

高速増殖大型炉設計研究

—照射変形に起因する炉内流量分布変化挙動の評価—

1990年6月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、限られた関係者だけに配布するものです。従って、その取扱いには十分注意を払って下さい。なお、この資料の供覧、複製、転載、引用等には事業団の承認が必要です。

高速増殖大型炉設計研究

- 照射変形に起因する炉内流量分布変化挙動の評価 -

孤田成一^{*a}、金城勝哉^{*b}、梅木栄虎^{*c}、西村正洋^{*c}、前田章雄^{*d}

要 旨

(目的) 本研究の第一の目的は、一次系冷却材全流量が時間的に変化しないことを前提とし、中性子照射に起因する炉心材料の変形によって引き起こされる炉内流量再分布を評価するための手法、およびそれを組込んだ解析コードを提供することである。第二の目的は、この手法を適用することによって、63年度設計の100万kWeおよび150万kWeのFBRにおける炉内流量再分布を評価することである。

(方法) スペーサワイヤとラッパ管の径方向変形は、熱膨張、スエリング、および照射クリープを考慮して計算する。燃料被覆管の軸方向および径方向変形は、CEDAR-IIコードで計算する。したがって、燃料ペレットと被覆管の機械的相互作用(以下、PCMI)を考慮する。炉内流量再分布は、計算した変形寸法および燃料ピンバンドル部圧損実験式を用いて評価する。尚、圧損実験式はバンドルとラッパ管の相互作用量に依存する式である。

(結論) 本研究で得られた主要な結論を以下に示す。

- (1) 中性子照射に起因する炉心材料の変形によって引き起こされる炉内流量再分布評価手法を提供するとともに、同手法を組込んだFDICAコードを開発した。
- (2) 燃料設計寿命が45ヵ月である100万kWe FBRでは、サイクル末期での流量再分布が著しく、最大発熱集合体の流量は3.6%減少する。これは、ラッパ管材がPNCフェライト/マルテンサイト鋼であることに対し、被覆管材がPNC改良オーステナイト鋼であることによる。
- (3) ラッパ管材を改良オーステナイト鋼に変更するならば、流量減少率は0.5%と小さくなり、燃料設計の観点ではこの材料選択の方が好ましいことが分かった。
- (4) 燃料設計寿命が72ヵ月である150万kWeのFBRでは、被覆管材とラッパ管材はいずれも酸化物分散強化型フェライト鋼であるにも拘わらず、流量再分布は著しく、最大発熱集合体の流量は2.2%減少する。これは、PCMIに起因する被覆管の変形が大きいためである。

*a 大洗工学センター、技術開発部、プラント工学室

*b 大洗工学センター、技術開発部、プラント工学室(現 実験炉部、技術課)

*c 株式会社アイ・エス・エル

*d 株式会社アイ・エス・エル(現 株式会社エイ・エス・アイ)

Design Study on Large Scale FBRs

— Evaluation of in-reactor flow re-distribution caused by deformation of core structural materials due to neutron irradiation —

Seiichi Komoda^{*a}, Katsuya Kinjo^{*b}, Eikoh Umeki^{*c}, Masahiro Nishimura^{*c} and Akio Maeda^{*d}

Abstract

One of the aims of this study is to present a evaluation method on in-reactor flow re-distribution caused by the deformation of core structural materials due to neutron irradiation and the computing code into which the method is incorporated. Here it should be mentioned that the total flow rate in the primary coolant system is assumed to remain unchanged with time. The other aim is to evaluate the in-reactor flow re-distribution in the FBRs of 1,000 MWe and 1,500 MWe designed in the year before last by applying this method.

The radial deformations of spacer wire and duct tube are calculated by taking account of thermal expansion, swelling and irradiation creep. The axial and radial deformations of fuel cladding are calculated by CEDAR-II code, and hence the mechanical interaction between fuel pellets and cladding (hereafter referred to PCMI) is taken into account. The in-reactor flow re-distribution is evaluated by using the deformed dimensions and the experimental formula of pressure loss in fuel pin bundles which depends on the magnitude of bundle duct interaction.

The main conclusions drawn in this study are as follows.

- (1) The evaluation method is presented, and it is incorporated into FDICA code (computing code of in-reactor Flow re-Distribution CAUSED by the deformation of core structural materials due to neutron irradiation)
- (2) The flow re-distribution is remarkable in the end of reactor cycle in the 1,000 MWe FBR in which the fuel life is designed to be 45 months and the flow rate in the hottest fuel assembly decreases by 3.6 %, because the duct material is a PNC ferritic/martensitic steel while the cladding one is a PNC advanced austenitic steel.
- (3) The flow re-distribution is slight and the flow rate decreases only by 0.5 % if the duct material is replaced by the advanced austenitic steel. Hence this material selection is preferable in view of the fuel design.
- (4) The flow re-distribution is remarkable in the 1,500 MWe FBR in which the fuel life is designed to be 45 months and the flow rate decreases by 2.2 % although both the cladding and duct materials are an oxide dispersion strengthening ferritic steel. This is because the deformation of cladding due to PCMI is significant.

*a Plant Engineering Office, Technology Development Division, Oarai Engineering Center

*b Plant Engineering Office, Technology Development Division, Oarai Engineering Center
(Present address : Reactor Technology Section, Experimental Reactor Division)

*c I. S. L. Incorporated

*d I. S. L. Incorporated (Present address : A. S. I. Incorporated)

目次

第1章	まえがき	- 1 -
第2章	評価手法	- 3 -
2.1	寸法形状の計算	- 3 -
2.2	流動抵抗増加率の計算	- 5 -
2.3	照射変形を考慮した炉内流量分布の計算	- 6 -
第3章	評価条件	- 7 -
3.1	100万kWeレファレンス炉心(15ヶ月×3バッチ)	- 7 -
3.2	150万kWe実用化炉心(24ヶ月×3バッチ)	- 8 -
第4章	評価結果	- 9 -
4.1	100万kWeレファレンス炉心 (15ヶ月×3バッチ、FMS鋼製ラッパ管)	- 9 -
4.2	100万kWeレファレンス炉心 (15ヶ月×3バッチ、AST鋼製ラッパ管)	- 10 -
4.3	150万kWe実用化炉心(24ヶ月×3バッチ)	- 11 -
第5章	結言	- 12 -
	謝辞	- 14 -
	参考文献	- 14 -
Appendix	FDICAコードのマニュアル	- 30 -
A	コード概要	- 30 -
B	物性式	- 35 -
C	入力データの説明	- 37 -
D	実行JCL	- 41 -
E	サンプル入力データ	- 42 -
F	サンプル出力リスト	- 45 -
G	エラー診断出力一覧	- 66 -
H	変数一覧	- 67 -

表 リ ス ト

第1.1表	水流動試験にて得られた圧力損失特性式-----	15
第3.1表	リファレンスプラントの炉心燃料仕様と、燃料交換計画-----	16
第3.2表	実用化プラントの炉心燃料仕様と、燃料交換計画-----	17
第3.3表	リファレンスプラントにおける計画流量配分、線出力および高速中性子束の 軸方向ピーク値、およびバンドル部圧損-----	18
第3.4表	実用化プラントにおける計画流量配分、線出力および高速中性子束の 軸方向ピーク値、およびバンドル部圧損-----	18

図 リ ス ト

第1.1図	圧力損失係数のBDI量への依存性-----	19
第3.1図	線出力および高速中性子束の軸方向分布 (リファレンス・プラント炉心)----	20
第3.2図	被覆管外面,ワイヤ,ラッパ管の軸方向温度分布(リファレンス・プラント)----	20
第3.3図	被覆管の径方向,軸方向膨張率(リファレンス・プラント炉心,領域;#1)-----	21
第3.4図	被覆管の径方向,軸方向膨張率(リファレンス・プラント炉心,寿命末期)-----	21
第3.5図	線出力および高速中性子束の軸方向分布(実用化プラント炉心)-----	22
第3.6図	被覆管外面,ワイヤ,ラッパ管の軸方向温度分布(実用化プラント炉心)-----	22
第3.7図	被覆管の径方向および軸方向膨張率(実用化プラント炉心,領域;#1)-----	23
第3.8図	被覆管の径方向および軸方向膨張率 (実用化プラント炉心,寿命末期)-----	23
第4.1図	15ヵ月×3バッチ炉心(ラッパ管材質:FMS鋼)における サイクル初期での炉内流量分布変化挙動評価結果-----	24
第4.2図	15ヵ月×3バッチ炉心(ラッパ管材質:FMS鋼)における サイクル末期での炉内流量分布変化挙動評価結果-----	24
第4.3図	領域#1集合体のBDI量(15ヵ月×3バッチ炉心,ラッパ管材質:FMS鋼)-----	25
第4.4図	領域#1集合体の等価直径(15ヵ月×3バッチ炉心,ラッパ管材質:FMS鋼)-----	25
第4.5図	領域#1集合体対面巾増加量(15ヵ月×3バッチ炉心,ラッパ管材質:FMS鋼)----	25
第4.6図	15ヵ月×3バッチ炉心(ラッパ管材質:AST鋼)における サイクル初期での炉内流量分布変化挙動評価結果-----	26
第4.7図	15ヵ月×3バッチ炉心(ラッパ管材質:AST鋼)における サイクル末期での炉内流量分布変化挙動評価結果-----	26
第4.8図	領域#1集合体のBDI量(15ヵ月×3バッチ炉心,ラッパ管材質:AST鋼)-----	27
第4.9図	領域#1集合体の等価直径(15ヵ月×3バッチ炉心,ラッパ管材質:AST鋼)-----	27
第4.10図	領域#1集合体対面巾増加量(15ヵ月×3バッチ炉心,ラッパ管材質:AST鋼)----	27
第4.11図	24ヵ月×3バッチ炉心サイクル初期での炉内流量分布変化挙動評価結果----	28
第4.12図	24ヵ月×3バッチ炉心サイクル末期での炉内流量分布変化挙動評価結果----	28
第4.13図	領域#1集合体のBDI量(24ヵ月×3バッチ炉心)-----	29
第4.14図	領域#1集合体の等価直径(24ヵ月×3バッチ炉心)-----	29
第4.15図	領域#1集合体のラッパ管対面巾の増加量(24ヵ月×3バッチ炉心)-----	29

第1章 まえがき

ナトリウム冷却高速増殖炉では、燃料集合体の発熱量に応じて流量領域区分を設け、各流量領域内の燃料集合体へ配分すべき冷却材計画流量値を求めるための流配設計が行われる。この際、設計計画値からのズレの生じる可能性があるので、集合体間流量配分誤差を考慮する必要がある。「もんじゅ」設計では、この流量配分誤差を6~7%と評価しているが、配分誤差の原因として、以下の3因子を考慮したものである。

- ① 流動実験時の測定誤差、測定データのばらつき
- ② 実機における製作公差に付随する圧力損失の変化
- ③ 炉心燃料集合体エントランスノズル・オリフィス孔と連結管スリットの設置状態による圧力損失の変化

ところで、炉心燃料集合体は高速中性子照射量が高いことや、ペレット・被覆管間の機械的相互作用(PCMI)が生じることで、炉心材料は照射変形する。このため、燃料ピンバンドル部の等価直径・流路面積の低下だけでなく、ピン間クリアランスの減少やピンの曲がり発生に起因して、バンドル部流動抵抗が増加し、炉内流量分布が設計計画値からズレることが懸念される。「もんじゅ」ではこの照射変形に起因する流量配分誤差を考慮していないが、最大発熱燃料集合体の寿命末期バンドル部の等価直径および流路面積の評価結果から、考慮しない方が燃料設計上保守的であるとの見通しが得られている。

しかし、実証炉以降の設計では、高燃焼度化に伴ってPCMIに起因する被覆管外径増加が大きくなることや、被覆管とラップ管が同材質とは限らないことで、流動抵抗の有意な増加が生じないとは断定できない。本研究は、大洗工学センターにて実施されたBDI (Bundle-Duct-Interaction) 模擬燃料集合体の水流動試験¹⁾にて得られた圧力損失特性式を用いて、上記照射変形に起因する炉内流量分布変化の大きさを検討したものである。水流動試験は、製作時寸法条件(BDI量: -1.26dw)、BDI量が0 dw、2 dw、および3 dwに相当する圧縮条件で実施されており、第1.1表に示したように、各試験条件毎に圧力損失特性式が得られている。この圧力損失特性式にて計算した圧力損失係数のBDI量依存性を第1.1図に示した。BDIが発生すると(正になると)、圧力損失係数は製作時と比べて10%程度大きくなっている。BDIが非発生の状態では、ピン間クリアランスがあるので、冷却材の一部はワイヤを乗り越えて真上に進行するが、BDIが発生すると、クリアランスが消失し、乗り越えることができず、横向き流量が多くなるためと

解釈できる。また、BDIが0~3 dwの間ではほぼ一定の傾向があり、BDI発生に起因するピンの曲がりや流動抵抗の有為な増加を招かないことが分かった。但し、BDI量に応じて等価直径や流路面積が変化するので、それに起因する流動抵抗の増減はあることに留意する必要がある。

63年度の高速増殖大型炉設計研究において、1990年代に着工可能な技術レベルを想定した15ヵ月×3バッチ炉心の100万kWeレファレンス・プラント²⁾、および2005年頃着工を想定した24ヵ月×3バッチ炉心の150万kWe実用化プラント³⁾の概念が検討された。本研究では、これらのプラントと、レファレンス・プラントにおいてラッパ管材を改良オーステナイト鋼に変更したプラントの3種類を検討対象とし、照射変形に起因する流量再配分を設計上考慮する必要があるかどうかを検討した。

レファレンス・プラントでは、燃料ピン全長は2.3 mと短尺であり、このためバンドル部圧損は最大で1.3 kg/cm²、また一次冷却系の全圧損は2.0 kg/cm²と小さい設計となっている。被覆管材およびワイヤ材として改良オーステナイト鋼(AST鋼)を想定しているが、炉心湾曲を緩和するため、ラッパ管材は耐スエリング性の優れた高強度フェライト/マルテンサイト鋼(FMS鋼)としており、異種材料混在炉心*になっている。この場合、BDIが厳しくなるので、燃料設計の観点でも好ましい選択であるのか再検討の余地がある。このような訳で、ラッパ管材をAST鋼に変更したプラントも検討対象とした。本プラントでは、ラッパ管の径方向膨れが大きくなるので、集合体配列ピッチを若干増加する必要があると考えられるが、レファレンス・プラントにおける核計算結果や流配設計結果をそのまま使用できるものとした。

実用化プラントでは、燃料ピン全長は3.4 mであり、このためバンドル部圧損は最大で3.0 kg/cm²、また一次冷却系の全圧損は3.8 kg/cm²と、レファレンス・プラントにおけるより大きい設計となっている。バンドル部最大圧損の一次冷却系全圧損に占める割合は約80%であり、上記2種のプラントにおける割合、約65%と比較して大きいという特徴がある。炉心材料としては、耐スエリング性だけでなく高温強度も優れた酸化物分散強化型フェライト鋼(ODS鋼)の採用を想定している。

補足*) 異種材料混在炉心として、英国のPFRと西独のSNR-300があるが、いずれもグリッド型燃料を採用しており、ワイヤ型燃料ではない。グリッド型の場合、BDIが寿命制限因子とならないので、異種材料混在炉心は燃料設計の観点で有利と考えられる。

第2章 評価方法

2.1 寸法形状の計算

(1) 燃料被覆管外径増加率および軸方向膨張率

燃料挙動解析コードCEDAR-II⁴⁾を用いて、熱膨張、スエリング/照射クリープ、およびベレット・被覆管間の機械的相互作用(PCMI)を考慮して求めた被覆管外径増加率および軸方向膨張率を用いる。

(2) ワイヤ外径増加率

熱膨張およびスエリングを考慮して求めた外径増加率を用いる。

(3) ラッパ管の平均内対面巾

まず、熱膨張およびスエリングを考慮してラッパ管内対面巾 E を求める。ラッパ管内面六角形の一辺を l とすると、 $l=E/1.7320508$ の関係がある。今、ラッパ管コーナから $x(0 \leq x \leq l)$ だけ離れた位置での照射クリープに起因するラッパ管の膨れ量 y は、辺中央部($x=l/2$)での膨れ量 v_{\max} を用いると、次式で表される。

$$y = 16 \times v_{\max} \times [(x/l)^2 - 2(x/l)^3 + (x/l)^4] \quad \text{----- (2.1)}$$

ここで、 v_{\max} は、両端固定の弾性梁のたわみの問題と同様の方法で計算でき、

$$v_{\max} = \Delta P \times l^4 / (32 \times h^3) \times (1 - \nu/2) \times (\epsilon/\sigma) \quad \text{----- (2.2)}$$

与えられる。ここで、 ΔP :ラッパ管内外面冷却材圧力差

h :ラッパ管肉厚

ν :ポアソン比

ϵ :等価クリープひずみ

σ :等価応力 $\sigma = (1 - \nu + \nu^2)^{1/2} \times \sigma_{\theta}$

σ_{θ} :周方向応力 $\sigma_{\theta} = \Delta P \times l^2 / (2 \times h^2)$

この照射クリープに起因するラッパ管の膨れ(bulging変形)を考慮したラッパ管平均内対面巾 E' は、次式で算出される。

$$(1.7320508/2) \cdot E'^2 = (1.7320508/2) \times E^2 + 12 \times \int_0^{l/2} y \, dx = (1.7320508/2) \times (E + 16 \times v_{\max}/15)^2$$

$$\therefore E' = E + 16 \times v_{\max}/15 \quad \text{-----} \quad (2.3)$$

式(2.2)におけるラッパ管内外面冷却材圧力差 ΔP は、次式で与えられる。

$$\Delta P = \Delta P_t + P_i \times z / L_t$$

ΔP_t : ピン上端でのラッパ管内外面冷却材圧力差

z : ピン上端からの距離

L_t : ピン全長

P_i : バンドル部圧損

(4) バンドル部濡れ縁長さおよび流路面積

バンドル部濡れ縁長さ P 、および流路面積 A は、それぞれ次式で求まる。

$$P = 12 \times \int_0^{l/2} [1 + (dy/dx)^2]^{1/2} dx + n \times \pi \times (D + d) \quad \text{-----} \quad (2.4)$$

$$A = (1.7320508/2) \times E'^2 - n \times (\pi/4) \times (D^2 + d^2) \quad \text{-----} \quad (2.5)$$

ここで、 D : 被覆管外径

d : ワイヤ直径

(5) BDI量

ラッパ管内対面巾として平均値 E' を用いて、BDI量 δ は次式で算出される。

$$\delta = (1.7320508 n + 1) \cdot D + (1.7320508 n + 2) \cdot d - E' \quad \text{-----} \quad (2.6)$$

ここで、 n はピンバンドルの層数(注:中心ピンは1層として数えない。)であり、ピン本数 N と次の関係がある。

$$N = 1 + 3n + 3n^2 \quad \text{-----} \quad (2.7)$$

2.2 流動抵抗増加率の計算

(1) 軸方向各部での流動抵抗増加率

軸方向各(メッシュ分割)部における、径方向および軸方向照射変形に起因する流動抵抗増加率 $C=C_h/C_n$ は、2.1節で求めた各種寸法形状を用いて、次式で算出する。

$$C_n = 0.212 \times Re_n^{**} (-0.2040) \times L_n \times (\rho v_n^2 / 2) / HD_n \quad \text{----- (2.8)}$$

$$C_h = 0.1955 \times Re_h^{**} (-0.1894) \times L_h \times (\rho v_h^2 / 2) / HD_h \quad (\text{for } \delta \geq 0) \quad \text{----- (2.9)}$$

ここで、

Re: レイノルズ数

L: 各メッシュ部の軸方向長さ

ρ : 冷却材密度

v: 冷却材流速

HD: 等価直径($4 \times A/P$)

であり、 C_n は照射変形前の寸法形状にて計算し、 C_h は照射変形後の寸法形状にて計算する。但し、照射変形後のBDI量 δ が負値となるときは、式(2.9)の下線部の代わりに、式(2.8)と式(2.9)の下線部で算出される値を内挿した値を使用するものとする。

(2) 軸方向平均流動抵抗増加率

バンドル部における軸方向平均流動抵抗増加率 f は、軸方向各部での流動抵抗増加率 C の、各メッシュ部軸方向長さを重みとした相加平均値として求める。

2.3 照射変形を考慮した炉内流量分布の計算

炉心燃料集合体の領域(核熱特性が同等の集合体群)を $i=1\sim i_{max}-1$ とし、スエリング/照射ク
 リープに起因する流路変形効果は、炉心燃料集合体以外では無視できると考えられるので、炉
 心燃料集合体以外の流路をひとまとめにし、領域 i_{max} として取り扱う。領域 i 、燃料交換パター
 ン j の集合体の軸方向平均流動抵抗増加率および集合体流量を、それぞれ f_{ij} および Q_{ij}' とし、領
 域 i_{max} の流量を Q_i' とした時、照射変形後の全圧損 P_T' は次式で与えられる。

$$P_T' = P_i \times f_{ij} + (P_T - P_i) \times (Q_{ij}'/Q_{ij})^2 \quad \text{for } i=1\sim i_{max}-1 \text{ and } j=1\sim j_{max} \quad \text{----- (2.10)}$$

$$P_T' = P_T \times (Q_i'/Q_i)^2 \quad \text{for } i=i_{max} \quad \text{----- (2.11)}$$

ここで、 P_i は、領域 i の炉心燃料集合体の計画流量時(炉内での寸法変化を考慮しない条件での)
 バンドル部圧損であり、 P_T は計画流量時の全圧損である。また、 Q_{ij} および Q_i は計画流量であ
 る。式(2.10)で、右辺第1項はバンドル部の流路変形効果を含んだ流動抵抗増加に起因する圧力
 損失の項、第2項はバンドル部を除く上下部分の流量変化に起因する圧力損失の項である。

これらの式と、一次冷却材全流量が照射変形前後で不変であることから、すなわち次式と
 から、未知数 P_T' 、および Q_{ij}' 、 Q_i' を算出する。

$$\sum_i (N_i \times Q_i) = \sum_{ij} (N_{ij} \times Q_{ij}') + N_{i_{max}} \times Q_i' \quad \text{----- (2.12)}$$

ここで、 N_{ij} は、領域 i 、燃料交換パターン j の集合体の本数であり、バッチ数 j_{max} と領域 i の集
 合体本数 N_i を用いて、 $N_{ij} = N_i/j_{max}$ と表される。また、 $N_{i_{max}}$ は1である。

尚、式(2.10)~(2.12)の連立方程式を解くことで求まる流量は、式(2.9)での流動抵抗の計算に
 フィードバックされ、新たに求まる軸方向平均流動抵抗増加率を用いて、連立方程式を再度解
 くという手順で、収束するまで繰返計算する。

第3章 評価条件

3.1 100万kWeレファレンス炉心(15ヶ月×3バッチ炉心)

63年度の高速増殖大型炉設計研究において、1990年代に着工可能な技術レベルを想定した100万kWeレファレンスプラント²⁾の概念が検討されており、本炉心を評価対象として選定した。本炉心では、被覆管材として改良オーステナイト鋼(AST鋼)の採用を前提としているが、ラップ管の照射変形量を低減することを目的として、ラップ管材としては耐スエリング性に優れた高強度フェライト・マルテンサイト鋼の採用を想定している。本研究においては、この炉心そのものと、ラップ管材もAST鋼とした炉心についても検討するものとし、核熱特性は同一条件とした。

第3.1表に、レファレンスプラントの炉心燃料仕様と、燃料交換計画を示す。また、第3.3表に、計画流量配分、各領域の炉心燃料についての線出力および高速中性子束の軸方向ピーク値、およびバンドル部圧損を示す。ここでの計画流量、バンドル部圧損、および全圧力損失は、ノミナル寸法に対するもの(照射変形を考慮しない場合に対応)であり、本研究では、照射変形を考慮した場合を評価するものである。線出力および高速中性子束の軸方向ピーク値、および一次冷却材全流量は、照射期間中一定とする。ラップ管の冷却材圧力差は、ピン上端で零とする。

第3.1図に、線出力および高速中性子束の軸方向分布相対値を示す。また、第3.2図に、被覆管外面、ワイヤ、およびラップ管の軸方向温度分布を示す。これらの線出力、高速中性子束、および温度の軸方向分布は、照射期間中一定とする。

第3.3図と第3.4図に、CEDAR-IIコードにより求めた被覆管径方向および軸方向の膨張率を示した。第3.3図は、領域#1の集合体について、0日、15ヵ月、30ヵ月、および45ヵ月での膨張率を示す。また、第3.4図は、領域#1~#8の集合体について、45ヵ月(寿命末期)での膨張率を示す。

3.2 150万kWe実用化炉心(24ヶ月×3バッチ炉心)

平成元年度の高速増殖大型炉設計研究において、2005年頃着工を想定した150万kWe実用化プラント³⁾の概念が検討されており、本炉心を評価対象として選定した。本炉心では、被覆管、ワイヤ、およびラッパ管材として酸化物分散強化型フェライト鋼(ODS鋼)の採用を想定している。

第3.2表に、実用化プラントの炉心燃料仕様と、燃料交換計画を示す。また、第3.4表に、計画流量配分、各領域の炉心燃料についての線出力および高速中性子束の軸方向ピーク値、およびバンドル部圧損を示す。ここでの計画流量、バンドル部圧損、および全圧力損失は、ノミナル寸法に対するもの(照射変形を考慮しない場合に対応)であり、本研究では、照射変形を考慮した場合を評価するものである。線出力および高速中性子束の軸方向ピーク値、および一次冷却材全流量は、照射期間中一定とする。ラッパ管の冷却材圧力差は、ビン上端で零とする。

第3.5図に、線出力および高速中性子束の軸方向分布相対値を示す。また、第3.6図に、被覆管外面、ワイヤ、およびラッパ管の軸方向温度分布を示す。これらの線出力、高速中性子束、および温度の軸方向分布は、照射期間中一定とする。

第3.7図と第3.8図に、CEDAR-IIコードにより求めた被覆管径方向および軸方向の膨張率を示した。第3.7図は、領域#1の集合体について、0日、24ヵ月、48ヵ月、および72ヵ月での膨張率を示す。また、第3.8図は、領域#1~#4の集合体について、72ヵ月(寿命末期)での膨張率を示す。

第4章 評価結果

4.1 100万kWeレファレンス炉心(15ヶ月×3バッチ、FMS鋼製ラッパ管)

(1) 平衡炉心におけるサイクル初期

第4.1図に、計画流量からの変化率を示した。いずれの炉心燃料集合体においても、流量変化率は±0.5%以内であり、「もんじゅ」で考慮している流量配分誤差6~7%と比較して十分小さいので、サイクル初期における照射変形に起因する流量分布変化は燃料設計上無視して差し支えないと考えられる。尚、一次冷却系全圧損計算値は 2.042 kg/cm^2 であり、製作時寸法形状での圧損 2.0 kg/cm^2 と比較して、2.1%の増加となっている。

