

JAERI-M
90-140

NSRR高速炉燃料実験における
燃料の温度挙動の予測

1990年9月

中村 武彦・傍島 眞・細山田龍二*

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の問合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこみください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費領布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokaimura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1990

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 ニッセイエプロ株式会社

NSRR 高速炉燃料実験における
燃料の温度挙動の予測

日本原子力研究所東海研究所燃料安全工学部

中村 武彦・傍島 眞・細山田龍二*

(1990年8月2日受理)

原研では、NSRRを用いたナトリウム冷却条件での高速炉燃料の破損実験を計画し、実験に必要なナトリウムカプセル・ループといった実験物およびその取扱い設備の設計を進めている。これと並行して、実験物を合理的に設計し、実験を効果的に進めるために、NSRR照射条件下での実験燃料の発熱量や温度挙動を予測評価するための計算を行っている。既報の発熱解析の結果に基づいて伝熱計算を行い、予測された実験燃料の温度挙動を本報にまとめた。解析の結果、ナトリウム冷却条件では、被覆管の温度は燃料が溶融する過渡過出力(TOP)条件において低く保たれており、燃料の破損は、内圧バースト、PCMI、あるいは溶融燃料の移動に伴う被覆管の部分溶融による溶融燃料の噴出によって生じるものと考えられ、水冷却条件での被覆管溶融破損とは破損のメカニズムが異なるであろうことが示された。また、最大パルス条件ではNSRR照射によって軸方向の発熱ピークにおいては、燃料のほとんどが溶融するであろうことが示された。また、本計算に当り、軽水炉燃料のNSRR実験条件下での温度挙動を解析する計算コードNSR77を高速炉燃料挙動解析用に改造した。改造を行った箇所については伝熱モデルを中心に、併せて説明する。

Prediction of Thermal Behavior of FBR Fuel
in the NSRR Transient Tests

Takehiko NAKAMURA, Makoto SOBAJIMA and Ryuji HOSOYAMADA*

Department of Fuel Safety Research
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received August 2, 1990)

For the NSRR FBR fuel failure test program in Japan Atomic Energy Research Institute sodium capsules, loops and fuel handling facilities are being designed. Predictive calculations of fuel energy and thermal behavior of the test fuels in the NSRR transient test have been performed in order to design the test rigs rationally and to make a meaningful test plan. By using the results of fuel energy estimation which were previously reported, heat transfer calculations were performed for test fuels. The predicted transient thermal behavior of the test fuel is presented in this report.

Under sodium cooling conditions, cladding was estimated to be solid even in the Transient Over Power (TOP) conditions in which a large fraction of fuel was melted. This implies that the major failure mechanism will be clad burst caused by pressure increase and PCMI, or partial clad melt caused by the attack by the melted and relocated fuel rather than the overall clad melting which is dominant under water cooling conditions. For these calculations, the NSR77 code which had originally been developed for evaluation of LWR test fuel behavior in the NSRR test, was partly modified for the FBR fuel test calculations. Changes made for the thermal calculation model such as heat transfer between stainless cladding and sodium, are also summarized.

Keywords: FBR, Fuel Failure, TOP, LOF, Impile Test, Sodium, NSRR

* Customer Engineers Co.

目 次

1. 序 言	1
2. NSR77 コードの改造	1
2.1 Na熱伝達式の導入	2
2.2 検証計算	5
3. NSRR実験の予測計算	6
3.1 計算条件	6
3.2 細径燃料の挙動	7
3.3 太径燃料の挙動	9
4. 考 察	11
4.1 水冷却条件との比較	11
4.2 半径方向発熱分布の効果	11
4.3 緩やかな過出力条件での燃料挙動	12
5. 結 論	13
謝 辞	13
付録A NSR77-FBR版で使用了た物性値	148
付録B NSR77-FBR版入力説明	164
参考文献	14

Contents

1. Introduction	i
2. Modification of NSR77 Code	1
2.1 Heat Transfer Correlations for Sodium	2
2.2 Verification Calculations	5
3. Prediction of the NSRR Sodium Test	6
3.1 Calculation Conditions	6
3.2 Predicted Behavior of Thin Fuel	7
3.3 Predicted Behavior of Thick Fuel	9
4. Discussion	11
4.1 Comparison with Sodium and Water Cooling Conditions	11
4.2 Radial Power Distribution Effect	11
4.3 Slow TOP Behavior	12
5. Conclusion	13
Acknowledgements	13
Appendix A Material Properties used in NSR77-FBR Version	148
Appendix B NSR77-FBR Version Input Description	164

1. 序 言

原研NSRRでは、未照射LWR燃料実験、照射済LWR燃料実験に続き、第3期計画として、FBR燃料のナトリウム(Na)冷却条件での実験を計画している¹⁾。実験に必要な炉内照射用Naカプセル及びループ、さらにNaや燃料の取扱施設の設計を進める一方、水冷却条件やガス雰囲気での予備実験を行っている。また、Naカプセルやループといった新しい実験物を使用した場合のFBR燃料の発熱量の予測計算を行い、濃縮度や燃料直径といった燃料パラメータや減速材厚さ等の実験物の構造が発熱量や発熱分布にどう影響を与えるかを評価した²⁾。こうして得られた発熱条件を入力として、予想されるNSRR実験条件下での実験燃料の挙動をNSRR実験解析用伝熱コードNSR77を用いて評価した。本報はこのスコーピング計算結果のまとめであり、NSRR実験で予定している代表的な実験条件での燃料挙動の予測結果を示す。

高速炉燃料実験は停滞Na条件となるNaカプセル(図1参照)、および流動Na条件を達成するNaループ(図2参照)の2種の実験物をNSRR炉心中央の実験孔に装荷し、中性子照射する事によって実施する。NSRRは図3に示すとおり300kwまでの定出力運転のほか、パルス半値幅数msecといった速い過出力(TOP)事故に対応する最高出力23,000MW、積分出力130MWsまでの単一パルス運転並びに、より高い出力域での一定出力あるいはゆるやかな出力変動を模擬できる台形パルス運転が可能であり、この場合には最高炉出力10MW、積分出力110MWsの制限条件内での出力変動運転が可能である。台形パルス運転により、太径燃料の場合線出力800W/cm程度が達成できることが、発熱量評価解析²⁾によって示されている。Naループを使った実験ではこの運転とナトリウム流量変化を重ね合わせる事により流量喪失(LOF)事故を模擬した条件が得られる。また台形パルスと単一パルスを重ね合わせた合成パルス運転により、定出力運転状態からのTOPを模擬する事が可能である。ただし定出力部の時間は、積分出力あるいは炉心の余剰反応度の制約から数秒程度に制限されるものと予想される。なお、単一パルス運転では燃料の種類に依るが、実験燃料1g当り2kJ程度の発熱量を与える事が可能と予想されている²⁾。

炉心の概略構成を図4に示す。中性子照射前の実験初期状態は実験物の設計目標であるNa最高温度600℃、最大流速5m/s(ループの場合)として予測計算を行った。

2. NSR77コードの改造

NSRRで従来行って来ている軽水炉燃料実験の燃料挙動を解析する計算コードにNSR77³⁾がある。同コードは、ジルカロイ被覆UO₂燃料の水冷却条件での温度挙動を評価するもので、単一パルス運転による速い過出力(TOP)条件を対象としている。Na冷却条件での高速炉燃料の挙動を評価するに当たっては、被覆管からNaへの熱伝達の式を整備したほか、ステンレス鋼被覆材や混合酸化物(MOX)燃料に対応するための改造を行った。本章では主要な変更箇所と検証の

1. 序 言

原研NSRRでは、未照射LWR燃料実験、照射済LWR燃料実験に続き、第3期計画として、FBR燃料のナトリウム(Na)冷却条件での実験を計画している¹⁾。実験に必要な炉内照射用Naカプセル及びループ、さらにNaや燃料の取扱施設の設計を進める一方、水冷却条件やガス雰囲気での予備実験を行っている。また、Naカプセルやループといった新しい実験物を使用した場合のFBR燃料の発熱量の予測計算を行い、濃縮度や燃料直径といった燃料パラメータや減速材厚さ等の実験物の構造が発熱量や発熱分布にどう影響を与えるかを評価した²⁾。こうして得られた発熱条件を入力として、予想されるNSRR実験条件下での実験燃料の挙動をNSRR実験解析用伝熱コードNSR77を用いて評価した。本報はこのスコーピング計算結果のまとめであり、NSRR実験で予定している代表的な実験条件での燃料挙動の予測結果を示す。

高速炉燃料実験は停滞Na条件となるNaカプセル(図1参照)、および流動Na条件を達成するNaループ(図2参照)の2種の実験物をNSRR炉心中央の実験孔に装荷し、中性子照射する事によって実施する。NSRRは図3に示すとおり300kwまでの定出力運転のほか、パルス半値幅数msecといった速い過出力(TOP)事故に対応する最高出力23,000MW、積分出力130MWsまでの単一パルス運転並びに、より高い出力域での一定出力あるいはゆるやかな出力変動を模擬できる台形パルス運転が可能であり、この場合には最高炉出力10MW、積分出力110MWsの制限条件内での出力変動運転が可能である。台形パルス運転により、太径燃料の場合線出力800W/cm程度が達成できることが、発熱量評価解析²⁾によって示されている。Naループを使った実験ではこの運転とナトリウム流量変化を重ね合わせる事により流量喪失(LOF)事故を模擬した条件が得られる。また台形パルスと単一パルスを重ね合わせた合成パルス運転により、定出力運転状態からのTOPを模擬する事が可能である。ただし定出力部の時間は、積分出力あるいは炉心の余剰反応度の制約から数秒程度に制限されるものと予想される。なお、単一パルス運転では燃料の種類に依るが、実験燃料1g当り2kJ程度の発熱量を与える事が可能と予想されている²⁾。

炉心の概略構成を図4に示す。中性子照射前の実験初期状態は実験物の設計目標であるNa最高温度600℃、最大流速5m/s(ループの場合)として予測計算を行った。

2. NSR77コードの改造

NSRRで従来行って来ている軽水炉燃料実験の燃料挙動を解析する計算コードにNSR77³⁾がある。同コードは、ジルカロイ被覆UO₂燃料の水冷却条件での温度挙動を評価するもので、単一パルス運転による速い過出力(TOP)条件を対象としている。Na冷却条件での高速炉燃料の挙動を評価するに当たっては、被覆管からNaへの熱伝達の式を整備したほか、ステンレス鋼被覆材や混合酸化物(MOX)燃料に対応するための改造を行った。本章では主要な変更箇所と検証の

ために行ったヒータピン実験の解析結果について述べる。具体的に使用した物性データについては、付録Aにまとめるが、SUS316についてはASME⁴⁾を、MOX燃料物性値についてはMAT-PRO⁵⁾を中心に整備し、一部内外挿により値を補充した。また、改造のベースとしては公開標準版として整備が進められているNSR77-1Dを用いた。

2.1 Na熱伝達式の導入

流体ナトリウムは、水と比べると熱伝導率がほぼ3ケタ大きく、大気圧での沸点も水の100℃に対し881.5℃と非常に高い。こうした違いにより伝熱挙動も大きく違っており伝熱パッケージの大幅な見直しが必要であった。NSRRでの高速炉燃料実験で想定される条件は、Naカプセルを用いた場合の静止Na中でのプール熱伝達及び、Naループを用いた強制対流下での流路管付燃料の単ピンもしくはバンドル加熱実験であるので、自然対流条件のプール熱伝達モードと強制対流熱伝達モードの2つについて、それぞれ熱伝達式を用意した。本研究の目的は、予定している実験での燃料挙動のスコーピングであり、詳細な実験解析ではないので、熱伝達式は出来るだけ広く用いられている簡明な実験式を使う方針とした。

低圧での自然対流条件での熱伝達については、Kovalevら⁶⁾が非沸騰条件と沸騰条件の2つの場合について実験結果を整理して下式を得ている。

非沸騰条件

$$h \text{ [kcal/m}^2\text{hr }^\circ\text{C}] = 760 q^{0.2} ; q \text{ [kcal/m}^2\text{hr}] \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$h \text{ [W/m}^2\text{K}] = 673 q^{0.2} ; q \text{ [W/m}^2] \quad \dots\dots\dots (1)'$$

沸騰条件

$$h \text{ [kcal/m}^2\text{hr }^\circ\text{C}] = 0.8 P^{0.25} q^{0.7} ; P \text{ [mmHg}] \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\quad \quad \quad ; q \text{ [kcal/m}^2\text{hr}]$$

$$h \text{ [W/m}^2\text{K}] = 0.14 P^{0.25} q^{0.7} ; P \text{ [Pa}] \quad \dots\dots\dots (2)'$$

$$\quad \quad \quad ; q \text{ [W/m}^2]$$

ここでhは熱伝達率、qは熱流束、Pはシステム圧力である。Kovalevらによる自然対流沸騰熱伝達の実験値への適用性の評価は350 mmHg (0.046MPa)までの低圧領域に限られているが、実験上の困難さからNaの沸騰熱伝達の実験は低圧のものがほとんどであり本式を採用した。非沸騰モードから沸騰モードへの移行の判定は単純にNa冷却材のバルク温度が沸点に達した時点で行うものとした。正確には、伝熱面の過熱度 ΔT_{sat} ($T_w - T_{sat}$)等を考慮して沸騰の判定を行うべきであるが、NSRR高速炉燃料実験において燃料は流路管に囲まれ、流路管内のNa冷却材厚さは1~2mm程度となる予定であり、Naの熱伝導率のよい点を考慮して、バルク沸騰による判定で温度の計算結果に大きな誤差は生じないであろうと考えた。また熱流束qと熱伝達係数hの間には

$$q = h (T_w - T_f) \quad \dots\dots\dots (3)$$

の関係があるので、実際に h 及び q を求める場合には、前時刻での h を初期値として(1)' または(2)' 及び(3)式によりそれぞれ q を求め、 q の差が 0.01 以下となるまでの収束計算を行った。ここで T_w [K] は被覆管外面温度、 T_{sat} [K] は Na の沸点である。 T_f は流体温度 [K] である。

強制対流条件での熱伝達については、非沸騰、沸騰、蒸気の 3 つのモードで熱伝達を考慮した。非沸騰モードでの熱伝達を表現する理論式では Martinelli-Lyon の式が良く知られているが、実測値への一致から、定数が異なる Subbotin の式を採用した⁷⁾。

$$Nu = 5 + 0.025 Pe^{0.8} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、熱伝達係数 h [W/m²K] は

$$h = Nu \frac{\lambda}{d} \dots\dots\dots (5)$$

であり、 λ [W/mK] は Na の熱伝導率、 d [m] は Na の流れる管の内径であるが、水力等価直径 d を用いた。すなわち、

$$d = \frac{2(r_2^2 - r_1^2)}{r_2 + r_1} \dots\dots\dots (6)$$

ここで、 r_1 [m] は被覆管外半径、 r_2 [m] は Na 流路内半径である。また、ペクレ数 Pe はプラントル数 Pr とレイノルズ数 Re の積であり、それぞれ

$$Pr = \frac{\nu}{\kappa} \dots\dots\dots (7)$$

$$Re = u \frac{d}{\nu} \dots\dots\dots (8)$$

と表現される。ここで ν [m²/s] は動粘性係数、 κ [m²/s] は温度伝導率、 u [m/s] は Na の流速である。さらに

$$\kappa = \frac{\lambda}{C_p \cdot \rho} \dots\dots\dots (9)$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \dots\dots\dots (10)$$

であり、 C_p [J/kg K] は定圧比熱、 ρ [kg/m³] は密度、 μ [Pa/s] は粘性係数である。Na の λ 、 ρ 、 C_p 、 μ 等物性値は付録 A にまとめて示す。

沸騰状態の熱伝達についてはカリウム (K) および Na の実験結果を Kottowski ら⁸⁾ が整理して得た関係式

$$h = 0.204 [L(x_0 - 2x_1)]^{0.7} p^{0.15} (\text{md/l})^{0.7} \dots\dots\dots (11)$$

を用いた。ここで記号をそれぞれ

- h [W/m²k] : 熱伝達係数
- L [J/kg] : Naの蒸発潜熱
- x_0 [wt%] : 冷却材出口クオリティ
- x_1 [wt%] : 冷却材入口での負のクオリティ = $-C_p (T_{sat} - T_f) / L$
- p [Pa = N/m²] : 圧力
- m [kg/m²s] : 単位流路断面当りの質量流量 (質量速度)
- d [m] : 流路直径
- l [m] : 流路長さ

である。本式の導入に使われた実験は $10^5 \sim 3 \times 10^6$ W/m² 程度の熱流束範囲で行われた。また、非沸騰から沸騰モードへの移行の判定は、プール熱伝達の場合と同じく、考慮しているノード内 Naのバルク温度が沸点に達した点とした。

さらに熱流束が増加し、Na冷却材のクオリティが増加するとNaが被覆管表面を濡らさない状態。つまり、膜沸騰状態へ移行する。この移行前の限界熱流束 (CHF: Critical Heat Flux), q_c についても Kottowski らによって整理された経験式

$$q_c = 0.216 L (1 - 2 x_i) m^{0.807} (d/l)^{0.807} \text{ [W/m}^2\text{]} \quad \dots\dots\dots (12)$$

を用いた。熱流束がCHFを超えると、被覆管からの伝熱はNa蒸気によって行われる。この蒸気による熱伝達は青木⁹⁾、二ノ方¹⁰⁾らが経験的に妥当としてDittus-Boelterの式を用いた。即ち、

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad \dots\dots\dots (13)$$

となる。ここで

- Re : レイノルズ数 = $\frac{\alpha \rho u d}{\mu}$
- ρ [kg/m³] : Na蒸気の密度
- α : Na蒸気体積割合
- Pr : プラントル数(7)(8)式参照
- u [m/s] : 蒸気流速

である。

以上まとめると、強制対流条件下で本コードに用いた熱伝達式は以下のとおりである。

- 非沸騰熱伝達式 Subbotinの式 (4)
- 沸騰熱伝達式 Kottowskiの式 (11)
- CHF判定 Kottowskiの式 (12)
- Na蒸気熱伝達 Dittus-Boelterの式 (13)

Kottowskiによる(11)式は入口Naがサブクールであって出口ではNa気泡が存在する定常条件で行った実験の結果を用いて、発熱部全体平均の熱伝達係数を求めたものであり、NSR 77 コードの様に軸方向にノード分割がある場合には適用法が問題となる。本改造においては、沸騰によりNa

蒸気泡が存在するノード平均の熱伝達式として(11)式を用いた。代表長 l としてはそれらのノード長の合計値を用いた。(12)式の場合は l として入口ノードから考慮中のノードまでの長さと考え、そのノードで熱流束がCHFを超えるとその点でバーンアウトが発生するものとした。

2.2 検証計算

導入した熱伝達モデルが正常に機能し、妥当な計算結果を与える事を確認するために、菊地^{11) 12) 13)}がヒータピンを用いて行った伝熱実験の解析を行った。このためにNSR 77-FBR版に図5に示す構造のヒータピンをモデル化し追加した。使用したタンタル(Ta)発熱体、窒化ホウ素(BN)絶縁体等の物性値は付録Aにまとめる。各層の寸法は入力で与えるものとしたが、代表的な寸法を同図に示す。

過渡過出力(TOP)事故を模擬した条件でのヒータピンによる加熱実験として菊地¹¹⁾によって行われた7本バンドル実験の解析をNSR 77コードにより行い、計算結果と実測値を比較した。実験は直径6.5mmのヒータピンをスパイラルワイヤスペーサにより7.9mmピッチの3角配列で7本組とした6角流路の体系で行われ、発熱部長さは450mmであった。文献(11)中で代表的な結果として例示された7B-185では、ヒータピン出力を約70kwから約120kwまで上昇させている。この結果約6秒で発熱部出口において中央チャンネルではNa冷却材が沸点に達している。Naの入口温度は448°Cで、流速は0.92m/sであった。図6に文献(10)のグラフより読み取った出力履歴および実験解析の結果を示す。本例では5秒まで72kwに保持した時のNa出口温度は730°Cであり、解析結果は実験値とよく一致しており、解析結果が妥当である事が分かる。また、こうした定常状態ではヒータピンの熱出力は全てNaの温度上昇に使われるので出口Na温度は漏れ熱を無視すると熱収支より

$$\begin{aligned} T &= 448 + \Delta T = 448 + \frac{Q}{m C_p} \\ &= 448 + \frac{72 \times 10^3}{(0.92 \times 844.9 \times 257.26 \times 10^{-6}) 1.27 \times 10^3} \\ &= 448 + 283 \\ &= 731 [^\circ\text{C}] \end{aligned}$$

Q [W] : 発熱量
m [kg/s] : 質量流量
Cp [J/kgK] : 比熱

と求められる。NSR 77コードで求められた計算値は、この手計算により求められた値と一致しており、計算コード内で熱の収支計算に問題のない事が分かる。

5秒からヒータピン出力を117kwまで上昇した結果、計算結果はホットチャンネル温度に近い温度履歴を示し、約0.5秒遅れて沸点に達している。計算では、チャンネル内の温度分布を均一としているので、実測のセンタチャンネルとサブチャンネル温度の中間に位置する計算結果は妥当なものと考えられる。

他方、流量喪失（LOF）事故を模擬した実験として、直径 6.6 mm、発熱長さ 600 mm のヒータピン 1 本を内径 9.8 mm のシュラウド内で加熱し、Na 流速を減少させた実験 FC-104¹³⁾ の解析を行った。同実験では、Na 入口温度を 391°C、ピン出力を 32 W/cm² で一定に保ちつつ流速を、約 5 l/min からポンプスイッチを切る事により減少させた。文献¹³⁾ に示された流速、温度の過渡記録を図 7 に示す。同図より読みとった流速を入力として発熱部での温度挙動を解析した結果を図 8 に示す。同図中実線は解析、破線は実験の結果を示す。解析におけるノード 1、5、10 はそれぞれ実験における T-2、T-3、T-4 の位置にほぼ対応している。実験結果はポンプスイッチ断（図 8 の 0 秒）後 50 秒を経過しても、ピン表面温度、Na 温度が共に上昇を続けているのに対し、解析結果は 10 秒足らずで平衡に達しており、Na は沸点に達していない。解析における熱収支は、7B-185 実験解析と同じ方法で確かめており、問題はない。実験と解析結果の違いは次の原因によるものと考えられる。まず、温度の上昇速度が異なるのは、実験系全体の熱容量の評価が最適でないためである。即ち、解析ではヒータピンの発熱部および流路管内の Na のみをモデル化し、半径方向の熱伝達のみを解いているのに対し、実験では流路管そのものが昇温するのみならず、系外への熱のもれ、あるいは Na 中での軸方向への熱伝導に伴う除熱も考えられる。つまり、ヒータピンの熱が伝わる範囲が解析で考慮されている領域よりも大きく、実効的な熱容量が大きくなっているためと考えられる。また、Na の最高温度が異なる点は、計測値の誤差により流速が正しく測定されておらず、解析で与えた流速が大き過ぎるためと考えられる。

将来の NSRR 実験においても、流速が非常に小さくなる LOF 模擬実験では、流路管からの除熱が無視出来なくなるものと考えられる。従って、LOF 事象を正確に評価するためには、流路管からの除熱および Na の軸方向熱伝導を評価すべくモデルの改良が必要となろう。また、実験の立場からは、流路管の断熱性を出来るだけ高くする努力が必要と言える。

以上まとめると、NSR-77-FBR 版では冷却材流速が大きい TOP 条件の解析では大むね妥当な結果を与えるものと考えられるが、LOF 条件のように流速が非常に小さい場合には、熱伝達を考慮している領域が小さいために Na の温度上昇を過大評価するものと考えられる。以下の予測計算ではこうした点に留意して結果を解釈する必要がある。

3. NSRR 実験の予測計算

3.1 計算条件

Na カプセルあるいはループを用いた将来の NSRR 高速炉燃料実験における燃料挙動を評価するために、NSR 77-FBR 版を用いてスコーピング計算を行った。NSRR の運転パターンは、図 3 に示す 4 つの基本形で行われている。このうち定出力運転では、崩壊熱レベルの実験燃料出力が得られ、除熱源喪失事故（LOHRS）を模擬した実験が考えられている。台形パルス運転では、燃料径や濃縮度の条件によって異なるが、最大 200% 定格出力（800 W/cm²）程度までの一定出力または、ゆるやかな出力上昇条件での実験が可能である。従ってこの運転モードでは、流量

他方、流量喪失 (LOF) 事故を模擬した実験として、直径 6.6 mm、発熱長さ 600 mm のヒータピン 1 本を内径 9.8 mm のシュラウド内で加熱し、Na 流速を減少させた実験 FC-104¹³⁾ の解析を行った。同実験では、Na 入口温度を 391°C、ピン出力を 32 W/cm² で一定に保ちつつ流速を、約 5 l/min からポンプスイッチを切る事により減少させた。文献(13)に示された流速、温度の過渡記録を図 7 に示す。同図より読みとった流速を入力として発熱部での温度挙動を解析した結果を図 8 に示す。同図中実線は解析、破線は実験の結果を示す。解析におけるノード 1, 5, 10 はそれぞれ実験における T-2, T-3, T-4 の位置にはほぼ対応している。実験結果はポンプスイッチ断 (図 8 の 0 秒) 後 50 秒を経過しても、ピン表面温度、Na 温度が共に上昇を続けているのに対し、解析結果は 10 秒足らずで平衡に達しており、Na は沸点に達していない。解析における熱収支は、7B-185 実験解析と同じ方法で確かめており、問題はない。実験と解析結果の違いは次の原因によるものと考えられる。まず、温度の上昇速度が異なるのは、実験系全体の熱容量の評価が最適でないためである。即ち、解析ではヒータピンの発熱部および流路管内の Na のみをモデル化し、半径方向の熱伝達のみを解いているのに対し、実験では流路管そのものが昇温するのみならず、系外への熱のもれ、あるいは Na 中での軸方向への熱伝導に伴う除熱も考えられる。つまり、ヒータピンの熱が伝わる範囲が解析で考慮されている領域よりも大きく、実効的な熱容量が大きくなっているためと考えられる。また、Na の最高温度が異なる点は、計測値の誤差により流速が正しく測定されておらず、解析で与えた流速が大き過ぎるためと考えられる。

将来の NSRR 実験においても、流速が非常に小さくなる LOF 模擬実験では、流路管からの除熱が無視出来なくなるものと考えられる。従って、LOF 事象を正確に評価するためには、流路管からの除熱および Na の軸方向熱伝導を評価すべくモデルの改良が必要となろう。また、実験の立場からは、流路管の断熱性を出来るだけ高くする努力が必要と言える。

以上まとめると、NSR-77-FBR 版では冷却材流速が大きい TOP 条件の解析では大むね妥当な結果を与えるものと考えられるが、LOF 条件のように流速が非常に小さい場合には、熱伝達を考慮している領域が小さいために Na の温度上昇を過大評価するものと考えられる。以下の予測計算ではこうした点に留意して結果を解釈する必要がある。

3. NSRR 実験の予測計算

3.1 計算条件

Na カプセルあるいはループを用いた将来の NSRR 高速炉燃料実験における燃料挙動を評価するために、NSR 77-FBR 版を用いてスコーピング計算を行った。NSRR の運転パターンは、図 3 に示す 4 つの基本形で行われている。このうち定出力運転では、崩壊熱レベルの実験燃料出力が得られ、除熱源喪失事故 (LOHRS) を模擬した実験が考えられている。台形パルス運転では、燃料径や濃縮度の条件によって異なるが、最大 200% 定格出力 (800 W/cm) 程度までの一定出力または、ゆるやかな出力上昇条件での実験が可能である。従ってこの運転モードでは、流量

喪失 (LOF) 条件での実験や 10% Po/s 程度 (Po は初期出力) の緩やかな過出力条件での実験が検討されている。また、NSRR の特徴である非常に速い (半値幅数 ms) 過出力模擬である単一パルス運転では、実験燃料に最高 2.2 kJ/g 程度までの発熱量を与える事が実験物と炉心の核的解析²⁾により求められている。単一パルス運転では、零出力からの過度過出力 (TOP) という条件となるが、図 3 に示された合成パルス運転では定出力運転を模擬した条件からの TOP 実験が可能である。核的解析による代表的燃料のパルス照射時の発熱量 (積分エネルギー) および 10 MW 運転時の線出力を表 1 にまとめる。同解析では、燃料の有効発熱長を炉心長さと同じ 380 mm としており、軸方向の発熱分布はコサイン状となり、ピーキング係数は、軸方向均一燃料であれば 1.23 で、燃料によらずほぼ一定であった。また、半径方向の発熱分布は、熱中性子照射による加熱であるため、中央部でのへこみ (depression) があり、燃料径により多少異なるが、30 w/o Pu 富化燃料の場合、半径方向のピーキング係数は 1.7 程度である。図 9 に代表的な燃料の軸方向および半径方向の発熱分布を示す。以下のスコーピング計算では、全てのケースにおいて半径方向ピーキング係数を 1.7 として計算を行った。

NSRR は炉の特徴として、速い TOP 条件での実験を得意とするので、スコーピング計算は、零出力からのパルス (単一パルス運転) および定出力模擬状態からのパルス (合成パルス運転) を中心に行った。また、出力を一定に保った条件での燃料温度の上昇速度、時定数等の基礎的挙動を予測するために、Na の流速、温度、線出力を種々に変化させた条件での解析を行った。スコーピング計算の解析条件を表 2 にまとめる。本解析では、燃料ピンとして“もんじゅ”寸法の細径燃料と“スーパーフェニックス”寸法の太径燃料の 2 種類を考えた。どちらも中実燃料であるとした。これら解析に用いた 2 種類の燃料の寸法と解析におけるノード分割の様子を図 10 に示す。燃料棒およびシュラウド中の Na は軸方向に 10 分割し、入口から順にノード 1 ~ ノード 10 とした。シュラウド内面は断熱とし、軸方向の伝熱は考えない。半径方向にはペレット内を 20 メッシュ、ギャップを 1 メッシュ、被覆管を 4 メッシュに分割した。

3.2 細径燃料の挙動

ピン径 6.5 mm (ペレット径 5.4 mm) の細径燃料を NSRR 照射した場合、ジルコニウム・ハイドライド (ZrH_2) を減速材に使った Na カプセルあるいはループでは、パルス時の最大発熱量が 2.2 kJ/g (炉心出力 100 MWs)、台形パルス運転時の線出力は最大 470 W/cm (炉心出力 10 MWs) となる事が予測されている。この細径燃料の挙動を原子炉の運転パターン毎にまとめて以下に示す。

3.2.1 単一パルス運転による実験解析

零出力からの過度過出力 (TOP) 事故を模擬した条件では、NSRR のほぼ最大の過出力条件である \$4.3 パルスにおいて、燃料エンタルピ (0°C を基準とする) は発熱ピーク部で 1.82 kJ/g に達し、瞬間最大の燃料溶融割合は 100% に達した。燃料の温度分布・最大エンタルピ等は Na の流速や温度を変えてもそれ程変わらないが、流速を 0.5 m/s 以下にすると、冷却材の沸騰が起る。被覆管温度は、内面では一時的に融点を超えているが外面では 1200°C 以下に留まっている。

この結果から、燃料の破損モードとしては、燃料溶融に伴う内圧バーストによる破損が予想される。図11に、Na流速5m/s、入口温度500℃とした場合の実験燃料の温度挙動を例として示す。また、より小さい過出力を模擬した\$3.7および\$3.0パルス運転では、それぞれ最大エンタルピ1.49kJ/g、燃料溶融割合約90%および最大エンタルピ1.03kJ/g、燃料溶融割合約50%が予測された。これら2ケースの場合の解析結果を図12および図13に示す。また、零出力からのTOP条件での細径燃料挙動を表3にまとめた。仏で行われたCABRI実験等、これまでに行われた実験の結果では、燃料の部分溶融が始まるのが1kJ/g程度であるとされており、破損しきい値も1kJ/g近傍であるとされている。解析結果はこれらの経験と矛盾せず、零出力からのTOP模擬実験では\$3.0パルス以上の条件で破損挙動を調べる実験が出来るものと期待できる。

3.2.2 合成パルス運転による実験解析

定格出力を模擬した条件からのTOPでは、NSRR炉心の積分出力が110MWs以内の条件で、定出力部の線出力・保持時間および過渡過出力（パルス）の大きさを適当に変化させて行うことが出来る。ただし、実験物（カプセルまたはループ）の負の反応度が大きい場合、炉心の余剰反応度が小さくなり、110MWsまでの運転が不可能な場合がある。Na実験物の反応度値は明らかではないので、本解析では積分出力を90MWs前後に抑えるように定出力部の保持時間と、過出力の大きさを求めた。定出力部の線出力は470W/cmに統一し、過出力パルスの大きさを\$3.0、\$2.5、\$2.0とする3つの場合について計算を行った。定出力部の保持時間は、それぞれ2秒、3秒、4秒とした。また、合成パルス運転では、トランジェント棒引き抜きにより、速い過出力運転を行うが、引き抜き開始時の燃料温度が運転パターンによって異なるため、過出力部の最高出力や半値幅は投入反応度が同じであっても燃料温度による負の反応度効果が異なるため一定でない。しかし、本解析では投入反応度と過出力パルスの大きさ(形)を一義的に決めるため、合成パルス運転であってもパルス波形は零出力からのパルスと変わらないものとした出力履歴を用いた。したがって、合成パルス運転により過出力パルスの半値幅が零出力からのパルスに比べてやや広がる効果、ピーク出力が異なる効果等を含めた評価は、今後、合成パルス運転での出力挙動が十分調べられた後、より詳細な計算を行う予定である。

一定出力からのTOP条件での結果を表4にまとめる。また代表的な過渡履歴として、\$3.0（ケース9）、\$2.5（ケース12）、\$2.0（ケース14）パルスによる過出力条件での計算結果を図14から図16に示す。\$3.0パルスによるTOP実験（ケース9）の場合、ピーク発熱部はパルス直前に中心温度は約1700℃に達している。その後4秒の時点での速いTOPにより最高エンタルピは1.38kJ/gに達している。TOP発生後約0.6秒程度は燃料周辺部での燃料溶融が見られるが、その後は中心部での溶融へと移行している。この条件では燃料の最大溶融割合は約95%に達している。過出力が小さく、定格模擬の時間が長い\$2.5（ケース12）、\$2.0（ケース14）の場合ではさらに、TOP前の燃料中心温度の上昇（約2000℃）の効果によって、TOP直後の周辺溶融の効果は小さくなっている。これらの条件での最大エンタルピはそれぞれ1.08kJ/gおよび0.9kJ/gであった。合成パルス運転においても被覆管はその内側が一部溶融する程度にとどまっております破損モードとしては、燃料溶融に伴う内圧バーストである事が予想される。また、燃料とペレットのギャップはTOP時に閉じる事が予測されており、PCMIによる破損も条件によっては起

こりうるものと考えられる。

3.2.3 台形パルス運転による実験解析

台形パルス運転については、細径燃料の場合水素化ジルコニウム減速材を使った標準的な実験物による実験では、線出力はピーク発熱部で 470 W/cm 程度に留まる事が予測されている。減速能力のより高いポリエチレンを使った実験では、発熱量は 15% 程度上昇する事が期待できるが、標準的な FBR の定格出力である 400 W/cm を大きく超える線出力を得ることは細径燃料では困難である。従って細径燃料を台形パルス運転による緩やかな TOP 条件で破損させる事はかなり困難であると予想されるが、少なくとも LOF 実験における定格出力模擬運転としては破損の可能性は十分あり、有用である。ここでは Na 冷却材の流速と温度をパラメータに予測計算を行い、ケース 21 においては流量喪失時の挙動を解析した。結果の概略を表 5 にまとめる。実験燃料を 0 秒から 2 秒間で 470 W/cm まで上昇させ一定に保った条件では、燃料エンタルピは約 8 秒間で 0.5 kJ/g に達し、ほぼ平衡となった。燃料エンタルピの上昇速度は比較的速く、Na 温度 500 °C、流速 5 m/s の場合、出力が 470 W/cm に達した後 1 秒でエンタルピは定常状態の 73%、2 秒で 84%、4 秒で 95% まで上昇している。Na 温度や流速の効果はあまり大きくなく、例えば流速が 0.5 m/s のケース 17 においても、燃料エンタルピは 0.52 kJ/g に留り、冷却材の沸騰も生じていない。ただし本計算で用いたシュラウド径 10.5 mm は、実験のバンドル体系と水力等価直径が等しくなる様に決めたものである。そのため燃料棒 1 本当りの Na 流路断面積は、実機の約 2.3 倍となっており、Na の温度上昇の面では実機の模擬度はよくない点に注意する必要がある。代表的な温度履歴として出力 470 W/cm、Na 温度 500 °C、流速 5 m/s のケース 16 の場合を図 17 に示す。

流量喪失 (LOF) 事象を模擬した実験を NSRR で行う場合、実験時間が 10 秒程度までに制限されるため、上記の加熱開始による昇温と、流量減少による昇温の過程が重なりあうため現象の理解は複雑である。燃料線出力を約 400 W/cm で一定とし、4 秒間保持した後、流速を 5 m/s から 0.1 m/s に 1 秒間で低下させた場合の実験燃料の温度挙動の予測結果を図 18 に示す。この解析では、冷却材 Na は、出口付近で流速低下後約 4 秒で、沸騰を開始している。2.2 章で示した様に、この結果はシュラウドでの完全断熱が成立する場合の結果で、2 重管構造であり、シュラウド外側に Na の対向流の存在する NSRR での Na ループ実験の場合には、外側の流れとの熱の交換があるため本結果よりも Na の昇温速度は緩やかになるものと考えられる。

3.3 太径燃料の挙動

我が国の高速実証 1 号炉では、原型炉「もんじゅ」よりも太径の燃料が使われる予定である。実証炉の燃料仕様は確定していないので、太径燃料の例としてスーパーフェニックスと同じピン径の 8.65 mm (ペレット径 7.0 mm) の中実燃料の伝熱挙動の予測計算を行った。被覆材は 316 ステンレス鋼であり肉厚は 0.7 mm である。太径燃料の場合、速いパルスによる投入発熱量は燃料 1 g 当たり約 1.8 kJ と細径燃料に比べて小さくなる。ただし、最大線出力は発熱ピーク部で約 650 W/cm と大きくなり、定格模擬出力からの LOF や緩やかな過出力事故模擬実験での自由度は大きくなる。ポリエチレン減速材等を用いた効率のよい実験カプセルを用いた場合には、最高 800 W/cm と

定格出力の2倍程度の出力が期待される。以下に太径燃料挙動の予測結果をまとめる。

3.3.1 合成パルス運転による実験解析

一定出力からのTOP模擬条件の予測計算として、線出力385 W/cmの状態から\$3.0, \$2.5, \$2.0のパルス運転を適用し、速いTOPが発生した条件を解析した。燃料エンタルピはそれぞれ、最大1.08 kJ/g, 1.01 kJ/g, 0.85 kJ/gに達した。また、燃料の溶融割合は、それぞれ35%, 5%未満, 0%となった。図19から図21にそれぞれの場合の過渡履歴を示す。図19は一定出力運転を4秒間行った場合であるが、細径燃料の場合に比べて線出力がやや低く、また太径のため燃料の熱容量が大きく、パルス直前の6秒の時点で実験燃料の中心温度は約1500°Cに留まっている。このため、このため、\$3.0パルスによるTOP模擬過熱条件では外周部での燃料溶融が発生し、約1秒間持続している。しかし、本計算では被覆管内面温度は1400°C以下に留まっており、被覆管溶融は予測されていない。表6に太径燃料挙動の代表的結果をまとめた。太径燃料の場合半径方向のディプレッションが細径燃料に比べてやや大きくなるので、実条件とは異なった外周部の溶融に伴う破壊にならない様に照射条件には十分注意する必要がある。

3.3.2 パルス運転による実験解析

太径燃料の場合、台形運転により650 W/cmの線出力が得られる事が予測されているので、線出力385 W/cmを6秒間維持したのち、緩いTOPとして2秒間で650 W/cmまで出力を上げ、さらに5秒間保持した条件での燃料の応答を解析した。主要な結果を表7にまとめた。燃料の最大エンタルピは0.62 kJ/g程度に留り、冷却材の流速(5 m/s~0.5 m/s)温度(400°C~600°C)の最大エンタルピに対する影響は一割以下と小さい。また、図22に代表例としてNa温度500°C、流速5 m/sの場合の燃料挙動を示す。この例では、実験燃料出力は時刻8秒から10秒までの間に、初期出力に比べ70%上昇しているが、ペレット-被覆管のギャップ幅はその初期値である1.125 mm(半径ギャップ)から、0.04 mmへと小さくなっているものの、接触はしていない。未照射のペレットの熱膨張では、ほとんどペレット-被覆管内の機械的相互作用(PCMI)は起こらないものと見られる。さらに大きな線出力(実験条件により1~2割増加が可能と予測されている)を与える事により、また、あるいは異なる設計の燃料を用いる事により、PCMIが発生する条件での実験も可能ではあるが、照射済燃料のようにFPガスの膨張によるペレットのスウェリング等がない。単なる熱膨張だけでは、こうした緩やかな出力上昇条件で燃料をPCMI破損させる事は難しい。

出力を一定とし、流量を時刻8秒において5.0 m/sから0.1 m/sまで1秒間で低下した場合の燃料の応答を表7のケース35として計算した。冷却材Naは流速低下後約4秒で出口部で沸点に達している。本計算では沸騰開始後3秒間しか評価していないため被覆管温度は1085°C程度に留まっているが、被覆管の溶融破損は時間の問題であると考えられる。図23にLOF条件での燃料温度等の時間履歴を示す。

4. 考 察

本報告書にまとめたスコーピング計算では、Na沸騰の開始点を流路管内Naのバルク沸騰が始まる時としており、沸騰開始時間の被覆管温度と飽和温度との差（沸騰開始スーパーヒート）に関する関係式は用いていない。沸騰開始スーパーヒートは、Na中の酸素濃度、被覆管の表面状態等に依存すると言われるが、実測値は50～200℃程度の値を中心にとらつた値を示している⁸⁾。本報告書にまとめたスコーピング計算の結果を沸騰開始スーパーヒートに注目してまとめたものを図24に示す。本スコーピング計算における沸騰開始スーパーヒートは約20℃から240℃の範囲にあり、文献(8)等の実験結果と矛盾しない。本スコーピング計算では、非常に速いTOPを対象にした計算結果が多く、過去の実験のうち直接比較出来る実験が少ない。沸騰開始スーパーヒートの問題等、今後、実験解析を通じて熱伝達モデルを煮つめてゆく作業は必要であろうが、ヒータピン実験解析による検証計算の結果等から考えて、スコーピング計算としてはスーパーヒートに関してもまずまずの結果を与えているものと考えられる。

4.1 水冷却条件との比較

現実の高速炉がNa冷却である以上、高速炉燃料破損実験は出来るだけ実機に近いNa冷却条件で行う事が理想的である。速いTOP条件の様に半値幅数～十数msecといった非常に短時間の現象を考える際、水冷却の場合と何が異なって来るのかを定量的に評価する事は、これまでにNSRRで行って来た水炉燃料実験の結果を生かし、燃料挙動をより深く理解する上で重要である。この目的のために、3章で検討したNa冷却の場合と同じ照射条件で細径燃料を水冷却条件で照射した場合の燃料挙動を解析した。表8に冷却条件の違いによる燃料挙動の変化をまとめた。また図25に470W/cmから\$2.5の早いTOP条件での代表的温度挙動の違いを比較して示す。計算の結果、水冷却条件では初期温度が低いために、燃料エンタルピが低く燃料溶融に達し難いこと。また、水冷却の場合、膜沸騰が生じ被覆管温度が急上昇するために燃料溶融が発生する前に被覆管が溶融破損する事が示された。図25-3に示されたとおり、水冷却の場合燃料温度は融点に達していないにもかかわらず被覆管温度は融点を越え被覆管溶融による破損が起こる事が予測されている。また、被覆管から水への熱伝達量が小さいため、燃料エンタルピはNa冷却の場合に比べ緩やかに減少している。

4.2 半径方向発熱分布の効果

高速炉においては、中性子スペクトルが硬く、燃料中の吸収断面積が熱中性子炉に比べて非常に小さいため、燃料中心部での発熱量のへこみ（ディプレッション）がほとんどなく、燃料棒の半径方向のピーキング係数（半径方向ピーク発熱部での出力/半径方向平均出力）はほぼ1.0である。NSRRは熱中性子炉であるために、高速炉燃料を照射した場合ディプレッションは大きな

り、半径方向ピーキング係数は酸化燃料において、1.6から1.7程度となる事が予想されている。この半径方向の発熱分布の違いが及ぼす影響を評価するために半径方向ピーキング係数を1.0とした場合の計算を行い、3章で示したNSRR実験に対応するピーキング係数1.7の場合と比較した。

零出力からのTOP条件として\$3.0のパルス運転を細径燃料に対して行った計算結果を図26にピーキング係数1.0と1.7の場合を比較して示す。半径方向の温度分布の時間変化を見ると、ピーキング係数1.0の場合は、軸方向の発熱ピーク部（ノード5）では燃料中心部全体が融点に達している。他方、ピーキング係数1.7の場合は、TOP直後の0.3～0.5秒間燃料外周部で融点を超え短時間ではあるが部分溶融が生じている。この結果被覆管温度はピーキング係数1.7の場合やや高く瞬間的に700℃を超えているが、被覆管の融点には程遠く、いずれの場合も被覆管溶融による燃料破損は起らないものと予想される。

一定出力からのTOP条件では、一定出力照射中に凸状に発達した半径方向温度分布にTOP時の平坦な加熱の重ね合わせとなるピーキング係数1.0の場合は、凹型の発熱を重ね合わせるピーキング係数1.7の場合に比べて、燃料の中心部での溶融が起こり易い。470W/cmでの一定出力運転に、\$2.5のパルスによる過出力を重ね合わせた場合の温度挙動を図27に示す。ピーキング係数1.0の場合は、燃料中心部が約3秒間融点を超えているが、ピーキング係数1.7の場合は、融点を超えているのは外周部のみであり時間も0.6秒程度と短い。ただし、どちらの場合も被覆管温度は700℃以下に留り、被覆管溶融による燃料破損は予測されない。

以上の様に、半径方向の発熱分布が異なる時によりNSRR実験における実験燃料中の温度分布は実機で予測されるものとやや異なり、外周部での溶融となり易い事が明らかとなったが、燃料の溶融が発生する条件においても被覆管の溶融は予想されず、NSRR実験においても、燃料破損モードは、燃料溶融に伴う加圧破損あるいはPCMI破損、溶融燃料の移動による被覆管の損傷による破損等となる事が予測され、実機で予測される破損モードと異なることはないものと考えられる。

4.3 緩やかな過出力条件での燃料挙動

緩やかな過出力条件では、3.2節における太径燃料の例（ケース34）の様に燃料溶融やPCMIによる破損を生じさせる事は特殊な仕様の燃料を使わない限り困難であるとの計算結果が示された。こうした緩やかなTOP条件での燃料破損の可能性をヒータピン実験の結果を基にさらに考えてみる。過渡過出力（TOP）事故を模擬したヒータピン実験¹¹⁾（7B-185）では、1本当たり（長さ450mm）のピン出力を10kWから18kW程度に7秒程度で上昇させた結果、流速が0.92m/s一定の条件で冷却材の沸騰が生じている。NSRRにおいて同じ寸法の燃料（ただし、長さはヒータピンと同じではなく380mmとなる）を用いた単ピン実験を行うと、ポリエチレン減速材を用いた場合、燃料ピン1本当たりの最高出力は18kW程度となる事が予測されている²⁾。NSRR実験では炉心の余剰反応度の関係から実験時間は10秒程度に制限されるが、冷却材の条件を適切化する事によって、TOPによるNa沸騰を伴う燃料破損挙動を調べる実験が可能であると考えられる。また、例えばピン径8.65mmの太径の中実燃料を使う場合には燃料1本当たりの最高出力は24kW程度とな

る事が予測され、太径燃料を使う場合には実験裕度は大きくなる。ただし、これらの条件で予想される燃料の破損モードは被覆管の溶融であり、単一及び合成パルス運転による速いTOP実験で予想される被覆管の破裂破損とは異なる事に留意する必要がある。

5. 結 論

NSR-77 コードをNa冷却条件、ステンレス鋼被覆燃料に対応できるものに改造し、NSRRにおいて予定されている高速炉燃料実験における燃料挙動のスコーピング計算を行い、代表的な実験条件での燃料挙動の予測が出来た。以下に主な知見をまとめる。

- 1) 零出力からの速い過出力条件では、最大発熱部の燃料は全て溶融することが期待出来る。ピーク発熱部の燃料エンタルピ（0℃を基準とする）は1.8 kJ/gに達するものと計算された。
- 2) 一定出力からの速い過出力条件では、最大95%程度の燃料溶融が期待出来る。ピーク発熱部の燃料エンタルピは1.4 kJ/g程度と予測された。
- 3) 太径燃料を用いた170%Poまでの緩い過出力条件の計算では燃料破損に結びつく条件は見出されなかった。
- 4) NSRR実験においては燃料中央部の発熱量のへこみが存在する事により、条件によっては燃料外周部の溶融等の実機とは異なる温度分布が予測されたが、これにより被覆管の溶融による破損といった実機と異なる破損モードになる事はないと予測された。
- 5) 水冷却条件での燃料破損は被覆管の溶融破損であるのに対し、Na冷却条件では、被覆管の温度は低く保たれており、溶融燃料の噴出による破損等となる事が予測された。

謝 辞

本報告書をまとめるに当たり、物性値や熱伝熱式の調査に協力下さった、熱水力安全研究室・態丸博滋氏、反応度安全研究室・更田豊志氏に深く感謝の意を表します。

藤城俊夫・反応度安全研究室長には貴重な助言を賜りました。また、千代田メンテナンス㈱黒沢義明氏にはデータ整理等で協力していただきました。ここに感謝の意を表します。

る事が予測され、太径燃料を使う場合には実験裕度は大きくなる。ただし、これらの条件で予想される燃料の破損モードは被覆管の溶融であり、単一及び合成パルス運転による速いTOP実験で予想される被覆管の破裂破損とは異なる事に留意する必要がある。

5. 結 論

NSR-77 コードをNa冷却条件、ステンレス鋼被覆燃料に対応できるものに改造し、NSRRにおいて予定されている高速炉燃料実験における燃料挙動のスコーピング計算を行い、代表的な実験条件での燃料挙動の予測が出来た。以下に主な知見をまとめる。

- 1) 零出力からの速い過出力条件では、最大発熱部の燃料は全て溶融することが期待出来る。ピーク発熱部の燃料エンタルピ(0°Cを基準とする)は1.8 kJ/gに達するものと計算された。
- 2) 一定出力からの速い過出力条件では、最大95%程度の燃料溶融が期待出来る。ピーク発熱部の燃料エンタルピは1.4 kJ/g程度と予測された。
- 3) 太径燃料を用いた170%Poまでの緩い過出力条件の計算では燃料破損に結びつく条件は見出されなかった。
- 4) NSRR実験においては燃料中央部の発熱量のへこみが存在する事により、条件によっては燃料外周部の溶融等の実機とは異なる温度分布が予測されたが、これにより被覆管の溶融による破損といった実機と異なる破損モードになる事はないと予測された。
- 5) 水冷却条件での燃料破損は被覆管の溶融破損であるのに対し、Na冷却条件では、被覆管の温度は低く保たれており、溶融燃料の噴出による破損等となる事が予測された。

謝 辞

本報告書をまとめるに当たり、物性値や熱伝熱式の調査に協力下さった、熱水力安全研究室・態丸博滋氏、反応度安全研究室・更田豊志氏に深く感謝の意を表します。

藤城俊夫・反応度安全研究室長には貴重な助言を賜りました。また、千代田メンテナンス㈱黒沢義明氏にはデータ整理等で協力していただきました。ここに感謝の意を表します。

る事が予測され、太径燃料を使う場合には実験裕度は大きくなる。ただし、これらの条件で予想される燃料の破損モードは被覆管の溶融であり、単一及び合成パルス運転による速いTOP実験で予想される被覆管の破裂破損とは異なる事に留意する必要がある。

5. 結 論

NSR-77 コードをNa冷却条件、ステンレス鋼被覆燃料に対応できるものに改造し、NSRRにおいて予定されている高速炉燃料実験における燃料挙動のスコーピング計算を行い、代表的な実験条件での燃料挙動の予測が出来た。以下に主な知見をまとめる。

- 1) 零出力からの速い過出力条件では、最大発熱部の燃料は全て溶融することが期待出来る。ピーク発熱部の燃料エンタルピ(0°Cを基準とする)は1.8 kJ/gに達するものと計算された。
- 2) 一定出力からの速い過出力条件では、最大95%程度の燃料溶融が期待出来る。ピーク発熱部の燃料エンタルピは1.4 kJ/g程度と予測された。
- 3) 太径燃料を用いた170%Poまでの緩い過出力条件の計算では燃料破損に結びつく条件は見出されなかった。
- 4) NSRR実験においては燃料中央部の発熱量のへこみが存在する事により、条件によっては燃料外周部の溶融等の実機とは異なる温度分布が予測されたが、これにより被覆管の溶融による破損といった実機と異なる破損モードになる事はないと予測された。
- 5) 水冷却条件での燃料破損は被覆管の溶融破損であるのに対し、Na冷却条件では、被覆管の温度は低く保たれており、溶融燃料の噴出による破損等となる事が予測された。

謝 辞

本報告書をまとめるに当たり、物性値や熱伝熱式の調査に協力下さった、熱水力安全研究室・態丸博滋氏、反応度安全研究室・更田豊志氏に深く感謝の意を表します。

藤城俊夫・反応度安全研究室長には貴重な助言を賜りました。また、千代田メンテナンス(株)黒沢義明氏にはデータ整理等で協力していただきました。ここに感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 傍島眞, 更田豊志, 笹島栄夫, 山崎利, 熊丸博滋, 中村武彦, 藤城俊夫, 「高速炉の事故時燃料挙動に関する研究の現状とNSRRにおける計画」, JAERI-M 88-158, 1988
- (2) 中村武彦, 更田豊志, 傍島眞, 細山田龍二, 「NSRR高速炉燃料実験における各種燃料の発熱量の予測評価」, JAERI-M 90-067, 1990
- (3) 大西信秋, 石島清見, 齊藤伸三, 「軽水動力炉の事故時の燃料挙動解析コードNSR-77」, JAERI-M 82-050, 1982
- (4) ASME CASE N-47-21.
- (5) Compiled and Edited by D.L.Hargrmen, G.A.Reymann and R.E.Mason, "MA-TPRO-VERSION 11 (REVISION 2) A HANDBOOK OF MATERIALS PROPERTIES FOR USE IN THE ANALYSIS OF LIGHT WATER REACTOR FUEL ROD BEHAVIOR".
NUREG/CR-0497, TREE-1280, Rev.2, INEL, 1981
- (6) S.A.Kovalev and V.H.Zhukov, Progress in Heat and Mass Transfer, Vol.7, (1973), 335, Pregamon Press.
- (7) 日本機械学会「伝熱工学試料(改訂第4版)」, 1986
- (8) H.M.Kottowski and C.Savatteri, "Fundamentals of Liquid Metal Boiling Thermohydraulics", Nucl. Eng. and Design 82(1984) 281-304
- (9) 青木成文「流体金属熱伝達に関する最近の研究成果」, Journal of the J.S.M.E., Vol. 78, No. 678 (1975)
- (10) H.Ninokata "Analysis of Low-Heat-Flux Sodium Boiling Test in a 37-Pin Bundle by the Two-Fluid Model Computer Code SABENA", Nucl. Eng. and Design 97 (1986) 233-246.
- (11) Y.Kikuchi, "Transient Boiling of Sodium in Seven-Pin Bundle under Transient Overpower Conditions", J. of Nucl. Sci. and Tech., 16[4], 287~294(1979)
- (12) Y.Kikuchi, "Transient Boiling of Sodium in Seven-Pin Bundle under Loss-of-Flow Conditions", J. of Nucl. Sci. and Tech., 15[9] 658~667 (1978)
- (13) Y.Kikuchi, and K.Haga, "Transient Boiling of Sodium in a Single-Pin Geometry under Loss-of-Flow Conditions", J. of Nucl. Sci. and Tech., 15[2] 100~108 (1978)

表1. NSRR高速炉燃料実験における各種燃料の推定発熱量

実 験 燃 料			発熱ピーク部での 半径方向平均発熱量 ¹⁾		軸方向ピーク 線出力 ²⁾
種 類	濃縮度・Pu富化度 (w/o)	本 数	cal/g·fuel	kJ/g·fuel	W/cm
UO ₂	5	単ピン	155	0.648	155
	10	"	264	1.10	263
	15	"	344	1.44	345
	20	"	431	1.81	433
	30	"	517	2.16	517
(Pu-U)O ₂	18	"	433	1.81	389
	24	"	487	2.04	438
	30	"	525	2.20	473
照 射 済 (燃焼度 5.2×10^4 MWd/t)	初期22	"	380	1.59	342
(Pu-U)C	30	"	462	1.94	515
(Pu-U)N	30	"	439	1.85	518
U-19Pu-10Zr	19	"	759	3.16	785
UO ₂	20	7本	内 264	1.11	266
	10		外 195	0.82	196

1) 炉心積分出力 100 MWs 運転時の積分発熱量

2) 炉出力 10 MW 運転時

表2 スコーピング計算条件のまとめ

ケース	出力種類	出力条件	燃料種類	冷却材	
				温度(°C)	流速(m/s)
1	単一パルス	\$ 4.3 (発熱量 2.3 kJ/g)	細径MOX	500	5.0
2	"	"	"	"	2.0
3	"	"	"	"	0.5
4	"	"	"	"	自然対流
5	"	\$ 3.7 (発熱量 1.9 kJ/g)	"	"	5.0
6	"	\$ 3.0 (発熱量 1.4 kJ/g)	"	"	"
7	"	\$ 4.3 (発熱量 2.3 kJ/g)	"	400	"
8	"	"	"	600	"
9	合成パルス	470 W/cm (2秒間) + \$ 3.0 (発熱量 1.4 kJ/g)	"	500	"
10	"	"	"	"	0.5
11	"	"	"	"	自然対流
12	"	470 W/cm (3秒間) + \$ 2.5 (発熱量 1.1 kJ/g)	"	"	5.0
13	"	"	"	"	自然対流
14	"	470 W/cm (4秒間) + \$ 2.0 (発熱量 0.8 kJ/g)	"	"	5.0
15	"	"	"	"	自然対流
16	台形パルス	470 W/cm (8秒間)	"	500	5.0
17	"	"	"	"	0.5
18	"	"	"	"	自然対流
19	"	"	"	400	0.5
20	"	"	"	600	0.5
21	"	"	"	500	5.0→0.1
22	合成パルス	385 W/cm (4秒間) + \$ 3.0 (発熱量 1.2 kJ/g)	太径MOX	500	5.0
23	"	"	"	"	0.5
24	"	"	"	"	自然対流
25	"	385 W/cm (6秒間) + \$ 2.5 (発熱量 0.9 kJ/g)	"	"	5.0
26	"	"	"	"	自然対流
27	"	385 W/cm (7秒間) + \$ 2.0 (発熱量 0.7 kJ/g)	"	"	5.0
28	"	"	"	"	自然対流
29	台形パルス	385 W/cm (6秒間) (2秒間) 650 W/cm (5秒間)	"	500	5.0
30	"	"	"	"	0.5
31	"	"	"	400	5.0
32	"	"	"	"	0.5
33	"	"	"	600	5.0
34	"	"	"	"	0.5
35	"	400 W/cm 一定	"	500	5.0→0.1

表3 零出力からの過出力模擬条件での細径燃料挙動のまとめ
 (燃料ピン径6.5mm, 有効長380mm, シュラウド径10.5mm)

ケース	パルス条件	冷却材温度 (°C)	流速 (m/s)	燃料溶融	被覆管溶融	冷却材沸騰	燃料*溶融 (%)	最大*エンタルピ (kJ/g)
1	\$ 4.3	500	5.0	有	内面のみ	無	100	1.820
2	\$ 4.3	500	2.0	有	内面のみ	無	100	1.820
3	\$ 4.3	500	0.5	有	内面のみ	有	100	1.820
4	\$ 4.3	500	自然	有	内面のみ	有	100	1.820
5	\$ 3.7	500	5.0	有	無	無	約90	1.490
6	\$ 3.0	500	5.0	有	無	無	約50	1.030
7	\$ 4.3	400	5.0	有	有	無	100	1.780
8	\$ 4.3	600	5.0	有	有	無	100	1.850

* 発熱ピークノードでの値

表4 定格出力模擬条件からの過出力模擬実験での細径燃料挙動のまとめ
 (燃料ピン径6.5mm, 有効長380mm, シュラウド径10.5mm)

ケース	パルス条件	冷却材温度 (°C)	流速 (m/s)	燃料溶融	被覆管溶融	冷却材沸騰	燃料*溶融 (%)	最大*エンタルピー (kJ/g)
9	470w/cm+\$3.0	500	5.0	有	無	無	約95	1.380
10	470w/cm+\$3.0	500	0.5	有	無	無	約95	1.440
11	470w/cm+\$3.0	500	自然	有	内面のみ	有	約95	1.442
12	470w/cm+\$2.5	500	5.0	有	無	無	約50	1.040
13	470w/cm+\$2.5	500	自然	有	内面のみ	有	約70	1.080
14	470w/cm+\$2.0	500	5.0	有	無	無	約5	0.990
15	470w/cm+\$2.0	500	自然	有	内面のみ	有	約70	1.260

* 発熱ピークノードでの値

表5 一定出力保持条件での細径燃料挙動のまとめ
 (燃料ピン径6.5mm, 有効長380mm, シュラウド10.5mm)

ケース	パルス条件	冷却材温度 (°C)	流速 (m/s)	燃料溶解	被覆管溶解	冷却材沸騰	燃料*溶解 (%)	最大*エンタルピー (kJ/g)
16	470 w/cm	500	5.0	無	無	無	0	0.510
17	470 w/cm	500	0.5	無	無	無	0	0.520
18	470 w/cm	500	自然	無	無	有	0	0.650
19	470 w/cm	400	0.5	無	無	無	0	0.500
20	470 w/cm	600	0.5	無	無	無	0	0.550
21	470 w/cm	500	5.0→0.1	無	無	有	0	0.530

* 発熱ピークノードでの値

表6 一定出力保持条件からの過出力模擬実験での太径燃料挙動のまとめ
 (燃料ピン径8.65mm, 有効長380mm, シュラウド径10.5mm)

ケース	パルス条件	冷却材温度 (°C)	流速 (m/s)	燃料溶解	被覆管溶解	冷却材沸騰	燃料*溶解 (%)	最大*エンタルピー (kJ/g)
22	385w/cm+\$3.0	500	5.0	有	無	無	60	1.080
23	385w/cm+\$3.0	500	0.5	有	無	有	60	1.080
24	385w/cm+\$3.0	500	自然	有	有	有	60	1.110
25	385w/cm+\$2.5	500	5.0	有	無	無	10	1.010
26	385w/cm+\$2.5	500	自然	有	有	有	10	1.020
27	385w/cm+\$2.0	500	5.0	無	無	無	0	0.850
28	385w/cm+\$2.0	500	自然	無	無	有	0	0.940

* 発熱ピークノードでの値

表7. 一定出力からの緩やかな出力上昇条件での太径燃料挙動のまとめ
 (燃料ピン径8.65mm, 有効長380mm, シュラウド径10.5mm)

ケース	パルス条件	冷却材温度 (°C)	流速 (m/s)	燃料溶融	被覆管溶融	冷却材沸騰	燃料*溶融 (%)	最大*エンタルピ (kJ/g)
29	385w/cm→650w/cm	500	5.0	無	無	無	0	0.620
30	385w/cm→650w/cm	500	0.5	無	無	無	0	0.630
31	385w/cm→650w/cm	400	5.0	無	無	無	0	0.600
32	385w/cm→650w/cm	400	0.5	無	無	無	0	0.610
33	385w/cm→650w/cm	600	5.0	無	無	無	0	0.650
34	385w/cm→650w/cm	600	0.5	無	無	無	0	0.660
35	400w/cm 一定	500	5.0-0.1	無	有	有	0	0.550

* 発熱ピークノードでの値

表8 Na冷却条件および水冷却条件での細径燃料挙動の違い

投入反応度 条 件	流 速 (m/s)	燃料溶融		被覆管溶融		冷却材沸騰		最大エンタルピー(kJ/g)	
		Na	水	Na	水	Na	水	Na	水
台形パルス 470w/cm	5.0	無	無	無	無	無	無	0.510	0.360
合成パルス 470w/cm+2.5\$	5.0	有	無	無	有	無	膜沸騰	1.040	0.870
合成パルス 470w/cm+3.0\$	5.0	有	無	無	有	無	膜沸騰	1.380	0.970

* 発熱ピークノードでの値

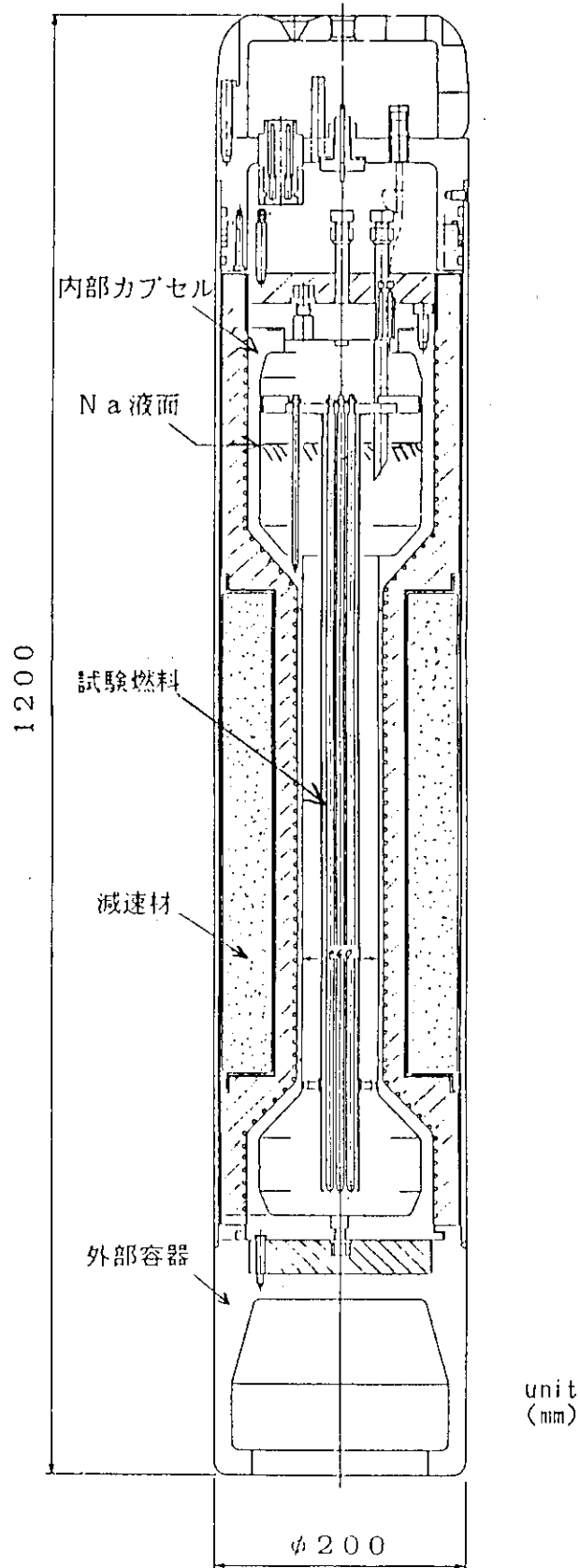


図1. NSRR 高速炉燃料実験用ナトリウムカプセル概略図²⁾

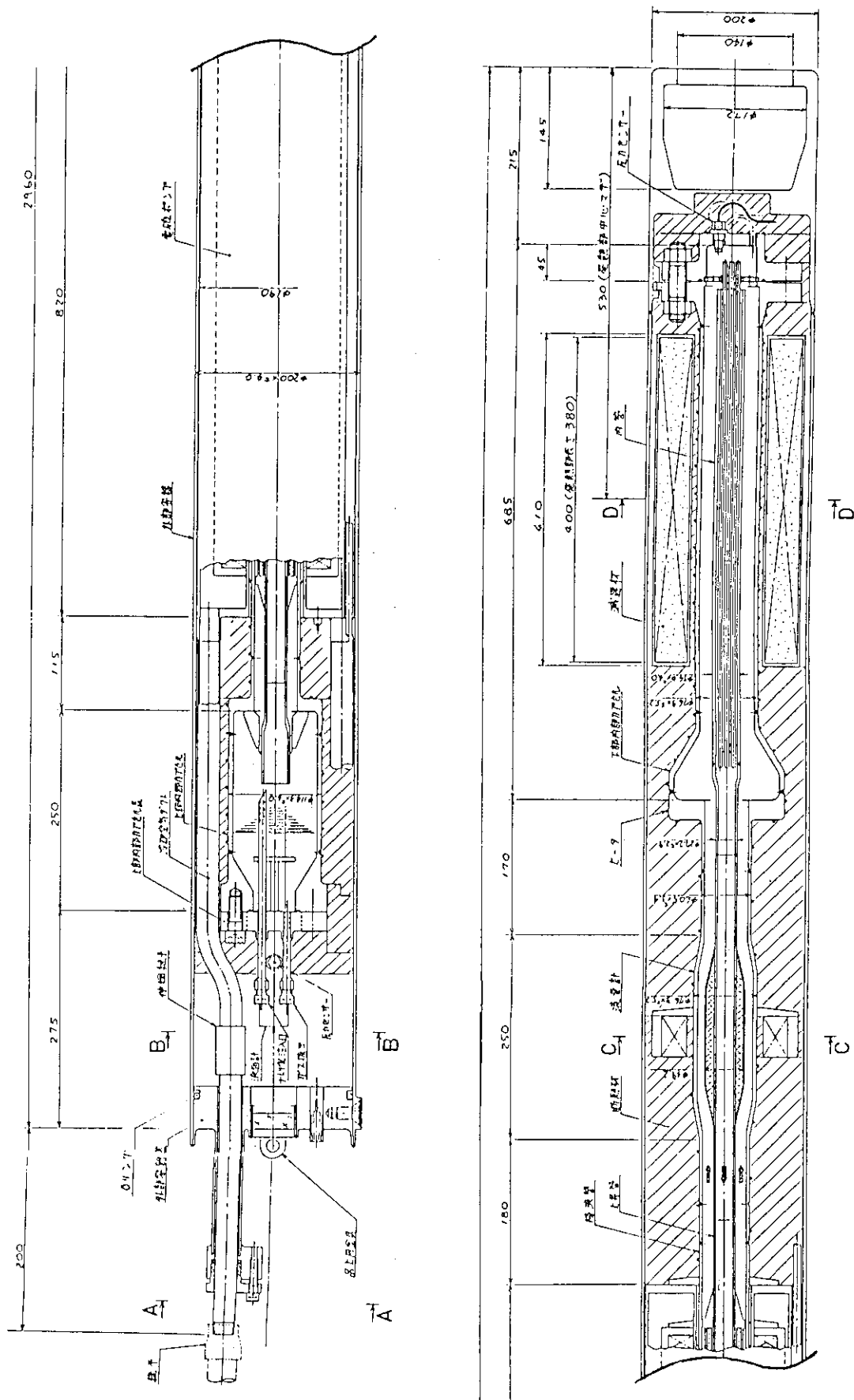


図2. NSRR 高速炉燃料実験用ナトリウムループ概略図

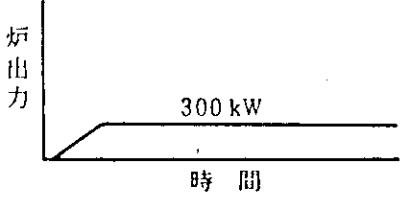
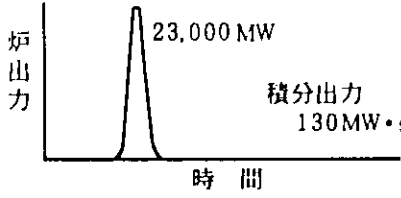
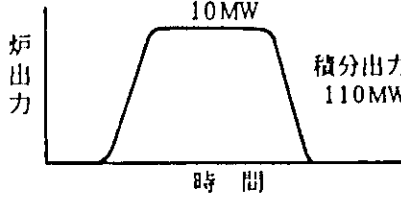
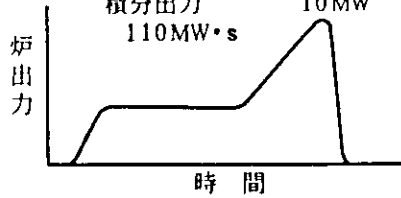
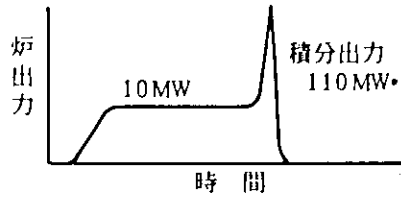
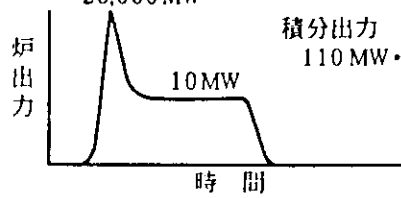
運転の種類	運転モード	原子炉出力特性の代表例
定出力運転	定出力運転	 <p>炉出力</p> <p>300 kW</p> <p>時間</p>
パルス運転	単一パルス運転	 <p>炉出力</p> <p>23,000 MW</p> <p>積分出力 130 MW·s</p> <p>時間</p>
	台形パルス運転	 <p>炉出力</p> <p>10 MW</p> <p>積分出力 110 MW·s</p> <p>時間</p>
		 <p>炉出力</p> <p>積分出力 110 MW·s</p> <p>10 MW</p> <p>時間</p>
	合成パルス運転	 <p>炉出力</p> <p>23,000 MW</p> <p>10 MW</p> <p>積分出力 110 MW·s</p> <p>時間</p>
		 <p>炉出力</p> <p>23,000 MW</p> <p>10 MW</p> <p>積分出力 110 MW·s</p> <p>時間</p>

図3 NSRRの運転の種類と運転モード及び炉出力特性の代表例

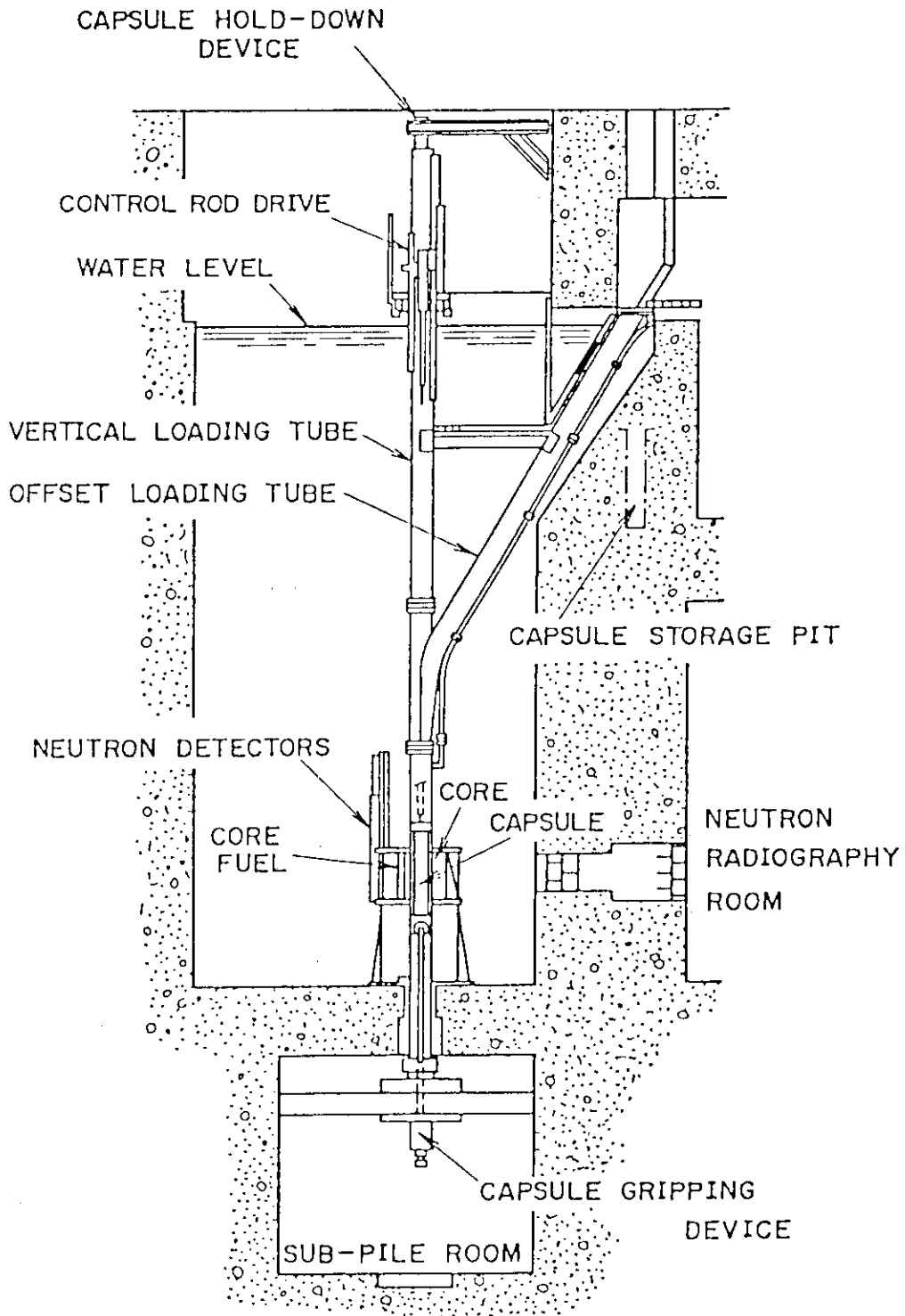


図4 NSRR炉心の概略

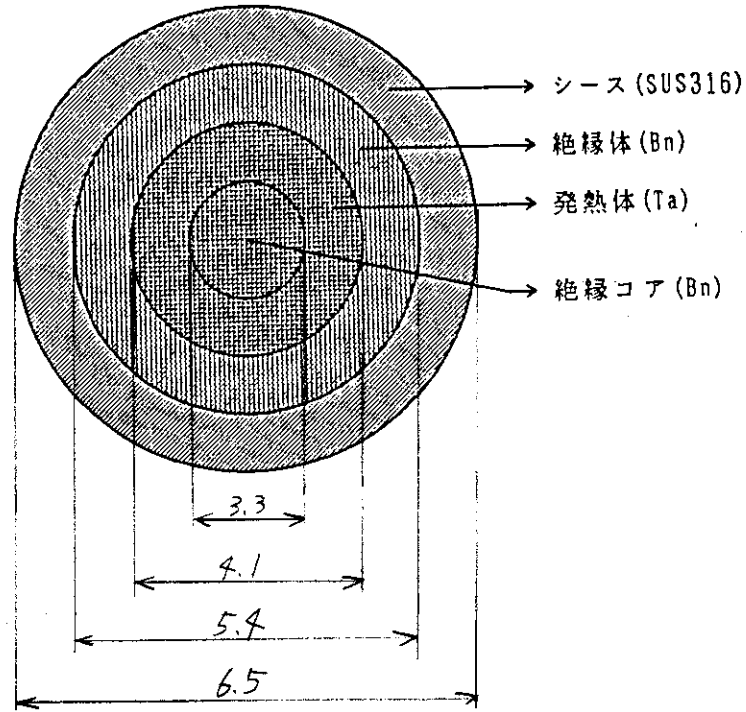


図5 ヒータピンの構造

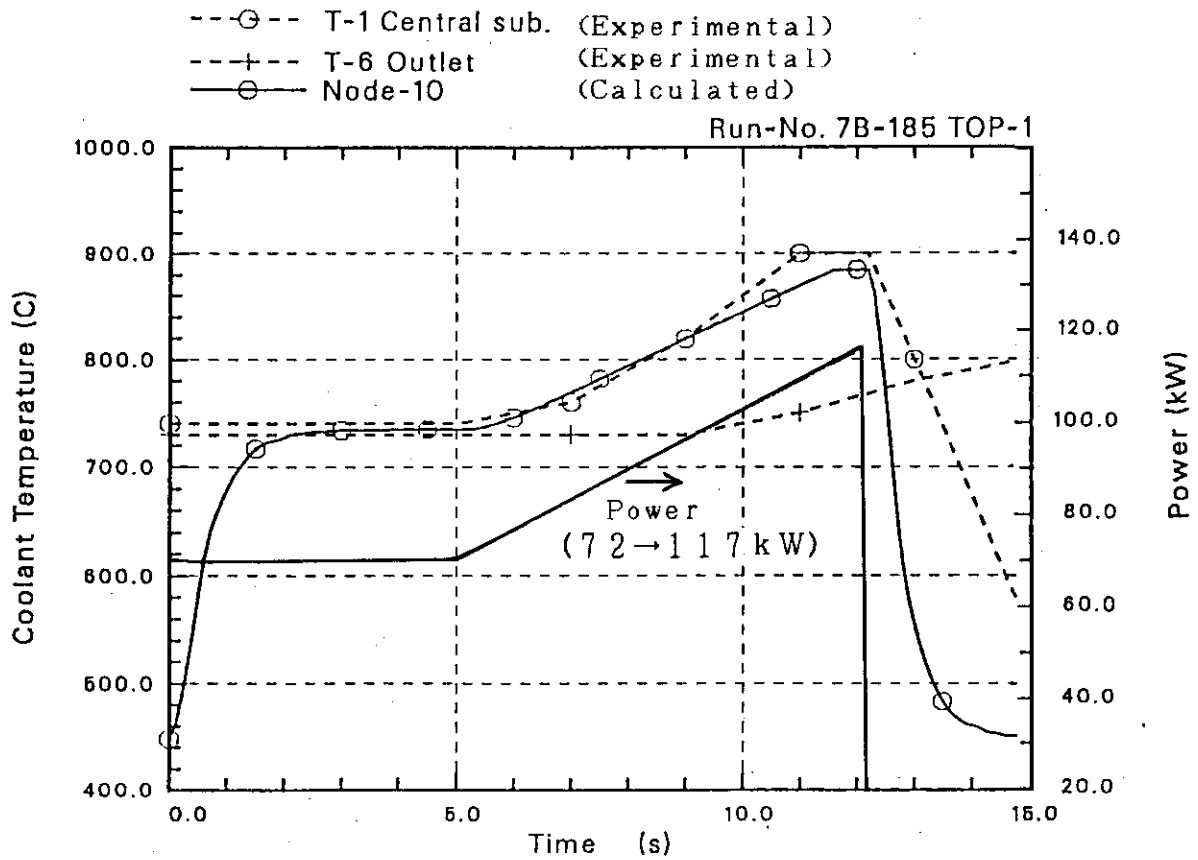


図6 ヒータピンによるTOP実験(7B-185)¹¹⁾での出力及び温度履歴

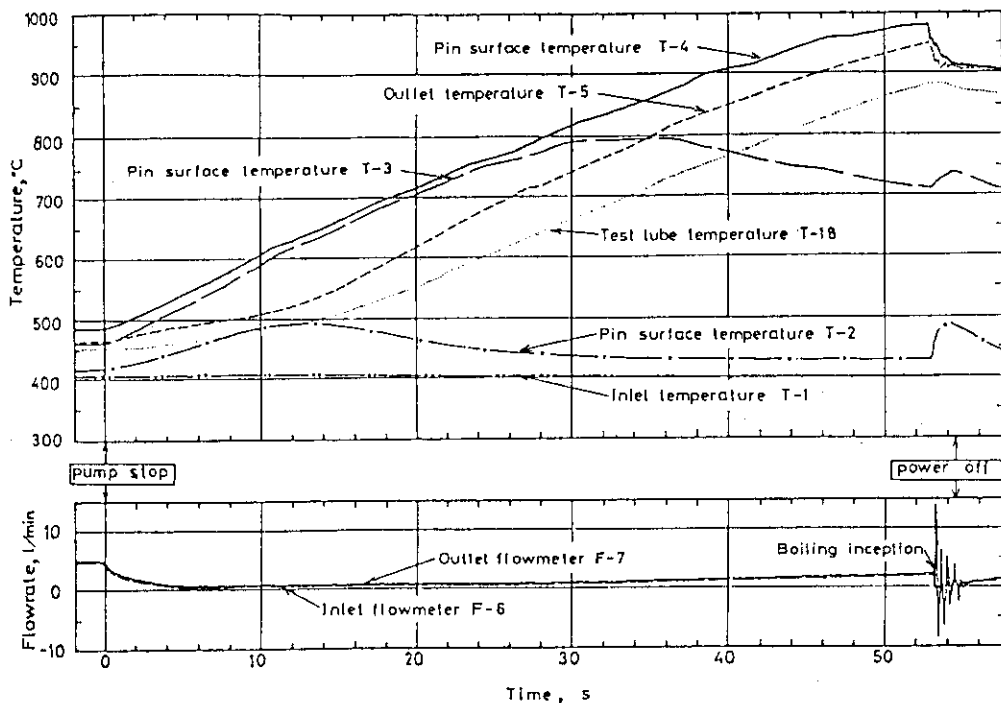


図7 ヒータピン実験 (FC 104)¹³⁾における流速・温度の過渡記録

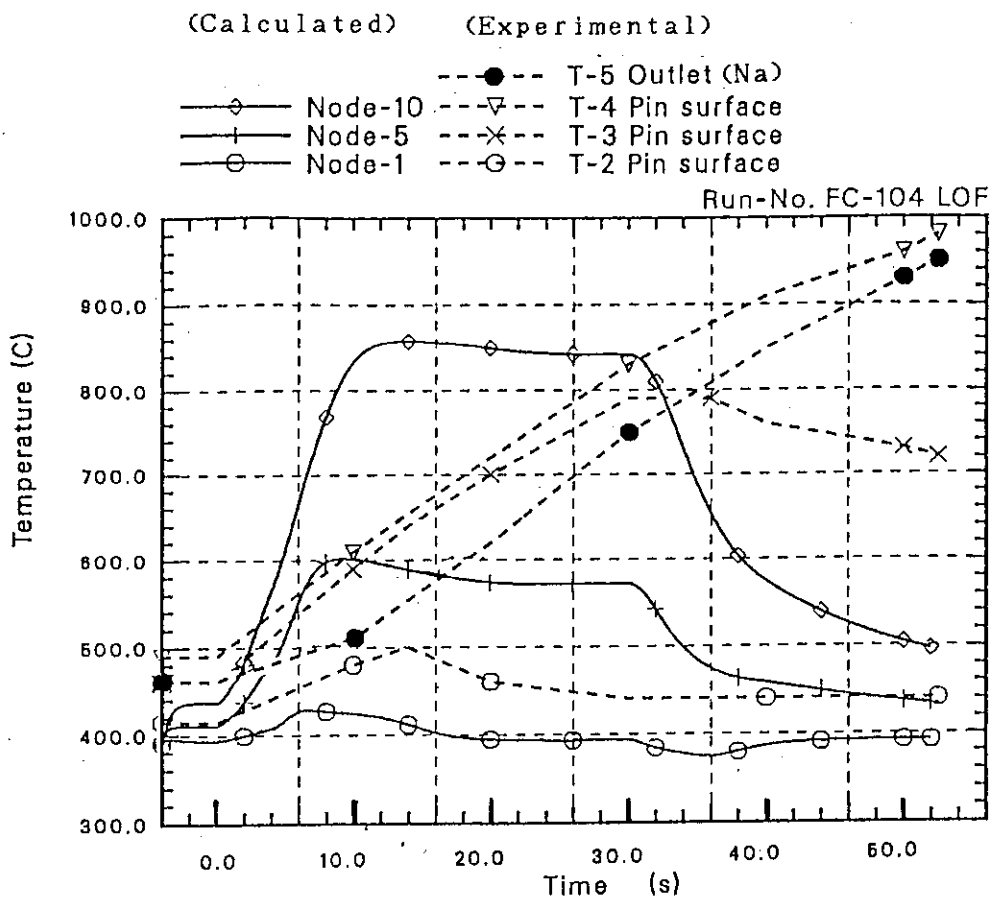
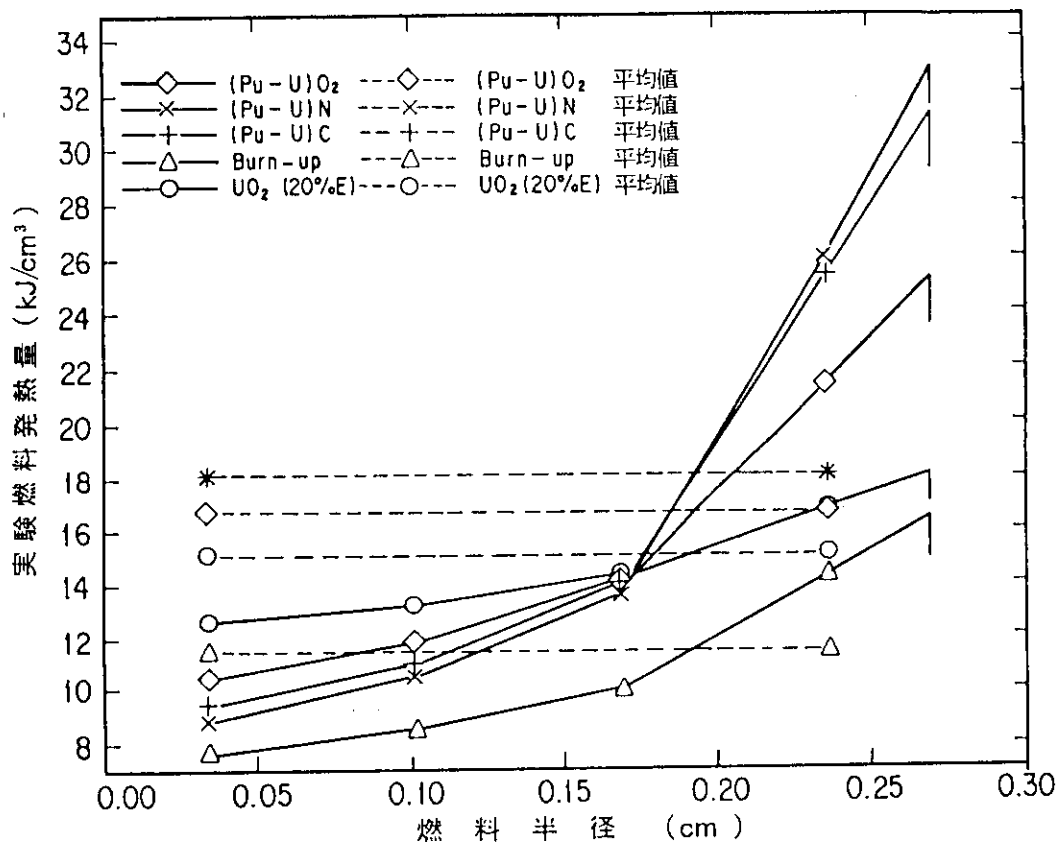
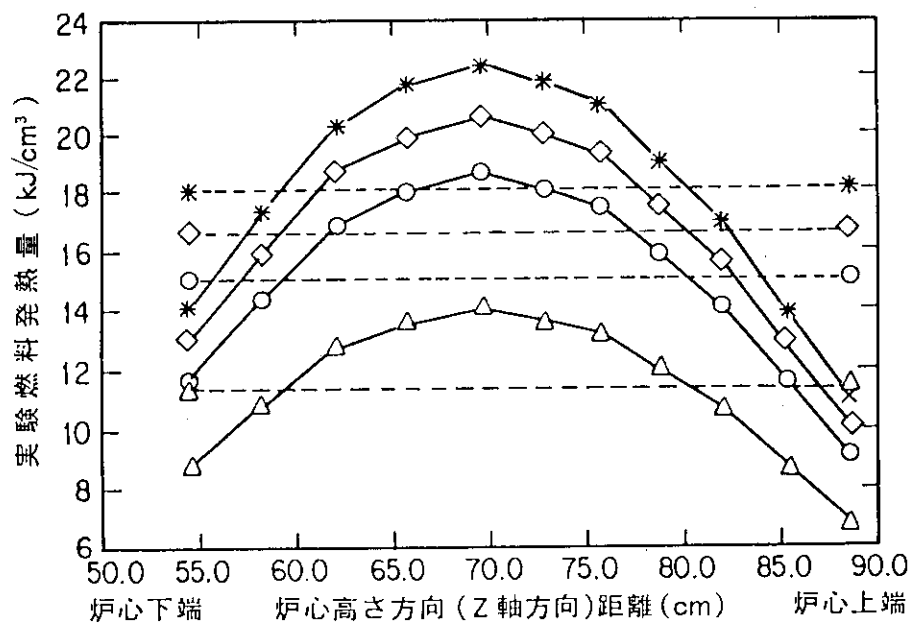


図8 ヒータピン実験 (FC 104) の解析結果



(a) 半径方向発熱分布 (軸方向は平均値)



(b) 軸方向発熱分布 (半径方向は平均値)

