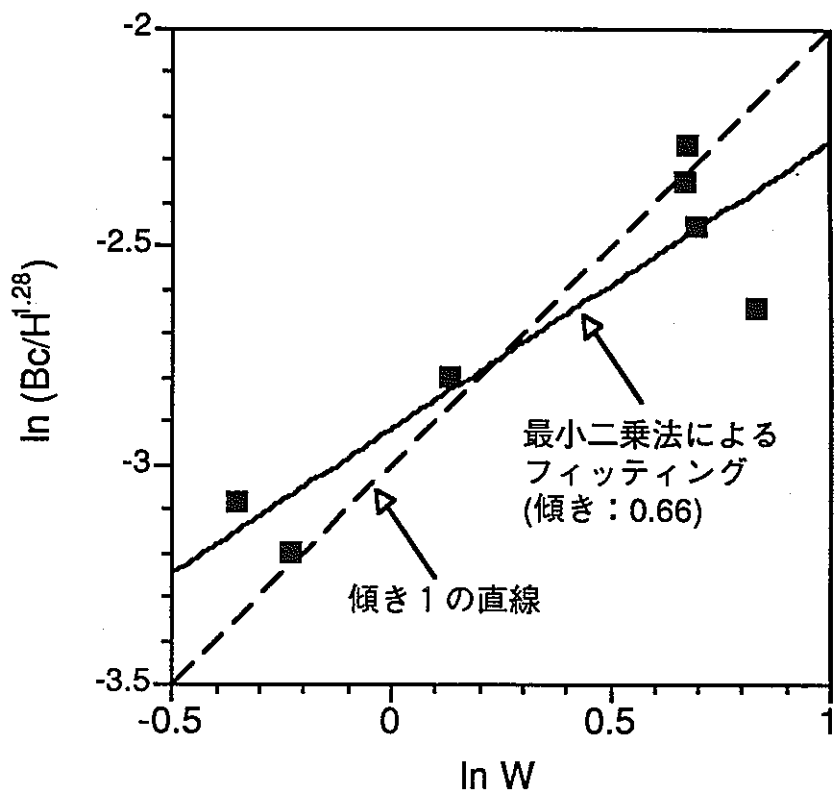
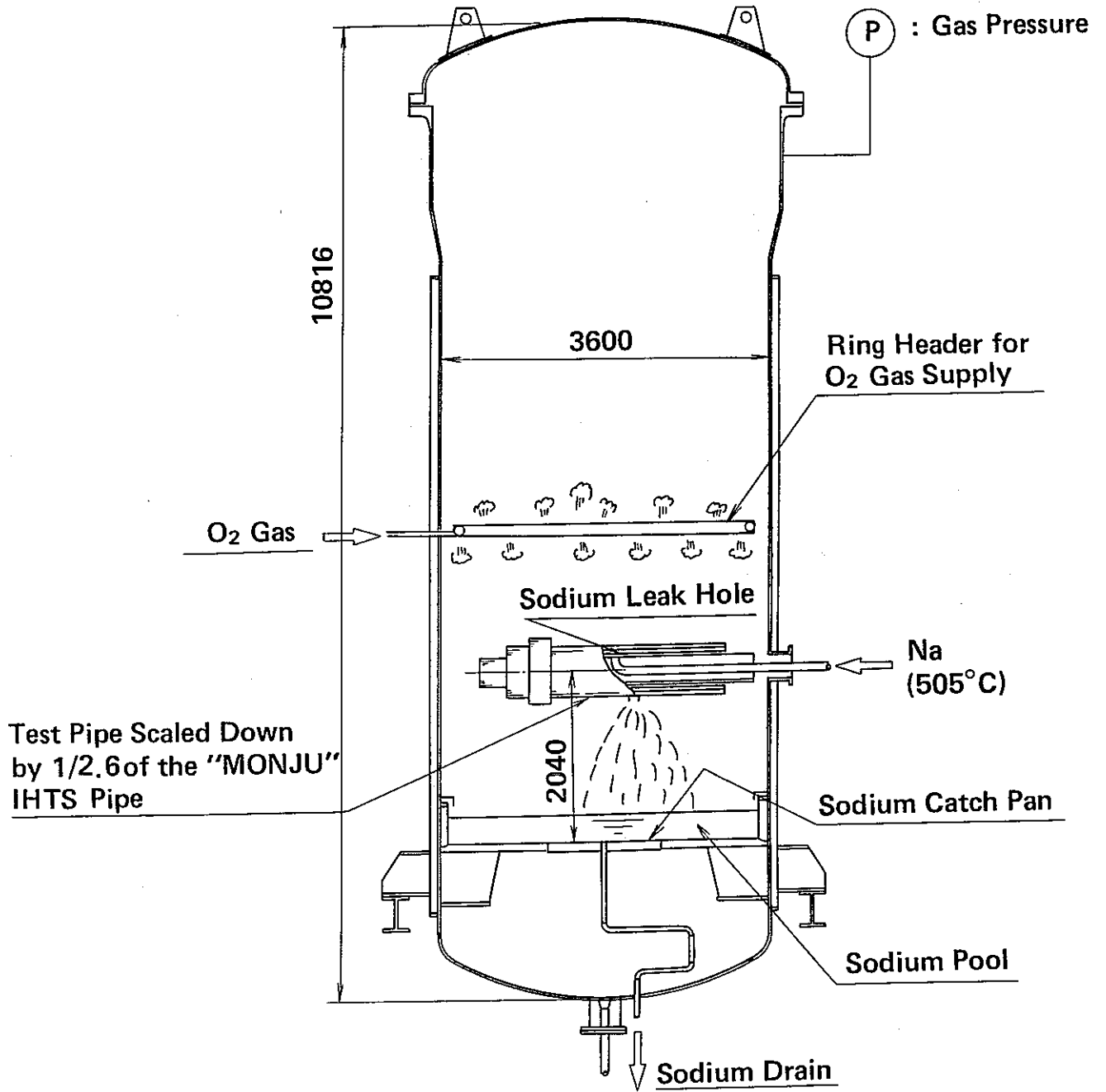


