

JAERI-M
90-079

JRR-3中性子導管の設計と設置

1990年5月

鈴木 正年・川端 祐司・工藤 三好・坂本 正誠
大西 信秋・高橋 秀武・須川 豊*・新野 信行*
畠山 君男*・鳴貫 昭雄*・笠井泰治郎*・舟所 勝行**
奥畠 浩治**・早川 正治**

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

JAERI-M レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合せは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

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

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1990

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 いばらき印刷株

JRR-3 中性子導管の設計と設置

日本原子力研究所東海研究所研究炉管理部
鈴木 正年・川端 祐司・工藤 三好・坂本 正誠⁺
大西 信秋・高橋 秀武・須川 豊^{*}・新野 信行^{*}
畠山 君男^{*}・嶋貫 昭雄^{*}・笠井泰治郎^{*}・舟所 勝行^{**}
奥畑 浩治^{**}・早川 正治^{**}

(1990年4月12日受理)

JRR-3 改造計画の一環として、中性子導管を設置した。中性子導管については、ヨーロッパを中心に大規模な設備が設置され利用されているが、わが国で総延長 230 m を超える規模の中性子導管を設置するのは初めての経験である。本稿では、1985 年から設計に着手し、さまざまな実験を行って 1990 年 2 月に完成をみるにいたった経過を述べる。

中性子導管の設置の良否を決定する主たる要因は、優れた製作精度と正確な設置技術である。完成した中性子導管は、鏡管ユニットの製作にあたって、鏡面の表面粗さが平均 $0.008 \mu\text{m}$ 、鏡管ユニット内面の製作精度誤差が平均 $5 \mu\text{m}$ であった。また、据え付けにおける水平度誤差および垂直度誤差の平均は、それぞれ $1 \times 10^{-5} \text{ rad}$ 、 $2 \times 10^{-5} \text{ rad}$ 、また、接合角誤差は平均 $5 \times 10^{-6} \text{ rad}$ である。

東海研究所：〒319-11 茨城県那珂郡東海村白方字白根 2-4

+ 物理部

* NKK 日本鋼管（株）

** エヌ・エス・ジー・ハイテクプロダクツ（株）

The Design and Construction of the Neutron Guide Tubes in JRR-3

Masatoshi SUZUKI, Yuji KAWABATA, Mitsuyoshi KUDO, Masanobu SAKAMOTO⁺
Nobuaki ONISHI, Hidetake TAKAHASHI, Yutaka SUGAWA^{*}, Nobuyuki NIINO^{*}
Kimio HATAYAMA^{*}, Akio SHIMANUKI^{*}, Taijiro KASAI^{*}, Katsuyuki HUNASHO^{**}
Koji OKUHATA^{**} and Shoji HAYAKAWA^{**}

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

(Received April 12, 1990)

In the upgrade project of JRR-3 neutron guide tubes whose total length was about 230m were constructed. This is the first construction of a large scale neutron guide tubes in Japan, although they have been already constructed and utilized in Europe.

The design of neutron guide tubes was started in 1985 and the guide tubes in JRR-3 were completed in February 1990. The result of various experiments and experience were described in this report.

The major factors for the better performance of the guide tubes are the flatness of mirror surface planes, the dimensional accuracy on the fabricated elements and the alignments of each elements.

The average surface roughness of the mirror planes is $0.008\mu\text{m}$ and the dimensional accuracy of the elements is $5\mu\text{m}$ on the average.

On the constructed guide tubes the average horizontal and vertical errors are 1×10^{-5} rad and 2×10^{-5} rad respectively and the abutment error is 5×10^{-6} rad on the average.

Keywords: Guide Tube, JRR-3, Neutron Mirror, Design, Construction,
Accuracy

+ Department of Physics

* NKK Corp.

** N.S.G. High-Tech Products Co., Ltd.

目 次

1. はじめに	1
2. 中性子導管の概要	1
2.1 中性子導管の基本的特性	1
2.2 中性子導管の特長	2
3. JRR-3 中性子導管の全体構想	3
4. 中性子導管の設計と製作	4
4.1 鏡管ユニット	4
4.1.1 標準タイプの鏡管ユニット	4
4.1.2 水平実験孔内の鏡管ユニット（プラグ内ユニット）	8
4.2 鏡管架台	10
4.3 鏡管ユニット支持調整機構	10
4.4 鏡管ユニットの接続機構	10
4.5 真空保持装置	11
4.6 遮蔽	11
4.6.1 ガイドトンネル内遮蔽体	12
4.6.2 ビームホール内遮蔽体	12
5. 据え付け調整	12
5.1 プラグ内ユニットの据え付け	13
5.2 鏡管ユニットの据え付け	13
6. まとめ	15
7. おわりに	16
参考文献	16
付録 JRR-3 中性子導管の据え付け調整要領	38

Contents

1. Introduction	1
2. Outline of neutron guide tubes	1
2.1 Properties of neutron guide tubes	1
2.2 Merits of neutron guide tubes	2
3. Conception of neutron guide tubes on JRR-3	3
4. Design and fabrication	4
4.1 Guide tube units	4
4.1.1 Guide tube units (standard type)	4
4.1.2 Guide tube units (in the reactor shielding)	8
4.2 Supports for guide	10
4.3 Position adjuster	10
4.4 Connection seal	10
4.5 Vacuum system	11
4.6 Shielding	11
4.6.1 Shielding (in the guide tunnel)	12
4.6.2 Shielding (in the beam hole)	12
5. Installation	12
5.1 Guide tube units (in the reactor shielding)	13
5.2 Guide tube units (standard type)	13
6. Concluding remarks	15
7. Acknowledgements	16
References	16
Appendix Installation and adjustment procedure of guide tubes in JRR-3	38

1. はじめに

ニッケル等の金属表面でおこる中性子の全反射を利用して、研究用原子炉等で発生する中性子を少ない損失で遠方まで導いて、中性子散乱実験などに中性子を供給するための中性子導管が注目されている。JRR-3を改造するにあたって、新たに中性子導管を設置することになり、1985年から検討を開始した。種々の実験等で確認しながら設計および製作を行い、1990年2月に完成をみた。本稿は、わが国としては初めての大規模中性子導管群の設計と製作及び据え付けについての経験を報告するものである。

2. 中性子導管の概要

2.1 中性子導管の基本的特性

物質による中性子の全反射の現象は、最初 Fermi によって見いだされた。Maier Leibnitz は、1960 年代に中性子の全反射を利用して、中性子を遠くまで損失なく導く方法を提案した。現在、ILL をはじめ、多くの研究所で中性子導管が用いられ、わが国でも KUR 等に設置されている。

中性子導管としては、まっすぐな導管（直導管）と炉心を直接見ない湾曲した導管（曲導管）がある。前者は中性子が透過しやすいが、炉心を直接見ることになるため、 γ 線や高速中性子などの除去のためになんらかの対策を講じなければならないが、後者の場合は、高速中性子や γ 線は減少し、また短波長の熱中性子も湾曲に相当する分だけ導管反射面に対する中性子の入射角が大きくなり透過しにくくなる。しかし、波長の長い中性子はほとんどその影響を受けない。

中性子の全反射がおこる最大の入射角度（臨界角） θ_c は、屈折率 n と

$$\cos \theta_c = n \quad (1)$$

の関係があり、また入射中性子の波長 λ および反射鏡の物質定数 Nb_{coh} と次の関係にある。

$$\sin \theta_c = \lambda \sqrt{\frac{Nb_{coh}}{\pi}} \quad (2)$$

ここに、 N は単位体積あたりの原子核の数で、 b_{coh} は coherent な散乱半径を表す。真空と無限大厚さ物質の境界での反射率 R は、入射角を θ とすると

$$R = \left\{ \frac{(n^2 - \cos \theta)^{\frac{1}{2}} - \sin \theta}{(n^2 - \cos \theta)^{\frac{1}{2}} + \sin \theta} \right\}^2 \quad (3)$$

で表される。

1. はじめに

ニッケル等の金属表面でおこる中性子の全反射を利用して、研究用原子炉等で発生する中性子を少ない損失で遠方まで導いて、中性子散乱実験などに中性子を供給するための中性子導管が注目されている。JRR-3を改造するにあたって、新たに中性子導管を設置することになり、1985年から検討を開始した。種々の実験等で確認しながら設計および製作を行い、1990年2月に完成をみた。本稿は、わが国としては初めての大規模中性子導管群の設計と製作及び据え付けについての経験を報告するものである。

2. 中性子導管の概要

2.1 中性子導管の基本的特性

物質による中性子の全反射の現象は、最初 Fermi によって見いだされた。Maier Leibnitz は、1960 年代に中性子の全反射を利用して、中性子を遠くまで損失なく導く方法を提案した。現在、ILL をはじめ、多くの研究所で中性子導管が用いられ、わが国でも KUR 等に設置されている。

中性子導管としては、まっすぐな導管（直導管）と炉心を直接見ない湾曲した導管（曲導管）がある。前者は中性子が透過しやすいが、炉心を直接見ることになるため、 γ 線や高速中性子などの除去のためになんらかの対策を講じなければならないが、後者の場合は、高速中性子や γ 線は減少し、また短波長の熱中性子も湾曲に相当する分だけ導管反射面に対する中性子の入射角が大きくなり透過しにくくなる。しかし、波長の長い中性子はほとんどその影響を受けない。

中性子の全反射がおこる最大の入射角度（臨界角） θ_c は、屈折率 n と

$$\cos \theta_c = n \quad (1)$$

の関係があり、また入射中性子の波長 λ および反射鏡の物質定数 Nb_{coh} と次の関係にある。

$$\sin \theta_c = \lambda \sqrt{\frac{Nb_{coh}}{\pi}} \quad (2)$$

ここに、 N は単位体積あたりの原子核の数で、 b_{coh} は coherent な散乱半径を表す。真空と無限大厚さ物質の境界での反射率 R は、入射角を θ とすると

$$R = \left\{ \frac{(n^2 - \cos \theta)^{\frac{1}{2}} - \sin \theta}{(n^2 - \cos \theta)^{\frac{1}{2}} + \sin \theta} \right\}^2 \quad (3)$$

で表される。

曲導管の特性波長 λ^* (ガーランド伝播する最大の波長) は、曲率半径 ρ 、導管幅 a および N_{bcoh} と次の関係がある。

$$\lambda^* = \sqrt{\frac{2a}{\rho}} \sqrt{\frac{\pi}{N_{bcoh}}} \quad (4)$$

L^* を直接視距離、即ちこれ以上曲がった導管が長くなると出口から入口が直接見えなくなる距離とすると、これは

$$L^* = 2\rho\theta^* = \sqrt{8a\rho} \quad (5)$$

で与えられる。

直導管の収率に対する曲導管の収率比 G は次式で与えられる。

$$\theta^* \geq \theta_c \text{ の場合} \quad G = \frac{2}{3} (\theta_c / \theta^*)^2 \quad (6)$$

$$\theta^* < \theta_c \text{ の場合} \quad G = \frac{2}{3} (\theta_c / \theta^*)^2 \left\{ 1 - \left(1 - \left(\frac{\theta^*}{\theta_c} \right)^2 \right)^{3/2} \right\} \quad (7)$$

$$\theta^* \text{ は}, \quad \theta^* = \sqrt{\frac{2a}{\rho}} \quad (8)$$

で与えられる角で、導管の特性角と呼ばれている。よって中性子の波長 λ が導管の特性波長 λ^* に等しいと $\theta_c = \theta^*$ となり、 $G = 2/3$ となる。

2.2 中性子導管の特長

中性子導管の特長は、次の3点に要約できる。

- ① 中性子導管の曲率や幅を変えることにより、通過する中性子の特性波長を変え、必要なエネルギー領域のみの中性子を取り出すことができ、実験に有害な γ 線、高速中性子などを除去することができる。
- ② 遠方まで中性子ビームを導く途中で、中性子導管内を通過する中性子ビームを分岐することにより、いくつもの実験装置に中性子を供給することができ、研究用原子炉の利用効率を高めることができる。
- ③ 炉心から離れたところまで、損失なく中性子を導くことができるため、実験用のスペースが十分とれる。

このような特長を有する中性子導管を、JRR-3 の改造に際して設置することとした。

JRR-3 では今回の改造にともない、冷中性子源装置 (CNS) の設置も計画され、これから発生する冷中性子ビームも熱中性子ビームとともに中性子導管で導くこととした。

ニ) ビームホール内の遮蔽は個別に行うことで、実験者の被曝防止や実験装置相互のバックグラウンドの影響防止になる。

このような基本的考え方から、それぞれの遮蔽について計算を行い、次項に述べるような遮蔽設計を行った。

4.6.1 ガイドトンネル内遮蔽体

ガイドトンネルは、原子炉室の中に厚さ 80 cm の普通コンクリートで扇状に区切った区域である。このガイドトンネルとそれに隣接する実験利用棟も含めて中性子導管の曲管部が終了する地点までは個別の遮蔽とせず、建物に遮蔽効果をもたせる設計として検討を行った。

遮蔽は、厚さ 80 cm の普通コンクリートに加えてポリエチレン 15 cm と鉄板 15 cm を炉プール壁から約 5 m の範囲のガイドトンネル内壁と天井に施すこととした。さらに後方への放射線漏洩を除去するために炉プール壁と平行にガイドトンネルを 2 分割してポリエチレン 15 cm, 鉄板 15 cm を組み合わせた遮蔽壁を設置する。中性子導管が遮蔽壁を貫通する部分には据え付け調整後に鉄板をブロック状に組み込んで間隙を埋めることとした。ガイドトンネルに入りするためのドアは炉室側を鉄製の扉、内側をポリエチレンの扉とした。

Fig. 15 はガイドトンネル内遮蔽体である。

4.6.2 ビームホール内遮蔽体

ビームホール内の中性子導管に対する遮蔽効果を有することはもちろんあるが、実験者の実験スペースを妨げるものであってはならないことも配慮しながら検討した。さらに、重量物である遮蔽体が中性子導管を搭載する鏡管架台と干渉しないように、遮蔽体は独立して設置することとした。また、実験装置や中性子導管の点検調整の際、比較的容易に取り外しできるよう 1 体あたりの重量についても 2 ~ 3 トン程度にすることとした。

このような課題をふまえて、曲管部が終了する地点までの遮蔽について検討した。前述したように曲管部が終了する地点までの遮蔽については建物に遮蔽効果をもたせる構造とし、厚さ 80 cm の普通コンクリートで導管室とよぶ区域を区切った。

導管室以降の直管部は鉄製の箱枠に普通コンクリートを充填する形状とし、上下を 2 分割し、下部遮蔽体は床面に固定して据え付け、上部に遮蔽体を搭載し、下部遮蔽体とボルトで固定する方式とした。遮蔽体の厚さは 20 cm である。

Fig. 16 にビームホール内遮蔽体を据え付けた状態を示す。

5. 据え付け調整

中性子導管の据え付け調整にあたって、次のような基本的考え方で進めることとした。

- イ) プラグ内ユニットの固定部と可動部および第 1 番目の鏡管ユニットは直線的に設置する。
- ロ) 曲管部は第 2 番目の鏡管ユニットから第 1 番目の鏡管ユニットの出口が直視できなくなる距離の 1.5 倍以上になる地点までとし、それ以降を直管部とする。

- ハ) 据え付け調整は、オートコリメータ、電気水準器およびダイヤルゲージを用いて行い、トランシットと水泡式水準器を補完的に使用する。
- ニ) 据え付け調整結果の計測は、鏡管ユニット外側面で行うことになるため、あらかじめ鏡管ユニットの製作誤差および側板や上下板の厚さの計測結果を計算機に入力しておき、外側面での計測結果を補正し、鏡管ユニットの内面寸法が適切な値になるようにすすめる。

5.1 プラグ内ユニットの据え付け

プラグ内ユニットが有しなければならない機能は、原子炉で発生した中性子ビームを第1番目の鏡管ユニットに損失なく導かなければならることはもちろんであるが、同時に中性子導管を放射状に設置するための出発点の方位角を決定する意味がある。中性子導管を設置する場合、通常の工程として建家の貫通孔や鏡管架台の仮設置などはあらかじめ終了していると考えなければならない。したがって、プラグ内ユニットの設置精度、特に方位角が正しく設置されていないと当初中性子導管を設置する予定の座標からずれる結果となるからである。このような観点からプラグ内ユニットを基準線に正しく据え付けることは重要な意味がある。

プラグ内ユニットは鏡管ユニットとそれを収納するケーシングから構成されており、鏡管ユニットとケーシングの仕上がり寸法をそれぞれ補正してケーシング外側面で鏡管ユニットの内部寸法を知ることができるようにあらかじめ計測してある。据え付け調整は鏡管ユニットを収納しない状態のケーシングで、目標の調整を行った後に鏡管ユニットをケーシングに収納して最終確認を行う方法で行った。これは、据え付け調整が繰り返し行われるので、その間にガラス製の鏡管ユニットを破損させないための配慮である。

具体的な調整は、ケーシングの両端に $0.2 \text{ mm} \phi$ の細線を十字に取り付けて、水平実験孔の中心基準線とトランシットで比較し、基準線とのズレをケーシングの側面4箇所と下部2箇所に取り付けられたボルトの高さを、シム板を増減することによって補正する。この方法を繰り返し行って目標の基準線にケーシングを合わせていく。

目標の基準線に到達した段階でケーシング内に鏡管ユニットを収納し、最終据え付け調整を行い、脱落防止の措置を講じて据え付けを完了した。この方法は固定部および可動部の据え付けとも共通である。

