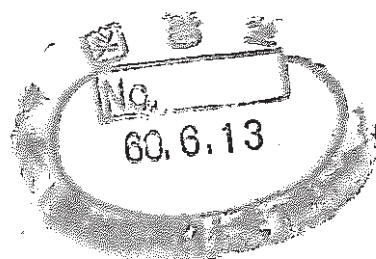


「常陽」MK-II 構造材料照射用反射体 (PRS040) の照射後試験(I)

照射リグ及びコンパートメントの非破壊試験



1985年2月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
T	N941 85-133
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター
燃料材料試験部

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

「常陽」MK-II 構造材料照射用反射体 (PRS040) の照射後試験(I)
照射リグ及びコンパートメントの非破壊試験

実施責任者 田地 弘勝 *
報告者 沖元 豊 * 浅賀 健男 *
西野入賢治 * 永峰 剛 *
小形 佳昭 *

要 旨

高速実験炉「常陽」MK-II 100 MW 定格第1 サイクル期間に炉心第7列で照射され、積算中性子照射量 $1.19 \times 10^{21} \text{n/cm}^2$ ($E \geq 0.1 \text{ MeV}$) を有する構造材料照射用反射体 (Structural Materials Irradiation Rig : SMIR) 「PRS040」の照射後試験を実施した。

本試験の照射燃料集合体試験施設 (FMF) における目的は、主として下記の三点である。

- ① 炉内でのリグの健全性確認、及び照射挙動の把握
- ② 照射リグの開発に反映させるためのNa洗浄性、及び遠隔解体性の確認
- ③ 試験片入りキャプセルの取出しと搬送

本照射後試験により下記する結果を得た。

- ① 中性子照射量が比較的低いため、中性子照射に伴う構造体の変形、及び構造体としての健全性に影響をおよぼすような異常、損傷等は認められず、本リグの炉内での健全性を確認した。
- ② 本リグのNa洗浄性は良好であった。また、遠隔解体性もCMIRの経験を踏えて容易に実施できた。
- ③ リグの遠隔取扱いによる試験片入りキャプセルの取出しを終了し、リグの搬入からキャプセル取出しまでの標準工程を確立した。

Feb. 1985

Postirradiation Examination of "JOYO" MK-II
Structural Materials Irradiation Rig
(Fab. No. PRS040)

Nondestructive Testing on Irradiation Rig and Its Compartments

Yutaka Okimoto, Takeo Asaga,
Kenji Nishinoiri, Tsuyoshi Nagamine,
Yoshiaki Ogata and Hirokatsu Tachi

Abstract

Postirradiation Examination (PIE) of "JOYO" MK-II Structural Materials Irradiation Rig (SMIR : Fab. No. PRS040) has been performed. The rig was irradiated during the 1st cycle of 100MW reactor power, and had the neutron fluence of about $1.19 \times 10^{21} \text{n/cm}^2$ ($E \geq 0.1 \text{ MeV}$)

The purpose of the present PIE in Fuel Monitoring Facility (FMF) are listed as following:

- 1) Verification of validity of designing of the integrity and investigation on irradiation behavior of "SMIR".
- 2) Evaluation of the propriety of the "SMIR" designing from a viewpoint of the disassembling and sodium removal.
- 3) The handling of small test pieces and shipment of the test pieces to Materials Testing in MMF.

The result were summarized as follows:

- 1) Neutron fluence of "SMIR" was relctivey low, so that the integrity and rig elements were kept normelly during irradiation period.
- 2) The residual sodium in the rig was scarcely found, and the rig was easily disassembled by remote handling.
- 3) The remote handling of small test pieces was easily carried out. A standard schedule for "SMIR" PIE performance in FMF has been established.

Fuel Monitoring Section, Fuel and Material Division,
O-arai Engineering Center.

目 次

1. まえがき	1
2. 構造材料照射用反射体 (SMIR) の概要	2
2.1 リグ構造概要	2
2.2 設計仕様	2
2.3 装荷モニター類の装荷位置	2
2.3.1 ドジメトリワイヤセット及びグラディエントモニターの装荷位置	2
2.3.2 温度モニターの装荷位置	2
3. 照射条件	3
3.1 炉内照射位置	3
3.2 照射リグ照射条件	3
4. 試験結果	4
4.1 試料の取扱い	4
4.2 集合体試験結果	4
4.2.1 外観検査	4
4.2.2 ナトリウム洗浄	4
4.2.3 寸法測定	5
4.2.4 X線ラジオグラフィ	5
4.2.5 上部パッド部詳細外観検査	6
4.2.6 ラッパ管ガンマスキャン	6
4.2.7 解体	6
4.3 コンパートメント試験結果	6
4.3.1 外観検査	6
4.3.2 X線ラジオグラフィ	7
4.3.3 寸法測定	7
4.3.4 キャプセル取出し	7
4.4 追加試験	7
4.4.1 エントランスノズル部オリフィス	7
4.4.2 下部支持板	7
5. 検 討	8
5.1 照射リグ及びコンパートメントの健全性評価	8
5.2 ナトリウム洗浄性と遠隔解体性	8

5.3	キャプセルの取出し及び所要工程	8
6.	あとがき	9
7.	参考文献	10
付 録	45

List of Table

Table I	Specification of Materials of Structural Materials Irradiation Rig.....	11
Table II	Parts List of Compartment	12
Table III	Irradiation Condition of 「 PRS040 」 during 1st cycle of 100MW Reactor Power	16

List of Figures

Fig. 1	Structure of "JOYO" MK-II Structural Material Irradiation Rig	17
Fig. 2	Structure of Compartment of Irradiation Rig	19
Fig. 3	Structure of Axis Tube of Irradiation Rig	21
Fig. 4	Structure of Test Piece Capsule in Irradiation Rig	22
Fig. 5	In Reactor Location of the Irradiation Rig	23
Fig. 6	Compartment Selected for each Postirradiation Examination Item	24
Fig. 7	Flow Diagram of Postirradiation Examination on Irradiation Rig	25
Fig. 8	Face to Face Distance of Wrapper Tube of the Irradiation Rig (D-A)	26
Fig. 9	Face to Face Distance of Wrapper Tube of the Irradiation Rig (B-E)	27
Fig. 10	Face to Face Distance of Wrapper Tube of the Irradiation Rig (C-F)	28
Fig. 11	Face to Face Distance of Wrapper Tube of the Fabrication Data	29
Fig. 12	Bowing Vector of Irradiation Rig	30
Fig. 13	Radial Distribution of Gamma-ray Intensity	31
Fig. 14	Model Schedule of "SMIR" PIE Performance in FMF	32

List of Photographs

Photo. 1	Surface Condition of the Rig before and after Sodium Removal (Visual Inspection)	33
Photo. 2	X-ray Radiography of Irradiation Rig	35
Photo. 3	Surface Condition of Upper Pad after Sodium Removal (Visual Inspection)	37
Photo. 4	The Handling Head Locknot	38
Photo. 5	Surface Condition and X-ray Radiography of Compartment of Rig	39
Photo. 6	Test Pieces Capsule	41
Photo. 7	The Entrance Nozzle	43
Photo. 8	The Lower Support Plarte	44

1. ま え が き

高速炉で使用される原子炉構造材料（原子炉容器、炉心槽、炉心支持板等）の高速中性子束下における材料挙動を把握するために、原子炉構造材料の照射試験が「常陽」MK-II照射用炉心において計画及び実施されている。¹⁾ 照射計画の主な目的は、

- 1) 原型炉「もんじゅ」の原子炉構造材料の中性子照射量 $3 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ ($E \geq 0.1 \text{ MeV}$) 下における材料特性の把握
- 2) 材料強度特性におよぼす照射温度効果のデータ取得
- 3) 材料強度特性におよぼす照射量効果のデータ取得

等であり、これらの目的を達成するために、構造材料照射用反射体（以下SMIRと呼ぶ）が新たに開発された。SMIRの機能的な特徴としては、①上記の照射温度特性、照射量特性を把握する試験片を収納したキャプセルを、セル内で遠隔解体、再組立ができるような構造のコンパートメント及び軸心管内に装填しリグに装荷していること、②キャプセル内の試験片照射温度は、各試験片ごとに発熱スリーブをキャプセルとの間に入れ、キャップとガス組成（Ar, He）を変えてキャップコンダクタンスを調整することにより設定していること、③リグの軸方向中性子束分布を把握するためのグラディエントモニターがリグ内へ装荷されていること等があげられる。

SMIRについては、その構造上の特性から、FMFでは以下の目的によって試験を実施する。

- 1) 集合体、コンパートメント、キャプセルの健全性を確認する、
- 2) 今後の照射リグの開発に反映させるため、Na洗浄性及び遠隔解体性を確認する、
- 3) 照射材料試験施設（MMF）への試験片入りキャプセル、各種モニターの供給を行う。

今回照射後試験を実施する「PRS040」は、MK-IIにおける最初の構造材料照射用リグであり、上記の1)、2)に主眼をおき、リグとしての機能を確認するものである。

また、炉内において、SMIRの出口付近の温度、流速が計算値と実測値で大きく異なったため、その原因としてリグ構造上の要因を確認するため、エントランスノズル部のオリフィス及び下部支持板について、冷却材流路の確認を行い、冷却材流量が確保されていたかどうかを確認するものである。

2. 構造材料照射用反射体(SMIR)の概要

2.1 リグ構造概要

SMIRは、ハンドリングヘッド、ラップ管、エントランスノズル、コンパートメント、軸心管、キャプセル、試験片等から構成されている。SMIRは、炉心燃料集合体と同様の外形形状を有し、集合体内中心に軸心管があってその回りにコンパートメント6本を等間隔に配置している。軸心管上部はロックナットを介してハンドリングヘッドと結合している。また、その中には中性子照射量を測定するためのドジメトリワイヤを収納している。

試験片は個々にスリーブ、温度モニタとともにキャプセル内へ装荷されている。また、キャプセル内の試験片照射温度は、試験片とキャプセルとの間に γ 発熱スリーブを入れ、ギャップとガス組成比(Ar, He)を変えて、ギャップコンダクタンスを調整することにより設定されている。キャプセルは、コンパートメント及び軸心管内に装荷されている。Fig.1にリグ構造図, Fig.2にコンパートメント構造図, Fig.3に軸心管構造図及びFig.4に試験片入りキャプセルの構造図を示す。

2.2 設計仕様

主要設計仕様をTable Iに示す。

2.3 装荷モニター類の装荷位置

2.3.1 ドジメトリワイヤセット及びグラディエントモニター

中性子照射量を測定するために、軸心管内3箇所(上部, 中央, 下部)にドジメトリワイヤを収納する計装品キャプセルを装荷している。また、リグ軸方向の中性子束分布を把握するためのグラディエントモニターが、ラップ管内面に取付けられている。キャプセルの装荷位置、種類をTable IIに示す。

2.3.2 温度モニター

温度モニターは試験片の照射温度を測定するためのもので、キャプセル内スリーブの外側面及び試験片上部に装荷されている。温度モニタの材質は炭化ケイ素及びモリブデンである。

3. 照 射 条 件

3.1 炉内照射位置

「PRS040」は、炉内装荷位置7B7に装荷され、「常陽」100MW第1サイクルの間照射された。照射リグの炉内照射位置と100MW第1サイクルにおける炉内構成をFig. 5に示す。

3.2 照射リグ照射条件

「PRS040」の積算中性子照射量は、集合体平均 $1.19 \times 10^{21} \text{n/cm}^2$ ($E \geq 0.1 \text{ MeV}$)である。100 MW 第1サイクルにおける照射リグの照射条件をTable IIIに示す。

4. 試験結果

4.1 試料の取扱い

本試料は炉サイトでナトリウム洗浄が行われた後キャスク渡りでFMFに搬入され、集合体試験として、FMFでの再度のナトリウム洗浄、洗浄前後の外観検査、寸法測定、X線ラジオグラフィを実施したのち、集合体を解体した。

ラップ管については、ガンマスキャン用試料を採取し、上部パッド部については詳細外観検査を実施した。

コンパートメントについては、Fig. 6に示す内容で試験を実施した。

試験終了後、MMFへ供給する試験片入りキャプセルの取出し及び中性子測定用モニター及びグラディエントモニター等の採取を実施した。

全体の試験フローをFig. 7に示す。

4.2 集合体試験結果

4.2.1 外観検査

ナトリウム洗浄前後の外観写真をPhoto. 1に示す。

(1) 洗浄前 (FMF受入時)

上部パッドで全てのパッドの同じ位置に同一形状のスリキズが認められた。

また、集合体下端から1,110 mmの部材表面に黒色でオイル状の付着物が認められた。集合体表面全体に洗浄ムラのしみが認められる(炉サイトの洗浄)。

中間パッド部上部付近からキーにかけ、黒変色している。

ハンドリングヘッド取付け部にギャップが認められた。

(2) 洗浄後

洗浄前と同様のスリキズ、変色、洗浄ムラのしみ等が、認められた。

その他、集合体の変形等特異な状態は認められない。

4.2.2 ナトリウム洗浄

本リグは、炉サイトで洗浄済のため湿り窒素ガスによるスチーム洗浄は実施せず、純水循環洗浄を1回実施した。

集合体収納ボルト締缶内水のPH値は10.4でアルカリ性を示し、その結果から付着ナトリウムは約0.15 gと評価された。一方、FMFでの洗浄後の洗浄廃液のPHは、約6.9で中性であり、炉サイト及びFMFでの洗浄により、集合体のナトリウム洗浄は完全に行われたものと考えられる。

なお、廃液中の放射性核種は、 ^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co であり、通常の炉心燃料集合体等のものと変化ない。

4.2.3 寸法測定

集合体の全長、対面間距離、曲がり測定し、照射前後での変化の有無を確認した。測定結果を以下に示す。

(1) 全長

照射前後で有意な変化は認められない。測定結果を以下に示す。

測定面	照射前 (mm)	照射後 (mm)	変化量 (mm) (照射後-照射前)
C-F	2,970.8	2,970.7	-0.1
B-E	2,970.8	2,970.6	-0.2
A-D	-	2,970.6	-
F-C	-	2,970.6	-
E-B	-	2,970.6	-
D-A	2,970.8	2,970.5	-0.3
平均	2,970.8	2,970.6	-0.2

(2) 対面間距離

各対面間での有意な変化は認められない。各対面間D-A面、B-E面、及びC-F面のプロファイルをそれぞれ Fig. 8、Fig. 9 及び Fig. 10 に示す。

炉サイト寸法（照射前）と比較した結果、有意な変化は認められない。炉サイト寸法を、Fig. 11 に示す。

(3) 曲がり

上部パッド部で曲がり量は、0.3 mm、曲がり方向 75° であり、中間パッド部で曲り量は 0.2 mm、曲がり方向 21° であった。測定結果を Fig. 12 に示す。

本照射リグは、ほとんど曲っておらず、製造時の状態を保っていたと推定される。

4.2.4 X線ラジオグラフィ

集合体内部への異物の混入、コンパートメント配列の乱れ、ねじれ及びコンパートメント支持部等の異常は観察されなかった。X線写真を Photo. 2 に示す。

ハンドリングヘッド取付部にギャップが観察された。

4.2.5 上部パッド部詳細外観検査

上部パッド部でB面以外の各面同位置に同様のスリキズが認められた。観察結果をPhoto.3に示す。全面に若干の白変色が認められが、一部のスリキズを除き、特異な状態は認められなかった。

4.2.6 ラップ管ガンマスキャン

照射リグの炉心中心方向を求めるため、炉心中心高さ付近に位置するラップ管の放射化核種の周方向強度分布測定を実施した。炉内装荷位置7B7は熱中性子の領域であり(n, γ)で生成する ^{60}Co を指標としたラップ管周方向の強度分布測定結果をFig. 13に示す。この結果、実験炉側での推定した炉心中心方向と一致した。

4.2.7 集合体解体

リグの解体は、リグを立てた状態で集合体解体機に据付けて行った。コンパートメントを取出すためにハンドリングヘッド固定ロックナットを緩めハンドリングヘッドを取外した。このロックナットを緩めたとき、軸心管上部ネジ部が折れた。状況をPhoto.4に示す。ロックナット緩めトルクは、64 kg cmであった。本件については、モックアップ試験時にも発生しており、改善を要望していた。本件が発生すると再組立が不可能となる。ハンドリングヘッドの引抜き(正味重量)は、124 kgであった。ハンドリングヘッドを取外すと、コンパートメントを1本ずつ引抜いていく。

コンパートメントの引抜き力では、最初に引抜いたコンパートメントが、10 kgを越えたがそれ以外は、1~2 kgの範囲内で引抜けた。ここで使用したバネ計りは最大荷重10 kgである。ロックナット止めピンは、健全であった。

詳細解体手順については、付録を参照されたい。

また、リグ解体前にラップ管とハンドリングヘッドのすきまを測定した結果、約1 mmであった。

4.3 コンパートメント試験結果

4.3.1 外観検査

コンパートメントを1本ずつラップ管内より取出して外観検査を実施した。観察結果をPhoto.5に示す。

全コンパートメントの下端が茶変色していた。軸心管について曲りが認められ、曲り量を評価するために寸法測定を実施した。また、軸心管キャップに施されたポット溶接部が欠落し穴が認められた。これは、SMIRの機能からいえば、欠落しても影響ないものと考えられる。

コンパートメント部材及びキャップの番号を確認した結果、正常に装荷されていた。

4.3.2 X線ラジオグラフィ

全コンパートメントのX線写真撮影を実施した結果、キャプセル、スペーサの配列異常、異物の混入等は認められなかった。代表列のX線写真をPhoto.5に示す。

4.3.3 軸心管曲り測定

外観検査で認められた軸心管の曲り量を定量的に評価するために実施した。

軸心管の測定範囲は、軸心管下端より28mm～1,921mmの間であるが、軸心管外管の径方向にスリットがあるので、測定時にはそれをクリアーできる角度を設定する必要がある。この結果、外観検査で認められた最大曲り方向とずれてしまい、正確に求めることができず、測定結果は、0.8mmと小さい値を示した。