図13 棒状燃焼速度のNa漏洩流量に対する依存性

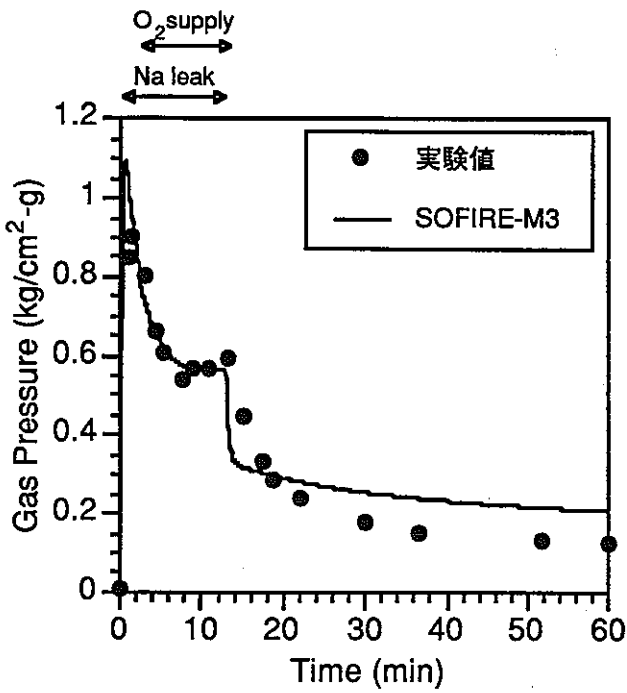


PNC SED AR85 040

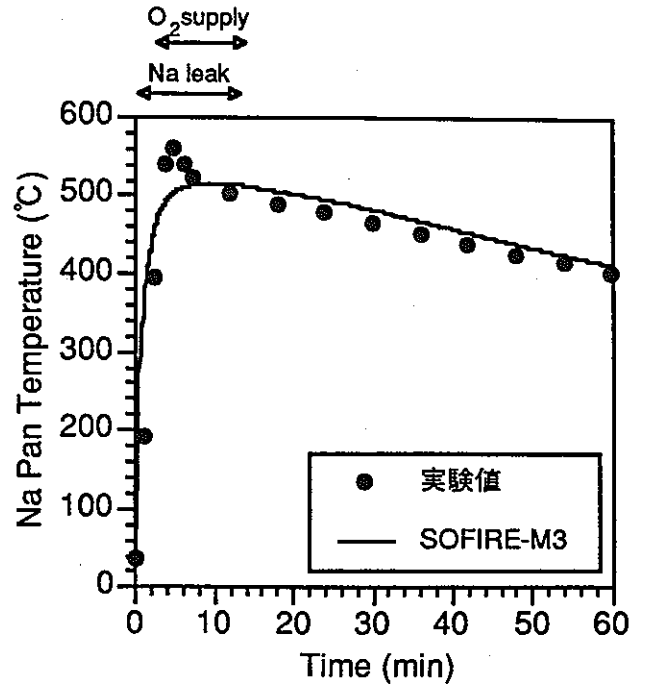
図14 Run-E2試験装置 (SOLFA-2)

Table 5 Test Conditions of Run-E2

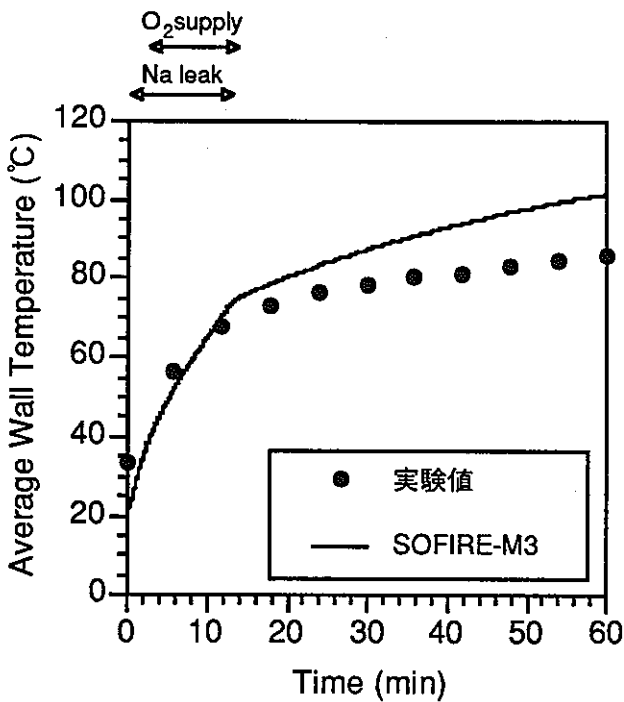
Na Temperature	505 °C
Na leak flow rate	3.1 kg/s (0 - 13 min)
Leaked mass	2400 kg
Leak duration	13 min.
Atmosphere	- Air - Room temperature - Confined - Oxygen supplied by 85.8 Nm³/hr (2.4 - 13.8 min)



