

分置

低減速炉用 7 本バンドル稠密模擬  
燃料集合体の X 線 CT 試験結果  
(技術報告書)

2004年 9月

核燃料サイクル開発機構  
大洗工学センター

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

電話：029-282-1122（代表）

ファックス：029-282-7980

電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquiries 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-Ken 319-1184, Japan

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

2004

# 低減速炉用 7 本バンドル稠密模擬燃料集合体の X 線 CT 試験結果

(技術報告書)

報告者 勝山幸三<sup>1)</sup> 永峯剛<sup>1)</sup> 松元慎一郎<sup>1)</sup>

## 要旨

日本原子力研究所を中心に低減速炉の開発が進められ、その一環として「低減速炉用高稠密格子燃料集合体の除熱技術開発」が実施されている。その際、熱流動試験で用いられた 7 本バンドル稠密模擬燃料集合体の内部状況について、より正確に把握する必要が生じた。

その把握には、核燃料サイクル開発機構大洗工学センターに設置されている X 線コンピュータトモグラフィ (X 線 CT) 装置を使い、非破壊で実施することが最適と判断された。その結果、本試験研究に関しては、両機関の共同研究として行うこととなった。

本試験を実施するにあたっては、X 線 CT 装置で非照射試験体（放射能で汚染されていない物）を測定することとなるため、対象物を汚染させないための技術開発を必要とした。本共同研究のなかでその技術を確立したことにより、汚染させずに模擬試験体や未照射の燃料集合体等の X 線 CT 測定が可能となった。そのことにより、照射前後の結果を比較することが可能となり、以前よりより高度のデータ取得が期待できるようになった。

測定した 7 本バンドル稠密模擬燃料試験体の内部状況については、外側燃料要素の一つ (L1) が 0.46mm 変位していた。また、要素間距離では中心燃料要素 (H) と外側燃料要素 (L6) がノミナル 1.3mm に対し 1.0mm まで接近していた。外側燃料要素とその外側のシラウドとの距離については、L6 でノミナル 0.65mm に対し、0.24mm まで接近していた。

本報告書は、共同研究のなかで、以上述べたような核燃料サイクル開発機構側で実施した内容を取りまとめたものである。

1) 核燃料サイクル開発機構 照射施設運転管理センター 燃料材料試験部 照射燃料集合体試験室

## Observation of the Tight-Lattice Rod Bundle using the X-Ray CT Technique

KOZO KATSUYAMA<sup>1)</sup> TSUYOSHI NAGAMINE<sup>1)</sup> SHIN-ICHIRO MATSUMOTO<sup>1)</sup>

### Abstract

The Reduced-Moderation Water Reactor (RMWR) is under development by Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI). As part of the development, the examination of cooling performance for tight lattice fuel bundles to be used for RMWR has been carried out. And then, it was requested to observe the inner conditions of tight lattice fuel bundle, which consists of 7 imitation rods, after the fluid flow experiment.

In order to achieve this purpose, it was judged that using X-ray computer tomography (CT) apparatus, which was installed in Fuels Monitoring Facility of Japan Nuclear Cycle development institute (JNC), and measuring them un-destructively were the best selections. Consequently, this study was started as joint research between JAERI and JNC.

In the implementation of this joint research, it needed to develop the technique of applying X-ray CT to the measurement of a clean object without radioactive contamination. Establishing this technique make it possible to observe an un-irradiated fuel assembly in addition to an irradiation one, and this enables us to evaluate more detailed behavior of a fuel assembly irradiated in JOYO.

As the result of observing the tight lattice fuel bundle of 7 rods using X-ray CT, it can be seen that 0.46mm displacement of L1 rod (one of peripheral rods) was measured and the clearance between H rod (center rod) and L6 rod (peripheral rod) was about 1.0mm. Furthermore, it should be noted that L1 rod approached flow shroud to the distance of 0.24mm, which nominal size was 0.65mm.

This report contains above-mentioned results, which were gained by JNC among the joint studies.

---

1) JNC, O-arai Engineering Center, Irradiation Center, Fuels and Materials Division, Fuel Monitoring Section

## 目次

1. はじめに
2. 7本バンドル稠密燃料集合体の概要
3. X線CT試験における汚染防止対策の確立
  - 3.1 X線CT試験における汚染防止対策の検討
  - 3.2 7本バンドル稠密燃料集合体の搬出入作業の実施
4. 7本バンドル稠密燃料集合体のX線CT試験結果
  - 4.1 X線CT試験計画について
  - 4.2 X線CT試験結果
  - 4.3 CT画像の定量化
5. おわりに
6. 謝辞
7. 参考文献

## 図、写真リスト

図 1 7本バンドル稠密燃料集合体	10
図 3.1 気密容器	11
図 3.2 気密容器の汚染拡大防止策	12
図 3.3 試料搬入経路	13
図 3.4 試料搬出経路	14
図 3.5 トランスクレート移送用治具	15
図 3.6 クレーン吊りかえ用治具	16
図 4.1 7本バンドル稠密燃料集合体の X 線 CT 試験撮像位置	17
図 4.2 X 線 CT 画像	18
図 4.3 高熱流速部 CT 撮像結果	19
図 4.4 数値化処理による燃料要素変位量測定結果(軸位置 660mm)	20
図 4.5 数値化処理による燃料要素変位量測定結果(軸位置 720mm)	21
図 4.6 燃料要素変位量の軸方向分布(燃料要素 H)	22
図 4.7 燃料要素変位量の軸方向分布(燃料要素 L1)	23
図 4.8 燃料要素変位量の軸方向分布(燃料要素 L2)	24
図 4.9 燃料要素変位量の軸方向分布(燃料要素 L3)	25
図 4.10 燃料要素変位量の軸方向分布(燃料要素 L4)	26
図 4.11 燃料要素変位量の軸方向分布(燃料要素 L5)	27
図 4.12 燃料要素変位量の軸方向分布(燃料要素 L6)	28
図 4.13 燃料要素 H における隣接燃料要素との中心座標間距離	29
図 4.14 燃料要素 L1 における隣接燃料要素との中心座標間距離	30
図 4.15 燃料要素 L2 における隣接燃料要素との中心座標間距離	31
図 4.16 燃料要素 L3 における隣接燃料要素との中心座標間距離	32
図 4.17 燃料要素 L4 における隣接燃料要素との中心座標間距離	33
図 4.18 燃料要素 L5 における隣接燃料要素との中心座標間距離	34
図 4.19 燃料要素 L6 における隣接燃料要素との中心座標間距離	35
図 4.20 燃料要素とフローシュラウドの距離(燃料要素 L1)	36
図 4.21 燃料要素とフローシュラウドの距離(燃料要素 L2)	37
図 4.22 燃料要素とフローシュラウドの距離(燃料要素 L3)	38
図 4.23 燃料要素とフローシュラウドの距離(燃料要素 L4)	39
図 4.24 燃料要素とフローシュラウドの距離(燃料要素 L5)	40
図 4.25 燃料要素とフローシュラウドの距離(燃料要素 L6)	41

写真 1 サービスエリア搬入作業	42
写真 2 サービスエリア搬入作業	42
写真 3 1重目養生後の気密容器	43
写真 4 2重目養生後の気密容器	43
写真 5 気密容器の吊り上げ	44
写真 6 第2コンタクトリペア室への搬入	44
写真 7 気密容器の吊り上げ	45
写真 8 トランスクアート内気密容器搬入	45
写真 9 第2試験セルでの試料収納容器取り出し	46
写真 10 ピンラック保管ビット仮置き	46
写真 11 X線CT装置への設置	47
写真 12 外側養生の剥離作業(1)	47
写真 13 外側養生の剥離作業(2)	48
写真 14 サービスエリアへの搬出	48

## 1. はじめに

日本原子力研究所（原研）を中心に低減速炉の開発が進められ、その一環として「低減速炉用高稠密格子燃料集合体の除熱技術開発」が実施されている。低減速炉は、軽水炉で培われた技術を基礎として、MOX 燃料を使用し、ウラン資源の長期的有効利用等を可能とする革新的な水冷却炉である。そこで使用される高稠密格子燃料集合体は、燃料要素の稠密配置によって高速炉に近い中性子スペクトルを実現し、プルトニウムの多重リサイクルと増殖を可能とするものである<sup>1)</sup>。

高速中性子を増大させるため、低減速炉では燃料要素間の流路を狭くした稠密格子燃料集合体を用いる。この場合、燃料要素がわずかに変形、変位しただけでも、除熱性能に影響を及ぼすことが考えられる。このため原研では、7 本バンドル稠密燃料集合体に対し炉外流動試験を実施し、その除熱性能の確認を行っている。これまで原研で行った除熱試験の結果から、7 本バンドル稠密燃料集合体の燃料要素間の隙間が減少している可能性が予測された<sup>2)</sup>。燃料要素間の隙間といった内部状況は、集合体を解体してしまうと正確には測定できないことから、非破壊試験による確認が必要となっていた。

集合体形状の長尺試料の内部構造を非破壊試験にて定量的に測定する方法としては、核燃料サイクル開発機構(サイクル機構)の所有する照射後試験用 X 線 CT 検査装置<sup>3)</sup>(以下 X 線 CT 装置)の利用が最適と考えられた。そこでサイクル機構では、原研との共同研究として、X 線 CT 装置を用いた 7 本バンドル稠密燃料集合体の内部状況観察を実施した。

サイクル機構の X 線 CT 装置は、照射後試験用に設計、製作された設備機器であり、これまで照射済みの燃料集合体等を扱ってきたため、今回のような非照射試験体を扱ううえでは課題があった。これらの非照射試験体に、セル内の放射性物質が付着すると、試験体自体が放射性廃棄物となるばかりでなく、再度炉外試験に供することもできなくなる。そこで、試験対象物を汚染させずに、X 線 CT 試験を実施し、施設から搬出する技術を確立した。これにより、模擬燃料集合体や未照射の燃料集合体の X 線 CT 試験が可能となり、照射後試験結果と合わせたより高精度なデータ取得が期待できる。

本共同研究において、原研では得られ X 線 CT データから、7 本バンドル稠密燃料集合体内における燃料要素の変位等の影響を評価することを目的とした。一方、サイクル機構の目的は、試験体を汚染させずに X 線 CT 試験を実施し、施設から搬出する技術の確立とした。

本報告では、共同研究のなかで、サイクル機構で実施した非照射試験体の X 線 CT 試験技術の確立と、本手法を利用して実施した 7 本バンドル稠密燃料集合体の X 線 CT 試験結果の両者について報告する。

## 2. 7本バンドル稠密燃料集合体の概要

本研究で用いた7本バンドル稠密燃料集合体の概略図を図1示す。本試験体は原研において伝熱流動試験に供され、その後、X線CT試験のためにサイクル機構大洗工学センター照射燃料集合体試験施設に移送された。

模擬燃料要素(以下 燃料要素)の外径は $\phi 13\text{mm}$ 、全長は $1980\text{mm}$ であり、そのうち $1260\text{mm}$ の範囲では燃料要素内に組み込まれたコイルにより発熱し、実際の発熱を模擬する構造となっている。これら7本の燃料要素は軸方向12ヶ所に設けられたスペーサによって固定されている。スペーサは、燃料要素を周方向3ヶ所で固定している。これら7本の燃料要素は集合体内で三角格子状に配置され、その周囲を外径 $\phi 82\text{mm}$ のフローシュラウドが覆っている。燃料要素間の隙間は $1.3\text{mm}$ であり、この間を冷却材が流れる構造になっている。

### 3. X線 CT 試験における汚染防止対策の確立

#### 3.1 X線 CT 試験における汚染防止対策の検討

X線 CT 試験に供するためには、核燃料物質等で汚染された雰囲気であるセル内へ試験体を搬入する必要がある。このため 7 本バンドル稠密燃料集合体をセル内の X 線 CT 装置まで移送し、試験後、汚染させずにセル外へ搬出するまでの詳細な試験方法について検討した。

検討の結果、試験体を気密容器に収納し、それらを遠隔操作で取扱い、X 線 CT 試験に供する方法を採用した。この方法では、大きな施設改造等は不要であり、一部の治具を製作すること等により可能となる。以下に検討結果を示す。

##### (1) 気密容器への汚染防止の検討

7 本バンドル稠密燃料集合体を収納するために製作した気密容器を図 3.1 に示す。その気密容器は、X 線 CT 装置やセル内の各設備（クレーン等）にて取扱い可能な寸法で製作した。この容器に気密性を持たせることによって、7 本バンドル稠密燃料集合体へ直接、放射性物質が付着することを防止した。

気密容器への 7 本バンドル稠密燃料集合体の挿入作業は、セル外で行う必要がある。気密容器表面を汚染させてしまうと、セル外への搬出ができなくなってしまうことから、気密容器表面についても汚染しない対策を検討した。その結果、セル内への搬入前に気密容器表面をビニールシート等で覆い、セル外への搬出時にそれを剥離することで、気密容器が汚染することを防止した。ビニールシートによる覆いは 2 重を行い、内側には密着性の高い防炎シートを、外側はマニプレータによる遠隔操作で剥離する必要があるため、取扱いが比較的簡易である PVC シートを採用した（図 3.2 参照）。

##### (2) 遠隔操作による移送方法の検討

7 本バンドル稠密燃料集合体が収められた気密容器を X 線 CT 装置まで移送する方法について検討した。搬入経路については図 3.3 に、搬出経路については図 3.4 に示す。

気密容器の流れとして、サービスエリア→第 2 コンタクトリペア室→トランスマーケット（第 2 除染セル）→第 2 試験セルの順に各エリアを通り、X 線 CT 装置に設置する。

搬出については、搬入と逆の経路で実施することとし、特にトランスマーケットから気密容器を取り出す際に、遠隔操作にて外側の PVC シートを外すこととした。また、第 2 コンタクト室からサービスエリアに搬出する際に、内側の防炎シートを剥離することとした。これによって気密容器表面の汚染を防止した。

気密容器をセル内で遠隔にて移送する際、既存の設備に対応させるため、移送用

治具の設計も実施した。トランスファーカートでは気密容器を立てた状態で設置し、その状態で第2試験セル側まで移送するため、図3.5に示す気密容器固定治具を作成した。

また、第2試験セル内では、トランスファーカートからX線CT装置まで移送するためには、2台のクレーンを使う必要があり、途中で一度吊りかえる必要がある。このためピン保管ラックで気密容器を仮置きし、固定するための治具を図3.6に示すように製作した。

### 3.2 7本バンドル稠密燃料集合体の搬出入作業の実施

#### (1) 7本バンドル稠密燃料集合体のFMF受入

平成16年2月26日に、7本バンドル稠密燃料集合体が挿入されている気密容器を原研より受け入れた。増設施設のローディングドックを経由し、サービスエリアに受け入れた(写真1及び2)。

#### (2) 気密容器の養生

気密容器表面の汚染防止を目的に、1重目に防炎シート、2重目にPVCシートにて気密容器を覆った。

1重目の防炎シートについては、気密容器に密着させ、エア抜きを行いながら固定した(写真3)。次に2重目のPVCについては、1重目同様、エア抜きをしながら、密着させて固定した(写真4)。

#### (3) 気密容器セル内への搬入作業

気密容器は、図3.3に示すようにサービスエリア→第2コンタクトリペア室→トランスファーカート(第2除染セル)→第2試験セル→X線CT装置の順に移送した。

サービスエリアで気密容器をクレーンにて吊り上げ(写真5)、第2コンタクトリペア室に搬入した(写真6)。その後、第2コンタクトリペア室のクレーンに気密容器を吊りかえ(写真7)、第2除染セルを経由して、トランスファーカートに設置した(写真8)。その後、トランスファーカートを第2試験セルにドッキングし、気密容器を吊り上げた(写真9)。第2試験セルまで移送された気密容器は、吊りかえのためピンラック保管ピットに仮置きし(写真10)、別のクレーンを利用してX線CT装置まで移送した(写真11)。

#### (4) X線CT試験

X線CT試料駆動装置に設置された気密容器を地下2階のCT検査室に移送し、

X線CT試験を実施した。撮像結果については、「4. 7本バンドル稠密燃料集合体のX線CT試験結果」に記載する。

#### (5) 気密容器のセル外への搬出作業

X線CT試験終了後、気密容器をセル外に搬出した。搬出経路は図3.4に示すようにX線CT装置→第2試験セル→トランスファーカート（第2除染セル）→第2コンタクトリペア→サービスエリアの順に移送した。

気密容器表面の汚染防止のため、第2試験セルにてPVCシートの外側の除染を行った。除染後、その表面の汚染状況を確認した結果、表面密度は検出限界以下であった。なお、第2試験セルに設置されているX線CT装置の集合体バスケットの表面密度は約 $1.0\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、第2試験セル床面の表面密度は約 $2.2\text{Bq}/\text{cm}^2$ であった。

その後、トランスファーカートに気密容器をセッティングし、第2除染セルにドッキングした。トランスファーカートから気密容器を吊り上げる際、PVCシートを遠隔操作にて剥離した（写真12、13）。次に気密容器を第2コンタクトリペア室に移送し、内側の防炎シートを剥離した。この時点で、使用収納容器表面の汚染検査を行った結果、表面密度は検出限界以下であった。汚染がないことを確認した後、サービスエリアに搬出した（写真14）。

以上の作業の結果、長尺の模擬燃料集合体や未照射の燃料集合体を汚染させずにX線CT試験を実施し、セル外へ搬出する技術を確立した。なお、試験体の制約条件は、全長4000mm以下、外径300mm以下、重量約500kg以下である。

#### 4. 7本バンドル稠密燃料集合体のX線CT試験結果

##### 4.1 X線CT試験計画について

7本バンドル稠密燃料集合体のX線CT撮像軸位置を図4.1に示す。本集合体は、軸方向に8箇所のスペーサがあり、そのディンプルで固定して燃料要素間のクリアランスを保っている。燃料要素のズレは、スペーサで固定されていない中央部において最も大きくなると予測されるため、すべてのスペーサ間中央部とノミナル位置の確認のために、スペーサ位置についてX線CT試験を実施した。

また、発熱量が大きい高熱流束部については、軸方向10mmピッチ毎に試験を行った。

##### 4.2 X線CT試験結果

###### (1)スペーサ部及びスペーサ間中央位置

スペーサ間中央位置の撮像結果の代表例を図4.2に示す。画像からフローシュラウドの内部に、7本の燃料要素が三角格子状に配置されていることが確認される。燃料要素の内部には発熱コイルがらせん状に巻かれており、円の一部が欠けた状態で”C”文字のように撮像された。CT画像の目視による観察では、燃料要素は三角格子状に整然と配置されており明確な変位は見られない。

###### (2)高熱流束部

高熱流束部は10mmピッチのX線CT試験を実施した。このうち代表例として510~600mmの範囲の10mmピッチでの撮像結果を図4.3に示す。いずれの画像においても、燃料要素の顕著な変位は目視では見られなかった。

##### 4.3 CT画像の定量化

CT画像から高速炉燃料ピンの配置状況等を定量化するCT画像数値化処理システム<sup>4)</sup>を利用して、7本バンドル稠密燃料集合体内の燃料要素の変位等を定量化した。数値化処理は高熱流速部の10mmピッチの画像についてすべて実施した。

###### (1)各断面における燃料要素変位量測定結果

高熱流速部における数値化処理結果の代表例として、スペーサ間中央部の断面(660mm)及び変位量が最大を示した断面(720mm)の結果を図4.4、4.5に示す。

図4.4に示すスペーサ間中央部の断面では、燃料要素L1が124度方向(図中左上方向)に0.38mm変位していることが確認された。このためCT画像では、燃料要素L1は左側と上側のフローシュラウドとの距離が狭くなっているように観察できる。他の燃料要素についてノミナルからの変位量は、最大でも0.15mmであった。このことから、この断面では燃料要素L1がフローシュラウド側に変位しており、他の燃料要素はほとんど変位していない。