4.3.4 キャプセル取出し

コンパートメント及び軸心管内からキャプセルの取出しを実施した結果、製造時データと同一に装荷されていた。取出した結果をPhoto.6に示す。

また、グラディエントモニターの試料採取を実施した。

4.4 追加試験

照射リグの冷却材流路を確認するため、エントランスノズル部のオリフィス及び下部支持板について観察を実施した。

4.4.1 エントランスノズル部オリフィス

エントランスノズル端栓テーパ部流路閉塞防止孔付近に周方向のスリキズが認められた。観察結果をPhoto.7に示す。

これ以外、冷却材流量に影響をおよぼすような特異な状態は認められない。

4.4.2 下部支持板

コンパートメント支持穴、軸心管切断後の穴及び周辺観察したが、付着物、キズ等は認められず、また、冷却材流量に影響をおよぼすような特異な状態は認められない。

観察結果をPhoto.8に示す。

5. 検 討

5.1 照射リグ及びコンパートメントの健全性評価

「PRS040」の照射量は $1.19 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$ ($E \geq 0.1 \text{ MeV}$)でリグの外形変化をおよぼす可能性のある照射量 $2 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ ³⁾に比べ低いため、ふくれ、伸び等何も認められない。また、コンパートメントについても、曲り等何も認められない。ただ、一部に製造時と異なる形状がみられるものがある。たとえば、軸心管の曲り、ラッパ管とハンドリングヘッドの取付部でのすきま等があるが、これらは、材料の照射挙動によるものか、またはリグの構造上の問題なのか現状では不明であり今後の同種試験により確認する。いずれにしても、これらの特徴は本リグの健全性の評価に影響をおよぼすほどのものとは考えにくい。また、上述したように中性子照射による材料変化はまったく生じていないといえる。したがって、本リグは期待どおり、炉内で健全性を有していたものと判断する。

5.2 ナトリウム洗浄性と遠隔解体性

照射リグは、実験炉サイトでナトリウム洗浄されてFMFへ搬入された。したがって、FMF搬入時のナトリウム付着量は0.1gとわずかで水洗回数1回で洗浄廃液は中性に達しており、その後の解体においても残留ナトリウムは、ほとんど認められなかった。実験炉サイトでナトリウム洗浄方法は炉心燃料集合体とSMIRで、洗浄方法(2~3回程度洗浄)は変えておらず、また、常陽側推定Na付着量(約50g)も同程度であり、ナトリウムのドレン性は炉心燃料集合体と同等程度と推定し、本リグのNaドレン性及び洗浄性は良好と考えられる。

次に各部の遠隔解体性であるが、事前に炉心材料照射リグ(CMIR)の解体実績を踏えて解体手順を定めており、軸心管の取出しについては下部を切断し取出すが、それ以外は特に問題はない。ただ、構造上の不具合として、軸心管上部ネジ部がロックナット緩め時に折れたことである。この件は、モックアップ試験時にも、同様な位置で折れており、改善を要望していた。この結果、ハンドリングヘッドの取付けが不可能となったため、照射リグの移送ができなくなった。その対策としてラッパ管に穴をあけ、穴を利用し、専用治具で移送することができた。この対策については、遠隔技術の蓄積結果と評価できる。

5.3 キャプセルの取出し及び所要工程

コンパートメント及び軸心管内に挿入されている試験片入りキャプセルの取出しは、遠隔にて、容易に実施できた。この実績から、照射リグの搬入から試験片入りキャプセルの取出しまでの標準工程は約20日でFig. 14に示す。但し、これは他のPIE試験の優先順位及びリグ等に異常が認められた場合は、延びる可能性がある。

6. あ と が き

「常陽」MK-II 炉心で照射された構造材料照射用反射体「PRS040」の照射後非破壊試験を実施した。以下に示す結果を得た。

- 1) 照射量が低いため、中性子照射に伴う構造体の変形及び構造体としての健全性に影響をおよぼすような異常、損傷等は認められず、本リグの炉内での健全性を確認した。
- 2) 本照射リグのナトリウム洗浄性は良好であった。また、遠隔解体性も CMIR の実績を踏まえ、容易に実施することができた。
- 3) 照射リグの遠隔取扱いにより試験片入キャプセルの取出しを終了し、リグの搬入からキャプセル取出しまでの標準工程を確立した。
- 4) 特別試験の結果、照射リグの冷却材流量に影響をおよぼすような構造上の問題は認められない。

これら上述したように、本リグの健全性は認められたものの、今後中性子照射量の増加にともない材料加工（冷間加工材、アニール材等）の違い、炉内温度分布の違い及び材質等の違いによる部材の照射影響が現われてくるものと考えられる。

7. 参 考 文 献

- 1) 「常陽」MK-II炉心で照射される構造材料の照射後試験実施計画の検討
PNC SN908 84-01, 1984
- 2) 「常陽」MK-II照射用リグ解体モックアップ試験
PNC SN941 84-32, 1984
- 3) 井滝 俊幸：高速実験炉「常陽」炉心燃料集合体の照射後試験結果概要（第3報）
PNC SN941 84-05, 1984

Table I Specification Materials of Structural
Materials Irradiation Rig

(1) 材料照射用反射体		
型 式		コンパートメント型
ラッパ管形状		正六角形
全 長		2,970 mm
全 重 量		約70 kg
コンパートメント本数		6本
ラッパ管外対辺距離		78.5 mm
ラッパ管内対辺距離		74.7 mm
ラッパ管肉厚		1.9 mm
上部パッド部外対面距離		80.3 mm
中央パッド部外対面距離		81.2 mm
(2) ハンドリングヘッド		
材 料		SUS 316
長 さ		140 mm
パッド部外対辺距離		80.3 mm
(3) エントランスノズル		
材 料		SUS 316
長 さ		730 mm
下端部外径	内側反射体領域装荷用	43.9 mm
	外側反射体領域装荷用	41.4 mm
(4) コンパートメント		
型 式		スリット付単管型
形 状		円筒型
全 長		2,152 mm
コンパートメント	管外径	26 mm
コンパートメント	管内径	24.7 mm
コンパートメント	管肉厚	0.65 mm
(5) 軸心管		
型 式		スリット付単管型
形 状		円筒型
全 長		2,181 mm
外 径		26.7 mm
内 径		24.0 mm
肉 厚		1.35 mm

Table II Parts List of Compartment

コンパートメント No. S41

	コンパートメント内 位置 (mm)	長さ (mm)	試験片 No.	スリーブNo.	カプセルNo.	温度モニタ	備 考
	0 ~ 480	480	—	—	—	—	スペーサ
1	480 ~ 636	156	K 00KD	B 10061	B 0074	—	
2	635 ~ 740	104	T 008V	A 10033	A 0093	SiC (530℃)	
3	740 ~ 844	104	T 008W	A 10034	A 0094	SiC (530℃)	
4	844 ~ 948	104	T 008X	A 10035	A 0095	—	
5	948 ~ 1104	156	F 00GF	B 10062	B 0075	SiC (600℃)	
	1104 ~ 1857	753	—	—	—	—	スペーサ

コンパートメント No. S42

	コンパートメント内 位置 (mm)	長さ (mm)	試験片 No.	スリーブNo.	カプセルNo.	温度モニタ	備 考
	0 ~ 480	480	—	—	—	—	スペーサ
1	480 ~ 636	156	K 00KE	B 10063	B 0076	SiC (600℃)	
2	636 ~ 740	104	T 008Y	A 10036	A 0096	—	
3	740 ~ 844	104	T 008Z	A 10037	A 0097	—	
4	844 ~ 948	104	T 0090	A 10038	A 0098	SiC (530℃)	
5	948 ~ 1104	156	K 00KF	B 10064	B 0077	—	
	1104 ~ 1857	753	—	—	—	—	スペーサ

コンパートメント No. S 43

	コンパートメント内 位置 (mm)	長さ (mm)	試験片 No.	スリーブNo.	カプセルNo.	温度モニタ	備 考
	0 ~ 480	480	—	—	—	—	スペーサ
1	480 ~ 636	156	K 00KG	B 10065	B 0078	—	
2	636 ~ 740	104	T 0091	A 10039	A 0099	—	
3	740 ~ 844	104	T 0092	A 10040	A 0100	SiC (530°C)	
4	844 ~ 948	104	T 0093	A 10041	A 0101	—	
5	948 ~ 1104	156	K 00KH	B 10066	B 0079	—	
	1104 ~ 1857	753	—	—	—	—	スペーサ

コンパートメント No. S 44

	コンパートメント内 位置 (mm)	長さ (mm)	試験片 No.	スリーブNo.	カプセルNo.	温度モニタ	備 考
	0 ~ 480	480	—	—	—	—	スペーサ
1	480 ~ 636	156	K 00KJ	B 10067	B 0080	—	
2	636 ~ 740	104	C 00D 1	A 10042	A 0102	SiC (530°C)	
3	740 ~ 844	104	C 00D 2	A 10043	A 0103	—	
4	844 ~ 948	104	C 00D 3	A 10044	A 0104	SiC (530°C)	
5	948 ~ 1104	156	K 00KK	B 10068	B 0081	SiC (600°C)	
	1104 ~ 1857	753	—	—	—	—	スペーサ

コンパートメント No. S 45

	コンパートメント内 位 置 (mm)	長さ (mm)	試験片 No.	スリーブNo.	カプセルNo.	温度モニタ	備 考
	0 ~ 480	480	—	—	—	—	スペーサ
1	480 ~ 636	156	K 00KL	B 10069	B 0082	SiC (600℃)	
2	636 ~ 740	104	C 00D4	A 10045	A 0105	—	
3	740 ~ 844	104	C 00D5	A 10046	A 0106	—	
4	844 ~ 948	104	C 00D6	A 10047	A 0107	—	
⑤	948 ~ 1104	156	1	B 10070	B 0083	SiC (410℃)	モニタ用疲労
⑥	1104 ~ 1260	156	2	B 10071	B 0084	SiC (420℃)	"
	1260 ~ 1857	597	—	—	—	—	スペーサ

コンパートメント No. S 46

	コンパートメント内 位 置 (mm)	長さ (mm)	試験片 No.	スリーブNo.	カプセルNo.	温度モニタ	備 考
	0 ~ 480	480	—	—	—	—	スペーサ
①	480 ~ 636	156	3	B 10072	B 0085	SiC (540℃)	モニタ用疲労
②	636 ~ 792	156	4	B 10073	B 0086	SiC (500℃)	"
③	792 ~ 948	156	5	B 20014	B 0087	SiC (540℃)	"
④	948 ~ 1104	156	6	B 10074	B 0088	SiC (445℃)	"
⑤	1104 ~ 1260	156	7	B 20015	B 0089	SiC (470℃)	"
	1260 ~ 1857	597	—	—	—	—	スペーサ

コンパートメント No. S 47

	コンパートメント内 位 置 (mm)	長さ (mm)	試験片 No.	スリーブNo.	カプセルNo.	温度モニタ	備 考
	0 ~ 383	383	—	—	—	—	スペーサ
	383 ~ 424	41	—	—	DS041	—	計装品カプセル
①	424 ~ 528	104	1	A 10048	A 0108	SiC (495°C)	モニタ用引張
②	528 ~ 632	104	2	A 30017	A 0109	SiC (460°C)	〃
③	632 ~ 736	104	3	A 10049	A 0110	SiC (550°C)	〃
④	736 ~ 840	104	4	A 20045	A 0111	SiC (440°C)	〃
	840 ~ 881	41	—	—	DS042	—	計装品カプセル
⑤	881 ~ 985	104	5	A 30018	A 0112	SiC (475°C)	モニタ用引張
⑥	985 ~ 1089	104	6	A 20046	A 0113	SiC (425°C)	〃
⑦	1089 ~ 1193	104	7	A 30019	A 0114	SiC (440°C)	〃
	1193 ~ 1234	41	—	—	DS043	—	計装品カプセル
	1234 ~ 1857	63	—	—	—	—	スペーサ

Table III Irradiation Condition of 「PRS040」 during
1st cycle of 100MW Reactor Power

サ イ ク ル			1	
装 荷 位 置			7 B 7	
燃 焼 度	ポ イ ン ト 最 大		MWD/T	—
	集 合 体 平 均		MWD/T	—
積 算 中 性 子 照 射 量	En ≥ 0.1 MeV	ポ イ ン ト 最 大	$\times 10^{20} \text{n/cm}^2$	15.6
		集 合 体 平 均	$\times 10^{20} \text{n/cm}^2$	11.9
	Total	ポ イ ン ト 最 大	$\times 10^{20} \text{n/cm}^2$	42.9
		集 合 体 平 均	$\times 10^{20} \text{n/cm}^2$	33.6
線 出 力	B O C	ポ イ ン ト 最 大	W/cm	—
		集 合 体 平 均	W/cm	—
	E O C	ポ イ ン ト 最 大	W/cm	—
		集 合 体 平 均	W/cm	—
被 覆 管 最 高 温 度	B O C		°C	—
	E O C		°C	—
燃 料 最 高 温 度	B O C		°C	—
	E O C		°C	—
集 合 体 出 口 温 度	B O C		°C	385
	E O C		°C	385
ピーキング係数	B O C	径 方 向	—	—
		軸 方 向	—	1.122
	E O C	径 方 向	—	—
		軸 方 向	—	1.118
冷 却 材 流 量	B O C		kg/sec	0.41
	E O C		kg/sec	0.41

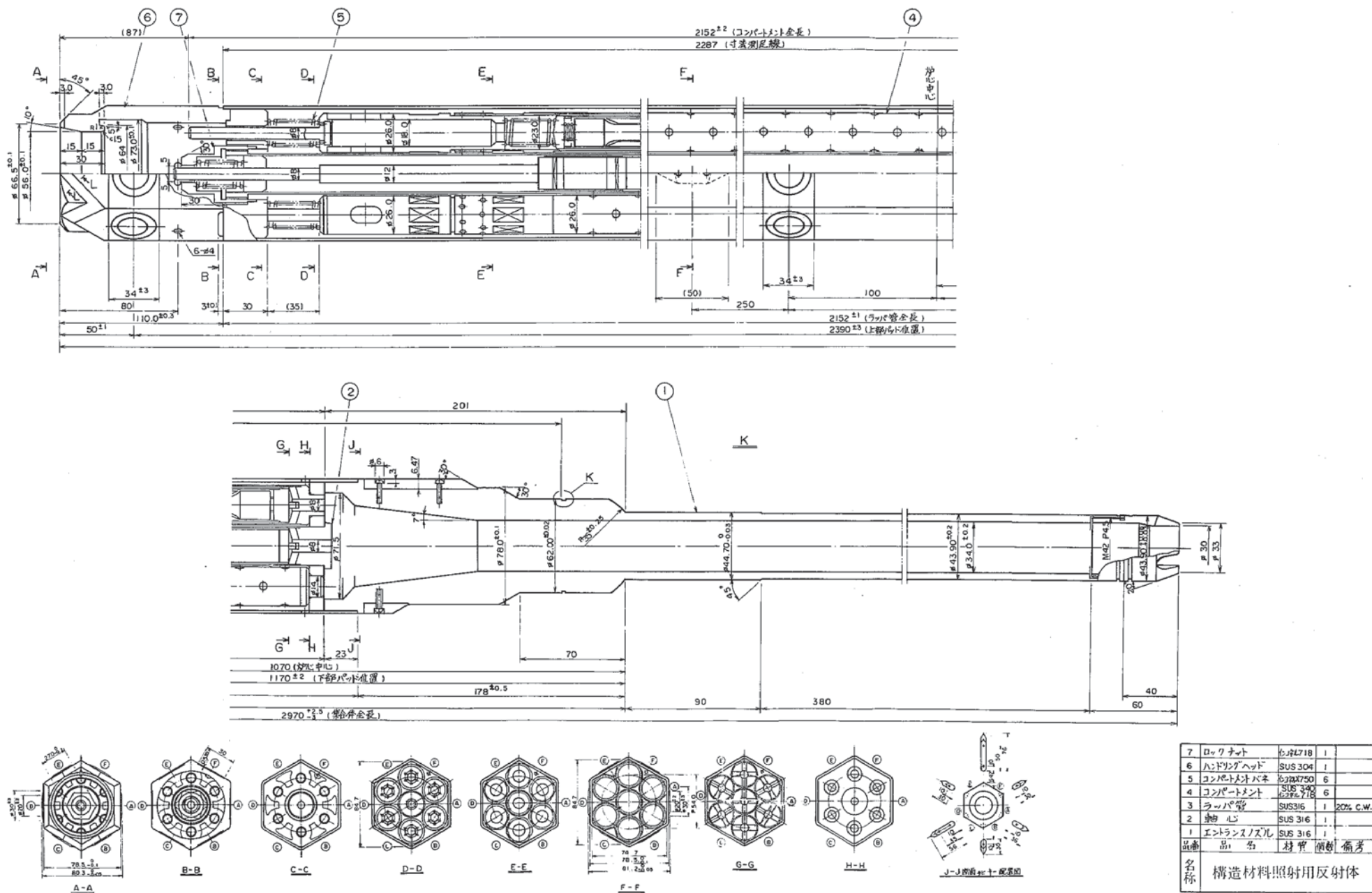
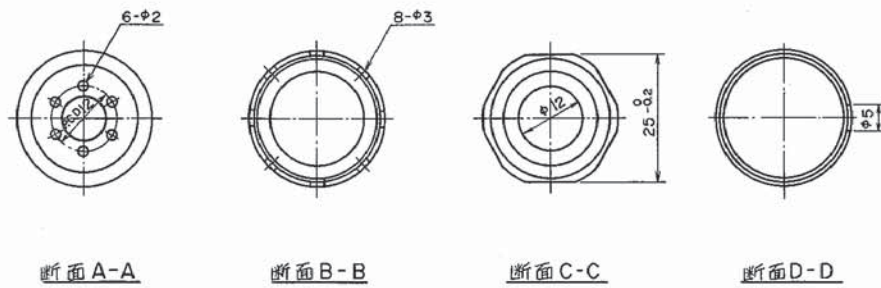
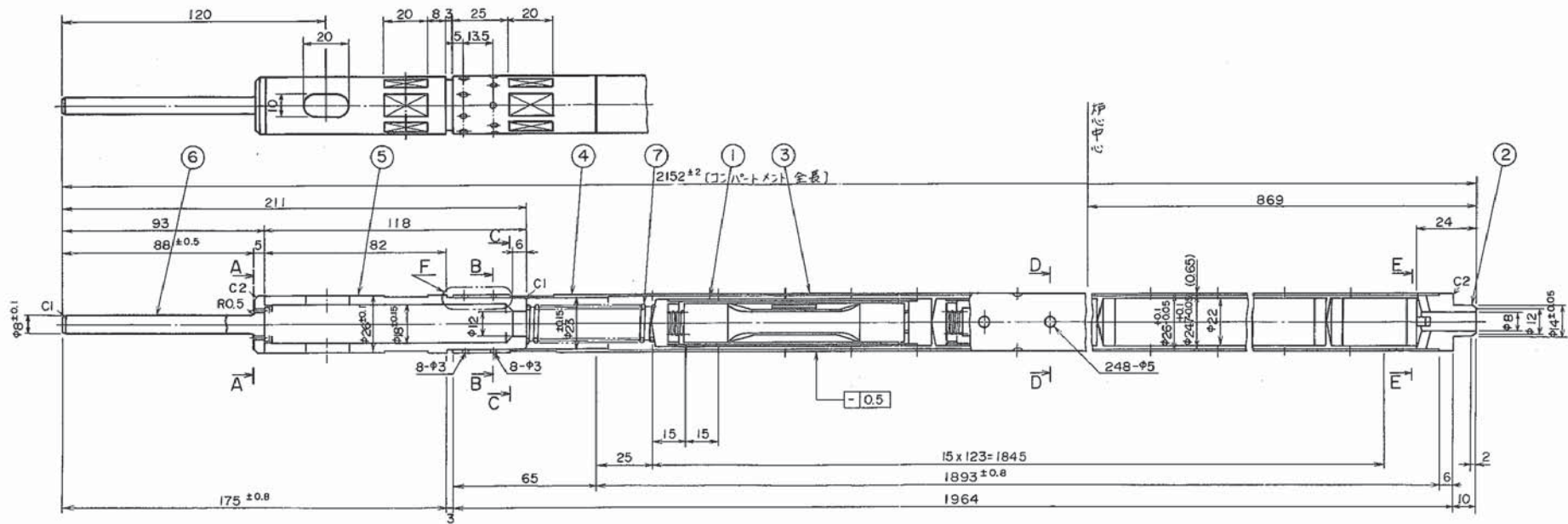