図9 NSRR実験における代表的燃料の発熱分布²⁾

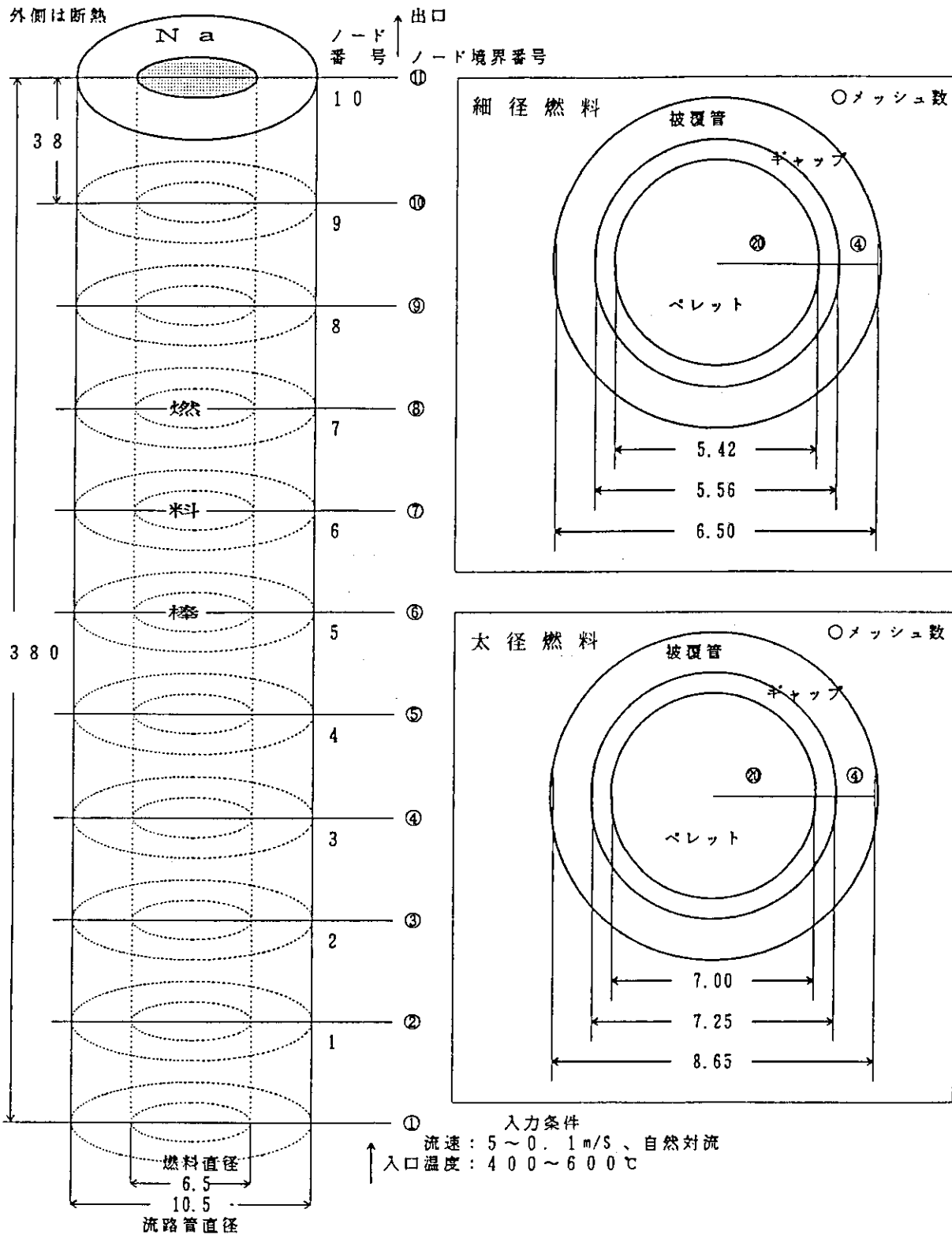


図 10 解析計算におけるノード分割, メッシュ分割モデル

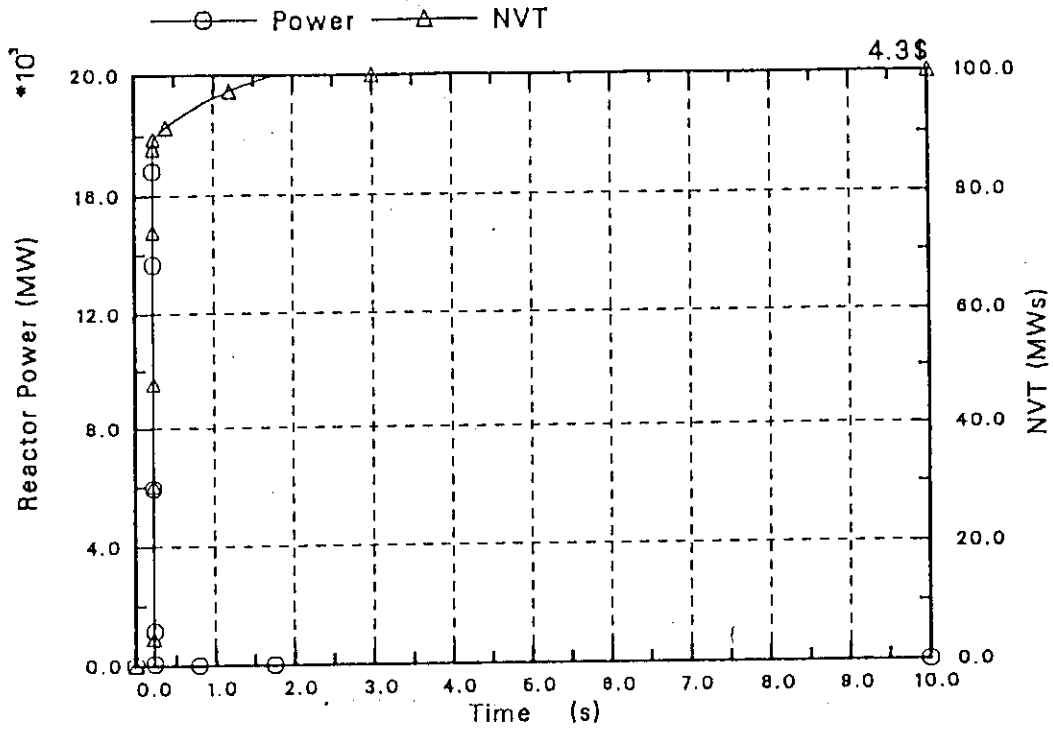


図 11-1 零出力からのTOP (\$4.3) の出力履歴
(ケース 1, 細径燃料)

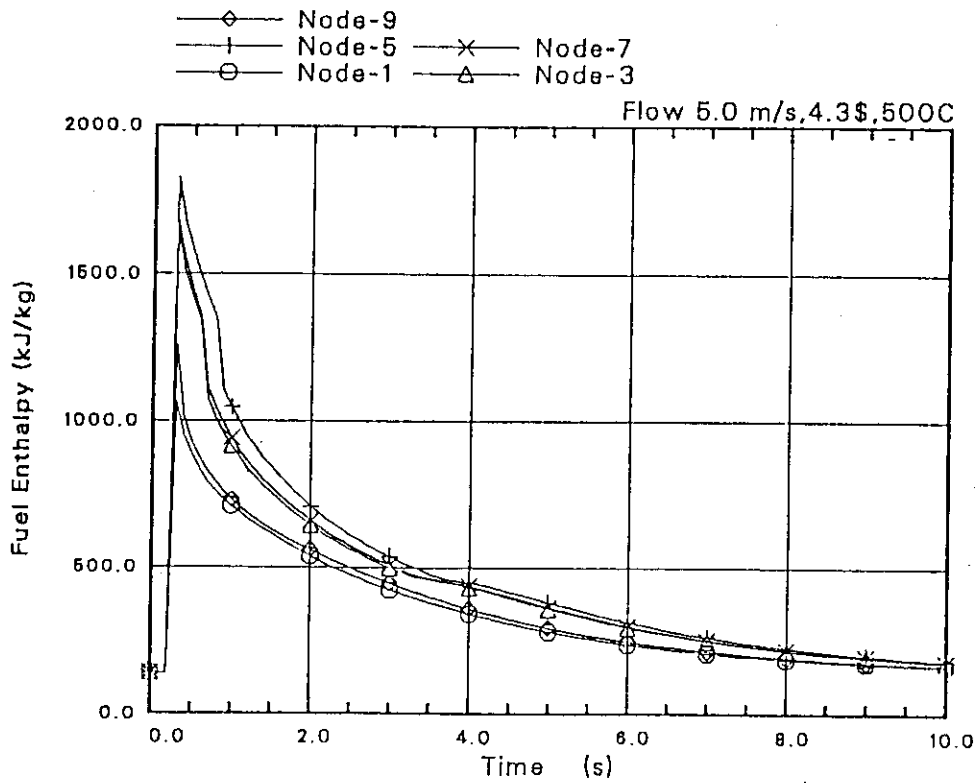


図 11-2 零出力からのTOP (\$4.3) での実験燃料エンタルピの時間変化
(ケース 1, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

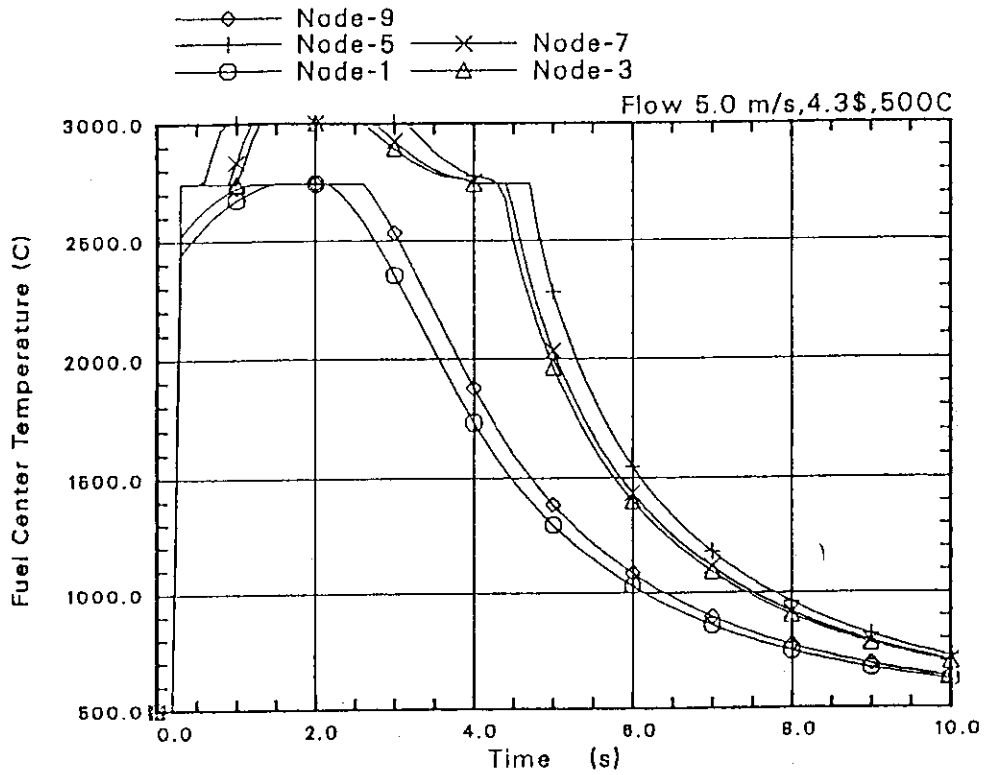


図 11-3 零出力からのTOP (\$4.3)での実験燃料中心温度履歴
(ケース1, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5 m/s)

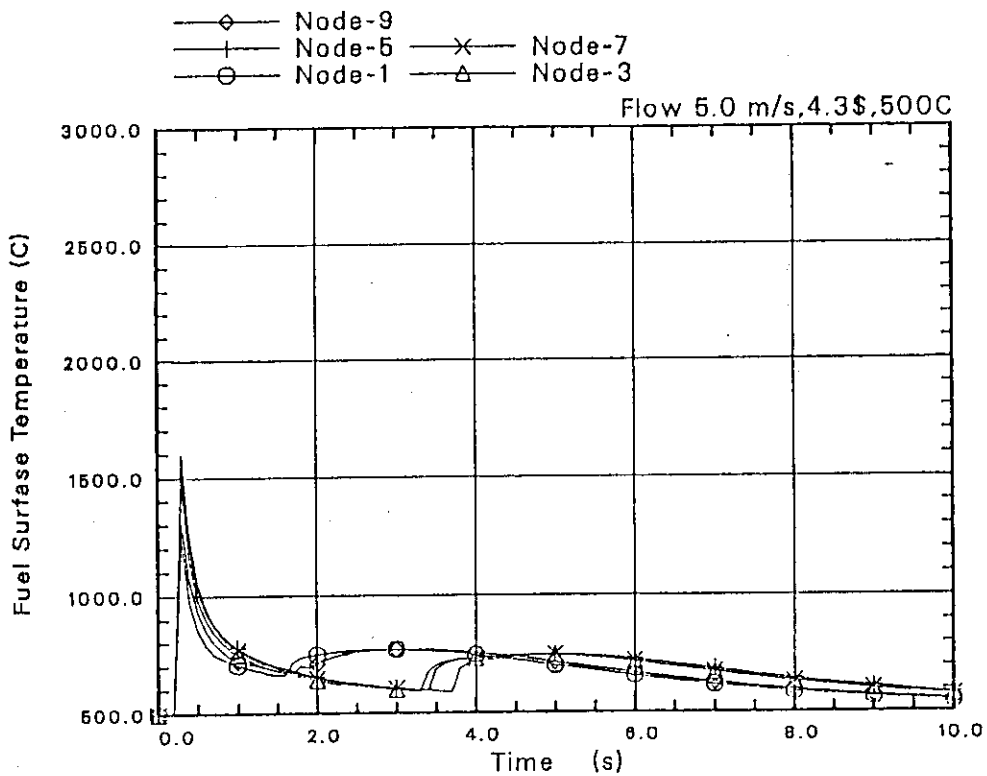


図 11-4 零出力からのTOP (\$4.3)での実験燃料表面温度履歴
(ケース1, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5 m/s)

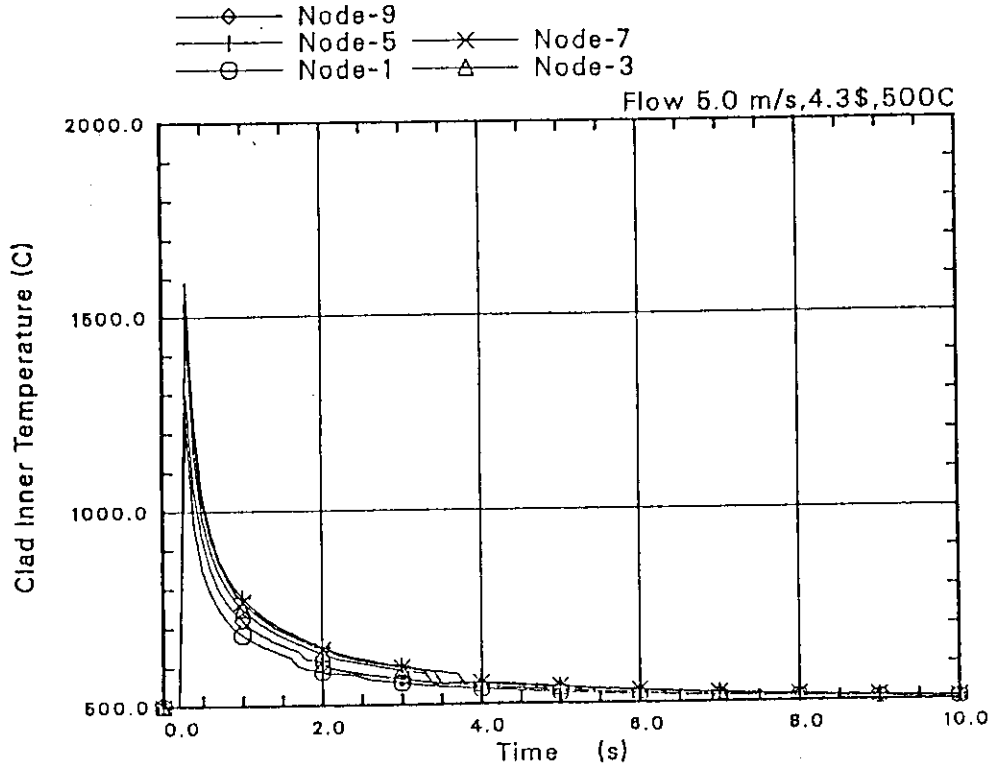


図 11-5 零出力からのTOP (\$4.3)での被覆管内面温度履歴
(ケース1, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

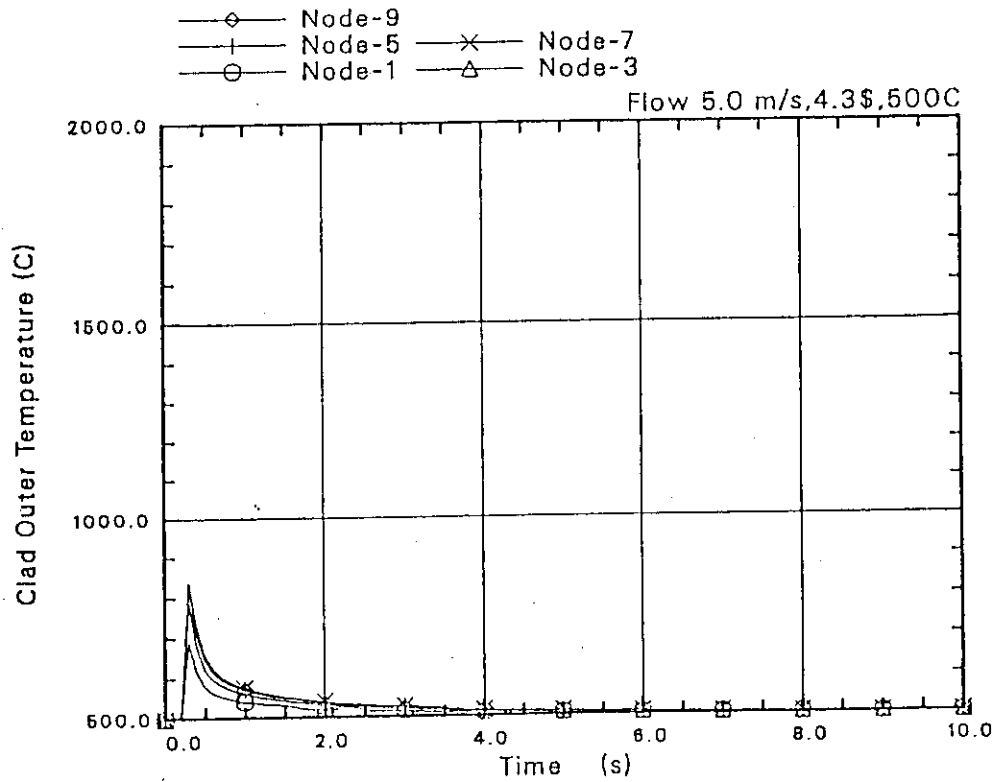


図 11-6 零出力からのTOP (\$4.3)での被覆管表面温度履歴
(ケース1, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

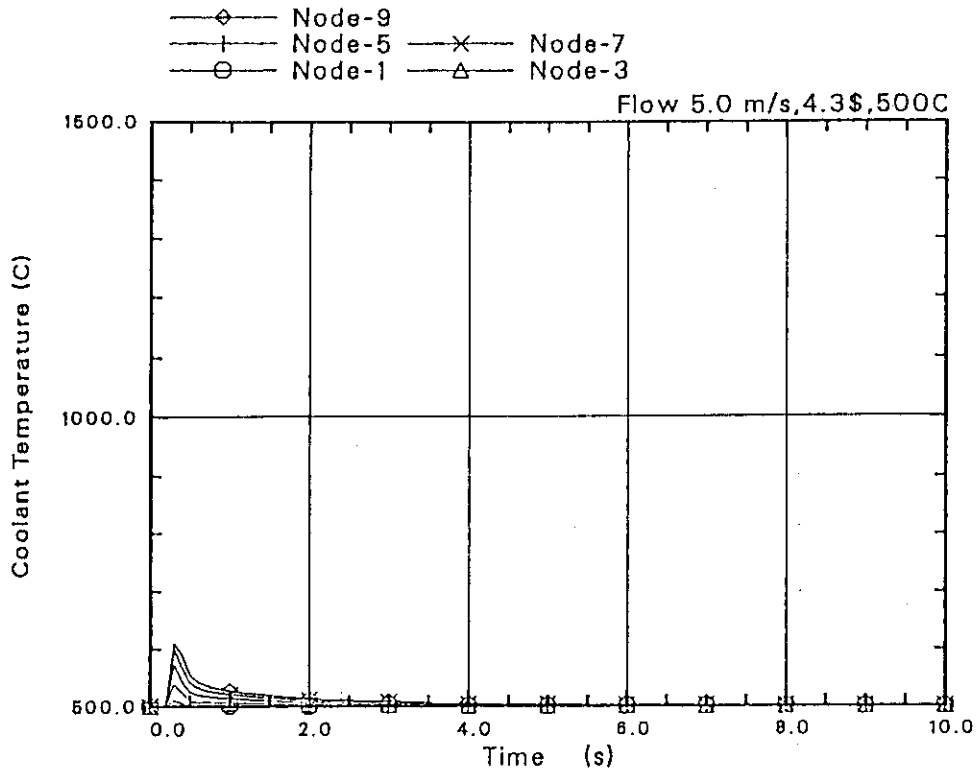


図 11-7 零出力からのTOP (\$4.3)での冷却材温度履歴
(ケース1, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

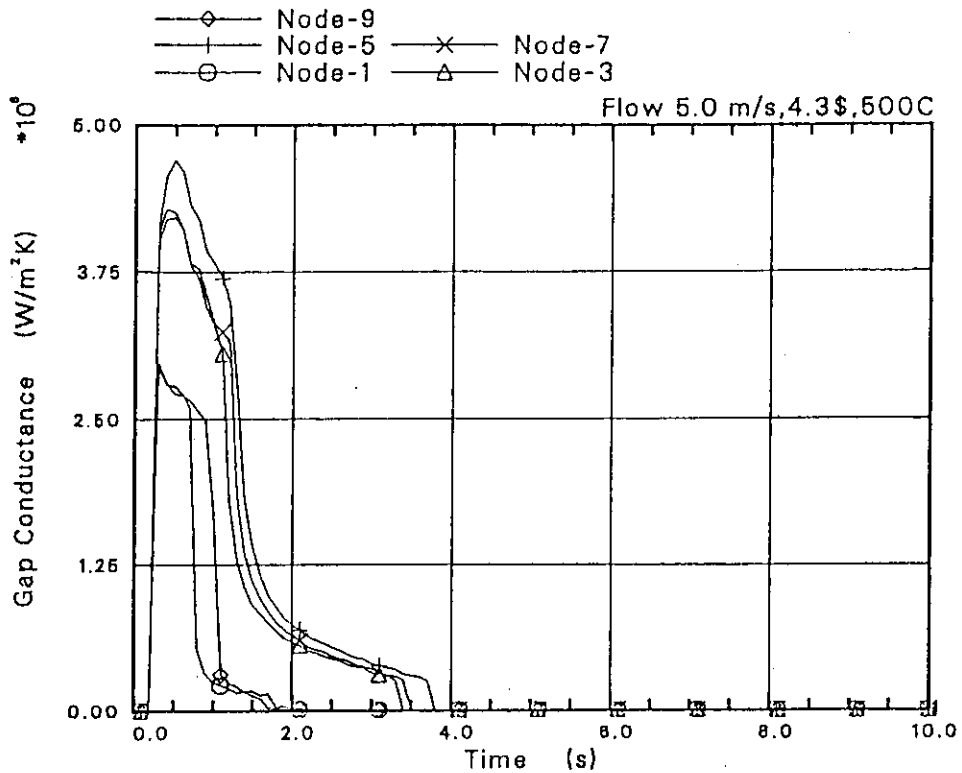


図 11-8 零出力からのTOP (\$4.3)でのギャップコンダクタンスの時間変化
(ケース1, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

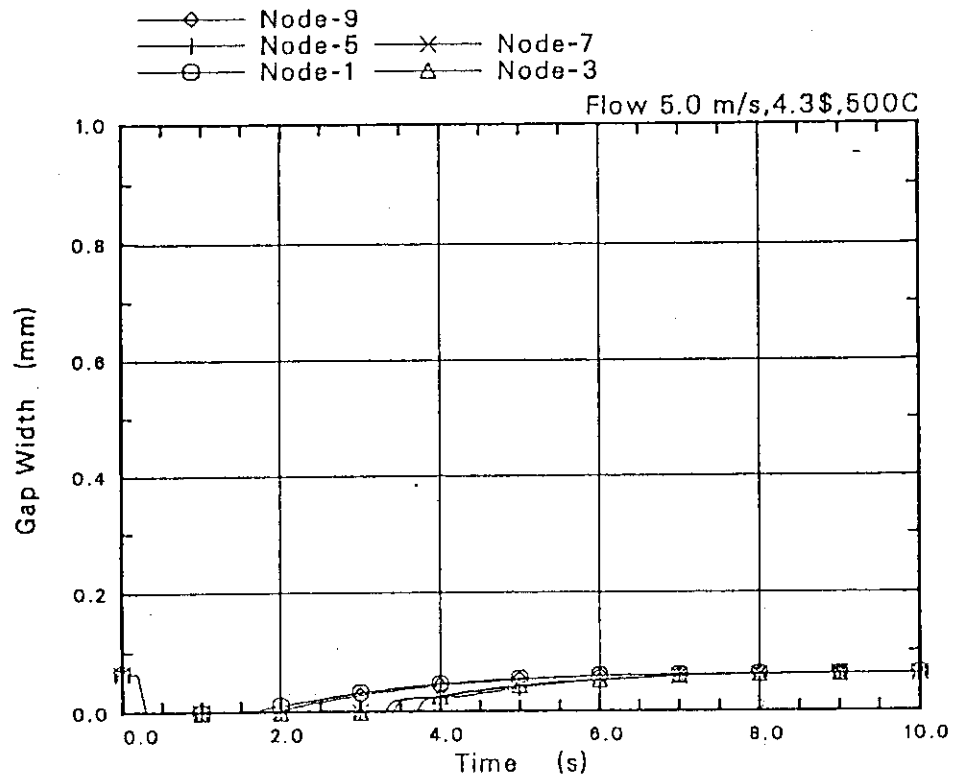


図 11-9 零出力からのTOP (\$4.3)でのギャップ幅の時間変化
(ケース1, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

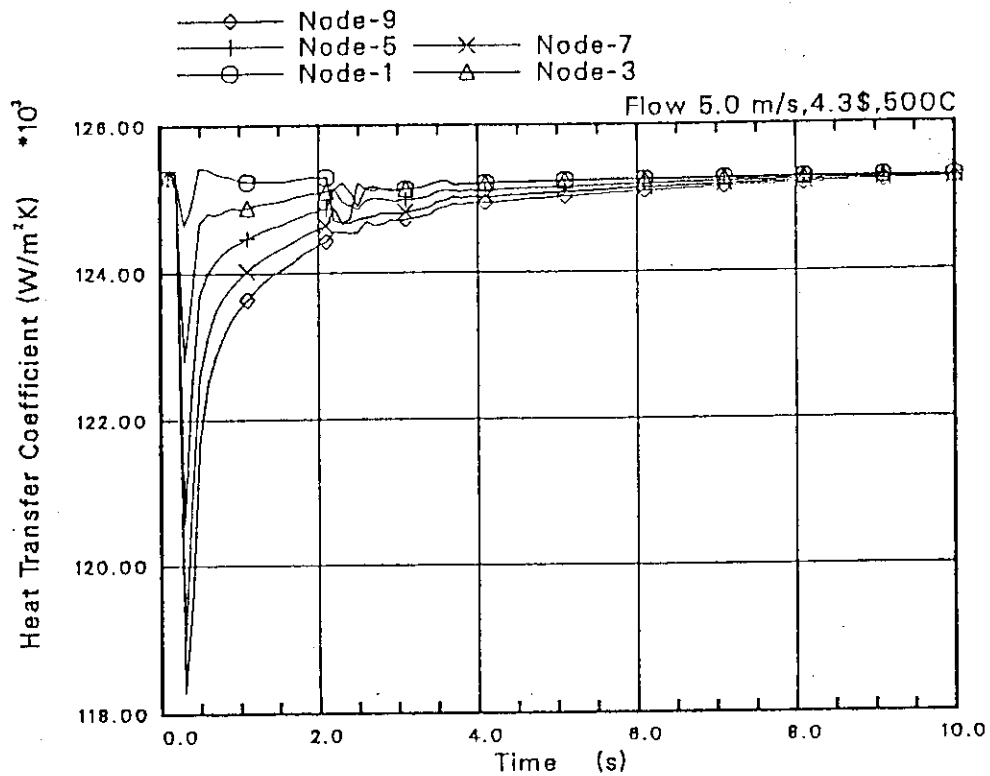


図 11-10 零出力からのTOP (\$4.3)での熱伝達係数の時間変化
(ケース1, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

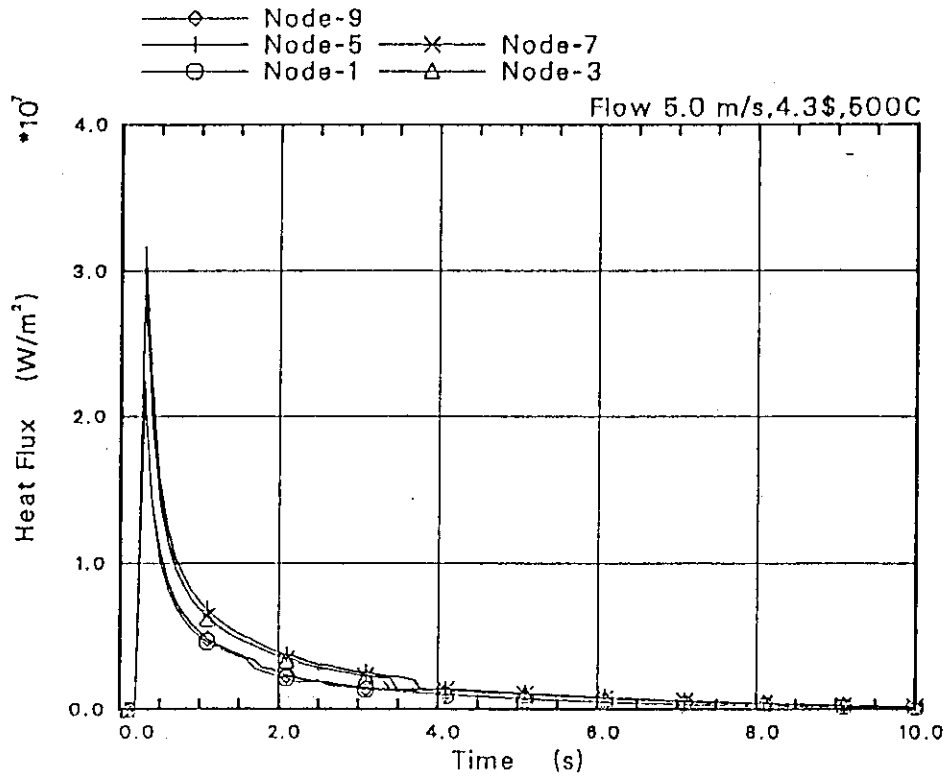


図 11-11 零出力からのTOP (\$4.3)での熱流束の時間変化
(ケース1, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

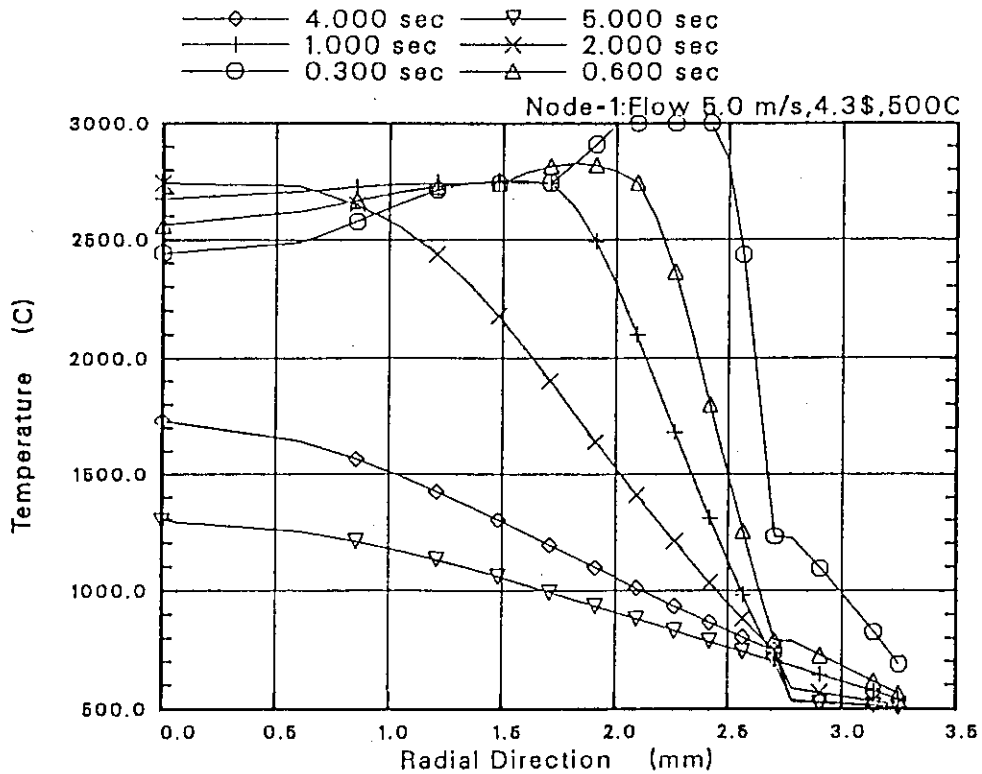


図 11-12 零出力からのTOP (\$4.3)での実験燃料(ノード1)の半径方向温度分布
(ケース1, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

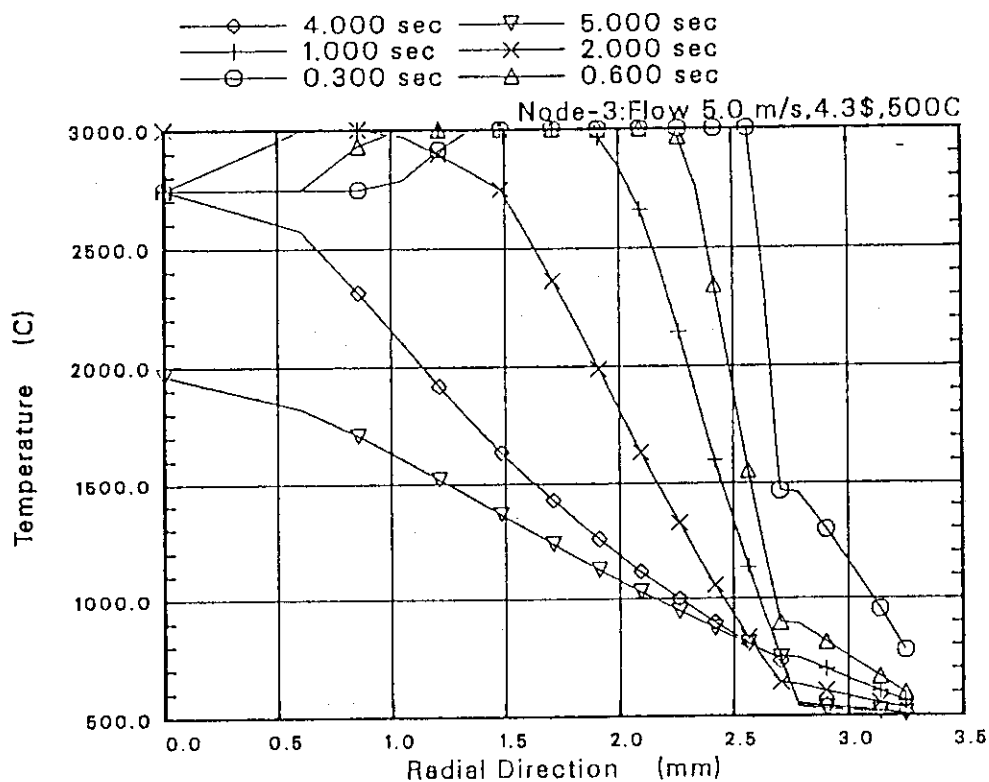


図 11-13 零出力からのTOP (\$4.3)での実験燃料(ノード3)の半径方向温度分布
(ケース1, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

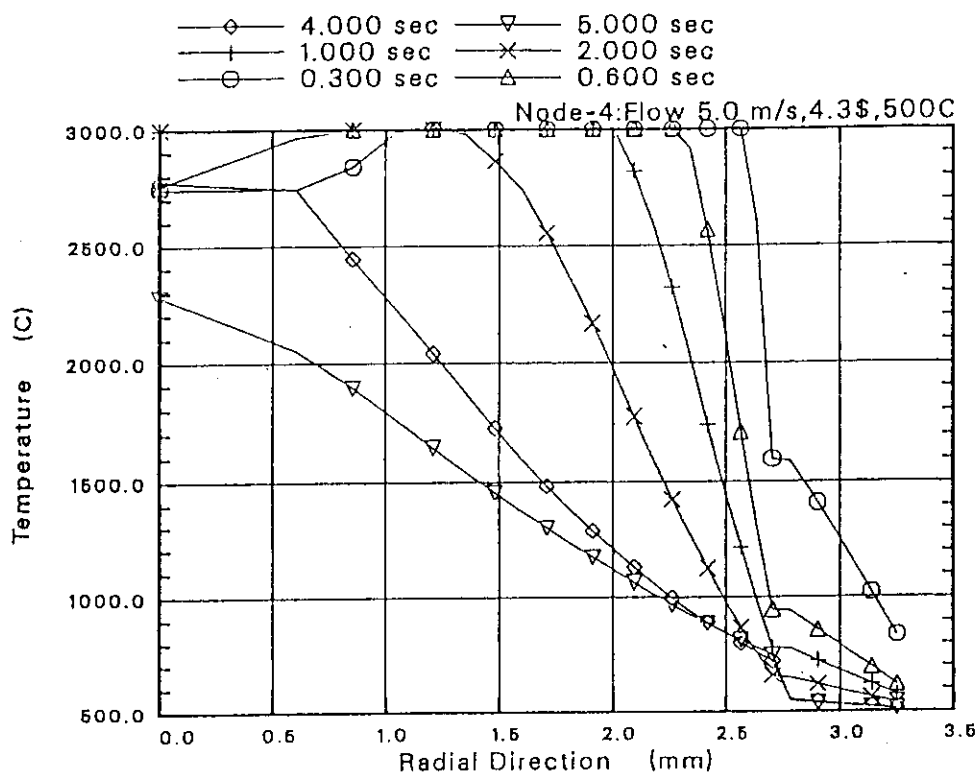


図 11-14 零出力からのTOP (\$4.3)での実験燃料(ノード5)の半径方向温度分布
(ケース1, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

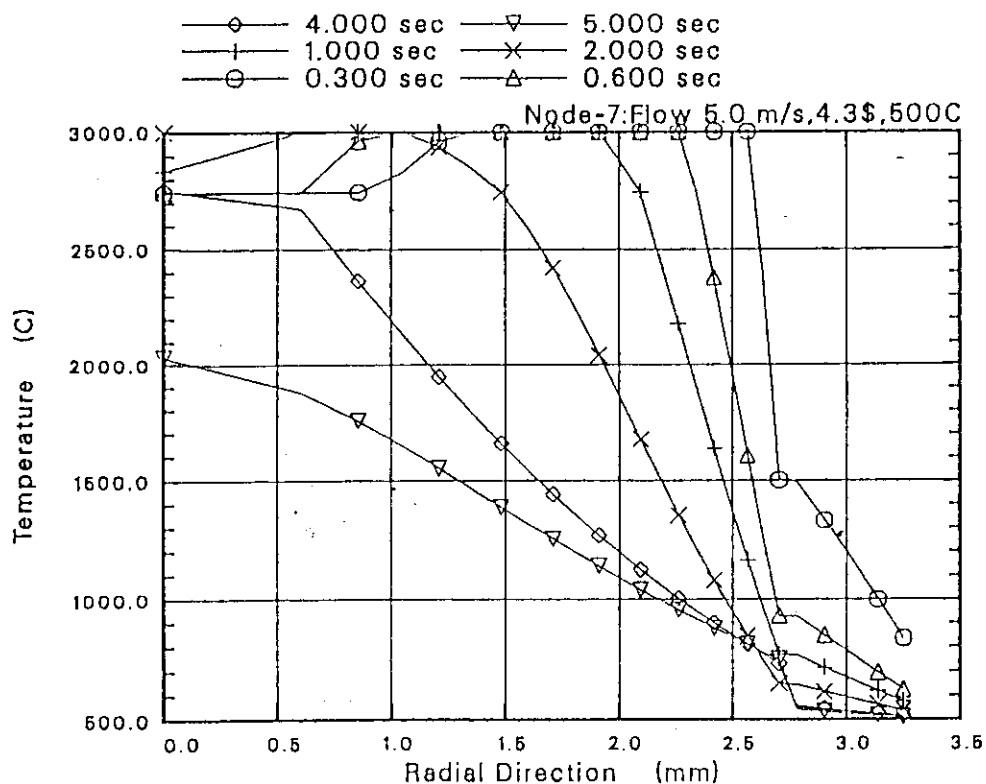


図 11-15 零出力からのTOP (4.3)での実験燃料(ノード7)の半径方向温度分布
(ケース1, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

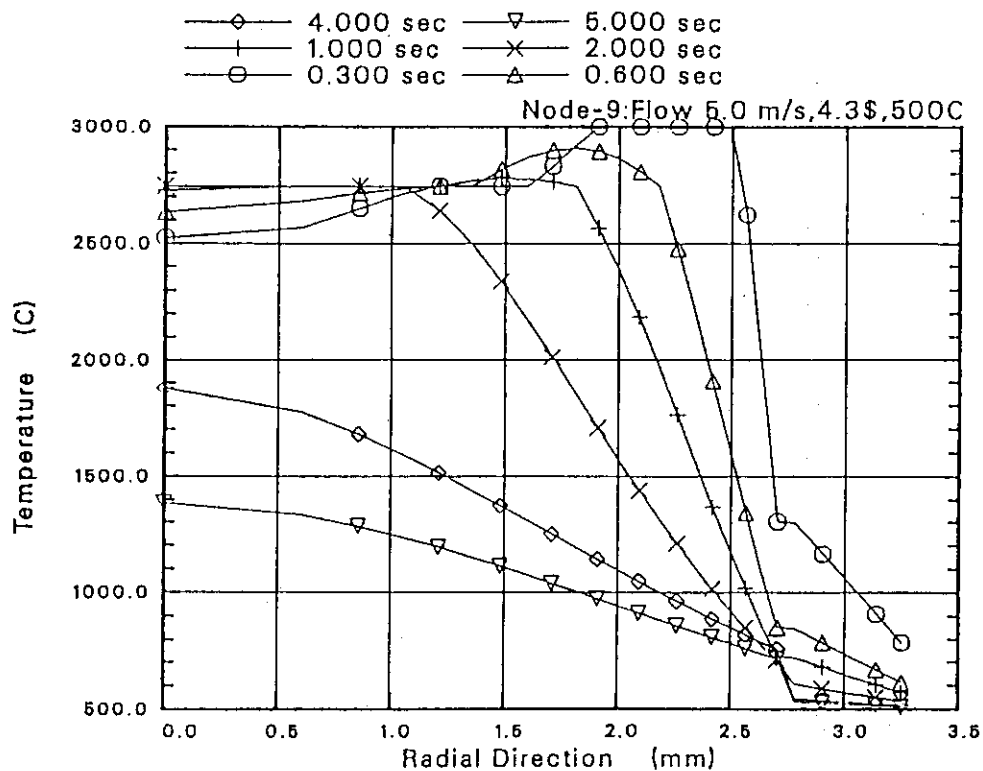


図 11-16 零出力からのTOP (4.3)での実験燃料(ノード9)の半径方向温度分布
(ケース1, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

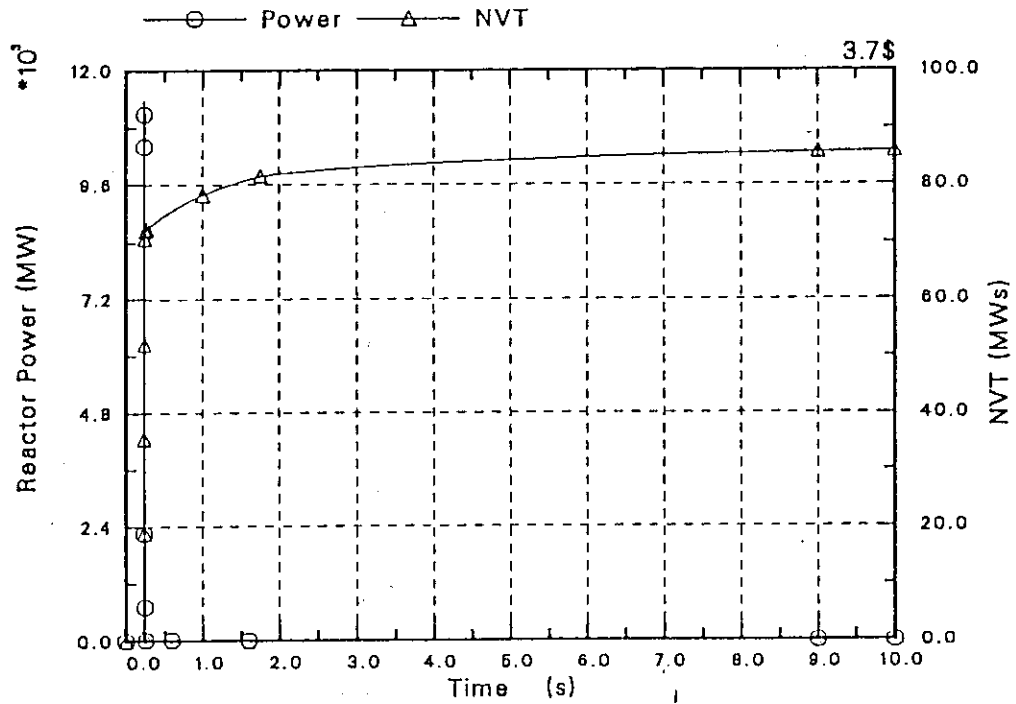


図 12-1 零出力からのTOP (\$3.7) の出力履歴
(ケース 5, 細径燃料)

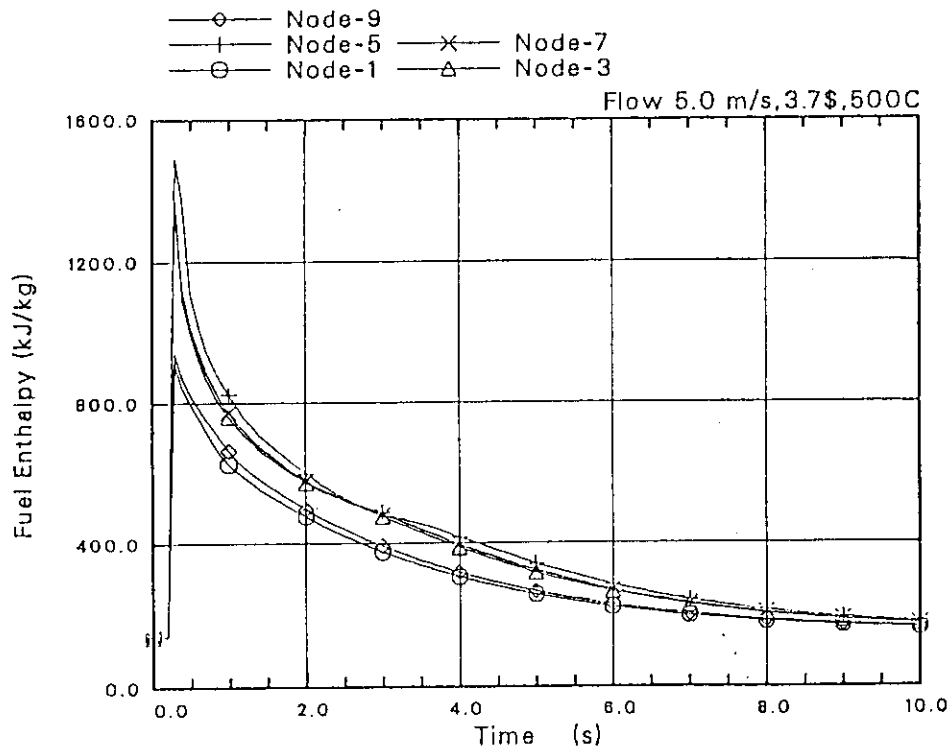


図 12-2 零出力からのTOP (\$3.7) での実験燃料エンタルピの時間変化
(ケース 5, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

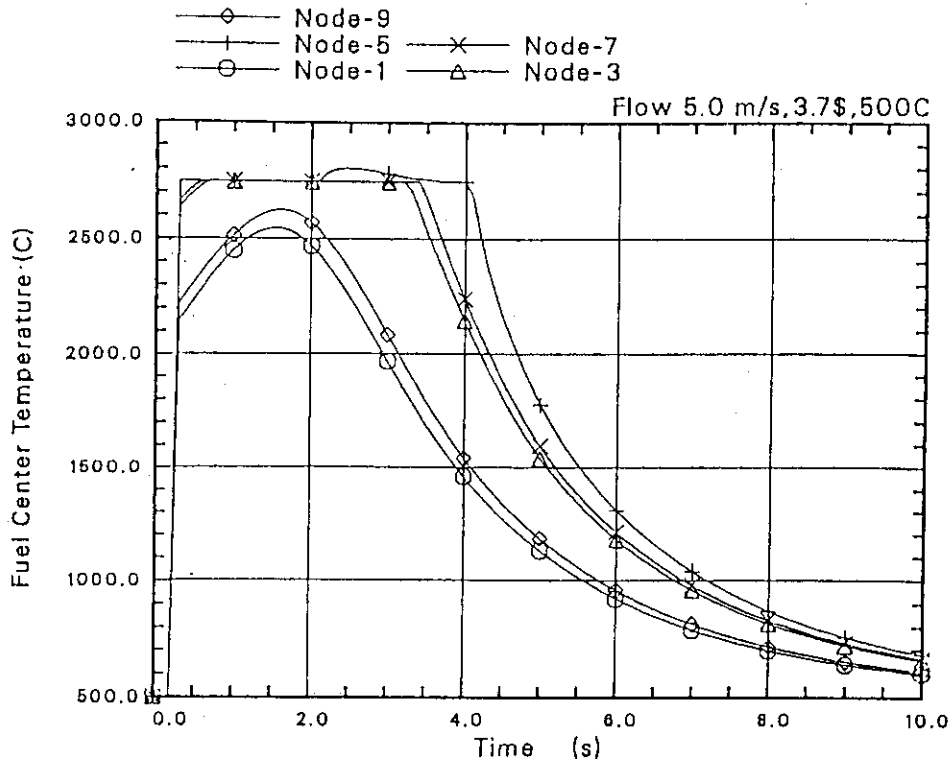


図 12-3 零出力からのTOP (3.7)での実験燃料中心温度履歴
(ケース5, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

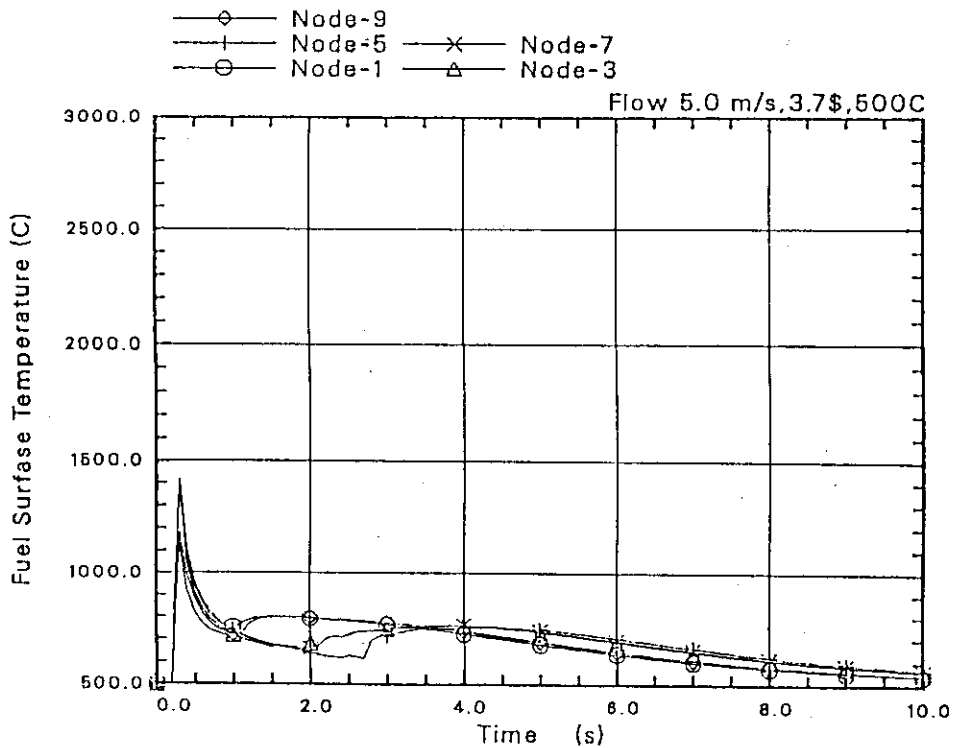


図 12-4 零出力からのTOP (3.7)での実験燃料表面温度履歴
(ケース5, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

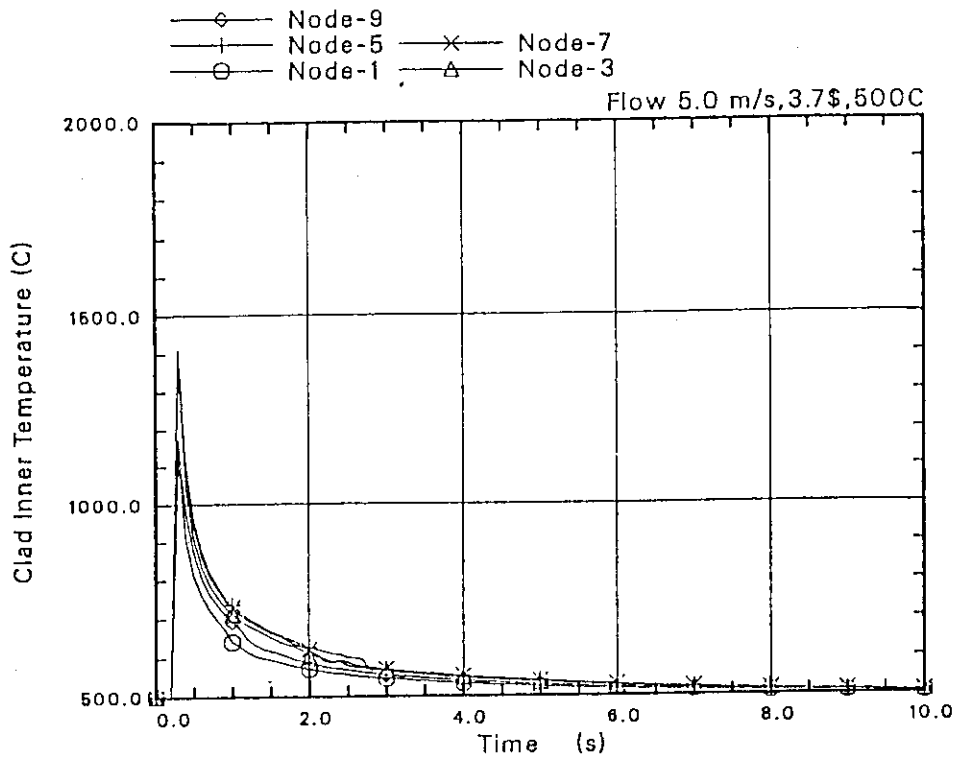


図 12-5 零出力からのTOP (3.7%)での被覆管内面温度履歴
 (ケース 5, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

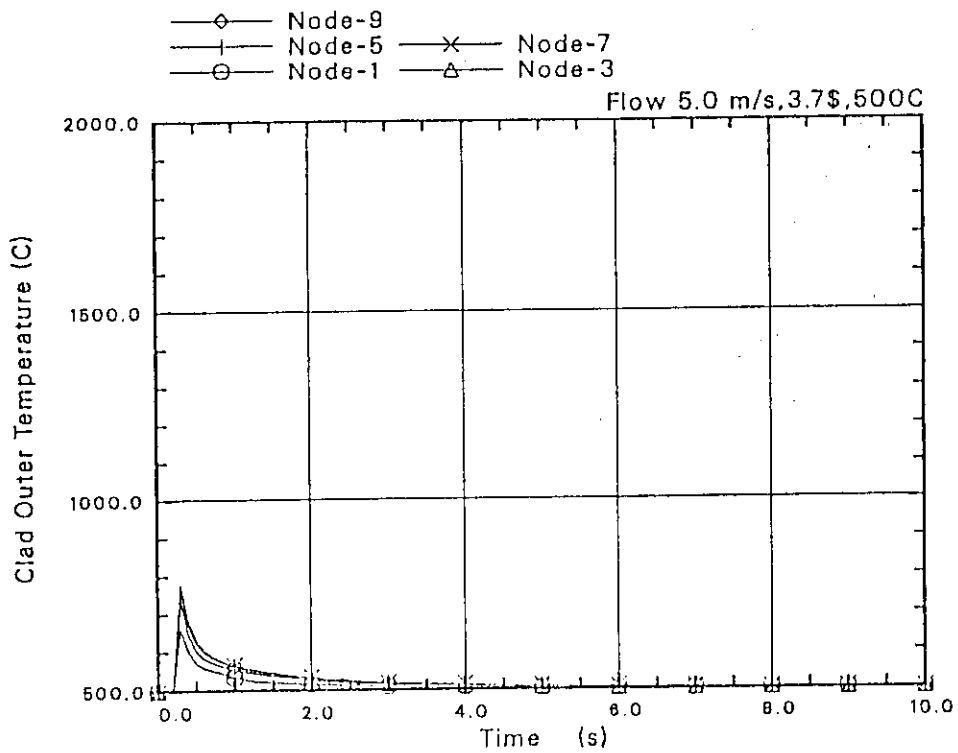


図 12-6 零出力からのTOP (3.7%)での被覆管表面温度履歴
 (ケース 5, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

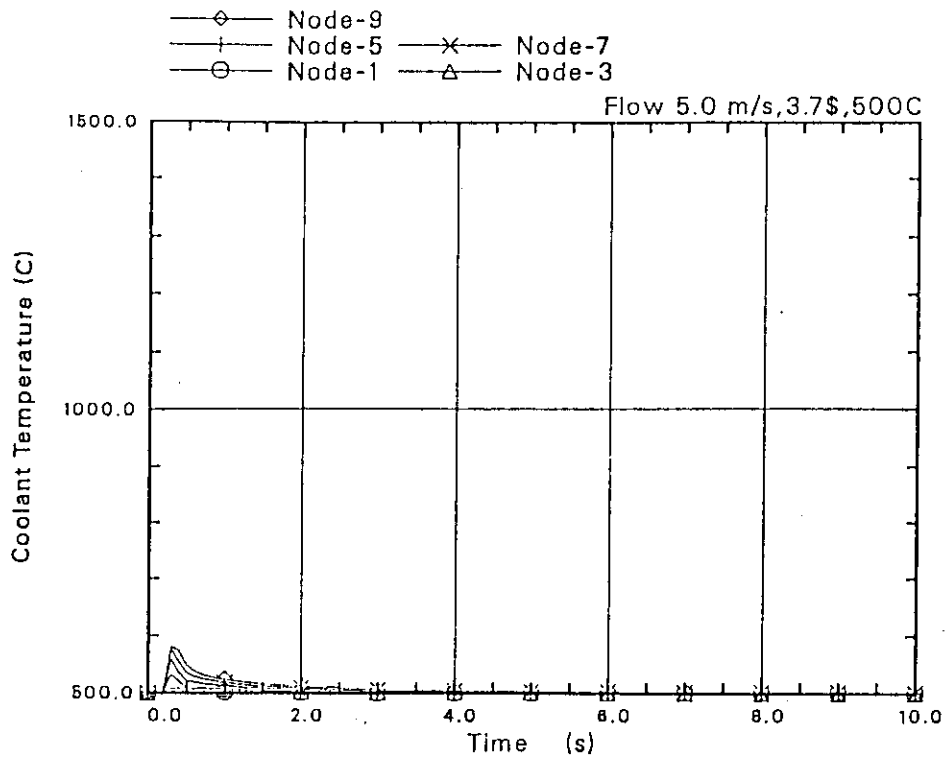


図 12-7 零出力からのTOP (3.7%)での冷却材温度履歴
(ケース 5, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

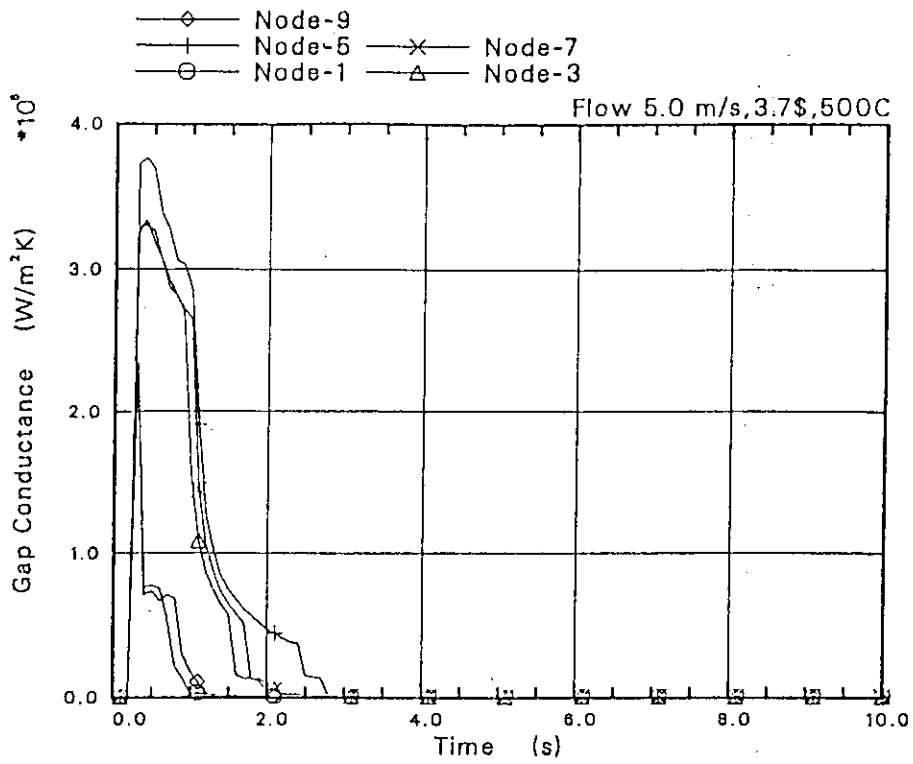


図 12-8 零出力からのTOP (3.7%)でのギャップコンダクタンスの時間変化
(ケース 5, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

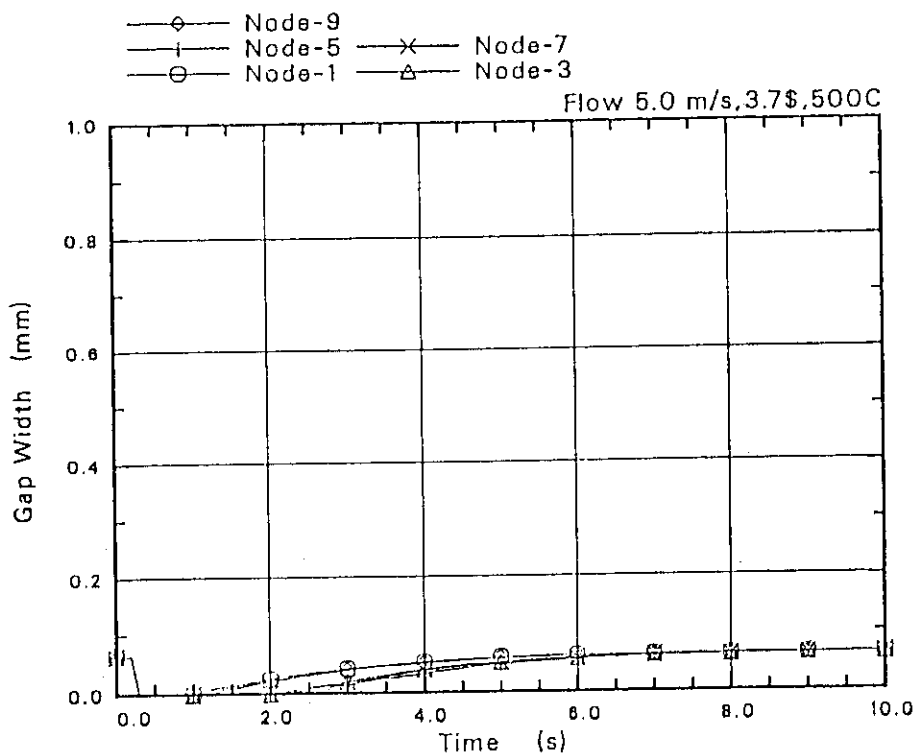


図 12-9 零出力からのTOP (3.7)でのギャップ幅の時間変化
(ケース 5, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

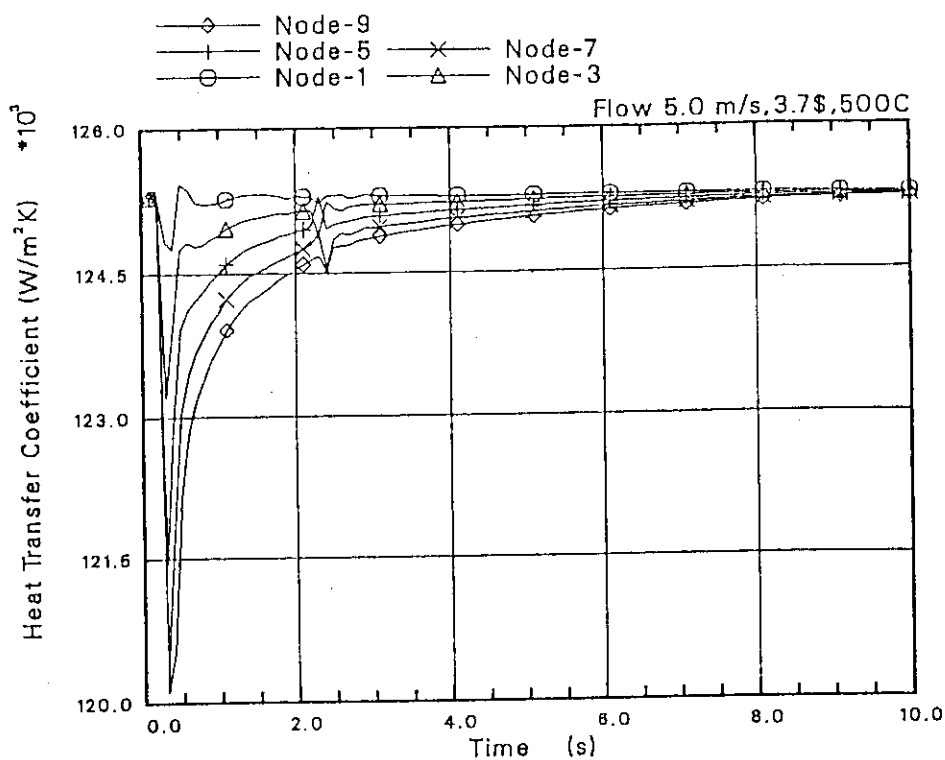


図 12-10 零出力からのTOP (3.7)での熱伝達係数の時間変化
(ケース 5, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

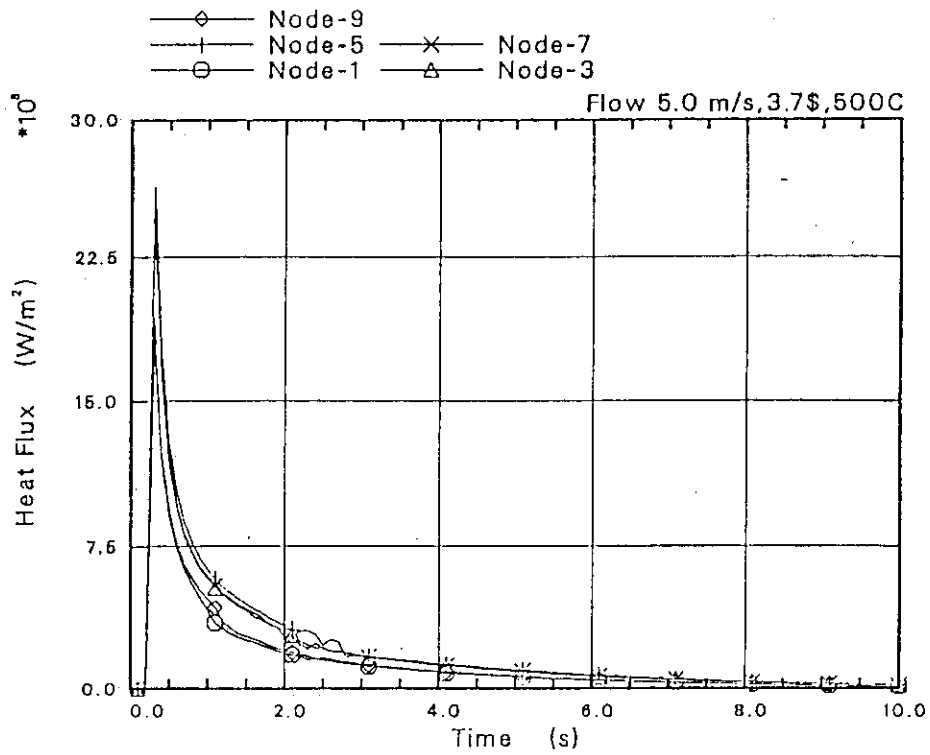


図 12-11 零出力からのTOP (3.7)での熱流束の時間変化
 (ケース 5, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5 m/s)

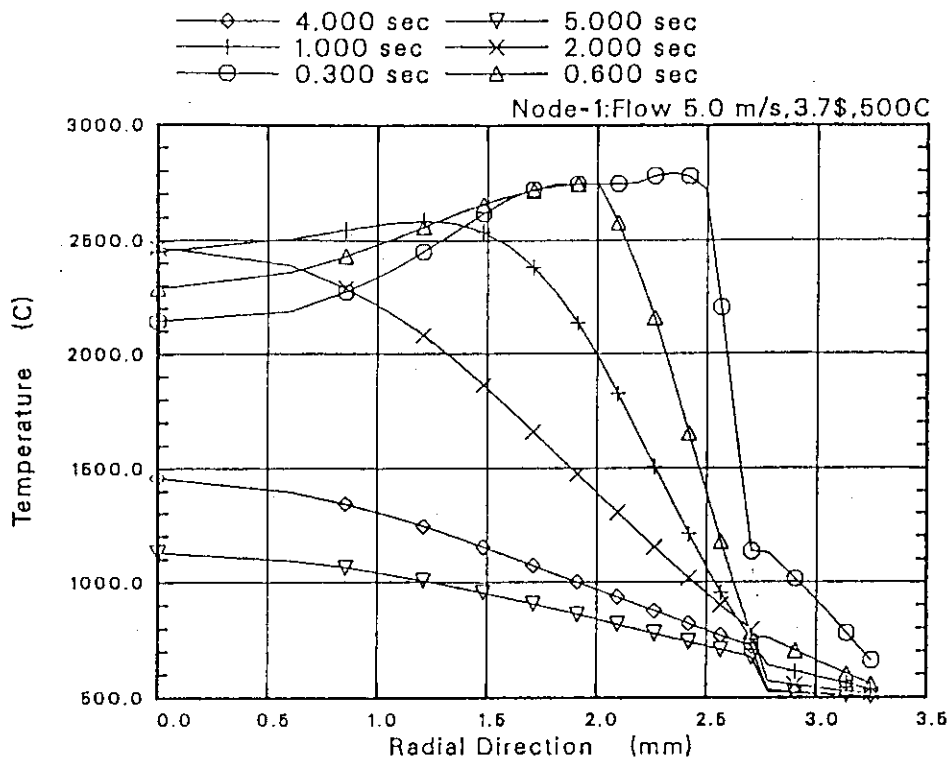


図 12-12 零出力からのTOP (3.7)での実験燃料 (ノード1)の半径方向温度分布
 (ケース 5, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5 m/s)

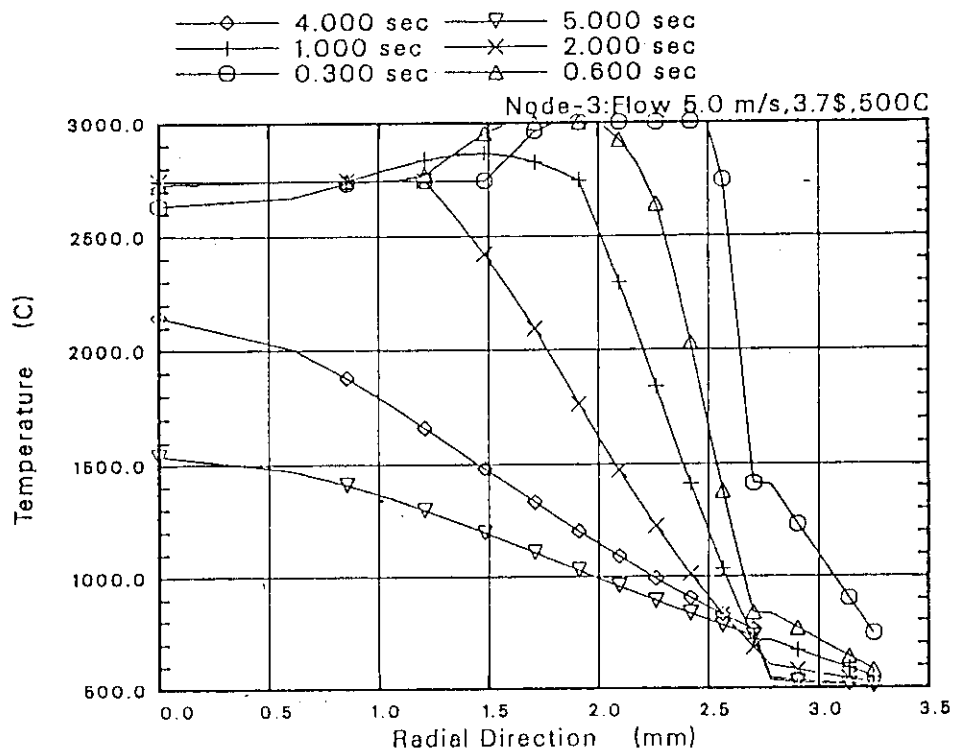


図 12-13 零出力からのTOP (\$3.7)での実験燃料(ノード3)の半径方向温度分布
(ケース5, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

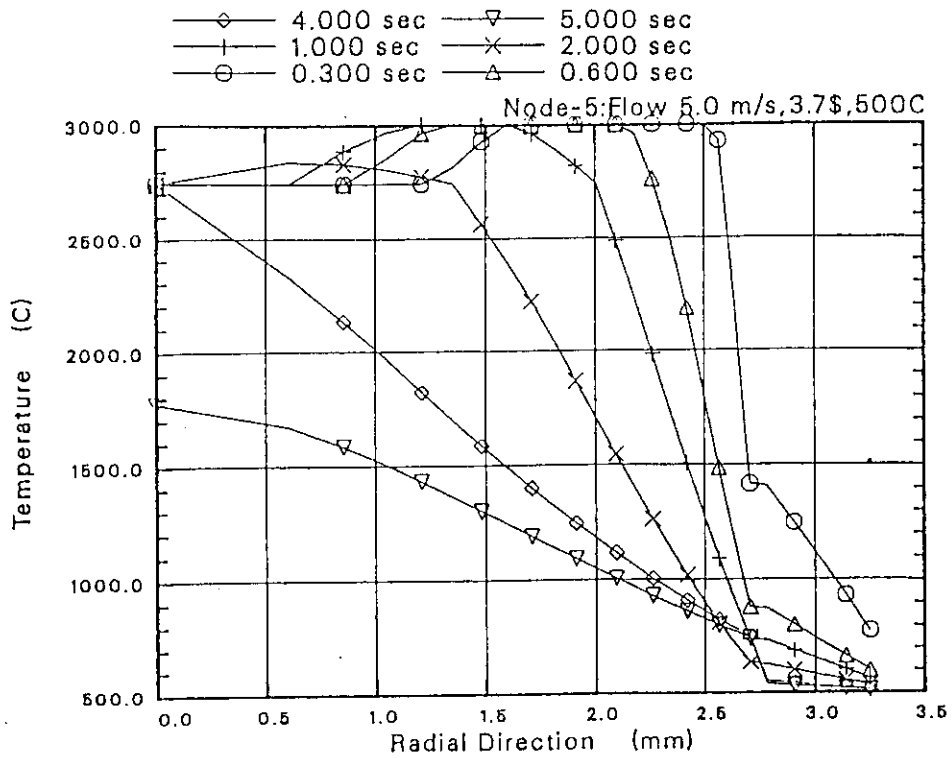


図 12-14 零出力からのTOP (\$3.7)での実験燃料(ノード5)の半径方向温度分布
(ケース5, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

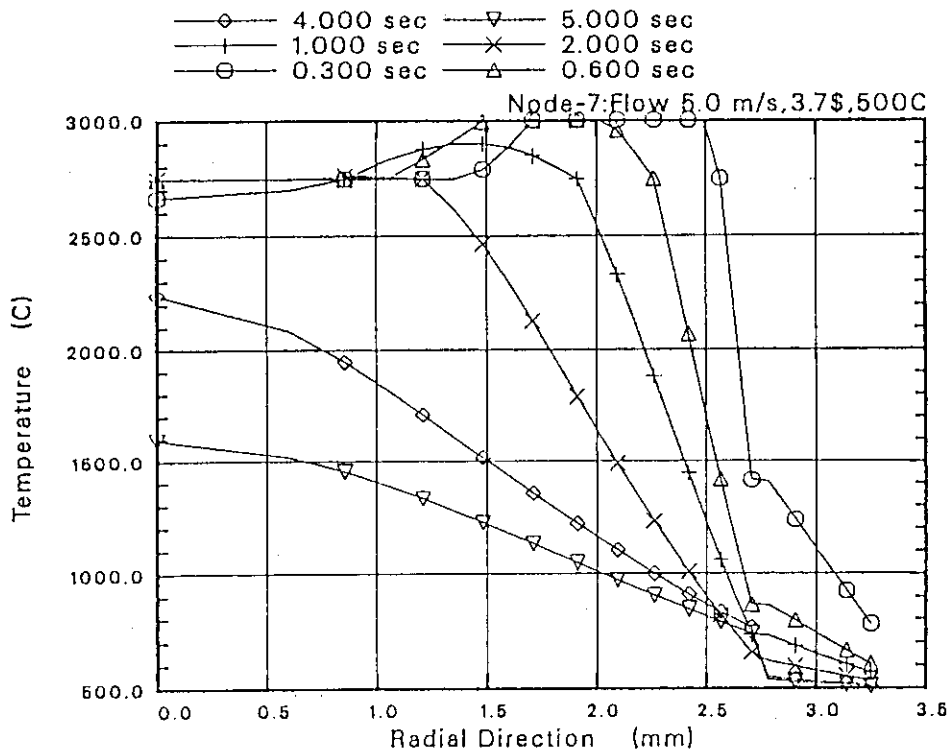


図 12-15 零出力からのTOP (\$3.7) での実験燃料(ノード7)の半径方向温度分布
(ケース5, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

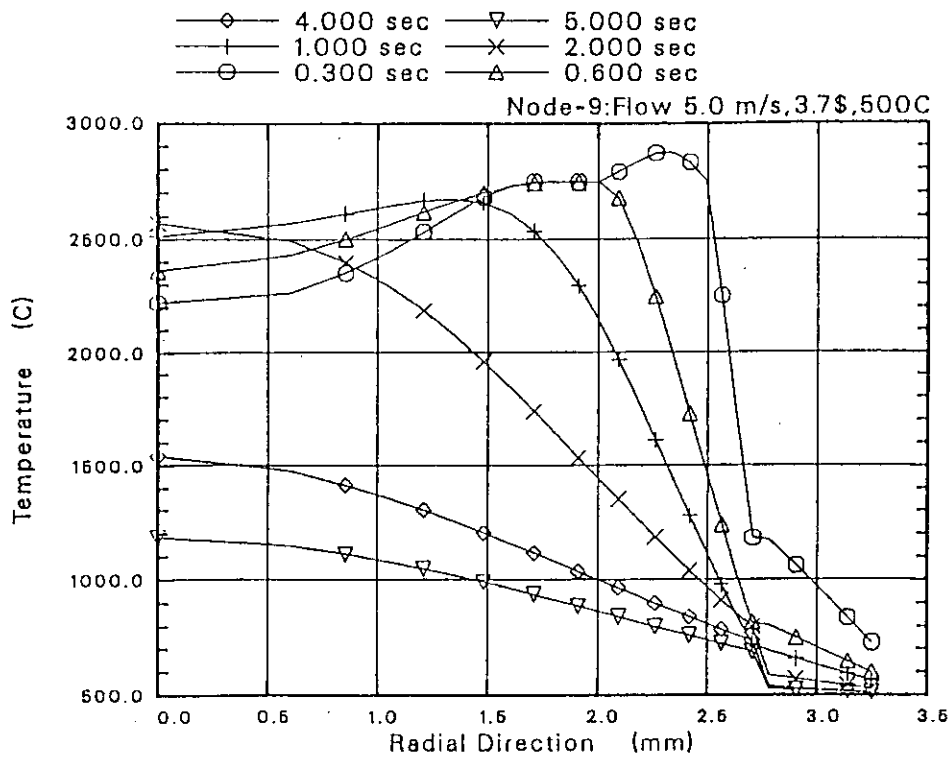


図 12-16 零出力からのTOP (\$3.7) での実験燃料(ノード9)の半径方向温度分布
(ケース5, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

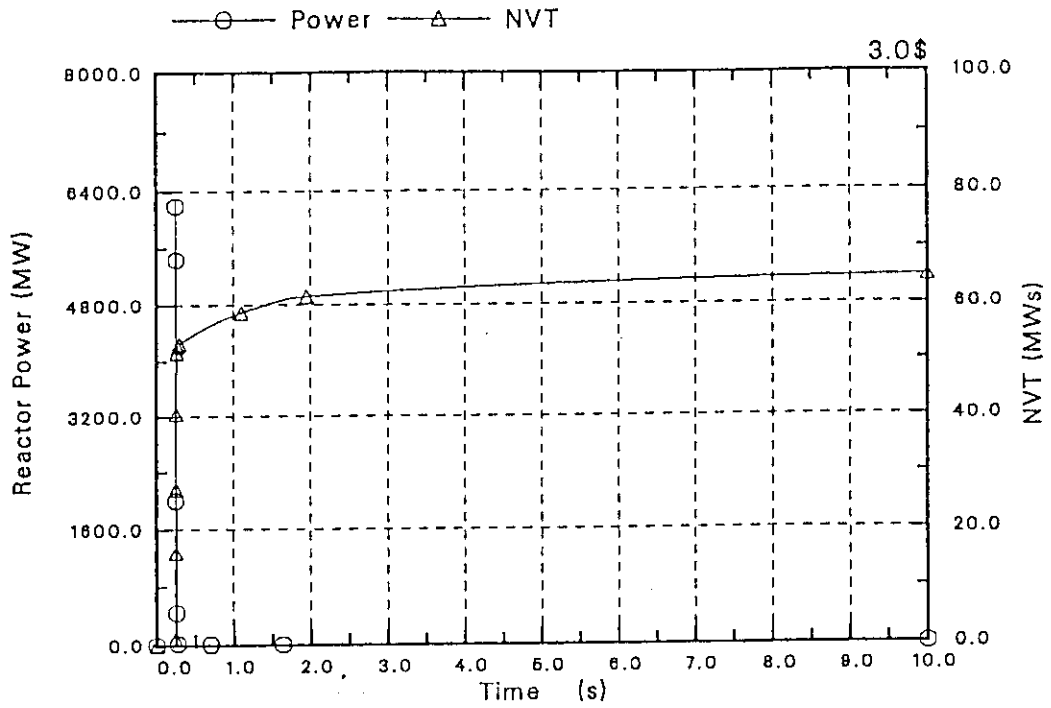


図 13-1 零出力からのTOP (3.0%) の出力履歴
(ケース6, 細径燃料)

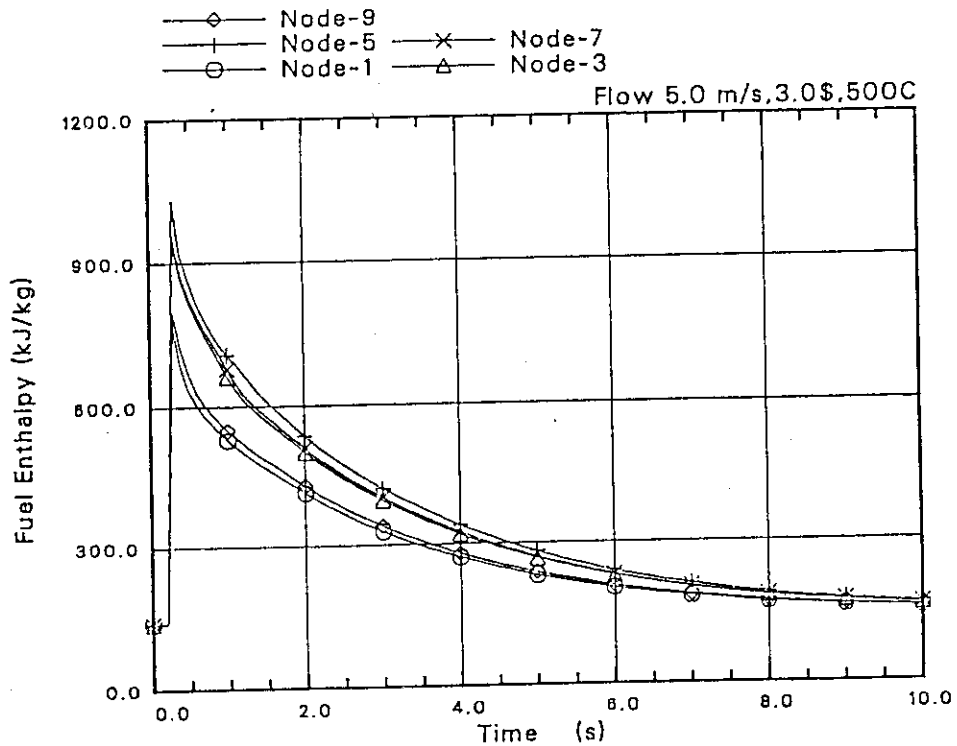


図 13-2 零出力からのTOP (3.0%) での実験燃料エンタルピの時間変化
(ケース6, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

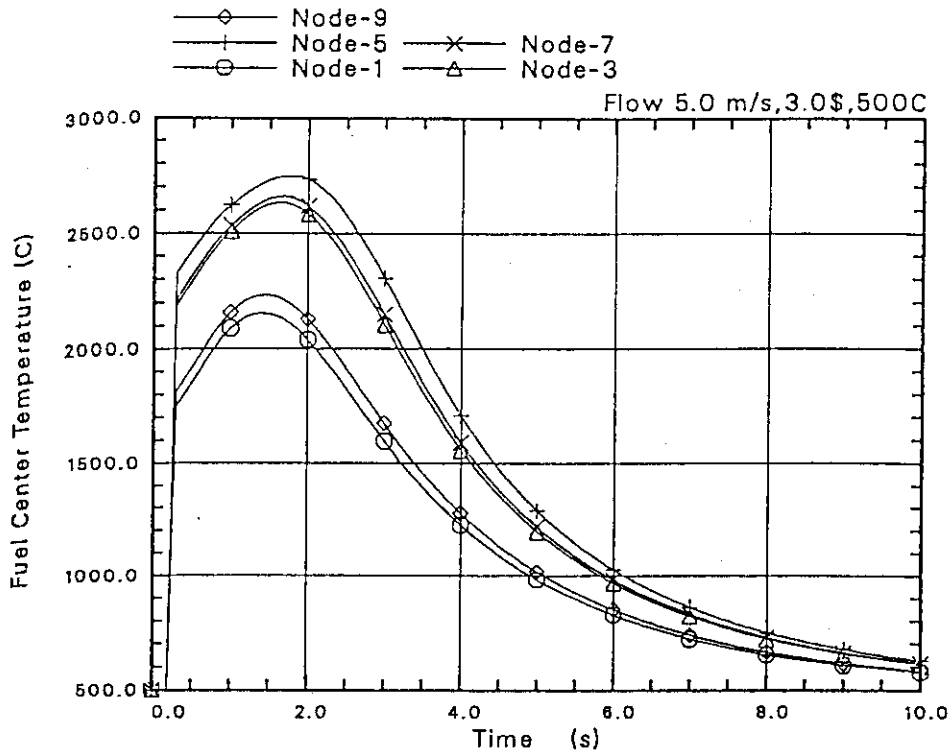


図 13-3 零出力からのTOP (\$3.0)での実験燃料中心温度履歴
(ケース6, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

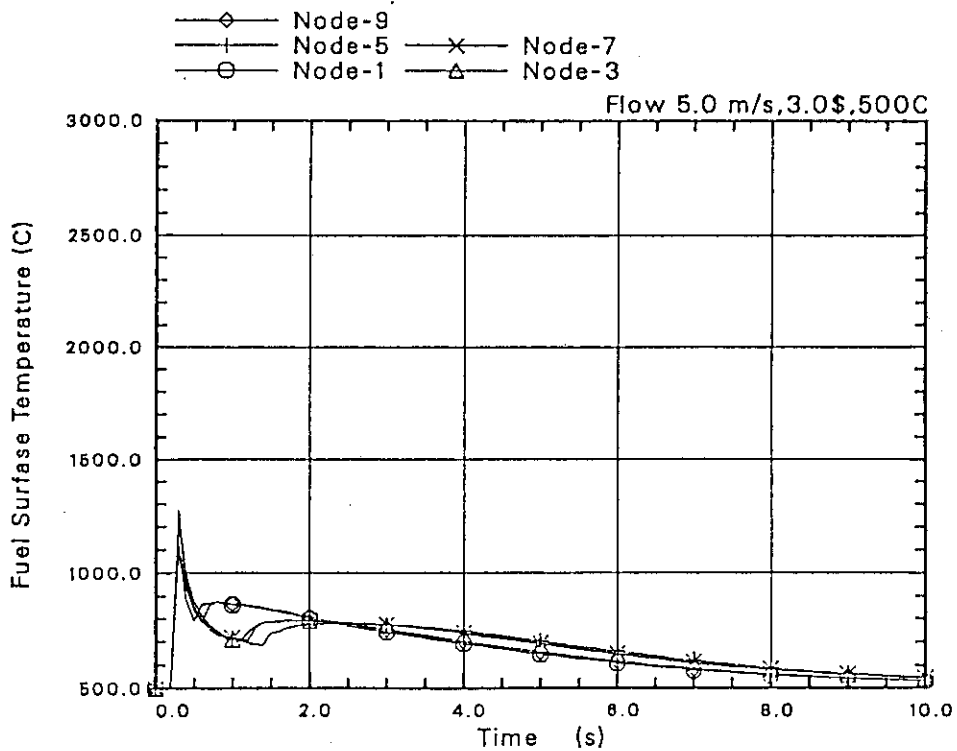


図 13-4 零出力からのTOP (\$3.0)での実験燃料表面温度履歴
(ケース6, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

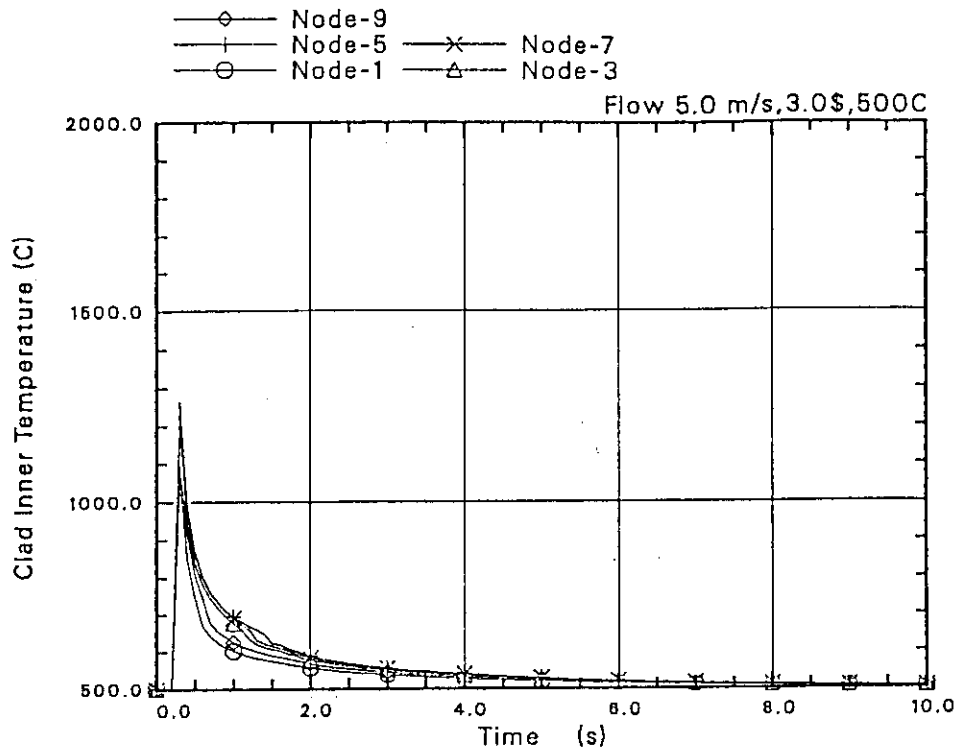


図 13-5 零出力からのTOP (3.0)での被覆管内面温度履歴
 (ケース6, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

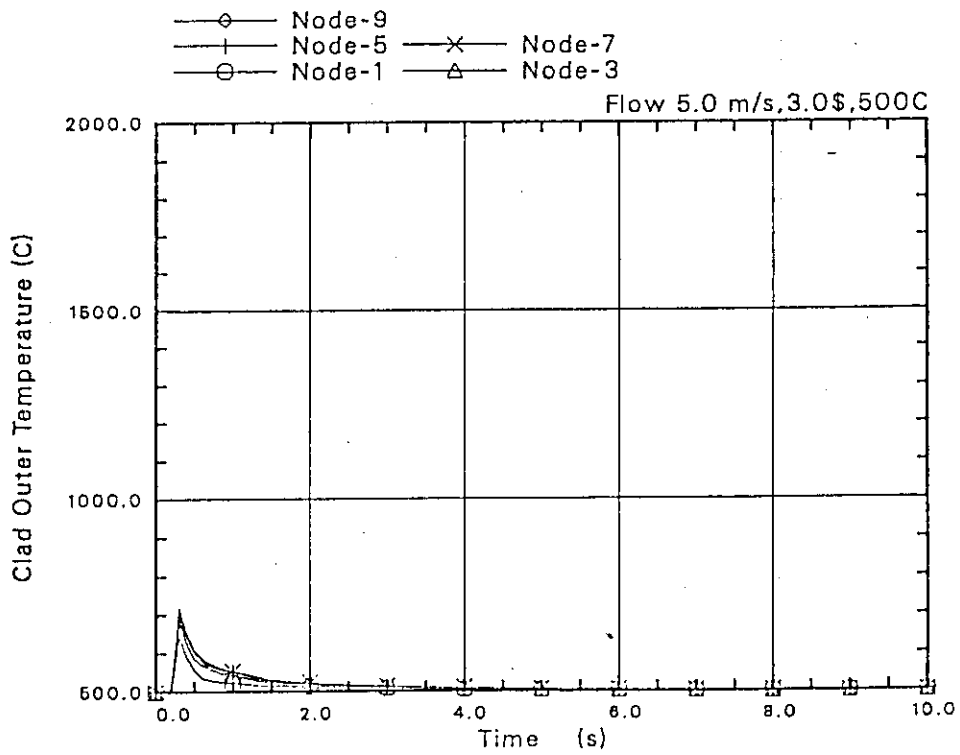


図 13-6 零出力からのTOP (3.0)での被覆管表面温度履歴
 (ケース6, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

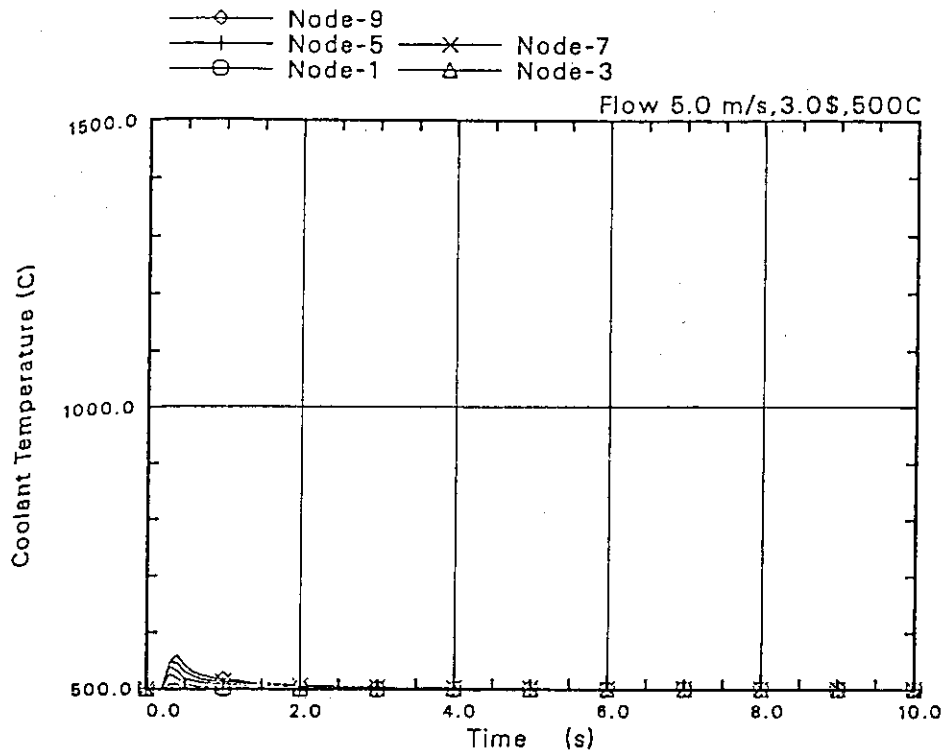


図 13-7 零出力からのTOP (\$3.0)での冷却材温度履歴
 (ケース6, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5 m/s)