プラグ内ユニットが設置される水平実験孔の可動プラグは原子炉からの放射線を遮断するためのシャッターの機能を持っているため、上下に移動することから厳密な復元性を期待できない。このため、プラグ内ユニットの製作寸法を標準タイプの鏡管ユニットより幅と高さを 2 mm 大きくとることとした。

プラグ内ユニット設置後の精度誤差をTable 10に示す。

5.2 鏡管ユニットの据え付け

(1) 鏡管架台と鏡管ユニットの据え付け

鏡管架台はあらかじめ計算で算出した座標位置にガイドトンネル、ビームホールの順で据え

付け、所定の高さと位置の調整を行った。架台の据え付け後支持調整機構を全数設置し、マイクロメータとスプリングを全開にした状態で鏡管ユニットを最終端から順次押し込んでいく方法で鏡管ユニットを挿入した。鏡管ユニットの全数が設置された段階で、それぞれの鏡管ユニットを計算で算出した座標位置に設置する粗据え付けを行った。この粗据え付けは架台の位置や支持調整機構の位置がほぼ鏡管ユニットの中心線にあることを確認する目的と、鏡管相互の接続をEPDMとシール剤で固定し気密を保持することが目的である。

この粗据え付けと次項「(2)鏡管ユニットの調整」で述べる精密据え付けの相違は、精密据え付けがガラス板の製作寸法まで考慮して調整を行うのに対して、鏡管ユニットの外側面を目標の値に合わせることにより、鏡管架台や支持調整機構が鏡管ユニットの中心線に設置されているか否かを確認するという点である。

(2) 鏡管ユニットの調整

鏡管架台と支持調整機構および鏡管ユニットの粗据え付けが完了した時点で、第1番目の鏡管ユニットから精密な調整作業を開始した。

ガイドトンネル内の中性子導管は、原子炉建家の壁が圧力バウンダリになるため、壁面で一区切りしなければならない。原子炉建家の壁は円筒形になっているため、それぞれのプラグ内ユニットの出口から円筒壁までの距離が標準タイプの鏡管ユニットの長さの整数倍にならない。このために鏡管ユニットの端末が円筒壁に等距離で近接するよう第1番目の鏡管ユニットの長さをそれぞれの距離に応じて短縮して調整することとした(Table 2で示した「始点用」がこれにあたる)。

曲管部の出発点は第2番目の鏡管ユニットから行うこととし、第1番目の鏡管ユニットはプラグ内ユニットと直線になるよう調整し、2番目以降を必要な角度に曲げて調整して行った。調整の方法は次のとおりである。

- ① あらかじめ計算機に入力しておいた個別の鏡管ユニットのデータから、鏡管ユニットを外部から調整した場合に内部寸法が所定の調整値になる数値を出力して、調整担当者に通知する。
- ② 調整すべき鏡管ユニットの1つ前の既に調整が完了している鏡管ユニットの調整結果を基準に以降の鏡管ユニットを調整する。
- ③ 1ブロックが完了した時点で全体の調整結果を出力し、曲管部のジグザグを矯正するようにさらに微調整を行う。

この場合、角度の設置誤差については、極端にプラスマイナスが繰り返されることは巨視的には中性子導管がジグザグに設置されることになるので、最初の調整で生じた誤差がマイナスであればそれ以降の鏡管ユニットもその誤差を無理にプラス方向に元に戻すことなく調整することとした。結果的に、曲率半径が変化することにより中性子導管が滑らかなカーブを形成することの方が性能上のメリットが大きいと判断したからである。

以上の繰り返しにより全ての鏡管ユニットの設置を完了し、ビームホール内の中性子導管への上部遮蔽体の搭載、貫通部の間隙に対する遮蔽板の埋め込み等の最終仕上げを実施した。それぞれの中性子導管の曲管部の接合角度はTable 11のとおりである。

調整に使用する測定器は次のとおりである。

水平面からの誤差	電気水準器および水泡式水準器
垂直面からの誤差	電気水準器および水泡式水準器
鏡管ユニット接合部のズレ誤差	ダイヤルゲージ
鏡管ユニット接合角の誤差	オートコリメータ

中性子導管全体の据え付け調整の結果は、水平度誤差約2秒、垂直度誤差約5秒、鏡管ユニット相互の横ズレ0.009mm、縦ズレ0.008mmであった。また、接合角相互の誤差は全体で約1秒、曲管部のみでも約1.5秒であった。

これらの結果をTable 12にまとめた。

6. ま　と　め

JRR-3の中性子導管設置にあたって、中性子導管先進国であるヨーロッパの実状を文献等で調査しながら、わが国の風土（とくに地震が多い条件など）に適し、かつ研究者の需要に応える中性子導管のあるべき姿を追究してきた。

その中で可能な限りわが国の自主技術を駆使して開発することに心がけてきたが、今回のような大規模な中性子導管群を手掛けることはわれわれはもとより製作メーカーにとっても未知の分野であった。

そのため、小規模なモデルによる中性子反射の実験や調整機構の開発、材質や接着剤の選定などの実験を行ってきた。その中で痛感したことは中性子導管の製作という分野は、まさに「手作り」と呼ぶにふさわしい分野であるということであった。

中性子導管の性能決定に重要な2つの要素……第一に精密な製作精度、第二にその精密な精度で作り上げた製品を正確に設置していく技術……はいわゆる「日本の風土」の中で具現できるものであると考える。

今回の計画の中で、製作メーカーと設置メーカーに対して「誤差ゼロ」とも言うべき厳しい要求を行ったが、こうした要求にメーカー側も十分応えてくれたと確信している。

前述した性能決定の2つの要素についてまとめると以下のとおりである。

① 鏡管ユニットの組立精度

イ) ニッケルスパッタ膜厚	平均	2,000 Å
ロ) ニッケル表面粗さ	平均 (Ra)	80 Å
	最大 (R _{max})	400 Å
ハ) 鏡管ユニット開口部誤差	熱中性子用	5 μm
	冷中性子用	4 μm

② 据え付け精度

イ) 水平度誤差	平均	2秒 (1×10^{-5} rad)
ロ) 垂直度誤差	平均	5秒 (2×10^{-5} rad)
ハ) 接合部縦ズレ	平均	9 μm
ニ) 接合部横ズレ	平均	7 μm

3. JRR-3中性子導管の全体構想

JRR-3に設置される中性子導管の全体構想をFig.1に示すが、円形の研究用原子炉に設置された水平実験孔のうち、CNSに接続された9C実験孔に3本と、重水減速領域に接続された8T実験孔に2本の中性子導管を設置する。これらの中性子導管から導き出された中性子ビームは、原子炉内のガイドトンネルを経て、原子炉建家に隣接して建設された実験利用棟まで達し、約20基の実験装置に中性子ビームを供給する。

このように中性子導管は、従来1実験孔に1実験装置しか設置できなかった研究用原子炉の利用効率を飛躍的に高めることになる。

中性子導管群は、原子炉壁と実験利用棟で一旦分離されるほか、実験利用棟内でも実験装置に中性子を供給する部分（中性子取り出し口という）で、それぞれ分離されており、これらのプロック毎に導管内部を真空状態に保持している。

Table 1にJRR-3に設置する中性子導管群の幾何学的条件と特性波長を示す。

JRR-3の中性子導管を設計するにあたって、考慮した点について以下に列挙する。

- ① 中性子導管の曲率半径を変えることにより、それぞれの中性子導管は2Å, 4Åおよび6Åの特性波長をもつ中性子ビームを導く。中性子導管に曲率をもたせることにより、原子炉から発生するγ線や高速中性子を除去する効果を併せもたらせる。
- ② 中性子導管の内部を真空に保つことにより、中性子導管を通過する中性子ビームの減衰を極力少なくする措置をとる。

また、長期に原子炉を停止する場合や、真空装置に故障が生じた場合には、中性子導管内部にヘリウムガスを供給できるようにし、導管内部に水分を含んだ空気が侵入しないよう措置する。

- ③ 中性子導管はガラス製で、ケーシング等を用いることなく、それ自体で必要な強度をもたらせる構造とし、組立時に発生する誤差の相乗を極力少なくて調整しやすくする。
- ④ 中性子導管の遮蔽は、地震等の発生によって設置誤差が生じたとき、直ちに再調整が可能なように、曲管部には個別の遮蔽を施さず、ガイドトンネルおよび導管室と名付けた遮蔽トンネルで室全体を遮蔽する方式を採用し、実験利用棟内の直管部については実験装置相互のバックグラウンドの影響低下や実験者の被曝防止を考慮してそれぞれの中性子導管ごとに個別の遮蔽を施すこととする。

- ⑤ 既設の原子炉建家と新設の実験利用棟とにまたがって中性子導管が設置されるため、建家の不等沈下等が予測されるので、これに対応できるよう、高さ調整が可能な架台とする。

以上の全体構想にもとづいて、中性子導管の具体的設計を行ったが、中性子導管の性能を決定づける基本的要素は、製作段階と据え付け段階における精度である。したがって、設計においても設計者が必要とする精度と実際に製作するメーカーが最新技術をもって応えられる精度との調整が当然として起こる。そこで中性子導管の具体的設計は設計者であるJRR-3側とメーカー相互の協力体制で進めることとなった。具体的には設計者が問題提起をし、それを設計者とメーカー

一両者によって実験で確証し、確定していくという方法である。以下に各論について検討事項と検討結果および製作、据え付けの結果を述べる。

4. 中性子導管の設計と製作

4.1 鏡管ユニット

4.1.1 標準タイプの鏡管ユニット

中性子導管の性能を十分に発揮するための要素として、第一に中性子を損失なく全反射させる中性子鏡を製作することが挙げられる。理想的な中性子導管は必要な曲率半径で円弧を描く継目のない中性子鏡の導管であると考えられ、しかもその内面は中性子が損失なく反射できる表面平滑度を有していることが求められるが、このような理想的な導管を製作することは現在の技術ではきわめて困難である。このような理由から、現在広く用いられているのは、ガラス板表面に金属ニッケルなどを薄膜加工した中性子鏡を矩形に組立てた管（鏡管ユニット）を多角近似で必要な曲率半径に設置して、中性子導管を形成する方法である。JRR-3においてもこの方法で中性子導管を設置することとした。

(1) 鏡管ユニット材質の検討

中性子導管の鏡管ユニットを設計するにあたって、金属ニッケルの板を研磨して鏡管ユニットを製作できないかという課題を検討した。この方法が可能であれば、機械的強度の劣るガラス板に比較して高い機械的強度が得られる。特に中性子導管のうち原子炉近傍の水平実験孔内に設置する鏡管ユニット（「プラグ内ユニット」と呼ぶ）は、核発熱等の厳しい条件に曝されるため、ガラス板では耐久性に問題があるのではないかと考えたからである。

このためにメーカーに協力を求めて、3種類の表面精度で研磨した金属ニッケル板、ニッケルをスパッタしたガラス板および市販のフロートガラスの提供をうけ、原研の電子リニアックにおいて中性子反射率の測定を行った。³⁾

実験の結果、ほぼ100%の反射率を示したニッケルスパッタガラス板 ($R_a < 100 \text{ \AA}$, $R_{max} = 800 \text{ \AA}$) に比較すると、機械研磨に加えて化学研磨まで施した金属ニッケル板 ($R_a = 190 \text{ \AA}$, $R_{max} = 1300 \text{ \AA}$) でも20%程度反射率が劣ることがわかった。実験に供した試料の全長は30cmであり、実機として採用したい100cm前後の長さまで研磨することになると、この差はもっと開いてくると考えられる。

以上の結果から、鏡管ユニットの材質は金属ニッケルをスパッタしたガラス板を採用することとし、遮蔽性能を考慮してボロン含有量が多く、耐熱性能が優れているホウケイ酸ガラスが適当であるとの結論に至った。しかし、一方でホウケイ酸ガラスはボロン含有量が多いことから炉心近傍の水平実験孔に挿入するプラグ内ユニットには核発熱の影響を受けて膨張するなどの蔽害が懸念されたため、ホウケイ酸ガラスを用いた鏡管ユニットは水平実験孔出口以降の中性子導管に採用することとし、炉心近傍に設置するプラグ内ユニットの材質については別の検討を要することとなった。これについては別項で述べる。

—両者によって実験で確証し、確定していくという方法である。以下に各論について検討事項と検討結果および製作、据え付けの結果を述べる。

4. 中性子導管の設計と製作

4.1 鏡管ユニット

4.1.1 標準タイプの鏡管ユニット

中性子導管の性能を十分に発揮するための要素として、第一に中性子を損失なく全反射させる中性子鏡を製作することが挙げられる。理想的な中性子導管は必要な曲率半径で円弧を描く継目のない中性子鏡の導管であると考えられ、しかもその内面は中性子が損失なく反射できる表面平滑度を有していることが求められるが、このような理想的な導管を製作することは現在の技術ではきわめて困難である。このような理由から、現在広く用いられているのは、ガラス板表面に金属ニッケルなどを薄膜加工した中性子鏡を矩形に組立てた管（鏡管ユニット）を多角近似で必要な曲率半径に設置して、中性子導管を形成する方法である。JRR-3においてもこの方法で中性子導管を設置することとした。

(1) 鏡管ユニット材質の検討

中性子導管の鏡管ユニットを設計するにあたって、金属ニッケルの板を研磨して鏡管ユニットを製作できないかという課題を検討した。この方法が可能であれば、機械的強度の劣るガラス板に比較して高い機械的強度が得られる。特に中性子導管のうち原子炉近傍の水平実験孔内に設置する鏡管ユニット（「プラグ内ユニット」と呼ぶ）は、核発熱等の厳しい条件に曝されるため、ガラス板では耐久性に問題があるのではないかと考えたからである。

このためにメーカーに協力を求めて、3種類の表面精度で研磨した金属ニッケル板、ニッケルをスパッタしたガラス板および市販のフロートガラスの提供をうけ、原研の電子リニアックにおいて中性子反射率の測定を行った。³⁾

実験の結果、ほぼ100%の反射率を示したニッケルスパッタガラス板 ($R_a < 100 \text{ \AA}$, $R_{max} = 800 \text{ \AA}$) に比較すると、機械研磨に加えて化学研磨まで施した金属ニッケル板 ($R_a = 190 \text{ \AA}$, $R_{max} = 1300 \text{ \AA}$) でも20%程度反射率が劣ることがわかった。実験に供した試料の全長は30cmであり、実機として採用したい100cm前後の長さまで研磨することになると、この差はもっと開いてくると考えられる。

以上の結果から、鏡管ユニットの材質は金属ニッケルをスパッタしたガラス板を採用することとし、遮蔽性能を考慮してボロン含有量が多く、耐熱性能が優れているホウケイ酸ガラスが適当であるとの結論に至った。しかし、一方でホウケイ酸ガラスはボロン含有量が多いことから炉心近傍の水平実験孔に挿入するプラグ内ユニットには核発熱の影響を受けて膨張するなどの蔽害が懸念されたため、ホウケイ酸ガラスを用いた鏡管ユニットは水平実験孔出口以降の中性子導管に採用することとし、炉心近傍に設置するプラグ内ユニットの材質については別の検討を要することとなった。これについては別項で述べる。

(2) 鏡管ユニットの構造の検討

1) 内部寸法

鏡管ユニットの内部寸法は次のような検討を踏まえて決定した。

中性子導管の高さは、冷中性子用導管については CNS の減速材容器の大きさに合わせて 12 cm とした。熱中性子用導管の高さについては、可能な限り大きくとって欲しいという利用者の要望を考慮して 20 cm とした。

曲管部の長さについては、直接炉心を見ることがなくなる距離 (L^*) より長くすれば、高速中性子や γ 線のバック・グラウンドの影響を減少させることにつながる。このことを考慮して JRR-3 では L^* の 1.5 倍をとることとした。

中性子導管の幅は、中性子導管の曲率半径 (ρ) および曲管部の長さ (L^*) と中性子導管を導く実験利用棟の規模を考慮して決定しなければならない。

通過中性子を多く望むのであれば、幅を大きくとれば良いが、大きな曲率半径と長い曲管部を必要とすることになり、中性子導管を導く実験利用棟の規模にも関係することになる。JRR-3 実験利用棟は幅 30 m、奥行 50 m であり、実験装置の配置などを考慮して、中性子導管の幅は 2 cm に決定した。

2) ユニットの長さ

次に鏡管ユニットの長さについて検討した。この検討において考慮した点は以下の 3 点である。

- イ) 曲導管において理想的な円弧を求めるには、鏡管ユニット 1 体当りの長さが短い方がよいが、その分接合部が多くなり、接合誤差による損失の発生する割合が大きくなる。
- ロ) ガイドトンネルのような狭い場所でホイストなどを用いずに、手作業で据え付け調整が可能な重量であること。

以上の点のうち、イ) に関して、設置誤差、接合誤差および多角形近似による損失などが中性子導管に与える影響を計算²⁾と実験³⁾によって検証した結果、1 ユニット当りの長さが 100cm を超えると長波長側で損失が大きくなるが、それより短い範囲ではあまり大きな差とならない。それよりユニット長を短くすることは、接合部が増えることになり、設置時の誤差の影響が大きくなる。したがって鏡管ユニット 1 体当りの長さは 100 cm 前後が適当であることがわかった。

これらをもとにメーカーの設備能力と理想的な表面精度が得られる研磨技術等を検討し、1 体当りの長さを 85 cm とすることとした。

この長さで、熱中性子用鏡管ユニットは 1 体当り約 20 kg となり、手作業が可能な重量となつた。

3) ユニットの形状

鏡管ユニットの内部寸法は前述のとおり、冷中性子用が高さ 12 cm、幅 2 cm、熱中性子用が高さ 20 cm、幅 2 cm で、長さは 85 cm となつたが、この標準的な寸法のほかに、実験装置の中性子取り出し口での中性子ビームの分岐や取り付けられる装置の形状からの要請などがあり、特殊な形状の鏡管ユニットを考えなければならなかつた。