Fig.1 Structure of "JOYO" MK-II Structural Material Irradiation Rig.



7	キャピラリーエスティング	φ7×L750	6	
6	上部ストレーナ	φ7×L718	6	
5	コンパートメントキャップ	φ7×L718	6	
4	中間筒	SUS 304	6	
3	コンパートメント外管		6	
2	コンパートメント用流入管		6	
1	試験片キャピラリー	SUS 304	-	
品名	品名	材質	個数	備考
名称	構造材料照射用反射体 コンパートメント			

Fig. 2 Structure of Compartment of Irradiation Rig.

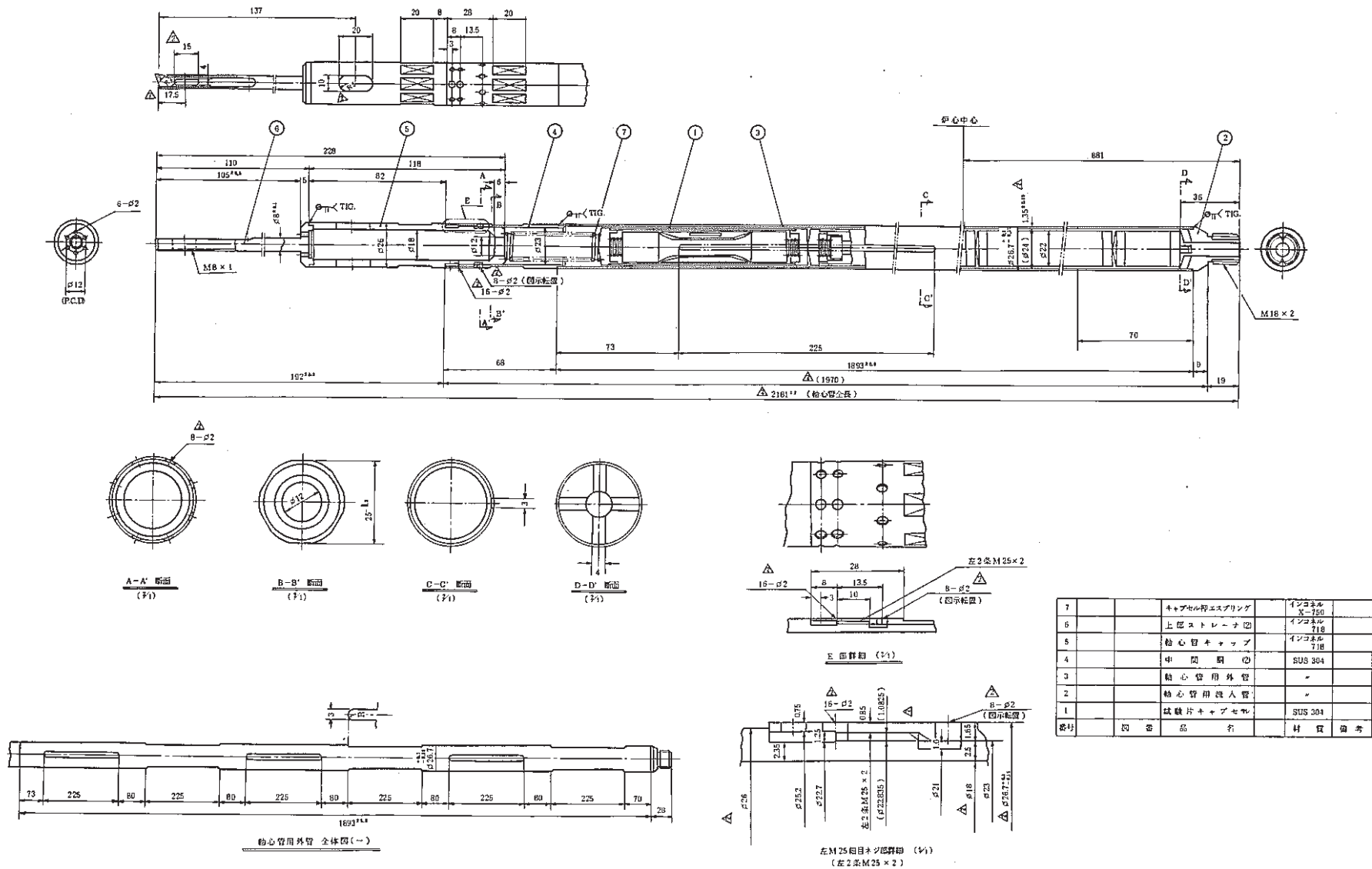


Fig.3 Structure of axis Tube of Irradiation Rig.

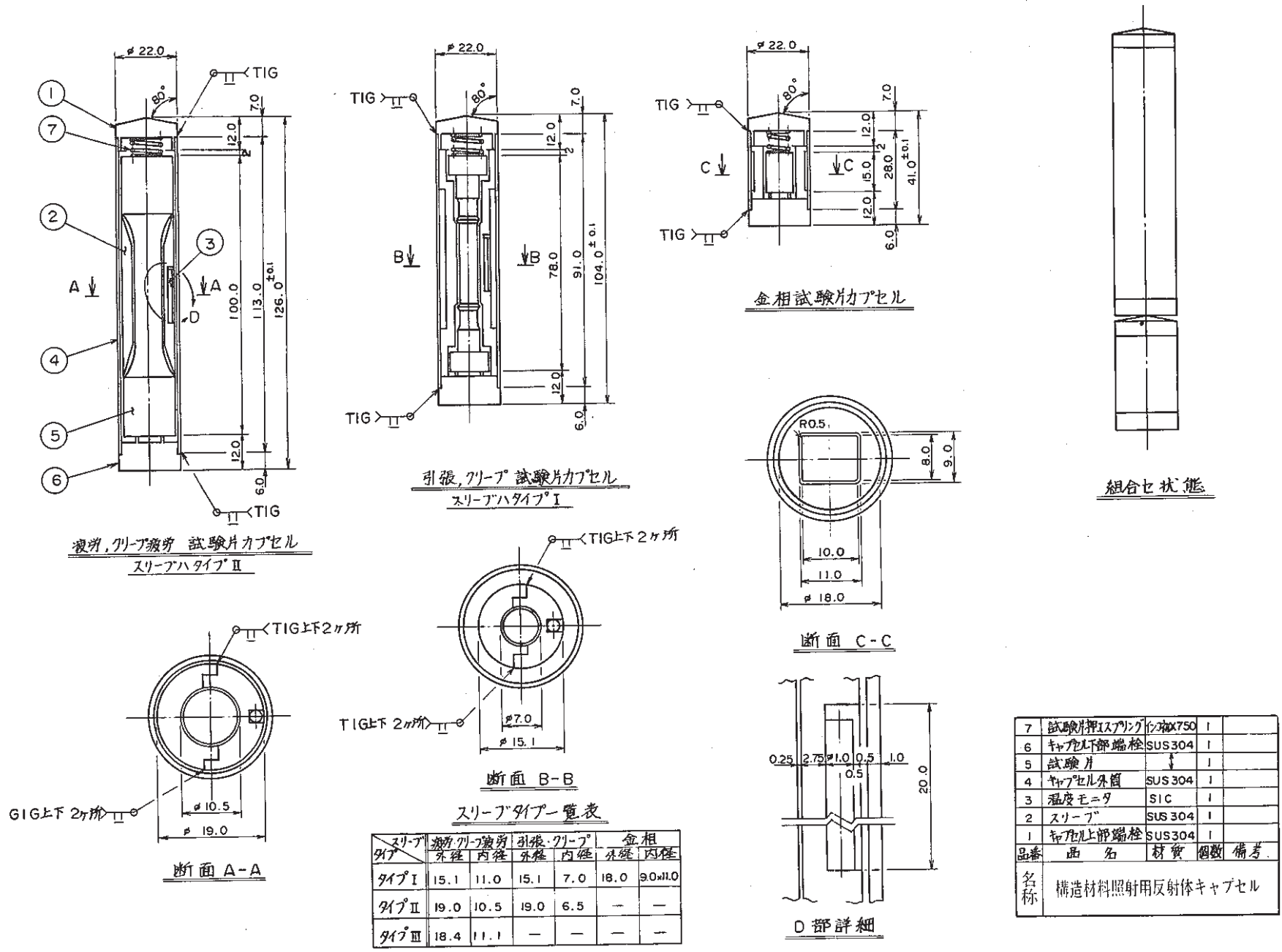
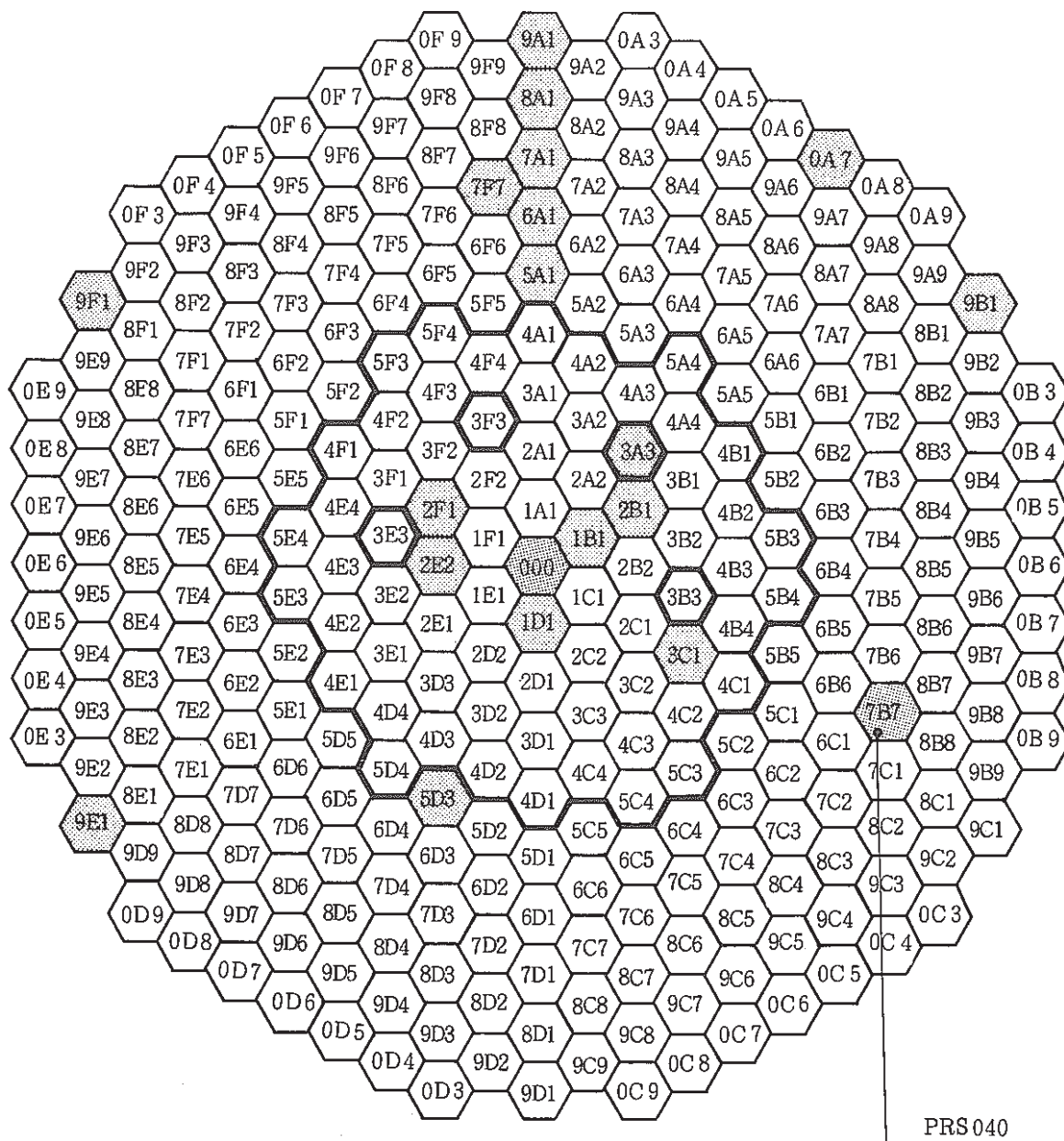


Fig. 4 Structure of Test piece Capsule of Rig.

炉内照射位置



第1サイクル 炉心構成

Fig.5 In Reactor Location of the Irradiation Rig

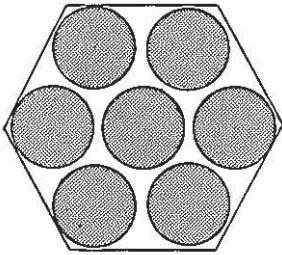
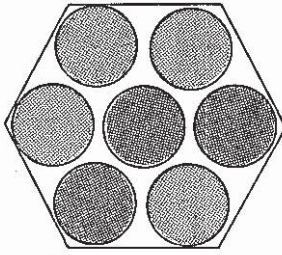
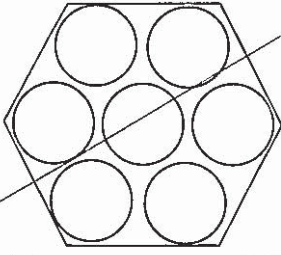
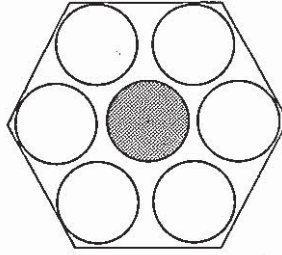
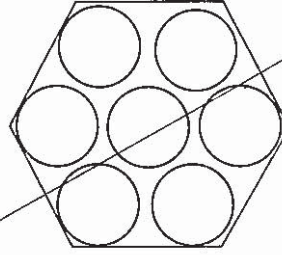
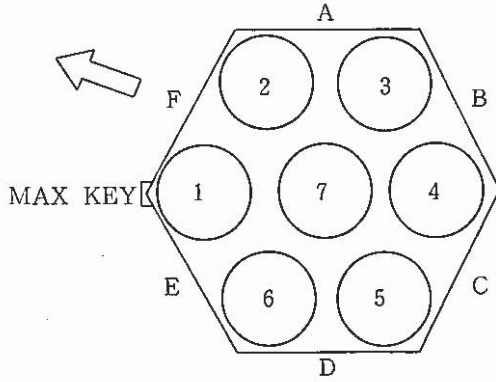
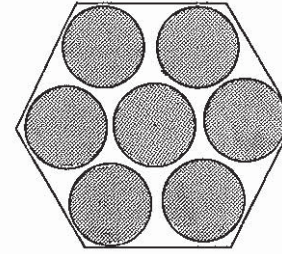
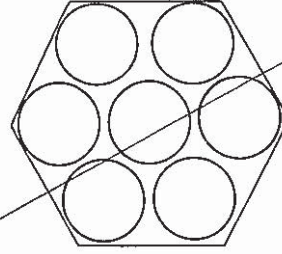
JOYO MK-II 照射後試験計画 [コンパートメント・材料試験] 構造材料照射用リグ・PRS040(71) 装荷位置 7B7		集 合 体 試 験 ○ 集合体外観検査 (受入時・Na 洗浄後) ○ " Na 洗浄 ○ " 寸法測定 ○ " X線ラジオグラフィ ○ ラップ管アスキャン ○ グラディエントモニター取り出し
1. コンパートメント外観検査 	4. コンパートメントからのキャプセル取出し 	7. 
2. コンパートメント寸法測定 	5. 	○ ラップ管アスキャンより推定 ○ 「常陽」添付データより推定 
3. コンパートメントX線ラジオグラフィ 	6. 	(Continuation of diagram from the middle row)

Fig.6 Compartment Selected for each Postirradiation Examination Item.

