

# 「もんじゅ」高燃焼度炉心用制御棒の検討

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

2002年3月

新型炉技術開発株式会社

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 49

核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquires about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184,  
Japan

© 核燃料サイクル開発機構  
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)  
2002

「もんじゅ」高燃焼度炉心用制御棒の検討<sup>†</sup>

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

神島 吉郎<sup>\*2</sup>, 碇本 岩男<sup>\*3</sup>, 田中 昌子<sup>\*3</sup>

## 要 旨

「もんじゅ」制御棒は長寿命化のための研究開発を実施中であるが、長寿命制御棒を導入するまでの移行過程において、現状の制御棒の改良により、低燃焼度炉心（123日／サイクル）1サイクルから高燃焼度炉心（148日／サイクル）1サイクルの使用が必要となる可能性がある。

高燃焼度炉心1サイクルの試用期間とするために、B<sub>4</sub>Cペレットのリロケーションを抑制するシュラウド管を設置する方策が考えられるが、ヘリウムボンド（密封）型の制御要素であることから、シュラウド管の温度が高くなることが懸念されている。このため、被覆管とB<sub>4</sub>Cペレットの機械的相互作用（Absorber Clad Mechanical Interaction : ACMI）を防止する観点から必要ギャップを検討し、シュラウド管仕様を定めると共に、シュラウド管温度評価を実施し、成立性を判定した。

その成果は以下の通りである。

- (1) 高燃焼度炉心1サイクル（148日）の条件でB<sub>4</sub>Cペレットのスエリング、熱膨張量と被覆管のスエリング、熱膨張量を評価し、ペレットと被覆管との間に設置できるシュラウド管肉厚を求めた。
- (2) 実機のシュラウド管仕様を設定した。
- (3) 制御要素を対象とした温度分布解析を実施した結果、シュラウド管の熱膨張を考慮すると、シュラウド管温度は成立性の目安である700°C以下の660°C以下であることから、成立性のあることを確認した。

<sup>†</sup> 本報告書は、新型炉技術開発株式会社が核燃料サイクル開発機構との契約により実施した研究の成果である。

契約番号：1302A03939

サイクル機構担当部課室 敦賀本部 国際技術センター 炉心技術開発グループ

<sup>\*2</sup> 新型炉技術開発株式会社 技術部

<sup>\*3</sup> 三菱重工業株式会社 神戸造船所 原子力機器設計部

March, 2002

Study on the Control Rod for High Burnup Core of "Monju"<sup>\*1</sup>Yoshiro Kamishima<sup>\*2</sup> Iwao Ikariyama<sup>\*3</sup> Masako Tanaka<sup>\*3</sup>

## Abstract

Although the "Monju" control rod is carrying out the research and development for the long-life control rod, before a long-life control rod is loaded in the reactor, it is necessary to load the present control rod in the reactor as 1 cycle in the high burnup core (148 days/cycle) from 1 cycle in the low burnup core (123 days/cycle) by improvement.

Although it is planning installing the shroud tube which prevents relocation of B<sub>4</sub>C pellets in order to secure the life of a 1 cycle in the high burnup core, since it is a helium bond (seal) type control element, we are anxious about the temperature of a shroud tube becoming high. For this reason, while researching the required gap from a viewpoint which prevents the mechanical interaction (Absorber Clad Mechanical Interaction : ACMI) of a clad and a B<sub>4</sub>C pellet, and deciding the size of shroud tubes, shroud tube temperature evaluation was carried out, and it was judged that the tube is realizable.

The result is as follows.

- (1) Swelling and thermal expansion of a B<sub>4</sub>C pellet and a clad are estimated under the conditions of a 1 cycle (148 days) high burn-up core, and the wall thickness of a shroud tube which can be installed between a pellet and a clad is set up.
- (2) The shroud tube specification for a practical control rod is established.
- (3) The highest temperature of a shroud tube became 660°C or less which is the permissible value less 700 °C, when heat expansion was taken into consideration, as a result of carrying out temperature distribution analysis for control elements. It was checked that the shroud tube is realizable from the result.

---

<sup>\*1</sup> Work performed by Advanced Reactor Technology Co., Ltd. under the contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

Contract Number : 1302A03939

JNC Liaison : JNC Tsuruga Head Office, International Cooperation and Technology Development Center, Core development Group

<sup>\*2</sup> Advanced Reactor Technology Co., Ltd., Engineering Department

<sup>\*3</sup> Kobe Shipyard & Machinery Works, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., Nuclear Plant Component Designing Department

## 目 次

要旨	i
1. 概要	1
2. 必要ギャップの検討	2
2.1 現制御要素仕様	2
2.2 必要ギャップの検討	2
3. 高燃焼度炉心用制御要素の基本寸法の設定	7
4. シュラウド管温度評価	9
4.1 解析条件	9
4.2 解析結果	10
5. まとめ	28
6. 参考文献	29
付録-1 物性値	付 1-(1)
付録-2 設計データ	付 2-(1)

## 図リスト

	頁
図 2-1 制御要素組立図	6
図 3-1 制御要素組立図	8
図 4-1 解析モデル	12
図 4-2 ペレットの軸方向温度分布（ケース 1）	13
図 4-3 被覆管の軸方向温度分布（ケース 1）	14
図 4-4 温度コンタ図（ケース 1）	15
図 4-5 温度コンタ図詳細（ケース 1）	16
図 4-6 ペレットの軸方向温度分布（ケース 2）	17
図 4-7 シュラウド管の軸方向温度分布（ケース 2）	18
図 4-8 被覆管の軸方向温度分布（ケース 2）	19
図 4-9 温度コンタ図（ケース 2）	20
図 4-10 温度コンタ図詳細（ケース 2）	21
図 4-11 ペレットの軸方向温度分布（ケース 3）	22
図 4-12 シュラウド管の軸方向温度分布（ケース 3）	23
図 4-13 被覆管の軸方向温度分布（ケース 3）	24
図 4-14 温度コンタ図（ケース 3）	25
図 4-15 温度コンタ図詳細（ケース 3）	26
図 4-16 シュラウド管最高温度とシュラウド管外径との関係	27

## 1. 概 要

「もんじゅ」の制御棒は、高燃焼度炉心を対象として2サイクルの寿命で設計されているが、設計当時は十分な照射データが得られていないこともあって、使用初期（低燃焼度炉心）は1サイクルで交換する運用を図ることとしていた。<sup>(1)</sup>

現状では、「常陽」の照射データにより、B<sub>4</sub>Cペレットのリロケーションに起因するペレットと被覆管との機械的相互作用（Absorber Clad Mechanical Interaction : ACMI発生が寿命因子となることが判明しており、「常陽」での評価に基づき、「もんじゅ」制御棒を評価すると、低燃焼度炉心1サイクルの期間である123日の使用は問題ない結果となっている。

制御棒寿命を大幅に延ばすため、制御要素をナトリウムボンドベント型にする開発が別途実施されているが<sup>(2), (3), (4), (5)</sup>、この長寿命制御棒を本格導入するまでの移行過程として、少なくとも高燃焼度炉心1サイクルの期間である148日を使用期間とする制御棒が必要となる可能性がある。このため、現制御棒を新たな開発を要さない範囲の改良により、寿命改善を達成する方策を検討した。

改善方策としては、現制御棒の寿命制限因子であるB<sub>4</sub>Cペレットのリロケーションに起因するACMIを緩和するため、現制御棒に「常陽」で用いられている形状と同様のシュラウド管を導入する方策とし、B<sub>4</sub>Cペレットのスエリング等による被覆管とのギャップ縮小を考慮してシュラウド管肉厚を設定し、燃焼初期の熱的に厳しい条件でシュラウド管温度を評価し、改善方策の成立性を判定した。

## 2. 必要ギャップの検討

### 2.1 現制御要素仕様

図2-1に現制御棒の制御要素の構造図を示す。

被覆管内径が12.9mm, B<sub>4</sub>Cペレット径が12.2mmであり、その公称ギャップは片側で0.35mmである。

### 2.2 必要ギャップの検討

シュラウド管を導入するに際し、高燃焼度炉心1サイクルの期間である148日で、ACMIが生じないための必要ギャップを検討しておく必要がある。また、被覆管内径d<sub>i</sub>, B<sub>4</sub>Cペレット径d<sub>p</sub>を現状と同じにする条件であれば、公称ギャップを0.35mmから増加させることができないので、シュラウド管肉厚をt<sub>s</sub>とすると、以下の条件を満足しなければ、シュラウド管の温度に係らず、成立しないことになる。

$$(d_i - d_p) / 2 > t_s$$

被覆管内径は、炉内では熱膨張、スエリングにより公称値の12.2mmより大きくなるが、B<sub>4</sub>Cペレットも同様の理由で大きくなる。また、シュラウド管の肉厚は製作性及びシュラウド管の温度低減の観点から厚いことが望ましいが「常陽」での実績から、最小肉厚は0.1mmである。

必要ギャップの検討に用いた物性式等を付録-Aに、設計データを付録-Bに示した。

#### (1) B<sub>4</sub>Cペレットの増加量

B<sub>4</sub>Cペレット直径の製作公差は12.2<sup>0</sup><sub>-0.1</sub>mmであり、12.2mmが最大寸法となる。実際には、吸収体下端のペレットは寸法公差内で直径の小さいペレットを選んで設置しており、製作実績では12.12~12.15mmとなっているが、ここでは、最大寸法の12.2mmを用いて評価する。

##### a. スエリング

B<sub>4</sub>Cペレットのスエリングは付録-Aに示すように「常陽」と「フェニックス」の照射データに基づき、以下の評価式が与えられている。

$$\text{ノミナル式} : \Delta D/D = 0.0544 \cdot BU$$

$$\text{上限式} : \Delta D/D = 0.0544 \cdot BU + 1.90$$

$$\text{常陽 MK-III式} : \Delta D/D = 0.0530 \cdot BU + 1.19$$

$$\Delta D/D : \text{径方向スエリング (\%)}$$

BU : 燃焼度 ( $\times 10^{26}$  cap/m<sup>3</sup>)

「もんじゅ」の高燃焼度炉心1サイクル148日の燃焼度は、付録-Bの設計データから以下となる。

$$\begin{aligned} BU &= 1.129 \times 10^{16} \times 1.2 \times 3.006 \times 148 \times 24 \times 3600 / \frac{\pi}{4} \cdot 1.22^2 \times 80 \times 10^6 \\ &= 55.68 \times 10^{26} \text{cap/m}^3 \end{aligned}$$

従って、スエリングによる直徑増加量は以下となる。

評価式	ペレット径(mm)	$\Delta D/D$ (%)	増加量(mm)	増加後のペレット径(mm)
ノミナル	12.2	3.029	0.370	12.57
上限		4.296	0.601	12.80
常陽 MK-III		4.141	0.505	12.71

### b. 熱膨張

$B_4C$ ペレットの熱膨張率は、付録-Aに示されている通りである。吸収体下端ペレットの原子炉運転中(燃焼末期)平均温度は、解析により求めることになるが、ここでは、4.2で示した燃焼初期の解析結果(図4-11)から、発熱値が燃焼末期では初期の1/2となることで補正した値を丸めて安全側に750°Cに設定して、熱膨張量の評価を行う。尚、炉停止中のペレット温度は200°Cとする。

熱膨張率 $\alpha$ の計算結果は以下の通りである。

$$\alpha_{750}=0.363\%$$

$$\alpha_{200}=0.059\%$$

これより、148日後の $B_4C$ ペレット寸法は、スエリングによる増加量を考慮して以下となる。

評価式	ペレット径(mm)	スエリングによる 増加後寸法 (%)	運転時寸法(mm)	炉停止時寸法(mm)
ノミナル	12.2	12.57	12.62	12.58
上限		12.80	12.85	12.81
常陽 MK-III		12.71	12.76	12.72

### (2) 被覆管(内径)の増加量

被覆管内径の製作公差は $12.9^{+0.12}_0$ mmであり、12.9mmが最小寸法となる。 $B_4C$ ペレットと同様、製造実績での最小寸法は12.94mmとなっているが、ここでは、最小寸法の12.9mmを用いて評価する。

被覆管はSUS316相当材を用いており、B<sub>4</sub>Cペレットに比べて熱膨張が大きく、逆にスエリング量は小さい。

#### a. スエリング

被覆管（SUS316相当材）のスエリングは付録-Aに示す式で与えられており、安全側に下限式 ( $\tau_p = -71004.773$ ) を用いて評価する。

中性子照射量（0.1MeV以上）nvtは、付録-Bの設計データから以下となる。

$$\begin{aligned} nvt &= 3.68 \times 10^{15} \times 0.9 \times 148 \times 24 \times 3600 \times 10^4 \\ &= 4.24 \times 10^{26} \text{ n/m}^2 \end{aligned}$$

この照射量による被覆管（吸収体下端位置）のスエリング量は以下の通りである。

評価式	内径(mm)	$\Delta D/D$ (%)	増加量(mm)	増加後の内径(mm)
下限	12.9	0.348	0.04	12.94

#### b. 热膨張

被覆管の热膨張率は、付録-Aに示す通りであり、運転時の温度を安全側に397°C、燃料交換時の温度を200°Cとして評価する。

热膨張率は以下の通りである。

$$\alpha_{397^\circ\text{C}} = 17.66 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{200^\circ\text{C}} = 16.54 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$$

これより148日運転後の被覆管とペレットとの直径ギャップは以下の通り。

評価式	スエリングによる増 加後被覆管内径 (mm)	運転時被覆管 内径 (mm)	ペレット寸法 (mm)	直径ギャップ (mm)
運転時 (397°C)	12.94	13.03	12.62	0.41
			12.85	0.18
			12.76	0.27
燃交時 (200°C)		12.98	12.58	0.40
			12.81	0.17
			12.72	0.26

ペレット寸法は上段：ノミナル、中段：上限、下段：MK-III

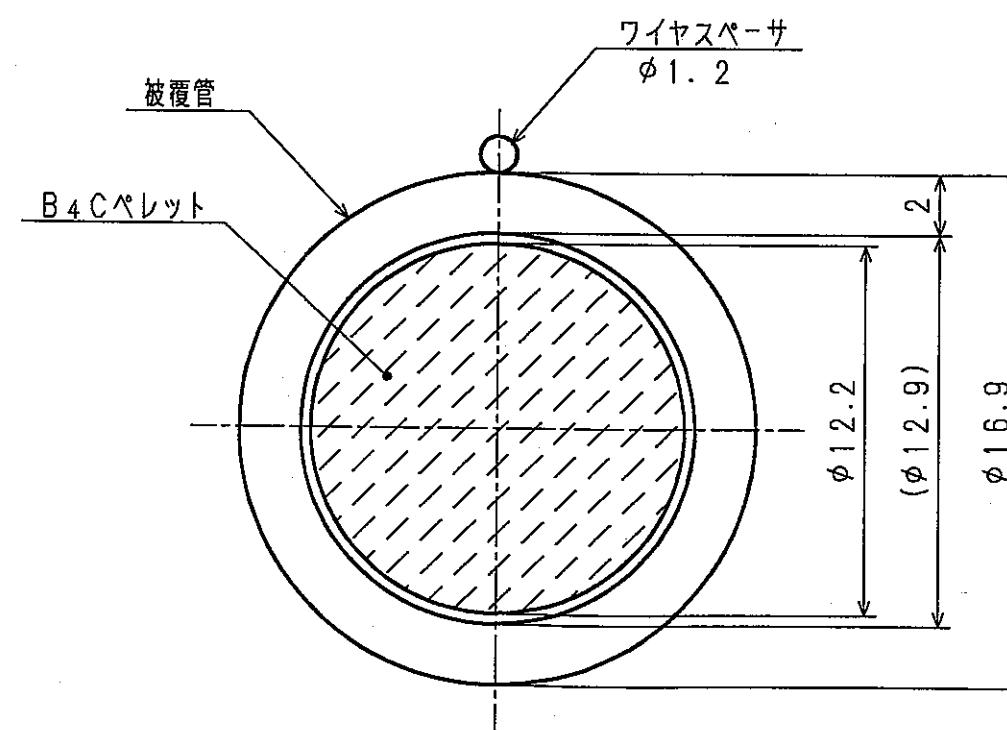
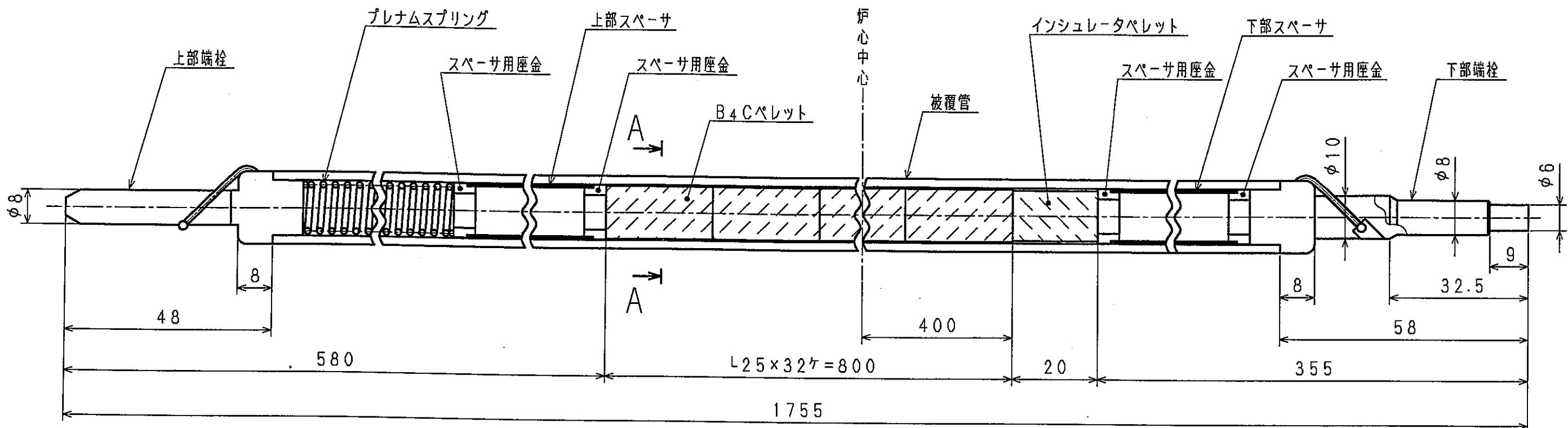
#### (3) シュラウド管の肉厚

シュラウド管の肉厚は、0.1mm以上で厚い方が製作上及びシュラウド管温度を低くするためにも望ましいが、B<sub>4</sub>Cペレットのスエリングを保守側の上限式を用いると、