図 4.5 に示す燃料要素の変位量が最大を示した断面では、燃料要素 L1 が 111 度方向（図中 左上方向）に 0.46mm 変位していた。その他では燃料要素 H が 0.29mm 変位しており、全体的にノミナルからの変位量が大きい結果となった。

## (2) 変位量の軸方向分布

高熱流速部各断面の数値化結果を軸方向に合成することによって、7 本の燃料要素の軸方向曲がりプロファイルを作成した。各曲がりプロファイルを図 4.6～4.12 に示す。図 4.6 に示す集合体の中心に装荷された燃料要素 H では、90°～150° 方向から見た場合、軸位置 530mm 付近で 0.4mm 程度変位している。

図 4.7 に示す燃料要素 L1 では、軸位置 700mm 付近で 30° 方向から見た場合、最大で 0.45mm 程度変位している。この燃料要素では、軸位置 800mm のスペーサ部においても約 0.2mm 程度の変位が生じている。

その他の燃料要素では、0.3mm を超えるような変位は見られず、軸方向の曲がりは大きくない。

## (3) 燃料要素間距離の軸方向分布

各断面の燃料要素中心座標の数値化処理結果から、燃料要素の中心座標間距離の軸方向分布を測定し、それぞれ図 4.13～4.19 に示す。燃料要素中心座標間距離はノミナル値が 14.3mm である。これは、直径が  $\phi 13\text{mm}$  の要素に、隙間が 1.3mm で配置されているということである。このため、隙間がなくなり燃料要素どうしが接触した場合、中心座標間距離は 13mm を示すことになる。

図 4.13 に示す燃料要素 H（中心装荷）と周囲の要素との距離を確認すると、燃料要素 H と L6 の中心座標間距離が約 14mm まで減少している。中心座標間距離が 14mm になると、燃料要素間の隙間は 1.0mm まで減少したことになる。燃料要素 H と L6 では、軸位置が 550mm 付近と 830mm 付近で 1.0mm 程度まで接近している。また、燃料要素 H と L5 との距離も、下部付近で減少している。

この他の中心座標間距離については、図 4.14 に示す L1 と L2 の距離が上部側で約 14mm 程度まで減少している。一方、L1 と L6 間距離は軸位置 600～800mm の範囲で最大 14.7mm まで増加している。

## (4) 燃料要素とフローシュラウドとの距離の軸方向分布

燃料要素とフローシュラウド間の距離の軸方向分布について整理した結果を図 4.20～4.25 に示す。この距離は、ノミナルでは 0.65mm である。図 4.20 に示す燃料要素 L1 では、120 度方向（左上方向）に変位していたことから、図中の 1 と 2 の距離が軸位置 700mm 付近で減少している。その量は、燃料要素の変位量が最大で約 0.4mm であり、シュラウドとの距離はノミナルの 0.65mm から約 0.25mm に減少したこ

となる。

この他の燃料要素については、シュラウドとの距離が多少増減しているが、0.4mm以下になる位置は確認されなかった。

## 6. おわりに

本研究では、原研で実施した熱流動試験後の7本バンドル稠密模擬燃料集合体の内部状況を確認することを目的に、非照射試験体のX線CT試験技術の確立し、本手法を利用して7本バンドル稠密模擬燃料集合体の内部状況を詳細に観察した。

非照射試験体のX線CT試験技術の確立については、試験対象となる模擬試験体や未照射の燃料集合体等を気密容器に封入すること等により、汚染させずにX線CT測定が可能となった。そのことにより、照射前後の結果を比較することが可能となり、より高度のデータ取得が期待できるようになった。

測定した7本バンドル稠密模擬燃料試験体の内部状況については、外側燃料要素の一つ(L1)が0.46mm変位していた。また、要素間距離では中心燃料要素(H)と外側燃料要素(L6)がノミナル1.3mmに対し1.0mmまで接近していた。外側燃料要素とその外側のシュラウドとの距離については、L6でノミナル0.65mmに対し、0.24mmまで接近していた。

## 7. 謝辞

本研究を実施するにあたり、7本バンドル稠密燃料集合体の準備、供給等をしていただきました日本原子力研究所東海研究所エネルギーシステム研究部 秋本 肇氏、呉田 昌俊氏、光武 徹氏に深く感謝いたします。

また、試験体のセル内へ搬出入作業及び照射後試験データの整理等を協力していただきました検査開発㈱三澤 進氏、豊田 裕昌氏、久保 宏明氏、原子力技術㈱梶間 久司氏に深く感謝致します。

## 8. 参考文献

- 1) 岩村公道、他 : “革新的水冷却炉「低減速軽水炉」の研究開発”, 日本原子力学会誌, Vol.45, No.3, p.181-189 (2003)
- 2) T. Iwamura, et al. : “Core Design of Reduced-Moderation Water Reactor (RMWR) for Plutonium Multiple Recycling”, 原子核研究, Vol.48, No.2 (2003)
- 3) 永峯剛、他 : “高エネルギーX線CTを利用した非破壊照射後試験技術の開発”, 日本原子力学会和文論文誌, Vol.1, No.2(2002)
- 4) 勝山幸三、他 : ”高速炉燃料集合体用 CT 画像数値化処理システムの開発と適用結果“, JNC TN9410 2002-012, 2002年8月

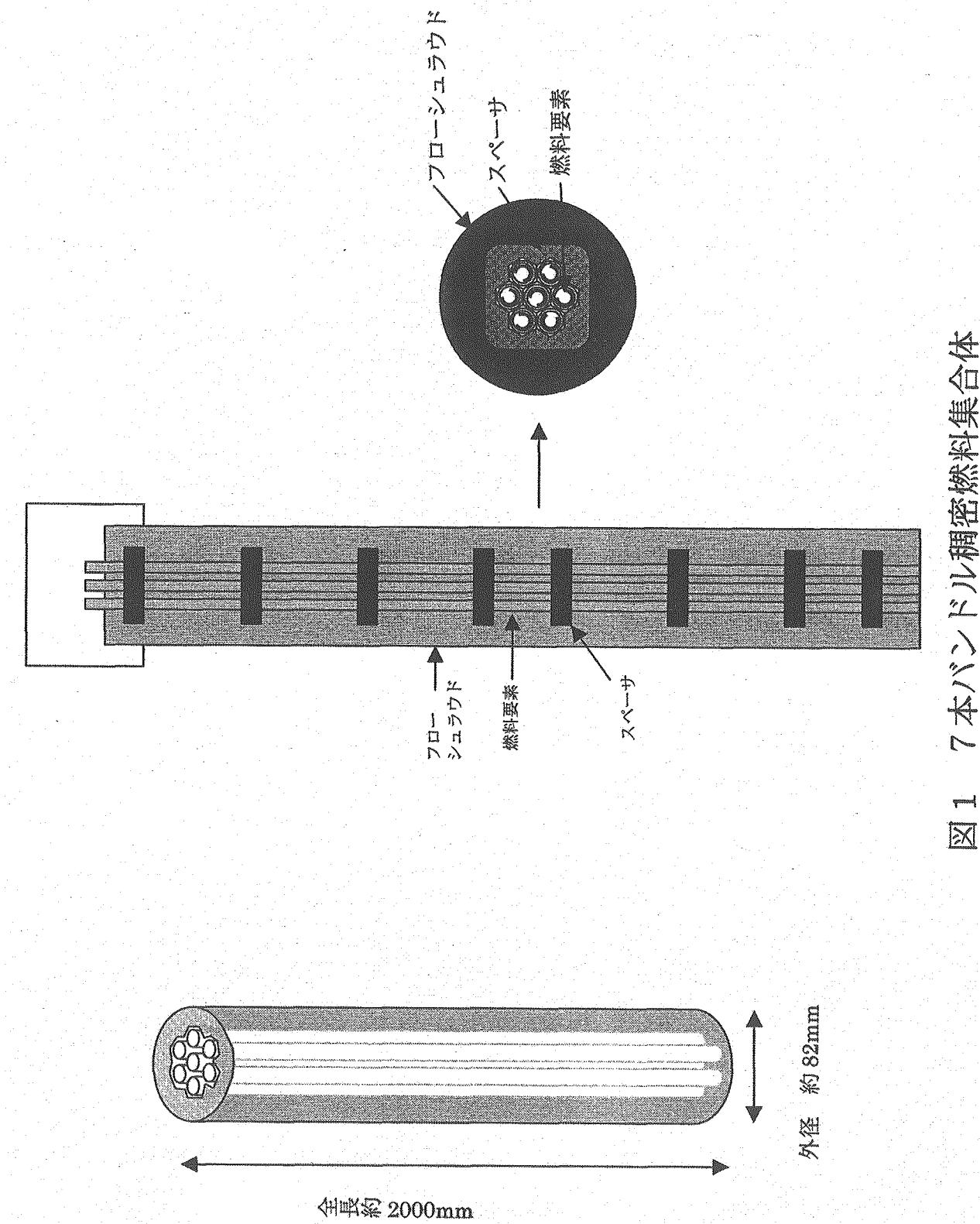


図1 7本バンドル精密燃料集合体

気密容器仕様  
材質 : SUS  
取扱い寸法 :  $\phi 300 \text{ mm} \times 4300 \text{ mm}$   
取扱い重量 : 500kg 以下

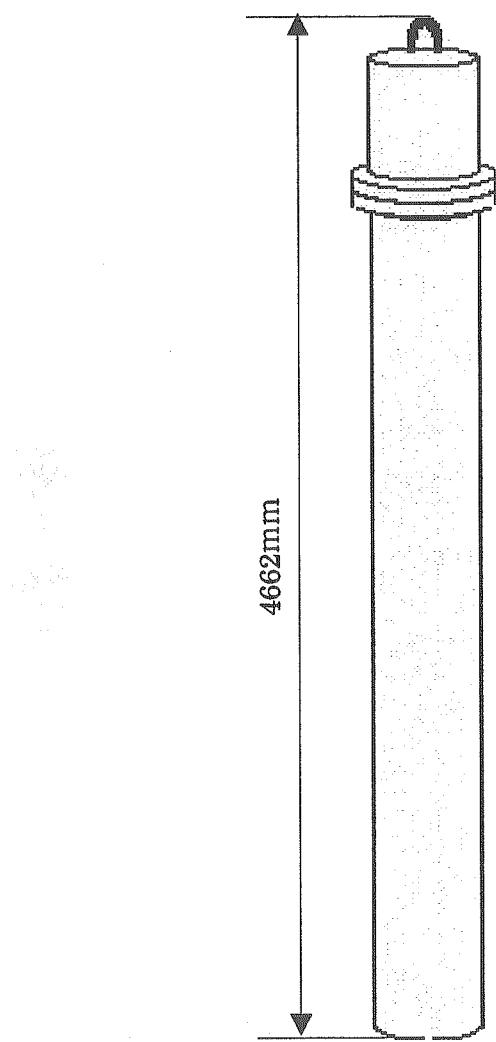


図 3.1 気密容器

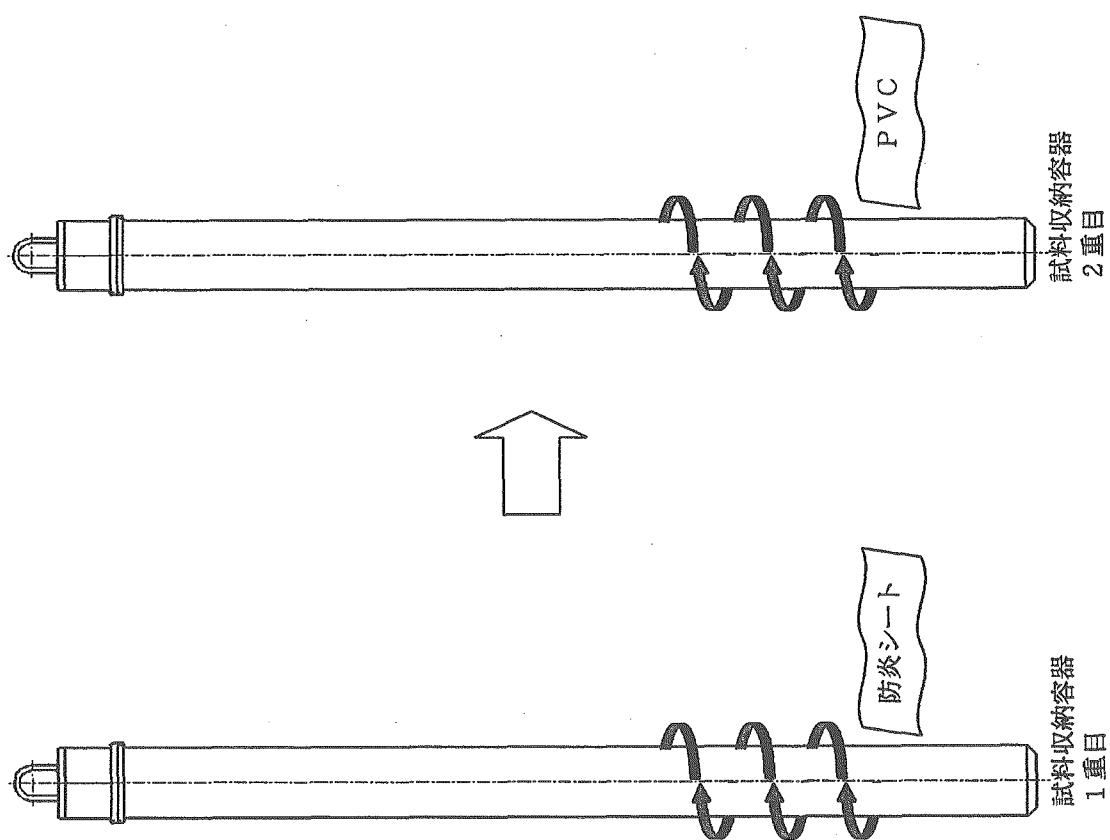
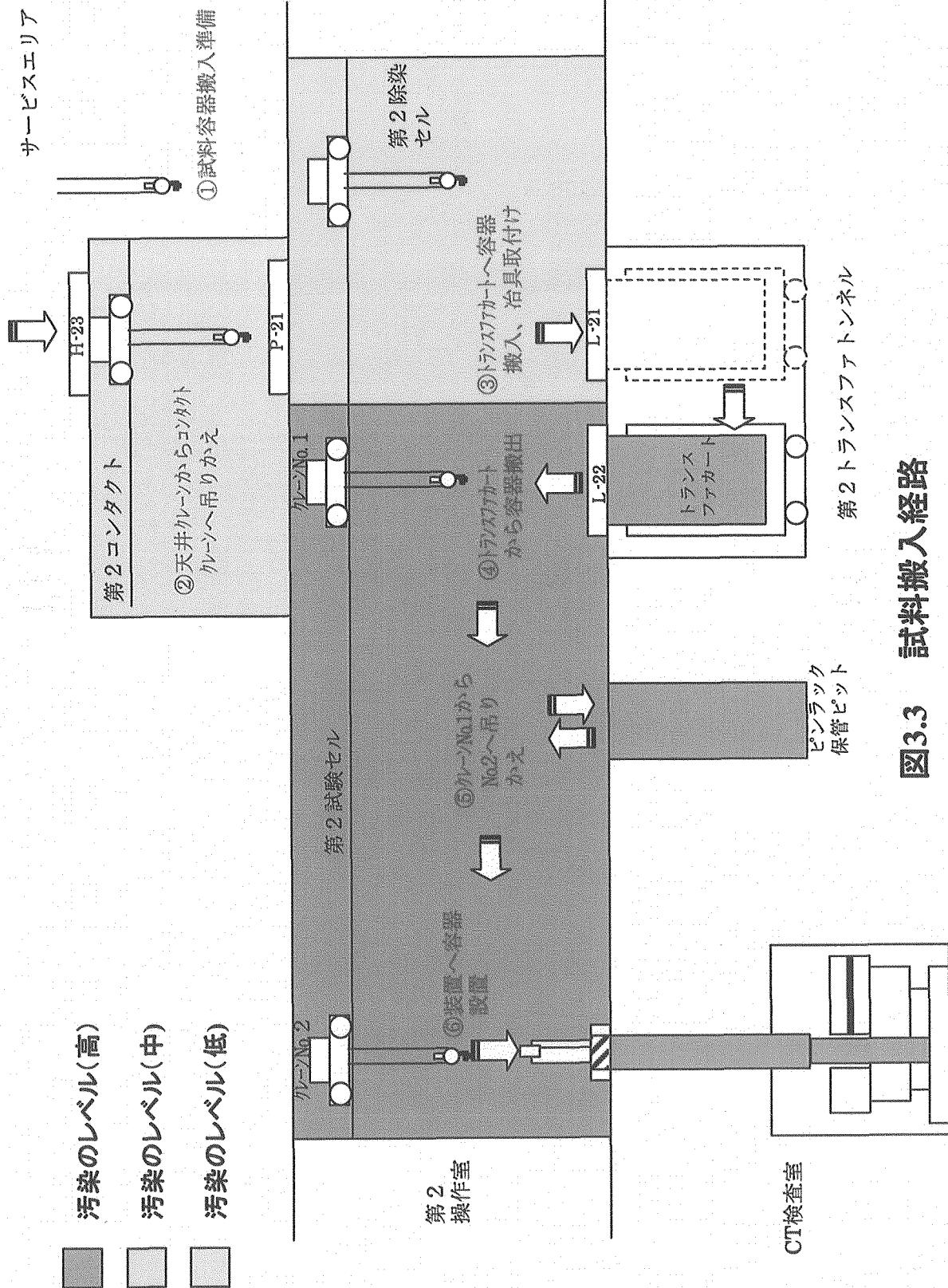