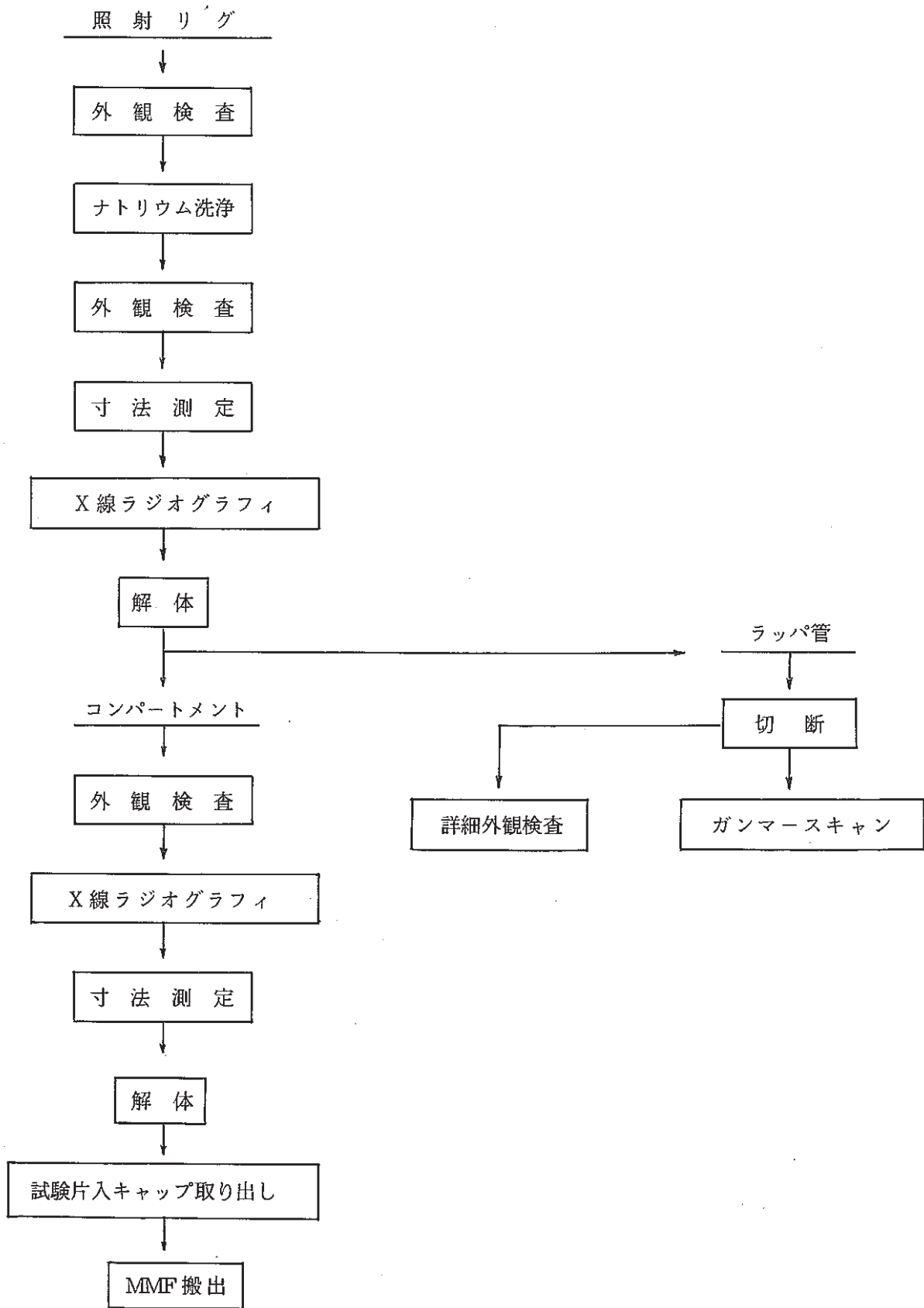


Fig.7 Flow Diagram of Postirradiation Examination on Irradiation Rig.

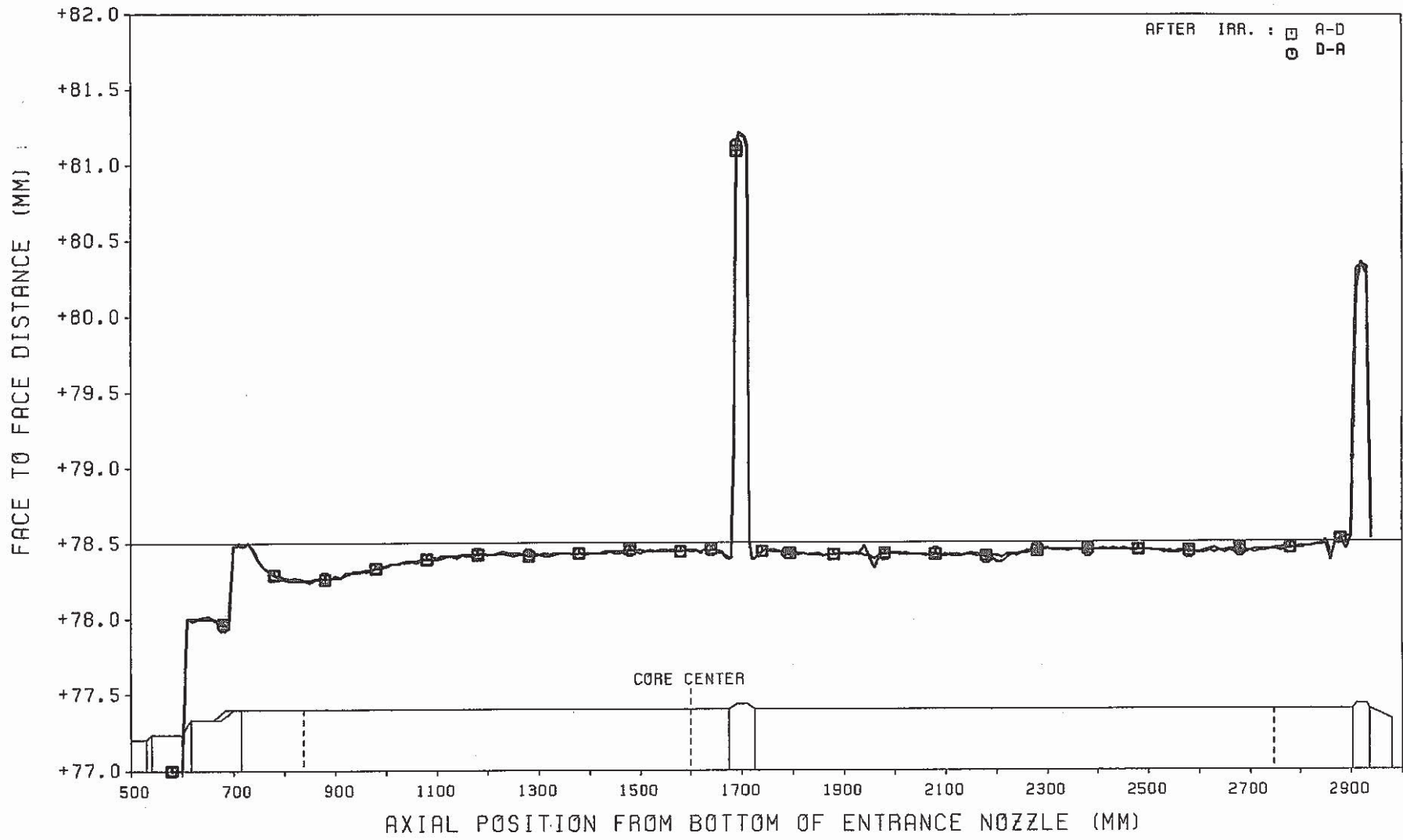


Fig.8 Face to Face Distance of Wrapper Tube of the Irradiation Rig (D-A).

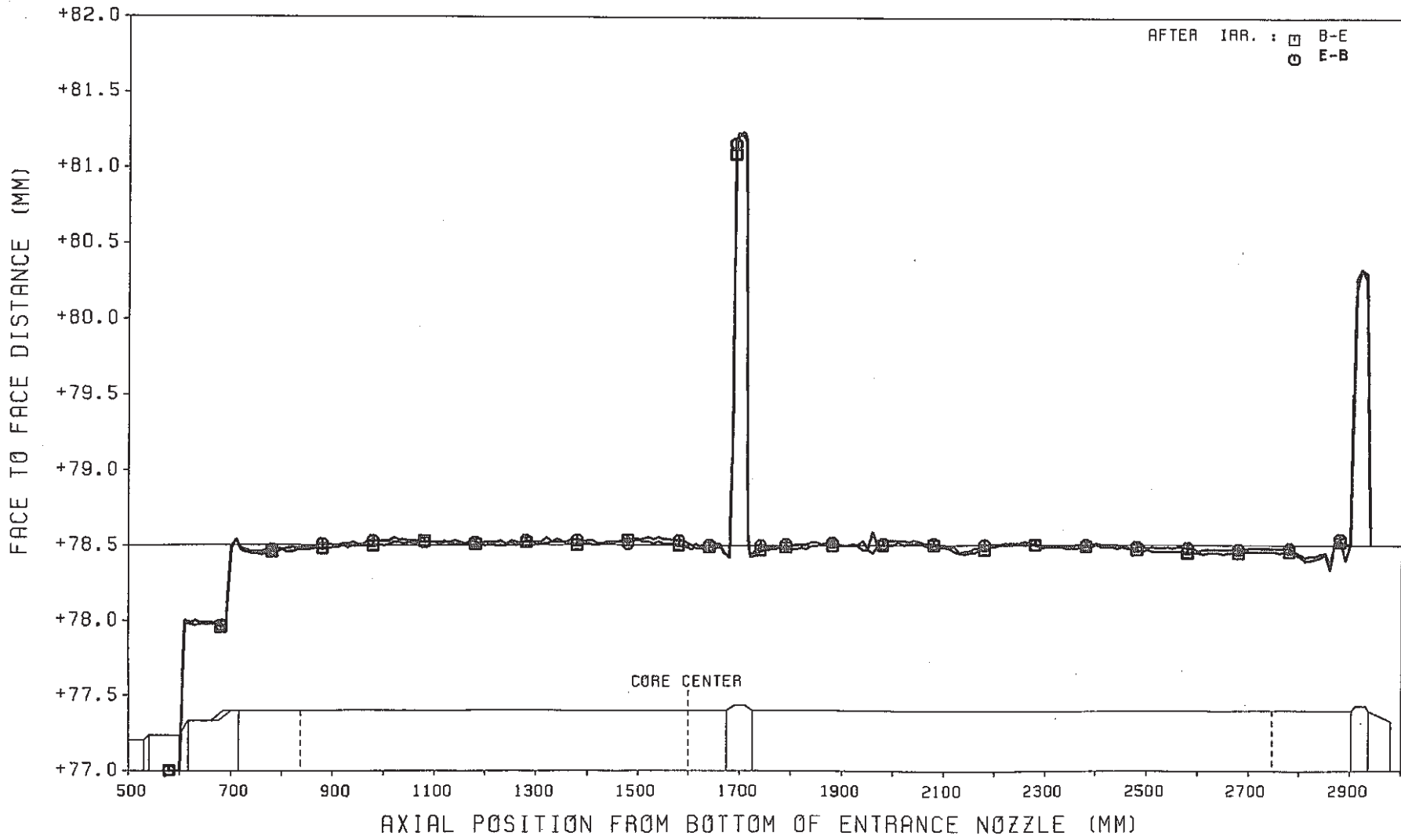


Fig.9 Face to Face Distance of Wrapper Tube of the Irradiation Rig (B-E).

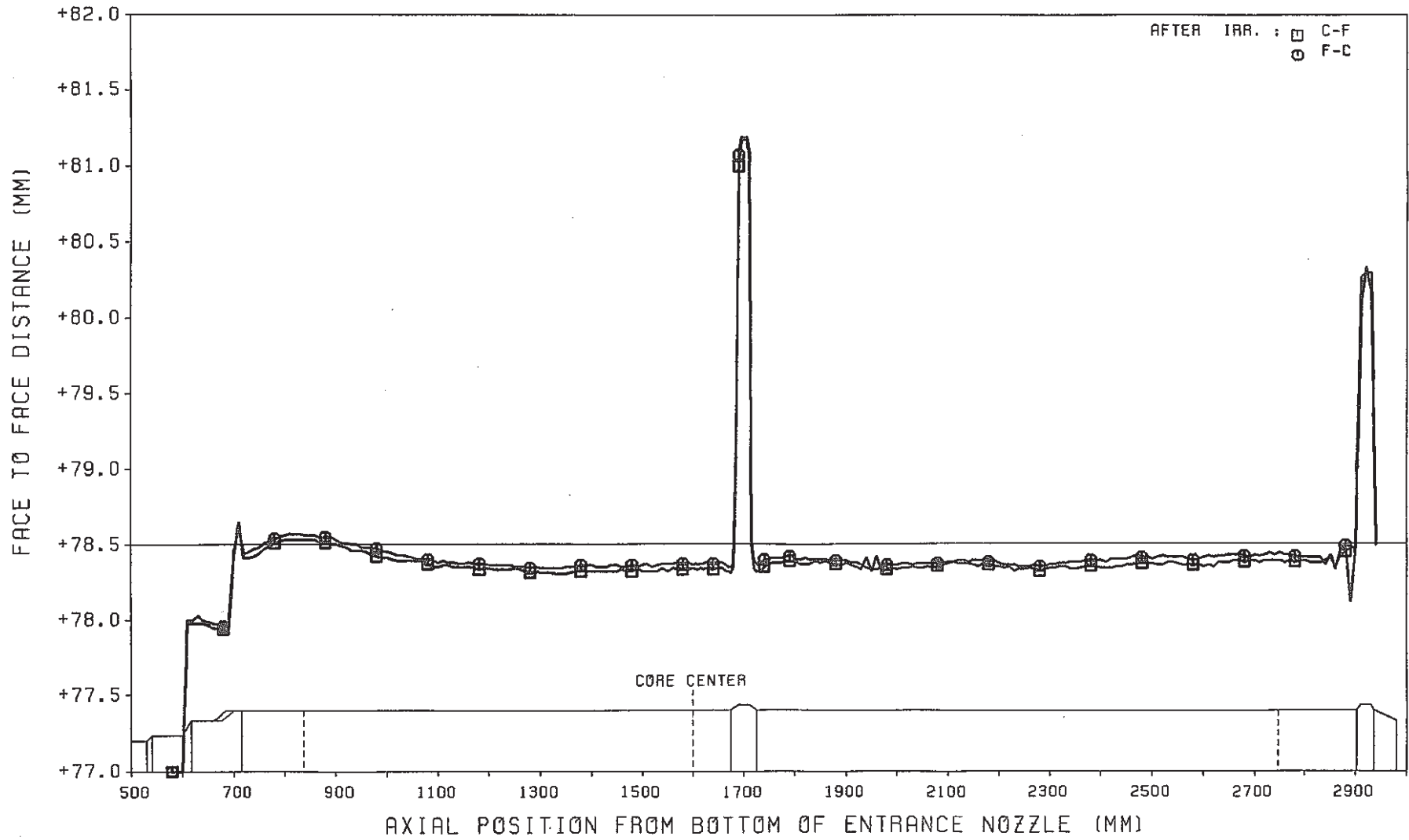


Fig.10 Face to Face Distance of Wrapper Tube of the Irradiation Rig (C-F).