運転中のギャップが 0.18mm となり、シュラウド管肉厚を 0.1mm にしても僅かではあるが ACMI を生じる結果となる。

付録-Aに示されている  $B_4C$  ペレットのスエリング式で、上限値はナトリウムボンド型を包絡したものであり、ヘリウムボンドの場合は、ノミナル式でも「常陽」のスエリングデータを包絡していることを考えると、もんじゅの高燃焼度用制御棒に適用する式としてはノミナル式で保守性は確保できている。

ノミナル式の場合には、ギャップが 0.4mm 確保できており、 $B_4C$  ペレット、被覆管の製作公差を考えれば更に余裕があるので、0.2mm 肉厚のシュラウド管を採用できる。



A - A

図2-1 制御要素組立図

3. 高燃焼度炉心用制御要素の基本寸法の設定

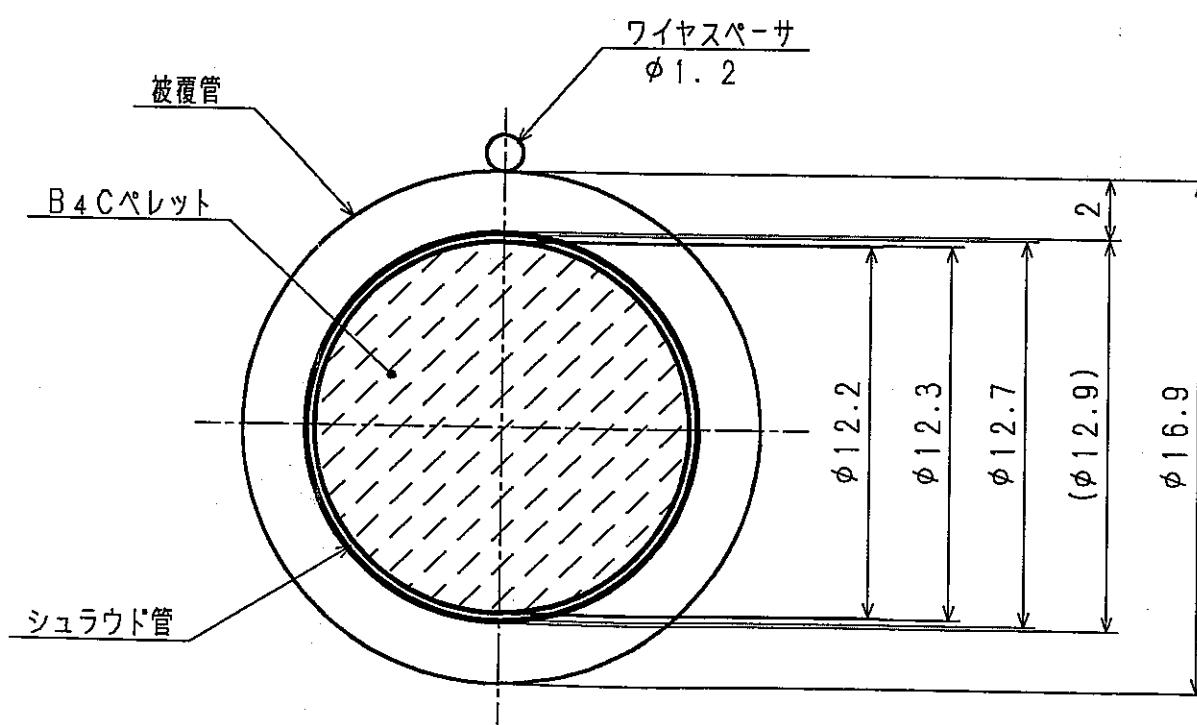
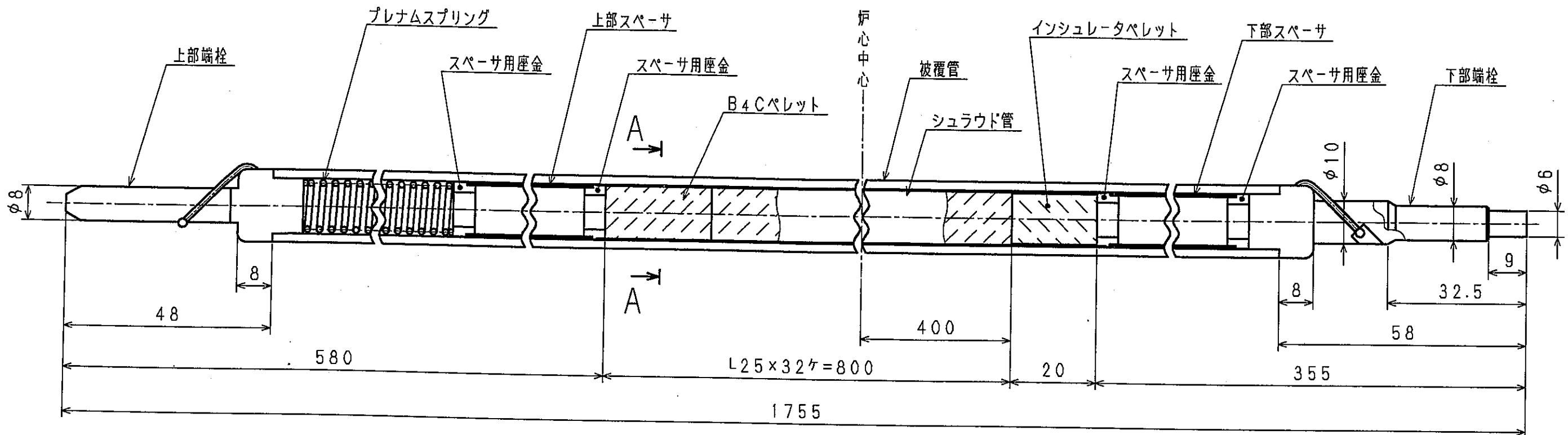
2. の検討結果に基づき、シュラウド管寸法を今迄の製作実績に基づき以下の通り設定する。

シュラウド管内径  $12.3^{+0.05}_0$  mm

肉厚  $0.2 \pm 0.025$  mm

このシュラウド管を設置した制御要素の基本構造、寸法を図3-1に示す。

被覆管とB<sub>4</sub>Cペレットの間にシュラウド管を設置した以外は、図2-1に示す制御要素とは基本的に同じ構造、寸法である。



A - A

図3-1 制御要素組立図

#### 4. シュラウド管温度評価

図3-1に示すシュラウド管付制御要素を対象として、シュラウド管温度を評価するための温度分布解析を実施する。

##### 4.1 解析条件

###### (1) 解析モデル

図4-1に解析モデルを示す。解析モデル範囲は、軸方向には、制御要素下端にある下部栓から吸収体上部までの広範囲とし、軸方向の熱移行の効果が確実に現れるよう考慮した。

###### (2) 解析ケース

基本的には以下のケースを実施する。なお、いずれのケースも発熱値の大きい燃焼初期（BOC）を解析対象とする。

ケース1：現行制御棒（シュラウド管なし）

ケース2：高燃焼度用制御棒（シュラウド管あり）

ケース3：ケース2の条件で、アルミナ ( $Al_2O_3$ ) インシュレータペレットをステンレス鋼ペレットに替えたケース

この他、シュラウド管肉厚をそのままにして、外、内径を大きくしたケースも実施した。

###### (3) 解析条件

###### a. 境界条件

解析モデルの境界条件は、周囲温度とし、「もんじゅ」実機設計で実施した、制御棒サブチャンネル解析結果の被覆管、端栓表面温度を用いている。（付録 表B-4）

###### b. 発熱データ

付録-Bに示す $B_4C$ ペレット、構造（ステンレス）材の発熱データを入力条件とした。シュラウド管の発熱は、被覆管の発熱密度と同じ発熱があるとして考慮している。

###### c. 物性データ

付録-Aに示す物性データを入力条件とした。

なお、アルミナインシュレータの熱伝導率については、実機品を対象として実

施した試験の以下に示す測定データを用いた。

29°C	3.15 kcal/m·h·°C
389	2.37
800	1.64
1350	1.49

また、B<sub>4</sub>Cペレットは1個ではなく、32個が積み上げているため、このペレットの間には、ペレットの表面粗さが5μ程度であることから安全側に10μm(0.01mm)のヘリウムガスの空間があるとして、軸方向の熱伝導率を定めている。

#### d. 使用解析コード

FINASを用いた。

### 4.2 解析結果

図4-2～図4-15にケース1～ケース3の温度分布解析結果を示す。各ケースともB<sub>4</sub>Cペレット、被覆管等の構成部品の軸方向温度分布と、温度コンタ図を示している。

シュラウド管ありのケース2、3の場合、被覆管とB<sub>4</sub>Cペレット間のヘリウムガス層が3.5mmから0.15mmと小さくなっていることから、径方向の熱移動量が大きくなり、ペレット中心（表面）温度は下がっている。

しかし、シュラウド管最高温度については、成立の目安である700°Cを若干超える結果となっている。700°Cを超えていても、シュラウド管の構造健全性評価により、その健全性を示すことで成立性を見通せることになるが、本検討では温度評価が目的であることから、シュラウド管温度を下げる方策として、シュラウド管肉厚を変えずに、シュラウド管外、内径を若干大きくすることを取り入れ、外（内）径をパラメータとした解析を、ケース2を対象として実施した。

図4-16にシュラウド管最高温度とシュラウド管外径との関係を示す。

図3-1に示したシュラウド管ノミナル外径寸法である12.7mmに対し、僅か0.05mm大きくするだけで、シュラウド管最高温度は660°C程度に下がることが分かった。

温度分布解析モデルでは、ノミナル値を用いており、熱膨張による外、内径の膨み

は考慮していないが、シュラウド管温度が660℃以上であれば外（内）径は0.1m以上大きくなるので、実際の最高温度は660℃以下となる。従って、温度評価としても十分成立する見通しがある。

なお、ケース3は、アルミナインシュレータペレットをステンレス鋼に替え、軸方向の熱移行量を大きくしてシュラウド管温度を下げる目論見のケースであるが、径方向からの熱移行量が大きいために、ステンレス鋼に替えた効果はほとんどない結果となつた。

ただし、温度評価とは別の観点ではあるが、アルミナ製よりステンレス鋼製の方が安価かつ取扱いが容易であることから、ステンレス鋼製インシュレータペレットに変えることも意味がある。

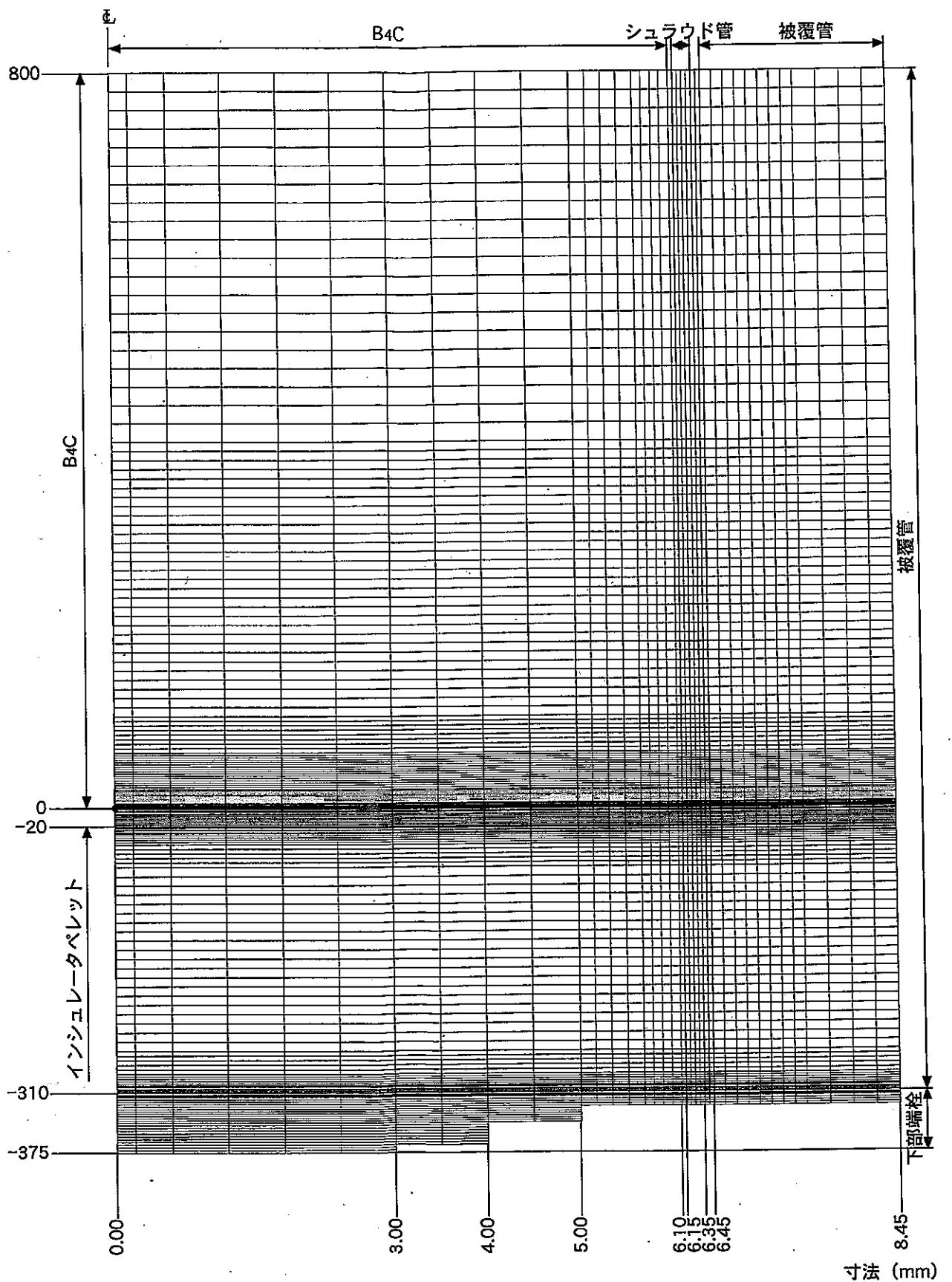
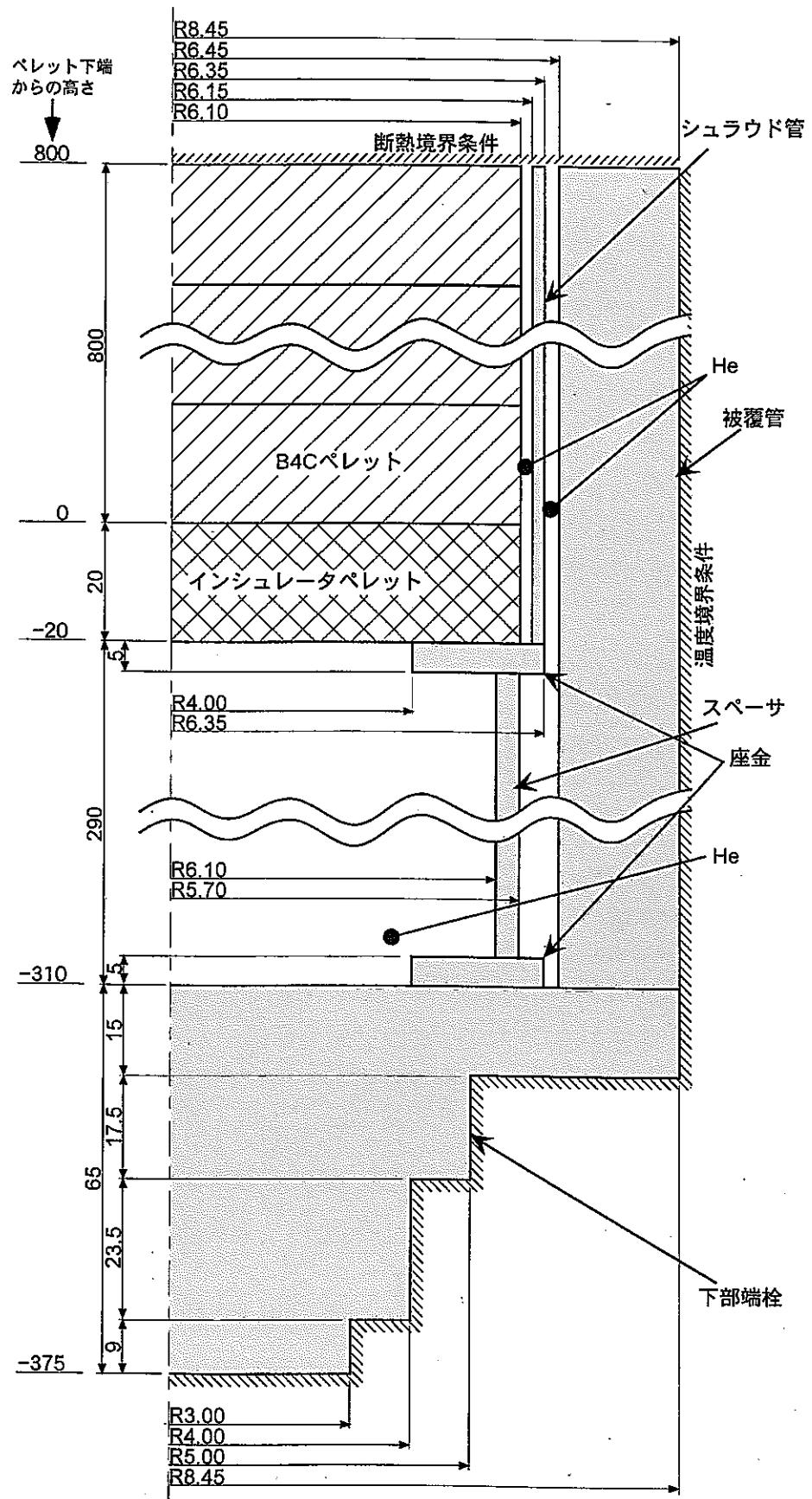