Table 2 に鏡管ユニットの概略形状を示すとともに、それらの用途を以下に述べる。

① 热中性子用標準型 (TA型)

内部空間寸法が幅 2 cm, 高さ 20 cm の熱中性子用の標準的な鏡管ユニットで、ユニット長は 85 cm である。TA型の鏡管ユニットを Fig. 2 に示す。表中に「始点用」として長さの異なるユニットがあるのは、水平実験孔出口から原子炉壁面までの距離を調整するためのもので、各 1 体づつ製作して中性子導管の始点に使用する。

以降の鏡管ユニットにも共通するが、中性子導管設置時および保守管理の際にオートコリメータによる調整を行うための反射鏡を全ての鏡管ユニットの側面にとりつけてある。

② 热中性子用特殊型 (TB型)

熱中性子導管の端末で 2 種類の実験装置にそれぞれ中性子ビームを供給するために、TA 型の鏡管ユニットを上下に 2 分割した鏡管ユニットである。Fig. 3 に TB 型の鏡管ユニットを示す。上部および下部の長さは、それぞれ 85 cm と 65 cm である。

③ 冷中性子用標準型 (CA型)

内部空間寸法が幅 2 cm, 高さ 12 cm の冷中性子用の標準的な鏡管ユニットである。ユニット長は 85 cm である。外観的には高さが異なるほかは熱中性子用標準型と同型である。表中に「始点用」として長さの異なるユニットがあるのは、水平実験孔出口から原子炉壁面までの距離を調整するためのもので、各 1 体づつ製作して中性子導管の始点に使用する。

④ 冷中性子用特殊型 1 (CB型)

熱中性子用特殊型 (TB型) と同様の目的で CA 型の鏡管ユニットを上下に 2 分割した鏡管ユニットである。上部および下部の長さは、それぞれ 85 cm と 42.5 cm である。

⑤ 冷中性子用特殊型 (CC型)

前述の CB 型の鏡管ユニットの上半分に接続してさらに遠くまで中性子ビームを導くための鏡管ユニットである。Fig. 4 は CC 型の鏡管ユニットである。内部空間の幅は 2 cm であるが、高さは約 6 cm となっている。この鏡管ユニットはユニットの下部に実験装置が設置されるため、鏡管ユニットの下部をフラットにするとともに鏡管支持調整機構を懸垂型にして実験装置の妨げにならないようにしている。

⑥ 冷中性子用特殊型 3 (CD型)

前述の CC 型鏡管ユニットの延長部に接続される鏡管ユニットで、下部に実験装置が設置されていない地点で使用する。支持調整機構は標準型になる。

⑦ その他の鏡管ユニット

(イ) 端末密封板付鏡管ユニット

導管の始点および終点、それに実験装置に中性子ビームを供給する中性子取り出し口など中性子導管がブロック毎に分離される部分に設置する鏡管ユニットで、真空保持を行うために端末に 0.7 mm 厚さのアルミ板を接着剤で一方の出口を密封した鏡管ユニットである。

(ロ) 真空ノズル付鏡管ユニット

中性子導管は、原子炉室のほか、実験利用棟内で実験装置に中性子ビームを供給する部分などで分離され、それぞれの真空ブロックを構成している。これらのブロック毎に中性子導管内部の真空保持を行うために真空引きのノズルがついた鏡管ユニットを配置

している。Fig.5 は真空ノズル付鏡管ユニットである。

(3) 鏡管ユニットの組立方法

ニッケルをスパッタしたガラス板を鏡管ユニットに組み立てる方法については、接着剤で接着する方法が適当であると考え、適切な接着剤の検討を行った。

より製作精度の高い鏡管ユニットを製作するにあたって接着剤に求めた性能は、第一に極力薄い素材で強力な接着力を有するものであるということであった。接着面が厚くなると、鏡管ユニット内部に接着面が露出して反射効率を低下させるばかりか、ガラス板の段階で高い精度を確保しても接着段階で寸法にバラツキが生じる恐れがあるからである。第二に放射線照射に対して十分な強度を有することであった。第三は、室温の変化 (0°C ~ 40°C) や経年変化に対して追従できる十分な強度を有することである。

これらを知るために、 γ 線照射試験、原子炉における照射試験、温度変化追従試験、劣化による強度の低下試験等を実施した。

1) 接着剤選定のための試験

鏡管ユニット製作のために最適な接着剤の選定を行うために、ガラス板を3種類の接着剤で接着したサンプルをつくり、それについて γ 線照射、原子炉照射および未照射のサンプルについて検討した。

接着剤サンプルは次に示す3種類である。

- | | |
|------------------------------|-------------|
| イ) セメダイン CS-2340-5 | (エポキシ系接着剤) |
| ロ) フォトボンド # 300 | (ブタジエン系接着剤) |
| ハ) アラルダイト 主剤: AY105 硬化剤: 956 | (エポキシ系接着剤) |

γ 線照射試験における照射量はTable 3に示した3段階で実施した。これらの値はJRR-3の運転出力から計算して①が約15年、②が約10年、③が約5年に相当する。原子炉による照射は $1.8 \times 10^{17} \text{n/cm}^2$ である。これは約15年の照射量に相当する。

Table 4に、コバルト 60 照射後のせん断接着強度試験の結果、Table 5に非照射サンプルのせん断接着強度試験の結果を示す。

また、Table 6に原子炉照射後の引張り強度試験の結果を示す。

2) 接着剤についての評価

Fig.6に鏡管組立用接着剤に要求される特性要因図を示してある。要因のうち特に重要なものは点線で囲んであり、これらを中心に3種類の接着剤について検討を行った結果、以下の結論を得た。

- イ) エポキシ系接着剤は耐放射線性には優れているが、耐湿性が劣る。この対策としてはシール材による防湿で解決できる。フォトボンドは耐放射線性の点では、エポキシ系接着剤に劣るものとの設計強度を十分満足しており、耐湿性も良い。
- ロ) 組み立て精度に関係する粘度、膜厚の点からみると、フォトボンドは膜厚が薄くできる長所がある。
- ハ) 強度の点からみるとセメダイン、アラルダイトが優れており、フォトボンドは一段劣るが、必要な強度は有している。
- ニ) 硬化時間は鏡管ユニットを精度よく組み立てる上で重要な要素である。即ち、半接着

状態で長時間静置することは、その間に粗立寸法が変化することも考えられる。また、組立に要する時間を考慮すると、フォトボンドの硬化時間の約10分に比較してセメダインは24時間、アラルダイトは36時間となり、製作に要する時日が大きく異なることになる。

Table 7に各接着剤の評価結果を示すが、上記イ)からニ)と併せて検討すると鏡管ユニットの接着剤としてはフォトボンドが適当であるとの結論を得た。

このような総合的な評価から鏡管ユニット組立用接着剤としてはフォトボンドが最適であると考え、これを採用した。

フォトボンドによる鏡管ユニットの組立は予想を満足する結果で仕上がり、鏡管ユニットの内面の仕上がり寸法の誤差は幅、高さともに0.001～0.006mmであった。

また、鏡管ユニット用のニッケルスパッタガラス鏡面の仕上がり状況もきわめて満足できる値で仕上がった。

Table 8にニッケルスパッタガラス鏡面の測定結果、Table 9に鏡管ユニット内面寸法測定結果の平均誤差を示す。

4.1.2 水平実験孔内の鏡管ユニット（プラグ内ユニット）

中性子導管のうち、原子炉生体遮蔽体内の水平実験孔に挿入する鏡管ユニットは、炉心からの γ 線や高速中性子などに曝されるため照射損傷に十分耐えられる材質を選ばなければならない。加えて、水平実験孔のプラグ内に挿入しなければならないことからその調整方法も標準タイプの鏡管ユニットとは別的方式をとらなければならない。

このような要素を満足するために、以下の項目について検討を行った。

- イ) 水平実験孔プラグのスリーブ内に挿入するものであるから、標準タイプの鏡管ユニットのように精度調整が据え付けた後にはできない。したがってあらかじめ外部で調整してから挿入しなければならない。
- ロ) 中性子鏡の材質は、核発熱も含む発熱に対して耐えられるものでなければならない。
- ハ) プラグ内ユニット内に空気等が混入するものであってはならない。

(1) 構造の検討

水平実験孔プラグはFig.7に示すように、中性子の通過する部分が矩形のスリーブになっており、原子炉側は原子炉プール水の流出を防止するために、水封止板と呼ばれるアルミニウム製の板で密閉されているためプラグ内ユニット挿入状態での調整はまったく不可能である。このような構造であるからプラグ内ユニットはスリーブ内の状態に合わせて外部で調整した後に前面側から精度よく挿入しなければならない。

このような条件下でプラグ内ユニットを精度よく設置するためには、水平実験孔スリーブの仕上がり寸法や設置精度などの情報を考慮してこれに対応できる方式を考えなければならなかった。そこで、プラグ内ユニットを上下および側面に調整可能な箱（ケーシング）の中に収納して必要な設置精度を得る構造を考えた。

この構造は、プラグ内ユニットをケーシングの片側側面4箇所と上部2箇所にスプリングプランジャを取り付け、それらのスプリングプランジャに対応する反対側面にシム板を挿入できる

ボルトを取り付け、このシム板の高さを変えることによってプラグ内ユニットケーシングを水平実験孔のスリーブの中に必要な精度で設置することができるものである。

(2) 材質の検討

核発熱や放射線損傷に耐えるガラス材質としては石英ガラスが優れていることが知られている。このため、プラグ内ユニットの材質として石英ガラスを採用することの可否を検討した。プラグ内ユニットは、鏡管ユニットをアルミニウム製のケーシングに収納する構造であり、前後を水封止板で密閉されるため熱除去は水平実験孔内を循環するヘリウムガスによる冷却のみで行われる。このようなことから、ガラス板とスペッタしたニッケルとの熱膨張に差異がある場合スペッタ面の剥離による中性子損失が懸念される。以上の理由から、プラグ内ユニットに採用するガラスは金属ニッケルとの間に熱膨張係数の差が小さい材質を選択すべきであると考え、この点からみると石英ガラスはプラグ内ユニットの材質としては不適である。

熱膨張係数が金属ニッケルに近いガラス材質としては石英ガラスよりソーダガラスが適当と考え、必要な実験を行って検証した。おもな検討項目は γ 線および原子炉照射による損傷の観察であった。

実験は、ニッケルをスペッタしたソーダガラスのサンプルをそれぞれ空気、ヘリウムガスおよび真空雰囲気中の状態で照射し、その鏡面を観察する方法で行った。

観察の結果、空気中のサンプルには鏡面に曇り等が確認されたが、真空中およびヘリウムガス雰囲気中のサンプルには変形や曇りがほとんど生じていないことが確認された。

ソーダガラスは照射によって茶褐色に変色するものの表面平滑度などについてはほとんど変化はみられない。以上の結果、ニッケルと熱膨張係数がほぼ等しいソーダガラスが最適と判断し、これを採用することとした。また、プラグ内ユニットの内部は固定部、可動部ともヘリウムガス雰囲気を保つこととした。

プラグ内ユニットのガラスの厚さは、挿入する水平実験孔スリーブの内部寸法とケーシングに収納しなければならないという構造上の制約から標準タイプの鏡管ユニットより薄くしなければならず、12 mmを採用しなければならなかった。たわみなどの強度の面ではケーシングに収納するために十分であるが、ヘリウムガスと内部の空気との置換のための真空引きに対して変形や変形による接着面の剥離が生じることが懸念され、これについての検討を行った。

結果として、0.1 Torr の真空引きに対して、12 cm 高さの冷中性子用プラグ内ユニットについては変形や接着面の剥離は認められなかったが、冷中性子用プラグ内ユニットより高さがある 20cm 高さの熱中性子用プラグ内ユニットについては、変形による接着剤の剥離が認められた。このため、熱中性子用プラグ内ユニットについては、硬化時間や膜厚粘度等でフォトボンドより難はあるが、強度の点で優れているセメダインを使用することとした。また、ヘリウムガス置換の際の真空引きについては、長期間照射において放射化による接着剤の劣化等が起こることを考慮して 7.5 Torr 程度で数回置換するような回路設計にして、プラグ内ユニットの破損を防止する対策を講じた。

プラグ内ユニットの組立精度もセメダインを使用した熱中性子用プラグ内ユニットも含めて標準タイプの鏡管ユニットと同様の精度で製作された。

Fig. 8 にプラグ内ユニットを示す。

4.2 鏡管架台

鏡管架台は鏡管ユニットを搭載するための台であり、床面に立てた脚とH型鋼との組合せで架台を構成するものである。架台は左右に調整できる調整台とボルトによって上下に調整できる機構をもっている。架台の調整範囲は、建屋の不等沈下などにも対応できるように、上下と前後に対して±20 mm、左右に対しては±10 mmである。

Fig. 9 に標準タイプの鏡管架台を示す。

鏡管架台は標準タイプのほか、冷中性子用中性子導管を上下に分割して、下半分の中性子導管を利用する実験装置の設置スペースを確保するために、鏡管ユニットを懸垂する特殊な型も製作した。

Fig. 10 は懸垂型の鏡管架台である。

4.3 鏡管ユニット支持調整機構

鏡管ユニットを鏡管架台に搭載して支持し、かつ精密に調整するための支持調整機構として、マイクロメータヘッドとスプリングの組合せによる機構を考えた。

調整方法は、鏡管ユニットの両端を支持調整機構に搭載して、機構の下部にあるボルトで鏡管ユニットの高さ調整を行い、側面に取り付けたマイクロメータヘッドで左右の調整を行う。マイクロメータヘッドの反対側面と支持調整機構上部にスプリングを取り付けてボルトやマイクロメータヘッドの調整に追随するようにした。調整機構の調整範囲は最大15 mmである。

支持調整機構のマイクロメータヘッドは、調整時に鏡管ユニットを左右に移動するための機能を持たせたものであり計測には使用しない。調整時の計測方法はオートコリメータ、ダイヤルゲージおよび水準器を使用して行う。

支持調整機構も鏡管架台の型式に対応して標準タイプと懸垂タイプの2種類を製作した。

Fig. 11 に標準タイプの支持調整機構、Fig. 12 に懸垂タイプの支持調整機構を示す。

4.4 鏡管ユニットの接続機構

中性子導管は、長さ85 cmの鏡管ユニットを接続して最長60 mにも達する。また中性子導管の内部は 1×10^{-1} Torr以下の真空に保持する。このために鏡管ユニット相互の接続は気密を保たなければならない。鏡管ユニットの断面形状が長方形であるため、バンドで締め付ける方法では効果があがらないため、EPDM(エチレンプロピレンゴム)をシール材(ナフトサームー無溶剤型ポリサルファイド系シール材)で固める方法を採用了。

また、地震等で鏡管ユニット同志が触れ合って破損することを防止するとともに鏡管ユニットの熱膨張を吸収する目的で鏡管ユニットの接続部に厚さ0.5 mmのゴム緩衝材を施すこととした。

Fig. 13 が鏡管ユニット同志を接続した状態である。

4.5 真空保持装置

中性子導管内に空気が混在すると、中性子が吸収されて損失が大きくなるため、導管内は真空に保持することが求められた。JRR-3 の中性子導管では、水平実験孔固定プラグおよび可動プラグ部はヘリウムガス雰囲気とし、それ以降の中性子導管は真空ポンプを用いて導管内を真空に保持することとした。

JRR-3 中性子導管は、実験装置の中性子取り出し口や、原子炉壁と実験利用棟との境界部など数カ所でそれぞれ独立した真空ブロックを構成している。したがって真空保持もこの真空ブロックそれぞれについて行わなければならない。このため、真空ポンプは9台設置し、うち原子炉室に設置した2台をそれぞれガイドトンネル内の冷中性子用と熱中性子用に供することにした。また、真空ポンプは1台でガイドトンネル内の導管全数の真空保持が出来る能力を持たせており、1台が点検中や故障であってもバックアップが可能なような回路設計を行ってある。

ビームホール内の中性子導管の真空ブロックは全部で13ブロックあり、これを残りの7台の真空ポンプで真空保持することにしている。回路設計はガイドトンネル内の真空装置と同様に相互にバックアップが可能なものとした。

さらにJRR-3 中性子導管は、原子炉の長期停止や点検などによる真空ポンプ全数の停止に備えて、中性子導管内をヘリウムガスで満たすためのヘリウムガス供給ラインも併せて設置した。

Fig. 14 は中性子導管の真空保持装置である。

4.6 遮蔽

中性子導管は、その機能上の特性から原子炉近傍の曲管部では直進してくる γ 線や高速中性子を接線方向に逃がして目的とする熱中性子領域以下の低速中性子のみを遠方まで導くものである。したがって、原子炉近傍において中性子導管から漏れ出る γ 線や高速中性子に対して十分な遮蔽を行わなければならない。

JRR-3 では、中性子の曲管部が終了する部分（垂直実験孔出口を直視できなくなる距離の1.5倍の距離）までは鏡管ユニットを個別に遮蔽せず、建物自体に遮蔽効果をもたらすこととし、それ以降の直管部にはそれぞれ個別に遮蔽を施すこととした。その理由は以下の点である。

