



JAEA-Technology

2008-079

JRR-3冷中性子導管の交換工法に関する検討

Study on the Method of Exchanging JRR-3 Cold Neutron Guide Tubes

羽沢 知也 田村 格良 高澤 宏充

Tomoya HAZAWA, Itaru TAMURA and Hiromitsu TAKAZAWA

東海研究開発センター

原子力科学研究所

研究炉加速器管理部

Department of Research Reactor and Tandem Accelerator

Nuclear Science Research Institute

Tokai Research and Development Center

January 2009

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-
Technology

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

JRR-3冷中性子導管の交換工法に関する検討

日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター

原子力科学研究所 研究炉加速器管理部

羽沢 知也、田村 格良、高澤 宏充*

(2008年 10月 14日受理)

JRR-3では、中性子ビーム実験を有効かつ効率的に行うためJRR-3の改造時に中性子導管を導入した。中性子導管は、熱中性子用を2本、冷中性子用を3本設置した。これまで原子炉建家内でしか中性子を利用した実験ができなかつたが、中性子導管を導入することによりビームホールの広大なフロアに多数の実験設備が設置可能となり、多くの実験が可能となった。また、平成12年度から3年計画で熱中性子導管のスーパーミラー化を行ったことにより熱中性子強度が約6倍に増大し、短時間で精度の良い実験を可能とした。

研究炉加速器管理部では冷中性子導管についてもスーパーミラー化を行い、冷中性子源装置減速材容器の高性能化とあわせて、冷中性子ビーム強度の10倍化計画を立案した。

冷中性子導管の交換作業にあたってはガイドトンネルという狭隘な作業空間において、中性子ビームを遮断するための約6tonのビームシャッターの取り外しが必要である。また、冷中性子導管の先端部分の導管ユニット形状が熱中性子導管に比べて長く、かつ炉心に近い部分に設置されていることから、高線量下での作業を要求される。

狭隘な空間でしかも高線量環境下において、炉体内部に挿入されている中性子導管の交換作業がある一方で精度良く設置する必要があるため、作業には細心の注意を払い慎重に実施しなければならない。

本報告書は、冷中性子ビーム強度の10倍化計画の第1段階である冷中性子導管のスーパーミラー化の交換作業についての検討結果をまとめたものであり、冷中性子導管のスーパーミラー導管への円滑な交換作業により、ビーム強度の増大計画に資するものである。

原子力科学研究所: 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4

*出向職員

Study on the Method of Exchanging JRR-3 Cold Neutron Guide Tubes

Tomoya HAZAWA, Itaru TAMURA and Hiromitsu TAKAZAWA*

Department of Research Reactor and Tandem Accelerator
Nuclear Science Research Institute
Tokai Research and Development Center
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura,Naka-gun,Ibaraki-ken

(Received October 14. 2008)

Neutron guide tubes were innovated at JRR-3 at the same time as JRR-3 was reconstructed, so that much more effective and efficient neutron beam experiments could be carried out. Two tubes were built for thermal neutrons and three for cold neutrons. These guide tubes have been used for installing a large number of experimental apparatuses in the wide beam hall and for making a lot of experiments together. The thermal neutron guide tubes were exchanged from Ni-mirror guides to super-mirror ones during the three years from 2000. As a result, the thermal beam intensity has increased by about 6 times, and brought more quickness and precision into thermal neutron experiments.

The Department of Research Reactor and Tandem Accelerator has planned the project of increasing cold neutron intensities by ten times by upgrading both of the cold neutron guide tubes with super-mirrors and the moderator cell of cold neutron source.

The front parts of the cold neutron guide tubes are longer than the thermal ones and installed very close to the reactor core. Therefore, we need to work under high levels of radiation when we exchange the cold ones. In addition to that, we have to take away the beam shutter of about 6 ton from the narrow guide tunnel prior to the exchange. In this tight condition, we have to pay attention to installing the tubes as precisely as possible.

This report describes the result of study on replacing the Ni-guide tubes with super-mirror guide tubes as the first step of the 10-times upgrading project for cold neutrons.

Keywords: Neutron Guide Tube, Super-mirror, JRR-3, Research Reactor

* Research Staff on Loan

目 次

1.はじめに	1
2.中性子導管	1
3.JRR-3の中性子導管	2
3.1 冷中性子導管の構造	4
4.交換工事計画	14
4.1 第1段階の交換計画	16
4.2 第2段階の交換計画	16
5.工事開始時の条件	17
6.作業開始時期の検討	17
7.冷中性子導管の据付精度	18
8.事前準備	18
9.作業手順概略	26
9.1 交換工事のながれ	26
9.2 ガイドトンネル上流側作業	26
9.3 ガイドトンネル下流側作業	34
9.4 導管室作業	35
9.5 ビームホール作業	36
10.試験検査	39
11.おわりに	41
謝辞	41
参考文献	41
付録(1) 中性子導管据付調整要領	42
付録(2) シール剤充填要領	49
付録(3) 冷中性子導管スーパーミラー更新後の遮へい体部線量当量率測定	54
付録(4)参考図面	57

Contents

1. Introduction	1
2. Neutron guide tubes	1
3. Neutron guide tubes in JRR-3	2
3.1 Structure of cold neutron guide tubes	4
4. Plan of exchange procedure	14
4.1 In the first stage	16
4.2 In the second stage	16
5. Conditions necessary for the construction	17
6. Suitable time to start the work	17
7. Accuracy required for installation of cold neutron guide tubes	18
8. Preparation	18
9. Outline of exchange work	26
9.1 Flow of exchange procedure	26
9.2 In the guide tunnel upstream side	26
9.3 In the guide tunnel downstream side	34
9.4 In the guide tunnel	35
9.5 In the beam hall	36
10. Examination	39
11. Conclusion	41
Acknowledgement	41
References	41
Appendix 1 Cold neutron guide tubes installation guide for adjustment	42
Appendix 2 Bonding installation guide of neutron guide tubes	49
Appendix 3 Measurement of radiation dose rates after the tube exchange	54
Appendix 4 Reference drawing	57

1. はじめに

ニッケルなどの金属表面でおこる中性子の全反射を利用して、原子炉で発生する中性子を効率良く遠方まで導き、中性子散乱実験などに供給するための技術として中性子導管がある。JRR-3では改造時に中性子導管を設置することにより、多くの実験装置に中性子を供給することが可能となった。

その後、これまでの中性子導管よりも多くの中性子を導くことができる技術としてスーパーミラー中性子導管が開発された。

研究炉加速器管理部では冷中性子導管のスーパーミラー化と次期減速材容器の高性能化により、既存の冷中性子強度の10倍を目指す計画を立案した。

本報告書は、冷中性子強度の10倍化計画のうちの第1段階の作業となるスーパーミラー中性子導管交換作業についての手順について検討したものである。

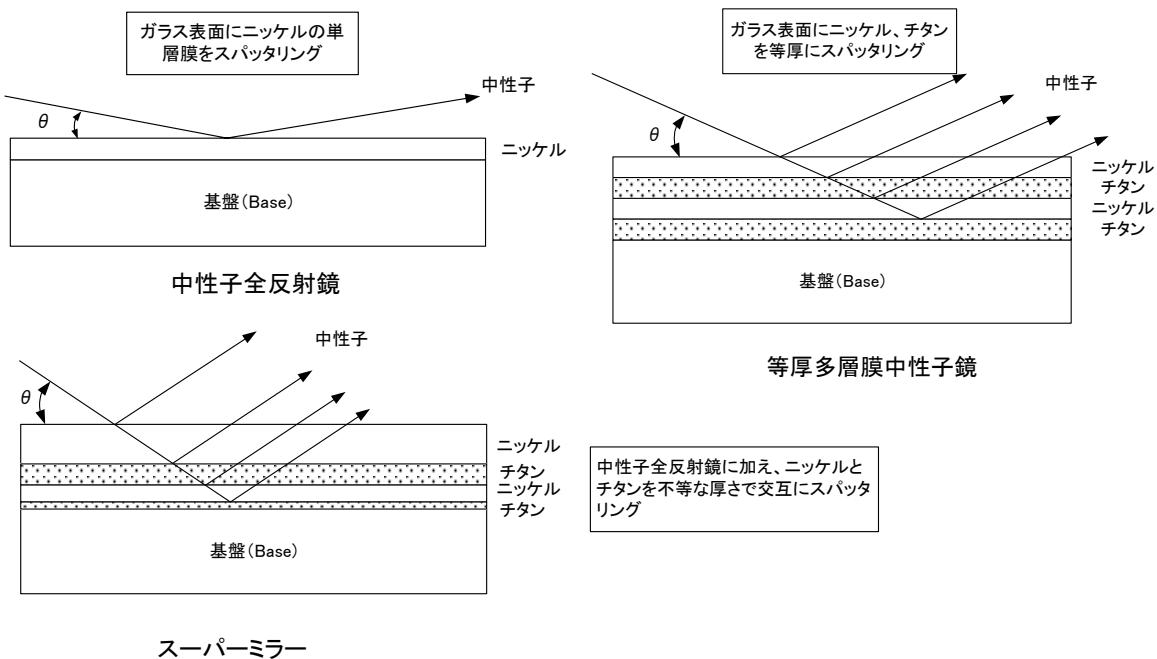
2. 中性子導管

中性子導管は長さ約85cmの中性子導管ユニットを次々と接続し、原子炉の炉心近くから遠く離れたビームホールまで延長して中性子を効率良く導くものである。中性子導管はある角度以下の中性子に対しては鏡が光を反射するように中性子を全反射させることができる。中性子を全反射するためには非常に滑らかな表面が必要であり、そのため現在はフロートガラスもしくは研磨したガラスの表面にニッケル等の金属膜を成膜させたものを用いている。図2. 1に中性子全反射鏡、等厚多層膜中性子鏡及びスーパーミラーの中性子反射の仕組みを示す。

ガラス表面に二種類の金属を交互に成膜したとき、二種類の金属膜の並びが同じ間隔で連続することからブレグ反射が起こり中性子を反射する現象が表れる。この際、大きな散乱断面積を持つ金属(例えばニッケル)と小さな散乱断面積の金属(例えばチタン)を重ねることで大きなポテンシャルの壁を作ることができ、散乱強度を上げることができる。成膜する金属の厚さを等厚にした場合は、二種類の金属膜の間隔が一定であるので、ブレグ反射の条件から特定の波長のみを強く反射する性質がある。一方、成膜する金属を不等厚にした多層膜鏡では、二種類の金属膜の間隔に応じたブレグ反射が起こるため、結果的にいろんな波長の中性子の反射が得られる。

スーパーミラー中性子導管は、ガラス基板表面にニッケルとチタンを交互に不等厚に成膜することにより従来のニッケル表面での全反射に加え多層膜によるブレグ反射を利用し、多くの中性子を反射出来るものである。

また、中性子導管の特色として中性子導管の末端ではエネルギーの低い中性子のみが導き出され、高速中性子や γ 線は到達しないとされている。これは、わずかに湾曲して設置した中性子導管に、中性子が最低1回以上反射して導かれるためである。つまり γ 線やエネルギーの高い中性子は壁面(ガラス基板面)で反射できず直進し、中性子導管外に飛び出したり中性子導管ユニット物質中で吸収されたりする。図2. 2に中性子導管における中性子反射の概念を示す。



スーパーミラー

図2.1 中性子反射の仕組み

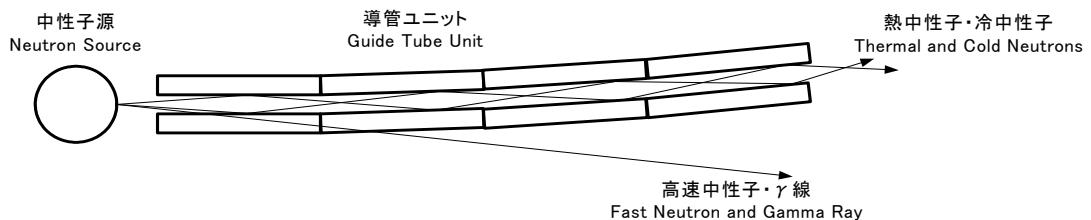


図2.2 中性子導管における中性子反射の概念

3. JRR-3 の中性子導管

JRR-3 では熱中性子用の中性子導管が2本と冷中性子用の中性子導管が3本設置されている。図3.1に中性子導管設置概略図を示す。8T水平実験孔に2本の熱中性子用の中性子導管が設置され、9C水平実験孔には冷中性子用の中性子導管が3本設置されている。導管ユニットは、各々ビームホールまで導かれ各実験装置へ中性子を提供している。熱中性子導管については平成14年度までにスーパーミラー化が完了しており、中性子強度が最大で約6倍に増大しビーム利用者に好評を得ている。

冷中性子導管は、原子炉で発生した熱中性子を減速材容器中に貯められた液体水素を通すことによってより低いエネルギーに変換した冷中性子をビームホールまで導いている。

JRR-3 の中性子導管の仕様を表3.1に示す。

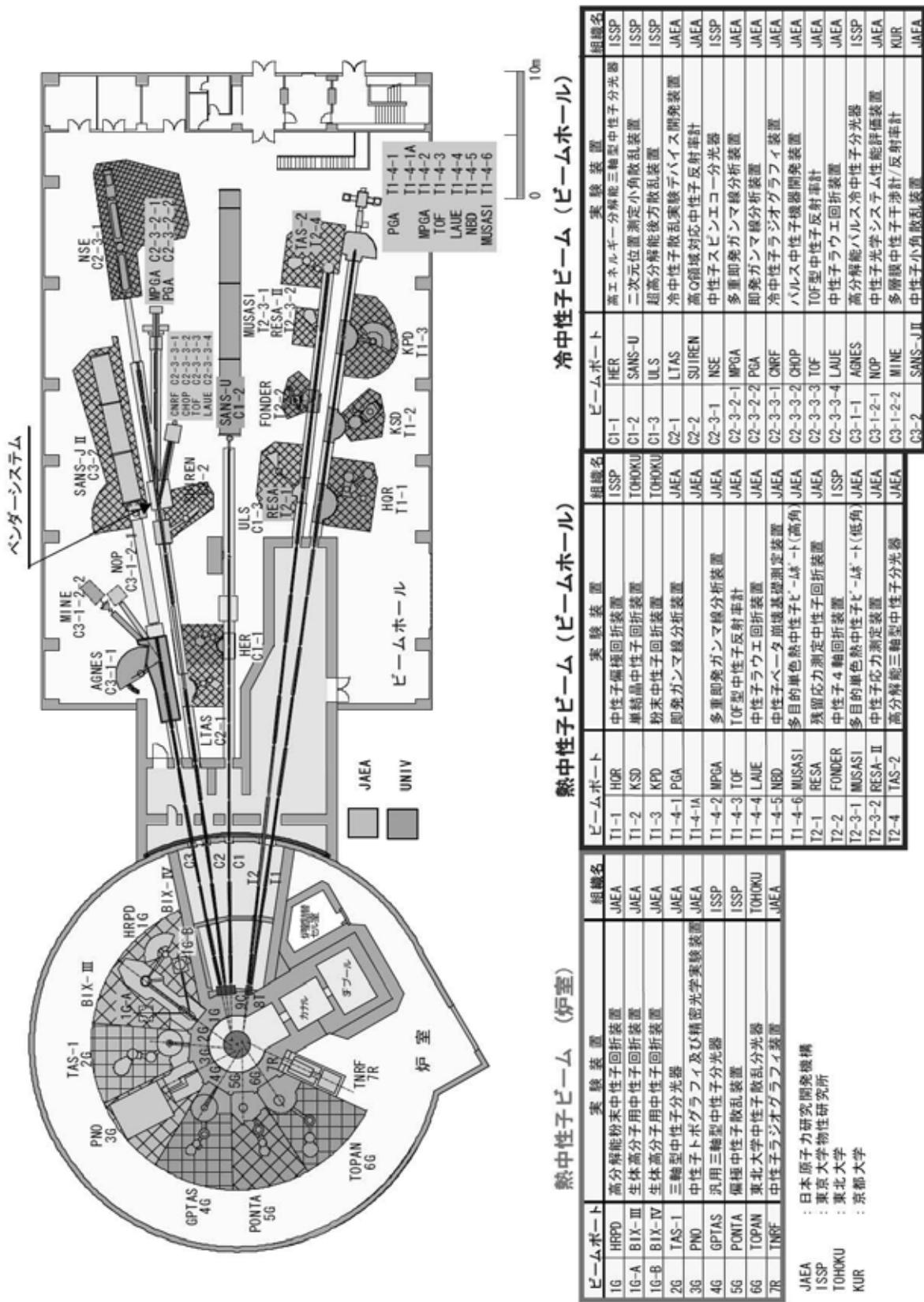


図3.1 中性子導管設置概略図

表3. 1 JRR-3 の中性導管の仕様

	導管 No	特性波長 (Å)	断面寸法 (cm)	曲 管 部 (m)		直管部長 さ(m)	全長 (m)
				曲率半径	長 さ		
熱中性子導管	T1	1	20×2	3337.4	35.72	22.65	59.91
	T2	1	20×2	3337.4	35.73	21.71	58.98
冷中性子導管	C1	4	12×2	834.3	17.05	11.21	30.75
	C2	4	12×2	834.3	17.02	31.57	51.08
	C3	6	12×2	370.8	15.28	13.61	31.38

3. 1 冷中性子導管の構造

JRR-3 の冷中性子導管は長さ約85cmの導管ユニットを接続し、原子炉炉心部からビームホールまで接続された構造となっており、平滑なガラス面を基板したものにニッケルを成膜したものである。図3. 2に冷中性子導管ユニットの代表的な構造を示す。

中性子導管ユニット同士を接続金具で接続し中性子を導くように設置された状態を中性子導管と呼ぶ(図3. 6参照)。また熱中性子導管をT導管、冷中性子導管をC導管と呼び、各ラインを区別するためT1,T2 及び C1,C2,C3 導管と呼ぶ。導管の内部は中性子の損失を極力防ぐために真空状態に保たれている。

図3. 3に冷中性子の取り出し口である、9C 水平実験孔の構造図を示す。水平実験孔には固定プラグが設置されており、この中にC1 からC3 の3本の中性子導管が設置されている。各ラインには各々アルミニウム製のケースが設置されており、この中にさらに3本の中性子導管ユニットが縦列して収納されている。同様に駆動プラグも中性子導管ユニットがアルミニウム製のケースに収められた状態で設置されている。駆動プラグは上下に移動し上限状態では中性子導管内を中性子が通過する。駆動プラグが下限の場合は遮へい材がビームを遮り、中性子を遮断することができる構造となっている。固定プラグ内に設置された中性子導管ユニットが収められたアルミニウム製のケースを固定プラグケーシング、同じく駆動プラグのアルミニウム製のケースを駆動プラグケーシングと呼んでいる。

図3. 4に原子炉建家内の冷中性子導管を示す。駆動プラグの下流側からは架台と支持調整機構により支えられた中性子導管ユニットが C1 から C3 の各ラインに各々13体設置されている。

原子炉建家炉壁部分は原子炉建家の気密状態を維持しなければならないため、0. 5mm のアルミニウム板で閉止している。冷中性子はアルミニウム板を通過し導管室に設置された中性子導管へと空中を飛んで到達する。図3. 5に原子炉建家炉壁部の隔離装置の構造を示す。

導管室までの冷中性子導管は、わずかに湾曲して設置している。これによりエネルギーの高い中性子や γ 線等は中性子導管外へ飛び出し、特定のエネルギー以下の中性子のみビームホール側に設置された実験装置まで導かれる。導管室は導管から飛び出したエネルギーの高い中性子線や γ 線を遮へいするため、遮へい壁が設けられている。

ビームホールに設置された各実験装置の中性子取り出し口は、導管が約 100mm 離れて設置されている。この間に中性子を取り出すためのモノクロメータなどが設置されている。下流側への中性子は空中を飛び、再び中性子導管内を移動し、次の実験装置へと導かれる。