図4-1 解析モデル

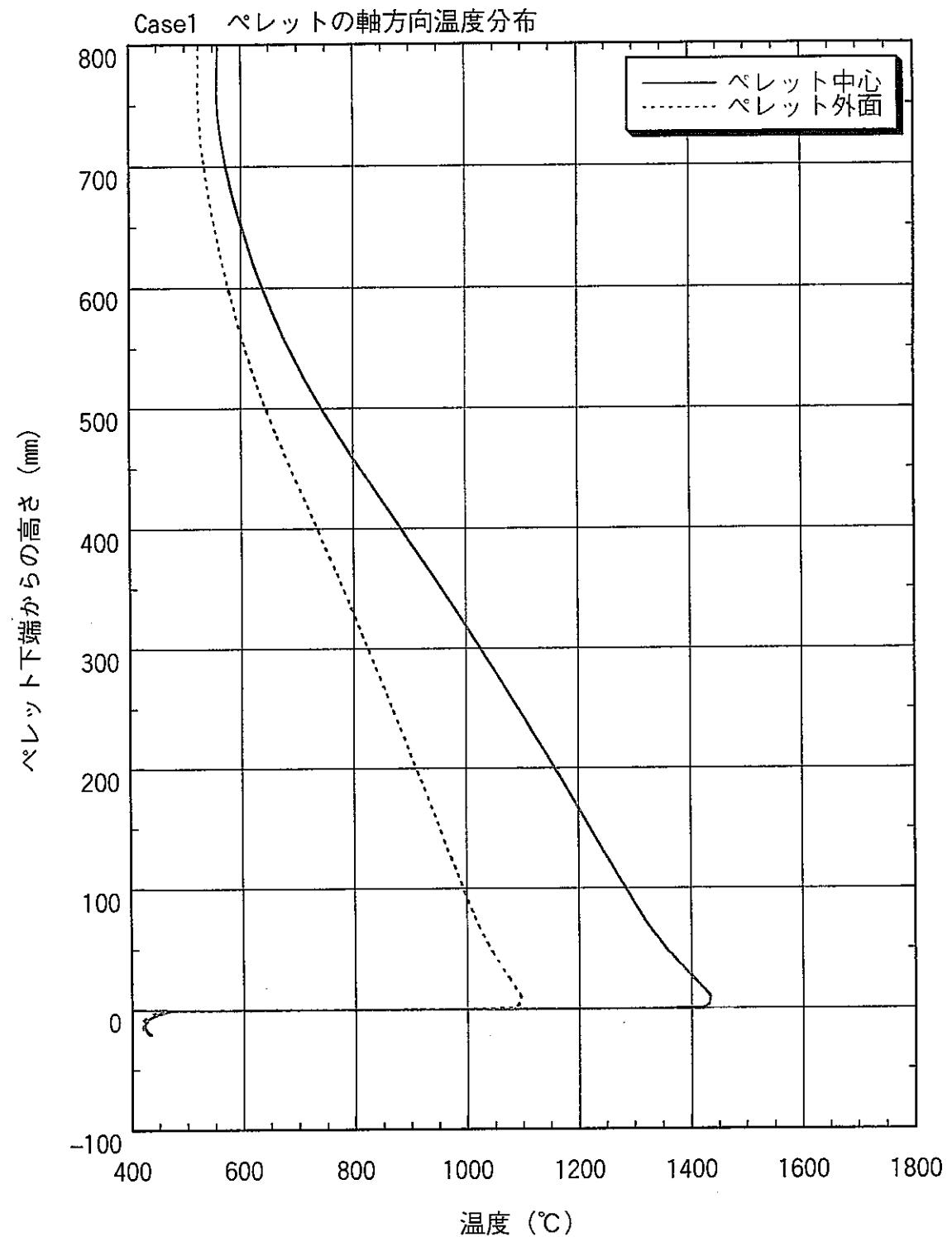


図 4-2 ペレットの軸方向温度分布（ケース 1）

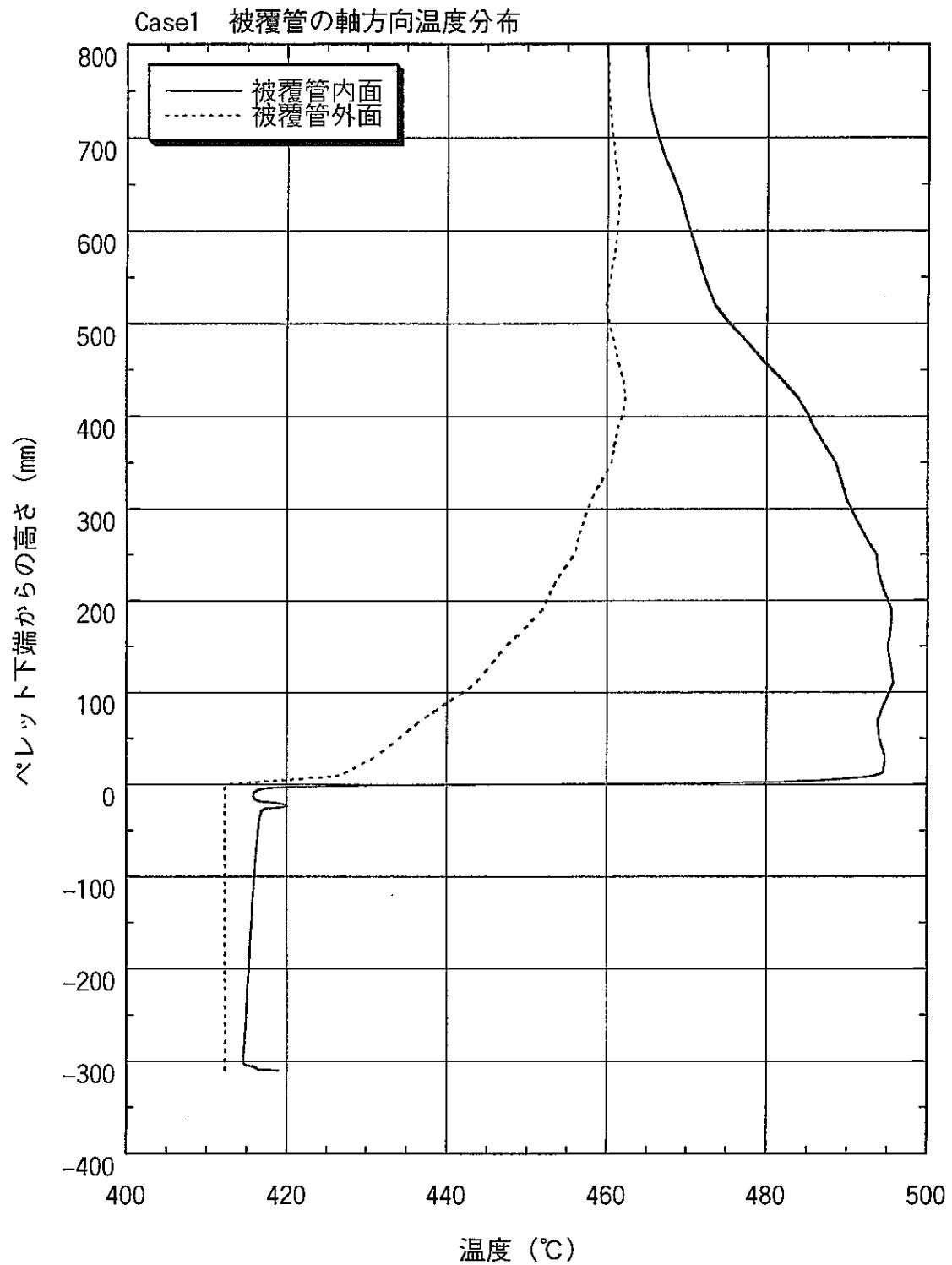


図 4—3 被覆管の軸方向温度分布（ケース 1）

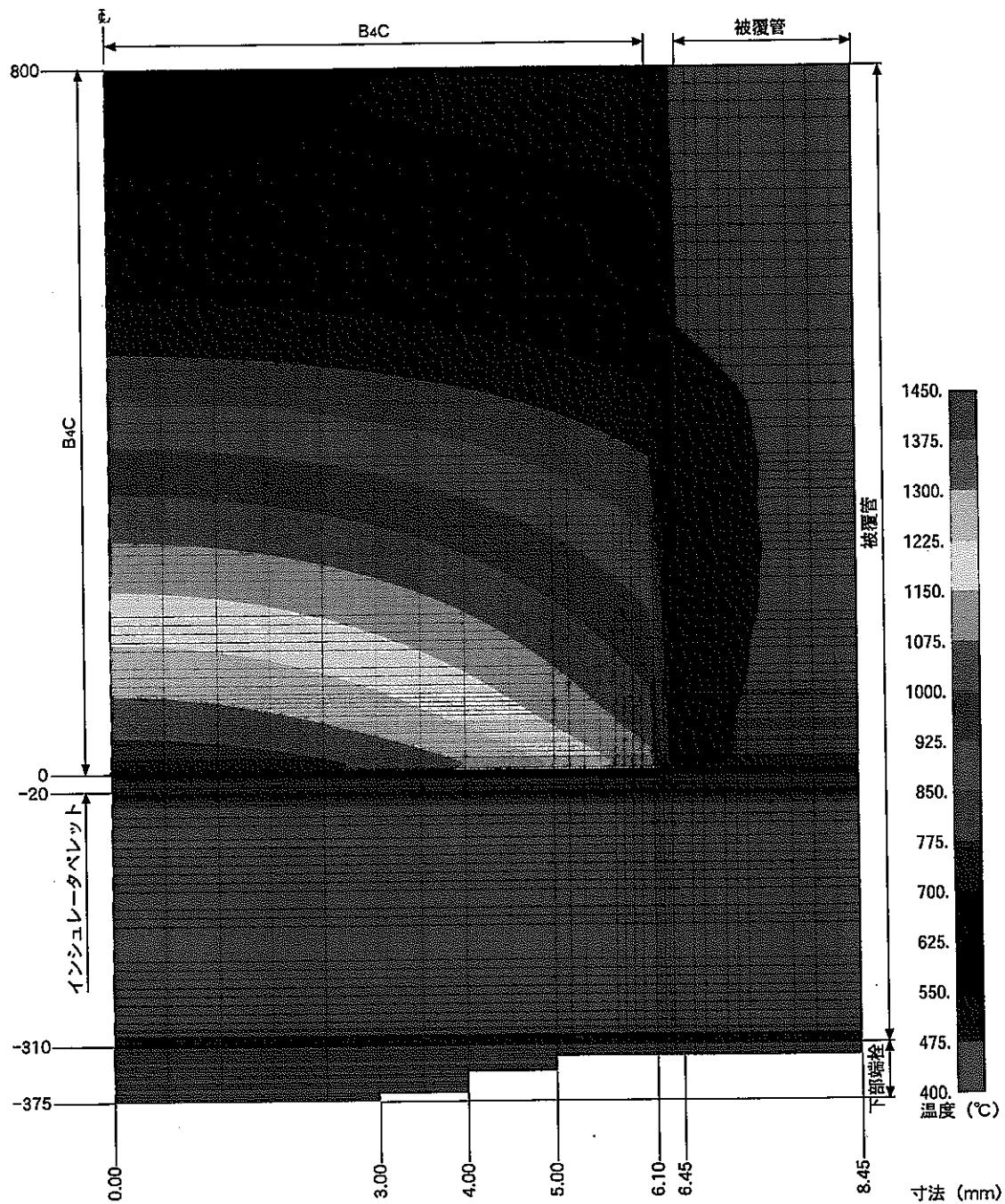


図4—4 溫度コンタ図（ケース1）

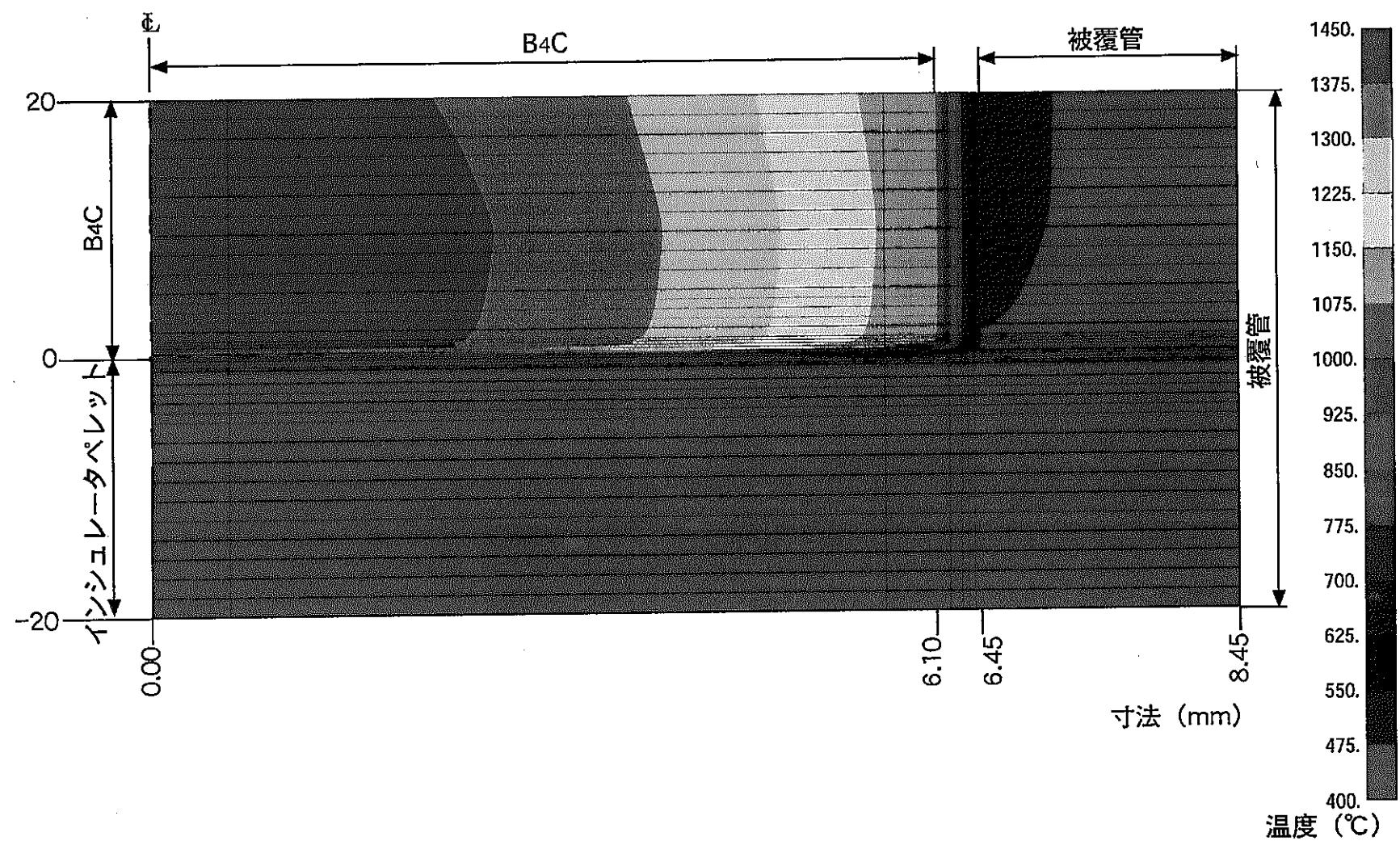


図 4—5 温度コンタ図詳細（ケース 1）

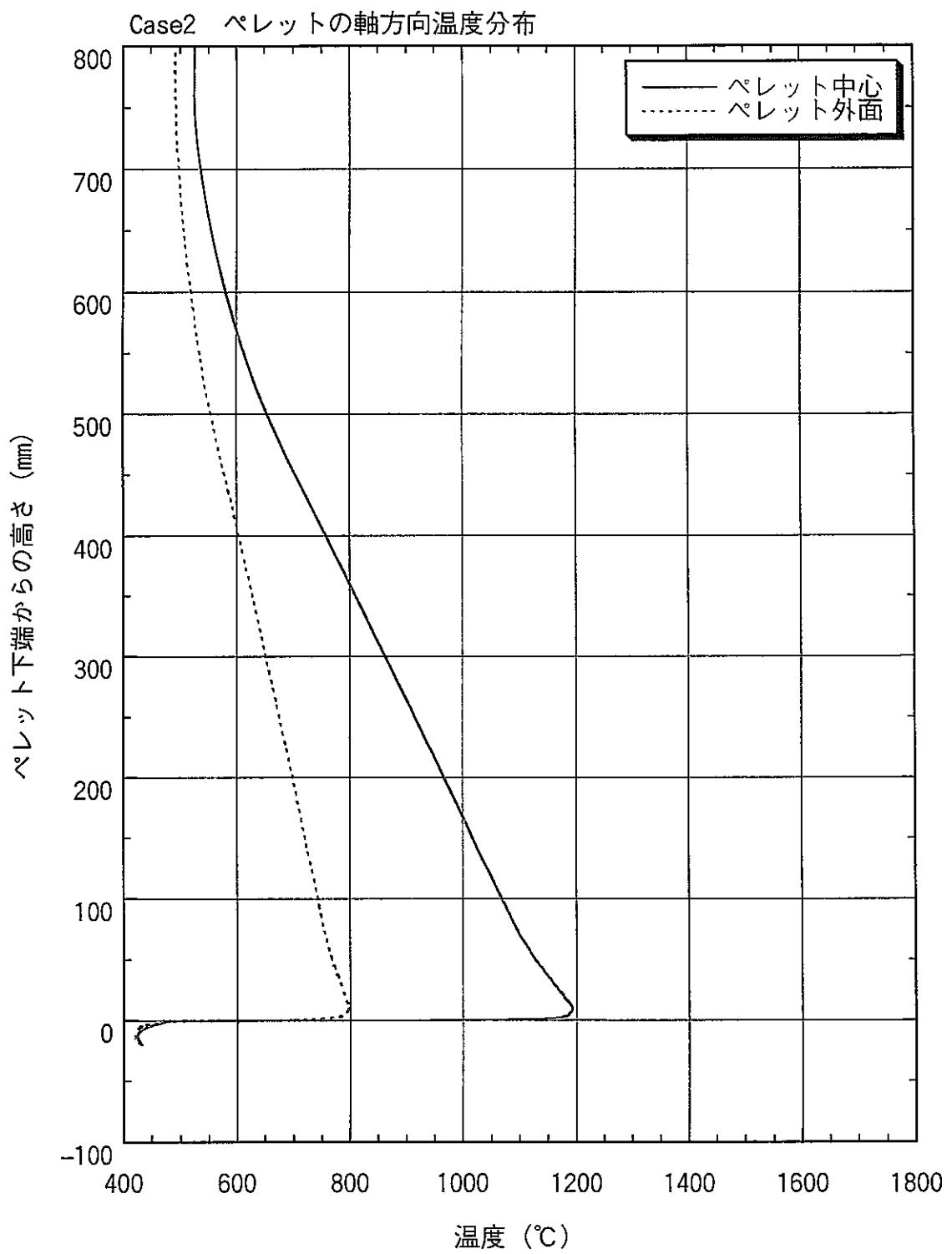


図4-6 ペレットの軸方向温度分布（ケース2）