- イ) 曲管部が設置される位置は鏡管ユニット相互が近接して設置されているため、個別の遮蔽を行うことが困難な状況であり、かつ形状も複雑になる。
- ロ) 曲管部が設置されるガイドトンネルは改造計画全体のスペース上の制約から床面から天井までの高さが2.8mと低いため、重量物である遮蔽体を設置するスペースが確保できない。また、地震等の発生に対応して中性子導管の再調整作業の必要が生じた場合、狭いガイドトンネル内では個別の遮蔽の取り外し作業に困難が生じる。
- ハ) ビームホールまで到達した中性子導管は、 γ 線や高速領域の中性子が除去されているため、原子炉近傍に比較して遮蔽が容易であると考えられる。また、中性子導管相互の距離も放射状に広がるために余裕がある。加えて天井も高くなり、クレーンでの取り付け取り外し作業も可能である。

ニ) ビームホール内の遮蔽は個別に行うことで、実験者の被曝防止や実験装置相互のバックグラウンドの影響防止になる。

このような基本的考え方から、それぞれの遮蔽について計算を行い、次項に述べるような遮蔽設計を行った。

4.6.1 ガイドトンネル内遮蔽体

ガイドトンネルは、原子炉室の中に厚さ 80 cm の普通コンクリートで扇状に区切った区域である。このガイドトンネルとそれに隣接する実験利用棟も含めて中性子導管の曲管部が終了する地点までは個別の遮蔽とせず、建物に遮蔽効果をもたらせる設計として検討を行った。

遮蔽は、厚さ 80 cm の普通コンクリートに加えてポリエチレン 15 cm と鉄板 15 cm を炉プール壁から約 5 m の範囲のガイドトンネル内壁と天井に施すこととした。さらに後方への放射線漏洩を除去するために炉プール壁と平行にガイドトンネルを 2 分割してポリエチレン 15 cm, 鉄板 15 cm を組み合わせた遮蔽壁を設置する。中性子導管が遮蔽壁を貫通する部分には据え付け調整後に鉄板をブロック状に組み込んで間隙を埋めることとした。ガイドトンネルに入りするためのドアは炉室側を鉄製の扉、内側をポリエチレンの扉とした。

Fig. 15 はガイドトンネル内遮蔽体である。

4.6.2 ビームホール内遮蔽体

ビームホール内の中性子導管に対する遮蔽効果を有することはもちろんあるが、実験者の実験スペースを妨げるものであってはならないことも配慮しながら検討した。さらに、重量物である遮蔽体が中性子導管を搭載する鏡管架台と干渉しないように、遮蔽体は独立して設置することとした。また、実験装置や中性子導管の点検調整の際、比較的容易に取り外しできるよう 1 体あたりの重量についても 2 ~ 3 トン程度にすることとした。

このような課題をふまえて、曲管部が終了する地点までの遮蔽について検討した。前述したように曲管部が終了する地点までの遮蔽については建物に遮蔽効果をもたらせる構造とし、厚さ 80 cm の普通コンクリートで導管室とよぶ区域を区切った。

導管室以降の直管部は鉄製の箱枠に普通コンクリートを充填する形状とし、上下を 2 分割し、下部遮蔽体は床面に固定して据え付け、上部に遮蔽体を搭載し、下部遮蔽体とボルトで固定する方式とした。遮蔽体の厚さは 20 cm である。

Fig. 16 にビームホール内遮蔽体を据え付けた状態を示す。

5. 据え付け調整

中性子導管の据え付け調整にあたって、次のような基本的考え方で進めることとした。

- イ) プラグ内ユニットの固定部と可動部および第 1 番目の鏡管ユニットは直線的に設置する。
- ロ) 曲管部は第 2 番目の鏡管ユニットから第 1 番目の鏡管ユニットの出口が直視できなくなる距離の 1.5 倍以上になる地点までとし、それ以降を直管部とする。

水平面からの誤差	電気水準器および水泡式水準器
垂直面からの誤差	電気水準器および水泡式水準器
鏡管ユニット接合部のズレ誤差	ダイヤルゲージ
鏡管ユニット接合角の誤差	オートコリメータ

中性子導管全体の据え付け調整の結果は、水平度誤差約2秒、垂直度誤差約5秒、鏡管ユニット相互の横ズレ0.009mm、縦ズレ0.008mmであった。また、接合角相互の誤差は全体で約1秒、曲管部のみでも約1.5秒であった。

これらの結果をTable 12にまとめた。

6. ま　と　め

JRR-3の中性子導管設置にあたって、中性子導管先進国であるヨーロッパの実状を文献等で調査しながら、わが国の風土（とくに地震が多い条件など）に適し、かつ研究者の需要に応える中性子導管のあるべき姿を追究してきた。

その中で可能な限りわが国の自主技術を駆使して開発することに心がけてきたが、今回のような大規模な中性子導管群を手掛けることはわれわれはもとより製作メーカーにとっても未知の分野であった。

そのため、小規模なモデルによる中性子反射の実験や調整機構の開発、材質や接着剤の選定などの実験を行ってきた。その中で痛感したことは中性子導管の製作という分野は、まさに「手作り」と呼ぶにふさわしい分野であるということであった。

中性子導管の性能決定に重要な2つの要素……第一に精密な製作精度、第二にその精密な精度で作り上げた製品を正確に設置していく技術……はいわゆる「日本の風土」の中で具現できるものであると考える。

今回の計画の中で、製作メーカーと設置メーカーに対して「誤差ゼロ」とも言うべき厳しい要求を行ったが、こうした要求にメーカー側も十分応えてくれたと確信している。

前述した性能決定の2つの要素についてまとめると以下のとおりである。

① 鏡管ユニットの組立精度

イ) ニッケルスパッタ膜厚	平均	2,000 Å
ロ) ニッケル表面粗さ	平均 (Ra)	80 Å
	最大 (R _{max})	400 Å
ハ) 鏡管ユニット開口部誤差	熱中性子用	5 μm
	冷中性子用	4 μm

② 据え付け精度

イ) 水平度誤差	平均	2秒 (1×10^{-5} rad)
ロ) 垂直度誤差	平均	5秒 (2×10^{-5} rad)
ハ) 接合部縦ズレ	平均	9 μm
ニ) 接合部横ズレ	平均	7 μm

ホ) 接合角度誤差 平均 1秒 (5×10^{-6} rad)

このような、精密な組立精度と据え付け精度が得られたことで、JRR-3中性子導管が十分な性能を発揮することが期待される。

7. おわりに

中性子導管による低速中性子利用の分野はこれからますます多くの需要が期待される。JRR-3は1990年3月に臨界に達し、10月からは本格的な共同利用運転にはいるが、運転と平行して行われる特性試験の段階で中性子導管の真価が試され、さらなる改善点が発見できると考える。これらの報告はその時点で行う予定である。

最後に、今回の計画に対して、中性子導管のモデル実験に協力していただいた原研リニアック加速器管理室の益子勝夫氏ほかの室員、照射試料の機械的試験等に協力していただいた原研ホットラボ管理室の足立守氏ほかの室員、中性子導管の性能確証のための計算機プログラムを作成して協力していただいた大型放射光施設計画チームの原見太幹氏、計画にあたって適切な助言をいただいた京都大学原子炉実験所の海老沢徹氏ほかの方々、鏡管ユニットの品質保証に尽力下さったNKK津製作所品質保証チームの重倉純男氏ほかの方々、据え付け調整作業に全力を傾注して下さった(株)高田工業所の岡貞利氏ほかの方々をはじめ中性子導管の製作にあたったメーカーの諸氏に謝意を表します。

参考文献

- 1) 原見太幹・川端祐司 : JAERI-M 85-093 (1985)
- 2) 原見太幹・鈴木正年・植村睦 : JAERI-M 85-103 (1985)
- 3) 鈴木正年・川端祐司・高橋秀武・坂本正誠 : JAERI-M 86-037 (1986)

ホ) 接合角度誤差 平均 1秒 (5×10^{-6} rad)

このような、精密な組立精度と据え付け精度が得られたことで、JRR-3中性子導管が十分な性能を発揮することが期待される。

7. おわりに

中性子導管による低速中性子利用の分野はこれからますます多くの需要が期待される。JRR-3は1990年3月に臨界に達し、10月からは本格的な共同利用運転にはいるが、運転と平行して行われる特性試験の段階で中性子導管の真価が試され、さらなる改善点が発見できると考える。これらの報告はその時点で行う予定である。

最後に、今回の計画に対して、中性子導管のモデル実験に協力していただいた原研リニアック加速器管理室の益子勝夫氏ほかの室員、照射試料の機械的試験等に協力していただいた原研ホップラボ管理室の足立守氏ほかの室員、中性子導管の性能確証のための計算機プログラムを作成して協力していただいた大型放射光施設計画チームの原見太幹氏、計画にあたって適切な助言をいただいた京都大学原子炉実験所の海老沢徹氏ほかの方々、鏡管ユニットの品質保証に尽力下さったNKK津製作所品質保証チームの重倉純男氏ほかの方々、据え付け調整作業に全力を傾注して下さった(株)高田工業所の岡貞利氏ほかの方々をはじめ中性子導管の製作にあたったメーカーの諸氏に謝意を表します。

参考文献

- 1) 原見太幹・川端祐司 : JAERI-M 85-093 (1985)
- 2) 原見太幹・鈴木正年・植村睦 : JAERI-M 85-103 (1985)
- 3) 鈴木正年・川端祐司・高橋秀武・坂本正誠 : JAERI-M 86-037 (1986)

ホ) 接合角度誤差 平均 1秒 (5×10^{-6} rad)

このような、精密な組立精度と据え付け精度が得られたことで、JRR-3中性子導管が十分な性能を発揮することが期待される。

7. おわりに

中性子導管による低速中性子利用の分野はこれからますます多くの需要が期待される。JRR-3は1990年3月に臨界に達し、10月からは本格的な共同利用運転にはいるが、運転と平行して行われる特性試験の段階で中性子導管の真価が試され、さらなる改善点が発見できると考える。これらの報告はその時点で行う予定である。

最後に、今回の計画に対して、中性子導管のモデル実験に協力していただいた原研リニアック加速器管理室の益子勝夫氏ほかの室員、照射試料の機械的試験等に協力していただいた原研ホットラボ管理室の足立守氏ほかの室員、中性子導管の性能確証のための計算機プログラムを作成して協力していただいた大型放射光施設設計画チームの原見太幹氏、計画にあたって適切な助言をいただいた京都大学原子炉実験所の海老沢徹氏ほかの方々、鏡管ユニットの品質保証に尽力下さったNKK津製作所品質保証チームの重倉純男氏ほかの方々、据え付け調整作業に全力を傾注して下さった(株)高田工業所の岡貞利氏ほかの方々をはじめ中性子導管の製作にあたったメーカーの諸氏に謝意を表します。

参考文献

- 1) 原見太幹・川端祐司 : JAERI-M 85-093 (1985)
- 2) 原見太幹・鈴木正年・植村睦 : JAERI-M 85-103 (1985)
- 3) 鈴木正年・川端祐司・高橋秀武・坂本正誠 : JAERI-M 86-037 (1986)

Table 1 JRR-3 中性子導管群の幾何学的条件

導管 No	特性 波長 (Å)	断面寸法 タテ×ヨコ (cm)	水平実 験孔内 長さ(m)	曲 管 部		直管部 長さ(m)	全 長 (m)
				曲率半径(m)	長さ(m)		
T1	2	20×2	1.54	3337.4	35.72	22.65	59.91
T2	2	20×2	1.54	3337.4	35.73	21.71	58.98
C1	4	12×2	2.49	834.3	17.05	11.21	30.75
C2	4	12×2	2.49	834.3	17.02	31.57	51.08
C3	6	12×2	2.49	370.8	15.28	13.61	31.38
計			10.55	—	120.80	100.75	232.10

Table 3 接着剤サンプルのコバルト 60 照射量

照射量	線源からの距離	照射時間
① 1×10^9 R	15.0cm (3.6×10^6)	284.4Hr(11.6day)
② 5×10^8 R	22.5cm (1.8×10^6)	284.4Hr(11.6day)
③ 1×10^8 R	50.0cm (3.8×10^5)	263.4Hr(11.0day)

Table 2 鏡管ユニットの形状

ユニット名称・記号	概 略 形 状	使用場所	ユニット長さ
熱中性子用標準型 T A		始点用 始点用 標準用	77.5 cm 79.0 cm 85.0 cm
熱中性子用特殊型 (2分岐型) T B		中性子取り出し部	85.0 cm (65.0)
冷中性子用標準型 C A		始点用 始点用 始点用 標準用	81.5 cm 79.0 cm 74.5 cm 85.0 cm
冷中性子用特殊型1 (2分岐型) C B		中性子取り出し部	85.0 cm (42.5)
冷中性子用特殊型2 (半幅型) C C		C C 1 接続部	85.0 cm
冷中性子用特殊型3 (半幅型) C D		C C 1 延長部	85.0 cm

Table 4 サンプルのコバルト 60 照射後のせん断接着強度試験結果

種類	照射量		サンプル1	サンプル2	平均値
セメダイン CS- 2340-5	①	引張り破壊荷重(L) kg	145	160	152
		せん断接着強度(SS) kg	72.5	80	76
		破壊形態	M	A	
	②	引張り破壊荷重(L) kg	215	345	280
		せん断接着強度(SS) kg	107.5	172.5	140
		破壊形態	A	A	
	③	引張り破壊荷重(L) kg	305	300	302
		せん断接着強度(SS) kg	152.5	150	151
		破壊形態	A	A	
フォトポント #300	①	引張り破壊荷重(L) kg	25	45	35
		せん断接着強度(SS) kg	12.5	22.5	17
		破壊形態	M	M	
	②	引張り破壊荷重(L) kg	57	63	60
		せん断接着強度(SS) kg	28.5	31.5	30
		破壊形態	M	M	
	③	引張り破壊荷重(L) kg	100	145	122
		せん断接着強度(SS) kg	50	72.5	61
		破壊形態	M	M	
アラルタ什 AY 105/956	①	引張り破壊荷重(L) kg	90	80	85
		せん断接着強度(SS) kg	45	40	42
		破壊形態	M	M	
	②	引張り破壊荷重(L) kg	280	215	247
		せん断接着強度(SS) kg	140	107.5	124
		破壊形態	A	A	
	③	引張り破壊荷重(L) kg	300	242	271
		せん断接着強度(SS) kg	150	121	135
		破壊形態	A	A	

※破壊形態の分類 C:凝集破壊 I:界面破壊 A:被着体破壊(ガラス)

M:混合破壊 (凝集破壊と界面破壊の混合)

※サンプル照射量の①②③はTABLE. 3に示した照射量である。

Table 5 非照射サンプルのせん断接着強度試験結果

種類	サンプルNo.	サンプル1	サンプル2	サンプル3	サンプル4	サンプル5	平均値
セメダイン CS-2340-5	L	300	315	205	235	255	262
	SS	150	157.5	102.5	117.5	127.5	131
	破壊形態	A	A	M	A	A	
フォトボンド #300	L	155	205	150	98	176	157
	SS	77.5	102.5	75	49	88	78
	破壊形態	M	M	M	M	M	
アルダイト AY105/956	L	192	300	316	317	303	286
	SS	96	150	156	158.5	151.5	143
	破壊形態	A	A	A	A	A	

※破壊形態の分類 C:凝集破壊 I:界面破壊 A:被着体破壊(ガラス)

M:混合破壊(凝集破壊と界面破壊の混合)

※

L:引張り破壊荷重(kg) SS:せん断接着強度(kg/cm²)

Table 6 サンプルの原子炉照射後の引張り強度試験

種類		サンプル1	サンプル2	サンプル3	サンプル4	平均
セメダイン CS-2340-5	引張り強度(kg)	205	260	261	212	234
	破壊形態	A	A	A	A	
フォトボンド #300	引張り強度(kg)	201	111	223	195	182
	破壊形態	A	I	A	A	
アルダイト AY105/956	引張り強度(kg)	198	115	103	181	149
	破壊形態	A	I	I	A	

※破壊形態の分類 C:凝集破壊 I:界面破壊 A:被着体破壊(ガラス)

M:混合破壊(凝集破壊と界面破壊の混合)

Table 7 接着剤の評価結果

項目	要因	判定			備考
		フォトポンント #300	セメタイン CS-2340-5	アラルタイト AY105/956	
耐久性	ガラスの破損	○	○	○	寒暖サイクル試験を実施・
	耐湿性	○	△	△	エボキシは吸湿性あり
	耐放射線性	△	○	○	フォトポンントは劣化するが劣化後も設計強度を有する
組立精度	粘度	○	△	△	フォトポンント 550ボイズ セメタイン 4150ボイズ アラルタイト 400ボイズ
	膜厚	○	△	△	フォトポンント 10~100 μm セメタイン 100~500 μm アラルタイト 100~500 μm
	硬化時間	○	△	△	フォトポンント 10min セメタイン 24hr. アラルタイト 36hr
総合評価		○	△	△	

* : 接着したサンプルを恒温槽に入れ、0°C~40°Cの温度で繰り返し負荷をかけて、接着面の亀裂等の有無を観察する。

Table 8 ニッケルスパッタガラス鏡面の測定結果

測定項目	ニッケル膜厚 (Å)			表面粗さ						密着度 (個)		
				Ra (Å)			R _{max} (Å)					
測定位置	①	②	③	①	②	③	①	②	③	①	②	③
サンプル数	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88
平均値	2011	2071	1983	78	78	77	415	419	411	0	0	0
平均	2022			78			415			0		