図3. 6に示す冷中性子導管概略図は、ビームホール内に設置されたものを示している。冷中性子導管は、導管支持調整機構で支えられ、内部は真空状態となっている。導管支持調整機構は中性子導管の位置調整を兼ねるものであり1導管あたり6個のマイクロメータが設置され、これにより微細な調整が行われる。また、 γ 線等の遮へいのため遮へい体が設けられている。

図3. 7に代表的な導管支持調整機構を示す。また、駆動プラグ以降に設置されている冷中性子導管の接続概要図を図3. 8～3. 11に示す。

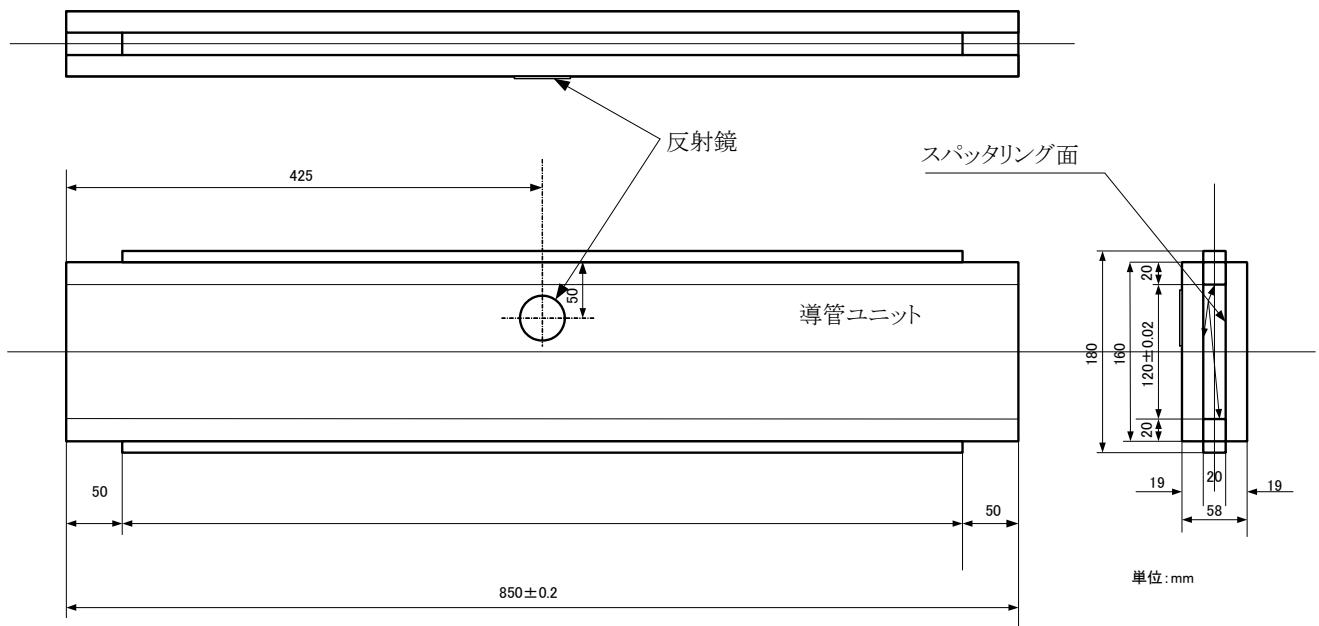


図3. 2 冷中性子導管ユニットの構造

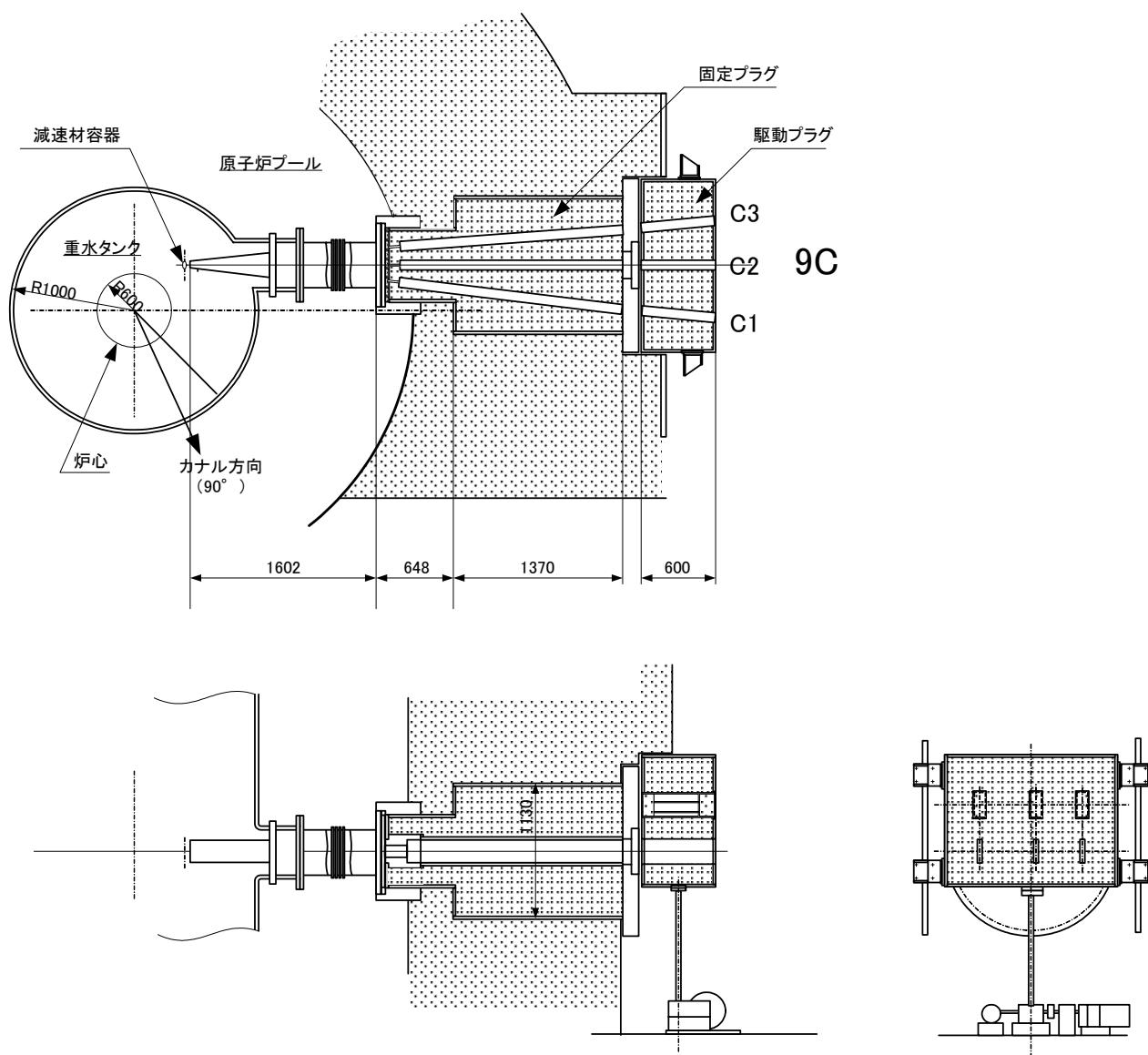


図3.3 9C 水平実験孔構造図

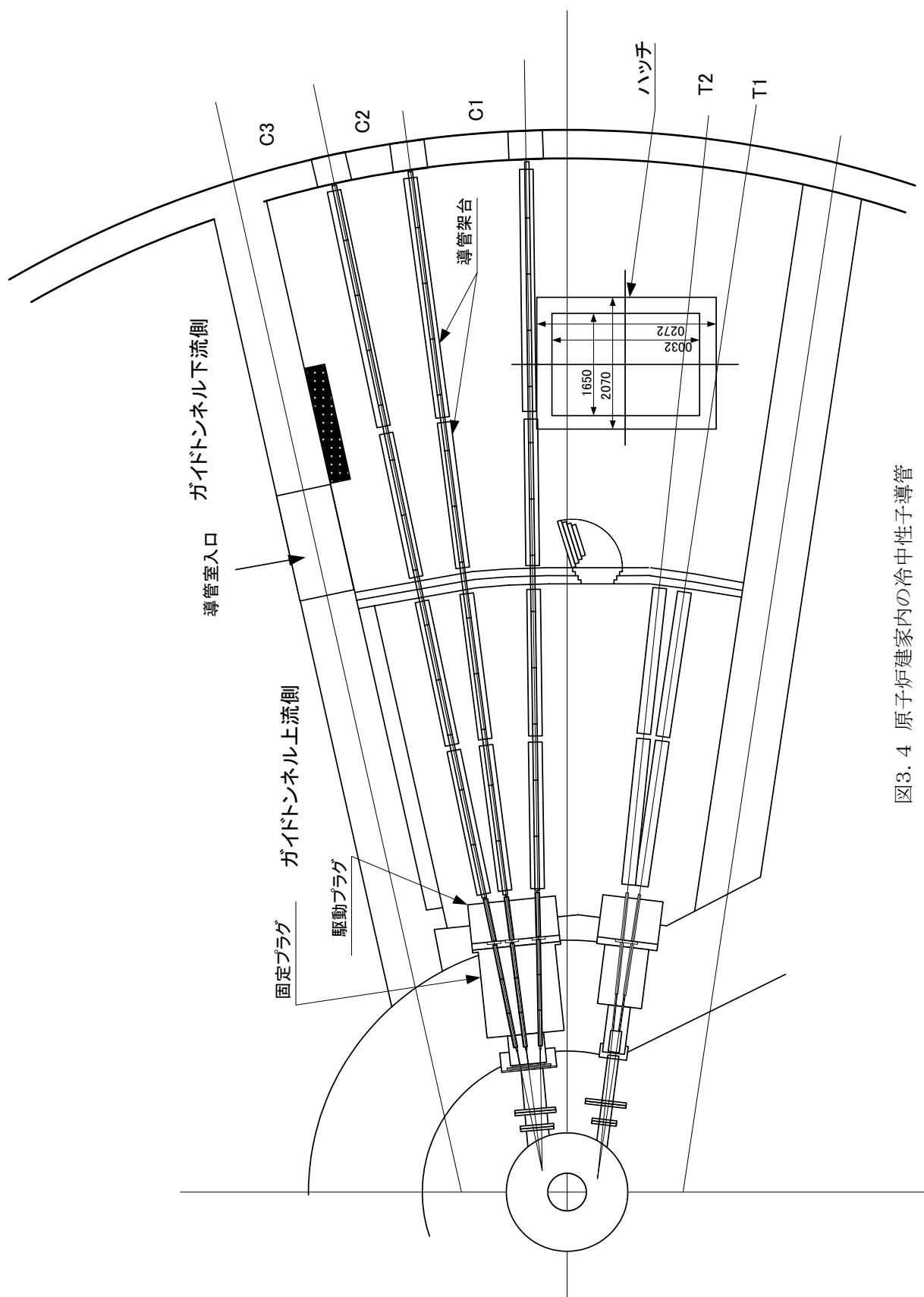


図3.4 原子炉建室内の冷中性子導管

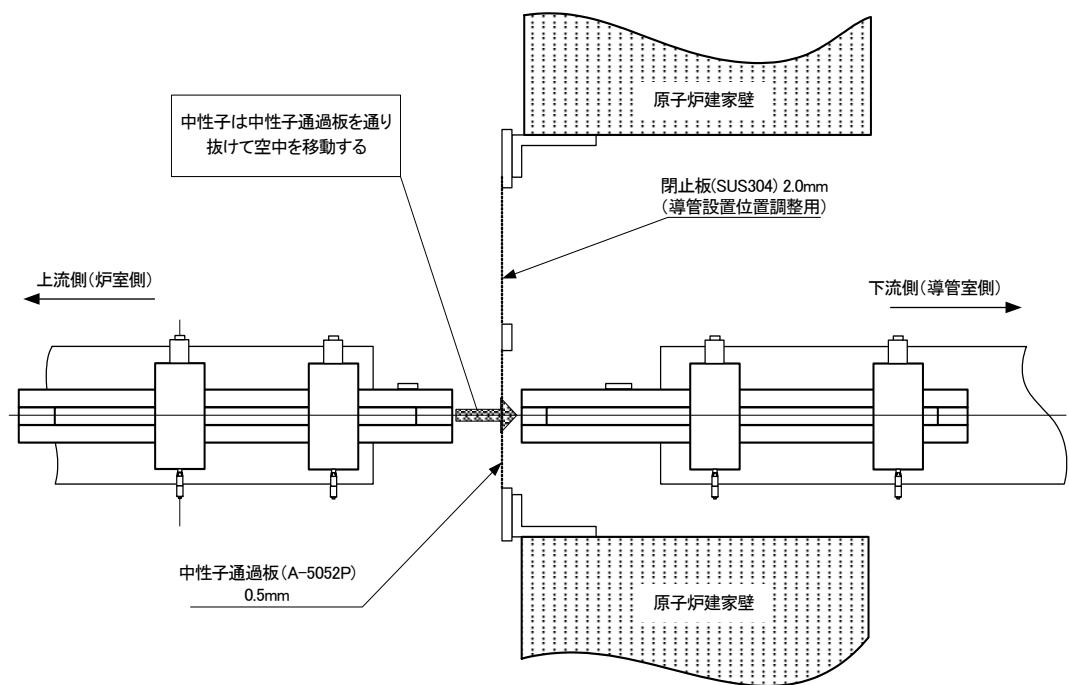


図3.5 隔離装置構造図

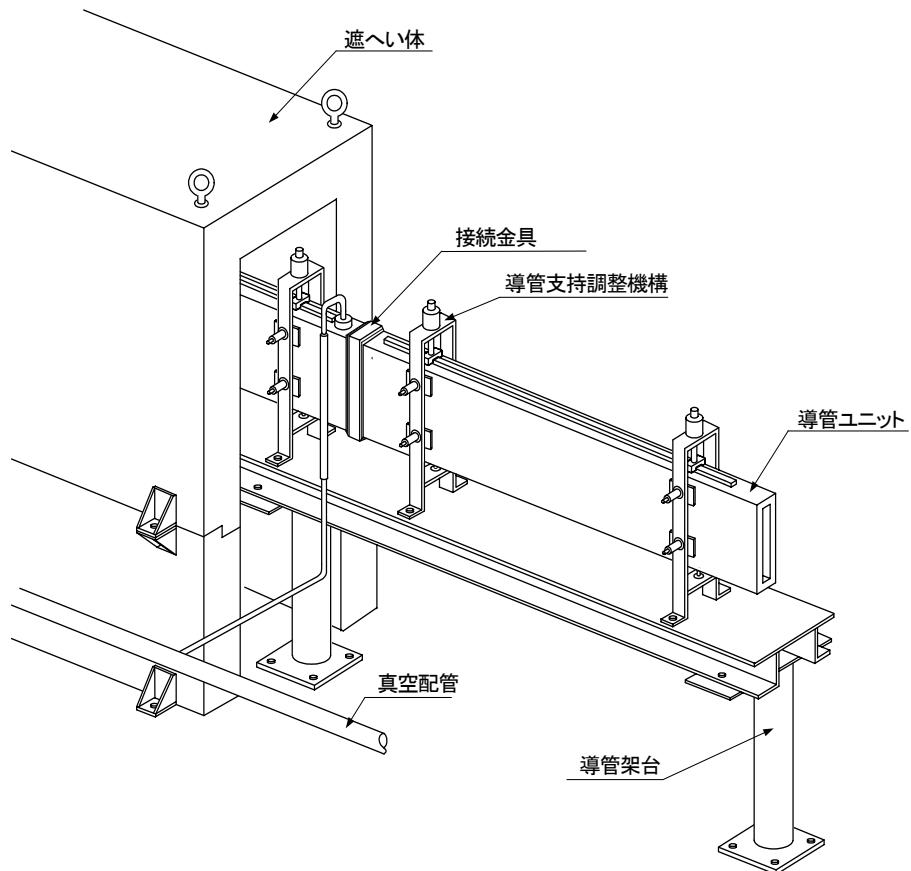
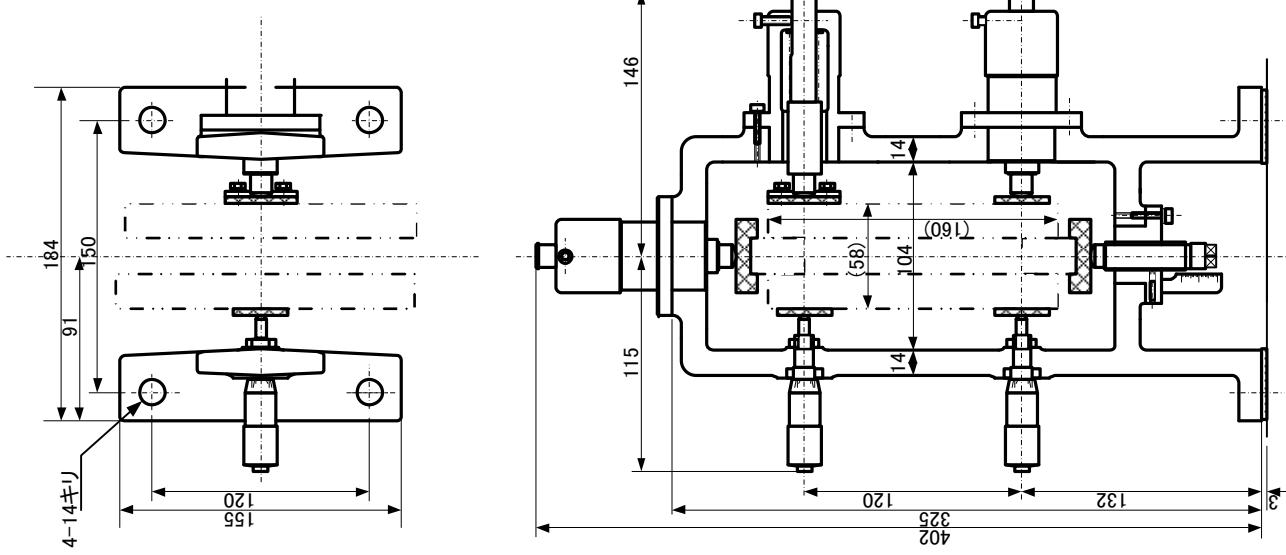