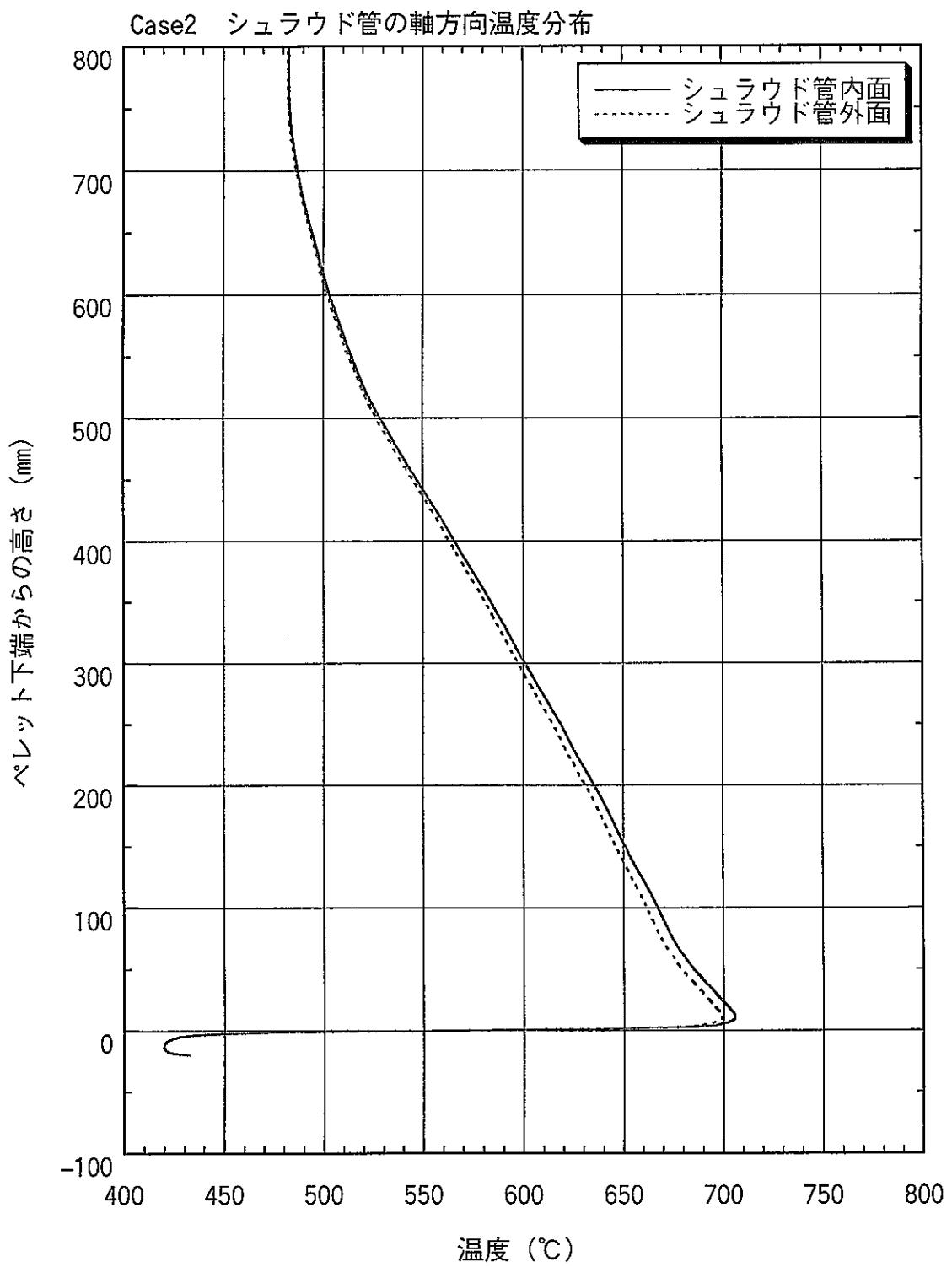


図4—7 シュラウド管の軸方向温度分布（ケース2）

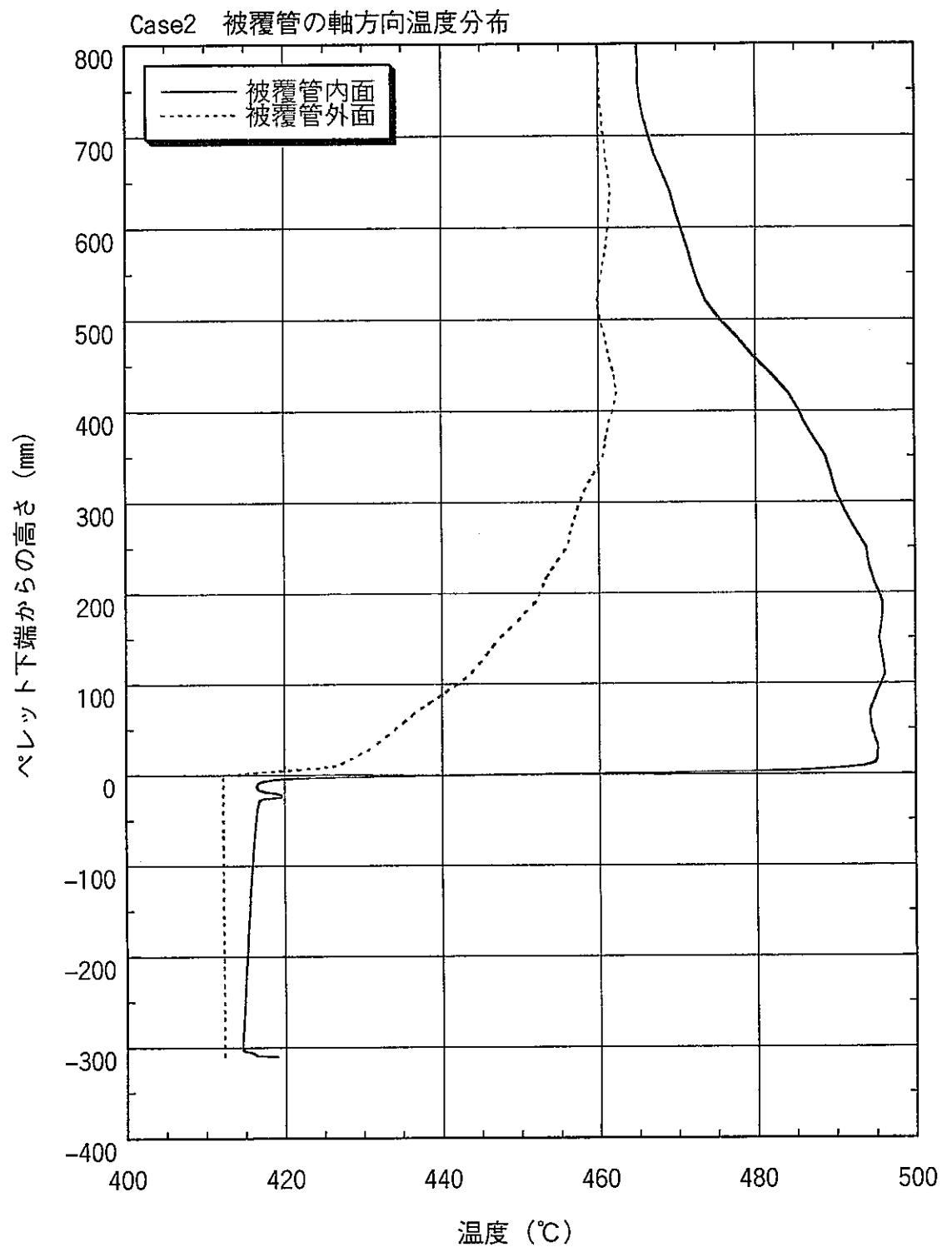


図4—8 被覆管の軸方向温度分布（ケース2）

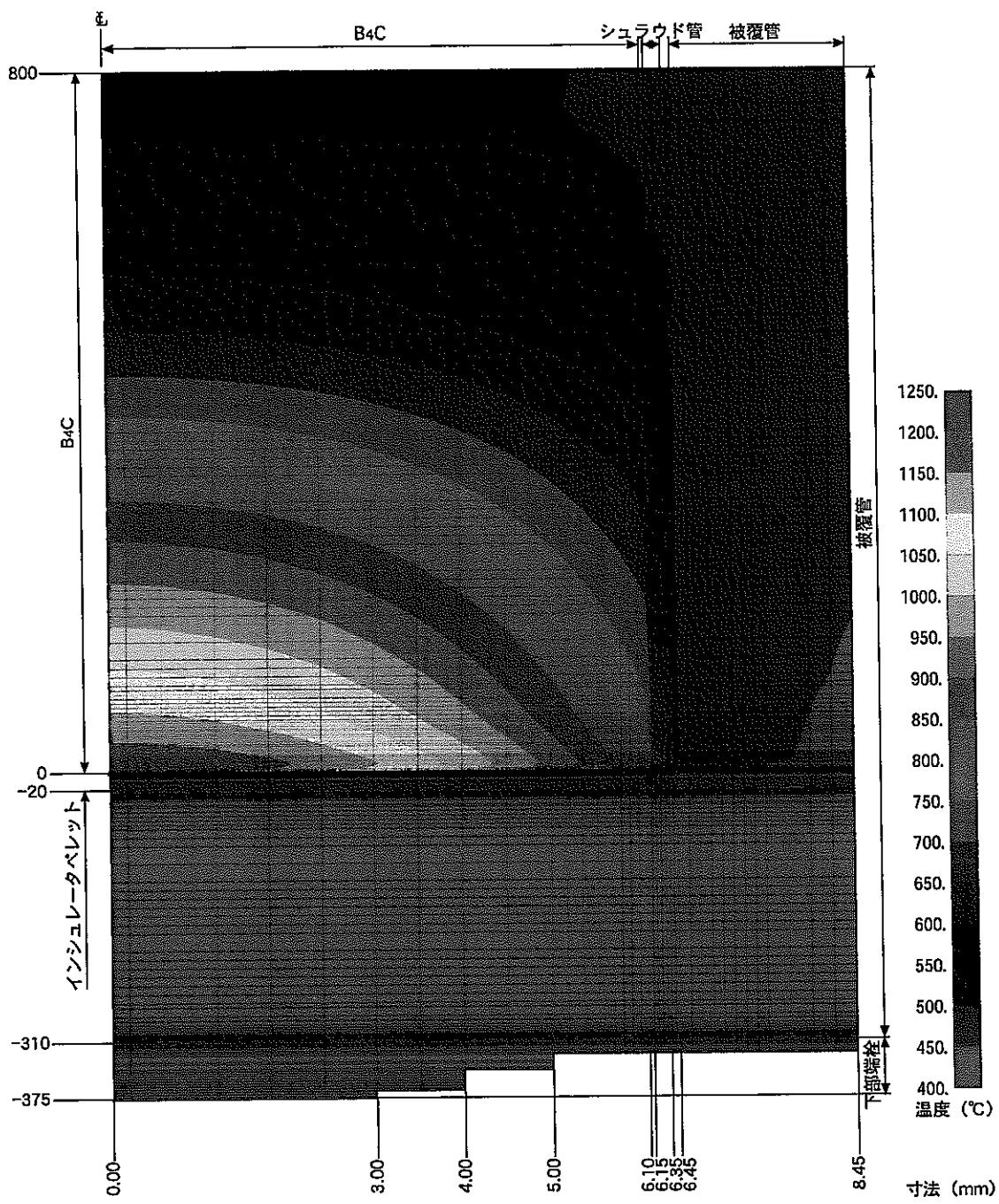


図4—9 溫度コンタ図（ケース2）

- 21 -

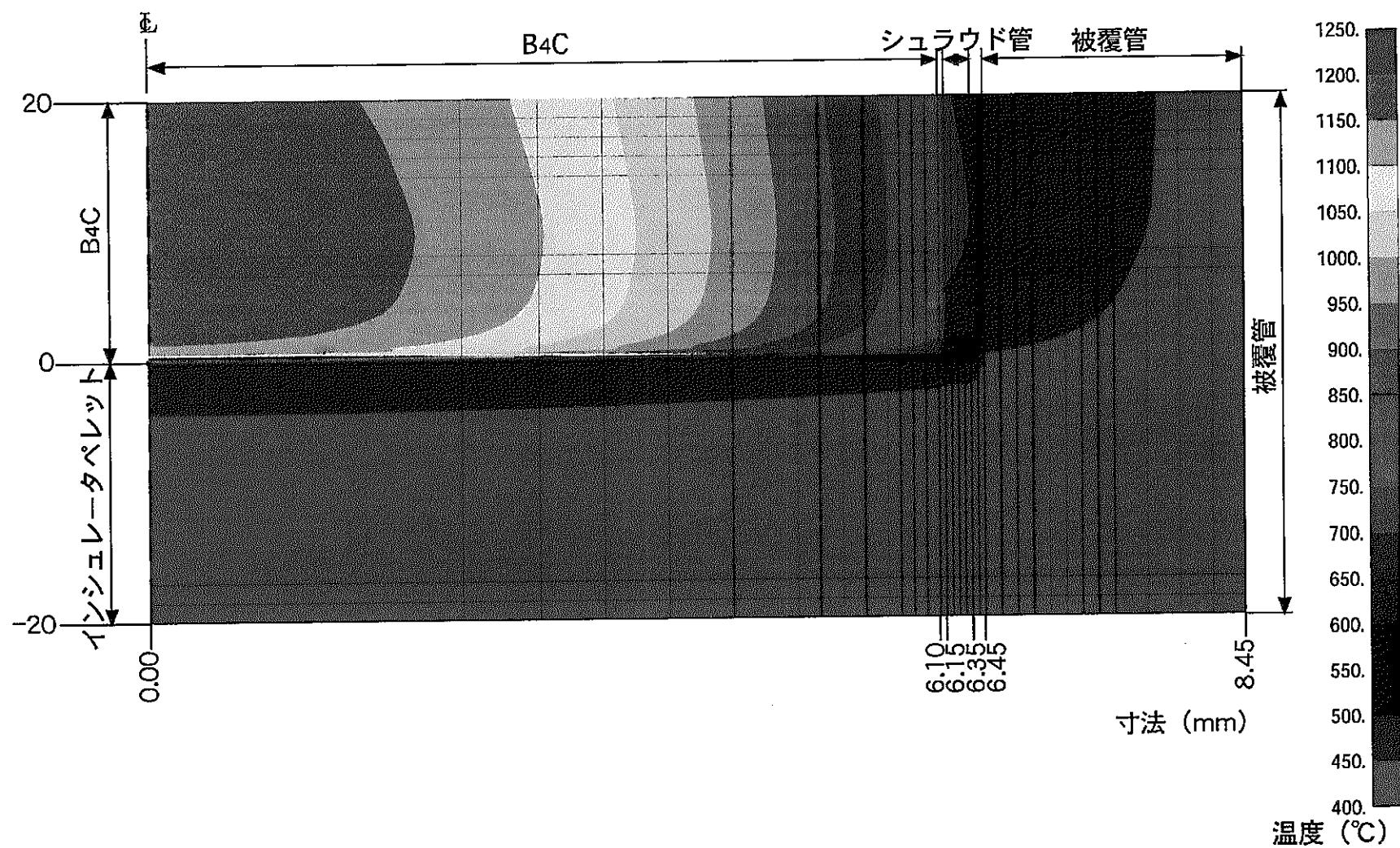


図 4-10 温度コンタ図詳細（ケース 2）

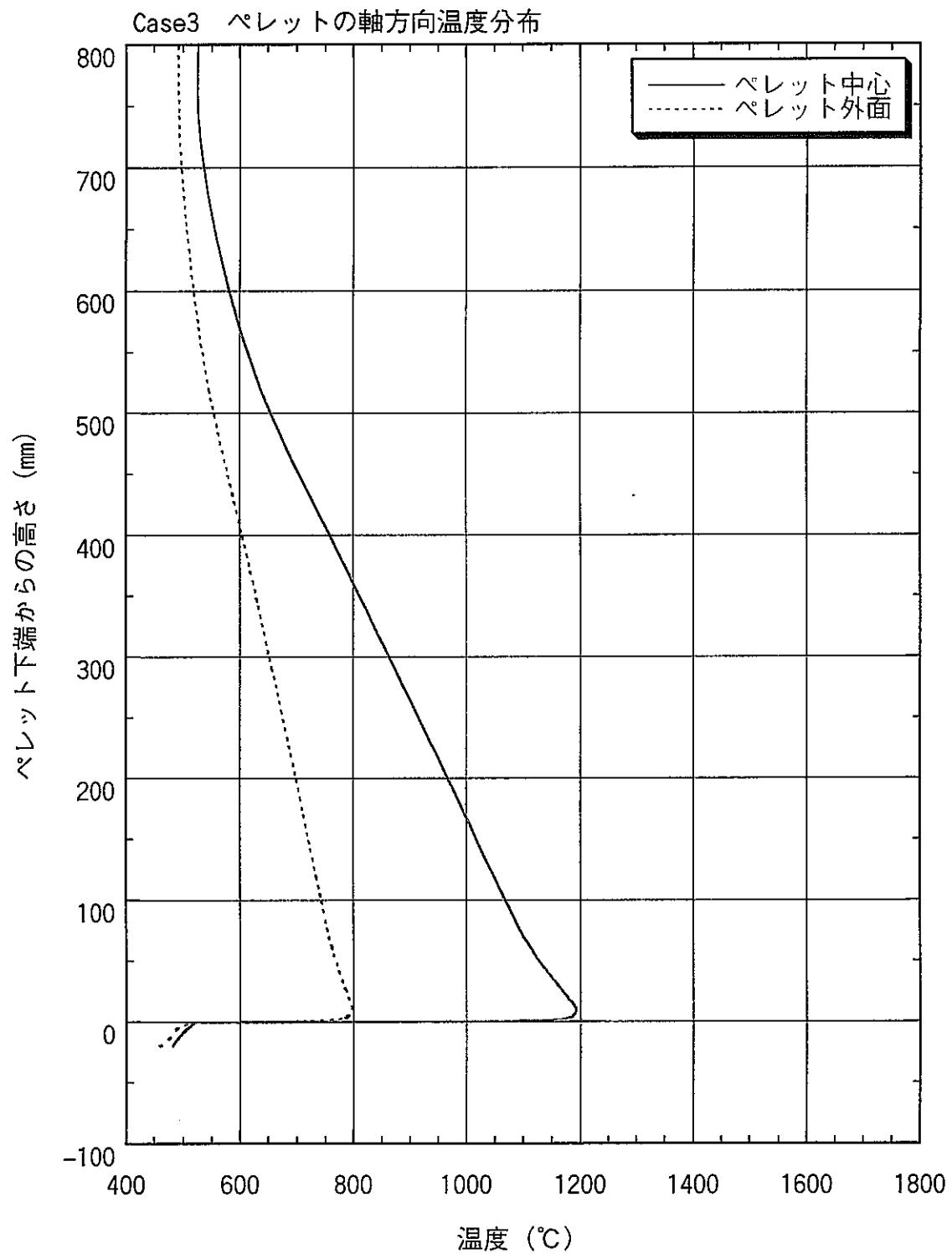


図 4-1-1 ペレットの軸方向温度分布 (ケース 3)