以下に、得られた流量変化率について、考察する。

- ・0日照射の炉心燃料集合体では、ラッパ管材(FMS鋼)の熱膨張係数が被覆管材(AST鋼)のそれと比べて小さいために、バンドル部の等価直径や流路面積は製作時と比べて減少する。一方、ラッパ管材のスエリング/照射クリープ式として、潜伏期間のない式を用いているため、15ヵ月または30ヵ月照射の集合体では流路面積が回復する。このような訳で、同一領域の集合体では、照射期間が長いものほど、流量が多い結果となっている。
- ・領域#1~#5の炉心燃料集合体におけるバンドル部圧損の全圧損に占める割合が65%と高いことに比べ、領域#6~#8の集合体における割合は43.5%と低い。このため、各領域の平均流量は、前者では減少、後者では増加していると解釈される。

(2) 平衡炉心におけるサイクル末期

第4.2図に、計画流量からの変化率を示した。45ヵ月照射(寿命末期)の炉心燃料集合体のうち、高速中性子照射量が最大の領域#1の集合体において、流量減少率が最大3.6%になるとの結果が得られており、燃料設計上無視できない影響と考えられる。

参考として、第4.3図、第4.4図、および第4.5図に、領域#1の炉心燃料集合体について、BDI量、等価直径、およびラッパ管外対面巾増加量の軸方向分布を示した。照射量が被覆管(AST鋼)のスエリング潜伏期間を上回っていることや、ラッパ管(FMS鋼)の対面巾増加量が小さいため、炉中心高さ付近で、BDIが3dw程度と大きく、等価直径が小さくなっている。尚、全圧損計算値は 2.062 kg/cm^2 であり、製作時寸法形状での圧損 2.0 kg/cm^2 と比較して、3.1%の増加となっている。

4.2 100万kWeレファレンス炉心(15ヶ月×3バッチ、AST鋼製ラップ管)

(1) 平衡炉心におけるサイクル初期

第4.6図に、計画流量からの変化率を示した。いずれの炉心燃料集合体においても、流量変化率は±0.3%以内(ラップ管材質をFMS鋼とした場合よりも小さい)であり、「もんじゅ」で考慮している流量配分誤差6~7%と比較して十分小さいので、サイクル初期における照射変形に起因する流量分布変化は熱流力設計上無視して差し支えないと考えられる。

尚、ラップ管材質をFMS鋼とした場合と異なり、0日照射の炉心燃料集合体では、バンドル部の等価直径や流路面積が製作時と比べて増加することで、流量が増加している。全圧損計算値は 1.9922 kg/cm^2 であり、製作時寸法形状での圧損 2.0 kg/cm^2 と比較して、0.39%の減少となっている。

(2) 平衡炉心におけるサイクル末期

第4.7図に、計画流量からの変化率を示した。いずれの炉心燃料集合体においても、流量変化率は±0.7%以内であり、「もんじゅ」で考慮している流量配分誤差6~7%と比較して十分小さいので、照射変形に起因する流量分布変化は、サイクル末期においても、熱流力設計上無視して差し支えないと考えられる。

参考として、第4.8図、第4.9図、および第4.10図に、領域#1の炉心燃料集合体について、BDI量、等価直径、およびラップ管外対面巾増加量の軸方向分布を示した。ラップ管の対面巾増加量が大きいため、BDIは $0.3dw$ 程度以下に収まっており、等価直径も著しく減少していない。尚、全圧損計算値は 2.0014 kg/cm^2 であり、製作時寸法形状での圧損 2.0 kg/cm^2 と比較して、0.07%の増加となっている。

4.3 150万kWe実用化炉心(24ヶ月×3バッチ)

(1) 平衡炉心におけるサイクル初期

第4.11図に、計画流量からの変化率を示した。領域#1の炉心燃料集合体において、変化率が最大となり、約1.1%の流量低下との結果が得られた。15ヵ月×3バッチ炉心と比較して、流量低下率が大きい理由は、燃焼度を上げ(取出平均燃焼度で比較すると、15ヵ月×3バッチ炉心で約9万MWd/tであることに対し、本炉心では約14万MWd/t)、かつ耐スエリング特性のより優れた被覆管材料を採用しているにも拘わらず、スミア密度を同じ(約88%T.D.)にしているため、PCMIに起因する被覆管外径増加率が大きいと考えられる。

尚、一次冷却系全圧損計算値は 3.8005 kg/cm^2 であり、製作時寸法形状での圧損 3.8 kg/cm^2 と比較して、0.013%の増加となっている。

(2) 平衡炉心におけるサイクル末期

第4.12図に、計画流量からの変化率を示した。領域#1の炉心燃料集合体において、変化率が最大となり、約2.2%の流量低下との結果が得られた。被覆管、ラッパ管とも耐スエリング特性の優れた材料を前提としているため、ラッパ管だけ耐スエリング特性の優れた材料とした100万kWeレファレンス炉心と比べて流量低下率は小さいが、燃料設計上無視できない影響と考えられる。

参考として、第4.8図、第4.9図、および第4.10図に、領域#1の炉心燃料集合体について、BDI量、等価直径、およびラッパ管外対面巾増加量の軸方向分布を示した。全圧損計算値は 3.8551 kg/cm^2 となり、製作時寸法形状での圧損 3.8 kg/cm^2 と比較して、約1.5%の増加となっている。

第5章 結 言

(1) 結論

- ① 一次冷却系全流量が一定方式のプラントを対象として、照射変形に起因する炉内流量再分布解析手法を提供した。
- ② 同手法を組み込んだ照射変形に起因する炉内流量再分布解析コードFDICA (A computing code for calculations of in-reactor flow re-distribution caused by deformation of structural materials owing to neutron irradiation)を開発した。
- ③ 63年度設計の100万kWeレファレンス炉心(15ヵ月×3バッチ)において、炉心燃料集合体当たり流量の計画流量値からの最大低下率は、AST鋼のスエリング潜伏期間内であるサイクル初期では、0.5%と小さく、従来考慮されている流量配分誤差(6~7%)の裕度内に収まる可能性がある。しかし、ラッパ管(FMS鋼)のスエリングと比べて、被覆管(AST鋼)のスエリングが顕著になるサイクル末期では3.6%と大きく、燃料設計評価の際には、照射変形に起因する炉内流量再分布の影響を別途考慮する必要がある。すなわち、出力漸減を考慮した末期での被覆管温度が650°Cのとき、照射変形に起因する流量低下3.6%のため、実際は $(650-375)/(1-0.036)+375=660^{\circ}\text{C}$ になるとして、CDF(クリープ損傷和)等の評価を行う必要がある。
- ④ 上記炉心において、ラッパ管を被覆管と同じAST鋼に変更した場合、炉心燃料集合体当たり流量の計画流量値からの最大低下率は、サイクル初期および末期において、それぞれ0.3%および0.7%と小さく、従来考慮されている流量配分誤差の裕度内に収まる可能性がある。したがって、燃料設計の観点では、被覆管とラッパ管を同材質とすることが好ましい。
- ⑤ 63年度設計の150万kWe実用化炉心(24ヵ月×3バッチ)において、炉心燃料集合体当たり流量の計画流量値からの最大低下率は、被覆管とラッパ管が同材質であるけれどもPCMIに起因する被覆管外径増加の寄与が大きいため、サイクル初期および末期において、それぞれ1.1%および2.2%と若干大きく、燃料設計評価の際には、照射変形に起因する炉内流量再分布の影響を別途考慮する必要がある。

(2) 今後の課題

- ① 今回は、BDIに起因する被覆管温度上昇の一因として、集合体当たり冷却材流量の減少を定量的に検討した。しかし、BDIに起因する燃料ピンの配列乱れによる局所的な温度上昇は検討していない。また、Phenixではワイヤのたるみ発生により、集合体出口温度は約10°C上昇したと報告されている⁹⁾が、今回の検討ではワイヤのたるみに起因する流動抵抗の増加を考慮していない。したがって、今後、配列乱れやワイヤのたるみの影響も含めて、BDI発生時の被覆管温度上昇を評価する必要がある。
- ② 今回の検討にて、被覆管をAST鋼、ラップ管をFMS鋼とした15ヵ月×3バッチの100万kWe炉心では、寿命末期でのBDIがワイヤ径3本分と大きいため、最大発熱燃料集合体において有意な流量低下が生じることで、燃料設計の観点では好ましくないことが分かった。今後の設計研究では、ラップ管をFMS鋼に固定しないで、AST鋼とした場合の設計検討も実施し、ラップ管材質を再度検討する必要がある。
- ③ 高燃焼度化を実現するための、耐スエリング性に優れた材料としてODS鋼の開発が進められており、ODS鋼採用時の課題として、従来よりPCMIに起因する被覆管応力が注目されていた。今後の設計研究では、PCMIに起因する被覆管外径増加によって引き起こされる流量再配分も検討した上で、目標燃焼度や燃料スミア密度を適正化する必要がある。

謝 辞

本研究を開始するに当たって、炉工室の菅原室代および石橋研究員より、大型バンドル圧縮時水流動試験の結果について教示頂いた。また、解析コードFDICAの作成とテスト計算は、(株)CRCの源田氏、稲村氏、および新田氏のご協力を頂いた。

本報告書作成に際し、プラント工学室の山下室長、若林担当役より種々の有益なコメントを頂いた。

参考文献

- (1) 動力炉・核燃料開発事業団：“高速増殖炉研究開発の現状—平成元年—”，p. 21.
- (2) 金城勝哉、他：PNC ZN 9410 89-171，“高速増殖大型炉設計研究—100万kWeレファレンス・プラント—”，(1989).
- (3) 前田清彦、他：PNC ZN 9410 89-172，“高速増殖大型炉設計研究—150万kWe実用化プラント—”，(1989).
- (4) 金子洋光、他：PNC SN 841 82-49，“燃料挙動解析コードCEDAR—IIマニュアル”，(1982).
- (5) J.L. Ratier et al：“Behaviour of Phenix standard fuel”，Proc. Int. Conf. on Reliable Fuels for Liquid Metal Reactor, Tucson, 2—51, (1986).

第1.1表 水流動試験¹⁾にて得られた圧力損失特性式

試験条件 (BDI量)	圧力損失特性式	適用レイノルズ数範囲
-1.26dw	$f = 0.212 \times Re^{**}(-0.2040)$	$7,000 \leq Re \leq 68,000$
0 dw	$f = 0.1955 \times Re^{**}(-0.1894)$	$7,400 \leq Re \leq 63,000$
2 dw	$f = 0.20476 \times Re^{**}(-0.1931)$	↓
3 dw	$f = 0.20232 \times Re^{**}(-0.19343)$	$7,400 \leq Re \leq 63,000$

注記) dw:スパーサワイヤ径、 Re:レイノルズ数、

f:圧力損失係数

$$f = (\Delta P / \Delta L) \times D / (\rho v^2 / 2)$$

$\Delta P / \Delta L$:単位長さ当たり圧損、D:等価直径、 ρ :冷却材密度、v:冷却材流速

第3.1表 リファレンスプラントの炉心燃料仕様と、燃料交換計画

項 目	仕 様
1. 炉心燃料ペレット	
a) 材質	MOX
b) プルトニウム富化度 (w/o)	15.4 / 18.6 (内側 / 外側)
c) 外径 (mm)	φ7.22
d) 密度 (%TD)	92
e) O/M比 (-)	1.98
f) Pu同位元素比(Pu ²³⁹ : Pu ²⁴⁰ : Pu ²⁴¹ : Pu ²⁴²) (w/o)	58 : 24 : 14 : 4
2. 軸方向ブランケット燃料ペレット	
a) 材質	劣化ウラン酸化物
b) ウラン235含有率 (w/o)	0.3
c) 外径 (mm)	φ7.22
d) 密度 (%TD)	94.5
e) O/M比 (-)	2.0
3. 被覆管	
a) 材質	改良オーステナイト鋼
b) 外径 (mm)	φ8.3
c) 内径 (mm)	φ7.4
d) ペレット間直径ギャップ (mm)	0.18
4. 燃料要素	
a) 全長 (mm)	2300
b) 炉心部長さ (mm)	1,000
c) ブランケット部長さ (mm)	200 / 200 (上部 / 下部)
d) 上部ブランケット上端～燃料要素上端 (mm)	200
e) 下部ブランケット下端～燃料要素下端 (mm)	700
f) (改良オーステナイト鋼製)ワイヤ径 (mm)	φ1.50
g) ワイヤ巻付けピッチ (mm)	165
h) 燃料要素配列ピッチ (mm)	9.9
i) 集合体当たり燃料要素数 (本)	271
5. 燃料集合体	
a) ラッパ管材質	フェライト / マルテンサイト鋼
b) ラッパ管内対面間距離 (mm)	165.8
c) ラッパ管肉厚 (mm)	4.0
6. 燃料交換計画	
a) 燃料交換方式	固定3バッチ分散方式
b) 計画寿命 (サイクル)	3
c) サイクル長さ (EFPD)	456 (15ヵ月)

第3.2表 実用化プラントの炉心燃料仕様と、燃料交換計画

項 目	仕 様
1. 炉心燃料ペレット	
a) 材質	MOX
b) プルトニウム富化度 (w/o)	16.8 / 21.6 (内側 / 外側)
c) 外径 (mm)	φ7.62
d) 密度 (%TD)	92
e) O/M比 (-)	1.98
f) Pu同位元素比(Pu ²³⁹ : Pu ²⁴⁰ : Pu ²⁴¹ : Pu ²⁴²) (w/o)	58 : 24 : 14 : 4
2. 軸方向ブランケット燃料ペレット	
a) 材質	劣化ウラン酸化物
b) ウラン235含有率 (w/o)	0.3
c) 外径 (mm)	φ7.62
d) 密度 (%TD)	92
e) O/M比 (-)	2.0
3. 被覆管	
a) 材質	ODS鋼
b) 外径 (mm)	φ9.0
c) 内径 (mm)	φ7.8
d) ペレット間直径ギャップ (mm)	0.18
4. 燃料要素	
a) 全長 (mm)	3,400
b) 炉心部長さ (mm)	1,200
c) ブランケット部長さ (mm)	300 / 300 (上部 / 下部)
d) 上部ブランケット上端~燃料要素上端 (mm)	200
e) 下部ブランケット下端~燃料要素下端 (mm)	1,400
f) (ODS鋼製)ワイヤ径 (mm)	φ1.50
g) ワイヤ巻付けピッチ (mm)	165
h) 燃料要素配列ピッチ (mm)	10.6
i) 集合体当たり燃料要素数 (本)	271
5. 燃料集合体	
a) ラッパ管材質	ODS鋼
b) ラッパ管内対面間距離 (mm)	177.4
c) ラッパ管肉厚 (mm)	4.0
6. 燃料交換計画	
a) 燃料交換方式	固定3バッチ分散方式
b) 計画寿命 (サイクル)	3
c) サイクル長さ (EFPD)	730 (24ヵ月)

第3.3表 リファレンスプラントにおける計画流量配分、線出力および高速中性子束の軸方向ピーク値、およびバンドル部圧損

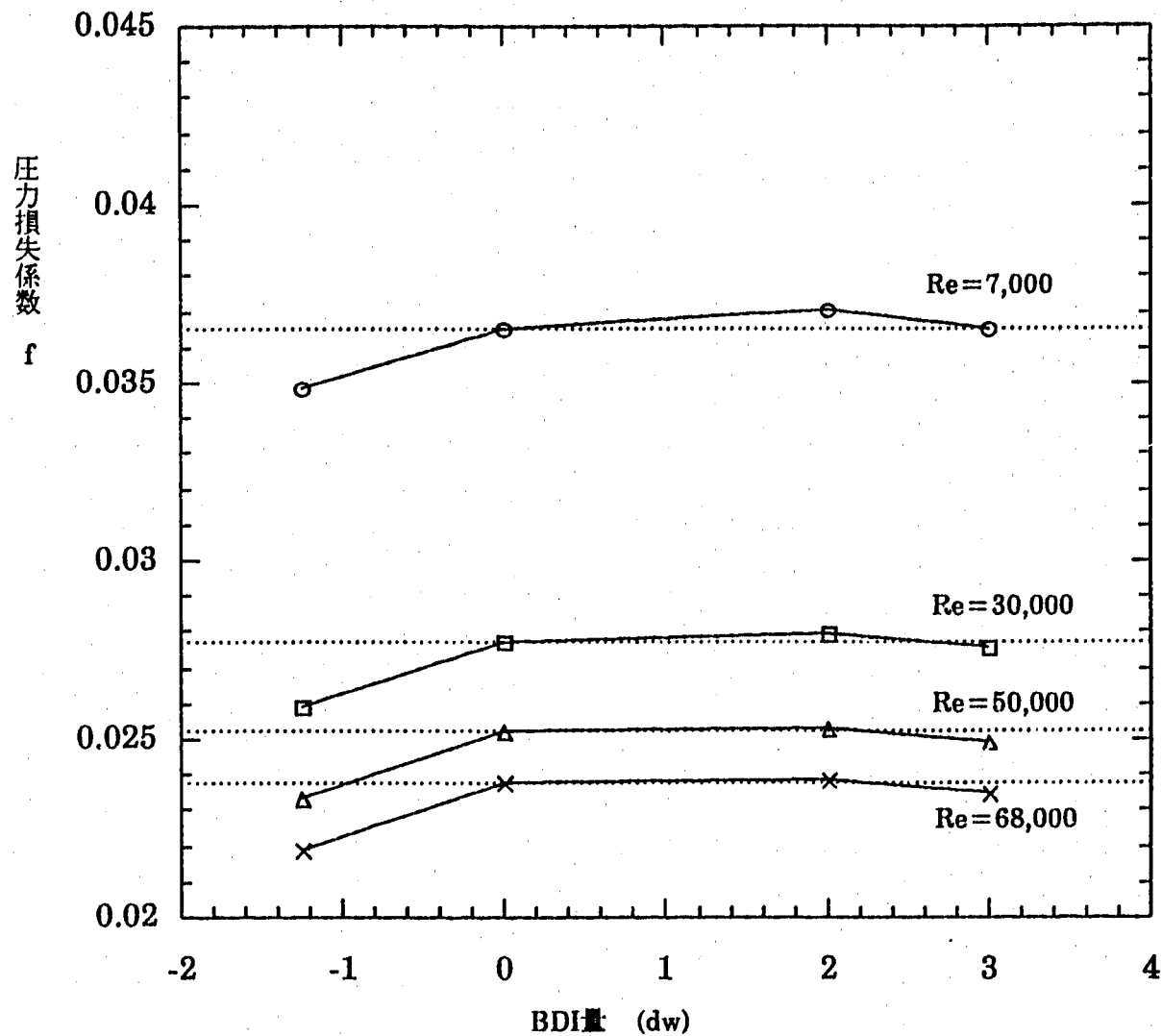
領域#i	集合体流量 Q_i (kg/s)	集合体本数 N_i	領域全流量		軸方向ピーク値		バンドル部圧損 P_i (kg/s)
			(kg/s)	(%)	線出力 (W/cm)	高速中性子束 (n/cm ² ·s)	
1 (内側炉心)	34.4	37	1272.8	10.01	430.0	2.40×10^{15}	1.30
2 (↓)	↓	60	2064.0	16.23	405.6	2.26×10^{15}	↓
3 (内側炉心)	↓	90	3096.0	24.34	392.8	2.19×10^{15}	↓
4 (外側炉心)	↓	42	1444.8	11.36	403.3	2.25×10^{15}	↓
5 (↓)	34.4	30	1032.0	8.11	378.9	2.11×10^{15}	1.30
6 (↓)	28.2	30	846.0	6.65	353.3	1.97×10^{15}	0.87
7 (↓)	↓	36	1015.2	7.98	327.7	1.83×10^{15}	↓
8 (外側炉心)	28.2	30	846.0	6.65	288.2	1.61×10^{15}	0.87
9= i_{\max} (その他)	(1103.2)	(1)	1103.2	8.67	—	—	(0)
合計	—	—	12720	100	—	—	—

注記) 全圧力損失 P_T : 2.00 kg/cm²、冷却材入口温度: 375°C

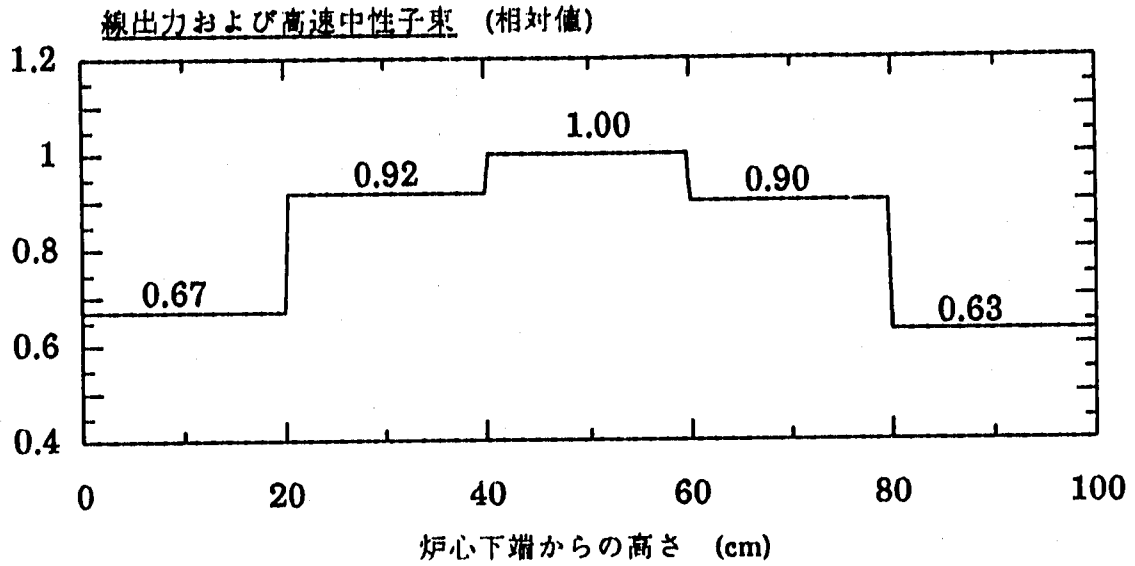
第3.4表 実用化プラントにおける計画流量配分、線出力および高速中性子束の軸方向ピーク値、およびバンドル部圧損

領域#i	集合体流量 Q_i (kg/s)	集合体本数 N_i	領域全流量		軸方向ピーク値		バンドル部圧損 P_i (kg/s)
			(kg/s)	(%)	線出力 (W/cm)	高速中性子束 (n/cm ² ·s)	
1 (内側炉心)	46.0	19	874.0	4.6	470.0	2.75×10^{15}	3.10
2 (↓)	43.0	108	4644.0	24.3	439.3	2.57×10^{15}	2.71
3 (内側炉心)	41.1	114	4685.4	24.5	419.9	2.46×10^{15}	2.47
4 (外側炉心)	38.6	162	6253.2	32.7	394.4	2.31×10^{15}	2.18
5= i_{\max} (その他)	(2643.4)	(1)	2643.4	13.8	—	—	(0)
合計	—	—	19100	100	—	—	—

注記) 全圧力損失 P_T : 3.80 kg/cm²、冷却材入口温度: 395°C

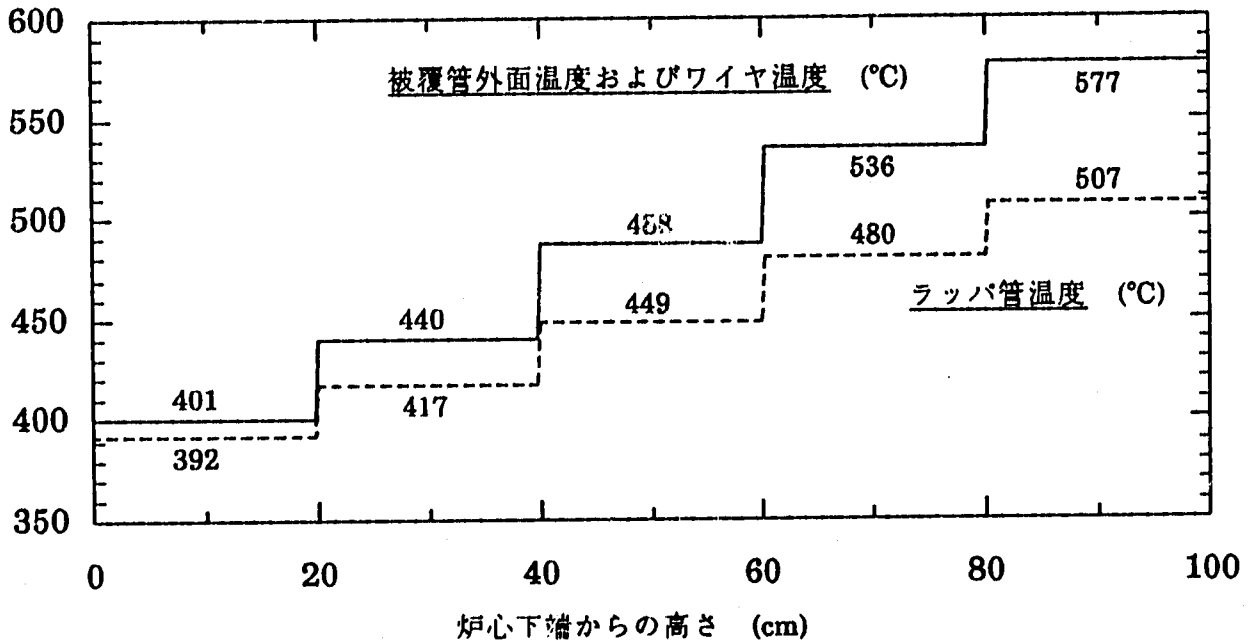


第1.1図 圧力損失係数のBDI量への依存性



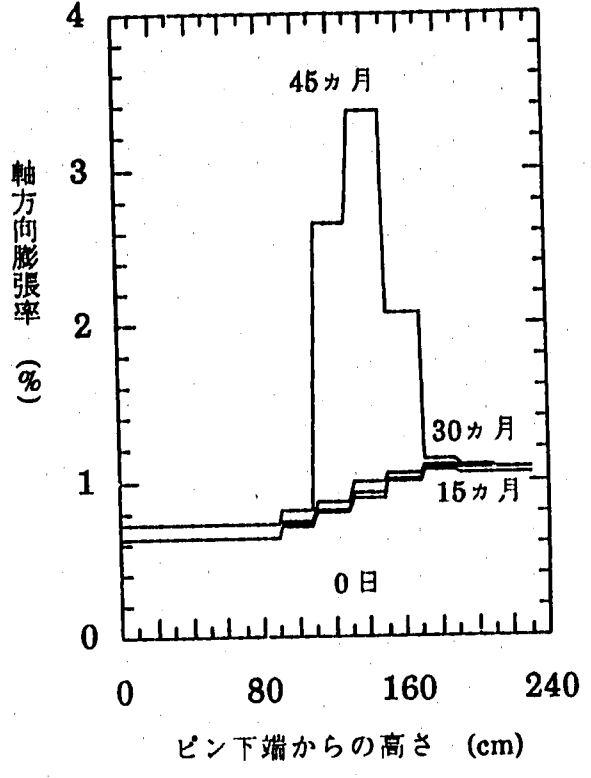
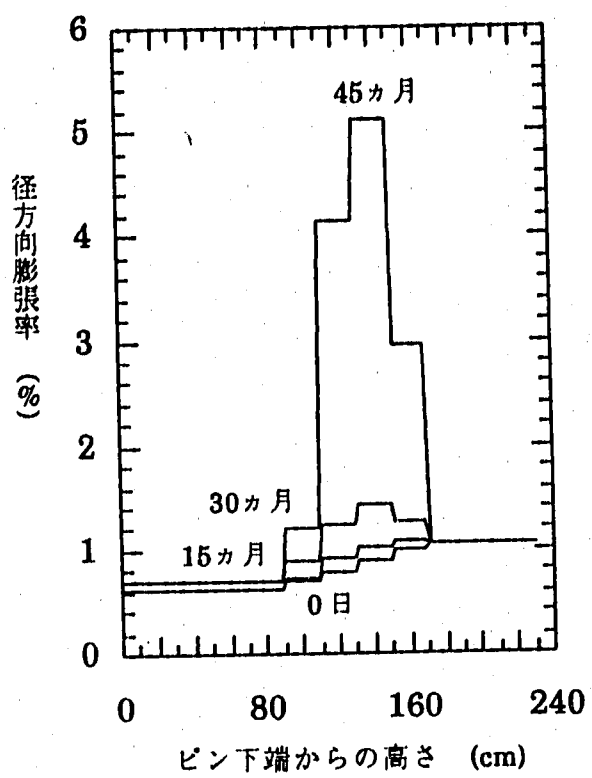
第3.1図 線出力および高速中性子束の軸方向分布 (リファレンス・プラント炉心)