※サンプルは、鏡管用ガラスと同材質のガラスを同時にスパッタしたものである。

※①②③はサンプルの上部中部下部を示し、これは鏡管用ガラスの上中下に対応する。

※表面粗さの Ra は、中心線平均粗さを示し、 R_{max} は最大高さを示す (JIS0601)。

※密着度は、スパッタ膜に 1 mm 間隔で 100 個の碁盤目をガラス面に到達するように切り線を入れ、セロハン粘着テープを粘着させて直ちにはぎ取り、はがれた個数を測定する方法で行った (JIS R 3220(鏡材の密着性試験))。

Table 9 鏡管ユニット開口部平均誤差 (単位mm)

熱中性子用鏡管ユニット (幅) 総数135体

位 置	右開口部 (20mm)					左開口部 (20mm)					
	誤 差	-.02	-.01	0.00	+.01	+.02	-.02	-.01	0.00	+.01	+.02
上	個 数	0	8	60	62	5	0	7	65	61	2
	平 均					.006					.005
中	個 数	0	19	89	26	1	0	20	83	32	0
	平 均					.004					.004
下	個 数	0	10	70	53	2	0	10	66	56	3
	平 均					.005					.005

熱中性子用鏡管ユニット (高さ)

位 置	右開口部 (200mm)					左開口部 (200mm)					
	誤 差	-.02	-.01	0.00	+.01	+.02	-.02	-.01	0.00	+.01	+.02
個 数	3	13	68	50	1	3	21	68	42	1	
平 均						.005					.005

※測定は三次元測定機を使用した。

右開口部

左開口部

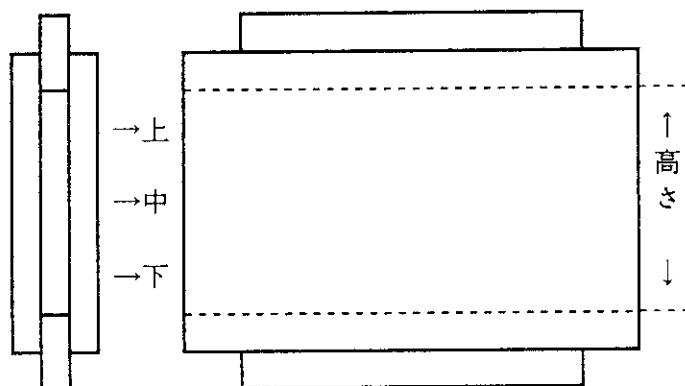


Table 9 (続き)

冷中性子用鏡管ユニット(幅) CA型 総数93体

位 置	右開口部 (20mm)					左開口部 (20mm)					
	誤 差	-. 02	-. 01	0. 00	+. 01	+. 02	-. 02	-. 01	0. 00	+. 01	+. 02
上	個 数	0	4	53	36	0	0	3	50	39	1
	平 均					. 004					. 005
下	個 数	0	5	62	25	1	0	2	61	30	0
	平 均					. 003					. 003

冷中性子用鏡管ユニット(高さ)

位 置	右開口部 (120mm)					左開口部 (120mm)				
誤 差	-. 02	-. 01	0. 00	+. 01	+. 02	-. 02	-. 01	0. 00	+. 01	+. 02
個 数	0	19	56	18	0	0	13	70	10	0
平 均					. 004					. 002

※測定は三次元測定機を使用した。

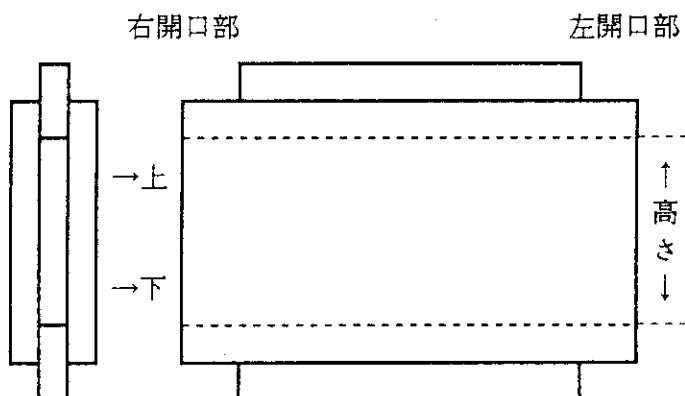


Table 9 (続き)

冷中性子用鏡管ユニット(幅) CC・CD型 総数29体

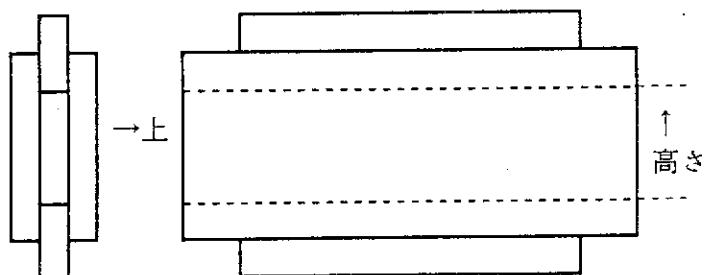
位 置	右開口部 (20mm)					左開口部 (20mm)					
	誤 差	-.02	-.01	0.00	+.01	+.02	-.02	-.01	0.00	+.01	+.02
上	個 数	0	0	17	12	0	0	0	11	18	0
	平 均					.004				.006	

冷中性子用鏡管ユニット(高さ)

位 置	右開口部 (50mm)					左開口部 (50mm)				
	誤 差	-.02	-.01	0.00	+.01	+.02	-.02	-.01	0.00	+.01
個 数	0	3	25	1	0	1	5	22	2	0
平 均					.001				.003	

※測定は三次元測定機を使用した。

CD型 右開口部 左開口部



CC型 右開口部 左開口部

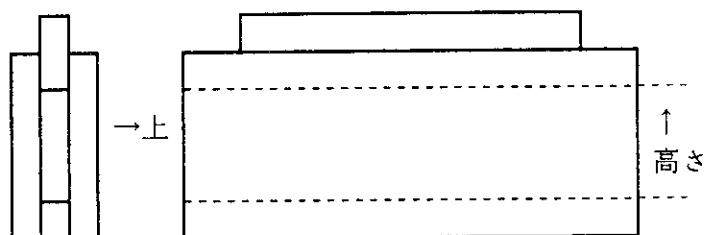


Table 10 プラグ内ユニット据え付け調整結果

誤差の種類	実績値		
	最大値	最小値	平均値
水平面からの誤差	36秒	3秒	14.6秒
垂直面からの誤差	73秒	0秒	16.8秒
基準線からのズレ誤差	0.16mm	0mm	0.055mm
基準線からのズレ角度	32秒	0秒	9.1秒

・「実績値」は、プラグ内ユニット固定部（熱中性子用2本、冷中性子用3本）と可動部（熱中性子用2本、冷中性子用3本）の合計10本の調整結果である。

Table 11 曲導管の接合角度

導管No	曲率半径(mm)	接合角度
T1, T2	3337.4	53秒
C1, C2	834.3	3分30秒
C3	370.8	7分53秒

Table 12 中性子導管据え付け調整結果

導管No	水平度 誤差 (秒)	垂直度 誤差 (秒)	接合部 縦ズレ (mm)	接合部 横ズレ (mm)	接合角度誤差(秒)		
					全体	曲管部	直管部
T1(68)	2.103	5.640	0.007	0.008	1.347	1.398(42)	0.724(26)
T2(67)	2.866	4.552	0.011	0.008	0.799	1.031(41)	0.435(26)
C1(33)	2.636	6.000	0.010	0.006	2.087	2.971(20)	0.672(13)
C2(57)	2.263	5.860	0.007	0.005	0.636	1.298(20)	0.309(37)
C3(34)	2.147	5.059	0.011	0.008	1.058	1.458(18)	0.613(16)
全 体	2.409	5.377	0.009	0.007	1.058	1.508	0.509