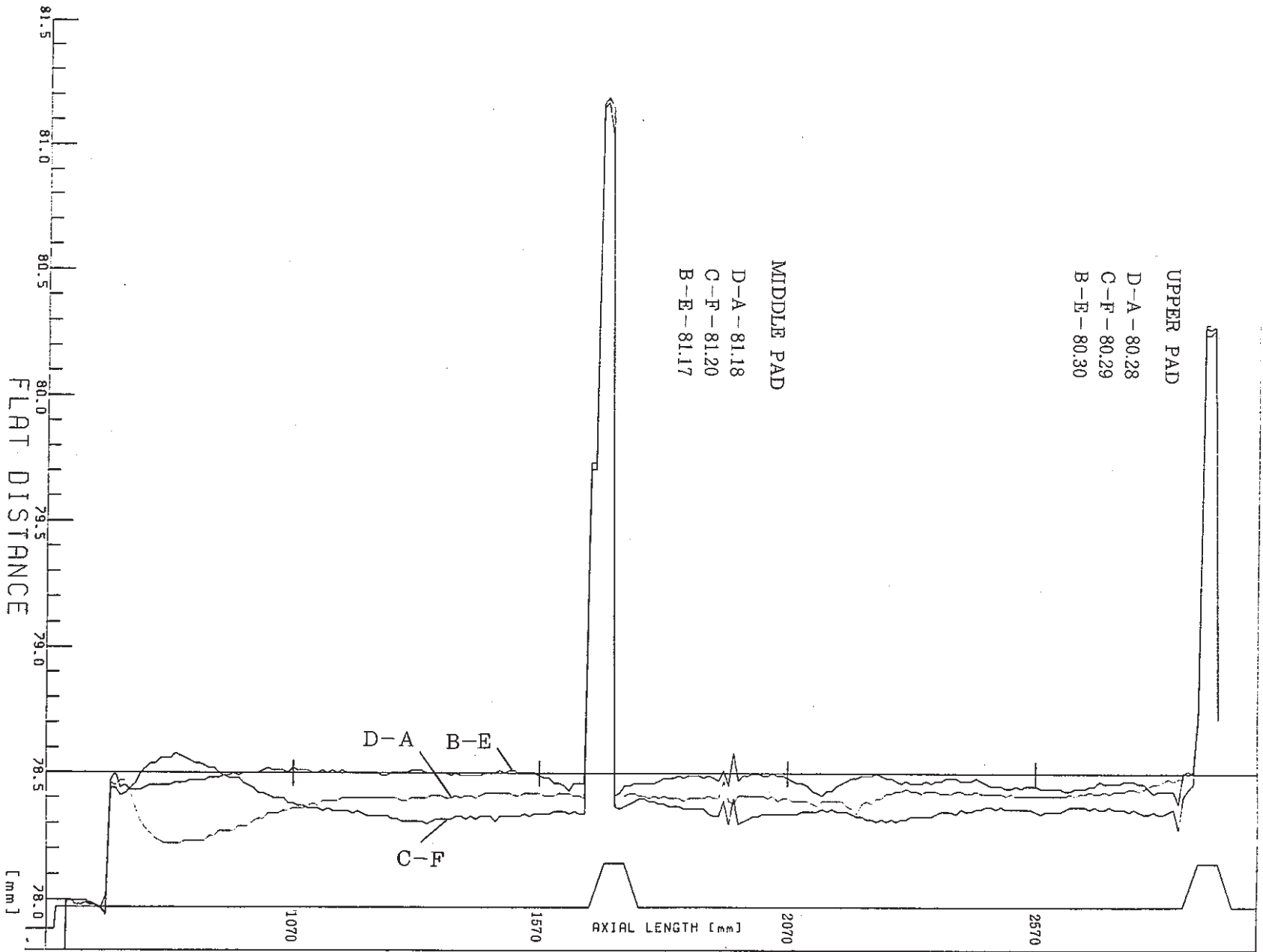


Fig.11 Face to Face Distance of Wrapper Tube of the Fabrication Data.

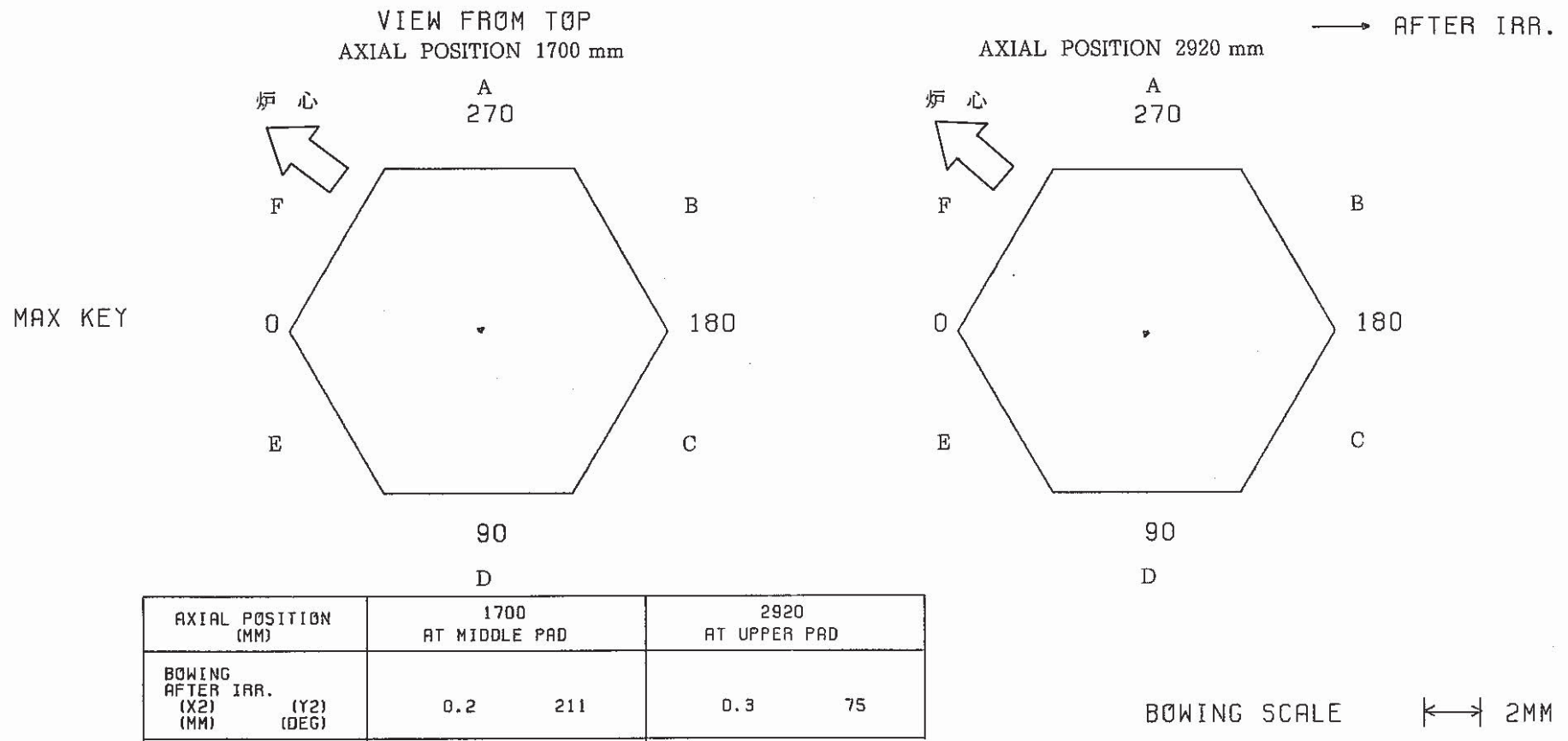


Fig.12 Bowing Vector of Irradiation Rig.

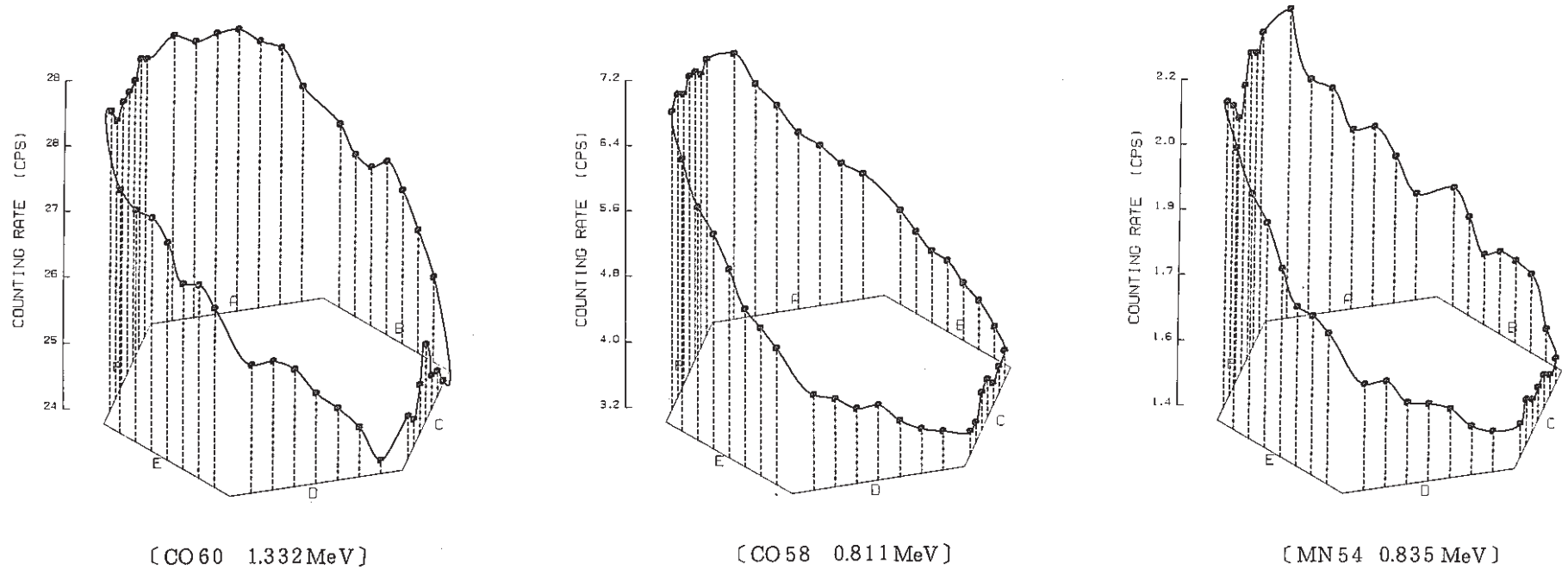
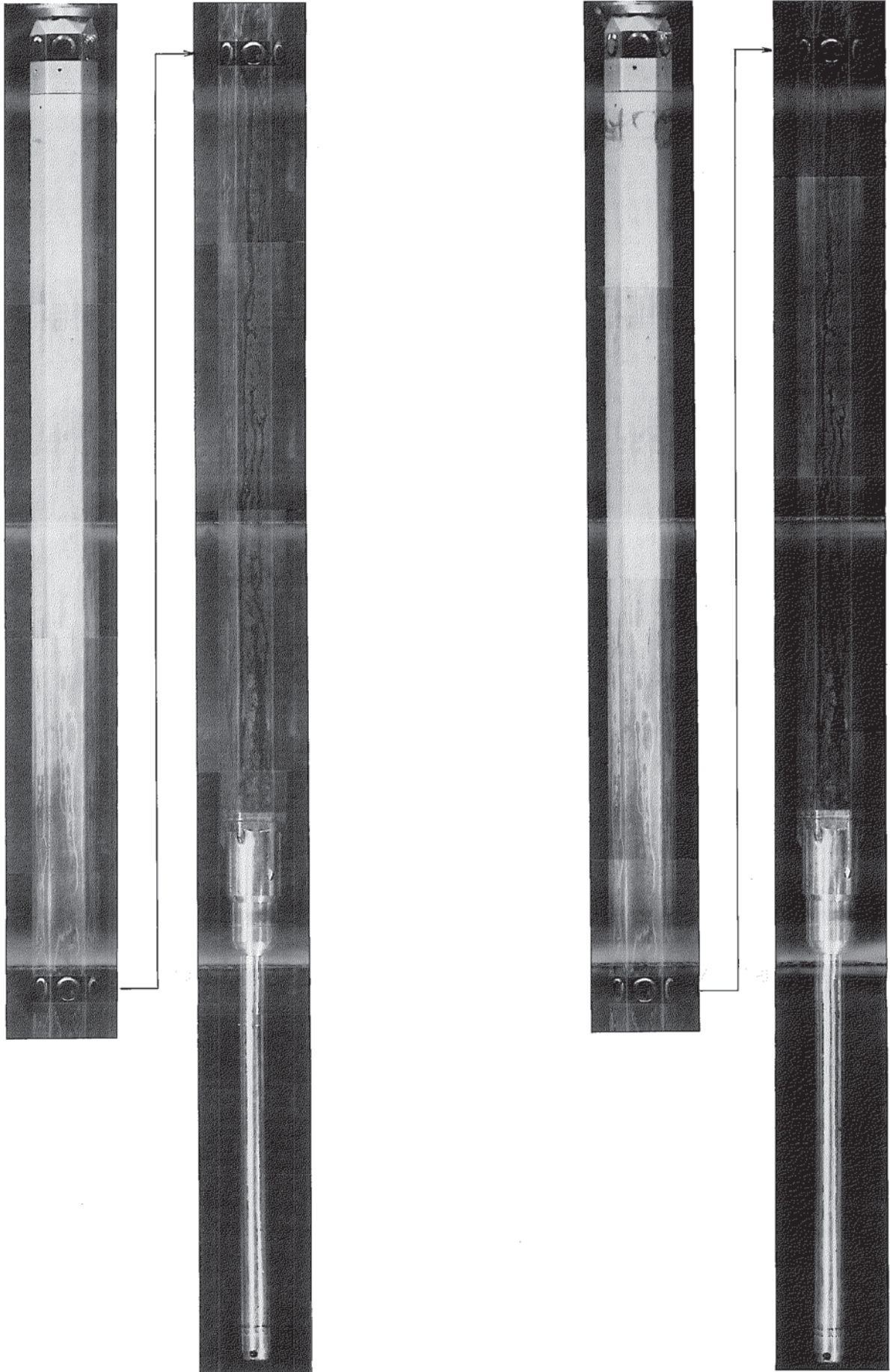


Fig.13 Radial Distribution of Gamma-ray Intensity.



(before)

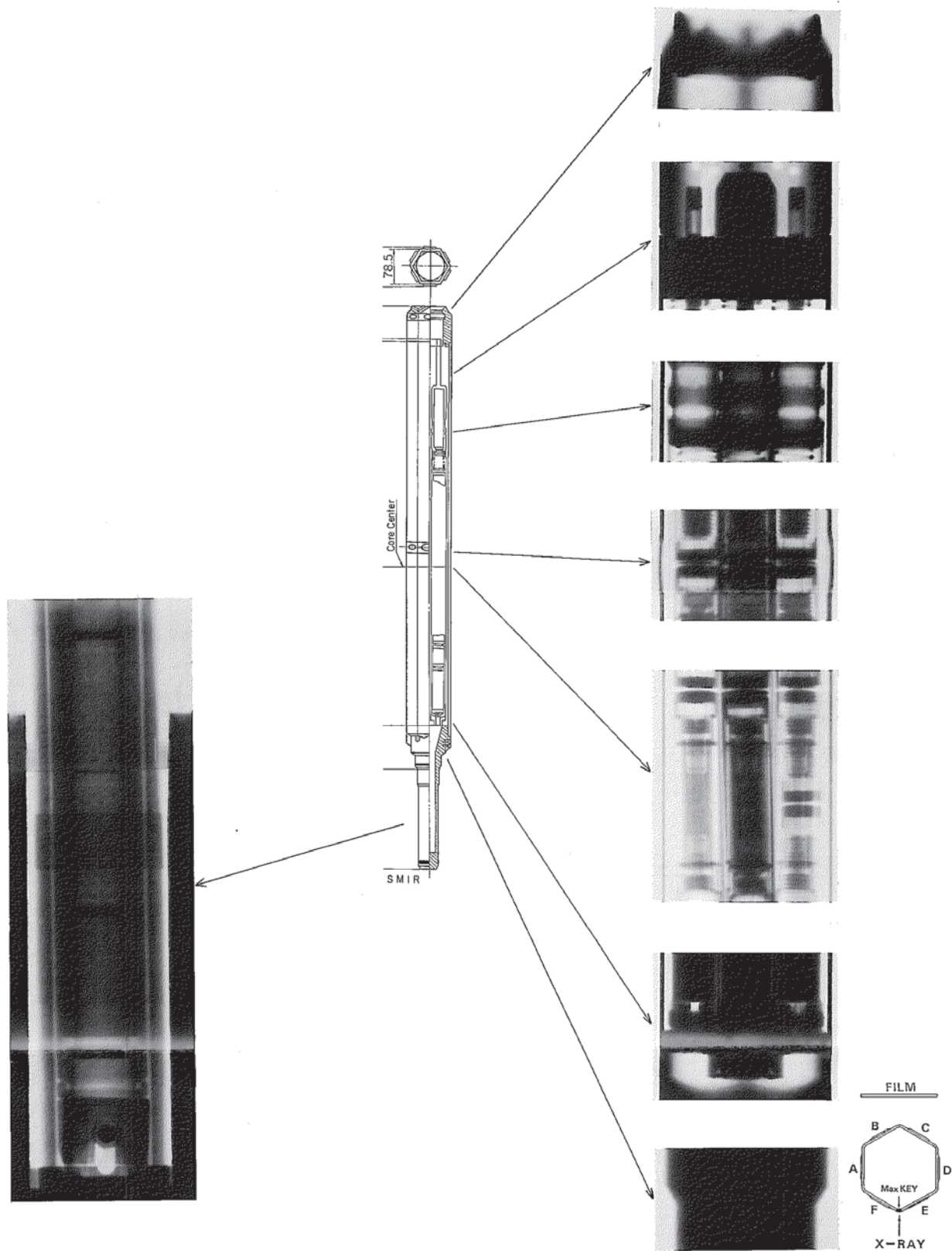
FACE **F**

(after)

FACE **F**

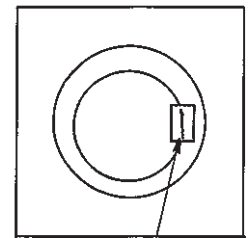
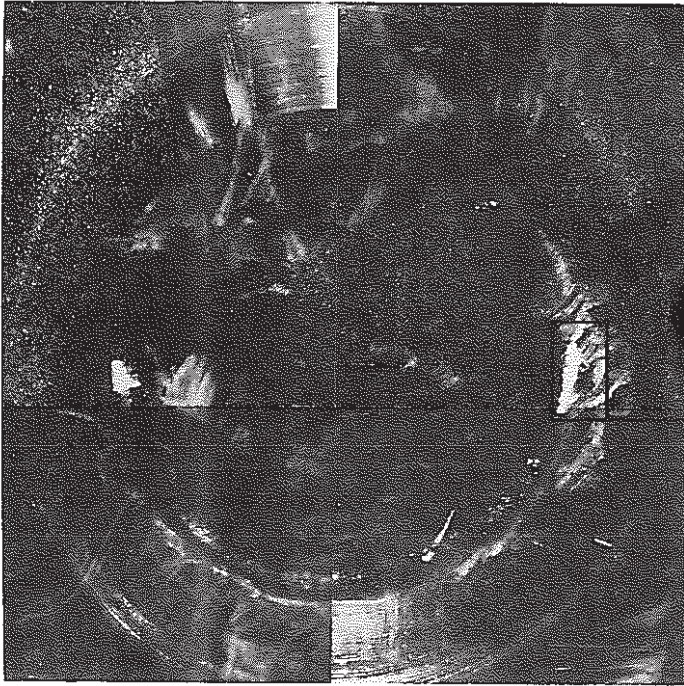
F841003

Photo.1 Surface Condition of the Rig before and after sodium Removal (Visual Inspection).