図3.6 冷中性子導管概略図

図3.7 導管支持調整機構



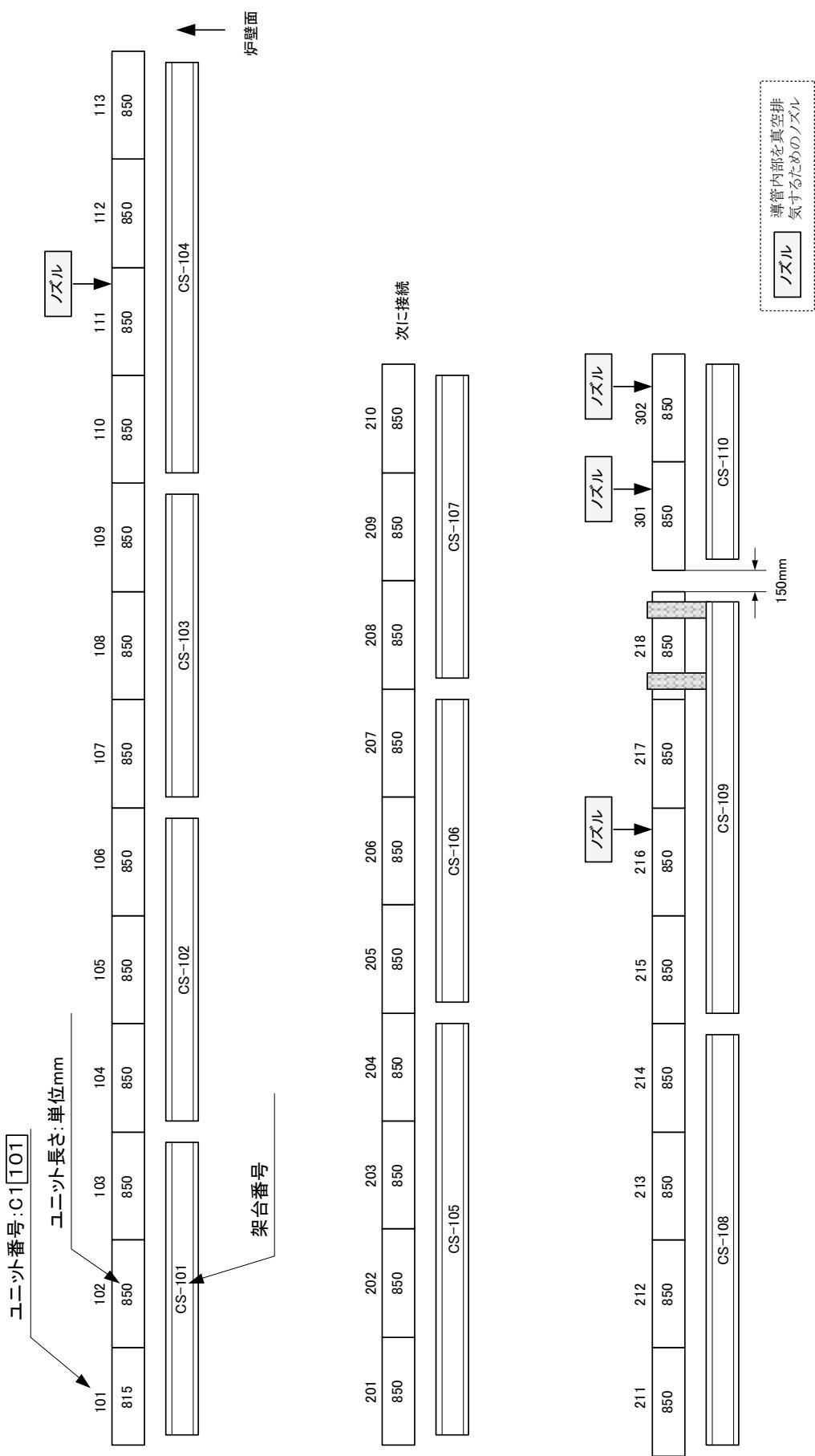


図3.8 冷中性子導管接続概要図(C1ライン)

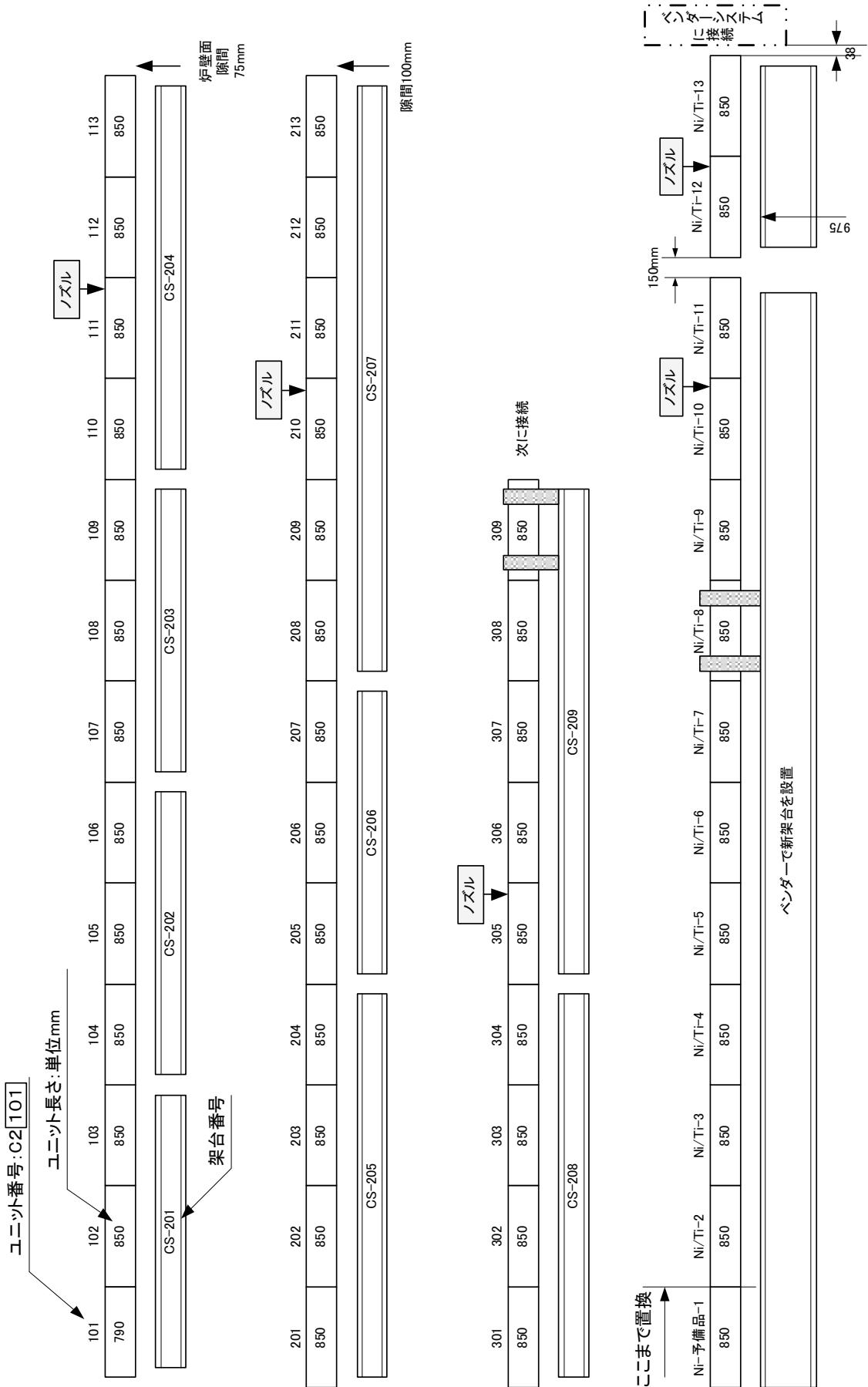


図3.9 冷中性子導管接続概要図(C2ラインの1)

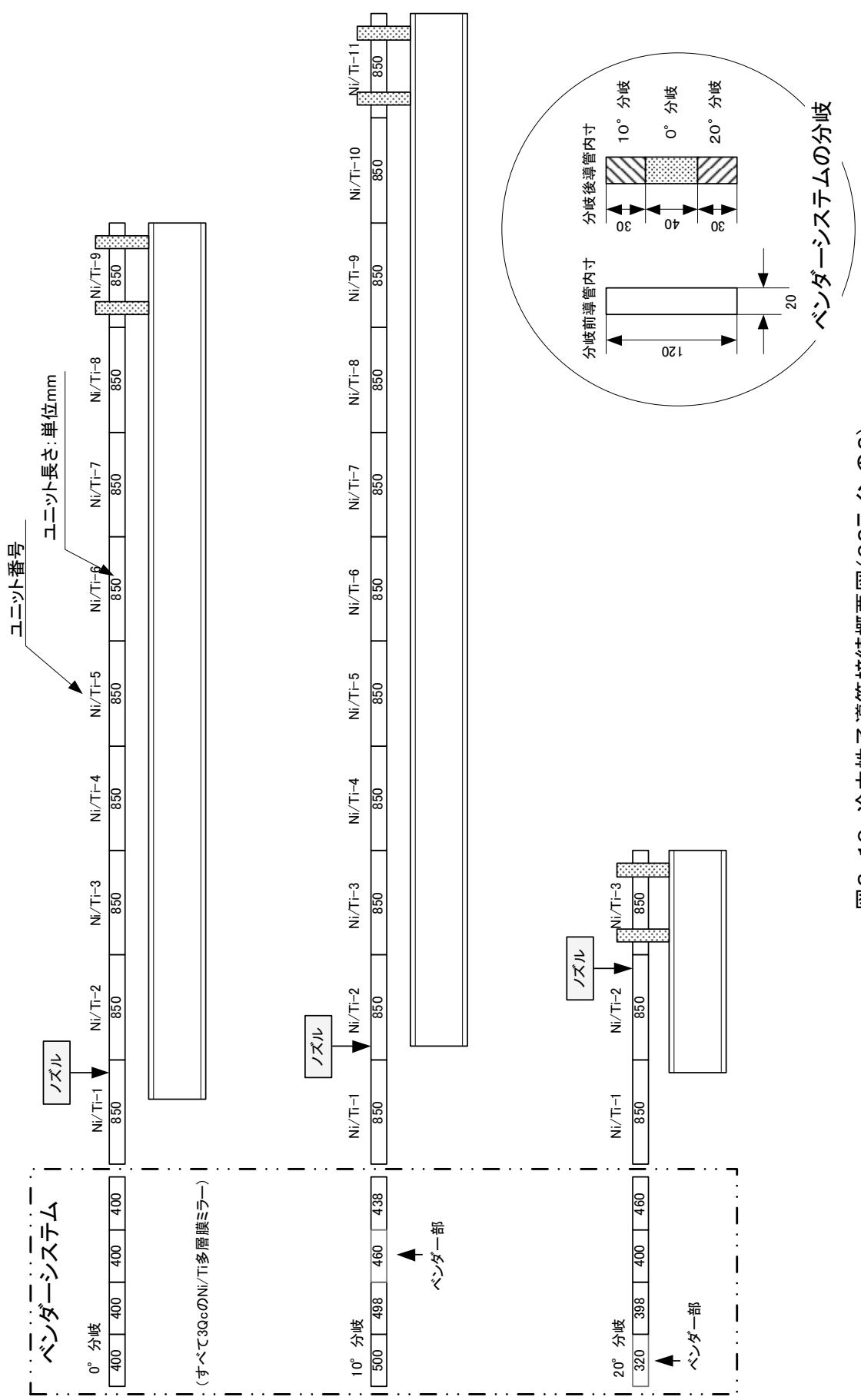


図3.10 冷中性子導管接続概要図(C2ラインの2)

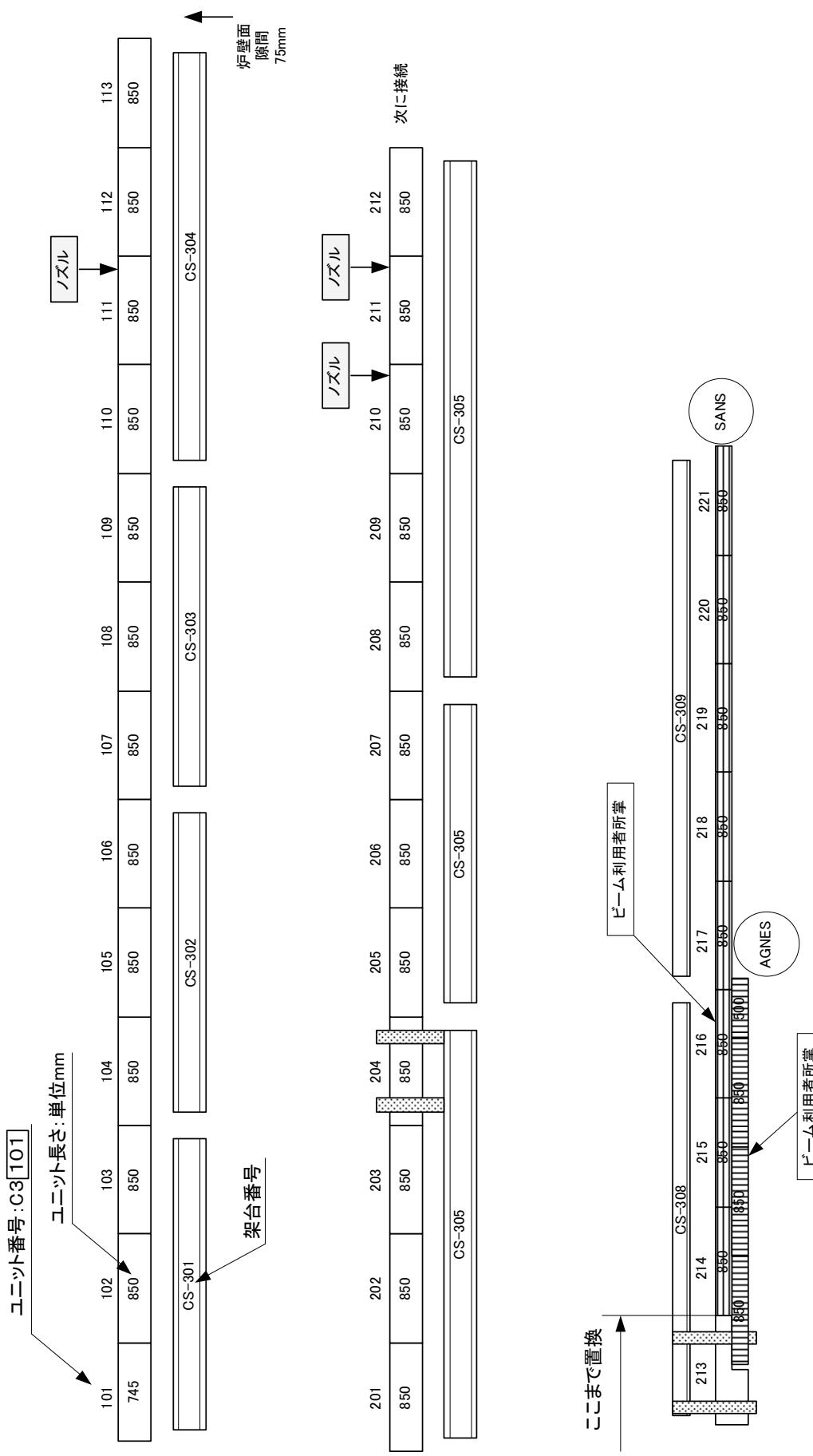


図3.11 冷中性子導管接続概要図(C3ライン)

4. 交換工事計画

C導管のスーパーミラー化を遂行するためには、C導管の製作から開始しなければならない。JRR-3のC導管の交換には3QC(全反射臨界角度がニッケル単層膜鏡の3倍得られる)スーパーミラーを想定した。しかし、世界的にスーパーミラー中性子導管の需要が増大し製作が逼迫している状態となっていることから、一度に全数を製作するのは困難であるため数年に分割して製作することとした。また、JRR-3の運転計画が変更になり毎年実施していた施設定期自主検査を3年に2度行う計画となり、C導管交換作業を計画している長期の原子炉停止期間が変更になっていることも考慮しなければならない。

平成19年度は長期間停止するが、これまでにC導管の製作が完了しないと考えられた。また、平成20年度は長期の施設定期自主検査期間がなく、平成21年度の施設定期自主検査期間からC導管の交換作業を実施する計画とする。

平成21年度までにC導管全数の製作が完了しないことが予想されるため、交換工事は2回に分けて実施することとした。第1段階の交換作業では、C1ラインについての交換作業として計画する。第2段階の交換作業計画は、残るC2及びC3ラインについて平成22年の施設定期自主検査期間中に置換作業を行う計画である。図4. 1に交換工事計画を表4. 1に交換対象のC導管ユニット数を示す。また図4. 2にC導管の交換範囲を示す。

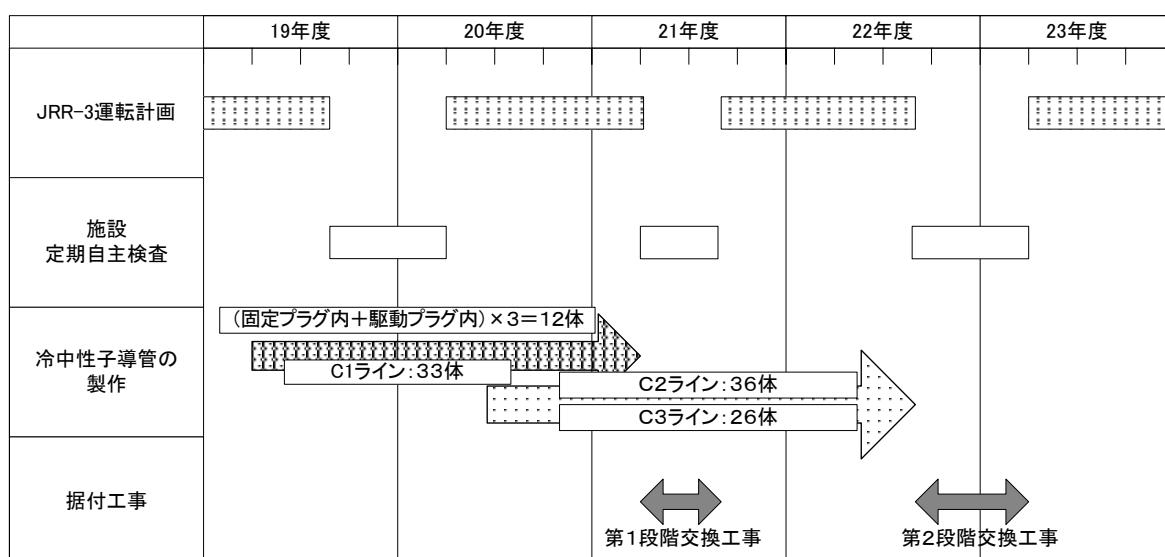


図4. 1 交換工事計画

表4. 1 C導管ユニット数

鏡管ユニット設置個所	C1	C2	C3
固定プラグ内	3	3	3
駆動プラグ内	1	1	1
ガイドトンネル上流側	6	6	6
ガイドトンネル下流側	7	7	7
導管室及びビームホール内	20	23	13
合計	37	40	30