() 内の数字は鏡管ユニット数

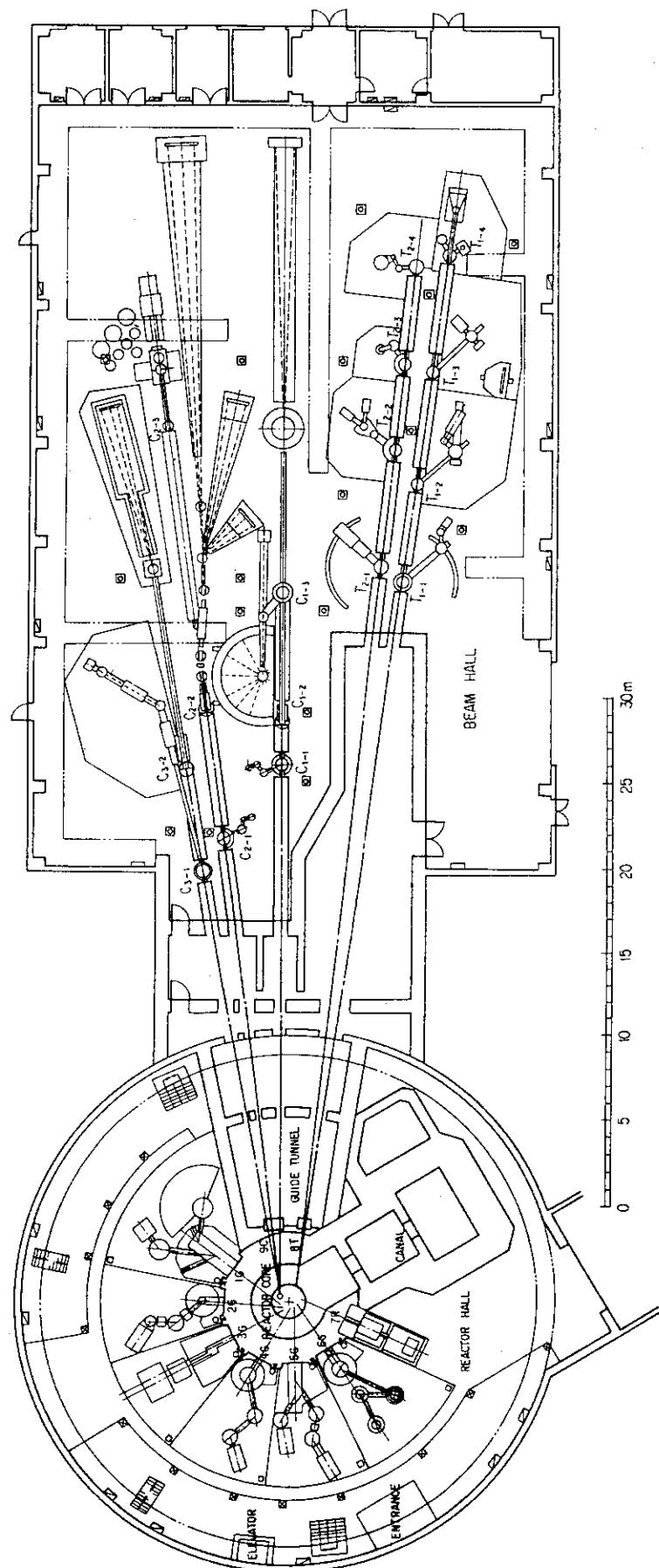


Fig. 1 JRR-3 中性子導管全体構想図

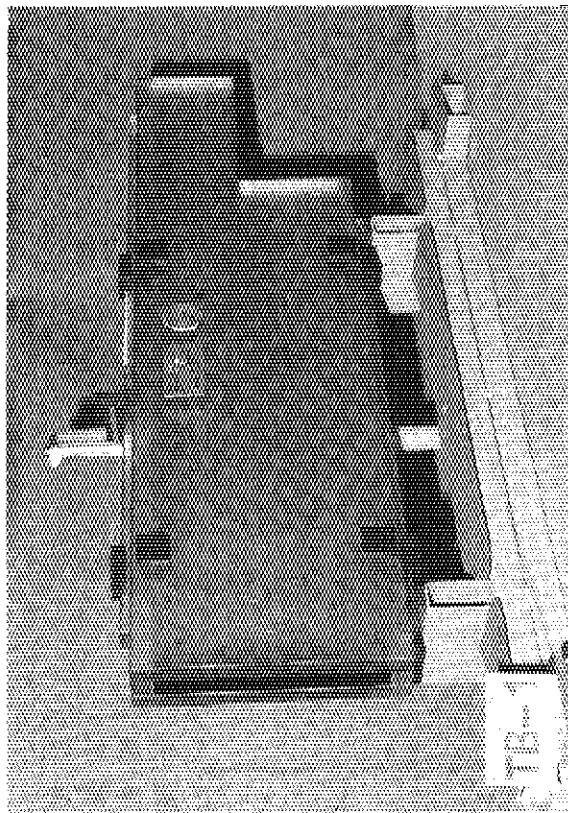


Fig. 2 TA型鏡管ユニット

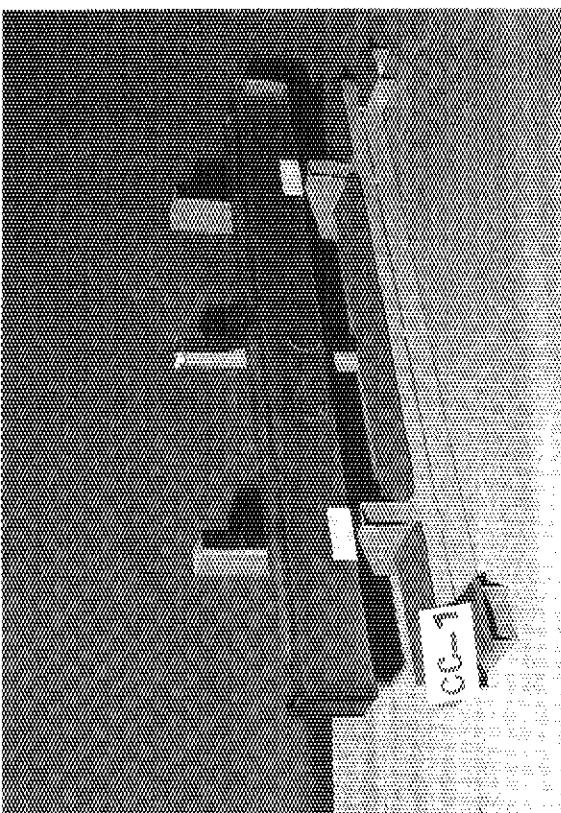


Fig. 4 CC型鏡管ユニット

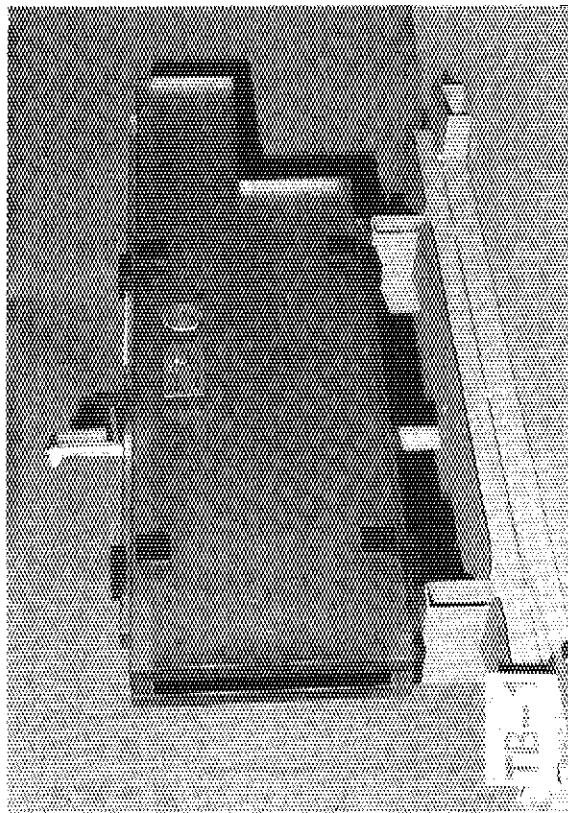


Fig. 3 TB型鏡管ユニット

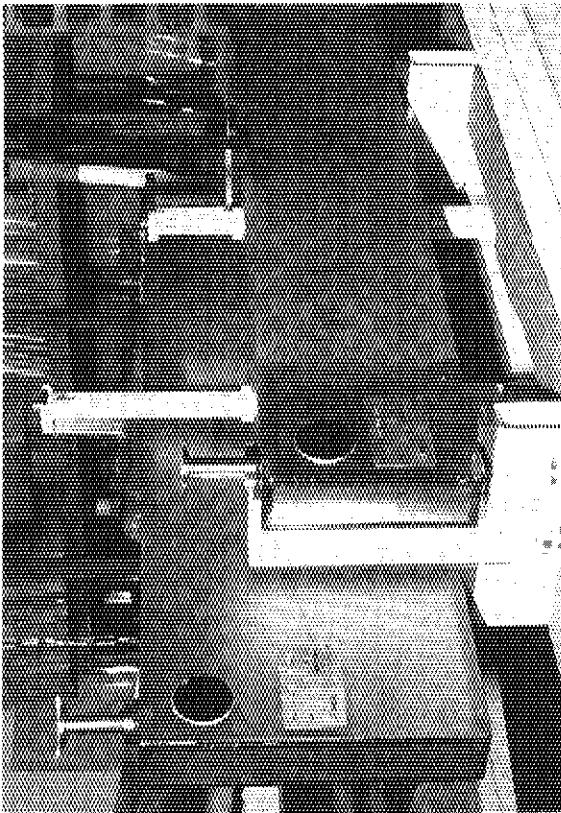
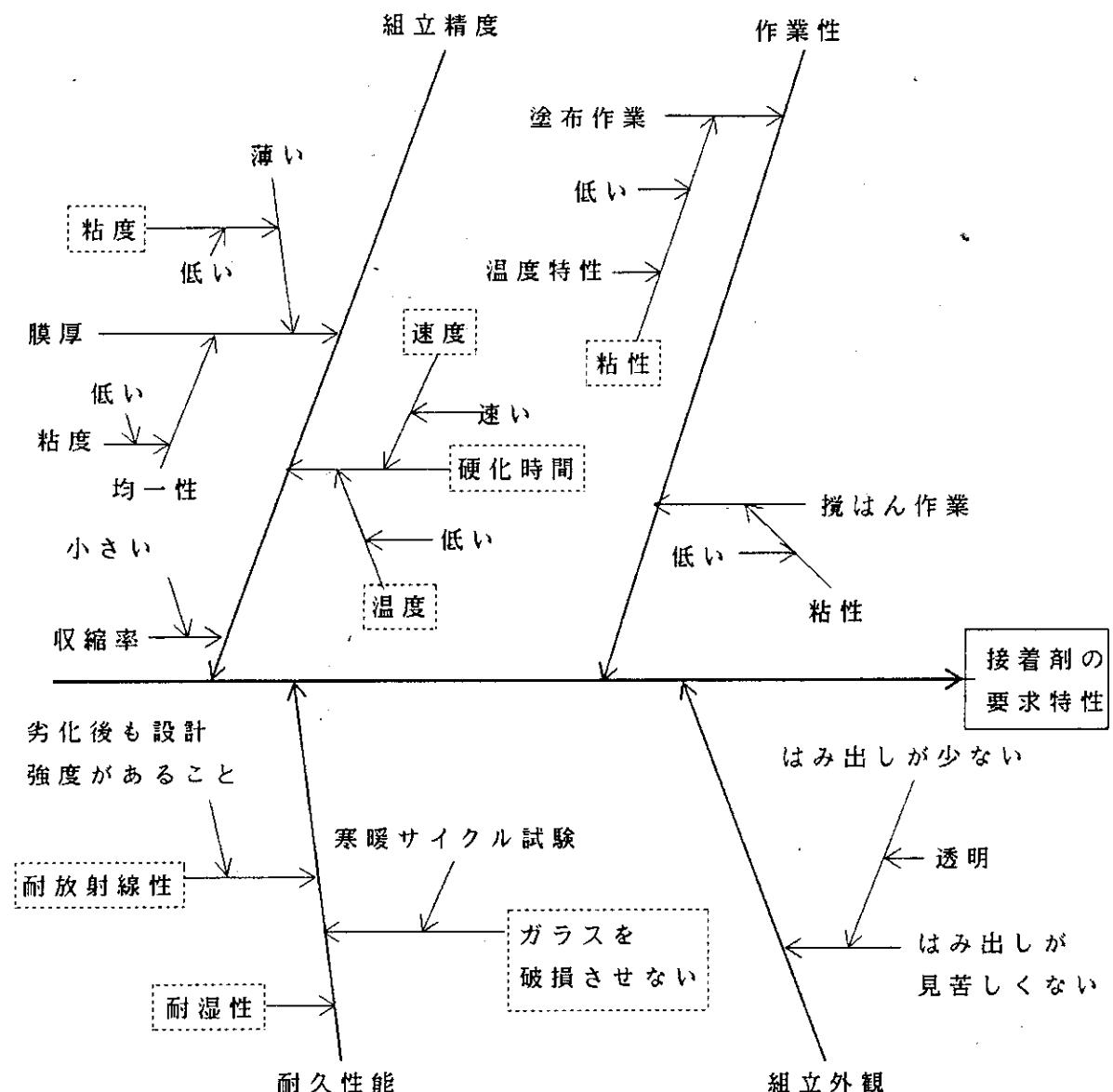


Fig. 5 真空ノズル付き鏡管ユニット



□で囲んだ要因が特に重要なもの

Fig. 6 接着剤の特性要因図

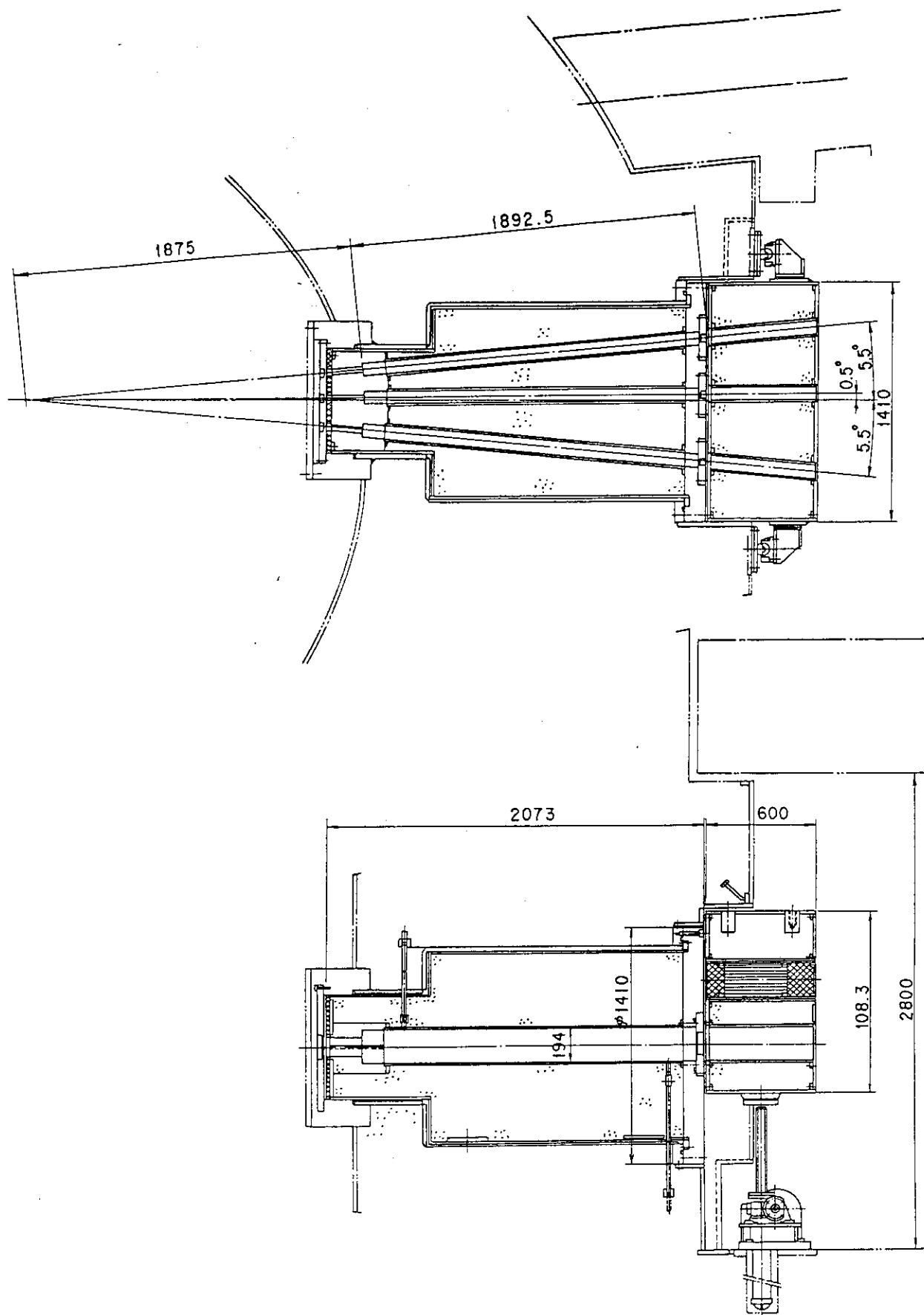


Fig. 7 水平実験孔用プラグ

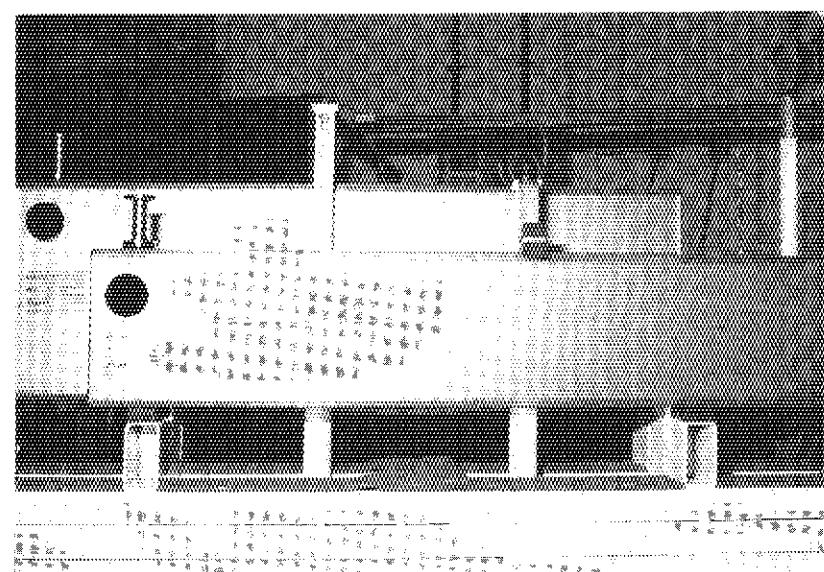
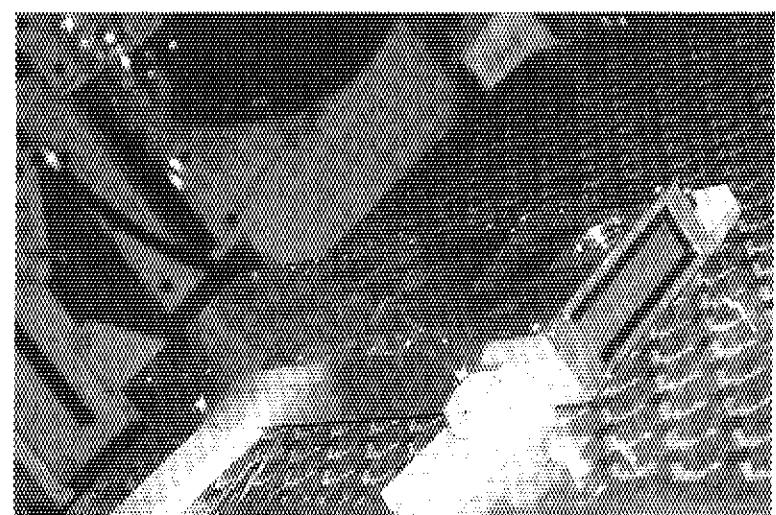