図 3.2 気密容器の汚染拡大防止策



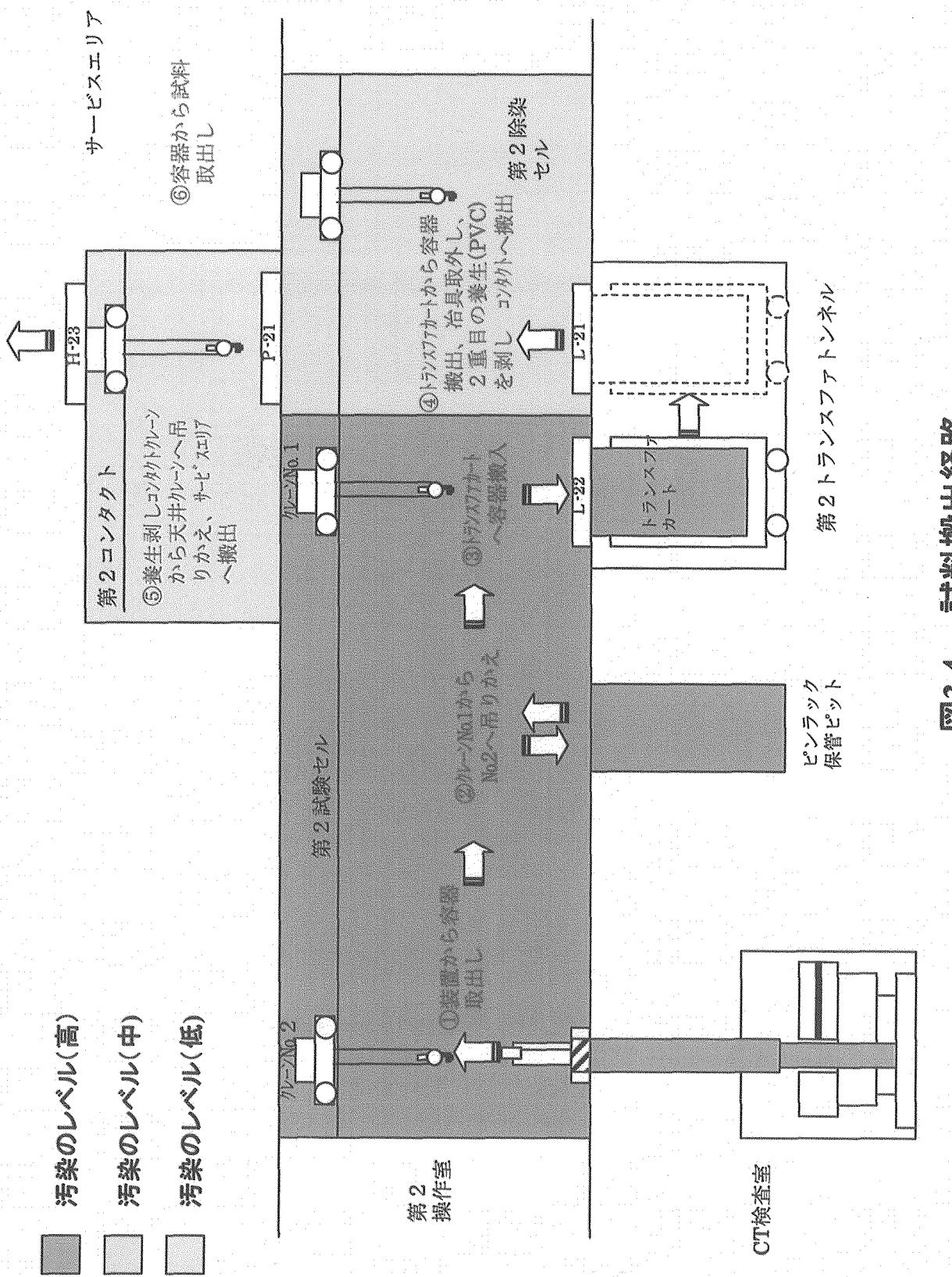
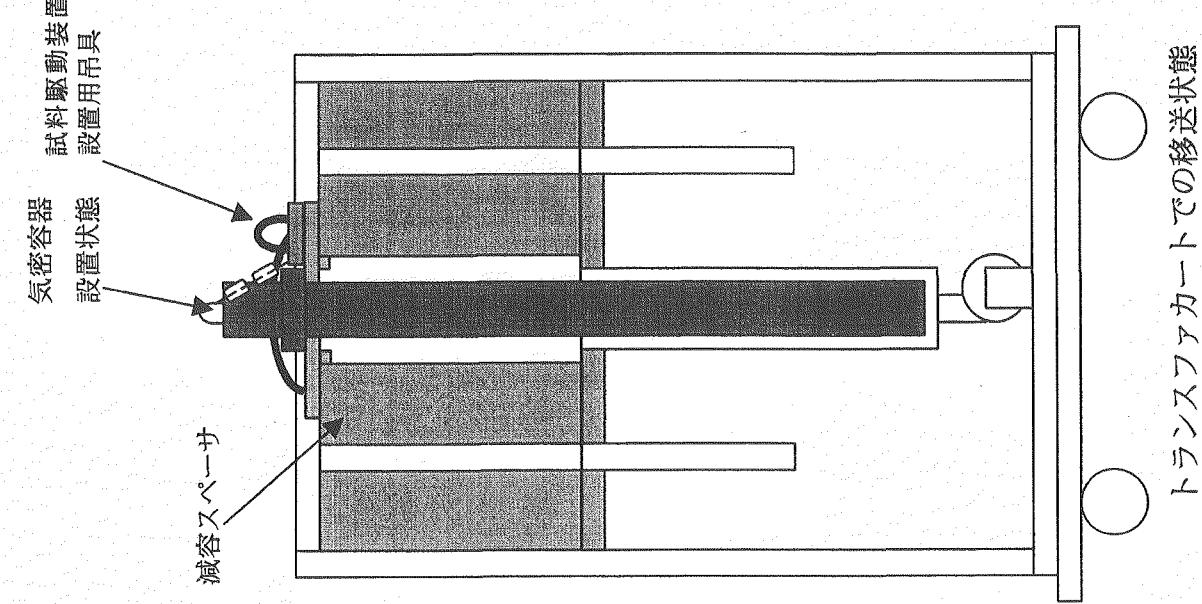
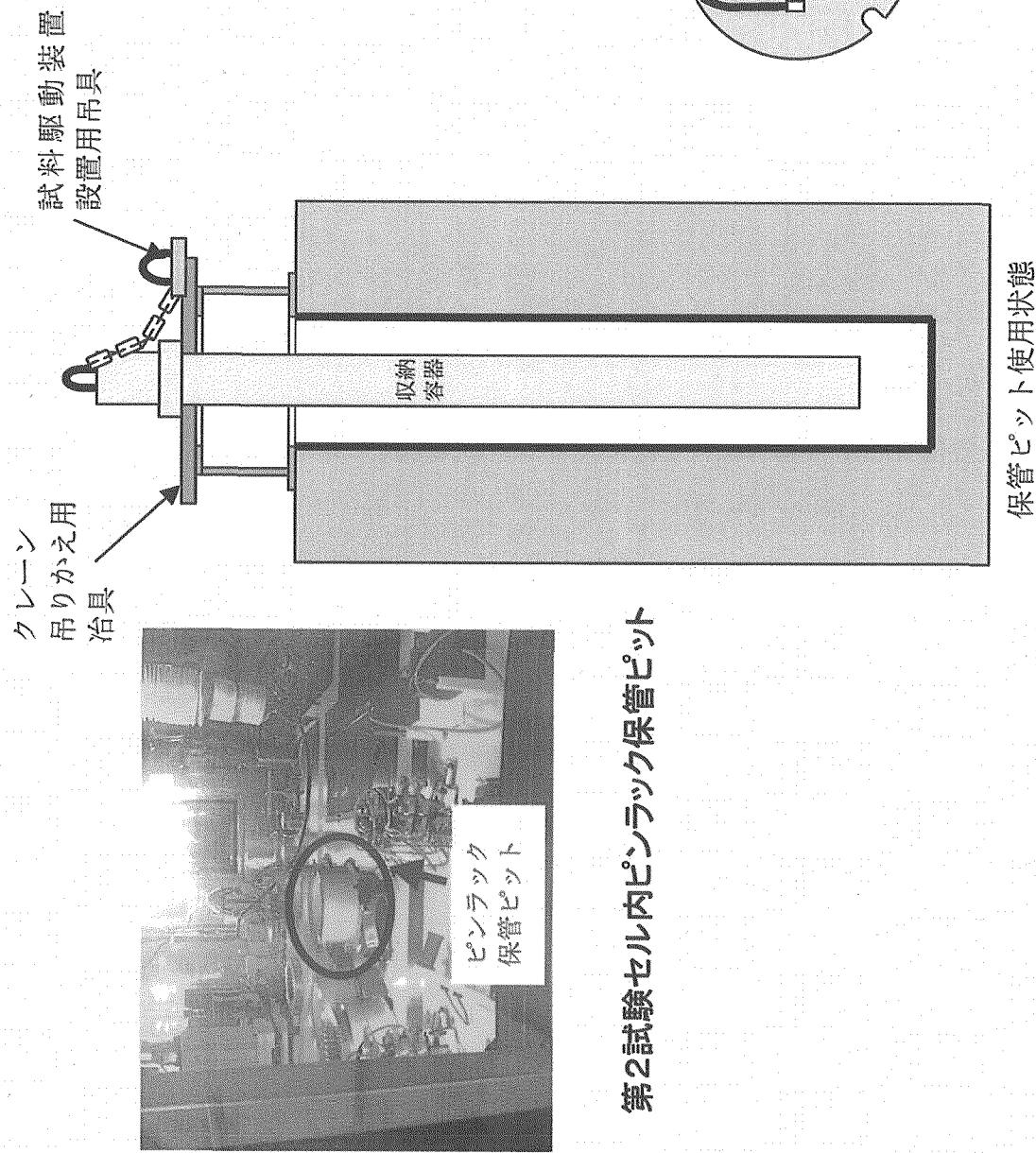
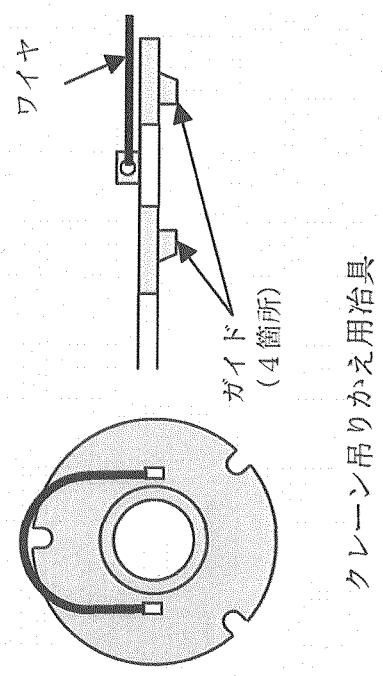


図 3.5 トランスマルカート移送用治具



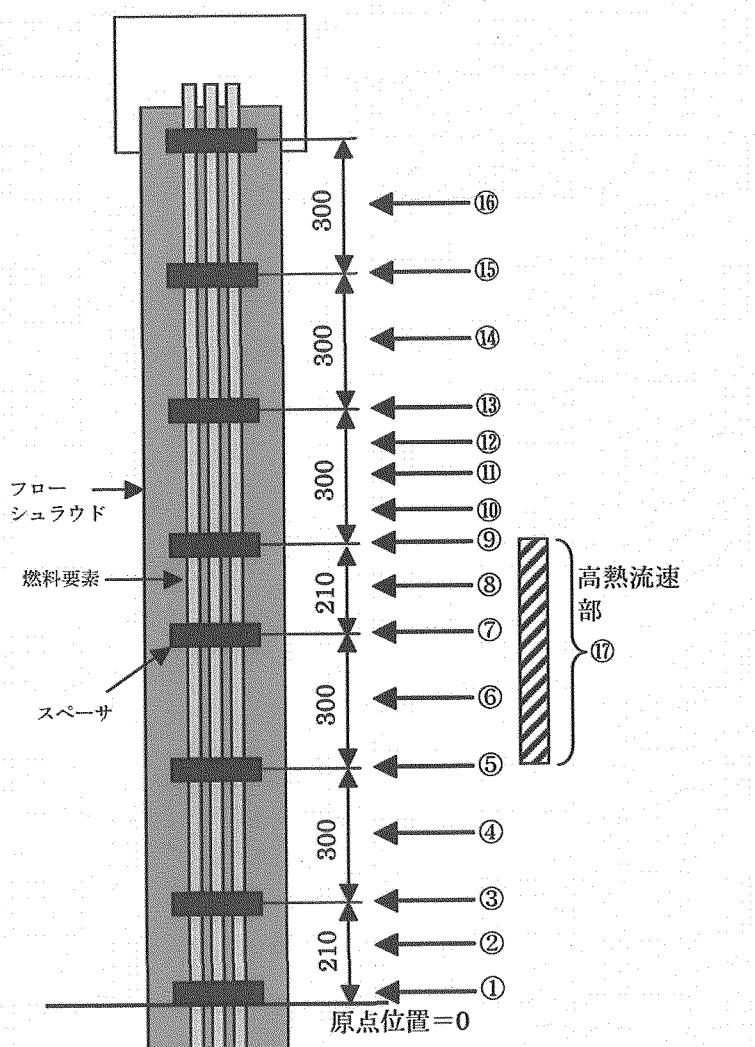


第2試験セル内ピンラック保管ピット



クレーン吊りかえ用治具

図3.6 クレーン吊りかえ用治具



撮像位置

No.	原点から の距離(mm)	備 考
⑰	1020～ 510	高熱流束部 510 mm (10 mm <sup>2</sup> /℃)
⑯	1770	スペーサ間中央
⑮	1620	スペーサ
⑭	1470	スペーサ間中央
⑬	1320	スペーサ
⑫	1245	追加撮像分
⑪	1170	スペーサ間中央
⑩	1095	追加撮像分
⑨	1020	スペーサ
⑧	915	スペーサ間中央
⑦	810	スペーサ
⑥	660	スペーサ間中央
⑤	510	スペーサ
④	360	スペーサ間中央
③	210	スペーサ
②	110	スペーサ間中央
①	10	スペーサ

図 4.1 7本バンドル稠密燃料集合体の X 線 CT 試験撮像位置

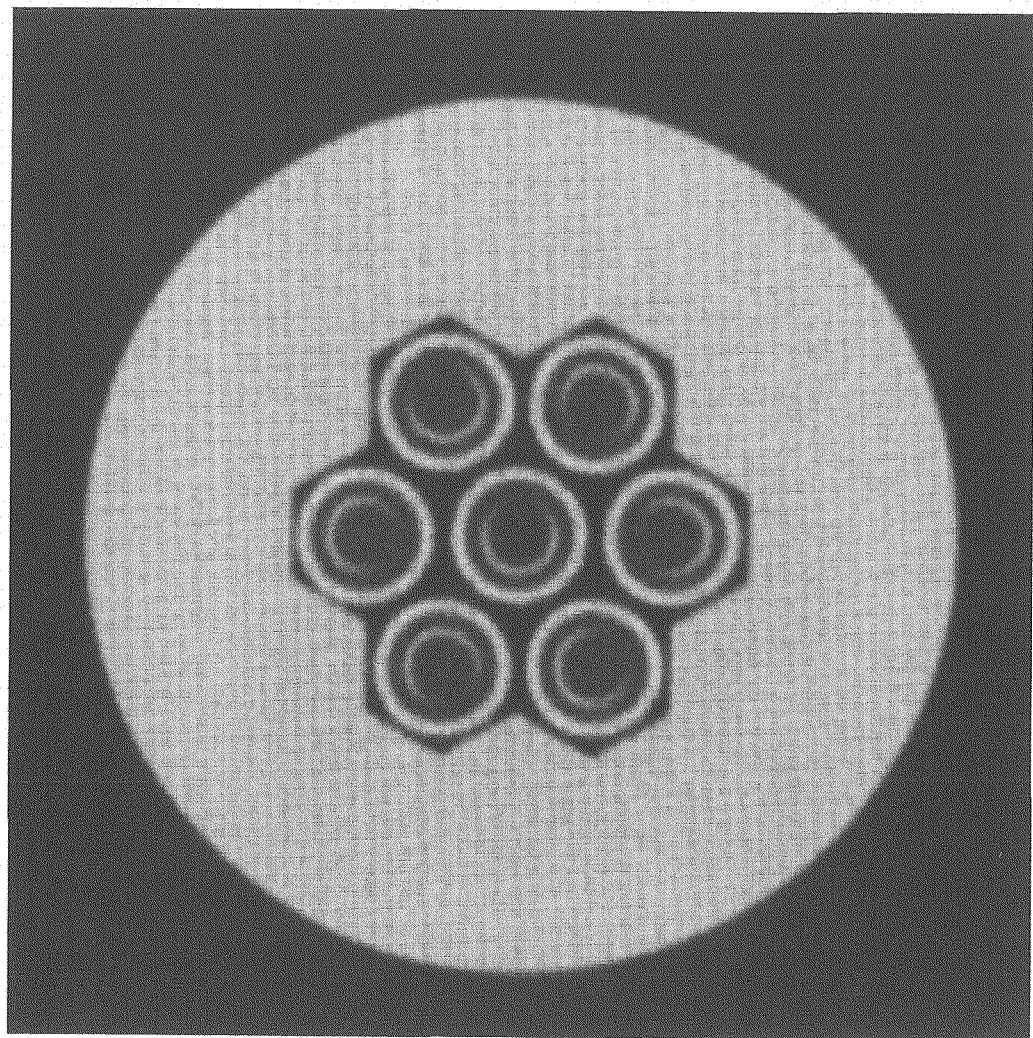


図4.2 X線CT画像  
(スペー<sup>一</sup>間中央部 660mm ⑥)

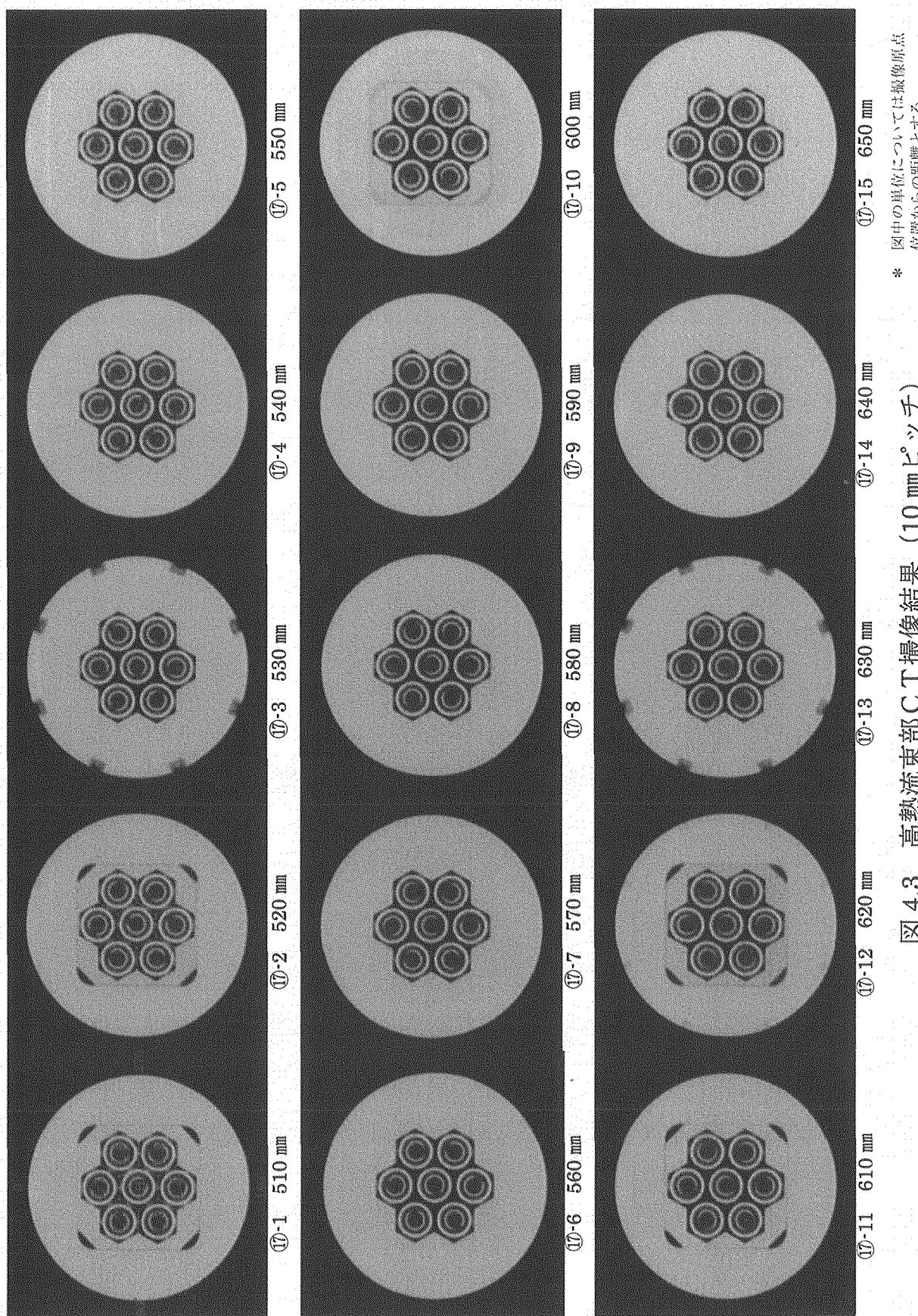


図 4.3 高熱流束部 CT撮像結果 (10 mm ピッチ)  
 図中の単位については撮像原点  
 位置からの距離とする。

燃料要素N	燃料要素中心座標			図面			Y差分			ベクトル		
	x	y	zn	xn	vn	dx	dy	vec	deg	方向		
H	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.11	88.57			
L1	-0.21	14.61	0.00	14.30	-0.21	0.31	0.38	0.38	124.13			
L2	-12.47	7.19	-12.38	7.15	-0.09	0.04	0.09	0.09	156.41			
L3	-12.30	-7.15	-12.38	-7.15	0.09	0.00	0.09	0.09	2.83			
L4	0.12	-14.29	0.00	-14.30	0.12	0.01	0.12	0.12	4.96			
L5	12.40	-7.01	12.38	-7.15	0.01	0.14	0.15	0.15	84.54			
L6	12.42	7.22	12.38	7.15	0.03	0.07	0.07	0.07	64.31			