■ 第1回目交換作業の交換計画範囲

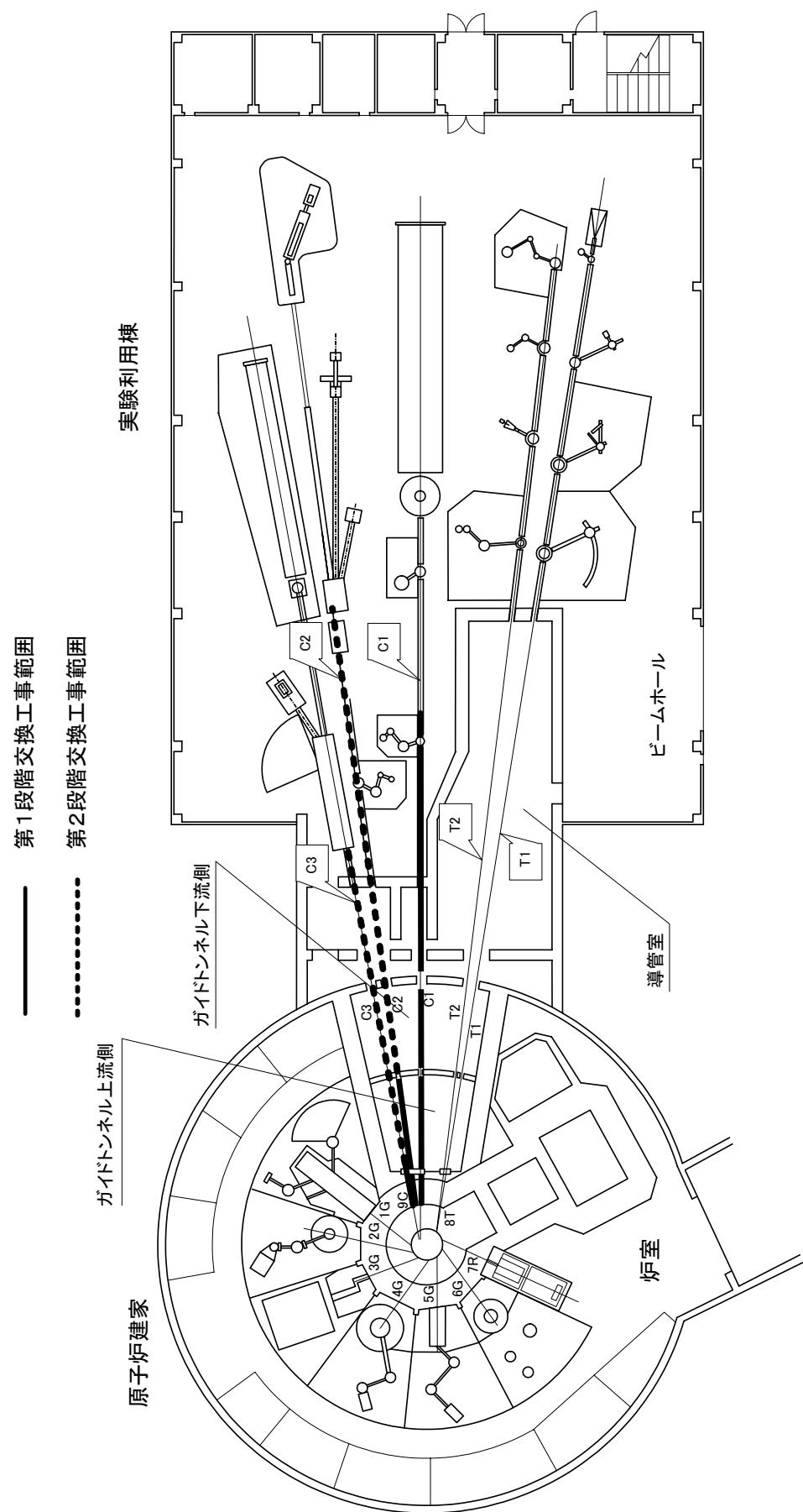


図4. 2 C導管の交換範囲

4. 1 第1段階の交換計画

(1) 固定プラグ内導管及び駆動プラグ内導管の交換

C導管のスーパーミラー化においては、冷中性子の取り入れ口でより多くの冷中性子を取り込むことが重要である。ここで取り込んだ冷中性子をスーパーミラー中性子導管により効率よく導くことにより、実験利用者により強度の高い冷中性子を供給できるからである。このため、原子炉プール壁内に組み込まれた固定プラグ内に設置されている中性子導管ユニットの交換が重要となる。また、固定プラグ内導管及び駆動プラグ内導管の交換作業は駆動プラグの取り外しが必要となり、高線量下での作業となるため、C1からC3ラインについてその都度交換するよりも一度に交換した方が被ばく低減等の観点から効率的である。のことから固定プラグ内導管及び駆動プラグ内導管は一度に実施し、第1段階の交換範囲とすることとした。

固定プラグ内に設置された導管は約1.8mのアルミニウム製のケースに約0.6mの導管ユニットが縦列して収納されている。この固定プラグケーシングがC1～C3ラインに各々設置されている。固定及び駆動プラグケーシングの主要材質はアルミニウム製であるが、取付けビスや位置調整機構がステンレス製で構成されているため相当な線量が予想される。このため固定及び駆動プラグケーシングごと交換することとし、各々のケーシングは遮へいを兼ねた収納容器を製作し、この中に収納する。

なお、固定プラグケーシング及び駆動プラグケーシングには予め導管が組み込まれていることを前提とする。

(2) ガイドトンネル内導管の交換

ガイドトンネルは上流側と下流側の部屋に区切られている。このうち上流側については駆動プラグの移動を行うためC1～C3ライン全数について一時撤去しなければならない。また、導管架台も一時撤去し、フラットな床面を確保する。C2及びC3導管の復旧時は既存の導管を使用せず、取り外したC1ライン下流側の導管を流用して設置する。これは炉心に近い部分の導管は、中性子照射によりガラス基盤の劣化が考えられるためである。

駆動プラグは約6tonの重量物であるため、ガイドトンネル内にレールを敷きレール上を駆動プラグが移動する方法とする。なお、レールは他の重量物の移動作業時にも使用する。

第1段階の交換範囲をC1ラインとしたのは、ガイドトンネル内で重量物の移動が伴うため、ガイドトンネル内の中間壁を解体、フラットな床面を確保し、さらに出来るだけ広い作業スペースを確保するためである。特に固定プラグケーシング収納容器は1tonを超える重量物となることが予想されるため、床面をコロ引きの要領で移動する計画とする。

(3) 導管室及びビームホール内導管の交換

導管室及びビームホール内導管は、C1ラインについて全数交換することとする。C2及びC3ラインについては現状のまます。ビームホール内 C1ラインの交換作業に当たっては遮へい体を一時撤去しなければならない。また、実験装置付近の中性子導管の設置位置調整のため、実験装置の一時撤去も必要と考えられることから、事前に実験利用者へ周知し協力を得ることとする。

4. 2 第2段階の交換計画

第1段階の交換作業で固定プラグ及び駆動プラグ内の導管とC1ラインは全数交換済みとなる。第2段階では、駆動プラグ以降のC2及びC3ラインについて交換を実施する。

(1) ガイドトンネル内

C1ラインについては第1段階の作業でスーパーミラーに交換される。C2及びC3ラインについて交換作業を実施する。第2段階の作業では駆動プラグの取り外しは必要無いため、駆動プラグより下流側の

既設導管撤去と据付及び調整を行う。

ガイドトンネル下流側の導管は、ガイドトンネル上流側の導管と位置調整が必要なため、ガイドトンネル内中間壁の一部撤去が必要である。

(2) 導管室及びビームホール内

導管室及びビームホール内導管についてもC2及びC3ラインについて交換を行う。第1段階と同様に実験設備の移動が必要と考えられることから利用者に事前に周知する。

5. 工事開始時の条件

C導管の交換作業は、原子炉炉心近くの駆動プラグを外して、空間線量当量率が高くなる方向に工事を進めてゆき、炉体内に設置された固定プラグケーシング脱着作業を行うものである。工事を開始するためには出来るだけ空間線量当量率を低く抑えることが望まれるため、以下に示す作業開始条件を設ける。

- (1) 炉プール水位は通常水位を維持していること。
- (2) 燃料は全て炉心から移動していること。
- (3) 作業中は炉室内の換気が行われていること。

6. 作業開始時期の検討

C導管の置換作業は、JRR-3施設定期自主検査期間に実施する計画である。この期間は他の工事と並行して進めていることと既に決定されている運転サイクルに影響を与えないという観点から、その工事開始時期の決定が重要となる。しかし直前まで原子炉は施設共用運転にあり、炉体構造物の放射化の影響が懸念される。このため事前に原子炉停止後のガイドトンネル内の空間線量当量率の経時変化を測定し、原子炉停止後の作業開始時期を検討した。

炉心は燃料が装荷した状態で、平成12年度と平成19年度に測定を行った。図6. 1に空間線量当量率測定位置及び図6. 2に空間線量当量率測定結果を示す。

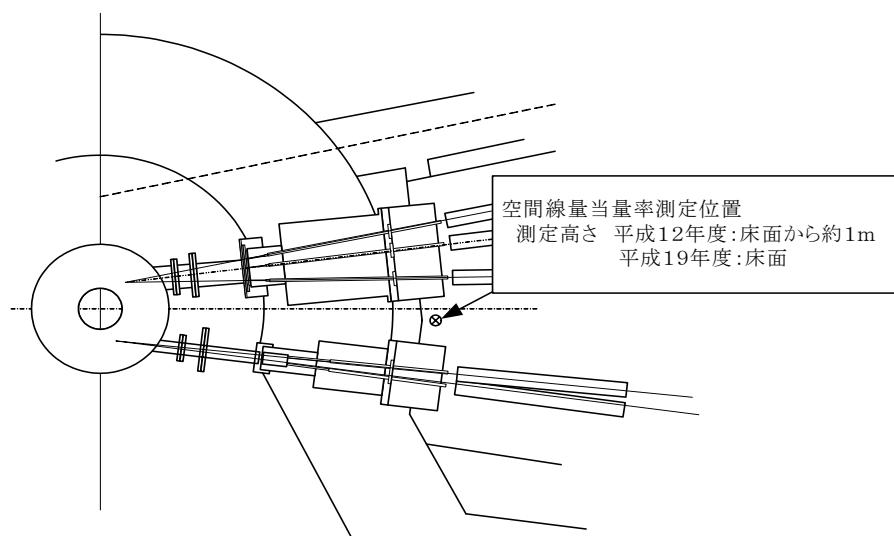


図6. 1 空間線量当量率測定位置図

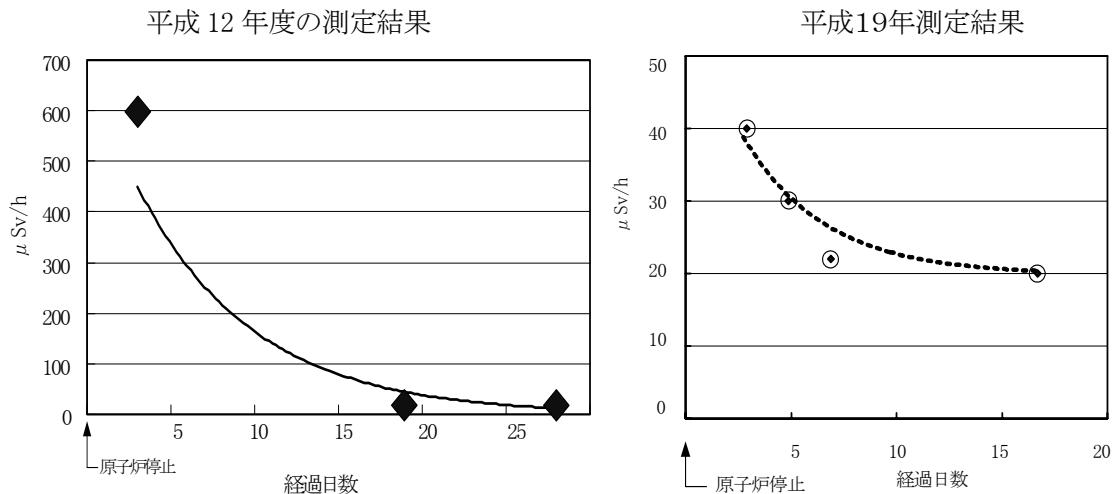


図6.2 空間線量当量率測定結果

平成12年と平成19年の測定値に差があるが減衰の傾向は同じである。グラフからも原子炉停止後20日程度経過すれば、その後はあまり変化が見られないことがわかる。

これを基に、ガイドトンネル内での作業開始時期は、原子炉停止後から約3週間以降とする。

7. 冷中性子導管の据付精度

中性子導管ユニットの据付調整のための基準面は導管ユニット内面のスパッタリング面とする。これを基準として各据付誤差を求める。

- | | |
|---------------|-------------|
| (1) 水平面からの誤差 | ±50秒以内 |
| (2) 垂直面からの誤差 | ±50秒以内 |
| (3) 接合部の隙間誤差 | ±0. 1mm 以内 |
| (4) 接合部縦方向の誤差 | ±0. 05mm 以内 |
| (5) 接合角度誤差 | ±15秒以内 |
| (6) 接合部横方向の誤差 | ±0. 05mm 以内 |

8. 事前準備

C導管の交換工事、特にガイドトンネル上流側に設置されている炉体内に設置された固定プラグケーシング及び駆動プラグケーシングの交換は相当な線量当量率が予想される。平成12年度に熱中性子導管の交換工事を実施したが、その際の駆動プラグ及び固定プラグの線量当量率を図8. 1示す。図8. 1に示す駆動プラグは、炉体より取り出した状態で測定した。また固定プラグケーシング及び駆動プラグケーシングも取り外した状態である。

C導管交換工事ではこれに相当する線量当量率が考えられ、またこの部分に近接して工事が行われるため、適宜遮へい材を用いて無用な被ばくを低減することとする。また、重量物を取り扱うため、簡易吊り上げ装置やレール等についても事前に準備する。C導管交換に先立ち、工事で必要となる主要な治具類を検討した。以下に検討した結果を示す。

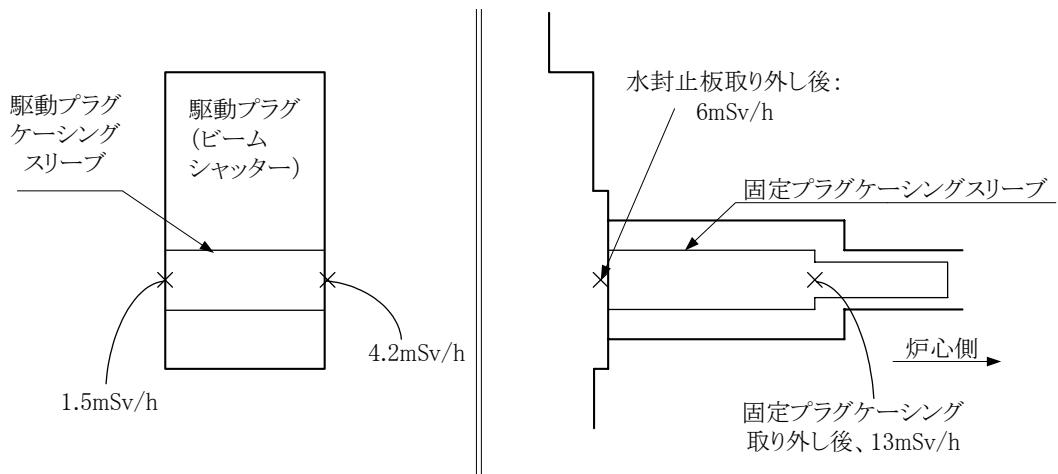


図8. 1 热中性子導管交換工事時の固定プラグ及び駆動プラグの線量当量率(平成 12 年測定)

(1) 遮へいパネル

遮へいパネルは、ガイドトンネル上流側の作業時にテンポラリーに使用する。駆動プラグ取り外し後は固定プラグが直視する状況になるため、固定プラグからの γ 線を遮へいするために使用する。適宜設置場所を変更しながら最も有効な位置に設置するものであり、キャスターで移動できる構造とする。図8. 2に遮へいパネルの概略図を示す。

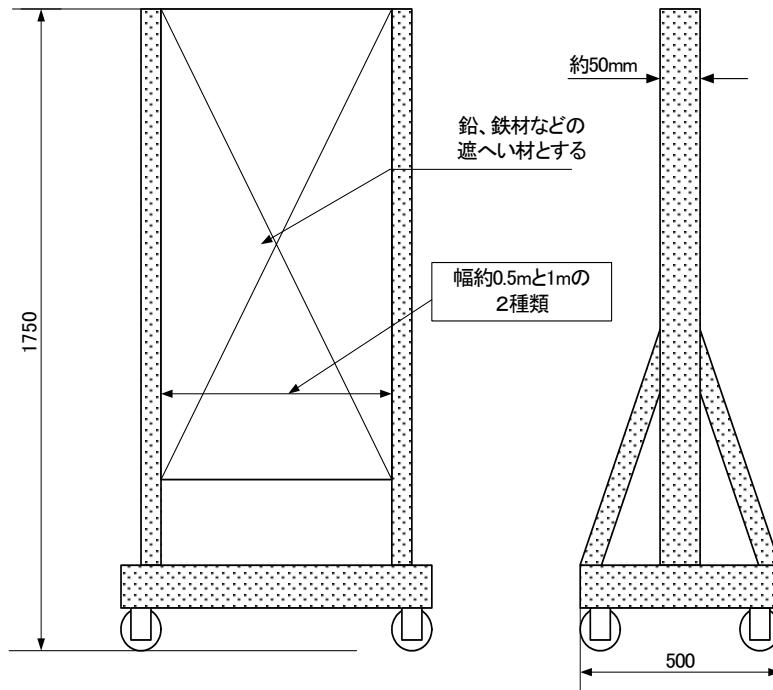


図8. 2 遮へいパネル概略図

(2) 門型つり上げ装置1及び2

門型つり上げ装置は、ガイドトンネル内に搬入する重量物を運搬することと、各種の遮へい材を設置するために使用するものである。本装置については、平成12年の熱中性子導管交換工事の際に製作したものを作成しているためこれを流用する。門型吊り上げ装置1及び2の概略図を図8. 3示す。

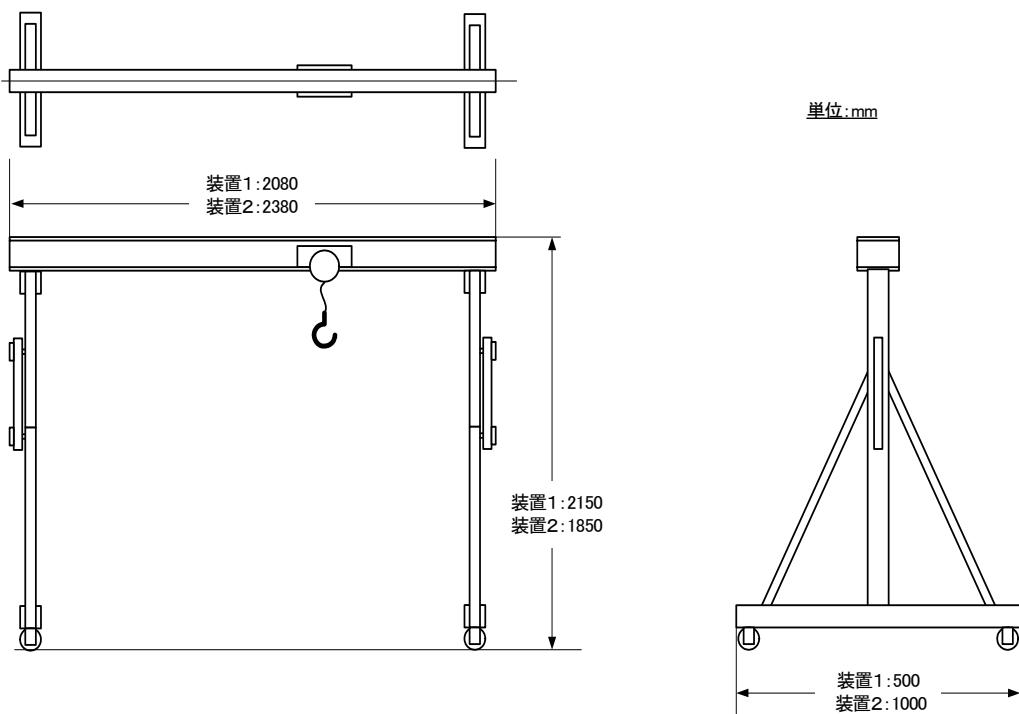


図8. 3 門型吊り上げ装置1及び2概略図

(3) レール

レールは駆動プラグを載せて移動するためのものである。また、固定プラグ内導管収納容器や駆動プラグ導管収納容器を取り付け、移動するためのものもある。分割構造とし、分解した状態で搬入してガイドトンネル内で組み立てることとする。