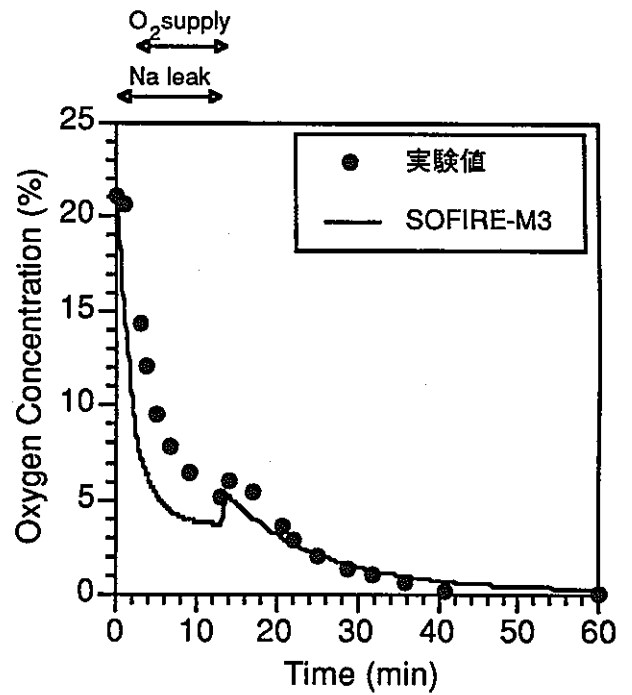
(a) ガス圧力



(b) Na受け皿平均温度

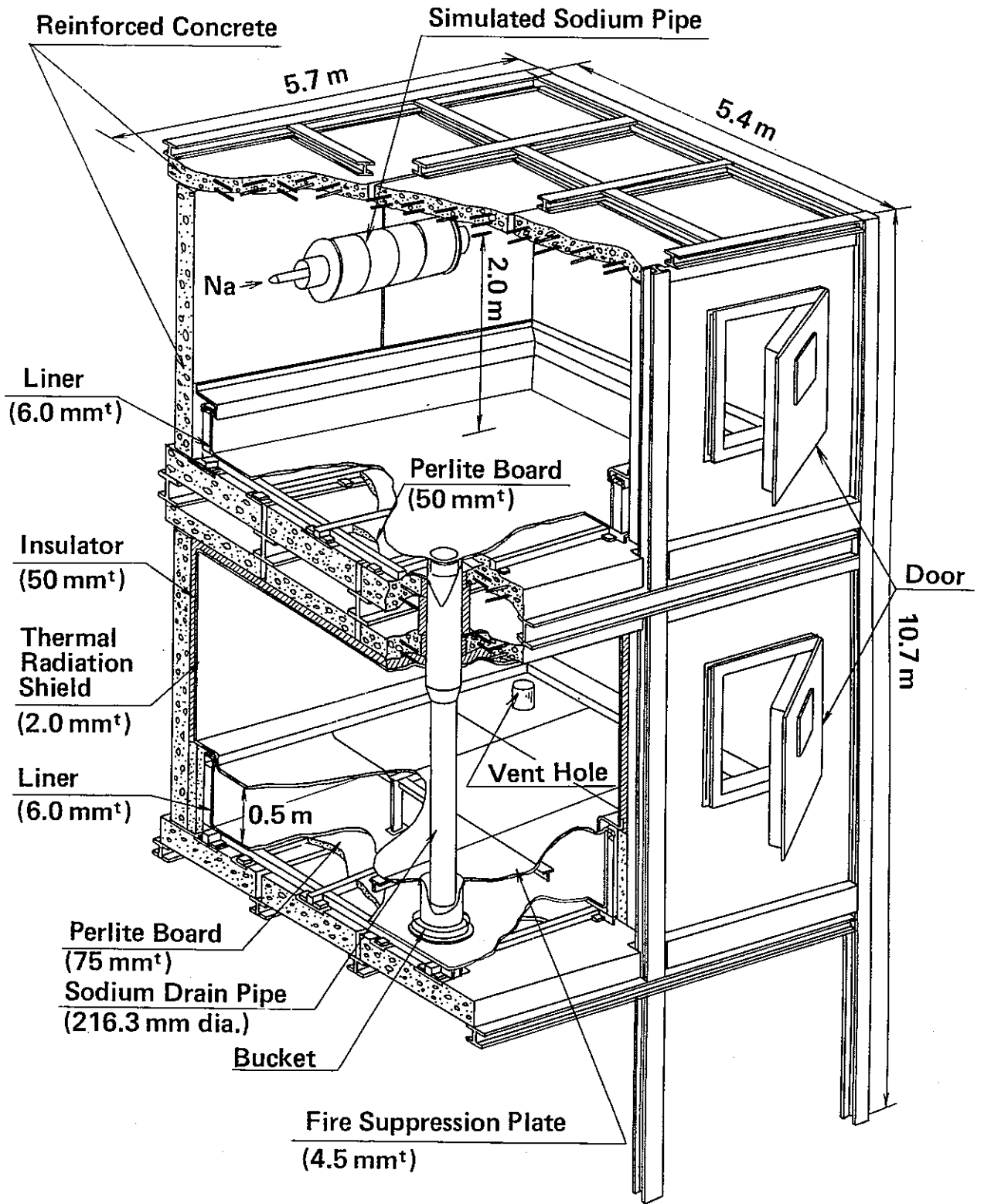


(c) 壁平均温度



(d) 酸素濃度


図15 Run-E2試験後解析結果



PNC SED AR85 042

図16 Run-D2試験装置鳥瞰図

Note for keys

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

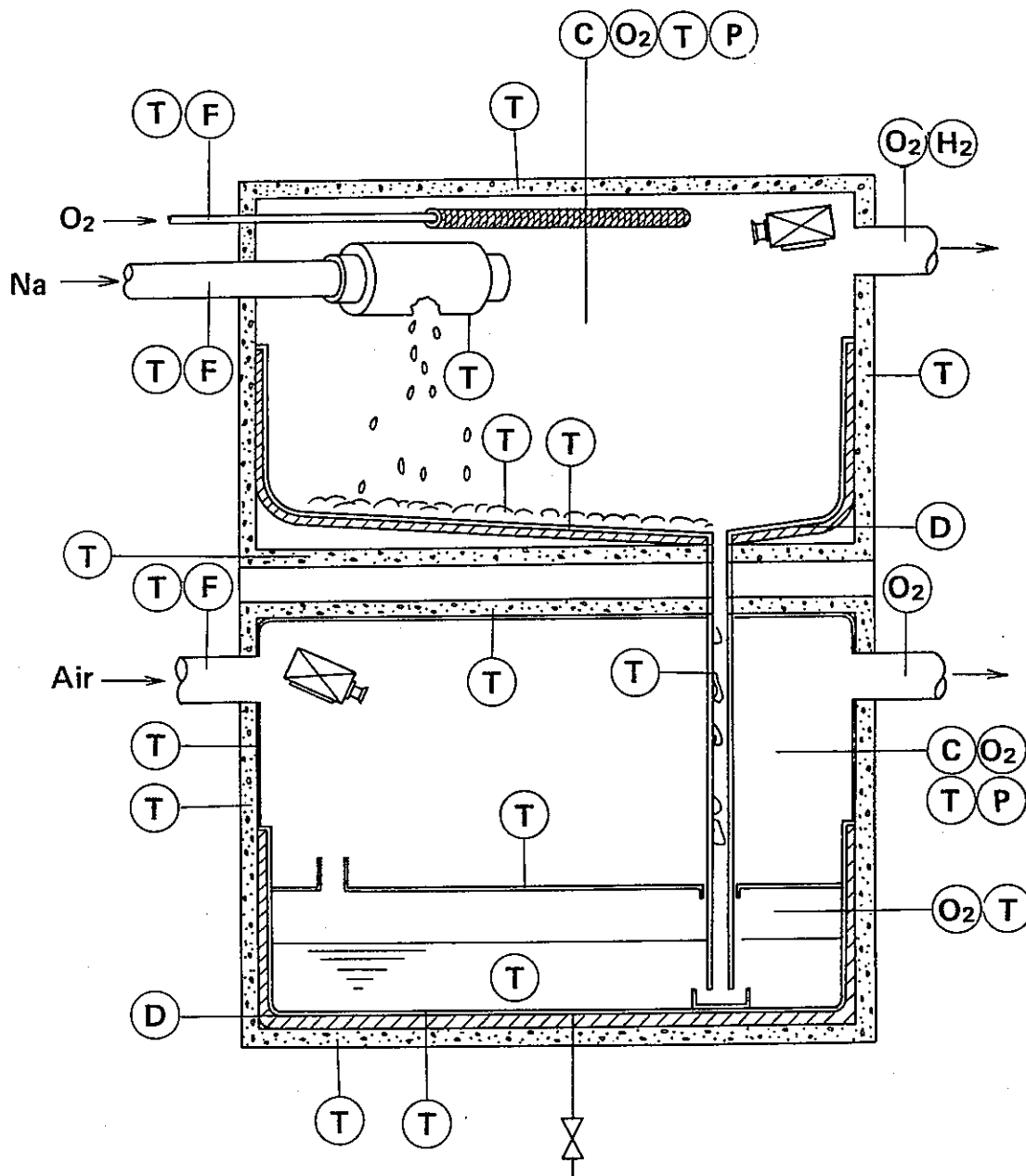
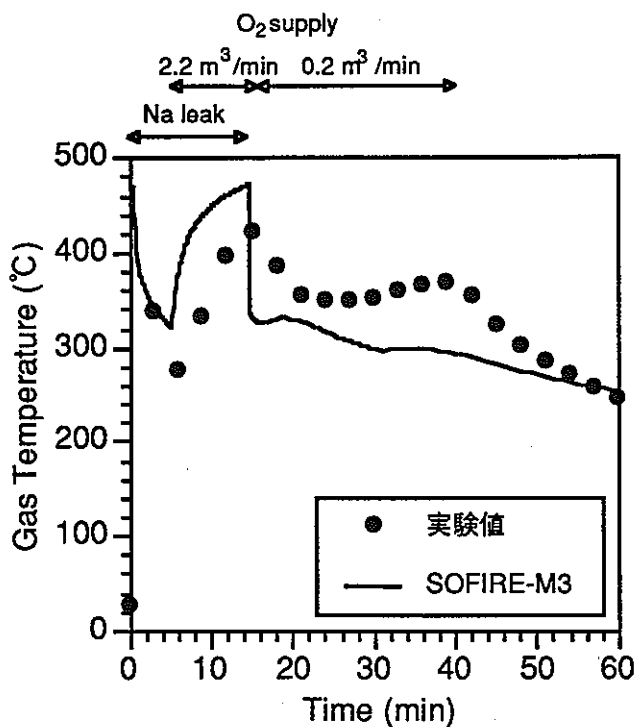