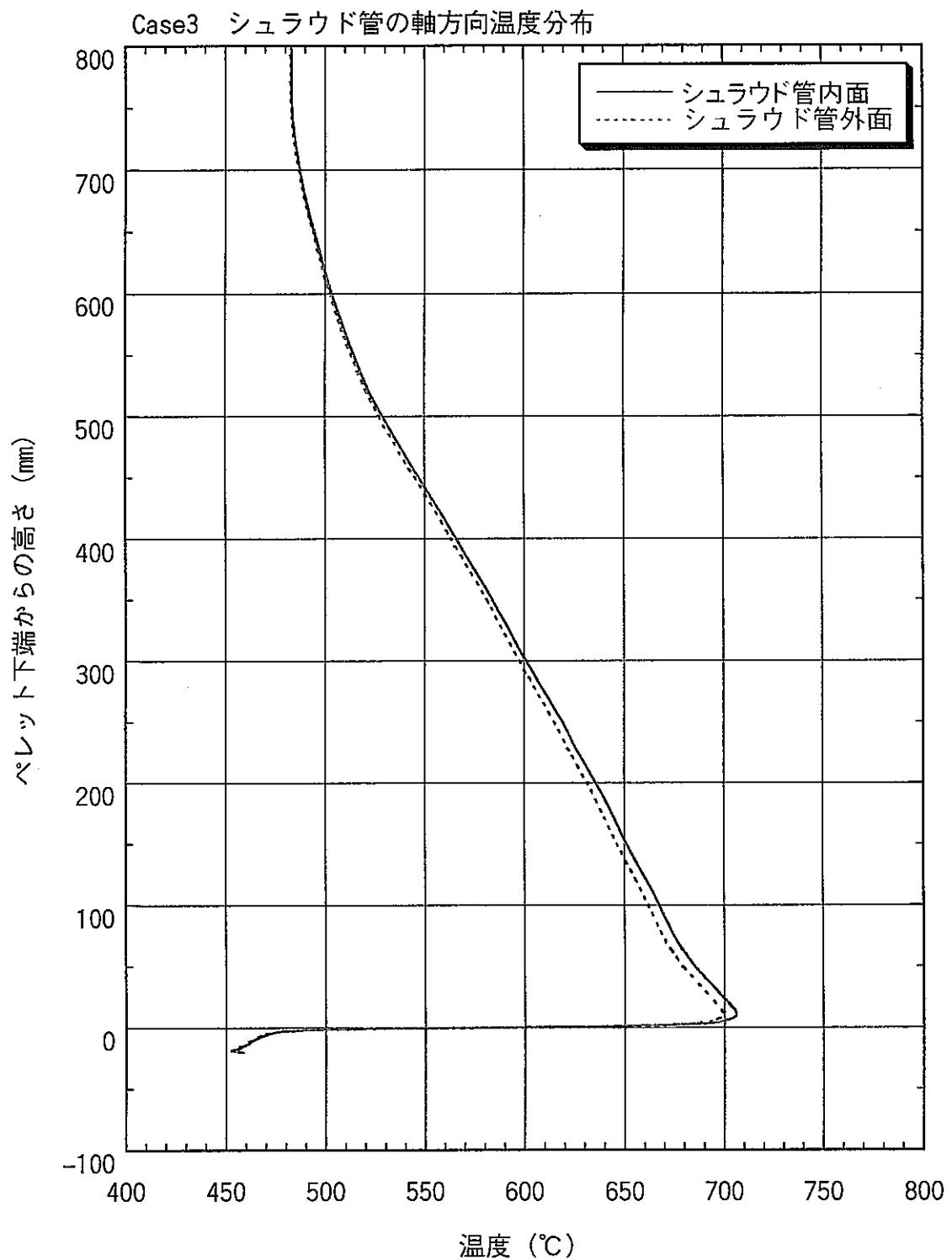


図4—12 シュラウド管の軸方向温度分布（ケース3）

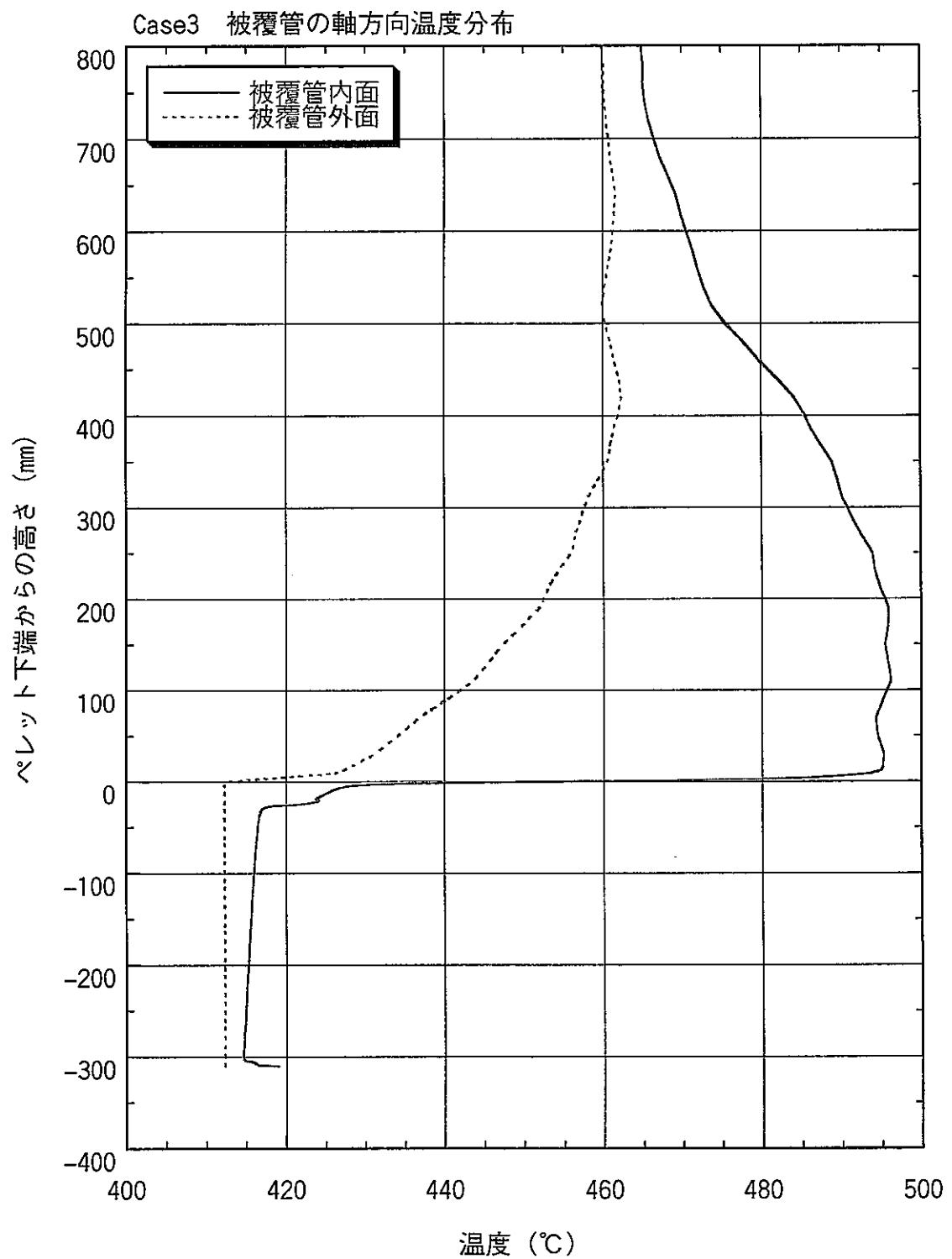


図 4—1 3 被覆管の軸方向温度分布（ケース 3）

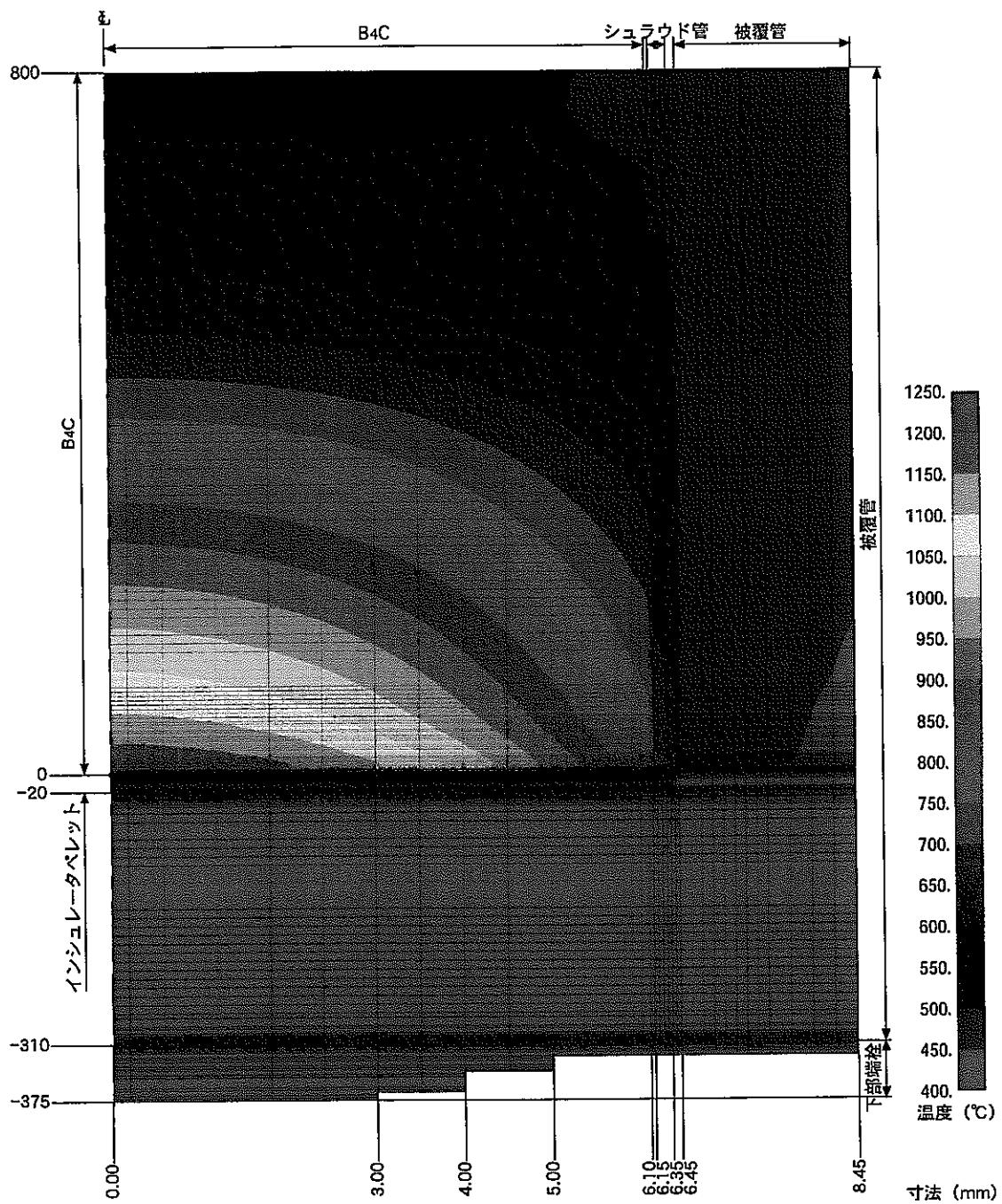


図4—14　温度コンタ図（ケース3）

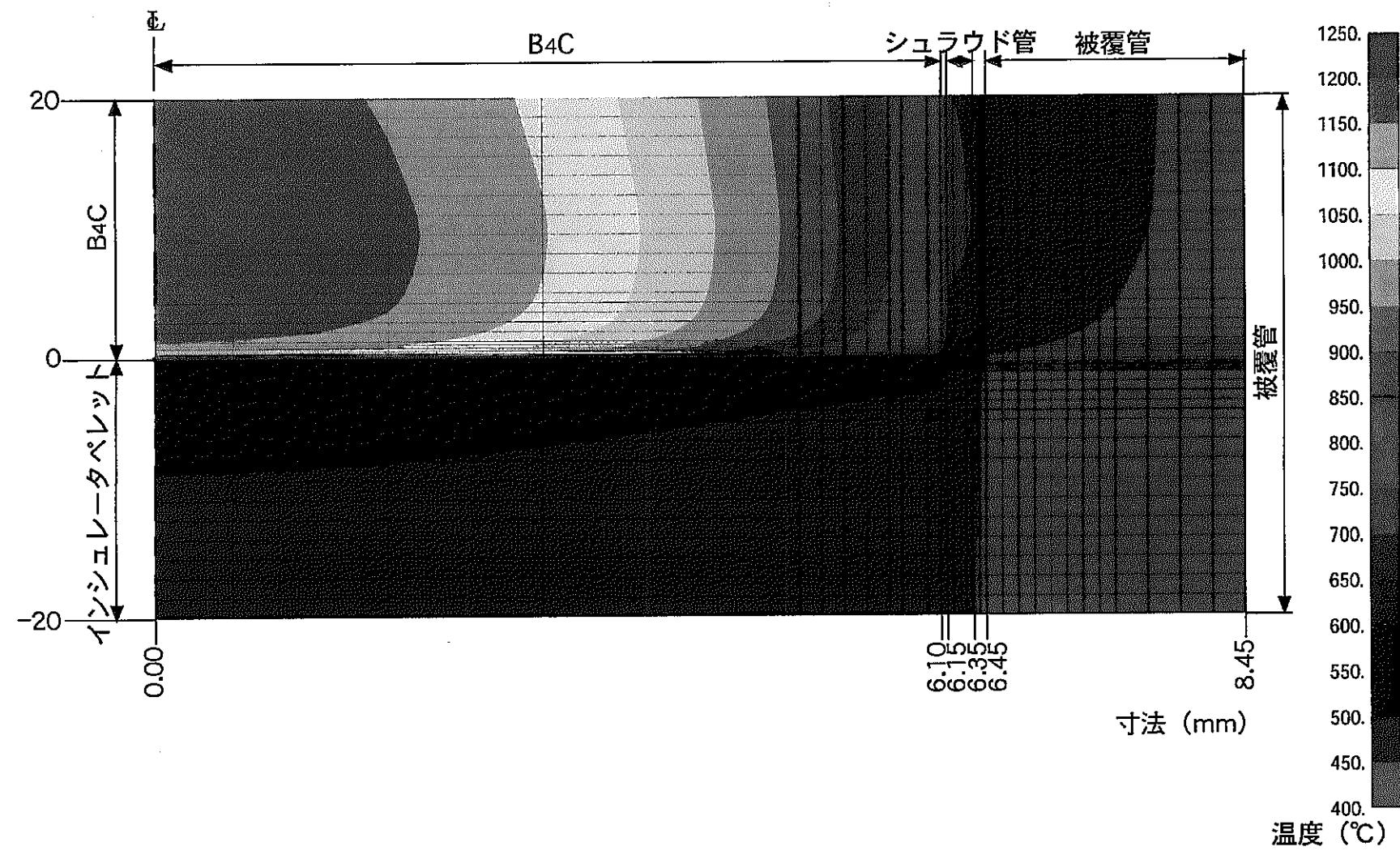


図4—15 温度コンタ図詳細（ケース3）

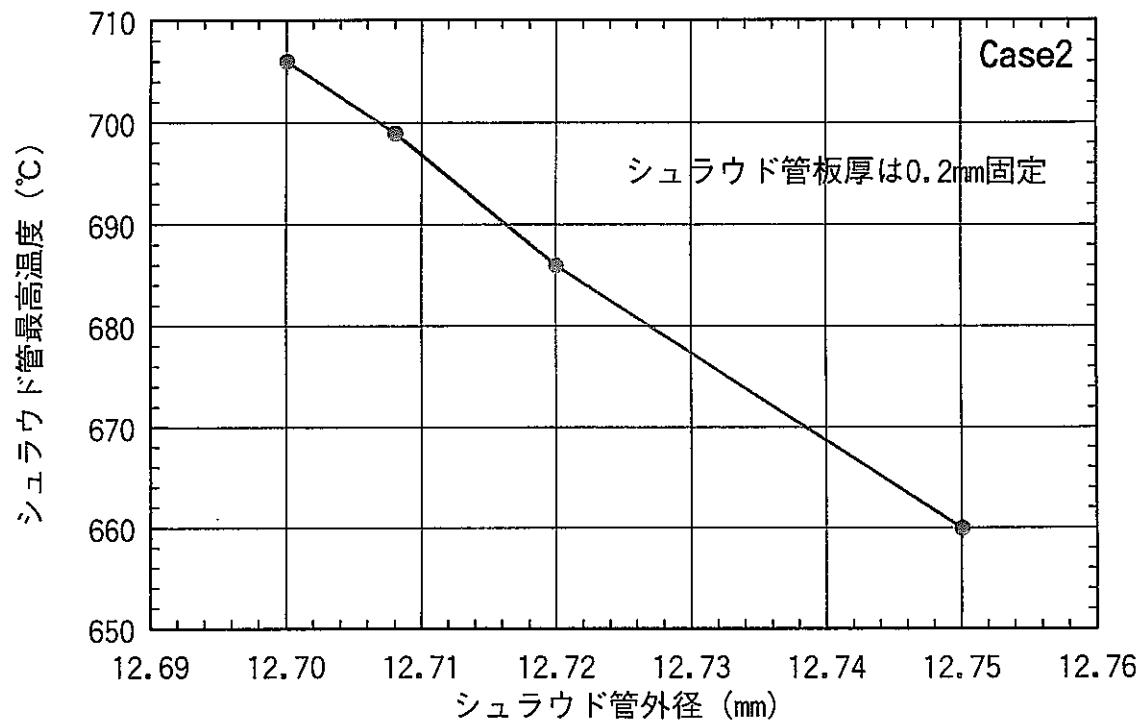


図 4—1 6 シュラウド管最高温度とシュラウド管外径の関係

## 5. まとめ

「もんじゅ」制御棒は長寿命化のための研究開発を実施中であるが、長寿命制御棒を導入する前に、現状の制御棒の改良により、低燃焼度炉心（123 日／サイクル）1 サイクルから高燃焼度炉心（148 日／サイクル）1 サイクル寿命とする必要がある。

高燃焼度炉心 1 サイクルの寿命を確保するために、 $B_4C$ ペレットのリロケーションを抑制するシュラウド管を設置することを計画しているが、ヘリウムボンド（密封）型の制御要素であることから、シュラウド管の温度が高くなることが懸念されている。このため、被覆管と  $B_4C$ ペレットの機械的相互作用（Absorber Clad Mechanical Interaction : ACMI）を防止する観点から必要ギャップを検討し、シュラウド管仕様を定めると共に、シュラウド管温度評価を実施し、成立性を判定した。