レールの概略図を図8. 4に示す。

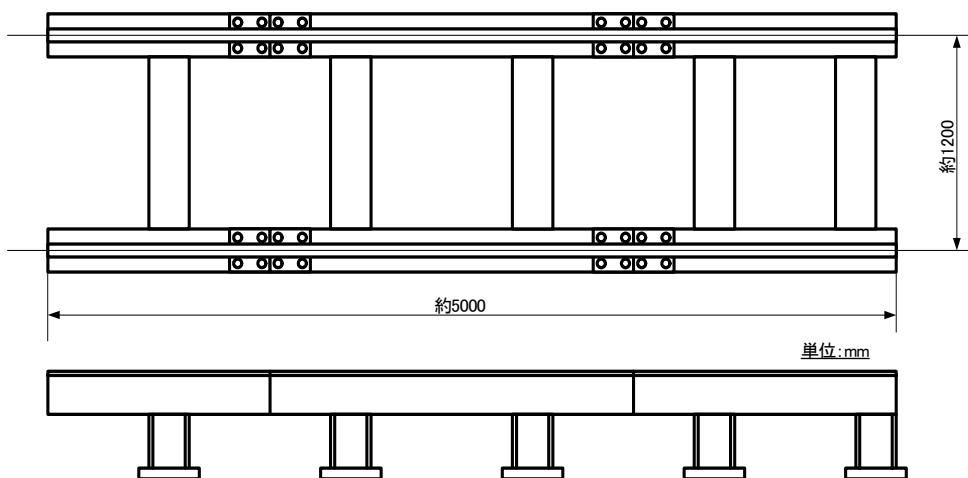


図8. 4 レール概略図

(4) 駆動プラグ台車

レール上に置かれた駆動プラグ台車に駆動プラグを固定し、台車ごとレール上を移動するものである。

駆動プラグ台車概略図を図8. 5に示す。

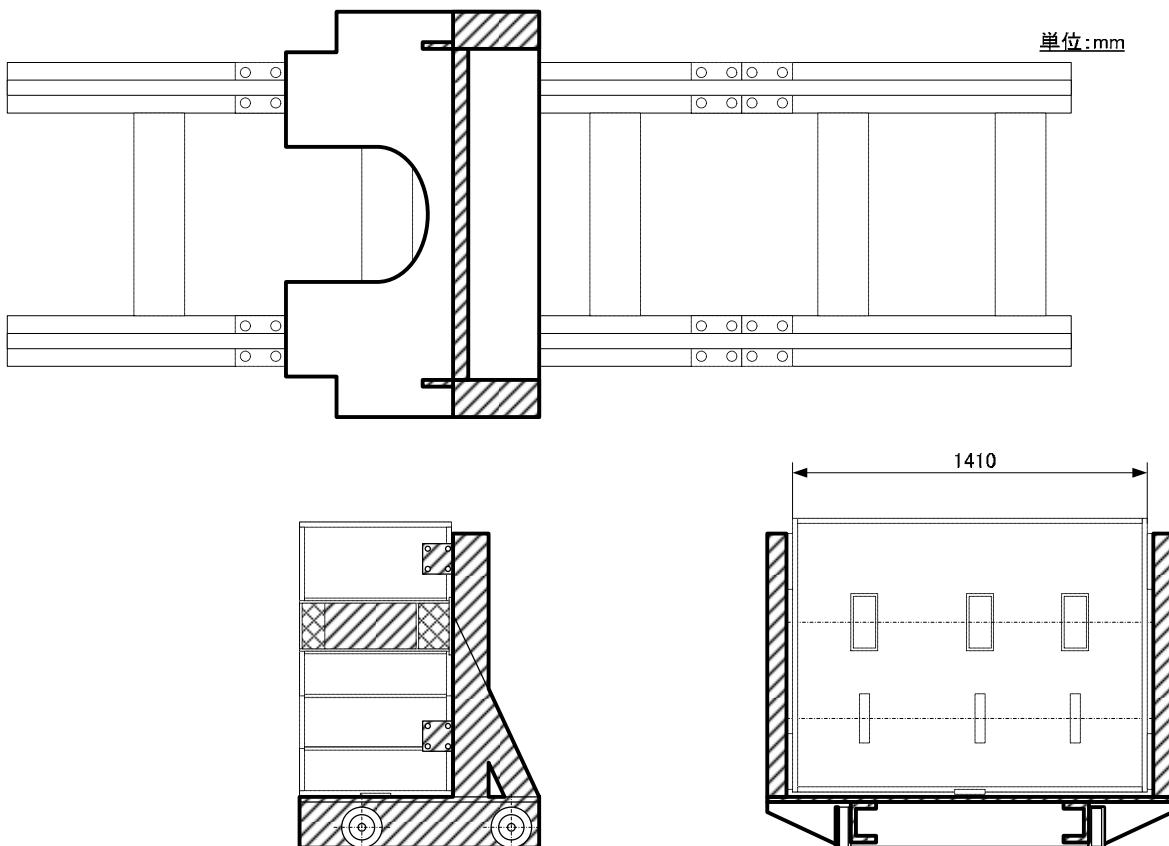


図8. 5 駆動プラグ台車概略図

(5) ケーシング収納容器

炉体内に設置された導管はアルミニウム製のケーシングに収められて設置されている。このケーシングの主要材質はアルミニウムであるが、固定用のビスや位置決めピン等がステンレス製であるため放射化が予想される。このため遮へい用の収納容器を準備しケーシングを収納する。冷中性子用の固定プラグケーシング及び駆動プラグケーシングはC1からC3の3式あるため、3体をまとめて収納容器内に収納するものとし、十分な遮へい能力を有する構造とする。

図8. 6に固定プラグケーシング収納容器を、図8. 7に駆動プラグケーシング収納容器を示す。

(6) ケーシング台車

固定プラグケーシング及び駆動プラグケーシングを収納するための収納容器を載せる台車である。新しい固定及び駆動プラグケーシングの挿入時には、プラグケーシング挿入治具を取付けて使用する。固定プラグケーシング及び駆動プラグケーシングは長さが約1.8m及び0.7mと異なるため、台車同士を固定する梁の長さを2種類準備し、長さを変えて使用する。

図8. 8に固定プラグケーシング取り出し時概略図を示す。また図8. 9に固定プラグ挿入時の概略図を示す。

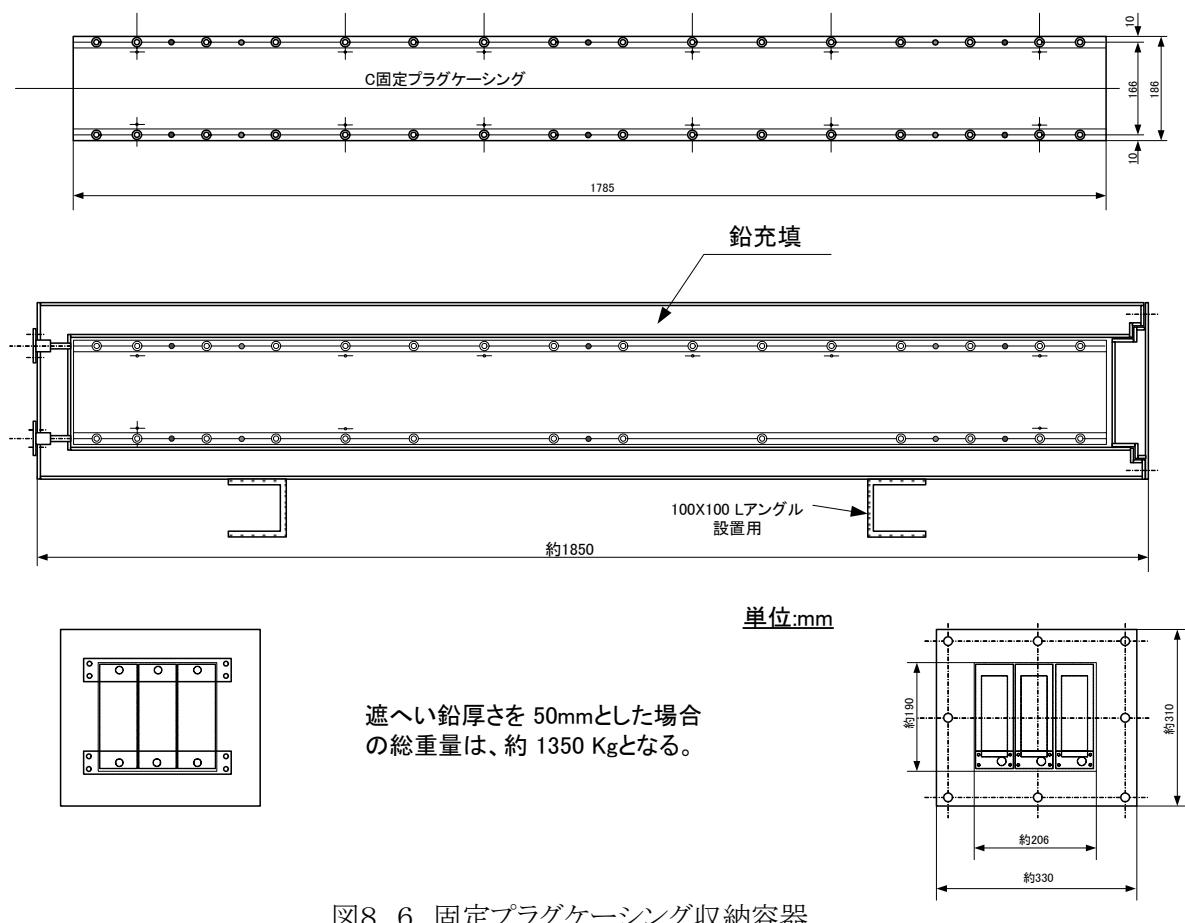


図8.6 固定プラグケーシング収納容器

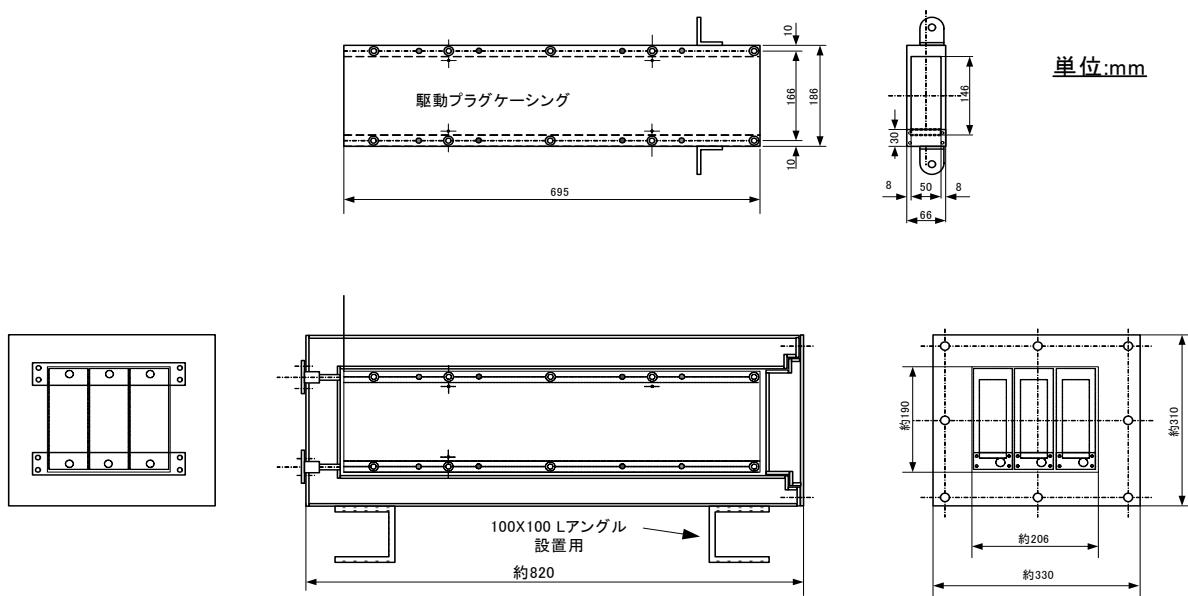


図8.7 駆動プラグケーシング収納容器

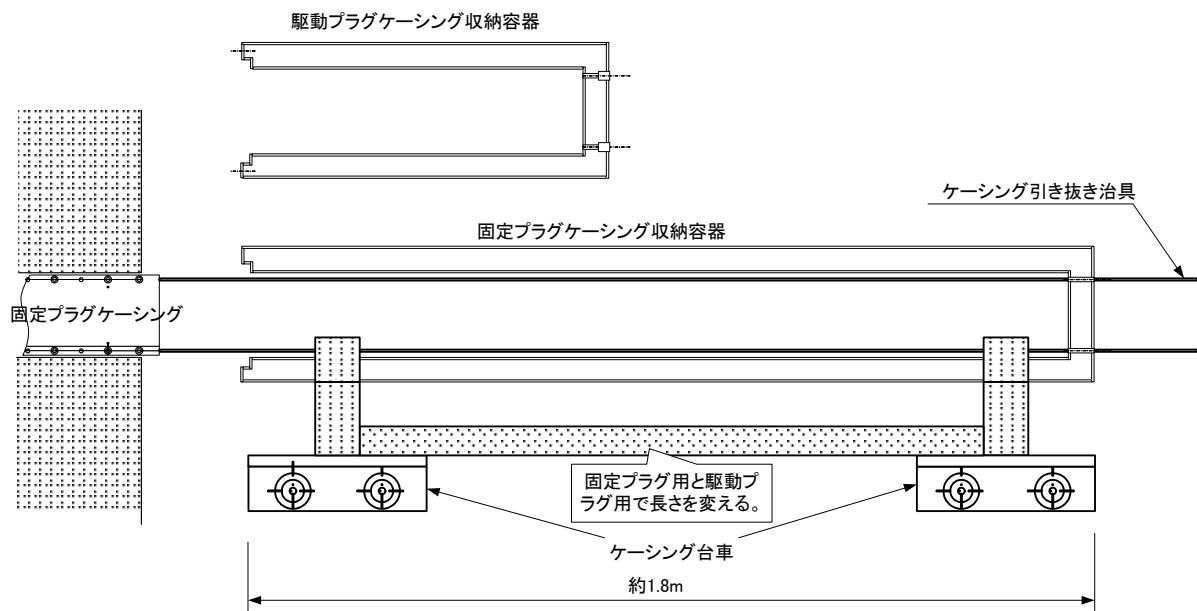


図8.8 固定プラグケーシング取り出し時概略図

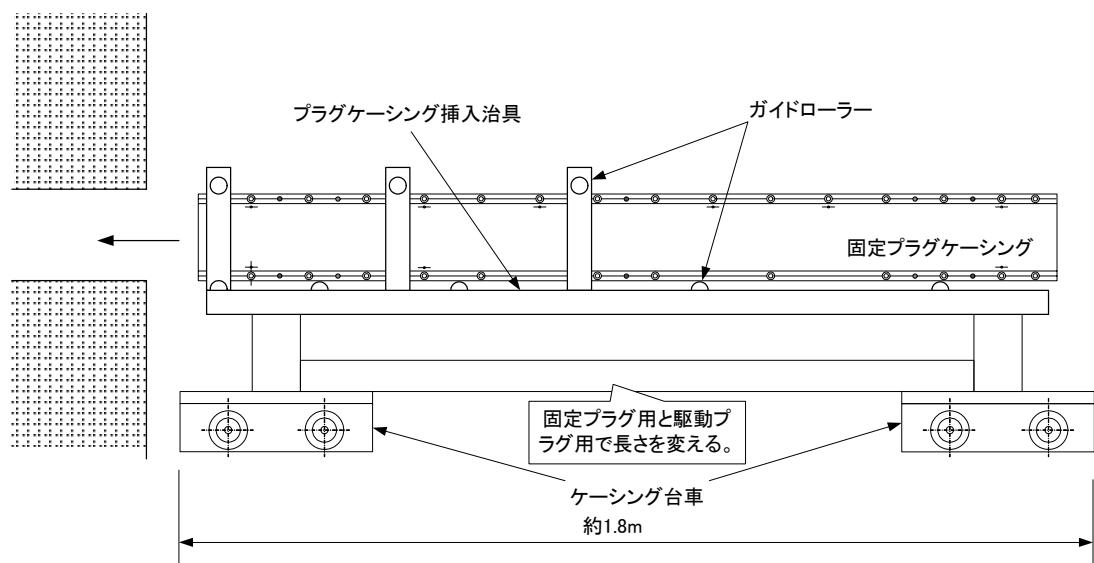


図8.9 固定プラグケーシング挿入時概略図

(9) 固定プラグ用遮へい体

駆動プラグを取り外し後に作業を実施する際に固定プラグ表面からの γ 線を遮へいするためのものである。図8. 10 固定プラグ用遮へい体に示すとおり門型吊り上げ装置により吊り下げて使用する。固定プラグを取り出すための開口部が3個設けてあり、ともに遮へい用のプラグを施している。また、水封止板ボルトを取り外すために、ボルト穴部分に円形孔を設け、ここにもプラグが設けてある。

固定プラグ用遮へい体の遮へい厚は厚くすれば遮へい効果を期待できるが、作業性が悪くなるため、線量当量率を1/10以下に遮へい出来る50mm程度とする。

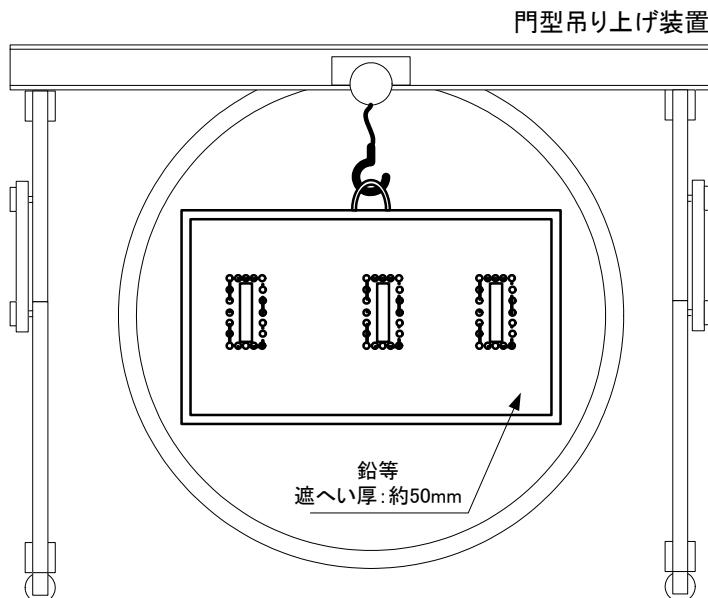


図8. 10 固定プラグ用遮へい体

(10) 駆動プラグ用遮へいプラグ

駆動プラグから駆動プラグケーシングを取り外した後、駆動プラグスリーブ部より漏れ出てくる γ 線を遮へいする目的に使用する。駆動プラグケーシング取り出し後に本プラグを差し込んで遮へいする。

駆動プラグ用遮へいプラグを図8. 11に示す。

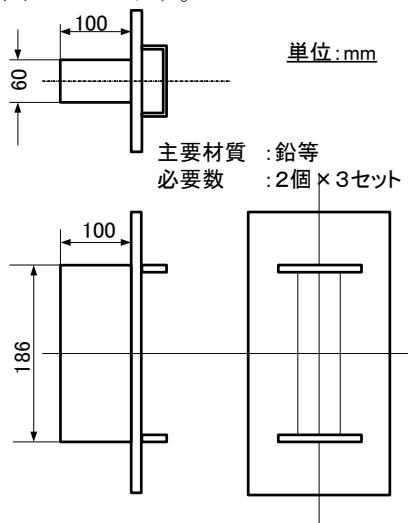


図8. 11 駆動プラグ用遮へいプラグ

(11)その他

- ・その他、鉛網、鉛シート等の遮へい材を用意し、適宜遮へいに使用する。
- ・チェーンブロック、吊り上げジャッキ等は平成12年度に実施した熱中性子導管の交換作業時に使用したものを流用する。
- ・重量物の運搬用にコロ引き等の台車を準備する。

9. 作業手順概略

中性子導管の置換作業は、平成12年度に T 導管について経験している。C 導管の交換作業についても、基本的にT導管の作業工法を踏襲する。炉体内に組み込まれた中性子導管の交換作業は、炉体に近接して作業を行うため被ばくの観点から特に注意が必要とされる。

炉体内に設置されている固定プラグケーシングの取り出しには約6tonの駆動プラグの取り外しが必要なため、ガイドトンネル内にレールを敷き、この上を駆動プラグが移動する方法を採用する。

以下に、第1段階交換工事で実施する既存導管の交換手順概略について示す。

9. 1 交換工事のながれ

交換工事の作業フローの概略を図9. 1に示す。

第1段階では、ガイドトンネル上流側、ガイドトンネル下流側、導管室、ビームホールで作業を実施するが、第2段階作業では、ガイドトンネル上流側作業が終了しているため、ガイドトンネル下流側、導管室、ビームホールでの作業を実施する。

ガイドトンネル作業とビームホール作業は並行して実施することが可能であるが、中性子導管設置位置調整は上流側を基準として調整を行わなければならないため、ガイドトンネル内の C 導管の設置後にビームホール側の微調整を行う。