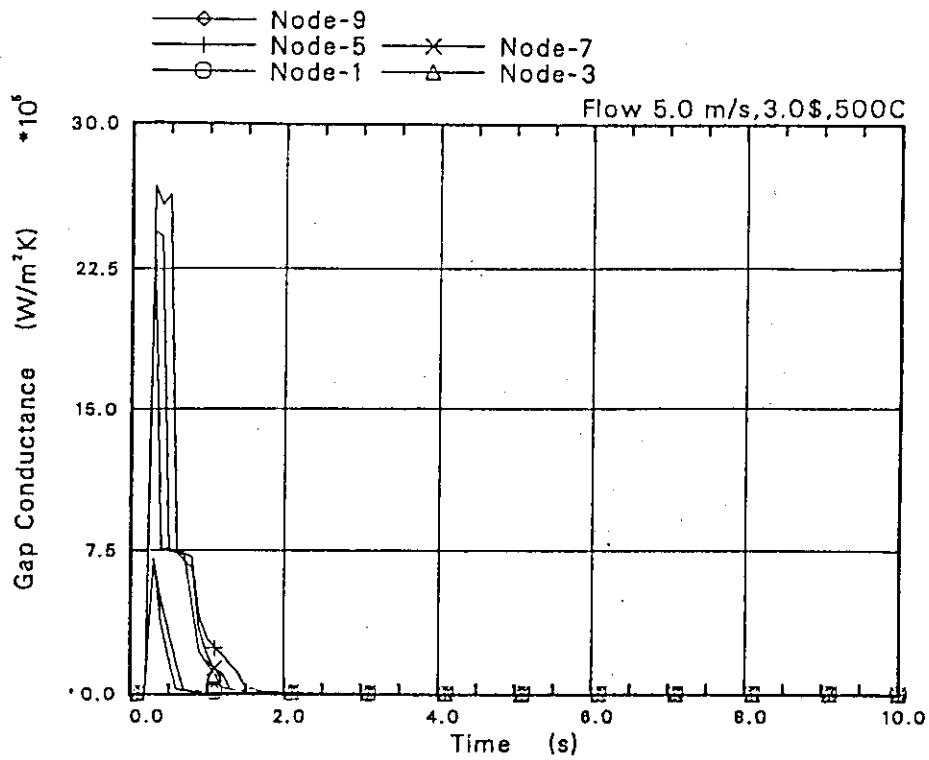


図 13-8 零出力からのTOP (\$3.0)でのギャップコンダクタンスの時間変化
 (ケース6, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5 m/s)

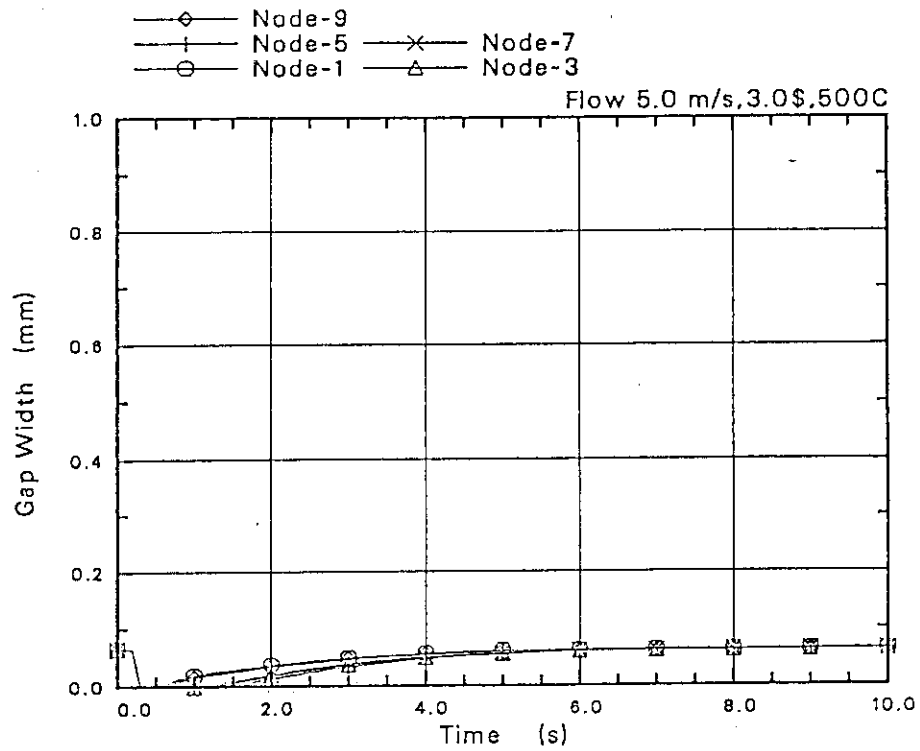


図 13-9 零出力からのTOP (3.0)でのギャップ幅の時間変化
(ケース6, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5 m/s)

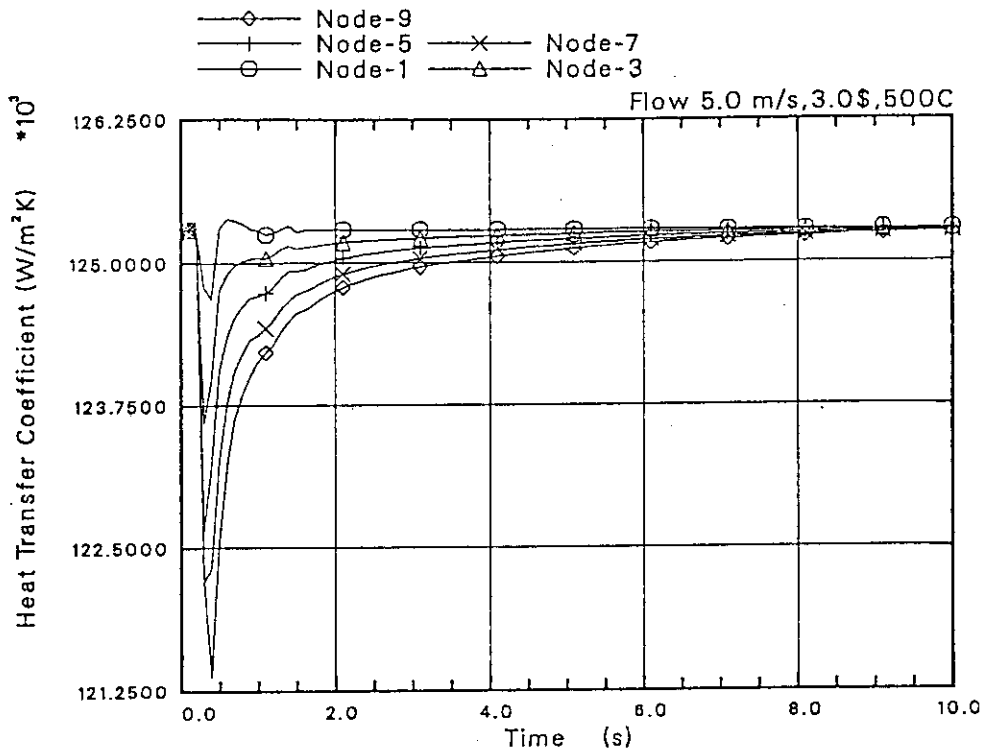


図 13-10 零出力からのTOP (3.0)での熱伝達係数の時間変化
(ケース6, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5 m/s)

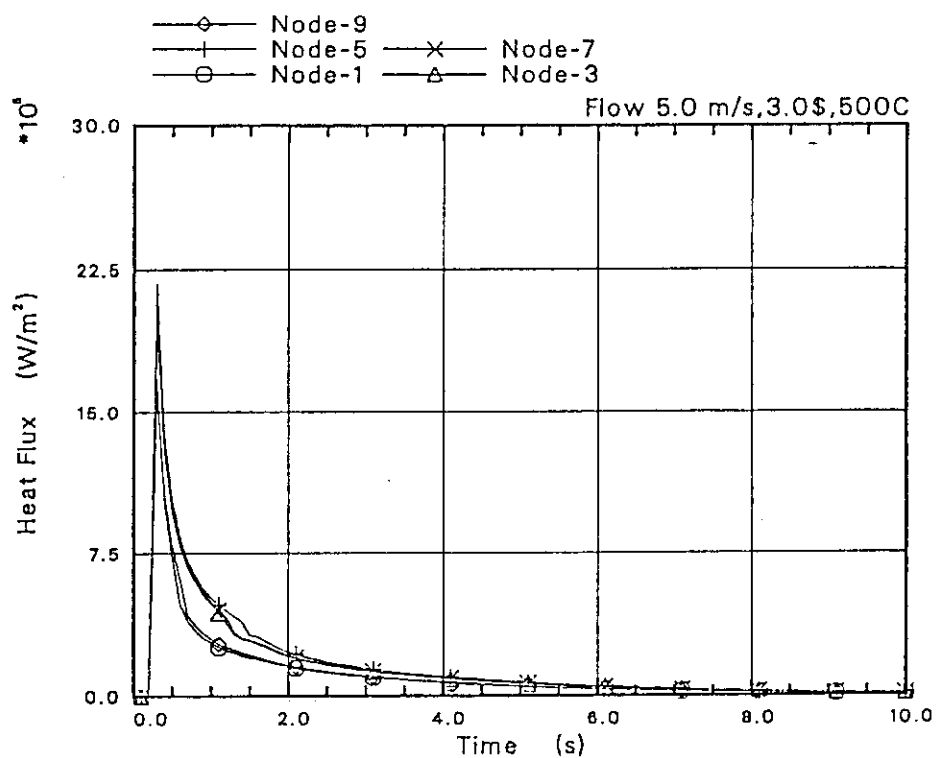


図 13-11 零出力からのTOP (\$3.0)での熱流束の時間変化
(ケース6, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

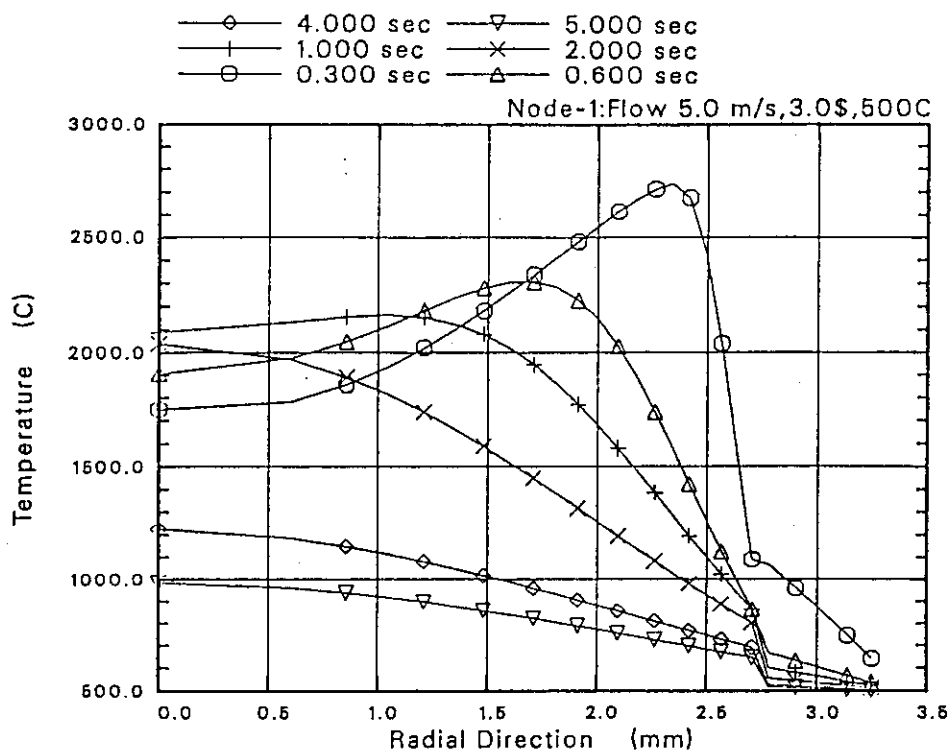


図 13-12 零出力からのTOP (\$3.0)での実験燃料(ノード1)の半径方向温度分布
(ケース6, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

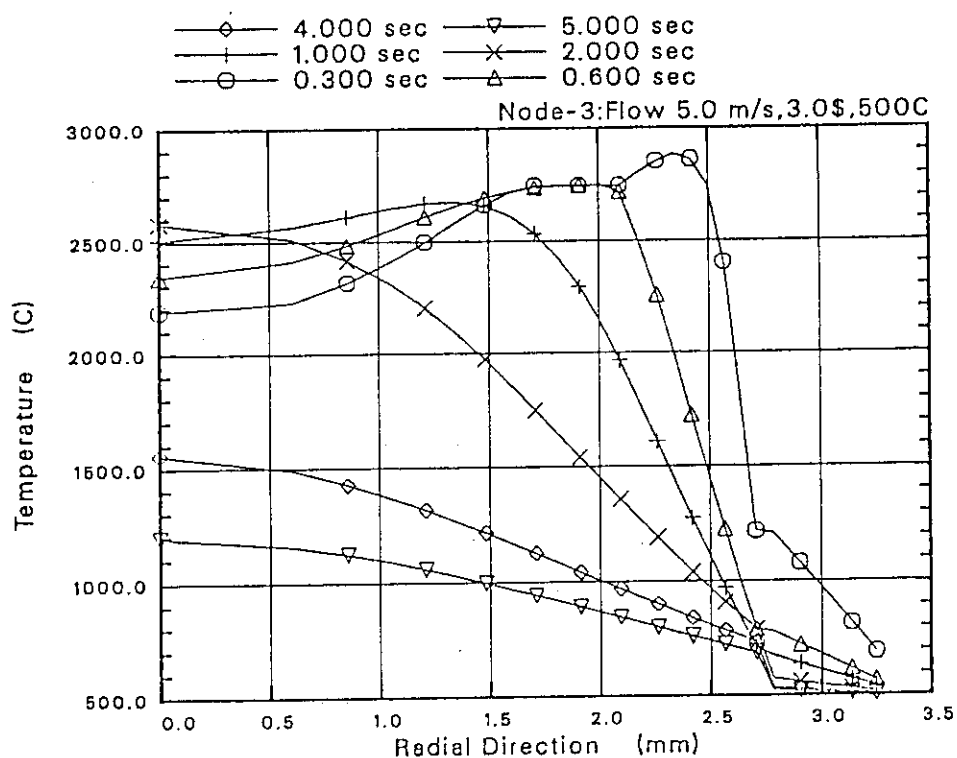


図 13-13 零出力からの TOP (\$3.0) での実験燃料 (ノード 3) の半径方向温度分布
(ケース 6, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

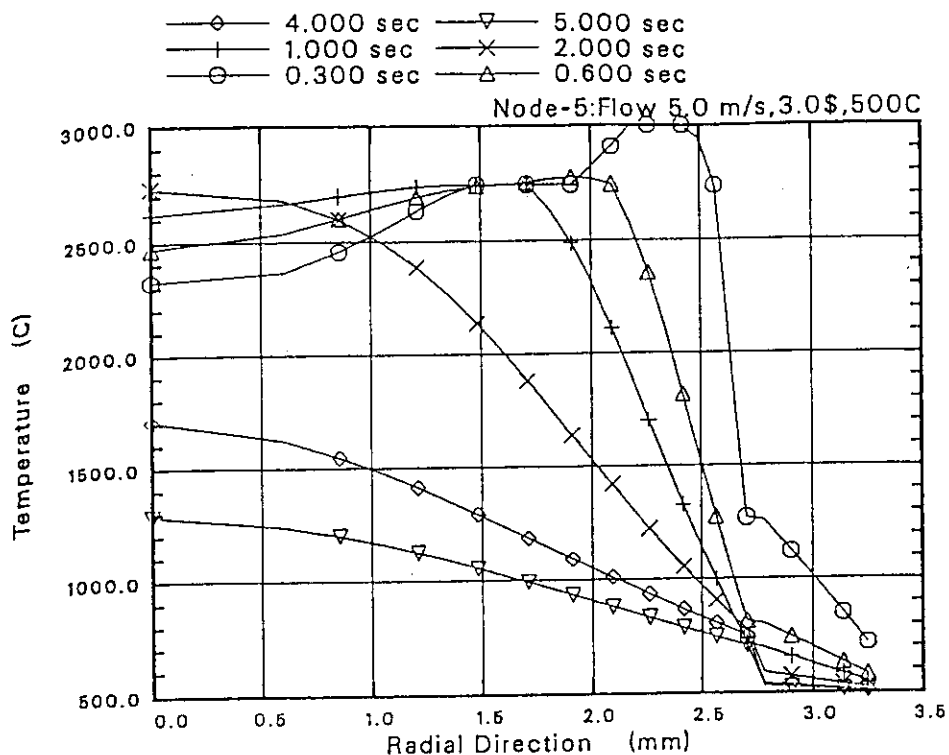


図 13-14 零出力からの TOP (\$3.0) での実験燃料 (ノード 5) の半径方向温度分布
(ケース 6, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

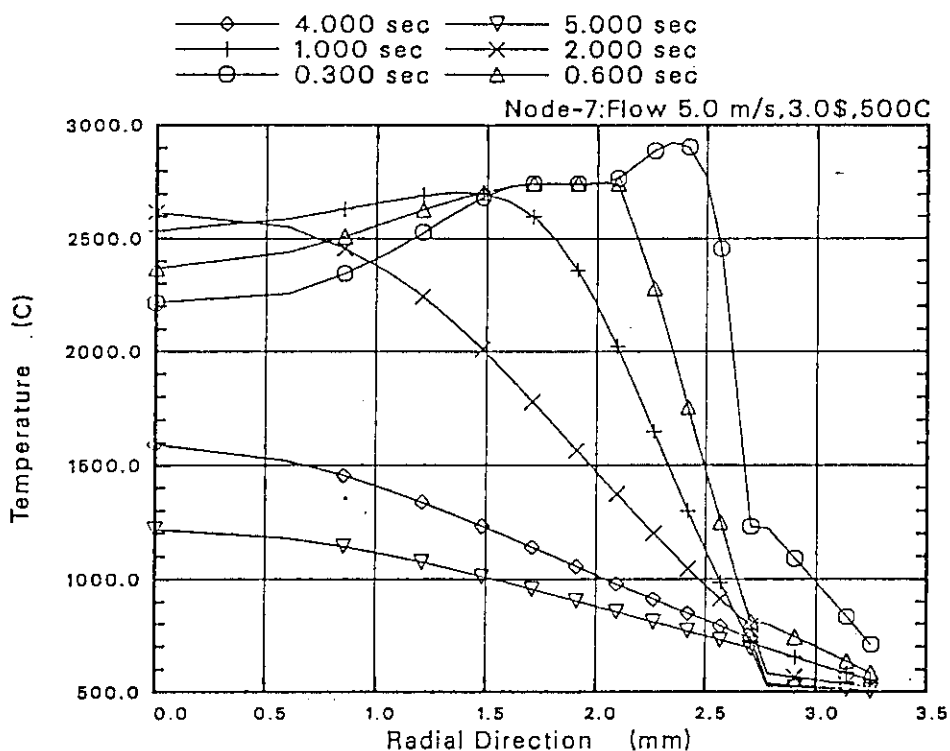


図 13-15 零出力からのTOP (\$3.0)での実験燃料(ノード7)の半径方向温度分布
(ケース6, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

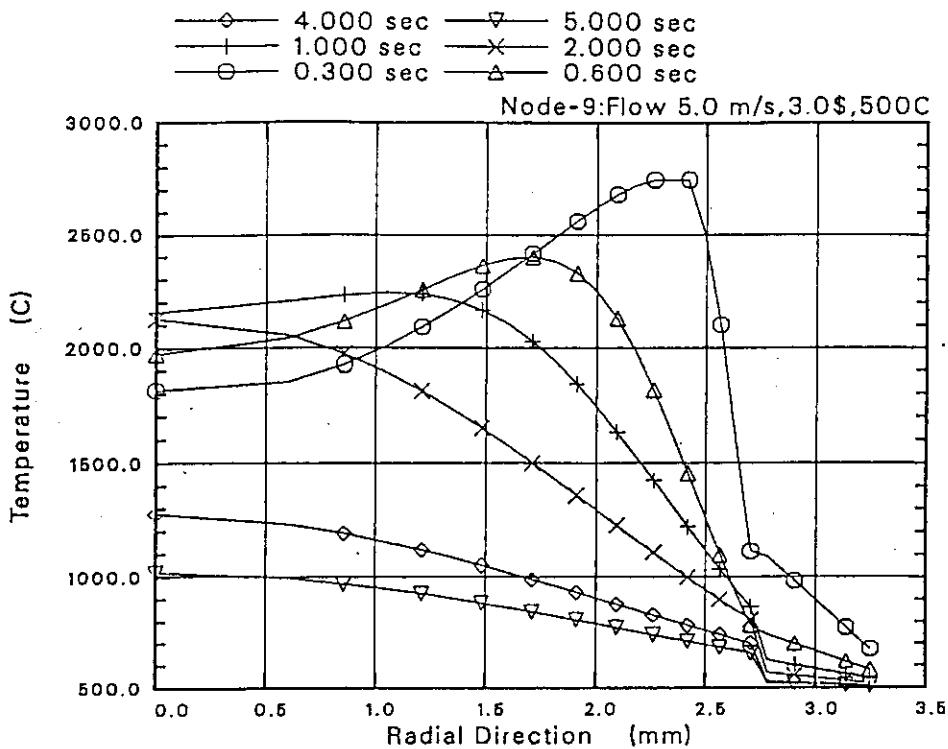


図 13-16 零出力からのTOP (\$3.0)での実験燃料(ノード9)の半径方向温度分布
(ケース6, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

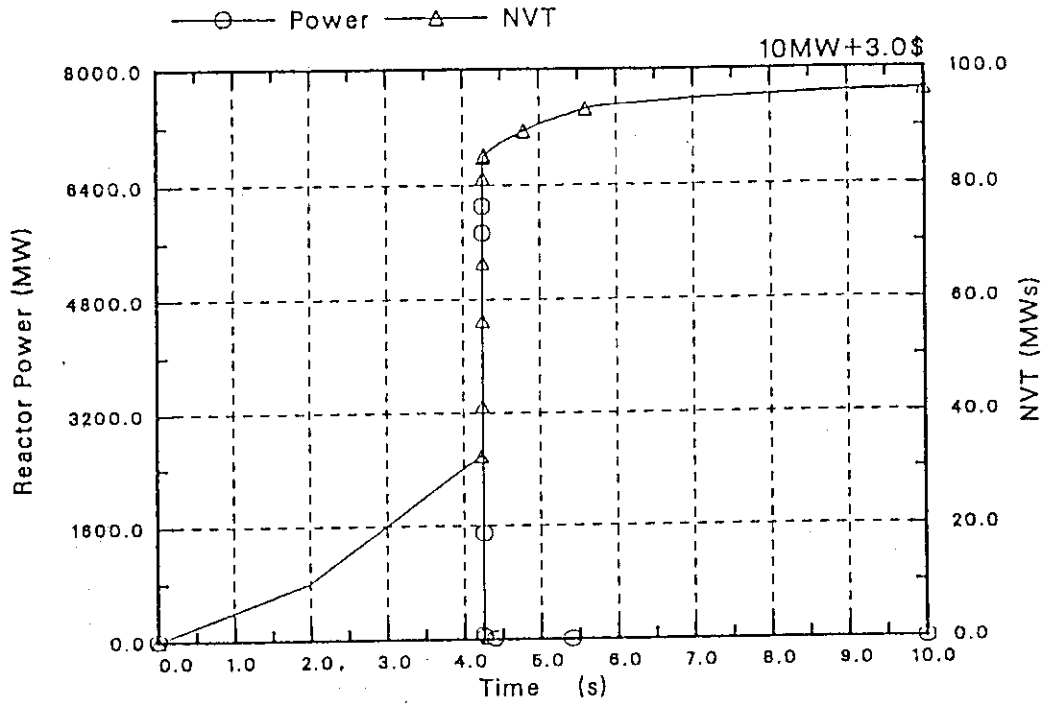


図 14-1 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$3.0) の出力履歴 (ケース 9, 細径燃料)

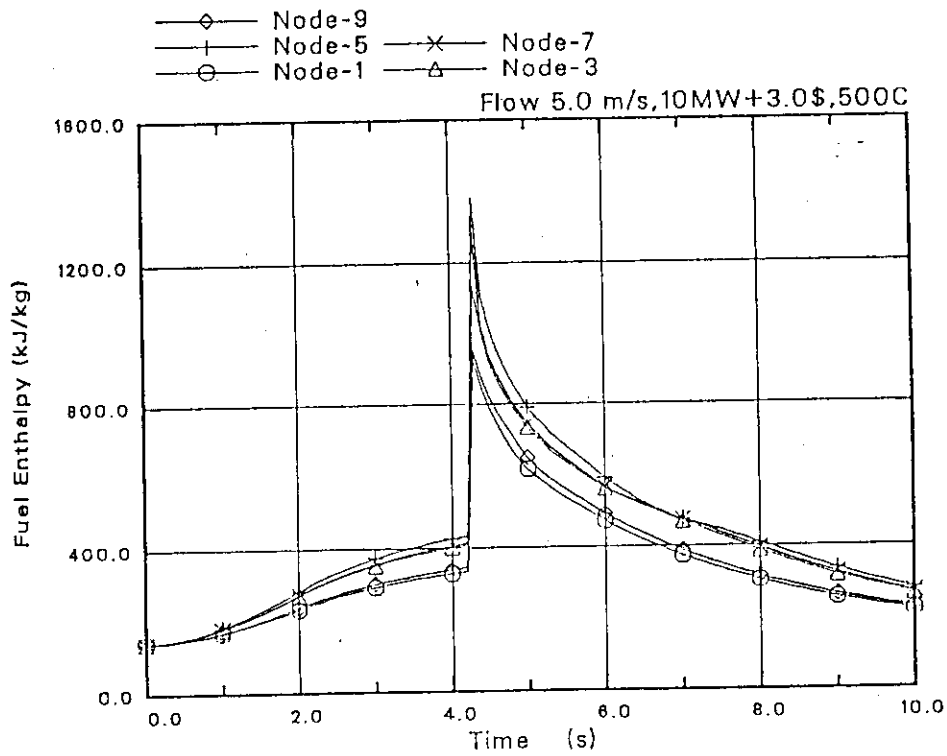


図 14-2 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$3.0) での実験燃料エンタルピの時間変化 (ケース 9, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

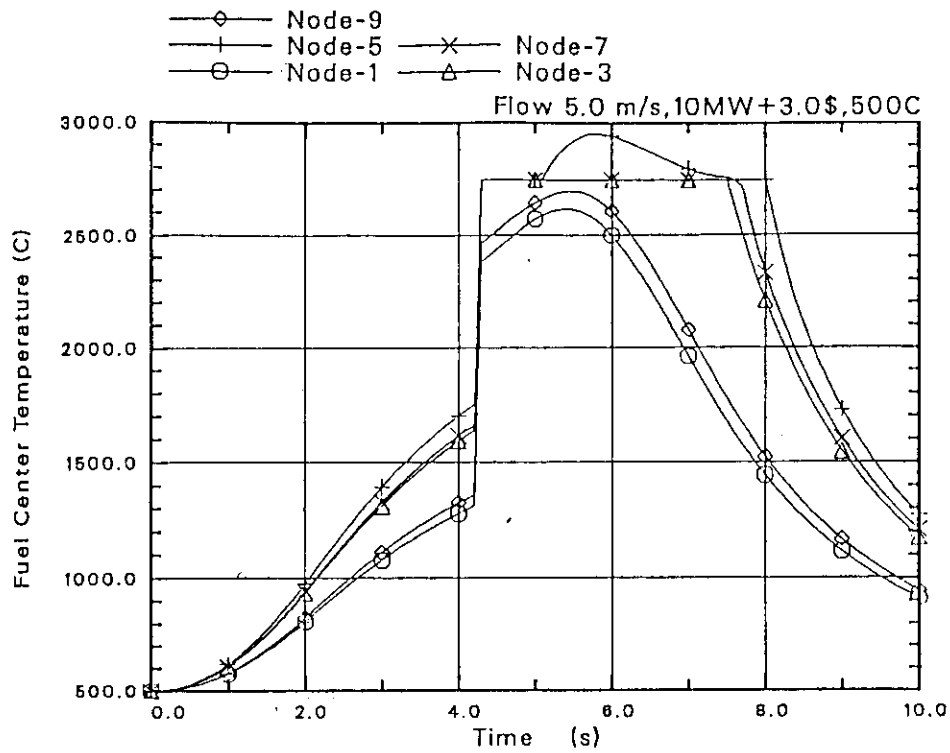


図 14-3 一定出力 (470W/cm) からのTOP (\$3.0) での実験燃料中心温度履歴 (ケース 9, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

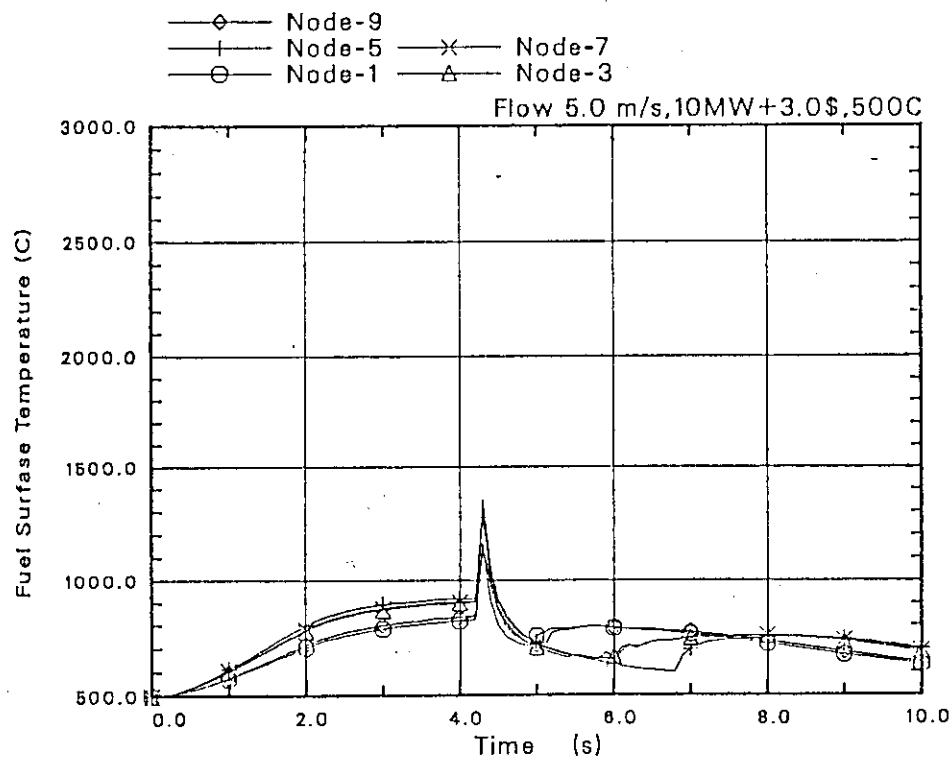


図 14-4 一定出力 (470W/cm) からのTOP (\$3.0) での実験燃料表面温度履歴 (ケース 9, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

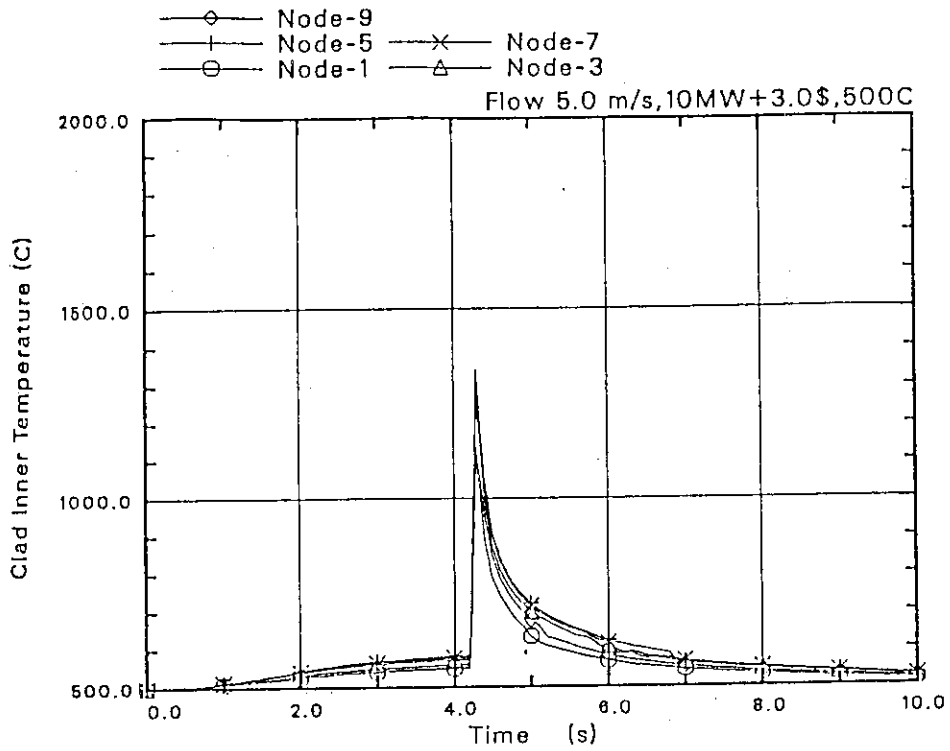


図 14-5 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$3.0) での被覆管内面温度履歴 (ケース 9, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

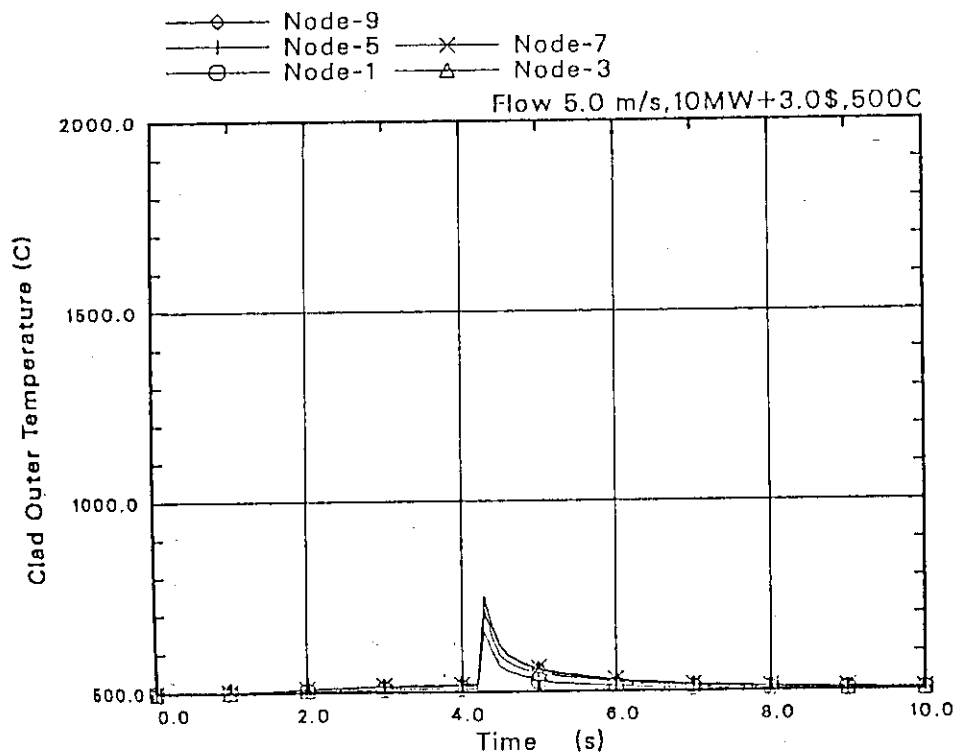


図 14-6 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$3.0) での被覆管表面温度履歴 (ケース 9, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

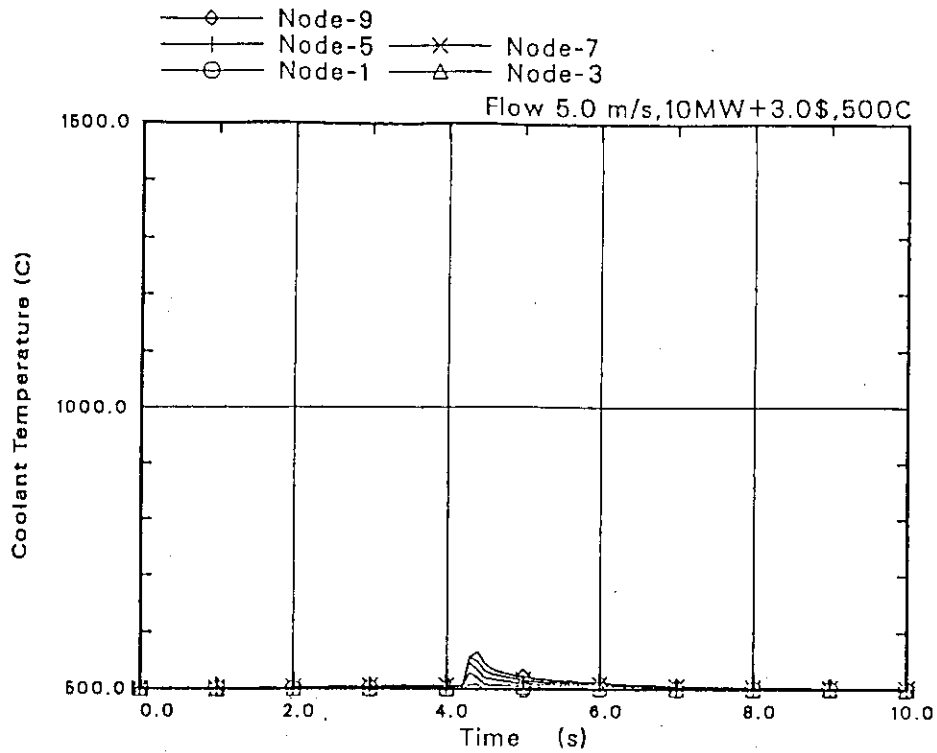


図 14-7 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$3.0) での冷却材温度履歴 (ケース 9, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

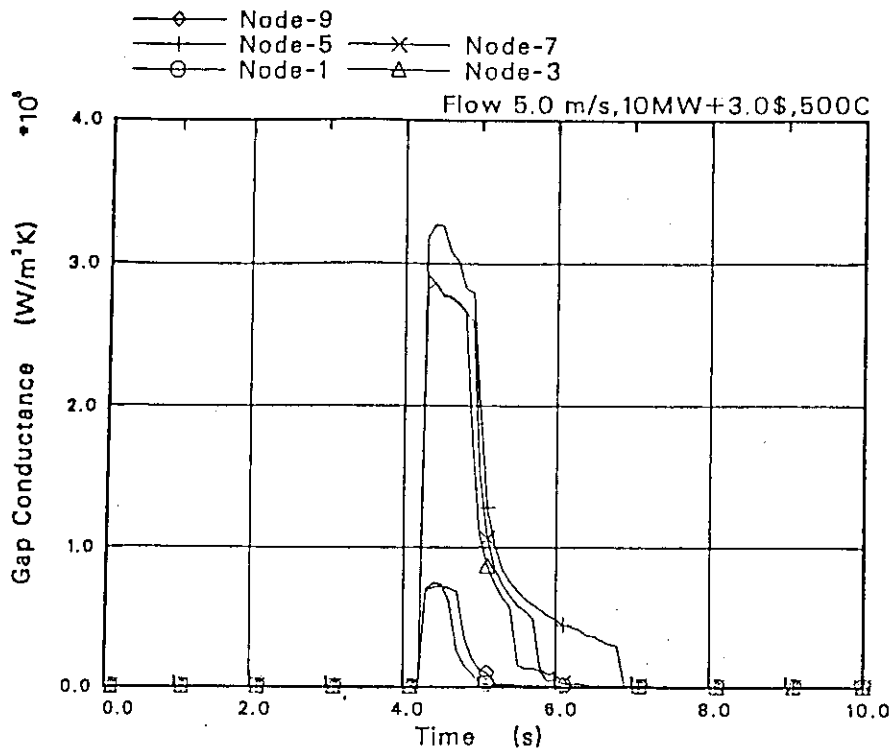


図 14-8 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$3.0) でのギャップコンダクタンスの時間変化 (ケース 9, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

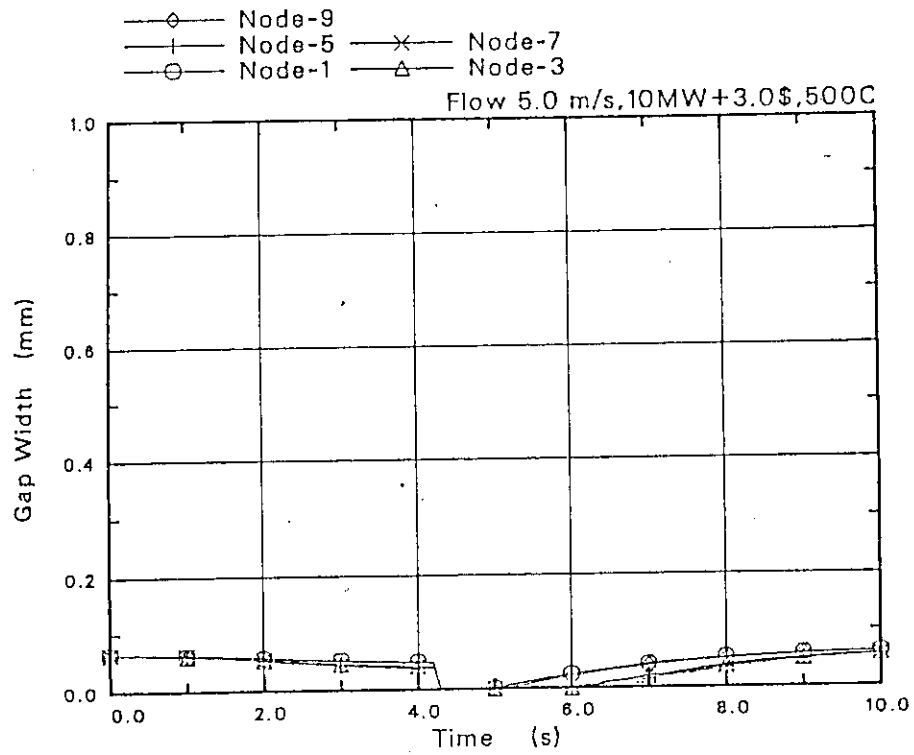


図 14-9 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$3.0) でのギャップ幅の時間変化 (ケース 9, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

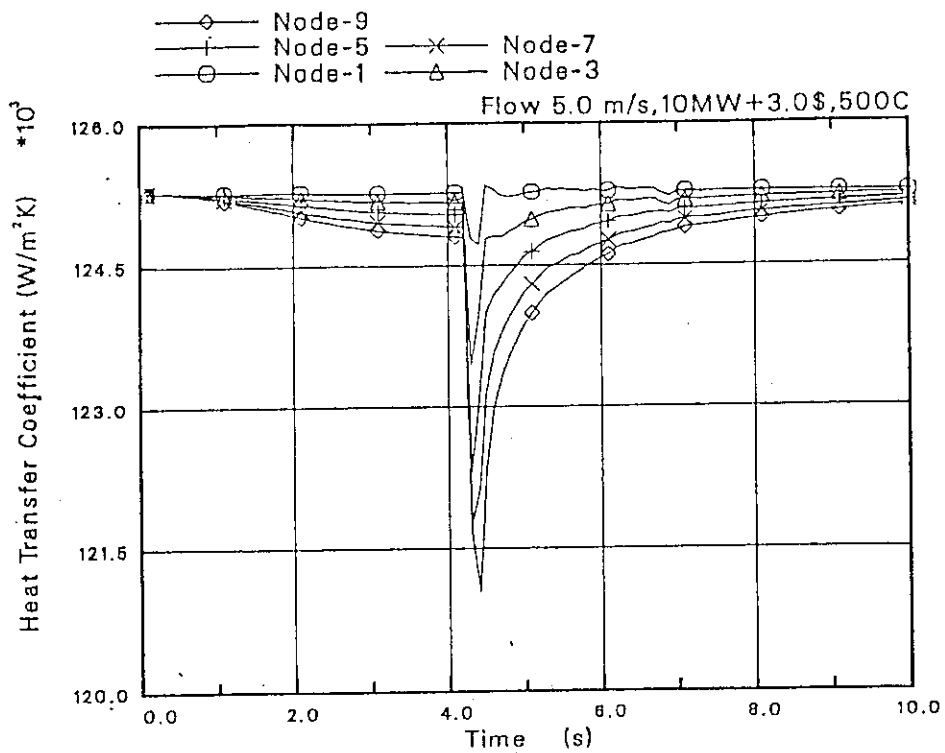


図 14-10 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$3.0) での熱伝達係数の時間変化 (ケース 9, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

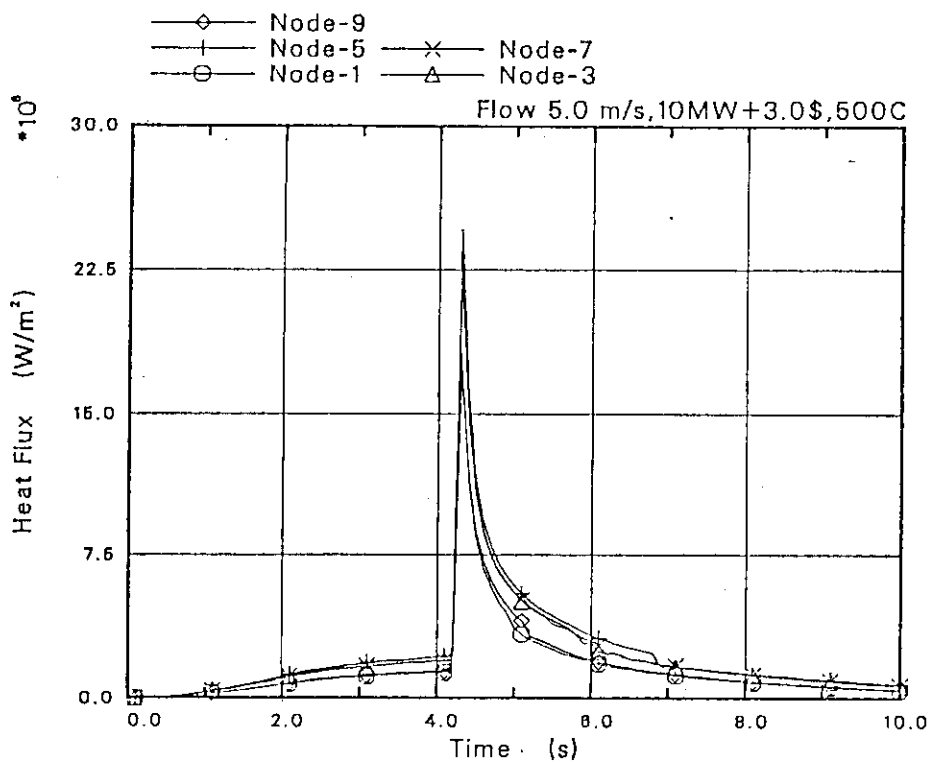


図 14-11 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$3.0) での熱流束の時間変化 (ケース 9, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

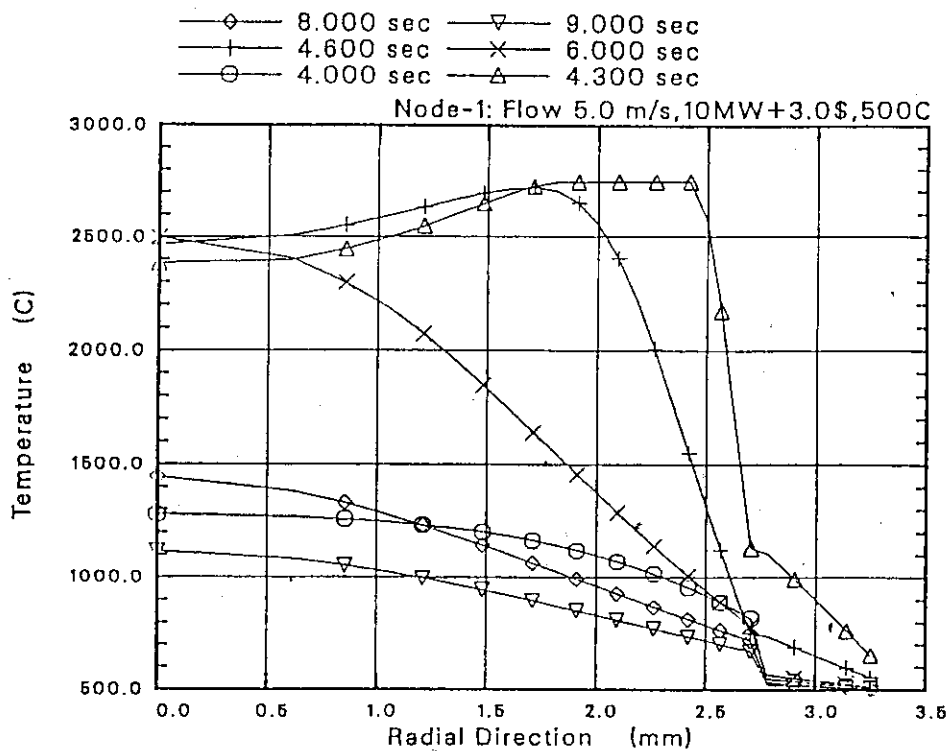


図 14-12 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$3.0) での実験燃料 (ノード1) の半径方向温度分布 (ケース 9, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

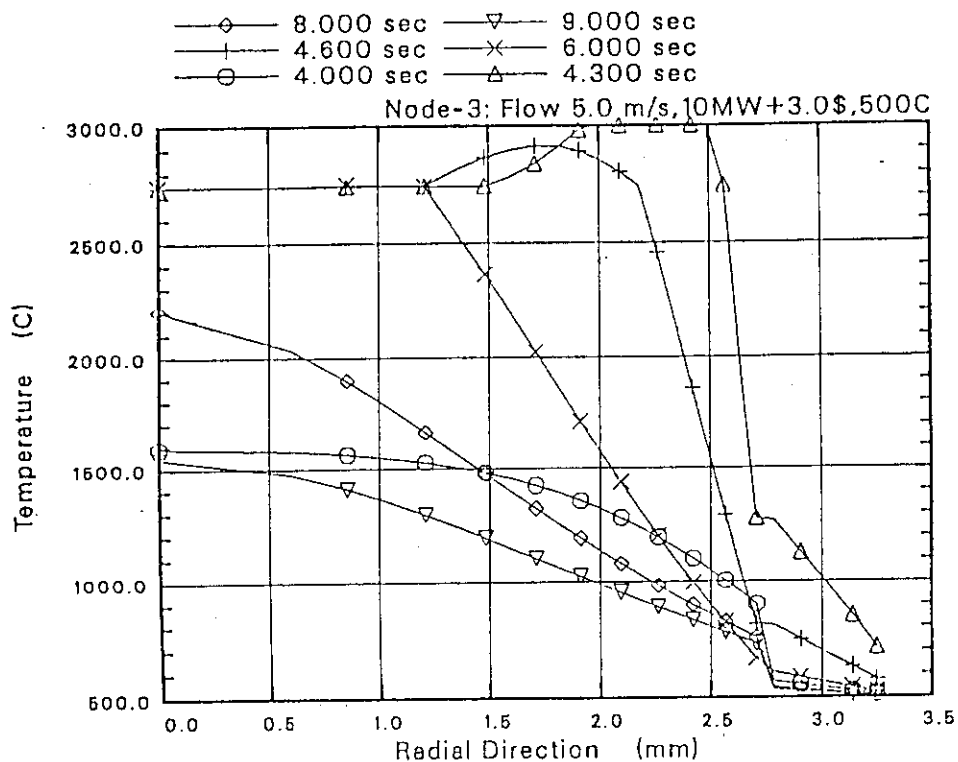


図 14-13 一定出力(470W/cm)からの TOP (\$3.0)での実験燃料(ノード3)の半径方向温度分布 (ケース 9, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

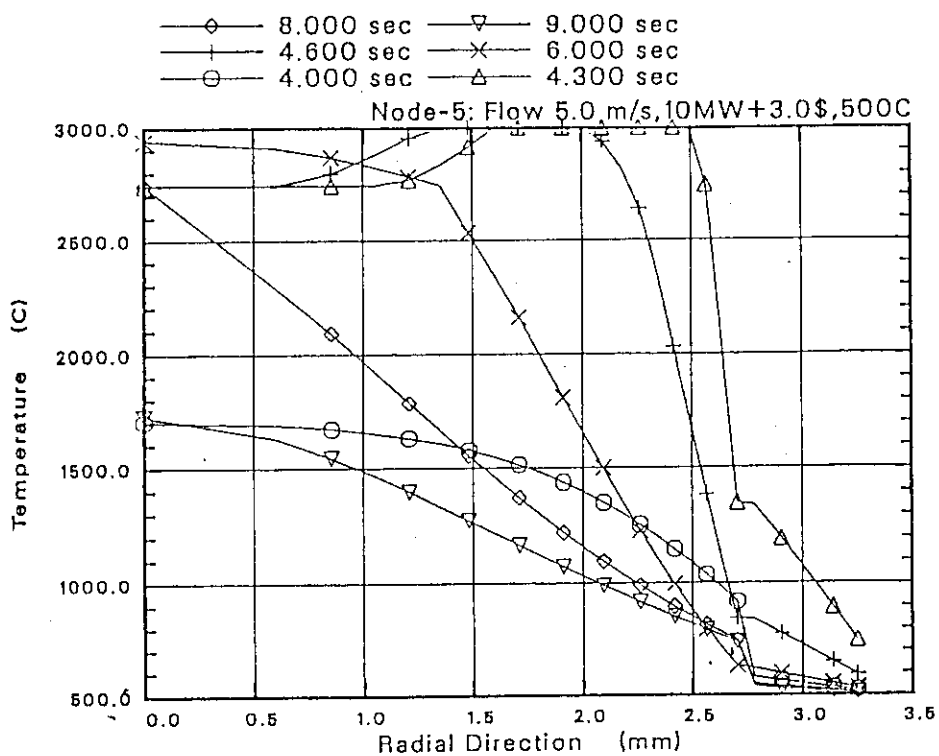


図 14-14 一定出力(470W/cm)からの TOP (\$3.0)での実験燃料(ノード5)の半径方向温度分布 (ケース 9, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

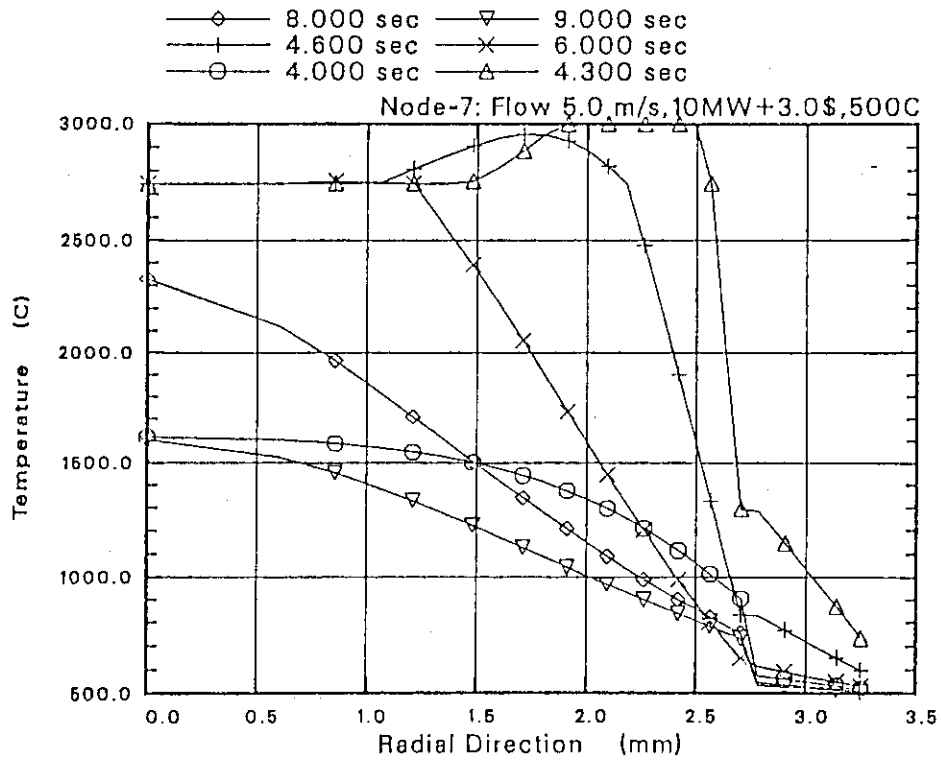


図 14-15 一定出力(470W/cm)からの TOP (\$ 3.0)での実験燃料(ノード7)の半径方向温度分布 (ケース 9, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

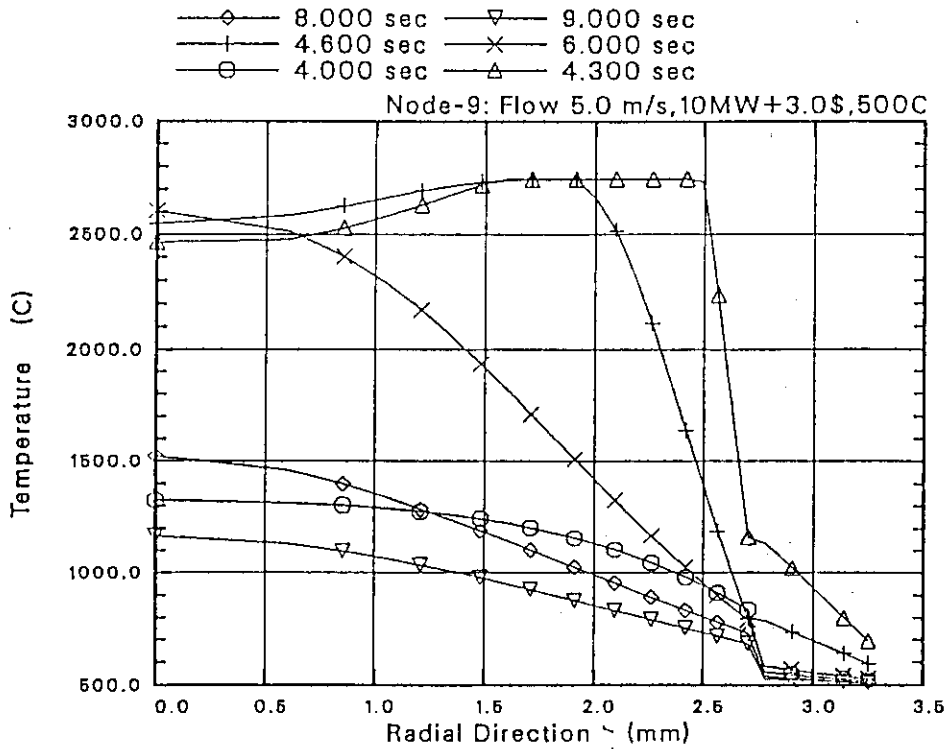


図 14-16 一定出力(470W/cm)からの TOP (\$ 3.0)での実験燃料(ノード9)の半径方向温度分布 (ケース 9, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

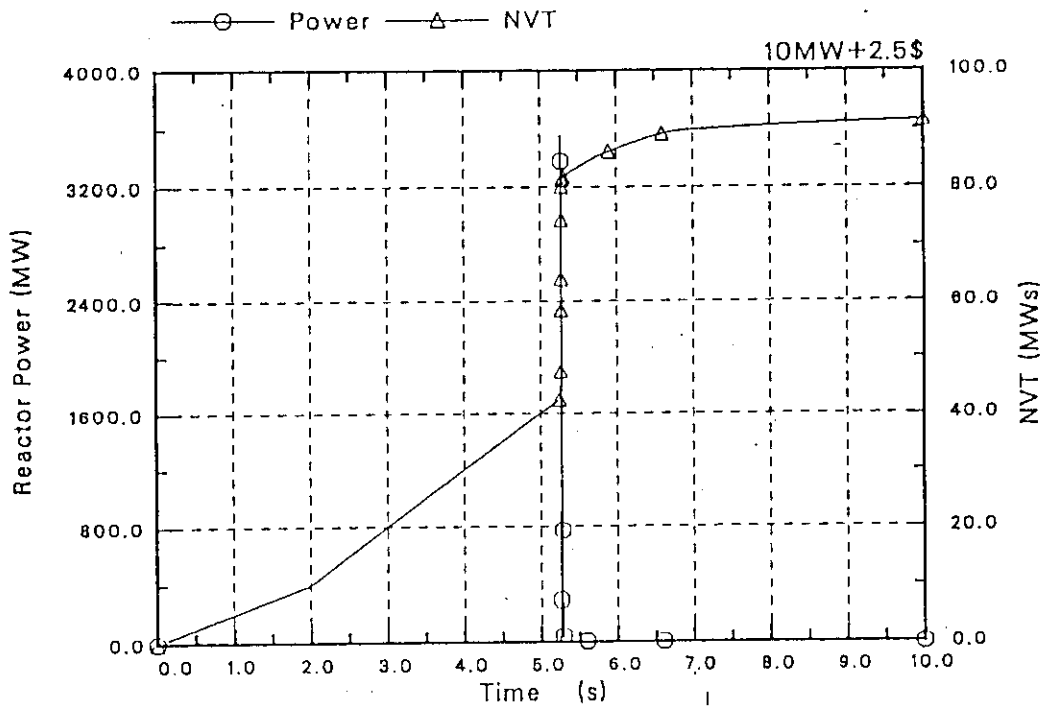


図 15-1 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$ 2.5) の出力履歴
(ケース 12, 細径燃料)

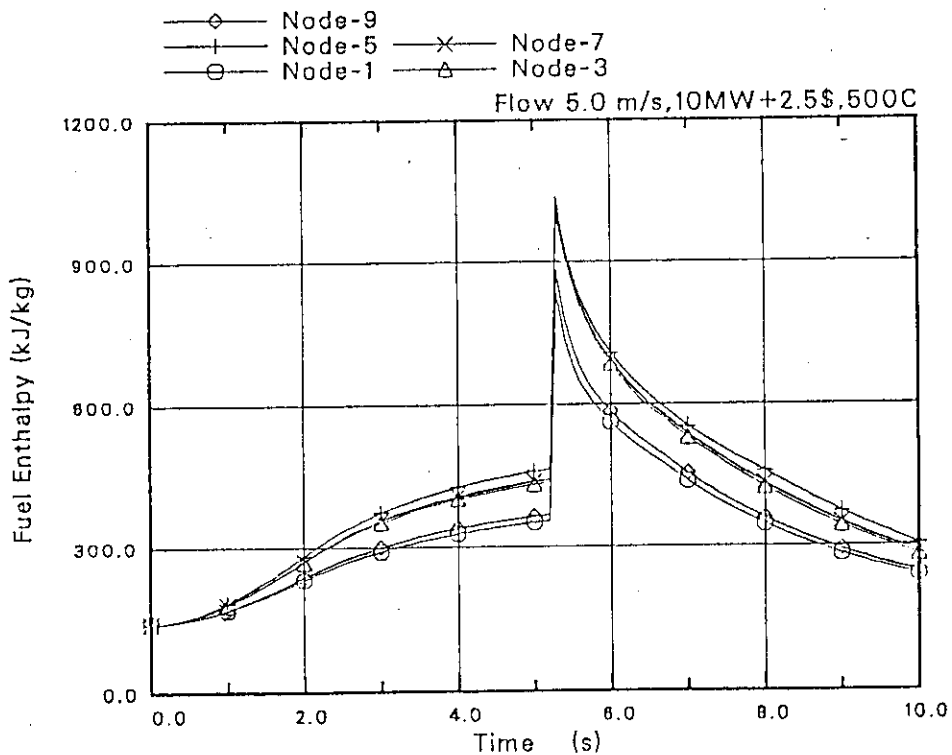


図 15-2 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$ 2.5) での実験燃料エンタルピの時間変化
(ケース 12, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

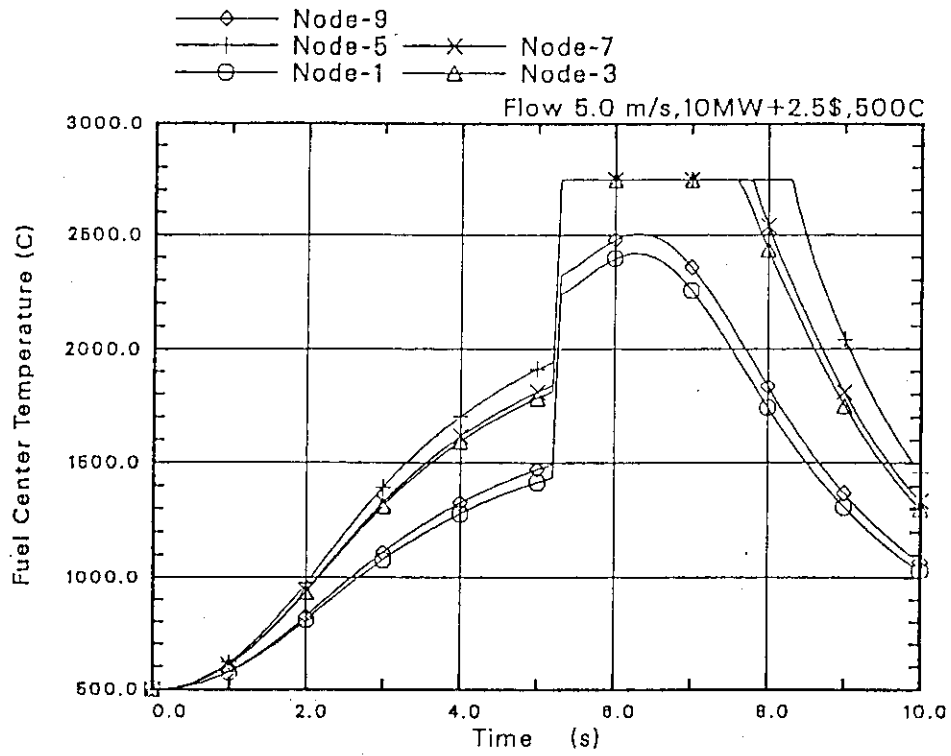


図 15-3 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$2.5) での実験燃料中心温度履歴 (ケース 12, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

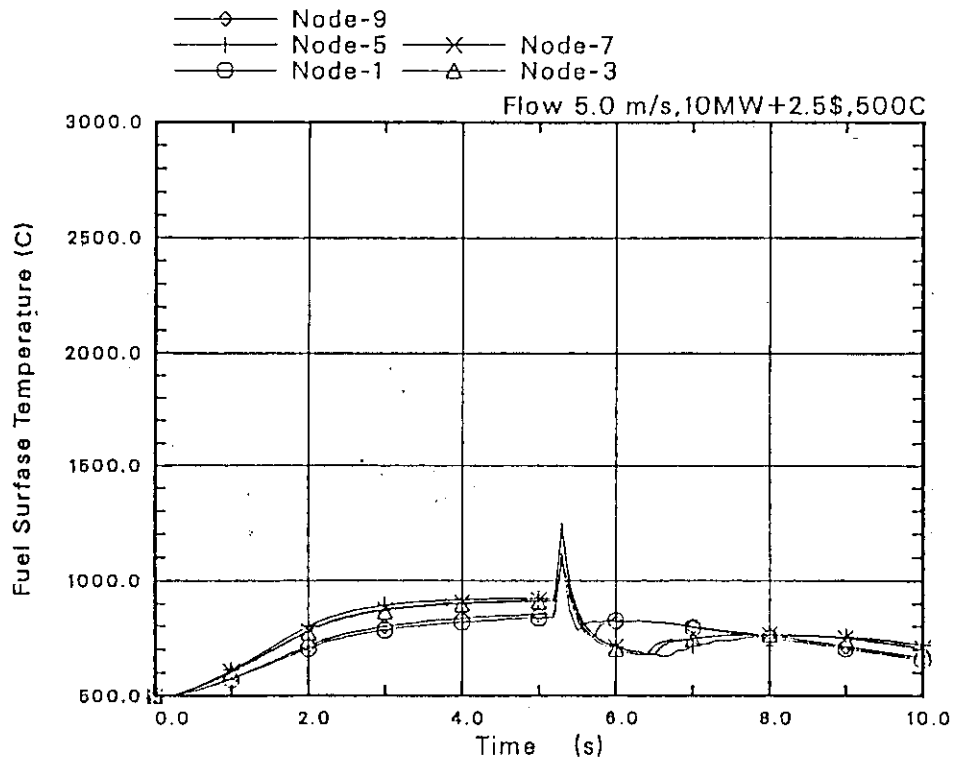


図 15-4 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$2.5) での実験燃料表面温度履歴 (ケース 12, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

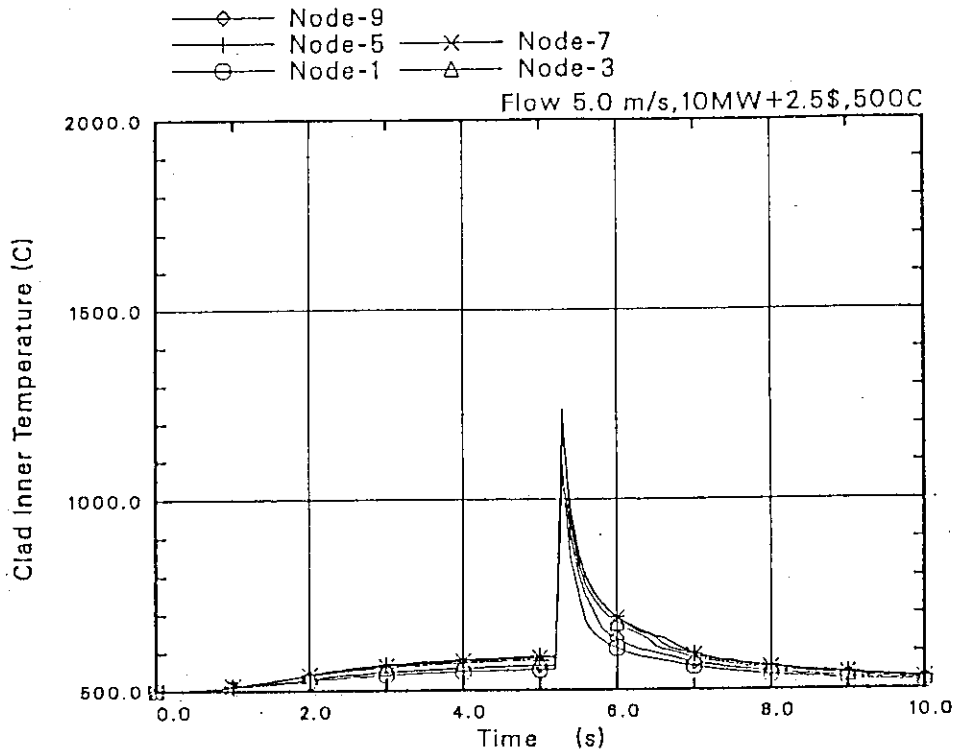


図 15-5 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$2.5) での被覆管内面温度履歴 (ケース 12, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

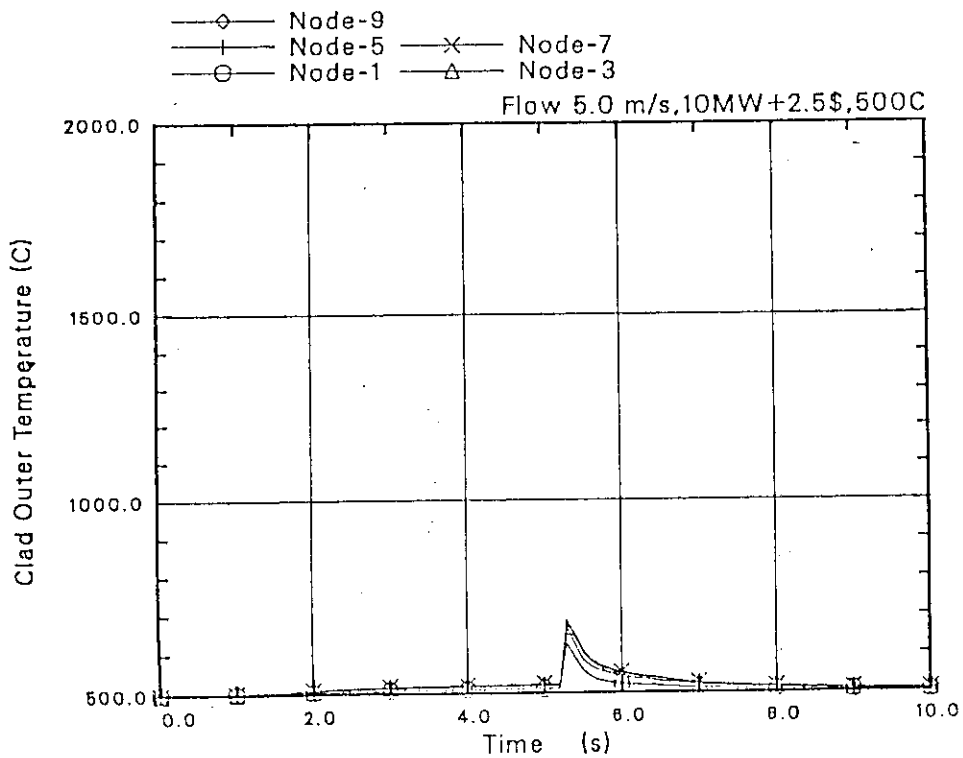


図 15-6 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$2.5) での被覆管表面温度履歴 (ケース 12, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

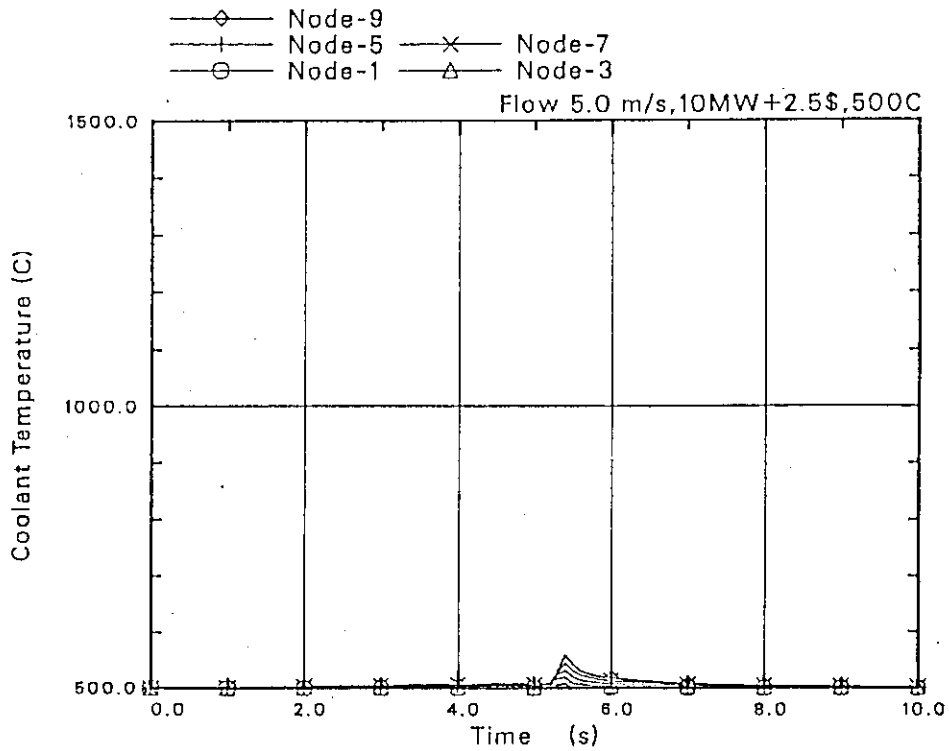


図 15-7 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$2.5) での冷却材温度履歴 (ケース 12, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

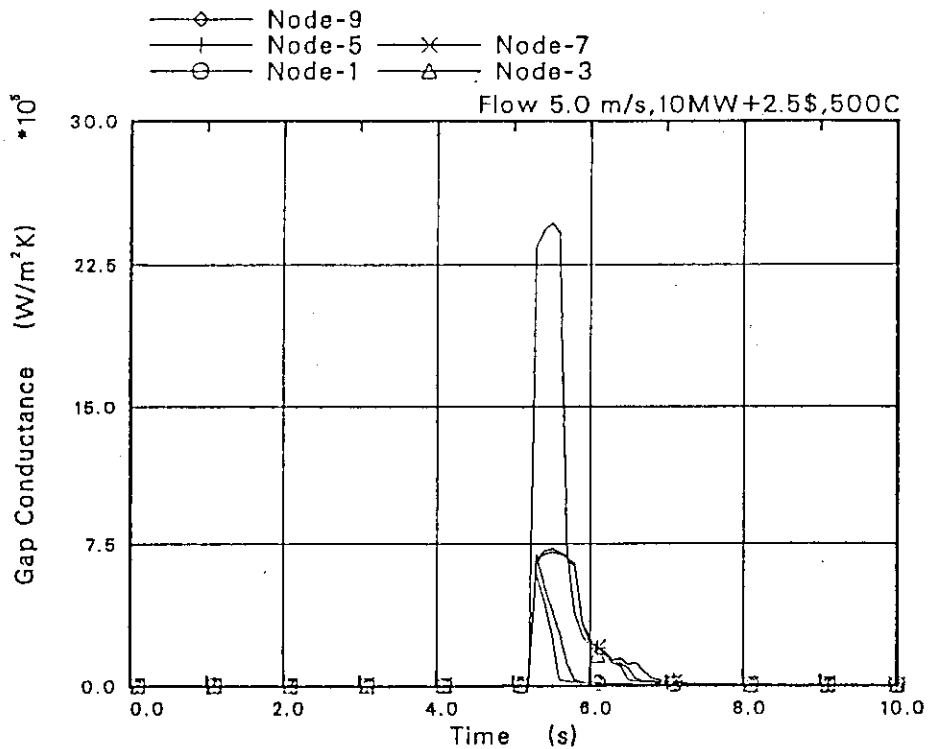


図 15-8 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$2.5) でのギャップコンダクタンスの時間変化 (ケース 12, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

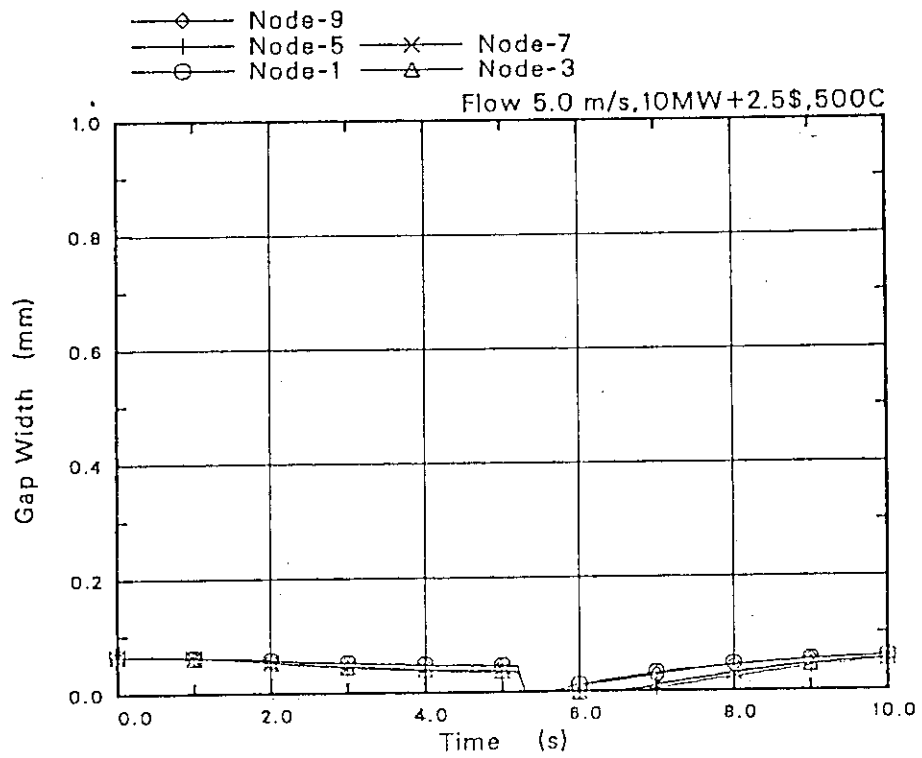


図 15-9 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$2.5) でのギャップ幅の時間変化 (ケース 12, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

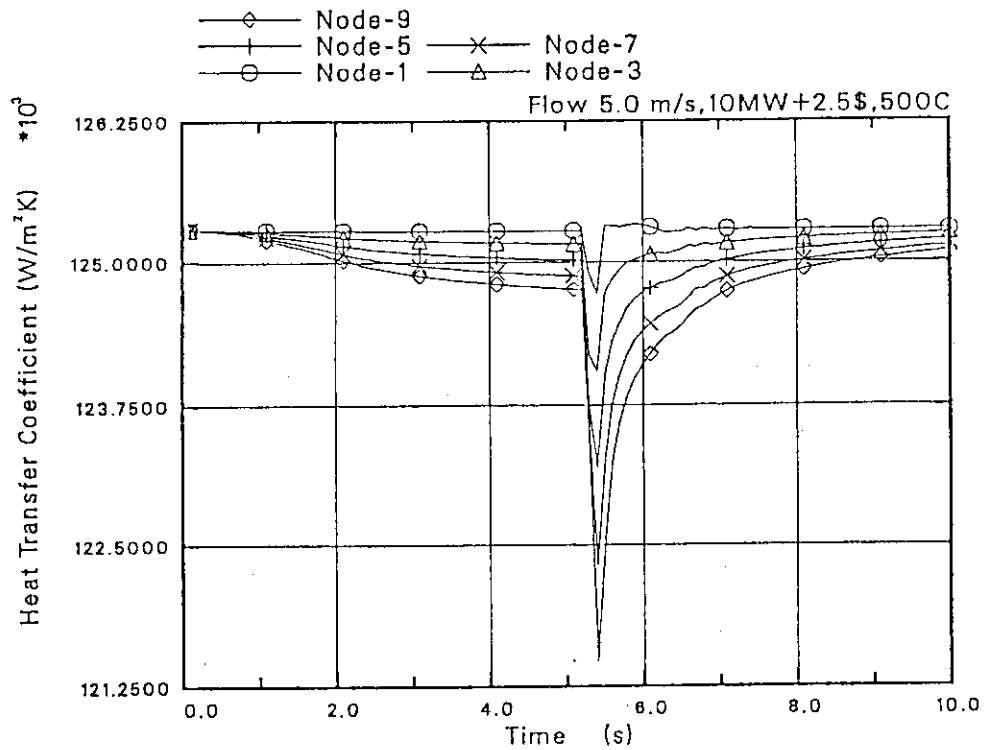


図 15-10 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$2.5) での熱伝達係数の時間変化 (ケース 12, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

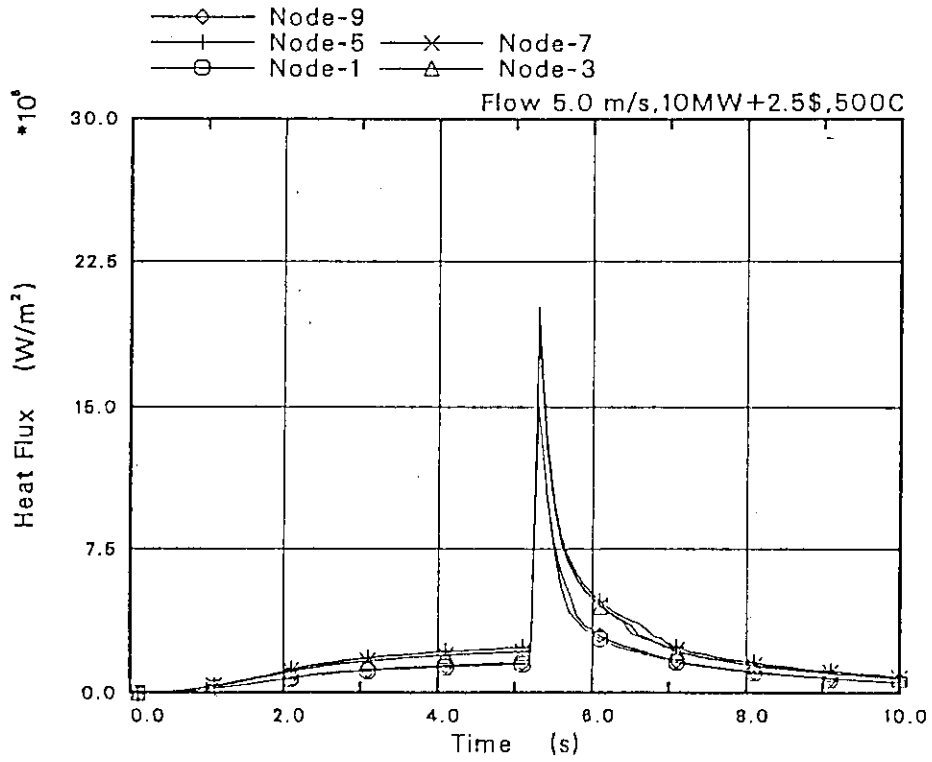


図 15-11 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$ 2.5) での熱流束の時間変化 (ケース 12, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

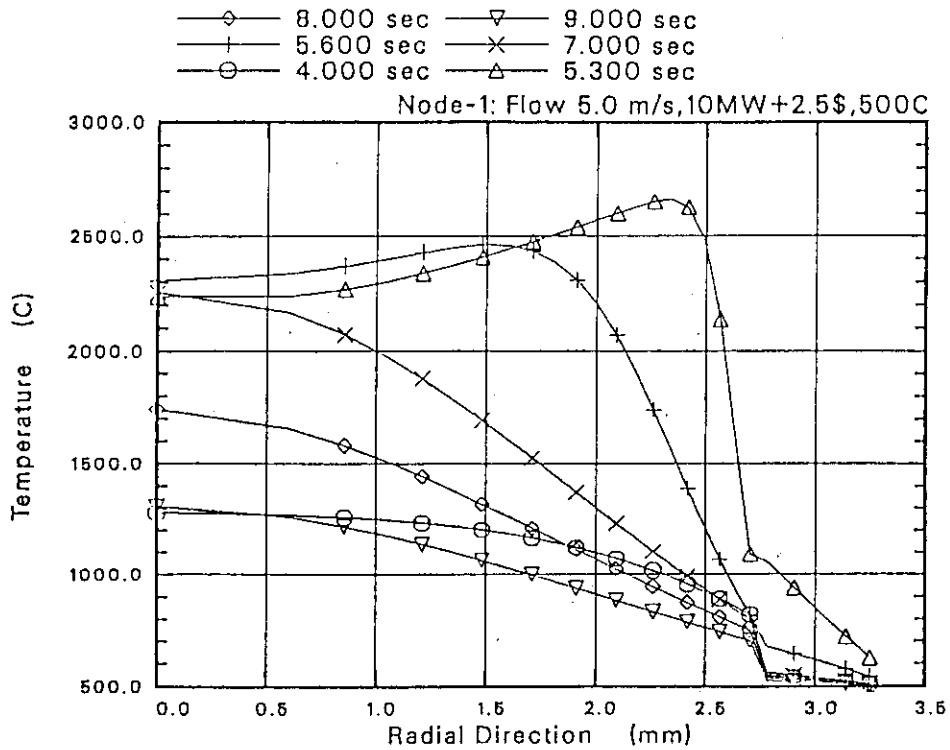


図 15-12 一定出力(470W/cm)からの TOP (\$ 2.5)での実験燃料(ノード1)の半径方向温度分布 (ケース 12, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

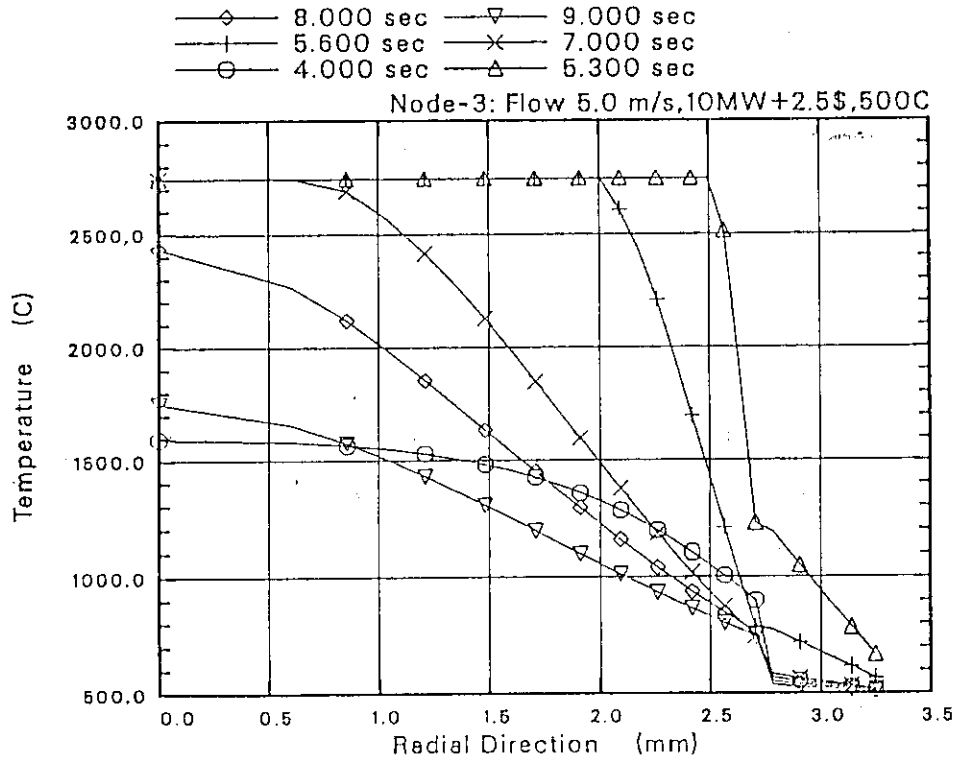


図 15-13 一定出力(470W/cm)からのTOP(\$2.5)での実験燃料(ノード3)の半径方向温度分布
(ケース12, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

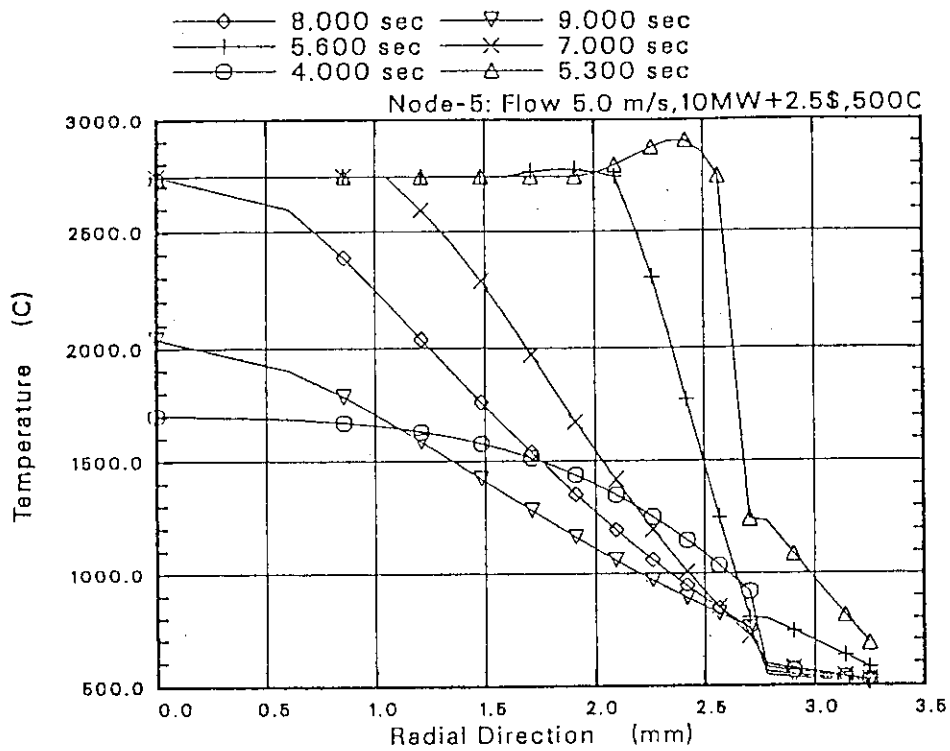


図 15-14 一定出力(470W/cm)からのTOP(\$2.5)での実験燃料(ノード5)の半径方向温度分布
(ケース12, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

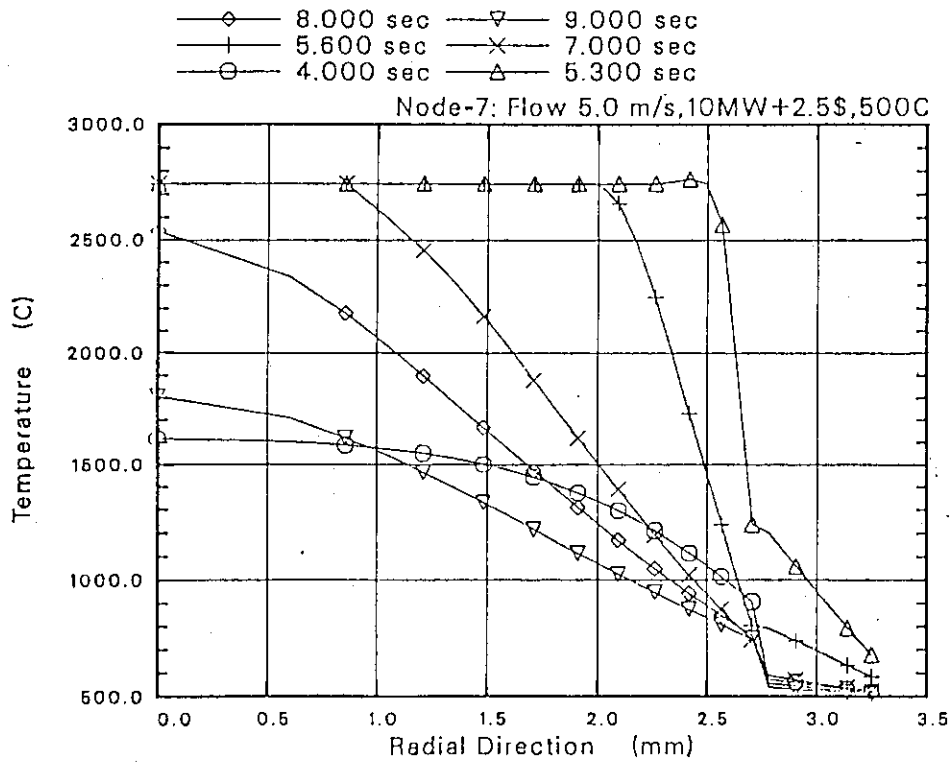


図 15-15 一定出力(470W/cm)からのTOP(\$2.5)での実験燃料(ノード7)の半径方向温度分布
(ケース12, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5 m/s)