注記) 上下ブランケット部の線出力は、軸方向ピーク値の $\times 0.1$ 倍、高速中性子束は軸方向ピーク値の $\times 0.23$ 倍とする。また、ペレット非充てん部は、線出力、高速中性子束とも零とする。

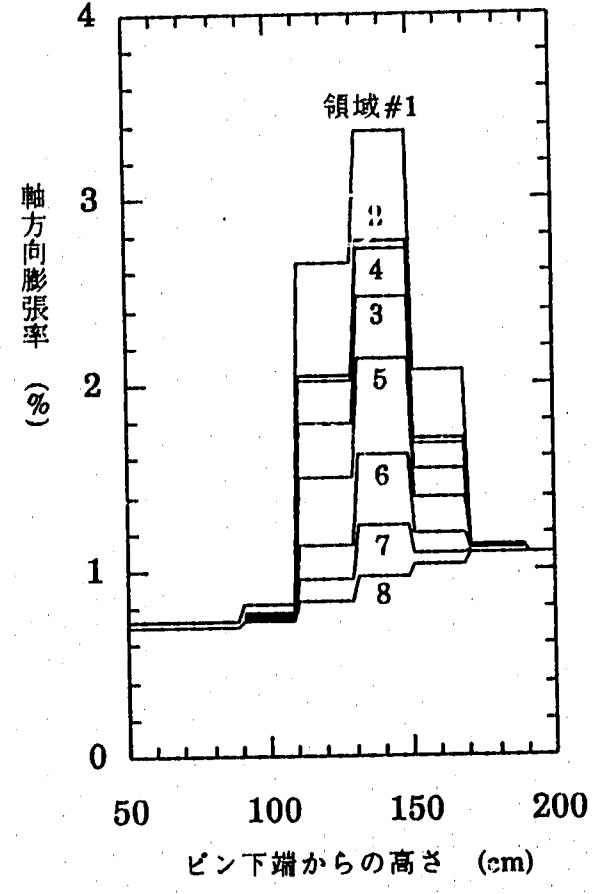
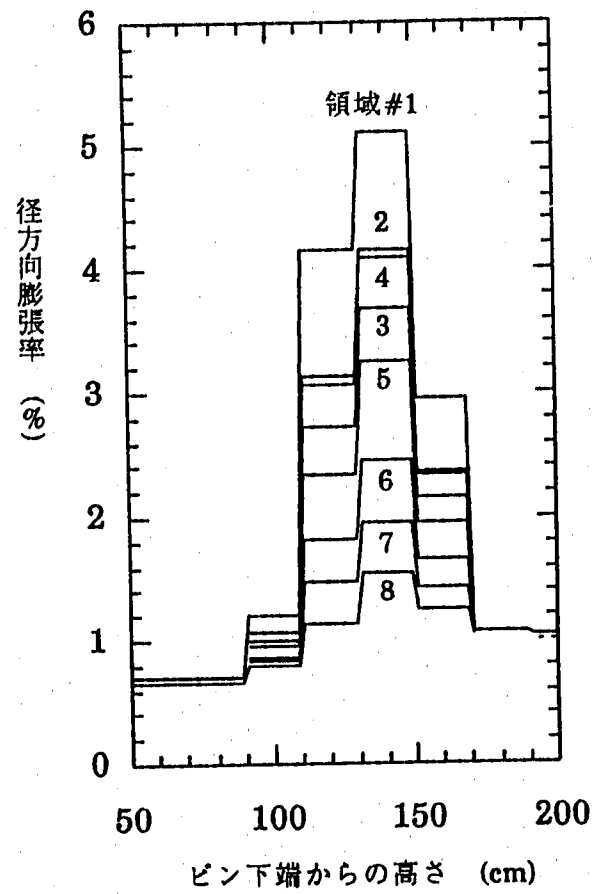


第3.2図 被覆管外面、ワイヤ、およびラッパ管の軸方向温度分布 (リファレンス・プラント)

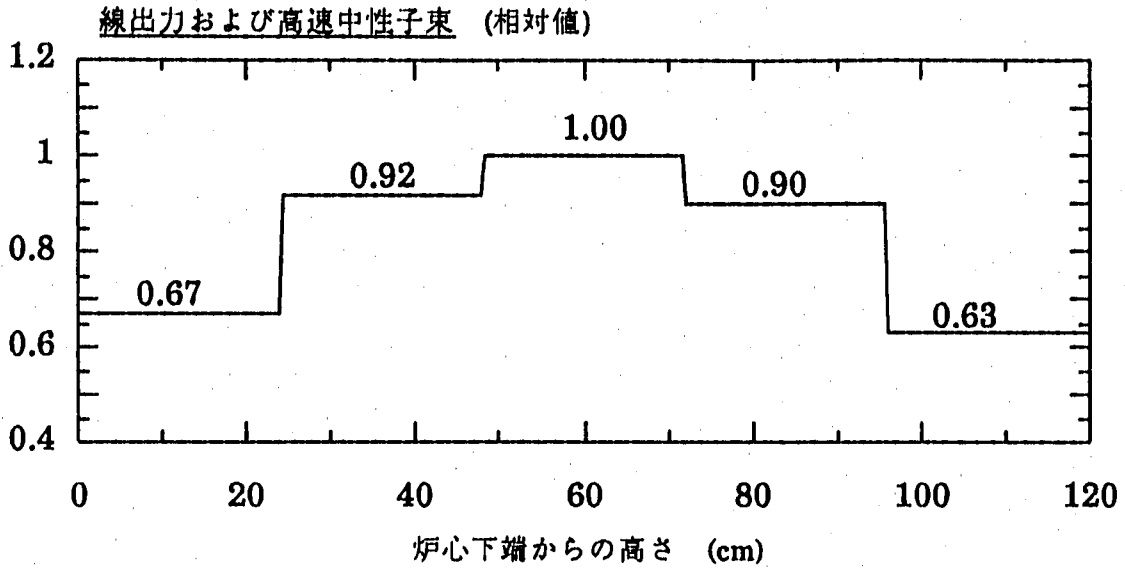
注記) 下部ブランケット部から下での被覆管外面、ワイヤ、およびラッパ管の温度は 375°C 、また、上部ブランケット部から上での被覆管外面、ワイヤの温度は 580°C 、ラッパ管の温度は 510°C とする。



第3.3図 被覆管の径方向および軸方向膨張率 (リファレンス・プラント炉心、領域; #1)

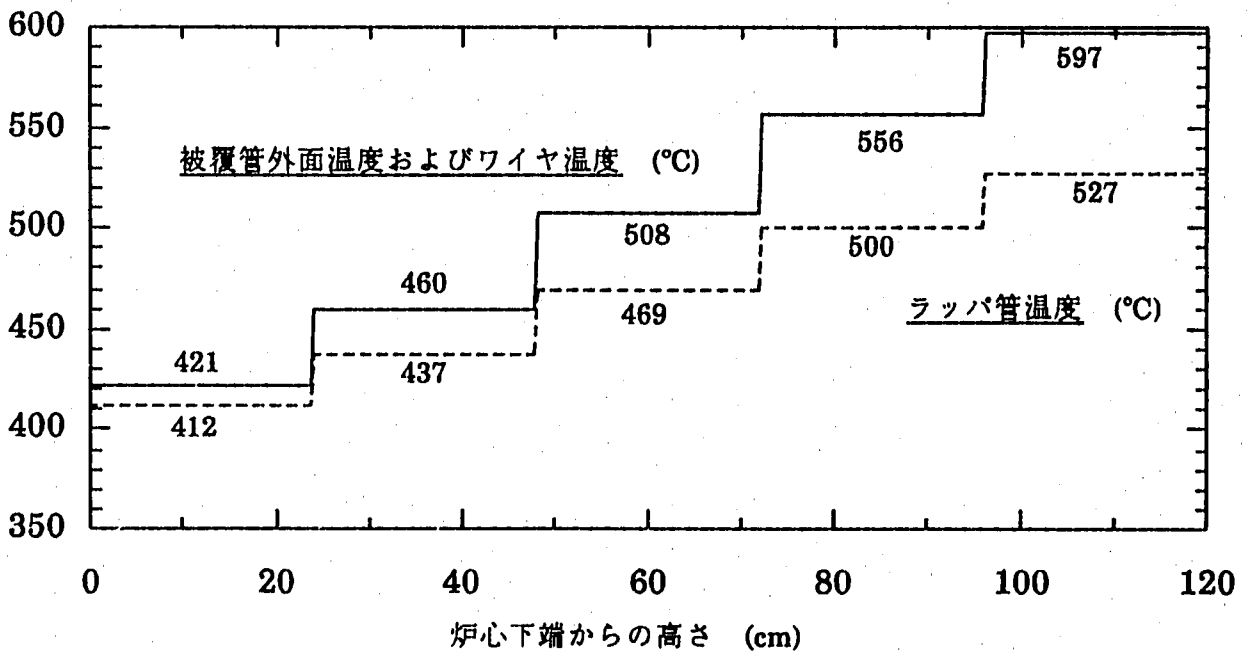


第3.4図 被覆管の径方向および軸方向膨張率 (リファレンス・プラント炉心、寿命末期)



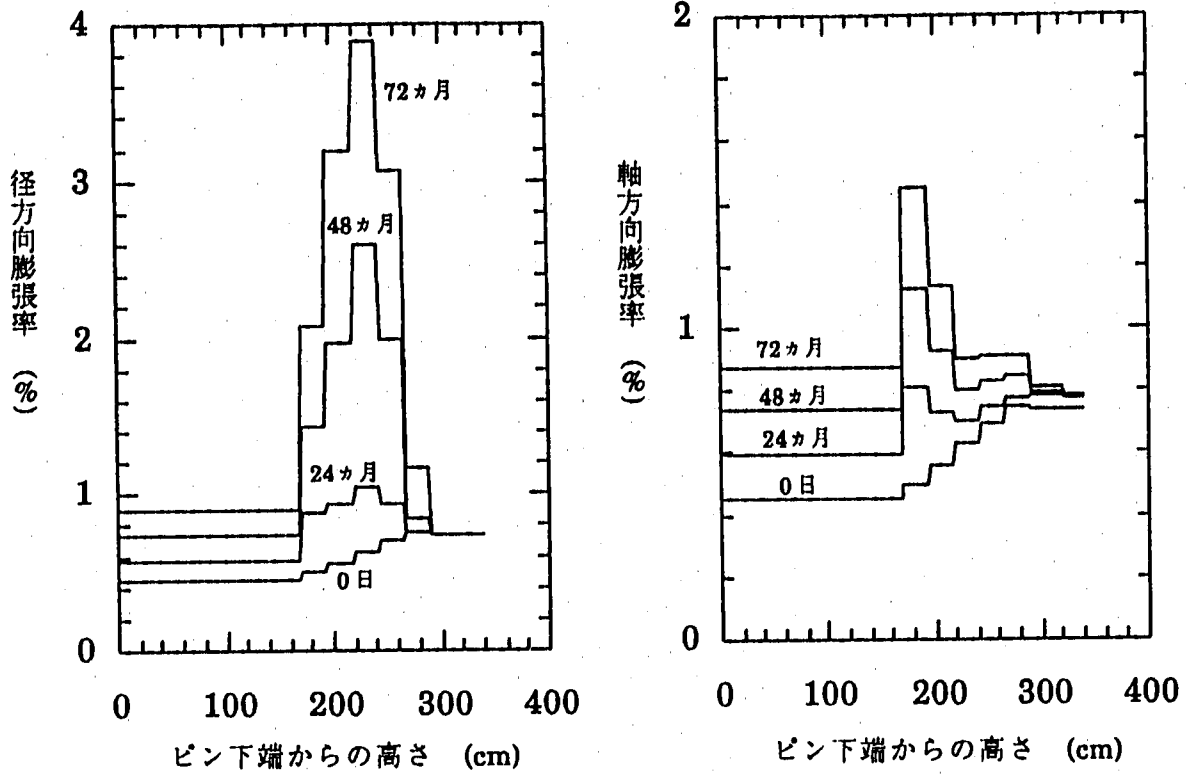
第3.5図 線出力および高速中性子束の軸方向分布 (実用化プラント炉心)

注記) 上下ブランケット部の線出力は、軸方向ピーク値の $\times 0.1$ 倍、高速中性子束は軸方向ピーク値の $\times 0.22$ 倍とする。また、ペレット非充てん部は、線出力、高速中性子束とも零とする。

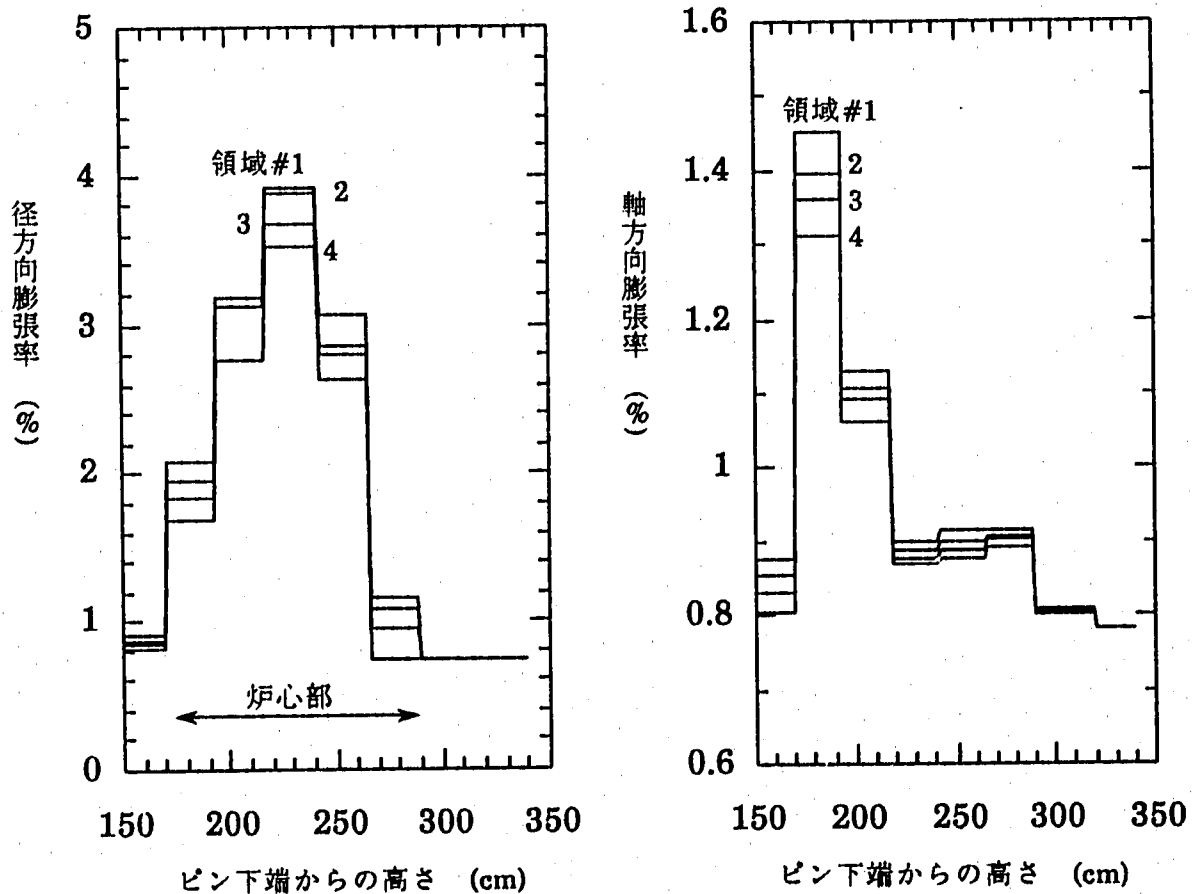


第3.6図 被覆管外面、ワイヤ、およびラッパ管の軸方向温度分布 (実用化プラント炉心)

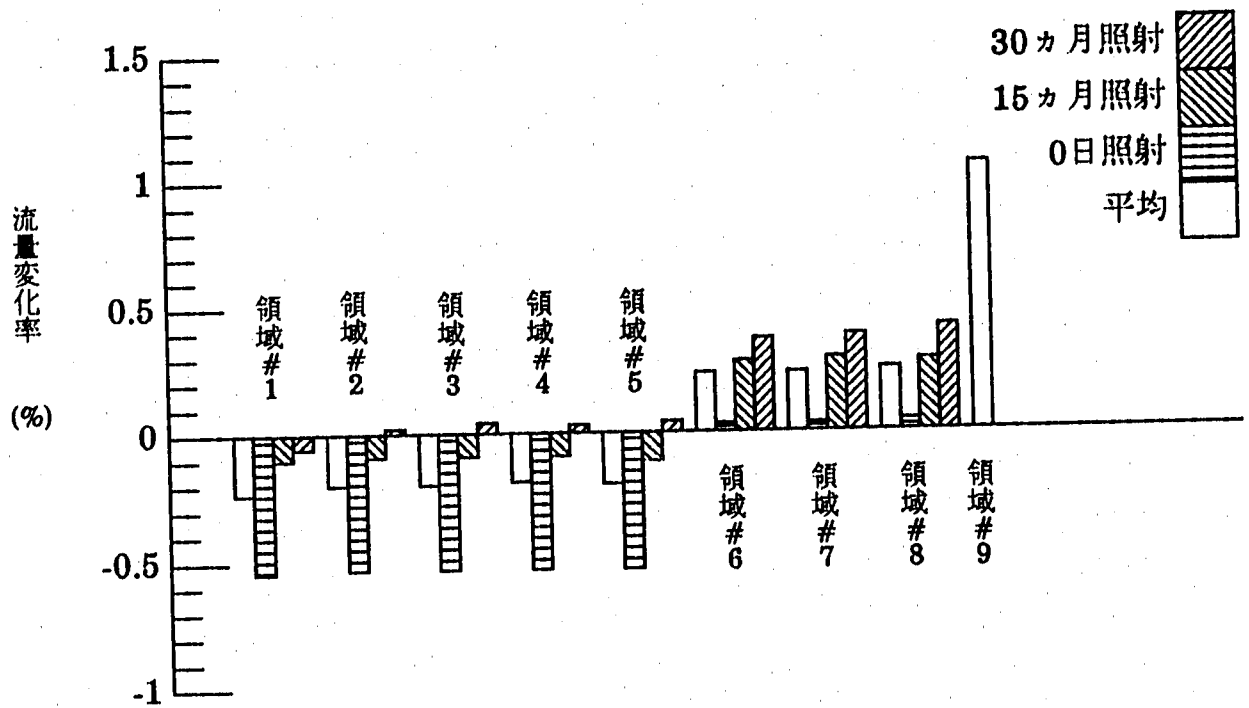
注記) 下部ブランケット部から下での被覆管外面、ワイヤ、およびラッパ管の温度は 395°C 、また、上部ブランケット部から上での被覆管外面、ワイヤの温度は 600°C 、ラッパ管の温度は 530°C とする。



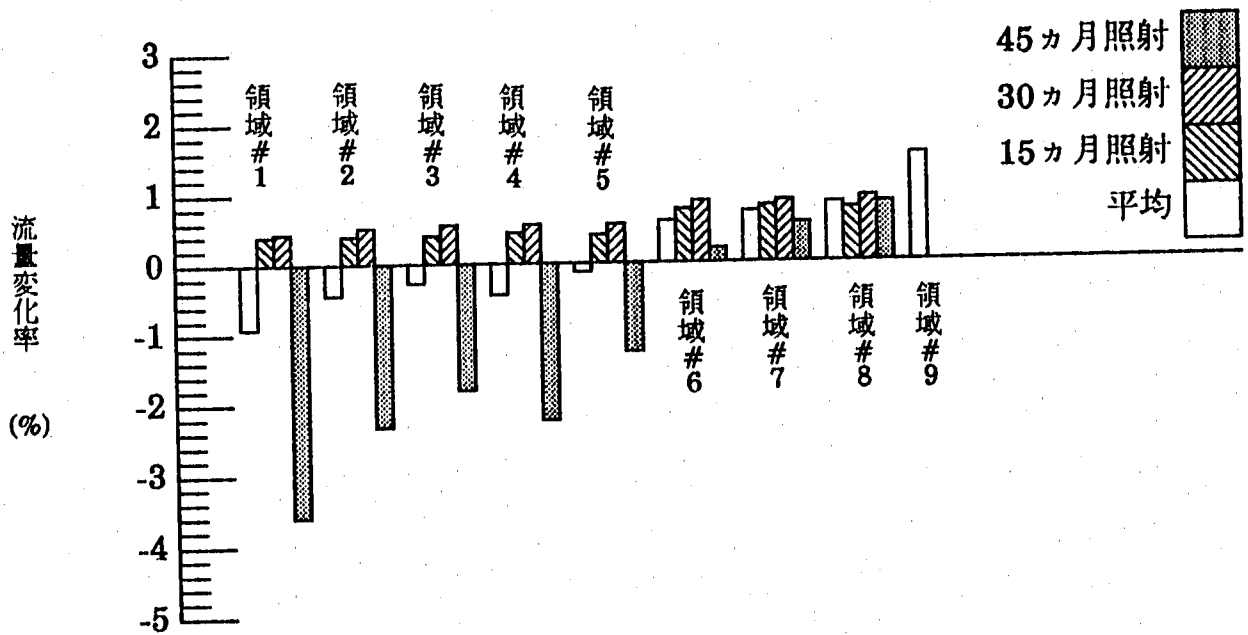
第3.7図 被覆管の径方向および軸方向膨張率 (実用化プラント炉心、領域; #1)



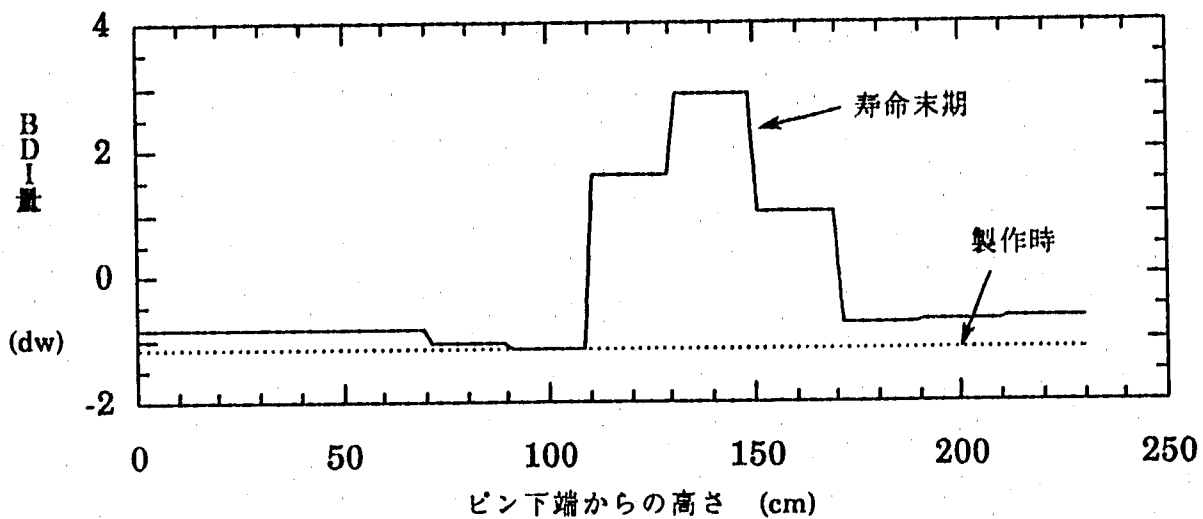
第3.8図 被覆管の径方向および軸方向膨張率 (実用化プラント炉心、寿命末期)



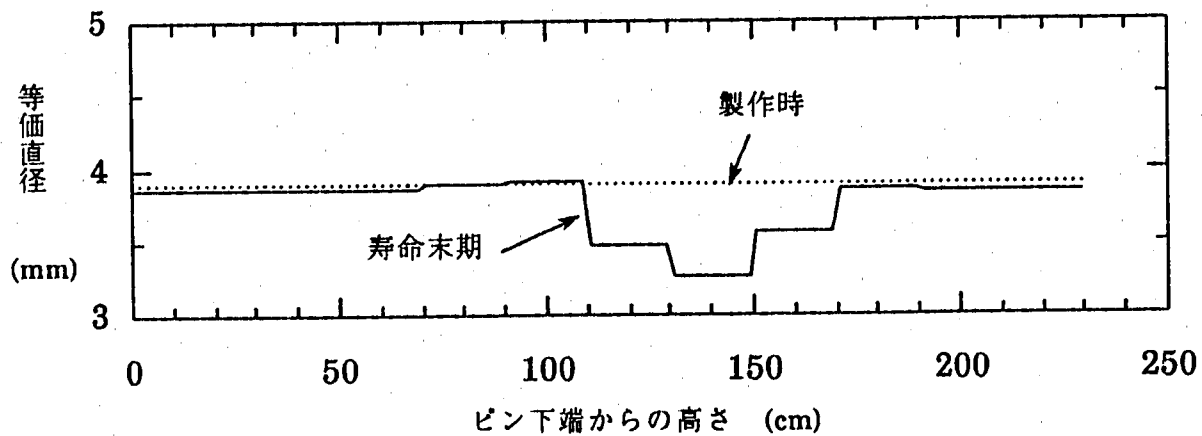
第4.1図 15ヵ月×3バッチ炉心(ラッパ管材質:FMS鋼)における
サイクル初期での炉内流量分布変化挙動評価結果