9. 2 ガイドトンネル上流側作業

(1) 準備作業工具等の搬入

作業工具、治具等の搬入、入域手続き、教育訓練等

(2) ガイドトンネル内の養生等

①線量当量率測定

線量マップ作成

②ガイドトンネル内に仮保管してある旧 T 導管の移動。

旧 T 導管をガイドトンネル内に保管してあるため、作業場所確保のため一時移動する。

移動場所は、炉室内とする。(図9. 2 炉室1F平面図参照)

③必要な遮へい材の設置

高線量場所の遮へい材設置(鉛網、鉛ブロック等)

④導管の保護材の設置

T 導管及びC 導管保護のため、導管の簡易保護材(板等)を設置する。(図9. 3 ガイドトンネル内の養生状況参照)

⑤中間扉の遮へい材の一時撤去

ガイドトンネル内の中間扉周辺の中間壁の一部を解体し、フラットな床面を確保する。中間壁を解体して一部フラットな床面を確保するのは、プラグ収納容器が重量物となるため、これを安全に移動するためである。また、ガイドトンネル中間壁のうち、導管の貫通する部分の遮へい材を撤去し、導管の撤去及び据付作業場所を確保する。(図9. 3 ガイドトンネル内の養生状況参照)

(3) ガイドトンネルハッチの取り外し

レールや遮へい材、導管架台などの搬出入のためにガイドトンネル下流側天井のハッチを取り外し、炉室内へ仮置きする。ハッチ開放後は落下防止対策を施すこととする。(図9. 2 炉室1F平面図参照)

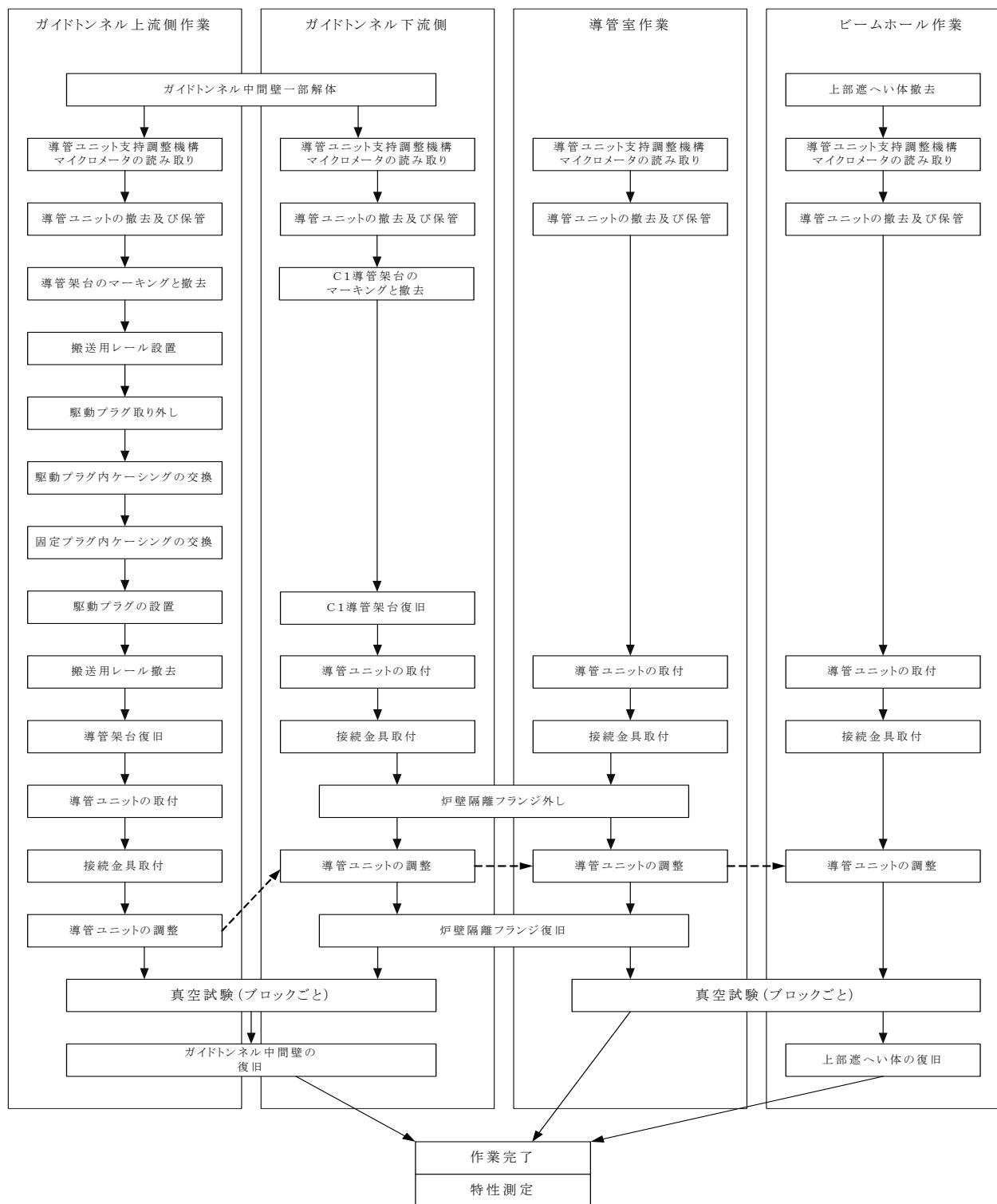


図9.1 交換工事の作業フロー図

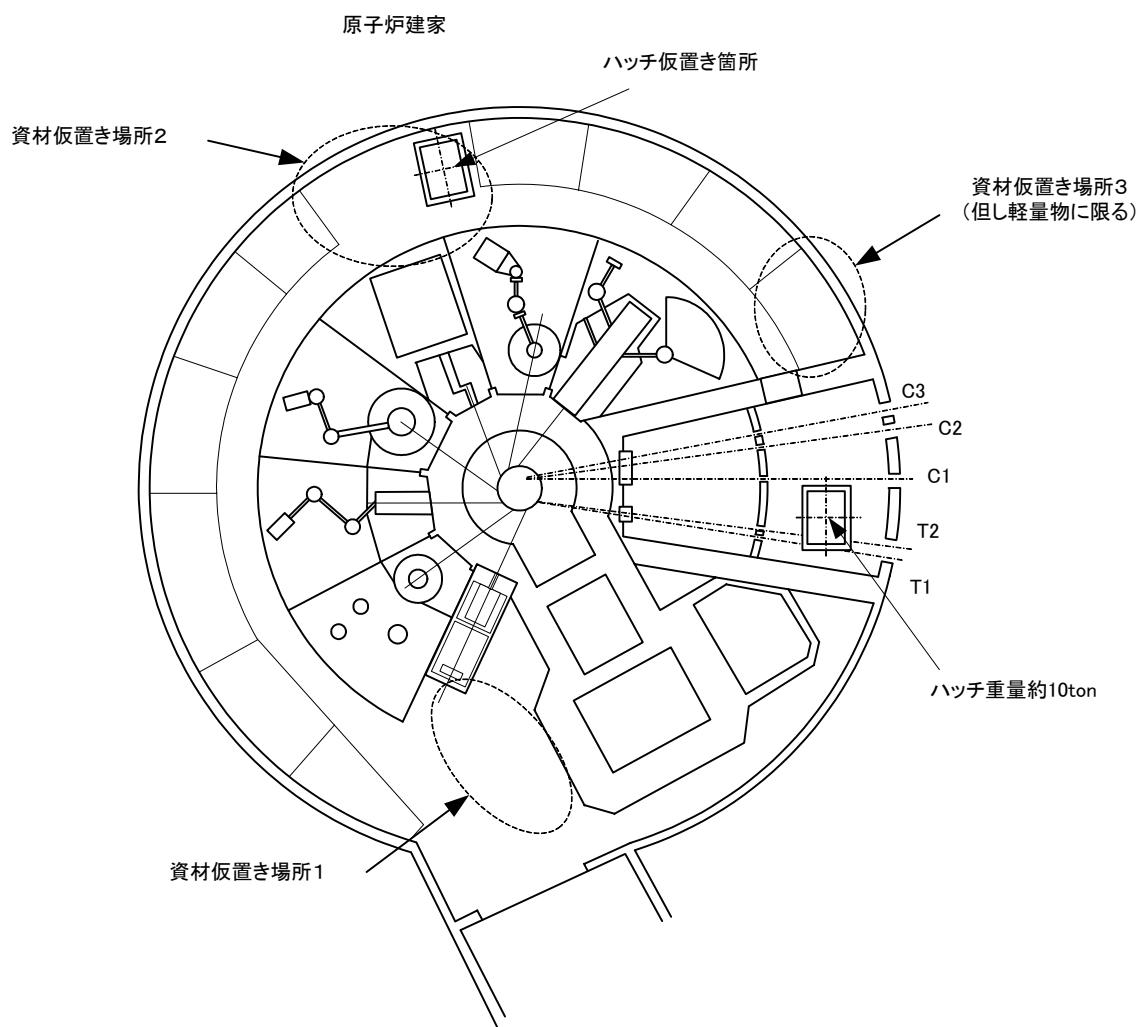


図9.2 炉室1F平面図

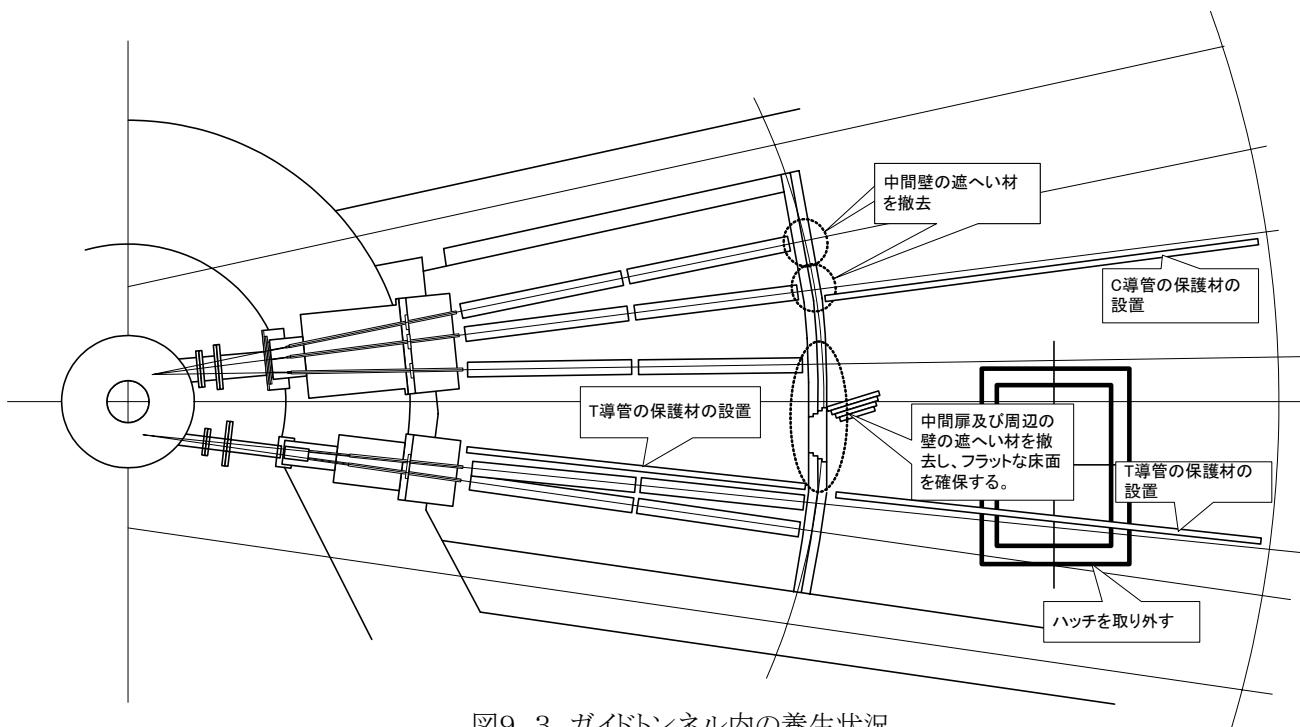


図9. 3 ガイドトンネル内の養生状況

(4) 導管の設置位置の確認等

① ダイヤルゲージの読み取り

既存の導管設置位置を確認する。

② 導管架台のマーキング、設置位置の測定

ガイドトンネル上流側と下流側C1ラインは導管架台を一時撤去するため、下げ振り等により架台設置位置を床面にマーキングする。また、マーキング後ベニヤ板、ビニールシート等により床面の養生を行うこと。

(5) ガイドトンネル内の既存導管ユニットの撤去

ガイドトンネル上流側はC1～C3の導管ユニット全てについて撤去する。下流側はC1ラインの導管ユニットのみ撤去する。

① 真空排気用のノズル切り離し

導管内部の真空を破壊し、導管の真空排気用ノズルを切り離す。

② 導管接続金具撤去

導管ユニットと導管ユニットを接続している接着材を剥離し、導管ユニットを1体ごとに取り扱えるようにする。

③ マイクロメータ開放

導管支持機構であるマイクロメータを緩め、導管ユニットを取り外せる状態にする。

導管支持機構本体を2個所取り外し、導管ユニットを引き抜けるようにする。

④ 既存導管ユニットの取り外し

フリーになった導管ユニットを導管支持機構から取り外す。取り外しは(5)②で支持機構本体を取り外した位置より引き抜く。

(6)導管架台の取り外し

ガイドトンネル上流側にフラットな床面を作るため C1～C3 まで全ての導管架台を撤去する。撤去する架台は、ハッチを経て炉室内へ仮置きする。またガイドトンネル下流側 C1 ラインについても導管架台を撤去する。

(7)レールの敷設及び治具類の搬入取付け

駆動プラグを移動するためのレールをガイドトンネル上流側へ設置する。搬入はハッチから行いチーンブロック、コロ引き等によりガイドトンネル上流側へ移動する。また遮へいパネル等を設置し、空間線量当量率を可能な限り低く抑える。レールの敷設状況を図9. 4に示す。

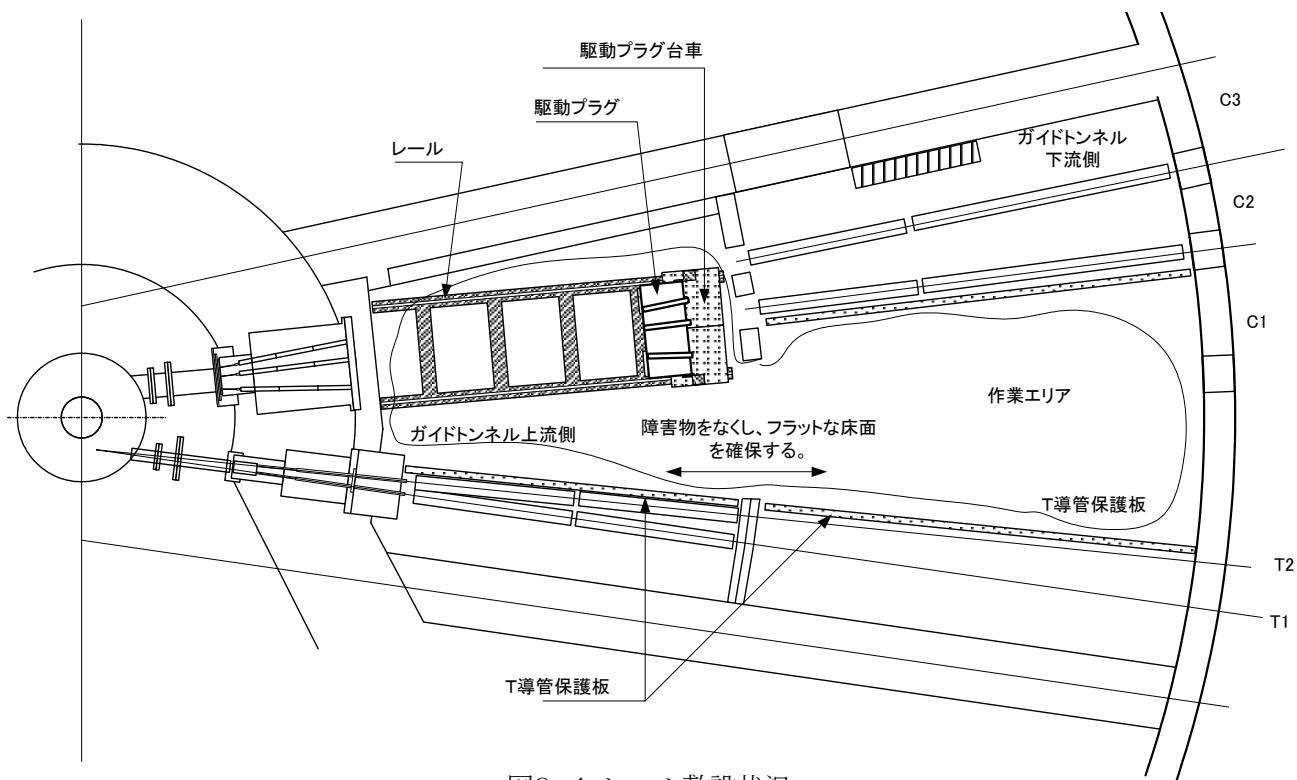


図9. 4 レール敷設状況

(8)駆動プラグの移動

駆動プラグに駆動プラグ台車を取り付け、昇降機構を取り外し、後方へ移動する。駆動プラグ本体は適宜遮へいを行うこと。また、必要に応じて炉体側(固定プラグ側)の遮へいを行う。

(9)駆動プラグケーシング収納容器及び引き抜き治具の取り付け

駆動プラグケーシングを収納するためのケーシング台車及び駆動プラグケーシング収納容器をレール上にセットし、目的の導管ラインに位置調整する。また、駆動プラグケーシングを固定するねじを取り外し引き抜ける状態にする。

(10)駆動プラグケーシングの取り出し収納

駆動プラグケーシングをケーシング引き抜き治具により駆動プラグケーシング収納容器へ引き入れる。駆動プラグケーシング収納容器は、目的の駆動プラグケーシングと合致するように位置調整を行うこと。

駆動プラグケーシングを取り出した後には、駆動プラグ用遮へいプラグを取り付けて遮へいを行うこと。

C1～C3全数収納後は収納容器の蓋を閉め、炉室内へ移動し仮保管する。必要に応じて追加の遮へい等を行う。駆動プラグケーシングの収納要領を図9. 5に示す。

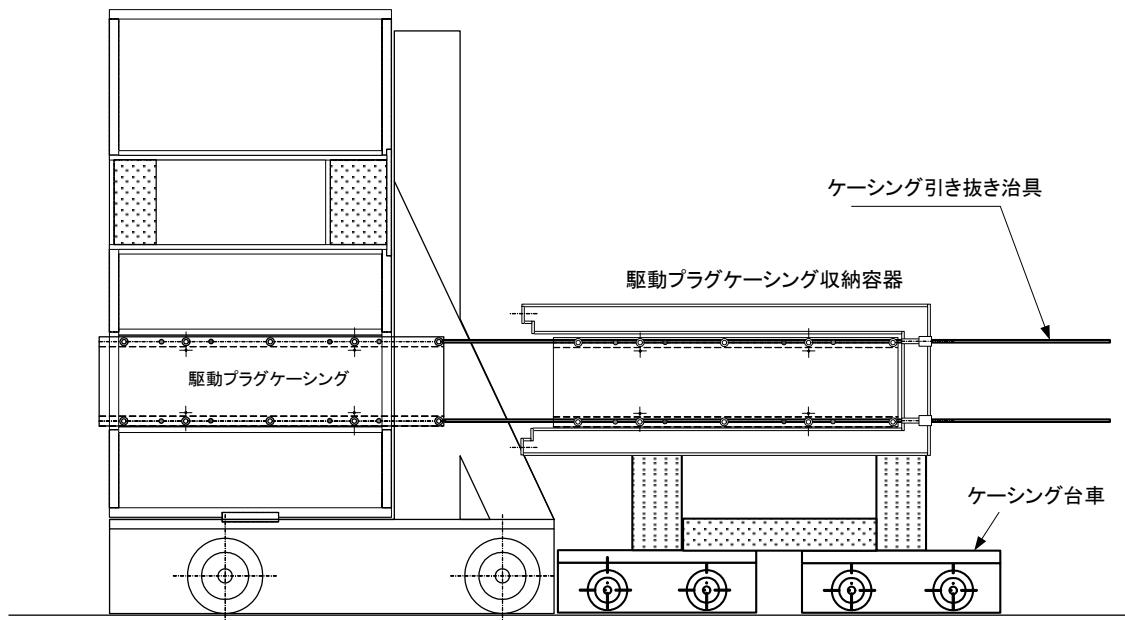


図9. 5 駆動プラグケーシング収納要領

(11) 駆動プラグケーシングの挿入

プラグケーシング挿入治具をケーシング台車上にセットする。(プラグケーシングには予め導管が取り付けられていること) プラグケーシング挿入治具に新駆動プラグケーシングを取り付け、目的の導管位置と合致するように位置調整する。