F842013

Photo.2 X-ray Radiography of Irradiation Rig.



B面以外の面で
確認された傷

Photo.3 Surface Condition of Upper Pad after Sodium Removal (Visual Inspection).

※ H/H固定用ロックナットを緩め
取り外した際、軸心管上部ネジ部が
折れた。

◦ロックナット緩めトルク 64 kg cm
(最初に緩めた時の値)

◦SMIR モックアップ試験時も同様
な位置で折れた。

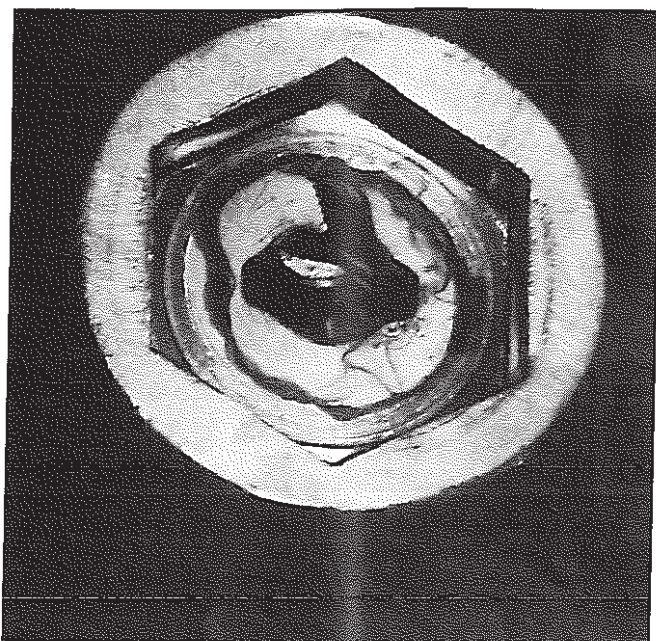
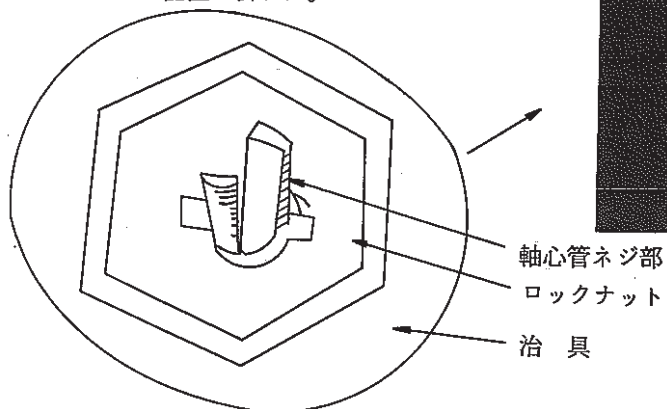
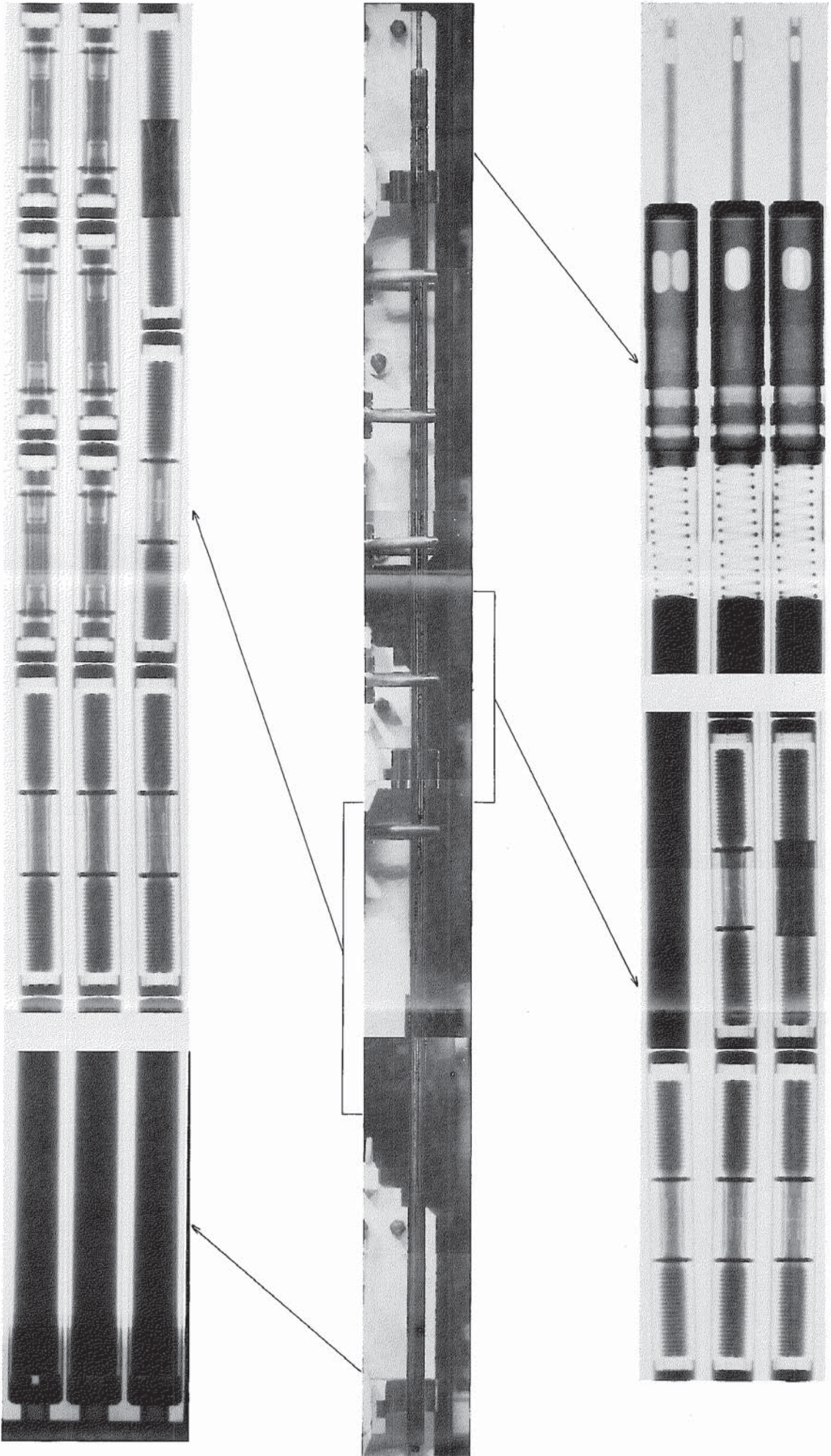
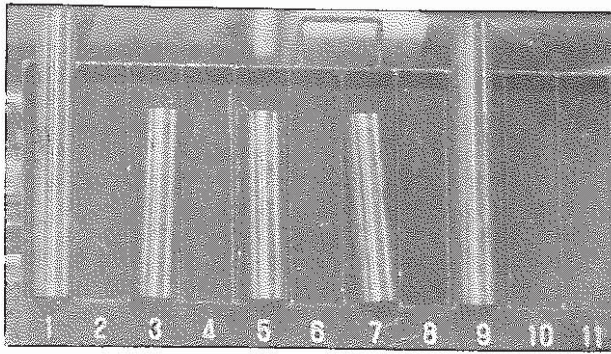


Photo.4 The Hardling Head Locknut.



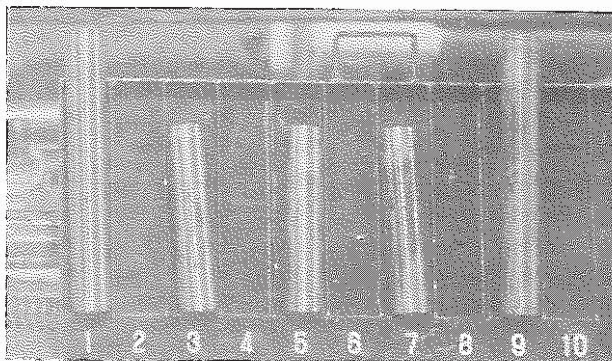
F844011

Photo.5 Surface condition by X-ray Radiography of Compartment of Rig.



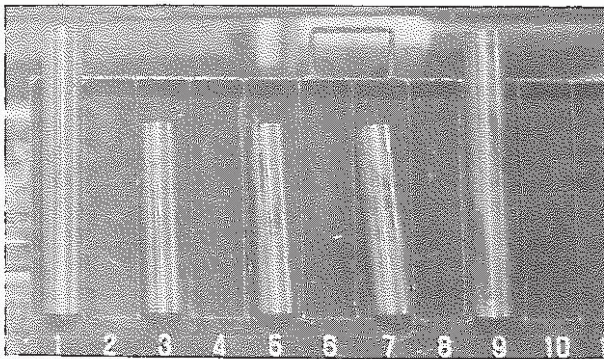
コンパートメント No S41 試料 No.7101

写真台位置	刻印 No	装荷順序
1	B 0075	1 TOP
3	A 0095	2
5	A 0094	3
7	A 0093	4
9	B 0074	5 BOTTOM



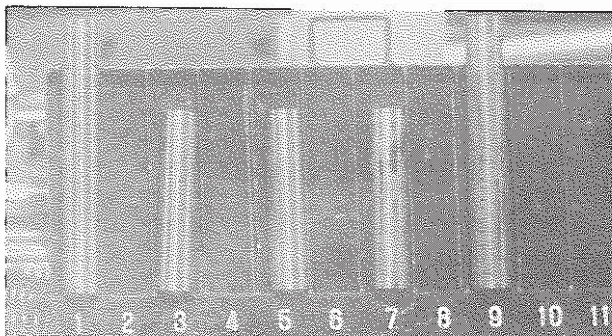
コンパートメント No S42 試料 No.7102

写真台位置	刻印 No	装荷順序
1	B 0077	1 TOP
3	A 0098	2
5	A 0097	3
7	A 0096	4
9	B 0076	5 BOTTOM



コンパートメント No S43 試料 No.7103

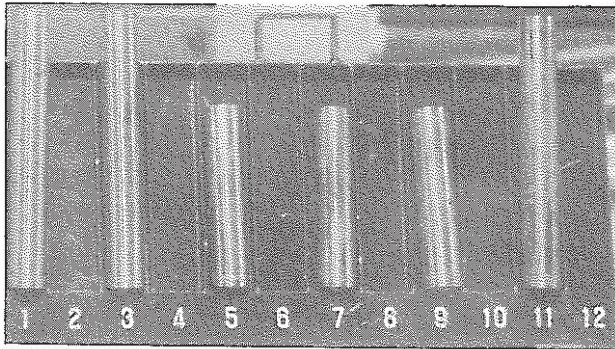
写真台位置	刻印 No	装荷順序
1	B 0079	1 TOP
3	A 0101	2
5	A 0100	3
7	A 0099	4
9	B 0078	5 BOTTOM



コンパートメント No S44 試料 No.7104

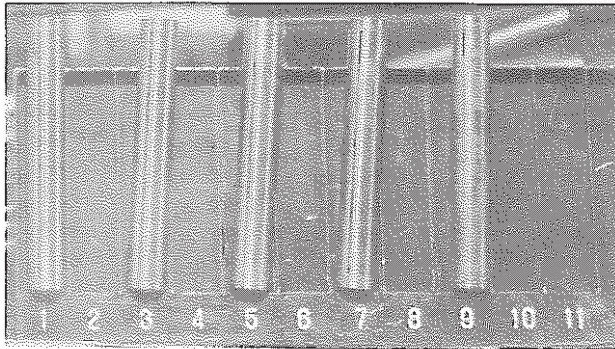
写真台位置	刻印 No	装荷順序
1	B 0081	1 TOP
3	A 0104	2
5	A 0103	3
7	A 0102	4
9	B 0080	5 BOTTOM

Photo.6 Test pieces Capsule.



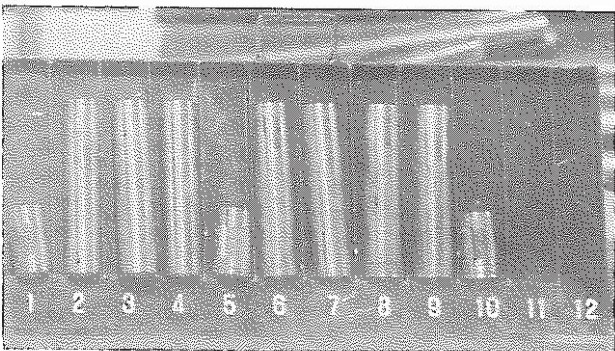
コンパートメント No S45 試料 No.7105

写真台位置	刻印 No	装荷順序
1	B 0083	1 TOP
3	A 0107	2
5	A 0106	3
7	A 0105	4
9	B 0084	5
11	B 0082	6 BOTTOM



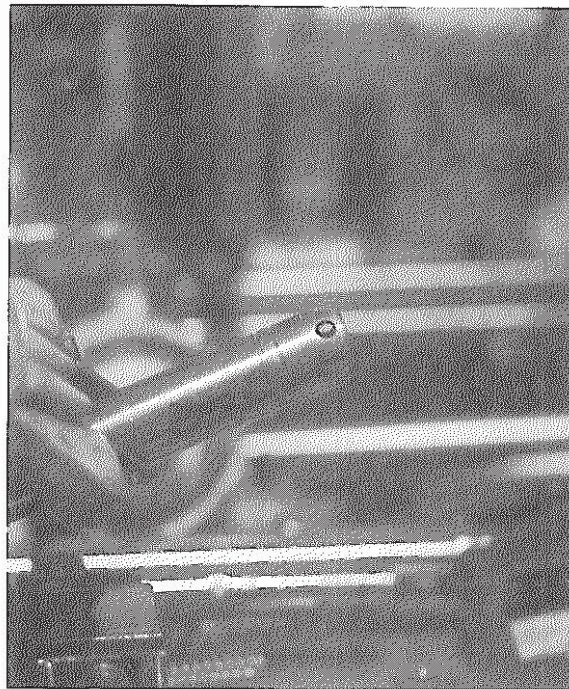
コンパートメント No S46 試料 No.7106

写真台位置	刻印 No	装荷順序
1	B 0089	1 TOP
3	B 0088	2
5	B 0087	3
7	B 0086	4
9	B 0085	5 BOTTOM



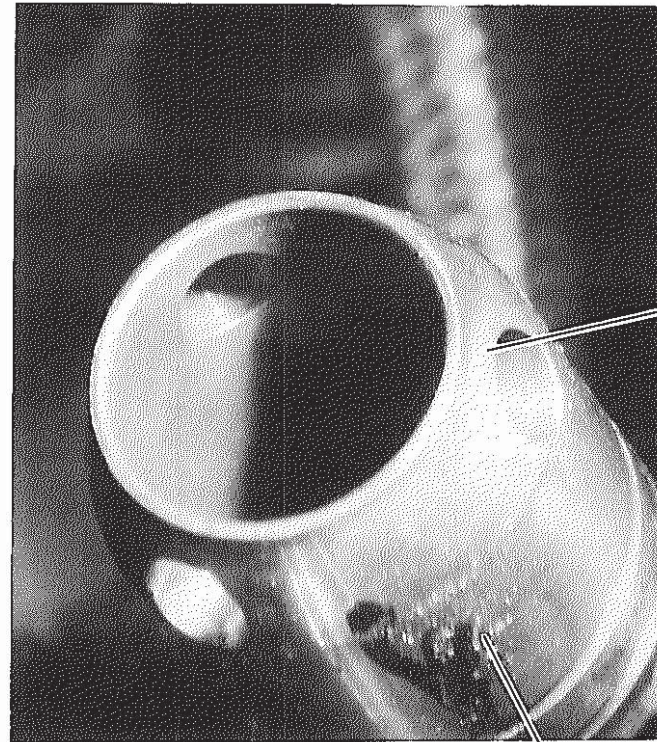
軸心管 No. S47

写真台位置	刻印 No	装荷順序
1	DS 043	1 TOP
2	A 0114	2
3	A 0113	3
4	A 0112	4
5	DS 043	5
6	A 0111	6
7	A 0110	7
8	A 0109	8
9	A 0108	9
10	DS 041	10 BOTTOM



拡大

E/N先端テーパ部



すり傷

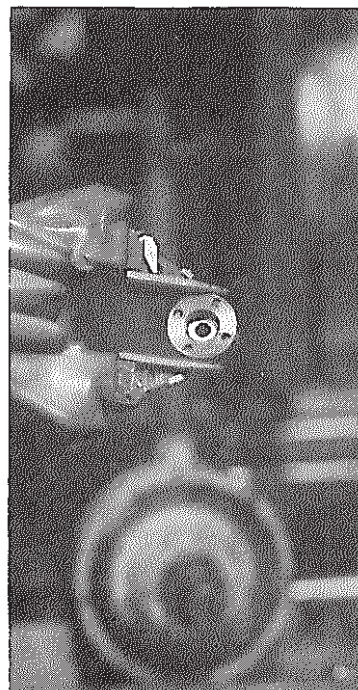
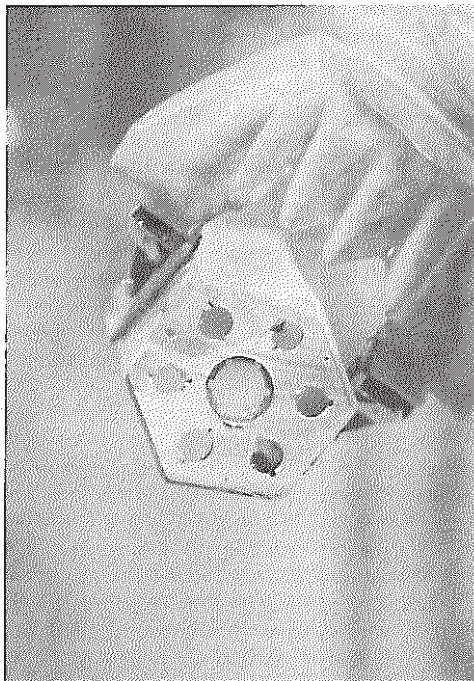
切断時に付着した切粉

E/Nテーパ部にすり傷が観察された

拡大写真のテーパ部に付いている粉末状の付着物は切粉

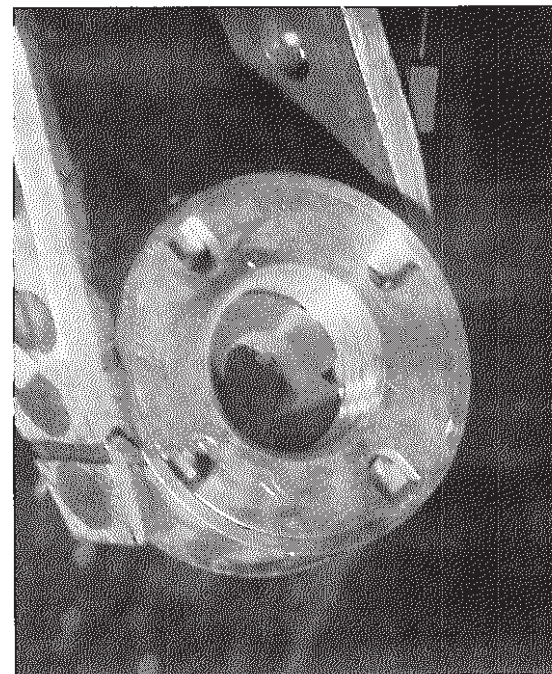
Photo.7 The Entrance Nozzle.