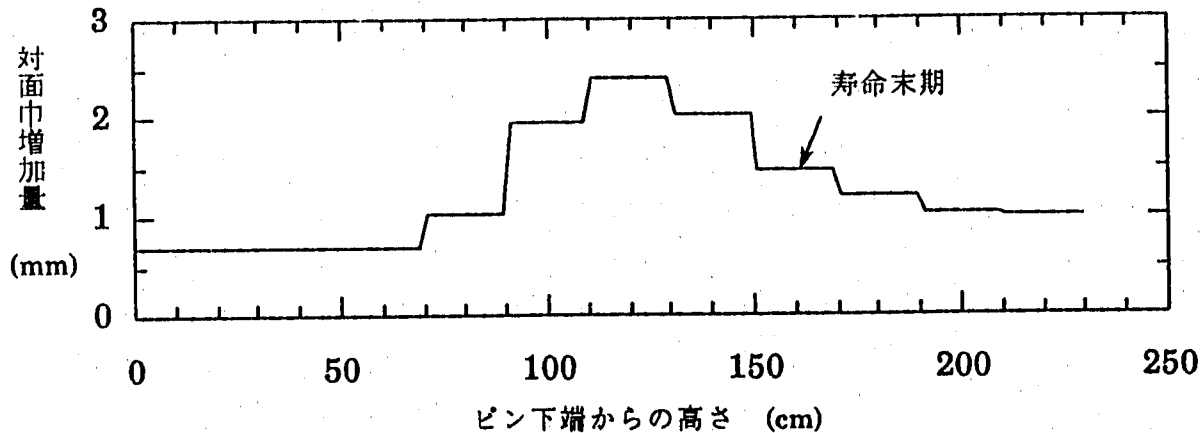
第4.2図 15ヵ月×3バッチ炉心(ラッパ管材質:FMS鋼)における
サイクル末期での炉内流量分布変化挙動評価結果



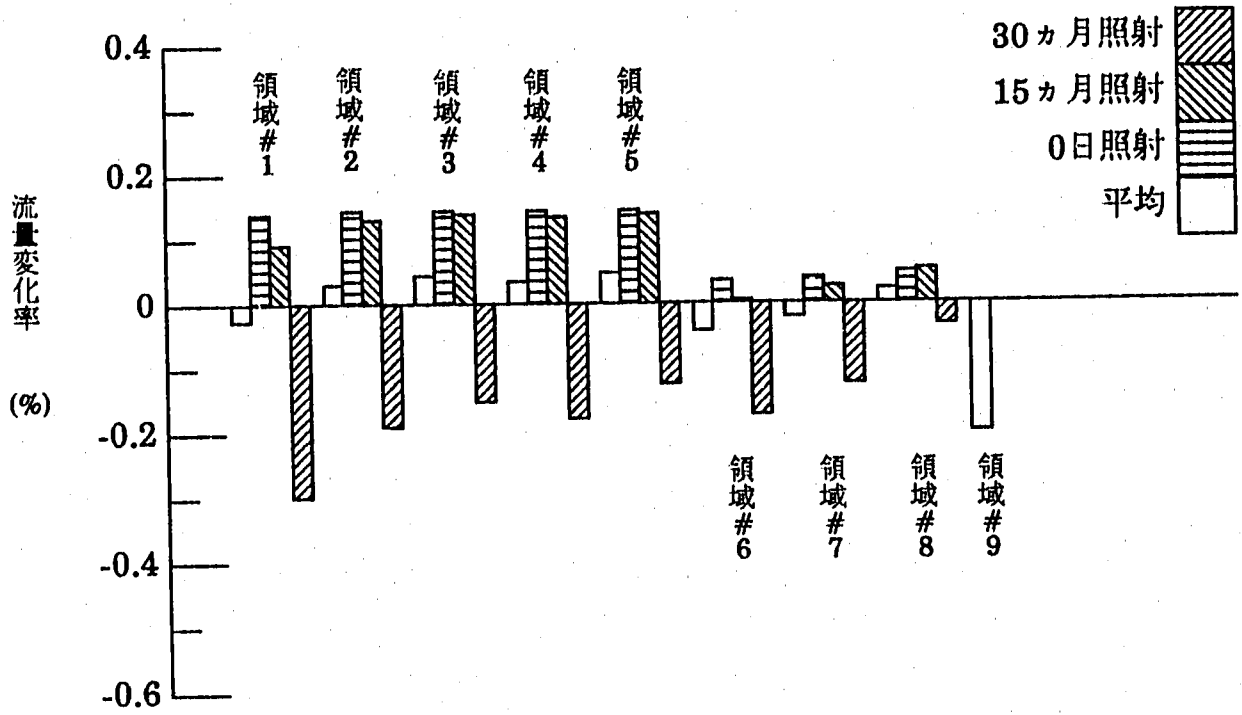
第4.3図 領域#1集合体のBDI量 (15ヵ月×3バッチ炉心、ラッパ管材質:FMS鋼)



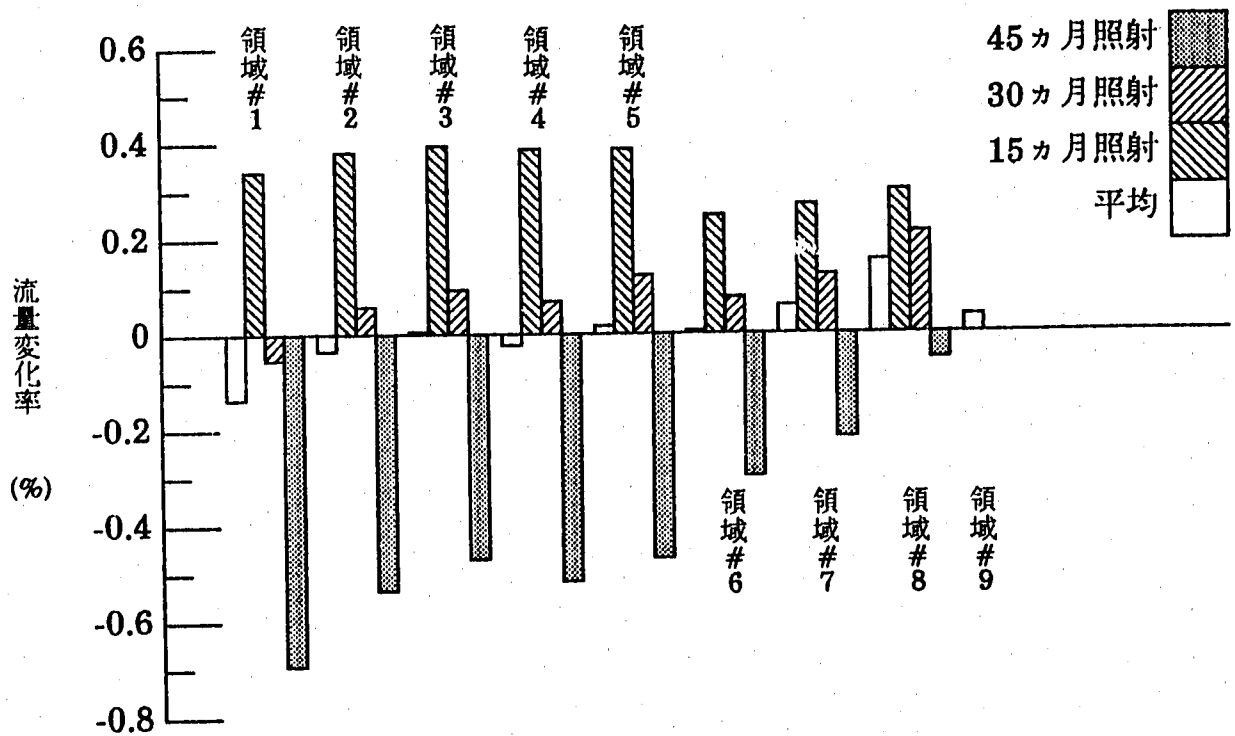
第4.4図 領域#1集合体の等価直径 (15ヵ月×3バッチ炉心、ラッパ管材質:FMS鋼)



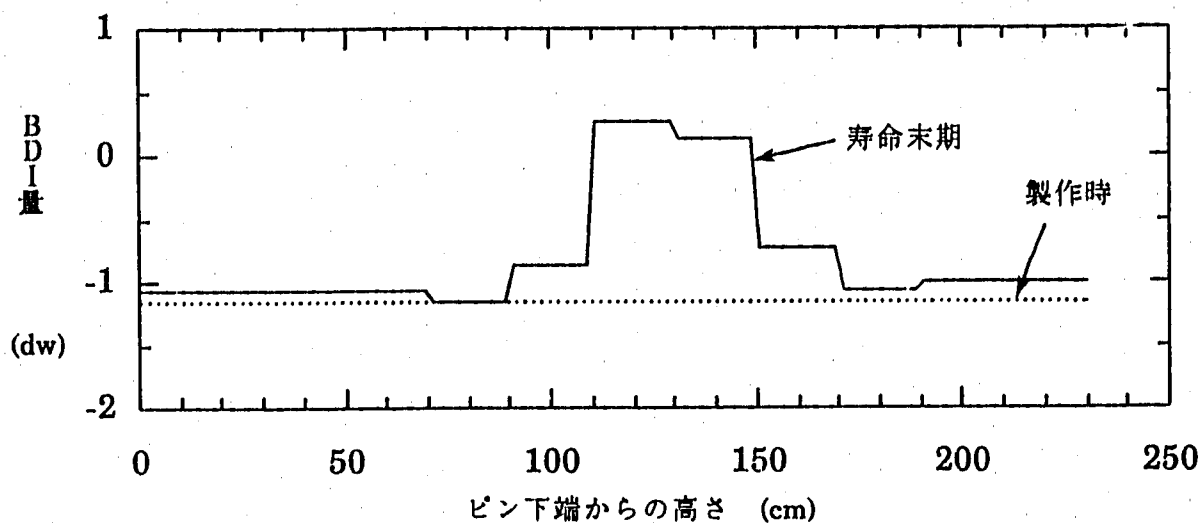
第4.5図 領域#1集合体のラッパ管対面巾の増加量
(15ヵ月×3バッチ炉心、ラッパ管材質:FMS鋼)



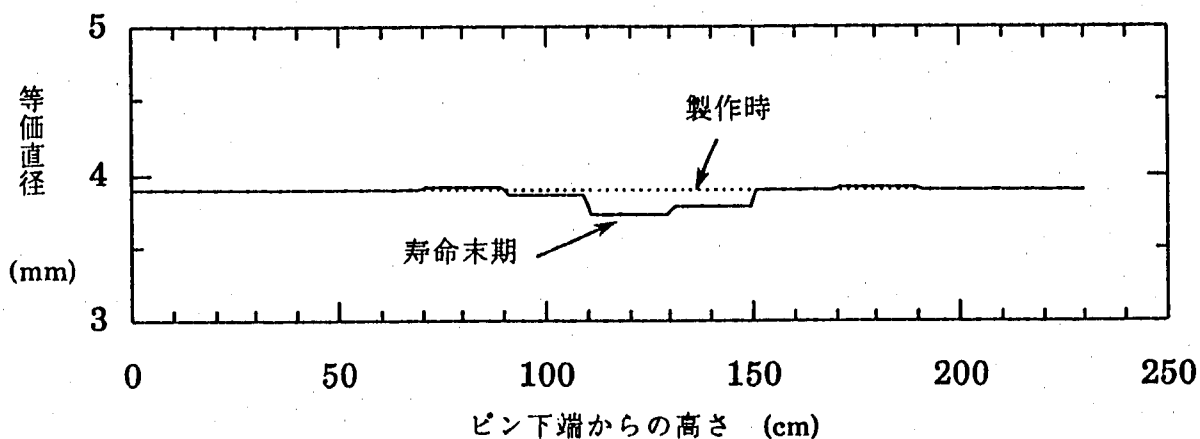
第4.6図 15ヵ月×3バッチ炉心(ラッパ管材質:AST鋼)における
サイクル初期での炉内流量分布変化挙動評価結果



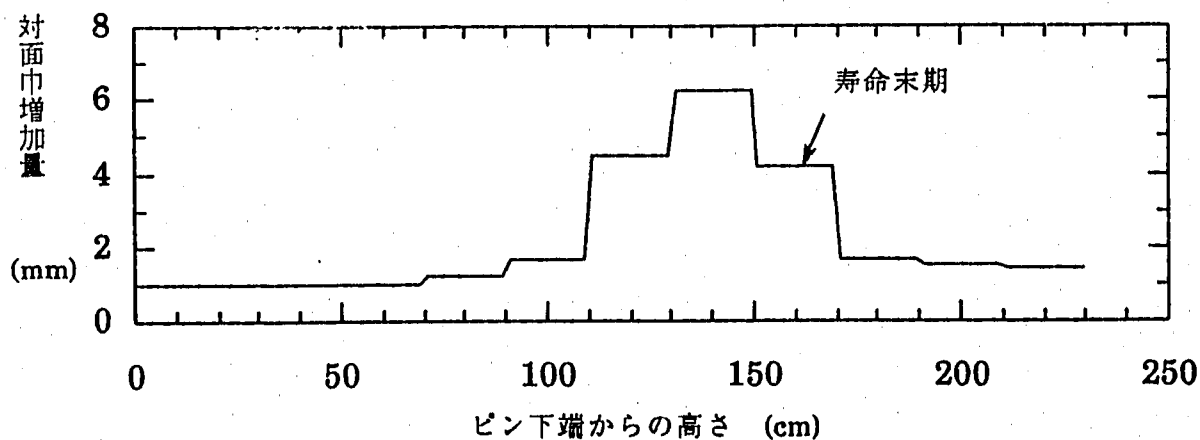
第4.7図 15ヵ月×3バッチ炉心(ラッパ管材質:AST鋼)における
サイクル末期での炉内流量分布変化挙動評価結果



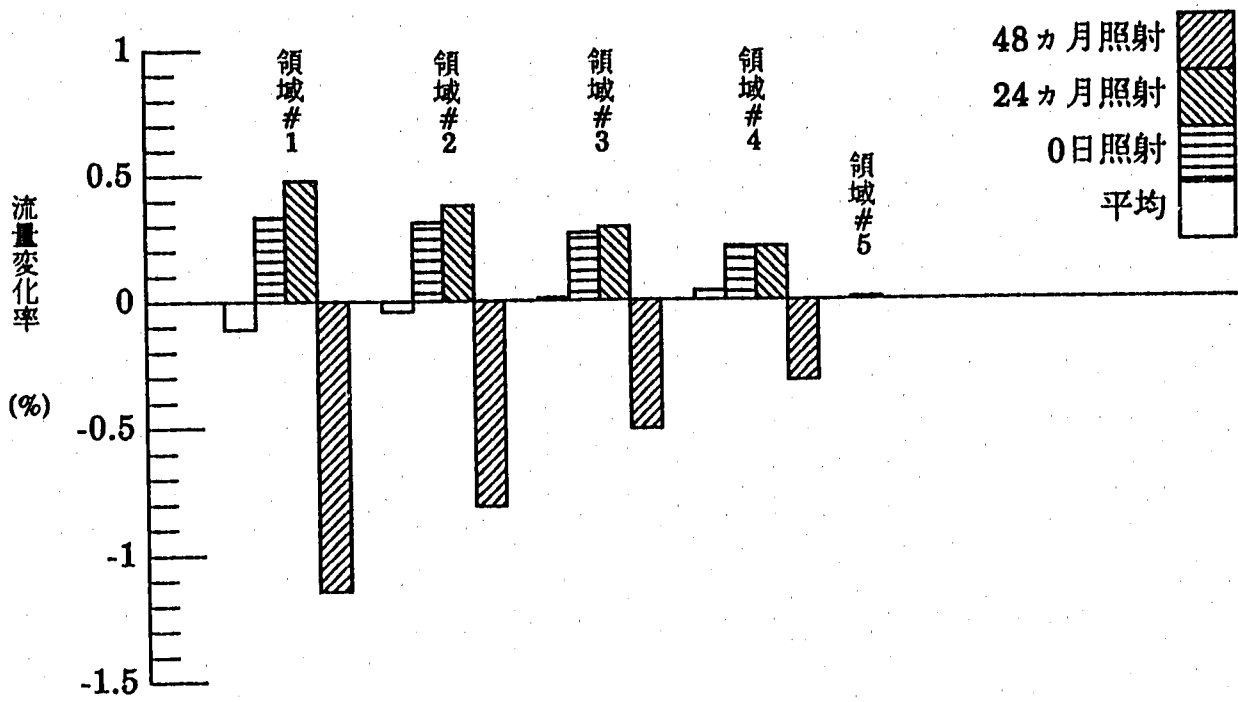
第4.8図 領域#1集合体のBDI量 (15ヵ月×3バッチ炉心、ラッパ管材質:AST鋼)



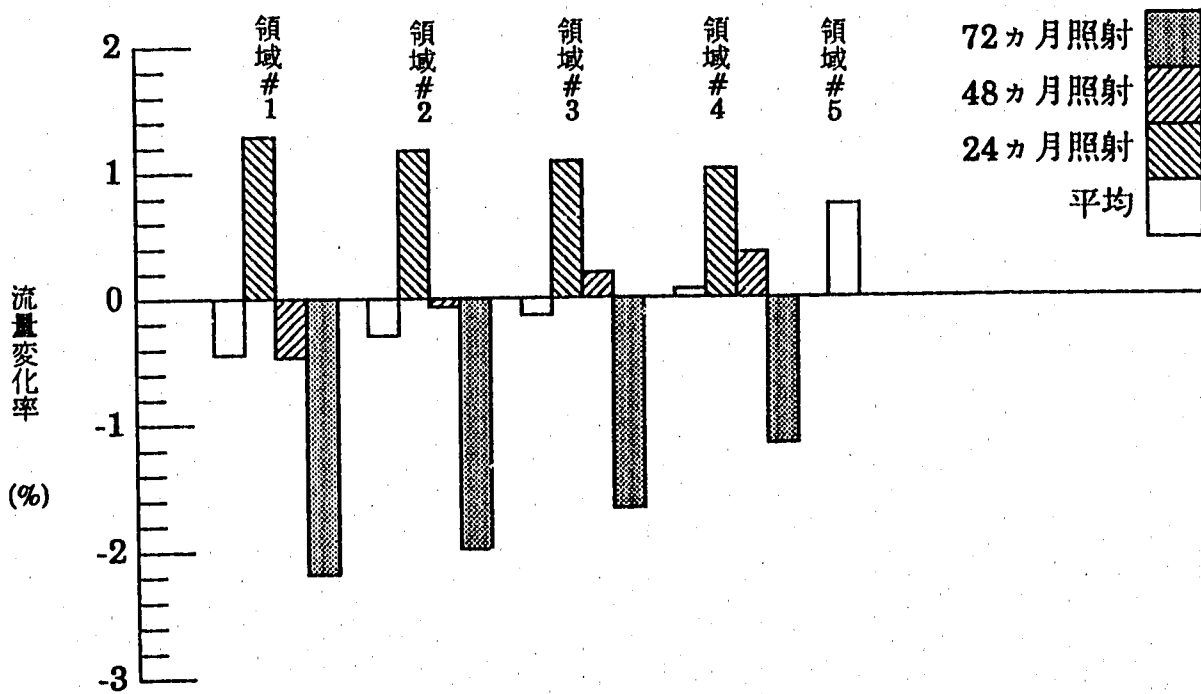
第4.9図 領域#1集合体の等価直径 (15ヵ月×3バッチ炉心、ラッパ管材質:AST鋼)



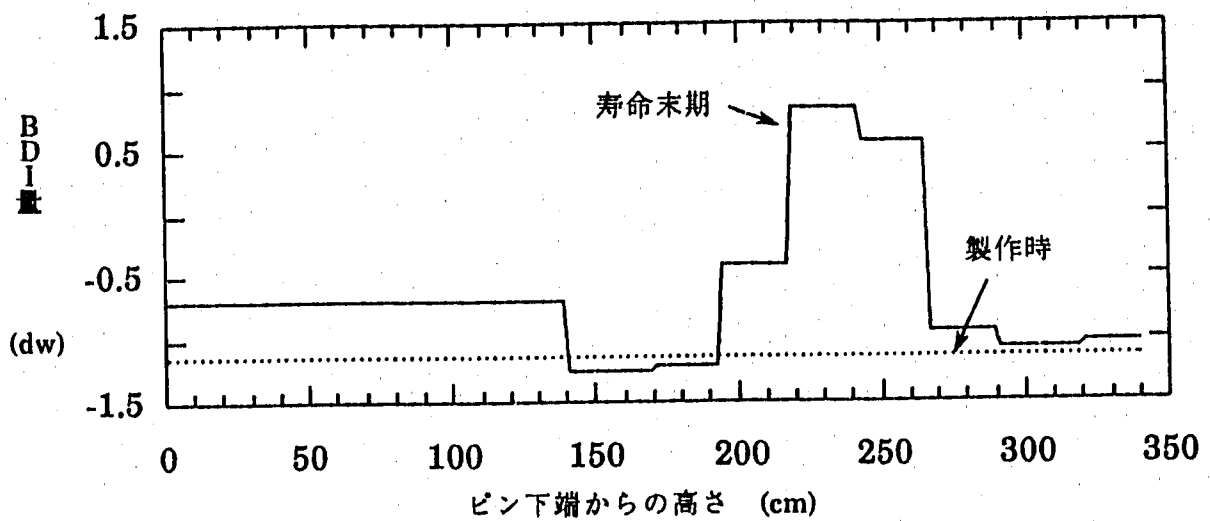
第4.10図 領域#1集合体のラッパ管対面巾の増加量
(15ヵ月×3バッチ炉心、ラッパ管材質:AST鋼)



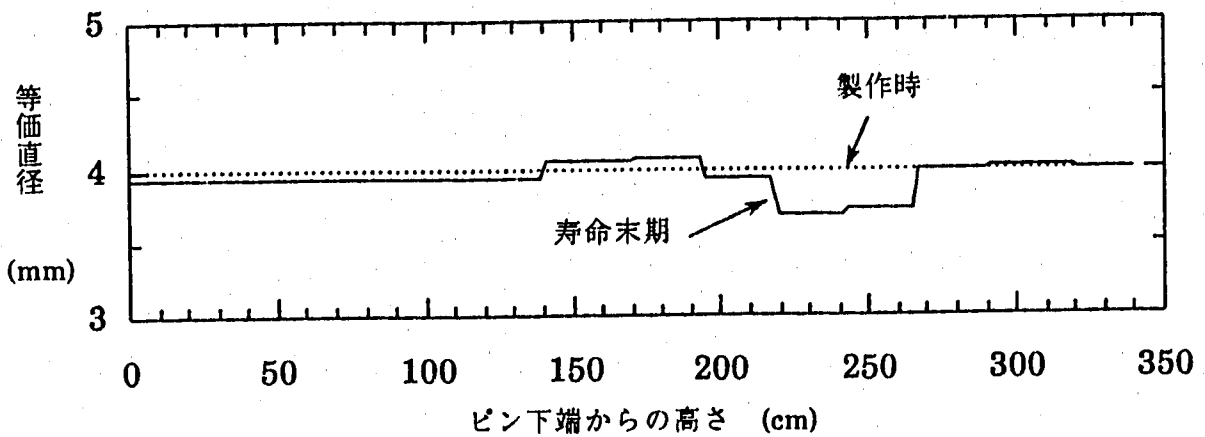
第4.11図 24ヵ月×3バッチ炉心におけるサイクル初期での炉内流量分布変化挙動評価結果



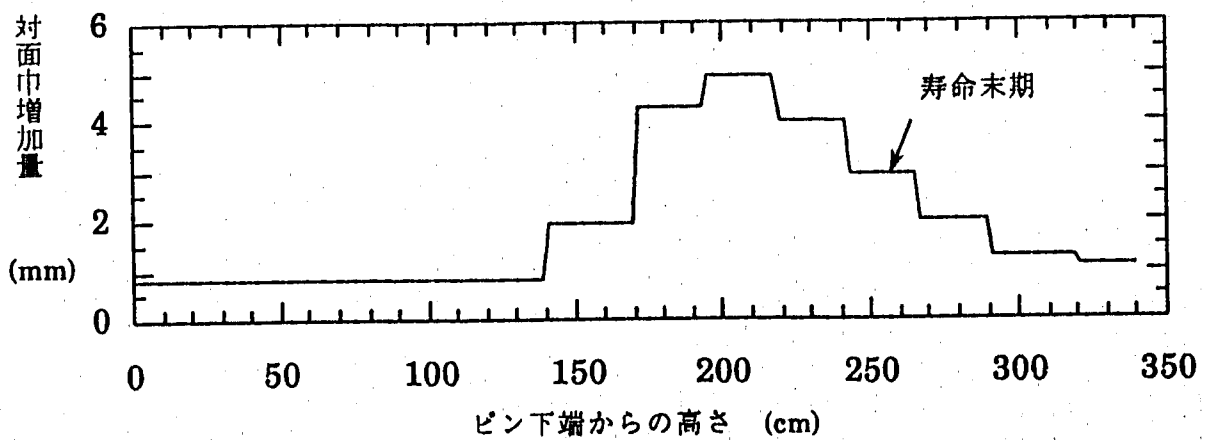
第4.12図 24ヵ月×3バッチ炉心におけるサイクル末期での炉内流量分布変化挙動評価結果



第4.13図 領域#1集合体のBDI量 (24ヵ月×3バッチ炉心)



第4.14図 領域#1集合体の等価直径 (24ヵ月×3バッチ炉心)



第4.15図 領域#1集合体のラップ管対面巾の増加量 (24ヵ月×3バッチ炉心)

Appendix FDICAコードのマニュアル

A. コード概要

(1) プログラム全体の流れ

図A.1にプログラム全体の流れを各サブルーチンと対比させて示す。また、図A.2に最上位サブルーチンに着目してサブルーチンのツリー構造を示す。さらに、表A.1に各サブルーチンにおける処理概要を示す。サブルーチンINPUTで入力データを読み込み、サブルーチンINITにおいて形状及び物性値の計算等を行い、流動計算のための初期値を設定する。流動計算は、サブルーチンSTEADYで制御している。サブルーチンPREPARで膨張等による形状変化の計算等を行い、サブルーチンRESISTでは流動抵抗の計算等を行い、サブルーチンFLUXでは流量分布の計算及び反復計算の収束判定等を行う。

(2) 入力及び初期設定部

データの入力はサブルーチンINPUTで制御し、また計算を開始するに当たって必要な形状、ナトリウムの物性値及び初期値の計算をサブルーチンINITで行う。図A.3にツリー構造を、また表A.2に各々のサブルーチンの処理概要を、さらに、表A.3に主要サブルーチンの処理内容を示す。