図17 Run-D2試験における測定項目

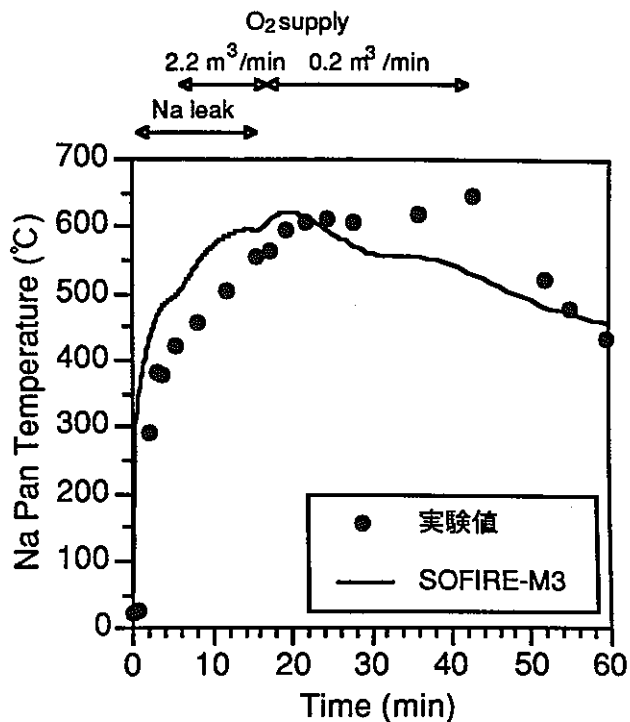
PSS-SFE-528

Table 6 Test Conditions of Run-D2

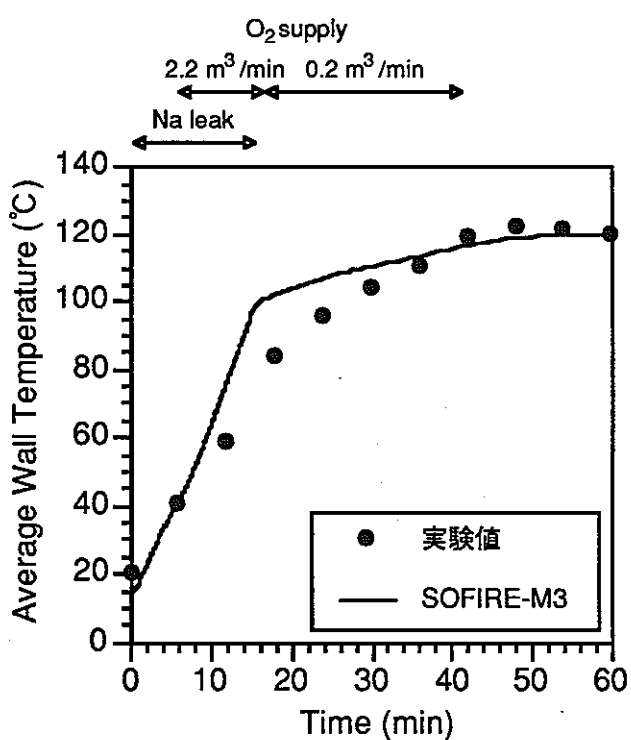
Na Temperature	505 °C
Na leak flow rate	3.2 kg/s (0 - 14.6 min)
Leaked mass	3000 kg
Leak duration	14.5 min.
Atmosphere	<ul style="list-style-type: none">- Air- Room temperature- Opened through exhaust pipe- Oxygen supplied by 132 Nm³/hr (5.0 - 17.4 min)- Oxygen supplied by 12 Nm³/hr (17.4 - 39.8 min)



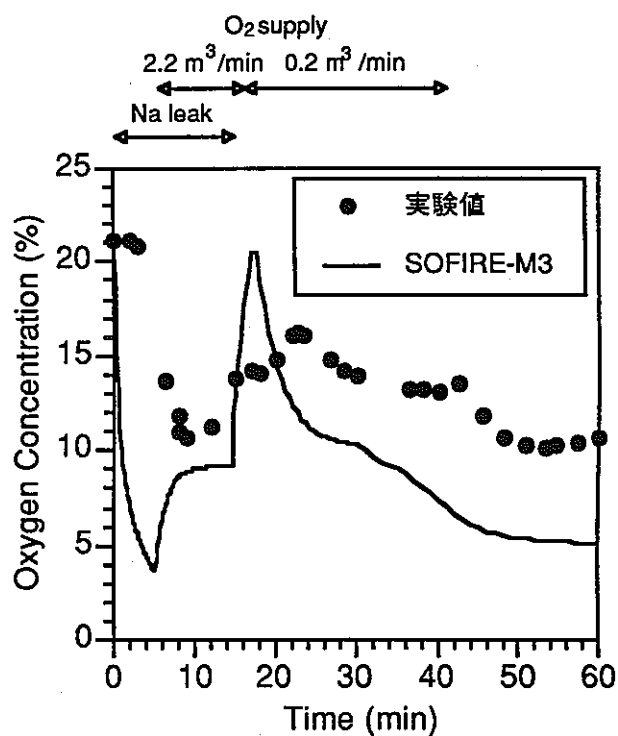
(a) ガス温度



(b) 床ライナ平均温度



(c) 壁コンクリート平均温度
(内表面から12mmの位置)



(d) 酸素濃度

図18 Run-D2試験後解析結果

付録 A :

Run-E3 試験後解析の入力データ例 (Run-E3-5 用)