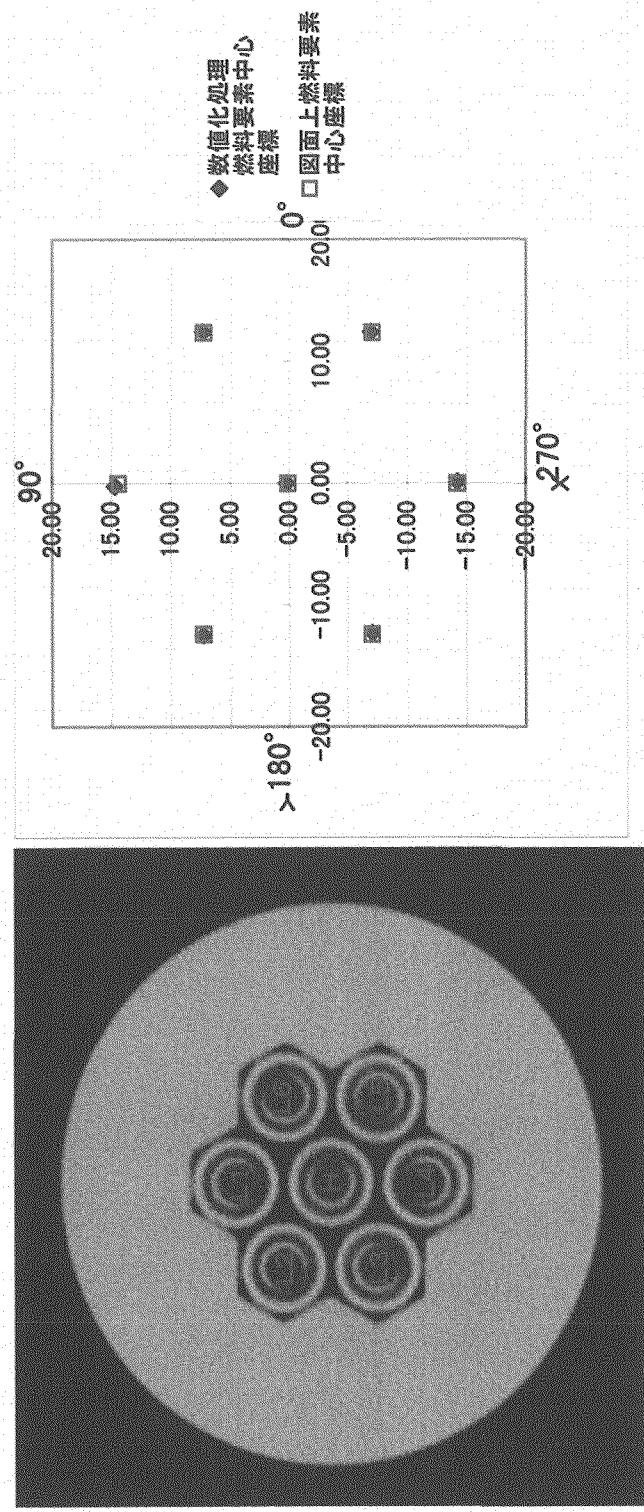


図4.4 数値化処理による燃料要素変位量測定結果(軸位置660mm)

燃料要素No.	燃料要素中心座標		図面		X差分		Y差分		ベクトル		方向 deg
	x	y	xn	yn	dx	dy	vec				
H	0.15	0.24	0.00	0.00	0.15	0.24	0.29	0.29	58.57		
L1	-0.17	14.73	0.00	14.30	-0.17	0.43	0.46	0.46	111.12		
L2	-12.41	7.36	-12.38	7.15	-0.02	0.21	0.21	0.21	96.55		
L3	-12.26	-6.98	-12.38	-7.15	0.13	0.17	0.21	0.21	53.89		
L4	0.19	-14.17	0.00	-14.30	0.19	0.13	0.23	0.23	34.99		
L5	12.58	-6.97	12.38	-7.15	0.20	0.18	0.26	0.26	42.03		
L6	12.51	7.28	12.38	7.15	0.12	0.13	0.18	0.18	47.48		

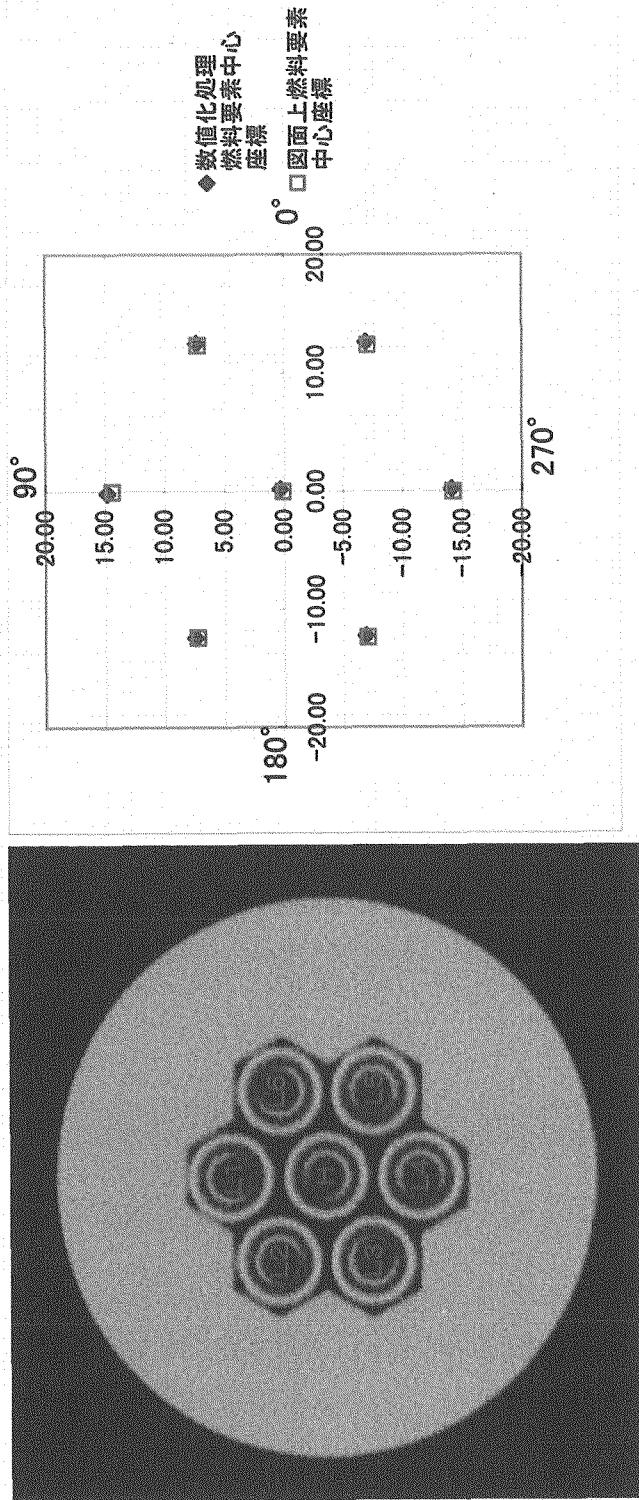


図4.5 数値化処理による燃料要素変位量測定結果(軸位置720mm)

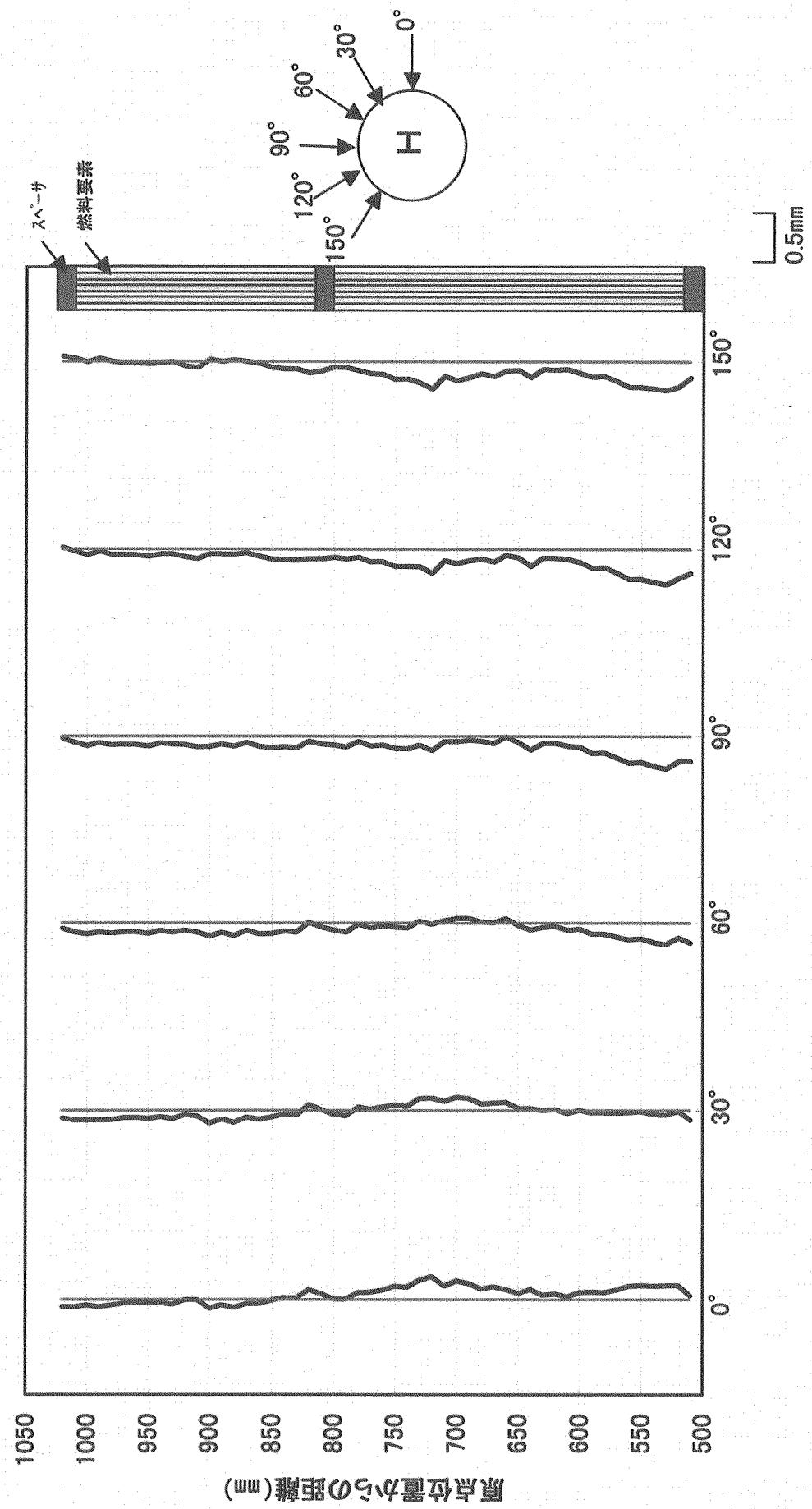


図4.6 燃料要素変位量の軸方向分布(燃料要素H)

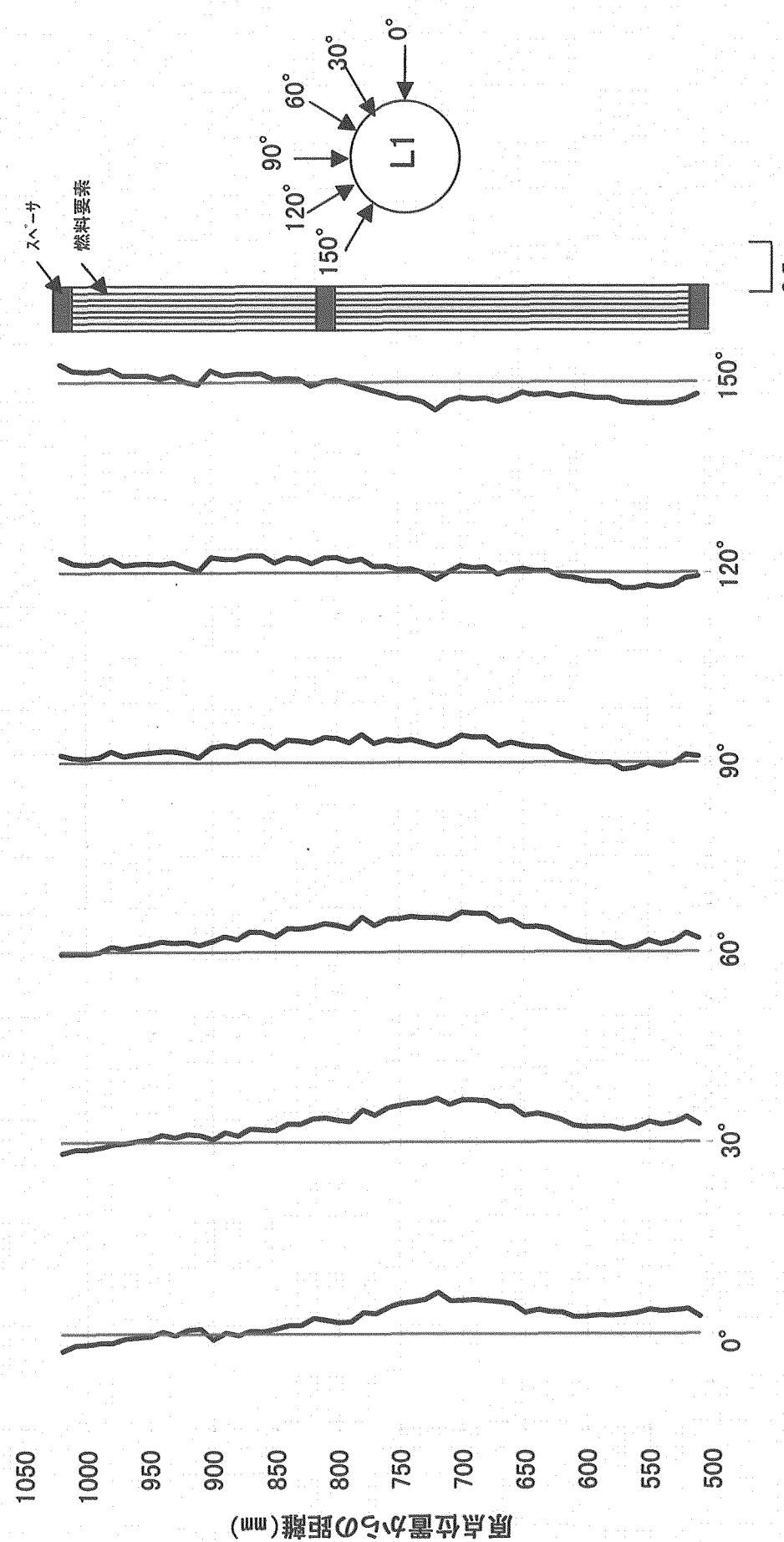


図4.7 燃料要素変位量の軸方向分布(燃料要素L1)

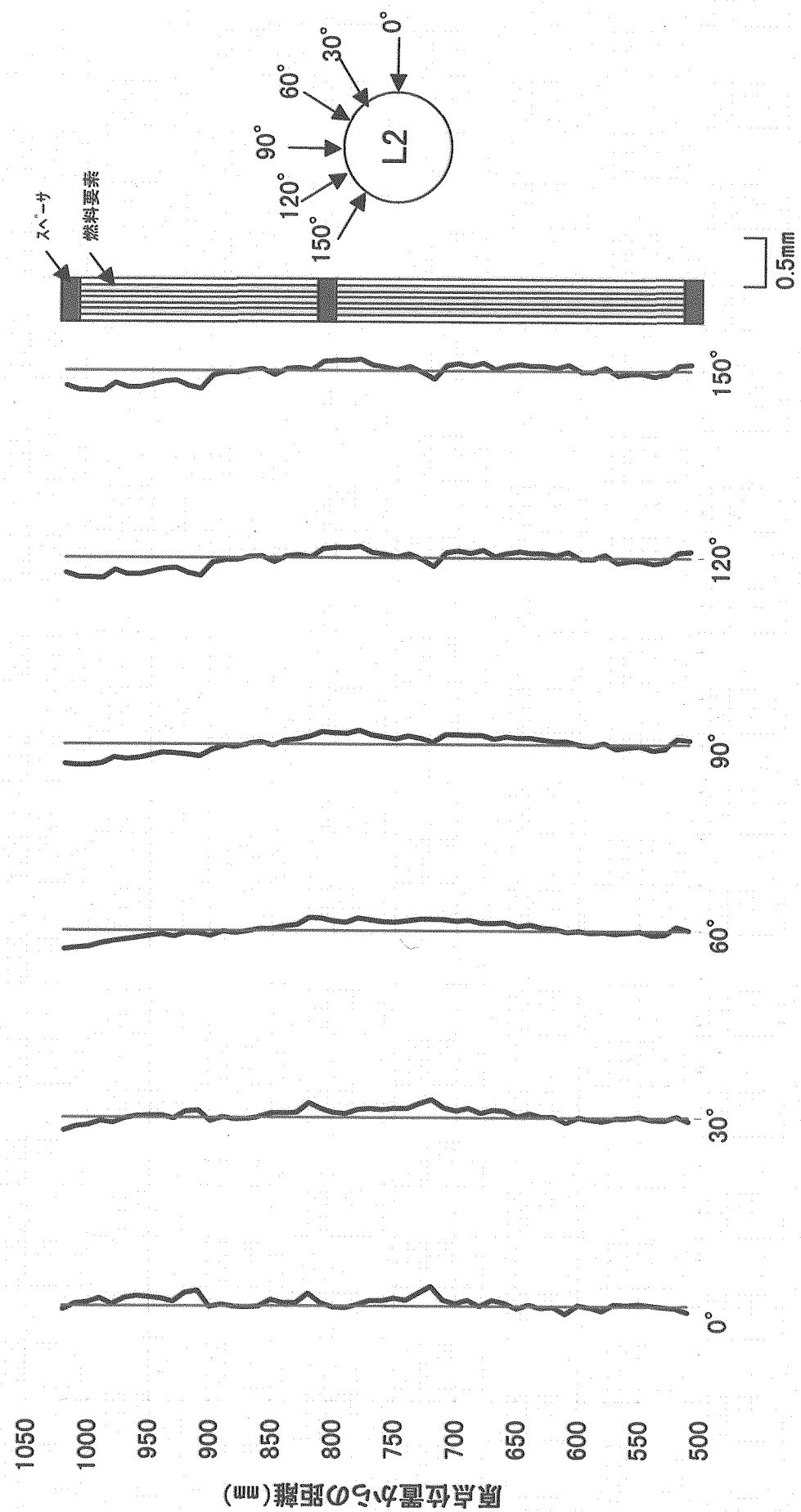


図4.8 燃料要素変位量の軸方向分布(燃料要素L2)