その成果は以下の通りである。

- (1) 高燃焼度炉心 1 サイクル（148 日）の条件で  $B_4C$ ペレットのスエリング、熱膨張量と被覆管のスエリング、熱膨張量を評価し、ペレットと被覆管との間に設置できるシュラウド管肉厚を求めた。
- (2) 実機のシュラウド管仕様を設定した。
- (3) 制御要素を対象とした温度分布解析を実施した結果、シュラウド管の熱膨張を考慮すると、シュラウド管温度が成立性の目安である 700°C 以下の 660°C 以下であることから、成立性のあることを確認した。

## 6. 参考文献

- (1) 鈴木, 和泉「制御棒 2 サイクル化について」PE-B0027,  
動力炉・核燃料開発事業団, 昭和 59 年 8 月 20 日
- (2) 町田, 貝瀬, 碇本, 田中「『もんじゅ』制御棒の高度化設計」  
新型炉技術開発株式会社, 1998 年 3 月
- (3) 町田, 貝瀬, 碇本, 田中「『もんじゅ』制御棒の高度化設計（II）」  
新型炉技術開発株式会社, 1999 年 3 月
- (4) 町田, 碇本, 田中「『もんじゅ』制御棒の高度化設計（III）」  
新型炉技術開発株式会社, 2000 年 3 月
- (5) 佐々木, 碇本, 田中, 谷本「『もんじゅ』制御棒の高度化設計（IV）」  
新型炉技術開発株式会社, 2001 年 3 月

付 錄-1

物 性 値 集

付表 1-1  $B_4C$  物性値

項目	物性値
$B_4C$ スエリング	<p>上限曲線(ノミナル+2σ)：  <math>\Delta D/D = \frac{1}{3}(0.163 \cdot Bu + 5.70)</math></p> <p>ノミナル曲線：  <math>\Delta D/D = \frac{1}{3}(0.163 \cdot Bu)</math></p> <p><math>\sigma</math>(標準偏差)=0.949</p> <p><math>\Delta D/D</math>：径方向スエリング(%)</p> <p><math>Bu</math>：燃焼度(<math>10^{26}</math>cap/m<sup>3</sup>)</p> <p>適用範囲 温度(℃)：600～1500℃ 燃焼度(cap/m<sup>3</sup>)≤<math>240 \times 10^{26}</math>cap/m<sup>3</sup></p>
$B_4C$ 熱膨張率	$\Delta L/L = -6.02257 \times 10^{-3} + 2.58708 \times 10^{-4} \cdot T$ $+ 3.50228 \times 10^{-7} \cdot T^2 - 6.05586 \times 10^{-11} \cdot T^3$ <p><math>\Delta L/L</math>：(%)</p> <p><math>T</math>：温度(℃)</p> <p>適用範囲 温度：&gt;20℃</p>
縦弾性係数	$E = (0.46 \times 10^6 - 7.38T - 3.96 \times 103T^2) \frac{1-P}{1+2.13P}$ <p><math>E</math>：縦弾性係数(N/mm<sup>2</sup>)</p> <p><math>P</math>：空孔率(密度90%T.Dより初期0.1、スエリング分(<math>\Delta V/V\%</math>)を加える。)</p> <p><math>T</math>：温度(℃)</p>
$B_4C$ 熱伝導率	$K = 0.532K(BU) \times (K(T)/K(T=25^\circ C))$ (1) $BU < 15 \times 10^{26} \text{ cap}/\text{m}^3$ $K(BU) = 0.02109 - 1.058 \times 10^{-3} BU + 3.813 \times 10^{-5} BU^2 - 4.033 \times 10^{-7} BU^3$ $15 \times 10^{26} \text{ cap}/\text{m}^3 \leq BU < 38 \times 10^{26} \text{ cap}/\text{m}^3$ $K(BU) = 0.0143 - 1.167 \times 10^{-4} BU$ $BU \geq 38 \times 10^{26} \text{ cap}/\text{m}^3$ $K(BU) = 0.01$ (2) $K(T) = (1-P)/(1+\beta P) \cdot (0.0457 + 9.69 \times 10^{-6} T - 1.05 \times 10^{-8} T^2 + 1.00 \times 10^{-11} T^3 + 1.87 \times 10^{-15} T^4)$ (3) $K$ ：熱伝導度(cal/cm·s·°C) $BU$ ：燃焼度( $\times 10^{26}$ cap./m <sup>3</sup> )

	<p>T : 温度 (°C)</p> <p>P : 気孔率 (=0.05)</p> <p><math>\beta = 1.0</math></p> <p>適用範囲 燃焼度(cap/m<sup>3</sup>) : &lt; 200 × 10<sup>26</sup> cap/m<sup>3</sup></p>
B <sub>4</sub> C 定圧比熱	$C_p = 22.99 + 5.40 \times 10^{-3} T - 10.72 \times 10^{-5} T^2$ $C_p$ : 定圧比熱(cal/mol·°K) T : 温度(°K)
B <sub>4</sub> C 密度 (比重量)	$\rho = \rho_0 \times \frac{D}{100} \times \frac{\{\alpha \cdot B_0 + (1 - \alpha)B_1\} \times 4 + C}{B_0 \times 4 + C}$ $\rho$ : 密度(g/cm <sup>3</sup> ) $\rho_0$ : 100%T.D. 10B 濃縮 B <sub>4</sub> C の密度(g/cm <sup>3</sup> ) D : ペレットの理論密度(%T.D.) $\alpha$ : 濃縮比 (10B 100at%のとき $\alpha = 1$ ) $B_0$ : 10B 原子量 10.012938 $B_1$ : 11B 原子量 11.009305 C : 炭素原子量 12.011

付表 1-2 SUS316 物性値

項目	物性値
熱伝導率	$K = 0.132 + 1.3 \times 10^{-4} \cdot T$ K : 热伝導率(w/cm°C) T : 温度(°C)
定圧比熱	$C_p = 0.1044 + 0.1586 \times 10^{-3} T - 0.2967 \times 10^{-6} T^2 + 0.2123 \times 10^{-9} T^3$ Cp : 定圧比熱(cal/g·°C) T : 温度(°C)
密度 (比重量)	$\rho = 7.977 - 3.547 \times 10^{-4} \cdot T$ $\rho$ : 密度(g/cm³) T : 温度(°C)

付表 1-3 Na 物性値

項目	物性値
熱伝導率	$K = 54.306 - 1.878 \times 10^{-2} \cdot T + 2.0914 \times 10^{-6} \cdot T^2$ K : 热伝導率(Btu/hr·ft·°F) T : 温度(°F) あるいは $K = 79.9136 - 5.06588 \times 10^{-2} \cdot T + 1.00829 \times 10^{-5} \cdot T^2$ K : 热伝導率(Kcal/hr·m·°C) T : 温度(°C)
定圧比熱	$C_p = 0.343253 - 1.38686 \times 10^{-4} \cdot T + 1.1055 \times 10^{-7} \cdot T^2$ Cp : 定圧比熱(cal/g·°C) T : 温度(°C)
密度 (比重量)	$\rho = 0.95001 - 2.2977 \times 10^{-4} T - 1.4605 \times 10^{-8} T^2 + 5.6380 \times 10^{-12} T^3$ $\rho$ : 密度(g/cm³) T : 温度(°C) (100~1400°C)
動粘性係数	$\nu = (10^{(220.65/(T+273.15)-2.4892)}) / (((T+273.15)^{0.4925}) \cdot \rho)$ $\rho = 0.95001 - 2.2977 \times 10^{-4} T - 1.4605 \times 10^{-8} T^2 + 5.6380 \times 10^{-12} T^3$ $\rho$ : 密度(g/cm³) T : 温度(°C) (100~1400°C) $\nu$ : 動粘性係数(m²/s)

付表 1-4 热伝達率、他

項目	物性値
热伝達率 (被覆管、保護管内面 Na) (保護管外面、案内管 Na)	$Nu = 0.625Pe^{0.4}$ (保護管内) $Nu = 8.0 + 0.019Pe^{0.8}$ (保護管外) $h_{film} = \frac{K}{D}Nu$ $h_{film}$ : 热伝達率( $\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}^\circ\text{C}$ ) $Nu$ : ヌッセルト数 $K$ : 热伝導率( $\text{cal}/\text{cm} \cdot \text{sec}^\circ\text{C}$ ) $Pe$ : ペクレ数 $D$ : 代表長さ(cm)
Na ボンド型热伝達率 (被覆管、吸収材ペレット)	$h = \frac{K_g}{GAP}$ $K_g = 79.9136 - 5.06588 \times 10^{-2} \cdot T + 1.00829 \times 10^{-5} \cdot T^2$ $h$ : ギャップコンダクタンス( $\text{kcal}/\text{hr} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{^\circ C}$ ) $K_g$ : Na の热伝導率( $\text{kcal}/\text{hr} \cdot \text{m} \cdot \text{^\circ C}$ ) $GAP$ : ペレットー被覆管ホットギャップ(m) $T$ : 温度( $^\circ\text{C}$ )
He ボンド型热伝達率 (被覆管、吸収材ペレット)	$h = \frac{K_g}{GAP}$ $K_g = a_0 + a_1T + a_2T^2$ $a_0 = 1.3084 \times 10^{-3}$ $a_1 = 3.6961 \times 10^{-6}$ $a_2 = -5.848 \times 10^{-10}$ $h$ : ギャップコンダクタンス( $\text{w}/\text{cm}^2 \cdot \text{^\circ C}$ ) $K_g$ : He の热伝導率( $\text{w}/\text{cm} \cdot \text{^\circ C}$ ) $GAP$ : ペレットー被覆管ホットギャップ(cm) $T$ : 温度( $^\circ\text{C}$ )

付表 1-5 PNC316 鋼、SUS316 溶体化処理材

項目	物性値
PNC316 鋼 スエリング式	$\Delta V/V = R \left\{ \phi t + \frac{1}{\alpha} \times \left[ \frac{1 + \exp(\alpha \times (\tau - \phi t))}{1 + \exp(\alpha \times \tau)} \right] \right\}$ $\Delta V/V : \text{スエリング (\%)}$ $R = 5 \cdot \left\{ R_1 / \exp \left( (T - R_2) / R_3 \right)^2 \right\}$ $\tau = \left\{ \sum_{i=0 \sim 6} \tau_i (T/500)^i \right\} / 5$ $\tau_0 = -71004.773 \text{ (下限式)}, -71012.065 \text{ (ノミナル式)}, -71019.357 \text{ (上限式)}$ $\alpha = 5 \cdot \left\{ \alpha_1 / \exp \left( (T - \alpha_2) / \alpha_3 \right)^{1.75} \right\} + \alpha_4$ <p style="margin-left: 40px;"><math>\phi t</math> : 中性子照射量(<math>\times 10^{26} n/m^3</math>, <math>E &gt; 0.1 MeV</math>)</p> <p style="margin-left: 40px;"><math>\beta = (T-500)/100</math></p> <p style="margin-left: 40px;"><math>T</math> : 照射温度(°C)</p> <p style="margin-left: 40px;">適用範囲</p> <p style="margin-left: 60px;">照射温度 : 369.5~619.0°C</p> <p style="margin-left: 60px;">照射量 : <math>23 \times 10^{26} n/m^3</math>, <math>E &gt; 0.1 MeV</math></p>
SUS316 溶体化処理材 スエリング式	$\Delta V/V = R \left\{ \phi t + \frac{1}{\alpha} \times \left[ \frac{1 + \exp(\alpha \times (\tau - \phi t))}{1 + \exp(\alpha \times \tau)} \right] \right\}$ $\Delta V/V : \text{スエリング (\%)}$ $R = 0.9 \exp(-(\beta + 0.25)^2 / 0.7) + \exp(A)$ $A = -1.917 + 11.27\beta - 12.89\beta^2 + 6.539\beta^3 - 1.8\beta^4$ $\tau = 2.1826\beta + 4.149 \pm 3\sigma$ $\sigma = 0.5542$ $\alpha = 0.75$ <p style="margin-left: 40px;"><math>\phi t</math> : 中性子照射量(<math>n/m^3</math>, <math>E &gt; 0.1 MeV</math>)</p> <p style="margin-left: 40px;"><math>\beta = (T-500)/100</math></p> <p style="margin-left: 40px;"><math>T</math> : 照射温度(°C)</p> <p style="margin-left: 40px;">適用範囲</p> <p style="margin-left: 60px;">照射温度 : 380~850°C</p> <p style="margin-left: 60px;">照射量 : <math>0 \sim 1.3 \times 10^{28} n/cm^3</math>, <math>E &gt; 0.1 MeV</math></p>
PNC316 鋼 照射クリープ式	$\varepsilon = B_0 \cdot \phi_t \cdot \sigma + D \cdot \varepsilon_S \cdot \sigma + K \cdot t^{1.9} \cdot \sigma^{2.4}$ <p style="margin-left: 40px;"><math>\varepsilon</math> : 照射クリープひずみ(<math>mm/mm</math>)</p> <p style="margin-left: 40px;"><math>\phi t</math> : 中性子照射量(<math>10^{26} n/m^3</math>, <math>E &gt; 0.1 MeV</math>)</p> <p style="margin-left: 40px;"><math>\sigma</math> : 負荷応力(MPa)</p> <p style="margin-left: 40px;"><math>K</math> : 热クリープ係数(<math>h^{-1.9} \cdot MPa^{-2.4}</math>)</p>

	<p><math>t</math> : 照射時間(h)</p> <p><math>B_0</math> : 照射クリープ係数(<math>10^{26} \text{n/m}^3</math>)<math>^{-1}</math>(MPa)<math>^{-1}</math></p> <p><math>T</math> : 照射温度(K)</p> <p><math>D</math> : スエリング係数との相互作用係数(MPa)<math>^{-1}</math></p> <p><math>\varepsilon_s</math> : スエリングひずみ(-)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th><th><math>B_0</math></th><th><math>D</math></th><th>K</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ノミナル式</td><td><math>3.98 \times 10^{-6}</math></td><td><math>5.5 \times 10^{-3}</math></td><td><math>2.20 \times 10^{-3} \exp(-23900/T)</math></td></tr> <tr> <td>上限式</td><td><math>6.36 \times 10^{-6}</math></td><td><math>8.2 \times 10^{-3}</math></td><td><math>2.88 \times 10^{-3} \exp(-23900/T)</math></td></tr> <tr> <td>下限式</td><td><math>2.17 \times 10^{-6}</math></td><td><math>3.8 \times 10^{-3}</math></td><td><math>1.76 \times 10^{-3} \exp(-23900/T)</math></td></tr> </tbody> </table> <p>適用範囲 照射温度 405~670°C 中性子照射量 : <math>\sim 40 \times 10^{26} \text{n/m}^2</math> (E&gt;0.1MeV)</p>		$B_0$	$D$	K	ノミナル式	$3.98 \times 10^{-6}$	$5.5 \times 10^{-3}$	$2.20 \times 10^{-3} \exp(-23900/T)$	上限式	$6.36 \times 10^{-6}$	$8.2 \times 10^{-3}$	$2.88 \times 10^{-3} \exp(-23900/T)$	下限式	$2.17 \times 10^{-6}$	$3.8 \times 10^{-3}$	$1.76 \times 10^{-3} \exp(-23900/T)$
	$B_0$	$D$	K														
ノミナル式	$3.98 \times 10^{-6}$	$5.5 \times 10^{-3}$	$2.20 \times 10^{-3} \exp(-23900/T)$														
上限式	$6.36 \times 10^{-6}$	$8.2 \times 10^{-3}$	$2.88 \times 10^{-3} \exp(-23900/T)$														
下限式	$2.17 \times 10^{-6}$	$3.8 \times 10^{-3}$	$1.76 \times 10^{-3} \exp(-23900/T)$														
SUS316 溶体化処理材 照射クリープ式	$\varepsilon = (B_0 \cdot \phi t + DS) \cdot \sigma$ <p><math>\varepsilon</math> : 照射クリープひずみ(mm/mm)</p> <p><math>\sigma</math> : 相当応力(kgf/mm<math>^2</math>)</p> <p><math>\phi t</math> : 中性子照射量(n/m<math>^3</math>, E&gt;0.1MeV)</p> <p><math>B_0</math> : 照射クリープ係数(<math>10^{26} \text{n/m}^3</math>)<math>^{-1}</math>(MPa)<math>^{-1}</math></p> <p><math>D</math> : スエリング係数(MPa)<math>^{-1}</math></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th><th><math>B_0</math></th><th><math>D</math></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ノミナル式</td><td><math>3.98 \times 10^{-6}</math></td><td><math>5.5 \times 10^{-3}</math></td></tr> <tr> <td>上限式</td><td><math>6.36 \times 10^{-6}</math></td><td><math>8.2 \times 10^{-3}</math></td></tr> <tr> <td>下限式</td><td><math>2.17 \times 10^{-6}</math></td><td><math>3.8 \times 10^{-3}</math></td></tr> </tbody> </table> <p>適用範囲 照射温度 : 380~850°C 照射量 : <math>\sim 1.3 \times 10^{23} (\text{n/m}^2, \text{ E}&gt;0.1\text{MeV})</math></p>		$B_0$	$D$	ノミナル式	$3.98 \times 10^{-6}$	$5.5 \times 10^{-3}$	上限式	$6.36 \times 10^{-6}$	$8.2 \times 10^{-3}$	下限式	$2.17 \times 10^{-6}$	$3.8 \times 10^{-3}$				
	$B_0$	$D$															
ノミナル式	$3.98 \times 10^{-6}$	$5.5 \times 10^{-3}$															
上限式	$6.36 \times 10^{-6}$	$8.2 \times 10^{-3}$															
下限式	$2.17 \times 10^{-6}$	$3.8 \times 10^{-3}$															

付 錄-2

設 計 テ 一 夕

付表 2-1 粗調整棒発熱内訳（設計値）

単位：(kW/集合体)

項目		評価時期	1サイクル	1サイクル	1サイクル
		BOC	MOC	EOC	
吸収材高さ 相当部発熱	保護管内部	吸収材ペレット総発熱量	139.3	104.4	67.1
		ナトリウム総発熱量	2.1	1.5	0.9
		被覆管(ワイヤスペーサを含む)総発熱量	15.0	10.7	6.2
		保護管総発熱量	5.2	3.8	2.2
保護管外部	保護管～案内管間ナトリウム総発熱量	1.8	1.3	0.7	
	案内管総発熱量	9.6	6.9	3.9	
	案内管外側ナトリウム総発熱量	2.3	1.6	0.9	
	吸収材部分小計（軸方向長：80cm）	175.3	130.2	81.9	
吸収材下端位置より下部の総発熱量	Na	13.1	17.2	23.0	
	SUS	74.9	84.5	89.0	
吸収材上端位置より上部の総発熱量		2.3	1.8	1.3	
総発熱量		265.6	233.7	195.2	
軸方向ピーピング係数：Fz (第2列ピン)		2.567	3.006	3.575	