下部支持板切断面



拡大

軸心管支持部



支持穴内面に切断バリが付き付着物及びキズ等の確認出来ない

軸心管支持部は異状なし

Photo.8 The Lower Support Plarte.

付 録

- Table A-1 SMIR 解体手順
- Table A-2 軸心管の引抜き手順
- Table A-3 コンパートメント, 軸心管内試料取出し手順
- Table A-4 軸心管のキャップ切断及びコンパートメントキャップの開かない場合の手順
- Table A-5 グラディエントモニターワイヤ収納管切断手順
-
- Fig. A- 1 SMIR 解体フロー (集合体解体装置)
- Fig. A- 2 軸心管の引抜きフロー
- Fig. A- 3 コンパートメント, 軸心管内試料取出しフロー
- Fig. A- 4 グラディエントモニターワイヤ試料採取フロー
- Fig. A- 5 専用バイス
- Fig. A- 6 キャップ取り外し治具
- Fig. A- 7 試料キャプセル押し出し治具
- Fig. A- 8 グラジエントモニターワイヤ収納管切断用カッター
- Fig. A- 9 軸心管下端切断位置
- Fig. A-10 軸心管キャップ切断位置
- Fig. A-11 コンパートメントキャップ切断位置

Table. A-1 SMIR 解体手順書

No.	操作内容 (手順)	確認及び注意事項	備考
1.	準備		
1-1	移送伝票の確認		
1-2	グリッパーの準備		
1-3	解体治具の確認	<ul style="list-style-type: none"> ○ H/H ロックナット取りはずし治具 ○ コンパーメントキャップ取りはずし治具 ○ コンパーメント吊り具 	
2.	解体		
2-1	S/A をグリッパーにより解体機に移送	○ 装置, 他のクレーン, パワーマニプレータの位置確認する。	クレーンNo.2 を使用
	① 移送の許可		
	② ピットNoの確認		
2-2	S/A を解体機に据え付ける。		
2-3	下部チャックを締め付ける。		
2-4	グリッパーを取りはずす		
2-5	中間バイスを締め付ける。	○ 溶接部中心から23mm上側を切削 (E面)	
2-6	エンドミルでマーキングを入れる。		
2-7	Z ₁ 軸下降		
2-8	H/H ロックナットを取りはずす	○ ロックナット取りはずし専用治具使用	
2-9	H/H を取りはずす	<ul style="list-style-type: none"> ○ ロックナットを落さないよう注意する。 ○ ロックナット取めピンの確認 	

No.	操作内容 (手順)	確認及び注意事項	備考
2-10	専用チャックによりコンパートメントを引き抜く	○パワーマニプレータ使用	
2-11	外観検査 (6本)	○引き抜き力測定 ○端栓番号確認	
2-12	マガジンへの移送	○コンパートメントキャップの緩み具合を確認 ○コンパートメントマガジンの確認	部材切断機で実施する前に緩み具合を確認しておく。
2-13	2-10~2-12を繰り返し6本すべてを引き抜く		
2-14	グラディエントモニターをピン列吊り具を利用し引き抜く	○1本	
2-15	部材切断機へ移送	○パワーマニプレータ使用	
2-16	コンパートメント写真撮影	○1本	組写真用
3.	部材の組立		
3-1	H/Hの取り付け		
3-2	ロックナットの締め付け	○専用治具使用	
3-3	クレーンにより簡易グリッパーを取りつける。		
3-4	中間バイスを緩める。		
3-5	Z ₁ 軸及び、クレーンを上昇させる。	○クレーンの上昇しすぎに注意する。	
3-6	下部チャックを緩める。		
3-7	再組立後の部材を部材切断機へ移送する。		

No	操 作 内 容 (手 順)	確 認 及 び 注 意 事 項	備 考
4.	試 験		
4-1	コンパートメント外観検査		
4-2	コンパートメント組写真作成	○対象コンパートメント, 角度確認	
4-3	コンパートメント吊り具を使用し1本ずつマガジンに移送する。	○キャップの締め付け具合確認	
4-4	4-1～4-5に従い残り5本についても同様に 行なう。		
5.	コンパートメント解体		部材切断機により行なう場合は, 以下の 項目は実施しない。

Tabl A-2 軸心管の引き抜き手順書

No.	操作内容 (手順)	確認及び注意事項	備考
1-1	集合体を移送する。	W-9→W2	簡易グリッパー使用
2	架台上へ横置にする。	E/N を部材側に向ける。	
3	高速側バイスでチャックする。		
4	切断位置合せ	解体機でマーキングしたマークに高速切断機の刃を合せる。(Fig A-9)	
5	H/H ロックナットを取り外す。		解体機保管の治具使用
6	切 断		
7	H/H 取り外し。		
8	軸心管を上部より引き抜く。		M/S マニプレーター, パワーマニプレーター使用
9	軸心管を解体機に移送する。		外観検査を行う。

Tabl A-3 コンパートメント，軸心管内試料取り出し手順書

(軸心管については，3.キャップの切断の後2-8から開始)

No	操作内容 (手順)	確認及び注意事項	備考
2-1	作業架台を前に移動する。		クレーン，パワー使用
2	コンパートメントを移送する。	W-9→W-2	パワーマニプレータ，ピンチャック使用
3	ラッパー管転倒治具へ収納する。	全数	
4	架台上へ横置にする。	専用バイスに固定 (Fig A-5)	
5	コンパートメントのNo確認	1本ずつ	
6	キャップ取り外し。	キャップが外せないときは3-1の手順へ	① キャップ取り外し治具 (Fig A-6) ② スパナ，モンキースパナ使用 (対面寸法25mm)
7	試料取り出し	バイスの回転ロックをゆるめ，Bottom側をM/Sマニプレータでもち上げる。 試料キャプセルが10mm出たところでBottom側を下げバイスの回転ロックをする。	試料が飛び出ないために，ゴムマットを敷き，M/Sマニプレータの爪を当て調整する。
8	試料キャプセルNo確認及び目視観察		ペリスコープ使用
9	写真台に置く		
10	コンパートメント } 1本の試料キャプセルが出るま 軸心管 } で7~9を繰り返す。		
11	試料キャプセルの写真撮影を行う。	6試料ごと撮影	ペリスコープ，大型カメラ使用
12	金網のカゴに収納する。		
13	4~12までを繰り返し全部の試料を取り出す。		
14	コンパートメント } の残材を切断する。 軸心管 }		

Table A-4 軸心管のキャップ切断及びコンパートメントキャップの
開かない場合手順書

No.	操作内容 (手順)	確認及び注意事項	備考
3-1	高速切断機バイスに乗せる		
2	切断位置合せ, チャックする	TOPから \nearrow コンパートメント→211 mm \searrow 軸心管 →228 mm	定寸装置 望遠鏡使用 FigA-10, A-11 参照
3	手動ハンドルを送り切断する		
4	作業台上に戻す	試料の落下防止のため切断面にガムテープを張る	
5	専用バイスに固定する。		
6	バリ取り治具を使い切断面のバリを取る		
7	試料取り出し	バイスの回転ロックをゆるめBottom側を持上げる	コンパートメント内試料取り出し手順で取り出す
	(試料が出ない場合)		
3-1	専用バイスに固定する	Top側から 600 mm	
2	Bottom側流入管より丸棒を押し込む		パワーマニプレーター使用 丸棒 (FigA-7)

Table A-5 グラディエントモニターワイヤー収納管切断手順書

No	操作内容 (手順)	確認及び注意事項	備考
4-1	グラディエントモニターワイヤー収納管を移送する。	W-9→W-7	
2	ピン切断機にチャックして切断上端位置にマークをつける。		ピン切断で試料のマークをつける。 マークはマジックでつける。
3	全長にマークができない場合反転してマークをつける。		
4	全数にマークをつける。		
5	グラディエントモニターワイヤー収納管を移送する。	W-7→W2	
	(収納管切断)		
6	専用バイスにワイヤーカッターをチャッキングする。	ミゼットカッタ 全長 200 mm ϕ 4 mm 切断可能	Fig A-8 参照
7	マーク位置で切断する。	飛散防止カバーをつける。	ペリスコープでマークを確認して切断
8	切断試料を写真台に乗せる。		
9	全数切断する。		
10	写真撮影を行う。	6 試料ごと。	
11	容器に収納する。		
	(試料 No 板取付け)		
12	下部に圧着端子で試料Noを記入した板を付ける。		