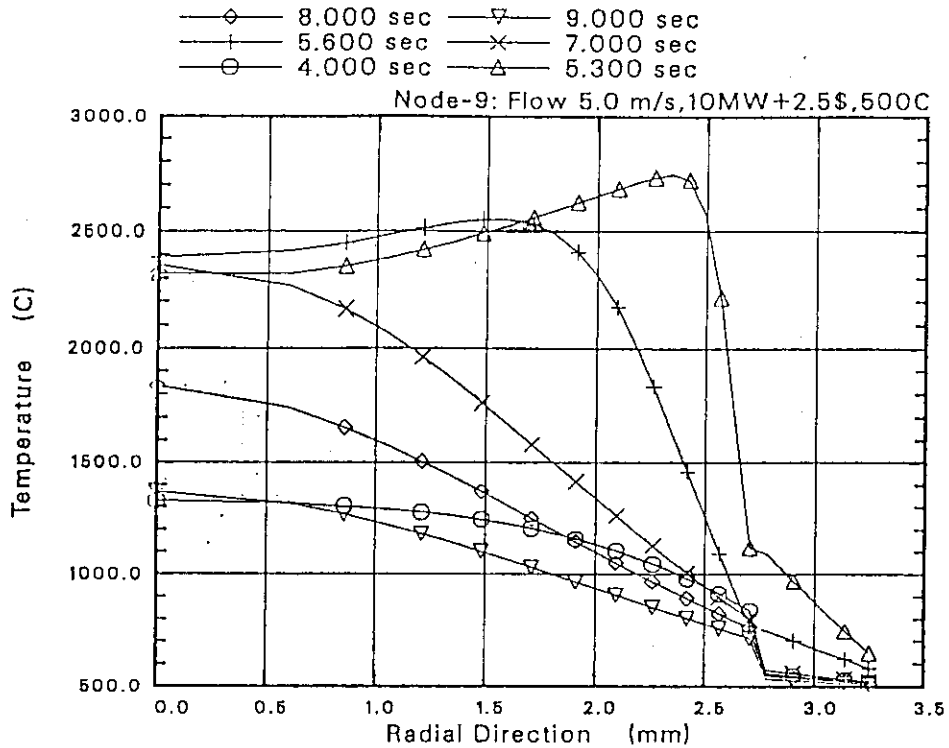


図 15-16 一定出力(470W/cm)からのTOP(\$2.5)での実験燃料(ノード9)の半径方向温度分布
(ケース12, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 8 m/s)

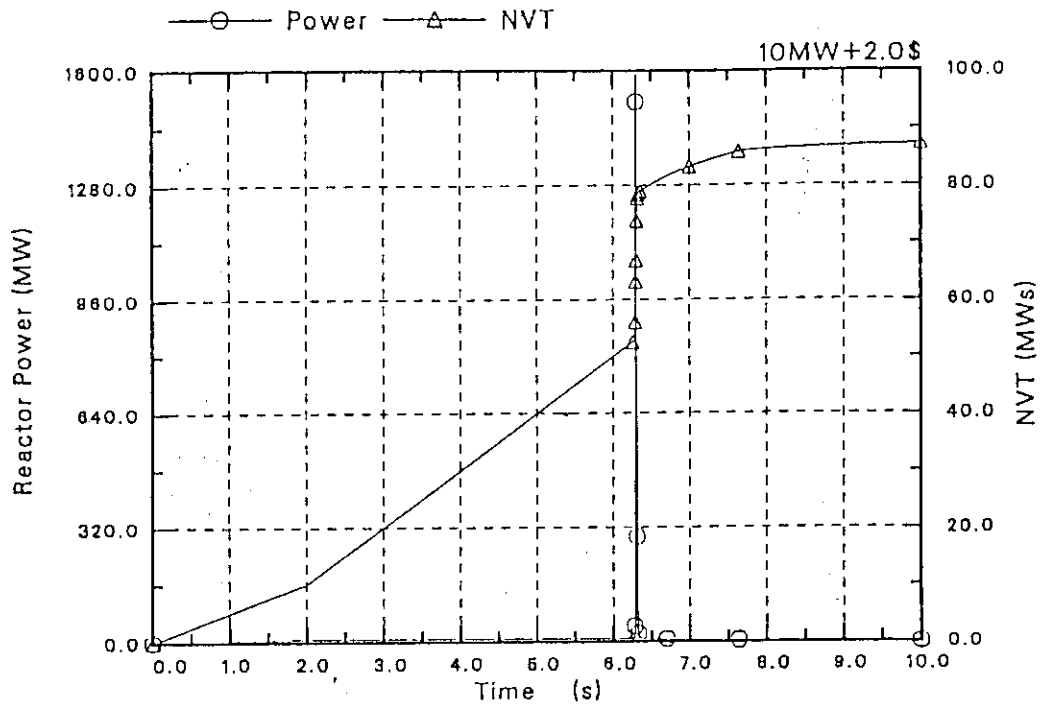


図 16-1 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$2.0) の出力履歴
(ケース 14, 細径燃料)

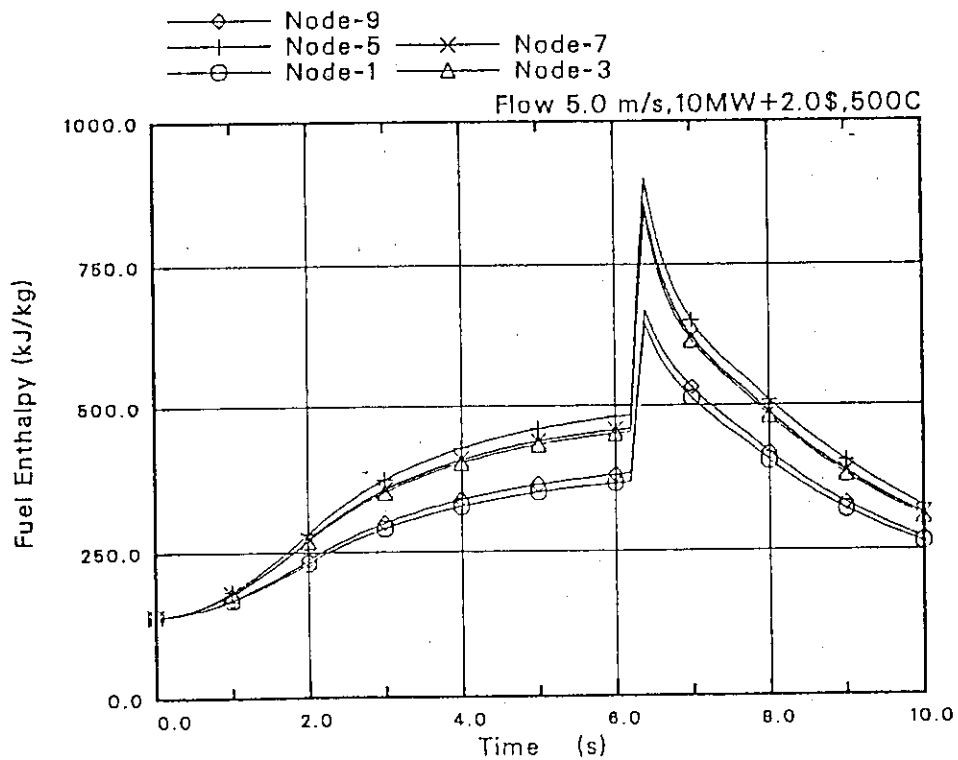


図 16-2 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$2.0) での実験燃料エンタルピの時間変化
(ケース 14, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

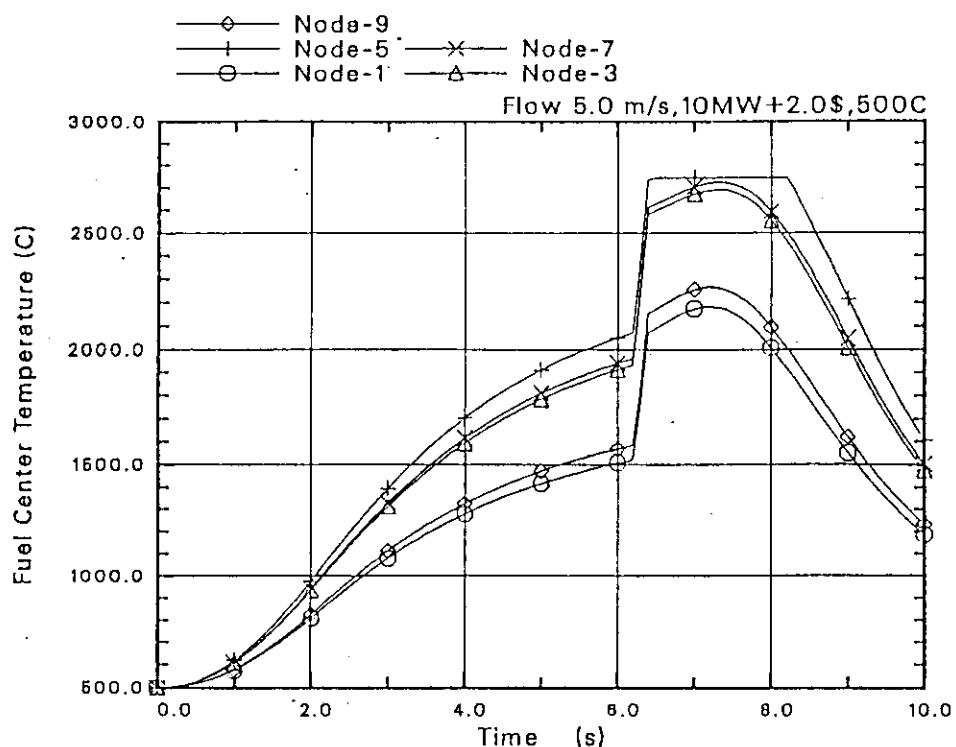


図 16-3 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$ 2.0) での実験燃料中心温度履歴 (ケース 14, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

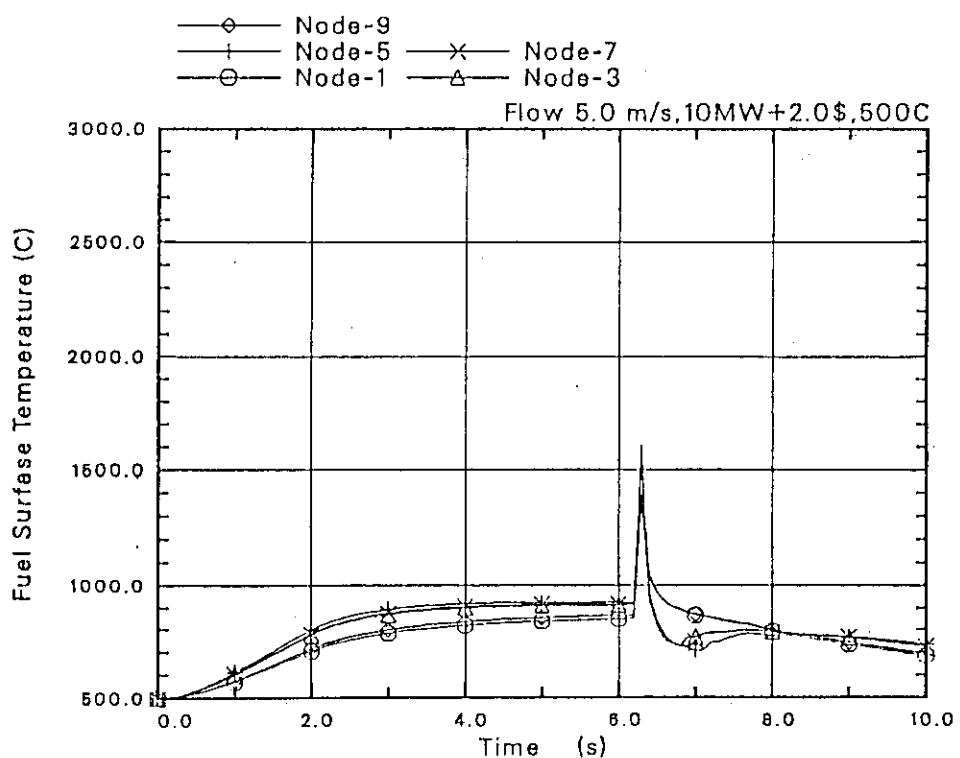


図 16-4 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$ 2.0) での実験燃料表面温度履歴 (ケース 14, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

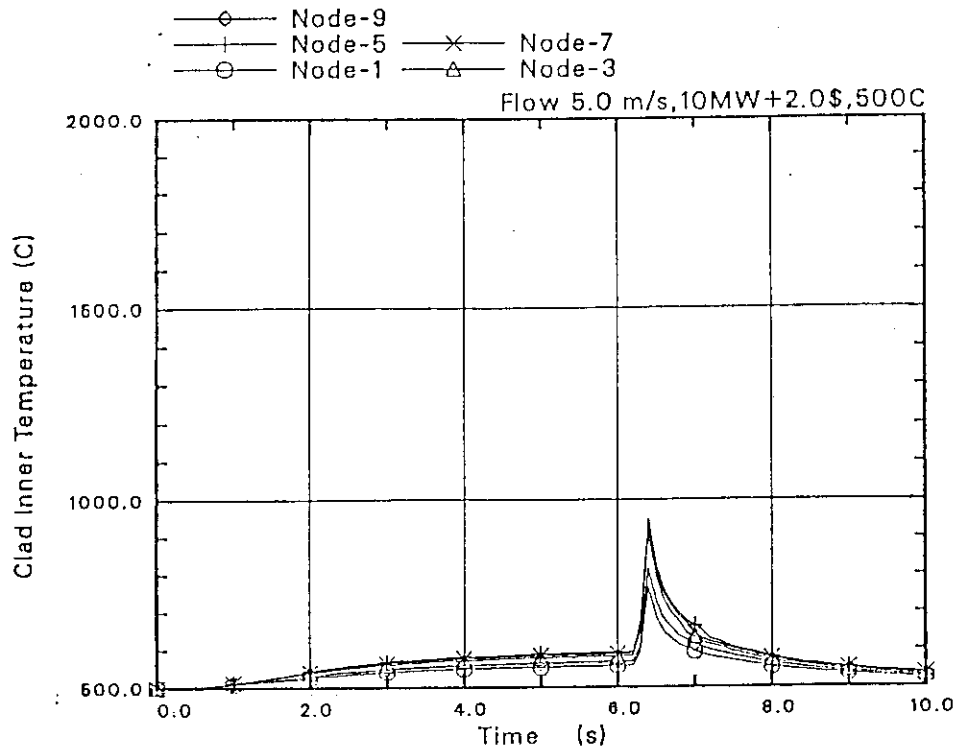


図 16-5 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$2.0) での被覆管内面温度履歴 (ケース 14, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

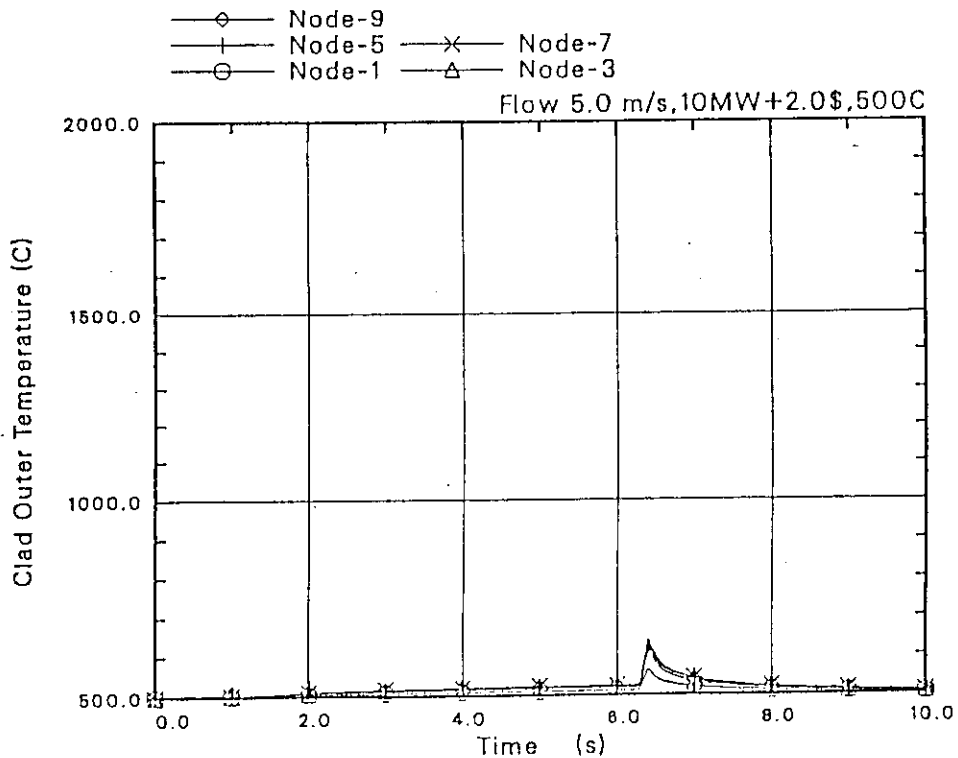


図 16-6 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$2.0) での被覆管表面温度履歴 (ケース 14, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

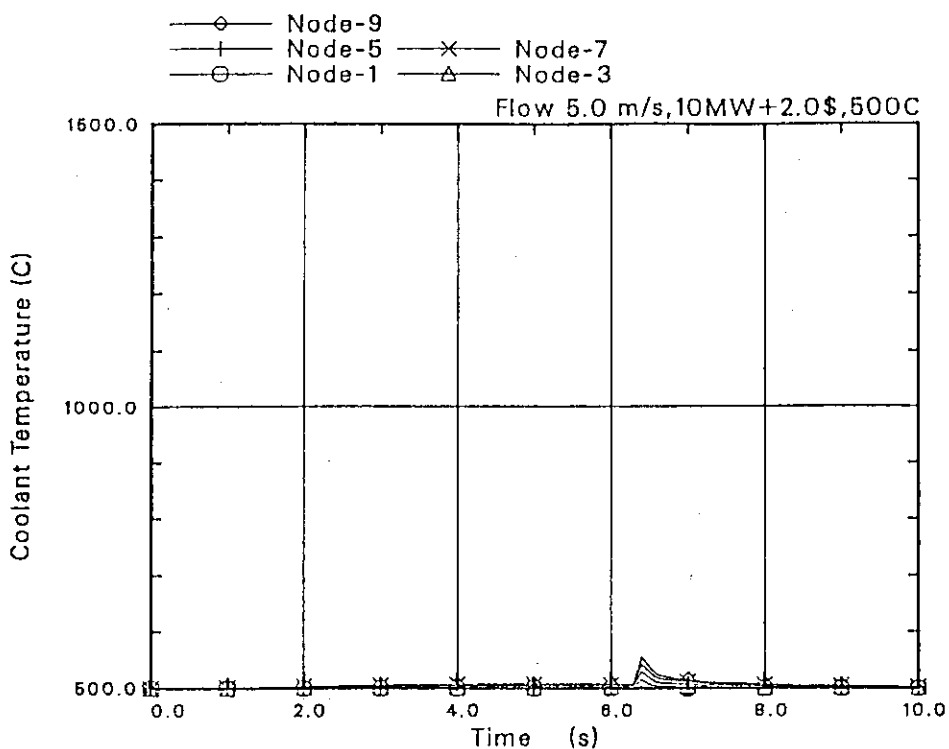


図 16-7 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$ 2.0) での冷却材温度履歴 (ケース 14, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

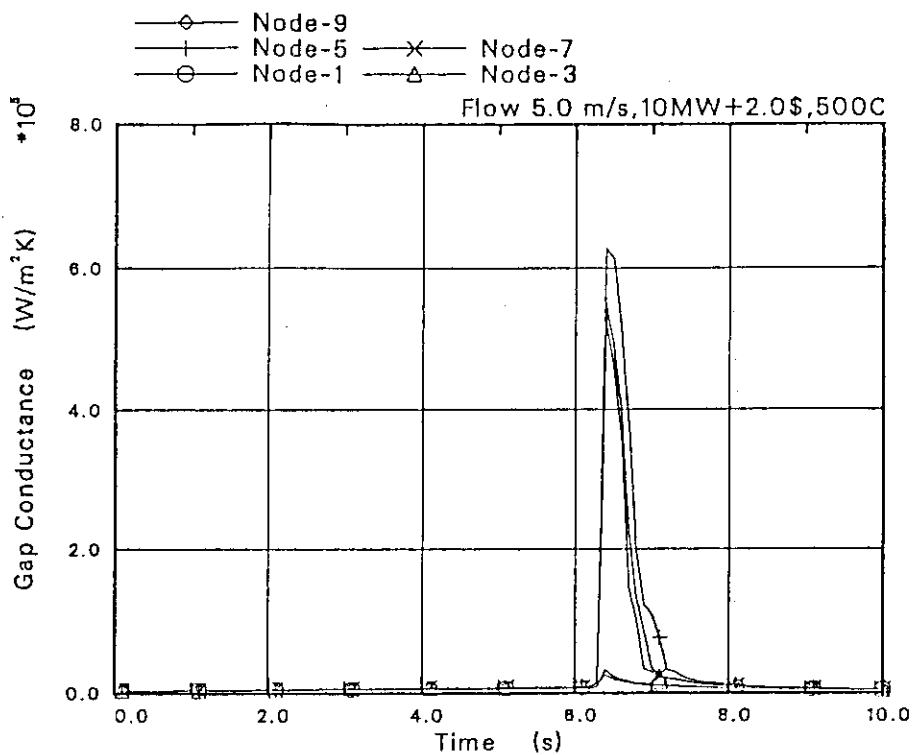


図 16-8 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$ 2.0) でのギャップコンダクタンスの時間変化 (ケース 14, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

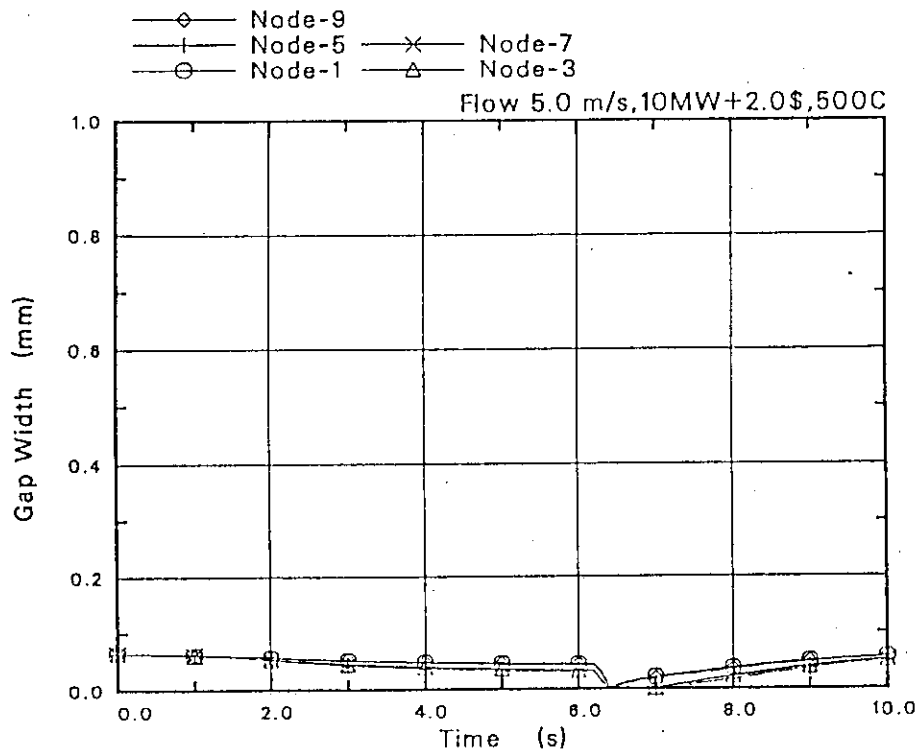


図 16-9 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$2.0) でのギャップ幅の時間変化 (ケース 14, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

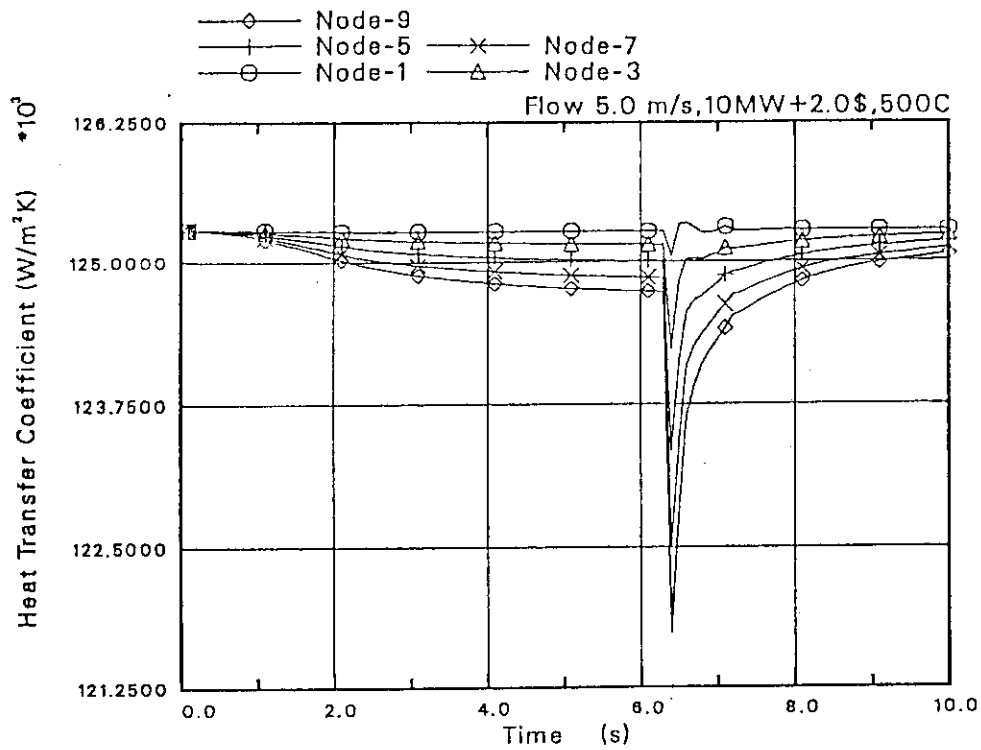


図 16-10 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$2.0) での熱伝達係数の時間変化 (ケース 14, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

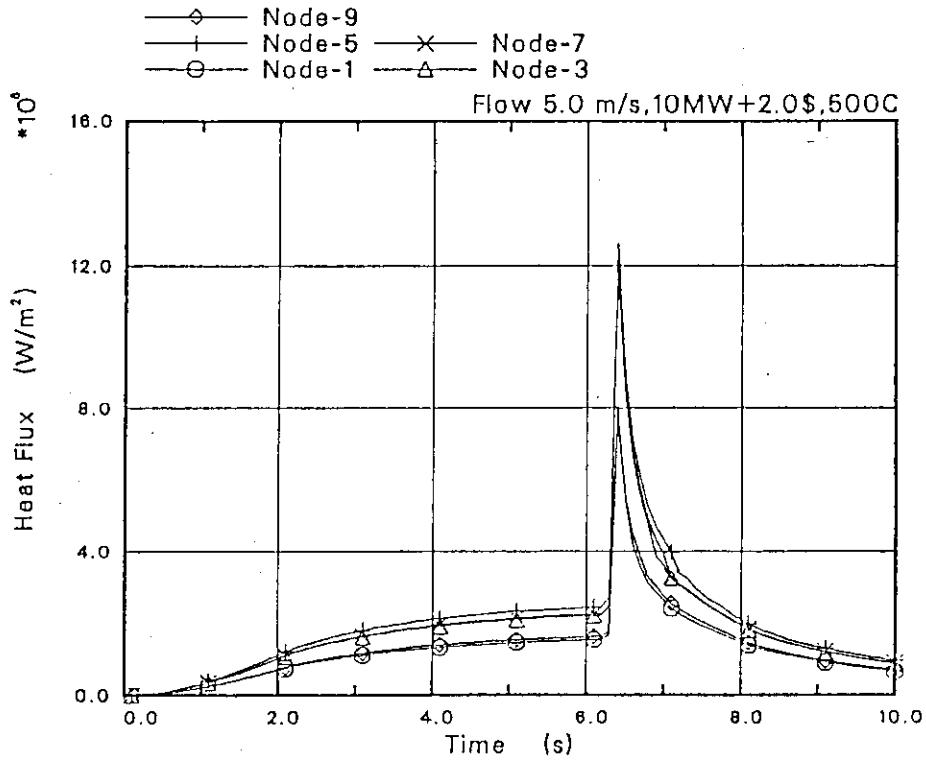


図 16-11 一定出力 (470 W/cm) からの TOP (\$ 2.0) での熱流束の時間変化 (ケース 14, 細径燃料, 500°C, 5 m/s)

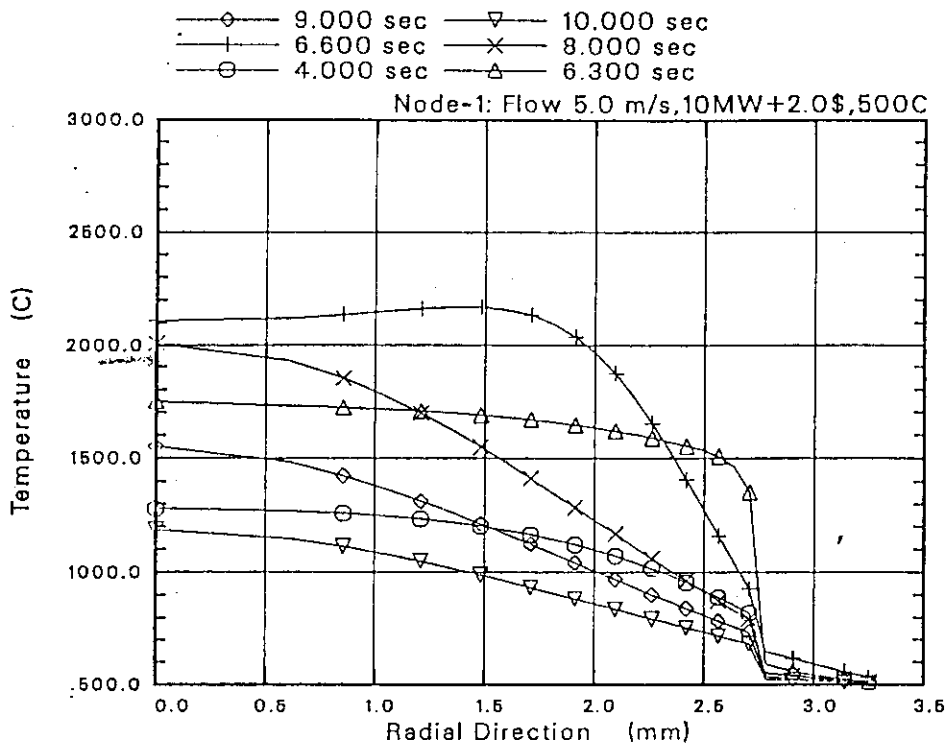


図 16-12 一定出力 (470 W/cm) からの TOP (\$ 2.0) での実験燃料 (ノード 1) の半径方向温度分布 (ケース 14, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

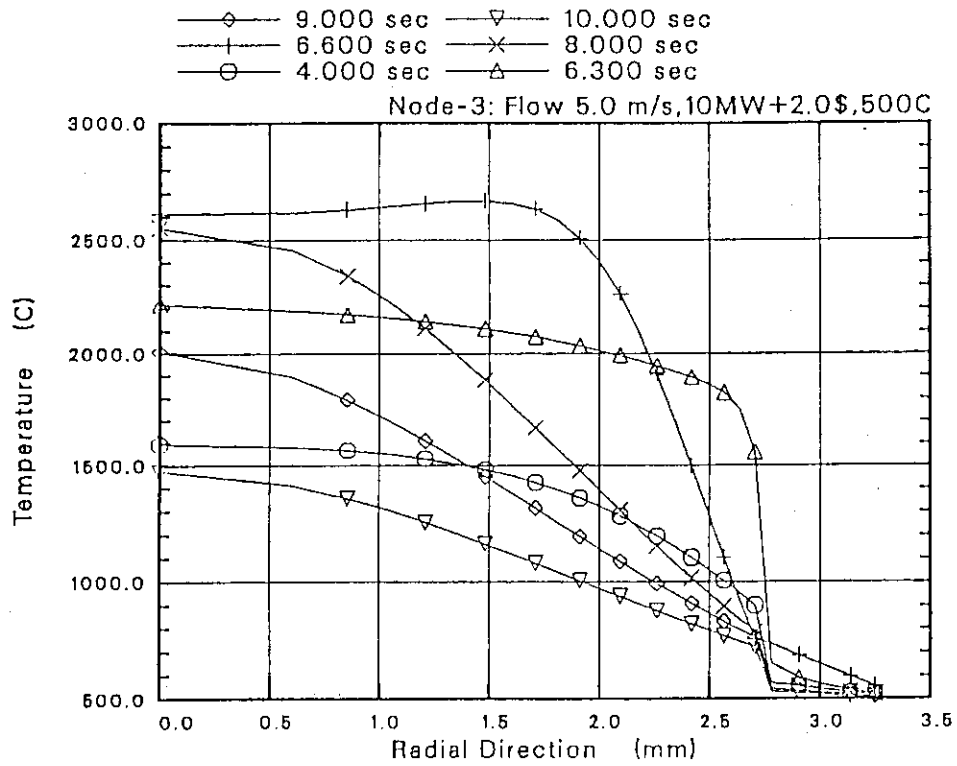


図 16-13 一定出力(470W/cm)からの TOP (\$ 2.0)での実験燃料(ノード3)の半径方向温度分布 (ケース 14, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

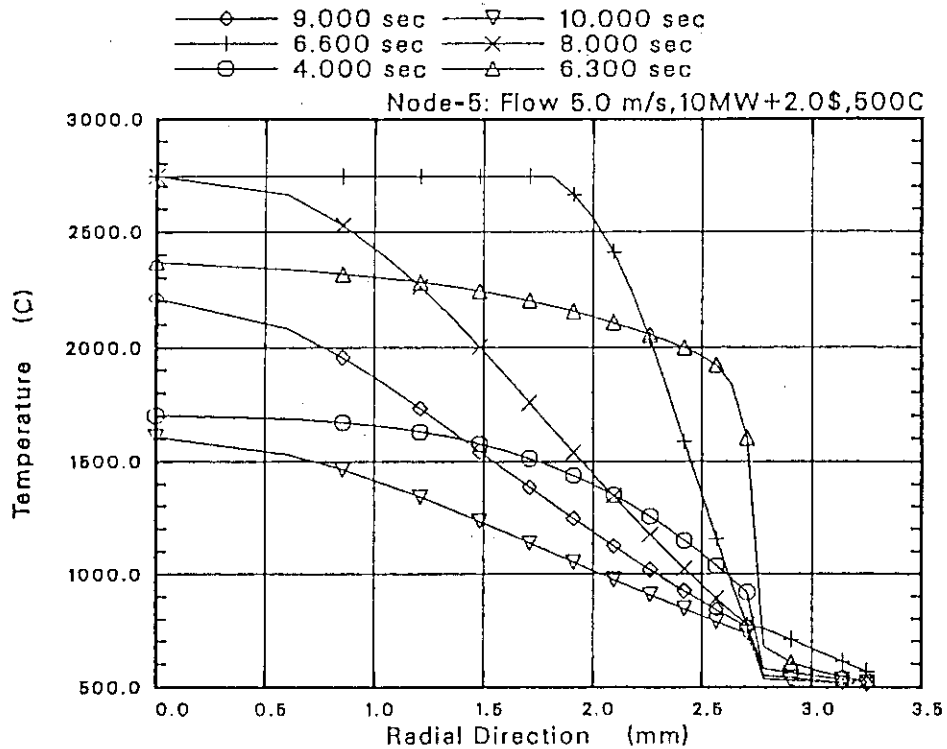


図 16-14 一定出力(470W/cm)からの TOP (\$ 2.0)での実験燃料(ノード5)の半径方向温度分布 (ケース 14, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

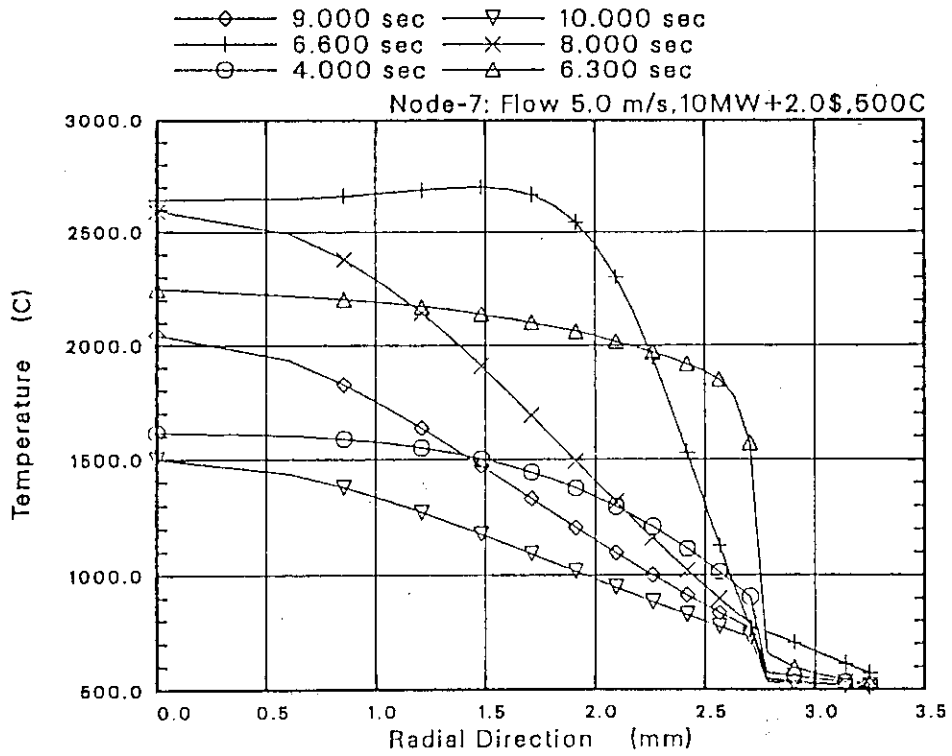


図 16-15 一定出力(470W/cm)からのTOP(\$2.0)での実験燃料(ノード7)の半径方向温度分布 (ケース 14, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

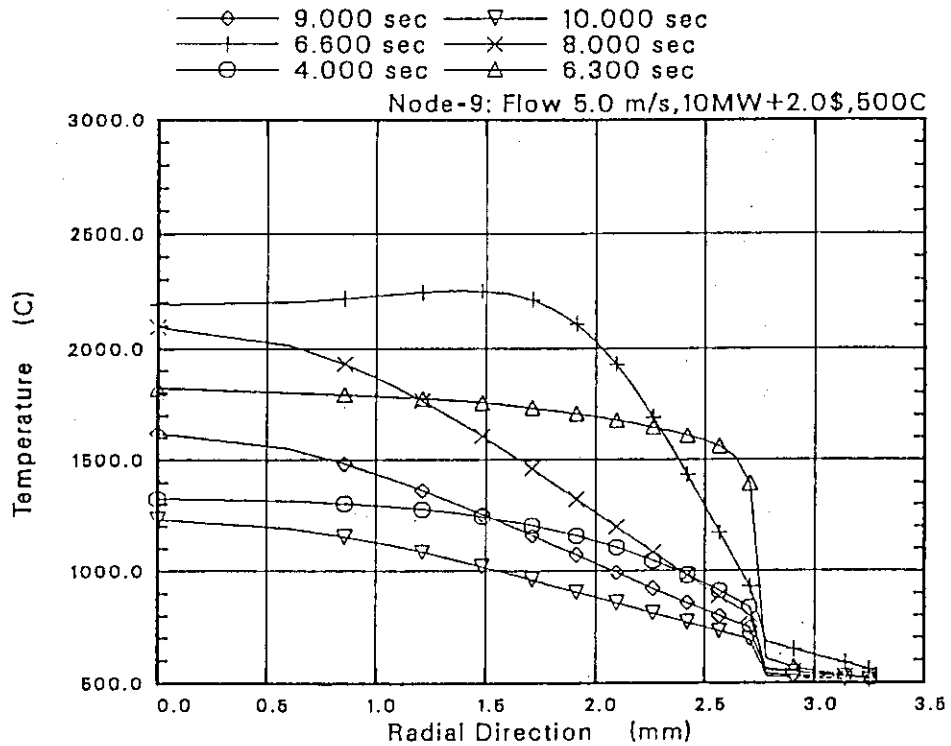


図 16-16 一定出力(470W/cm)からのTOP(\$2.0)での実験燃料(ノード9)の半径方向温度分布 (ケース 14, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

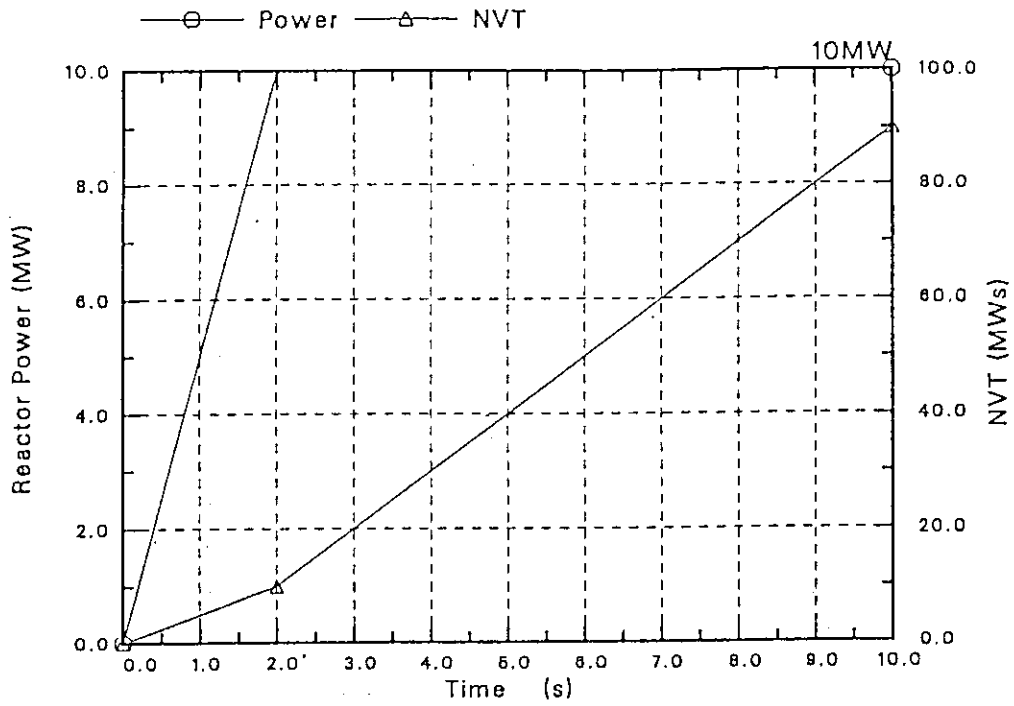


図 17-1 一定出力 (470 W/cm) 保持実験の出力履歴
(ケース 16, 細径燃料)

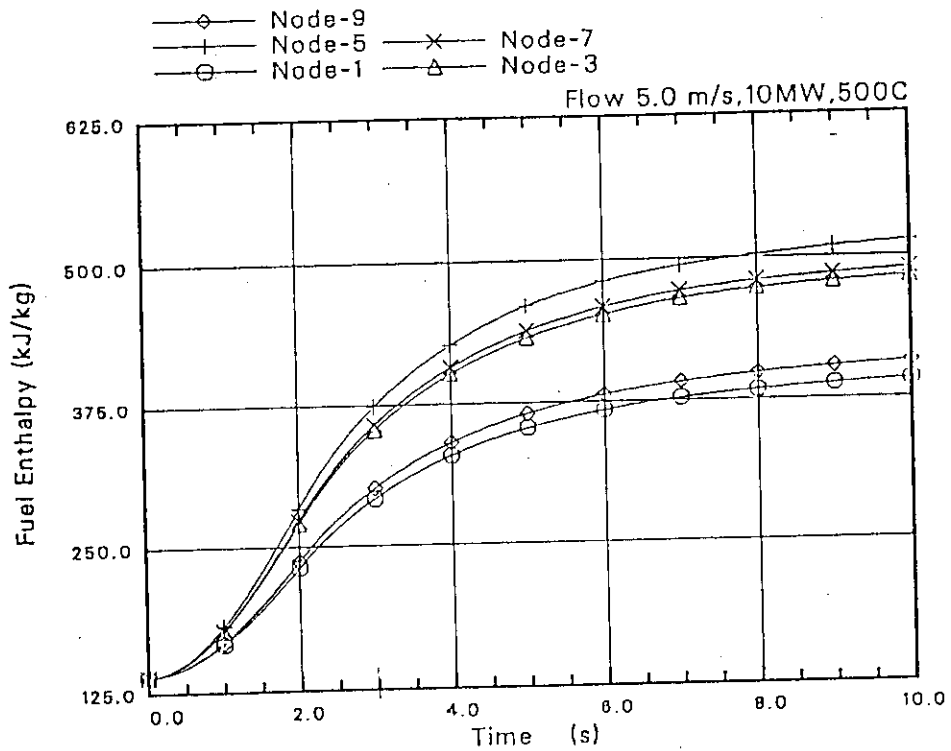


図 17-2 一定出力 (470 W/cm) 保持実験での実験燃料エンタルピの時間変化
(ケース 16, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

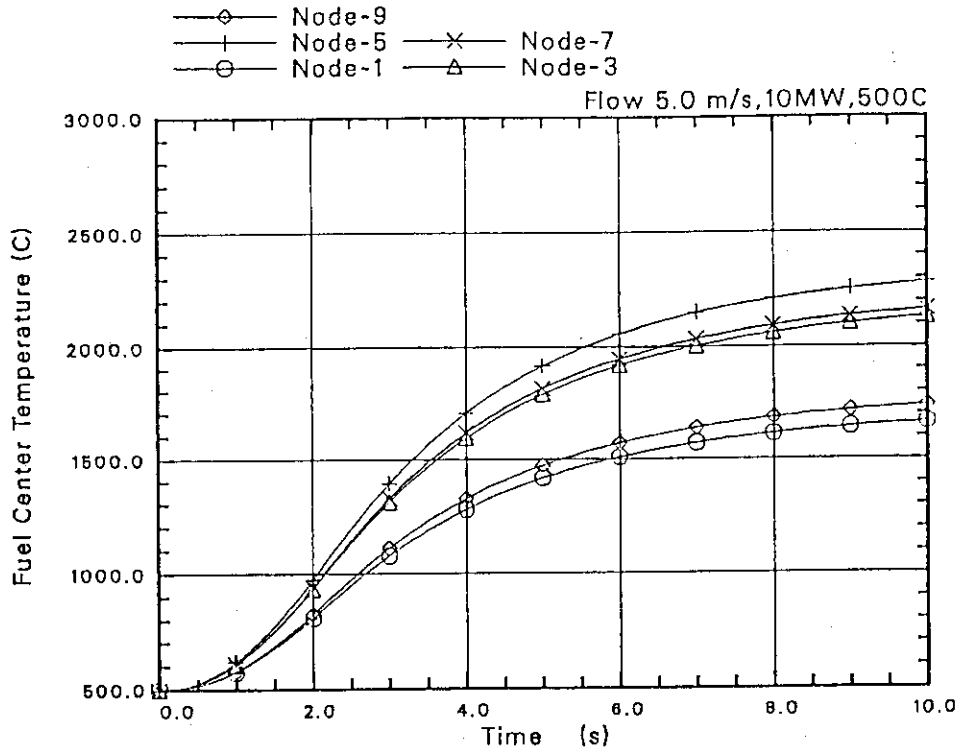


図 17-3 一定出力 (470W/cm) 保持実験での実験燃料中心温度履歴
(ケース 16, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

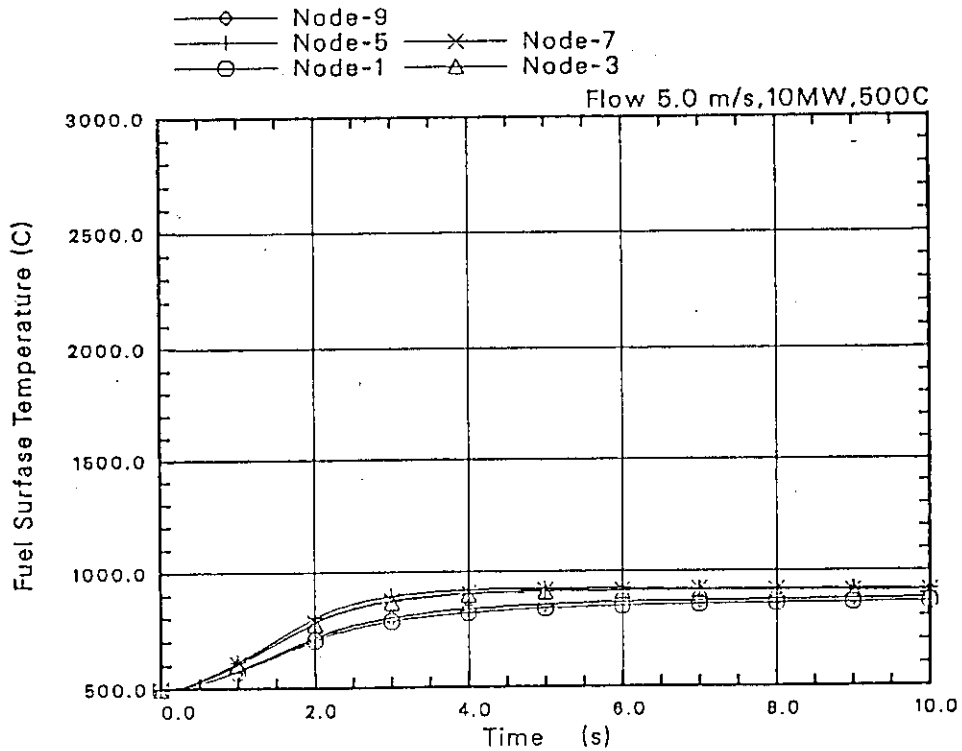


図 17-4 一定出力 (470W/cm) 保持実験での実験燃料表面温度履歴
(ケース 16, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

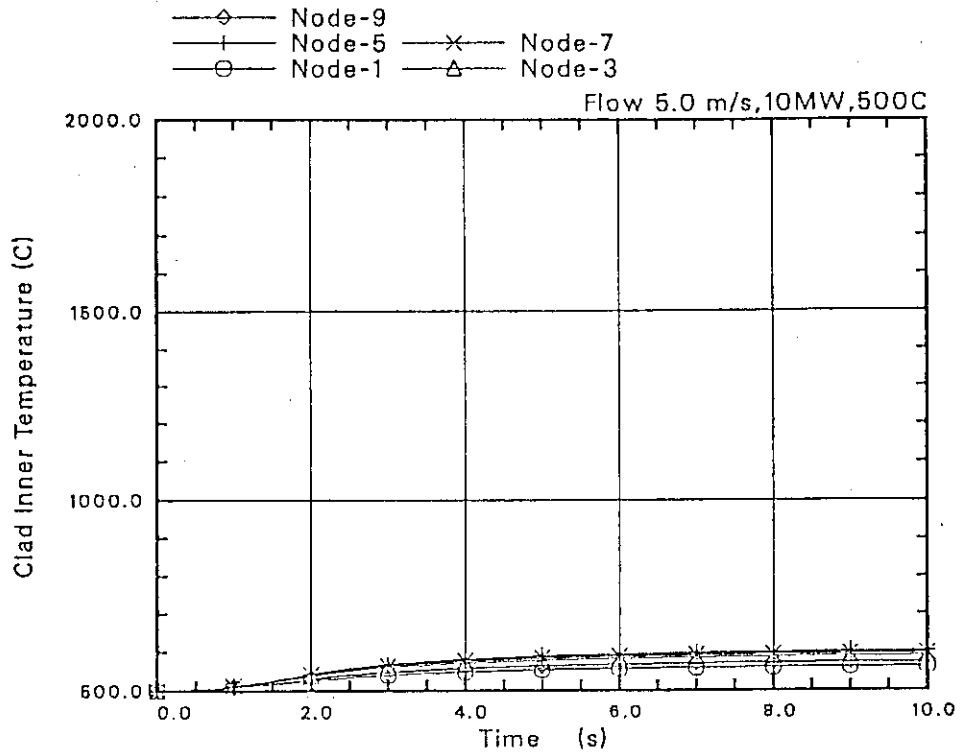


図 17-5 一定出力 (470W/cm) 保持実験での被覆管内面温度履歴
(ケース 16, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

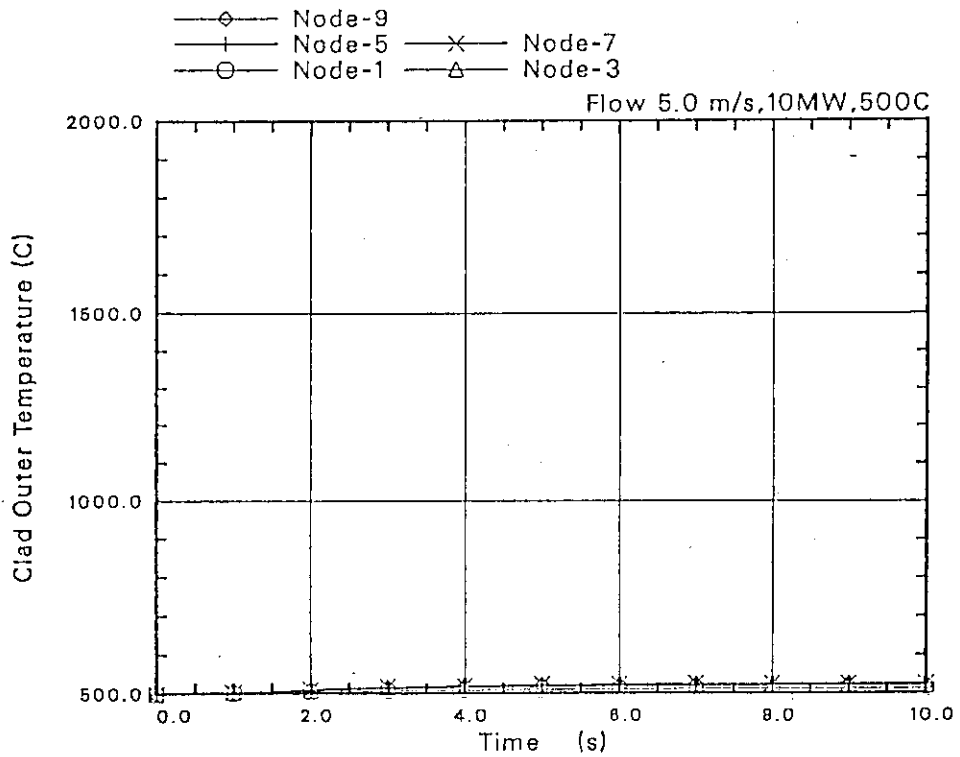


図 17-6 一定出力 (470W/cm) 保持実験での被覆管表面温度履歴
(ケース 16, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

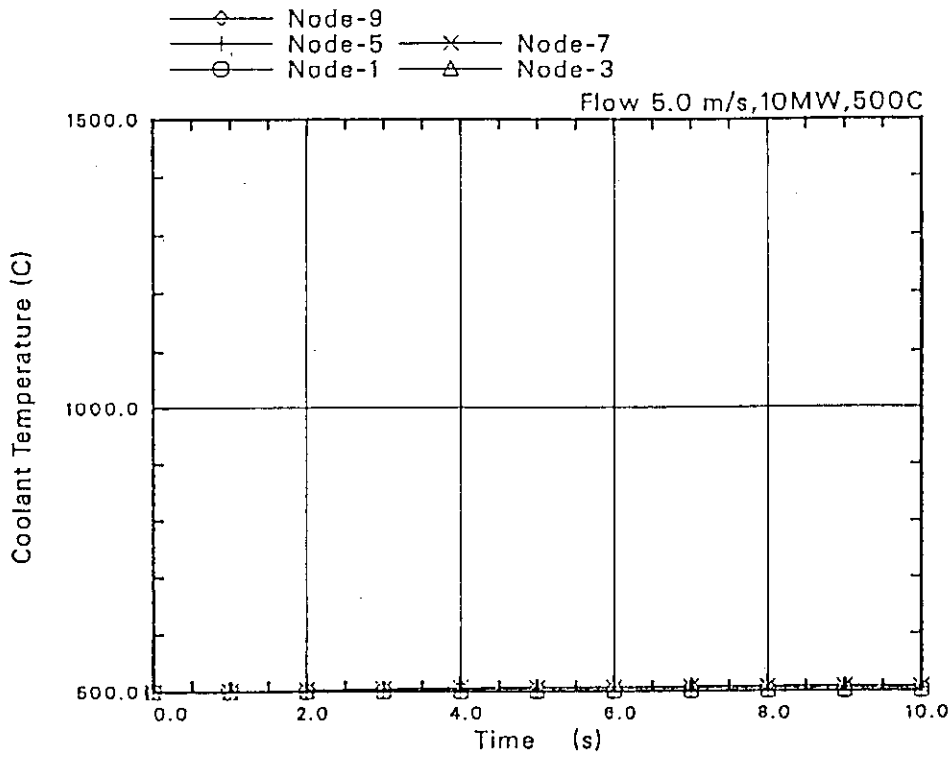


図 17-7 一定出力 (470W/cm) 保持実験での冷却材温度履歴
(ケース 16, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

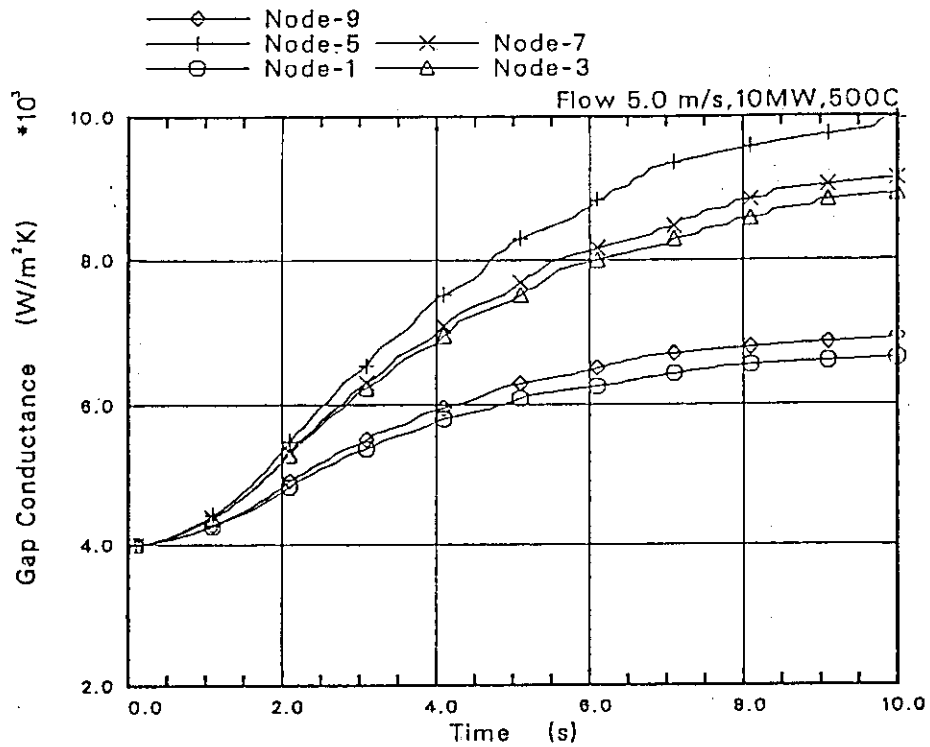


図 17-8 一定出力 (470W/cm) 保持実験でのギャップコンダクタンスの時間変化
(ケース 16, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

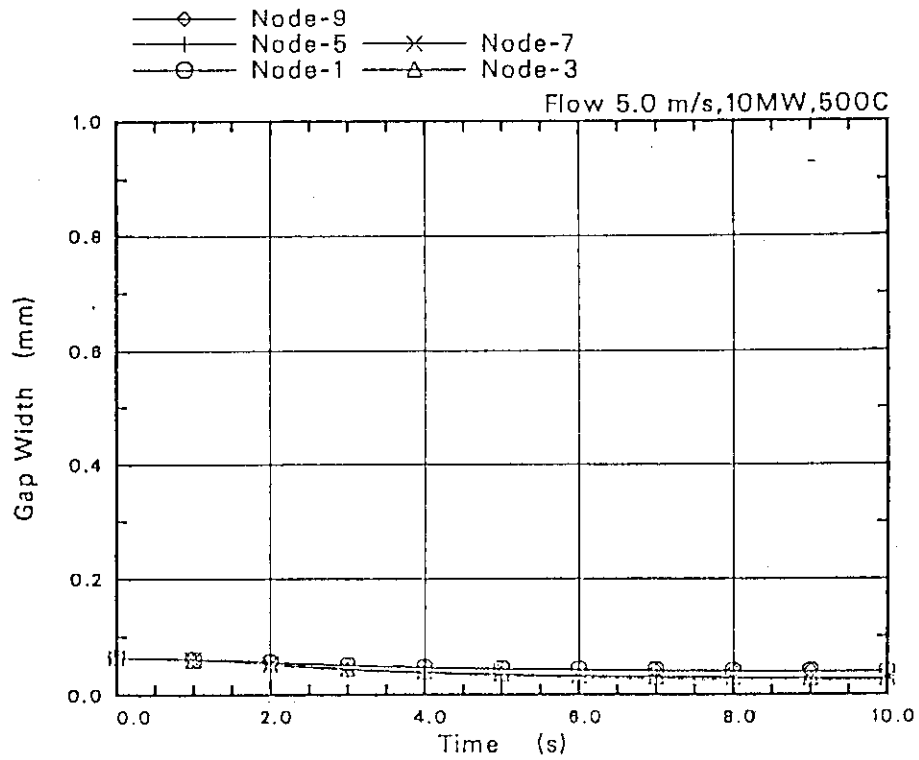


図 17-9 一定出力 (470W/cm) 保持実験でのギャップ幅の時間変化
(ケース 16, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

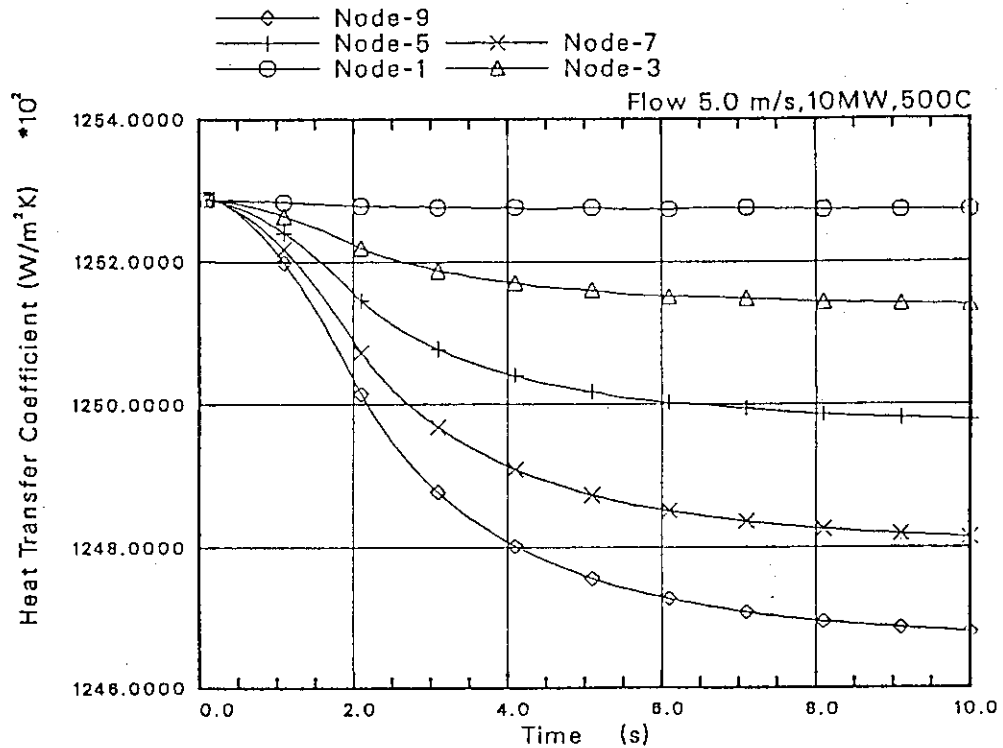


図 17-10 一定出力 (470W/cm) 保持実験での熱伝達係数の時間変化
(ケース 16, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

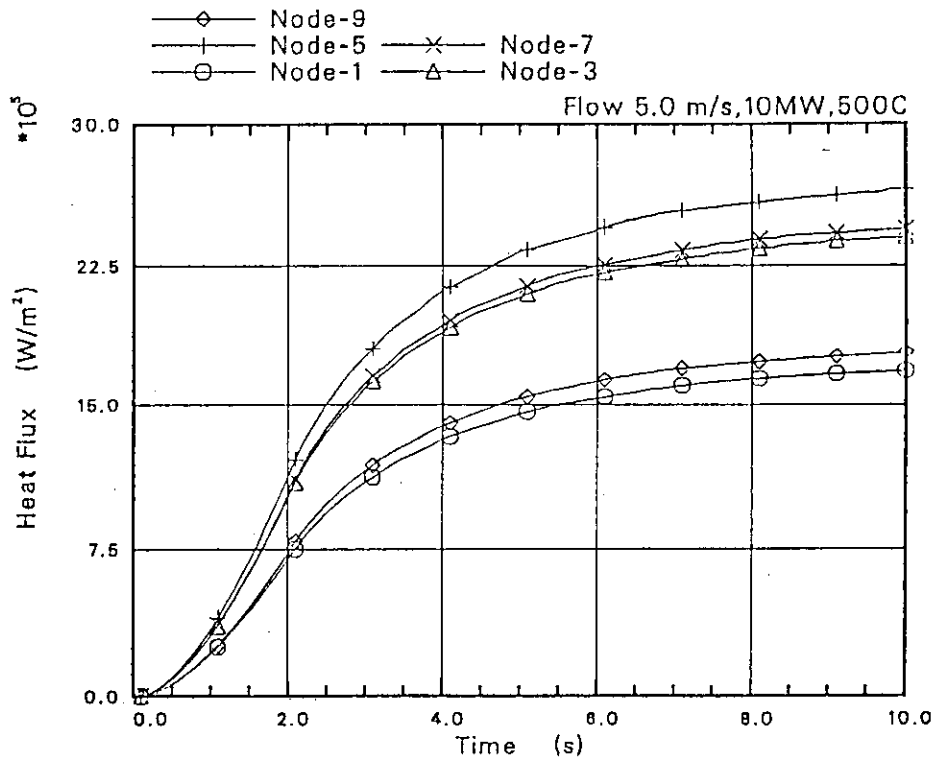


図 17-11 一定出力 (470 W/cm) 保持実験での熱流束の時間変化 (ケース 16, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

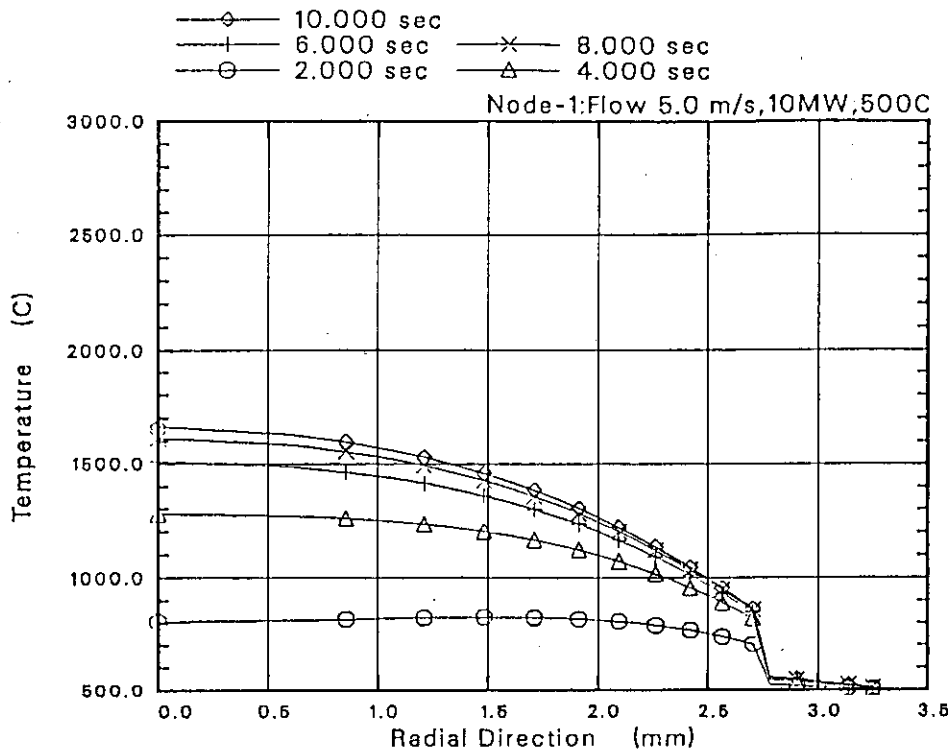


図 17-12 一定出力 (470 W/cm) 保持実験での実験燃料 (ノード 1) の半径方向温度分布 (ケース 16, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

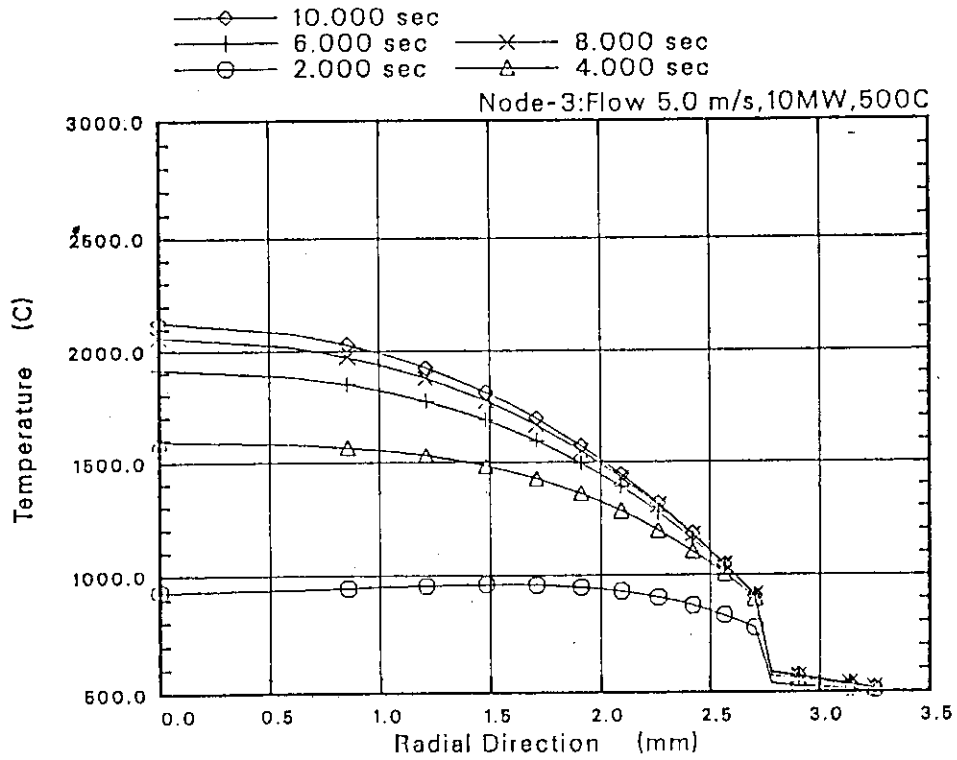


図 17-13 一定出力(470W/cm)保持実験での実験燃料(ノード3)の半径方向温度分布 (ケース16, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

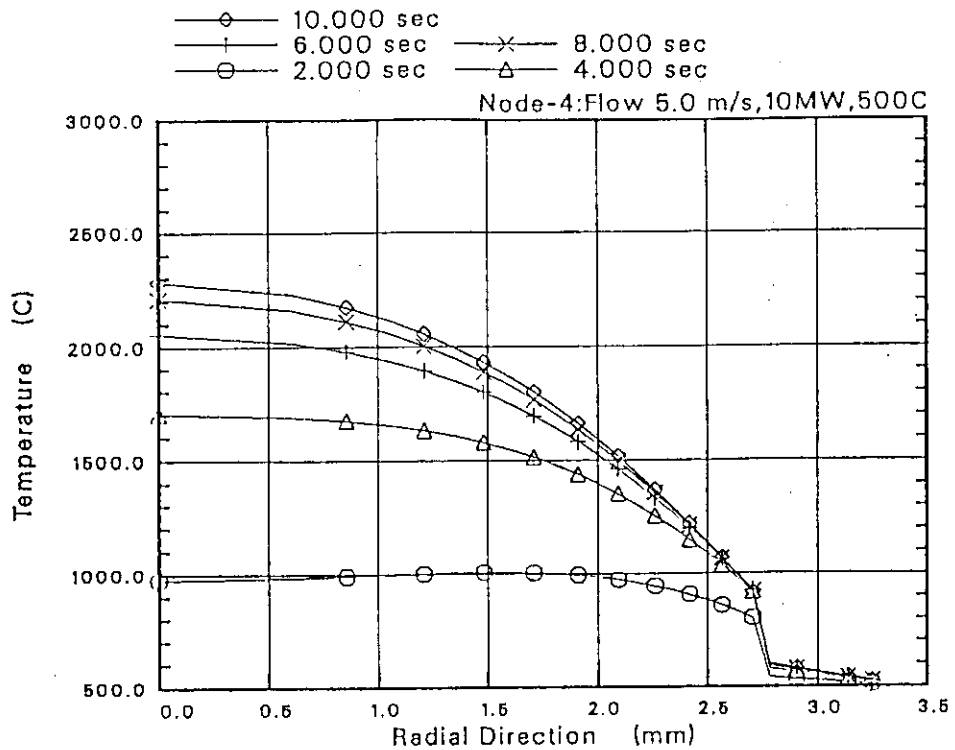


図 17-14 一定出力(470W/cm)保持実験での実験燃料(ノード5)の半径方向温度分布 (ケース16, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

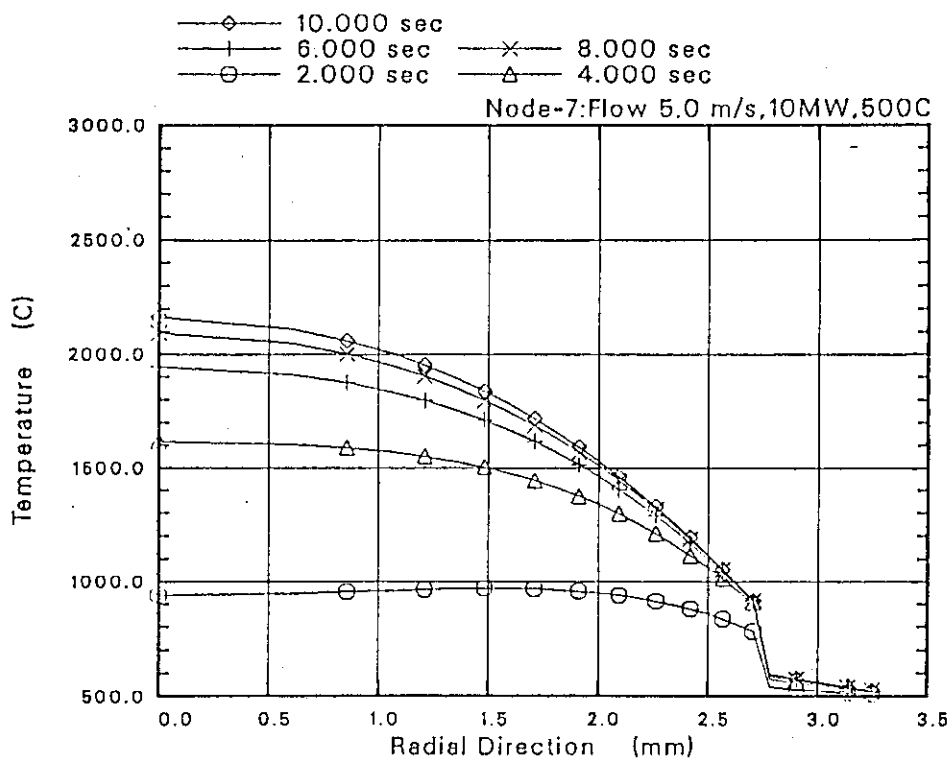


図 17-15 一定出力(470W/cm)保持実験での実験燃料(ノード7)の半径方向温度分布
(ケース16, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

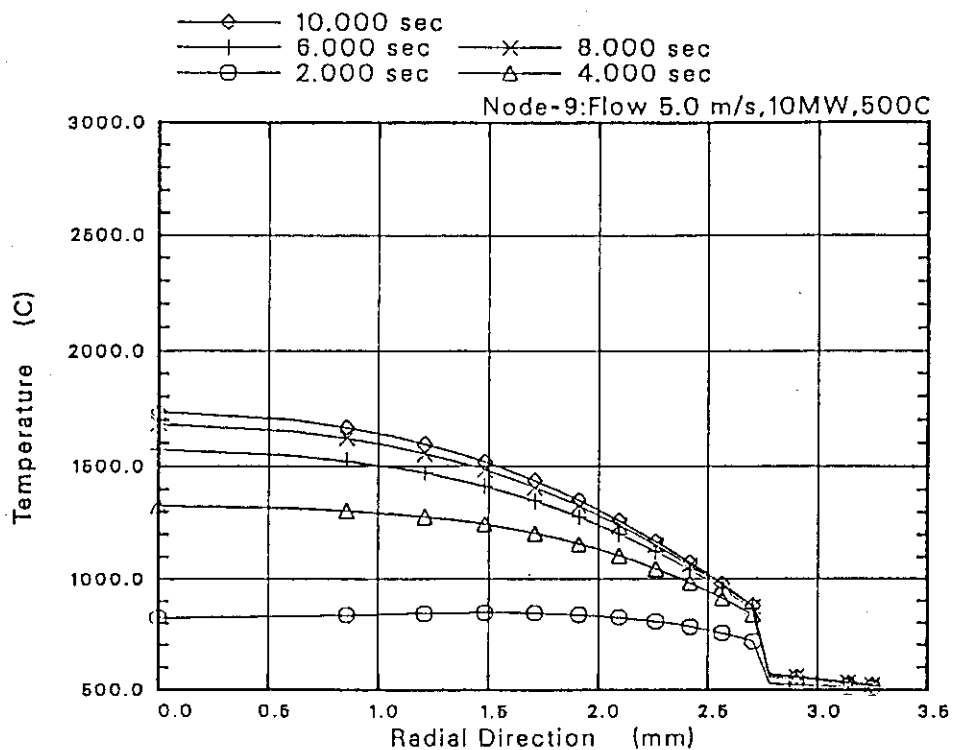


図 17-16 一定出力(470W/cm)保持実験での実験燃料(ノード9)の半径方向温度分布
(ケース16, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

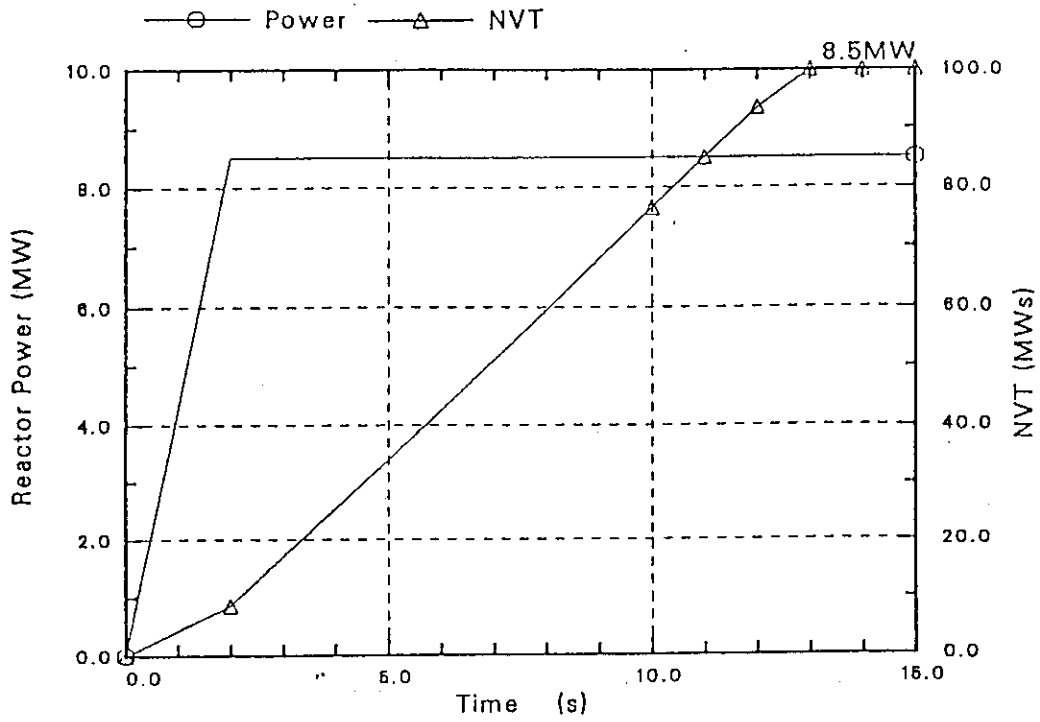


図 18-1 一定出力 (470W/cm) で LOF 模擬実験
(ケース 21, 細径燃料)

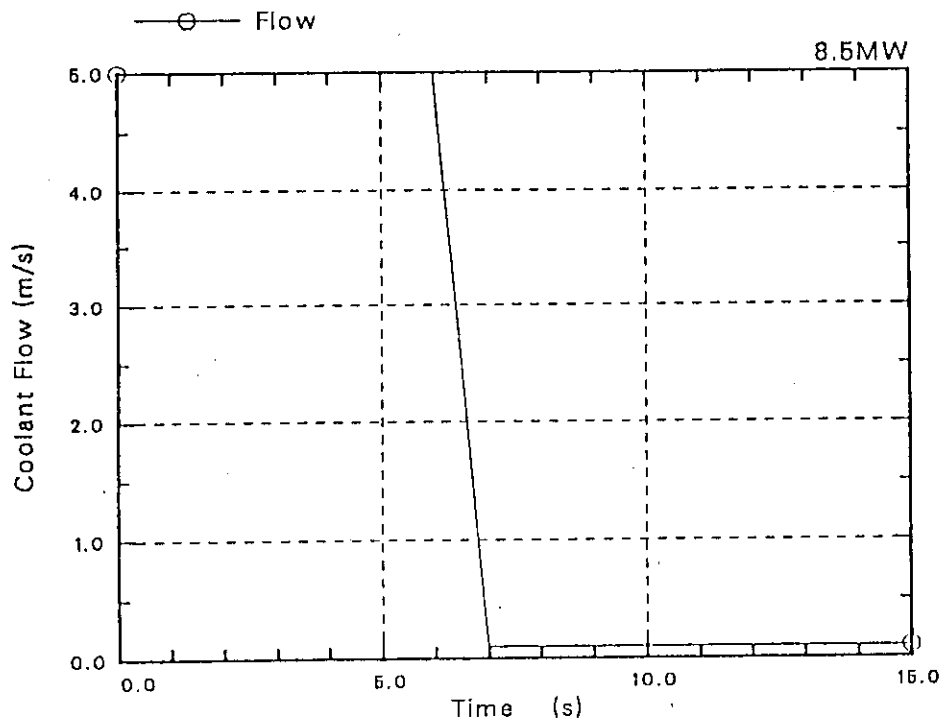


図 18-2 一定出力 (470W/cm) での LOF 模擬実験の流速履歴
(ケース 21, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

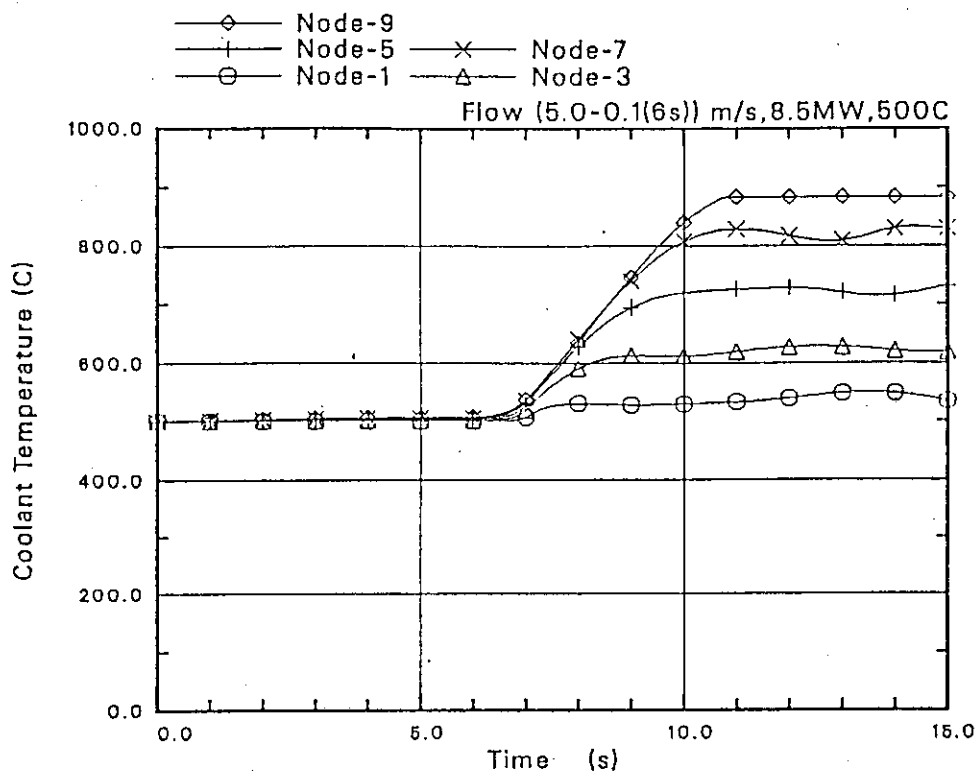


図 18-3 一定出力 (470W/cm) での LOF 模擬実験での冷却材温度履歴 (ケース 21, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s ~ 0.1 m/s)

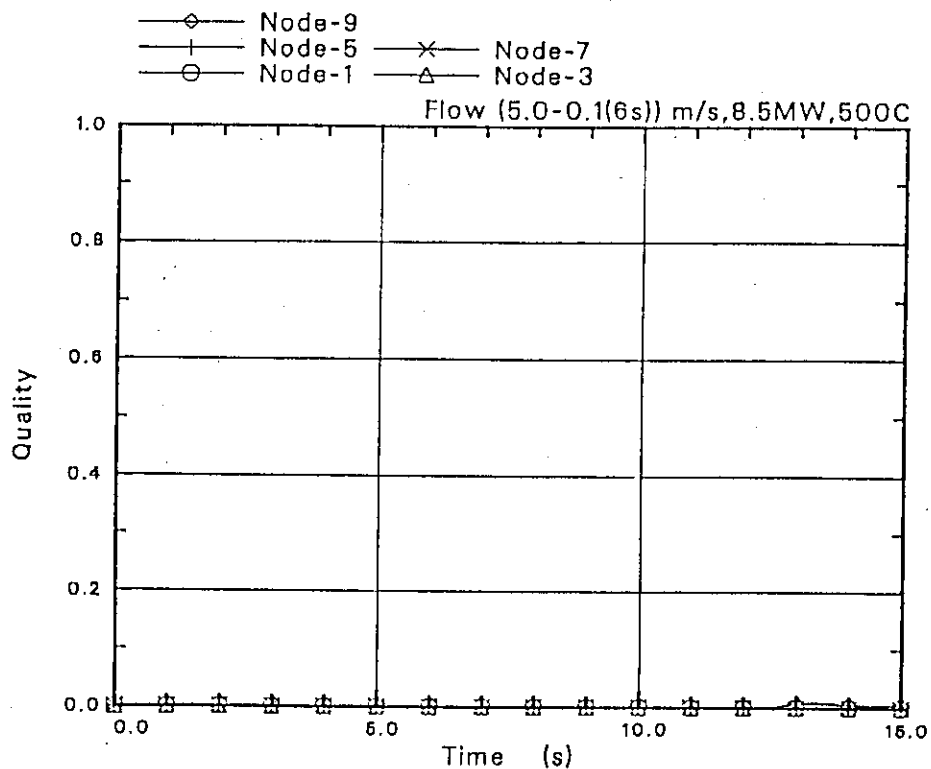


図 18-4 一定出力 (470W/cm) での LOF 模擬実験での Na 冷却材クオリティの時間変化 (ケース 21, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s ~ 0.1 m/s)

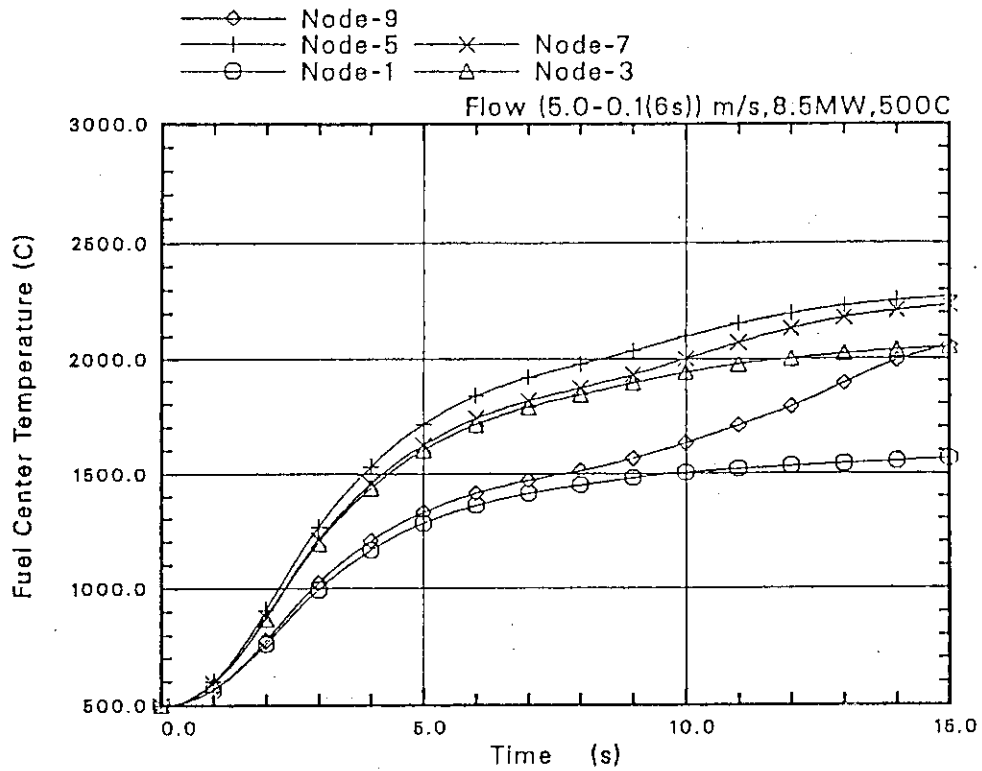


図 18-5 一定出力 (470W/cm) での LOF 模擬実験での実験燃料中心温度履歴 (ケース 21, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

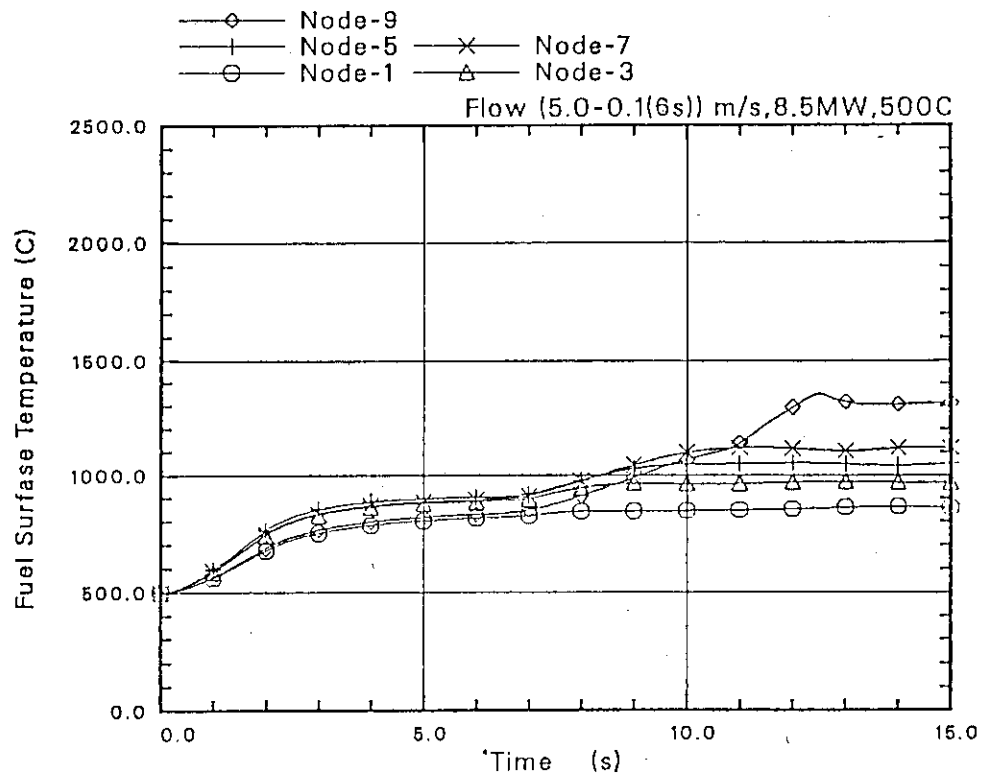


図 18-6 一定出力 (470W/cm) での LOF 模擬実験での実験燃料表面温度履歴 (ケース 21, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

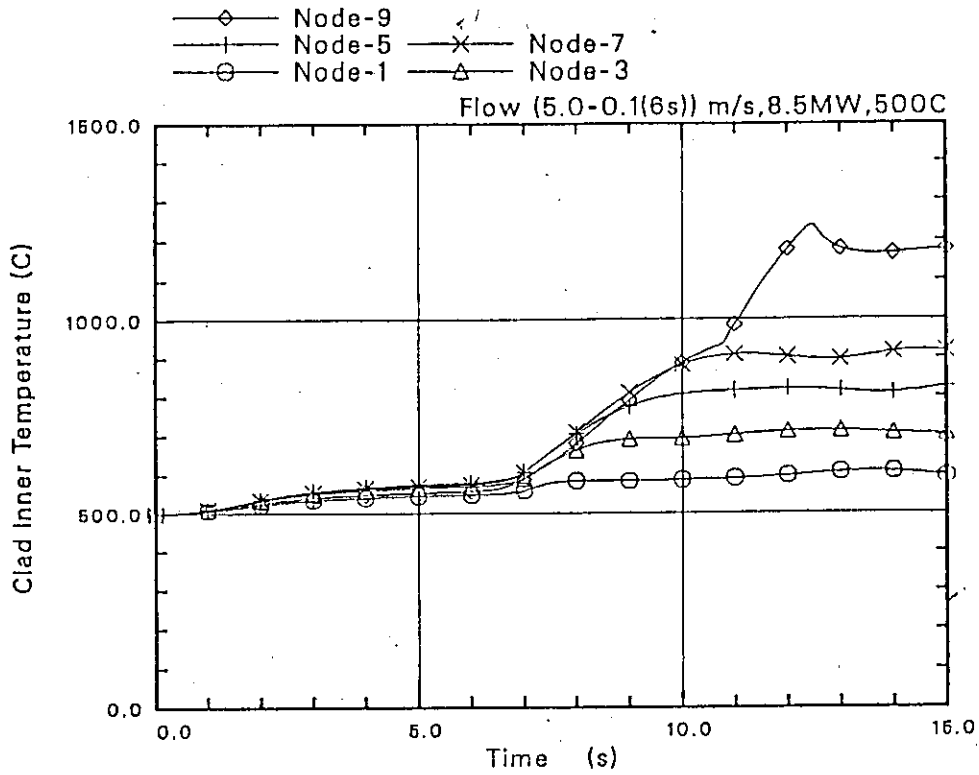


図 18-7 一定出力 (470W/cm) での LOF 模擬実験での被覆管内面温度履歴 (ケース 21, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