入力は、まずサブルーチンRDDATで入力データのコメント行の削除を行う。次にサブルーチンREADCDでデータの入力を行うとともに、入力データのチェック、入力データの打ち返し及び単位変換を行う。初期値の計算は、まずサブルーチンINITで、入力データ以外の形状データの初期値の計算を行う。次にサブルーチンNPROPで、ナトリウムの物性値を計算する。

表A.1 主要サブルーチンでの処理概要

サブルーチン名	処理概要
INPUT	入力データの読み込み
INIT	諸変数の初期設定
STEADY	流動計算の制御
PREPAR	形状変化の計算
RESIST	流動抵抗の計算
FLUX	流量分布の計算
OUTPUT	プリント出力
NPROP	ナトリウム物性値の計算
EXPNS	膨張率の計算

表A.2 入力及び初期値設定部での処理概要

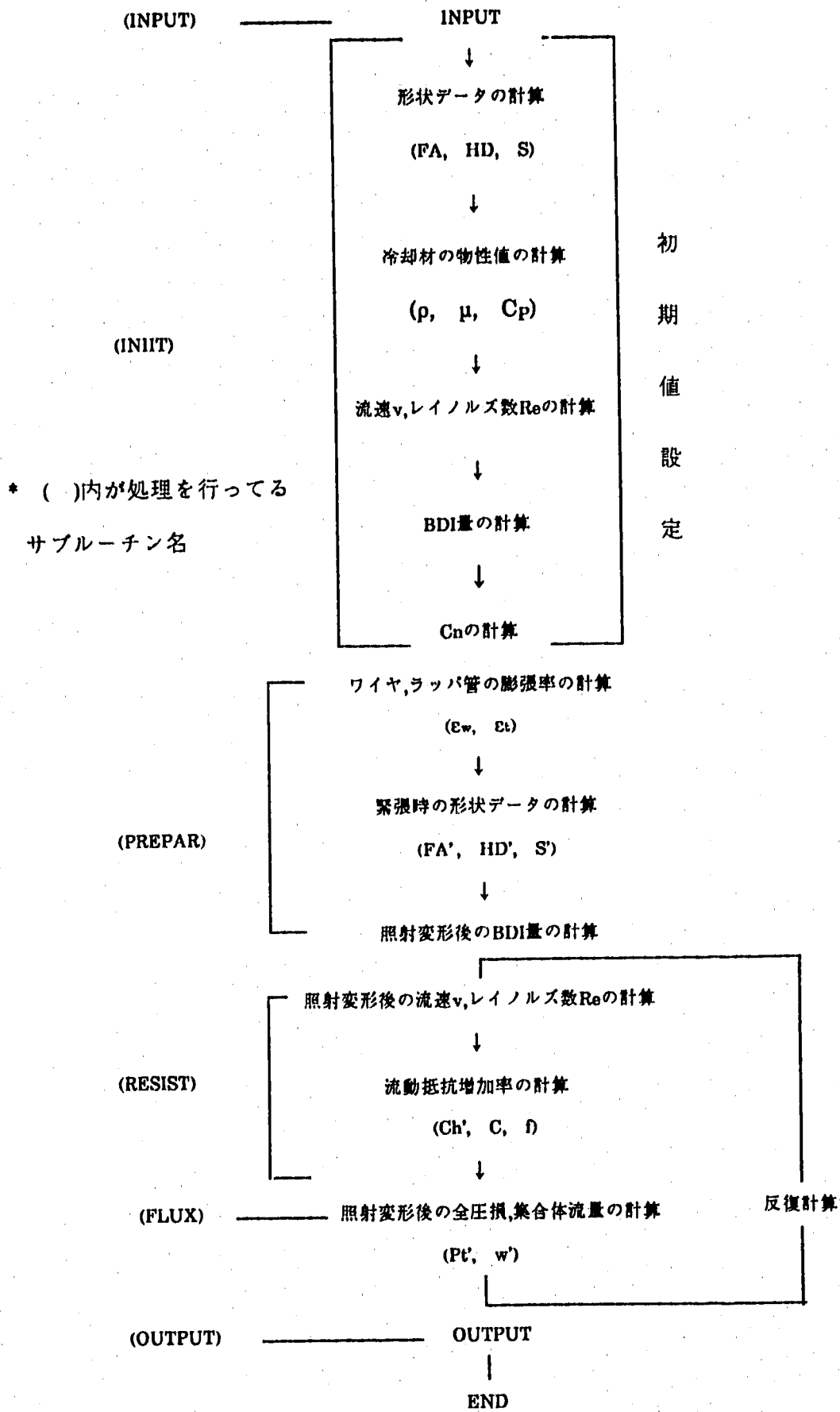
サブルーチン名	処理概要
INPUT	入力のコントロールルーチン
SETFL	作業用ファイルの設定
RDDAT	入力データのトレース
READCD	データの読み込み
RDEXCL	膨張率データの読み込み
SICONV	単位系の変換
INIT	形状データの初期設定
NPROP	ナトリウム物性値の計算

表A.3(a) サブルーチンINITの処理内容

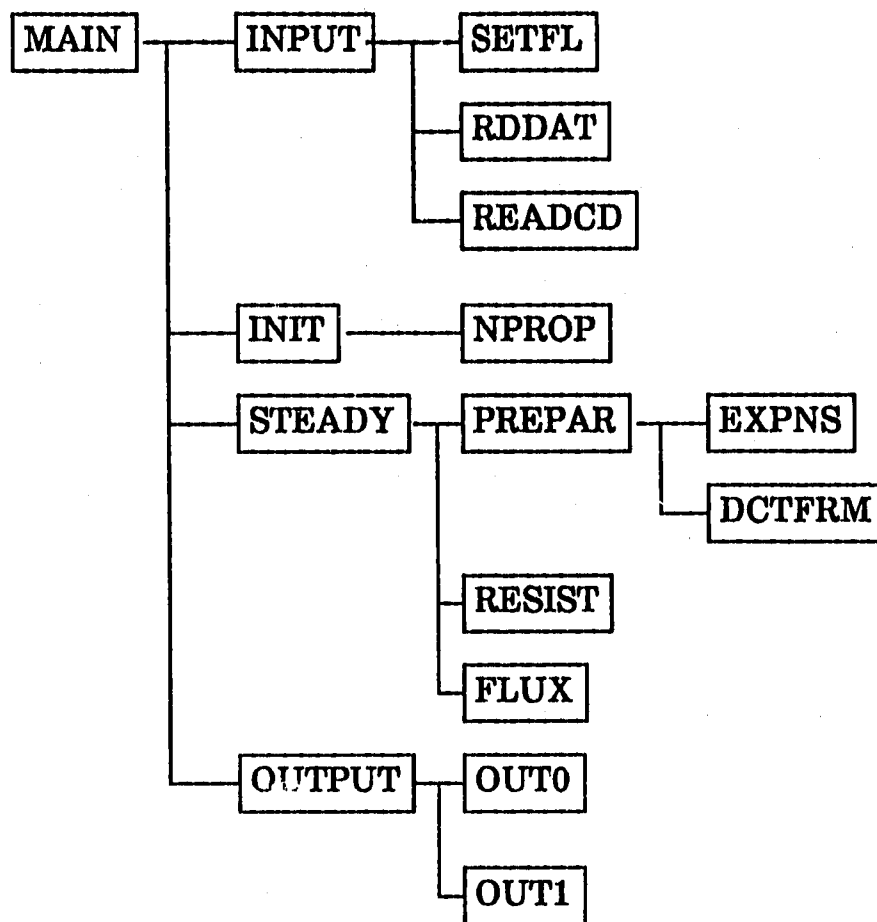
サブルーチン名	INIT
処理内容	諸変数の初期設定
入力	被覆管直径,ワイヤ直径,ラッパ管内対面幅,集合体流量,冷却材温度・密度・粘性係数
出力	被覆管面積・濡れぶち長さ、ワイヤ面積・濡れぶち長さ、ラッパ管濡れ縁長さ、流路面積、等価直径、流速、レイノルズ数、BDI量、流動抵抗
処理内容 : <ul style="list-style-type: none"> ・ 被覆管及びワイヤ面積A,濡れぶち長さSの計算 $A = n \times (d / 2)^2$ $S = n \times d$ d : 直径 ・ ラッパ管面積At及び濡れぶち縁長さStの計算 $At = \sqrt{3} / 2 \times E$ $St = 6 \times E / \sqrt{3}$ ・ 流路面積FA及び等価直径HD $A = At - (Ac + Aw) N$ $HD = 4FA / (St + (Sc + Sw) N)$ N : 集合体内被覆本数 ・ 流速v及びレイノルズ数Reの計算 $v = W / (FA \times \rho)$ w : 集合体内流量 ρ : 冷却材密度(下位ルーチンNPROPで計算) $Re = \rho \times v \times HD / \mu$ μ : 冷却材粘性係数(下位ルーチンNPROPで計算) ・ BDI量の計算(cf. 第2.1節) ・ 流動抵抗Cnの計算(cf. 第2.2節) 	

表A.3(b) サブルーチンNPROPの処理内容

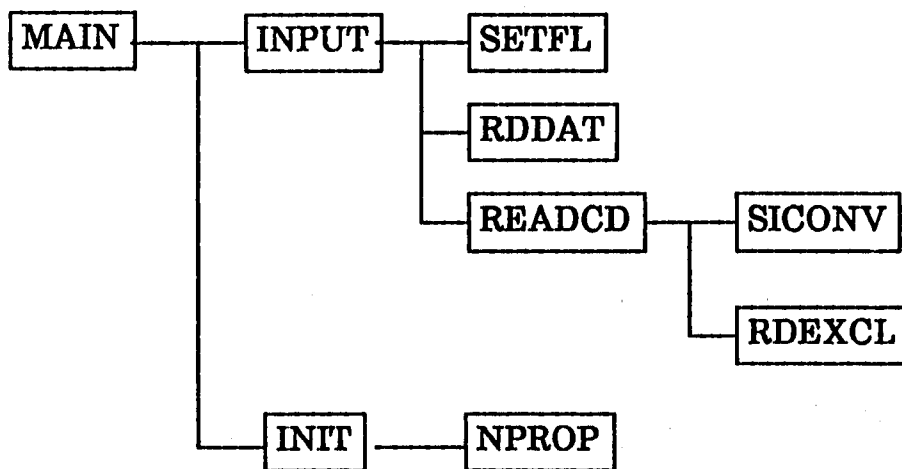
サブルーチン名	NPROP
処理内容	ナトリウム物性値の計算
入力	冷却材温度
出力	冷却材密度・粘性係数
処理内容 :	・ 組込み式による密度ρと粘性係数μの計算



図A.1 プログラム全体の流れ



図A.2 プログラム全体のツリー構造



図A.3 入力及び初期設定部のツリー構造

B. 物性式

本コードに組込んだ物性式を以下に列挙する。

(1) ナトリウムの物性式

① 密度 ρ

$$\rho = 950.1 + T (-0.22976 + T (-1.460 \times 10^{-5} + 5.638 \times 10^{-9} T))$$

ここで、 T : ナトリウム温度(°C)

② 粘性係数 μ

$$\mu = 0.1235 (\rho / 1000)^{1/3} \times \exp(697 (\rho / 1000)) / (T + 273.15) / (1000 \cdot g) \quad (100 \leq T < 500^\circ\text{C})$$

$$= 0.0851 (\rho / 1000)^{1/3} \times \exp(1040 (\rho / 1000)) / (T + 273.15) / (1000 \cdot g) \quad (500 \leq T < 1200^\circ\text{C})$$

(2) 改良オーステナイト鋼の物性式

① スエリング率 ϵ_s (vol.%)

$$\epsilon_s = R \cdot [\Phi t + (1/a) \cdot \ln \{ (1 + \exp(a \cdot (\tau - \Phi t))) / (1 + \exp(a \cdot \tau)) \}]$$

$$\text{ここで、} \quad R = R_0 \cdot \exp [A (T - T_p)^2]$$

$$\Phi : \text{高速中性子束 } (10^{22} \text{n/cm}^2 \cdot \text{sec})$$

$$t : \text{高速中性子照射時間 (sec)}$$

$$a : 0.75 ((10^{22} \text{n/cm}^2)^{-1})$$

$$A : -4.34 \times 10^5 (-), \quad T_p : 450 (^\circ\text{C})$$

$$R_0 : 1.25 (\% 10^{22} \text{n/cm}^2), \quad \tau : 22.0 (10^{22} \text{n/cm}^2)$$

[適用範囲] 400 ~ 800 °C、 $\epsilon_s \leq 15 \%$

② 照射クリープ歪(等価歪) ϵ (%)

$$\epsilon = 100 \cdot (B_0 \cdot \Phi t + D \cdot (\Delta V / V) / 100) \cdot \sigma$$

$$B_0 = (4.3 \pm 3) \times 10^{-28} \text{ MPa}^{-1} (\text{n/cm}^2)^{-1}, \quad D = (3.2 \pm 2) \times 10^{-3} \text{ MPa}^{-1}$$

ここで、 σ : 応力等価(MPa)、 Φt : 中性子照射量(n/cm²、 $E \geq 0.1 \text{ MeV}$)

$\Delta V / V$: スエリング率 (vol.%)

[適用範囲] 400~600 °C

③ 平均熱膨張係数 α (1/°C、 $\times 10^6$)

$$\alpha = 15.0113 + 0.8726 \times 10^{-2} \cdot T - 0.5872 \times 10^{-5} \cdot T^2 + 0.1931 \times 10^{-8} \cdot T^3$$

ここで、 T : 温度(°C)

[適用範囲] 室温~850 °C

(3) フェライト鋼(フェライト/マルテンサイト鋼とODS鋼)の物性式

① スエリング率 $\Delta V/V$ (vol.%)

$$\Delta V/V = R \cdot \Phi t$$

$$R = \exp(-4.260 - 1.825\beta - 2.176\beta^2 + 0.579\beta^3 - 0.027\beta^4)$$

$$\beta = (T - 437) / 100$$

ここで、 $\Delta V/V$ (vol.%)、 R (%/dpa)、 Φt (dpa)、 T (°C)

$$1\text{dpa} = 2 \times 10^{21} \text{n/cm}^2 \text{ (E} > 0.1\text{MeV)}$$

[適用範囲] 250dpa以下、 350~800°C

② 照射クリープ歪(等価歪) ϵ (%)

$$\epsilon = 100 \cdot (B \cdot \Phi t \cdot \sigma^{1.3})$$

$$B = (-2.9 + 9.5 \times 10^{-3} \cdot T) \times 10^{-28} \text{ MPa}^{-1.3} (\text{n/cm}^2)^{-1}$$

ここで、 σ : 等価応力(MPa)、 Φt : 中性子照射量(n/cm^2 、 $E > 0.1\text{MeV}$)、 T : 温度(°C)

[適用範囲] 400~550 °C

③ 平均熱膨張係数 α (1/°C)

$$\alpha = (-2.352 \times 10^{-4} + 9.2207 \times 10^{-6} \cdot T + 7.5806 \times 10^{-9} \cdot T^2 - 3.5412 \times 10^{-12} \cdot T^3) / (T - 25)$$

ここで、 T : 温度(°C)

[適用範囲] 室温~850 °C

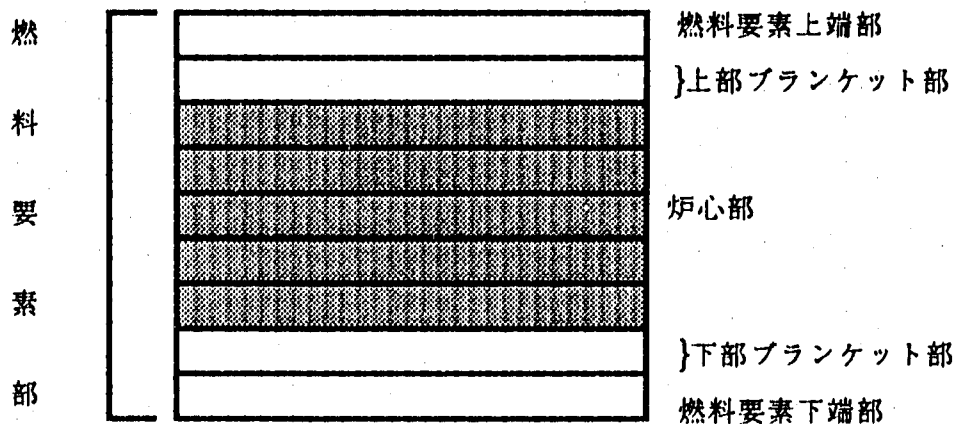
④ ポアソン比 ν (-)

$$\nu = 0.262 + 0.00008 \cdot T, \quad T : \text{温度(°C)}$$

[適用範囲] 室温~700 °C

C. 入力データの説明

解析は、燃料要素部全体を対象として行われる。線出力、高速中性子束の軸方向ピーク値、及び一次冷却材全流量は、照射期間中一定とする。軸方向のメッシュ分割数は、通常9メッシュを使用し、その構成は炉心部を5等分割とし、上部ブランケット部、下部ブランケット部、上部ブランケット部～燃料要素上端部、下部ブランケット部～燃料要素下端部とする。この軸方向分割の概念図を図C.1に示す。各領域の集合体計画流量、バンドル部圧力、及び全圧力損失はノミナル寸法に対するものである。また、NAREA番目の領域は、炉心燃料集合体以外の炉心構成要素(ブランケット燃料集合体等)への流量や、漏れ流量を表しているもので、圧力損失及び照射変形は無いものとする。



図C.1 軸方向分割の概念図

入力は、表C.1に示すように、各入力順序ごとに原則としてフリーフォーマット型式で与える。ただし、タイトルカード、領域チェックカード(入力順序19番)及びデータ終了カードについては、固定フォーマットである。尚、入力データカードの第1カラムが*のとき、そのカードはコメントカードとして扱われる。

表C.1 入力データ一覧

入力順序	項目	変数名	ディメンジョン	内容	単位	備考
1	タイトル	TITLE	カラム1~72	タイトルカード	-	
2-1	出力変数選択	IOUTPT	-	出力変数の選択 0:固定出力変数のみ 1:固定出力変数とオプション1 2:固定出力変数とオプション2 3:出力変数全て	-	*1
3-1	収束判定値	ESP1	-	連立方程式の収束判定値 (推奨値1.0E-5)	-	*2
-2	収束判定値	ESP2	-	反復計算の全圧損収束判定値 (推奨値1.0E-5)	-	
-3	収束緩和因子	PRM	-	流量の反復計算時の収束緩和因子 (推奨値0.25)	-	*3
-4	反復回数	ITMAX	-	収束計算の反復回数 (推奨値30回)	-	
-5	反復回数	ISTMAX	-	反復計算の反復回数 (推奨値30回)	-	
4-1	ノード分割	MESH	-	軸方向メッシュ分割数 (最大9分割)	-	*4
-2	領域数	NAREA	-	領域数 (最大9領域)	-	*5
-3	内燃料棒本数	NCLAD	-	集合体内燃料棒本数	-	
5	集合体数	NDCT	NAREA-1	領域内集合体数	-	
6	メッシュ	DXZO	MESH	各メッシュの軸方向長さ	mm	
7-1	被覆管	DCLD0	-	被覆管外径	mm	
-2	ワイヤ	DWIRO	-	ワイヤ直径	mm	
8-1	ラッパ管	ETUB0	-	ラッパ管内対面幅	mm	
-2		HTUB0	-	ラッパ管内肉厚	mm	

表C.1 入力データ一覧 (続き)

入力順序	項目	変数名	ディメンジョン	内容	単位	備考
9-1	材質	MATWIR	-	ワイヤ材質のID番号		
-2		MATTUB	-	ラップ管材質のID番号 1:改良オーステナイト鋼 2:フェライト/マルテンサイト鋼 及びODS鋼		
10	流量	WTUB0	NAREA	集合体内冷却材流量	kg/s	
11	圧力損失	DPTOT0	-	全圧力損失	kg/cm ²	
12	圧力損失	DPAR0	NAREA-1	各領域におけるバンドル圧損	kg/cm ²	
13	圧力差	DPTOP	-	ピン上端でのラップ管内外面冷却材圧力差	kg/cm ²	
14	中性子束	FNTR	NAREA-1	軸方向高速中性子束	n/cm ² -s	
15	中性子束	ZPRFF	MESH	高速中性子束軸方向分布	-	
16	温度	TMPCLD	MESH	被覆管外径面及びワイヤ温度	°C	
17	温度	TMPTUB	MESH	ラップ管温度	°C	
18-1	燃料交換	NBAT	-	計画バッチ数(最大4バッチ)	サイクル	*6
-2		NCYL	-	サイクル長さ	EFPD	
-3		ITIM	-	サイクル状態 0:サイクル初期状態での計算 1:サイクル末期状態での計算	-	
19-1	領域チェック	NAME	-	領域チェックカード	-	*7
-2	領域番号	ICLK	-	領域番号	-	*8
20	膨張率	EXCLR	(NAREA-1)* NBAT*MESH	被覆管径方向膨張率	%	*9
21		EXCLZ	(NAREA-1)* NBAT*MESH	被覆管軸方向膨張率	%	
22	入力データ終了	ENDDAT	-	入力データ終了カード	-	*10

備考

- *1 出力変数については、付録B(出力変数一覧)または、付録F(サンプル出力結果)を参考。
- *2 連立方程式の相対誤差及び絶対誤差を判定する。
- *3 計算が収束しないときは、小さくすること。また、この時定常計算の反復回数を増やす必要がある。
- *4 9領域以上を計算したいときは、インクルード(PARAM)内のパラメータ文IMAXに適当な値を与えてソース全体を再コンパイルする必要がある。
- *5 領域NAREA番目は、炉心燃料集合体以外の炉心構成要素部とする。
- *6 4バッチサイクル以上で計算したいときは、インクルード(PARAM)内のパラメータ文JMAXに適当な値を与えてソース全体を再コンパイルする必要がある。
- *7 カード22~24番をNAREA回繰り返し入力する。
- *8 領域のチェックカード(固定フォーマット: A4, I76)
 - 1 : "AREA"を入力する。
 - 2 : 領域番号を入力する。
- *9 製作時の寸法及びCEDAR-IIで評価した結果を用いる。
- *10 入力データの終了を示すカード(固定フォーマット: A3)。"END"を入力する。これ以降のカードはデータとして見なされない。

D. 実行JCL

以下に一例を示す。

```
//XXXXXYYY JOB (PASS),'USER-NAME',
                MSGLEVEL=(1,1),MSGCLASS=X,
//   NOTIFY=XXXXX,CLASS=A * ATTR=(T0,C1,W0)
//CL   EXEC FORTXCL,
//     PARM.FORT='NOSTATIS,LC(60),GOSTMT,ELM(*)',
//     SOURCE(LEVEL,INDENT)',
//     PARM.LKED='LIST,LET,NOMAP'
//*
//FORT.SYSPRINT DD SYSOUT=*
//FORT.SYSIN   DD DSN=XXXXX.FDICA.FORT,DISP=SHR
//FORT.SYSINC  DD DSN=XXXXX.FDICA.INC,DISP=SHR
//*
//LKED.SYSPRINT DD SYSOUT=*
//LKED.SYSLIB  DD SYS1.FORTLIB,DISP=SHR
//             DD SYS9.STMLIB,DISP=SHR
//LKED.SYSLMOD DD DSN=XXXXX.@FDICA.LOAD(FDICA),
//             DISP=(NEW,CATLG,DELETE),SPACE=(TRK,(5,5,1),RLSE),
//             DCB=(RECFM=U,BLKSIZE=19069)
//*
```


E. サンプル入力データ

以下に入力データの一例を示す。

```

TITLE data ----- 実用プラント版テストデータ (DAT16) -----
*
*   出力変数の選択オプション
*
* IOUTPT
*   3
*   収束判定値      収束緩和因子      収束計算反復回数
*   EPS              PRM              ITMAX  ISTMAX
*   2*1.0E-5        0.25             30     30
*   ノード分割      集合体内燃料棒本数
*   MESH NAREA      NCLAD
*   9                5                271
*
*NDCT(NAREA-1) 領域内集合体数
* 19 108 114 162
*
*DXZ0(MESH)     各メッシュの軸方向長さ
* 1400 300 5*240 300 200
*被覆管外直径   ワイヤ直径
* DCLD0          DWIRO
* 9.0            1.50
*ラッパ管内対面幅 肉厚
* ETUB0          HTUB0
* 177.4          4.0
*ワイヤ材質      ラッパ管材質
* MATWIR         MATTUB
* 2              2
*
* WTUB0          冷却材流量
* 46.0 43.0 41.1 38.6 2643.4
*
* DPTOT          全圧力損失
* 3.80
*
* DPAREA0        各バンドル部圧損
* 3.10 2.71 2.47 2.18
*
* DPTOP          ピン上端でのラッパ管内外面冷却材圧力差
* 0.0
*
* FNTR           軸方向高速中性子束
* 2.75E15 2.57E15 2.46E15 2.31E15
*

```

* ZPRFF 高速中性子東軸方向分布
 0.00 0.22 0.67 0.92 1.00 0.90 0.63 0.22 0.00

*

* TMPCLD 被覆管外面及びワイヤ温度
 2*395.0 421.0 460.0 508.0 556.0 597.0 2*600.0

*

* TMPTUB ラッパ管温度
 2*395.0 412.0 437.0 469.0 500.0 527.0 2*530.0

* 計画バッチ数 サイクル数 サイクル状態

* NBAT NCYL ITIM
 3 730 0

*

***** 膨張率 *****

* EXCL

AREA 1

* 径方向

2*0.449 0.499 0.559 0.629 0.696 0.748 0.739 0.737
 2*0.581 0.871 0.933 1.033 0.928 0.748 0.739 0.737
 2*0.731 1.427 1.973 2.593 1.986 0.843 0.739 0.737
 *2*0.903 2.088 3.189 3.886 3.075 1.157 0.739 0.737

* 軸方向

2*0.450 0.500 0.560 0.630 0.696 0.749 0.740 0.737
 2*0.596 0.808 0.730 0.699 0.746 0.777 0.780 0.772
 2*0.742 1.126 0.931 0.804 0.830 0.843 0.794 0.776
 *2*0.878 1.452 1.131 0.899 0.914 0.913 0.809 0.780

*

AREA 2

* 径方向

2*0.449 0.498 0.558 0.628 0.694 0.747 0.739 0.737
 2*0.573 0.820 0.919 0.973 0.878 0.747 0.739 0.737
 2*0.710 1.309 1.814 2.359 1.662 0.747 0.739 0.737
 *2*0.868 1.942 3.188 3.915 2.852 1.079 0.739 0.737

* 軸方向

2*0.450 0.499 0.559 0.628 0.695 0.748 0.740 0.737
 2*0.584 0.790 0.718 0.688 0.735 0.776 0.779 0.772
 2*0.721 1.088 0.909 0.789 0.813 0.834 0.792 0.776
 *2*0.852 1.395 1.107 0.888 0.899 0.908 0.806 0.780