		1NA	832.3	57.55	0.3015							00000010					
		2SUS	7820.	14.00	0.118							00000020					
		3SS	7830.	46.00	0.110							00000030					
		4INSU	130.	0.05	0.250							00000040					
1		50UHM	1210.	0.001	999.9							00000050					
		SOLFA-2	SODIUM FIRE RUN-E3 POST-TEST CALCULATION									00000080					
1			MIXED FIRE MODEL				SOLFA-2 VESSEL				DATE 900424	00000090					
	1	13	IND	OP1	OP2	KMX	KDD	NMX	IHT	ICL	IGM	IFP	IRT	IPU	IGF	00000100	
			0	0	1	1	5	2	0	0	0	0	0	0	0	1	00000110
	14	26	IPT	IGP	IGT	IGC	IWP									PLOT OPT	00000120
			-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	00000130
	32	40	ISV	ID1	ID2	ID3	ID4	ID5	ID6	ID7	ID8						00000140
			0	0	0	0	0	0	0	0	0						00000150
	41	46	M11	-2	-3	-4	-5	-6									00000160
			1	1	2	2	4	4									00000170
	47	50	HW1	HW2	HW3	HW4											00000180
			3	2	2	2											00000190
	67	68	HW1	HW2													00000180
			2	2													00000190
	87	90	HW1	HW2	HW3	HW4											00000200
			2	2	2	2											00000210
	1127	1129	IW1	IW2	IW3												00000340
			4	2	4												00000350
	1181	1183	IK1	IK2	IK3												00000360
1			-1	-1	-1												00000370
	1	4	TW01	-1			-2			-3						-4	00000420
			116.			42.			42.			41.					00000430
	21	22	TW01	-6			-7										00000440
			36.			37.											00000450
	41	44	TW03	-1			-2			-3						-4	00000460
			36.			36.			36.			35.					00000470
	1081	1084	DIS1	-1			-2			-3							00000680
			0.046			0.042			0.042			0.043					00000690
	1101	1102	DIS1	-6			-7										00000700
			0.009			0.009											00000710
	1121	1124	DIS3	-1			-2			-3						-4	00000720
			0.008			0.008			0.009			0.006					00000730
	2161	2161	GAPW	-1													00000940
			1.72														00000950
	2203	2203	GAPW	-7													00000940
			0.075														00000950
	3241	3243	AREW1	-1													00000960
			10.2			12.3			98.6								00000970
	3295	3295	FW1	-1													00001020
			0.58														00001030
	3337	3337	FW1	-7													00001020
			0.53														00001030
	9775	9779	T10	-1			-2			-3						-4	-500001040
			500.			500.			40.			40.			38.		00001050
	9780	9780	T10	-6													00001060
			38.														00001070
	9781	9785	DIS1	-1			-2			-3						-4	-500001080
			0.014			0.0			0.008			0.006			0.245		00001090
	9786	9786	DIS1	-6													00001100
			0.076														00001110
	9787	9791	ARE1	-1			-2			-3						-4	-500001120
			0.0			6.61			8.03			5.33			12.9		00001130
	9792	9792	ARE1	-6													00001140
			8.13														00001150
	9793	9797	AREF	-1			-2			-3						-4	-500001160
			0.0			6.61			0.0			5.33			0.0		00001170
	9798	9801	AREF	-6			-7			-8						-9	00001180
			0.0			0.0			12.3			98.6					00001190
	9803	9805	AREF	-11			-12			-13							00001200
			0.0			0.0			0.								00001210
	9813	9816	F1	-1			-2			-3						-4	00001220
			0.0			0.0			0.0			0.0					00001230
	9817	9817	F1	-6													00001240
			0.0														00001250
	9828	9828	F1	-11													00001260
			0.65														00001270
	9847	9847	F1	-16													00001280
			0.9														00001290
	9873	9873	F1	-21													00001300
			0.9														00001310
	9877	9877	F1	-26													00001320
			0.9														00001330
	9884	9884	F1	-31													00001340
			0.0833														00001350
	9885	9885	F1	-36													00001360
			0.14														00001370
	9887	9887	F1	-41													00001380
			0.14														00001390
	9891	9891	F1	-46													00001400

9892	9892	0.14							00001410
		F1 -51							00001420
		0.129							00001430
9897	9897	F1 -56							00001440
		0.0548							00001450
9898	9898	F1 -61							00001460
		8.09							00001470
9899	9899	F1 -66							00001480
		8.13							00001490
9900	9900	F1 -71							00001500
		3.52							00001510
9901	9901	F1 -76							00001520
		10.2							00001530
9902	9902	TCSTP							00001540
		4.11							00001550
9907	9907	H1 -6							00001560
		7.63							00001570
9910	9910	H1 -11							00001580
		0.023							00001590
9911	9911	AREC -1							00001600
		0.25							00001610
9912	9912	AREC -6							00001620
		0.0641							00001630
9916	9916	HCON -1							00001640
		55.8							00001650
9947	9948	DIS -1		-2					00001700
		0.00053	0.00053						00001710
9957	9958	ACLM		XLC					00001720
		0.0	3.285						00001730
9959	9959	S							00001740
		2.88							00001750
9960	9960	QC							00001760
		2261.							00001770
9961	9962	WNEW		TNEW					00001780
		7232.4		500.					00001790
9963	9966	CO2 -1		-2					00001800
		9.11	0.17		1.0		1.0		00001810
9967	9967	VOL -1							00001820
		1.050							00001830
9976	9976	VOL -1							00001820
		39.							00001830
9985	9985	VOL -1							00001820
		0.233							00001830
9994	9994	VOL -1							00001820
		109.							00001830
10243	10243	H -6							00001960
		0.14							00001970
10537	10537	GAM							00002200
		0.033							00002210
10538	10538	TATM							00002220
		1.176							00002230
10539	10539	DTMAX							00002240
		1.033							00002250
10540	10542	THAX	TSDSTP		PGMAX				00002260
		20.	0.233		0.				00002270
10543	10547	TIME0	DTIME		DTMAX		DTHIN	EMAX00002280	
		0.	2.E-8		1.		1.E-8	5.E-500002290	
10548	10549	EMIN	BETA						00002300
		1.E-5	0.75						00002310
10550	10550	TWMAX-5							00002320
		1.0							00002330
10552	10554	TOUT -1		-2					00002340
		2.	300.		40.				00002350
10555	10559	TOUT -6		-7					-1000002360
		300.	300.		300.		300.		00002370
10567	10571	TOUT-1		-2					-500002380
		0.100	0.500		1.0		2.0		00002390
10572	10576	TOUT-6		-7					-1000002400
		50.	100.		200.		1000.		00002410
10577	10581	DTOUT-1		-2					-500002400
		0.0005	0.01		0.02		0.1		00002410
10582	10586	DTOUT-6		-7					-1000002400
		2.5	5.0		10.		25.		00002410
10596	10598	VTIME1	VTIME2		VNTFR0				00002400
		0.	8.334E-02		62.4				00002410
10601	10605	RATGAS	RATNA		RATWL1		RATWL2	RATWL3	
		0.667	0.333		0.		0.	0.	
10606	10608	RATWL4	RATWL5		RATWL6				
		0.	0.		0.				