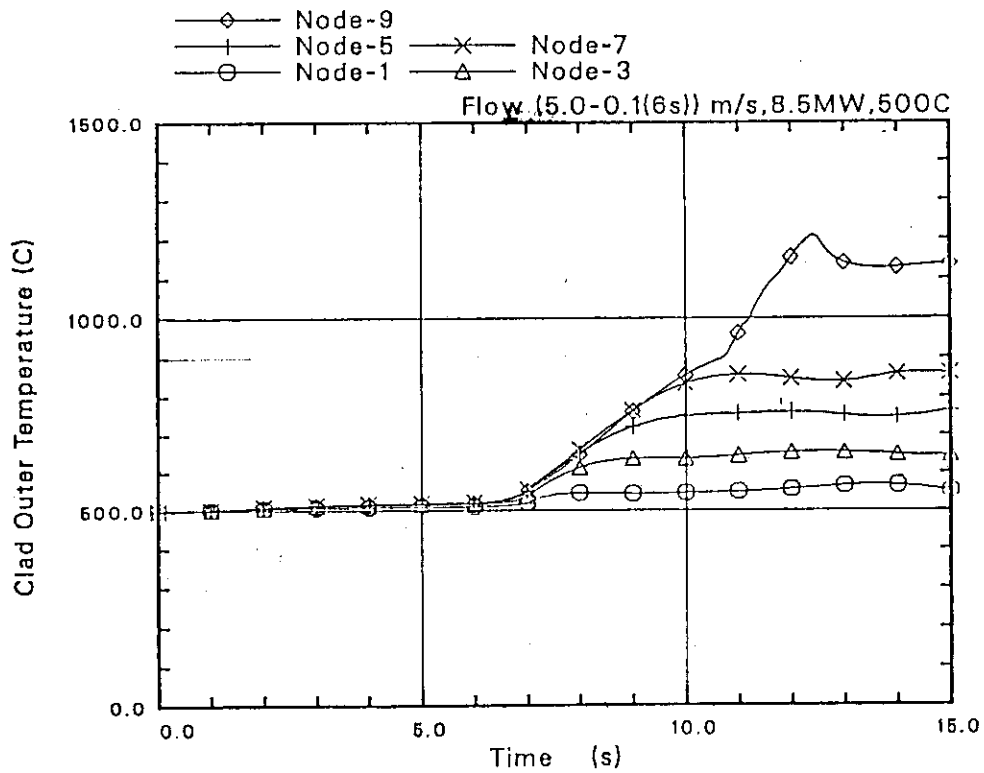


図 18-8 一定出力 (470W/cm) での LOF 模擬実験での被覆管表面温度履歴 (ケース 21, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

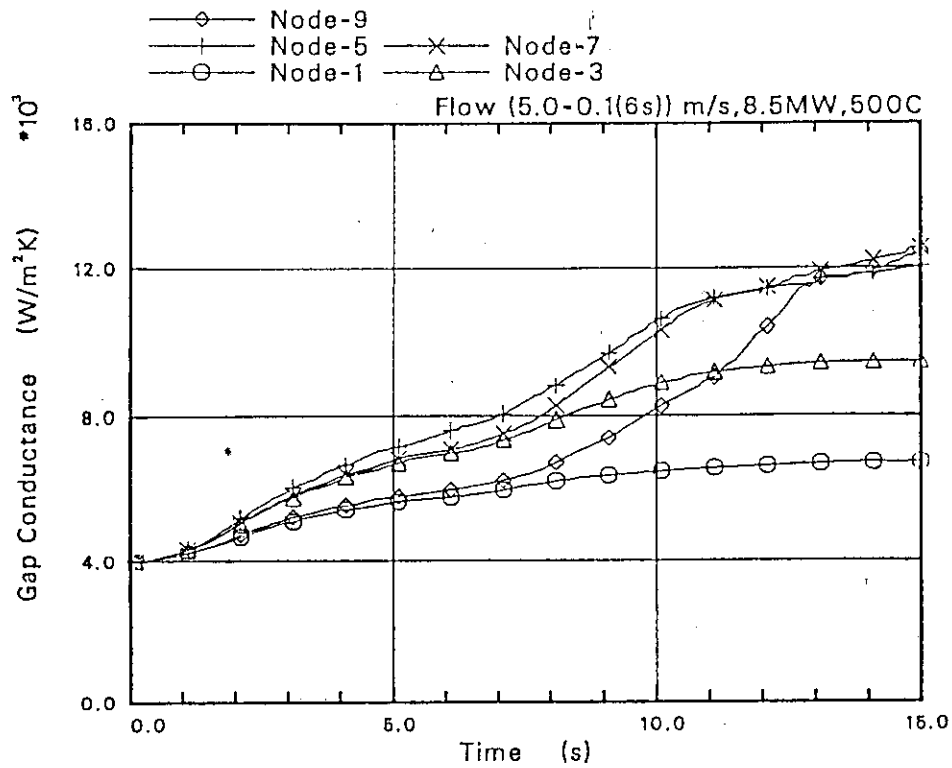


図 18-9 一定出力 (470W/cm) での LOF 模擬実験でのギャップコンダクタンスの時間変化 (ケース 21, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s~0.1m/s)

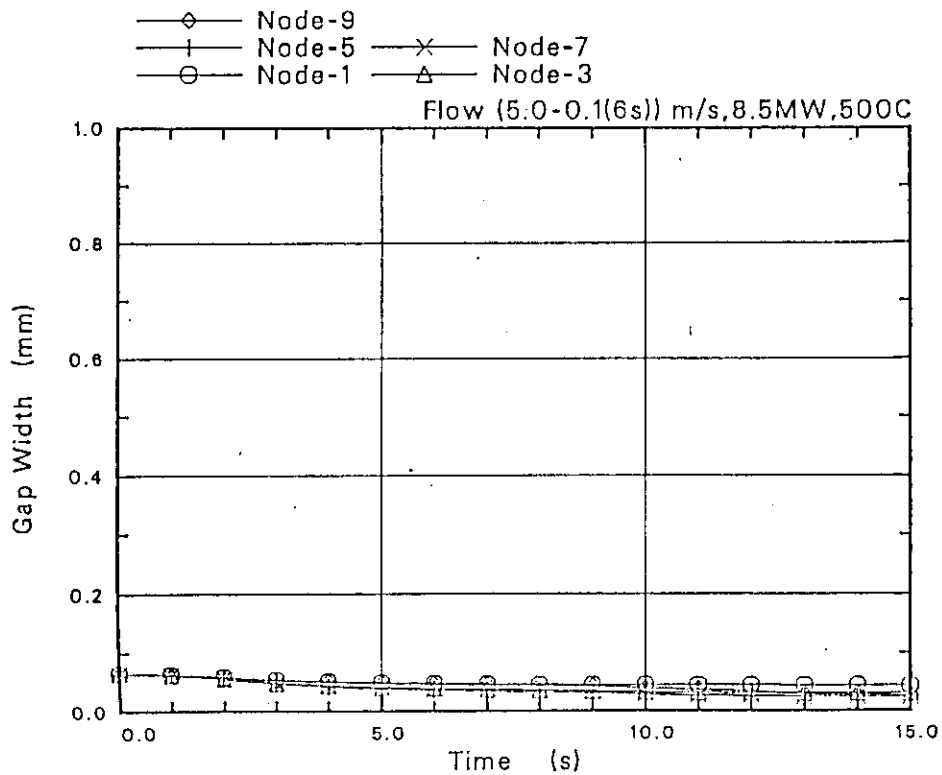


図 18-10 一定出力 (470W/cm) での LOF 模擬実験でのギャップ幅の時間変化 (ケース 21, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s~0.1m/s)

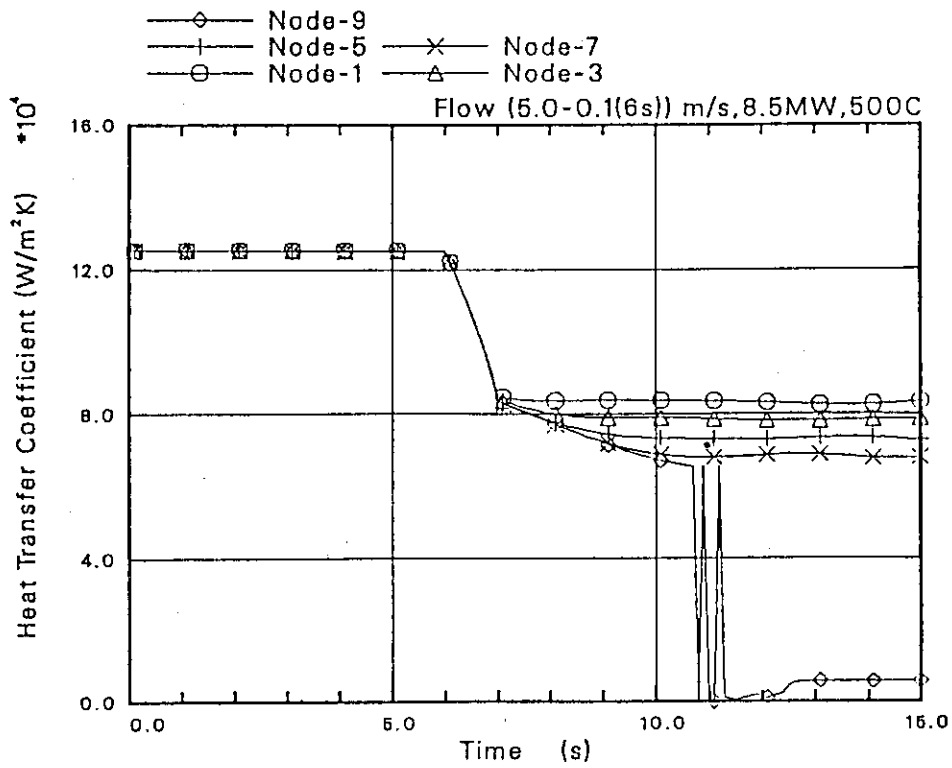


図 18-11 一定出力 (470W/cm) での LOF 模擬実験での熱伝達係数の時間変化 (ケース 21, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

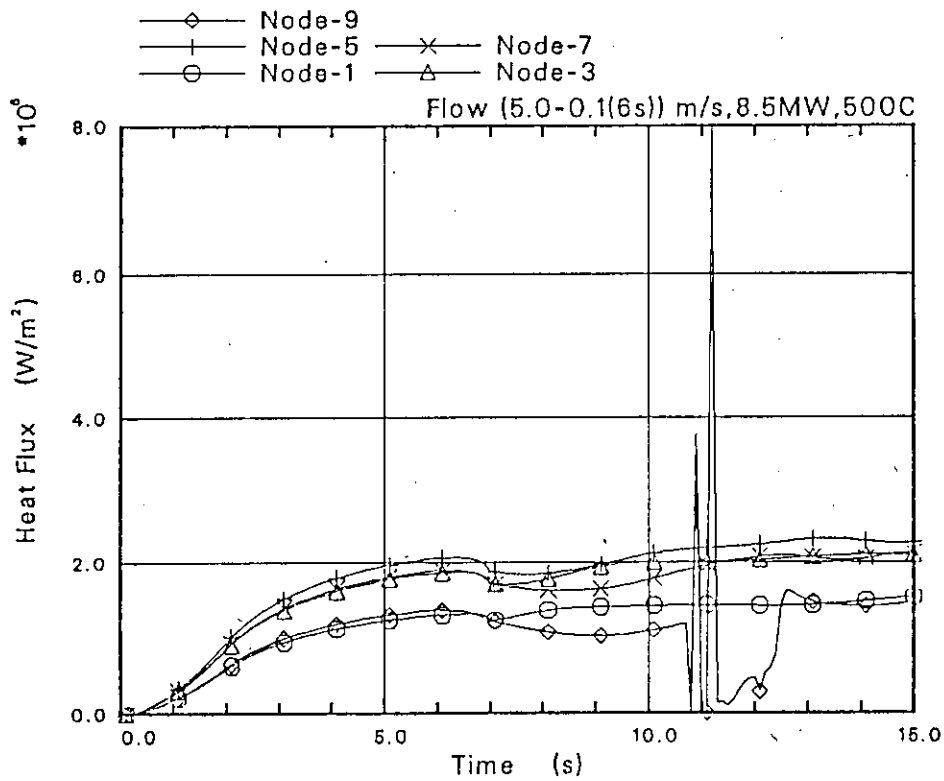


図 18-12 一定出力 (470W/cm) での LOF 模擬実験での熱流束の時間変化 (ケース 21, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

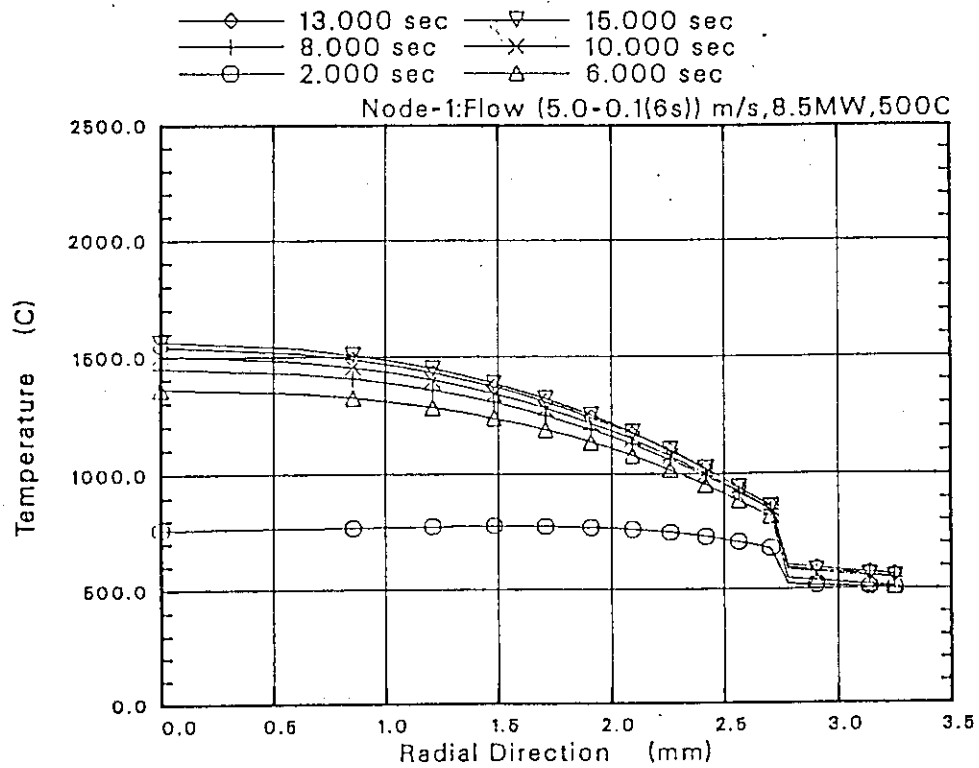


図 18-13 一定出力 (470W/cm) での LOF 模擬実験での実験燃料(ノード1)の半径方向温度分布 (ケース 21, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

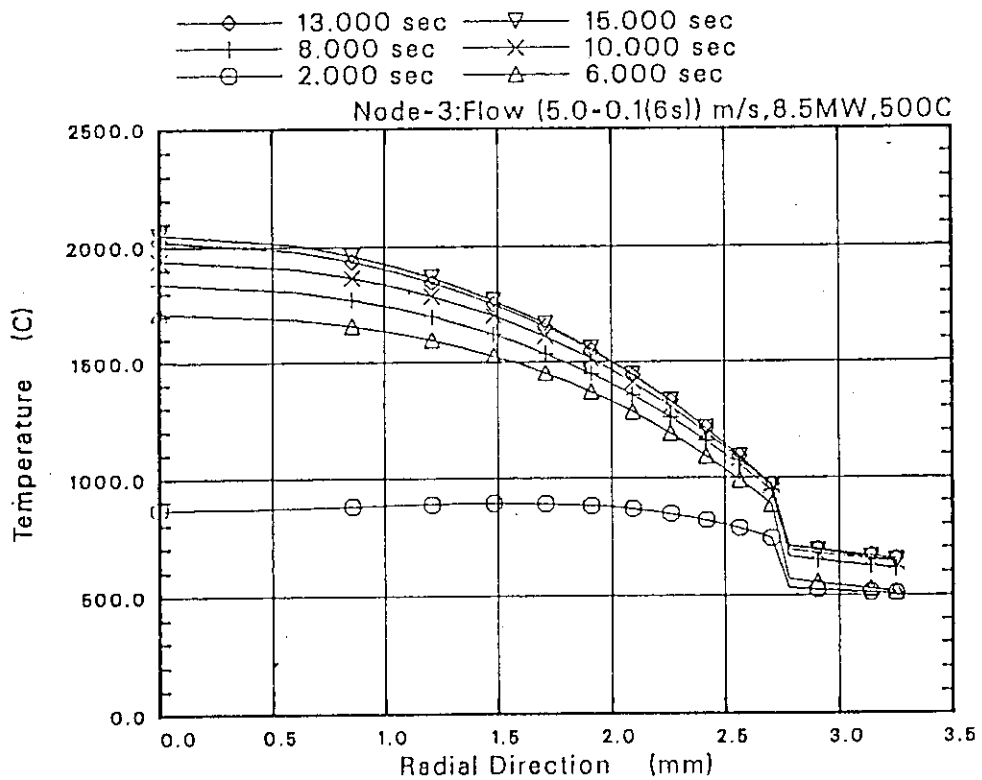


図 18-14 一定出力 (470W/cm) での LOF 模擬実験での実験燃料(ノード3)の半径方向温度分布 (ケース 21, 細径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

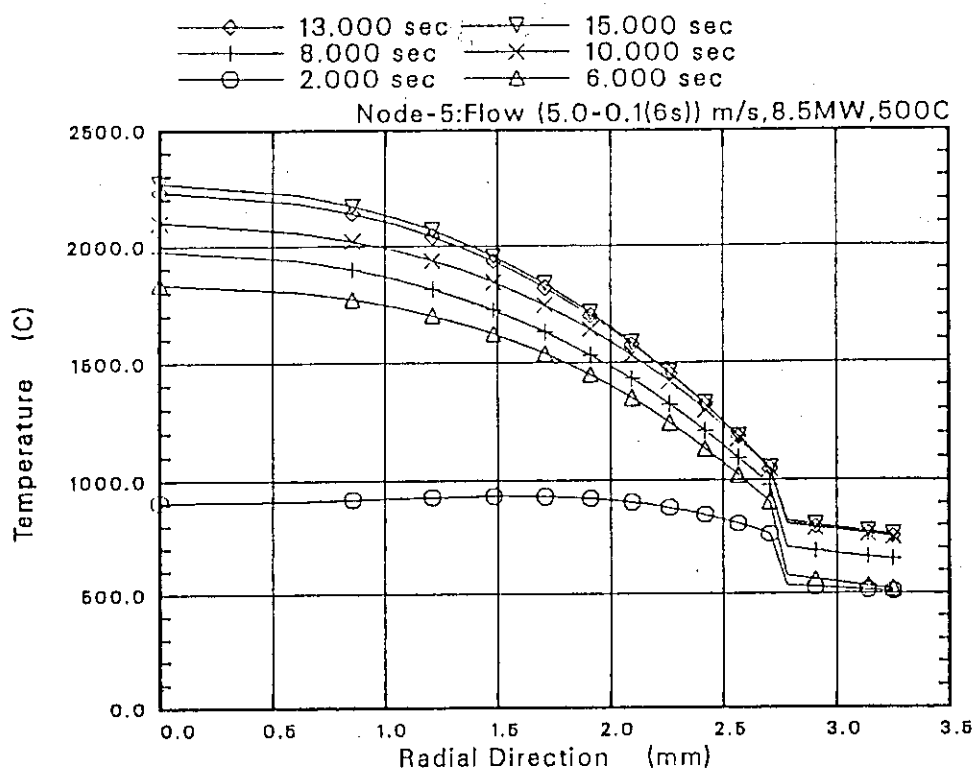


図 18-15 一定出力(470W/cm)でのLOF模擬実験での実験燃料(ノード5)の半径方向温度分布 (ケース21, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

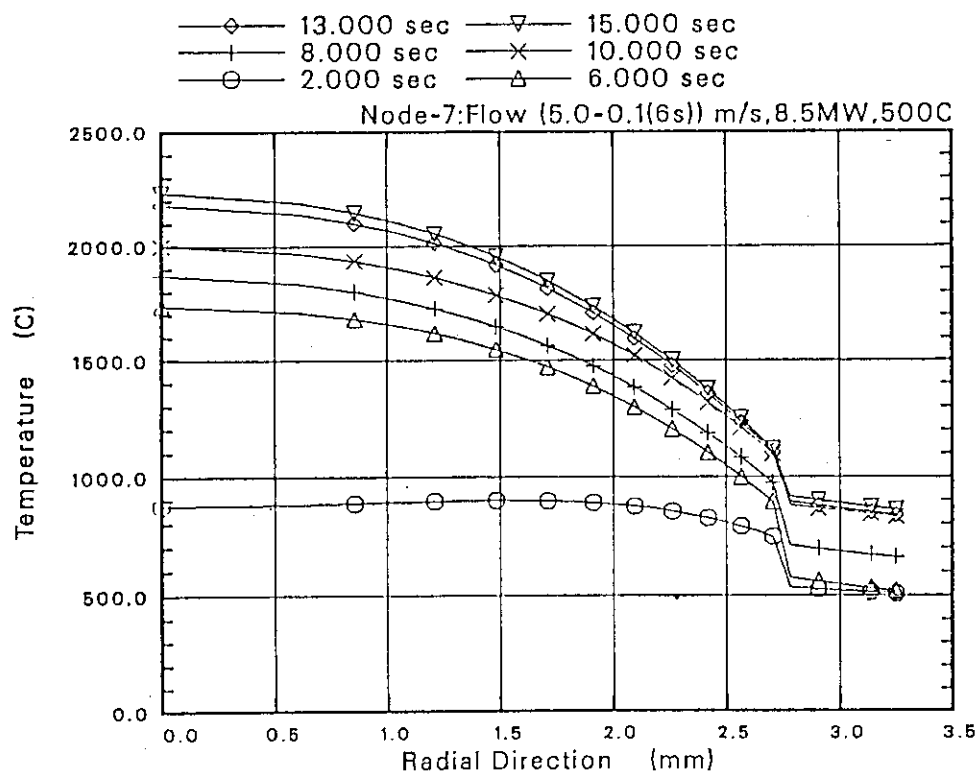


図 18-16 一定出力(470W/cm)でのLOF模擬実験での実験燃料(ノード7)の半径方向温度分布 (ケース21, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

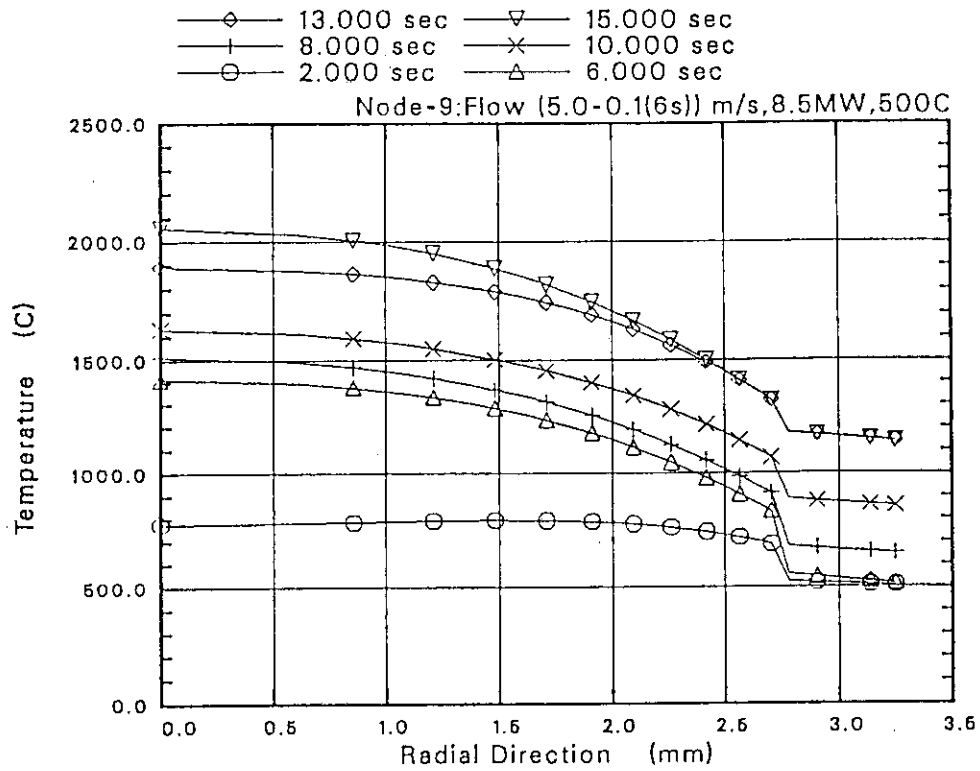


図 18-17 一定出力(470W/cm)でのLOF模擬実験での実験燃料(ノード9)の半径方向温度分布 (ケース21, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

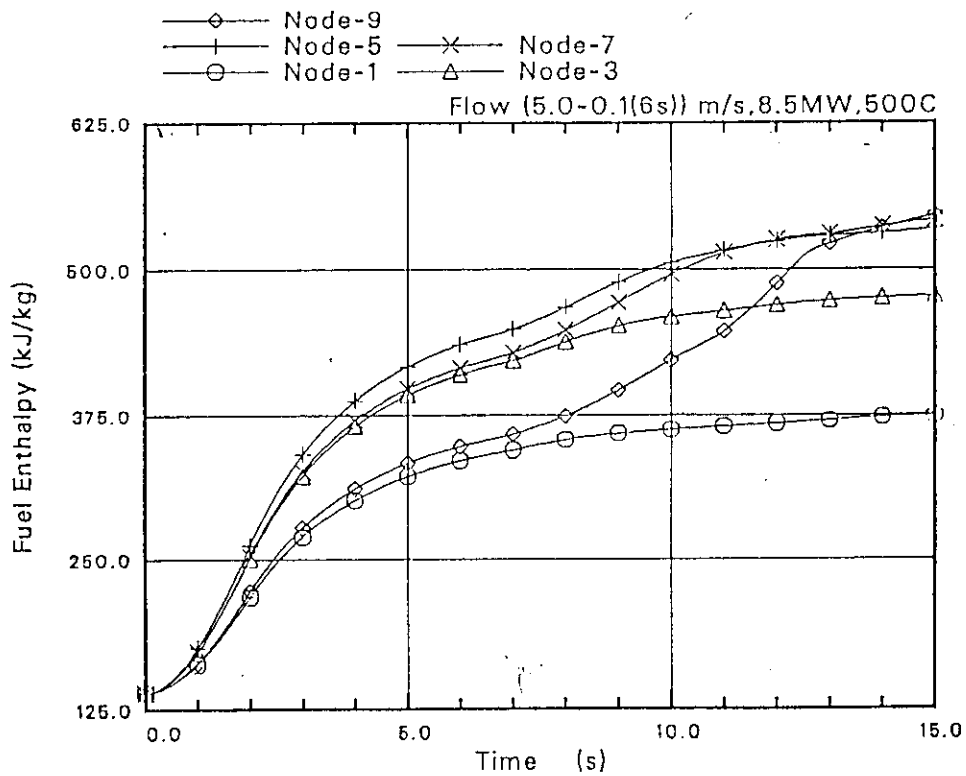


図 18-18 一定出力(470W/cm)でのLOF模擬実験での実験燃料エンタルピの時間変化 (ケース21, 細径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

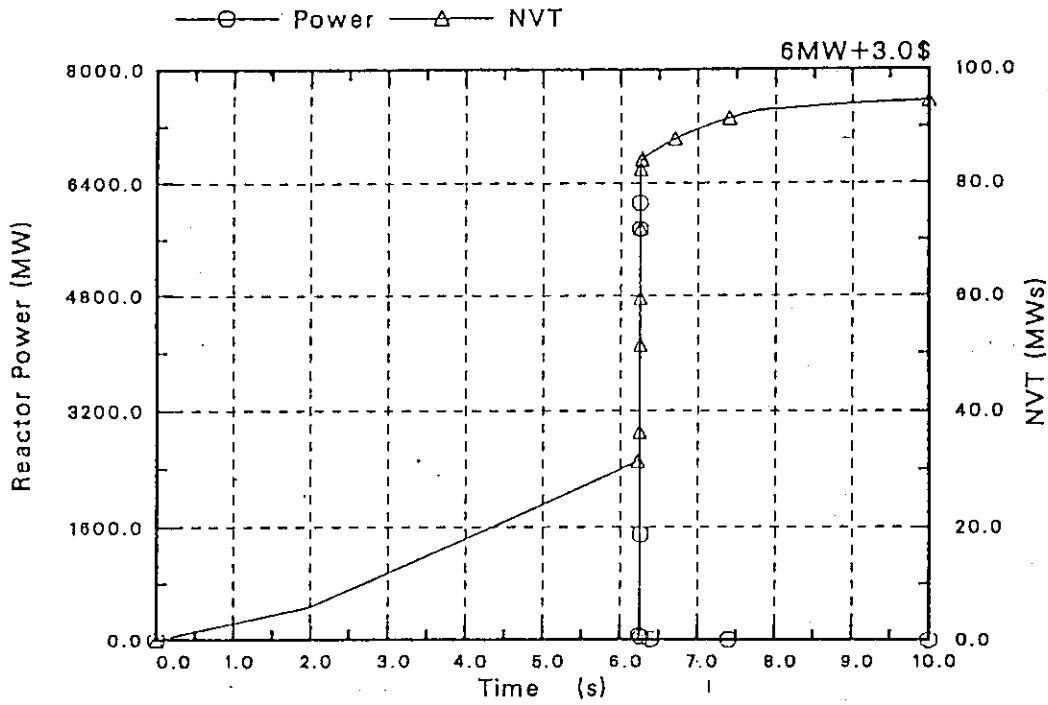


図 19-1 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$3.0) の出力履歴 (ケース 22, 太径燃料)

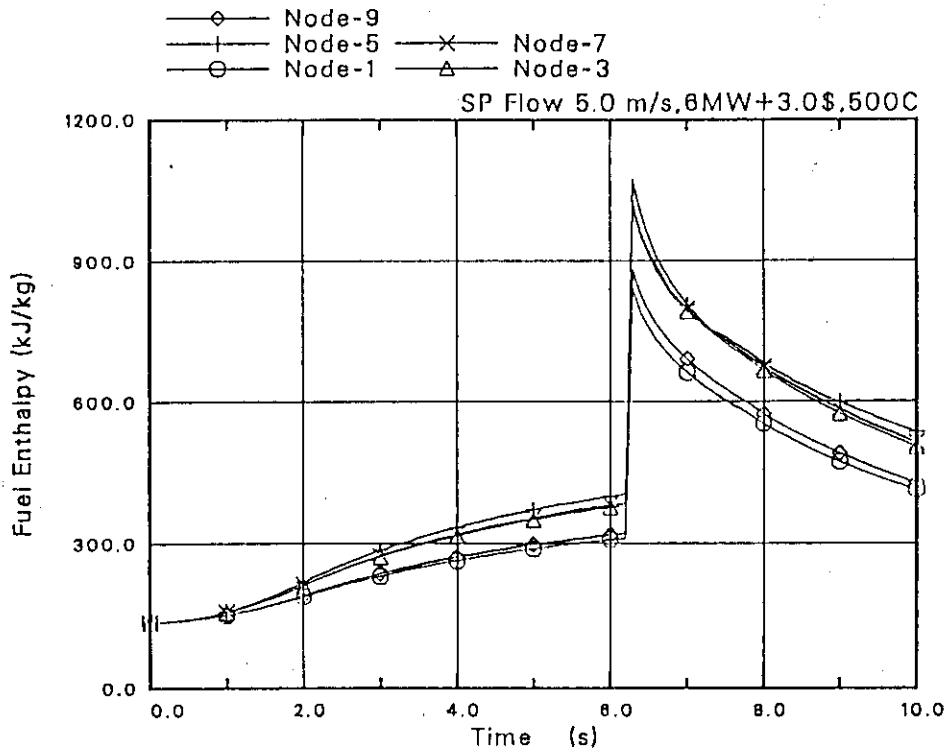


図 19-2 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$3.0) での実験燃料エンタルピの時間変化 (ケース 22, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

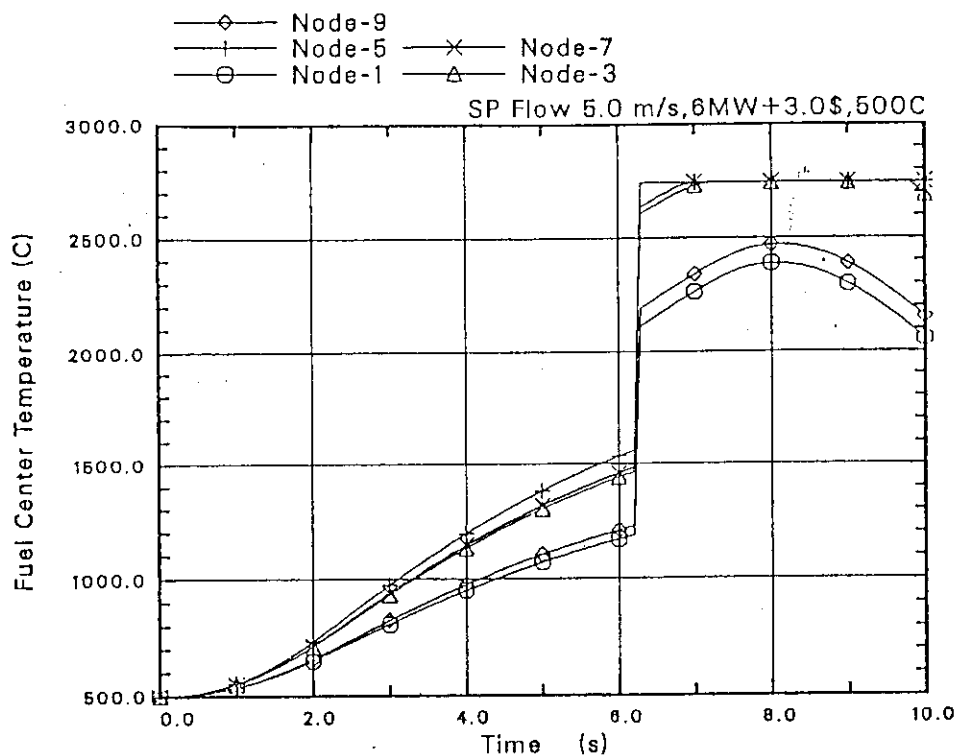


図 19-3 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$3.0) での実験燃料中心温度履歴 (ケース 22, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

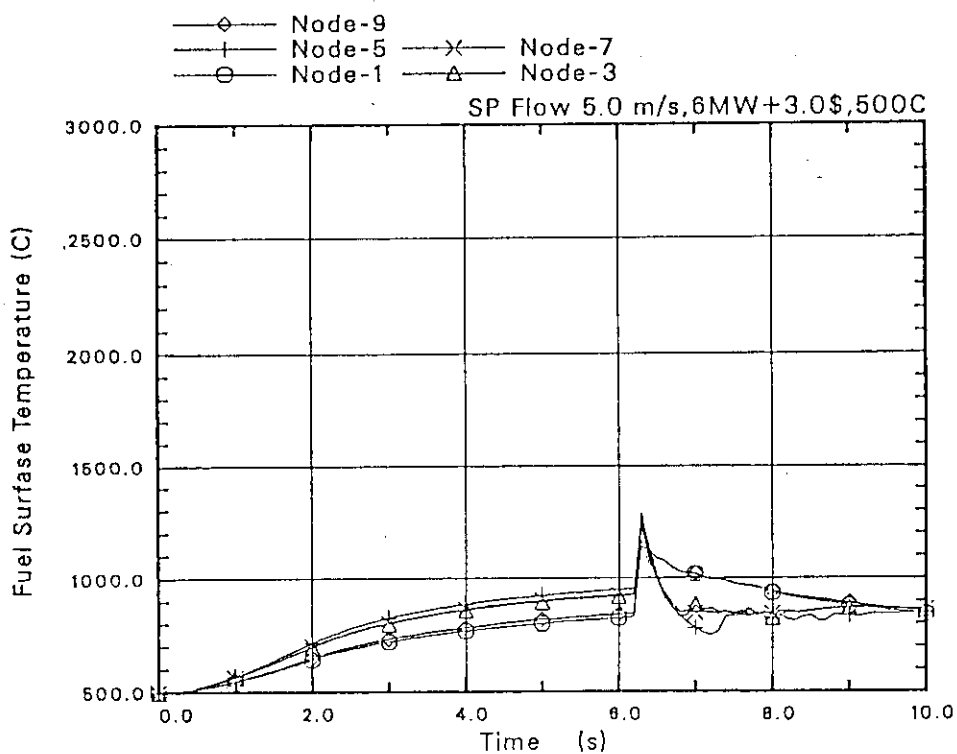


図 19-4 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$3.0) での実験燃料表面温度履歴 (ケース 22, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

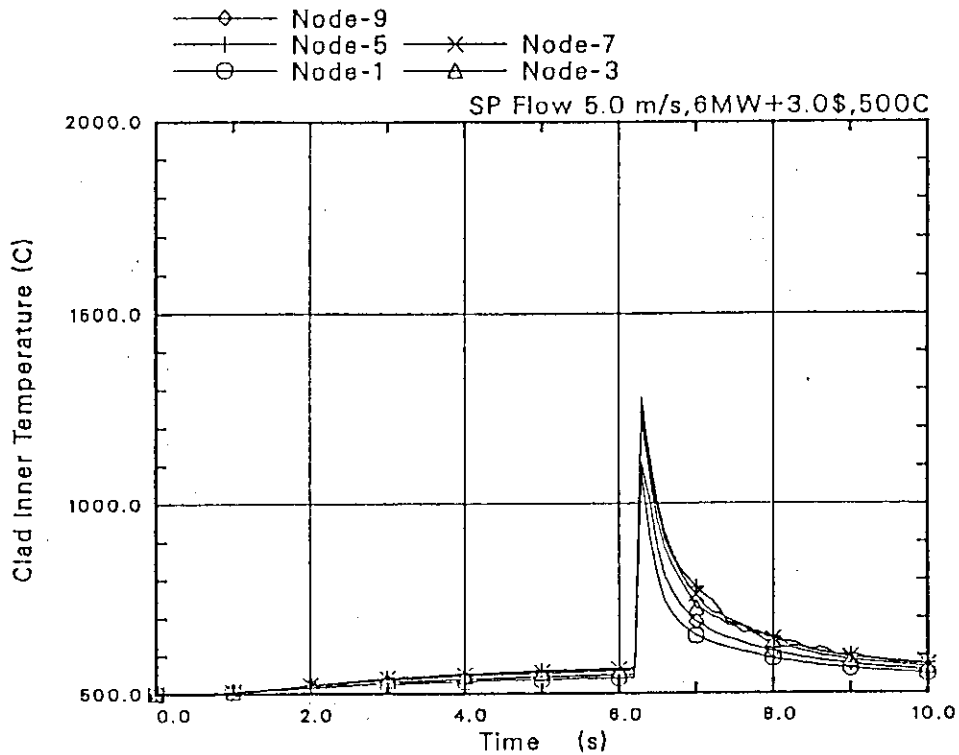


図 19-5 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$3.0) での被覆管内面温度履歴 (ケース 22, 太径燃料, Na の冷却材 500°C, 5 m/s)

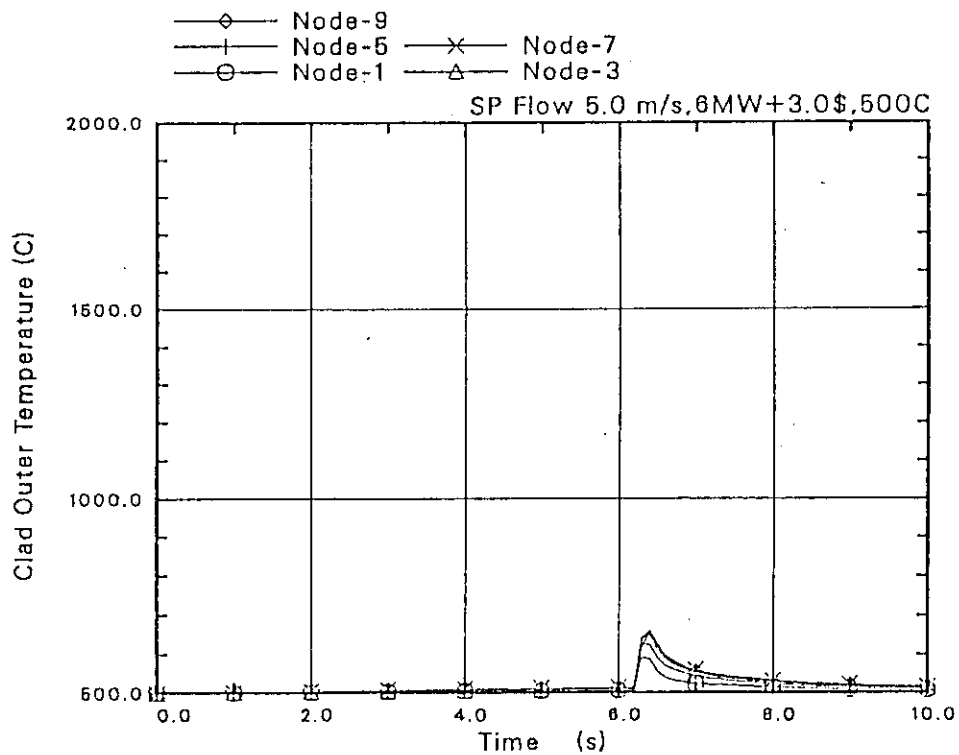


図 19-6 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$3.0) での被覆管表面温度履歴 (ケース 22, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

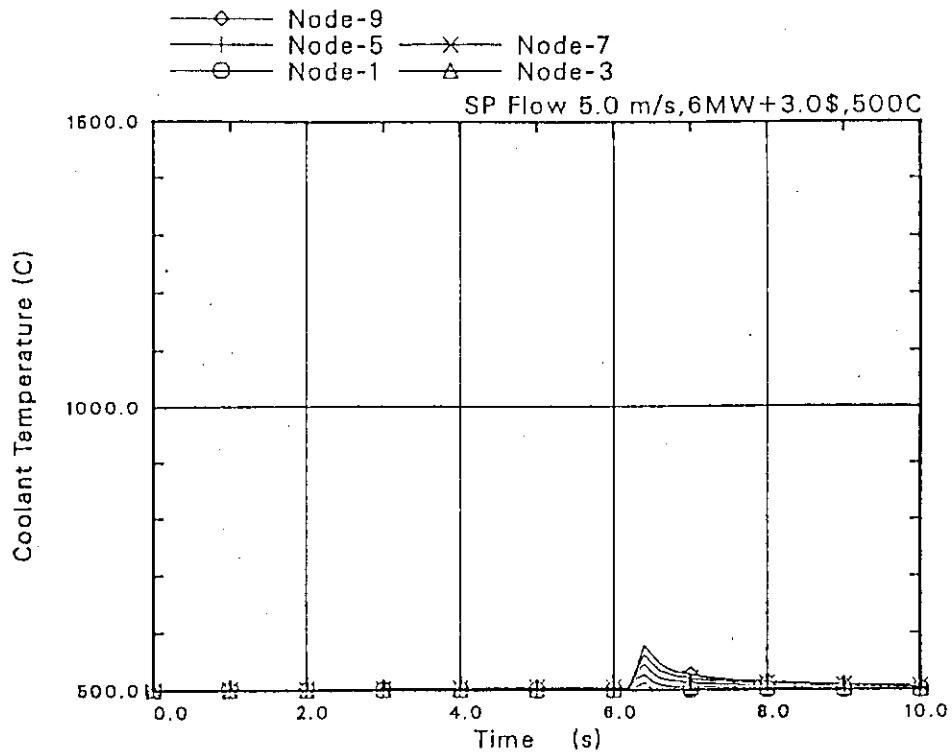


図 19-7 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$3.0) での冷却材温度履歴 (ケース 22, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

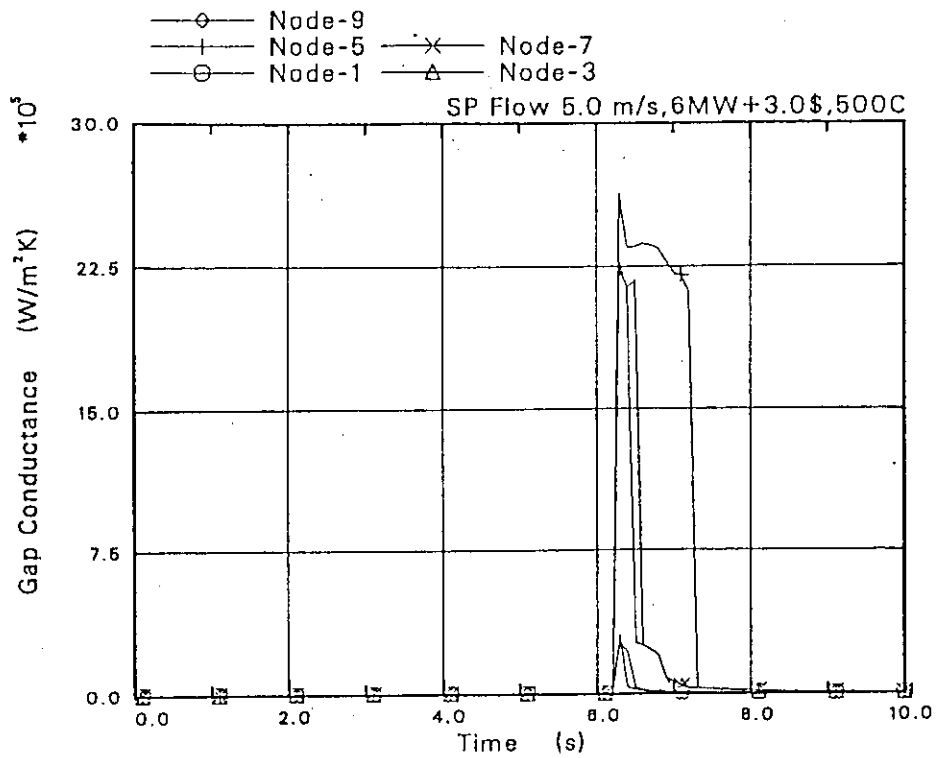


図 19-8 一定出力(385W/cm)からの TOP (\$3.0)でのギャップコンダクタンスの時間変化 (ケース 22, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

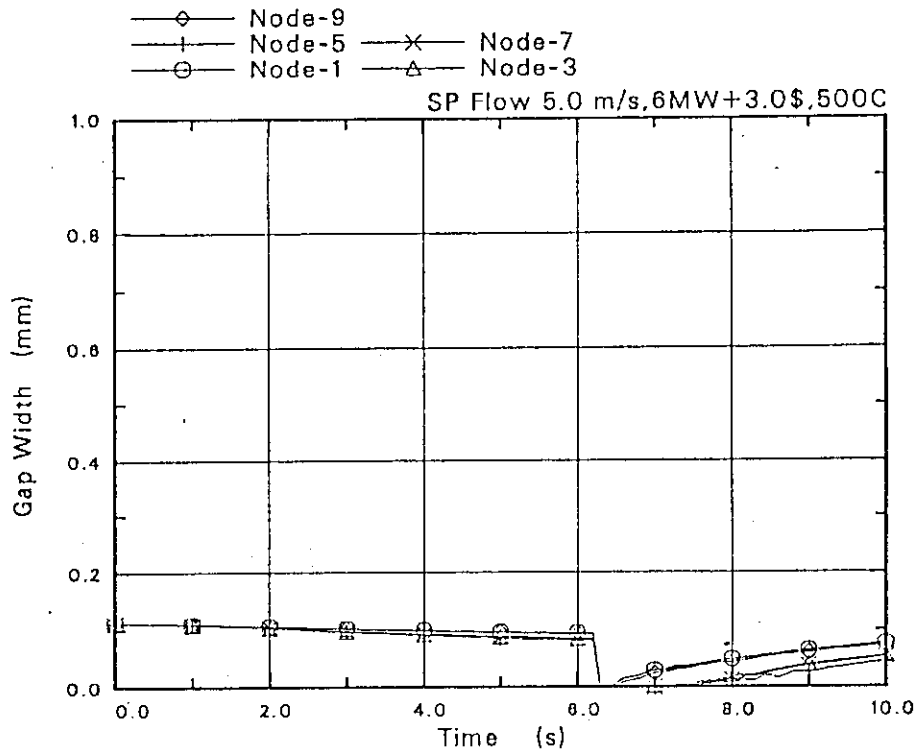


図 19-9 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$3.0) でのギャップ幅の時間変化 (ケース 22, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

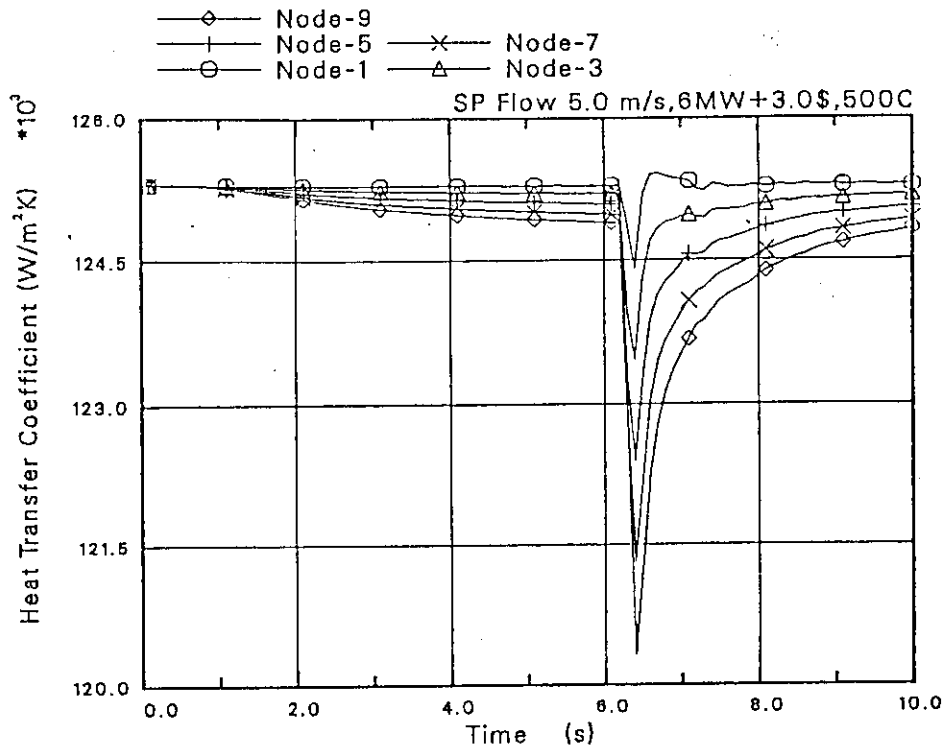


図 19-10 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$3.0) での熱伝達係数の時間変化 (ケース 22, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

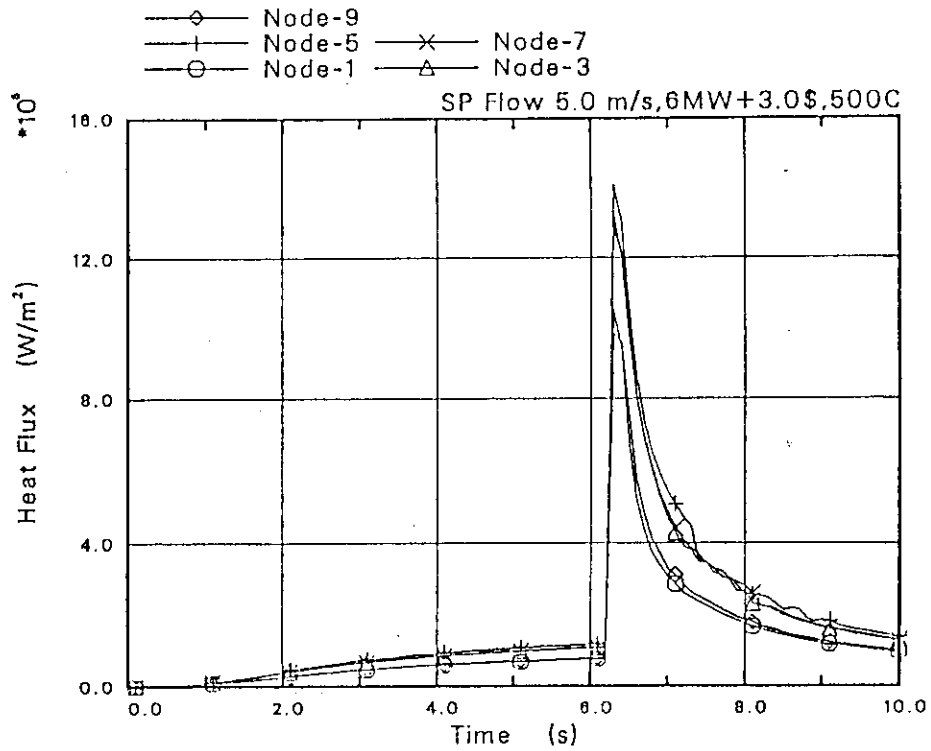


図 19-11 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$3.0) での熱流束の時間変化 (ケース 22, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

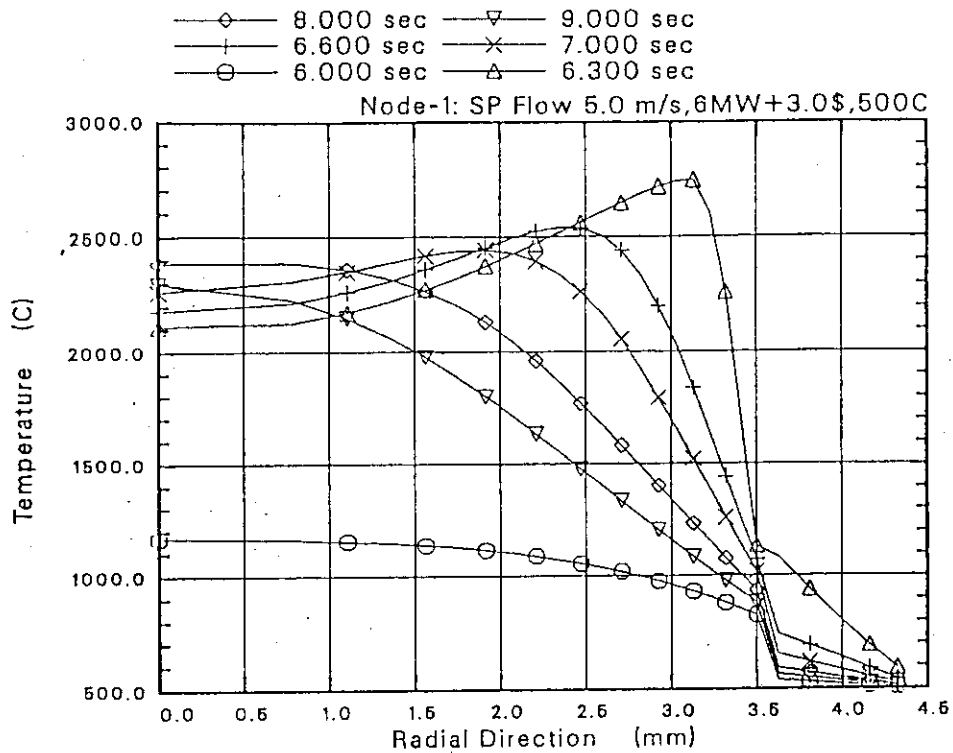


図 19-12 一定出力(385W/cm)からの TOP (\$3.0)での実験燃料(ノード1)の半径方向温度分布 (ケース 22, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

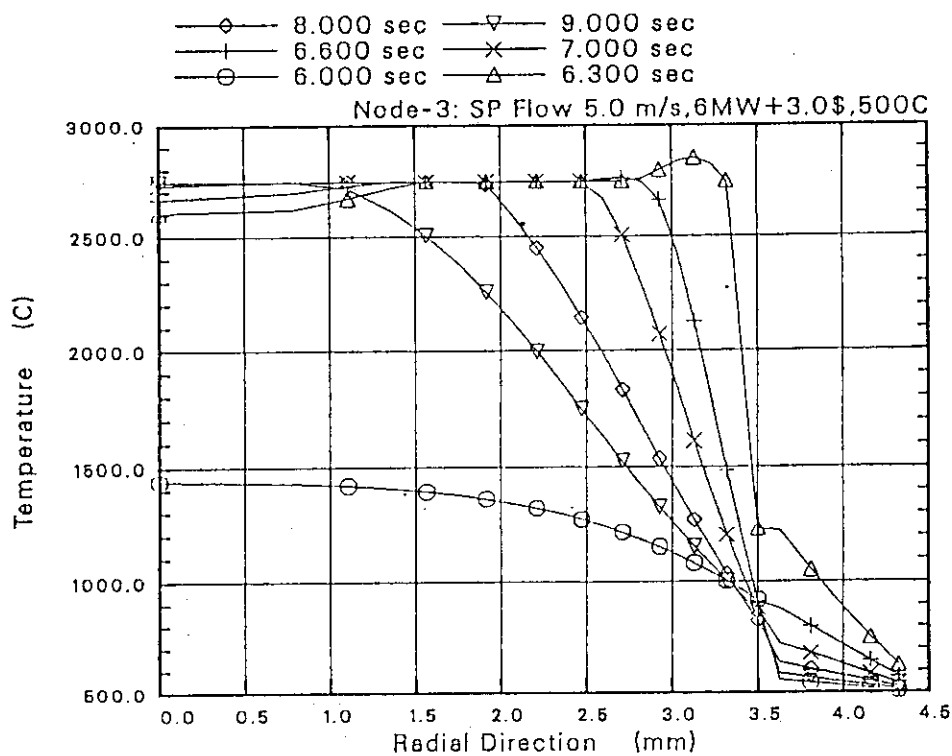


図 19-13 一定出力(385W/cm)からのTOP(\$3.0)での実験燃料(ノード3)の半径方向温度分布 (ケース22, 太径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

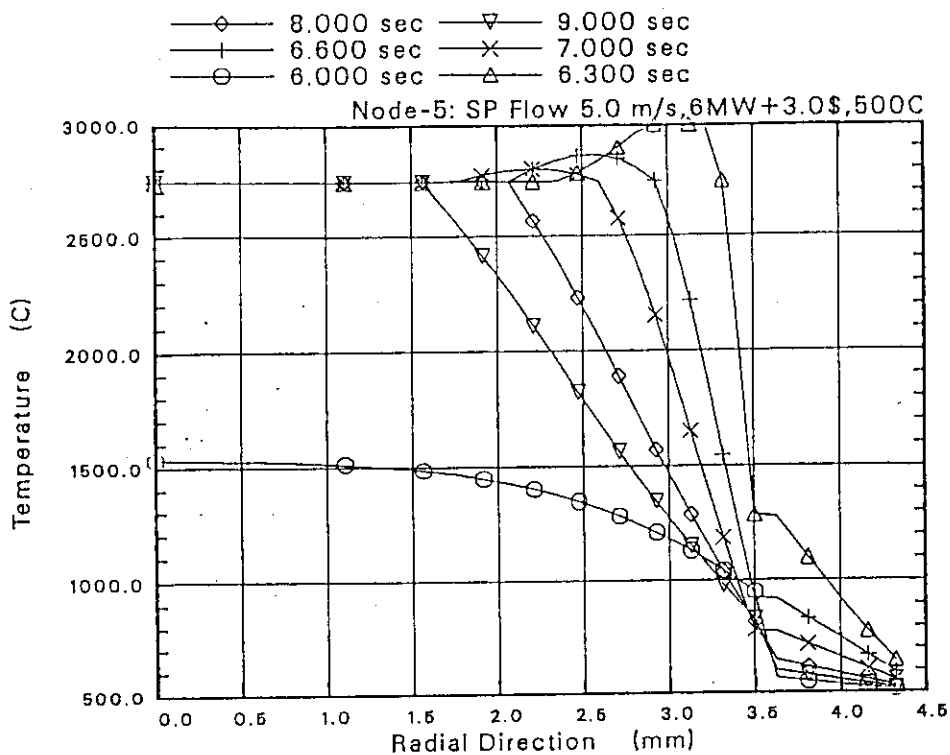


図 19-14 一定出力(385W/cm)からのTOP(\$3.0)での実験燃料(ノード5)の半径方向温度分布 (ケース22, 太径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

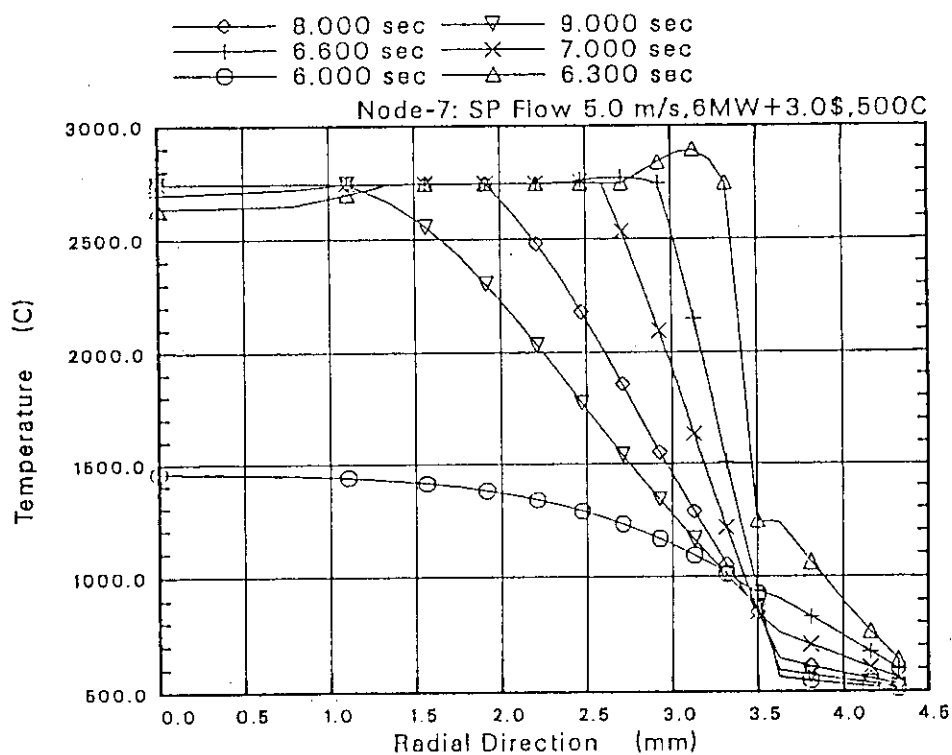


図 19-15 一定出力(385W/cm)からのTOP(\$3.0)での実験燃料(ノード7)の半径方向温度分布 (ケース22, 太径燃料, Na冷却材 500°C, 5 m/s)

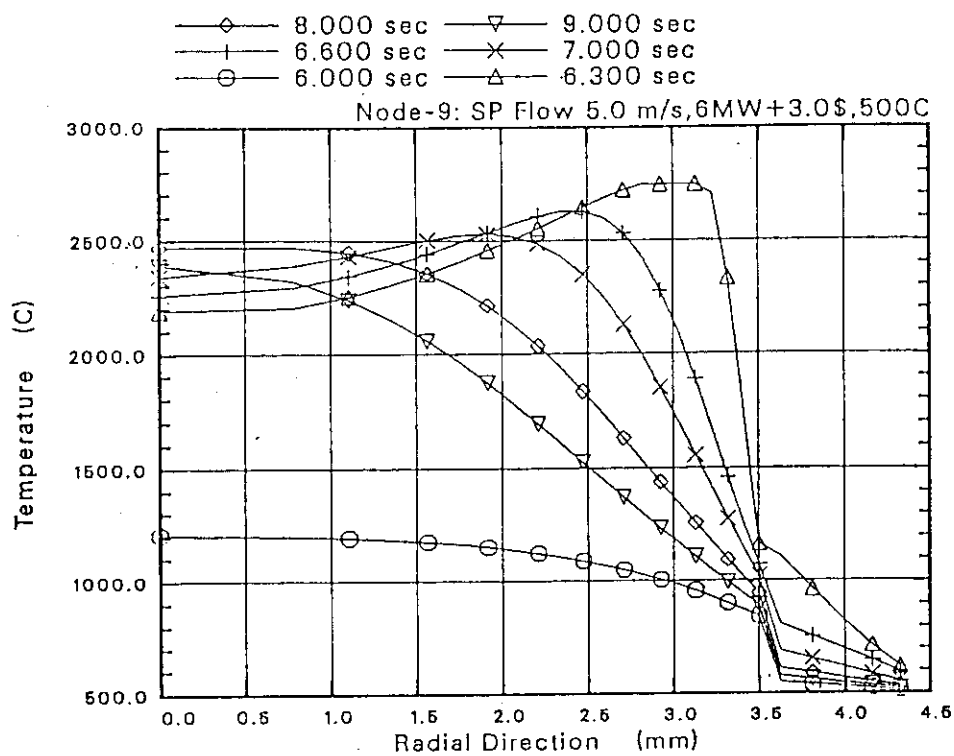


図 19-16 一定出力(385W/cm)からのTOP(\$3.0)での実験燃料(ノード9)の半径方向温度分布 (ケース22, 太径燃料, Na冷却材 500°C, 5 m/s)

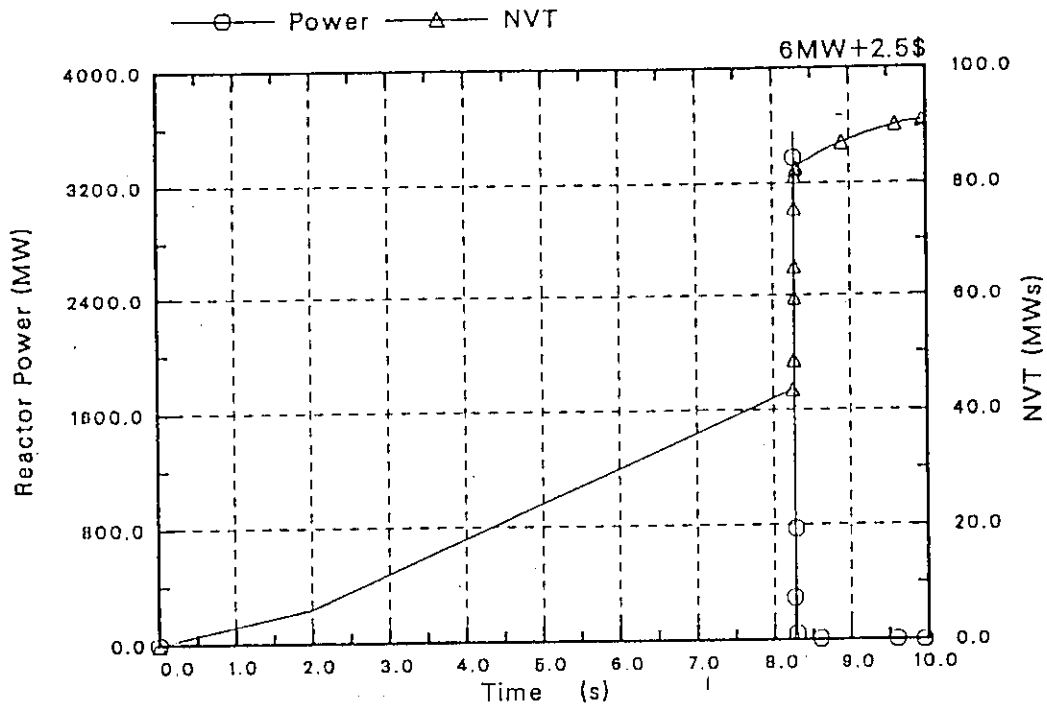


図 20-1 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$ 2.5) の出力履歴
(ケース 25, 太径燃料)

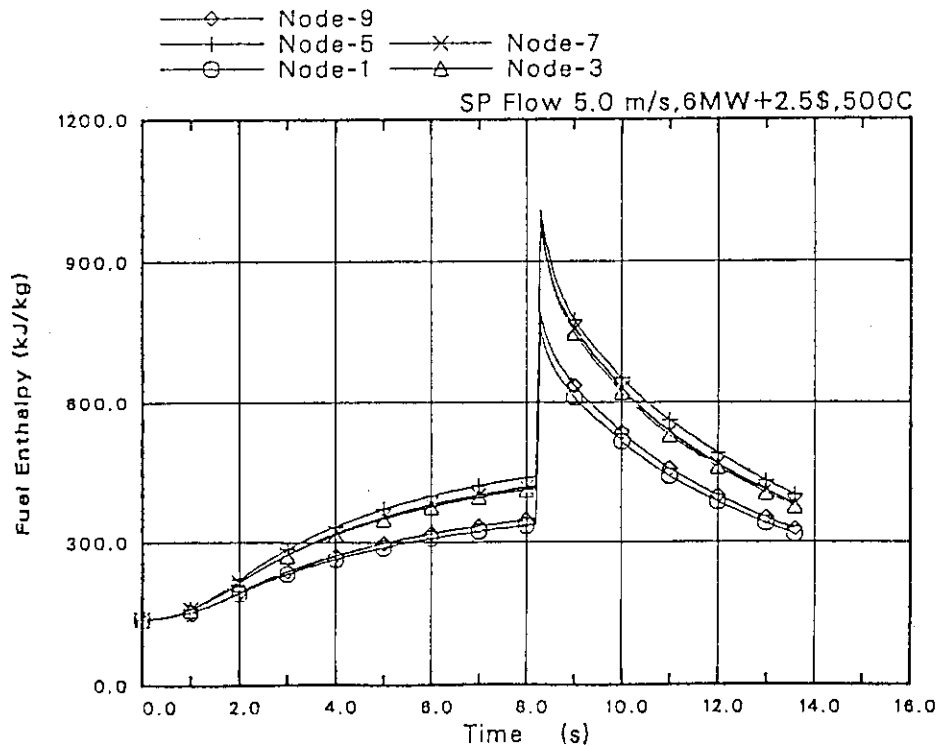


図 20-2 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$ 2.5) での実験燃料エンタルピの時間変化
(ケース 25, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

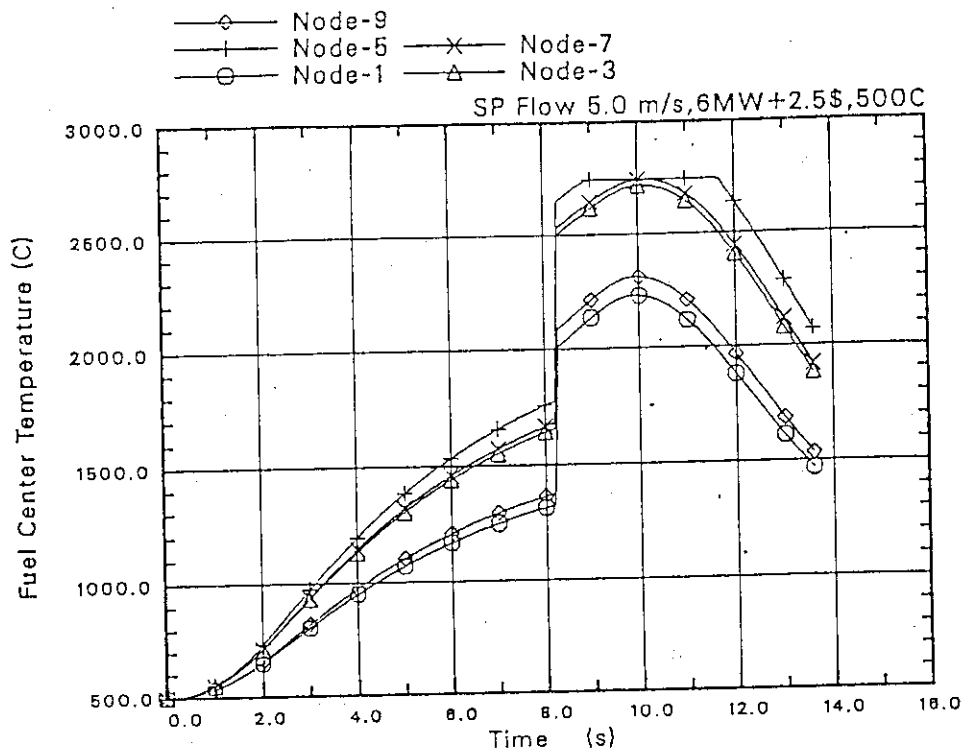


図 20-3 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$2.5) での実験燃料中心温度履歴 (ケース 25, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

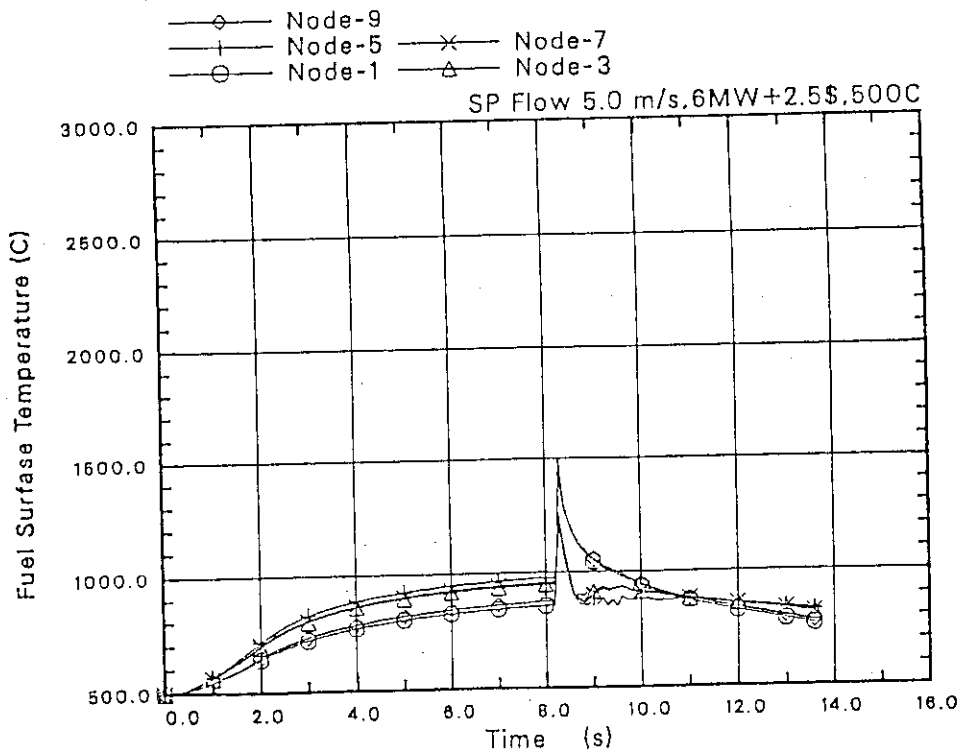


図 20-4 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$2.5) での実験燃料表面温度履歴 (ケース 25, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

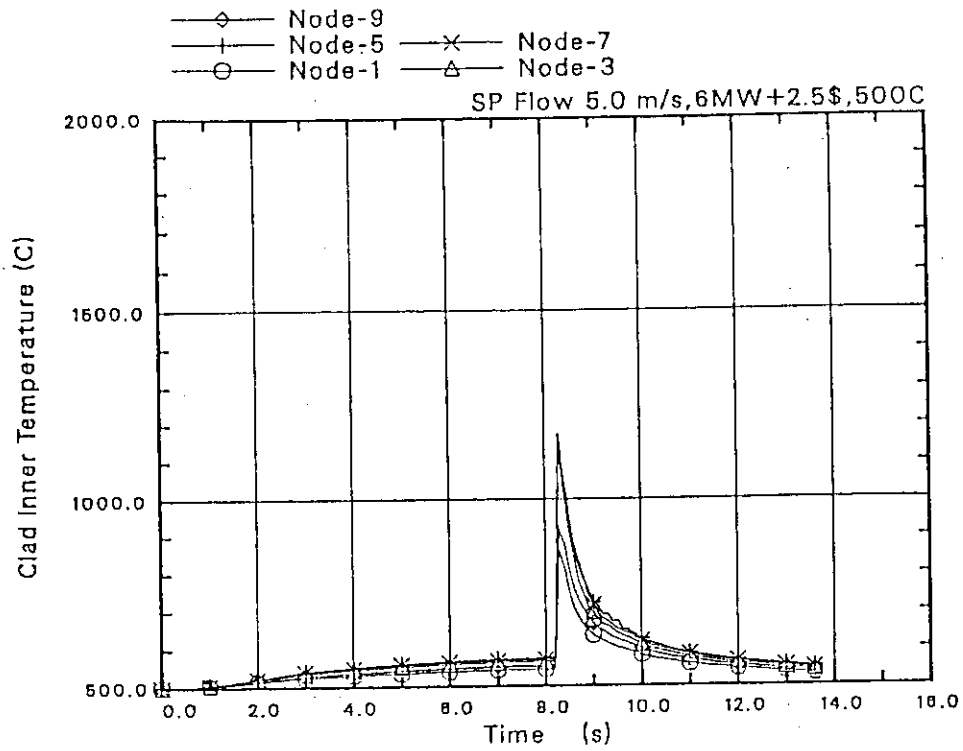


図 20-5 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$ 2.5) での被覆管内面温度履歴 (ケース 25, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

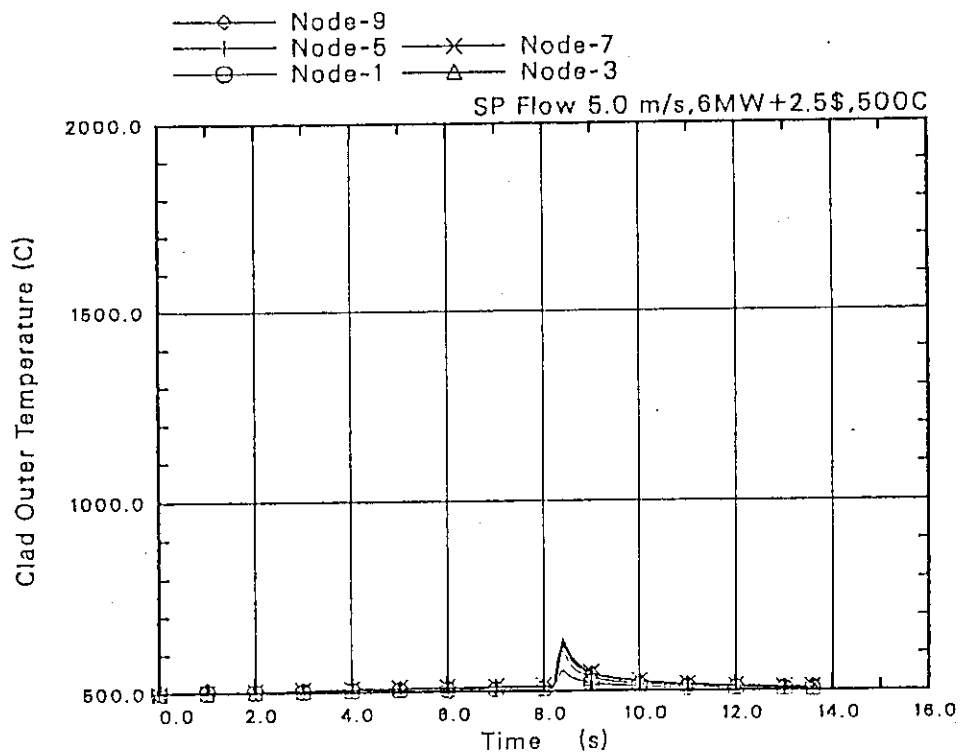


図 20-6 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$ 2.5) での被覆管表面温度履歴 (ケース 25, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

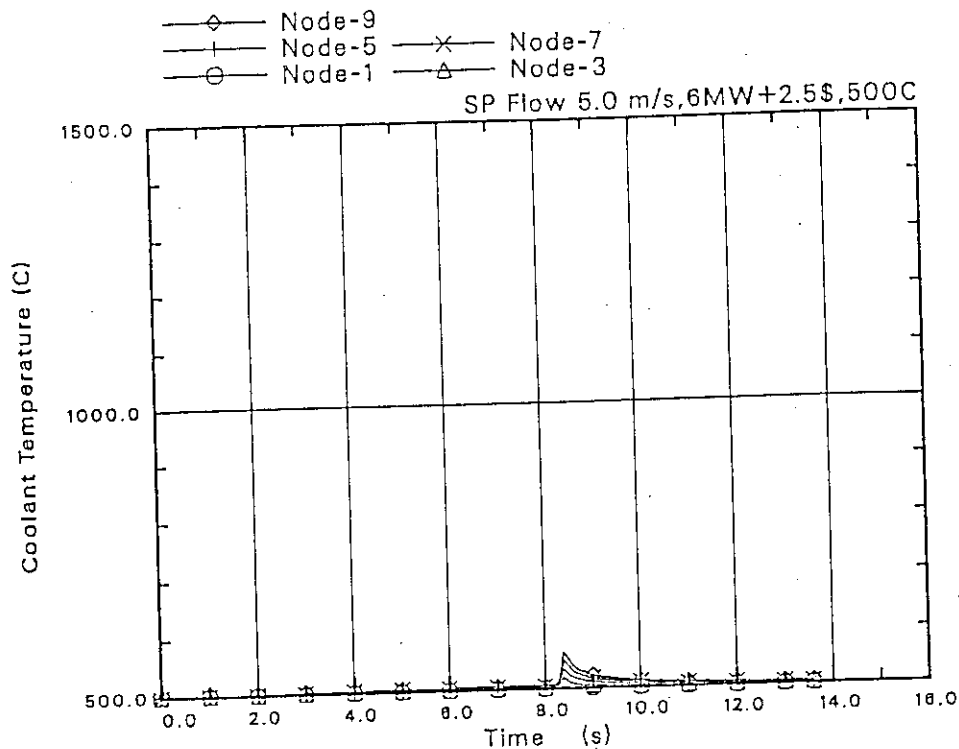


図 20-7 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$2.5) での冷却材温度履歴
 (ケース 25, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

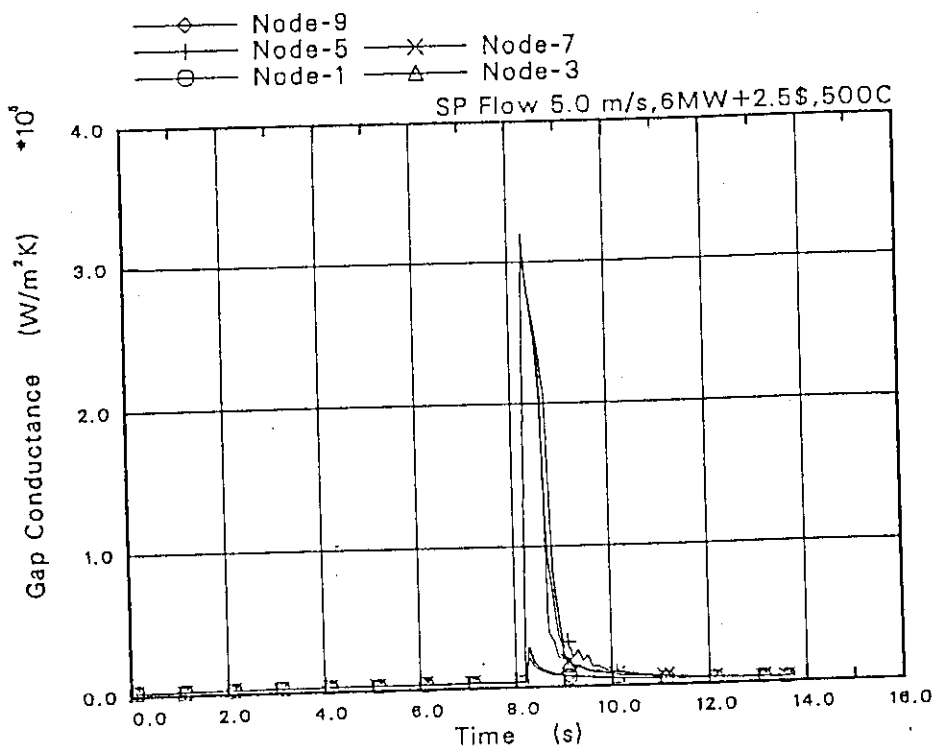


図 20-8 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$2.5) でのギャップコンダクタンスの時間変化
 (ケース 25, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

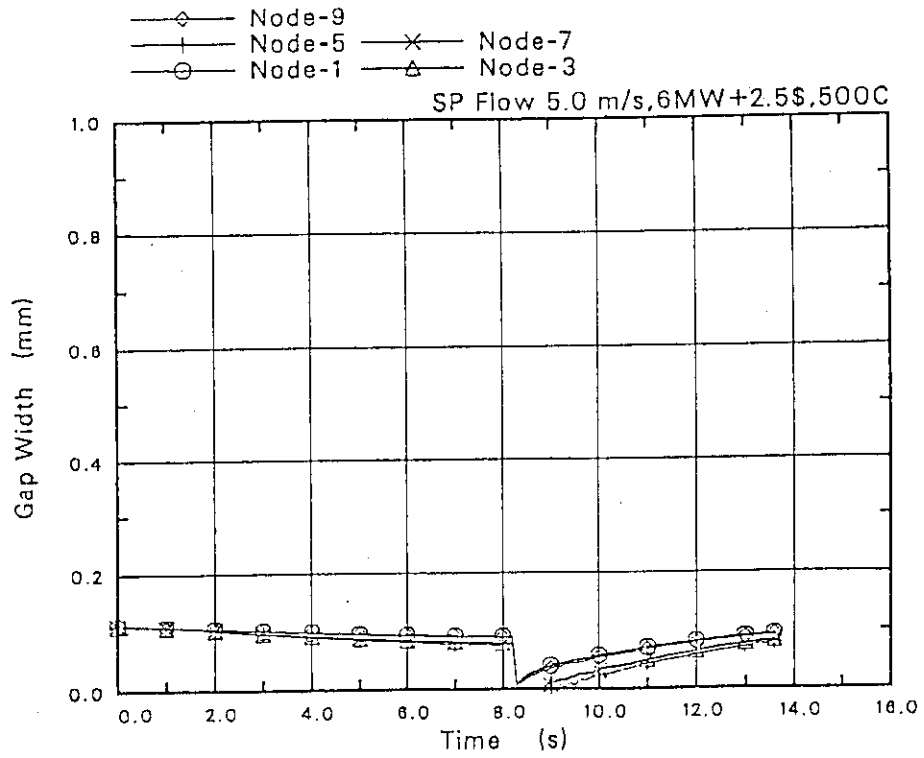


図 20-9 一定出力(385W/cm)からのTOP (\$2.5)でのギャップ幅の時間変化 (ケース 25, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

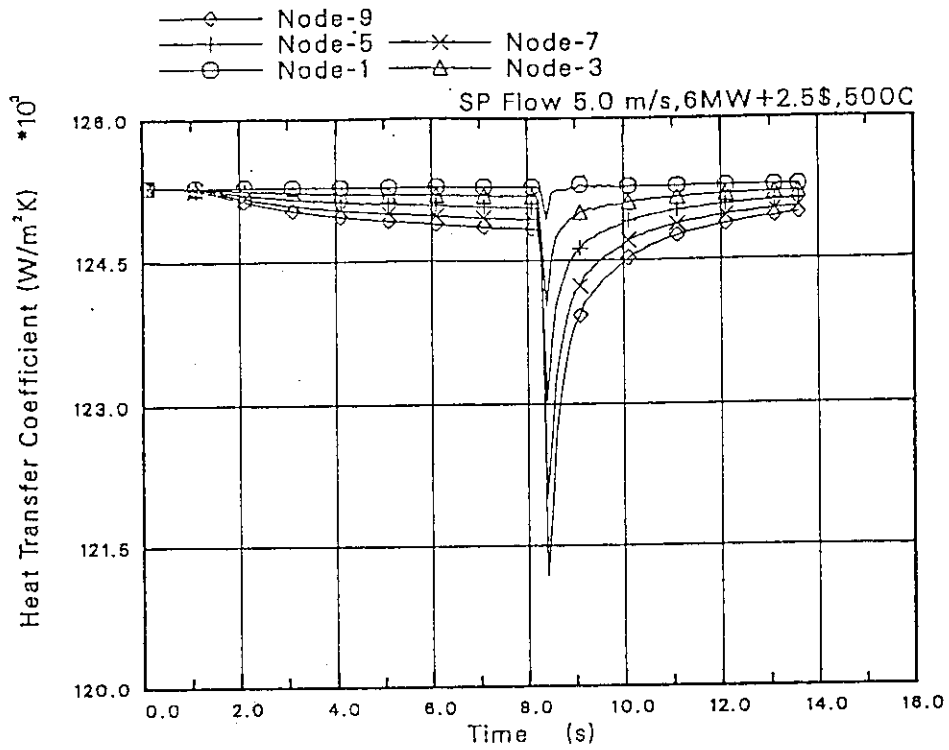


図 20-10 一定出力(385W/cm)からのTOP (\$2.5)での熱伝達係数の時間変化 (ケース 25, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

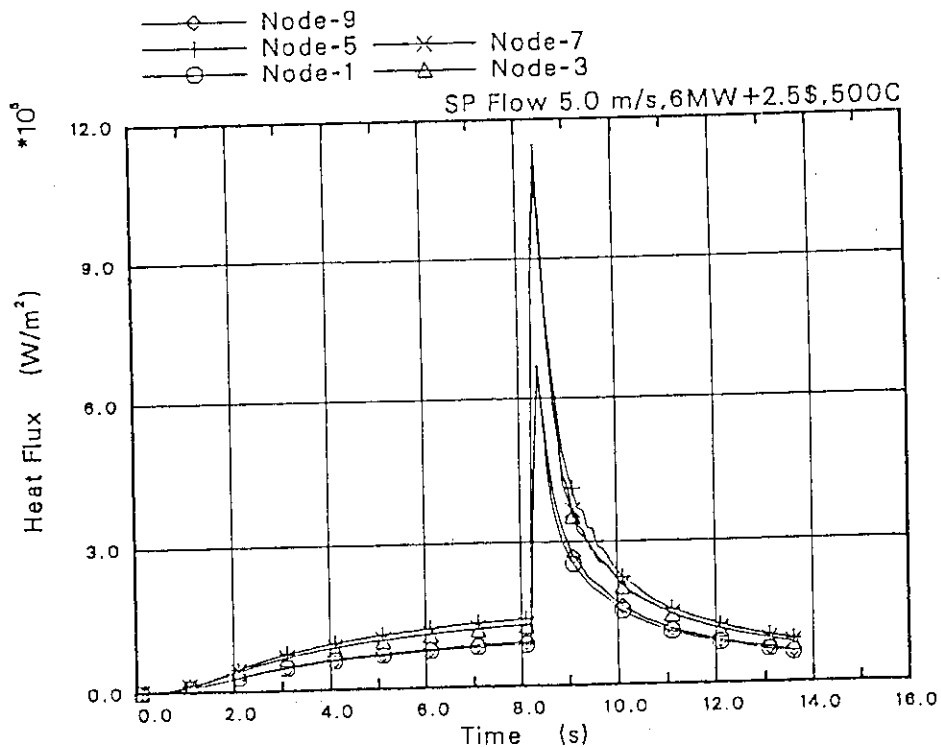


図 20-11 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$ 2.5) での熱流束の時間変化
(ケース 25, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

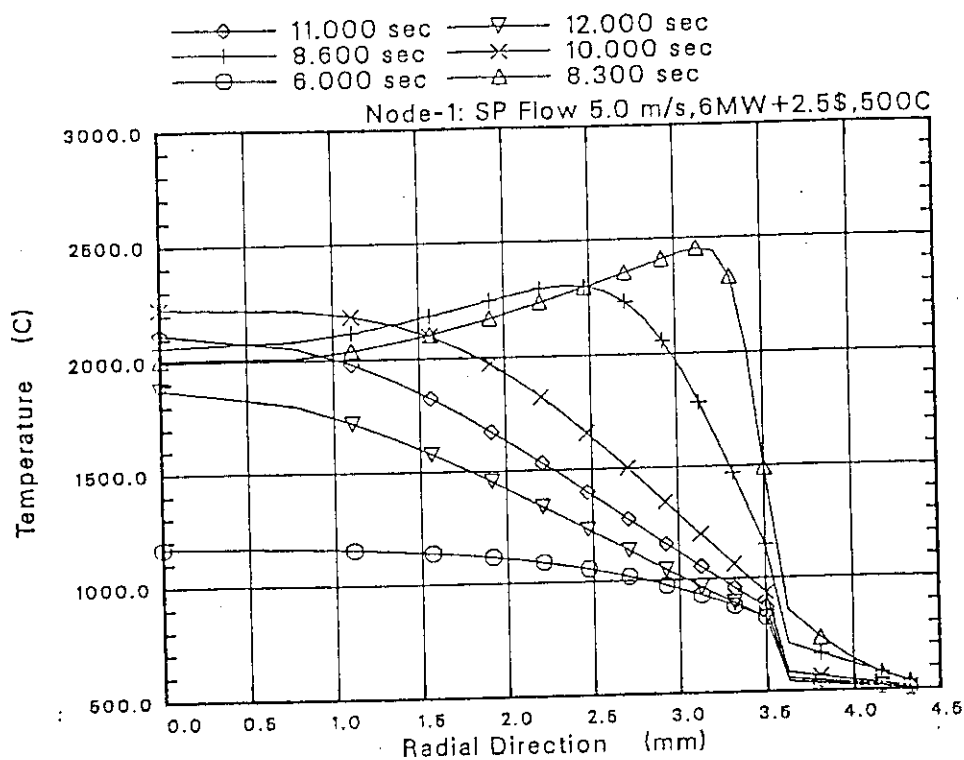


図 20-12 一定出力(385W/cm)からの TOP (\$ 2.5)での実験燃料(ノード1)の半径方向温度分布
(ケース 25, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

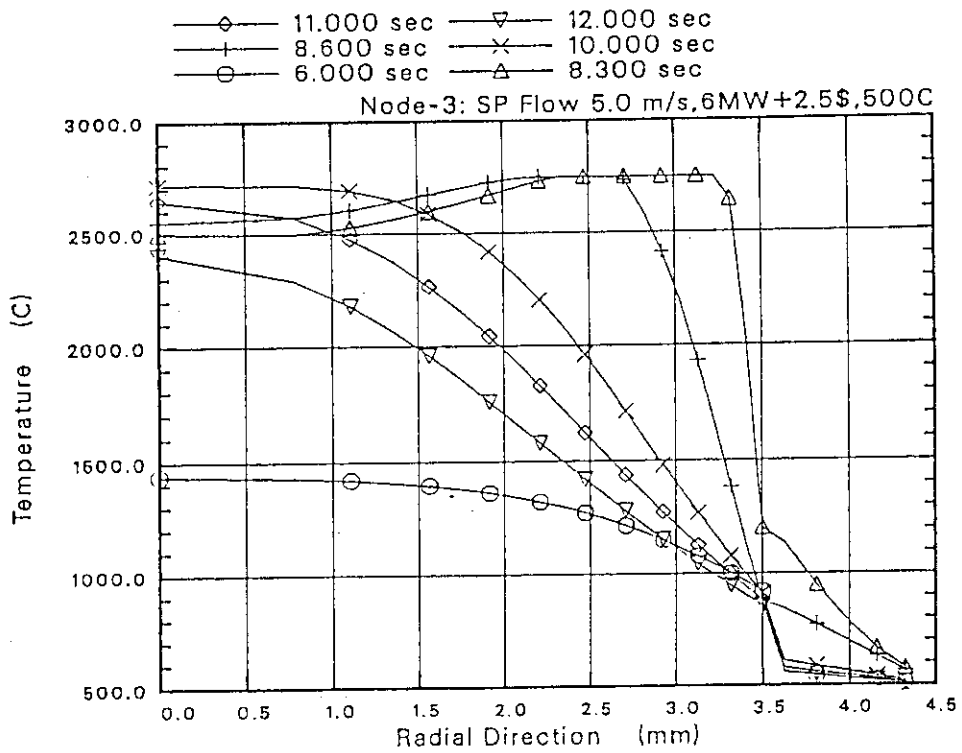


図 20-13 一定出力(385W/cm)からのTOP(\$2.5)での実験燃料(ノード3)の半径方向温度分布
(ケース 25, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