*

AREA 3

* 径方向

2*0.449 0.497 0.557 0.627 0.693 0.747 0.739 0.737
 2*0.569 0.792 0.897 0.925 0.876 0.747 0.739 0.737
 2*0.699 1.242 1.698 1.990 1.549 0.747 0.739 0.737
 *2*0.847 1.845 3.128 3.679 2.806 0.944 0.739 0.737

* 軸方向

2*0.450 0.498 0.558 0.627 0.694 0.747 0.739 0.737
 2*0.572 0.779 0.709 0.681 0.729 0.780 0.779 0.772
 2*0.707 1.064 0.895 0.775 0.803 0.829 0.791 0.776
 *2*0.832 1.360 1.091 0.877 0.889 0.904 0.804 0.780

*

AREA 4

* 径方向

2*0.448 0.496 0.556 0.625 0.692 0.746 0.739 0.737

2*0.562 0.767 0.857 0.927 0.839 0.746 0.739 0.737

2*0.683 1.146 1.502 1.845 1.438 0.746 0.739 0.737

*2*0.820 1.684 2.765 3.528 2.626 0.746 0.739 0.737

* 軸方向

2*0.450 0.497 0.557 0.626 0.693 0.746 0.739 0.737

2*0.561 0.764 0.699 0.674 0.721 0.784 0.779 0.772

2*0.687 1.033 0.874 0.764 0.793 0.824 0.790 0.776

*2*0.806 1.311 1.064 0.868 0.878 0.892 0.802 0.780

*データエンド

END

F. サンプル出力リスト

出力は、先ず初めに入力ファイルの打ち返しがあり、次に入力したデータの打ち返しとなり、そして解析結果となる。解析結果は、まず固定出力があり、次にオプション出力が各領域ごとに出力される。

以下に出力リストの一例を示す。

入力データファイルの打ち返し

```

--INPUT DATA LIST--                                PAGE 1
CARD NO. *---+---*---+---*---+---*---+---*---+---*---+---*
1 INPUT DATA --PRACTICAL PLANT (TABLE 1.6)----- (BOC)
*
* IOUPTF
2 3
* EPS   PRM   ITMAX  ISTMAX
3 2*1.0E-5 0.25  30   30
*
* MESH NAREA NCLAD
4 9 5 271
*
* NDCT(NAREA-1)
5 19 108 114 162
*
* DXZO(MESH)
6 1400 300 5*240 300 200
*
* DCLD0 DWIRO
7 9.0 1.50
*
* ETUB0 HTUB0
8 177.4 4.0
*
* MATWIR MATTUB
9 2 2
*
* WTUB0
10 10 46.0 43.0 41.1 38.6 2643.4
*
* DPTOT
11 3.80
*
* DPAREAO

```

12 3.10 2.71 2.47 2.18

*

* DPTOP

13 0.0

*

* FNTR

14 2.75E15 2.57E15 2.46E15 2.31E15

*

* ZPRFF

15 0.00 0.22 0.67 0.92 1.00 0.90 0.63 0.22 0.00

*

* TMPCLD

16 2*395.0 421.0 460.0 508.0 556.0 597.0 2*600.0

*

* TMPTUB

17 2*395.0 412.0 437.0 469.0 500.0 527.0 2*530.0

*

* NBAT NCYL ITIM

--INPUT DATA LIST--

PAGE 2

CARD NO. *+*+*+*+*+*+*+*+*+*+*+*+*+*+*+*+*+*+*

18 3 730 0

*

* EXCL

19 AREA 1

*

20 2*0.449 0.499 0.559 0.629 0.696 0.748 0.739 0.737

21 2*0.581 0.871 0.933 1.033 0.928 0.748 0.739 0.737

22 2*0.731 1.427 1.973 2.593 1.986 0.843 0.739 0.737

*2*0.903 2.083 3.159 3.886 3.075 1.157 0.739 0.737

*

23 2*0.450 0.500 0.560 0.630 0.696 0.749 0.740 0.737

24 2*0.596 0.808 0.730 0.699 0.746 0.777 0.780 0.772

25 2*0.742 1.126 0.931 0.804 0.830 0.843 0.794 0.776

*2*0.878 1.452 1.131 0.899 0.914 0.913 0.809 0.780

*

26 AREA 2

*

27 2*0.449 0.498 0.558 0.628 0.694 0.747 0.739 0.737

28 2*0.573 0.820 0.919 0.973 0.878 0.747 0.739 0.737

29 2*0.710 1.309 1.814 2.359 1.662 0.747 0.739 0.737

*2*0.868 1.942 3.188 3.915 2.852 1.079 0.739 0.737

*

30 2*0.450 0.499 0.559 0.628 0.695 0.748 0.740 0.737

31 2*0.584 0.790 0.718 0.688 0.735 0.776 0.779 0.772

32 2*0.721 1.088 0.909 0.789 0.813 0.834 0.792 0.776

*2*0.852 1.395 1.107 0.888 0.899 0.908 0.806 0.780

*

33 AREA 3

34 2*0.449 0.497 0.557 0.627 0.693 0.747 0.739 0.737

35 2*0.569 0.792 0.897 0.925 0.876 0.747 0.739 0.737

36 2*0.699 1.242 1.698 1.990 1.549 0.747 0.739 0.737

*2*0.847 1.845 3.128 3.679 2.806 0.944 0.739 0.737

37 2*0.450 0.498 0.558 0.627 0.694 0.747 0.739 0.737

38 2*0.572 0.779 0.709 0.681 0.729 0.780 0.779 0.772

39 2*0.707 1.064 0.895 0.775 0.803 0.829 0.791 0.776

*2*0.832 1.360 1.091 0.877 0.889 0.904 0.804 0.780

40 AREA 4

41 2*0.448 0.496 0.556 0.625 0.692 0.746 0.739 0.737

42 2*0.562 0.767 0.857 0.927 0.839 0.746 0.739 0.737

43 2*0.683 1.146 1.502 1.845 1.438 0.746 0.739 0.737

*2*0.820 1.684 2.765 3.528 2.626 0.746 0.739 0.737

44 2*0.450 0.497 0.557 0.626 0.693 0.746 0.739 0.737

45 2*0.561 0.764 0.699 0.674 0.721 0.784 0.779 0.772

46 2*0.687 1.033 0.874 0.764 0.793 0.824 0.790 0.776

*2*0.806 1.311 1.064 0.868 0.878 0.892 0.802 0.780

--INPUT DATA LIST--

PAGE 3

CARD NO. *---+---*---+---*---+---*---+---*---+---*---+---*

47 END

*****--END OF CARD--*****

TOTAL INPUT CARD LINE NO. 102

TOTAL DATA CARD LINE NO. 47

入力データの打ち返し

FLOW DISTRIBUTION CHANGING-ACTION IN CORE

INPUT DATA ---PRACTICAL PLANT (TABLE 1.6) ---.....(BOC)

CURRENT TEMPERATURE CALCULATION ID = 3

(0: DEFAULT)

(1: DEFAULT AND OPTION 1)

(2: DEFAULT AND OPTION 2)

(3: ALL VARIABLE)

PNC SN9410 90-079

CONVERGENCE CRITERION FOR SOLVE EQUATION = 1.0000E-05
(SUGGESTED VALUE = 1.0E-5)

CONVERGENCE CRITERION FOR STEADY CALCULATION = 1.0000E-05
(SUGGESTED VALUE = 1.0E-5)

MODIFY PARAMETER FOR SOLVE CALCULATION = 2.5000E-01
(SUGGESTED VALUE = 0.25)

MAXIMUM NUMBER OF INNER ITERATIONS = 30
(SUGGESTED VALUE = 30)

MAXIMUM NUMBER OF OUTER ITERATIONS = 30
(SUGGESTED VALUE = 30)

NUMBER OF AXIAL MESH = 9
(MAXIMUM NUMBER = 9)

NUMBER OF AREA = 5
(MAXIMUM NUMBER = 9)

NUMBER OF CLAD IN DUCT = 271

NUMBER OF DUCT IN AREA
19 108 114 162

MESH LENGTHS (MM)
1.4000E+03 3.0000E+02 2.4000E+02 2.4000E+02 2.4000E+02 2.4000E+02 2.4000E+02 3.0000E+02 2.0000E+02

CLAD OUTER DIAMETER (MM) = 9.0000E+00

WIRE DIAMETER (MM) = 1.5000E+00

DUCT WIDTH (MM) = 1.7740E+02

DUCT THICKNESS (MM) = 4.0000E+00

WIRE MATERIAL ID NUMBER = 2

DUCT MATERIAL ID NUMBER = 2

PNC SN9410 90-079

(1: OUSTENITIC STAINLESS STEEL)

(2: ODS/FERRITE-MARTENSITE)

MASS FLOW IN CLAD (KG/3)

4.6000E+01 4.3000E+01 4.1100E+01 3.8600E+01 2.6434E+03

TOTAL PRESSURE LOSS (KG/CM**2) = 3.8000E+00

LOCAL PRESSURE LOSS (KG/CM**2)

3.1000E+00 2.7100E+00 2.4700E+00 2.1800E+00

PRESSURE BALANCE (KG/CM**2) = 0.0000E+00

AXIAL FAST NEUTRON FLUX (N/CM**2.S)

2.7500E+15 2.5700E+15 2.4600E+15 2.3100E+15

AXIAL FAST NEUTRON FLUX DISTRIBUTION

0.0000E+00 2.2000E-01 6.7000E-01 9.2000E-01 1.0000E+00 9.0000E-01 6.3000E-01 2.2000E-01 0.0000E+00

CLAD AND WIRE TEMPERATURE (C)

3.9500E+02 3.9500E+02 4.2100E+02 4.6000E+02 5.0800E+02 5.5600E+02 5.9700E+02 6.0000E+02 6.0000E+02

DUCT TEMPERATURE (C)

3.9500E+02 3.9500E+02 4.1200E+02 4.3700E+02 4.6900E+02 5.0000E+02 5.2700E+02 5.3000E+02 5.3000E+02

PLANNED BATCH NUMBER = 3

(MAXIMUM NUMBER = 4)

BATCH CYCLE TIME (EFPD) = 730

CYCLE CONDITION ID NUMBER = 0

(0: BCC)

(1: EOC)

---AREA 1---

CLAD RADIAL EXPANSION (%)

4.4900E-01 4.4900E-01 4.9900E-01 5.5900E-01 6.2900E-01 6.9600E-01 7.4800E-01 7.3900E-01 7.3700E-01
5.8100E-01 5.8100E-01 8.7100E-01 9.3300E-01 1.0330E+00 9.2800E-01 7.4800E-01 7.3900E-01 7.3700E-01
7.3100E-01 7.3100E-01 1.4270E+00 1.9730E+00 2.5930E+00 1.9860E+00 8.4300E-01 7.3900E-01 7.3700E-01

CLAD AXIAL EXPANSION (%)

4.5000E-01 4.5000E-01 5.0000E-01 5.6000E-01 6.3000E-01 6.9600E-01 7.4900E-01 7.4000E-01 7.3700E-01
5.9600E-01 5.9600E-01 8.0800E-01 7.3000E-01 6.9900E-01 7.4600E-01 7.7700E-01 7.8000E-01 7.7200E-01
7.4200E-01 7.4200E-01 1.1260E+00 9.3100E-01 8.0400E-01 8.3000E-01 8.4300E-01 7.9400E-01 7.7600E-01

--AREA 2--

CLAD RADIAL EXPANSION (%)

4.4900E-01 4.4900E-01 4.9800E-01 5.5800E-01 6.2800E-01 6.9400E-01 7.4700E-01 7.3900E-01 7.3700E-01
5.7300E-01 5.7300E-01 8.2000E-01 9.1900E-01 9.7300E-01 8.7800E-01 7.4700E-01 7.3900E-01 7.3700E-01
7.1000E-01 7.1000E-01 1.3090E+00 1.8140E+00 2.3590E+00 1.6620E+00 7.4700E-01 7.3900E-01 7.3700E-01

CLAD AXIAL EXPANSION (%)

4.5000E-01 4.5000E-01 4.9900E-01 5.5900E-01 6.2800E-01 6.9500E-01 7.4800E-01 7.4000E-01 7.3700E-01
5.8400E-01 5.8400E-01 7.9000E-01 7.1800E-01 6.8800E-01 7.3500E-01 7.7600E-01 7.7900E-01 7.7200E-01
7.2100E-01 7.2100E-01 1.0880E+00 9.0900E-01 7.8900E-01 8.1300E-01 8.3400E-01 7.9200E-01 7.7600E-01

---AREA 3---

CLAD RADIAL EXPANSION (%)

4.4900E-01 4.4900E-01 4.9700E-01 5.5700E-01 6.2700E-01 6.9300E-01 7.4700E-01 7.3900E-01 7.3700E-01
5.6900E-01 5.6900E-01 7.9200E-01 8.9700E-01 9.2500E-01 8.7600E-01 7.4700E-01 7.3900E-01 7.3700E-01
6.9900E-01 6.9900E-01 1.2420E+00 1.6980E+00 1.9900E+00 1.5490E+00 7.4700E-01 7.3900E-01 7.3700E-01

CLAD AXIAL EXPANSION (%)

4.5000E-01 4.5000E-01 4.9800E-01 5.5800E-01 6.2700E-01 6.9400E-01 7.4700E-01 7.3900E-01 7.3700E-01
5.7200E-01 5.7200E-01 7.7900E-01 7.0900E-01 6.8100E-01 7.2900E-01 7.8000E-01 7.7900E-01 7.7200E-01
7.0700E-01 7.0700E-01 1.0640E+00 8.9500E-01 7.7500E-01 8.0300E-01 8.2900E-01 7.9100E-01 7.7600E-01

---AREA 4---

CLAD RADIAL EXPANSION (%)

4.4800E-01 4.4800E-01 4.9600E-01 5.5600E-01 6.2500E-01 6.9200E-01 7.4600E-01 7.3900E-01 7.3700E-01
5.6200E-01 5.6200E-01 7.6700E-01 8.5700E-01 9.2700E-01 8.3900E-01 7.4600E-01 7.3900E-01 7.3700E-01
6.8300E-01 6.8300E-01 1.1460E+00 1.5020E+00 1.8450E+00 1.4380E+00 7.4600E-01 7.3900E-01 7.3700E-01

CLAD AXIAL EXPANSION (%)

4.5000E-01 4.5000E-01 4.9700E-01 5.5700E-01 6.2600E-01 6.9300E-01 7.4600E-01 7.3900E-01 7.3700E-01
5.6100E-01 5.6100E-01 7.6400E-01 6.9900E-01 6.7400E-01 7.2100E-01 7.8400E-01 7.7900E-01 7.7200E-01
6.8700E-01 6.8700E-01 1.0330E+00 8.7400E-01 7.6400E-01 7.9300E-01 8.2400E-01 7.9000E-01 7.7600E-01

-----END OF INPUT DATA-----

解析結果

-----FLOW DISTRIBUTION CHANGING-ACTION IN CORE-----

INPUT DATA ---PRACTICAL PLANT (TABLE 1.6)---.....(BOC)

固定出力

BATCH NO. = 3

CYCLE TIME = 730 (EFDP)

BATCH TIME (EFDP)

0.0000E+00 7.3000E+02 1.4600E+03

TOTAL PRESSER LOSS = 3.8005E+00 (KG/CM**2)

TOTAL MASS FLOW = 1.9100E+04 (KG/S)

BDI-NORMAL = -1.7212E+00 (MM)

* MASS FLOW (KG/S)

AREA NO.

- 1 8.7307E+02
- 2 4.6421E+03
- 3 4.6861E+03
- 4 6.2551E+03
- 5 2.6436E+03

*DUCT MASS FLOW (KG/S)

AREA NO.

バッチ→

- 1 4.6155E+01 4.6221E+01 4.5477E+01
- 2 4.3132E+01 4.3163E+01 4.2652E+01
- 3 4.1208E+01 4.1220E+01 4.0892E+01
- 4 3.8682E+01 3.8680E+01 3.8474E+01

*AREA PRESS. LOSS (KG/CM)

AREA NO.

- 1 3.1012E+00 3.1008E+00 3.0973E+00
- 2 2.7012E+00 2.6989E+00 2.7365E+00
- 3 2.4589E+00 2.4575E+00 2.4945E+00
- 4 2.1678E+00 2.1682E+00 2.2015E+00

*CHANGE OF FLOW RESIST. COEFFICIENT

AREA NO.

- 1 1.0004E+00 1.0003E+00 9.9914E-01
- 2 9.9676E-01 9.9590E-01 1.0098E+00
- 3 9.9553E-01 9.9494E-01 1.0099E+00
- 4 9.9440E-01 9.9458E-01 1.0099E+00

AREA 1

オプション出力1

*CLAD DIAMETER (MM)

メッシュュー

BATCH NO.

1	9.0404E+00	9.0404E+00	9.0449E+00	9.0503E+00	9.0566E+00	9.0626E+00	9.0673E+00	9.0665E+00	9.0663E+00
2	9.0523E+00	9.0523E+00	9.0784E+00	9.0840E+00	9.0930E+00	9.0835E+00	9.0673E+00	9.0665E+00	9.0663E+00
3	9.0658E+00	9.0658E+00	9.1284E+00	9.1776E+00	9.2334E+00	9.1787E+00	9.0759E+00	9.0665E+00	9.0663E+00

*CLAD Z-LENGTH (MM)

BATCH NO.

1	1.4063E+03	3.0135E+02	2.4120E+02	2.4134E+02	2.4151E+02	2.4167E+02	2.4180E+02	3.0222E+02	2.0147E+02
2	1.4083E+03	3.0179E+02	2.4194E+02	2.4175E+02	2.4168E+02	2.4179E+02	2.4186E+02	3.0234E+02	2.0154E+02
3	1.4104E+03	3.0223E+02	2.4270E+02	2.4223E+02	2.4193E+02	2.4199E+02	2.4202E+02	3.0238E+02	2.0155E+02

*CLAD AREA (MM**2)

BATCH NO.

1	6.4190E+01	6.4190E+01	6.4254E+01	6.4330E+01	6.4420E+01	6.4506E+01	6.4573E+01	6.4561E+01	6.4558E+01
2	6.4359E+01	6.4359E+01	6.4730E+01	6.4810E+01	6.4938E+01	6.4803E+01	6.4573E+01	6.4561E+01	6.4558E+01
3	6.4551E+01	6.4551E+01	6.5446E+01	6.6152E+01	6.6959E+01	6.6169E+01	6.4694E+01	6.4561E+01	6.4558E+01

*CLAD WETTED PARIMETER (MM)

BATCH NO.

1	2.8401E+01	2.8401E+01	2.8415E+01	2.8432E+01	2.8452E+01	2.8471E+01	2.8486E+01	2.8483E+01	2.8483E+01
2	2.8439E+01	2.8439E+01	2.8521E+01	2.8538E+01	2.8566E+01	2.8537E+01	2.8486E+01	2.8483E+01	2.8483E+01
3	2.8481E+01	2.8481E+01	2.8678E+01	2.8832E+01	2.9007E+01	2.8836E+01	2.8513E+01	2.8483E+01	2.8483E+01

*WIRE DIAMETER (MM)

BATCH NO.

1	1.5066E+00	1.5066E+00	1.5071E+00	1.5079E+00	1.5089E+00	1.5099E+00	1.5108E+00	1.5109E+00	1.5109E+00
2	1.5066E+00	1.5085E+00	1.5123E+00	1.5112E+00	1.5096E+00	1.5100E+00	1.5108E+00	1.5109E+00	1.5109E+00
3	1.5066E+00	1.5104E+00	1.5175E+00	1.5146E+00	1.5103E+00	1.5101E+00	1.5108E+00	1.5109E+00	1.5109E+00

*WIRE AREA (MM**2)

BATCH NO.

1	1.7826E+00	1.7826E+00	1.7839E+00	1.7858E+00	1.7882E+00	1.7906E+00	1.7927E+00	1.7929E+00	1.7929E+00
2	1.7826E+00	1.7871E+00	1.7962E+00	1.7937E+00	1.7898E+00	1.7908E+00	1.7928E+00	1.7929E+00	1.7929E+00
3	1.7826E+00	1.7916E+00	1.8086E+00	1.8017E+00	1.7915E+00	1.7910E+00	1.7928E+00	1.7929E+00	1.7929E+00

*WIRE WETTED PARIMETER (MM)

BATCH NO.

1	4.7330E+00	4.7330E+00	4.7347E+00	4.7372E+00	4.7404E+00	4.7436E+00	4.7464E+00	4.7466E+00	4.7466E+00
2	4.7330E+00	4.7390E+00	4.7510E+00	4.7477E+00	4.7425E+00	4.7438E+00	4.7464E+00	4.7466E+00	4.7466E+00
3	4.7330E+00	4.7449E+00	4.7674E+00	4.7582E+00	4.7447E+00	4.7441E+00	4.7464E+00	4.7466E+00	4.7466E+00

*DUCT WIDTH (MM)

BATCH NO.

1	1.7818E+02	1.7818E+02	1.7822E+02	1.7828E+02	1.7836E+02	1.7843E+02	1.7850E+02	1.7851E+02	1.7851E+02
2	1.7818E+02	1.7849E+02	1.7914E+02	1.7930E+02	1.7905E+02	1.7882E+02	1.7867E+02	1.7854E+02	1.7851E+02
3	1.7818E+02	1.7880E+02	1.8007E+02	1.8033E+02	1.7976E+02	1.7920E+02	1.7884E+02	1.7857E+02	1.7851E+02

*DUCT AREA (MM**2)

BATCH NO.

1	2.7493E+04	2.7493E+04	2.7506E+04	2.7525E+04	2.7549E+04	2.7573E+04	2.7594E+04	2.7596E+04	2.7596E+04
2	2.7493E+04	2.7589E+04	2.7792E+04	2.7841E+04	2.7765E+04	2.7692E+04	2.7647E+04	2.7606E+04	2.7596E+04
3	2.7493E+04	2.7686E+04	2.8082E+04	2.8164E+04	2.7983E+04	2.7811E+04	2.7699E+04	2.7616E+04	2.7596E+04

*DUCT WETTED PARIMETER (MM)

BATCH NO.

1	6.1722E+02	6.1722E+02	6.1736E+02	6.1757E+02	6.1784E+02	6.1811E+02	6.1835E+02	6.1837E+02	6.1837E+02
2	6.1722E+02	6.1800E+02	6.1967E+02	6.1991E+02	6.1901E+02	6.1847E+02	6.1843E+02	6.1840E+02	6.1837E+02
3	6.1722E+02	6.1878E+02	6.2200E+02	6.2227E+02	6.2021E+02	6.1885E+02	6.1852E+02	6.1842E+02	6.1837E+02

*DUCT VMAX (MM)

BATCH NO.

1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
2	0.0000E+00	8.1004E-02	2.4178E-01	3.3088E-01	3.4297E-01	2.6510E-01	1.3786E-01	2.3193E-02	0.0000E+00
3	0.0000E+00	1.6295E-01	4.9190E-01	6.7322E-01	6.9180E-01	5.3158E-01	2.7587E-01	4.6395E-02	0.0000E+00

*DUCT VAVE (MM)

BATCH NO.

1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
2	0.0000E+00	4.3202E-02	1.2895E-01	1.7647E-01	1.8292E-01	1.4139E-01	7.3523E-02	1.2370E-02	0.0000E+00
3	0.0000E+00	8.6906E-02	2.6235E-01	3.5905E-01	3.6896E-01	2.8351E-01	1.4713E-01	2.4744E-02	0.0000E+00

*FLOW AREA (MM**2)

BATCH NO.

1	9.6147E+03	9.6147E+03	9.6098E+03	9.6073E+03	9.6067E+03	9.6067E+03	9.6091E+03	9.6145E+03	9.6152E+03
2	9.5690E+03	9.6638E+03	9.7630E+03	9.7918E+03	9.6815E+03	9.6447E+03	9.6616E+03	9.6243E+03	9.6152E+03
3	9.5169E+03	9.7071E+03	9.8557E+03	9.7481E+03	9.3519E+03	9.3939E+03	9.6813E+03	9.6342E+03	9.6152E+03

*EQUIVALENT DIAMETER (MM)

BATCH NO.

1	4.0076E+00	4.0076E+00	4.0036E+00	4.0003E+00	3.9974E+00	3.9948E+00	3.9937E+00	3.9962E+00	3.9966E+00
2	3.9843E+00	4.0228E+00	4.0526E+00	4.0628E+00	4.0148E+00	4.0030E+00	4.0155E+00	4.0003E+00	3.9966E+00
3	3.9579E+00	4.0350E+00	4.0702E+00	4.0094E+00	3.8300E+00	3.8662E+00	4.0206E+00	4.0043E+00	3.9966E+00

*BDI-CHANGE (MM)

BATCH NO.

1	-1.7110E+00	-1.7110E+00	-1.6681E+00	-1.6252E+00	-1.5818E+00	-1.5411E+00	-1.5159E+00	-1.5358E+00	-1.5388E+00
2	-1.5140E+00	-1.7915E+00	-1.9443E+00	-2.0306E+00	-1.6635E+00	-1.5770E+00	-1.6857E+00	-1.5675E+00	-1.5388E+00

3 -1.2900E+00 -1.8462E+00 -1.9548E+00 -1.4539E+00 -2.5526E-02 -3.8113E-01 -1.7138E+00 -1.5991E+00 -1.5388E+00

*WIRE THERMAL EXPANSION (%)

BATCH NO.

1 4.3715E-01 4.3715E-01 4.7261E-01 5.2657E-01 5.9410E-01 6.6263E-01 7.2179E-01 7.2613E-01 7.2613E-01
 2 4.3715E-01 4.3715E-01 4.7261E-01 5.2657E-01 5.9410E-01 6.6263E-01 7.2179E-01 7.2613E-01 7.2613E-01
 3 4.3715E-01 4.3715E-01 4.7261E-01 5.2657E-01 5.9410E-01 6.6263E-01 7.2179E-01 7.2613E-01 7.2613E-01

*WIRE SWELLING (%)

BATCH NO.

1 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
 2 0.0000E+00 1.2605E-01 3.4561E-01 2.2154E-01 4.5585E-02 4.8302E-03 4.7422E-04 1.4349E-04 0.0000E+00
 3 0.0000E+00 2.5210E-01 6.9121E-01 4.4308E-01 9.1169E-02 9.6605E-03 9.4844E-04 2.8697E-04 0.0000E+00

*DUCT THERMAL EXPANSION (%)

BATCH NO.

1 4.3715E-01 4.3715E-01 4.6028E-01 4.9464E-01 5.3914E-01 5.8276E-01 6.2112E-01 6.2540E-01 6.2540E-01
 2 4.3715E-01 4.3715E-01 4.6028E-01 4.9464E-01 5.3914E-01 5.8276E-01 6.2112E-01 6.2540E-01 6.2540E-01
 3 4.3715E-01 4.3715E-01 4.6028E-01 4.9464E-01 5.3914E-01 5.8276E-01 6.2112E-01 6.2540E-01 6.2540E-01

*DUCT SWELLING (%)

BATCH NO.