付表 2-2 粗調整棒集合体及びピン毎  $^{10}\text{B}(n,\alpha)$  反応率（設計値）

単位：[reaction/s]

評価時期 項目	BOC		MOC		EOC	
	反応率	不確かさ幅	反応率	不確かさ幅	反応率	不確かさ幅
集合体*	$2.653 \times 10^{17}$	±15%	$2.004 \times 10^{17}$	±15%	$1.309 \times 10^{17}$	±15%
中心ピン**	$1.201 \times 10^{16}$	±20%	$8.991 \times 10^{15}$	±20%	$5.748 \times 10^{15}$	±20%
第1列ピン**	$1.243 \times 10^{16}$	±20%	$9.314 \times 10^{15}$	±20%	$5.977 \times 10^{15}$	±20%
第2列ピン**	$1.489 \times 10^{16}$	±20%	$1.129 \times 10^{16}$	±20%	$7.449 \times 10^{15}$	±20%

\* 19 ピン

\*\* 単ピン当り

付表 2-3 中性子束最大値（設計値）

単位：n/cm<sup>2</sup>・s

	BOC	MOC	EOC
全中性子束	$5.93 \times 10^{15}$	$6.06 \times 10^{15}$	$6.12 \times 10^{15}$
高速中性子束 (0.1MeV 以上)	$3.60 \times 10^{15}$	$3.68 \times 10^{15}$	$3.74 \times 10^{15}$

不確かさ幅±10%

付表 2-4(1/2) 軸方向温度分布 (BOC、Pin No.10)

MONJU CCR(BOC) ~ NOMINAL ~

1985.7. 2

PAGE = 97

\*\*\* PIN NO. 10 \*\*\*

COOLANT		CLADDING		PELLET		POWER		SODIUM	CLAD	PELLET		
NODE NO.	DIST. (CM)	S.C. TEMPERATURE (DEG C)	OUT TEMP. (DEG C)	MID TEMP. (DEG C)	IN TEMP. (DEG C)	OUT TEMP. (DEG C)	CENT TEMP (DEG C)	AV. TEMP. (DEG C)	CLAD (W/CM)	PELLET (W/CM)	NU (W/CM.C)	K (W/CM.C)
0	0.0	9	412.300	412.300	412.300	412.300	412.300	412.300	0.0	0.0	3.8034	0.1856 0.08828
1	2.0	9	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	0.0	0.0	4.0413	0.1856 0.08828
2	4.0	9	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	0.0	0.0	3.9533	0.1856 0.08828
3	6.0	9	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	0.0	0.0	3.7872	0.1856 0.08828
4	8.0	9	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	0.0	0.0	3.8907	0.1856 0.08828
5	10.0	9	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	0.0	0.0	4.2661	0.1856 0.08828
6	12.0	9	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	0.0	0.0	4.1772	0.1856 0.08828
7	14.0	9	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	0.0	0.0	4.0868	0.1856 0.08828
8	16.0	9	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	0.0	0.0	4.2361	0.1856 0.08828
9	18.0	9	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	0.0	0.0	4.3017	0.1856 0.08828
10	20.0	9	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	0.0	0.0	4.2987	0.1856 0.08828
11	22.0	9	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	0.0	0.0	4.0894	0.1856 0.08828
12	24.0	9	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	0.0	0.0	4.1507	0.1856 0.08828
13	26.0	9	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	0.0	0.0	4.2674	0.1856 0.08828
14	28.0	9	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	0.0	0.0	4.1000	0.1856 0.08828
15	30.0	9	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	412.299	0.0	0.0	3.9869	0.1856 0.08828
16	32.0	9	417.925	426.738	460.303	496.796	1145.083	1405.014	1275.048	31.046	208.358	4.1671 0.1856 0.08828
17	34.0	9	422.440	431.168	461.699	494.892	1111.919	1356.299	1234.109	29.109	271.106	4.3276 0.1918 0.08828
18	36.0	9	426.416	434.106	462.849	494.099	1081.964	1312.256	1197.110	27.506	255.477	4.2361 0.1920 0.08828
19	38.0	9	429.871	436.831	464.179	493.913	1058.504	1277.793	1168.149	26.192	243.271	4.1314 0.1922 0.08828
20	40.0	9	433.127	440.271	466.431	494.873	1039.080	1249.027	1144.053	25.076	232.907	4.2322 0.1923 0.08828
21	42.0	9	436.518	443.618	468.653	495.870	1020.801	1222.019	1121.410	24.033	223.225	4.4226 0.1926 0.08828
22	44.0	9	439.070	445.493	469.447	495.490	1002.115	1194.937	1098.526	23.031	213.909	4.2467 0.1929 0.08828
23	46.0	9	441.367	447.234	470.171	495.107	983.902	1168.633	1076.267	22.064	204.934	4.1608 0.1930 0.08828
24	48.0	9	443.632	449.729	471.672	495.527	966.415	1143.222	1054.819	21.110	196.143	4.2429 0.1931 0.08828
25	50.0	9	445.754	451.880	472.830	495.607	948.730	1117.714	1033.222	20.183	187.464	4.3323 0.1933 0.08828
26	52.0	9	447.507	452.957	472.928	494.641	930.233	1091.448	1010.841	19.256	178.847	4.1722 0.1935 0.08828
27	54.0	9	449.135	454.202	473.222	493.900	911.901	1065.445	988.673	18.339	170.336	4.0257 0.1935 0.08828
28	56.0	9	450.782	455.923	473.995	493.644	893.822	1039.746	966.784	17.429	161.863	4.2112 0.1935 0.08828
29	58.0	9	451.443	456.472	473.596	492.214	874.754	1013.096	943.925	16.524	153.472	4.3372 0.1936 0.08828
30	60.0	9	452.819	457.200	473.393	490.998	855.646	986.425	921.036	15.620	145.082	4.1883 0.1936 0.08828
31	62.0	9	454.034	458.017	473.290	489.895	836.661	959.996	898.328	14.731	136.824	4.1273 0.1935 0.08828
32	64.0	9	455.286	459.343	473.703	489.315	817.974	933.928	875.951	13.850	128.636	4.2927 0.1935 0.08828
33	66.0	9	456.666	460.543	473.996	488.621	799.156	907.811	853.483	12.978	120.539	4.4334 0.1936 0.08828
34	68.0	9	457.619	460.972	473.523	487.170	779.601	881.002	830.302	12.111	112.492	4.2195 0.1936 0.08828
35	70.0	9	458.421	461.441	473.105	485.787	759.958	854.160	807.059	11.252	104.506	4.1699 0.1936 0.08828
36	72.0	9	459.224	462.310	473.090	484.809	740.419	827.452	783.936	10.395	96.552	4.2882 0.1935 0.08828
37	74.0	9	459.426	462.362	472.289	483.083	720.755	800.911	760.833	9.574	88.922	4.3282 0.1935 0.08828
38	76.0	9	459.254	461.715	470.815	480.709	700.681	774.115	737.398	8.771	81.466	4.1273 0.1934 0.08828
39	78.0	9	458.882	461.109	469.424	478.465	681.271	748.303	714.787	8.006	74.363	4.0253 0.1932 0.08828
40	80.0	9	458.636	460.832	468.419	476.669	663.269	724.377	693.823	7.299	67.792	4.2740 0.1930 0.08828
41	82.0	9	457.738	459.748	466.604	474.059	644.299	699.483	671.891	6.591	61.220	4.3468 0.1929 0.08828
42	84.0	9	458.372	460.031	466.286	473.087	629.395	679.679	654.537	6.006	55.704	4.1454 0.1927 0.08828
43	86.0	9	458.881	460.354	466.015	472.170	614.675	660.172	637.423	5.434	50.475	4.1323 0.1926 0.08828

付2(4)

31.0 cm

付表 2-4(2/2) 軸方向温度分布 (BOC、Pin No.10)

MONJU CCR(BOC) → NOMINAL →

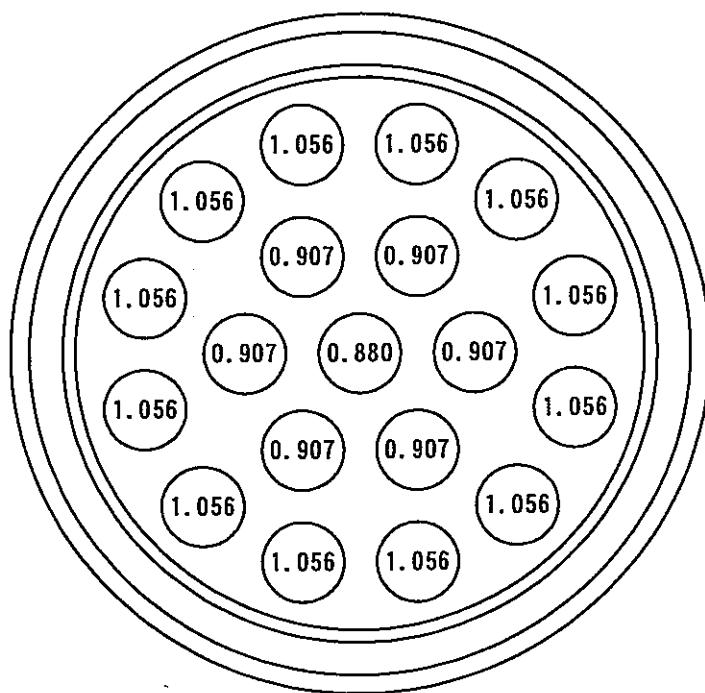
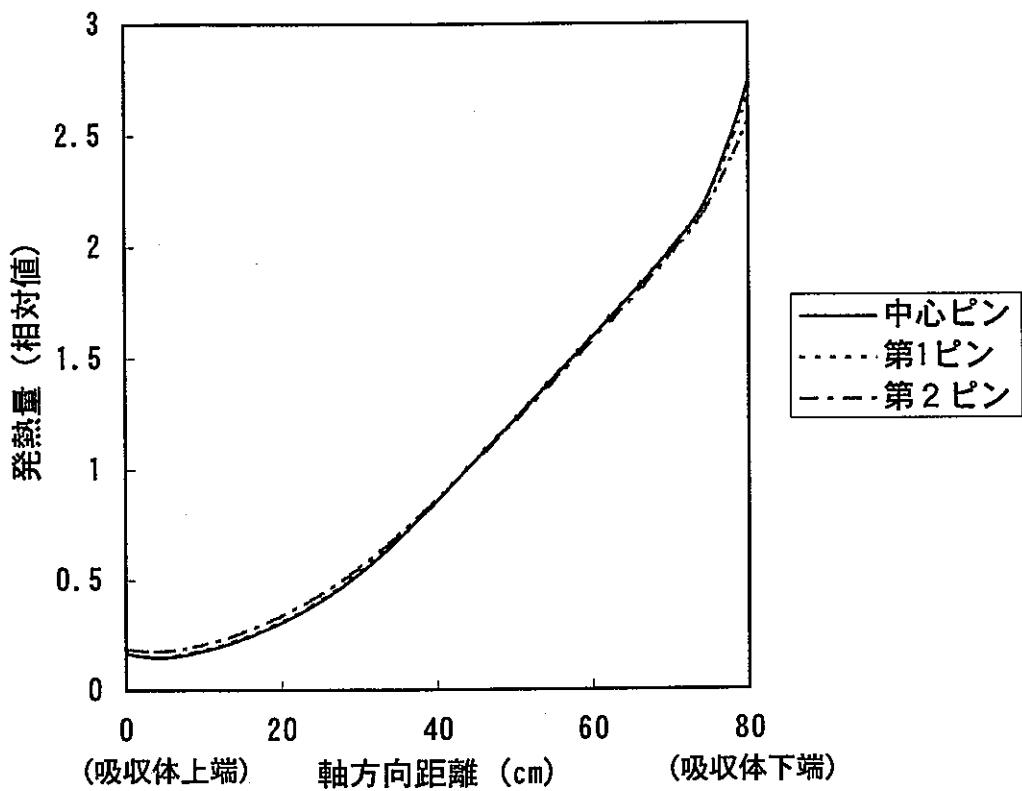
1985.7. 2

PAGE # 98

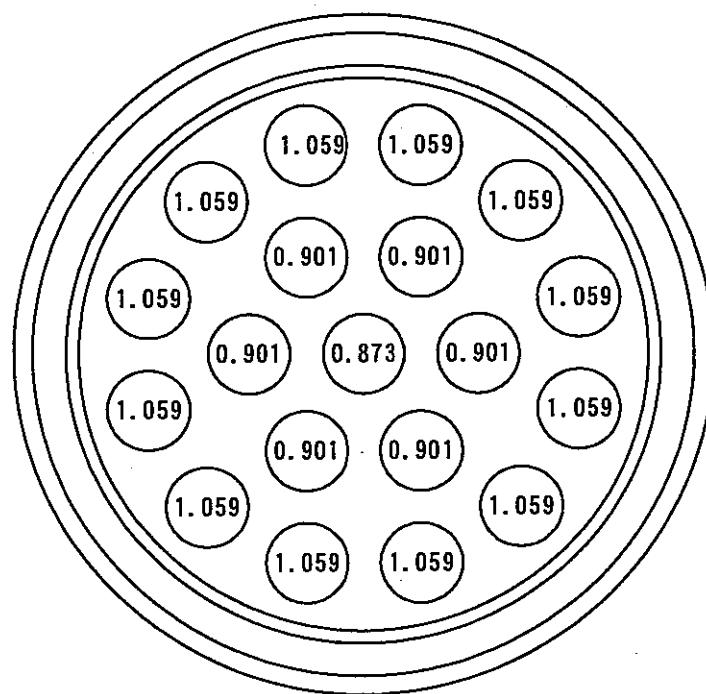
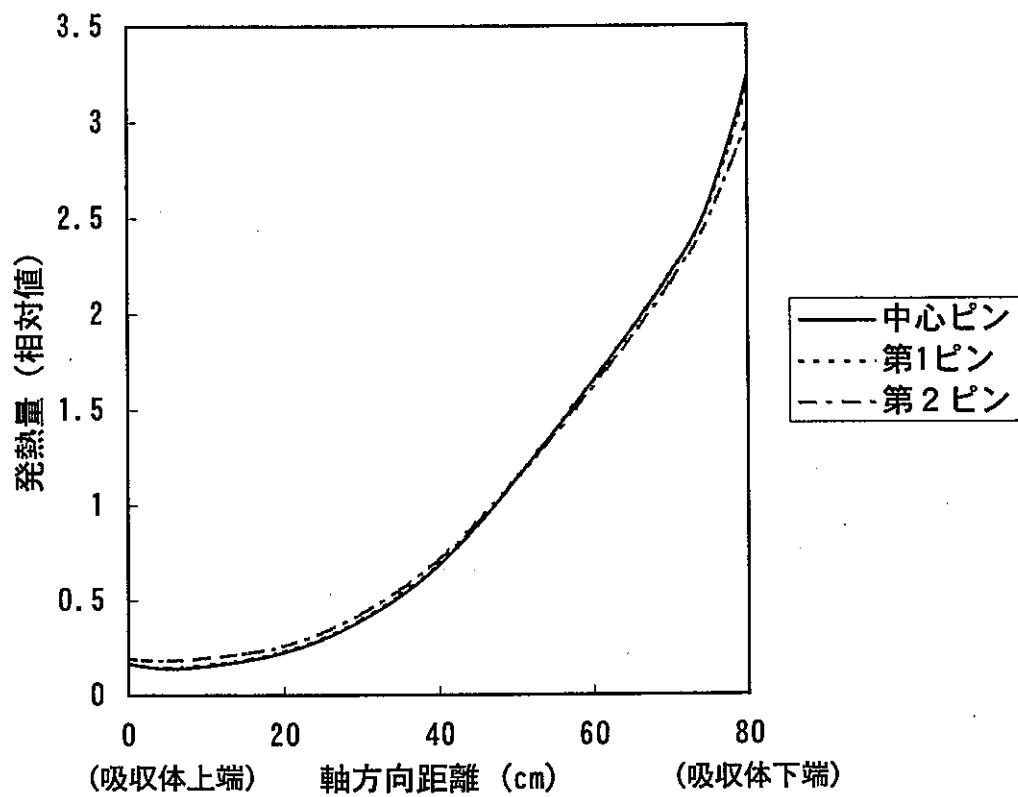
\*\*\* PIN NO. 10 \*\*\*