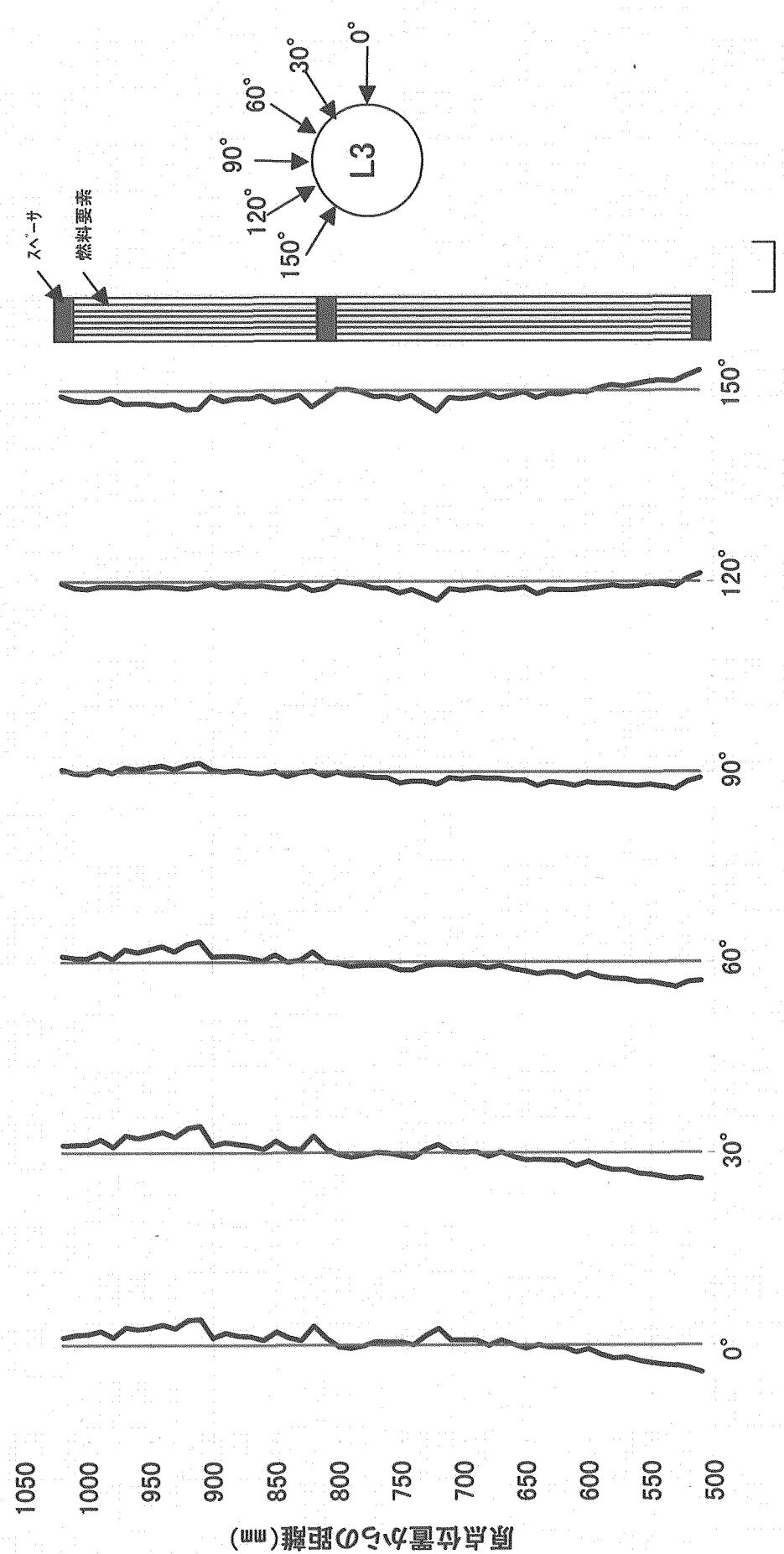


図4.9 燃料要素変位量の軸方向分布(燃料要素L3)

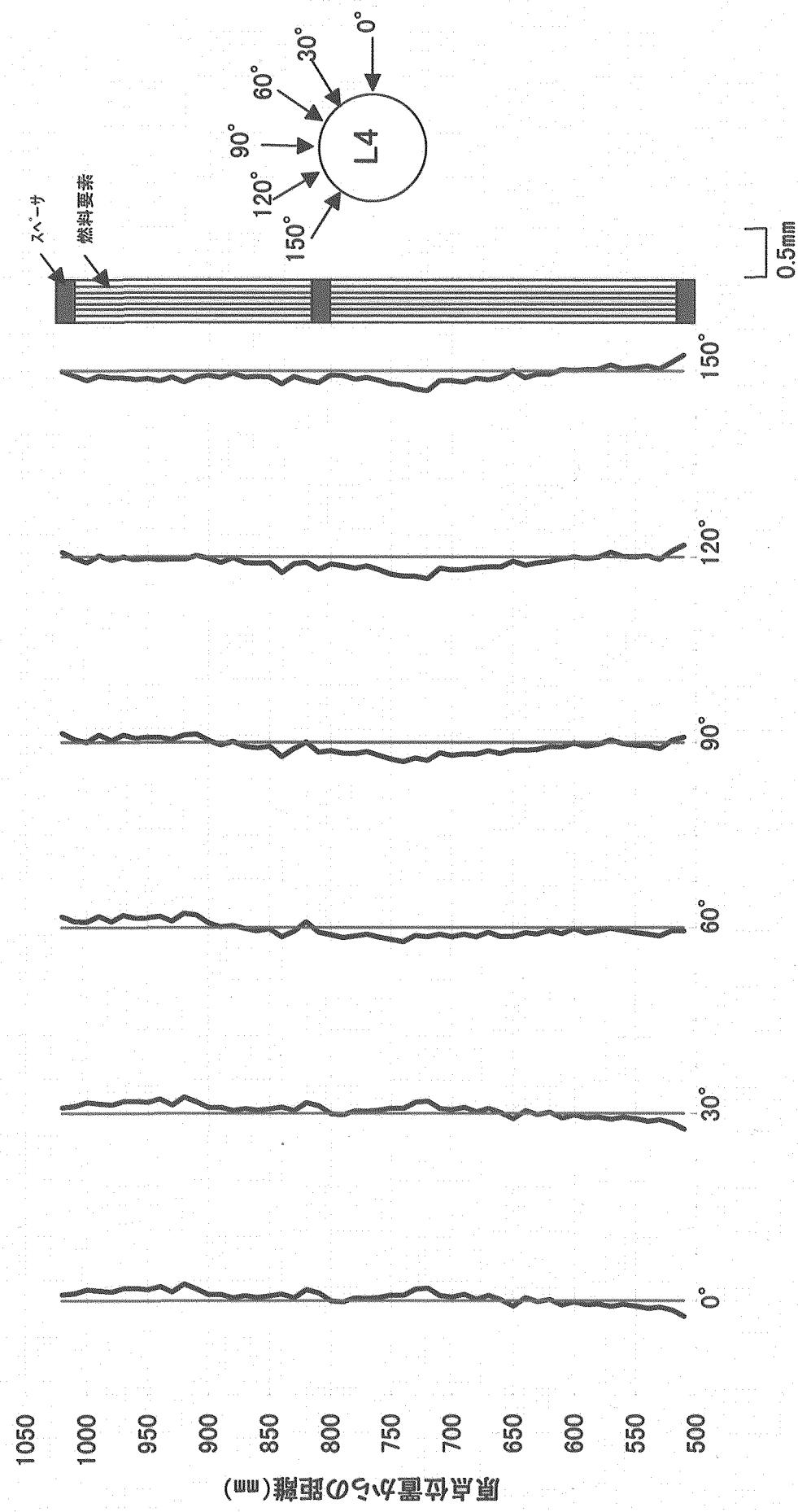
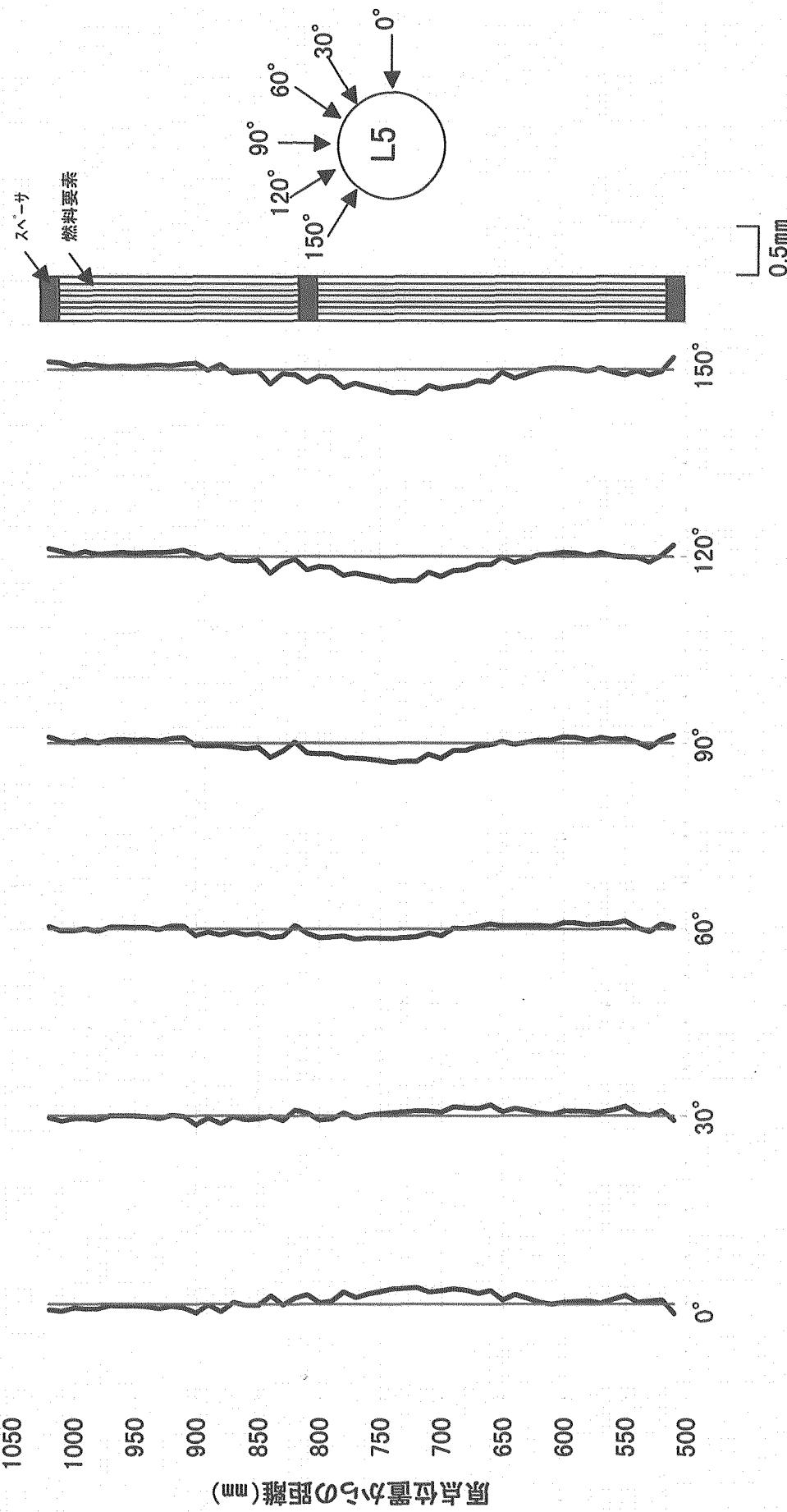
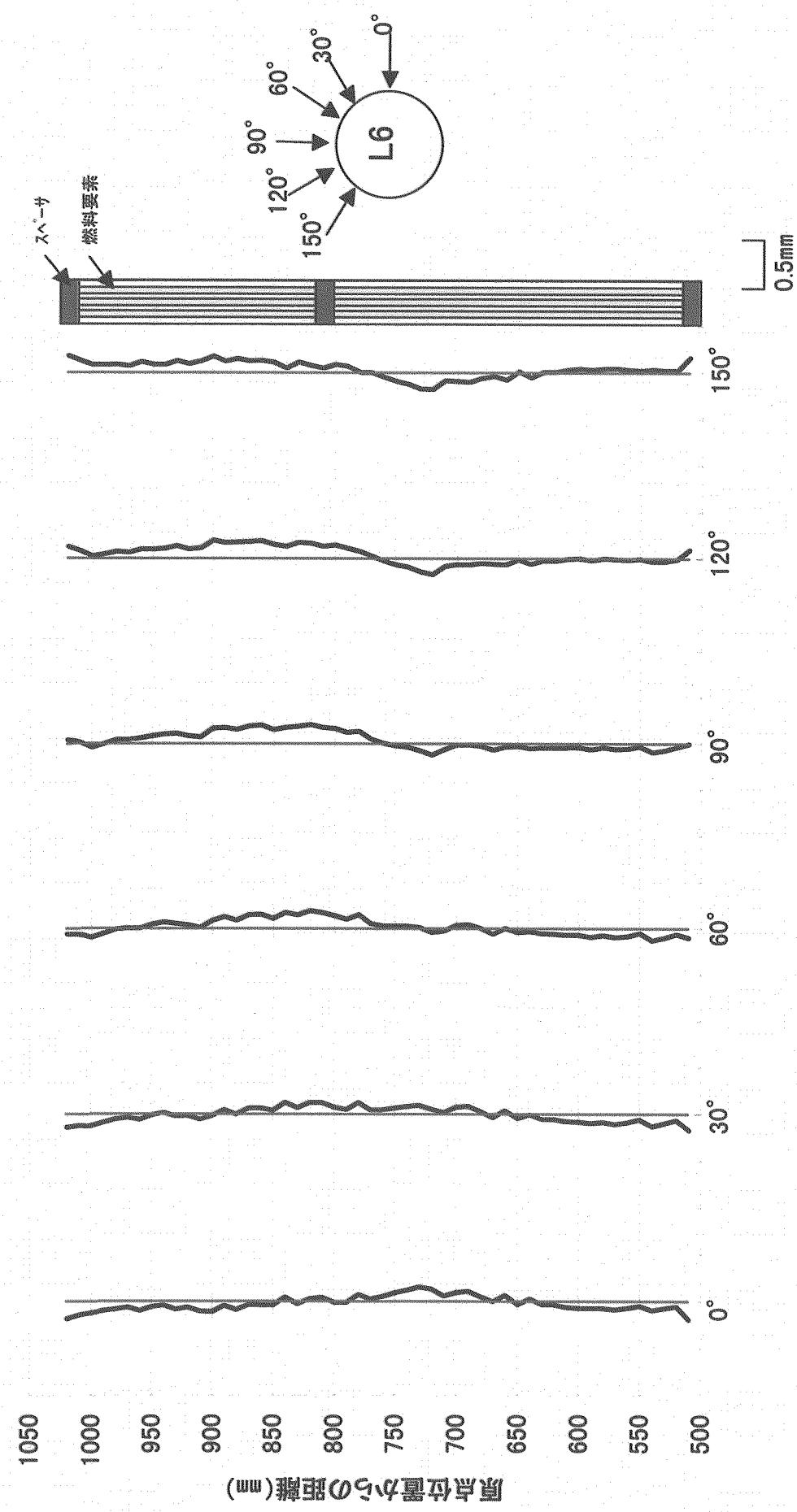


図4.10 燃料要素変位量の軸方向分布(燃料要素L4)