Fig. 8 プラグ内ユニット

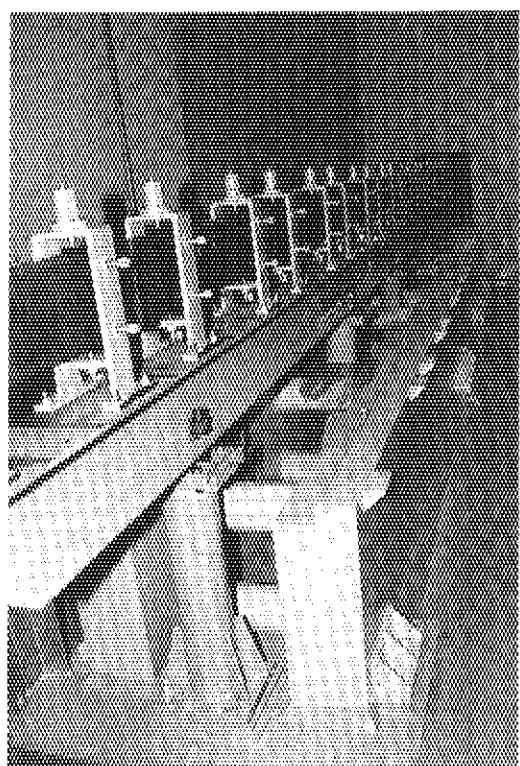


Fig. 9 鏡管架台（標準型）

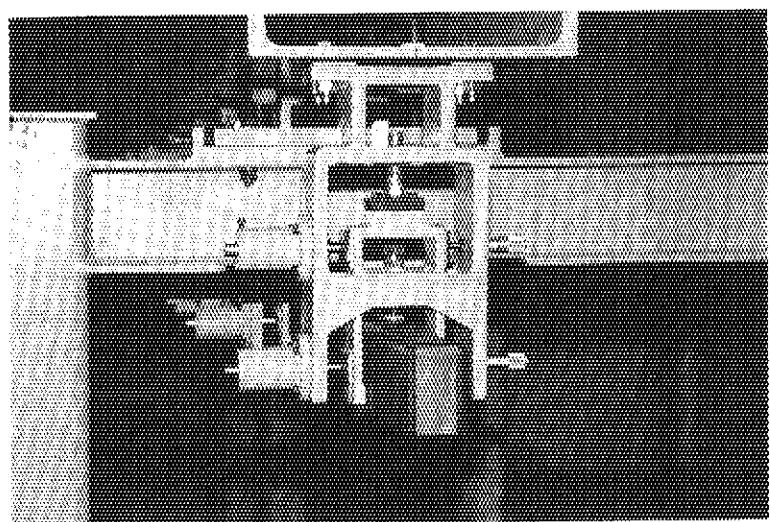


Fig. 10 鏡管架台（懸垂型）

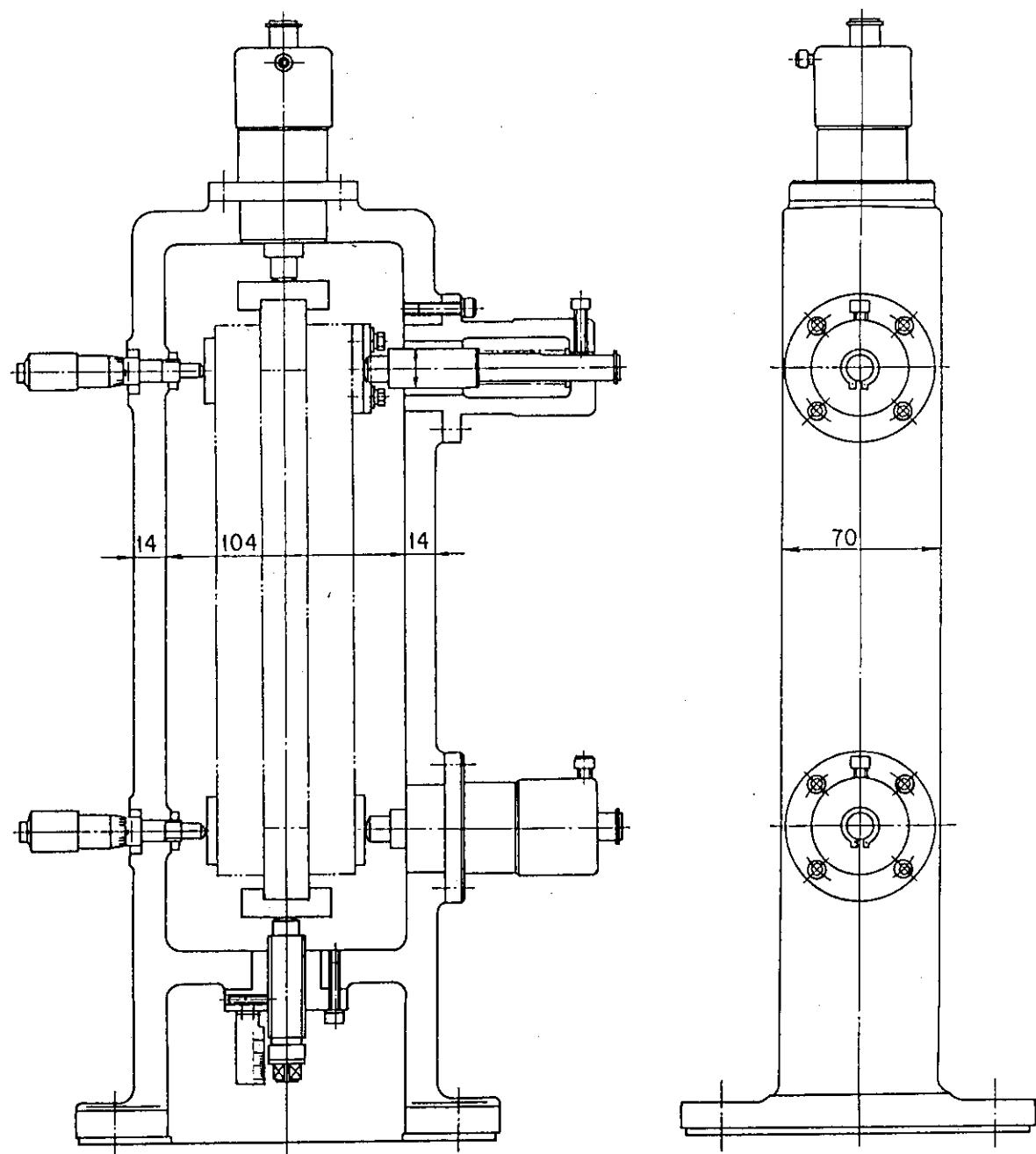


Fig. 11 鏡管ユニット支持調整機構（標準型）

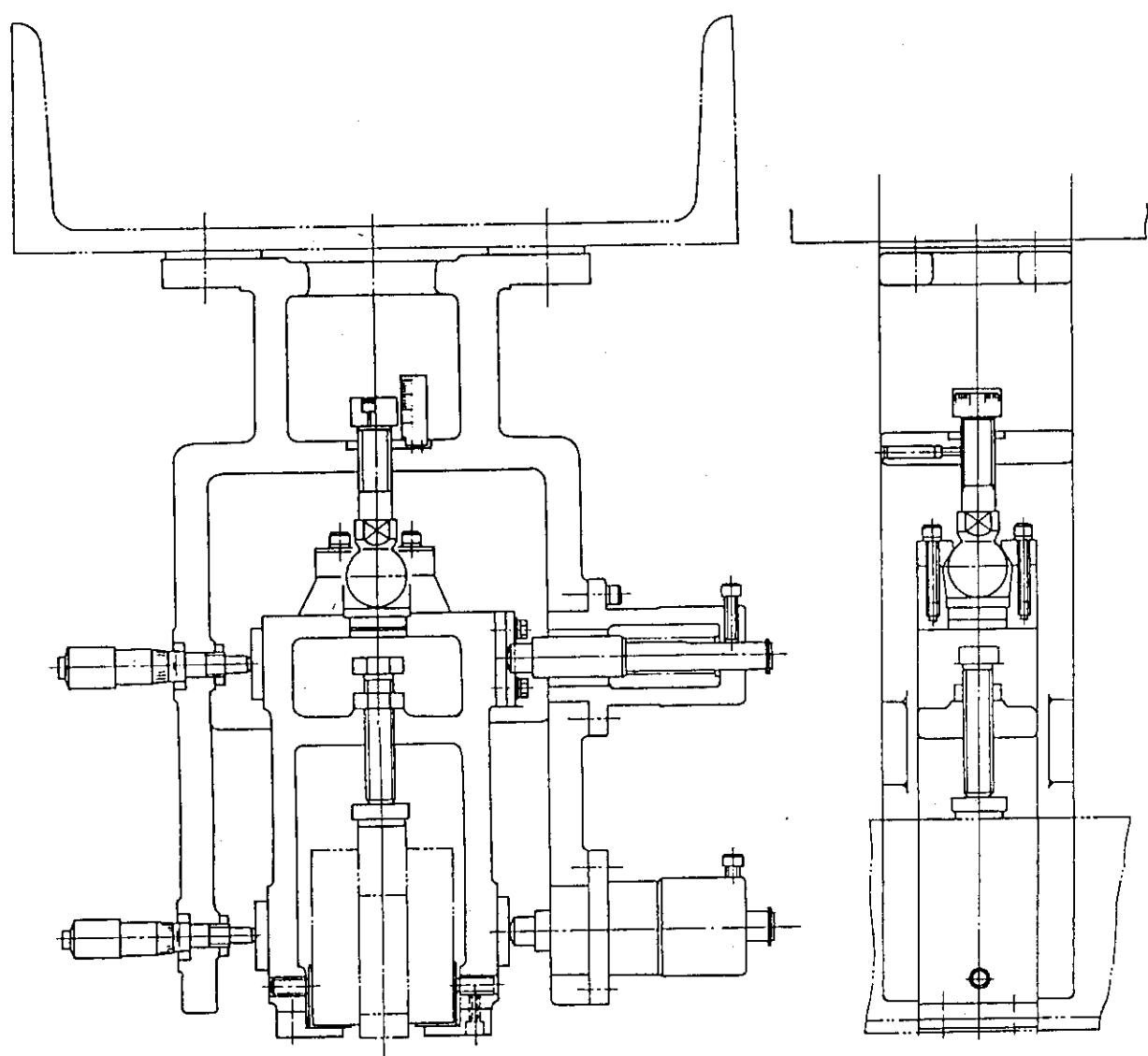


Fig. 12 鏡管ユニット支持調整機構（懸垂型）

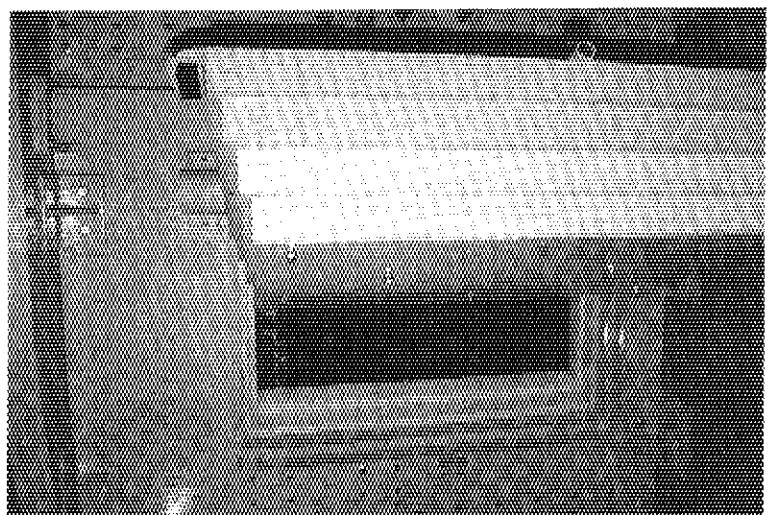


Fig. 15 ガイドチャンネル内遮蔽体

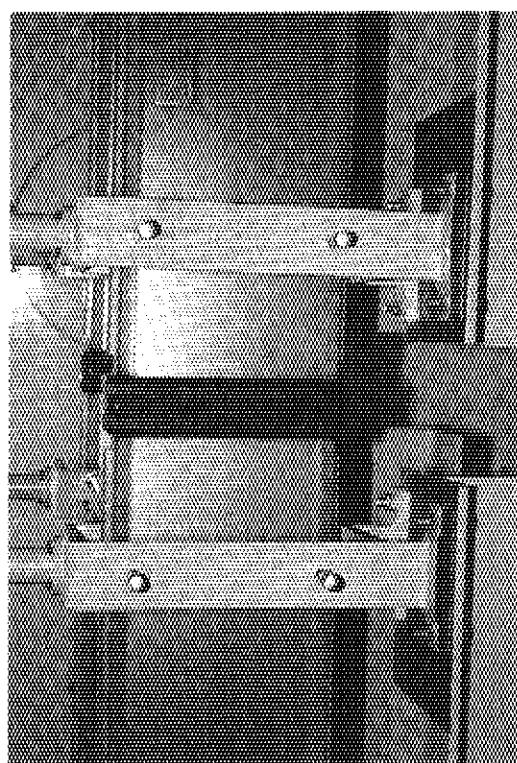


Fig. 13 鏡管ユニット接続部

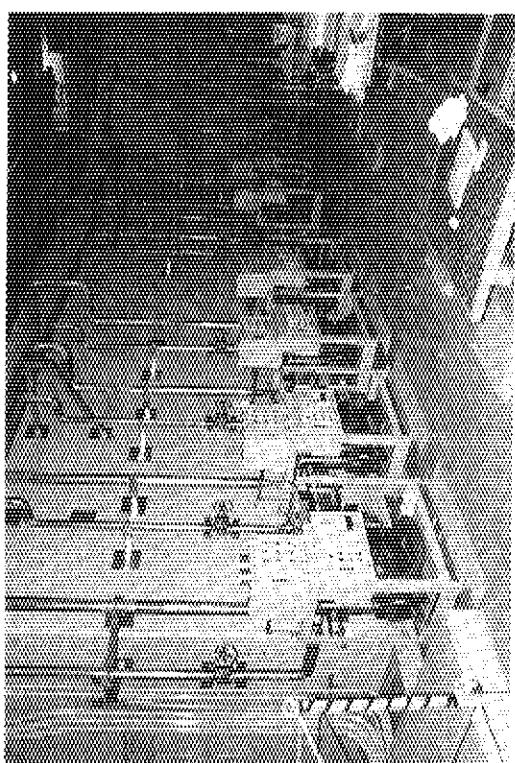


Fig. 14 真空保持装置

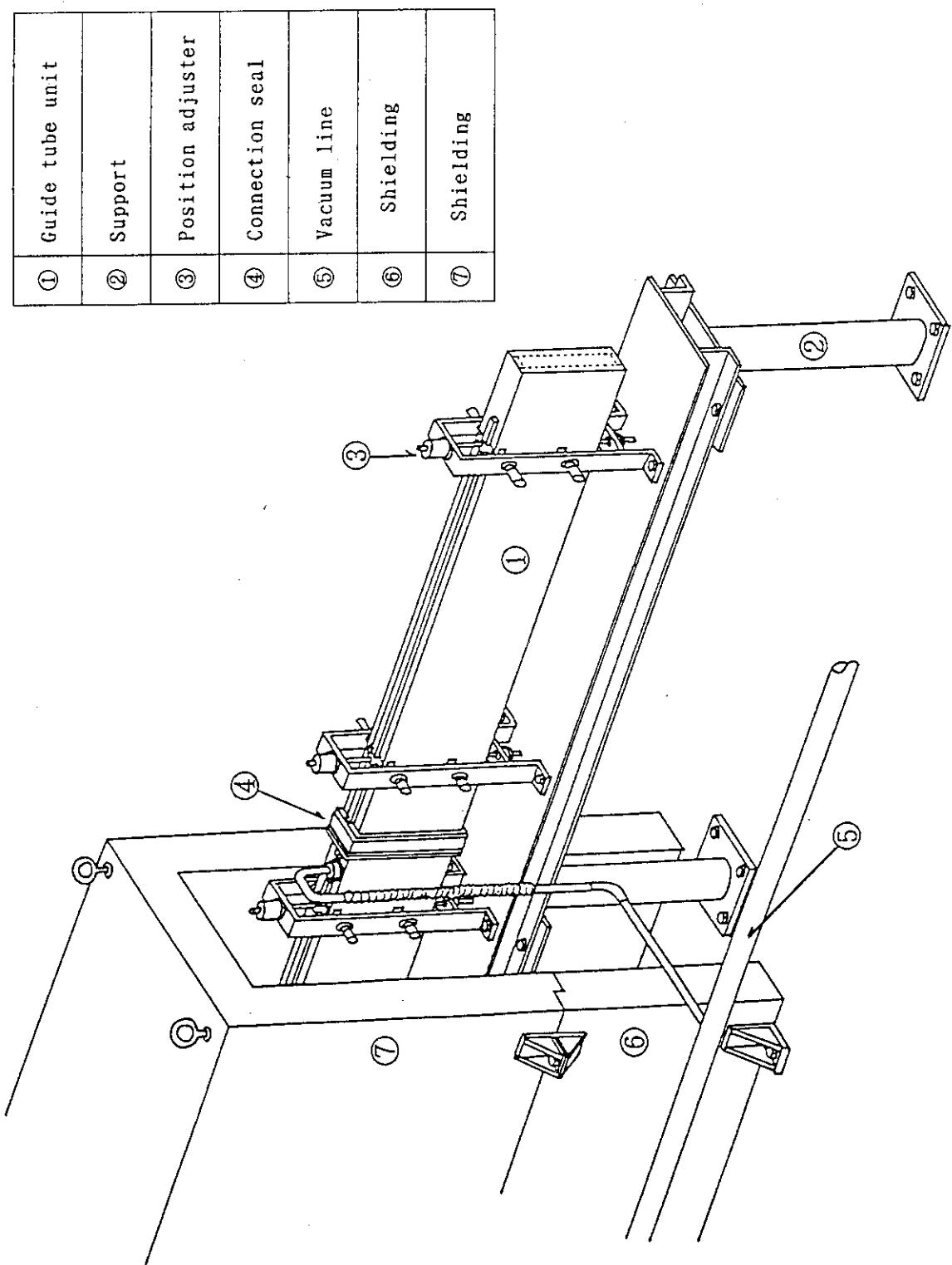
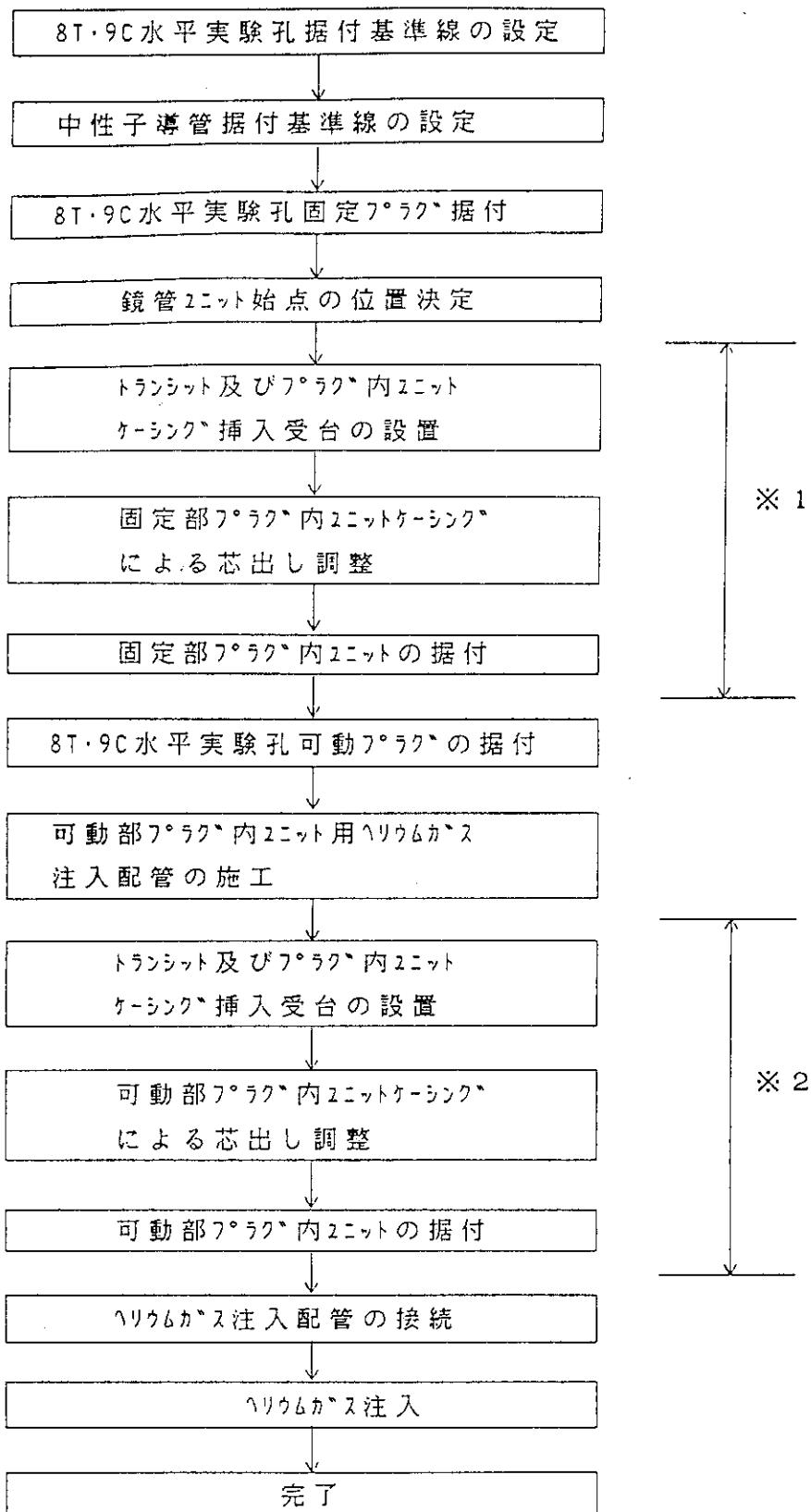


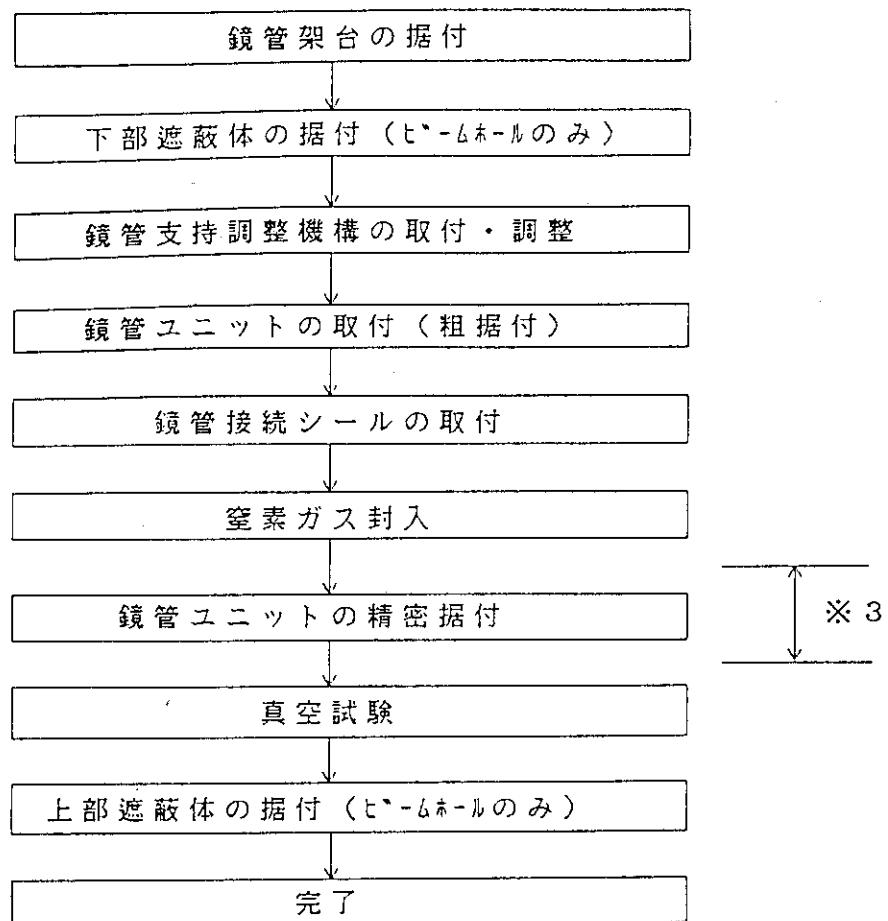
Fig. 16 ムール内遮蔽体

付録 JRR-3 中性子導管据え付け調整要領

(1) プラグ内ユニット



(2) 鏡管ユニット



中性子導管鏡管ユニット据え付け調整手順

I. プラグ内ユニット（固定部・可動部）の微調整 ※1, 2

① トランシット及びプラグ内ユニット挿入受台の設置 (Fig.A.1)