付録 B :

SOFIRE-M3 コード入力マニュアル (SOFIRE-MII からの変更点)

Na棒状燃焼モデルの組み込みおよびその他のコード整備に伴って発生した入力データ変更点を示す。

1. Na 棒状燃焼モデルに関する入力データ

Na 棒状燃焼の計算を行うためには、以下の入力データが必要である。

- 漏洩高さ (m) ----- XLC (実数データ No.9958) に入力する。コード内部では、この高さからの漏洩流の自由落下による床への衝突速度を計算して、棒状燃焼速度を求める。
- Na 漏洩流量 (kg/hr) ----- WNEW (実数データ No.9961) に入力する。
- 漏洩Na温度 (°C) ----- TNEW (実数データ No.9962) および T10 (1) (実数データ No.9775) に入力する。
- 漏洩終了時間 (hr) ----- TCSTOP (実数データ No.9884) に入力する。
- 棒状燃焼熱の分配割合 ----- 燃焼熱の各部への分配割合を入力する(下表参照)。ただし、セル1のみを対象とする。いずれかに負の値またはすべてに0を指定すると推奨値が与えられる。

実数データNo.	変数名	棒状燃焼熱の分配部位 (セル1)	
10601	RATGAS	ガス	推奨値 0.667
10602	RATNA	ナトリウム	推奨値 0.333
10603	RATWL1	床	推奨値 0.0
10604	RATWL2	天井	推奨値 0.0
10605	RATWL3	壁 (E)	推奨値 0.0
10606	RATWL4	壁 (W)	推奨値 0.0
10607	RATWL5	壁 (S)	推奨値 0.0
10608	RATWL6	壁 (N)	推奨値 0.0

注) 上記 10601～10608 のデータを指定する場合には、すべての和が 1.0 となるようにすること。1.0 にならない場合には warning が出力される。

また、以下のデータについては、すべて入力不要である(プログラムの都合上、0.0 と入力する必要がある)。

- AREAF (1) (実数データ No.9793)
- UC (実数データ No.9805)

- F1 (1)~F1 (12) (実数データ No.9806~9817)
- ACLM (実数データ No.9957)
- RCLM (実数データ No.9966)

一方、以下のデータについては計算では不要であるが、プログラムの都合上 0.0 以外の値を入力する必要がある。

- DIS1 (1) (実数データ No.9781)

2. その他の入力データ

- (1) 時間積分法選択オプションIND (整数データ No.1) は、予測子-修正子法の使用に限る。
(IND=0 or 2)
- (2) ISVENT (整数データ No.32) =1 とすることにより、Na プールからの Na 流出を考慮することが可能である。この場合、棒状漏洩によるプールへの流入と同じ流量で体系外へ流出するという扱いとなり、Na プールの深さは初期値のまま変動しない。
(ただし、IDUM1 (整数データ No.33) を指定すればプール燃焼分が減少する)
- (3) セル 1 への酸素注入および換気 (大気とセル内ガスの交換) を扱うことが可能である。
入力法を下表に示す。

実数データNo.	変数名	意味	単位
10596	VTIME1	酸素注入開始時刻	hr
10597	VTIME2	酸素注入開始時刻	hr
10598	VNTFRO	酸素注入量	回/day
10599	VTIME3	換気開始時刻	hr
10600	VNTFRA	換気量	回/day

(4) 酸素濃度に応じた Na₂O₂ 生成比を指定可能である。指定法を以下に示す。

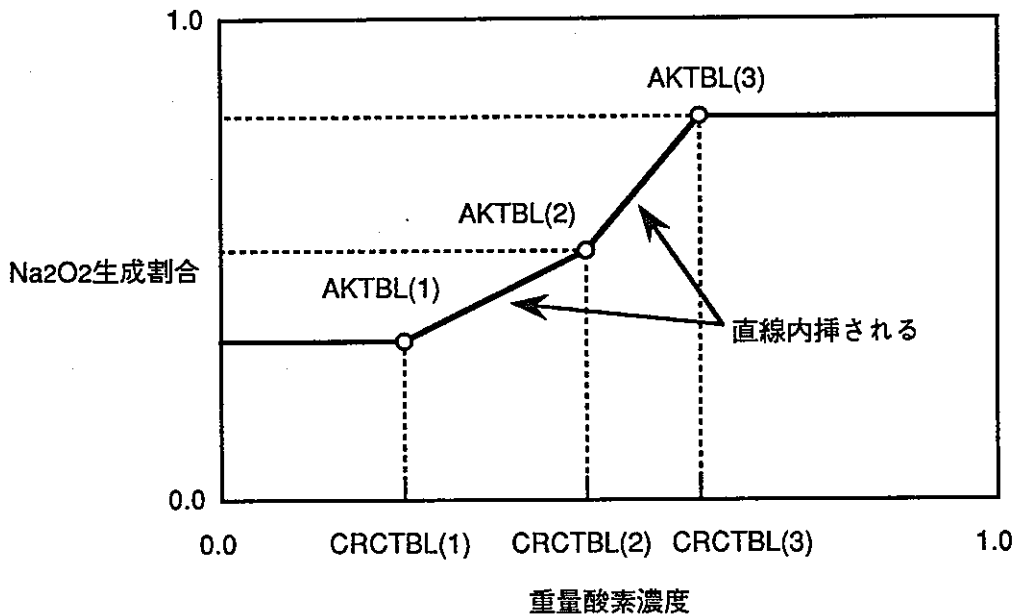
必要組数	FORMAT	変数名	概要
1	12X, 15A4	TITLE	任意のSTRING (70文字以下)
	12X, I4	NRCTBL	テーブル点数 (20以下) 注1参照
NRCTBL/5	12X, 15A4	TITLE	任意のSTRING (70文字以下)
	12X, 5E12.5	CRCTBL (I)	酸素濃度テーブル 注2参照 (mass fraction) NRCTBL 個入力
NRCTBL/5	12X, 15A4	TITLE	任意のSTRING (70文字以下)
	12X, 5E12.5	AKTBL (I)	Na ₂ O ₂ 生成割合テーブル NRCTBL 個入力

注1) - NRCTBL=0 の場合は、Na₂O₂ 生成割合は K (実数データ No.9959) が有効となる。

- NRCTBL≠0 の場合は、K (実数データ No.9959) は無効となる。

- NRCTBL を用いる場合は、最低2点の入力が必要であり、酸素濃度が CRCTBL (I) 以下の場合には Na₂O₂ 生成割合は AKTBL (I)、CRCTBL (NRCTBL) 以上の場合には Na₂O₂ 生成割合は AKTBL (NRCTBL) として計算される (下図参照)。

注2) - CRCTBL (I) (I=1, NRCTBL) は小さい順に並べること。



付録 C :