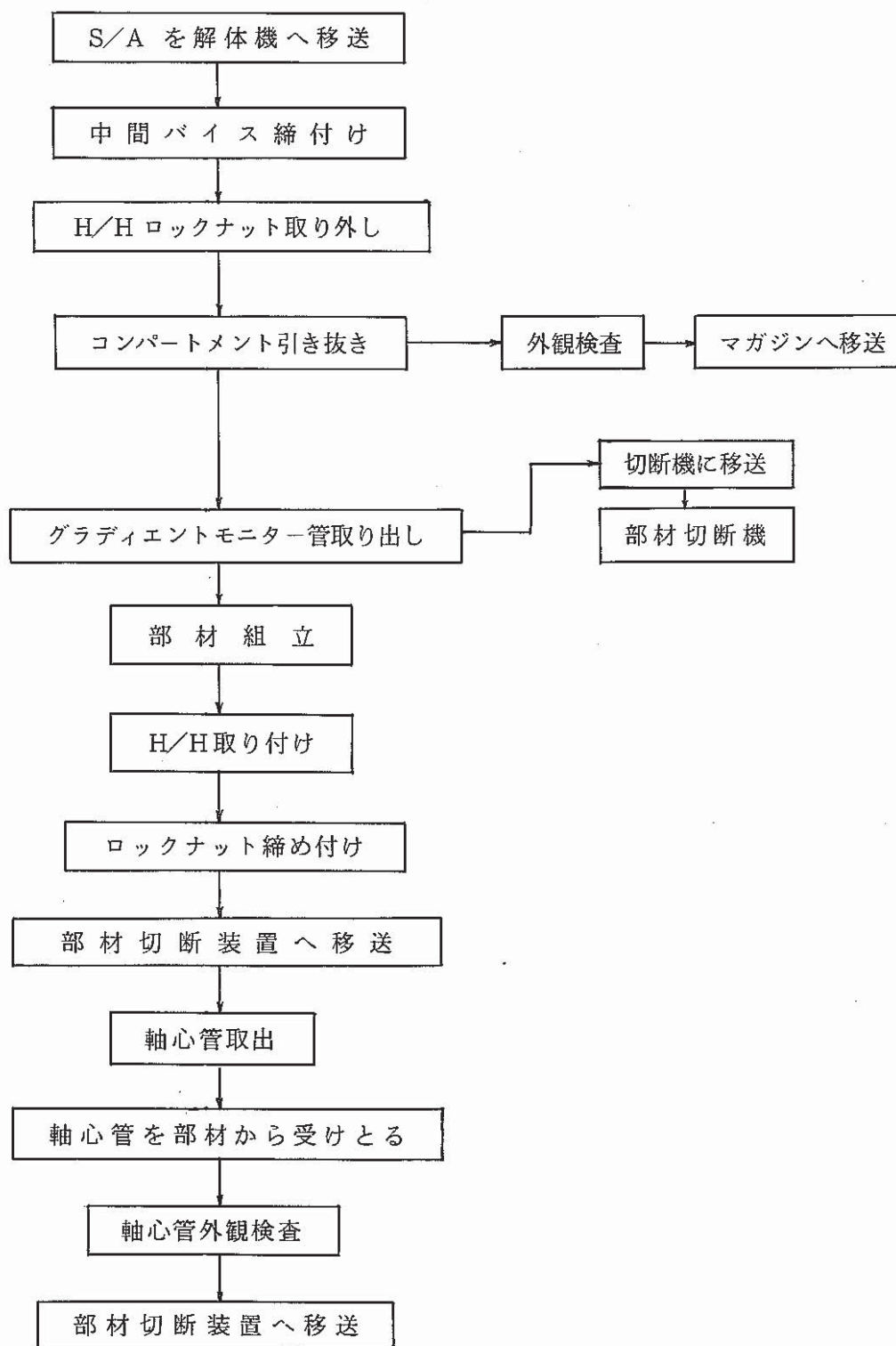


Fig.A-1 SMIR解体フロー（集合体解体装置）

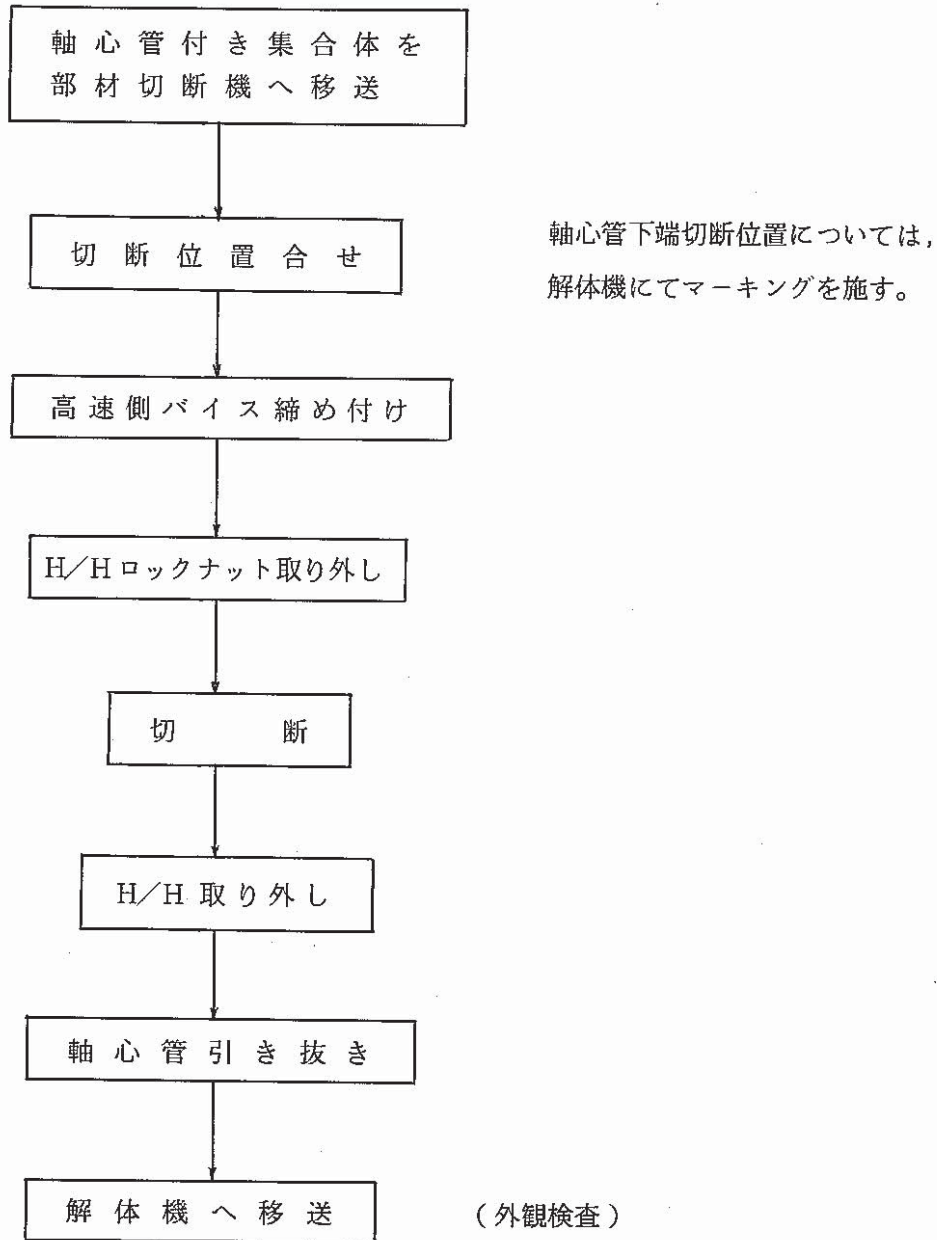


Fig. A-2 軸心管の引抜きフロー

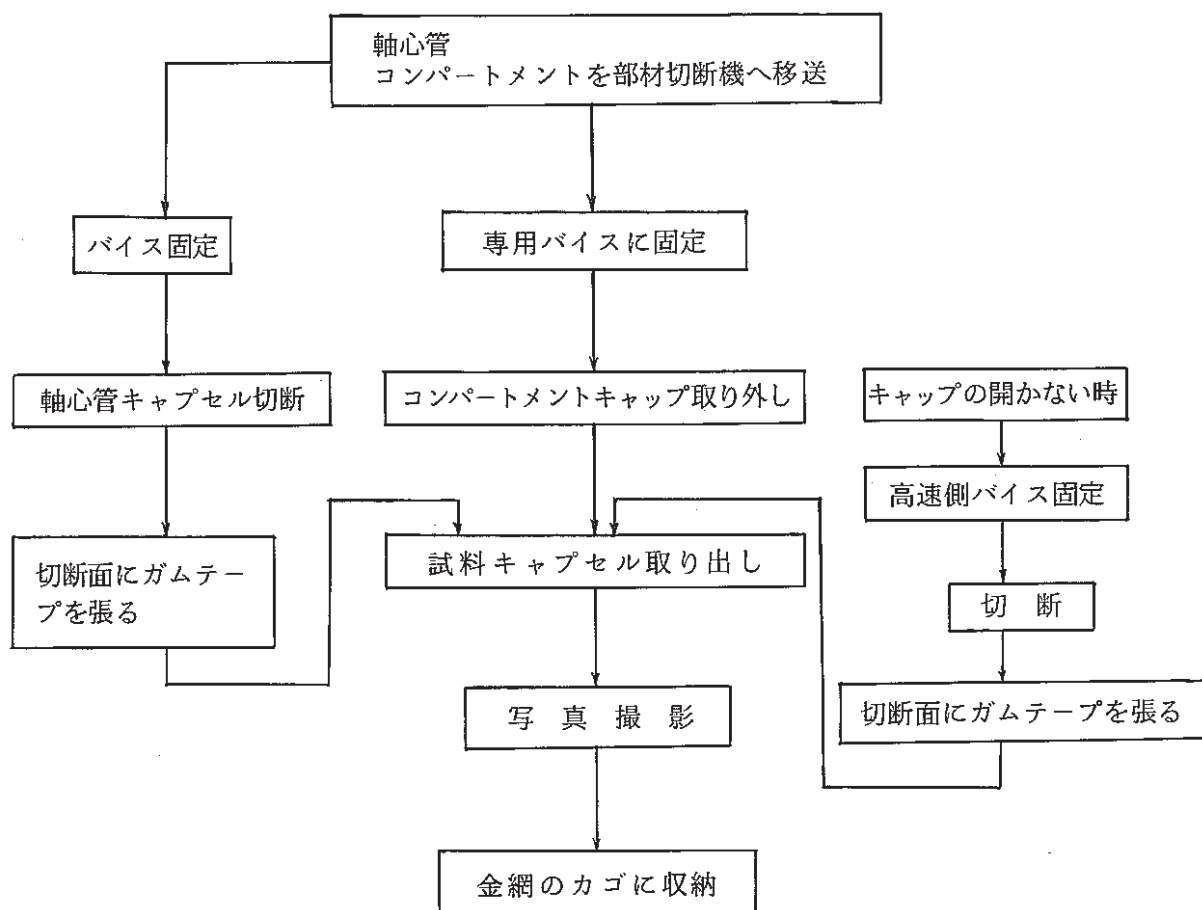


Fig.A-3 コンパートメント，軸心管内試料取出フロー

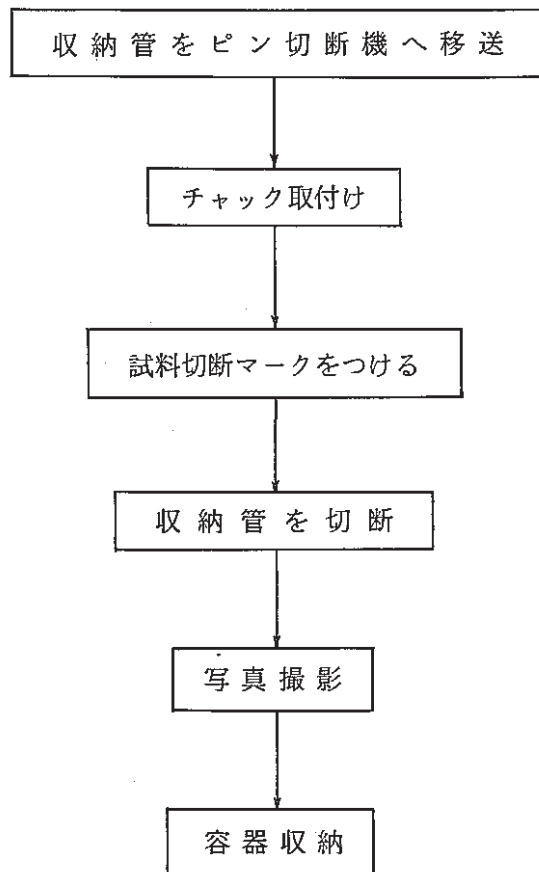


Fig.A-4 グラディエントモニターワイヤ試料採取フロー

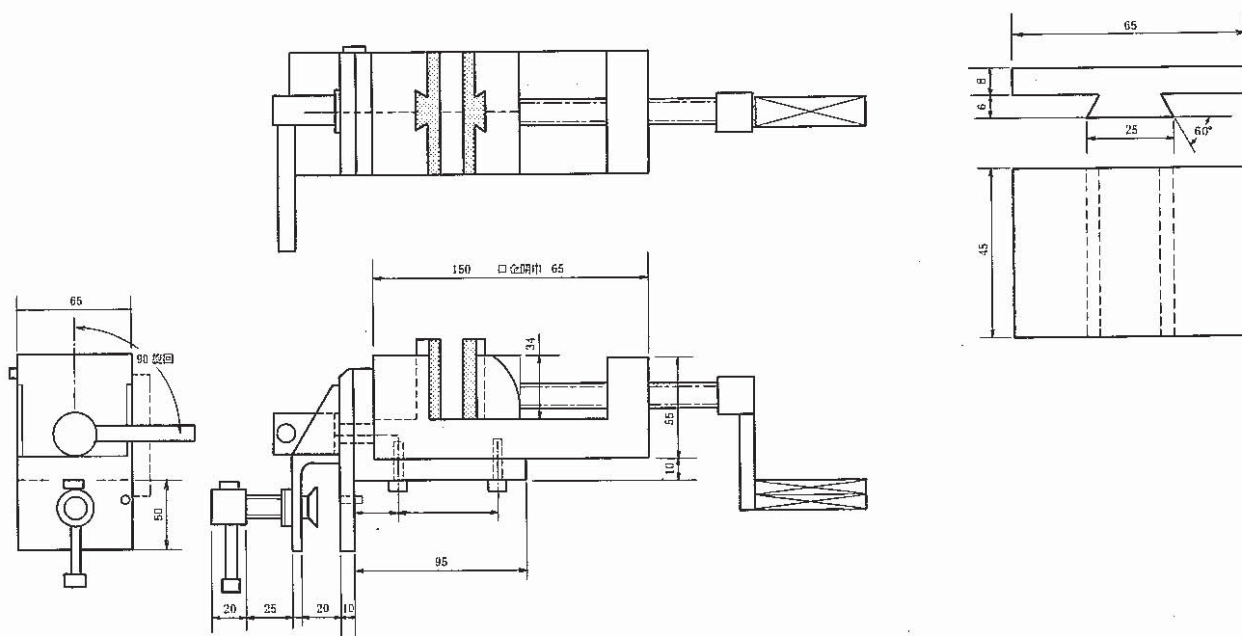


Fig.A-5 専用バイス

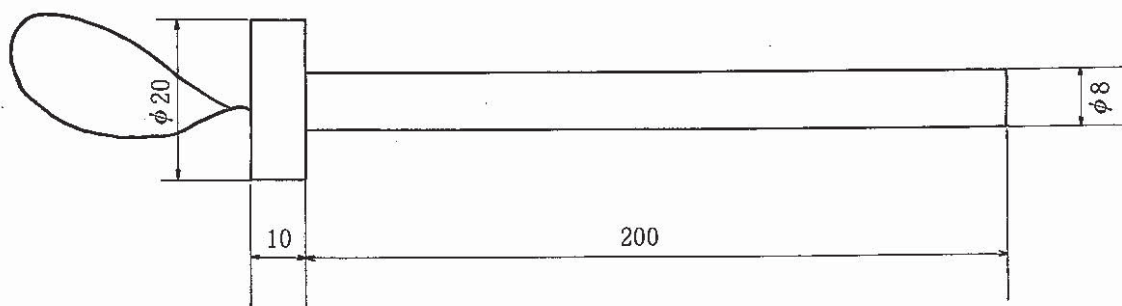


Fig.A-6 キャップ取り外し治具

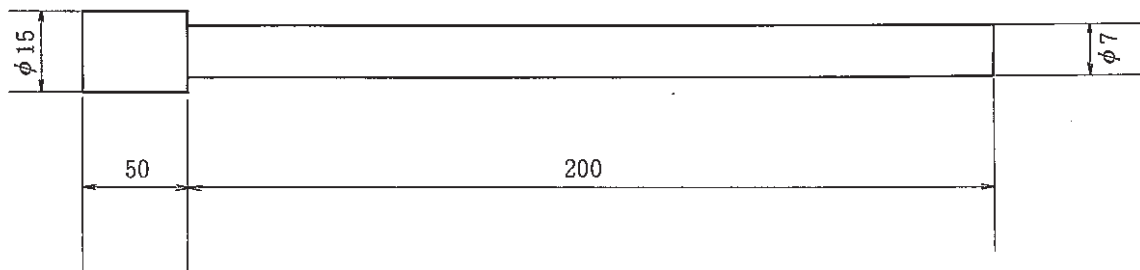
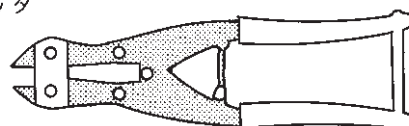


Fig.A - 7 試料キャプセル押し出し治具

Mizet Cutter
ミゼット カッタ



握り部にビニールが被せてあるので、片手で4 mm ϕ の線材が楽に切断できる。

Fig.A - 8 グラジエントモニターワイヤー収納管切断用カッター

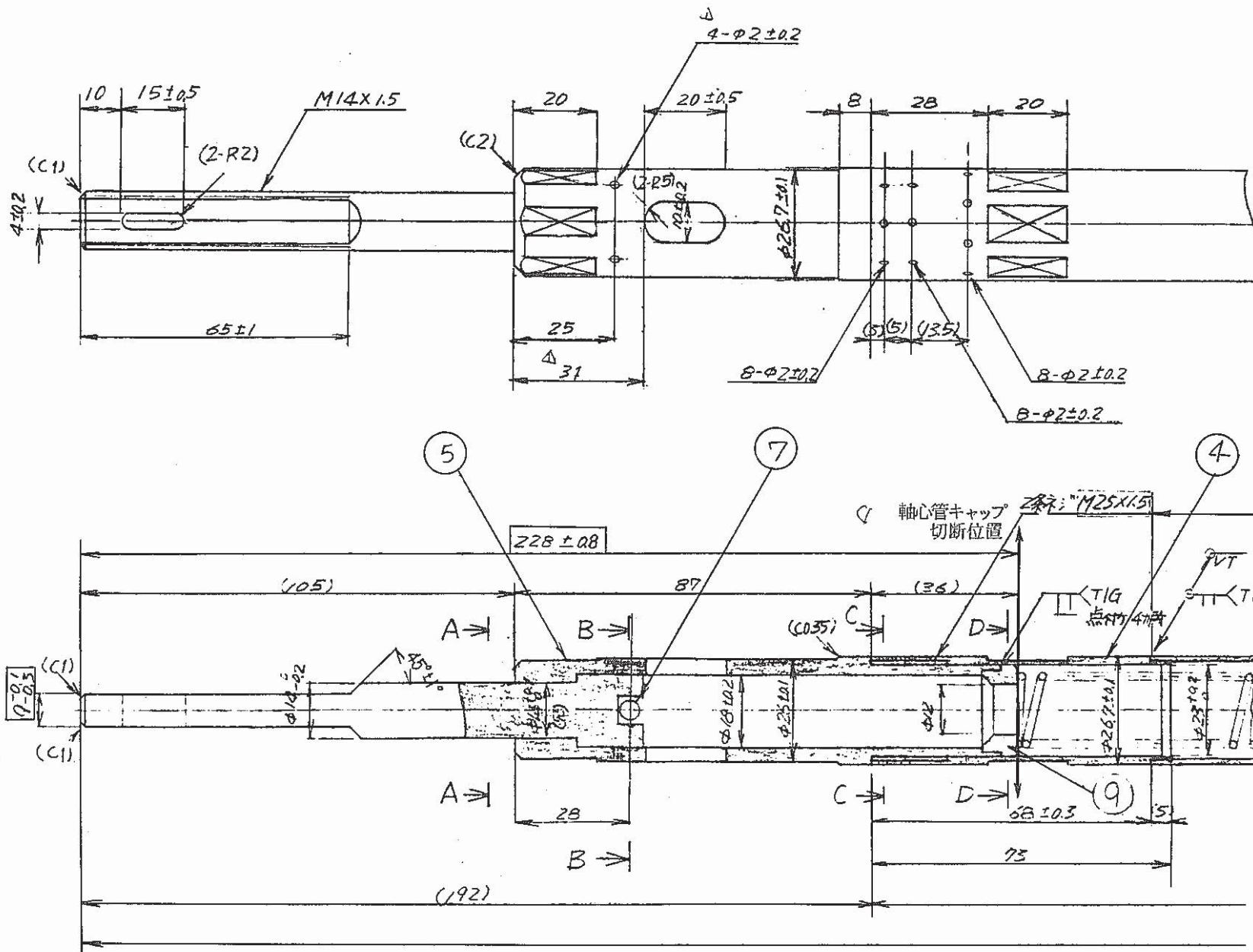


Fig.A-10 軸心管キャップ切断位置

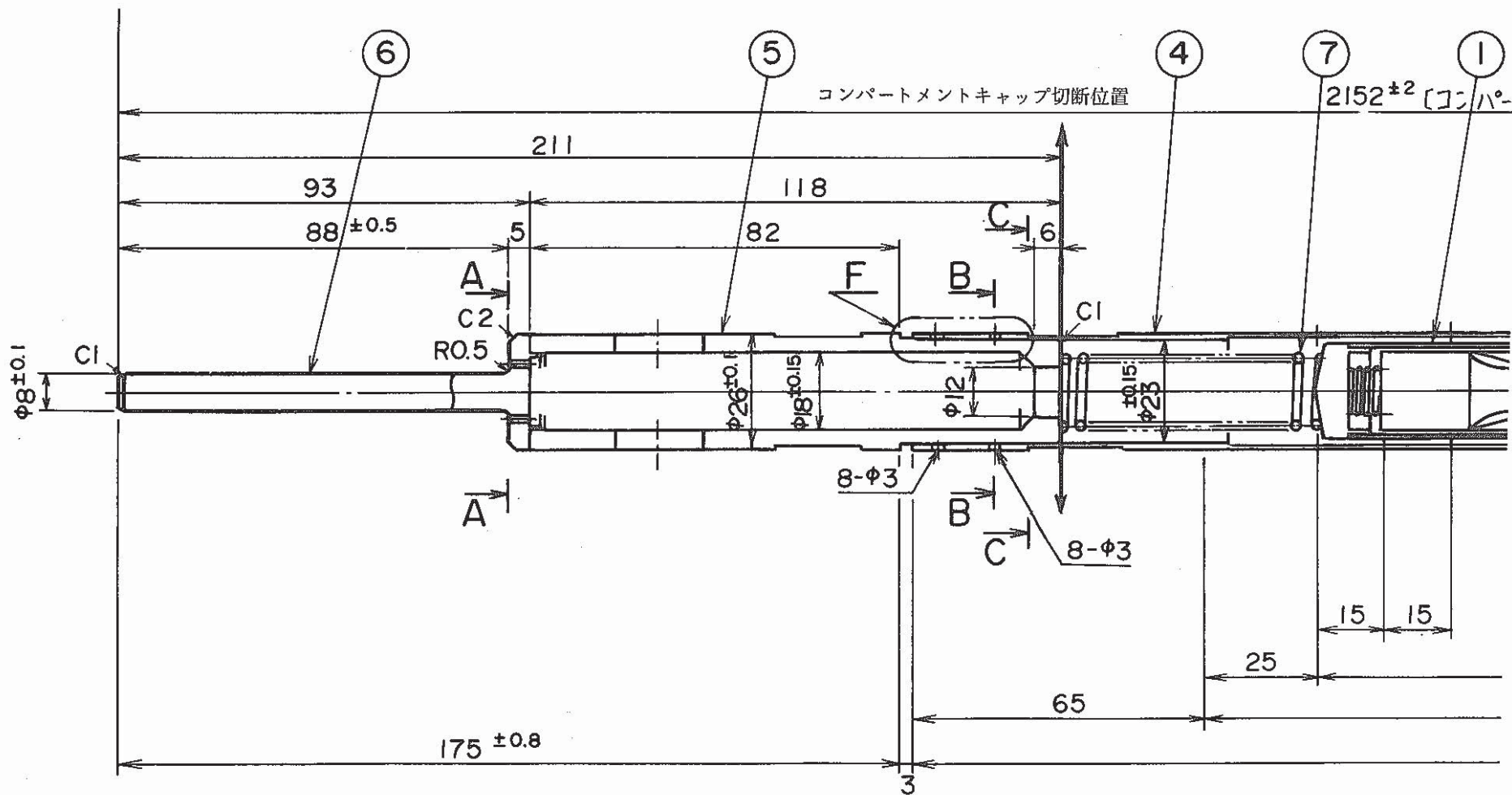


Fig.A-11 コンパートメントキャップ切断位置