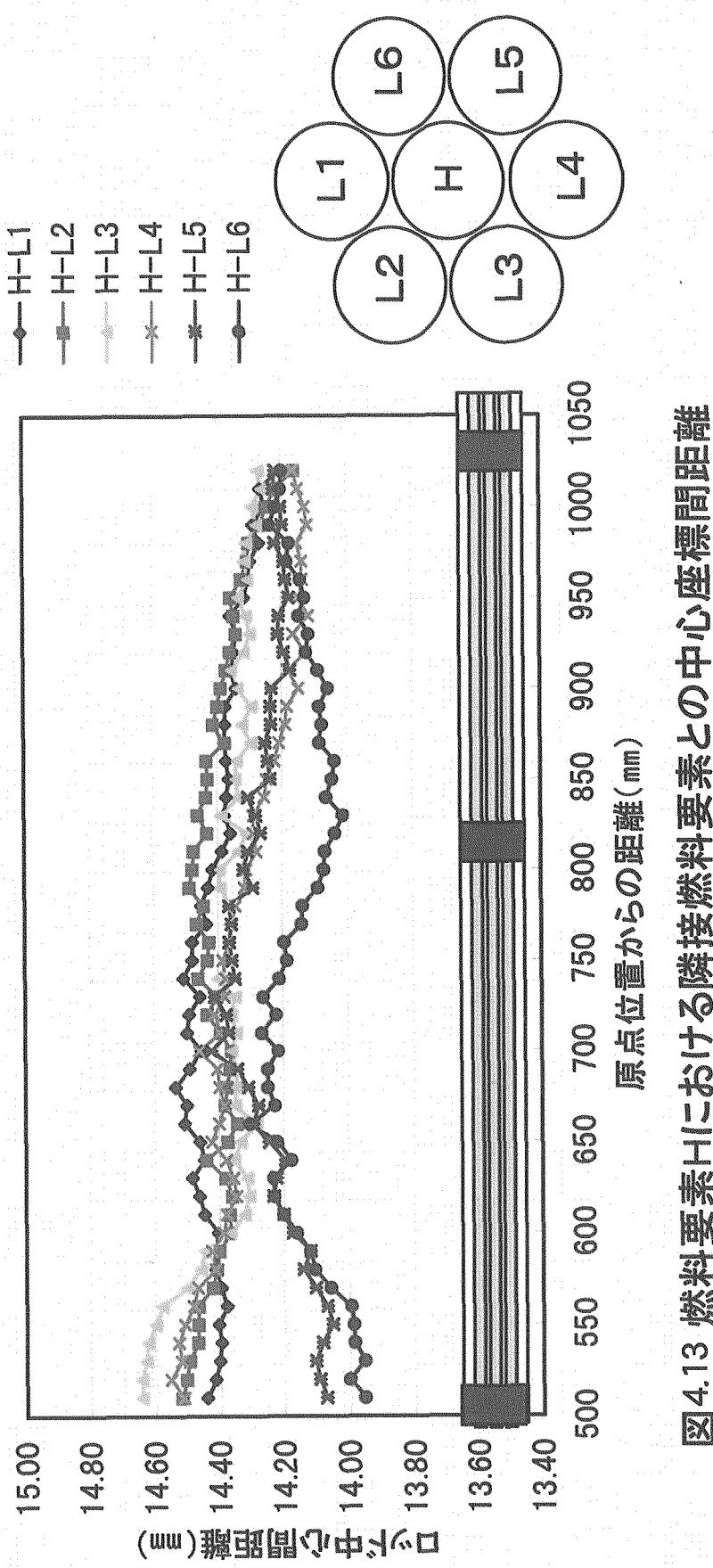


図4.13 燃料要素Hにおける隣接燃料要素との中心座標間距離

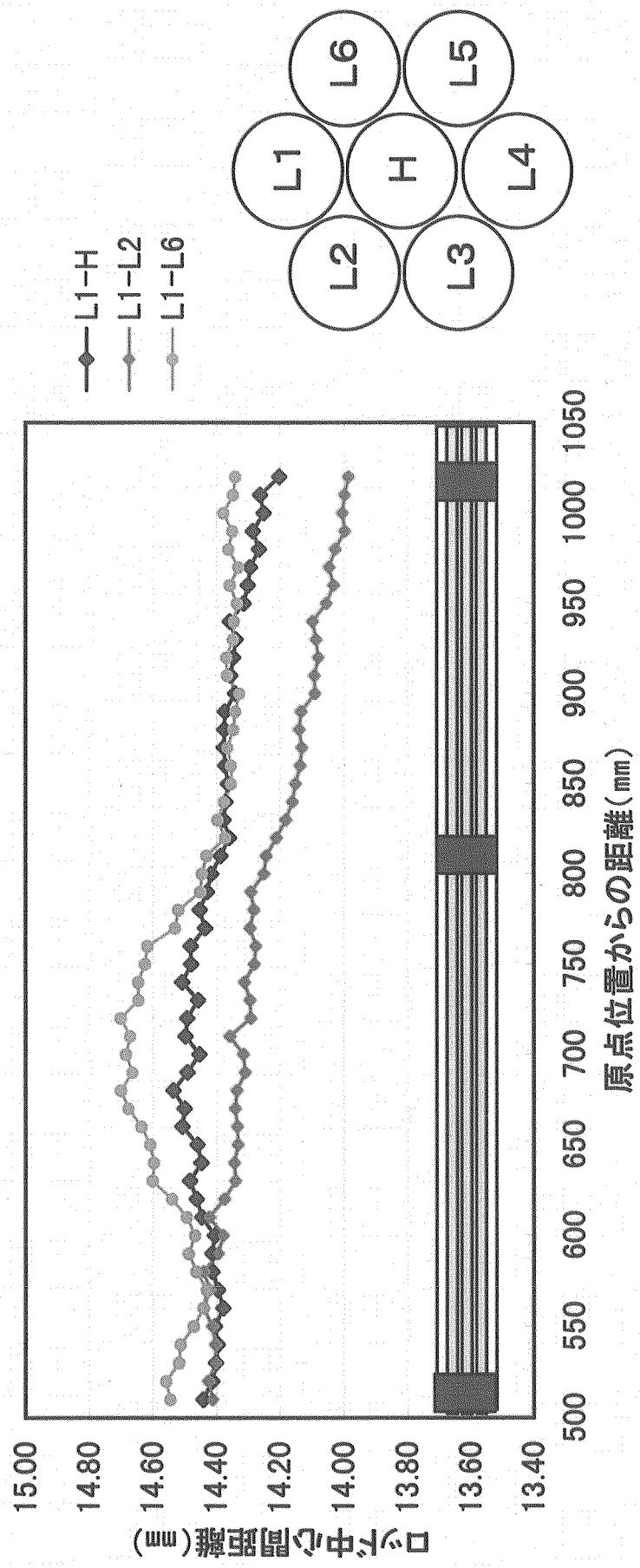


図4.14 燃料要素L1における隣接燃料要素との中心座標間距離

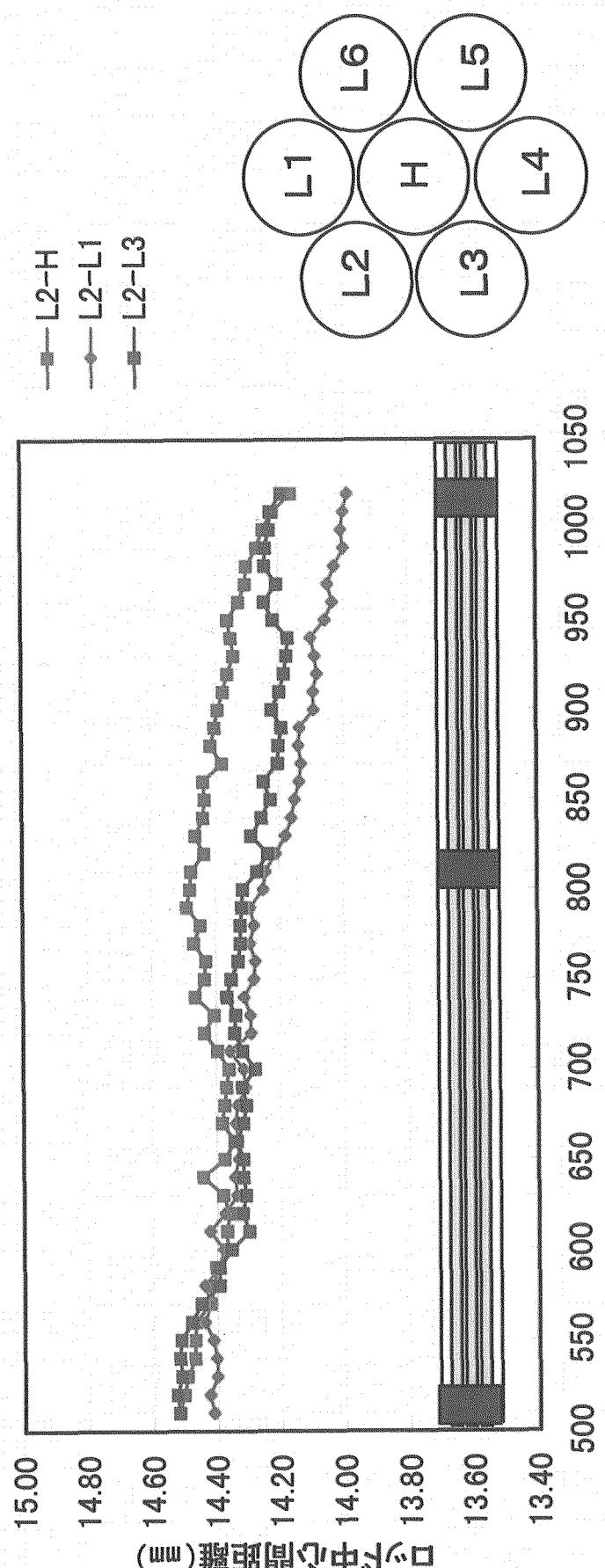


図4.15 燃料要素L2における隣接燃料要素との中心座標間距離

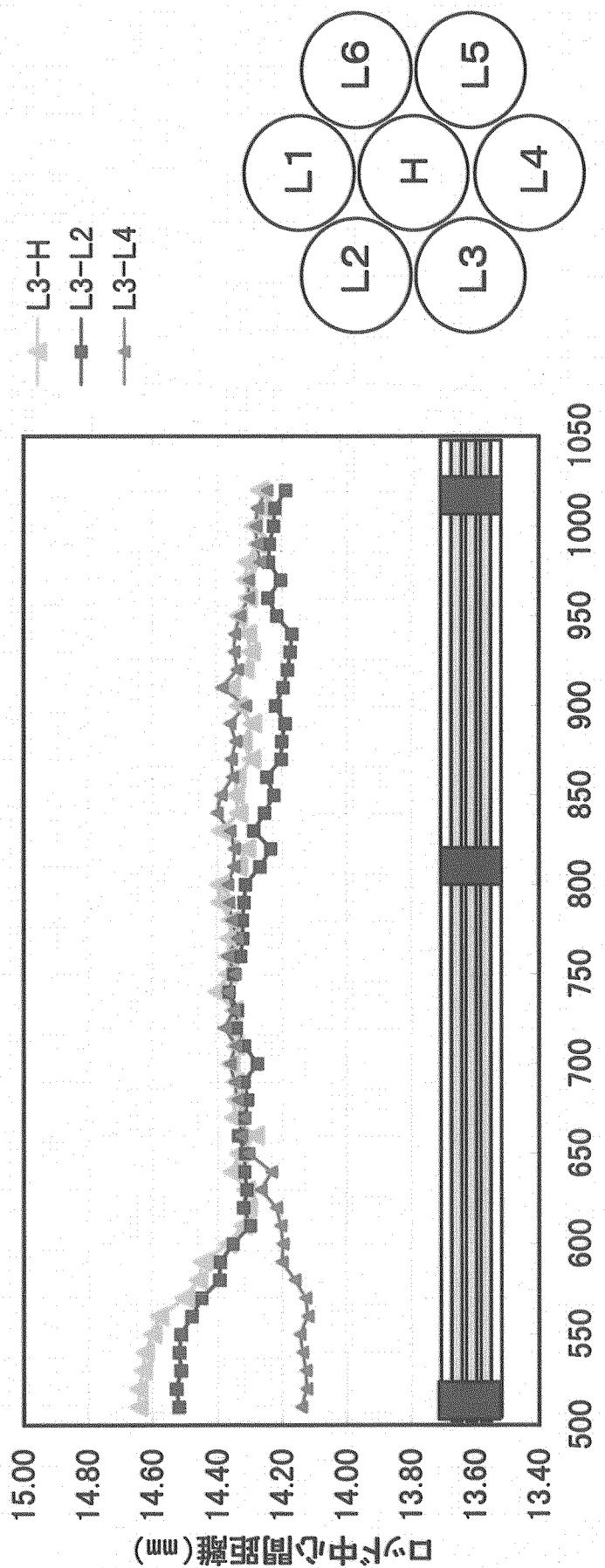


図4.16 燃料要素L3における隣接燃料要素との中心座標間距離

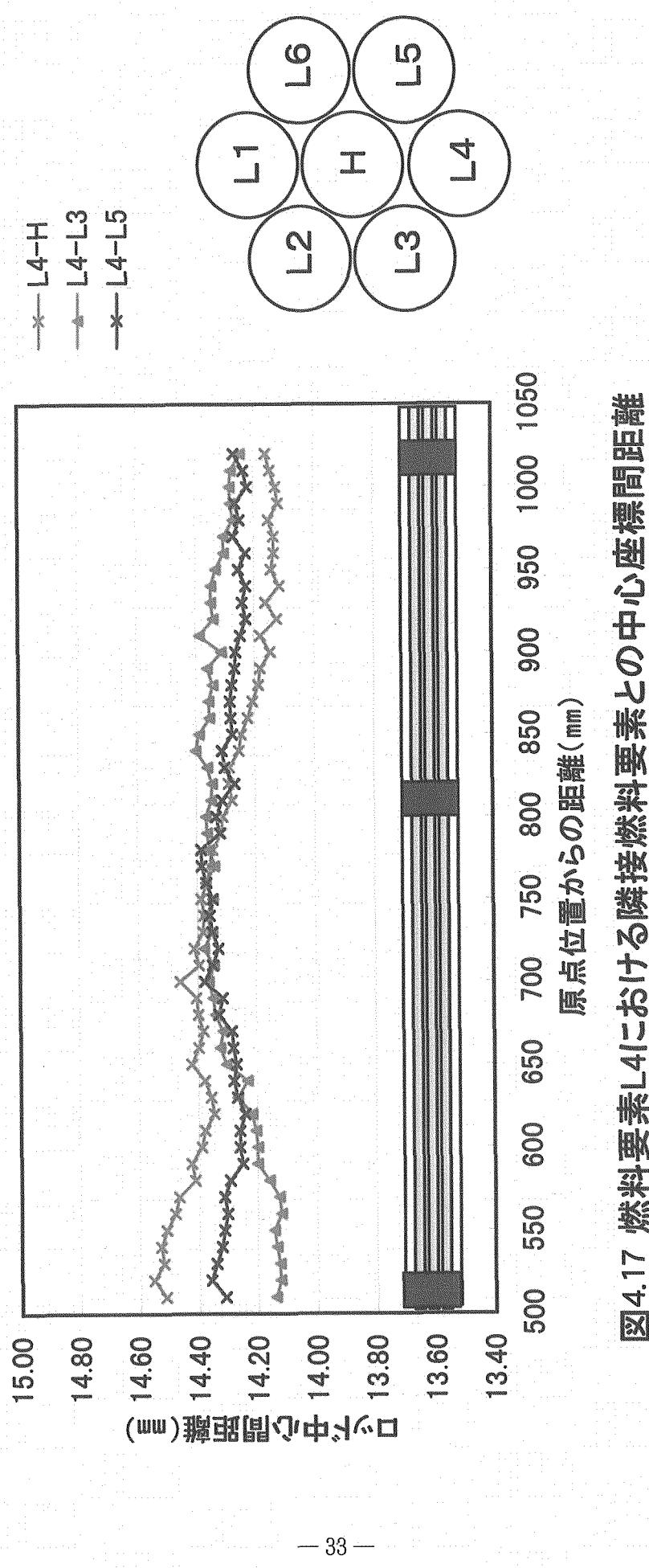


図4.17 燃料要素L4における隣接燃料要素との中心座標間距離

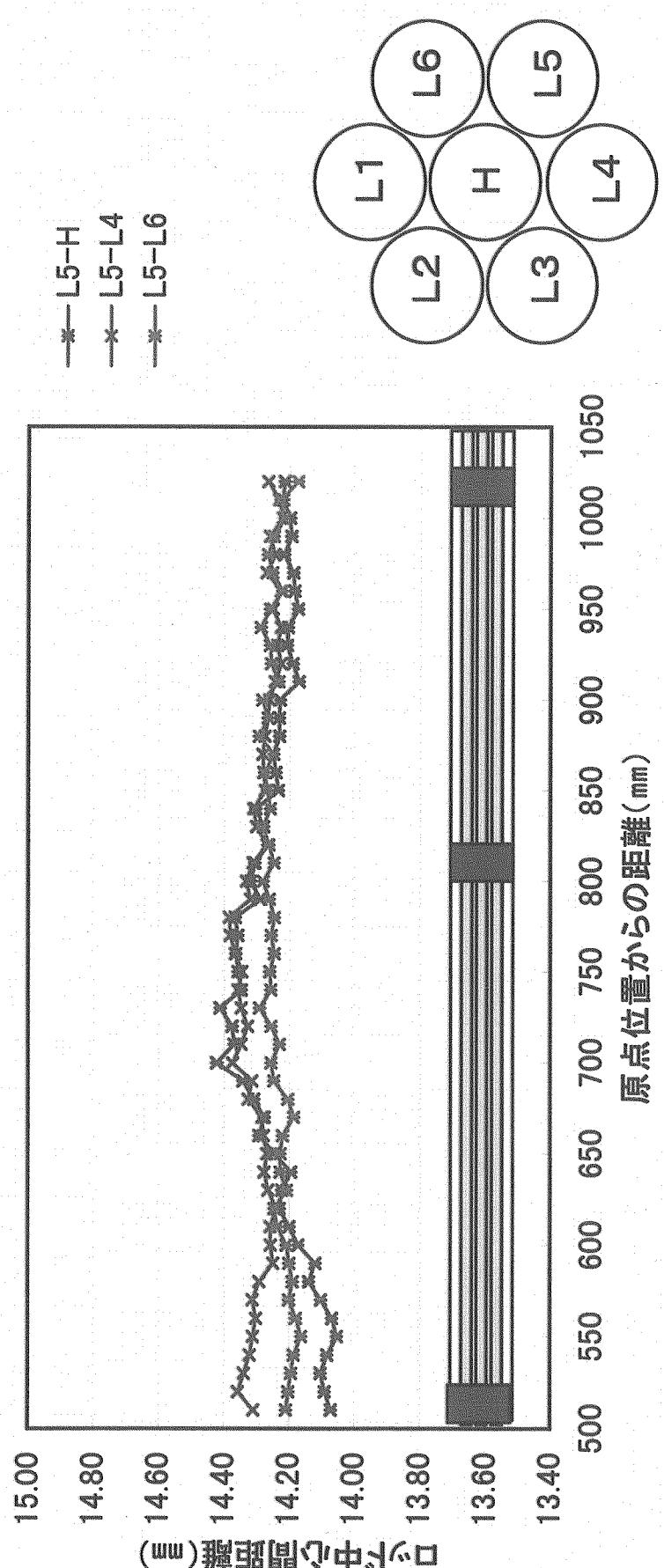


図4.18 燃料要素L5における隣接燃料要素との中心座標間距離