1) 中性子導管据え付け調整用基準線上にトランシットを規定の高さ及び水平に設定する。

2) トランシット及び下げ振りを用いて、プラグ内ユニットケーシング挿入受台を設置する。

② プラグ内ユニットケーシングによる芯出し調整

3) ケーシング両端のV溝に目標十字線を取り付ける。

4) ケーシングを受台にセットして後方から押しながら、プラグ内に挿入する。

5) 直尺及び巻尺を用いてケーシング後部からトランシットまでの距離 (ℓ_1) を計測する (Fig.A.2)。

6) 縦方向のズレ誤差及び水平面からの誤差の計測を下記の方法により行う。

- トランシットが完全に水平であることを確認の上、ケーシング前部目標十字線交点 (P_1) 及びケーシング後部目標十字線交点 (P_2) を視準し、高度角 ($r_{1,2}$) を読み取る。

$$\therefore \theta_{(1,2)} = 90^\circ - r_{(1,2)}$$

$$\therefore \text{前部誤差量} \quad h_1 = (\ell_1 + \ell_2) \times \tan \theta_1$$

$$\therefore \text{後部誤差量} \quad h_2 = \ell_1 \times \tan \theta_2$$

7) 横方向のズレ誤差及び垂直面からの誤差の計測は次の方法による。 (Fig.A.3)

- プラグ内ユニットケーシング内面の上部及び下部にトランシットを視準し、ケーシング目標十字線の縦横とトランシット内部のターゲットが合致するまで、X-X 軸テーブルのマイクロメータヘッドを移動し、基準線上からのズレ量を読み取る。

- ケーシングの前部（上、下）及び後部（上、下）の4点を計測する。

8) 計測終了後、ケーシングを抜き出し、各調整シムを計測データにもとづいて補正する。

9) 再び、ケーシングを挿入して 6), 7) の計測を行い、ズレがなくなるまで繰り返して調整する。

10) 調整が完了したケーシングを抜き出してプラグ内ユニットを装着し、プラグ内に挿入する。

II. 鏡管ユニットの微調整 ※3

微調整にあたっては、鏡管ユニットの製作精度（側板の厚さ、中板の高さ及び反射鏡の取付精度）及び上流側鏡管ユニットの据付誤差を考慮するため、パソコンを使用して補正值を求め、鏡管ユニットの据付位置を確認の上作業を行う。

① 水平面からの誤差及び接合部縦方向のズレ誤差

1) 鏡管ユニット中板上部中央付近に電気水準器を載せ、鏡管支持調整機構の上下調整用ネジで調整し、水平度を確認する (Fig.A.4 ~ 6)。

2) 鏡管ユニット中板上部中央付近にダイヤルゲージを載せ、目盛量を設定し、接合部にダイヤルゲージを移動させ、鏡管支持調整機構の上下調整用ネジで調整する (Fig.A.7)。

3) 電気水準器で再び水平度を確認する。

② 垂直面からの誤差及び接合部横方向のズレ誤差

4) 鏡管ユニット中板上部中央付近に電気水準器を載せ、前後鏡管支持調整機構の横方向調整用マイクロメータヘッドで垂直度を確認する (Fig.A. 8)。

5) 鏡管ユニット中板上部中央付近にダイヤルゲージを載せ、接合部反射鏡面側板にダイヤルゲージを移動させ、上下2点の目盛りを読み取り、前後鏡管支持調整機構の横方向調整用マイクロメータヘッドで調整する (Fig.A. 9)。

③ 接合角の誤差 (Fig.A.10)

7) トランシットを用いて、オートコリメータ用架台を上流側鏡管ユニットに平行及び水平にセットする。

8) オートコリメータ・ペンタプリズムを架台にセットし、目視して鏡管ユニット反射鏡中心に合わせ、反射された光軸をオートコリメータ内部の目盛中心と合致するようにオートコリメータを調整し、コントローラの“リセットスイッチ”を押す。

9) ペンタプリズムを下流側鏡管ユニット反射鏡中心に移動させ、反射された光軸をキャッチし、接合角を読み取り、鏡管ユニットが直線上にあることを、下流側鏡管ユニット付前後鏡管支持調整機構の横方向調整用マイクロメータヘッドで調整する。

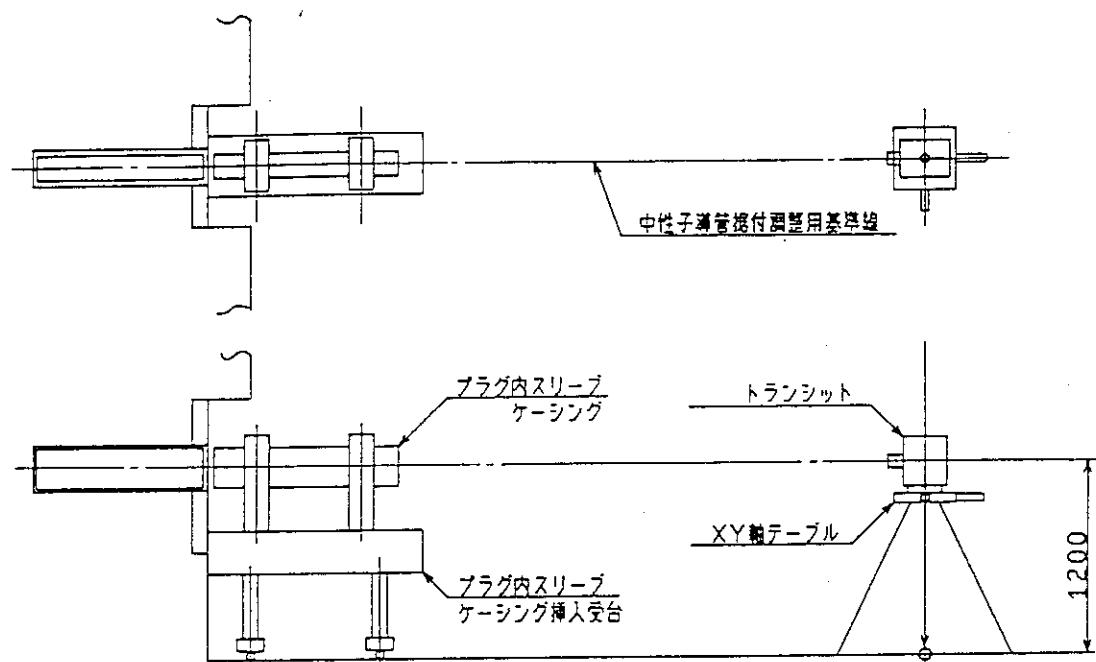


Fig. A. 1

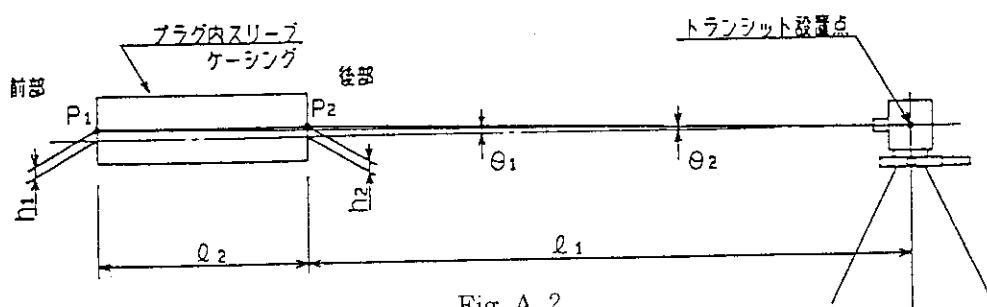


Fig. A. 2

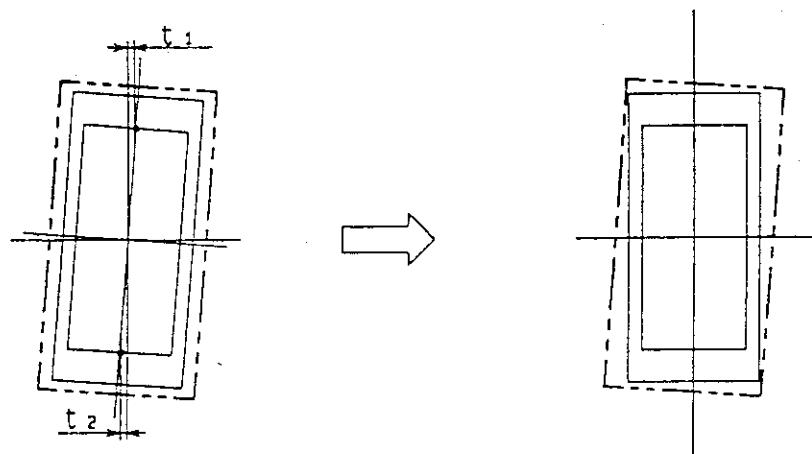


Fig. A.3

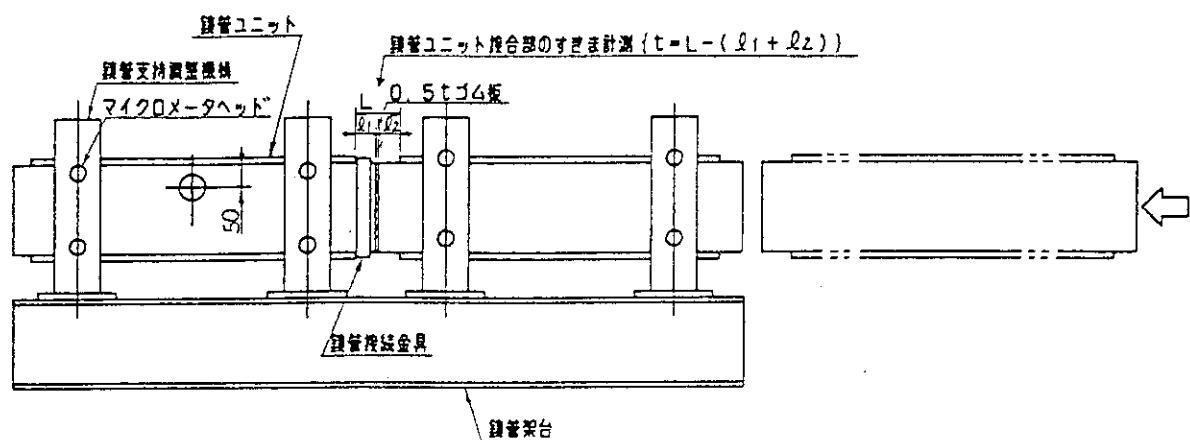


Fig. A.4

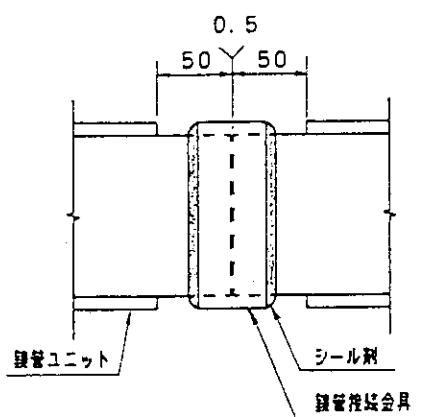


Fig. A.5

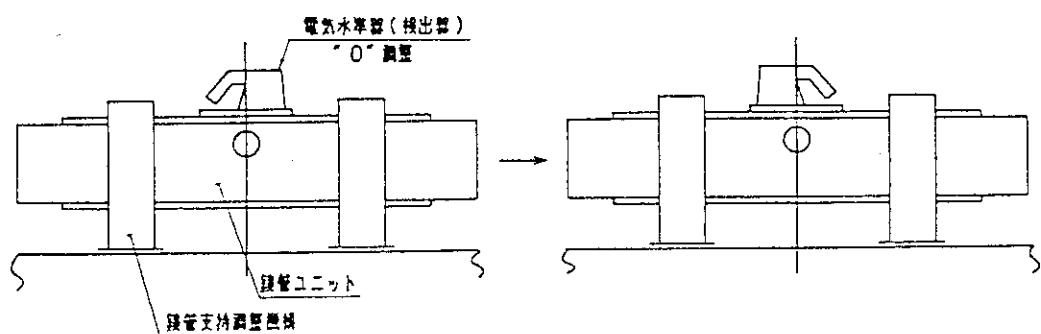


Fig. A. 6

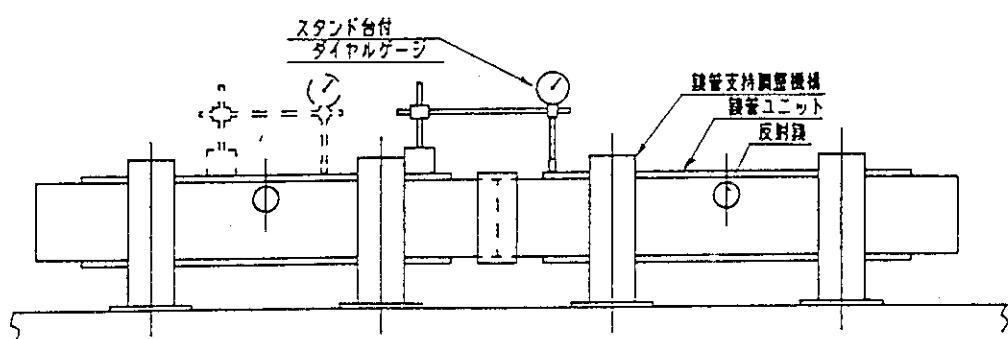


Fig. A. 7

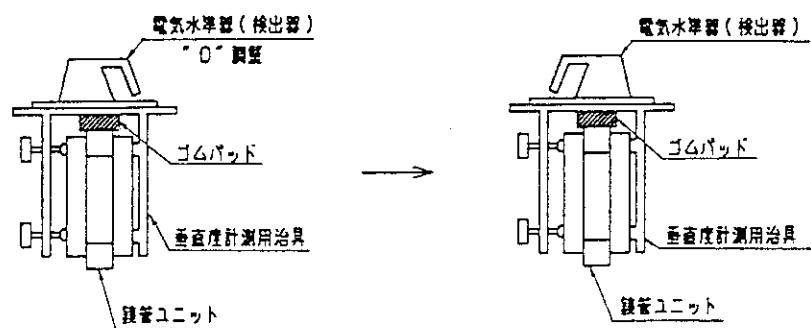


Fig. A. 8

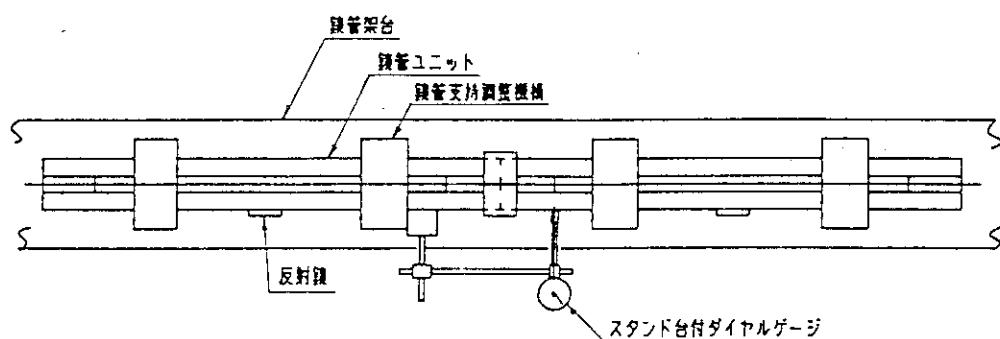


Fig. A. 9

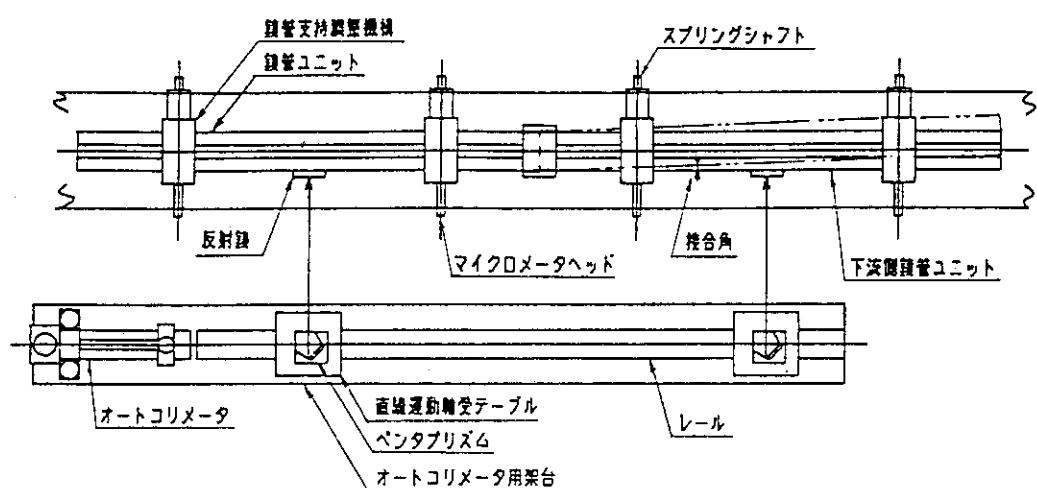


Fig. A. 10