1 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
 2 0.0000E+00 1.2605E-01 3.7334E-01 3.7559E-01 1.8563E-01 5.6466E-02 1.2796E-02 3.9118E-03 0.0000E+00
 3 0.0000E+00 2.5210E-01 7.4668E-01 7.5118E-01 3.7125E-01 1.1293E-01 2.5593E-02 7.8236E-03 0.0000E+00

*DUCT CREEP (%)

BATCH NO.

1 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
 2 0.0000E+00 5.0991E-02 1.5145E-01 2.0724E-01 2.1562E-01 1.6709E-01 8.6964E-02 1.4634E-02 0.0000E+00
 3 0.0000E+00 1.0232E-01 3.0584E-01 4.1853E-01 4.3333E-01 3.3467E-01 1.7398E-01 2.9270E-02 0.0000E+00

*DUCT STRESS (KG/MM**2)

BATCH NO.

1 7.2477E+00 4.9660E+00 4.2417E+00 3.5980E+00 2.9543E+00 2.3102E+00 1.6659E+00 9.4045E-01 2.6870E-01
 2 7.2477E+00 4.9785E+00 4.2734E+00 3.6251E+00 2.9652E+00 2.3129E+00 1.6663E+00 9.4053E-01 2.6870E-01
 3 7.2477E+00 4.9911E+00 4.3053E+00 3.6522E+00 2.9762E+00 2.3155E+00 1.6668E+00 9.4060E-01 2.6870E-01

*DUCT POISSON-RATIO (-)

2.9360E-01 2.9360E-01 2.9496E-01 2.9696E-01 2.9952E-01 3.0200E-01 3.0416E-01 3.0440E-01 3.0440E-01

*VELOCITY (M/S)

オプション出力2

BATCH NO.

1 5.5987E+00 5.5987E+00 5.6425E+00 5.7065E+00 5.7860E+00 5.8676E+00 5.9377E+00 5.9397E+00 5.9393E+00
 2 5.6336E+00 5.5783E+00 5.5619E+00 5.6070E+00 5.7496E+00 5.8529E+00 5.9140E+00 5.9422E+00 5.9479E+00
 3 5.5732E+00 5.4641E+00 5.4210E+00 5.5415E+00 5.8564E+00 5.9125E+00 5.8070E+00 5.8406E+00 5.8521E+00

*CURRENT TEMPERATURE (C)

3.9500E+02 3.9500E+02 4.2100E+02 4.6000E+02 5.0800E+02 5.5600E+02 5.9700E+02 6.0000E+02 6.0000E+02

*PRESSER LOSS COEFFICIENT-NORMAL.

1.0452E+05 2.2398E+04 1.7894E+04 1.7880E+04 1.7864E+04 1.7811E+04 1.7794E+04 2.2242E+04 1.4828E+04

*PRESSER LOSS COEFFICIENT-CHANGE

BATCH NO.

1 1.0388E+05 2.2259E+04 1.7868E+04 1.7929E+04 1.7984E+04 1.7996E+04 1.8011E+04 2.2449E+04 1.4960E+04
2 1.0703E+05 2.1972E+04 1.6989E+04 1.6745E+04 1.7639E+04 1.7859E+04 1.7626E+04 2.2426E+04 1.5014E+04
3 1.0593E+05 2.0832E+04 1.6001E+04 1.6988E+04 2.0673E+04 1.9908E+04 1.6828E+04 2.1439E+04 1.4419E+04

*RATIO OF PRESSER LOSS...(CH/CNO)

BATCH NO.

1 9.9380E-01 9.9380E-01 9.9852E-01 1.0028E+00 1.0067E+00 1.0104E+00 1.0122E+00 1.0093E+00 1.0089E+00
2 1.0240E+00 9.8101E-01 9.4938E-01 9.3655E-01 9.8742E-01 1.0027E+00 9.9057E-01 1.0083E+00 1.0125E+00
3 1.0134E+00 9.3011E-01 8.9418E-01 9.5013E-01 1.1572E+00 1.1177E+00 9.4569E-01 9.6391E-01 9.7243E-01

AREA 2

*CLAD DIAMETER (MM)

BATCH NO.

1 9.0404E+00 9.0404E+00 9.0448E+00 9.0502E+00 9.0565E+00 9.0625E+00 9.0672E+00 9.0665E+00 9.0663E+00
2 9.0516E+00 9.0516E+00 9.0738E+00 9.0827E+00 9.0876E+00 9.0790E+00 9.0672E+00 9.0665E+00 9.0663E+00
3 9.0639E+00 9.0639E+00 9.1178E+00 9.1633E+00 9.2123E+00 9.1496E+00 9.0672E+00 9.0665E+00 9.0663E+00

*CLAD Z-LENGTH (MM)

BATCH NO.

1 1.4063E+03 3.0135E+02 2.4120E+02 2.4134E+02 2.4151E+02 2.4167E+02 2.4180E+02 3.0222E+02 2.0147E+02
2 1.4082E+03 3.0175E+02 2.4190E+02 2.4172E+02 2.4165E+02 2.4176E+02 2.4186E+02 3.0234E+02 2.0154E+02
3 1.4101E+03 3.0216E+02 2.4261E+02 2.4218E+02 2.4189E+02 2.4195E+02 2.4200E+02 3.0238E+02 2.0155E+02

*CLAD AREA (MM**2)

BATCH NO.

1 6.4190E+01 6.4190E+01 6.4252E+01 6.4329E+01 6.4419E+01 6.4503E+01 6.4571E+01 6.4561E+01 6.4558E+01
2 6.4348E+01 6.4348E+01 6.4665E+01 6.4792E+01 6.4861E+01 6.4739E+01 6.4571E+01 6.4561E+01 6.4558E+01
3 6.4524E+01 6.4524E+01 6.5294E+01 6.5946E+01 6.6654E+01 6.5749E+01 6.4571E+01 6.4561E+01 6.4558E+01

*CLAD WETTED PERIMETER (MM)

BATCH NO.

1 2.8401E+01 2.8401E+01 2.8415E+01 2.8432E+01 2.8452E+01 2.8471E+01 2.8486E+01 2.8483E+01 2.8483E+01
2 2.8436E+01 2.8436E+01 2.8506E+01 2.8534E+01 2.8549E+01 2.8523E+01 2.8486E+01 2.8483E+01 2.8483E+01
3 2.8475E+01 2.8475E+01 2.8644E+01 2.8787E+01 2.8941E+01 2.8744E+01 2.8486E+01 2.8483E+01 2.8483E+01

*WIRE DIAMETER (MM)

BATCH NO.

1 1.5066E+00 1.5066E+00 1.5071E+00 1.5079E+00 1.5089E+00 1.5099E+00 1.5108E+00 1.5109E+00 1.5109E+00

2 1.5066E+00 1.5083E+00 1.5120E+00 1.5110E+00 1.5096E+00 1.5100E+00 1.5108E+00 1.5109E+00 1.5109E+00
3 1.5066E+00 1.5101E+00 1.5168E+00 1.5141E+00 1.5102E+00 1.5101E+00 1.5108E+00 1.5109E+00 1.5109E+00

***WIRE AREA (MM**2)**

BATCH NO.

1 1.7826E+00 1.7826E+00 1.7839E+00 1.7858E+00 1.7882E+00 1.7906E+00 1.7927E+00 1.7929E+00 1.7929E+00
2 1.7826E+00 1.7868E+00 1.7954E+00 1.7932E+00 1.7897E+00 1.7908E+00 1.7928E+00 1.7929E+00 1.7929E+00
3 1.7826E+00 1.7910E+00 1.8070E+00 1.8006E+00 1.7913E+00 1.7910E+00 1.7928E+00 1.7929E+00 1.7929E+00

***WIRE WETTED PARIMETER (MM)**

BATCH NO.

1 4.7330E+00 4.7330E+00 4.7347E+00 4.7372E+00 4.7404E+00 4.7436E+00 4.7464E+00 4.7466E+00 4.7466E+00
2 4.7330E+00 4.7386E+00 4.7500E+00 4.7470E+00 4.7424E+00 4.7438E+00 4.7464E+00 4.7466E+00 4.7466E+00
3 4.7330E+00 4.7441E+00 4.7652E+00 4.7568E+00 4.7444E+00 4.7440E+00 4.7464E+00 4.7466E+00 4.7466E+00

***DUCT WIDTH (MM)**

BATCH NO.

1 1.7818E+02 1.7818E+02 1.7822E+02 1.7828E+02 1.7836E+02 1.7843E+02 1.7850E+02 1.7851E+02 1.7851E+02
2 1.7818E+02 1.7845E+02 1.7904E+02 1.7918E+02 1.7895E+02 1.7875E+02 1.7864E+02 1.7854E+02 1.7851E+02
3 1.7818E+02 1.7873E+02 1.7987E+02 1.8009E+02 1.7955E+02 1.7907E+02 1.7878E+02 1.7856E+02 1.7851E+02

***DUCT AREA (MM**2)**

BATCH NO.

1 2.7493E+04 2.7493E+04 2.7506E+04 2.7525E+04 2.7549E+04 2.7573E+04 2.7594E+04 2.7596E+04 2.7596E+04
2 2.7493E+04 2.7579E+04 2.7761E+04 2.7804E+04 2.7734E+04 2.7671E+04 2.7636E+04 2.7604E+04 2.7596E+04
3 2.7493E+04 2.7665E+04 2.8019E+04 2.8088E+04 2.7920E+04 2.7769E+04 2.7679E+04 2.7612E+04 2.7596E+04

***DUCT WETTED PARIMETER (MM)**

BATCH NO.

1 6.1722E+02 6.1722E+02 6.1736E+02 6.1757E+02 6.1784E+02 6.1811E+02 6.1835E+02 6.1837E+02 6.1837E+02
2 6.1722E+02 6.1795E+02 6.1952E+02 6.1975E+02 6.1893E+02 6.1845E+02 6.1842E+02 6.1840E+02 6.1837E+02
3 6.1722E+02 6.1867E+02 6.2169E+02 6.2195E+02 6.2003E+02 6.1879E+02 6.1850E+02 6.1842E+02 6.1837E+02

***DUCT VMAX (MM)**

BATCH NO.

1 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
2 0.0000E+00 6.3538E-02 1.8951E-01 2.5934E-01 2.6897E-01 2.0798E-01 1.0817E-01 1.8199E-02 0.0000E+00
3 0.0000E+00 1.2776E-01 3.8512E-01 5.2708E-01 5.4224E-01 4.1698E-01 2.1646E-01 3.6404E-02 0.0000E+00

***DUCT VAVE (MM)**

BATCH NO.

1 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
2 0.0000E+00 3.3887E-02 1.0107E-01 1.3831E-01 1.4345E-01 1.1092E-01 5.7690E-02 9.7061E-03 0.0000E+00
3 0.0000E+00 6.8141E-02 2.0540E-01 2.8111E-01 2.8919E-01 2.2239E-01 1.1544E-01 1.9416E-02 0.0000E+00

***FLOW AREA (MM**2)**

BATCH NO.

1 9.6147E+03 9.6147E+03 9.6101E+03 9.6076E+03 9.6071E+03 9.6074E+03 9.6094E+03 9.6145E+03 9.6152E+03
2 9.5718E+03 9.6564E+03 9.7501E+03 9.7595E+03 9.6713E+03 9.6412E+03 9.6517E+03 9.6226E+03 9.6152E+03

3 9.5242E+03 9.6938E+03 9.8347E+03 9.7283E+03 9.3715E+03 9.4656E+03 9.6941E+03 9.6306E+03 9.6152E+03

*EQUIVALENT DIAMETER (MM)

BATCH NO.

1 4.0076E+00 4.0076E+00 4.0038E+00 4.0005E+00 3.9975E+00 3.9951E+00 3.9939E+00 3.9962E+00 3.9966E+00
2 3.9857E+00 4.0200E+00 4.0491E+00 4.0500E+00 4.0125E+00 4.0031E+00 4.0114E+00 3.9995E+00 3.9966E+00
3 3.9816E+00 4.0302E+00 4.0657E+00 4.0065E+00 3.8452E+00 3.9057E+00 4.0290E+00 4.0028E+00 3.9966E+00

*BDI-CHANGE (MM)

BATCH NO.

1 -1.7110E+00 -1.7110E+00 -1.6696E+00 -1.6267E+00 -1.5833E+00 -1.5441E+00 -1.5174E+00 -1.5358E+00 -
1.5388E+00
2 -1.5259E+00 -1.7723E+00 -1.9272E+00 -1.9352E+00 -1.6532E+00 -1.5842E+00 -1.6540E+00 -1.5617E+00 -
1.5388E+00
3 -1.3214E+00 -1.8150E+00 -1.9419E+00 -1.4554E+00 -1.7358E-01 -7.2959E-01 -1.7907E+00 -1.5876E+00 -1.5388E+00

*WIRE THERMAL EXPANSION (%)

BATCH NO.

1 4.3715E-01 4.3715E-01 4.7261E-01 5.2657E-01 5.9410E-01 6.6263E-01 7.2179E-01 7.2613E-01 7.2613E-01
2 4.3715E-01 4.3715E-01 4.7261E-01 5.2657E-01 5.9410E-01 6.6263E-01 7.2179E-01 7.2613E-01 7.2613E-01
3 4.3715E-01 4.3715E-01 4.7261E-01 5.2657E-01 5.9410E-01 6.6263E-01 7.2179E-01 7.2613E-01 7.2613E-01

*WIRE SWELLING (%)

BATCH NO.

1 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
2 0.0000E+00 1.1780E-01 3.2299E-01 2.0704E-01 4.2601E-02 4.5141E-03 4.4318E-04 1.3410E-04 0.0000E+00
3 0.0000E+00 2.3560E-01 6.4597E-01 4.1408E-01 8.5202E-02 9.0281E-03 8.8636E-04 2.6819E-04 0.0000E+00

*DUCT THERMAL EXPANSION (%)

BATCH NO.

1 4.3715E-01 4.3715E-01 4.6028E-01 4.9464E-01 5.3914E-01 5.8276E-01 6.2112E-01 6.2540E-01 6.2540E-01
2 4.3715E-01 4.3715E-01 4.6028E-01 4.9464E-01 5.3914E-01 5.8276E-01 6.2112E-01 6.2540E-01 6.2540E-01
3 4.3715E-01 4.3715E-01 4.6028E-01 4.9464E-01 5.3914E-01 5.8276E-01 6.2112E-01 6.2540E-01 6.2540E-01

*DUCT SWELLING (%)

BATCH NO.

1 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
2 0.0000E+00 1.1780E-01 3.4890E-01 3.5100E-01 1.7348E-01 5.2770E-02 1.1959E-02 3.6558E-03 0.0000E+00
3 0.0000E+00 2.3560E-01 6.9781E-01 7.0201E-01 3.4695E-01 1.0554E-01 2.3917E-02 7.3115E-03 0.0000E+00

*DUCT CREEP (%)

BATCH NO.

1 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
2 0.0000E+00 4.0003E-02 1.1876E-01 1.6251E-01 1.6914E-01 1.3110E-01 6.8237E-02 1.1482E-02 0.0000E+00
3 0.0000E+00 8.0251E-02 2.3968E-01 3.2799E-01 3.3981E-01 2.6256E-01 1.3652E-01 2.2967E-02 0.0000E+00

*DUCT STRESS (KG/MM**2)

BATCH NO.

1 6.3359E+00 4.3412E+00 3.7081E+00 3.1453E+00 2.5826E+00 2.0196E+00 1.4563E+00 8.2214E-01 2.3490E-01

2 6.3359E+00 4.3515E+00 3.7340E+00 3.1675E+00 2.5916E+00 2.0217E+00 1.4567E+00 8.2220E-01 2.3490E-01
3 6.3359E+00 4.3617E+00 3.7600E+00 3.1897E+00 2.6005E+00 2.0239E+00 1.4570E+00 8.2226E-01 2.3490E-01

*DUCT POISSON-RATIO (-)

2.9360E-01 2.9360E-01 2.9496E-01 2.9696E-01 2.9952E-01 3.0200E-01 3.0416E-01 3.0440E-01 3.0440E-01

*VELOCITY (M/S)

BATCH NO.

1 5.2321E+00 5.2321E+00 5.2728E+00 5.3327E+00 5.4069E+00 5.4830E+00 5.5487E+00 5.5508E+00 5.5504E+00
2 5.2593E+00 5.2132E+00 5.2007E+00 5.2533E+00 5.3748E+00 5.4676E+00 5.5283E+00 5.5500E+00 5.5543E+00
3 5.2229E+00 5.1316E+00 5.0950E+00 5.2078E+00 5.4810E+00 5.5031E+00 5.4390E+00 5.4798E+00 5.4885E+00

*CURRENT TEMPERATURE (C)

3.9500E+02 3.9500E+02 4.2100E+02 4.6000E+02 5.0800E+02 5.5600E+02 5.9700E+02 6.0000E+02 6.0000E+02

*PRESSER LOSS COEFFICIENT-NORMAL

9.2599E+04 1.9843E+04 1.5853E+04 1.5840E+04 1.5826E+04 1.5779E+04 1.5764E+04 1.9705E+04 1.3137E+04

*PRESSER LOSS COEFFICIENT-CHANGE

BATCH NO.

1 9.1703E+04 1.9651E+04 1.5771E+04 1.5824E+04 1.5872E+04 1.5879E+04 1.5895E+04 1.9816E+04 1.3205E+04
2 9.4113E+04 1.9414E+04 1.5028E+04 1.4967E+04 1.5584E+04 1.5732E+04 1.5599E+04 1.9769E+04 1.3223E+04
3 9.4986E+04 1.8862E+04 1.4492E+04 1.5364E+04 1.8318E+04 1.7169E+04 1.5022E+04 1.9342E+04 1.2986E+04

*RATIO OF PRESSER LOSS...(CH/CNO)

BATCH NO.

1 9.9032E-01 9.9032E-01 9.9480E-01 9.9899E-01 1.0029E+00 1.0063E+00 1.0083E+00 1.0056E+00 1.0052E+00
2 1.0163E+00 9.7841E-01 9.4795E-01 9.4488E-01 9.8468E-01 9.9700E-01 9.8951E-01 1.0032E+00 1.0066E+00
3 1.0258E+00 9.5059E-01 9.1413E-01 9.6994E-01 1.1575E+00 1.0881E+00 9.5290E-01 9.8157E-01 9.8855E-01

AREA 3

*CLAD DIAMETER (MM)

BATCH NO.

1 9.0404E+00 9.0404E+00 9.0447E+00 9.0501E+00 9.0564E+00 9.0624E+00 9.0672E+00 9.0665E+00 9.0663E+00
2 9.0512E+00 9.0512E+00 9.0713E+00 9.0807E+00 9.0832E+00 9.0788E+00 9.0672E+00 9.0665E+00 9.0663E+00
3 9.0629E+00 9.0629E+00 9.1118E+00 9.1528E+00 9.1791E+00 9.1394E+00 9.0672E+00 9.0665E+00 9.0663E+00

*CLAD Z-LENGTH (MM)

BATCH NO.

1 1.4063E+03 3.0135E+02 2.4120E+02 2.4134E+02 2.4150E+02 2.4167E+02 2.4179E+02 3.0222E+02 2.0147E+02
2 1.4080E+03 3.0172E+02 2.4187E+02 2.4170E+02 2.4163E+02 2.4175E+02 2.4187E+02 3.0234E+02 2.0154E+02
3 1.4099E+03 3.0212E+02 2.4255E+02 2.4215E+02 2.4186E+02 2.4193E+02 2.4199E+02 3.0237E+02 2.0155E+02

*CLAD AREA (MM**2)

BATCH NO.

1	6.4190E+01	6.4190E+01	6.4251E+01	6.4328E+01	6.4418E+01	6.4502E+01	6.4571E+01	6.4561E+01	6.4558E+01
2	6.4343E+01	6.4343E+01	6.4629E+01	6.4764E+01	6.4800E+01	6.4737E+01	6.4571E+01	6.4561E+01	6.4558E+01
3	6.4510E+01	6.4510E+01	6.5207E+01	6.5796E+01	6.6174E+01	6.5603E+01	6.4571E+01	6.4561E+01	6.4558E+01

*CLAD WETTED PARIMETER (MM)

BATCH NO.

1	2.8401E+01	2.8401E+01	2.8415E+01	2.8432E+01	2.8452E+01	2.8470E+01	2.8486E+01	2.8483E+01	2.8483E+01
2	2.8435E+01	2.8435E+01	2.8498E+01	2.8528E+01	2.8536E+01	2.8522E+01	2.8486E+01	2.8483E+01	2.8483E+01
3	2.8472E+01	2.8472E+01	2.8626E+01	2.8754E+01	2.8837E+01	2.8712E+01	2.8486E+01	2.8483E+01	2.8483E+01

*WIRE DIAMETER (MM)

BATCH NO.

1	1.5066E+00	1.5066E+00	1.5071E+00	1.5079E+00	1.5089E+00	1.5099E+00	1.5108E+00	1.5109E+00	1.5109E+00
2	1.5066E+00	1.5083E+00	1.5117E+00	1.5109E+00	1.5095E+00	1.5100E+00	1.5108E+00	1.5109E+00	1.5109E+00
3	1.5066E+00	1.5100E+00	1.5164E+00	1.5139E+00	1.5101E+00	1.5101E+00	1.5108E+00	1.5109E+00	1.5109E+00

*WIRE AREA (MM**2)

BATCH NO.

1	1.7826E+00	1.7826E+00	1.7839E+00	1.7858E+00	1.7882E+00	1.7906E+00	1.7927E+00	1.7929E+00	1.7929E+00
2	1.7826E+00	1.7867E+00	1.7949E+00	1.7929E+00	1.7897E+00	1.7908E+00	1.7928E+00	1.7929E+00	1.7929E+00
3	1.7826E+00	1.7907E+00	1.8060E+00	1.8000E+00	1.7911E+00	1.7910E+00	1.7928E+00	1.7929E+00	1.7929E+00

*WIRE WETTED PARIMETER (MM)

BATCH NO.

1	4.7330E+00	4.7330E+00	4.7347E+00	4.7372E+00	4.7404E+00	4.7436E+00	4.7464E+00	4.7466E+00	4.7466E+00
2	4.7330E+00	4.7383E+00	4.7493E+00	4.7466E+00	4.7423E+00	4.7438E+00	4.7464E+00	4.7466E+00	4.7466E+00
3	4.7330E+00	4.7437E+00	4.7639E+00	4.7560E+00	4.7443E+00	4.7440E+00	4.7464E+00	4.7466E+00	4.7466E+00

*DUCT WIDTH (MM)

BATCH NO.

1	1.7818E+02	1.7818E+02	1.7822E+02	1.7828E+02	1.7836E+02	1.7843E+02	1.7850E+02	1.7851E+02	1.7851E+02
2	1.7818E+02	1.7843E+02	1.7898E+02	1.7911E+02	1.7890E+02	1.7871E+02	1.7862E+02	1.7853E+02	1.7851E+02
3	1.7818E+02	1.7869E+02	1.7975E+02	1.7995E+02	1.7944E+02	1.7899E+02	1.7874E+02	1.7855E+02	1.7851E+02

*DUCT AREA (MM**2)

BATCH NO.

1	2.7493E+04	2.7493E+04	2.7506E+04	2.7525E+04	2.7549E+04	2.7573E+04	2.7594E+04	2.7596E+04	2.7596E+04
2	2.7493E+04	2.7573E+04	2.7743E+04	2.7783E+04	2.7716E+04	2.7659E+04	2.7631E+04	2.7603E+04	2.7596E+04
3	2.7493E+04	2.7653E+04	2.7983E+04	2.8044E+04	2.7885E+04	2.7746E+04	2.7667E+04	2.7610E+04	2.7596E+04

*DUCT WETTED PARIMETER (MM)

BATCH NO.

1	6.1722E+02	6.1722E+02	6.1736E+02	6.1757E+02	6.1784E+02	6.1811E+02	6.1835E+02	6.1837E+02	6.1837E+02
2	6.1722E+02	6.1791E+02	6.1943E+02	6.1965E+02	6.1888E+02	6.1843E+02	6.1842E+02	6.1840E+02	6.1837E+02
3	6.1722E+02	6.1861E+02	6.2150E+02	6.2175E+02	6.1993E+02	6.1876E+02	6.1849E+02	6.1842E+02	6.1837E+02

*DUCT VMAX (MM)

BATCH NO.

1 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
2 0.0000E+00 5.3899E-02 1.6069E-01 2.1990E-01 2.2814E-01 1.7645E-01 9.1778E-02 1.5442E-02 0.0000E+00
3 0.0000E+00 1.0836E-01 3.2633E-01 4.4661E-01 4.5977E-01 3.5373E-01 1.8365E-01 3.0888E-02 0.0000E+00

*DUCT VAVE (MM)

BATCH NO.

1 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
2 0.0000E+00 2.8746E-02 8.5700E-02 1.1728E-01 1.2167E-01 9.4108E-02 4.8948E-02 8.2355E-03 0.0000E+00
3 0.0000E+00 5.7791E-02 1.7404E-01 2.3819E-01 2.4521E-01 1.8865E-01 9.7948E-02 1.6474E-02 0.0000E+00

*FLOW AREA (MM**2)

BATCH NO.

1 9.6147E+03 9.6147E+03 9.6104E+03 9.6079E+03 9.6074E+03 9.6077E+03 9.6094E+03 9.6145E+03 9.6152E+03
2 9.5732E+03 9.6519E+03 9.7422E+03 9.7459E+03 9.6704E+03 9.6302E+03 9.6460E+03 9.6216E+03 9.6152E+03
3 9.5281E+03 9.6858E+03 9.8223E+03 9.7257E+03 9.4660E+03 9.4818E+03 9.6827E+03 9.6286E+03 9.6152E+03

*EQUIVALENT DIAMETER (MM)

BATCH NO.

1 4.0076E+00 4.0076E+00 4.0040E+00 4.0007E+00 3.9977E+00 3.9953E+00 3.9939E+00 3.9962E+00 3.9966E+00
2 3.9864E+00 4.0183E+00 4.0468E+00 4.0452E+00 4.0137E+00 3.9986E+00 4.0090E+00 3.9991E+00 3.9966E+00
3 3.9635E+00 4.0273E+00 4.0630E+00 4.0093E+00 3.8953E+00 3.9159E+00 4.0242E+00 4.0020E+00 3.9966E+00

*BDI-CHANGE (MM)

BATCH NO.

1 -1.7110E+00 -1.7110E+00 -1.6710E+00 -1.6282E+00 -1.5848E+00 -1.5456E+00 -1.5174E+00 -1.5358E+00 -
1.5388E+00
2 -1.5319E+00 -1.7604E+00 -1.9153E+00 -1.9015E+00 -1.6686E+00 -1.5496E+00 -1.6356E+00 -1.5585E+00 -
1.5388E+00
3 -1.3378E+00 -1.7954E+00 -1.9334E+00 -1.4939E+00 -6.1101E-01 -8.2287E-01 -1.7539E+00 -1.5811E+00 -1.5388E+00

*WIRE THERMAL EXPANSION (%)

BATCH NO.