C1～C3全数について、新駆動プラグケーシングを挿入する。

駆動プラグ全数を取り付け後は、駆動プラグ台車ごとガイドトンネル上流側の最後尾まで駆動プラグを移動し、固定プラグへのアクセスの場所を確保する。なお、適宜遮へいを行い無用な被ばくを避ける。

(12) 水封止板の取り外し

水封止板開放の前に水平実験孔内のヘリウムを排気する。(JRR-3 本体側と調整)

水封止板の取り外しは、固定プラグ用遮へい体を設置した後方より行う。固定プラグ用遮へい体に設けられた目的の水封止板ボルト穴部分のプラグを抜き取り、空いた孔からレンチを差し込み水封止板ボルトを緩める。ボルトを全数緩めたら水封止板及び金属パッキンを回収する。

水封止板の構造を図9. 6に示す。また水封止板取り外し要領を図9. 7示す。

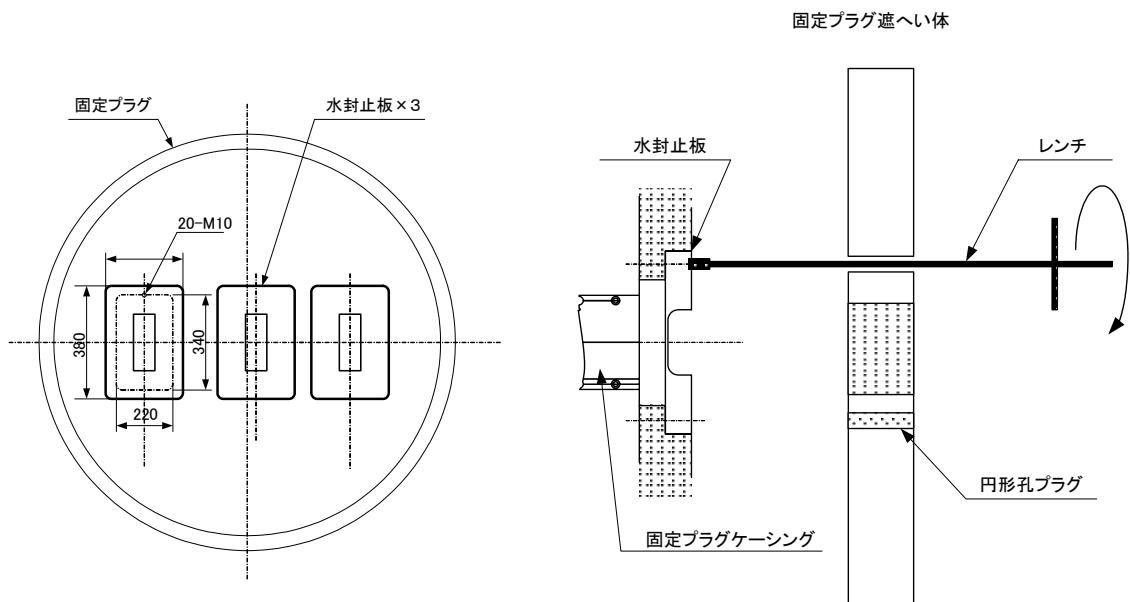


図9. 6 水封止板構造図

図9. 7 水封止板取り外し要領図

(13) 固定プラグケーシング収納容器の設置及び取出用治具の取付け

固定プラグケーシングは駆動プラグケーシングの収納と同様に収納容器内のケーシングを引き込む方法で行う。ケーシング台車及び固定プラグケーシング収納容器を取り付け、目的の導管ラインに位置調整する。また、固定プラグケーシング引き出し用治具を取り付ける。

(14) 固定プラグケーシング取り出し(C1～C3)

固定プラグケーシング引き抜き要領を図9. 8に示す。

プラグケーシング引き抜き用治具を固定プラグケーシングの上下2個所に取付け、収納容器内に引き抜く。

同様に C1～C3 の固定プラグケーシングを同じ要領で引き出し、収納容器に収める。固定プラグケーシング収納容器は、その都度、目的の導管ラインと合致するように位置調整を行うこと。

固定プラグケーシング収納後、蓋をして収納容器ごと炉室内へ移動する。必要に応じて追加遮へい等を行うこと。

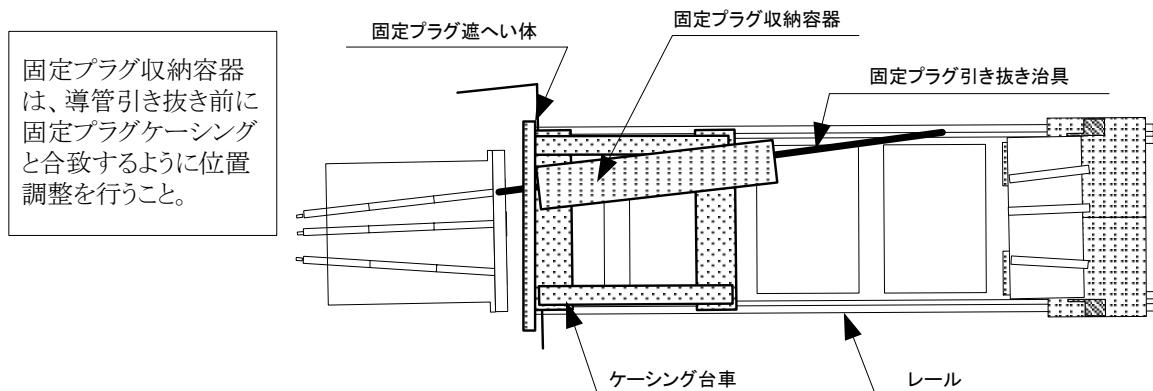


図9. 8 固定プラグケーシング引き抜き要領

(15) 固定プラグケーシングの挿入

プラグケーシング挿入治具をケーシング台車にセットする。(プラグケーシングには導管が予め取り付けられていること。) プラグケーシング挿入治具に新固定プラグケーシングを取り付け、目的の固定プラグケーシングスリーブと合致するように位置調整を行う。固定プラグケーシングの挿入は被ばくを抑えるため、固定プラグ用遮へい体を通して挿入する。

固定プラグ挿入要領を図9. 9に示す。 C1～C3 の固定プラグケーシングを同様に挿入する。

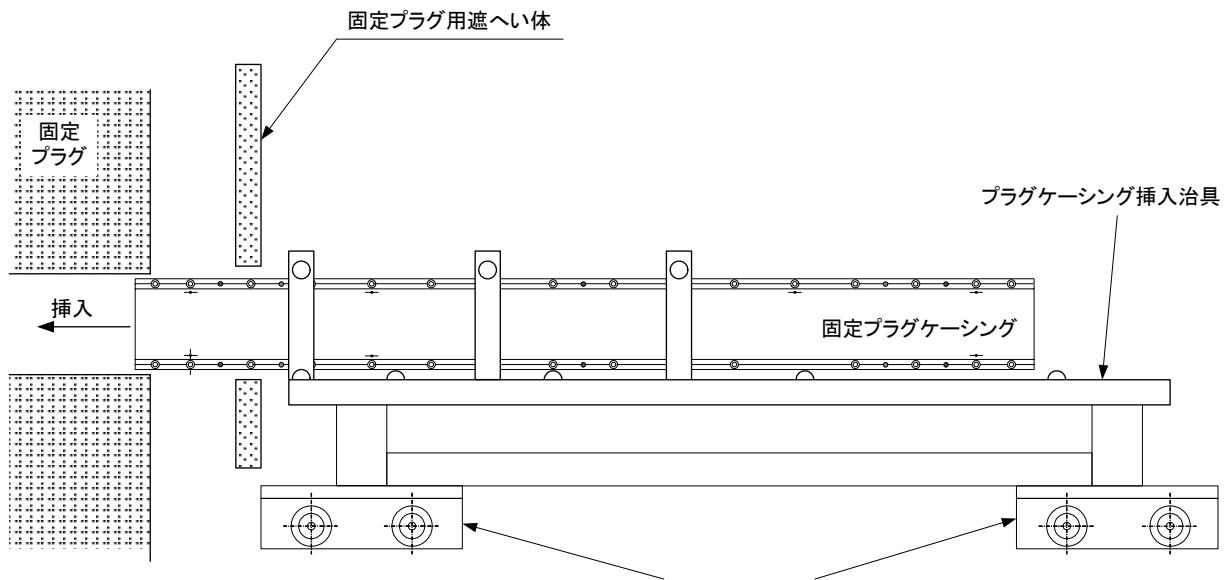


図9. 9 固定プラグ挿入要領

(16) 水封止板の取付け

水封止板を取り外し要領と同様な方法で取り付ける。(金属パッキンは新品を使用する)

実験孔内にヘリウムを封入し、漏れ試験を行う。(JRR-3 本体側と調整する。)

(17) 駆動プラグの復旧

駆動プラグを炉体側に移動し、駆動プラグ昇降機構を取り付ける。

駆動機構の位置調整を行う。(駆動プラグの開閉動作含む)

(18) 駆動プラグケーシングヘリウム封入

駆動プラグケーシング内にヘリウムガスを封入する。

ヘリウムガスの封入は、 ϕ 5程度のチューブを駆動プラグケーシング内に挿入し、50 kPa (0.5kg/cm²)程度の圧力を加えながらページする。5分程度ページを行ったら、素早くチューブを取り外し、ノズル継ぎ手を取付けて密封する。

(19) 導管架台の復旧

導管架台をマーキングした位置に復旧する。

(20) 新導管ユニットの仮取付け

導管支持機構に緩衝材を取付け、新導管ユニットに傷等が付かないように養生すること。

新導管ユニットを仮取付けする。C1ラインは新導管ユニットを取り付け、C2,C3 ラインについては導管室及びビームホール側で使用していたC1ラインの導管ユニットを再使用する。

(21) 新導管ユニットの概略位置調整

新導管ユニットの概略位置調整を行う。設置は既存の導管設置位置と同じ位置とする。

導管支持調整機構との間に当て板の取付けを忘れないこと。

(22) 接続金具の取付け(参考資料(2):シール剤充填要領参照)

上流側から順番に導管接続金具にて導管ユニット同士を接続する。接着はナフトサーム接着剤により3~4回の重ね塗りを行う。最終的には成型用の金型を当てて固ませる。

(23) オートコリメータによる測定及び位置調整

オートコリメータを用いて、導管の位置微調整を行う。(参考資料(1):中性子導管据付調整要領参照)

(24) 真空ブロックの漏れ試験(真空引きにより漏れを検査)

C導管用の真空排気用ノズルを取付け、真空排気装置により漏れ試験を行う。漏れ試験はガイドトンネル上流側と下流側が同じ真空ブロックになっているため、両方の中性子導管設置調整後に同時に実行する。接着部の漏れの確認はアルコール塗布後の真空度変化を監視する方法で行い、到達真空度は約 130Pa(1 torr)を目標とする。このときの真空排気時間は半日程度とする。真空排気当初はアウトガス等の影響により真空度が上昇しないが、漏れが無い場合は時間とともに真空度が上昇する。

(25) 復旧

①中間壁遮へい材の復旧

一時撤去していた中間壁遮へい材の復旧を行う。

②遮へい材等の撤去

仮設置した遮へい材等の撤去を行う。

9.3 ガイドトンネル下流側作業

ガイドトンネル下流側は、C1導管及び架台の撤去と据付けを実施する。なお、原子炉建家と導管室間の隔離フランジ部には防火シャッターが取り付けられているため、導管の交換作業実施前に防火シャッターの作動を解除し、シャッターが落下しないような措置を講じる。

(1) 他の導管に傷等を防止するため養生を行う。

(2) 導管の設置位置の確認等

既存の導管設置位置をダイヤルゲージ目盛りにて確認する。

(3) 既存導管の撤去

ガイドトンネル下流側の C1ラインのみ撤去する

①導管接続金具撤去

導管ユニットと導管ユニットを接続している接着材を剥離し、導管ユニットを1体ごと取り扱えるようにする。

②マイクロメータ開放

導管支持機構であるマイクロメータを緩め、導管ユニットを取り外せる状態にする。

なお、導管支持機構本体を2個所取り外し、導管ユニットを引き抜けるようにする。

③既存導管の取り外し

フリーになった導管ユニットを導管支持機構から取り外す。取り外しは9.3(3)②で支持機構本体を取り外した位置より引き抜く。

(4) C1 用架台の撤去

C1 ラインの架台位置を床面にマーキングし、撤去する。

フラットな床面が確保できたら、床面の養生を行う。

9. 2 ガイドトンネル上流側に係る作業が完了後以下の作業を実施する。

(5) ガイドトンネル上流側作業が完了後、C1 架台を復旧する。

導管架台をマーキングした位置に復旧する。

(6) 新導管ユニットの仮取付け

導管支持機構に緩衝材を取り付け、新導管ユニットに傷等が付かないように養生すること。

新導管ユニットを仮取付けする。

(7) 新導管ユニットの概略位置調整

新導管ユニットの概略位置調整を行う。設置は既存の導管設置位置と同じ位置とする。

導管支持調整機構との間に当て板の取付けを忘れないこと。

(8) 接続金具の取付け

上流側から順番に導管接続金具にて導管ユニット同士を接続する。接着はナフトサーム接着剤により3~4回の重ね塗りを行うこと。最後は成型用の金型を当てて固まらせる。

(9) オートコリメータによる測定及び位置調整(上流側から順番に実施)

オートコリメータを用いて、導管の位置微調整を行う。(参考資料(1):中性子導管位置調整要領参照)

(10) 漏れ試験(真空引きにより漏れを検査)

ガイドトンネル上流側と下流側の中性子導管は同じ真空ブロックとなっているため、同時に漏れ試験を実施する。

9. 4 導管室作業

導管室に設置された中性子導管はガイドトンネル下流側に設置された導管と位置調整を行うため、炉壁面の閉止板を開放して作業を行う。

炉室内の空調はハーフ運転モードで実施する。(事前に工務施設係と打ち合わせを行う)

(1) 養生

導管室のうちC1ラインのみの交換を行うため、床面の養生及び、必要に応じて他の中性子導管の養生を行う。

(2) 導管設置位置の確認

既存C1ラインの導管設置位置を確認する。(マイクロメータの目盛りの読み取り)

(3) 導管室C1ライン導管の撤去

① 導管の接続金具の撤去

導管ユニットと導管ユニットを接続している接着剤を剥離し、導管ユニットを1体ごと取り扱えるようにする。

② マイクロメータ開放

導管支持機構であるマイクロメータを緩め、導管ユニットを取り外せる状態にする。導管支持機構本体を2個所取り外し、この位置から導管を取り外せるようにする。

③ C1ラインの導管ユニットの取り外し

フリーになった導管ユニットを導管支持調整機構から取り外す。取り外しは9. 4(3)②で取り外した

支持調整機構位置からとする。

(4) 新導管ユニットの仮取付け

導管支持調整機構に緩衝材を取付け、新導管ユニットに傷が付かないように養生する。

新導管ユニットを仮取付けする。

(5) 新導管ユニットの概略位置調整

新導管ユニットの概略位置調整を行う。設置は既存の導管設置位置と同じ位置とする。

導管支持調整機構との間に当て板の取付けを忘れないこと。

(6) 接続金具の取付け

上流側から導管接続金具にて導管ユニット同士を接続する。接着はナフトサーム接着剤により3から4回の重ね塗りを行う。最終的には成型用金型を当てて固着させる。

(7) オートコリメータによる測定及び位置調整

①導管室の最上流側は、ガイドトンネル下流側の最終導管と位置を調整するため、炉壁部分の閉止板を取り外した状態で調整を行う。ガイドトンネルと導管室にオートコリメータ測定用のレールを渡しそれぞれの取付け角度の測定を行う。(導管位置調整要領を参照)

②導管室最上流側の調整が完了したら、これを基準として順次下流側の微調整を行う。

(8) 導管室内導管の真空もれ試験

本試験は、ビームホールに設置された導管と同じ真空ブロックとなっていることから、ビームホール内の導管ユニットの交換作業終了後に同時に実施すること。

真空ブロック毎に真空引きを行い、接続金具部分が確実に接着されていることを確認する。

9. 5 ビームホール作業

ビームホールに設置された導管は個々に遮へい体で覆われているためこの上部遮へい体を取り外す。(取り外した導管遮へい体の仮置き場所の確保が必要)

場合によっては新導管ユニットの設置位置調整を行うために実験装置の移動が必要となるため、事前に各実験者に実験装置の移動を依頼しておく。

(1) 上部遮へい体の撤去

ビームホール内の導管は個々に遮へい体で覆われているため、このうちの上部遮へい体を一時撤去する。ビームホール上部遮へい体の設置概要図を図9. 10に示す。

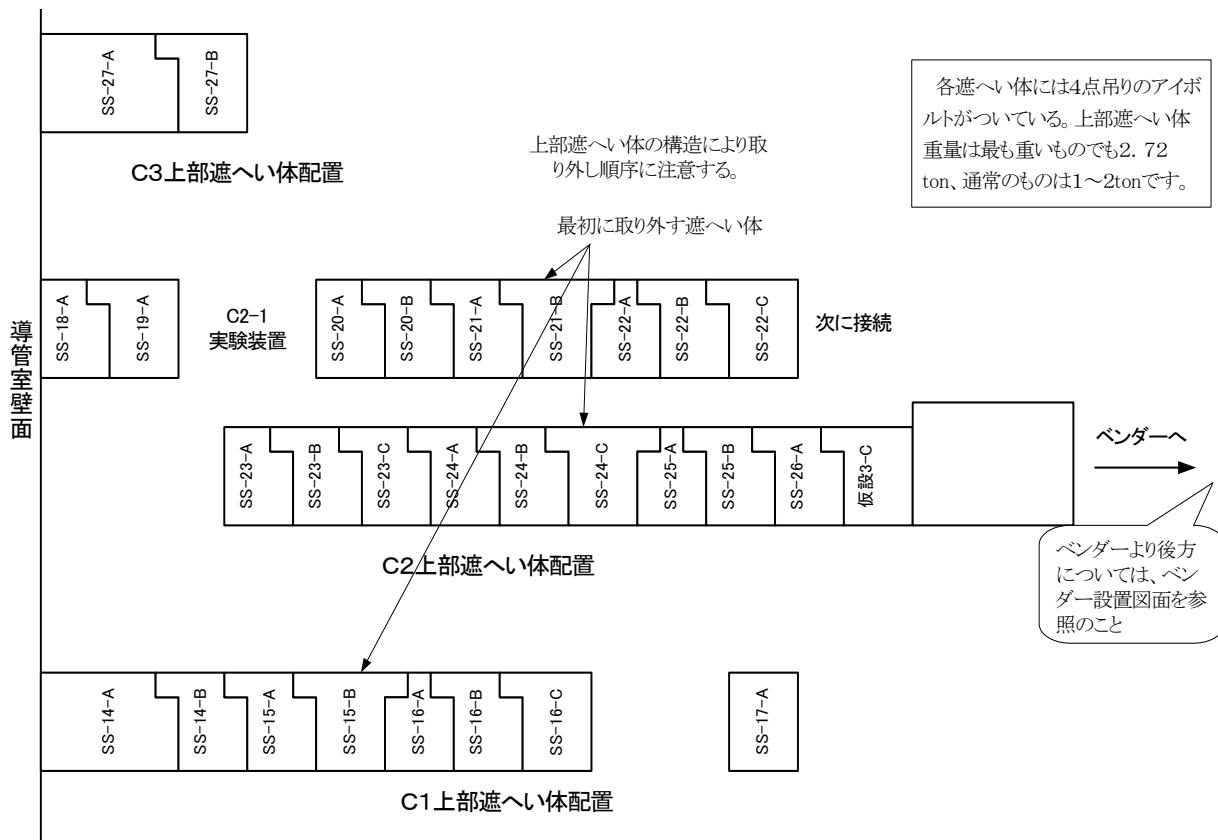


図9.10 ビームホール上部遮へい体の設置概要図

(2)導管設置位置の確認

既存C1ラインの導管設置位置を確認する。(マイクロメータの目盛りの読み取り)