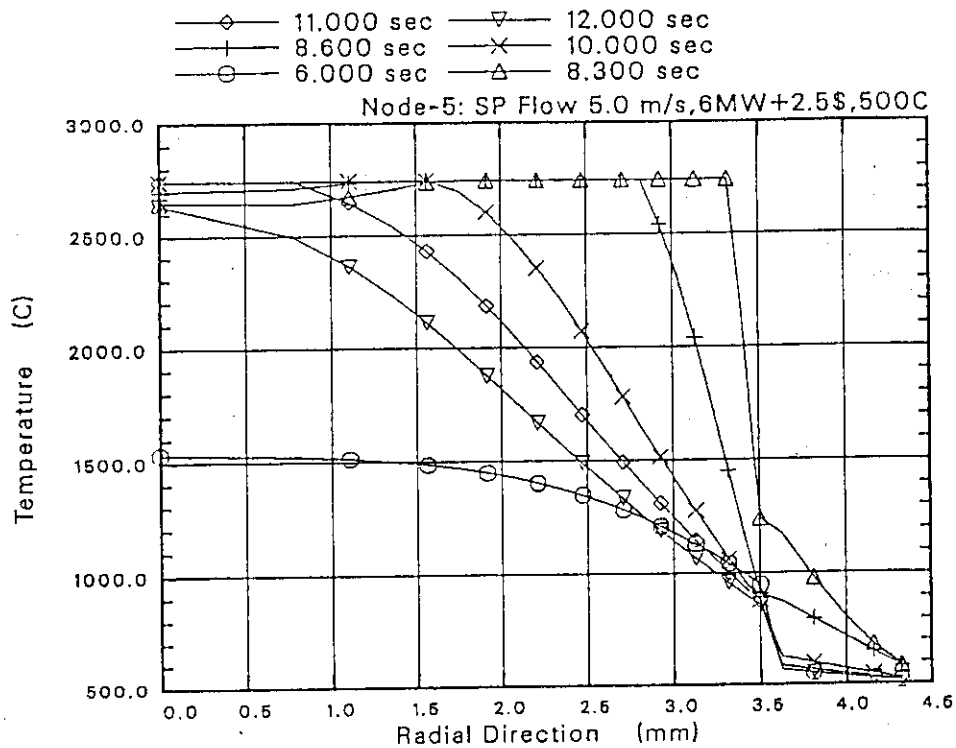


図 20-14 一定出力(385W/cm)からのTOP(\$2.5)での実験燃料(ノード5)の半径方向温度分布
(ケース 25, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

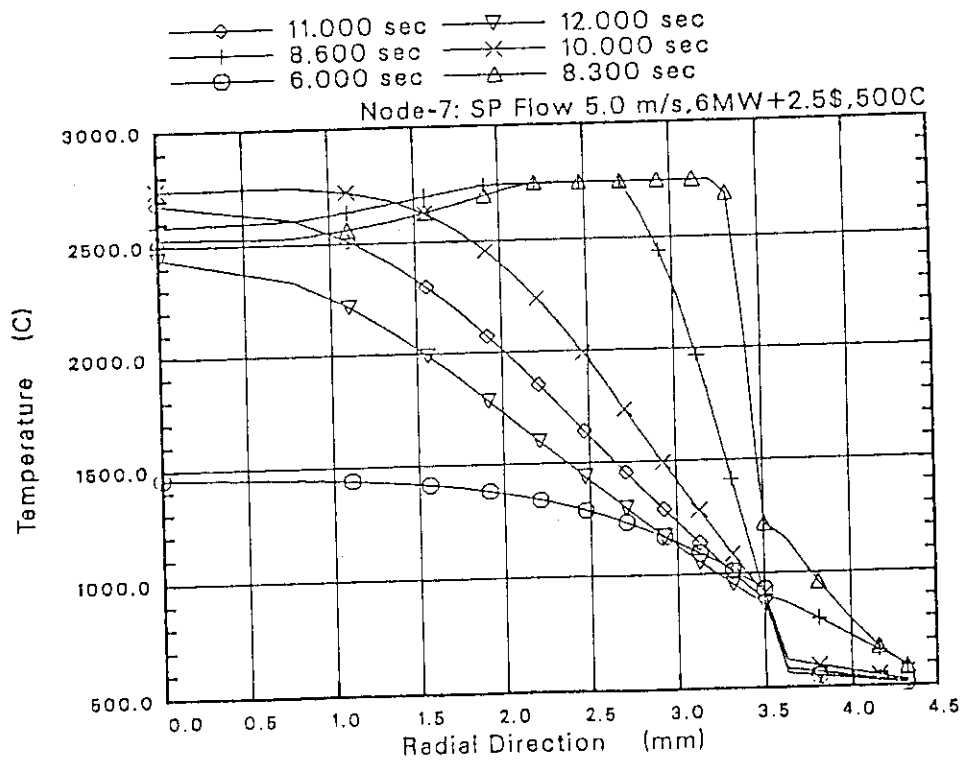


図 20-15 一定出力(385W/cm)からのTOP(\$2.5)での実験燃料(ノード7)の半径方向温度分布 (ケース25, 太径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

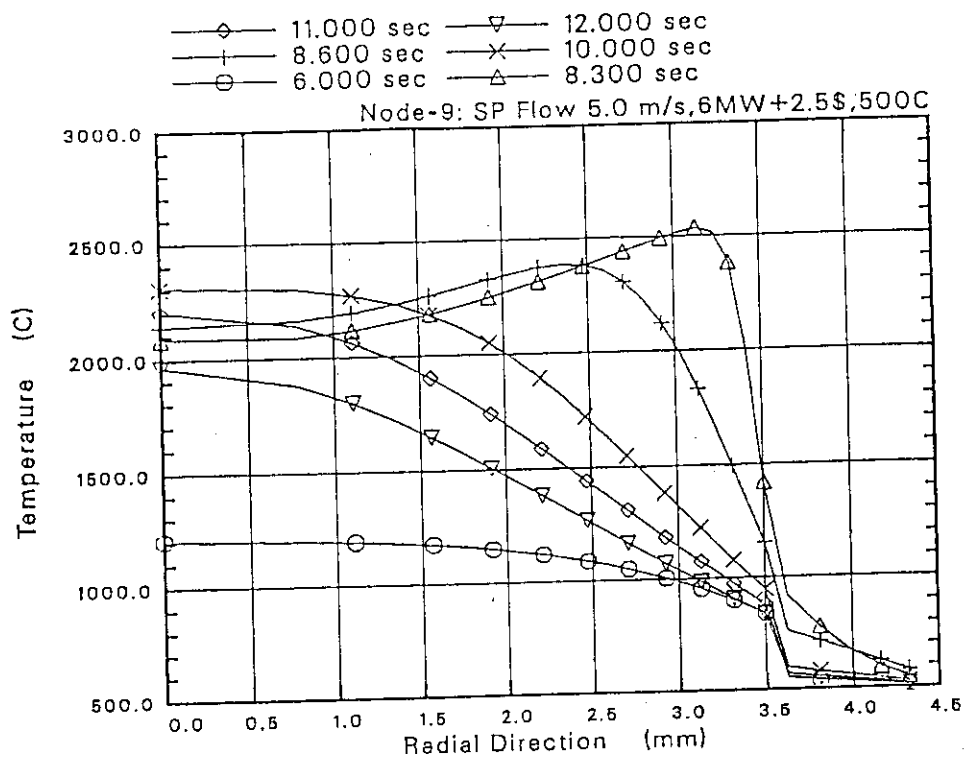


図 20-16 一定出力(385W/cm)からのTOP(\$2.5)での実験燃料(ノード9)の半径方向温度分布 (ケース25, 太径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

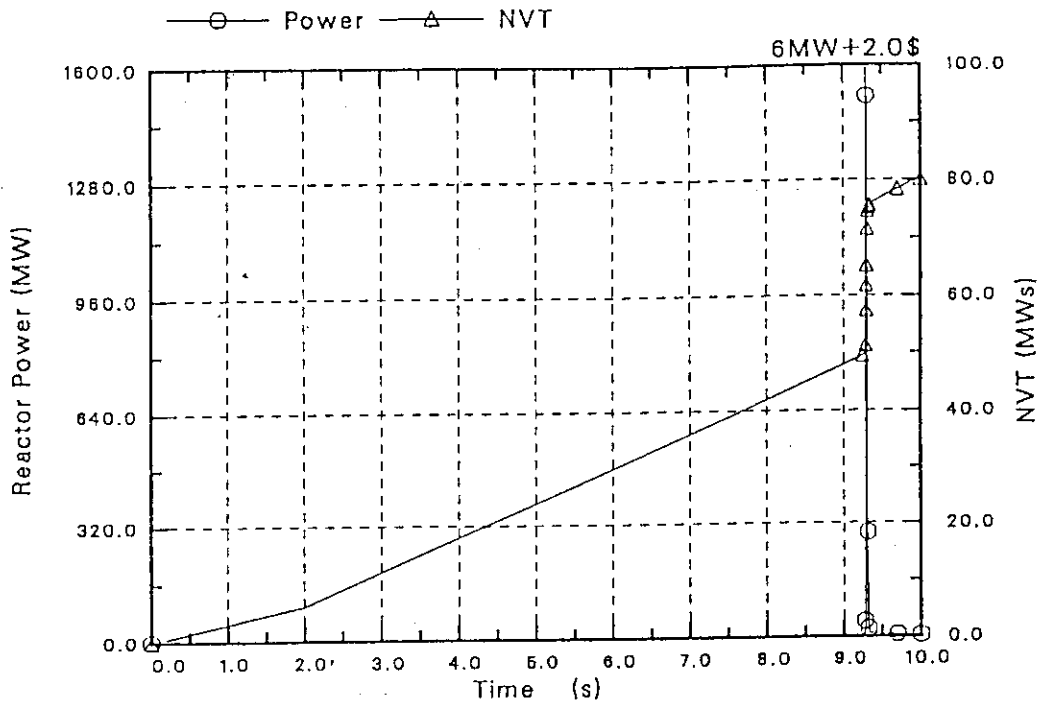


図 21-1 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$2.0) の出力履歴 (ケース 27, 太径燃料)

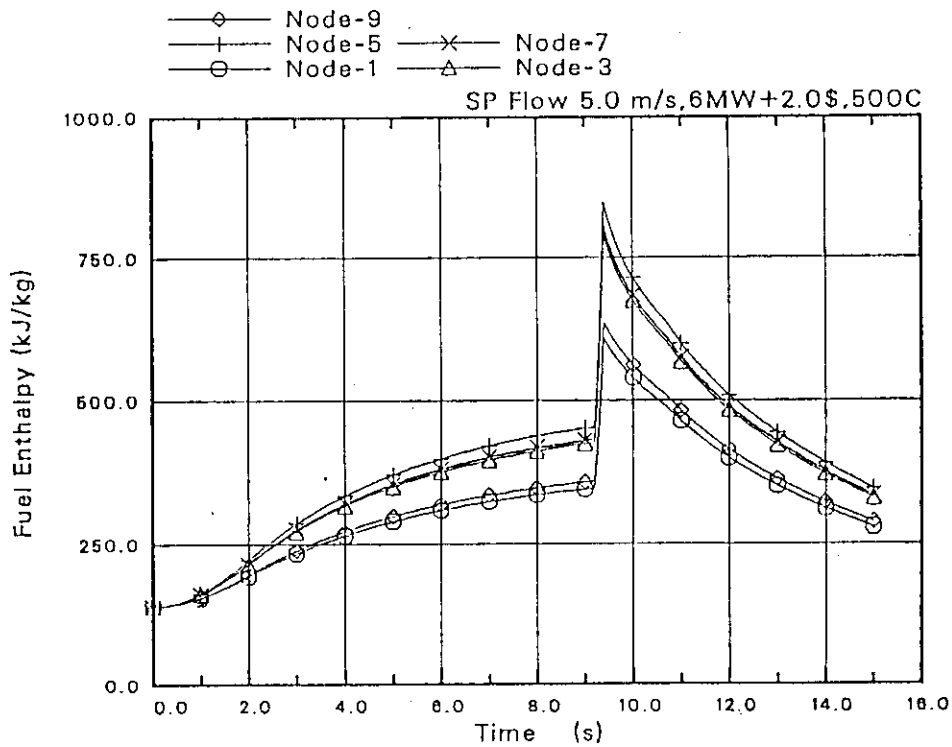


図 21-2 一定出力(385W/cm)からの TOP (\$2.0) での実験燃料エンタルピの時間変化 (ケース 27, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

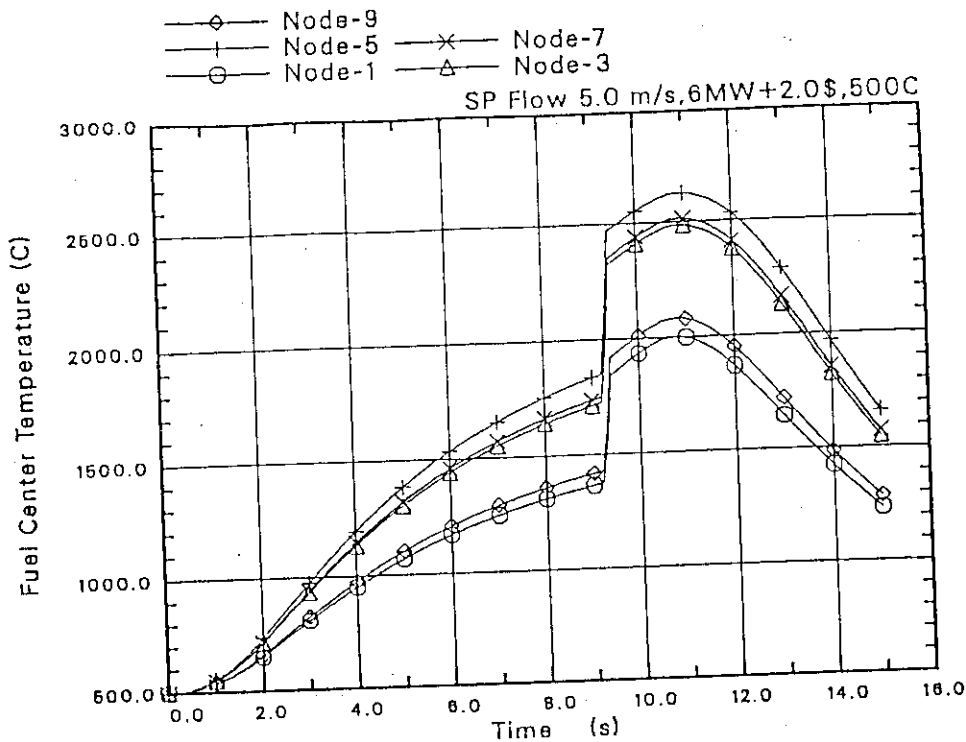


図 21-3 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$2.0) での実験燃料中心温度履歴 (ケース 27, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

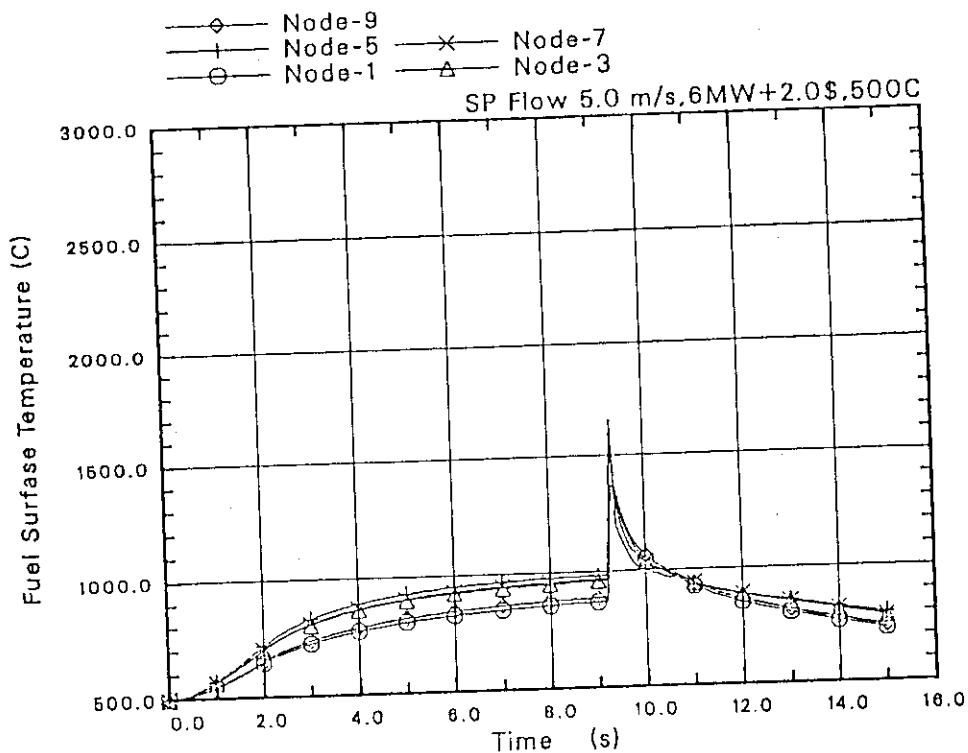


図 21-4 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$2.0) での実験燃料表面温度履歴 (ケース 27, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

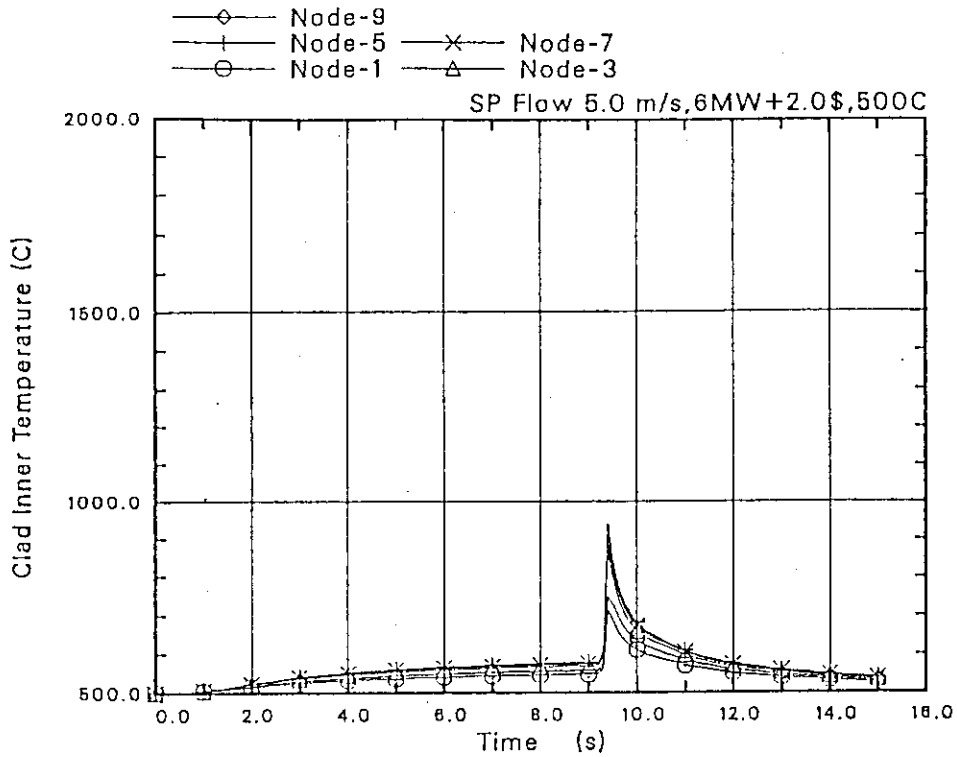


図 21-5 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$2.0) での被覆管内面温度履歴 (ケース 27, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

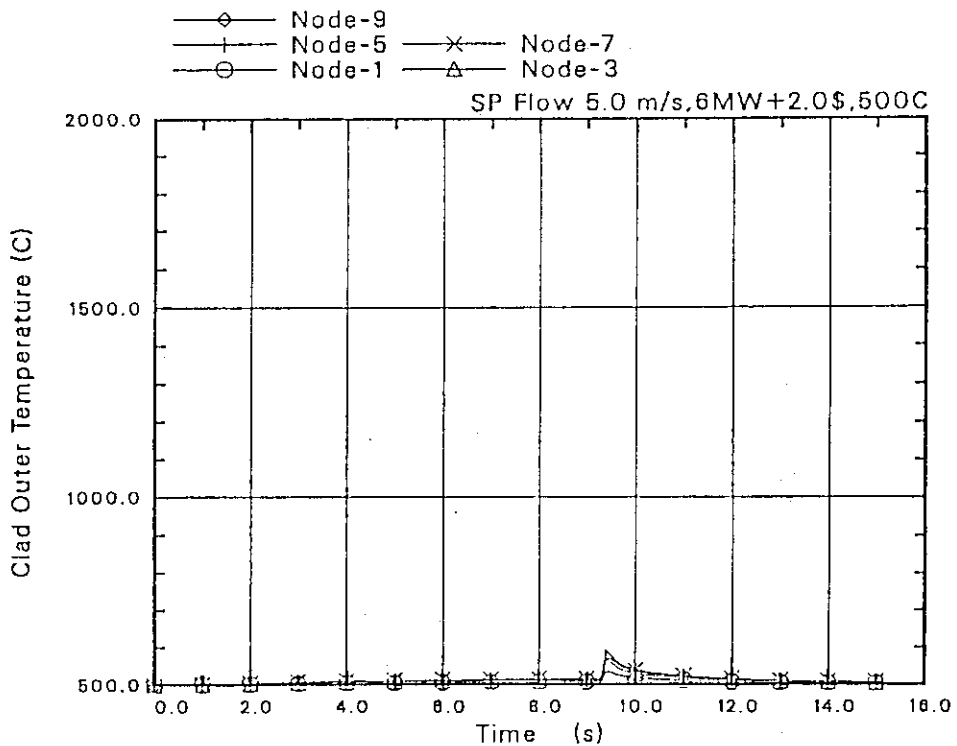


図 21-6 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$2.0) での被覆管表面温度履歴 (ケース 27, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

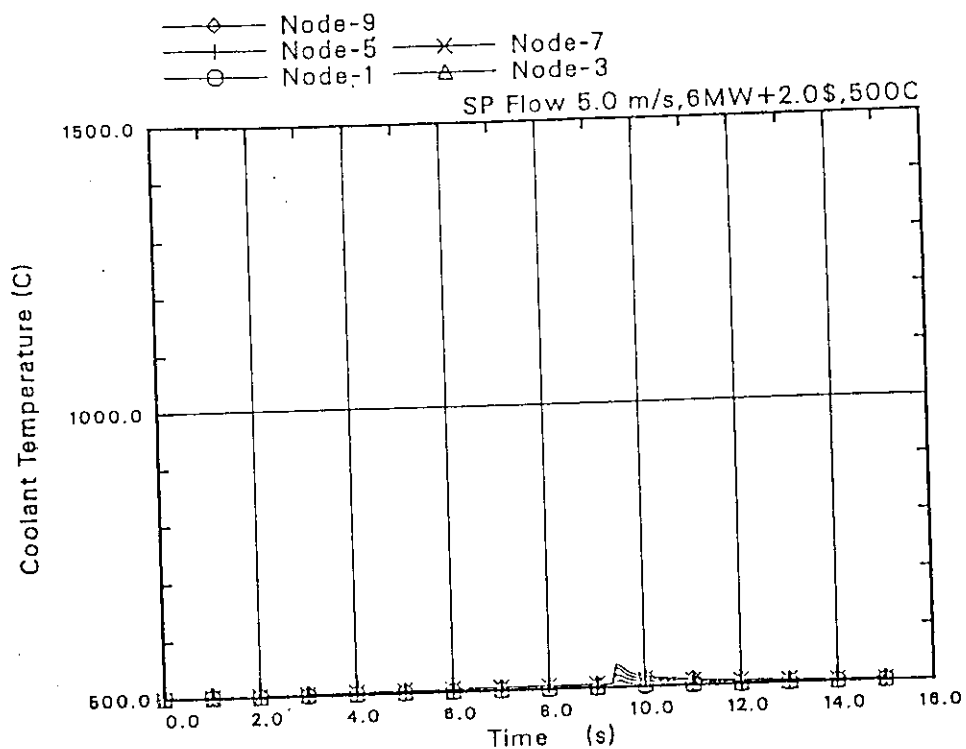


図 21-7 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$2.0) での冷却材温度履歴 (ケース 27, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

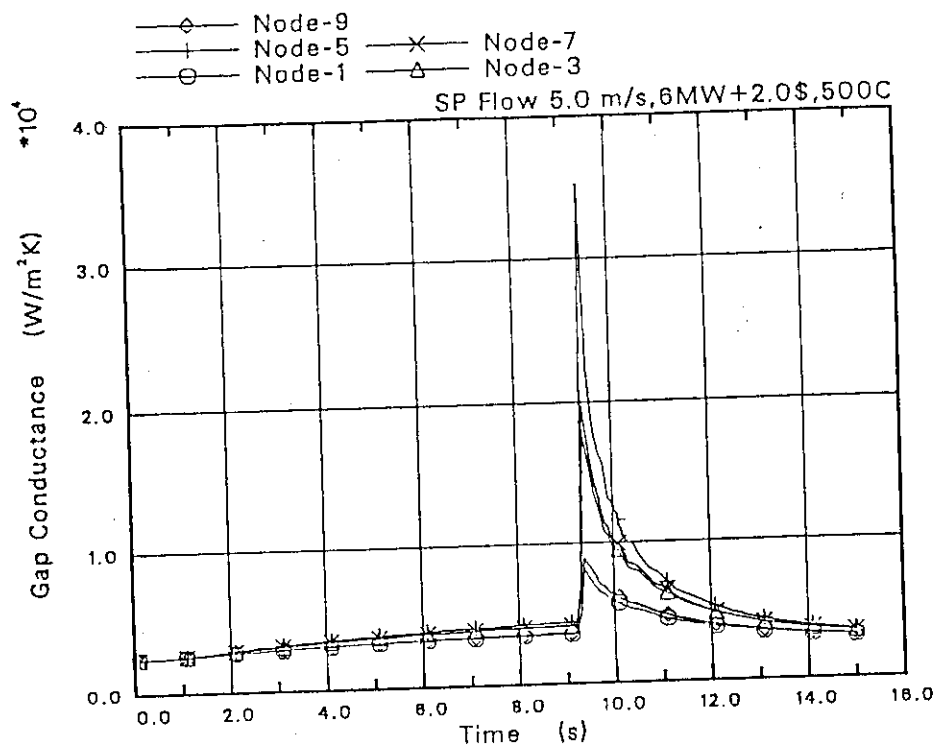


図 21-8 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$2.0) でのギャップコンダクタンスの時間変化 (ケース 27, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

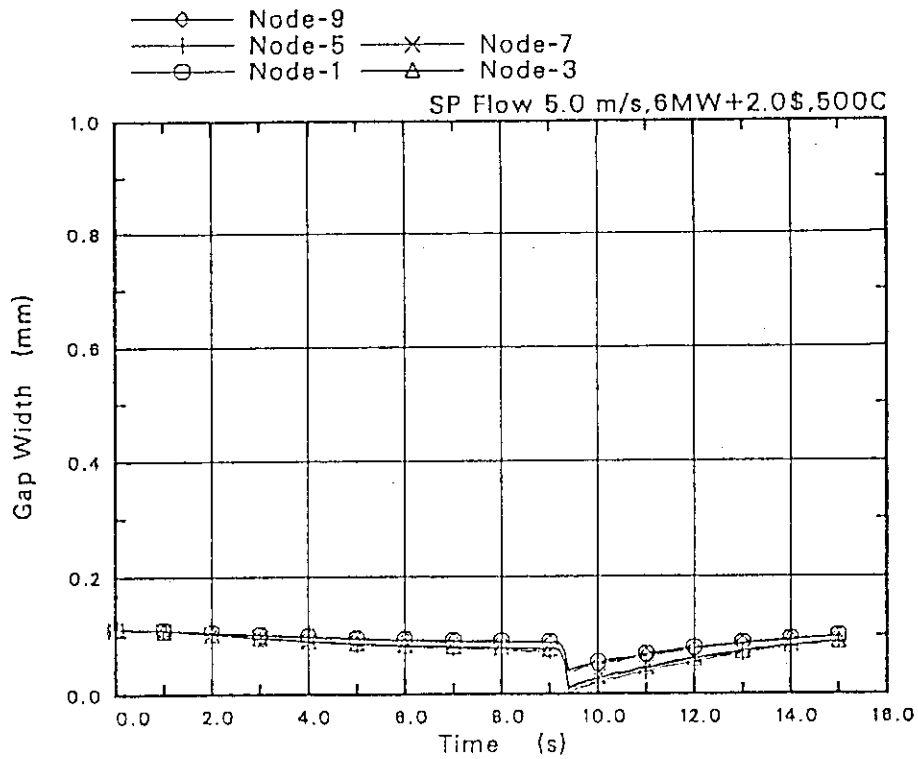


図 21-9 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$2.0) でのギャップ幅の時間変化 (ケース 27, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

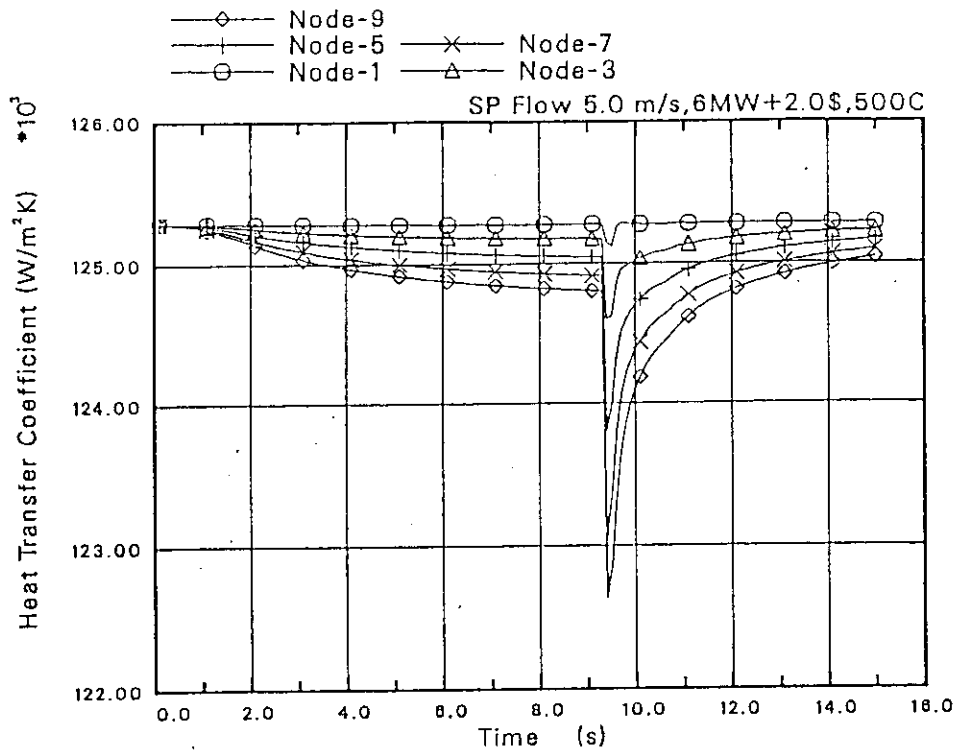


図 21-10 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$2.0) での熱伝達係数の時間変化 (ケース 27, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

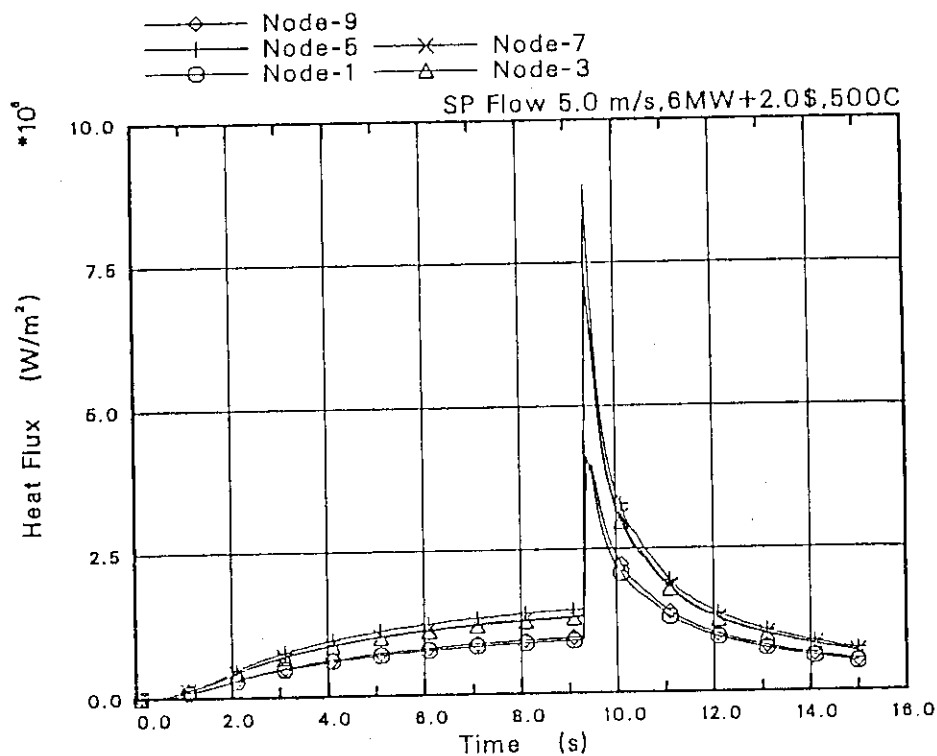


図 21-11 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$2.0) での熱流束の時間変化 (ケース 27, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

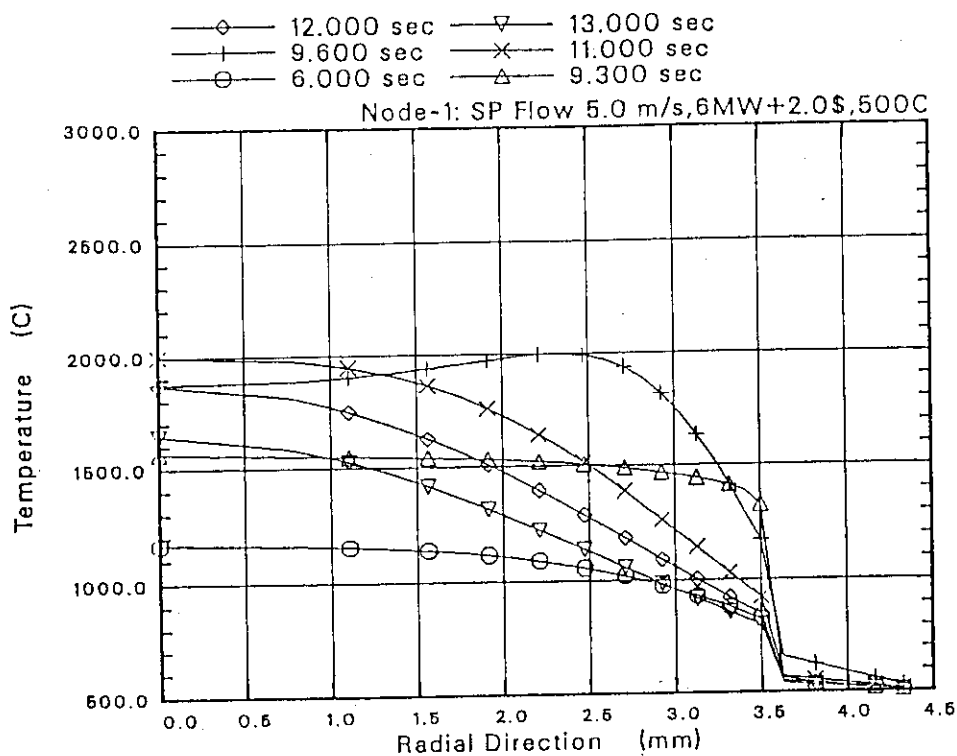


図 21-12 一定出力 (385W/cm) からの TOP (\$2.0) での実験燃料 (ノード 1) の半径方向温度分布 (ケース 27, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

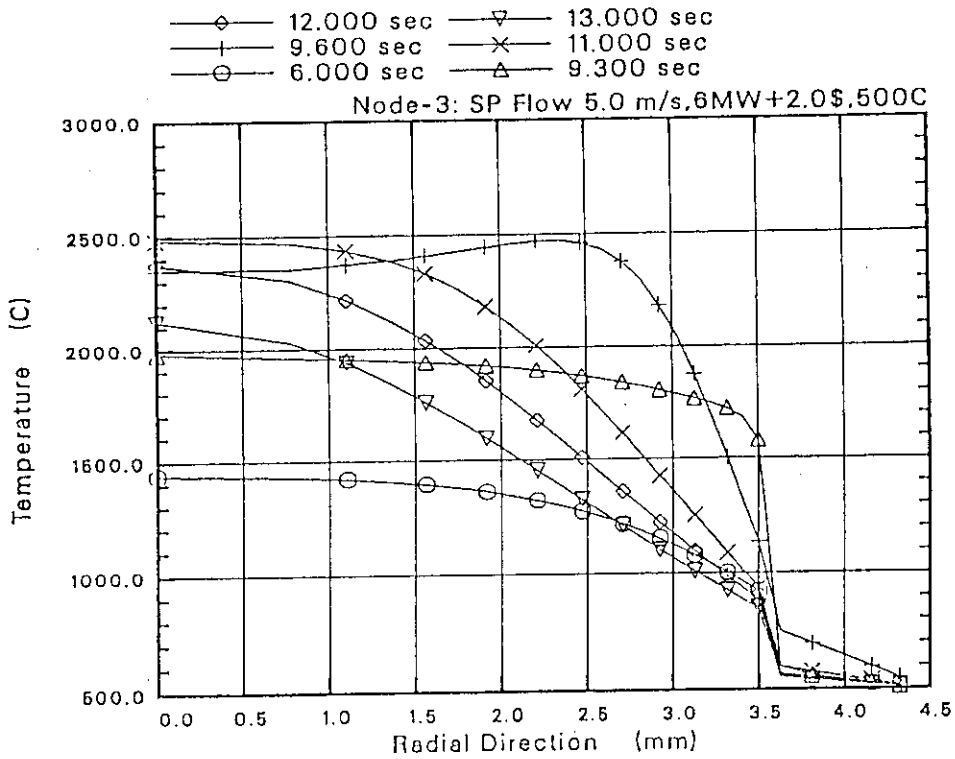


図 21-13 一定出力(385W/cm)からの TOP (\$ 2.0)での実験燃料(ノード3)の半径方向温度分布 (ケース 27, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

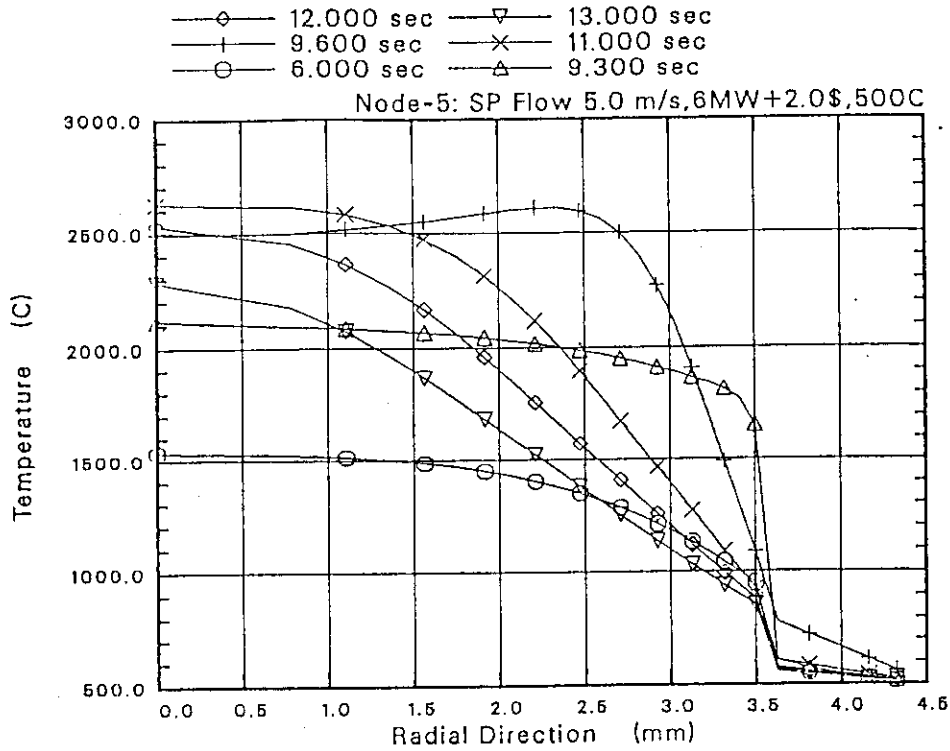


図 21-14 一定出力(385W/cm)からの TOP (\$ 2.0)での実験燃料(ノード5)の半径方向温度分布 (ケース 27, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

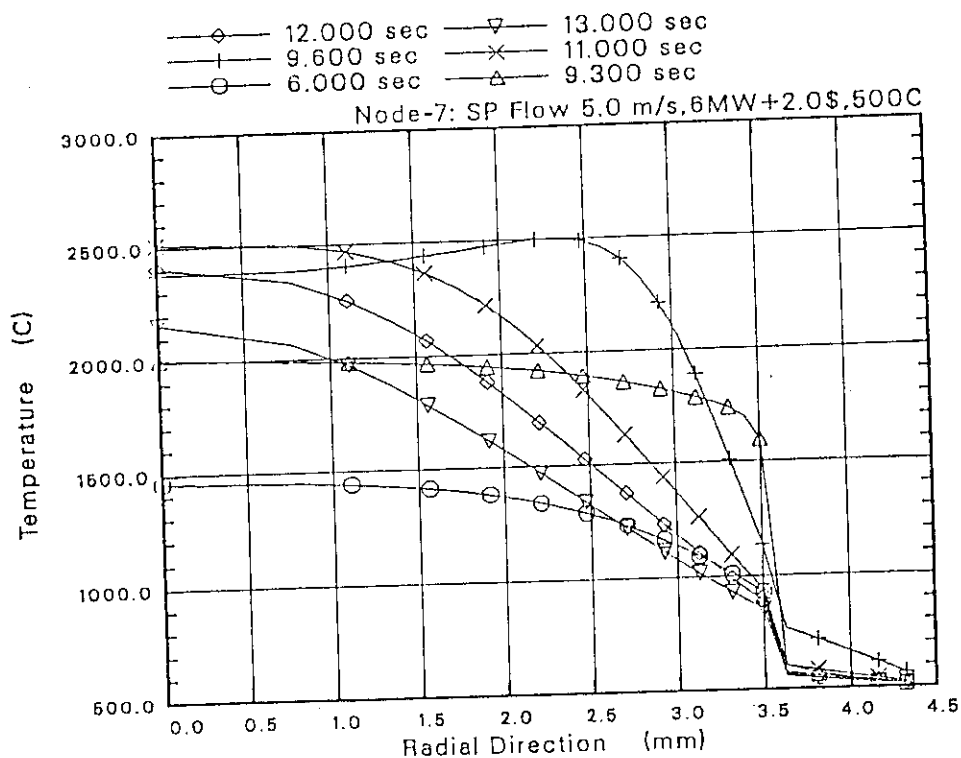


図 21-15 一定出力(385W/cm)からのTOP(\$2.0)での実験燃料(ノード7)の半径方向温度分布
(ケース27, 太径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

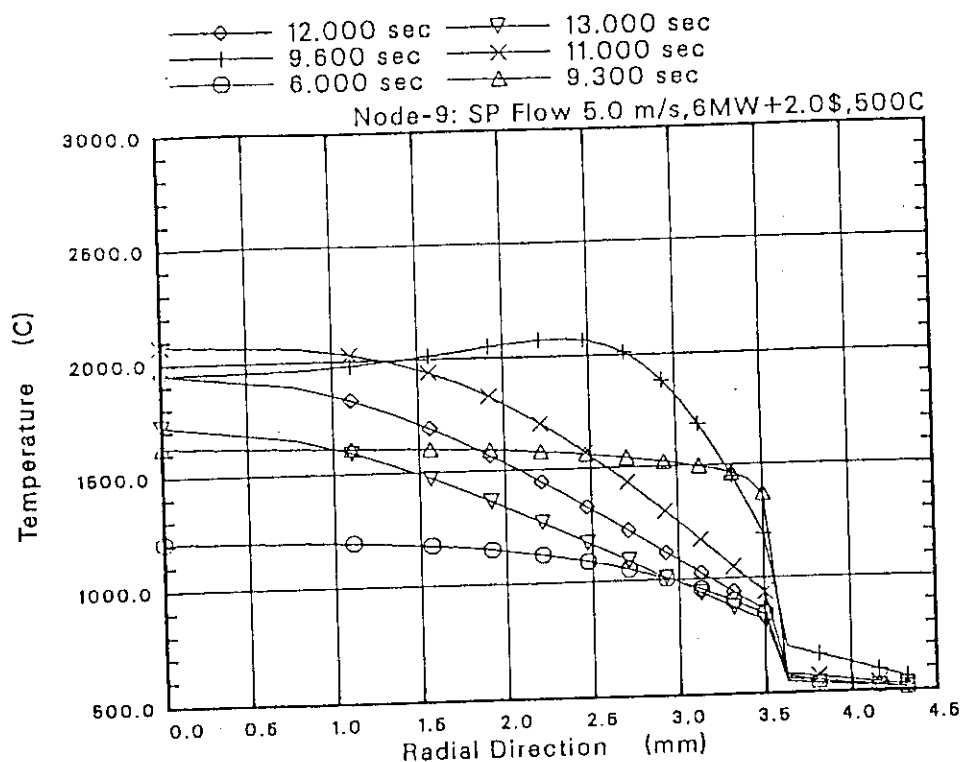


図 21-16 一定出力(385W/cm)からのTOP(\$2.0)での実験燃料(ノード9)の半径方向温度分布
(ケース27, 太径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

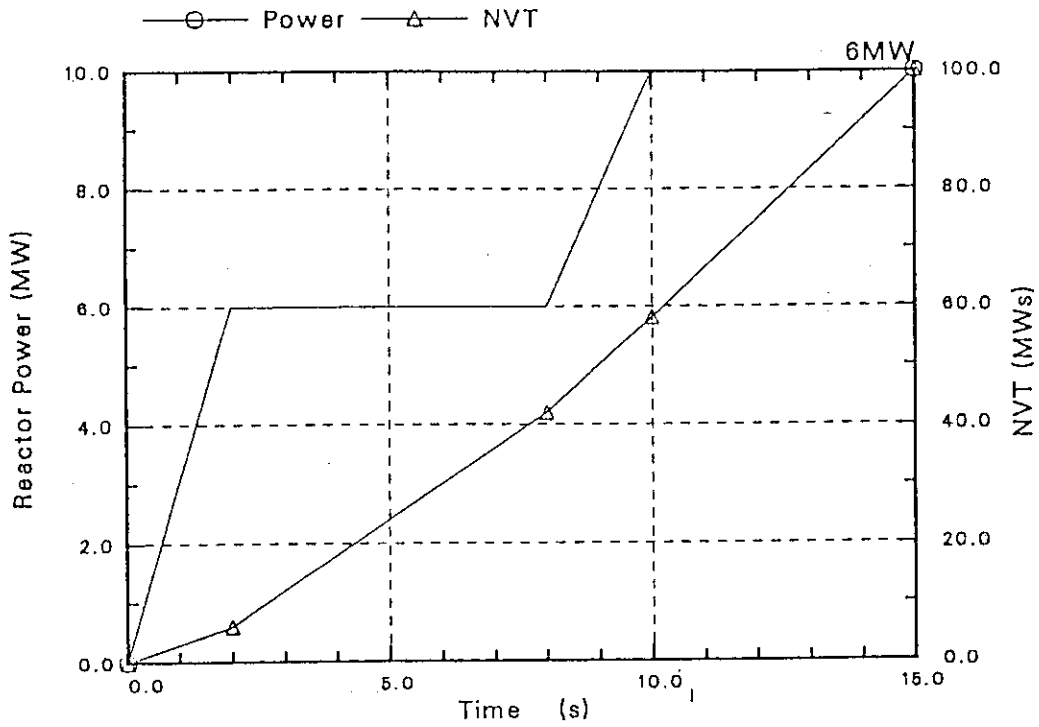


図 22-1 一定出力(385W/cm)からの緩いTOP (35% Po/s, Pmax=170% Po)の出力履歴 (ケース 29, 太径燃料)

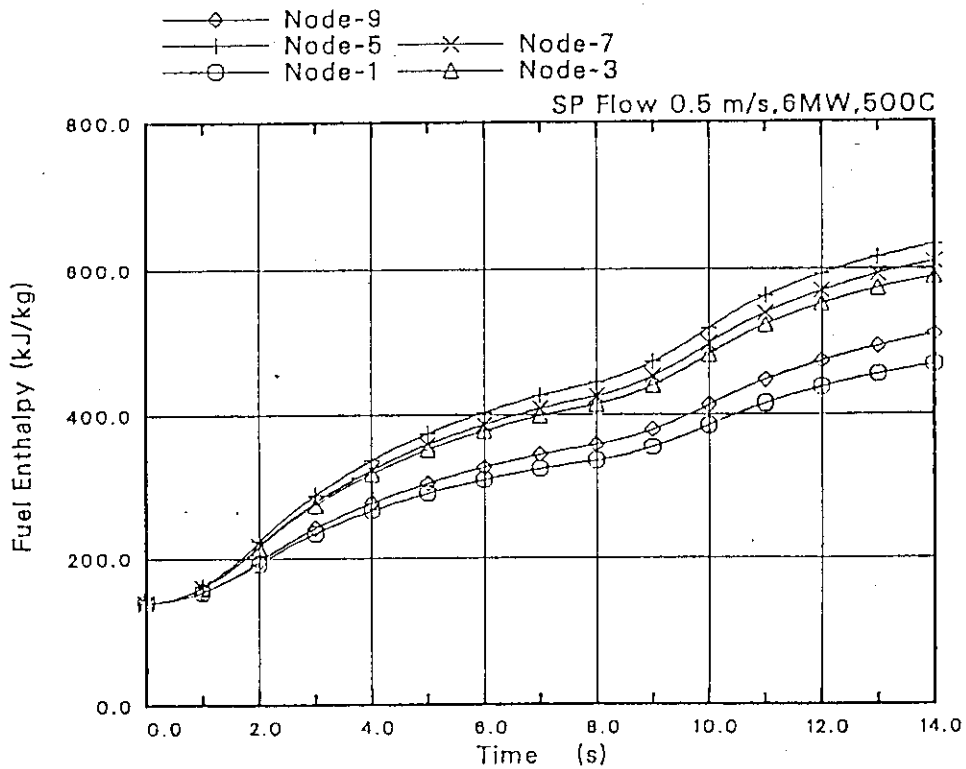


図 22-2 一定出力(385W/cm)からの緩いTOP (35% Po/s, Pmax=170% Po)での実験燃料エンタルピの時間変化 (ケース 29, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

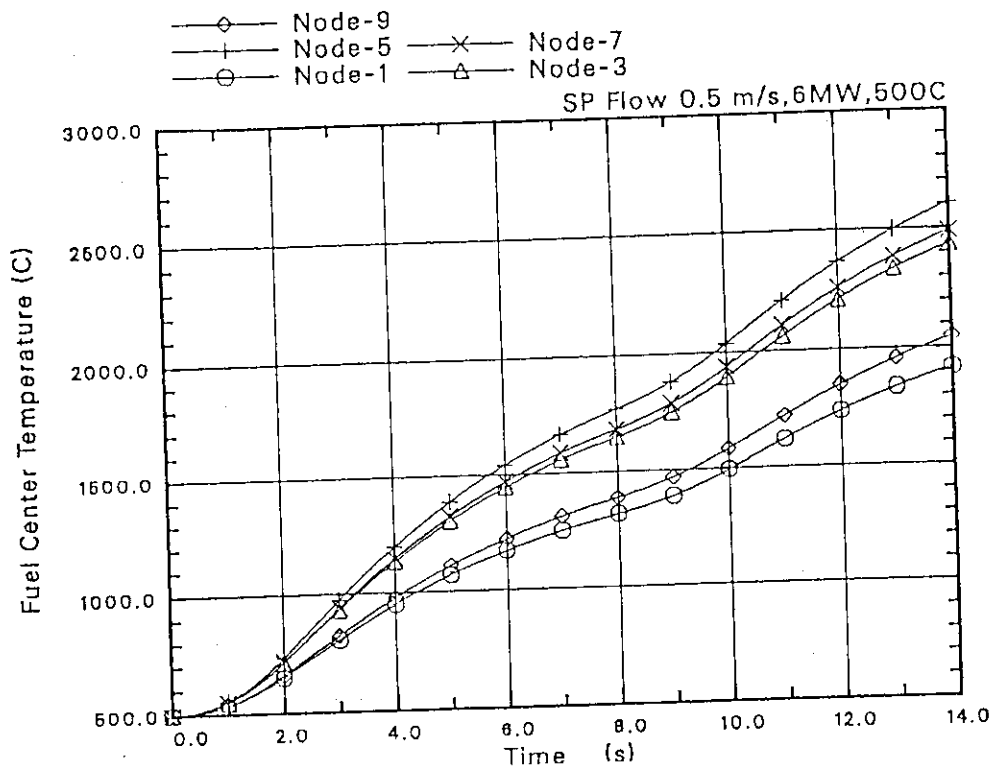


図 22-3 一定出力(385W/cm)からの緩いTOP (35% Po/s, Pmax=170% Po)での実験燃料中心温度履歴
(ケース 29, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

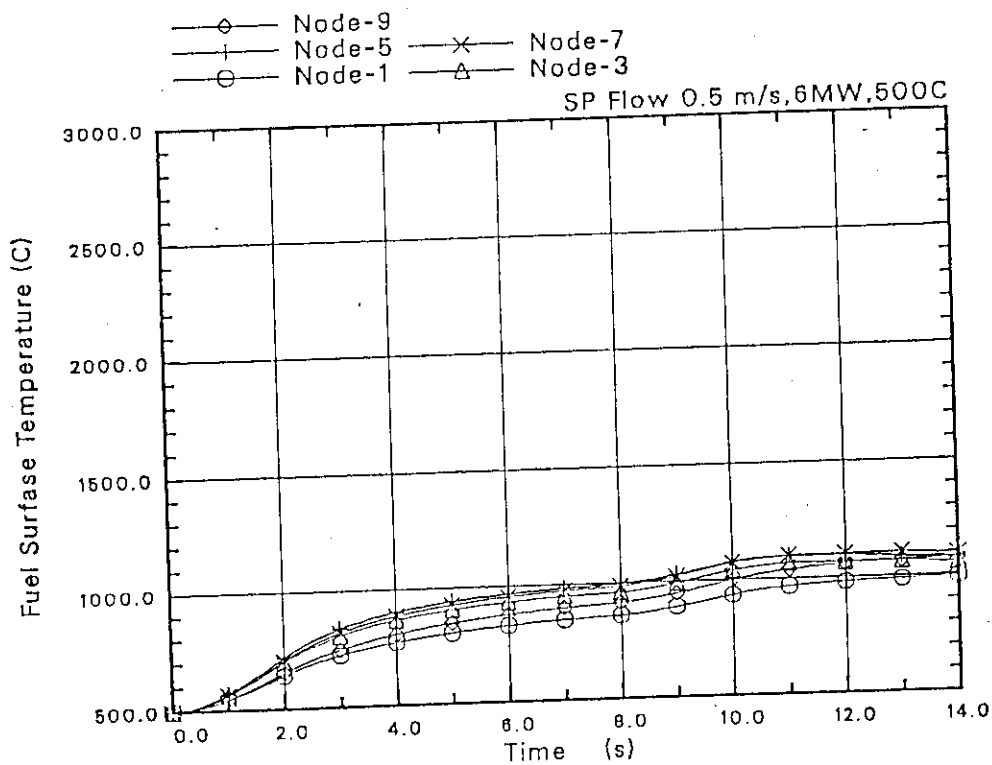


図 22-4 一定出力(385W/cm)からの緩いTOP (35% Po/s, Pmax=170% Po)での実験燃料表面温度履歴
(ケース 29, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

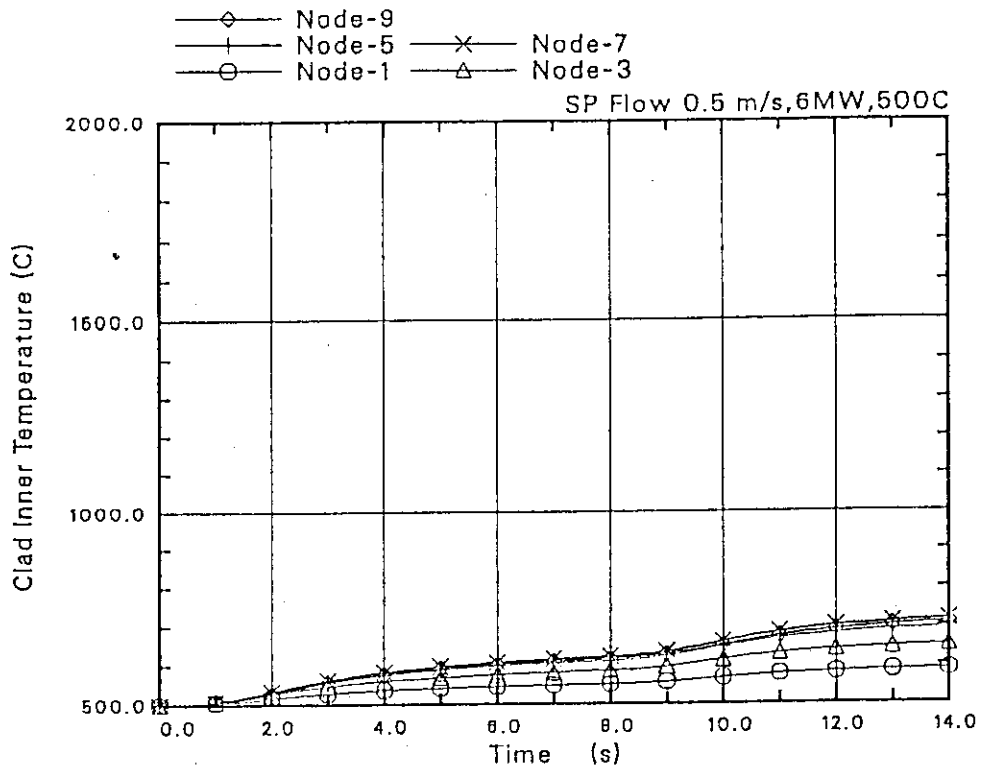


図 22-5 一定出力(385W/cm)からの緩いTOP (35% Po/s, Pmax=170% Po)での被覆管内面温度履歴
(ケース 29, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

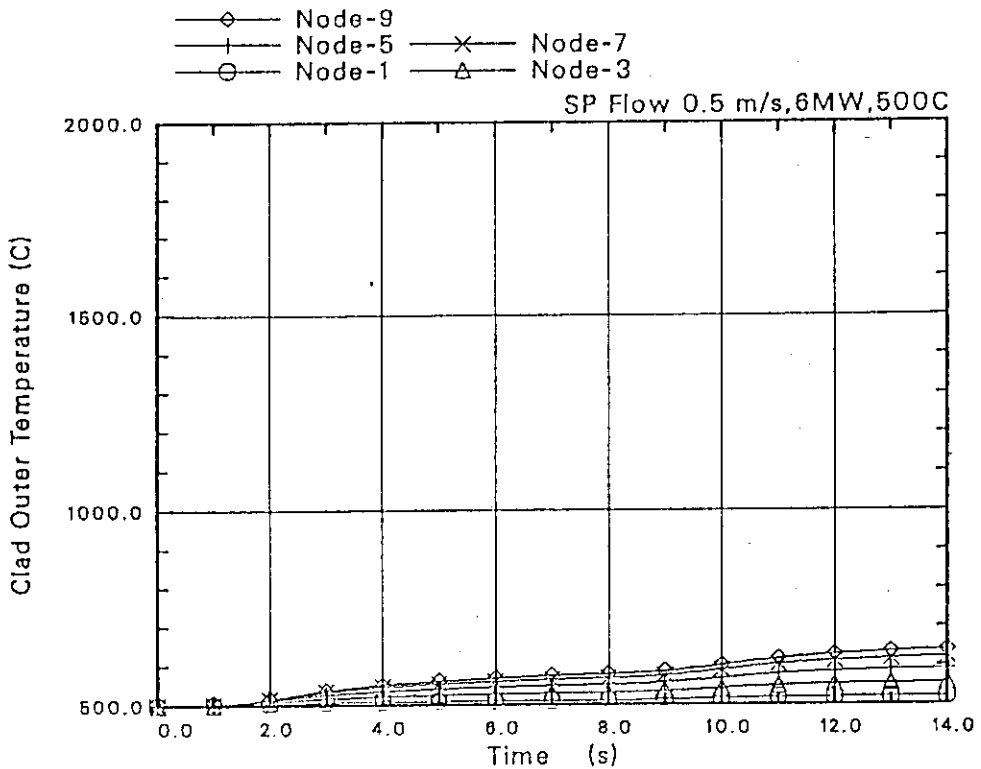


図 22-6 一定出力(385W/cm)からの緩いTOP (35% Po/s, Pmax=170% Po)での被覆管表面温度履歴
(ケース 29, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

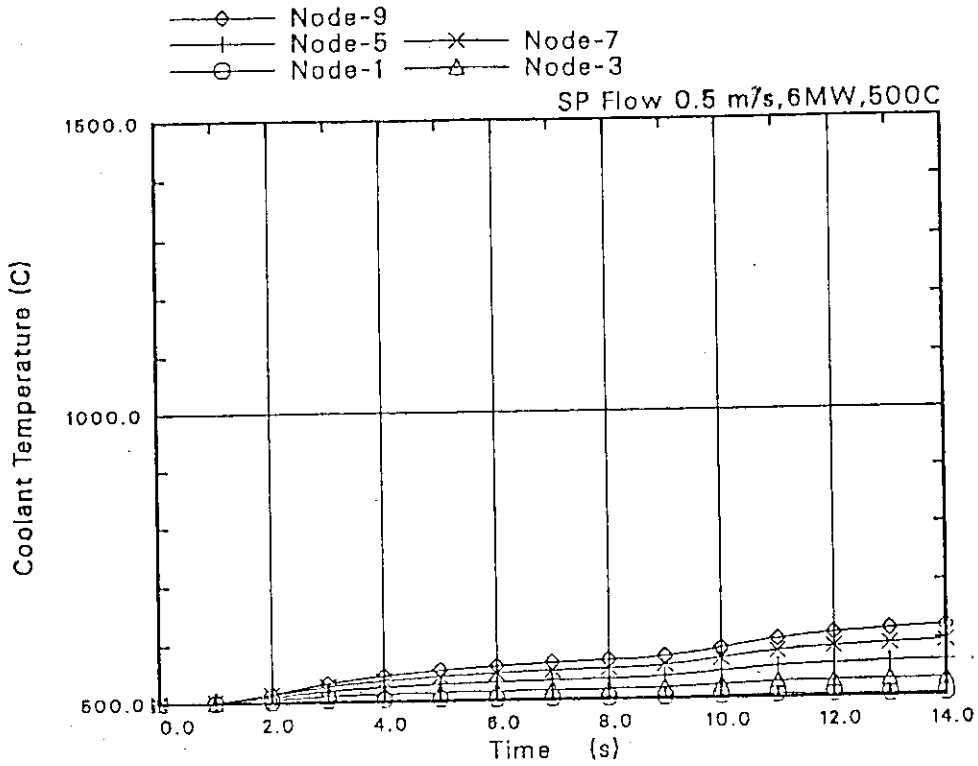


図 22-7 一定出力(385W/cm)からの緩いTOP (35% Po/s, Pmax=170% Po)での冷却材温度履歴
 (ケース 29, 太径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

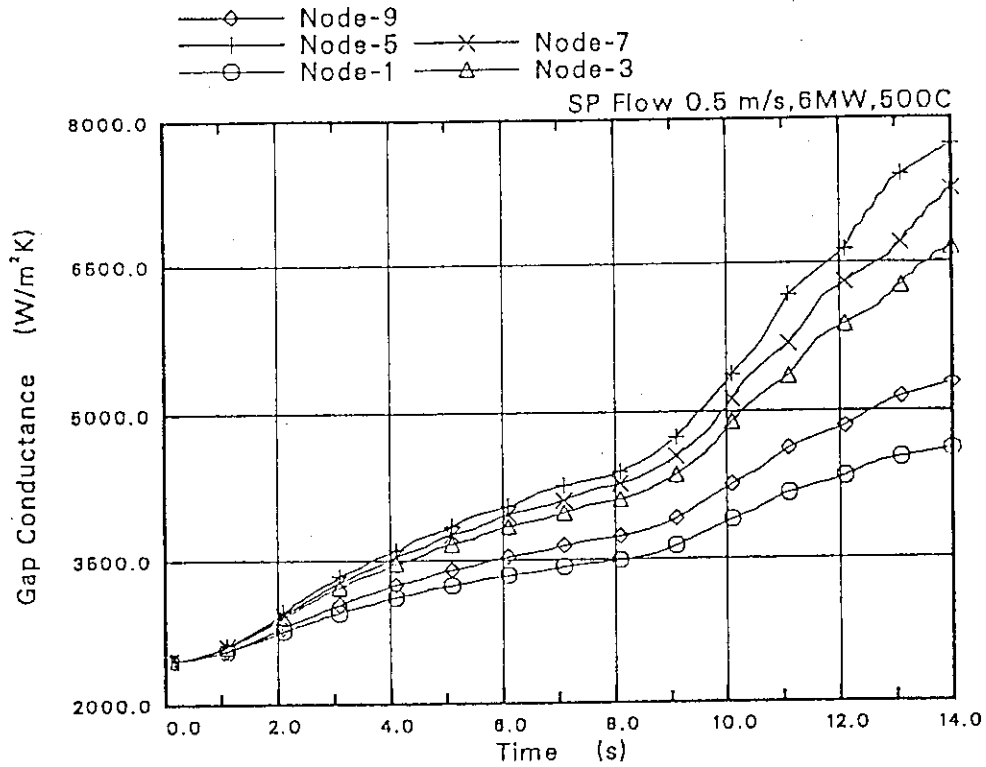


図 22-8 一定出力(385W/cm)からの緩いTOP (35% Po/s, Pmax=170% Po)でのギャップコンダクタンスの時間変化
 (ケース 29, 太径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

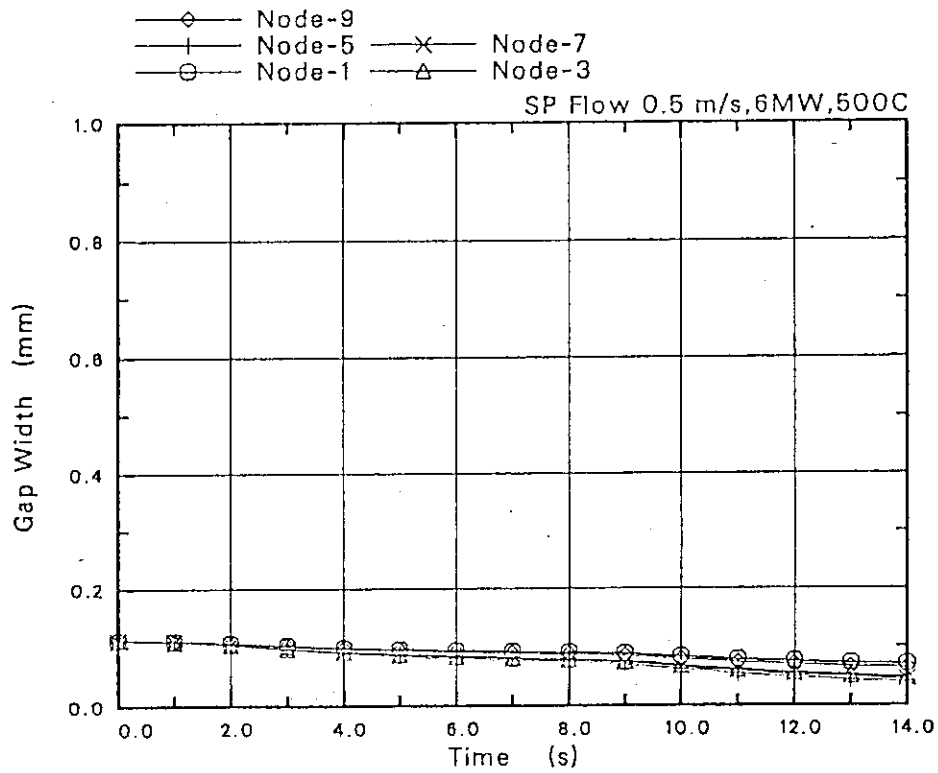


図 22-9 一定出力(385W/cm)からの緩いTOP (35% Po/s, Pmax=170% Po)でのギャップ幅の時間変化
(ケース 29, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

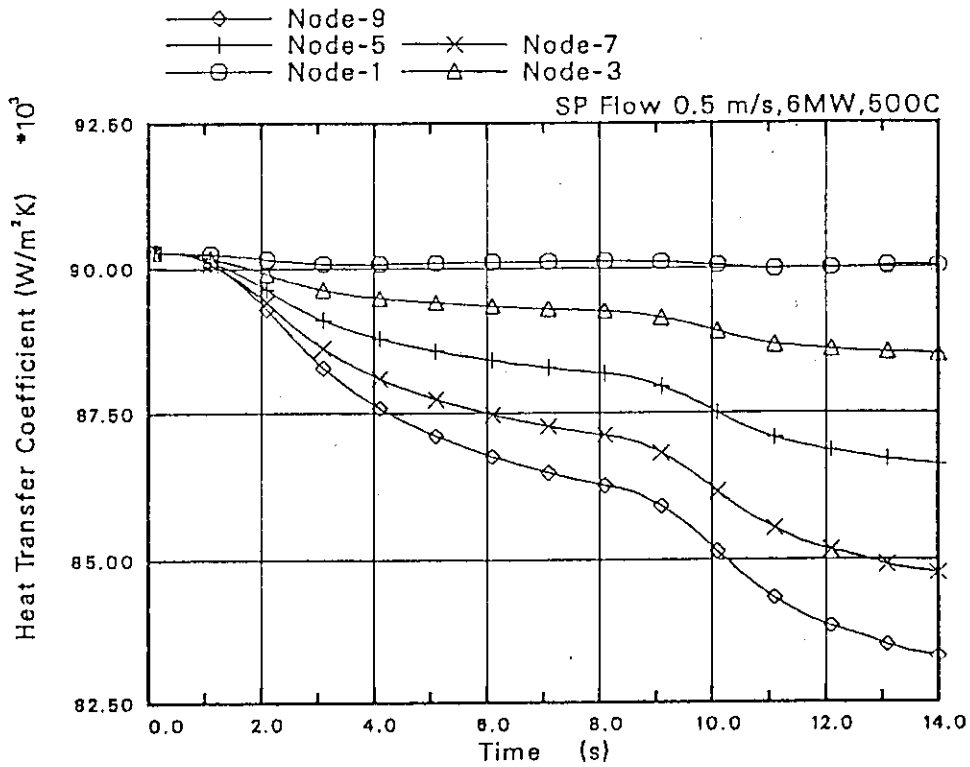


図 22-10 一定出力(385W/cm)からの緩いTOP (35% Po/s, Pmax=170% Po)での熱伝達係数の時間変化
(ケース 29, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

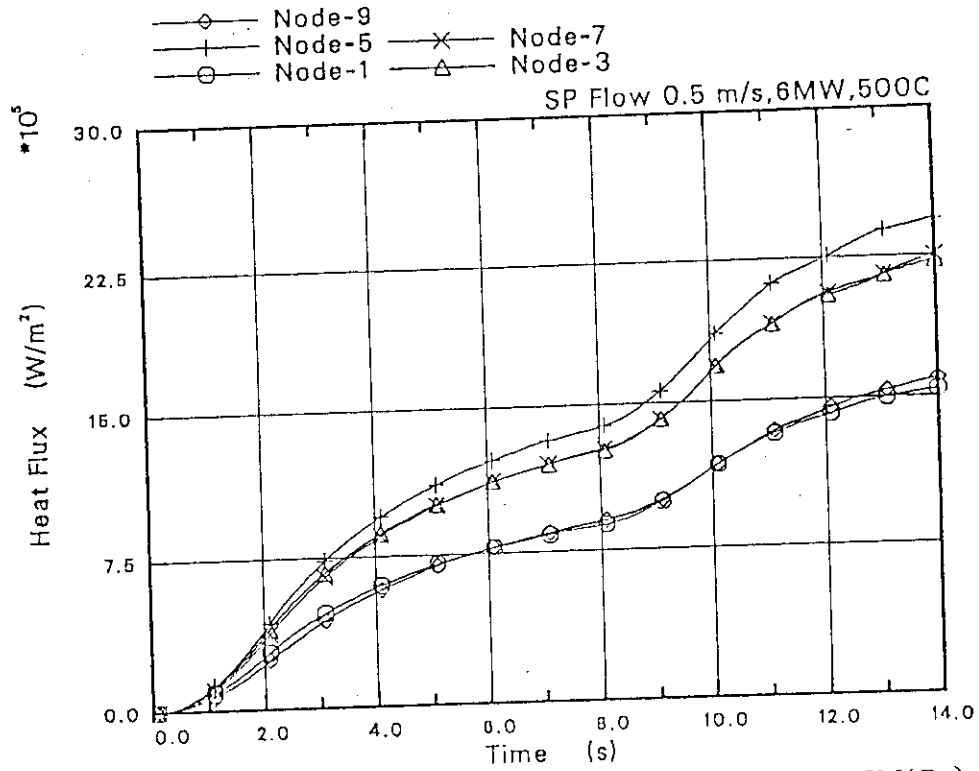


図 22-11 一定出力(385W/cm)からの緩いTOP (35% Po/s, Pmax=170% Po)での熱流束の時間変化
(ケース 29, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

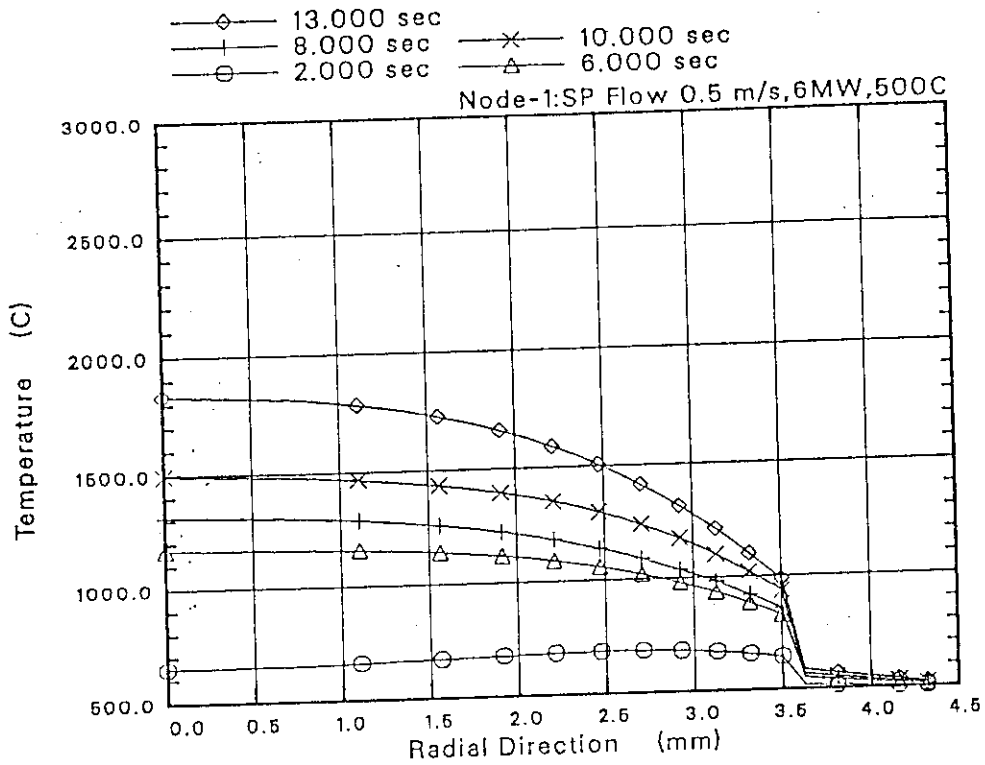


図 22-12 一定出力(385W/cm)からの緩いTOP (35% Po/s, Pmax=170% Po)での実験燃料 (ノード 1) の半径方向温度分布
(ケース 29, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s)

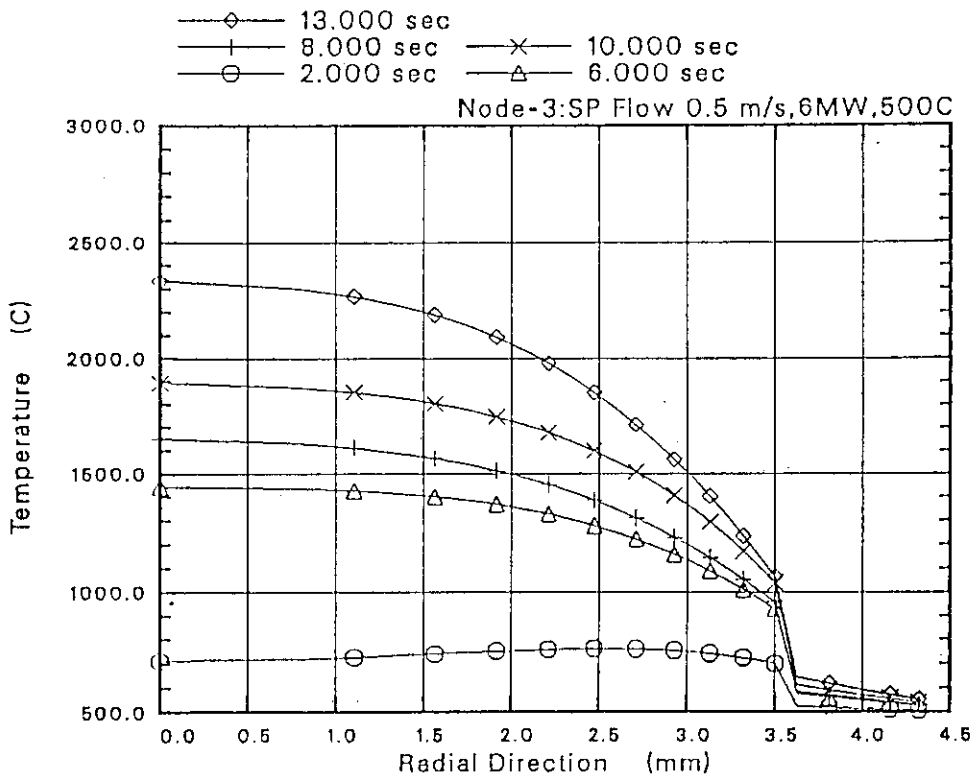


図 22-13 一定出力(385W/cm)からの緩いTOP (35% Po/s, Pmax=170% Po)での実験燃料 (ノード 3) の半径方向温度分布 (ケース 29, 太径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

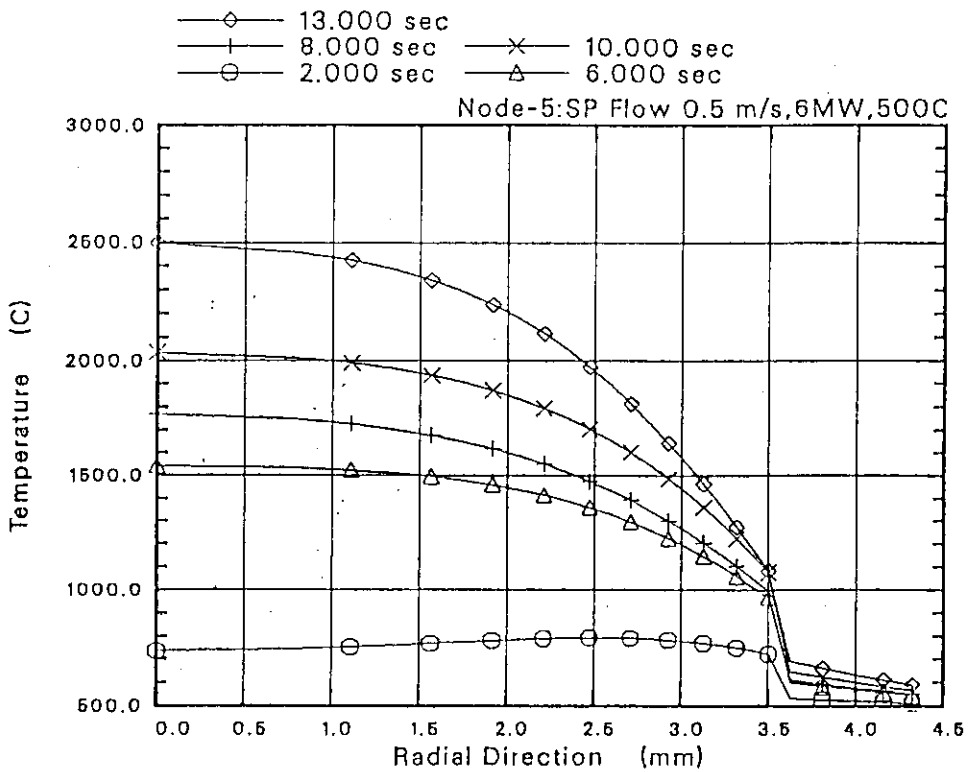


図 22-14 一定出力(385W/cm)からの緩いTOP (35% Po/s, Pmax=170% Po)での実験燃料 (ノード 5) の半径方向温度分布 (ケース 29, 太径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s)

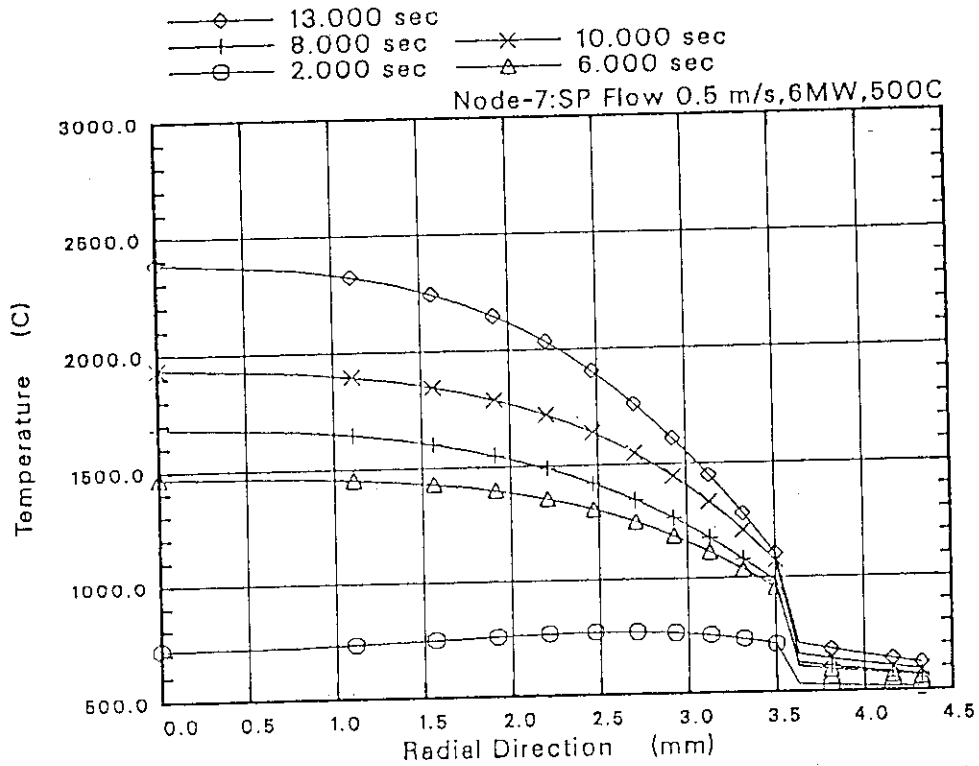


図 22-15 一定出力(385W/cm)からの緩いTOP (35% Po/s, Pmax=170% Po) での実験燃料 (ノード7) の半径方向温度分布 (ケース 29, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

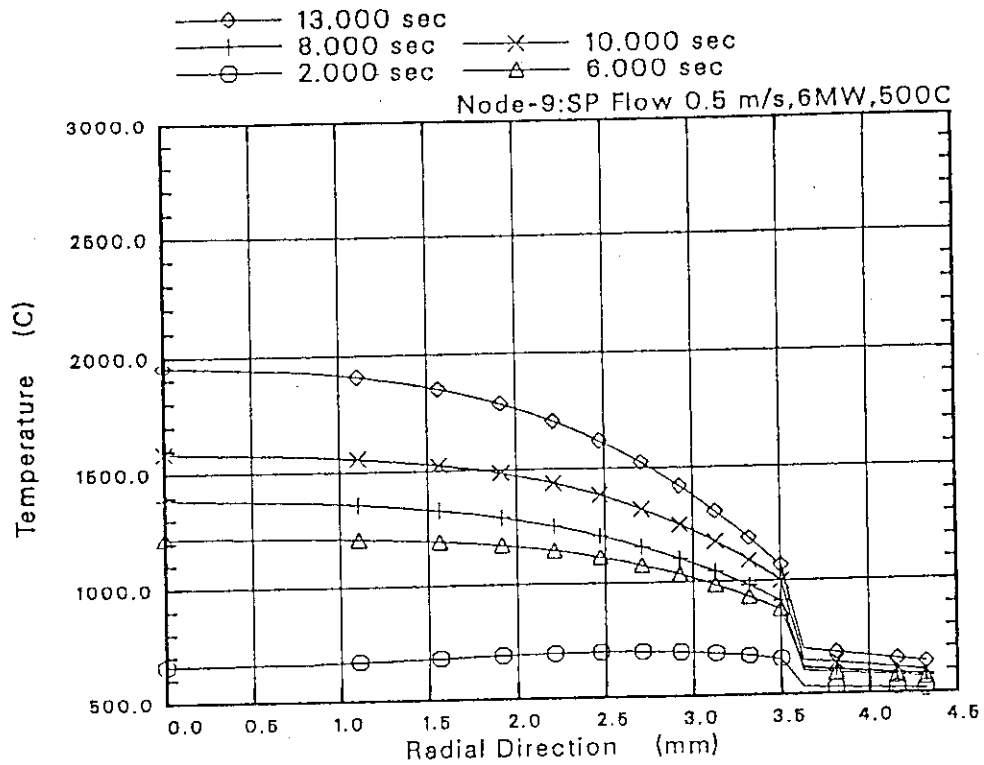


図 22-16 一定出力(385W/cm)からの緩いTOP (35% Po/s, Pmax=170% Po) での実験燃料 (ノード9) の半径方向温度分布 (ケース 29, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s)

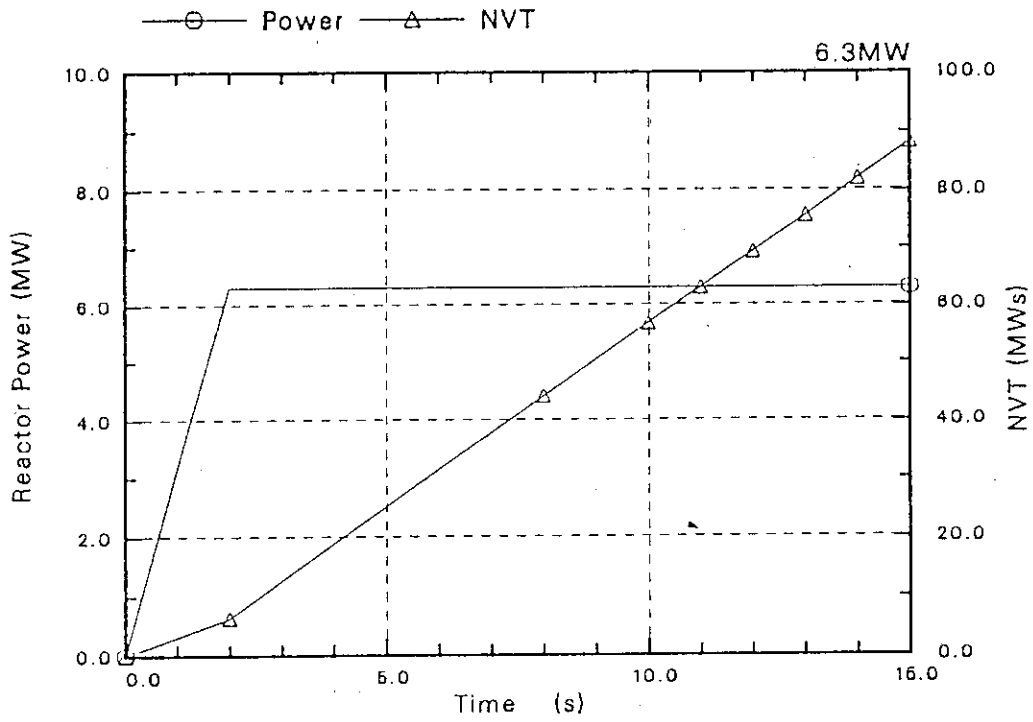


図 23-1 一定出力 (400W/cm) での LOF 模擬実験
(ケース 35, 太径燃料)

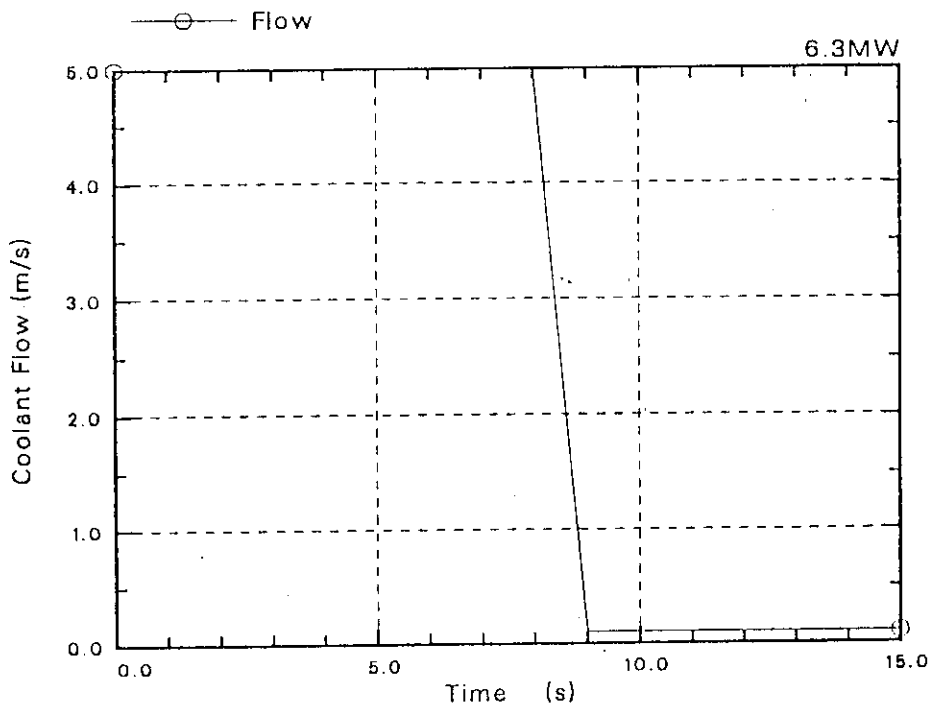


図 23-2 一定出力 (400W/cm) での LOF 模擬実験の流速履歴
(ケース 35, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

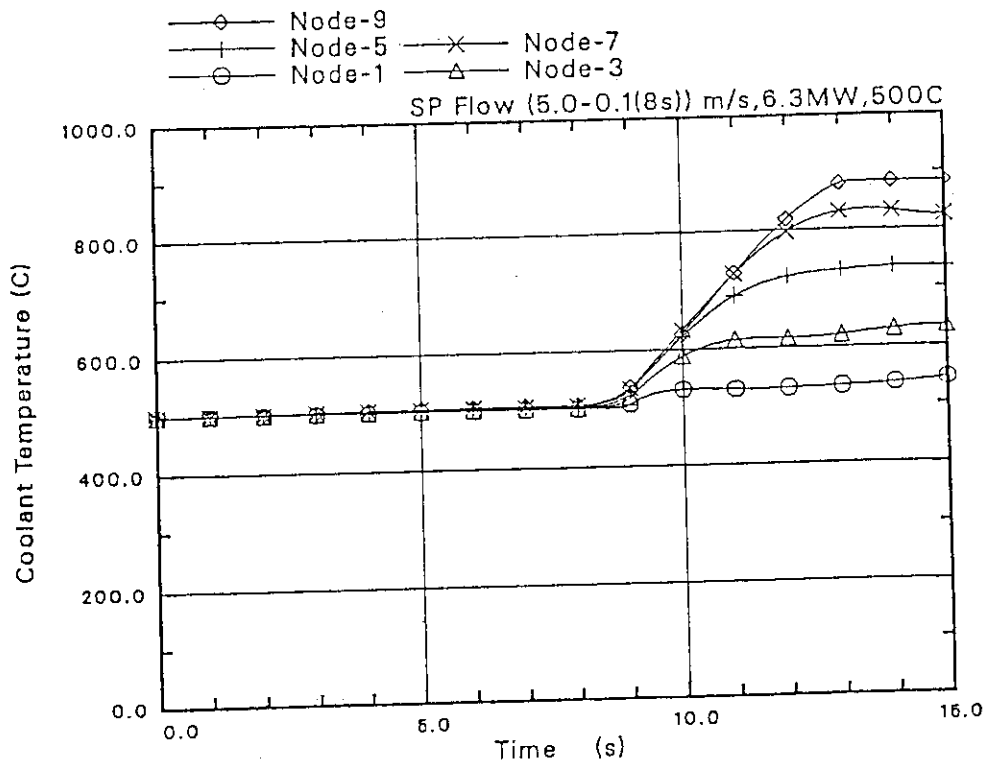


図 23-3 一定出力 (400W/cm) での LOF 模擬実験での冷却材温度履歴 (ケース 35, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

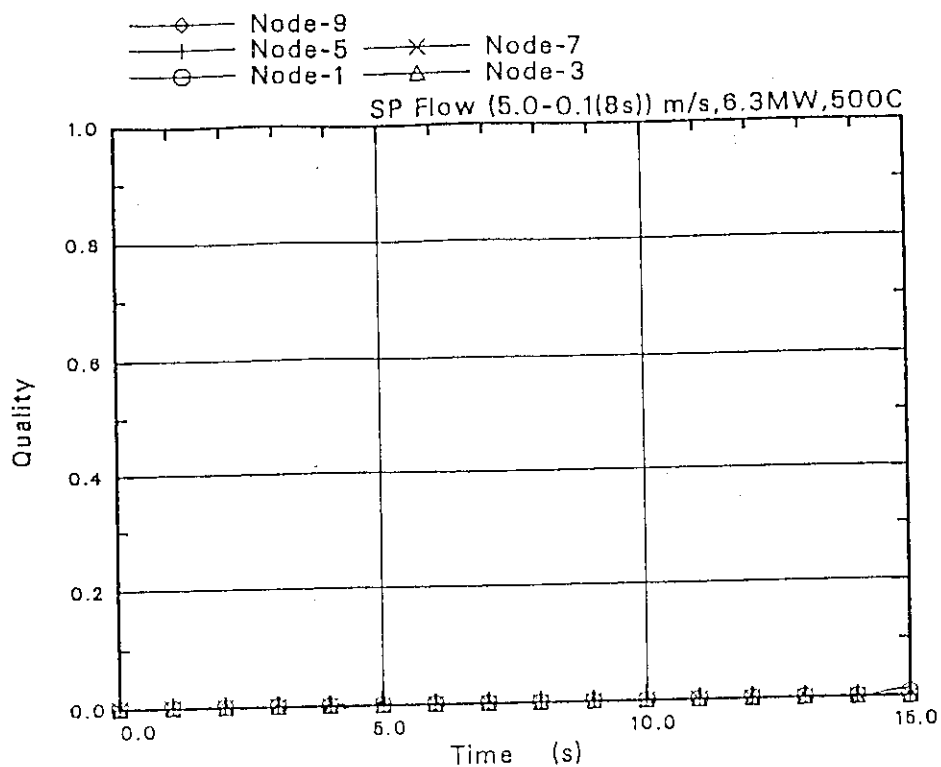


図 23-4 一定出力 (400W/cm) での LOF 模擬実験での Na 冷却材クオリティの時間変化 (ケース 35, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