NODE DIST	S.C. TEMPERATURE	COOLANT			CLADDING			PELLET			POWER			SODIUM	CLAD	PELLET
		NO. (CM)	(CM)	(DEG C)	OUT TEMP.	NID TEMP.	IN TEMP.	OUT TEMP.	CENT TEMP	AV. TEMP.	CLAD	PELLET	NU	K	K	
44	88.0 9	459.339	460.807	465.921	471.481	601.097	642.192	621.645	4.908	45.590	4.3599	0.1926	0.08828			
45	90.0 9	459.841	461.172	465.810	470.852	589.127	626.393	607.760	4.451	41.343	4.4407	0.1926	0.08828			
46	92.0 9	460.201	461.282	465.444	469.969	576.795	610.234	593.515	3.994	37.096	4.1603	0.1926	0.08828			
47	94.0 9	460.516	461.492	465.275	469.389	566.987	597.378	582.183	3.630	33.716	4.1696	0.1925	0.08828			
48	96.0 9	460.653	461.651	465.066	468.779	557.329	584.759	571.044	3.276	30.431	4.3629	0.1925	0.08828			
49	98.0 9	460.015	460.926	464.021	467.386	548.059	572.914	560.487	2.969	27.574	4.3287	0.1925	0.08828			
50	100.0 10	459.809	460.844	463.692	466.789	541.261	564.119	552.690	2.730	25.359	5.5307	0.1923	0.08828			
51	102.0 10	459.632	460.582	463.181	466.009	534.247	555.106	544.677	2.492	23.143	5.5022	0.1923	0.08828			
52	104.0 10	459.407	460.312	462.778	465.460	530.321	550.103	540.212	2.363	21.946	5.4766	0.1922	0.08828			
53	106.0 10	459.227	460.081	462.427	464.977	526.765	545.571	536.168	2.246	20.863	5.5086	0.1922	0.08828			
54	108.0 10	459.274	460.126	462.466	465.011	526.653	545.413	536.033	2.241	20.813	5.5110	0.1921	0.08828			
55	110.0 10	459.300	460.169	462.556	465.151	527.971	547.104	537.538	2.285	21.227	5.5087	0.1921	0.08828			
56	112.0 10	459.358	459.358	459.358	459.358	459.358	459.358	459.358	0.0	0.0	5.5578	0.1921	0.08828			
57	114.0 10	459.507	459.507	459.507	459.507	459.507	459.507	459.507	0.0	0.0	5.5925	0.1917	0.08828			
58	116.0 10	459.725	459.725	459.725	459.725	459.725	459.725	459.725	0.0	0.0	5.5944	0.1917	0.08828			
59	118.0 10	459.878	459.878	459.878	459.878	459.878	459.878	459.878	0.0	0.0	5.5703	0.1918	0.08828			
60	120.0 10	459.945	459.945	459.945	459.945	459.945	459.945	459.945	0.0	0.0	5.5814	0.1918	0.08828			
61	122.0 10	459.662	459.662	459.662	459.662	459.662	459.662	459.662	0.0	0.0	5.5584	0.1918	0.08828			
62	124.0 10	459.338	459.338	459.338	459.338	459.338	459.338	459.338	0.0	0.0	5.5280	0.1918	0.08828			
63	126.0 10	458.910	458.910	458.910	458.910	458.910	458.910	458.910	0.0	0.0	5.4991	0.1917	0.08828			
64	128.0 10	458.477	458.477	458.477	458.477	458.477	458.477	458.477	0.0	0.0	5.4735	0.1917	0.08828			
65	130.0 10	458.062	458.062	458.062	458.062	458.062	458.062	458.062	0.0	0.0	5.5083	0.1916	0.08828			
66	132.0 10	457.810	457.810	457.810	457.810	457.810	457.810	457.810	0.0	0.0	5.5101	0.1915	0.08828			
67	134.0 10	457.598	457.598	457.598	457.598	457.598	457.598	457.598	0.0	0.0	5.5079	0.1915	0.08828			
68	136.0 10	457.563	457.563	457.563	457.563	457.563	457.563	457.563	0.0	0.0	5.5576	0.1915	0.08828			
69	138.0 10	457.607	457.607	457.607	457.607	457.607	457.607	457.607	0.0	0.0	5.5922	0.1915	0.08828			
70	140.0 10	457.739	457.739	457.739	457.739	457.739	457.739	457.739	0.0	0.0	5.5938	0.1915	0.08828			
71	142.0 10	457.811	457.811	457.811	457.811	457.811	457.811	457.811	0.0	0.0	5.5678	0.1915	0.08828			
72	144.0 10	457.812	457.812	457.812	457.812	457.812	457.812	457.812	0.0	0.0	5.5771	0.1915	0.08828			
73	146.0 10	457.513	457.513	457.513	457.513	457.513	457.513	457.513	0.0	0.0	5.5538	0.1915	0.08828			
74	148.0 10	457.176	457.176	457.176	457.176	457.176	457.176	457.176	0.0	0.0	5.5225	0.1915	0.08828			
75	150.0 10	456.755	456.755	456.755	456.755	456.755	456.755	456.755	0.0	0.0	5.4937	0.1914	0.08828			
76	152.0 10	456.339	456.339	456.339	456.339	456.339	456.339	456.339	0.0	0.0	5.4684	0.1914	0.08828			
77	154.0 10	455.937	455.937	455.937	455.937	455.937	455.937	455.937	0.0	0.0	5.5063	0.1913	0.08828			
78	156.0 10	455.651	455.651	455.651	455.651	455.651	455.651	455.651	0.0	0.0	5.5079	0.1913	0.08828			
79	158.0 10	455.456	455.456	455.456	455.456	455.456	455.456	455.456	0.0	0.0	5.5061	0.1912	0.08828			
80	160.0 10	455.403	455.403	455.403	455.403	455.403	455.403	455.403	0.0	0.0	5.5563	0.1912	0.08828			
81	162.0 10	455.419	455.419	455.419	455.419	455.419	455.419	455.419	0.0	0.0	5.5909	0.1912	0.08828			

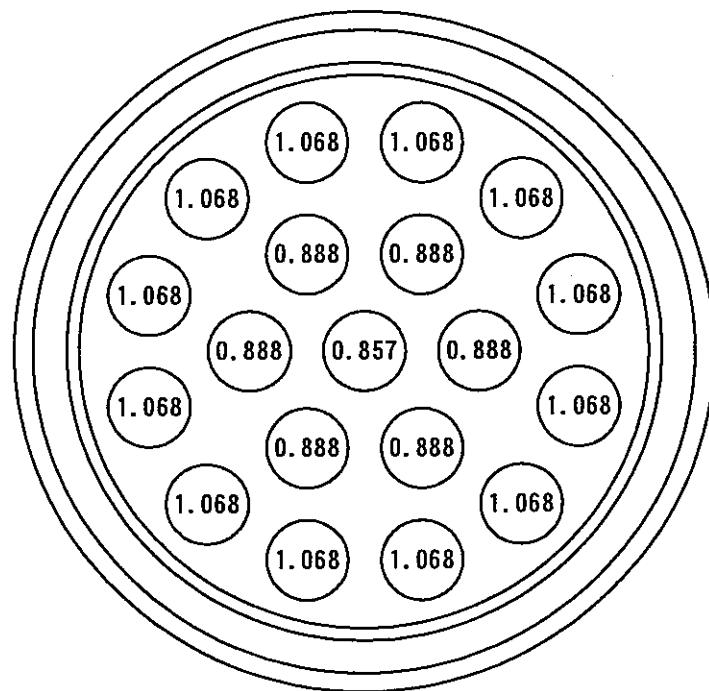
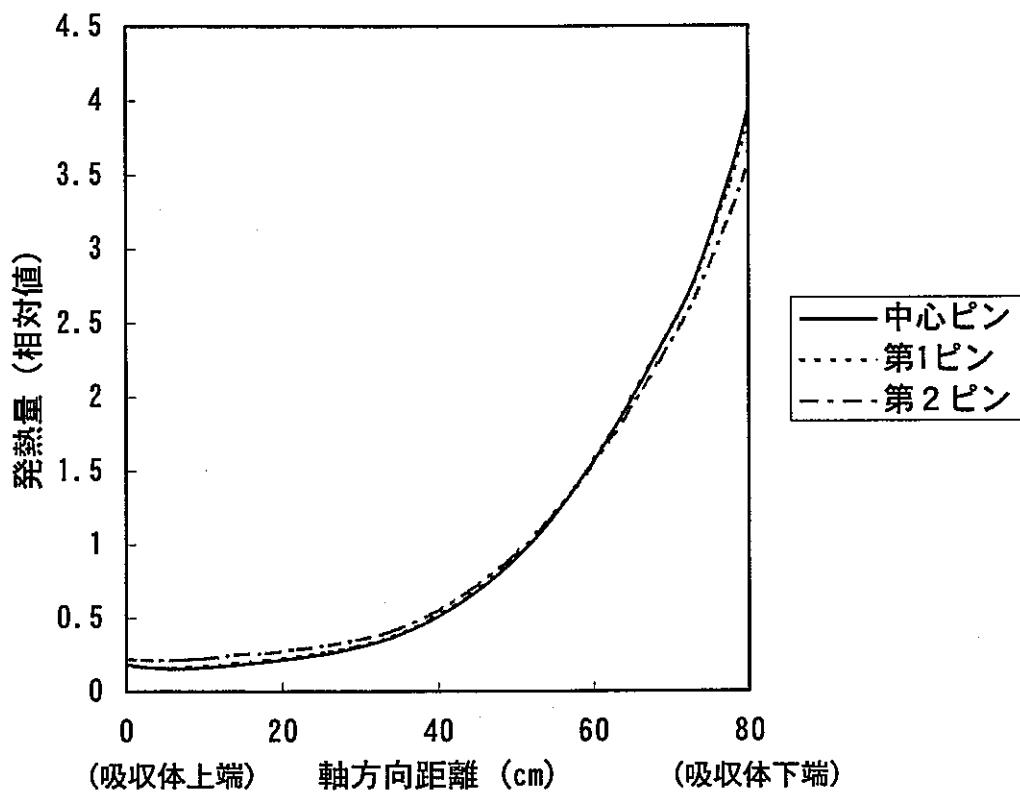
付-2(5)  
11(Cm)



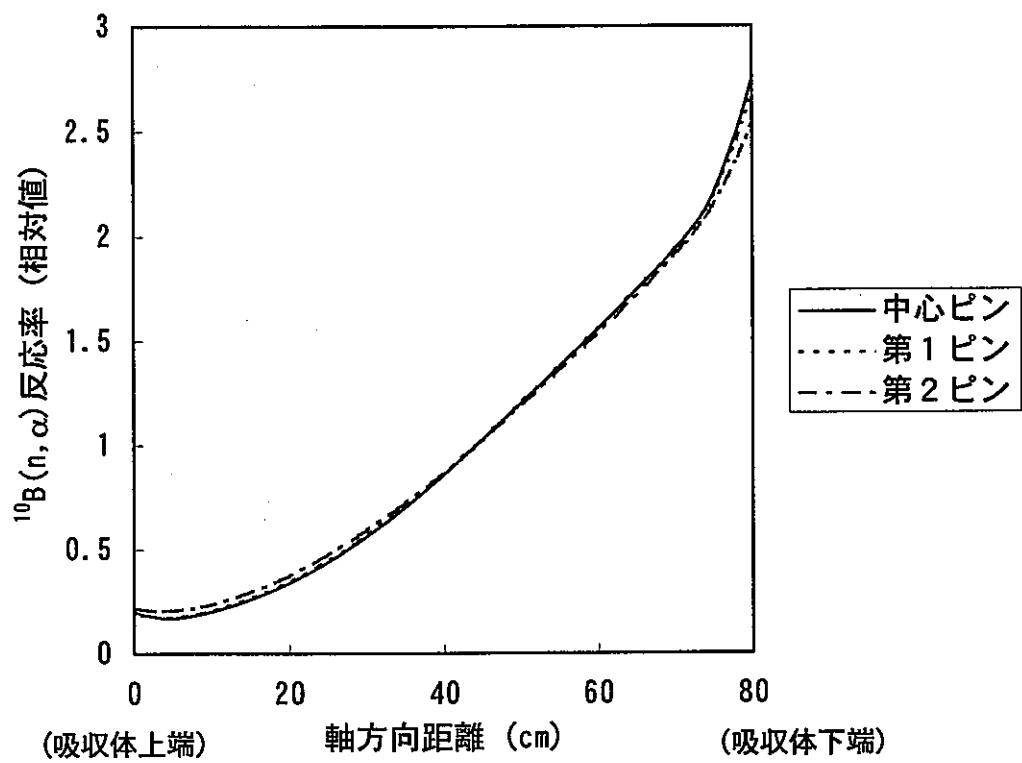
付図2-1 軸方向及び径方向発熱分布 (CCR、BOC)



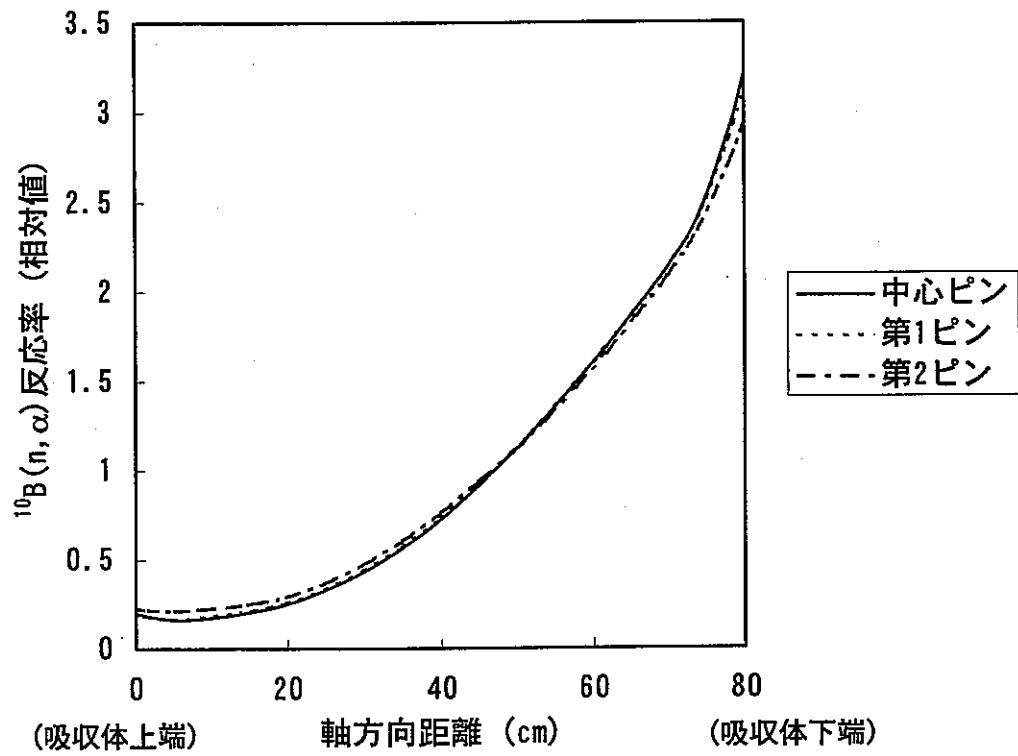
付図2-2 軸方向及び径方向発熱分布 (CCR、MOC)



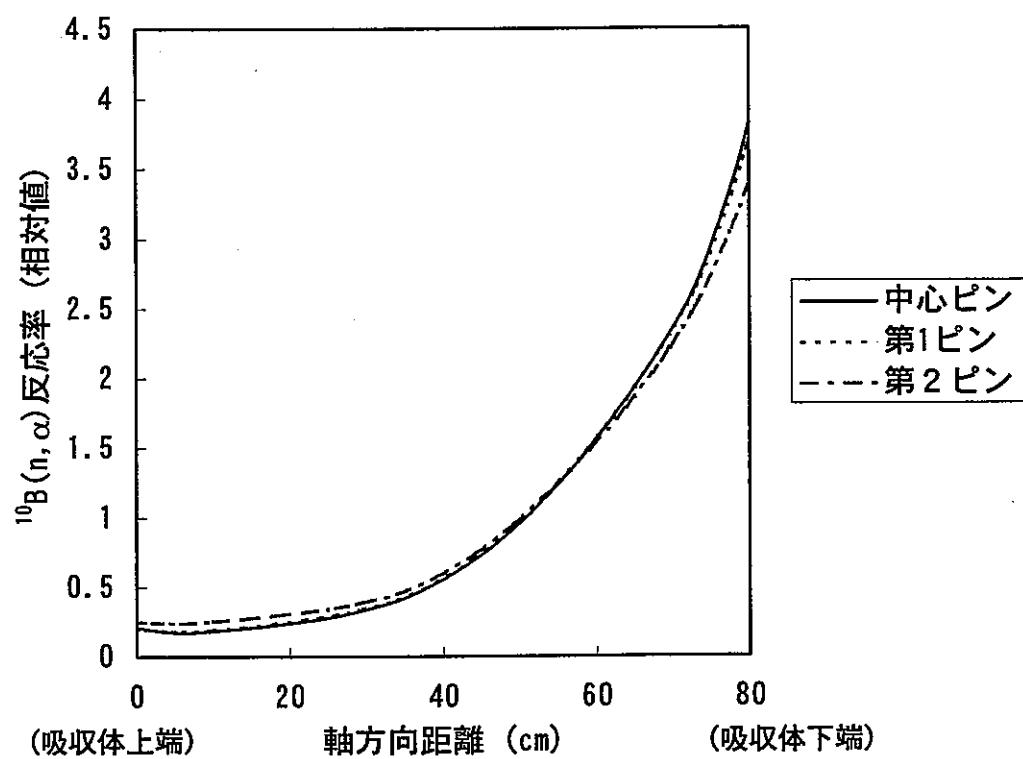
付図2-3 軸方向及び径方向発熱分布 (CCR、EOC)



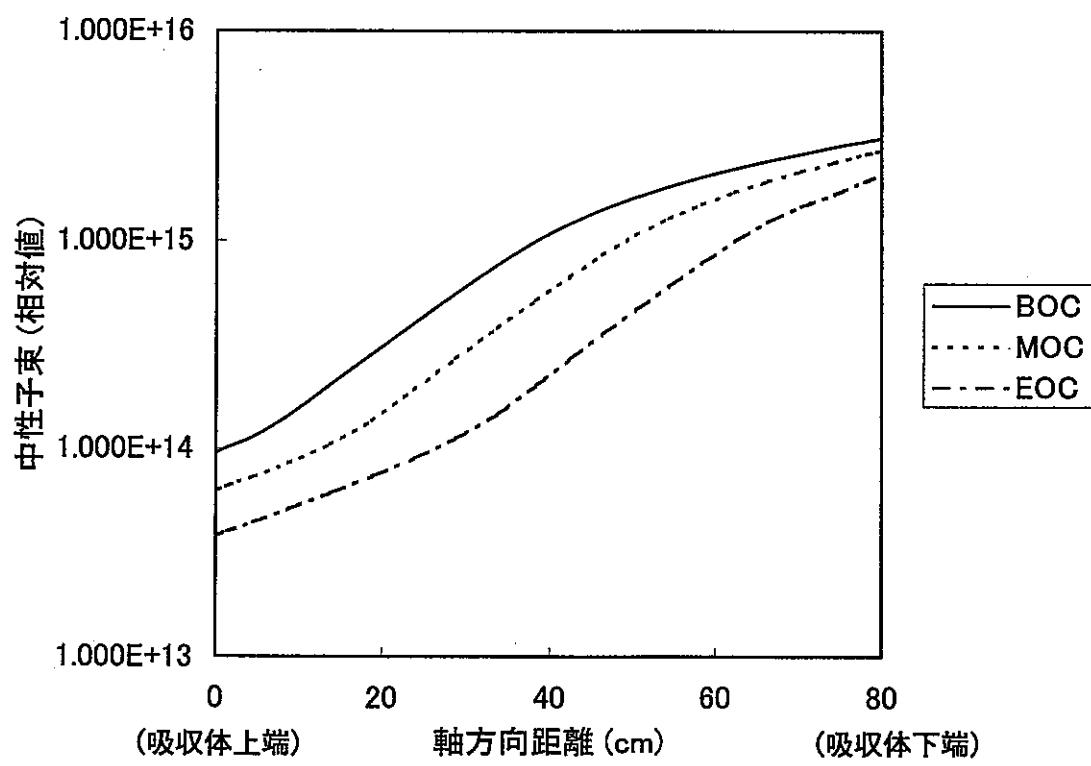
付図2-4 軸方向 $^{10}\text{B}(\text{n}, \alpha)$ 反応率分布 (BOC)



付図2-5 軸方向 $^{10}\text{B}(\text{n},\alpha)$ 反応率分布 (MOC)



付図2-6 軸方向 $^{10}\text{B}(\text{n}, \alpha)$ 反応率分布 (EOC)



付図2-7 中性子束軸方向分布相対値(設計値)