1 4.3715E-01 4.3715E-01 4.7261E-01 5.2657E-01 5.9410E-01 6.6263E-01 7.2179E-01 7.2613E-01 7.2613E-01
2 4.3715E-01 4.3715E-01 4.7261E-01 5.2657E-01 5.9410E-01 6.6263E-01 7.2179E-01 7.2613E-01 7.2613E-01
3 4.3715E-01 4.3715E-01 4.7261E-01 5.2657E-01 5.9410E-01 6.6263E-01 7.2179E-01 7.2613E-01 7.2613E-01

*WIRE SWELLING (%)

BATCH NO.

1 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
2 0.0000E+00 1.1276E-01 3.0916E-01 1.9818E-01 4.0778E-02 4.3209E-03 4.2421E-04 1.2836E-04 0.0000E+00
3 0.0000E+00 2.2551E-01 6.1832E-01 3.9635E-01 8.1555E-02 8.6417E-03 8.4842E-04 2.5671E-04 0.0000E+00

*DUCT THERMAL EXPANSION (%)

BATCH NO.

1 4.3715E-01 4.3715E-01 4.6028E-01 4.9464E-01 5.3914E-01 5.8276E-01 6.2112E-01 6.2540E-01 6.2540E-01
2 4.3715E-01 4.3715E-01 4.6028E-01 4.9464E-01 5.3914E-01 5.8276E-01 6.2112E-01 6.2540E-01 6.2540E-01
3 4.3715E-01 4.3715E-01 4.6028E-01 4.9464E-01 5.3914E-01 5.8276E-01 6.2112E-01 6.2540E-01 6.2540E-01

*DUCT SWELLING (%)

BATCH NO.

1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
2	0.0000E+00	1.1276E-01	3.3397E-01	3.3598E-01	1.6605E-01	5.0511E-02	1.1447E-02	3.4993E-03	0.0000E+00	
3	0.0000E+00	2.2551E-01	6.6794E-01	6.7196E-01	3.3210E-01	1.0102E-01	2.2894E-02	6.9986E-03	0.0000E+00	

*DUCT CREEP (%)

BATCH NO.

1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
2	0.0600E+00	3.3938E-02	1.0073E-01	1.3784E-01	1.4349E-01	1.1123E-01	5.7898E-02	9.7428E-03	0.0000E+00	
3	0.0000E+00	6.8074E-02	2.0321E-01	2.7808E-01	2.8821E-01	2.2275E-01	1.1583E-01	1.9487E-02	0.0000E+00	

*DUCT STRESS (KG/MM**2)

BATCH NO.

1	5.7748E+00	3.9568E+00	3.3797E+00	2.8668E+00	2.3539E+00	1.8407E+00	1.3273E+00	7.4933E-01	2.1409E-01
2	5.7748E+00	3.9657E+00	3.4023E+00	2.8861E+00	2.3617E+00	1.8426E+00	1.3277E+00	7.4938E-01	2.1409E-01
3	5.7748E+00	3.9746E+00	3.4250E+00	2.9054E+00	2.3695E+00	1.8445E+00	1.3280E+00	7.4943E-01	2.1409E-01

*DUCT POISSON-RATIO (-)

2.9360E-01	2.9360E-01	2.9496E-01	2.9696E-01	2.9952E-01	3.0200E-01	3.0416E-01	3.0440E-01	3.0440E-01
------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

*VELOCITY (M/S)

BATCH NO.

1	4.9986E+00	4.9986E+00	5.0373E+00	5.0945E+00	5.1655E+00	5.2381E+00	5.3011E+00	5.3031E+00	5.3027E+00
2	5.0219E+00	4.9809E+00	4.9707E+00	5.0239E+00	5.1334E+00	5.2275E+00	5.2826E+00	5.3008E+00	5.3043E+00
3	5.0054E+00	4.9239E+00	4.8909E+00	4.9942E+00	5.2024E+00	5.2670E+00	5.2207E+00	5.2547E+00	5.2620E+00

*CURRENT TEMPERATURE (C)

3.9500E+02	3.9500E+02	4.2100E+02	4.6000E+02	5.0800E+02	5.5600E+02	5.9700E+02	6.0000E+02	6.0000E+02
------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

*PRESSER LOSS COEFFICIENT-NORMAL

8.5381E+04	1.8296E+04	1.4617E+04	1.4605E+04	1.4592E+04	1.4549E+04	1.4535E+04	1.8169E+04	1.2112E+04
------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

*PRESSER LOSS COEFFICIENT-CHANGE

BATCH NO.

1	8.4457E+04	1.8098E+04	1.4521E+04	1.4570E+04	1.4614E+04	1.4620E+04	1.4638E+04	1.8249E+04	1.2161E+04
2	8.6539E+04	1.7902E+04	1.3869E+04	1.3853E+04	1.4328E+04	1.4553E+04	1.4396E+04	1.8202E+04	1.2170E+04
3	8.7857E+04	1.7544E+04	1.3481E+04	1.4210E+04	1.6082E+04	1.5742E+04	1.4003E+04	1.7949E+04	1.2039E+04

*RATIO OF PRESSER LOSS...(CH/CN0)

BATCH NO.

1	9.8918E-01	9.8918E-01	9.9344E-01	9.9760E-01	1.0015E+00	1.0049E+00	1.0071E+00	1.0044E+00	1.0040E+00
2	1.0136E+00	9.7846E-01	9.4882E-01	9.4852E-01	9.8189E-01	1.0002E+00	9.9044E-01	1.0019E+00	1.0047E+00
3	1.0290E+00	9.5892E-01	9.2229E-01	9.7292E-01	1.1021E+00	1.0820E+00	9.6335E-01	9.8788E-01	9.9396E-01

AREA 4

***CLAD DIAMETER (MM)**

BATCH NO.

1	9.0403E+00	9.0403E+00	9.0446E+00	9.0500E+00	9.0562E+00	9.0623E+00	9.0671E+00	9.0665E+00	9.0663E+00
2	9.0506E+00	9.0506E+00	9.0690E+00	9.0771E+00	9.0834E+00	9.0755E+00	9.0671E+00	9.0665E+00	9.0663E+00
3	9.0615E+00	9.0615E+00	9.1031E+00	9.1352E+00	9.1660E+00	9.1294E+00	9.0671E+00	9.0665E+00	9.0663E+00

***CLAD Z-LENGTH (MM)**

BATCH NO.

1	1.4063E+03	3.0135E+02	2.4119E+02	2.4134E+02	2.4150E+02	2.4166E+02	2.4179E+02	3.0222E+02	2.0147E+02
2	1.4079E+03	3.0168E+02	2.4183E+02	2.4168E+02	2.4162E+02	2.4173E+02	2.4188E+02	3.0234E+02	2.0154E+02
3	1.4096E+03	3.0206E+02	2.4248E+02	2.4210E+02	2.4183E+02	2.4190E+02	2.4198E+02	3.0237E+02	2.0155E+02

***CLAD AREA (MM**2)**

BATCH NO.

1	6.4189E+01	6.4189E+01	6.4250E+01	6.4327E+01	6.4415E+01	6.4501E+01	6.4570E+01	6.4561E+01	6.4558E+01
2	6.4334E+01	6.4334E+01	6.4597E+01	6.4712E+01	6.4802E+01	6.4689E+01	6.4570E+01	6.4561E+01	6.4558E+01
3	6.4489E+01	6.4489E+01	6.5084E+01	6.5543E+01	6.5986E+01	6.5460E+01	6.4570E+01	6.4561E+01	6.4558E+01

***CLAD WETTED PERIMETER (MM)**

BATCH NO.

1	2.8401E+01	2.8401E+01	2.8415E+01	2.8432E+01	2.8451E+01	2.8470E+01	2.8485E+01	2.8483E+01	2.8483E+01
2	2.8433E+01	2.8433E+01	2.8491E+01	2.8517E+01	2.8536E+01	2.8512E+01	2.8485E+01	2.8483E+01	2.8483E+01
3	2.8467E+01	2.8467E+01	2.8598E+01	2.8699E+01	2.8796E+01	2.8681E+01	2.8485E+01	2.8483E+01	2.8483E+01

***WIRE DIAMETER (MM)**

BATCH NO.

1	1.5066E+00	1.5066E+00	1.5071E+00	1.5079E+00	1.5089E+00	1.5099E+00	1.5108E+00	1.5109E+00	1.5109E+00
2	1.5066E+00	1.5082E+00	1.5115E+00	1.5107E+00	1.5095E+00	1.5100E+00	1.5108E+00	1.5109E+00	1.5109E+00
3	1.5066E+00	1.5097E+00	1.5158E+00	1.5135E+00	1.5101E+00	1.5101E+00	1.5108E+00	1.5109E+00	1.5109E+00

***WIRE AREA (MM**2)**

BATCH NO.

1	1.7826E+00	1.7826E+00	1.7839E+00	1.7858E+00	1.7882E+00	1.7906E+00	1.7927E+00	1.7929E+00	1.7929E+00
2	1.7826E+00	1.7864E+00	1.7943E+00	1.7925E+00	1.7896E+00	1.7908E+00	1.7928E+00	1.7929E+00	1.7929E+00
3	1.7826E+00	1.7902E+00	1.8047E+00	1.7991E+00	1.7909E+00	1.7909E+00	1.7928E+00	1.7929E+00	1.7929E+00

***WIRE WETTED PERIMETER (MM)**

BATCH NO.

1	4.7330E+00	4.7330E+00	4.7347E+00	4.7372E+00	4.7404E+00	4.7436E+00	4.7464E+00	4.7466E+00	4.7466E+00
2	4.7330E+00	4.7330E+00	4.7484E+00	4.7460E+00	4.7422E+00	4.7438E+00	4.7464E+00	4.7466E+00	4.7466E+00
3	4.7330E+00	4.7430E+00	4.7622E+00	4.7548E+00	4.7440E+00	4.7440E+00	4.7464E+00	4.7466E+00	4.7466E+00

***DUCT WIDTH (MM)**

BATCH NO.

1	1.7818E+02	1.7818E+02	1.7822E+02	1.7828E+02	1.7836E+02	1.7843E+02	1.7850E+02	1.7851E+02	1.7851E+02
2	1.7818E+02	1.7841E+02	1.7891E+02	1.7903E+02	1.7883E+02	1.7867E+02	1.7860E+02	1.7853E+02	1.7851E+02
3	1.7818E+02	1.7865E+02	1.7961E+02	1.7978E+02	1.7930E+02	1.7890E+02	1.7870E+02	1.7855E+02	1.7851E+02

*DUCT AREA (MM**2)

BATCH NO.

1 2.7493E+04 2.7493E+04 2.7506E+04 2.7525E+04 2.7549E+04 2.7573E+04 2.7594E+04 2.7596E+04 2.7596E+04
 2 2.7493E+04 2.7566E+04 2.7721E+04 2.7757E+04 2.7695E+04 2.7646E+04 2.7624E+04 2.7602E+04 2.7596E+04
 3 2.7493E+04 2.7638E+04 2.7938E+04 2.7991E+04 2.7843E+04 2.7719E+04 2.7654E+04 2.7608E+04 2.7596E+04

*DUCT WETTED PARIMETER (MM)

BATCH NO.

1 6.1722E+02 6.1722E+02 6.1736E+02 6.1757E+02 6.1784E+02 6.1811E+02 6.1835E+02 6.1837E+02 6.1837E+02
 2 6.1722E+02 6.1787E+02 6.1930E+02 6.1952E+02 6.1881E+02 6.1841E+02 6.1842E+02 6.1840E+02 6.1837E+02
 3 6.1722E+02 6.1853E+02 6.2124E+02 6.2149E+02 6.1979E+02 6.1871E+02 6.1848E+02 6.1842E+02 6.1837E+02

*DUCT VMAX (MM)

BATCH NO.

1 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
 2 0.0000E+00 4.3014E-02 1.2816E-01 1.7538E-01 1.8204E-01 1.4084E-01 7.3263E-02 1.2327E-02 0.0000E+00
 3 0.0000E+00 8.6447E-02 2.6002E-01 3.5586E-01 3.6669E-01 2.8230E-01 1.4660E-01 2.4657E-02 0.0000E+00

*DUCT VAVE (MM)

BATCH NO.

1 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
 2 0.0000E+00 2.2941E-02 6.8350E-02 9.3535E-02 9.7088E-02 7.5116E-02 3.9074E-02 6.5743E-03 0.0000E+00
 3 0.0000E+00 4.6105E-02 1.3868E-01 1.8979E-01 1.9557E-01 1.5056E-01 7.8186E-02 1.3151E-02 0.0000E+00

*FLOW AREA (MM**2)

BATCH NO.

1 9.6151E+03 9.6151E+03 9.6108E+03 9.6083E+03 9.6081E+03 9.6081E+03 9.6098E+03 9.6145E+03 9.6152E+03
 2 9.5756E+03 9.6470E+03 9.7291E+03 9.7339E+03 9.6489E+03 9.6296E+03 9.6399E+03 9.6204E+03 9.6152E+03
 3 9.5336E+03 9.6766E+03 9.8115E+03 9.7417E+03 9.4749E+03 9.4936E+03 9.6700E+03 9.6263E+03 9.6152E+03

*EQUIVALENT DIAMETER (MM)

BATCH NO.

1 4.0077E+00 4.0077E+00 4.0042E+00 4.0008E+00 3.9981E+00 3.9955E+00 3.9940E+00 3.9962E+00 3.9966E+00
 2 3.9876E+00 4.0165E+00 4.0423E+00 4.0416E+00 4.0048E+00 3.9996E+00 4.0065E+00 3.9986E+00 3.9966E+00
 3 3.9663E+00 4.0242E+00 4.0619E+00 4.0224E+00 3.9035E+00 3.9243E+00 4.0190E+00 4.0011E+00 3.9966E+00

*BDI-CHANGE (MM)

BATCH NO.

1 -1.7125E+00 -1.7125E+00 -1.6725E+00 -1.6297E+00 -1.5878E+00 -1.5471E+00 -1.5189E+00 -1.5358E+00 -
 1.5388E+00
 2 -1.5423E+00 -1.7488E+00 -1.8866E+00 -1.8805E+00 -1.5990E+00 -1.5614E+00 -1.6161E+00 -1.5548E+00 -
 1.5388E+00
 3 -1.3617E+00 -1.7751E+00 -1.9434E+00 -1.6231E+00 -6.9340E-01 -9.0155E-01 -1.7134E+00 -1.5737E+00 -1.5388E+00

*WIRE THERMAL EXPANSION (%)

BATCH NO.

1 4.3715E-01 4.3715E-01 4.7261E-01 5.2657E-01 5.9410E-01 6.6263E-01 7.2179E-01 7.2613E-01 7.2613E-01
 2 4.3715E-01 4.3715E-01 4.7261E-01 5.2657E-01 5.9410E-01 6.6263E-01 7.2179E-01 7.2613E-01 7.2613E-01

3 4.3715E-01 4.3715E-01 4.7261E-01 5.2857E-01 5.9410E-01 6.6263E-01 7.2179E-01 7.2613E-01 7.2613E-01

***WIRE SWELLING (%)**

BATCH NO.

1 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
 2 0.0000E+00 1.0588E-01 2.9031E-01 1.8609E-01 3.8291E-02 4.0574E-03 3.9834E-04 1.2053E-04 0.0000E+00
 3 0.0000E+00 2.1176E-01 5.8062E-01 3.7219E-01 7.6582E-02 8.1148E-03 7.9669E-04 2.4106E-04 0.0000E+00

***DUCT THERMAL EXPANSION (%)**

BATCH NO.

1 4.3715E-01 4.3715E-01 4.6028E-01 4.9464E-01 5.3914E-01 5.8276E-01 6.2112E-01 6.2540E-01 6.2540E-01
 2 4.3715E-01 4.3715E-01 4.6028E-01 4.9464E-01 5.3914E-01 5.8276E-01 6.2112E-01 6.2540E-01 6.2540E-01
 3 4.3715E-01 4.3715E-01 4.6028E-01 4.9464E-01 5.3914E-01 5.8276E-01 6.2112E-01 6.2540E-01 6.2540E-01

***DUCT SWELLING (%)**

BATCH NO.

1 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
 2 0.0000E+00 1.0588E-01 3.1361E-01 3.1549E-01 1.5593E-01 4.7431E-02 1.0749E-02 3.2859E-03 0.0000E+00
 3 0.0000E+00 2.1176E-01 6.2721E-01 6.3099E-01 3.1185E-01 9.4862E-02 2.1498E-02 6.5718E-03 0.0000E+00

***DUCT CREEP (%)**

BATCH NO.

1 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
 2 0.0000E+00 2.7088E-02 8.0371E-02 1.0998E-01 1.1451E-01 8.8788E-02 4.6219E-02 7.7776E-03 0.0000E+00
 3 0.0000E+00 5.4324E-02 1.6205E-01 2.2176E-01 2.2996E-01 1.7780E-01 9.2463E-02 1.5556E-02 0.0000E+00

***DUCT STRESS (KG/MM**2)**

BATCH NO.

1 5.0967E+00 3.4922E+00 2.9829E+00 2.5302E+00 2.0775E+00 1.6246E+00 1.1715E+00 6.6135E-01 1.8896E-01
 2 5.0967E+00 3.4996E+00 3.0016E+00 2.5462E+00 2.0840E+00 1.6262E+00 1.1718E+00 6.6139E-01 1.8896E-01
 3 5.0967E+00 3.5070E+00 3.0204E+00 2.5622E+00 2.0905E+00 1.6277E+00 1.1720E+00 6.6144E-01 1.8896E-01

***DUCT POISSON-RATIO (-)**

2.9360E-01 2.9360E-01 2.9496E-01 2.9696E-01 2.9952E-01 3.0200E-01 3.0416E-01 3.0440E-01 3.0440E-01

***VELOCITY (M/S)**

BATCH NO.

1 4.6921E+00 4.6921E+00 4.7285E+00 4.7821E+00 4.8486E+00 4.9169E+00 4.9761E+00 4.9781E+00 4.9777E+00
 2 4.7112E+00 4.6763E+00 4.6707E+00 4.7201E+00 4.8278E+00 4.9056E+00 4.9603E+00 4.9747E+00 4.9774E+00
 3 4.7067E+00 4.6371E+00 4.6067E+00 4.6912E+00 4.8902E+00 4.9493E+00 4.9184E+00 4.9452E+00 4.9509E+00

***CURRENT TEMPERATURE (C)**

3.9500E+02 3.9500E+02 4.2100E+02 4.6000E+02 5.0800E+02 5.5600E+02 5.9700E+02 6.0000E+02 6.0000E+02

***PRESSER LOSS COEFFICIENT-NORMAL**

7.6280E+04 1.6346E+04 1.3059E+04 1.3049E+04 1.3037E+04 1.2999E+04 1.2986E+04 1.6232E+04 1.0821E+04

***PRESSER LOSS COEFFICIENT-CHANGE**

BATCH NO.

1	7.5371E+04	1.6151E+04	1.2959E+04	1.3002E+04	1.3038E+04	1.3046E+04	1.3062E+04	1.6287E+04	1.0854E+04
2	7.7088E+04	1.6002E+04	1.2437E+04	1.2413E+04	1.2911E+04	1.2971E+04	1.2881E+04	1.6247E+04	1.0856E+04
3	7.8442E+04	1.5772E+04	1.2097E+04	1.2561E+04	1.4282E+04	1.3975E+04	1.2619E+04	1.6096E+04	1.0785E+04

*RATIO OF PRESSER LOSS...(CH/CNO)

BATCH NO.

1	9.8808E-01	9.8808E-01	9.9231E-01	9.9644E-01	1.0001E+00	1.0037E+00	1.0058E+00	1.0034E+00	1.0030E+00
2	1.0106E+00	9.7895E-01	9.5235E-01	9.5130E-01	9.9036E-01	9.9790E-01	9.9190E-01	1.0009E+00	1.0032E+00
3	1.0283E+00	9.6492E-01	9.2634E-01	9.6266E-01	1.0955E+00	1.0751E+00	9.7178E-01	9.9162E-01	9.9663E-01

*****...END OF PROBLEM...*****

G. エラー診断出力一覧

ルーチン名	エラーレベル	エラーメッセージ	内容
READCD	ERROR	INVALID OUTPUT ID NUMBER	出力オプションの選択が間違っている。
↓	↓	BUT MODIFY PARAMETER	補正係数が0以下または1以上の値が入力されている。
↓	↓	BUT ITERATION NUMBER	反復回数に0以下の値が入力されている。
↓	↓	OVER MESH NUMBER ...<9>	最大メッシュ数を越えた値が入力されている。
↓	↓	OVER AREA NUMBER ...<9>	最大領域数を越えた値が入力されている。
↓	↓	INVALID WIRE MATERIAL ID NUMBER	物性値選択オプションが間違っている。
↓	↓	INVALID DUCT MATERIAL ID NUMBER	物性値選択オプションが間違っている。
↓	↓	OVER BATCH NUMBER ...<4>	最大バッチ数を越えた値が入力されている。
READCD	↓	INVALID TIME ID NUMBER	サイクル初期・末期を選択するオプションが間違っている。
RDEXCL	↓	CHECH DEJIT "AREA" MISSING	膨張率を入力するところで、"AREA"文字が無い。
↓	↓	AREA NUMBER MISS MATCH	膨張率を入力するところで、領域番号に間違いがある。
READCD	↓	END-OF-DATA CARD NOT FOUND	データ終了記"END"がない。
INIT	↓	CLAD NUMBER UNMACH	燃料集合体本数から層数を求めることができない。
FLUX	↓	INNER ITERATION NUMBER MAXIMUM	連立方程式内での反復回数が最大回数を越えた。
FLUX	ERROR	INNER ITERATION DID NOT CONVERGE	連立方程式の計算中に計算が発散した。
STEADY	WARNING	STEADY ITERATION DID NOT CONVERGE	反復回数が最大回数を、越えた。

H. 変数一覧

(1) コモン変数一覧

コモン名	変数名	内容	定義ルーチン	主な使用ルーチン	備考
UNIT	INDAT	入力データファイルのユニット番号	BLKDAT	RDDAT	
	IN	入力データ作業用ファイルの番号	↓	RDDAT	
	IOUT	出力ファイルのユニット番号	BLKDAT	WARRY2 WARRY3	
ISETO	NAREA	領域数	READCD	*	入力
	NBAT	計画寿命(バッチ数)	↓	*	↓
	MESH	軸方向メッシュ分割数	↓	*	↓
	NCLAD	集合体内の燃料棒本数	↓	*	↓
	MPIN	ピンバンドルの層数	↓	INIT, PREPAR	↓
	NCYL	サイクル長さ	↓	INIT	↓
	ITIM	サイクルの状態	↓	INIT	↓
	NDCT (IMAX)	各領域内の集合体本数	READCD	INIT FLUX	入力
CONST	PAI	円周率(3.141592)	BLKDAT	*	
	RT3	$\sqrt{3}$ (1.7320508)	BLKDAT	*	
IFORM0	DCLD0	照射変形前の燃料棒外直径	READCD	INIT, PREPAR	入力
	DWIR0	照射変形前のワイヤ直径	↓	↓	↓
	ETUB0	照射変形前のラッパ管内対面幅	↓	↓	↓
	HTUB0	照射変形前のラッパ管肉厚	↓	INIT, PREPAR	↓
	DXZ0 (KMAX)	照射変形前の各メッシュの軸方向長さ	READCD	INIT, DCTFRM PREPAR	入力
OFORM0	ACLD0	照射変形前の燃料棒面積	INIT	INIT	
	SCLD0	照射変形前の燃料棒濡れ縁長さ	↓	↓	
	AWIR0	照射変形前のワイヤ面積	↓	↓	
	SWIR0	照射変形前のワイヤ濡れ縁長さ	↓	↓	
	ATUB0	照射変形前のラッパ管面積	↓	↓	
	STUB0	照射変形前のラッパ管濡れ縁長さ	↓	↓	
	XLTUB0	照射変形前ラッパ管内面六角形の1辺	↓	↓	
	FADCT0	照射変形前の燃料集合体の流路面積	↓	↓	
	HDDCT0	照射変形前の燃料集合体の等価直径	↓	INIT	
	DXZTOT	照射変形前の燃料要素部の全長	↓	DCTFRM, RESIST	
	SDIO	照射変形前のBDI量	INIT	RESIST	
FLOW0	WTUB0 (IMAX)	照射変形前の各領域の集合体流量	READCD	INIT PREPAR	入力
	WTOT	全流量	INIT	FLUX	

コモン名	変数名	内容	定義ルーチン	主な使用ルーチン	備考
PROP0	ROW0 (KMAX)	冷却材密度	NPROP	INIT PREPAR FLUX	
	VISCO (KMAX)	冷却材粘性係数	↓	INIT PREPAR FLUX	
	CPO (KMAX)	冷却材比熱	NPROP		
	VELO (,)*	照射変形前の冷却材流速 *(IMAX, KMAX)	INIT	INIT	
	REO (,)*	照射変形前の冷却材レイノルズ数 *(IMAX, KMAX)	↓	INIT	
	CNO (,)*	照射変形前の流動抵抗 *(IMAX, KMAX)	INIT	RESIST	
OPTN	IOUTPT	出力変数の選択オプション	READCD	OUTPUT, OUT1	入力
	EPS1	内側収束計算の収束判定値	↓	BRENT	↓
	EPS2	外側収束計算の収束判定値	↓	FLUX	↓
	ITMAX	内側収束計算の最大反復回数	↓	DCTWET, BRENT	↓
	ISTMAX	外側収束計算の最大反復回数	↓	STEADY	↓
	MATWIR	ワイヤ材質のID番号	↓	EXPNS	↓
	MATTUB	ラッパ管材質のID番号	↓	EXPNS	↓
HEAT	FNTR (IMAX)	軸方向高速中性子束	↓	INIT	↓
	ZPRFF (KMAX)	高速中性子束軸方向分布係数	READCD	INIT	入力
HEAT0	FAI (,)*	高速中性子束軸方向分布 *(IMAX, KMAX)	INIT	EXPNS CREEP	
	TIMET (JMAX)	高速中性子束照射時間	EXPNS	EXPNS CREEP	
TEMP	TMPCLD (KMAX)	燃料棒表面温度	READCD	INIT EXPNS	入力
	TMPTUB (KMAX)	ラッパ管表面温度	READCD	EXPNS CREEP	入力
	TMPNA (KMAX)	冷却材温度	INIT	NPROP	
PRES	DPTOT	照射変形前の全圧力損失	READCD	PREPAR, FLUX	入力
	DPARO (IMAX)	照射変形前のバンドル部圧力損失	↓	PREPAR FLUX	↓
	DPTOP	ピン上端ラッパ管内外面冷却材圧力差	READCD	DCTFRM	入力