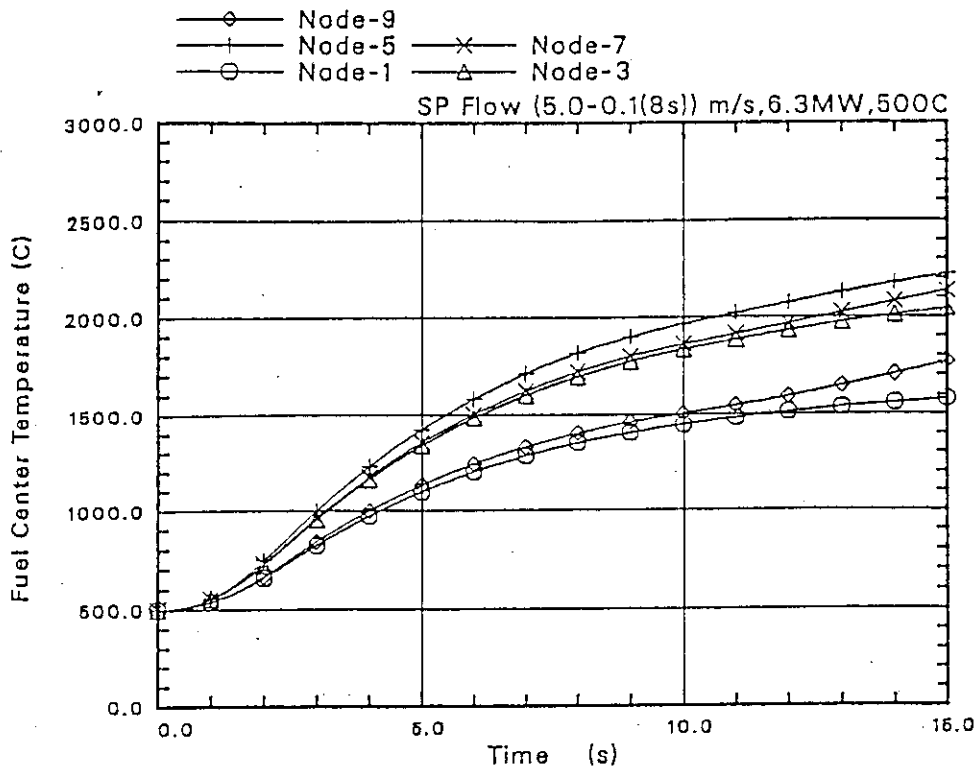


図 23-5 一定出力 (400W/cm) での LOF 模擬実験での実験燃料中心温度履歴 (ケース 35, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s ~ 0.1 m/s)

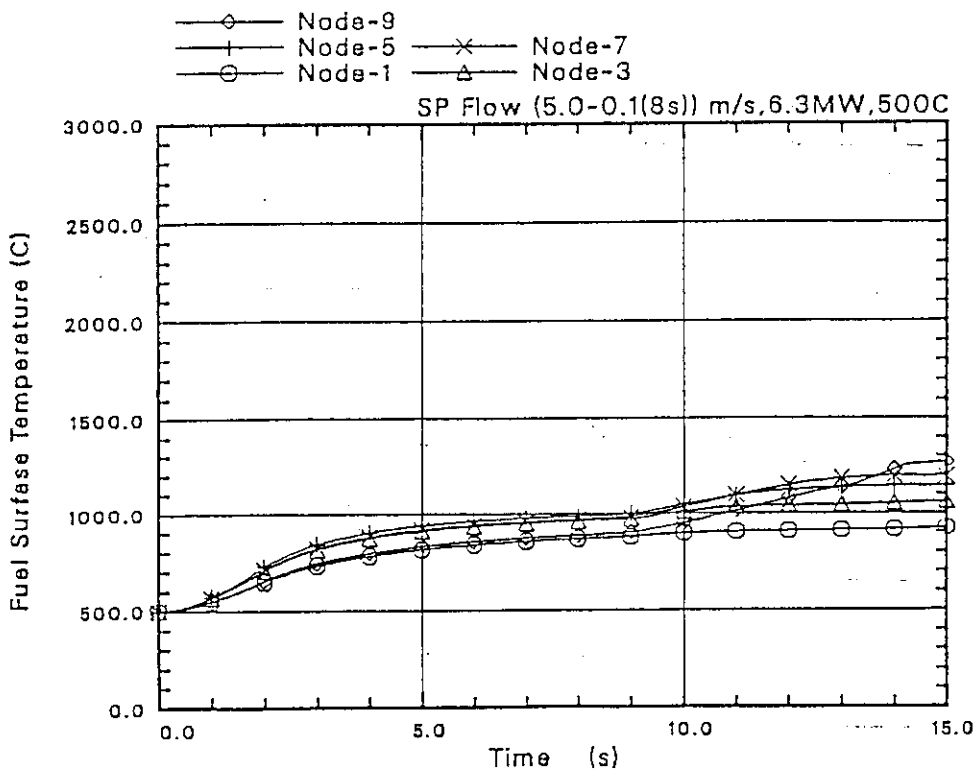


図 23-6 一定出力 (400W/cm) での LOF 模擬実験での実験燃料表面温度履歴 (ケース 35, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5 m/s ~ 0.1 m/s)

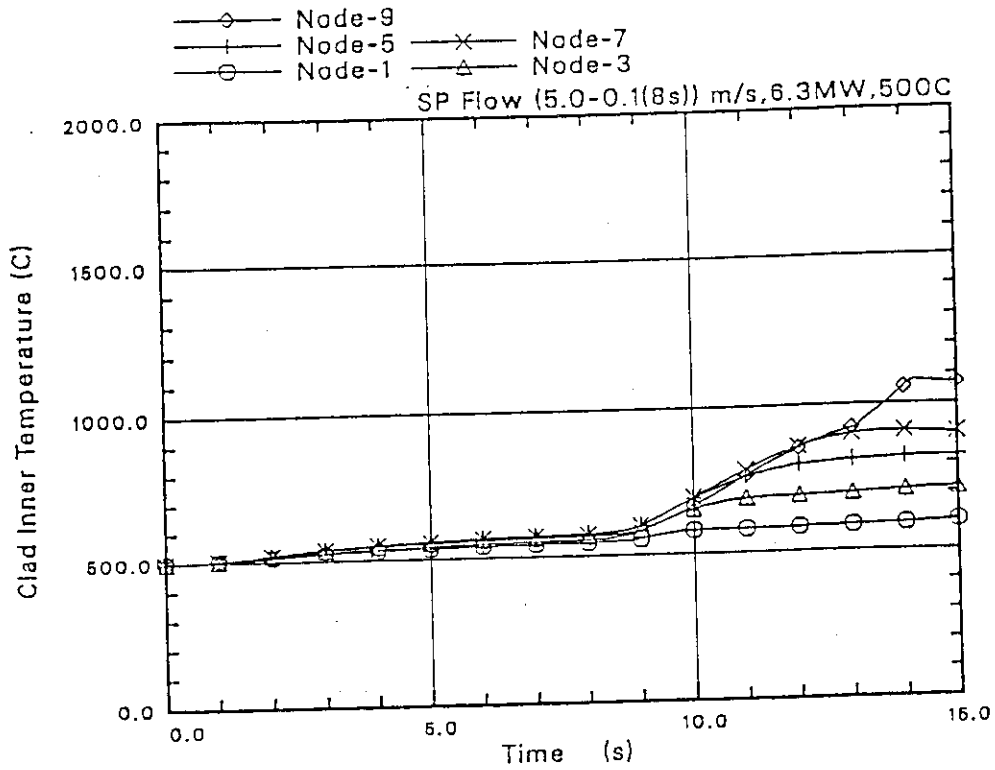


図 23-7 一定出力 (400W/cm) での LOF 模擬実験での被覆管内面温度履歴
 (ケース 35, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

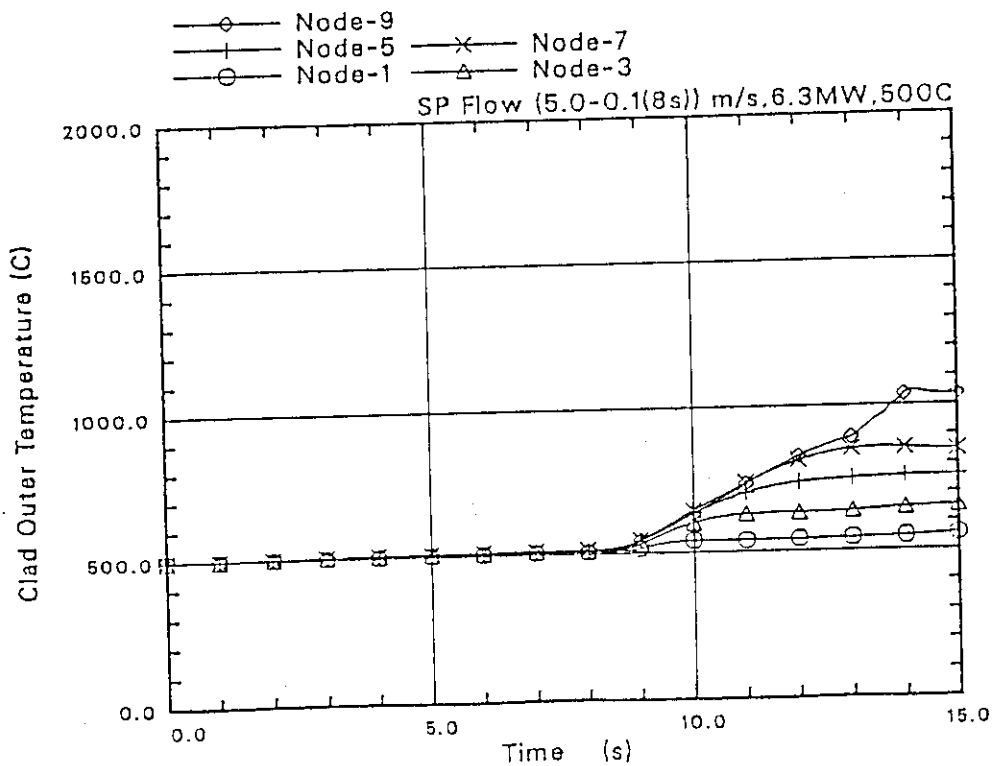


図 23-8 一定出力 (400W/cm) での LOF 模擬実験での被覆管表面温度履歴
 (ケース 35, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

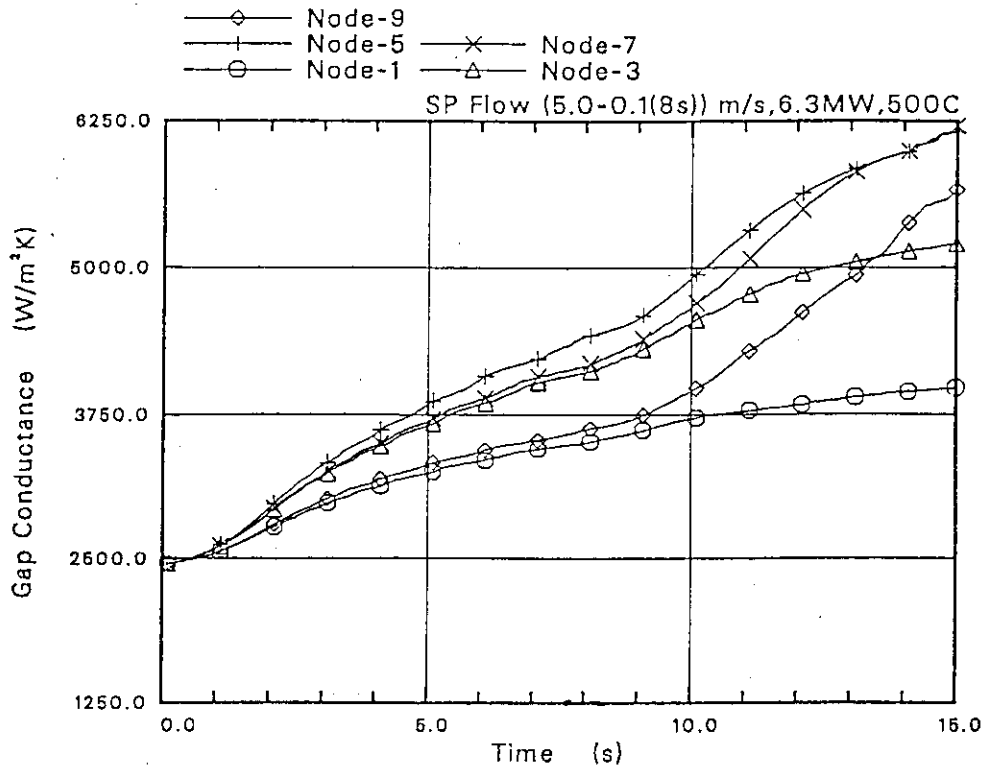


図 23-9 一定出力 (400W/cm) での LOF 模擬実験でのギャップコンダクタンスの時間変化 (ケース 35, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

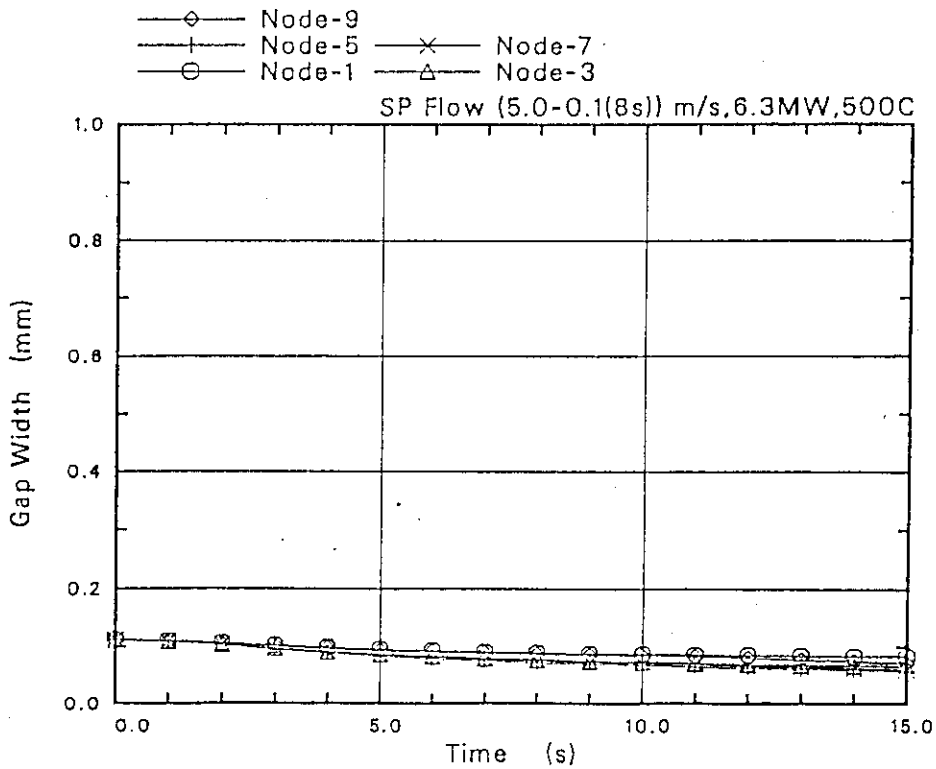


図 23-10 一定出力 (400W/cm) での LOF 模擬実験でのギャップ幅の時間変化 (ケース 35, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

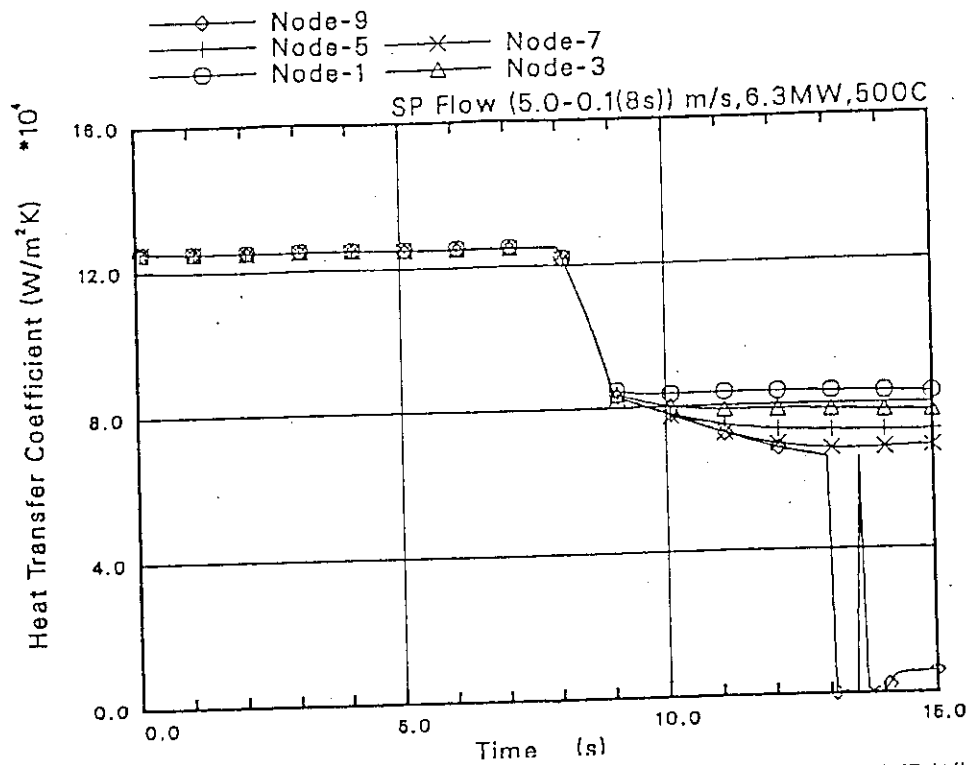


図 23-11 一定出力 (400W/cm) での LOF 模擬実験での熱伝達係数の時間変化 (ケース 35, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

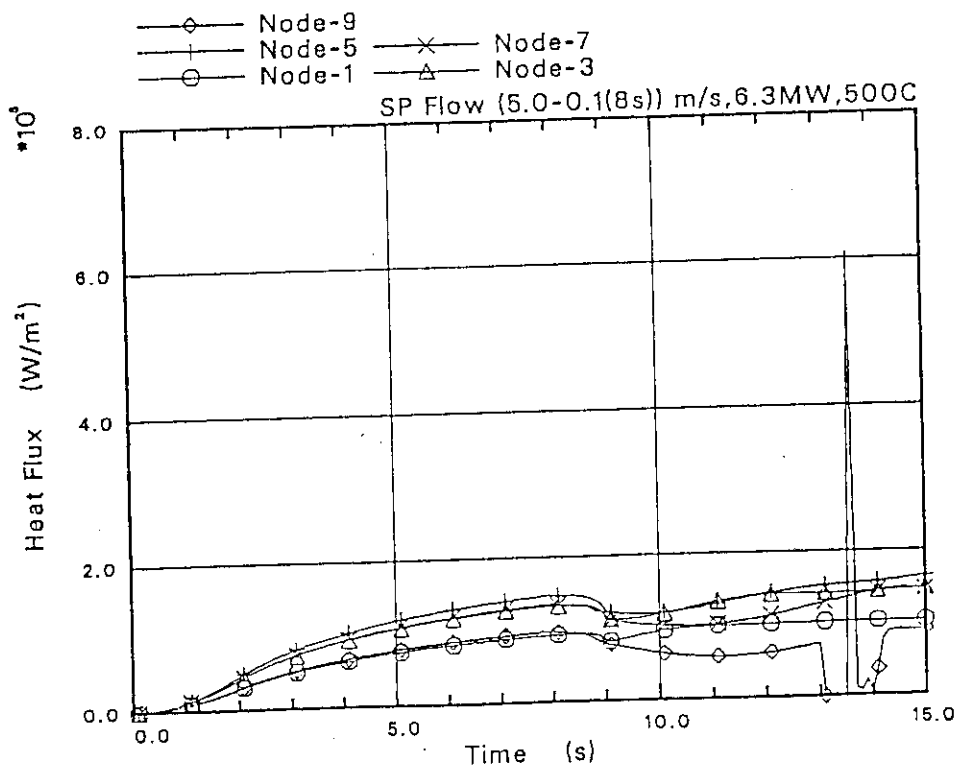


図 23-12 一定出力 (400W/cm) での LOF 模擬実験での熱流束の時間変化 (ケース 35, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

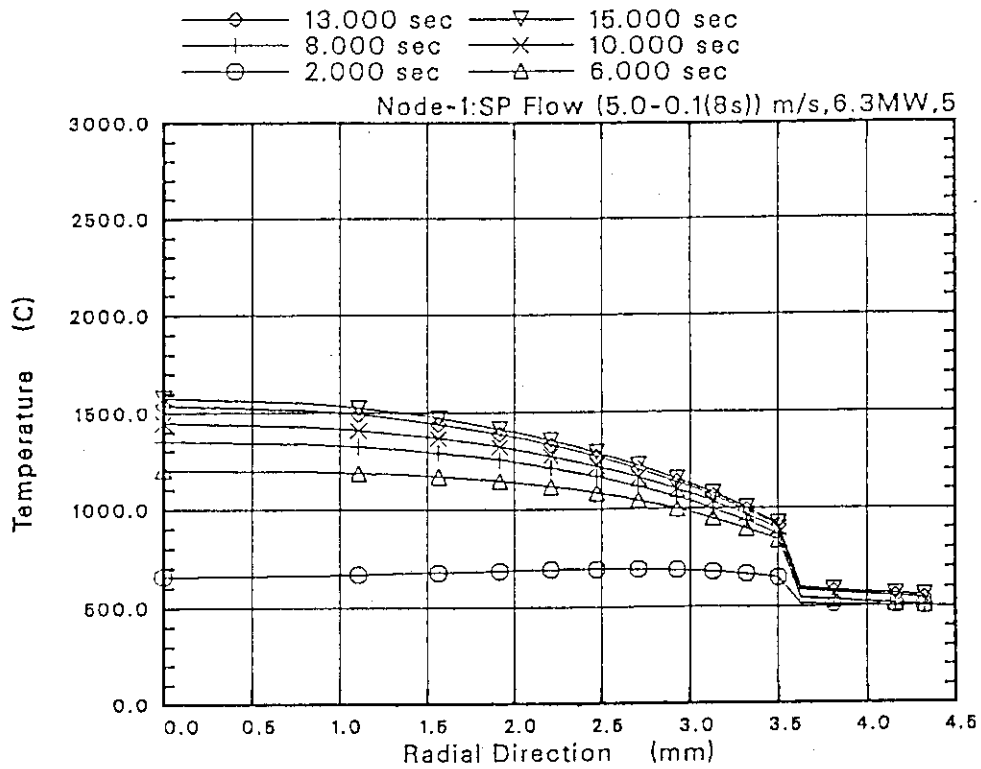


図 23-13 一定出力(400W/cm)での LOF 模擬実験での実験燃料(ノード1)の半径方向温度分布 (ケース 35, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

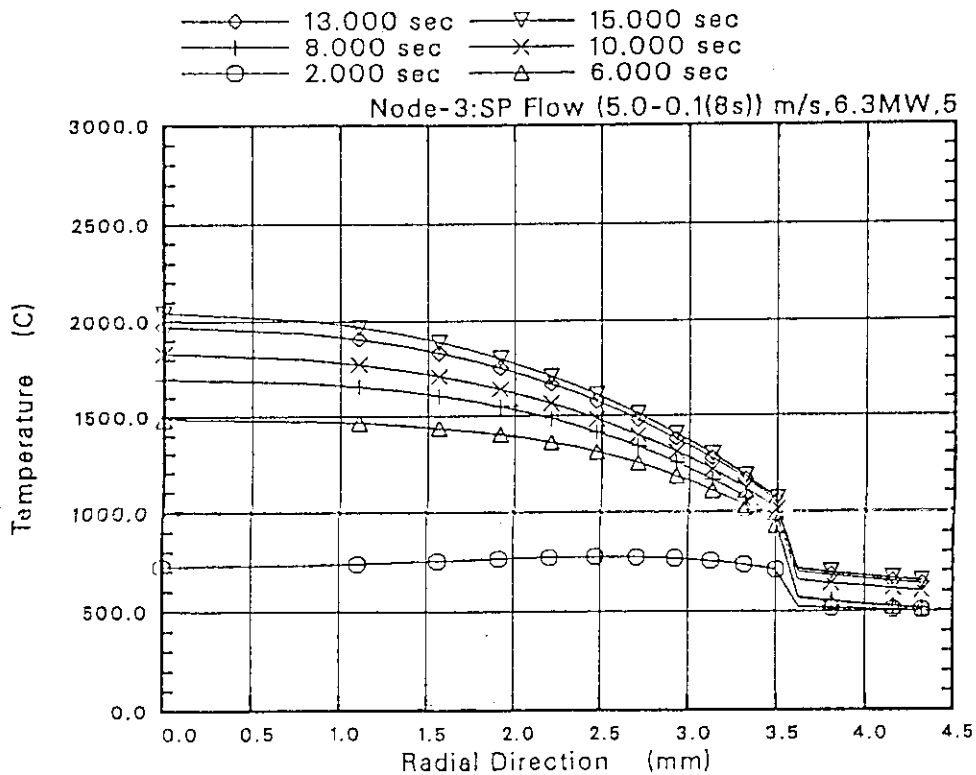


図 23-14 一定出力(400W/cm)での LOF 模擬実験での実験燃料(ノード3)の半径方向温度分布 (ケース 35, 太径燃料, Na 冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

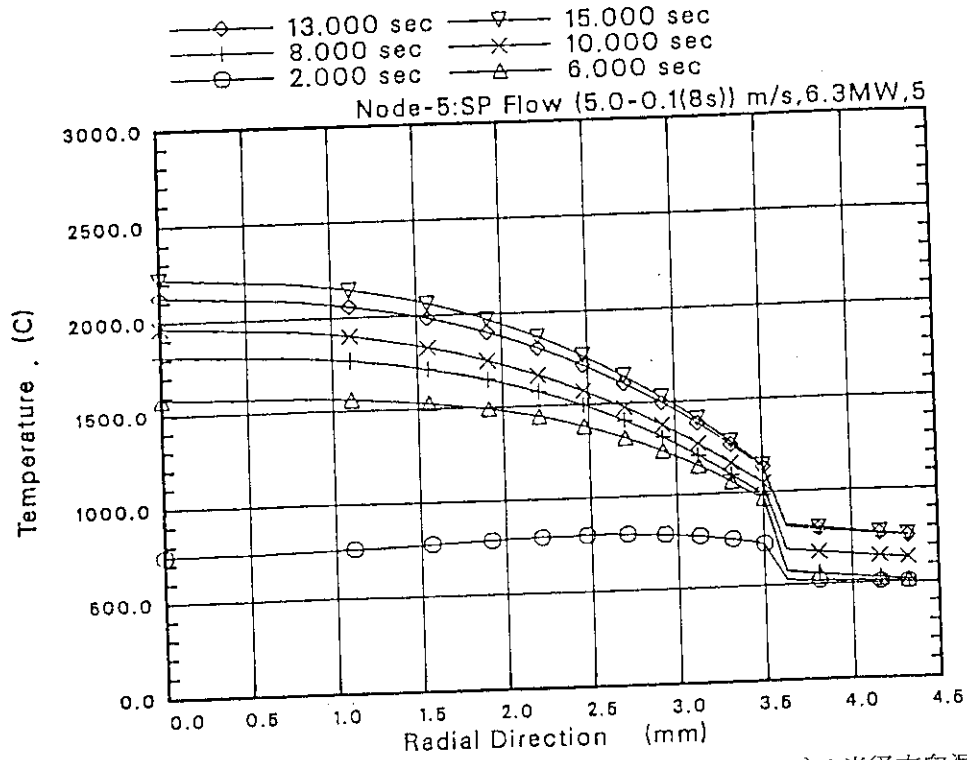


図 23-15 一定出力(400W/cm)での LOF 模擬実験での実験燃料(ノード5)の半径方向温度分布 (ケース35, 太径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

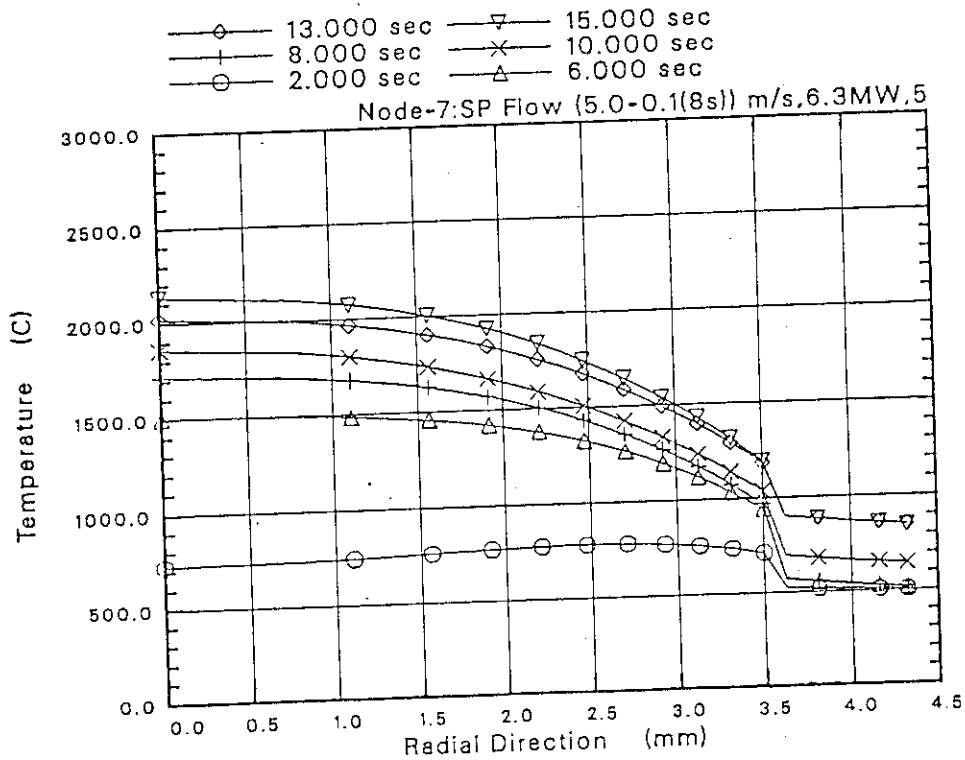


図 23-16 一定出力(400W/cm)での LOF 模擬実験での実験燃料(ノード7)の半径方向温度分布 (ケース35, 太径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

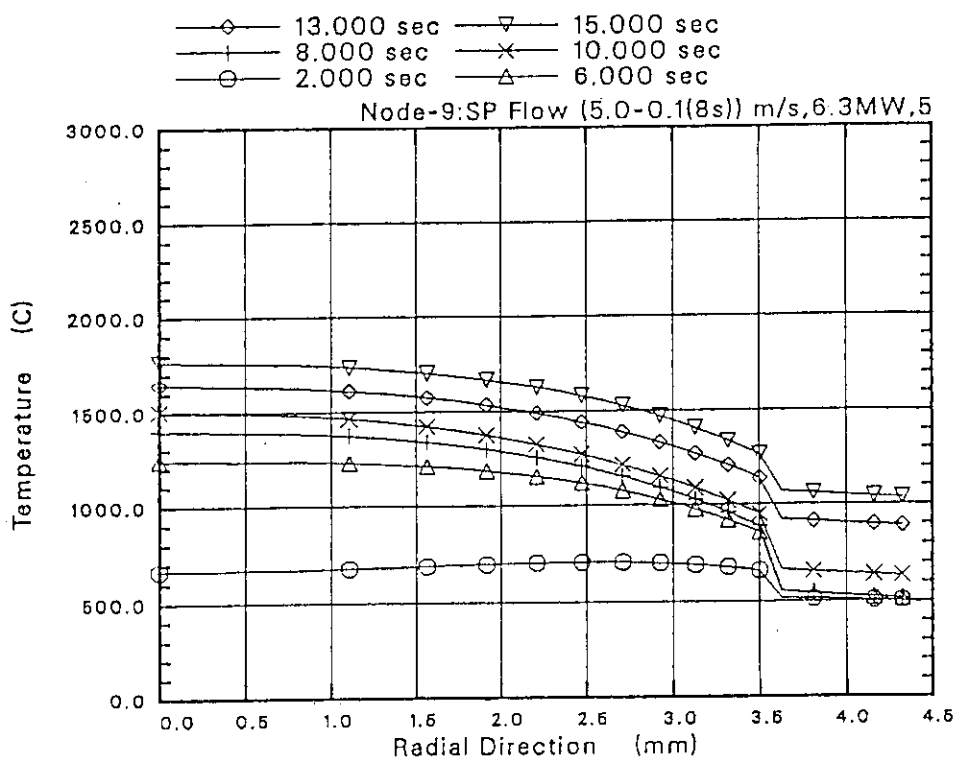


図 23-17 一定出力(400W/cm)でのLOF模擬実験での実験燃料(ノード9)の半径方向温度分布 (ケース 35, 太径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

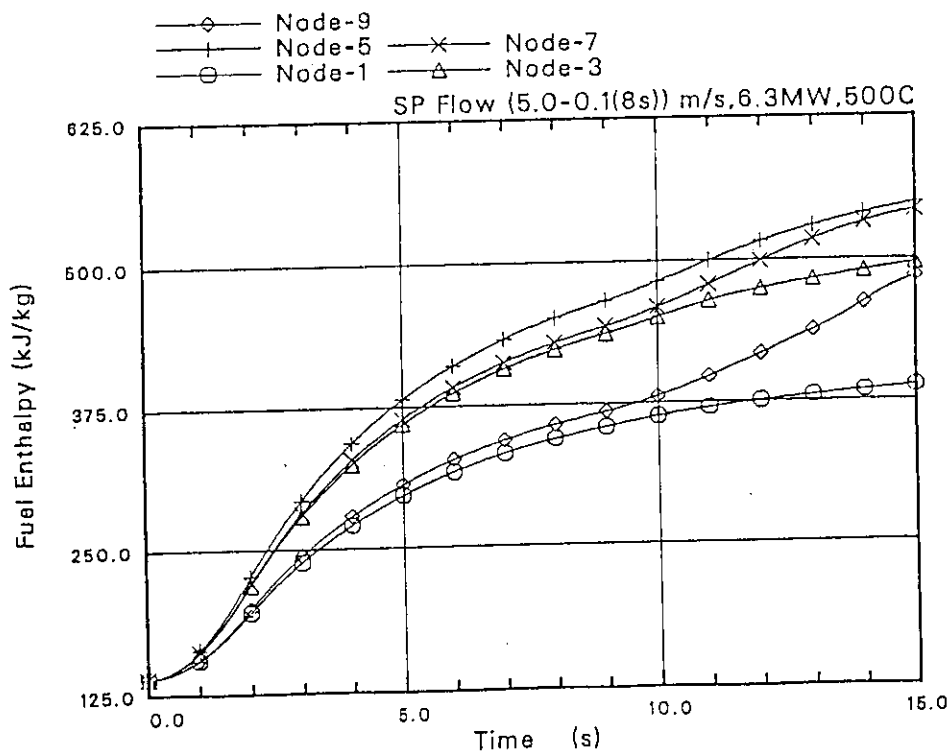


図 23-18 一定出力(400W/cm)でのLOF模擬実験での実験燃料エンタルピの時間変化 (ケース 35, 太径燃料, Na冷却材 500°C, 5m/s~0.1m/s)

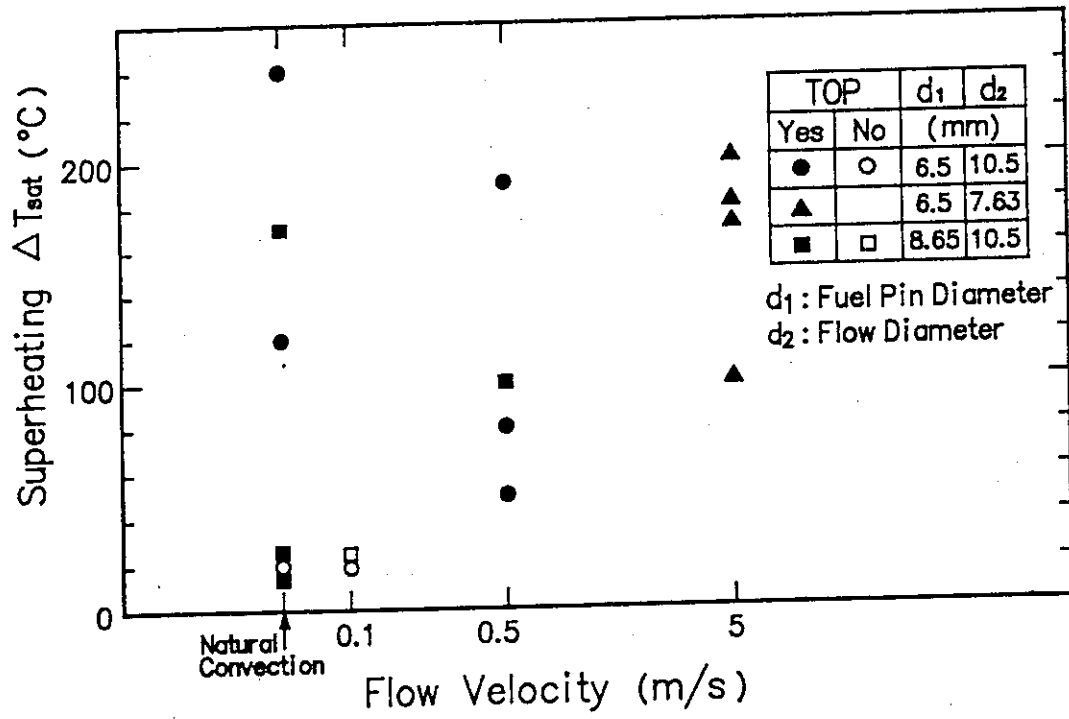
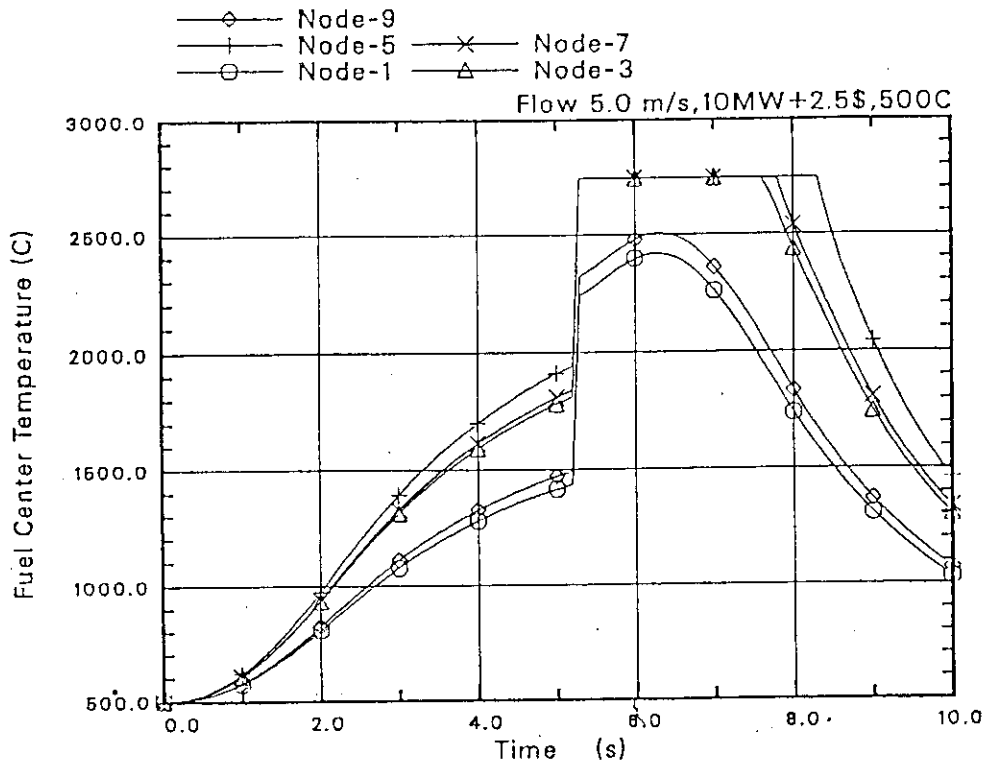
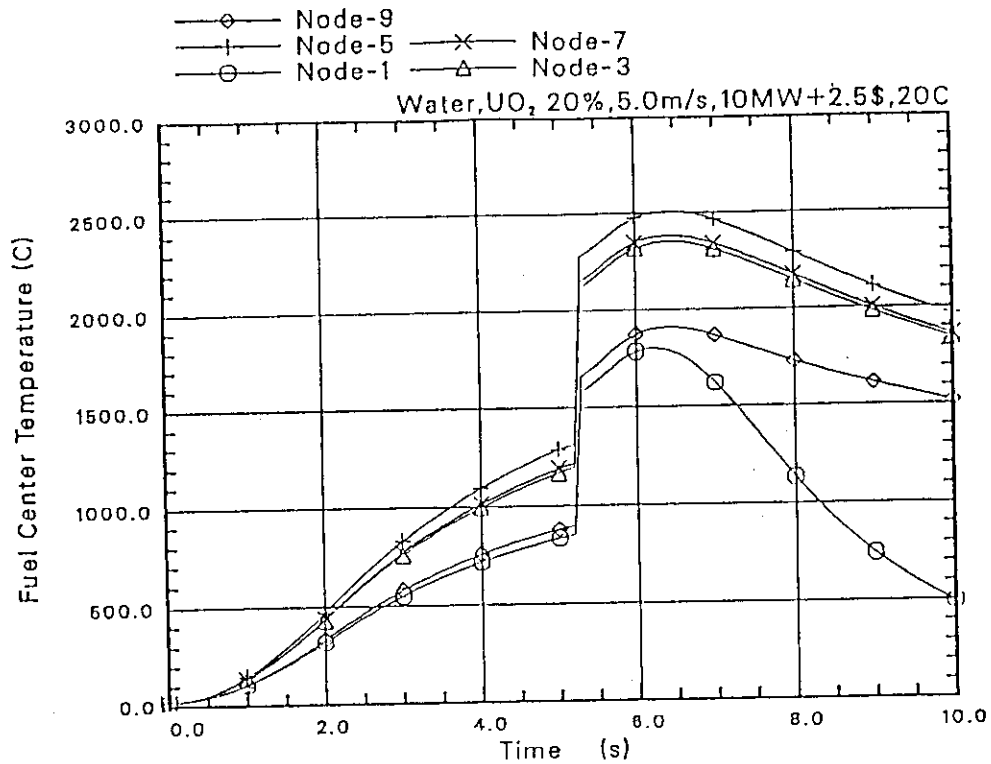


図 24 NSRR 高速炉燃料実験スコーピング計算におけるスーパーヒート

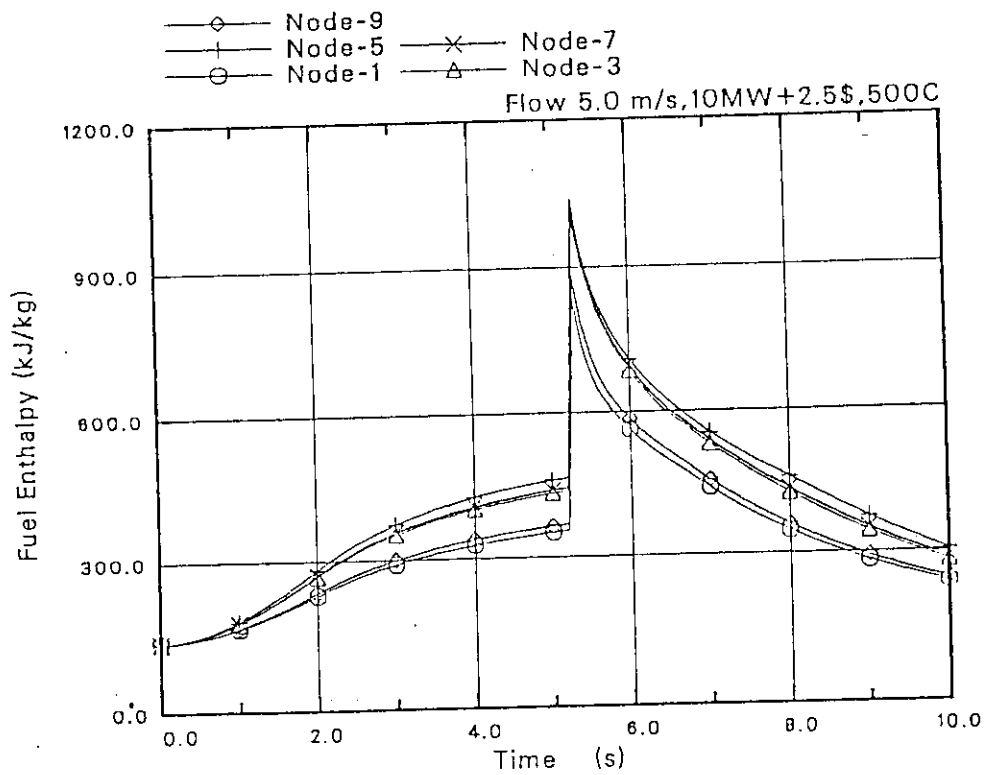


(a) Na冷却条件 (500°C, 5.0m/s)

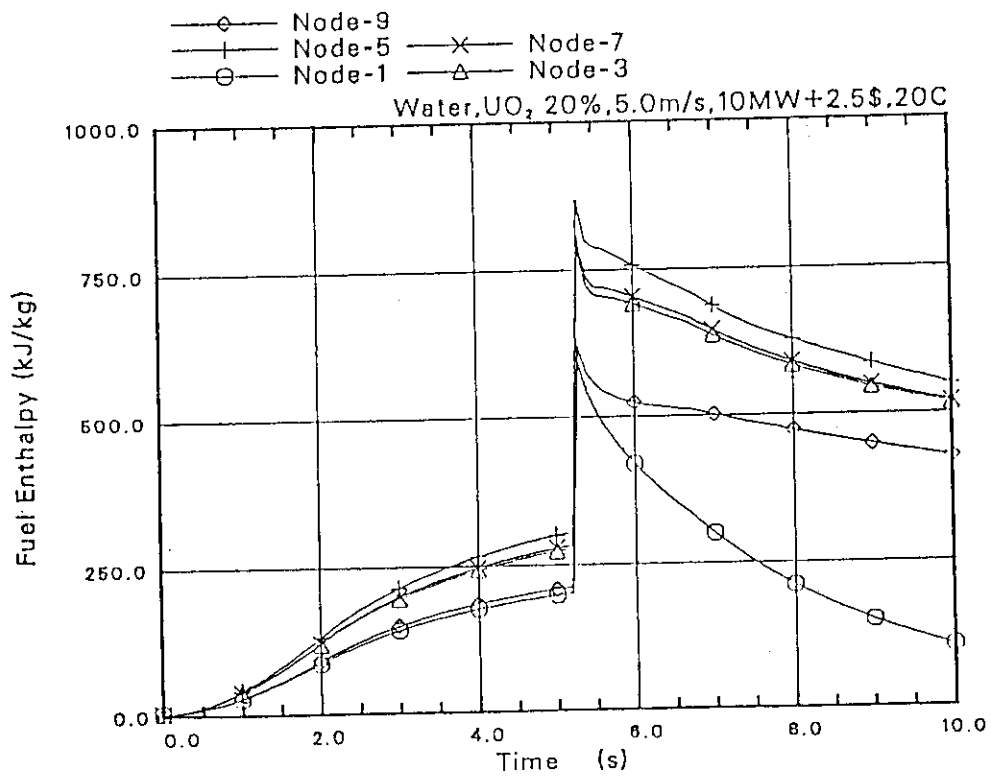


(b) 水冷却条件 (常温, 5.0m/s)

図 25-1 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$2.5) での実験燃料中心温度履歴の比較

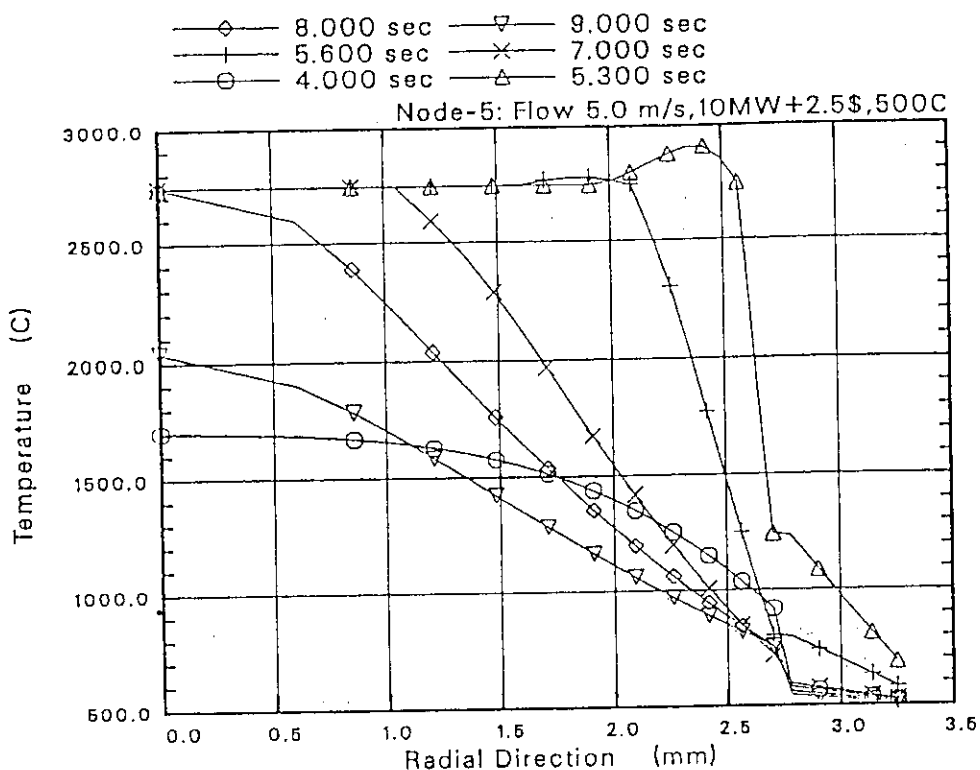


(a) Na 冷却条件 (500°C, 5.0m/s)

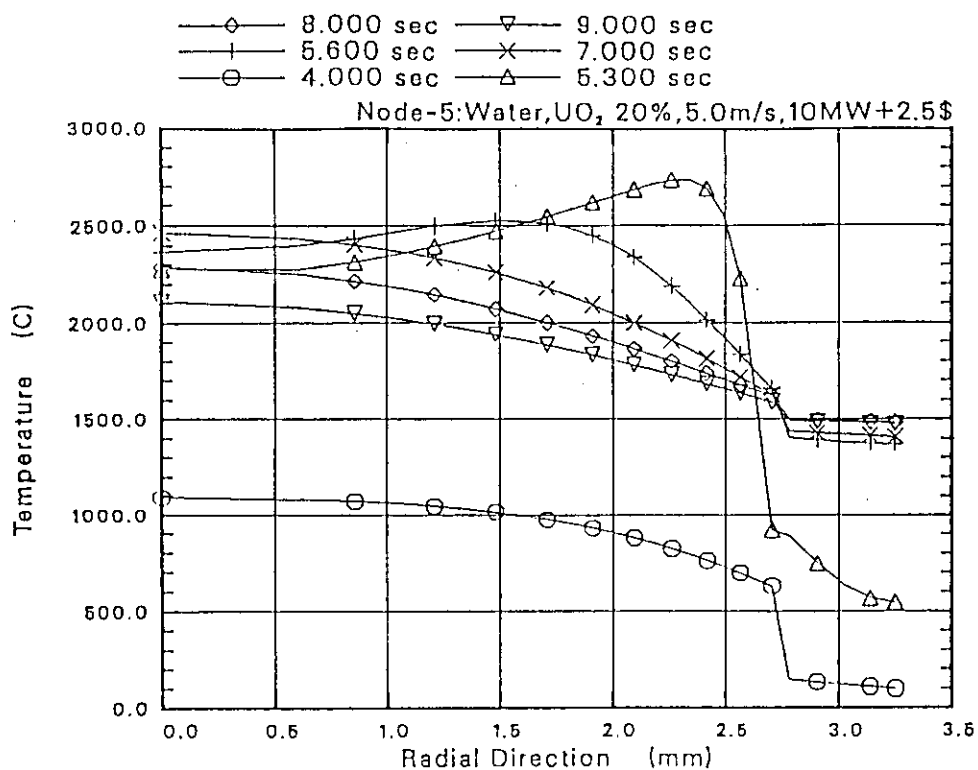


(b) 水冷却条件 (常温, 5.0m/s)

図 25-2 一定出力(470W/cm)からのTOP(\$2.5)での実験燃料エンタルピの時間変化の比較

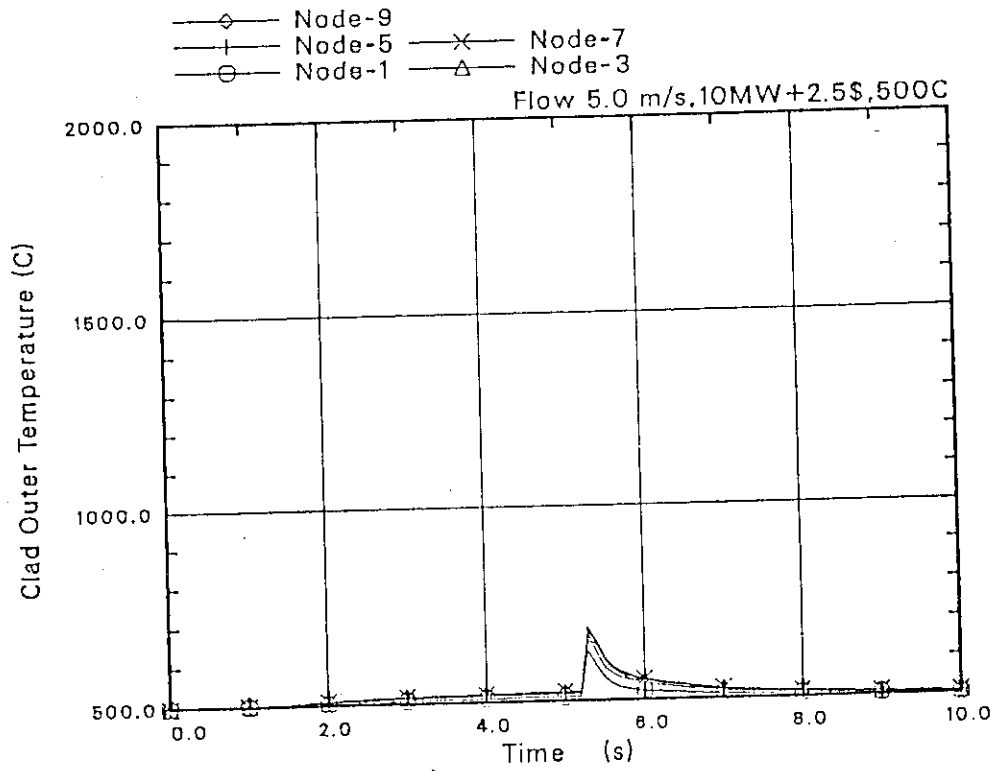


(a) Na 冷却条件 (500°C, 5.0m/s)

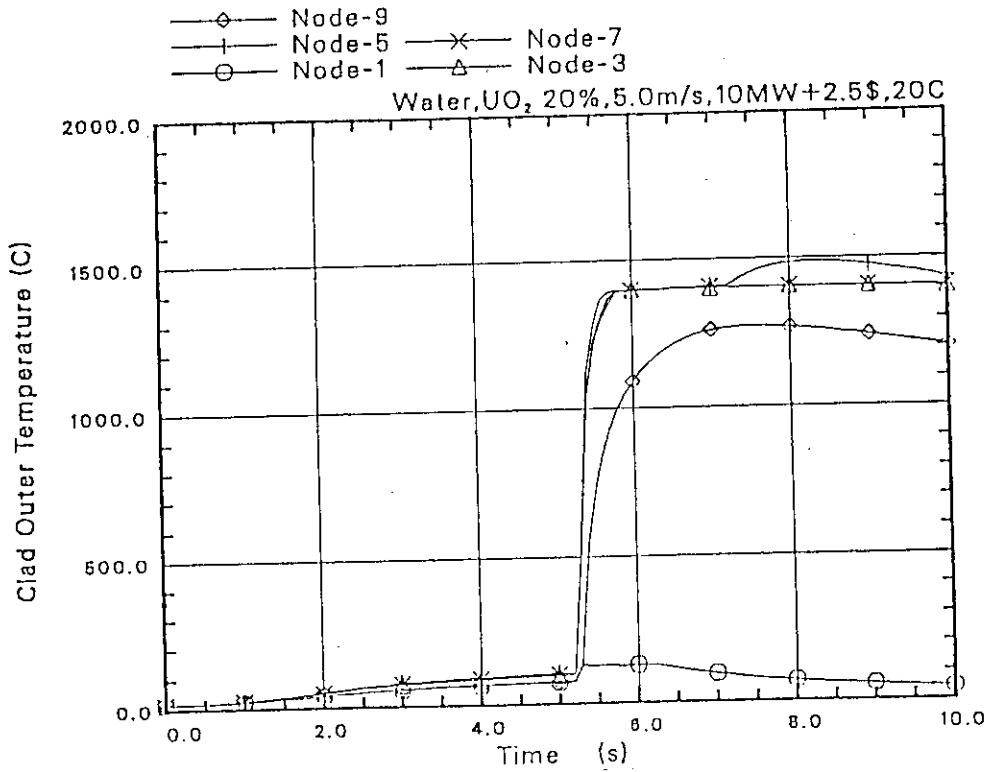


(b) 水冷却条件 (常温, 5.0m/s)

図 25-3 一定出力(470W/cm)からのTOP(\$ 2.5)での実験燃料(ノード5)の半径方向温度分布の比較

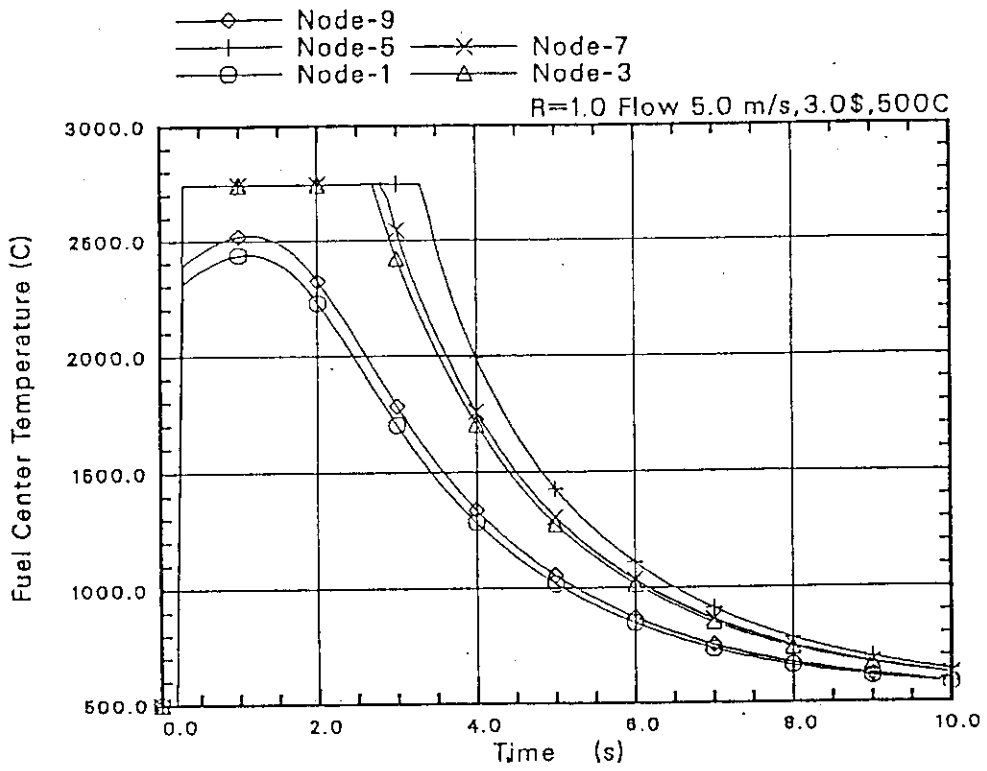


(a) Na 冷却条件 (500°C, 5.0m/s)

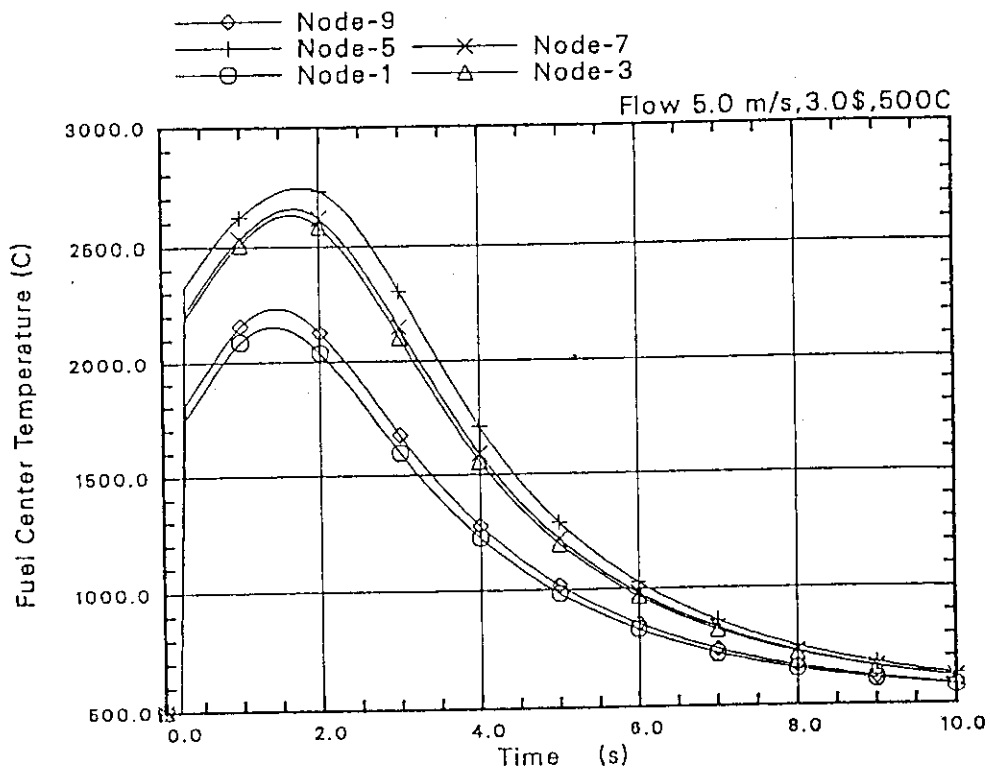


(b) 水冷却条件 (常温, 5.0m/s)

図 25-4 一定出力 (470W/cm) からの TOP (\$2.5) での被覆管表面温度履歴の比較

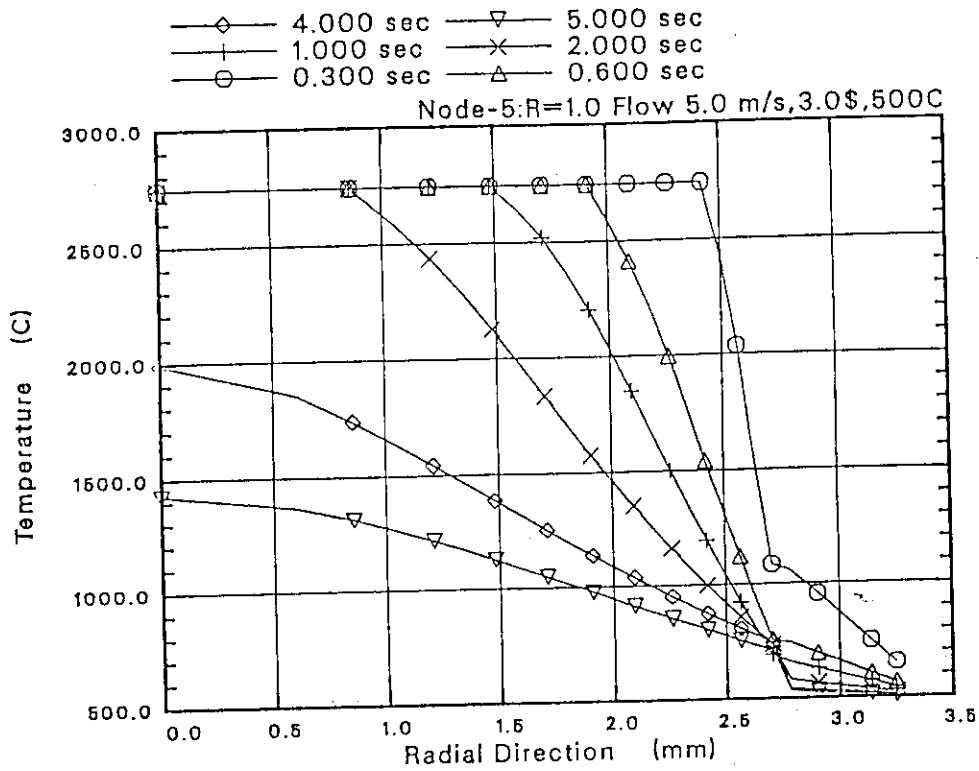


(a) 半径方向ピーキング係数1.0

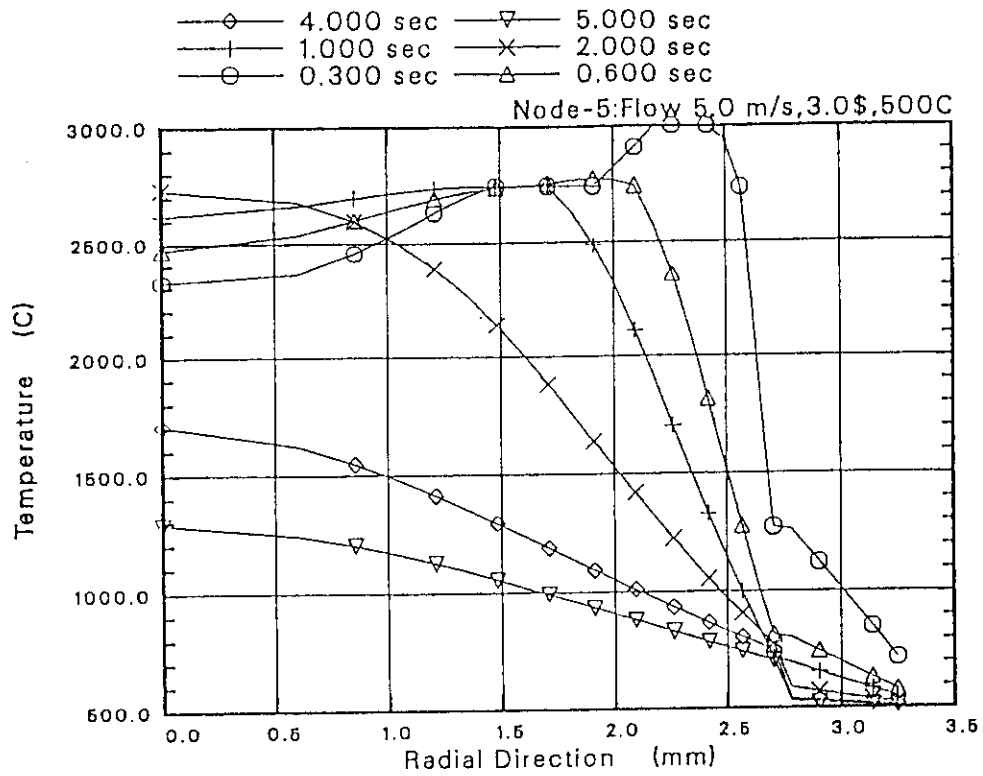


(b) 半径方向ピーキング係数1.7

図 26-1 零出力からのTOP (\$2.5)での実験燃料中心温度履歴の比較

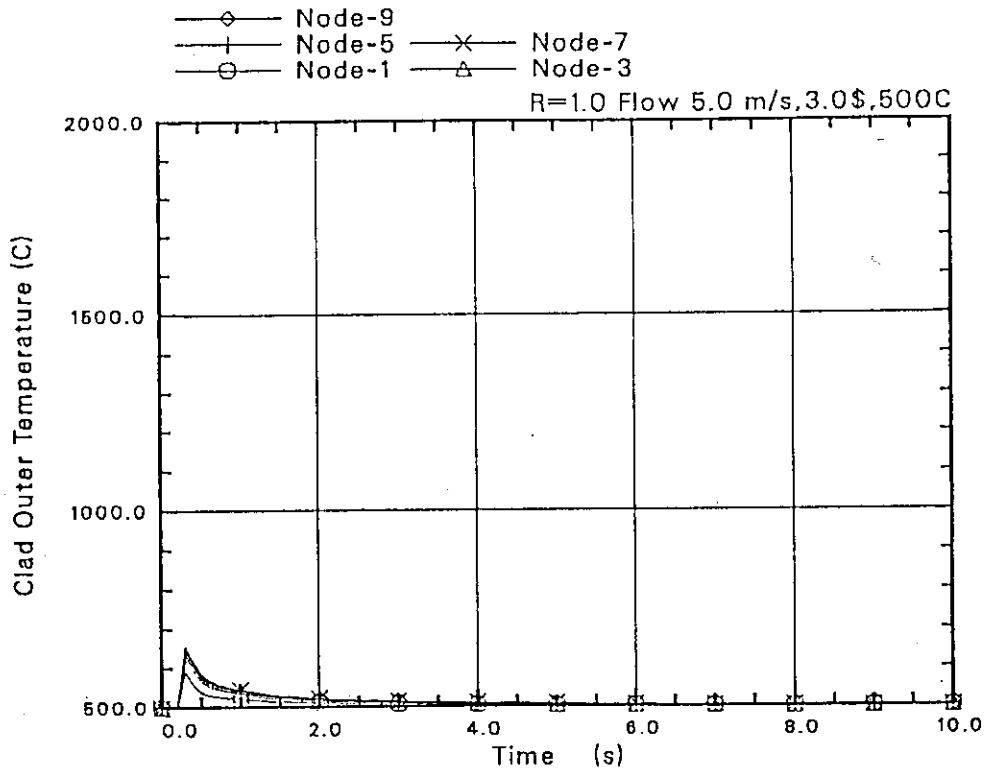


(a) 半径方向ピーキング係数1.0

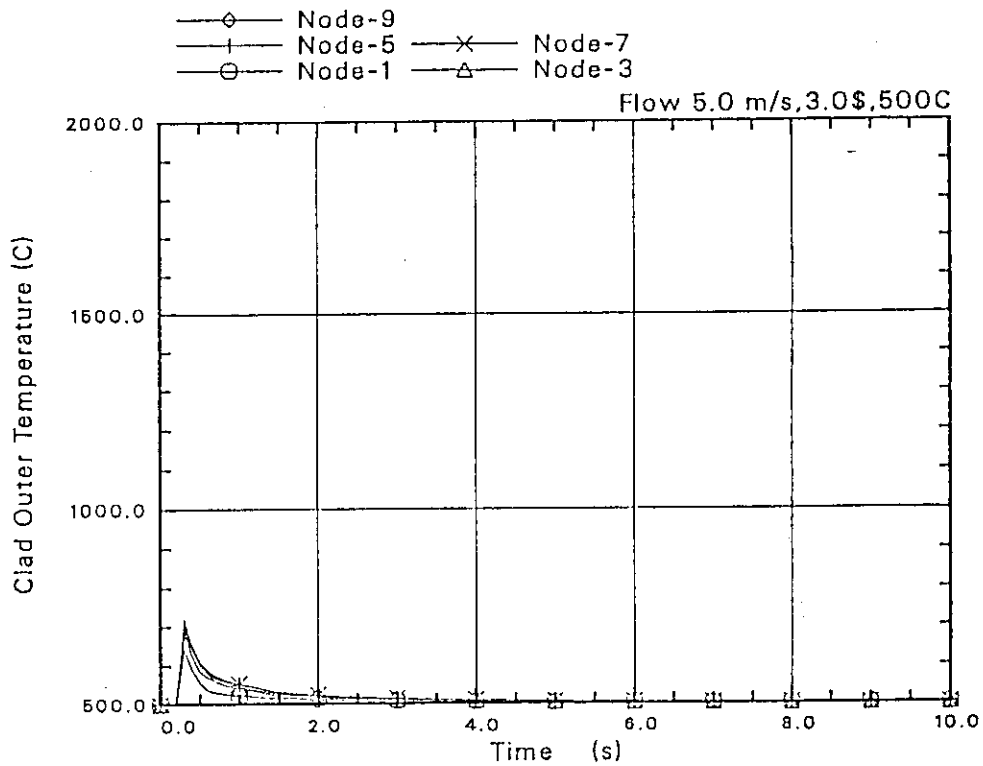


(b) 半径方向ピーキング係数1.7

図 26-2 零出力からのTOP (\$2.5)での実験燃料(ノード5)の半径方向温度分布の比較

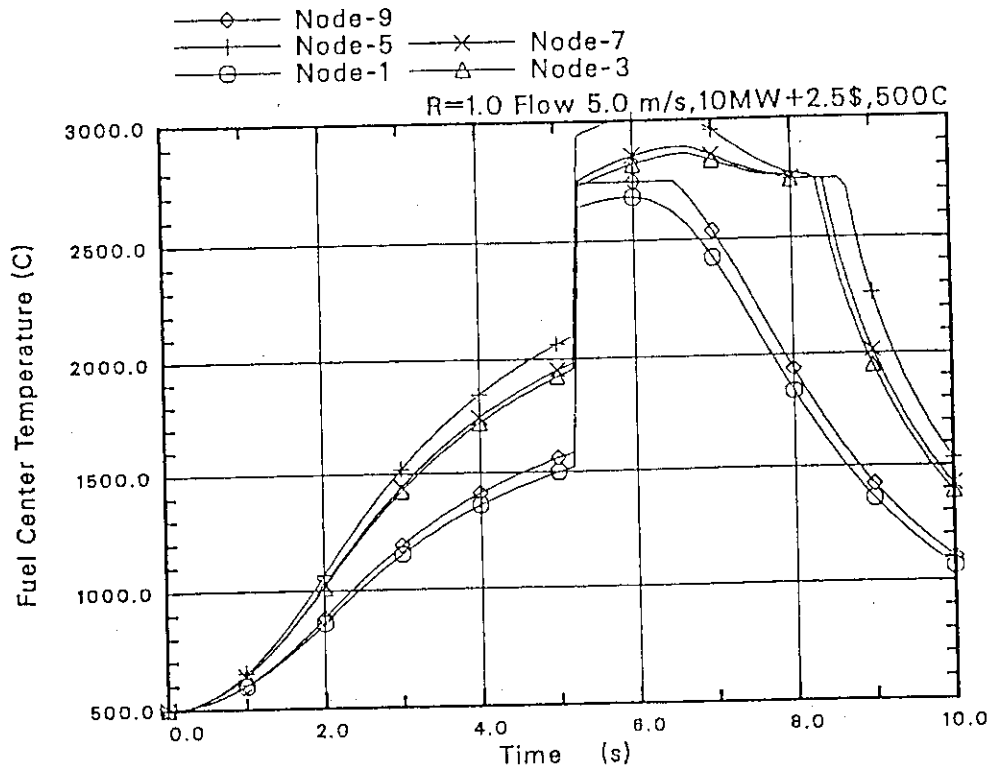


(a) 半径方向ピーキング係数1.0

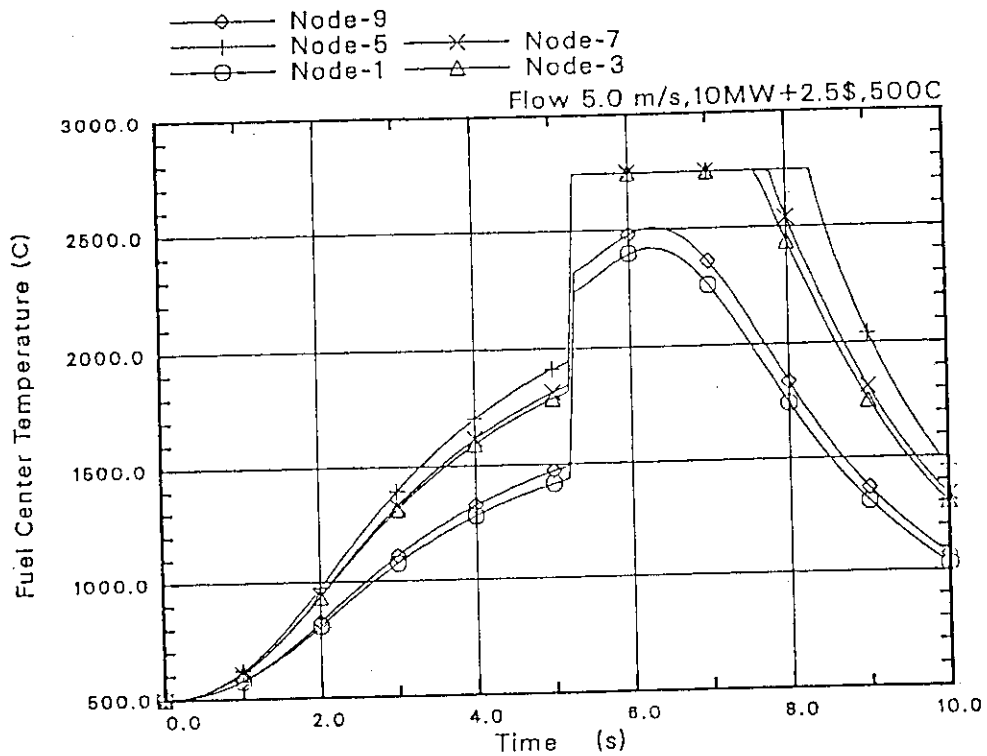


(b) 半径方向ピーキング係数1.7

図 26-3 零出力からの TOP (\$2.5) での被覆管表面温度履歴の比較

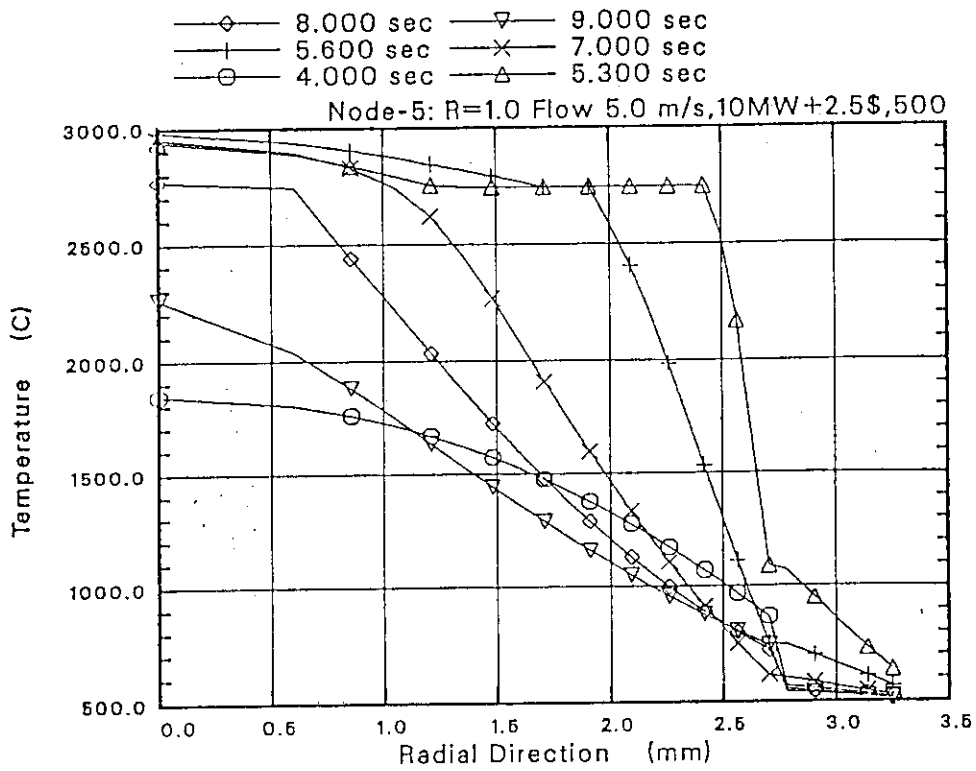


(a) 半径方向ピーキング係数1.0

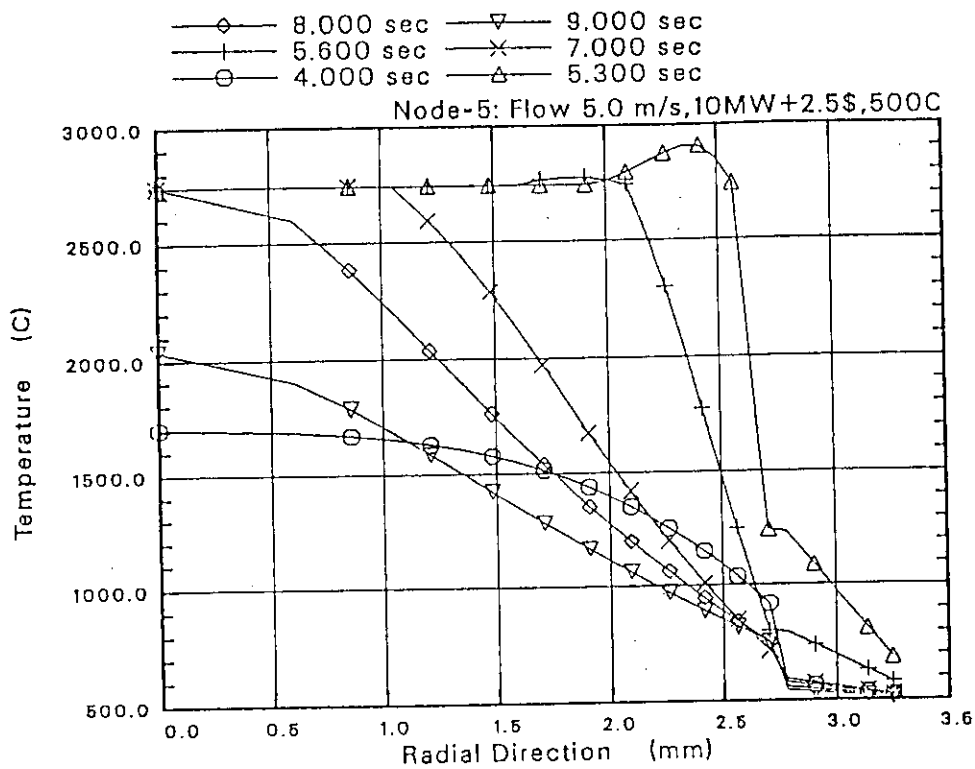


(b) 半径方向ピーキング係数1.7

図 27-1 一定出力(470W/cm)からのTOP(\$2.5)での実験燃料中心温度履歴の比較

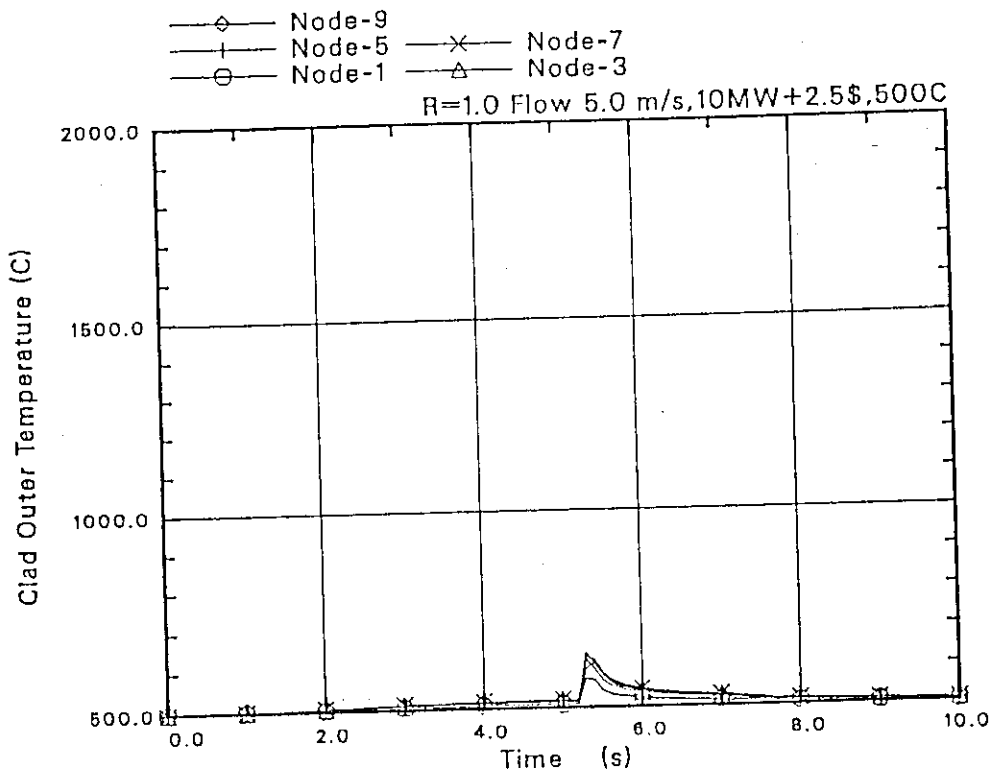


(a) 半径方向ピーキング係数1.0

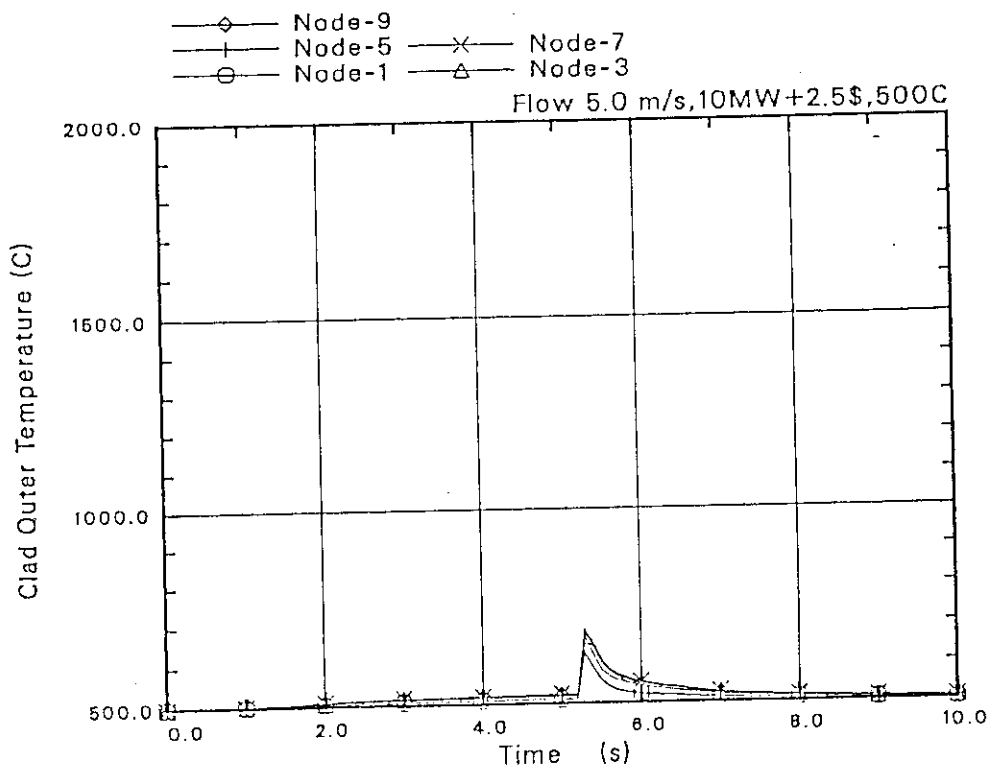


(b) 半径方向ピーキング係数1.7

図 27-2 一定出力(470W/cm)からのTOP(\$2.5)での実験燃料(ノ-5)の半径方向温度分布の比較



(a) 半径方向ピーキング係数1.0



(b) 半径方向ピーキング係数1.7

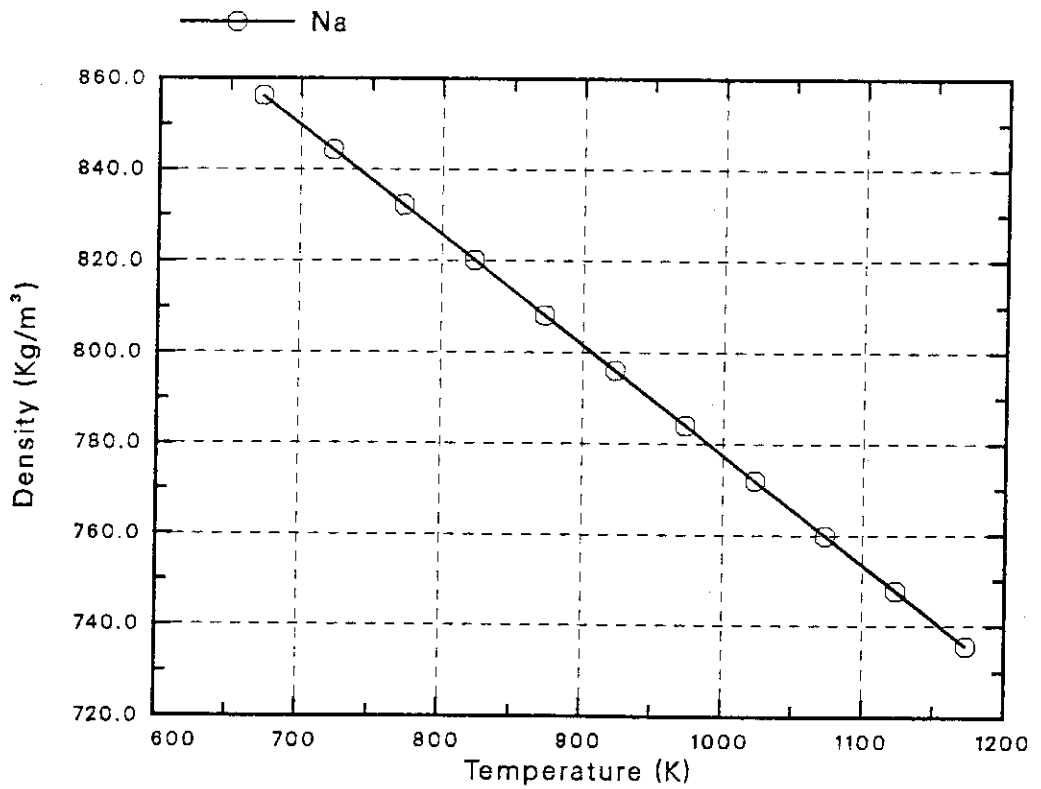
図 27-3 一定出力(470W/cm)からのTOP (\$2.5)での被覆管表面温度履歴の比較

付録A NSR77-FBR版で使用了物性値

1. ナトリウムの密度
2. ナトリウムの膨張係数
3. ナトリウムの粘性係数
4. ナトリウムの熱伝導係数
5. ナトリウムの比熱
6. ステンレス鋼 (SUS 316) の熱伝導係数
7. ステンレス鋼 (SUS 316) の比熱
8. ステンレス鋼 (SUS 316) のヤング率
9. ステンレス鋼 (SUS 316) のポアソン比
10. ステンレス鋼 (SUS 316) の線膨張係数
11. ステンレス鋼 (SUS 316) の応力-歪線図
12. 混合酸化物燃料の融点
13. 混合酸化物燃料の熱伝導係数
14. 混合酸化物燃料の比熱
15. 金属燃料 (U-19Pu-10Zr) の熱伝導係数
16. 金属燃料 (U-19Pu-10Zr) の比熱

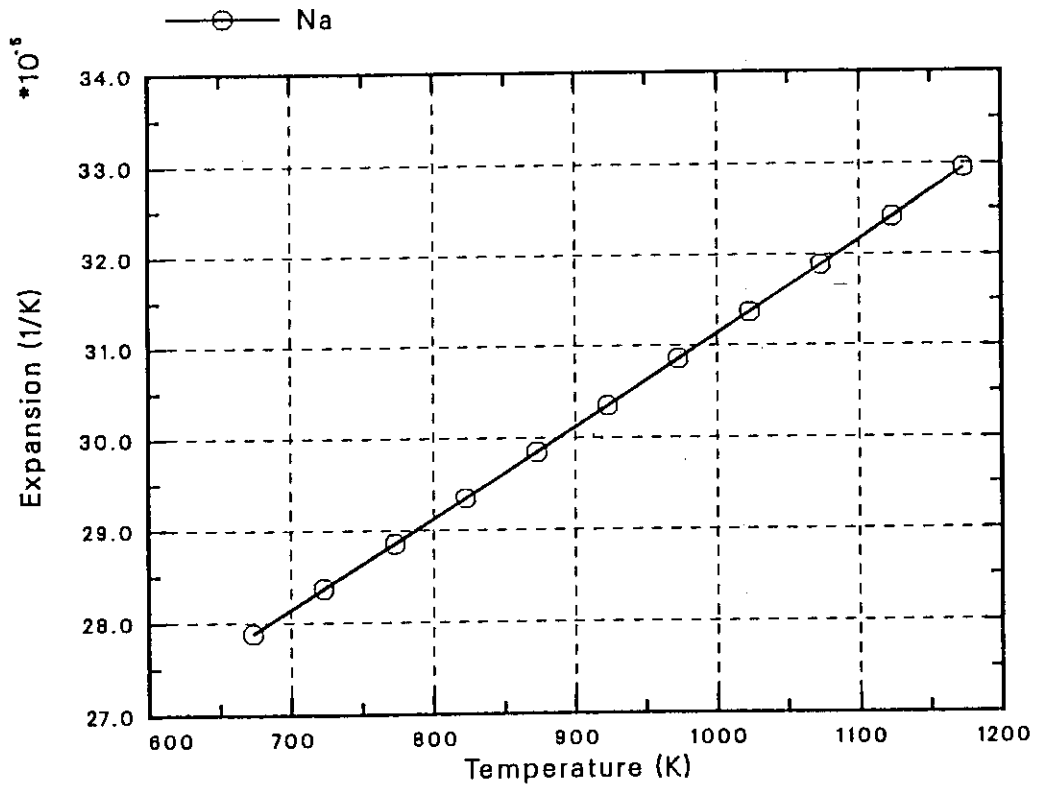
1. ナトリウムの密度

温度 (K)	密度 (kg/m ³)
673	856
723	844
773	832
823	820
873	808
923	796
973	784
1023	772
1073	760
1123	748
1173	736



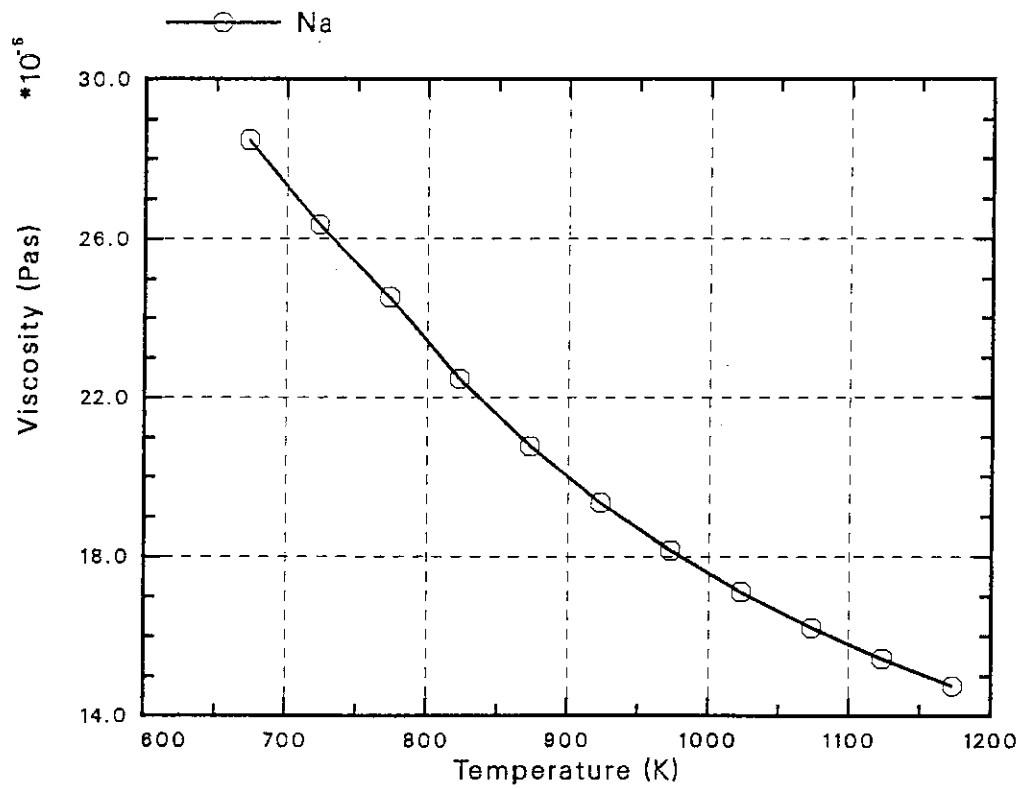
2. ナトリウムの膨張係数

温度 (K)	膨張係数 (1/K)
673	2.78849×10^{-4}
723	2.83673×10^{-4}
773	2.88549×10^{-4}
823	2.93477×10^{-4}
873	2.98456×10^{-4}
923	3.03487×10^{-4}
973	3.08574×10^{-4}
1023	3.13715×10^{-4}
1073	3.18913×10^{-4}
1123	3.24169×10^{-4}
1173	3.29483×10^{-4}