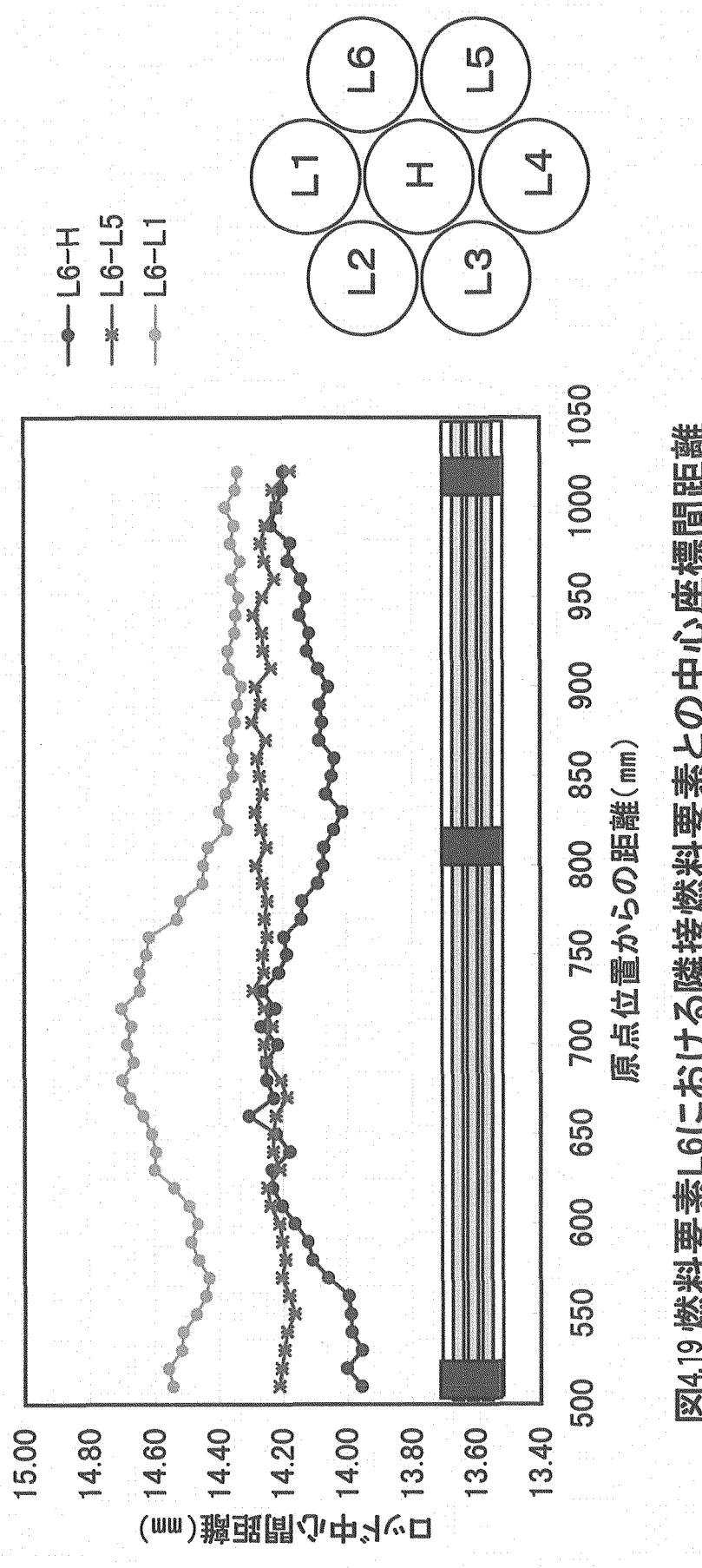


図4.19 燃料要素L6における隣接燃料要素との中心座標間距離

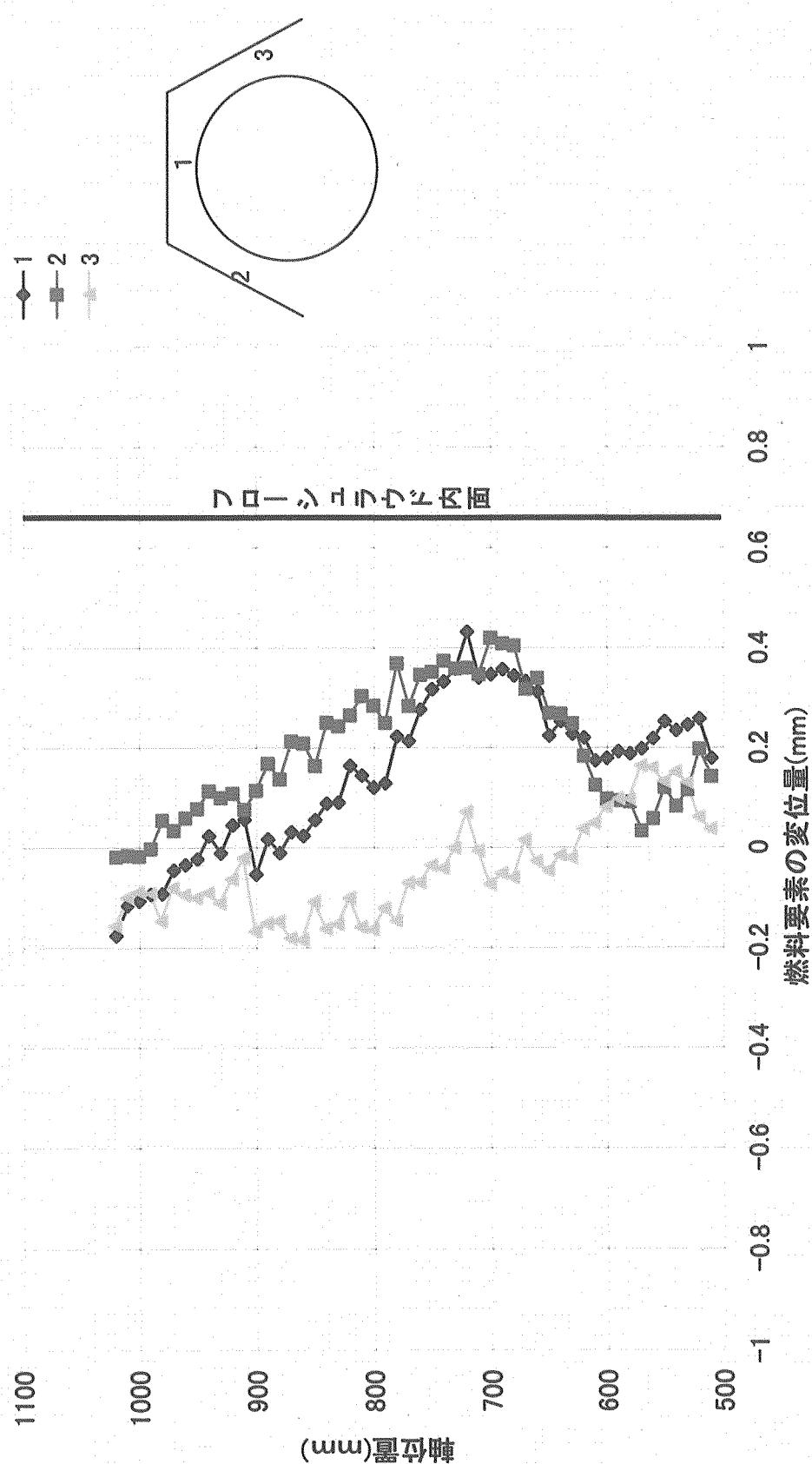


図4.20 燃料要素とフローチュラウドとの距離(燃料要素L1)

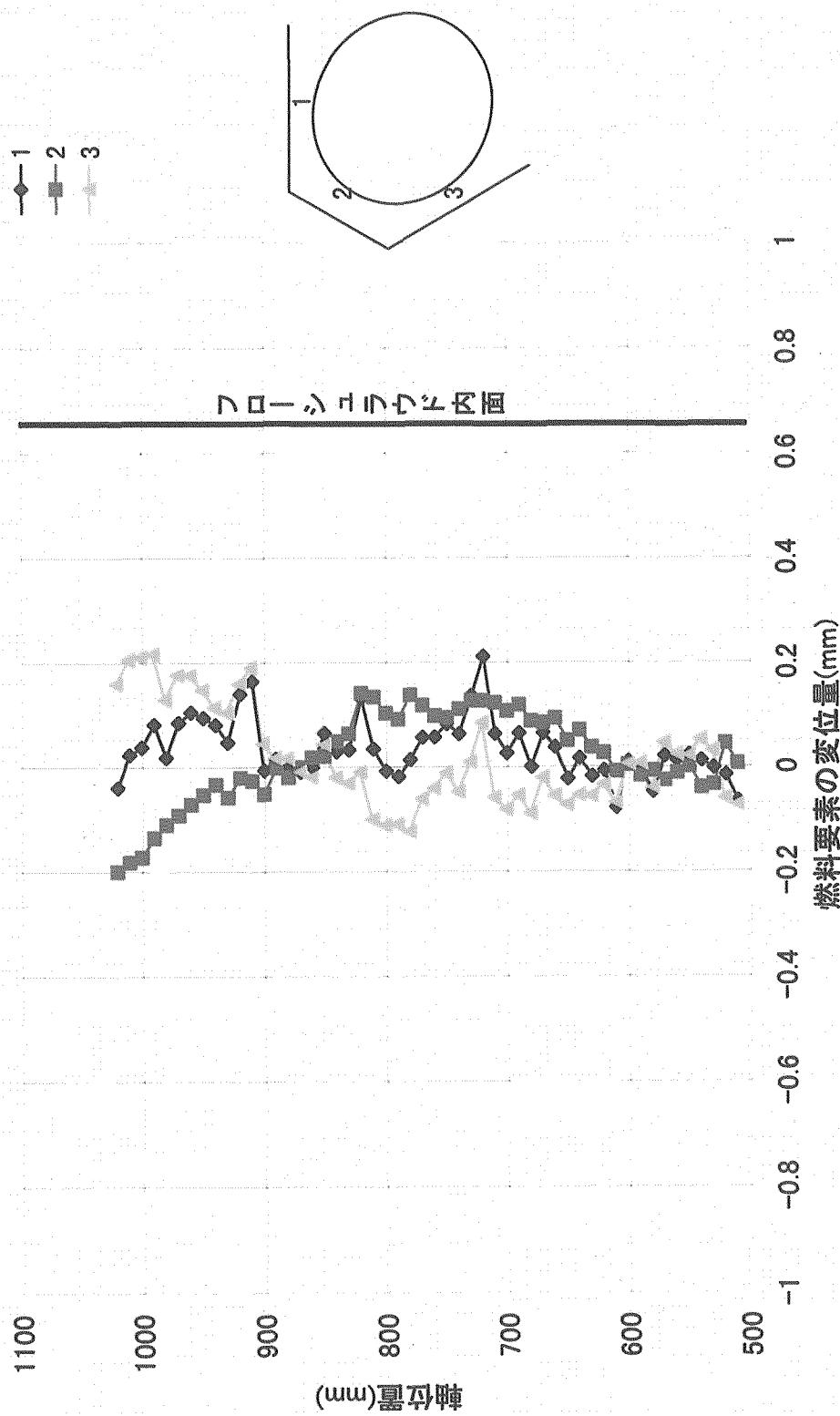


図4.21 燃料要素とフローチャンネルとの距離(燃料要素L2)

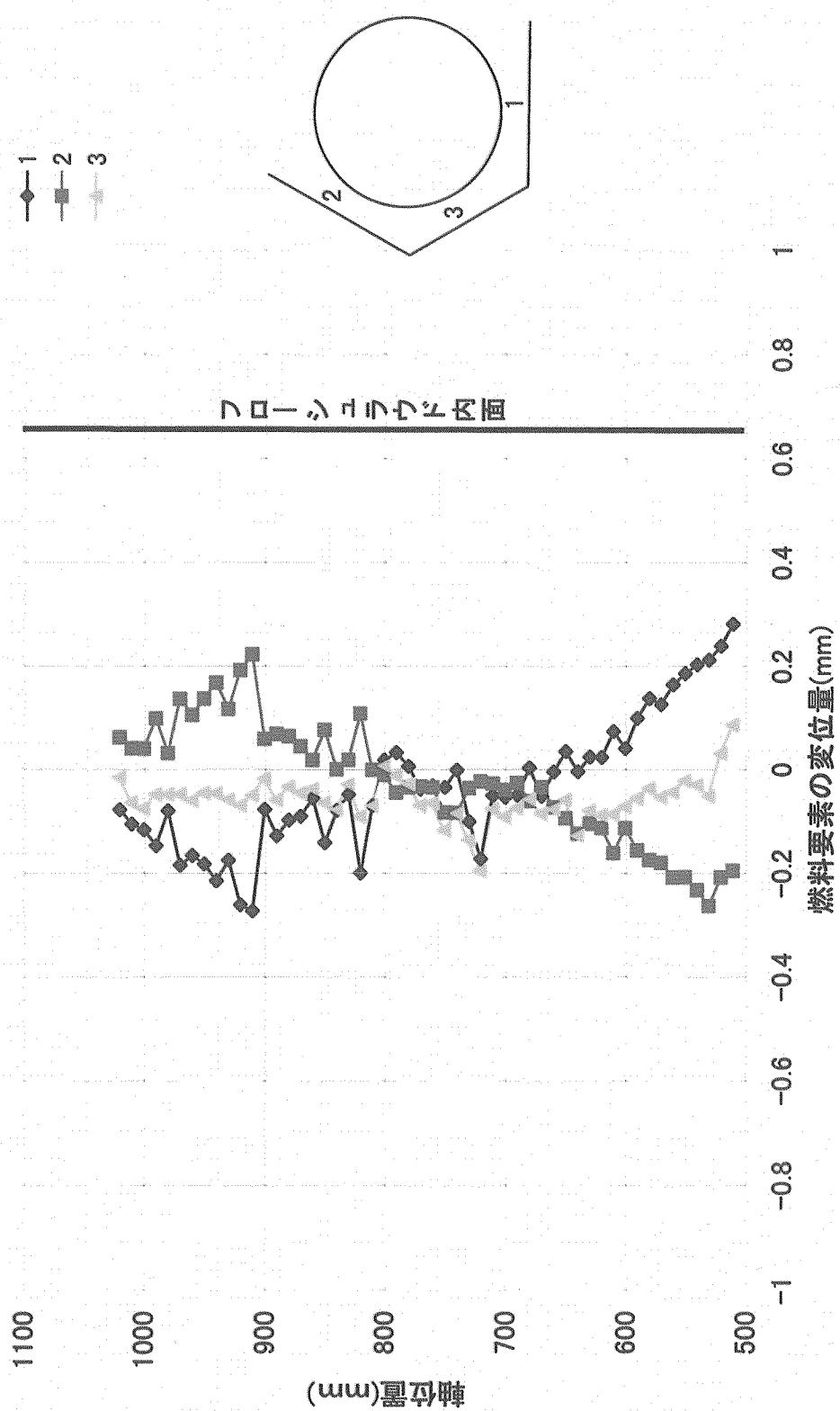


図4.22 燃料要素とフローチュラウドとの距離(燃料要素L3)

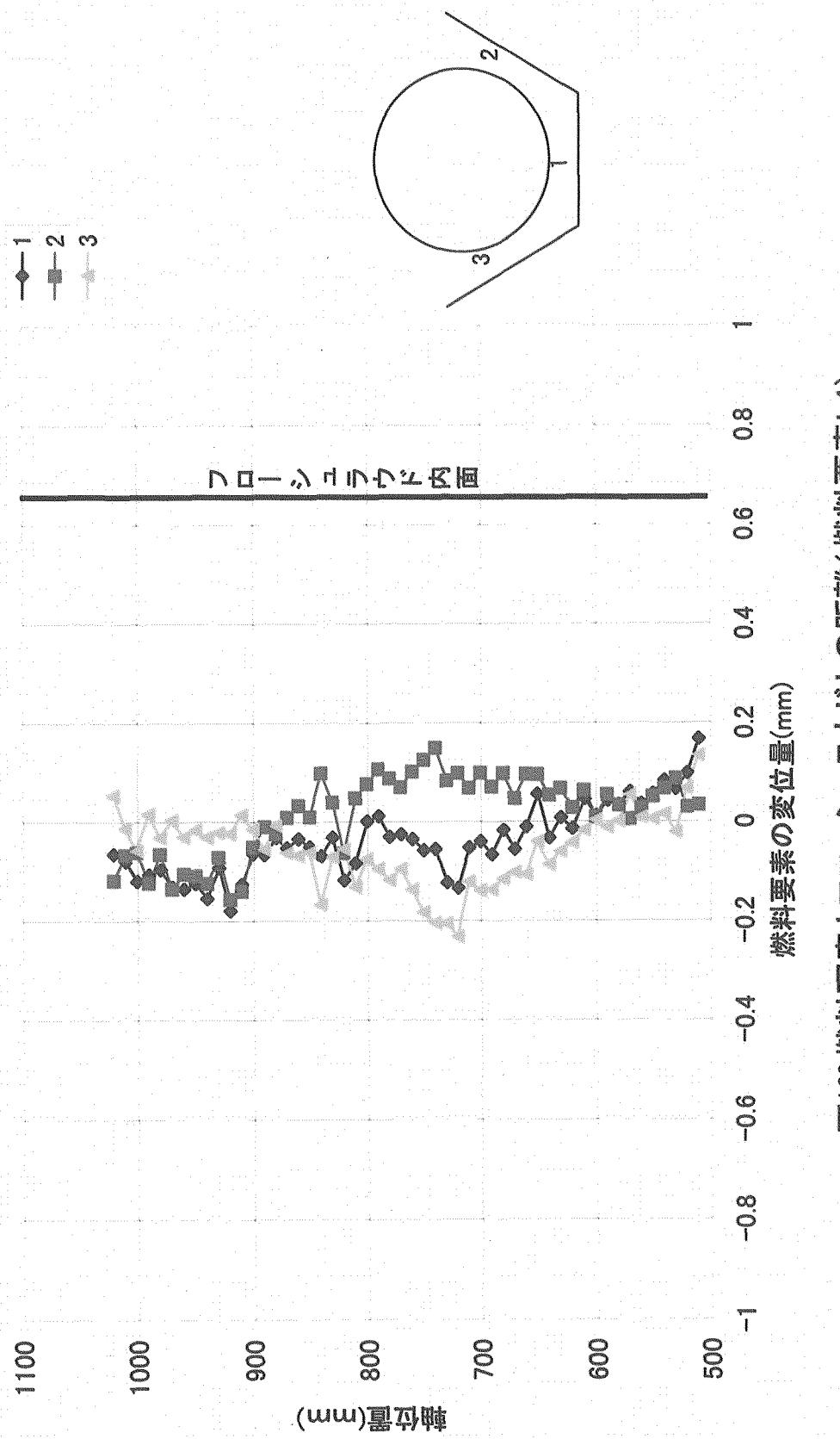


図423 燃料要素とフローシュラウドとの距離(燃料要素L4)

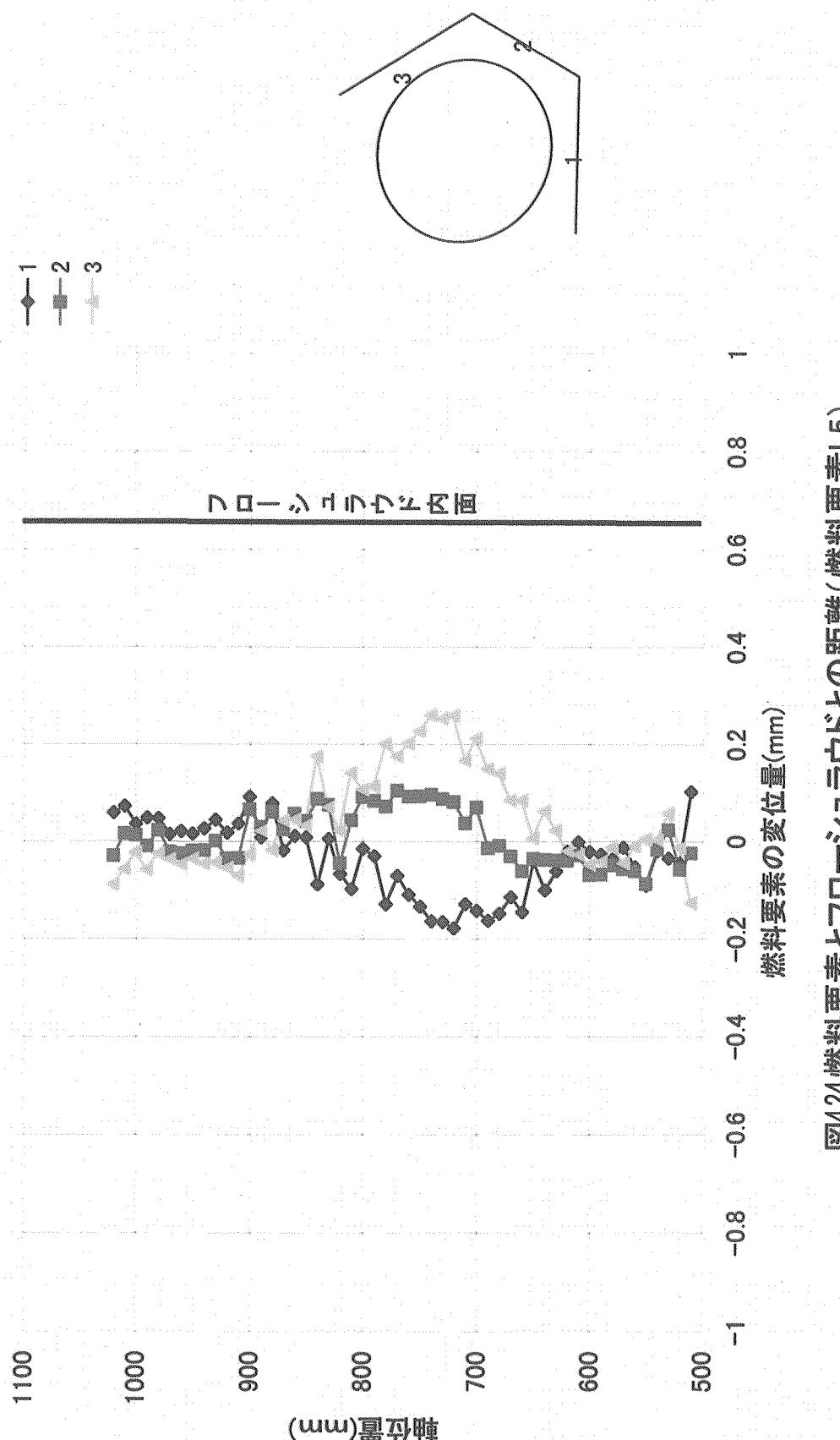


図4.24 燃料要素とフローシュラウドとの距離(燃料要素L5)