Run-E2 試験後解析の入力データ

1NA	831.1	55.94	0.3008
2SUS	7820.	14.	0.118
3ROCF	100.	0.047	0.24
4SS41	7830.	46.	0.11

+ SOLFA-2 POST-CALCULATION (SOFIRE-M3) +
+ RUN-E2 PNC-OEC-PSS 11/06/92 +

```

1
1 14 IND OP1 OP2 KNX MMX NMX IHT ICL IGM IFP IRE IPH IGF IPL
  0 999 1 2 0 5 0 0 0 0 0 0 0 1 0
32 40 ISV ID1 ID2 ID3 ID4 ID5 ID6 ID7 ID8
  0 0 1 0 0 0 1 0 0
41 46 H11 -2 -3 -4 -5 -6
  1 1 4 4 4 4
47 48 H11 -2
  4 4
67 68 M21 -2
  2 3
87 89 M31 -2 -3
  2 4 3
167 168 H11 -2
  2 3
187 188 M21 -2
  4 4
207 208 M31 -2
  2 3
1127 1129 IW1 -2 -3
  2 2 3
1133 1135 IW1 -2 -3
  2 2 2
1181 1183 IK1 -2 -3
  2 10 10
1187 1189 IK1 -2 -3
  10 1 10
1 2 TWO(1,1,1) TWO(2,1,1)
  22. 22.
21 22 TWO(1,2,1) TWO(2,2,1)
  22. 22.
41 43 TWO(1,3,1) TWO(2,3,1) TWO(3,3,1)
  22. 22. 22.
121 122 TWO(1,1,2) TWO(2,1,2)
  22. 22.
141 142 TWO(1,2,2) TWO(2,2,2)
  22. 22.
161 162 TWO(1,3,2) TWO(2,3,2)
  22. 22.
1081 1082 DISW(1,1,1) DISW(2,1,1)
  0.001 0.001
1101 1102 DISW(1,2,1) DISW(2,2,1)
  0.025 0.080
1121 1123 DISW(1,3,1) DISW(2,3,1) DISW(3,3,1)
  0.025 0.006 0.025
1201 1202 DISW(1,1,2) DISW(2,1,2)
  0.025 0.080
1221 1222 DISW(1,2,2) DISW(2,2,2)
  0.001 0.001
1241 1242 DISW(1,3,2) DISW(2,3,2)
  0.025 0.025
2201 2201 GAPW(1,3,1)
  0.075
3241 3243 AREAW(1,1) AREAW(2,1) AREAW(3,1)
  10.2 9.85E-05 112.97
3247 3249 AREAW(1,2) AREAW(2,2) AREAW(3,2)
  10.18 10.2 11.32
3335 3335 FW(1,3,1)
  0.53
9775 9779 T10(1) T10(2) T10(3) T10(4) T10(5)
  505. 505. 22. 22. 22.
9780 9780 T10(6)
  22.
9783 9786 DIS1(3) DIS1(4) DIS1(5) DIS1(6)
  0.003 0.003 0.003 0.003
9788 9792 AREA1(2) AREA1(3) AREA1(4) AREA1(5) AREA1(6)
  9.08 9.11 3.04 9.14 3.05
9794 9798 AREAF(2) AREAF(3) AREAF(4) AREAF(5) AREAF(6)
  9.08 0. 3.076 1.769 3.087
9799 9801 AREAF(7) AREAF(8) AREAF(9)
  1.035 9.85E-05 112.97
9828 9828 F1-23
  0.65
9847 9847 F1-42
  0.73
9862 9862 F1-57
  
```

		0.73					
9868	9868	F1-63					
		0.73					
9873	9873	F1-68					
		0.73					
9877	9877	F1-72					
		0.73					
9884	9884	TCSTOP					
		2.167E-01					
9885	9885	H1 -2					
		0.14					
9887	9887	H1 -4					
		0.129					
9889	9889	H1 -6					
		0.129					
9891	9892	H1 -8	H1 -9				
		0.129	0.129				
9896	9900	AREAC(1)	AREAC(2)	AREAC(3)	AREAC(4)	AREAC(5)	
		0.	0.032	9.11	3.05	0.032	
9901	9905	AREAC(6)	AREAC(7)	AREAC(8)	AREAC(9)	AREAC(10)	
		9.14	0.	0.	0.	0.	
9906	9910	HCON -1	HCON -2	HCON -3	HCON -4	HCON -5	
		0.	205.8	0.	0.	204.4	
9911	9915	HCON -6	HCON -7	HCON -8	HCON -9	HCON-10	
		23000.	0.	0.	0.	0.	
9916	9916	HCON S					
		32.87					
9947	9951	DISNO(1)	DISNO(2)	DISNO(3)	DISNO(4)	DISNO(5)	
		0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	
9958	9962	XLC	S	QC	WNEW	TNEW	
		1.853	2.054	2398.	1.116E+04	505.	
9963	9965	XLN	CVGS	RPL			
		10.68	0.17	1.			
9967	9968	PGS -1	PGS -2				
		1.033	1.033				
9976	9977	TGS -1	TGS -2				
		22.	22.				
9985	9986	CO2 -1	CO2 -2				
		0.233	0.233				
9994	9995	VOL -1	VOL -2				
		95.5	15.5				
10069	10070	F(1,2)	F(2,2)				
		0.112	0.112				
10075	10075	F(7,2)					
		0.112					
10237	10239	H1 -1	H1 -2	H1 -3			
		0.14	0.14	0.129			
10243	10243	HWA					
		0.129					
10445	10445	PD(1,2)					
		1.					
10490	10490	RL(1,2)					
		100.					
10537	10541	RAHN2	RHOA	PATH	TATH	CO2A	
		0.033	1.057	1.033	22.	0.233	
10543	10547	TIHED	DTIME	DTMAX	DTMIN	EMAX	
		0.	1.E-05	1.	1.E-06	1.E-05	
10548	10550	EHIN	BETA	TMAX			
		1.E-06	0.75	1.			
10567	10571	TOUT(1)	TOUT(2)	TOUT(3)	TOUT(4)	TOUT(5)	
		0.25	1.	3.	4.	5.	
10572	10576	TOUT(6)	TOUT(7)	TOUT(8)	TOUT(9)	TOUT(10)	
		6.	7.	8.	9.	10.	
10577	10581	DTOUT(1)	DTOUT(2)	DTOUT(3)	DTOUT(4)	DTOUT(5)	
		1.667E-03	6.667E-03	1.6670-02	1.667E-02	1.667E-02	
10582	10586	DTOUT(6)	DTOUT(7)	DTOUT(8)	DTOUT(9)	DTOUT(10)	
		1.667E-02	1.667E-02	1.6670-02	1.667E-02	1.667E-02	
10596	10598	VTIME1	VTIME2	VNTFRO			
		0.04	0.23	21.6			
10601	10605	RATGAS	RATNA	RATWL1	RATWL2	RATWL3	
		0.667	0.333	0.	0.	0.	
10606	10608	RATWL4	RATWL5	RATWL6			
		0.	0.	0.			