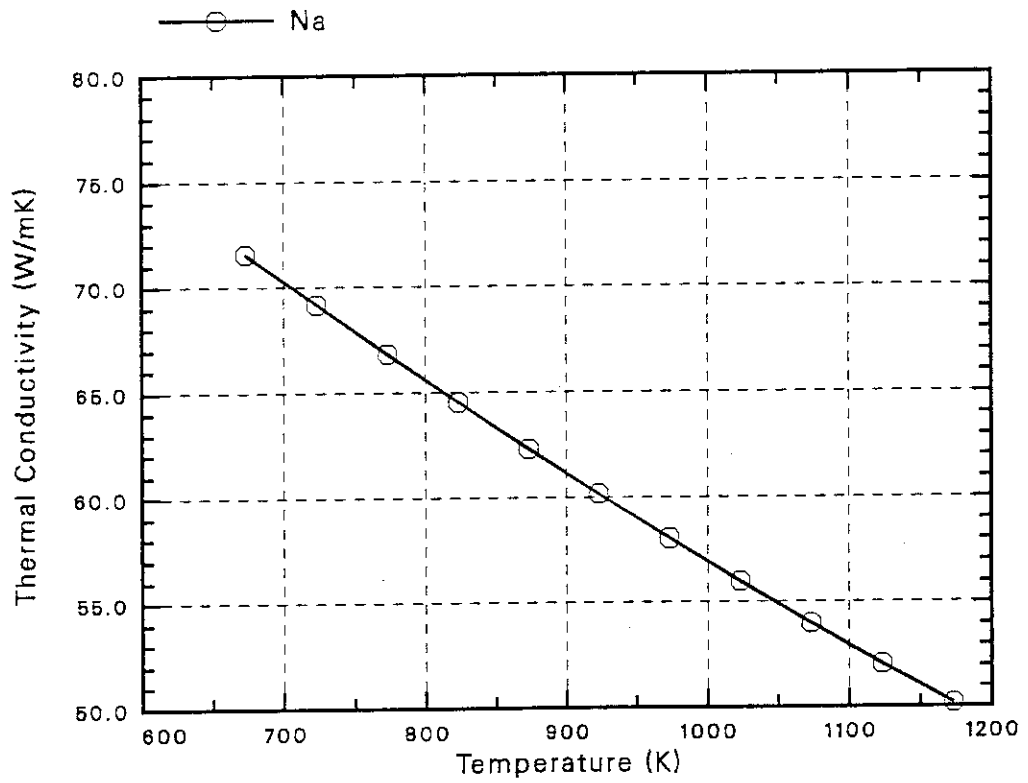
3. ナトリウムの粘性係数

温度 (K)	粘性係数 (mPa · s)
673	0.285
723	0.264
773	0.245
823	0.225
873	0.208
923	0.194
973	0.182
1023	0.171
1073	0.162
1123	0.154
1173	0.148



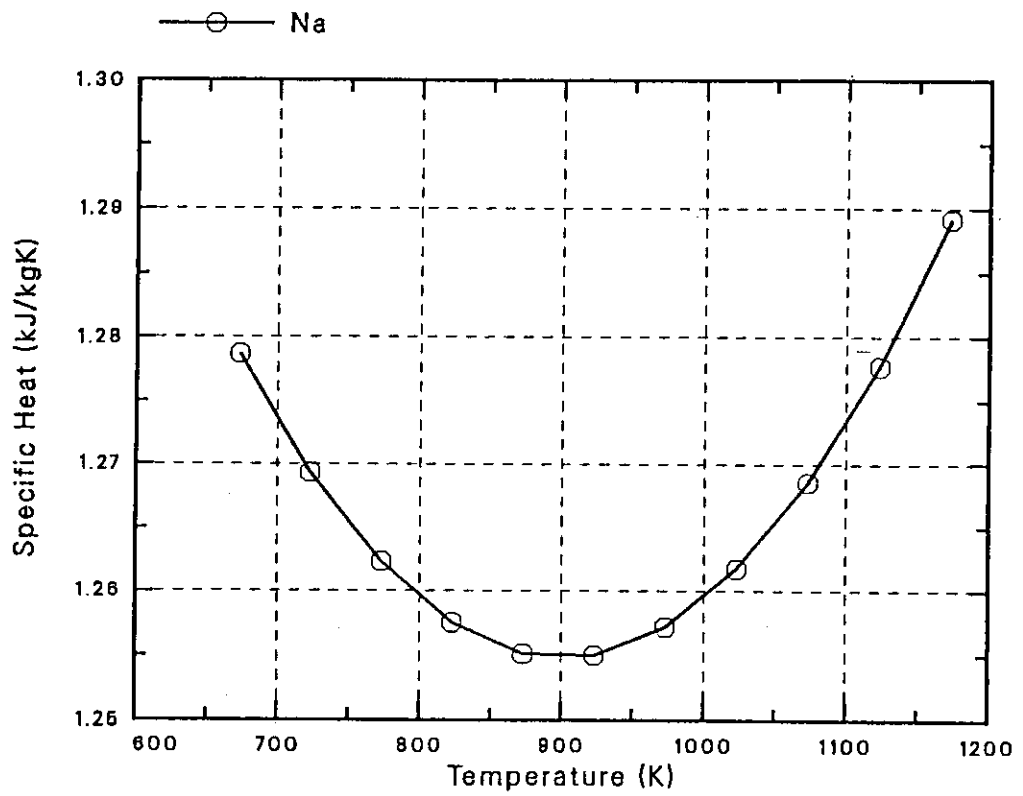
4. ナトリウムの熱伝導係数

温度 (K)	熱伝導係数 (W/mK)
673	71.6
723	69.2
773	66.8
823	64.6
873	62.3
923	60.1
973	58.0
1023	56.0
1073	54.0
1123	52.0
1173	50.2



5. ナトリウムの比熱

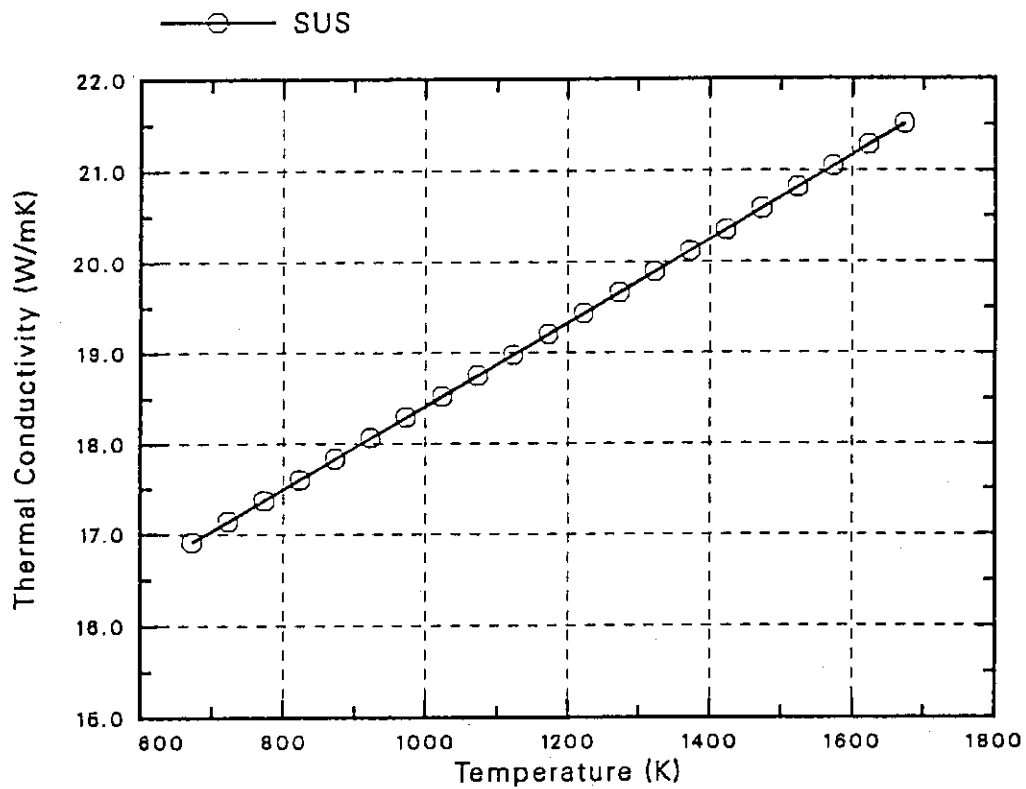
温度 (K)	比熱 (kJ/kgK)
673	1.279
723	1.269
773	1.262
823	1.258
873	1.255
923	1.255
973	1.257
1023	1.262
1073	1.269
1123	1.278
1173	1.289



6. ステンレス鋼の熱伝導係数

温度 (K)	熱伝導係数 (W/mK)
673	16.9163
723	17.1458
773	17.3752
823	17.6046
873	17.8341
923	18.0635
973	18.2930
1023	18.5224
1073	18.7518
1123	18.9813

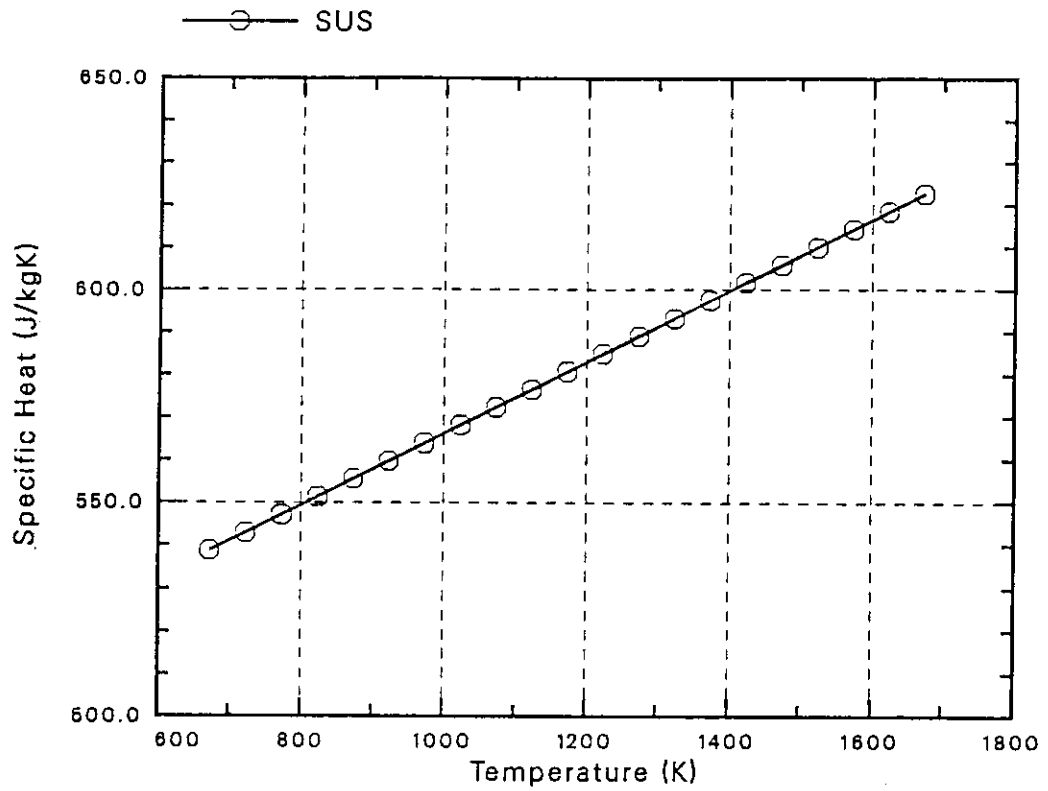
温度 (K)	熱伝導係数 (W/mK)
1173	19.2107
1223	19.4401
1273	19.6696
1323	19.8990
1373	20.1284
1423	20.3579
1473	20.5873
1523	20.8168
1573	21.0462
1623	21.2756
1673	21.5051



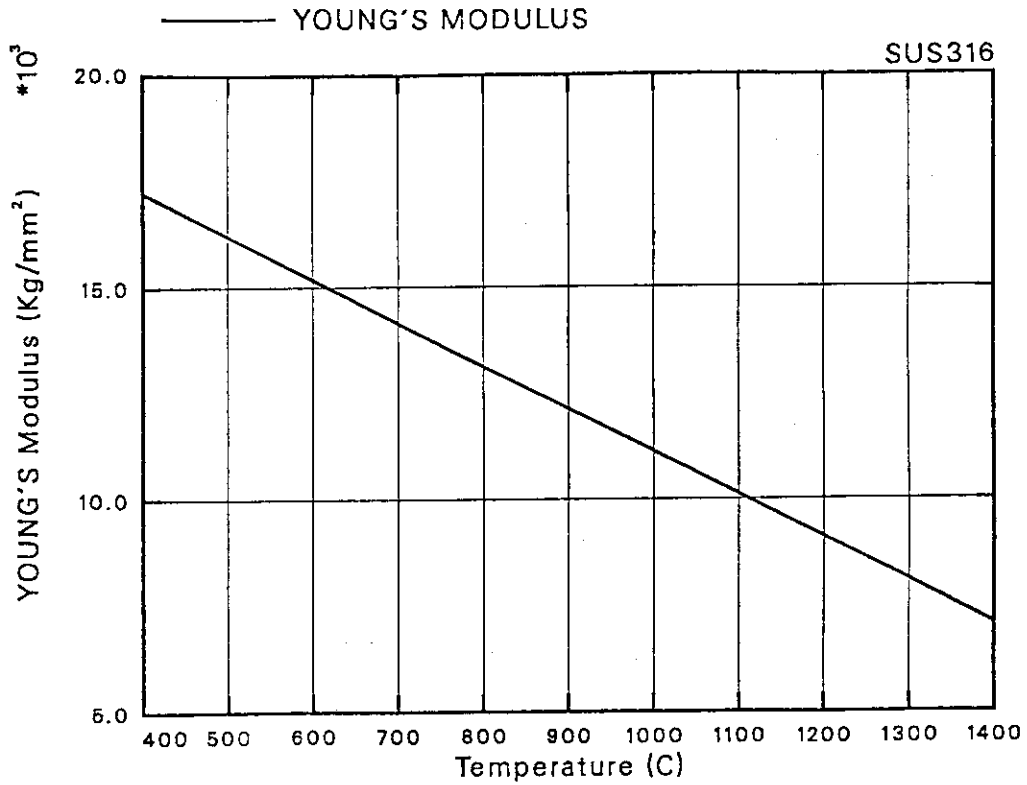
7. ステンレス鋼の比熱

温度 (K)	比熱 (J/kgK)
673	538.743
723	542.940
773	547.137
823	551.334
873	555.531
923	559.728
973	563.925
1023	568.122
1073	572.319
1123	576.517

温度 (K)	比熱 (J/kgK)
1173	580.714
1223	584.911
1273	589.108
1323	593.305
1373	597.502
1423	601.699
1473	605.896
1523	610.093
1573	614.290
1623	618.488
1673	622.685

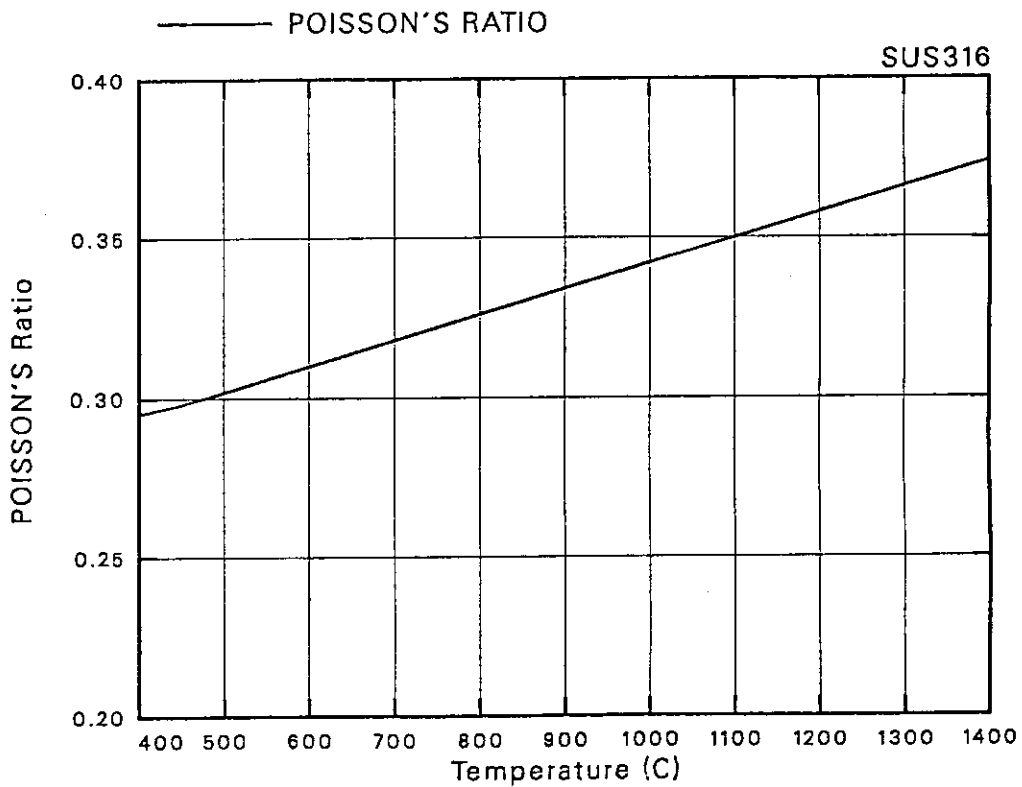


8. ステンレス鋼のヤング率



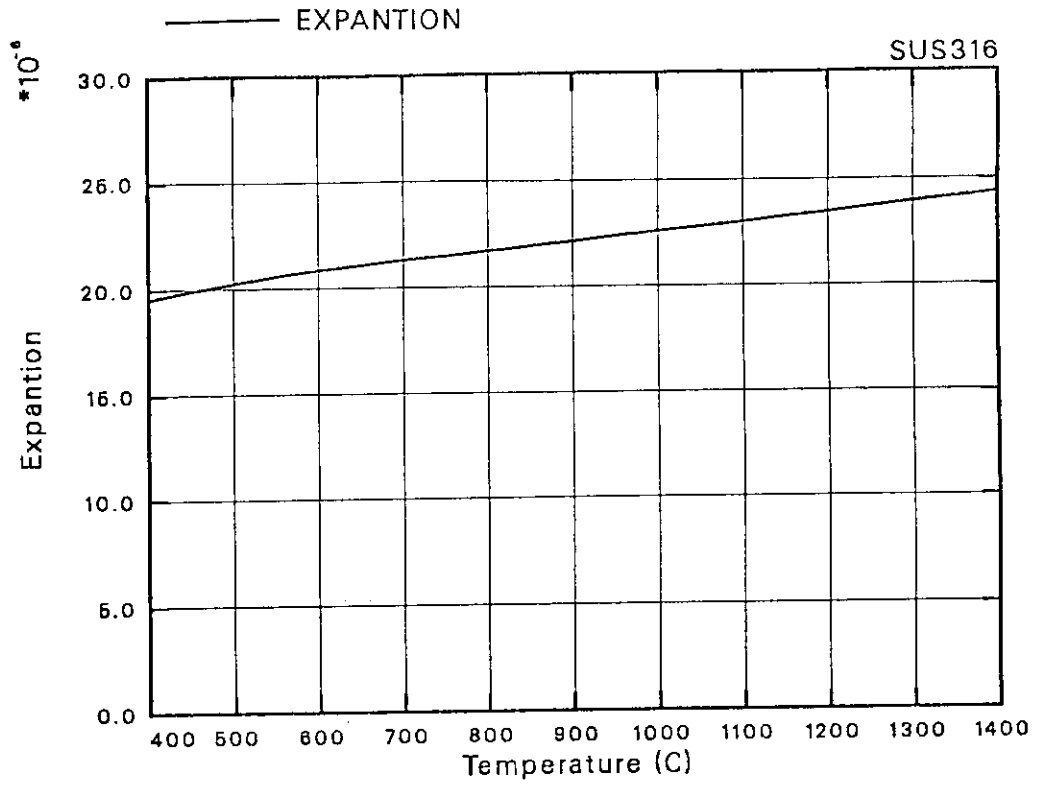
ヤング係数

9. ステンレス鋼のポアソン比



ポアソン比

10. ステンレス鋼の線膨張係数

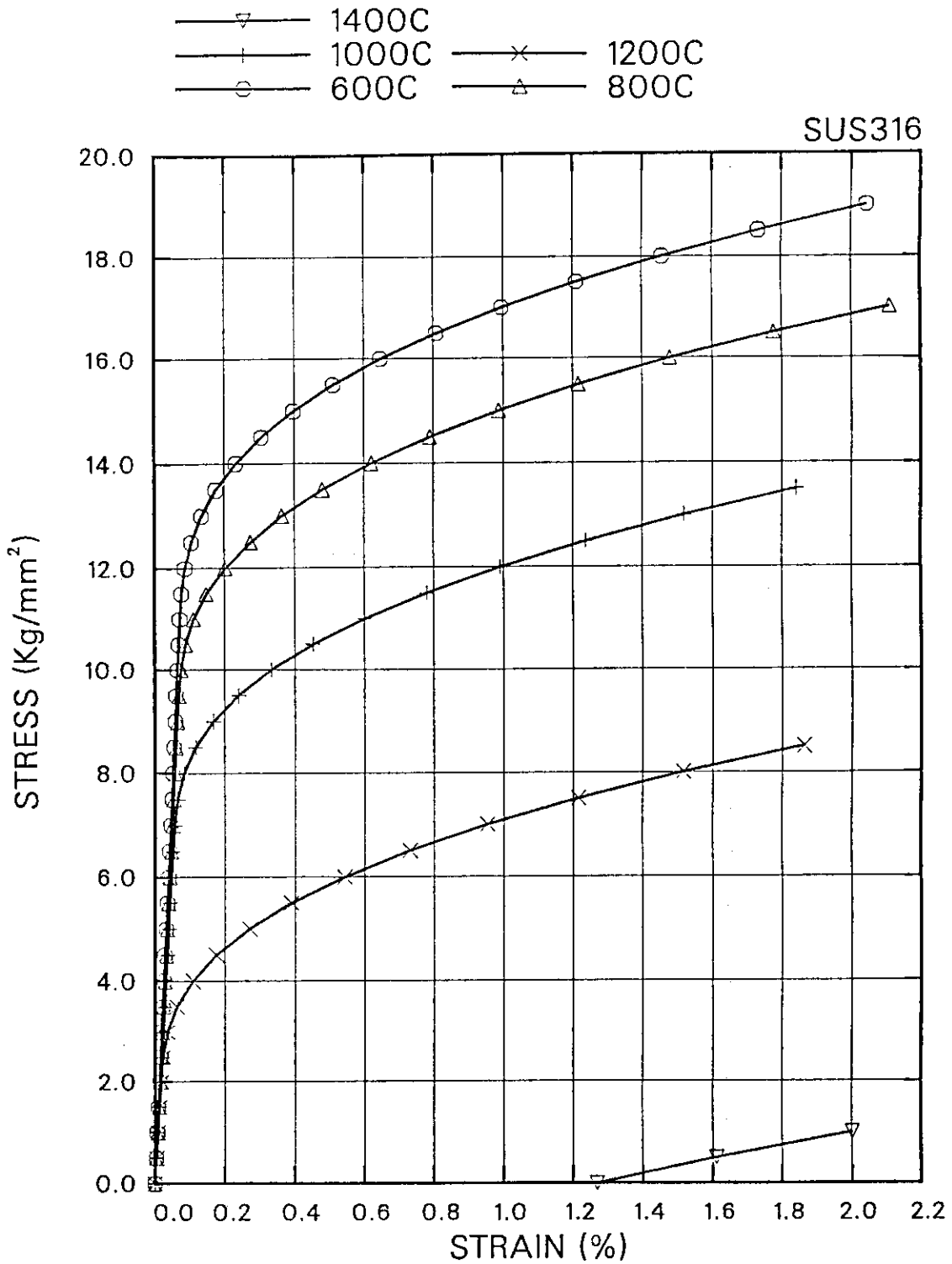


線膨張係数

温度 ℃	ワツン 比	線膨張係数 (1/℃)
20	0.266	15.15×10^{-6}
50	0.268	15.65×10^{-6}
100	0.272	16.48×10^{-6}
150	0.275	17.22×10^{-6}
200	0.279	17.85×10^{-6}
250	0.283	18.36×10^{-6}
300	0.287	18.79×10^{-6}

温度 ℃	ワツン 比	線膨張係数 (1/℃)
350	0.291	19.19×10^{-6}
400	0.295	19.57×10^{-6}
450	0.298	19.93×10^{-6}
500	0.302	20.28×10^{-6}
550	0.306	20.60×10^{-6}
600	0.310	20.87×10^{-6}
650	0.314	21.09×10^{-6}

11. ステンレス鋼の応力-歪線図

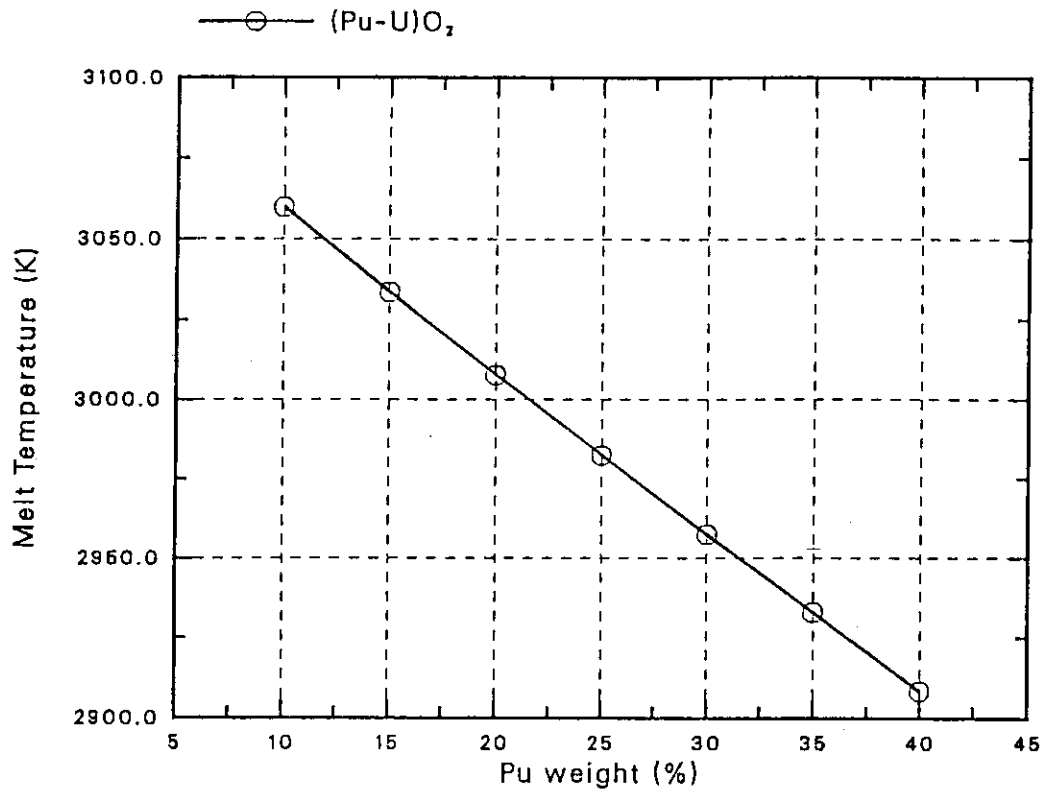


ひずみと応力の関係図 (600℃~1400℃)

12. (Pu-U)O₂ の融点

Pu 富化度 (%)	融点 (K)
10	3060
15	3034
20	3008
25	2982
30	2957
35	2933
40	2909

Pu 富化度 : PuO₂ / (Pu-U)O₂ (W/O)

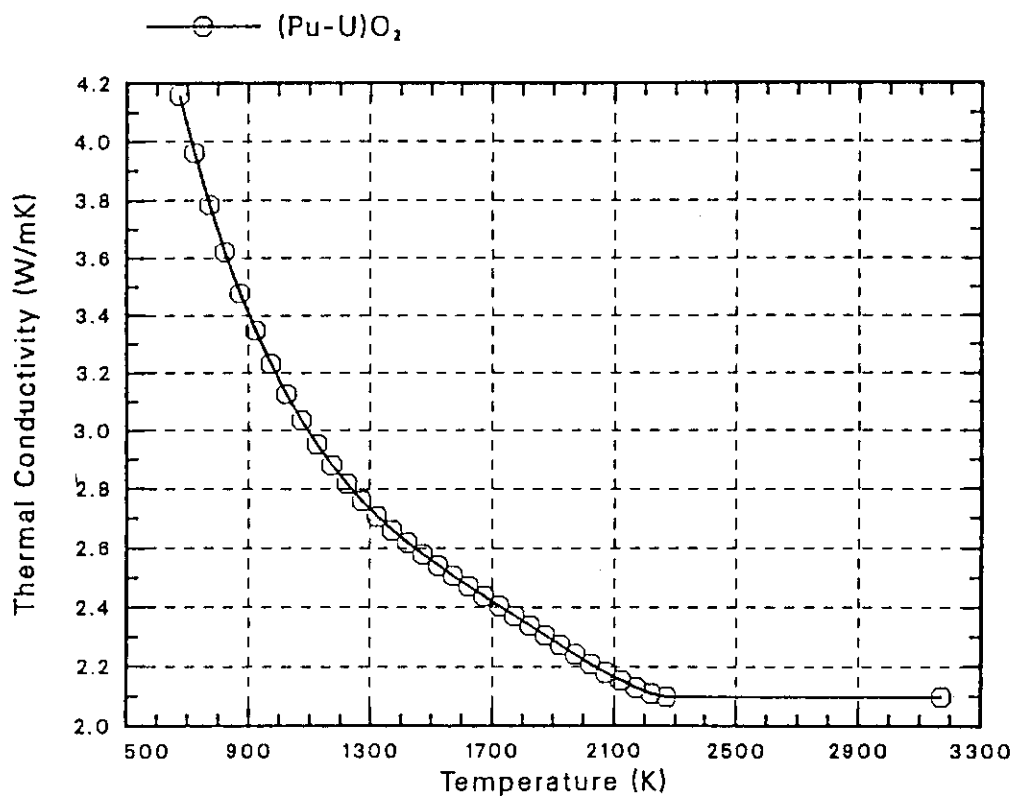


13. (Pu-U)O₂ の熱伝導係数

温度 (K)	熱伝導係数 (W/mK)
673	4.15962
723	3.96273
773	3.78416
823	3.62285
873	3.47768
923	3.34750
973	3.23117
1023	3.12751
1073	3.03535
1123	2.95353
1173	2.88091
1223	2.81637
1273	2.75883
1323	2.70725
1373	2.66064

温度 (K)	熱伝導係数 (W/mK)
1423	2.61809
1473	2.57873
1523	2.54179
1573	2.50659
1623	2.47254
1673	2.43916
1723	2.40607
1773	2.37303
1823	2.33994
1873	2.30682
1923	2.27386
1873	2.24139
2023	2.20993
2073	2.18015
2123	2.15295

温度 (K)	熱伝導係数 (W/mK)
2173	2.12937
2223	2.11071
2273	2.09842
3173	2.09842



14. (Pu-U)O₂ の比熱

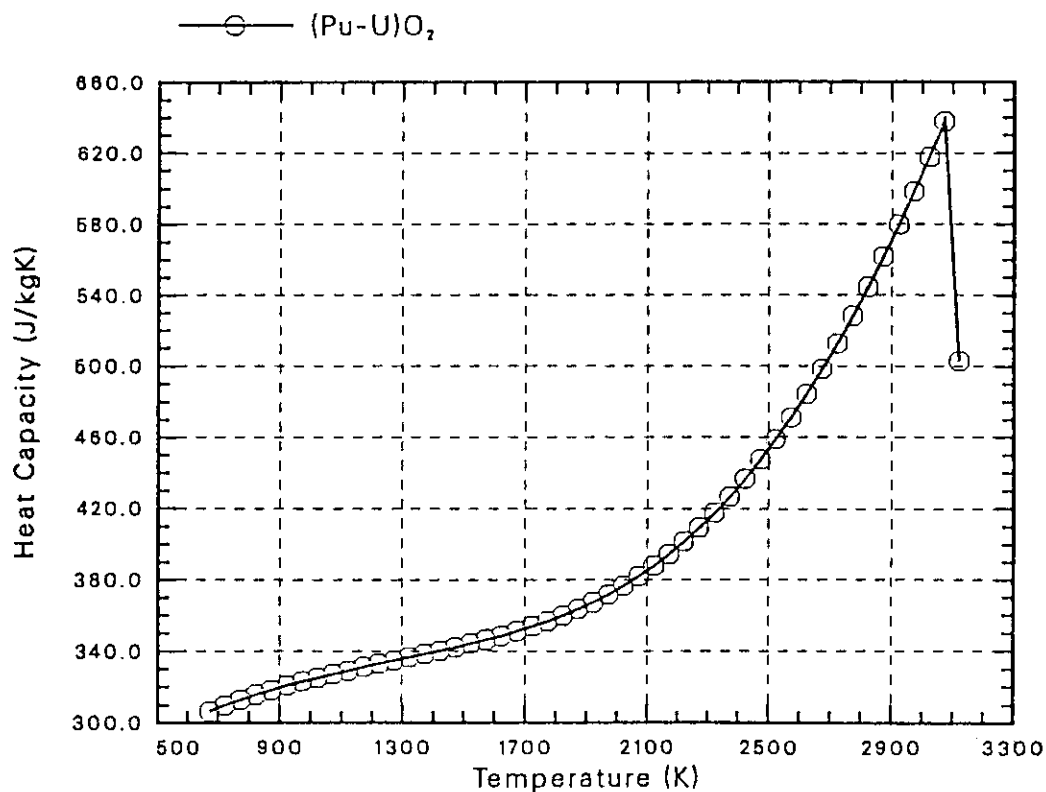
Pu富化度 W/O の値。(出典: MATPRO)

温度 (K)	比熱 (J/kgK)
673	306.527
723	309.997
773	313.098
823	315.914
873	318.508
923	320.917
973	323.187
1023	325.341
1073	327.400
1123	329.385
1173	331.310
1223	333.191
1273	335.044
1323	336.885
1373	338.733

温度 (K)	比熱 (J/kgK)
1423	340.608
1473	342.534
1523	344.537
1573	346.647
1623	348.896
1673	351.322
1723	353.962
1773	356.855
1823	360.047
1873	363.580
1923	367.497
1873	371.844
2023	376.665
2073	382.001
2123	387.893

温度 (K)	比熱 (J/kgK)
2173	394.381
2223	401.500
2273	409.283
2323	417.760
2373	426.961
2423	436.906
2473	447.614
2523	459.102
2573	471.381
2623	484.461
2673	498.344
2723	513.034
2773	528.525
2823	544.812
2873	561.889

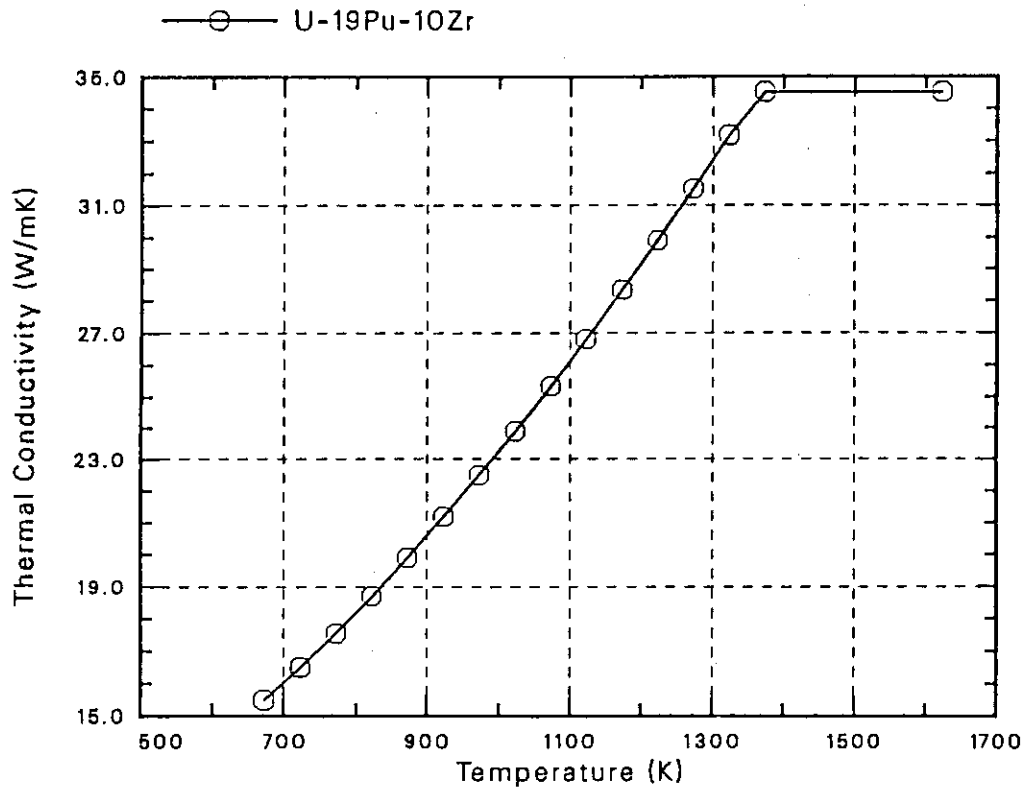
温度 (K)	比熱 (J/kgK)
2923	579.740
2973	598.356
3023	617.717
3073	637.807
3123	502.954



15. 金属燃料 (U-19Pu-10Zr) の熱伝導係数

温度 (K)	熱伝導係数 (W/mK)
673	15.4781
723	16.4836
773	17.5599
823	18.7039
873	19.9126
923	21.1827
973	22.5112
1023	23.8949
1073	25.3307
1123	26.8156

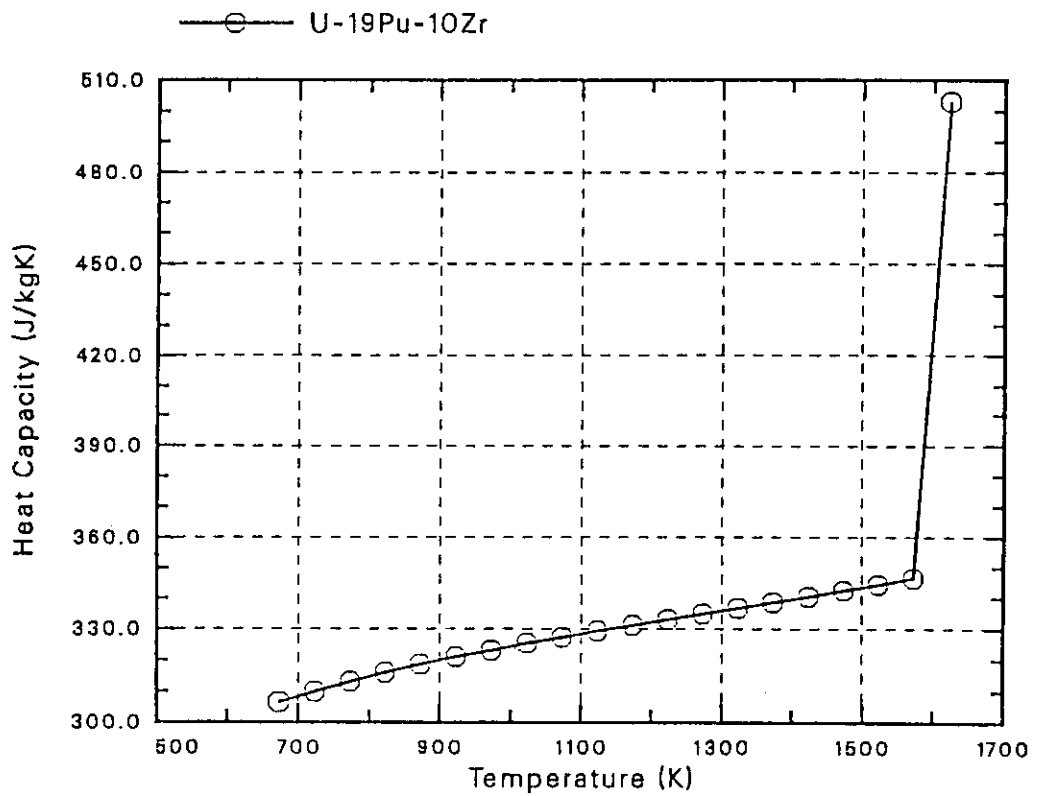
温度 (K)	熱伝導係数 (W/mK)
1173	28.3462
1223	29.0196
1273	31.5327
1323	33.1822
1373	34.5260
1673	34.5260



16. 金属燃料 (U-19Pu-10Zr) の比熱

温度 (K)	比熱 (J/kgK)
673	306.527
723	309.997
773	313.098
823	315.914
873	318.508
923	320.917
973	323.187
1023	325.341
1073	327.400
1123	329.385

温度 (K)	比熱 (J/kgK)
1173	331.310
1223	333.191
1273	335.044
1323	336.885
1373	338.733
1423	340.608
1473	342.534
1523	344.537
1573	346.647
1623	502.954



付録B NSR77-FBR版入力説明

- I. 概 要
- II. NSR1D-V2コードのロードジュール作成
- III. NSR1D-V2コードの実行
- IV. サンプル入力例
- V. 入力形式
- VI. プロッタファイルフォーム

I. 概要

本コードは燃料と冷却材の熱挙動の計算ができます。
解析できる体系仕様と熱伝達モデルを下記に示す。

1. 体系仕様

(1) 試験燃料

- ・ UO_2
- ・ (Pu-U) O_2
- ・ (Pu-U) Zr
- ・ ヒーターピン

(2) 被覆材

- ・ ジルカロイ-2
- ・ ステンレス (SUS)

(3) 冷却材

- ・ 水
- ・ ナトリウム
- ・ 気体 (断熱)

2. 熱伝達モデルは

(1) 水体系

- ① 自然又は強制対流
- ② 核沸騰
- ③ 強制対流
- ④ 遷移沸騰
- ⑤ 安定膜沸騰
- ⑥ プール膜沸騰
- ⑦ CHF (極大熱流速) 係数

(2) ナトリウム体系

・ 静止条件

- ① 沸騰前
- ② 沸騰

・ 強制対流条件

- ① Na 液強制対流熱伝達式
- ② CHF の計算
- ③ Na 液強制対流沸騰熱伝達式
- ④ Na 蒸気強制対流熱伝達式
- ⑤ Na 液強制対流膜沸騰熱伝達式は Na 蒸気部分の熱伝達で決まるものとして、Na 蒸気強制対流熱伝達式 (④) を用いた。

II. NSR1D-V2コードのロードモジュール作成

NSR1D-V2コードのロードモジュール作成JCLを下記に示す。

・ロードモジュール作成JCL

```

-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
//JCLG JOB                                00000010
// EXEC JCLG                              00000020
//SYSIN DD DATA,DLH='++'                00000030
// JUSER 12243933,TA.NAKAMURA,0934.01   00040202
//      T.1 C.O V. 1.4 SRP                00000050
//      OPTP PASSWORD= ,NOTIFY=J3933      00050202
//JOBPARM K=0                             00000070
//*****                                00000080
//FORU EXEC PGM=JZK@FORT,COND=(4,LT),REGION=768K, 00000090
//      PARM='AUTODBL(DBLPAD4),LC(0),OPTIMIZE(2),ELM(=),NOS,ALC' 00000100
//SYSPRINT DD DUMMY                        00000110
//SYSTEM DD DUMMY                          00000120
//SYSLIN DD DSN=&&OBJ,UNIT=WK10,DISP=(NEW,PASS), 00000130
//      SPACE=(TRK,(50,20)),DCB=BLKSIZE=3200 00000140
//SYSIN DD DSN=J3933.I.NSR1DV2.FORT77,DISP=SHR 00000150
//*****                                00000080
//FORT EXEC PGM=JZK@FORT,COND=(4,LT),REGION=768K, 00000090
//      PARM='AUTODBL(DBLPAD4),LC(0),OPTIMIZE(2),ELM(=),NOS,ALC' 00000100
//SYSPRINT DD DUMMY                        00000110
//SYSTEM DD DUMMY                          00000120
//SYSLIN DD DSN=&&OBJ,UNIT=WK10,DISP=MOD, 00000130
//      SPACE=(TRK,(50,20)),DCB=BLKSIZE=3200 00000140
//SYSIN DD DSN=J3933.I.NSR1DV.FORT77,DISP=SHR 00000150
//*****                                00000160
//LINK EXEC PGM=JQAL,COND=(4,LT),REGION=512K, 00000170
//      PARM='NOHAP,NOLIST,LINECOUNT(0)' 00000180
//SYSLIB DD DSN=SYS9.GGS.LOAD,DISP=SHR     00000190
//      DD DSN=SYS9.PHL.LOAD,DISP=SHR      00000200
//      DD DSN=SYS9.SSL2.LOAD,DISP=SHR     00000210
//      DD DSN=SYS9.JSSL.LOAD,DISP=SHR     00000220
//      DD DSN=SYS2.FORTLIB,DISP=SHR      00000230
//SYSPRINT DD SYSOUT=*                    00000240
//SYSTEM DD DUMMY                          00000250
//SYSUT1 DD UNIT=WK10,SPACE=(TRK,(30,10)) 00000260
//SYSLMOD DD DSN=J3933.I.NSR1DV2.LOAD, 00000270
//      UNIT=TDS,DISP=(NEW,CATLG,DELETE), 00000280
//      SPACE=(TRK,(10,5,1),RLSE)        00000290
//SYSLIN DD DSN=&&OBJ,DISP=(OLD,DELETE)    00000300
**                                         00000310
//                                         00000320

```


Ⅲ. NSR1D-V2コードの実行

NSR1D-V2コードの実行JCLを下記に示す。

・実行JCL

FT04F001 は プロッタファイル

```

-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
//JCLG JOB                                00241017
//      EXEC JCLG                          00242017
//SYSIN DD DATA,DLH='++'                 00243017
// JUSER 12243933,TA.NAKAMURA,0934.01    00244017
//      T.10 C.3 W.4 I.3 SRP NGT         00245117
//      DPTP PASSWORD= . ,NOTIFY=J3933    00246017
//JOBPARM K=0                              00247017
//*****                                00248017
//GO EXEC PGH=TEMPNAME                     00249017
//STEPLIB DD DSN=J3933.I.NSR1DV2.LOAD,DISP=SHR 00249117
//FT06F001 DD SYSOUT=*                     00249217
//FT10F001 DD DUMMY                        00249317
//FT11F001 DD DUMMY                        00249417
//FT09F001 DD DUMMY                        00249517
//FT04F001 DD UNIT=WK10,                  00249617
//      SPACE=(TRK,(50,20))                00249717
//FT04F001 DD DSN=J3933.I.NSRWAT.A01.DATA, 00249817
//      DISP=(NEW,CATLG),UNIT=TDS,SPACE=(TRK,(10,5),RLSE), 00249917
//      DCB=(RECFH=VBS,BLKSIZE=32760,LRECL=32756) 00250017
//FT05F001 DD DSN=J3933.I.NSRWAT.DATA(A01),DISP=SHR, 00250117
//      LABEL=(,,,IN)                     00250217
//                                          00250317
//                                          00250417

```

IV. サンプル入力例

1. ステンレス鋼被覆燃料棒—水冷却におけるサンプル例

サンプルケース1の入力条件

1) 試験燃料

- ①ペレット外径 5.41 mm
- ②被覆管内径 5.56 mm
- 外径 6.50 mm
- ③水力等価直径 4.00 mm
- ④加熱相当等価直径 10.50 mm
- ⑤燃料長 380 mm

2) 初期温度条件及び投入反応度

- ①炉出力1 MW時における試験燃料の全発熱量 UO_2 10% 1.071 kW
- ②初期冷却材温度 20 °C (28.2 W/cm)
- ③投入反応度 単一パルス 4.3 S
- ④流速 自然対流 (0.1 m/s)

3) コードモデル

- ①軸方向分割数 10
- ②径方向分割数 ペレット分割数 20
被覆管分割数 4
- ③軸方向出力分布比
- ④モデル体系図を図IV-1に示した。

ノード 境界 位置	出力分布比	ノード 境界 位置	出力分布比	ノード 境界 位置	出力分布比	ノード 境界 位置	出力分布比
①	0.666	④	1.154	⑦	1.171	⑩	0.717
②	0.881	⑤	1.212	⑧	1.072	⑪	0.461
③	1.044	⑥	1.218	⑨	0.921		

④熱伝達モデル

自然対流条件モデル

- ・非沸騰域 : Ostracha
- ・核沸騰域 : Nishikawa and Yamagata
- ・強制対流蒸気域 : Lode-Go Function
- ・遷移沸騰域 : Lode-Go Function
- ・安定膜沸騰域 : Dougall and Rohsenow and King
- ・プール膜沸騰域 : Bromley
- ・CHF : Rohsenow-Griffith

ステンレス鋼被覆燃料棒—水冷却におけるサンプルケース 1

```

-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
AO3 WATER (NATURAL 0.10 H/S 4.30 ) UO2 10% 00010000
  1 9 1 1 1 0 0 1300.0 12110 00011000
CT 5 FT 5 FS 5 IT 5 OT 5 SQ 5 HC 5 CV 5 CT 10 00031000
10 20 4 0 7 2 3 21.180 00040001
0.002705 0.00278 0.00325 0.01050 0.0 0.00400 00041100
0.0010710 0.380 0.933 7820.00 0.000 175.30 00042000
1.560 00043000
4.30 0.000 10. 00053000
200020000 50 2.0E-03 0.20 10.0 00054000
200020000 1000 1.0E-04 0.28 00055000
200020000 1000 1.0E-04 0.36 00056000
200020000 1000 1.0E-04 1.00 00057000
1000050000 1000 1.0E-04 5.0 00058000
1000050000 100 1.0E-03 10.0 00059000
1000050000 1000 1.0E-04 50.0 00060000
0.666 0.881 1.044 1.154 1.212 1.21800076100
1.171 1.072 0.921 0.717 0.461 00077100
0.2E-3 0.2E-3 0.100 0.000 00100000
2 2 2 1.000 1.000 0.000 00110000
0.000 1.033 1000.0 1.033 00111000
0.000 998.4 1000.0 998.40 00112000
0.000 20.0 1000.0 20.0 00113000
3.970 10.00 0.0 00114000
0.000 00115000
1.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 00170000
0.000 00180000
1 1 1 1 1 2 11 00190000
0.000 0.700 0.050 0.100 0.000 00200000
1 600.0 00210000
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00000221000
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00000222000
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00000223000
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00000224000
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00000225000
9 9 00230000

```

サンプルケース2の入力条件

1) 試験燃料

①ペレット外径	5.41	mm
②被覆管内径	5.56	mm
外径	6.50	mm
③水力等価直径	4.00	mm
④加熱相当等価直径	10.50	mm
⑤燃料長	380	mm

2) 初期温度条件及び投入反応度

①炉出力1 MW時における試験燃料の全発熱量	UO ₂ 20%	1.458 kW
②初期冷却材温度	20 °C	(38.4 W/cm)
③投入反応度	・台形パルス 2秒で10 MWに達し、それ以後10 MWを保持する。	
④流速	強制対流	5.0 m/s

3) コードモデル

①軸方向分割数	10
②径方向分割数	ペレット分割数 20
	被覆管分割数 4
③軸方向出力分布比	

ノード 境界 位置	出力分布比	ノード 境界 位置	出力分布比	ノード 境界 位置	出力分布比	ノード 境界 位置	出力分布比
①	0.666	④	1.154	⑦	1.171	⑩	0.717
②	0.881	⑤	1.212	⑧	1.072	⑪	0.461
③	1.044	⑥	1.218	⑨	0.921		

④熱伝達モデル

強制対流条件モデル

・非沸騰域	:	Dittus and Boelter
・核沸騰域	:	Jens and Lottes
・強制対流蒸気域	:	Schrock and Grossman
・遷移沸騰域	:	McDonsugh, Milich
・安定膜沸騰域	:	Dougall and Rohsenow and King
・プール膜沸騰域	:	Bromley
・CHF	:	Rohsenow-Griffith

ステンレス鋼被覆燃料棒-水冷却におけるサンプルケース 2

1	2	3	4	5	6	7	8
A04 WATER (5.0 M/S 2S 10MW) UO2 20%							00010000
1	9	1	1	1	0	0	1300.0 12110
CT	5	FT	5	FS	5	IT	5
DT	5	SQ	5	HC	5	CV	5
CT	10	20	4	3	2	2	3
							31.300
	0.002705		0.00278		0.00325		0.01050
						0.0	0.00400
	0.0014580	0.380		0.933		7820.00	0.000
							175.30
	1.560						
							00041100
							00042000
							00043000
	0.0		0.0001		2.00		10.0000
						1000.00	
							10.000000063000
200020000	1000		1.0E-04		50.0		10.0
1000050000	1000		1.0E-03		1000.0		
	0.666		0.881		1.044		1.154
						1.212	
	1.171		1.072		0.921		0.717
							0.461
	0.2E-3		0.2E-3		0.100		0.000
2	2	2	1.000		1.000		0.000
0.000		1.033		1000.0		1.033	
0.000		4992.0		1000.0		4992.0	
0.000		20.0		1000.0		20.0	
3.970		10.00		0.0			
0.000							
1.000		0.000		0.000		0.000	0.000
0.000							
1	1	1	1	1	2	11	
0.000		0.700		0.050		0.100	0.000
1	600.0						
0.000		0.000		0.000		0.000	0.000
0.000		0.000		0.000		0.000	0.000
0.000		0.000		0.000		0.000	0.000
0.000		0.000		0.000		0.000	0.000
0.000		0.000		0.000		0.000	0.000
9		9					
							00230000

2. ステンレス鋼被覆燃料棒-ナトリウム冷却におけるサンプル例

サンプルケース1の入力条件

1) 試験燃料

- ①組成 酸化物燃料 Pu富化度 30%
- ②寸法 ペレット外径 5.41 mm
- 被覆管外径 5.56 mm
- 内径 6.50 mm
- 燃料長さ 380 mm

2) 初期温度条件及び投入反応度

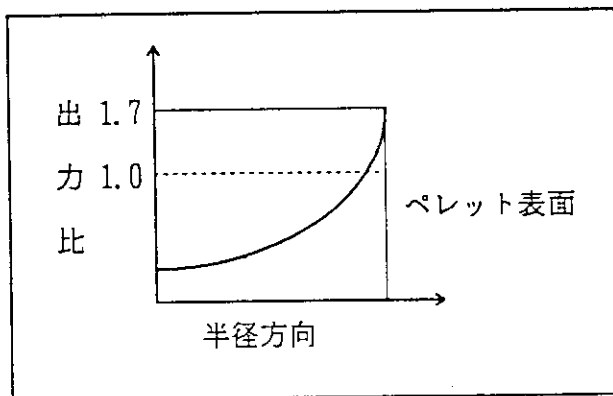
- ①炉出力1MW時における燃料棒の発熱量 1.458 kW (38.4 W/cm)
- ②初期冷却材温度 500 °C
- ③投入反応度 単一パルス 4.3 \$
- ④流速 強制対流 5.0 m/s

3) コードモデル

- ①軸方向分割数 10
- ②径方向分割数 ペレット分割数 20
- 被覆管分割数 4
- ③軸方向出力分布比

ノード境界位置	出力分布比	ノード境界位置	出力分布比	ノード境界位置	出力分布比	ノード境界位置	出力分布比
①	0.666	④	1.154	⑦	1.171	⑩	0.717
②	0.881	⑤	1.212	⑧	1.072	⑪	0.461
③	1.044	⑥	1.218	⑨	0.921		

・径方向ピーキング係数 1.7



ステンレス鋼被覆燃料棒—ナトリウム冷却におけるサンプルケース 1

```

-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
A10 (NA 500.0 5.0 M/S 4.3D BUNDLE)                                00010000
  1  9  1  1  1  0  0  1300.0 22211                                00011000
CT  5 FT  5 FS  5 IT  5 OT  5 SQ  5 HC  5 CV  5 CT  10            00031000
10 20  4  0  7  2  3  21.700                                     00040000
    0.002705  0.00278  0.00325  0.01050  0.003198  0.00400  00041000
0.0014580  0.380  0.933  7820.00  0.000  175.30  00042000
1.560  00043000
4.30  0.000  10.  00053000
200020000  50  2.0E-03  0.20  10.0  00063000
200020000  1000  1.0E-04  0.28  00073000
200020000  1000  1.0E-04  0.36  00083000
200020000  1000  1.0E-04  1.00  00084000
1000050000  1000  1.0E-04  5.0  00085000
1000050000  100  1.0E-03  10.0  00086000
1000050000  1000  1.0E-04  50.0  00087000
    0.666  0.881  1.044  1.154  1.212  1.21800088000
    1.171  1.072  0.921  0.717  0.461  00089000
    0.2E-3  0.2E-3  0.100  0.000  00100000
  2  2  2  1.000  1.000  0.000  00110000
0.000  1.033  1000.0  1.033  00111000
0.000  4161.01  1000.0  4161.01  00111100
0.000  175.65  1000.0  175.65  00111200
3.970  10.00  0.0  00114000
0.000  00115000
1.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  00170000
0.000  00180000
  1  3  1  2  1  2  11  00190000
0.000  0.700  0.050  0.100  0.000  00200000
  1  600.0  00210000
    0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.00000221000
    0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.00000222000
    0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.00000223000
    0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.00000224000
    0.000  0.000  0.000  0.000  0.000  0.00000225000
      9  9  00230000
  
```

サンプルケース 2 の入力条件

1) 試験燃料

- ①組成 酸化燃料 Pu 富化度 30%
- ②寸法 ペレット外径 5.41 mm
被覆管外径 5.56 mm
内径 6.50 mm
燃料長さ 380 mm

2) 初期温度条件及び投入反応度

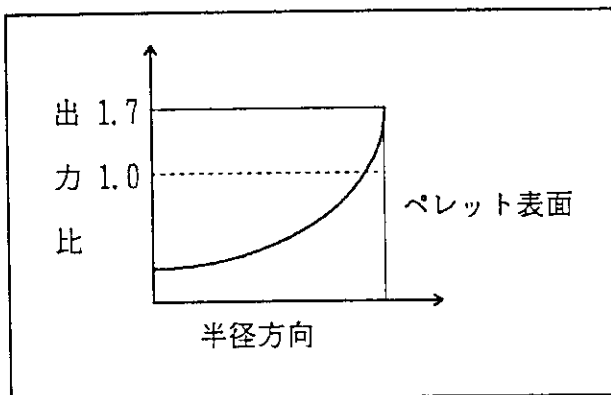
- ①炉出力 1 MW 時における燃料棒の発熱量 1.458 kW (38.4 W/cm)
- ②初期冷却材温度 500 °C
- ③投入反応度 合成パルス
0.0~2.0 秒で 1.0 MW、4 秒まで保持し、4 秒に 3.0 \$ パルスを投入する。
- ④流速 強制対流 5.0 m/s

3) コードモデル

- ①軸方向分割数 10
- ②径方向分割数 ペレット分割数 20
被覆管分割数 4
- ③軸方向出力分布比

ノード境界位置	出力分布比	ノード境界位置	出力分布比	ノード境界位置	出力分布比	ノード境界位置	出力分布比
①	0.666	④	1.154	⑦	1.171	⑩	0.717
②	0.881	⑤	1.212	⑧	1.072	⑪	0.461
③	1.044	⑥	1.218	⑨	0.921		

・径方向ピーキング係数 1.7



ステンレス鋼被覆燃料棒—ナトリウム冷却におけるサンプルケース 2

	1	2	3	4	5	6	7	8
A25 (NA 500.0 0.5 M/S 10MW+3.0D)								00010000
1 9 1 1 1 0 0 1300.0 22211								00011000
CT 5 FT 5 FS 5 IT 5 OT 5 SQ 5 HC 5 CV 5 CT 10								00031000
10 20 4 -3 -1 2 3 21.700								00040000
0.002705 0.00278 0.00325 0.01050 0.0000 0.00400								00041000
0.0014580 0.380 0.933 7820.00 0.000 175.30								00042000
1.560								00043000
0.0 0.0001 2.00 10.0000 4.00 10.000000044000								00053000
3.00 0.000 10. 4.0								00073000
200020000 200 5.0E-04 4.0 10.0								00089000
0.666 0.881 1.044 1.154 1.212 1.21800088000								00100000
1.171 1.072 0.921 0.717 0.461								00110000
0.2E-3 0.2E-3 0.100 0.000 0.000								00111000
2 2 2 1.000 1.000 0.000								00111100
0.000 1.033 1000.0 1.033								00111200
0.000 416.101 1000.0 416.101								00114000
0.000 175.65 1000.0 175.65								00115000
3.970 10.00 0.0								00170000
0.000								00180000
1.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000								00190000
0.000								00200000
1 3 1 2 1 2 11								00210000
0.000 0.700 0.050 0.100 0.000								00220000
1 600.0								00221000
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000								00222000
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000								00223000
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000								00224000
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000								00225000
9 9								00230000

3. ヒーターピン-ナトリウム冷却におけるサンプル例

サンプルケース 1 の入力条件

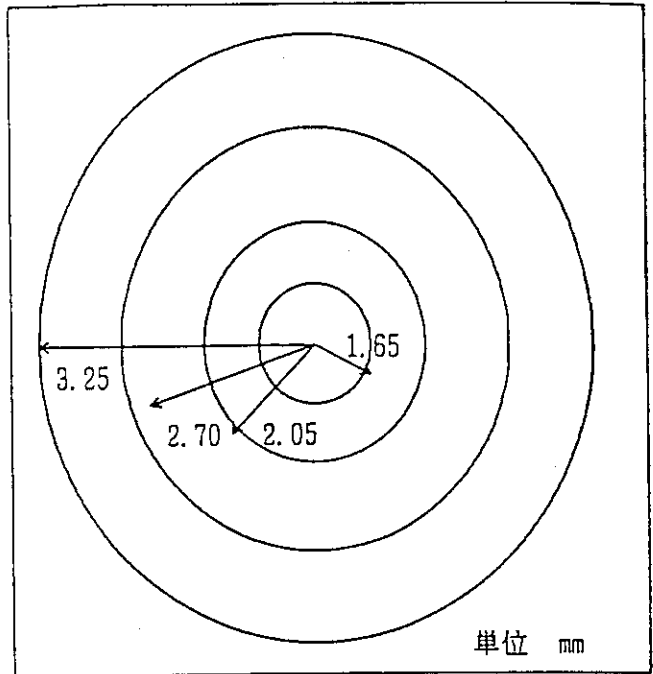
- (1)体系
 ・ヒーターピン径 6.5 mm
 ・ヒーター有効長 930 mm

- (2)初期条件
 ・流速 1.23 m/s
 ・入口温度 397 °C
 ・圧力 1 気圧

(3)過渡条件

時間 (秒)	出力 (W/cm)
0.0	101.9
5.0	101.9
10.0	250.0

- (4)水力等価直径
 $d = 4.0$ mm
 (5)流路半径
 $r = 4.0$ mm



ヒーターピン-ナトリウム冷却におけるサンプルケース 1

```

-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
A01 ( HEATER-PIN  6.36 M/S ----> 0.631 M/S (30S) 397C 101.9W/CM2) 0001000J
  1  9  1  1  1  0  0  1300.0 42211 00011000
CT  5 FT  5 FS  5 LT  5 OT  5 SQ  5 HC  5 CV  5 CT  10 00031000
10 10  5 10  4  5  2  2 00040000
  0.001650 0.00205 0.00270 0.00325 0.010500 0.00400 00040100
  0.004000 00041100
0.01936176 0.930 1.000 7820.00 0.000 175.30 00042000
  1.560 00043000
  0.0 0.0001 0.001 1.0000 5.00 1.000000063000
  10.0 1.0000 1000.00 1.0000 00073000
200020000 200 5.0E-04 100. 60.0 00075000
200020000 200 5.0E-04 1000. 60.0 00076000
  1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000000081000
  1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 00082000
  0.2E-3 0.2E-3 0.100 0.000 00100000
  2  4  2  1.000 1.000 0.000 00110000
  0.000 1.020 1000.0 1.020 00111000
  0.000 5450.0 4.0 5450.0 34.0 272.5 00112002
1000.0 272.5 00112100
  0.000 144.23 1000.0 144.23 00113000
  3.970 10.00 0.0 00114000
  0.000 00115000
  1.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 00170000
  0.000 00180000
  1  3  1  2  1  2  11 00190000
  0.000 0.700 0.050 0.100 0.000 00200000
  1  600.0 00210000
  0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000000221000
  0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000000222000
  0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000000223000
  0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000000224000
  0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000000225000
  0  0 00230000
    
```

サンプルケース 2 の入力条件

(1)体系

- ・ヒーターピン径 6.5 mm
- ・ヒーター有効長 930 mm

(2)初期条件

- ・出力 101.9 W/cm²
- ・入口温度 397 °C
- ・圧力 1 気圧

(3)過渡条件

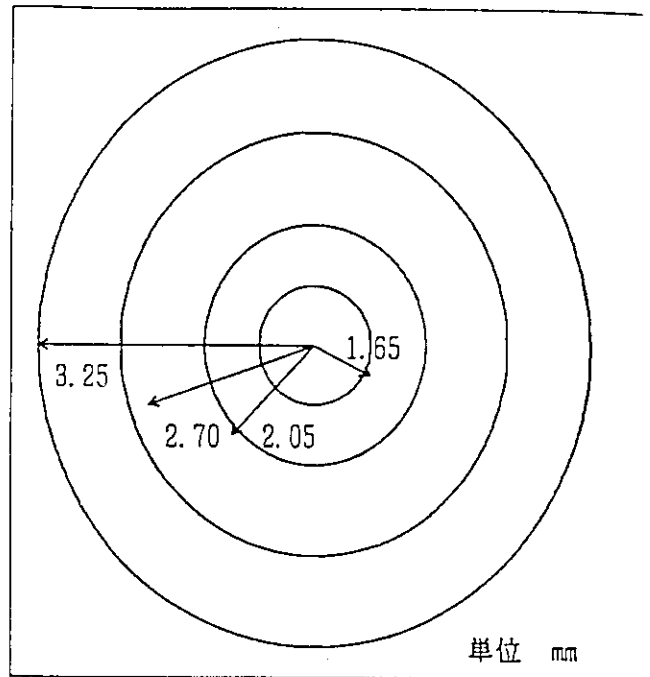
時間 (秒)	流速 (m/s)
0.0	6.36
4.0	6.36
34.0	0.318

(4)水力等価直径

$d = 4.0 \text{ mm}$

(5)流路半径

$r = 4.0 \text{ mm}$



ヒーターピン-ナトリウム冷却におけるサンプルケース 2

```

-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
A02 UTOP ( HEATER-PIN 1.272 H/S 397C 101.9W/CM2-->250.0W/CM2 ) 00010003
  1  9  1  1  1  0  0 1300.0 42211 00011000
CT 5 FT 5 FS 5 IT 5 OT 5 SQ 5 HC 5 CV 5 CT 10 00031000
10 10 5 10 4 5 2 2 00040001
0.001650 0.00205 0.00270 0.00325 0.010500 0.00400 00040100
0.004000 00041100
0.01936176 0.930 1.000 7820.00 0.000 175.30 00042000
1.560 00043000
0.0 0.0001 0.001 1.0000 5.00 1.000000063002
10.0 2.4500 1000.00 2.4500 00073000
200020000 200 5.0E-04 1000.0 60.0 00075003
200020000 200 5.0E-04 1000.0 60.0 00076003
1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.00000081000
1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 00082000
0.2E-3 0.2E-3 0.100 0.000 00100000
2 2 2 1.000 1.000 0.000 00110000
0.000 1.020 1000.0 1.020 00111000
0.000 1090.0 1000.0 1090.0 00112000
0.000 144.23 1000.0 144.23 00113000
3.970 10.00 0.0 00114000
0.000 00115000
1.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 00170000
0.000 00180000
1 3 1 2 1 2 11 00190000
0.000 0.700 0.050 0.100 0.000 00200000
1 600.0 00210000
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00000221000
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00000222000
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00000223000
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00000224000
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.00000225000
0 0 00230000
    
```

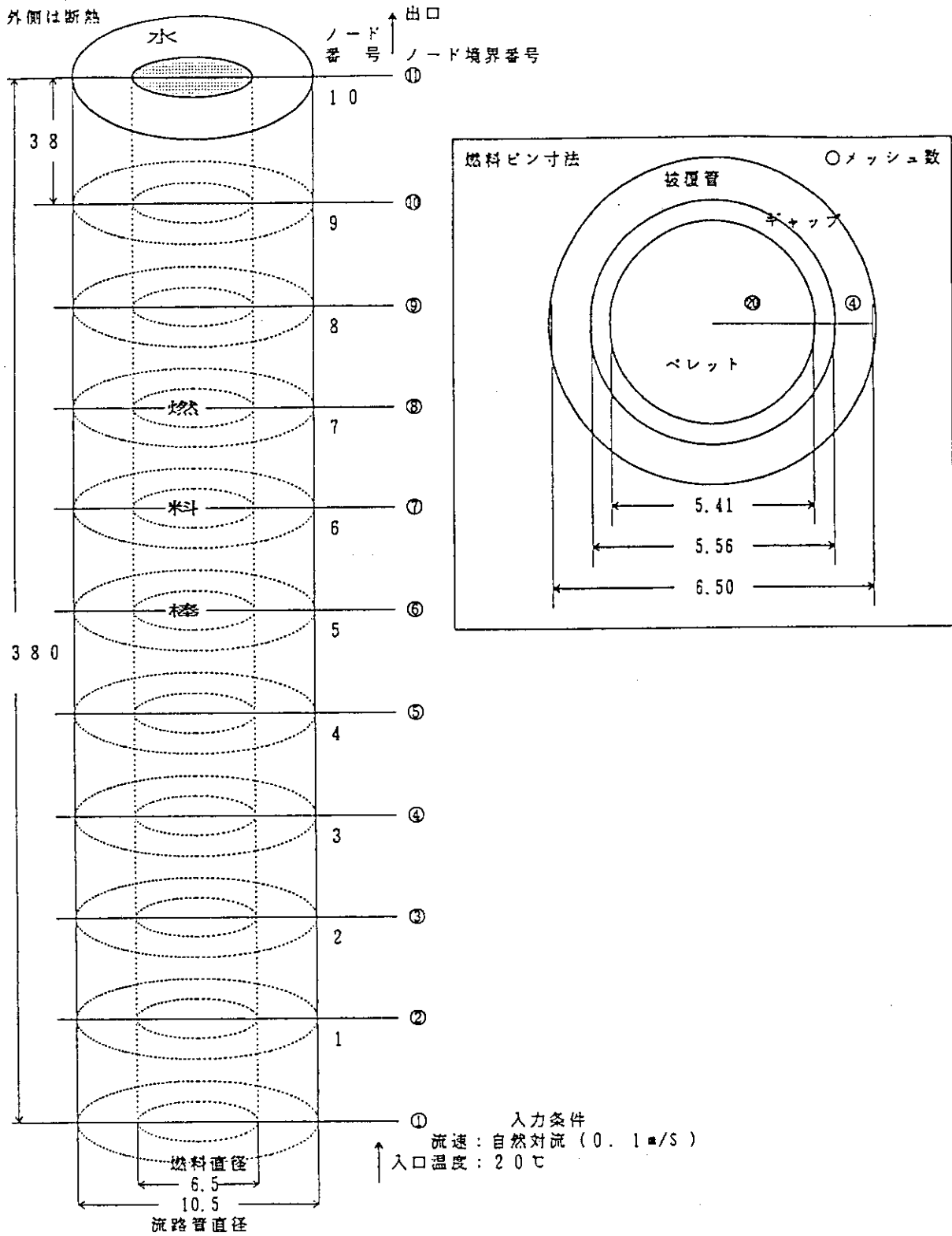


図 IV-1 NSR1D-V2 入力体系

V. 入力形式

1. 「INCON」ルーチン

カード No1 FORMAT (A72)

1) TITLE : タイトル

カード No2 FORMAT (7I5, F10.0, 1X, 5I1, F5.0)

- 1) IPLT : プロットオプション
=0; 通常
>0; プロットファイル書き出し
- 2) IMIN : プリントオプション数 (≤ 9)
- 3) IFLD : 水力計算オプション
=1; 強制対流
=2; 自然対流
注意) 冷却材がナトリウム時は無視される。
- 4) IGAP : ギャップ熱伝達 (GAPCON) モデルオプション
=1; GAPCON-THERMAL 2モデル
=2; CRACKモデル
注意) 冷却材がナトリウム時は=1に設定される。
- 5) IFIS : 核分裂生成物ガスの生成と放出 (FISGAS) モデルオプション
=1; NSR77モデル
=2; Load-Go関数モデル
注意) 冷却材がナトリウム時は=1に設定される。
- 6) IZRYW : 1次元計算におけるZry-Watter反応計算オプション
=0; しない
=1; する
注意) 冷却材がナトリウム時は無視される。
- 7) IEUT : 1次元計算における共晶考慮オプション
=0; しない
=1; する
- 8) EUTT : 1次元計算における共晶温度
=0.0の時は 1.0×10^{10} が設定される。
- 9) MPEL : ペレット選択オプション
=1; UO_2
=2; Pu- UO_2
=3; U-19Pu-10Zr
=4; ヒーターピン
- 10) MCLAD : 被覆材選択オプション
=1; Zry
=2; SUS
- 11) MCOOL : 冷却材選択オプション
=1; 水
=2; ナトリウム
- 12) MTRAN : 境界条件
=1; 強制対流
=2; 断熱
- 13) IROLE : ダミー
=0;
- 14) MECR : 混合酸化物燃料のPu富化度 (w/O) $PuO_2/(Pu+U)O_2$
=0の場合はPu富化度は18w/O が設定されます。

カード No.3 FORMAT (9 (1X, A2, 13))

- 1) W1 (1) : 出力シンボル
 2) W2 (1) : ジャンクション番号
 I = 1, IMIN

出力シンボル (1~35)

1. PW : Normalized Power
 2. PT : Plenum Temperature (℃)
 3. GP : Gap Pressure (kg/cm²G)
 4. FT : Fuel Center Temperature (℃)
 5. FS : Fuel Surface Temperature (℃)
 6. IT : Clad Inner Surface Temperature (℃)
 7. OT : Clad Outer Surface Temperature (℃)
 8. SQ : Surface Heat Flux (Kcal / m² h)
 9. CQ : CHF Ratio
 10. HC : Heat Transfer Coefficient (Kcal / m² · °C · h)
 11. GW : Gap Width (mm)
 12. DF : Fuel Displacement (mm)
 13. DC : Cladding Displacement (mm)
 14. HN : Cladding Hoop Strain
 15. PH : Cladding Permanent Hoop Strain
 16. PA : Cladding Permanent Axial Strain
 17. HS : Cladding Hoop Stress (kg/cm²)
 18. AS : Cladding Axial Stress (kg/cm²)
 19. ES : Effective Cladding Stress (kg/cm²)
 20. US : Ultimate Cladding Stress (kg/cm²)
 21. IP : Contact Pressure (kg/cm²)
 22. CV : Coolant Velocity (m / sec)
 23. CT : Coolant Temperature (℃)
 24. AX : Coolant Average Quality
 25. CP : Coolant Pressure (kg/cm²)
 26. AE : Average Fuel Enthalpy (Kcal / kg)
 27. HM : Heat Transfer Mode
 28. GM : F. P. Gas mole (mole)
 W2=1; Helium =2; Argon =3; Krypton =4; Xenon
 =5; Hydrogen =6; Air =7; Steam
 29. GC : Gap Conductance (Kcal / m² · °C · h)
 30. TM : N V T (MW)
 31. TV : Energy Deposition (cal/g)
 32. CS : Cladding State
 33. HG : Hydrogen Generation State (sec⁻¹)
 34. HV : Hydrogen Void Fraction
 35. TA : Average Fuel Temperature (℃)
 36. FA : Fuel Axial Strain
 37. AN : Cladding Axial Strain
 38. FE : First Differential of Fuel Axial Strain
 39. SE : Second Differential of Fuel Axial Strain

2. 「HEATR」ルーチン

カード No 4 FORMAT (8 I 3, F 5. 0) MPEL = 4

- 1) JMAX : 軸方向メッシュ数
 2) NI (1) : 径方向燃料径方向メッシュ数
 3) NI (3) : 径方向被覆管径方向メッシュ数
 4) IPW : 出力履歴データ数
 = 0 ; コード内で計算する。
 < 0 ; 台形パルス
 5) IT : タイムステップ
 = 0 ; 標準タイムステップデータを用いる。
 < 0 ; 台形パルス
 6) MESH : 径方向メッシュ設定オプション
 = 0 ; I MAXは径方向メッシュ数
 = 1 ; 等メッシュ数
 = 2 ; 等面積
 7) MRCD : 径方向出力布の計算設定オプション
 = 0 ; しない
 = 1 ; PWR用を用いる
 = 2 ; BWR用を用いる
 = 3 ; 冷却材Na用
 8) MECR : 燃料濃縮度の設定
 = 1 ; 濃縮度 5 %
 = 2 ; 濃縮度 10 %
 = 3 ; 濃縮度 20 %
 9) PNA : 冷却材Na用燃料表面径方向ピーキング係数
 係数は1. 7のみ設定できます。

カード No 4' FORMAT (8 I 3) MPEL = 4

- 1) JMAX : 軸方向メッシュ数
 2) N1 : 絶縁コア (BN) 径方向メッシュ数
 3) N2 : 発熱体 (Ta) 径方向メッシュ数
 4) N3 : 絶縁体 (BN) 径方向メッシュ数
 5) N4 : シース (SUS 316) 径方向メッシュ数
 6) IPW : 出力履歴データ数
 = 0 ; コード内で計算する。
 < 0 ; 台形パルス
 7) IT : タイムステップ
 = 0 ; 標準タイムステップデータを用いる。
 < 0 ; 台形パルス
 8) MESH : 径方向メッシュ設定オプション
 = 0 ; I MAXは径方向メッシュ数
 = 1 ; 等メッシュ数
 = 2 ; 等面積

カード No 5 FORMAT (6E12.5) MPEL≠4

- 1) R (1) : 燃料ペレット半径 (m)
 2) R (2) : 被覆管内側半径 (m)
 3) R (3) : 被覆管外側半径 (m)
 4) R (4) : 冷却材流路半径 (m)
 5) RCEL : セル等価半径 (m) (冷却材の体積計算に使用)
 = 0. 0 の時、 $(R(4)^2 - R(3)^2)^{1/2}$
 6) DE : 水力等価直径 (m) (熱伝達係数に使用)
 = 0. 0 の時、 $2 \times (R(4) - R(3))$

カード No 5' FORMAT (7E12.5) MPEL=4

- 1) R1 : 絶縁コア (BN) 半径 (m)
 2) R2 : 発熱体 (Ta) 半径 (m)
 3) R3 : 絶縁体 (BN) 半径 (m)
 4) R4 : シース (SUS316) 半径 (m)
 5) R5 : 冷却材流路半径 (m)
 6) RCEL : セル等価半径 (m) (冷却材の体積計算に使用)
 = 0. 0 の時、 $(R5^2 - R4^2)^{1/2}$
 7) DE : 水力等価直径 (m) (熱伝達係数に使用)
 = 0. 0 の時、 $2 \times (R5 - R4)$ で計算する。

カード No 6 FORMAT (6E12.5)

- 1) TOTPW : 初期燃料出力 (MW)
 (炉出力 1 MW 当りの実験燃料出力 (全長)
 例えば、Pu 富化度 30% もんじゅ仕様 38 cm 長で
 0. 001458 MW/MW)
 2) PINTH : 燃料ピン長さ (m)
 3) FRADEN : 燃料理論密度
 4) RHOC : 被覆管材密度 (kg/m³)
 5) ETHPMH : Prompt Moderator Heating Factor
 6) RADPR : 単位核分裂により即発的に蓄積されるエネルギー
 (MeV/fission)
 7) RADDY : 単位核分裂により遅発的に蓄積されるエネルギー
 (MeV/fission)
 注) 6)、7) は出力履歴に用いられる。

カード No 7 FORMAT (6E12.5) MESH=0 の時入力

- 1) SR (1) : 燃料径方向メッシュ (m)
 I = 1, IMAX IMAX = NI (1) + NI (3) + 3
 又は NI + NI (2) + NI (3) + NI (4) + 2

カード No 8 FORMAT (6E12.5) IPW ≠ 0 の時

- 1) QT (I) : 時間 (秒)
 2) QQ (I) : 出力 (MW)
 I = 1, IPW

カード No 9 FORMAT (4 E 1 2. 5) IPW ≤ 0の時

- 1) REACT : 反応度 (S)
- 2) FIDNT : 0. 0
- 3) TTMAX : 計算終了時間 (秒)
- 4) TPALS : 台形パルス時のパルス投入時刻 (秒)
カード No 8 の出力 (MW) に設定される

カード No 10 FORMAT (3 I 5, 3 E 1 2. 5) IT ≠ 0の時

- 1) MINOR (I) : プリント出力/時間
- 2) MAJOR (I) : プリント出力/時間
- 3) IPLOT (I) : プロットファイル出力/時間
- 4) STEP (I) : 時間幅 (秒)
- 5) TLAST (I) : 終了時間 (秒)
- 6) TERM : 計算終了時間 (秒)
I = 1, IT (I=1の時与える。=0.0の時TLAST(IT) が設定される)

カード No 11 FORMAT (6 E 1 2. 5)

- 1) FRPW (I) : 軸方向出力分布
I = 1, JMAX+1

カード No 12 FORMAT (6 E 1 2. 5) MRCD=0の時入力

- 1) AMU (I) : 径方向出力分布
I = 1, IMAX IMAX = NI (1) + NI (3) + 3

3. 「GAPCON」ルーチン

カード No 13 FORMAT (4 E 1 2. 5)

- 1) ROUF : ペレット表面あらさ (mm)
- 2) ROUC : 被覆管内側表面あらさ (mm)
- 3) COLDW : Cold Work data (m²/m²)
- 4) FLUX : 高速中性子束 (コ/m². sec)
注意) 被覆材がSUS時は3、4は無視される。
ヒーターピン時は無視される。

4. 「FLUDYN」ルーチン

カード No 14 FORMAT (3 I 5, 3 E 1 2. 5)

- 1) IP : 時間と圧力データ数 (≤ 5 0)
- 2) IG : 時間とMass Flux データ数 (≤ 5 0)
- 3) IH : 時間とエンタルピーデータ数 (≤ 5 0)
- 4) OMEGA 1 : 質量方程式における重み係数
= 0. 0 ; Explicit
= 0. 5 ; Crank - Nicolson
= 1. 0 ; Implicit
- 5) OMEGA 2 : モーメント方程式における重み係数
= 0. 0 ; Explicit
= 0. 5 ; Crank - Nicolson
= 1. 0 ; Implicit
- 6) TAU : 粘性係数

カード No 15 FORMAT (6E12.5)

- 1) PT (I) : 時間 (秒)
 2) PP (I) : 圧力 (ata)
 I = 1, IP

カード No 16 FORMAT (6E12.5)

- 1) GT (I) : 時間 (秒)
 2) GG (I) : Mass Flow Density (kg/ m³. sec)
 I = 1, IG

カード No 17 FORMAT (6E12.5)

- 1) HT (I) : 時間 (秒)
 2) HH (I) : エンタルピー (Kcal/ kg)
 I = 1, IH

5. 「DEFORM」ルーチン

注意) 冷却材がナトリウム時はIDFM=1が設定される。
 ヒーターピン時はIDFM=1が設定される。

カード No 18 FORMAT (6E12.5) IDFM=1の時

- 1) VPLEN : プレナム体積 (m³)
 2) GUESS : Δt (°C)
 3) CRCK : Diametric Cracking Factor

カード No 19 FORMAT (6E12.5) IDFM=2の時

- 1) NCOUNT : 軸方向剪断力の収束回数
 2) EPSF : 燃料ペレット軸方向の収束値
 3) EPSC : 被覆管軸方向の力の収束値
 4) D515 : 燃料ペレットのバネ定数 (kg/m³)
 5) D516 : 軸方向の被覆管のバネ定数 (kg/m³)
 6) PHP (1) : 燃料固定 Bulk Modulus (kg/m³)
 7) PHP (2) : 燃料液体 Bulk Modulus (kg/m³)
 8) PHP (3) : 燃料固定比重 (kg/m³)
 9) PHP (4) : 燃料液体比重 (kg/m³)
 10) EPCR : Displacement Limit for Failure (%)

6. 「FISGAS」ルーチン

注意) 冷却材がナトリウム時はIFIS=1が設定される。

カード No 20 FORMAT (1E12.5) IFIS=1の時

- 1) B : 燃焼度 (MW · sec/kg)

カード No 21 FORMAT (6E12.5) IFIS=1の時

- 1) NRFI (I) : 初期ギャップガス圧
 I = 1, 7 I = 1 ; ヘリウム (ata)
 = 2 ; アルゴン (ata)
 = 3 ; クリプトン (ata)
 = 4 ; キセノン (ata)
 = 5 ; 水素 (ata)
 = 6 ; 空気 (ata)
 = 7 ; 蒸気 (g)

7. 「NFWFG」ルーチン

カード No 2 2 FORMAT (6E12.5) IFIS=2の時

- 1) NR I I (I) : 初期ギャップガス圧
 I = 1, 7 I = 1 ; ヘリウム (ata)
 = 2 ; アルゴン (ata)
 = 3 ; クリプトン (ata)
 = 4 ; キセノン (ata)
 = 5 ; 水素 (ata)
 = 6 ; 空気 (ata)
 = 7 ; 蒸気 (g)

カード No 2 3 FORMAT (6E12.5) IFIS=2の時

- 1) AMDT : 燃焼度 (MWD/T. UO₂)
 2) DI : 照射日数 (日)
 3) DC : 冷却日数 (日)
 4) PHINP : 中性日数 (コ/cml. se)
 5) QINP : 投入反応エネルギー (crl /g. UO₂)
 6) TEND : パルス幅 (秒)
 7) SIGUO2 : UO₂ の密度 (g /cml)

カード No 2 4 FORMAT (6E12.5) IFIS=2の時

- 1) WPCENT (I) : 重量比
 I = 1, 8 I = 1 : U - 2 3 5
 = 2 : U - 2 3 8
 = 3 : U - 2 3 9
 = 4 : Np - 2 3 9
 = 5 : Pu - 2 3 9
 = 6 : Np - 2 4 0
 = 7 : Pu - 2 4 0
 = 8 : Pu - 2 4 1

8. 「TRACON」ルーチン

注意) 冷却材がナトリウム時は無視されるがデータは設定は入力通りに設定する。

カード No 25 FORMAT (7 I 5)

- 1) FCONV : 自然又は強制対流
 = 1 ; Dittus and Boelter (強制対流)
 = 2 ; Ostrach (自然対流)
- 2) TNUCBL : 核沸騰
 = 1 ; Jens and Lottes (強制対流)
 = 2 ; Thom (強制対流)
 = 3 ; Nishikawa and Yamagata (自然対流)
- 3) NFCV : 強制対流
 = 1 ; Schrock and Grossman
 = 2 ; Load- Go Function
- 4) TRBOIL : 遷移沸騰
 = 1 ; Mcgonough, Milich and King (強制対流)
 = 2 ; Load- Go Function (プール沸騰)
- 5) FMBOIL : 安定膜沸騰
 = 1 ; Dougall and Rohsenow
 = 2 ; Miropli, SKiy
 = 3 ; Groeneveld
 = 4 ; Modified Bromley
 = 5 ; Load-Go Function
- 6) NPOOL : プール膜沸騰 (271. 22 kg/cm. sec 以下)
 = 1 ; Berenson Correlaiton
 = 2 ; Bromley's Correlation
- 7) CRFLUX : CHF (極大熱流速) 係数
 = 1 ; Westing house W-3
 = 2 ; G. E. design
 = 3 ; Combination of W-3 and G. E.
 = 4 ; Macbeth
 = 5 ; Barnett
 = 6 ; Becker
 = 7 ; W-3 and Barnett
 = 8 ; B+W-2
 = 9 ; Modified Barnett
 = 10 ; B+W-2 and Barnett
 = 11 ; Rohsenow - Griffith

カード No 26 FORMAT (6 E 1 2. 5)

- 1) TDC : W-3 mixing factor
 2) EATAR(I) : Bromley's fitting factor
 I = 1, 5

9. 「OXIDE」ルーチン

注意) 冷却材がナトリウム時は無視されるがデータは設定は入力通りに設定する。

カード No 27 FORMAT (I 5, E 1 2. 0)

- 1) IDOXID : オプション
 = 1 ; JAERI データ
 = 2 ; ORNI データ
 = 3 ; KFK データ
 = 4 ; MAPI データ
 = 5 ; NRIM データ
- 2) TREF : 最小温度 (°C)

カード No 28 FORMAT (6 E 1 2. 0)

- 1) WO (I) : 初期重量 (g/cm²)
 2) SIGO (I) : 初期酸化膜幅 (micro-)
 3) GSIO (I) : 初期幅 (酸化膜+定常 α 域)
 I = 1, JMAX

10. 「MELT」ルーチン

カード No 29 FORMAT (2 I 1 0)

- 1) IDMLTF : ペレット熔融計算オプション
 ≠ 0 ; 計算する
 = 0 ; 計算しない
- 2) IDMLTC : 被覆管熔融計算オプション
 ≠ 0 ; 計算する
 = 0 ; 計算しない

VI. プロッタファイルフォーム

レコード

No	変数名	説明
1.	(1) TITLE	: タイトル(72 文字)
2.	(1) IMAX	: 径方向ノード数 Radial-Direction Number
	(2) JMAX	: 軸方向ノード数 Axial-Direction Number
	(3) IGAP	: ギャップ数 Gap Number
3.	(1) SR(IMAX)	: 径方向距離(m) Radial-Direction Distance
4.	(1) HTRAN	: 燃料出力密度 Fuel Power Density (kcal/m's)
	(2) TIMEX	: 時間(sec) Time
	(3) QTRAN	: 炉出力 Reactor Power (MW)
	(4) TPLEN	: プレナム温度 (°C) Plenum Temperature
	(5) PRES	: プレナム圧力 (kg/cm ²) Plenum Pressure
	(6) RFI(1)	: ギャップガスのモル数(Mol)-He Gap Gas
	(7) RFI(2)	: ギャップガスのモル数(Mol)-Ar
	(8) RFI(3)	: ギャップガスのモル数(Mol)-Kr
	(9) RFI(4)	: ギャップガスのモル数(Mol)-Xe
	(10) RFI(5)	: ギャップガスのモル数(Mol)-H
	(11) RFI(6)	: ギャップガスのモル数(Mol)-Air
	(12) RFI(7)	: ギャップガスのモル数(Mol)-Steam
	(13) TMAX	: 積算炉出力 NVT (MWs)
	(14) TAVE	: 平均エネルギー(cal/g) Energy Deposition
	(15) T(IMAX, I)	: 温度 (°C) Temperature Distribution
	(16) EPSZP(I)	: 軸方向塑性ひずみ Axial Plastic Strain
	(17) SIGT(I)	: θ 方向応力 (kg/cm ²) Cladding Radial Stress
	(18) SIGZ(I)	: 軸方向応力 (kg/cm ²) Cladding Axial Stress
	(19) EFSTSS(I)	: 被覆管応力 (kg/cm ²) Effective Cladding Radial Stress
	(20) ALH(I)	: 最大応力 (kg/cm ²) Ultimate Stress
	(21) CONTP(I)	: ギャップ内圧 (kg/cm ²) * F-C Contact Pressure
	(22) QFLUX(I)	: 表面熱束(kcal/m ² ·hr) Surface Heat Flux
	(23) QQCRT(I)	: CHF 比 CHF ratio
	(24) HT1MKH(I)	: 熱伝達係数(kcal/m ² ·hr·°C) Heat Transfer Coefficient
	(25) DELG(I)	: ギャップ幅(mm) Gap Width
	(26) URFL(I)	: 燃料伸び(mm) Displacement of Fuel Surface
	(27) URCD(I)	: 被覆管伸び(mm) Displacement of Cladding Outer Surface
	(28) EPST(I)	: θ 方向ひずみ Cladding Radial Strain

レコード

No	変数名	： 説	明
4.	(29) EPSTP(I)	： θ 方向塑性ひずみ	Theta Plastic Strain
	(30) XX(I)	： 燃料ペレットエンタルピー	Fuel Enthalpy (kcal/kg)
	(31) HHTREG(I)	： 熱伝達モード	Mode of Heat Transfer
	(32) U(I)	： 冷却材速度(m/s)	Coolant Velocity
	(33) XF(I)	： ボイド率	Void Fraction of Coolant
	(34) P(I)	： 冷却材圧力(kg/cm ²)	Coolant Pressure
	(35) HFF(I)	： 冷却材エンタルピー(kcal/kg)	Coolant Enthalpy
	(36) HGAPO(I)	： ギャップコンダクタンス(kcal/m ² ・hr・℃)	Total Gap Conductance
	(37) SIGR(I)	： 径方向応力(kg/cm ²)	Cladding Radial Stress
	(38) EPSZ(I)	： 軸方向ひずみ	Cladding Axial Stress
	(39) TAVJ(I)	： リング温度(℃)	Unit Ring Average Temperature
	(40) EPPZ(I)	： 燃料軸方向ひずみ	Fuel Axial Direction Strain
	(41) DVEPS(I)	：	First Differential of EPPZ
	(42) DDVEPS(I)	：	Second Differential of EPPZ
	(43) X(I)	： クオリティ	Quality
	(44) Q(I)	： 臨界熱流速	Critical Heat Flux (kcal/m ² ・hr)
	(45) D(I)	： ΔT 被覆管壁温-流体温度	(C)
	(46) DS(I)	： ΔT_{SAT} 被覆管壁温-流体飽和温度	(C)
	I=1, JMAX		

* : 試験燃料と被覆管の接触圧力を示している。

注意：実数は8バイト。(倍精度)

<ROPSによるデータ位置番号について>

レコード4について出力する。(15) T(IMAX, I) : 温度においてIMAXのデータが設定されている為(16) EPSZP(I)以降のデータに対してIMAX個データずれる。

(16) EPSZP(I)以降のデータに対してのデータ位置番号は下記の式を用いる。

データ位置番号N=変数番号-1+IMAX

例. ① IMAX=15で(21) CONTP(I) : ギャップ内圧のデータ位置番号は

データ位置番号=変数番号-1+IMAX=21-1+15=35

ROPSでは-35とする。

②ROPSで15と指定した場合は、冷却材温度になる。

正整数を指定する場合は変数番号を設定する。