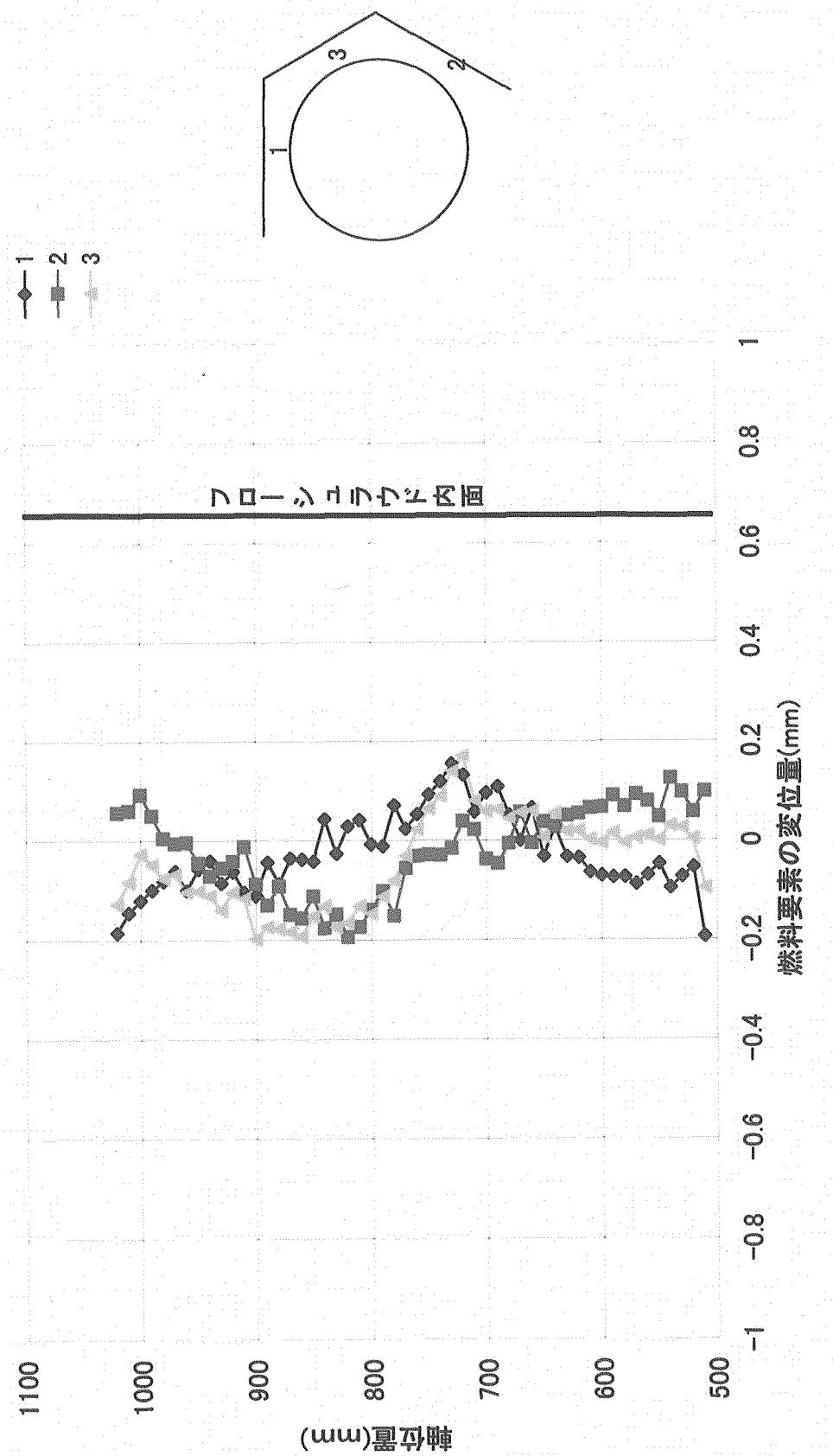


図4.25 燃料要素とフローシュラウドとの距離(燃料要素L6)



写真1 サービスエリア搬入作業



写真2 サービスエリア搬入作業

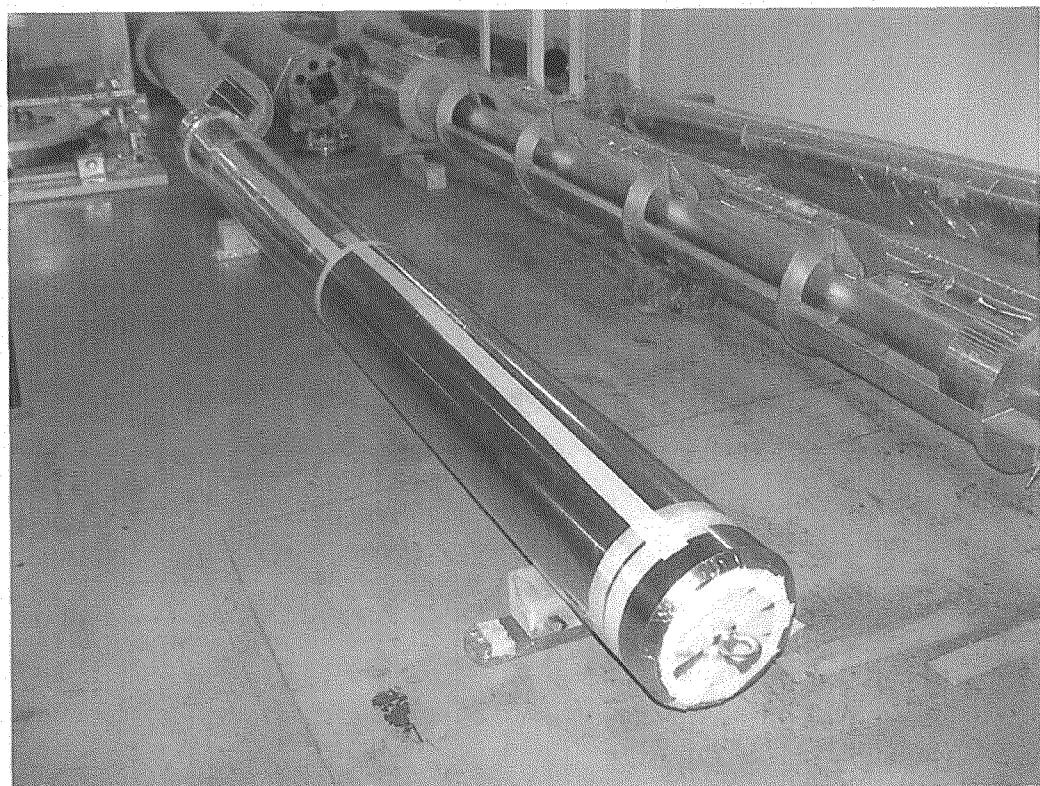


写真3 1重目養生後の気密容器



写真4 2重目養生後の気密容器



写真5 気密容器の吊り上げ



写真6 第2コンタクトリペア室への搬入

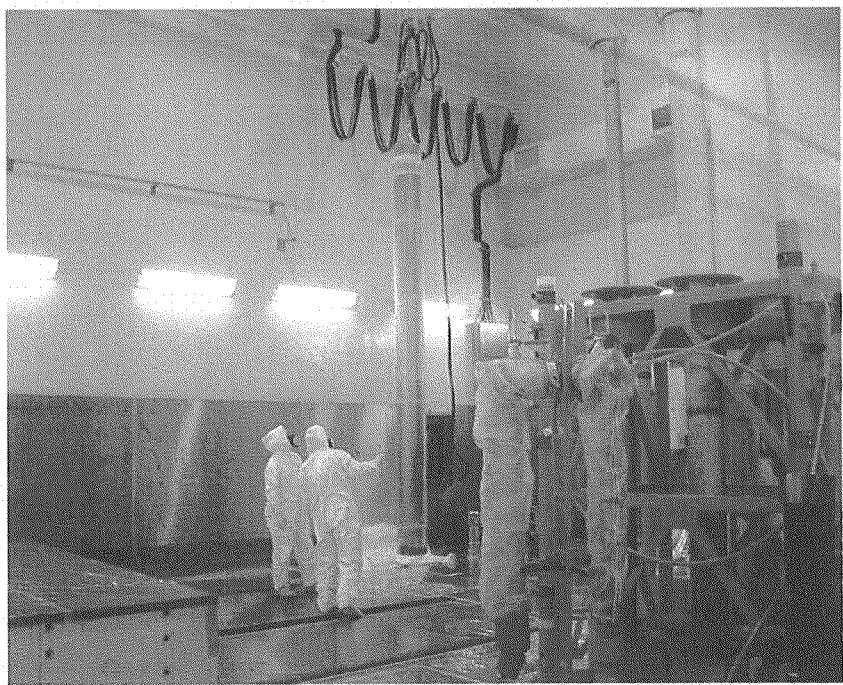


写真7 気密容器の吊り上げ



写真8 トランシーファーカート内気密容器搬入

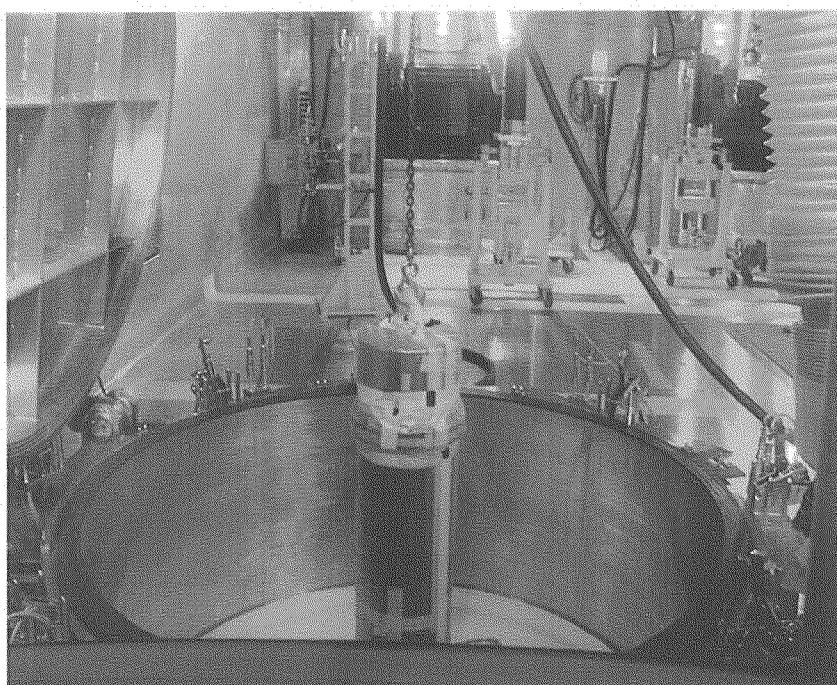


写真 9 第 2 試験セルでの気密容器取り出し

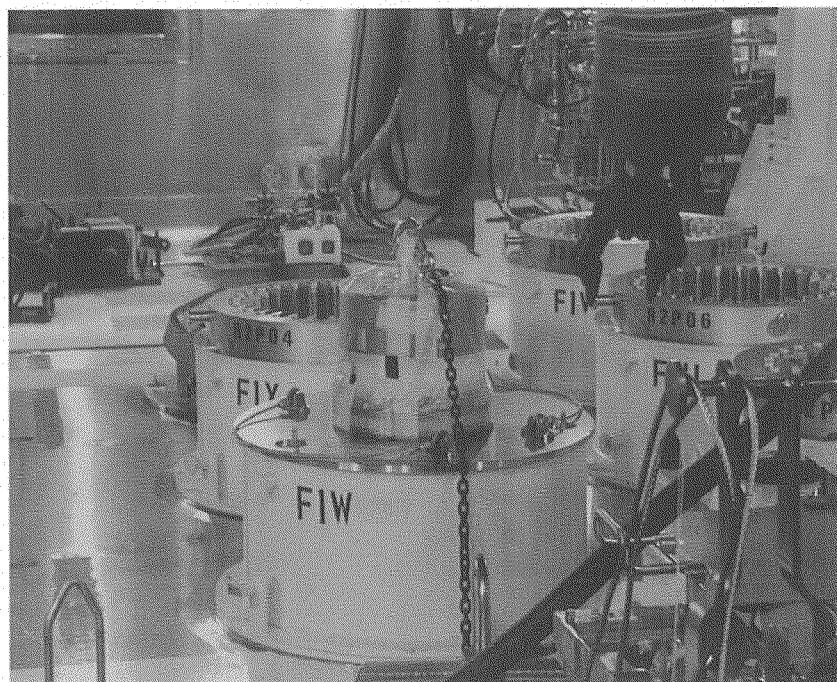


写真 10 ピンラック保管ピット仮置き

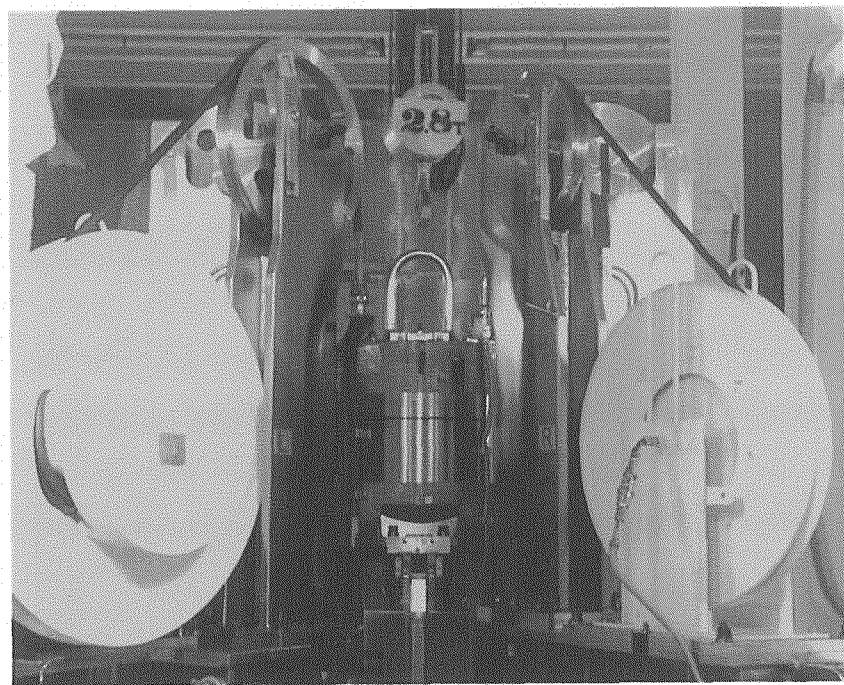


写真 11 X線 CT 装置への設置

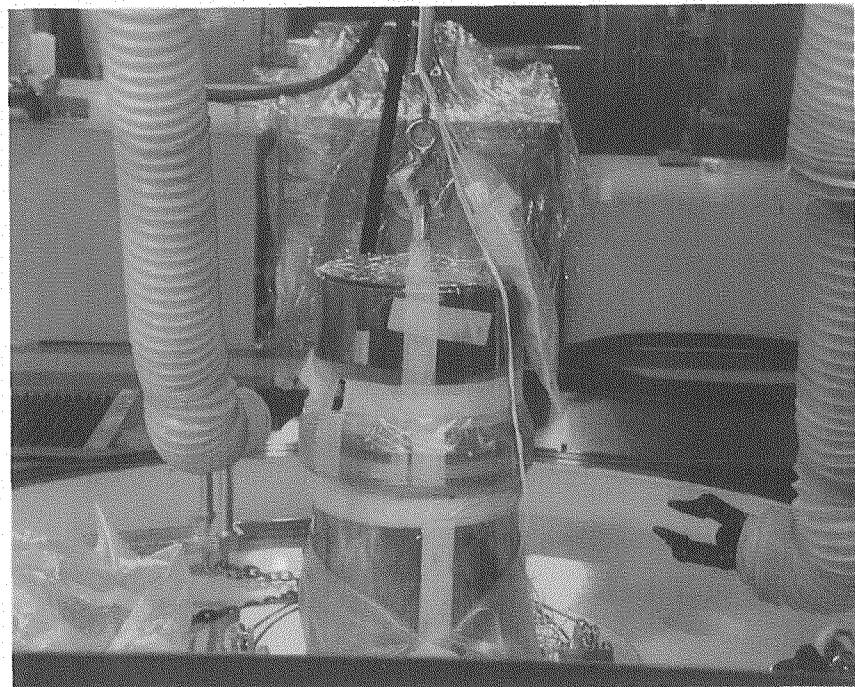


写真 12 外側養生の剥離作業(1)

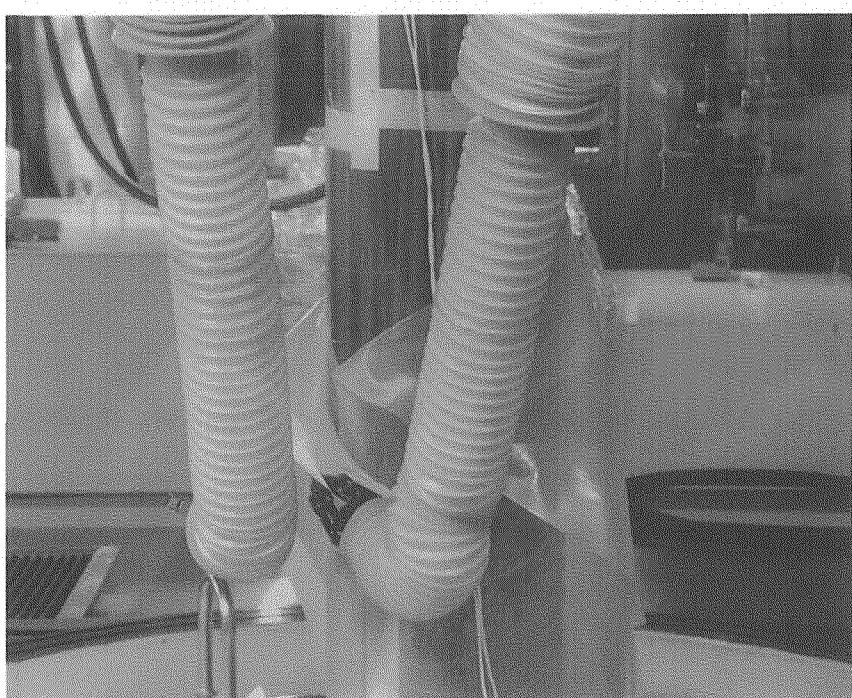


写真 13 外側養生の剥離作業(2)

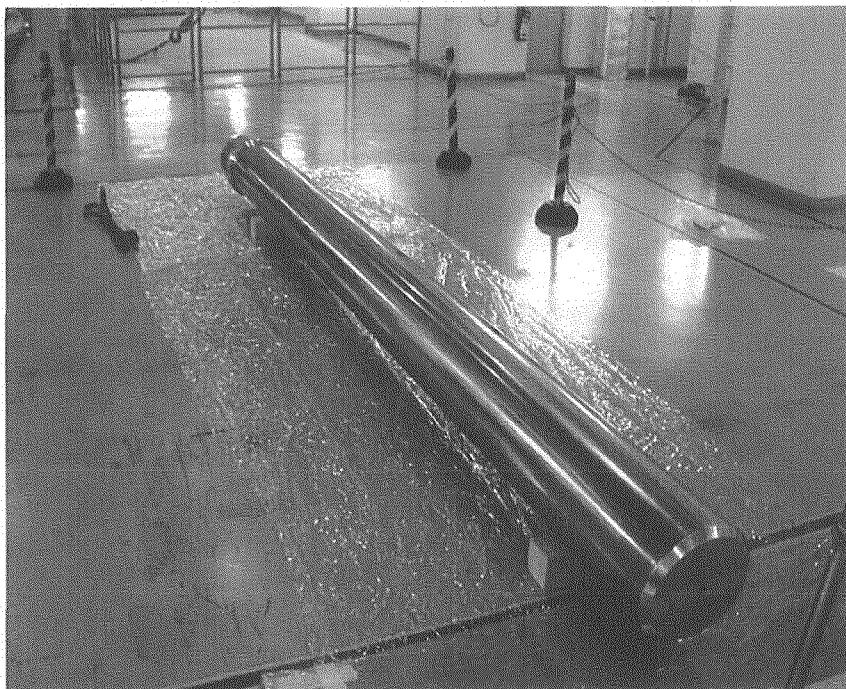


写真 14 サービスエリアへの搬出