付録 D :

Run-D2 試験後解析の入力データ

1	NA	837.	58.27	0.302	:	SODIUM
	2SSUS	7830.	46.00	0.110	:	BURNING PAN
	3ROCK	100.	0.031	0.24	:	INSULATION
	4PCON	667.	0.151	0.173	:	INSULATION
1	5SCON	2350.	1.80	0.30	:	CONCRETE

+ SOLFA RUN-D2 POST-CALCULATION (SOFIRE-H3) +
+ PNC-DEC-PSS 11/06/92 +

1

1	13	IND	OP1	OP2	KNX	NMX	NMX	IHT	ICL	IGH	IFP	IRE	IPN	IGF
	0	0	1	1	1	5	2	0	0	0	0	0	0	1
14	23	IPT	IGP		I-T		IGC		IWP					
	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1			
27	29	IWP												
	0	1	1											
32	40	ISV	ID1	ID2	ID3	IDA	ID5	ID6	ID7	ID8				
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
41	46	M1	M2	M3	M4	M5	M6							
	1	1	2	2	4	4								
47	52	HW1	HW2	HW3	HW4	HW5	HW6							
	5	5	5	5	5	5	5							
67	72	HW1	HW2	HW3	HW4	HW5	HW6							
	5	5	5	5	5	5	5							
87	91	HW1	HW2	HW3	HW4	HW5								
	5	5	5	5	5	5								
1127	1129	IW1	IW2	IW3										
	6	6	5											
1181	1183	IK1	IK2	IK3										
	10	10	10											
1	1	5	TWO(1,1,1)		TWO(2,1,1)		TWO(3,1,1)		TWO(4,1,1)		TWO(5,1,1)			
			7.0		6.2		5.3		5.3		5.3			
	6	6	TWO(6,1,1)											
			5.3											
	21	25	TWO(1,2,1)		TWO(2,2,1)		TWO(3,2,1)		TWO(4,2,1)		TWO(5,2,1)			
			17.		14.5		16.9		14.9		13.7			
	26	26	TWO(6,2,1)											
			13.7											
	41	45	TWO(1,3,1)		TWO(2,3,1)		TWO(3,3,1)		TWO(4,3,1)		TWO(5,3,1)			
			17.		15.		16.		16.		16.			
1081	1085	DISW(1,1,1)		DISW(2,1,1)		DISW(3,1,1)		DISW(4,1,1)		DISW(5,1,1)				
			0.0060		0.0185		0.0250		0.0505		0.1000			
1086	1086	DISW(6,1,1)												
			0.1000											
1101	1105	DISW(1,2,1)		DISW(2,2,1)		DISW(3,2,1)		DISW(4,2,1)		DISW(5,2,1)				
			0.0060		0.0125		0.0190		0.0375		0.0500			
1106	1106	DISW(6,2,1)												
			0.0750											
1121	1125	DISW(1,3,1)		DISW(2,3,1)		DISW(3,3,1)		DISW(4,3,1)		DISW(5,3,1)				
			0.0060		0.0185		0.0250		0.0505		0.1000			
3241	3243	AREAW(1,1)		AREAW(2,1)		AREAW(3,1)								
			23.60		23.6		55.98							
9775	9779	T10(1)		T10(2)		T10(3)		T10(4)		T10(5)				
			505.		505.		17.		17.		10.			
9780	9780	T10(6)												
			10.											
9781	9785	DIS1(1)		DIS1(2)		DIS1(3)		DIS1(4)		DIS1(5)				
			0.		0.	0.0060		0.0060		0.050				
9786	9786	DIS1(6)												
			0.050											
9787	9791	AREA1(1)		AREA1(2)		AREA1(3)		AREA1(4)		AREA1(5)				
			0.		19.76		20.12		6.32		23.60			
9792	9792	AREA1(6)												
			0.											
9793	9797	AREAF(1)		AREAF(2)		AREAF(3)		AREAF(4)		AREAF(5)				
			0.		19.76		0.3558		12.64		3.73			
9798	9801	AREAF(6)		AREAF(7)		AREAF(8)		AREAF(9)						
			0.		0.		23.6		55.98					
9828	9828	F1(23)												
			0.65											
9838	9838	F1(33)												
			0.73											
9847	9847	F1(42)												
			0.73											
9855	9855	F1(50)												
			0.73											
9873	9873	F1(68)												
			0.73											
9877	9877	F1(72)												
			0.73											
9884	9884	TCSTOP												
			0.243											
9885	9885	H1(2)												
			0.14											

9886	9886	H1(3)					
		0.129					
9887	9887	H1(4)					
		0.129					
9888	9888	H1(5)					
		0.0126					
9891	9891	H1(8)					
		0.14					
9892	9892	H1(9)					
		0.129					
9897	9897	AREAC(2)					
		0.107					
9898	9898	AREAC(3)					
		19.87					
9901	9901	AREAC(6)					
		23.60					
9907	9907	HCON1(2)					
		241.5					
9911	9911	HCON1(6)					
		5.98					
9916	9916	HCONS					
		25.3					
9947	9948	DISNO(1)	DISNO(2)				
		0.010	0.010				
9957	9961	ACLM	XLC	S	QC	WNEW	
		0.0	1.813	2.054	2398.	11592.	
9962	9965	TNEW	XLN	CVGAS	RPOOL		
		505.	17.79	0.17	1.0		
9967	9967	PGASO(1)					
		1.02933					
9976	9976	TGASO(1)					
		20.					
9985	9985	CO20(1)					
		0.233					
9994	9994	VOL(1)					
		65.91					
10243	10243	HWA					
		0.14					
10453	10453	PD(1,A)					
		0.01018					
10498	10498	RL(1,A)					
		6112.					
10537	10537	RAHN2					
		0.033					
10538	10538	RHOA					
		1.2875					
10539	10539	PATH					
		1.033					
10540	10542	TATH	CO2A	CFPA			
		16.	0.233	0.			
10543	10547	TIME0	DTIME	DTHAX	DTHIN	EMAX	
		0.	1.E-6	1.	1.E-6	5.E-4	
10548	10549	EHIN	BETA				
		2.E-6	0.75				
10550	10550	THAX					
		1.					
10552	10554	PGMAX	TGMAX	CO2MAX			
		2.	500.	40.			
10555	10557	TWMAX(1,1)	TWMAX(2,1)	TWMAX(3,1)			
		300.	300.	300.			
10561	10563	TWMAX(1,2)	TWMAX(2,2)	TWMAX(3,2)			
		300.	300.	300.			
10567	10571	TOUT(1)	TOUT(2)	TOUT(3)	TOUT(4)	TOUT(5)	
		0.25	0.5	1.0	5.00	10.00	
10572	10575	TOUT(6)	TOUT(7)	TOUT(8)	TOUT(9)		
		50.00	100.00	200.00	1000.00		
10577	10581	DTOUT(1)	DTOUT(2)	DTOUT(3)	DTOUT(4)	DTOUT(5)	
		2.778E-03	8.333E-03	1.667E-02	0.020	0.100	
10582	10585	DTOUT(6)	DTOUT(7)	DTOUT(8)	DTOUT(9)		
		0.200	1.000	2.000	5.000		
10596	10598	VTIME1	VTIME2	VNTFRD			
		0.08361	0.28944	48.07			
10601	10605	RATGAS	RATNA	RATWL1	RATWL2	RATWL3	
		0.667	0.333	0.	0.	0.	
10606	10608	RATWL4	RATWL5	RATWL6			
		0.	0.	0.			
1							
		NA202	RATIO				
		2					
		O2	CONCENTRATION				
		0.1126	0.1127				
		NA202	CONCENTRATION				
		0.	0.4				