(3)導管室C1ライン導管の撤去

①導管の接続金具の撤去

導管ユニットと導管ユニットを接続している接着剤を剥離し導管ユニットを1体ごと取り扱えるようにする。

②導管支持調整機構の取り外し及び導管ユニットの撤去

導管支持調整機構2個所を外し、この位置から順次導管ユニットを取り外す。

(4)新導管ユニットの仮取付け

導管支持調整機構に緩衝材を取付け、新導管ユニットに傷が付かないように養生する。

新導管ユニットを仮取付けする。

(5)新導管ユニットの概略位置調整

新導管ユニットの概略位置調整を行う。設置は既存の導管設置位置と同じ位置とする。

導管支持調整機構との間に当て板の取付けを忘れないこと。

(6)接続金具の取付け

上流側から導管接続金具にて導管ユニット同士を接続する。接着はナフトサーム接着剤により3か

ら4回の重ね塗りを行う。最終的には成型用金型を当てて固着させる。

(7) オートコリメータによる測定及び位置調整

導管室最後尾の導管ユニットを基準として位置調整を行う。

(8) 導管室内導管の真空もれ試験

本試験は、導管室に設置された導管と同じ真空ブロックとなっていることから、導管室内導管の交換作業終了後に同時に実施する。

真空ブロックごとに真空引きを行い、導管接着部が確実に接着されていることを確認する。

(9) 上部遮へい体の復旧

一時撤去していた上部遮へい体を復旧する。

(10) 実験装置等の復旧を行う(実験利用者と調整)

10. 試験検査

スーパーミラー中性子導管据付後は、以下の試験検査を実施し、精度良く据え付けられていることを確認する。

(1) 外観検査

- 中性子導管の外観検査
- 支持調整機構の外観検査
- 接続金具の状態確認
- 炉壁閉止板の据付状態確認
- 駆動プラグの据付状態確認(作動試験含む)
- 上部遮へい体の据付状態確認(ビームホール内)

(2) 据付精度の確認

各導管ユニット毎の据付精度が基準値以下であることを確認する。

- | | |
|------------|-------------|
| ①水平面からの誤差 | ±50秒以内 |
| ②垂直面からの誤差 | ±50秒以内 |
| ③接合部の隙間誤差 | ±0. 1mm 以内 |
| ④接合部縦方向の誤差 | ±0. 05mm 以内 |
| ⑤接合角度誤差 | ±15秒以内 |
| ⑥接合部横方向の誤差 | ±0. 05mm 以内 |

(3) 漏れ検査

中性子導管内部の到達真密度を確認する。

試験箇所は各真空ブロックごととする。C導管真空ブロック図を図10. 1に示す。

初期到達真密度 130Pa(1 torr)以下

(4) 特性測定

スーパーミラー導管交換作業終了後に原子炉定格出力にて中性子束を測定し、C導管交換前の中性子束と比較する。

中性子束の測定は金箔により実施する。測定位置は、C3-1ビームポートとする。

原子炉を通常通りに起動し定格出力になった時点で、ビームシャッターを開とし30分間照射後に再びビームシャッターを閉、冷却時間を約2時間とし、その後金箔を取り出して測定する。

金箔の取付け位置を図10. 2を以下に示す。

(5) 遮へい体の確認

単層膜ミラーからスーパーミラーに変更したことにより冷中性子導管内の中性子束が増大することが見込まれるため、各遮へい体位置の線量当量率を測定する。(参考資料(3)を参照)

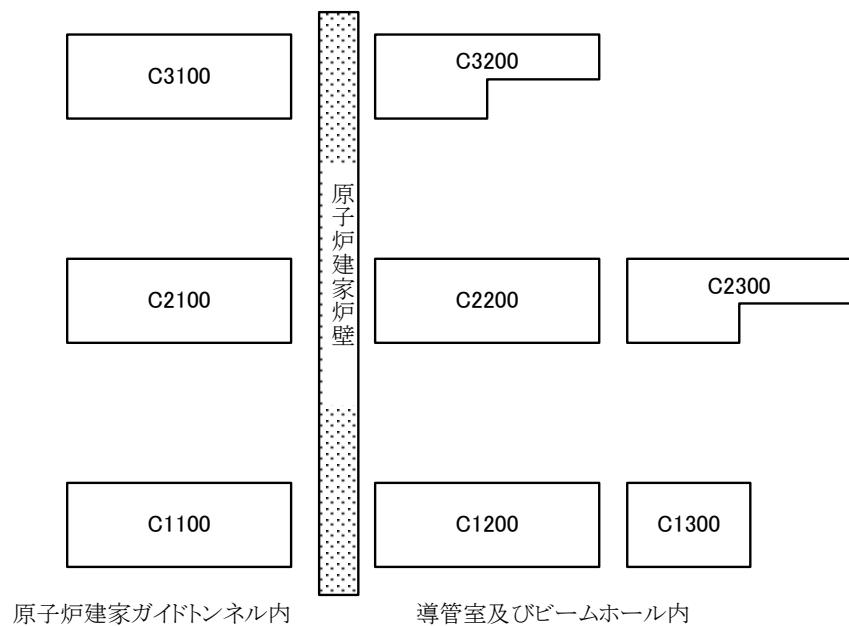


図10. 1 C導管真空ブロック図

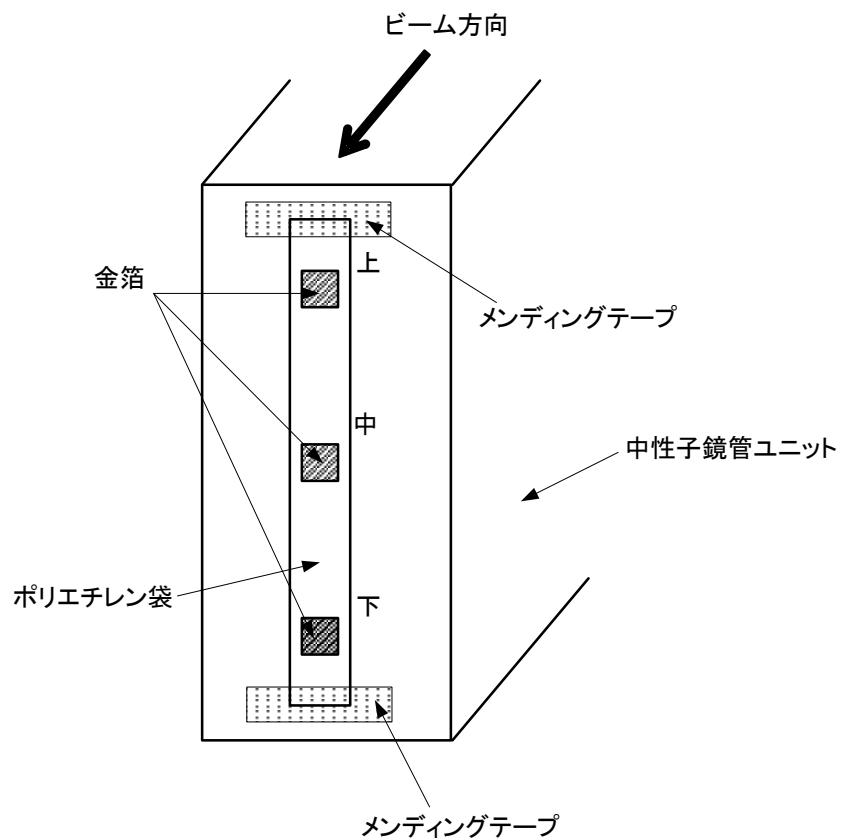


図10. 2 金箔の取付け位置図

11. おわりに

JRR-3 に設置されている5本の中性子導管のうち、熱中性子用の2本の導管をスーパーミラー化する作業が平成14年度に完了し中性子強度が増強した。冷中性子導管については、冷中性子を発生する減速材容器の高性能化と冷中性子導管のスーパーミラー化を行い、現在の中性子強度を10倍に増強する計画である。

冷中性子導管の交換工法の基本的部分については、熱中性子導管の交換工事時の方法を踏襲しているが、炉心近くに設置している固定プラグが約3倍の長さであり、相当な放射化が懸念され、なおかつ高線量当量率の雰囲気での作業となる。特に炉室内のガイドトンネル内では狭隘な空間において、重量物の移動が伴う作業であり、細心の注意が必要となる。

本報告書においては適宜遮へい材を設置したり、重量物の移動にレールを採用する等の工法の検討を行った。特に重量物を取り扱うためフラットな床面を確保することが重要と考え、ガイドトンネル中間壁を仮撤去することを提案した。この事により重量物の移動が可能となり、各種の遮へい材や収納容器の移動が容易に実施できるものと思われる。

交換作業を行う上では、各種の遮へいと作業時間の短縮が求められる。本報告書を基に入念な作業計画を検討し、冷中性子導管の交換作業が安全、円滑に完了することを願うものである。

謝 辞

本報告を作成するに当たり、楠剛研究炉加速器管理部次長及び木名瀬政美研究炉利用課長代理をはじめ、研究炉技術課及び研究炉利用課の方々には熱心なご指導をいただいた。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 鈴木正年ほか:JAERI-M 90-079 “JRR-3 中性子導管の設計と設置(1990)”

付 錄

冷中性子導管の交換作業参考資料として以下の図書を添付する。

- 付録(1) 中性子導管据付要領
- 付録(2) シール剤充填要領
- 付録(3) 冷中性子導管スーパーミラー更新後の遮へい体部線量当量率測定
- 付録(4) 参考図面

付録(1)

中性子導管据付調整要領

1. 導管ユニットの取付け

- (1) 導管支持調整機構のマイクロメータヘッド及び上下調整用ネジを 7.5mm の送り量にセットし、スプリングシャフトを最大まで引いた状態で止めネジにて固定し、導管ユニットを挿入する。
- (2) スプリングシャフトの後部を工具で支持し、止めネジを緩め静かにあて板にあわせて導管ユニットを支持調整機構に取り付ける。
- (3) 導管ユニット2本目以降の挿入は、予め取り付けられている導管ユニット後部に導管接続金物を差しこみ、ゴム緩衝材を取付けて行う。
- (4) 導管ユニットの接合部の隙間をノギスにて計測、導管支持調整機構のストッパー プレートを取り付けて導管ユニットを固定する(図1、図2参照)

2. 導管ユニットの微調整

微調整にあたっては、導管ユニットの製作精度(側板厚さ、中板高さ、及び反射鏡の取付け精度)及び上流側導管ユニットの据付誤差を考慮するため、データ処理装置を用いて補正值を求めながら調整を行う。

2. 1 水平面からの誤差及び接合部縦方向のずれ誤差

- (1) 導管ユニット中板(下流側上部又は上流側上部)に精密水準器を載せ、水平度を確認する。(図3 参照) 据付精度外ならば、導管支持調整機構の上下調整用ネジにて調整する。
- (2) 導管ユニット中板(下流側上部及び上流側上部)付近にダイヤルゲージを載せ、接合部にダイヤルゲージを移動させ、目盛を読み取りレベル差を確認する(図4参照)
- (3) 精密水準器にて、再度水平度を確認する。

2. 2 垂直面からの誤差及び接合部横方向のすれ誤差

- (1) 導管ユニット中板(下流側上部又は上流側上部)に精密水準器を載せ、垂直度を確認する。(図5 参照) 据付精度外のときは前後導管支持調整機構の横報告調整用マイクロメータヘッドにて調整を行う。
- (2) 導管ユニット中板(下流側上部又は上流側上部)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 点のレベル差を確認する。(図6参照) 据付精度外のときは前後導管支持調整機構の横方向調整用マイクロメータヘッドにて調整を行う。
- (3) 精密水準器により再度垂直度を確認する。

2. 3 接合部の誤差

- (1) オートコリメータ用架台を上流側導管ユニットに平行、水平に設置する。
- (2) オートコリメータ・ペンタプリズムを架台上にセットし、導管ユニット反射鏡中心に合わせる。反射された光軸をオートコリメータ内部のメモリ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ボタンを押す。
- (3) ペンタプリズムを下流側導管ユニット反射鏡中心に移動し、反射された光軸から接合角度を読み取る。このとき導管ユニットが直線上にあること。直線上でない場合は、下流側導管ユニットの前後導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。(図7参照)

- (4) 接合部横方向のずれ誤差を計測する(2. 2(2)参照)
- (5) 下流側導管ユニットを所定の接合角に調整するため、横方向調整用マイクロメータヘッドを調整する。接合角度はオートコリメータコントローラーの表示角度にて確認する。

導管 No	曲率半径(m)	接合角度
C1	834. 3	3 分 30 秒
C2	834. 3	3 分 30 秒
C3	370. 8	7 分 53 秒

3. 炉壁部分の設置位置調整

炉壁部分は、通常 0.5mm のアルミニウム製の中性子通過板により気密されている。導管設置時は、炉室内部との調整が必要なため、中性子通過板及び閉止板を取り外した状態で位置調整を行う。図8に示すとおり炉室内と導管室間にオートコリメータを設置する。調整の内容は、2項で示すとおりである。

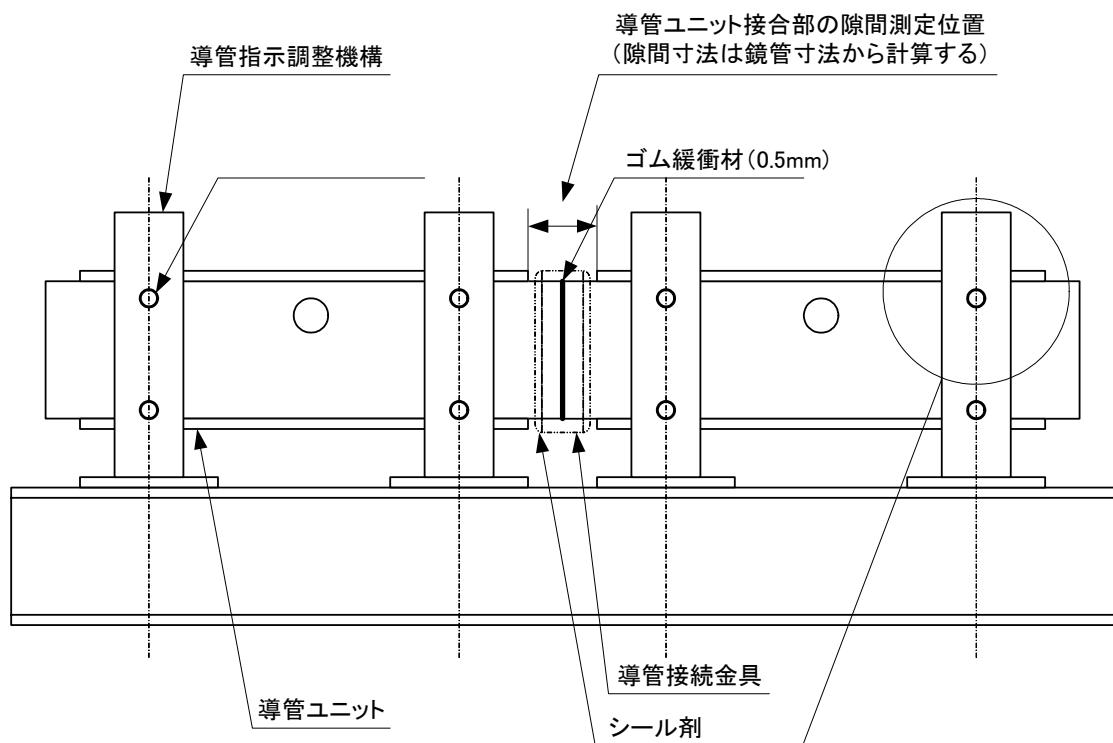


図1 導管ユニットの隙間測定

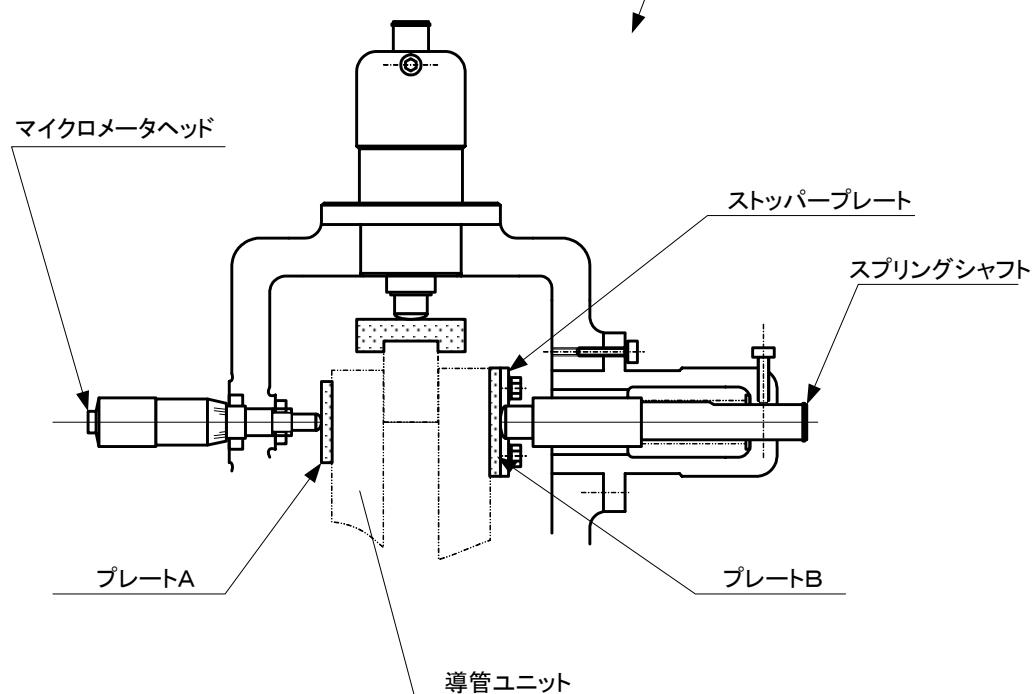


図2 横方向支持調整機構

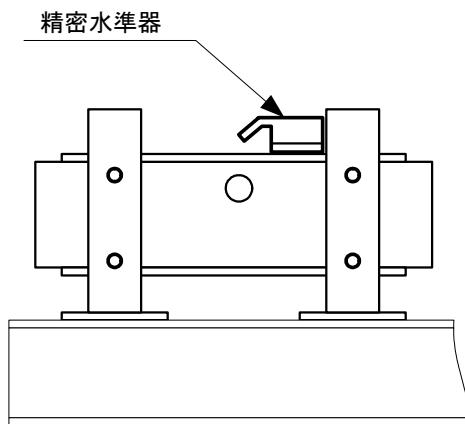


図3 水平度の確認

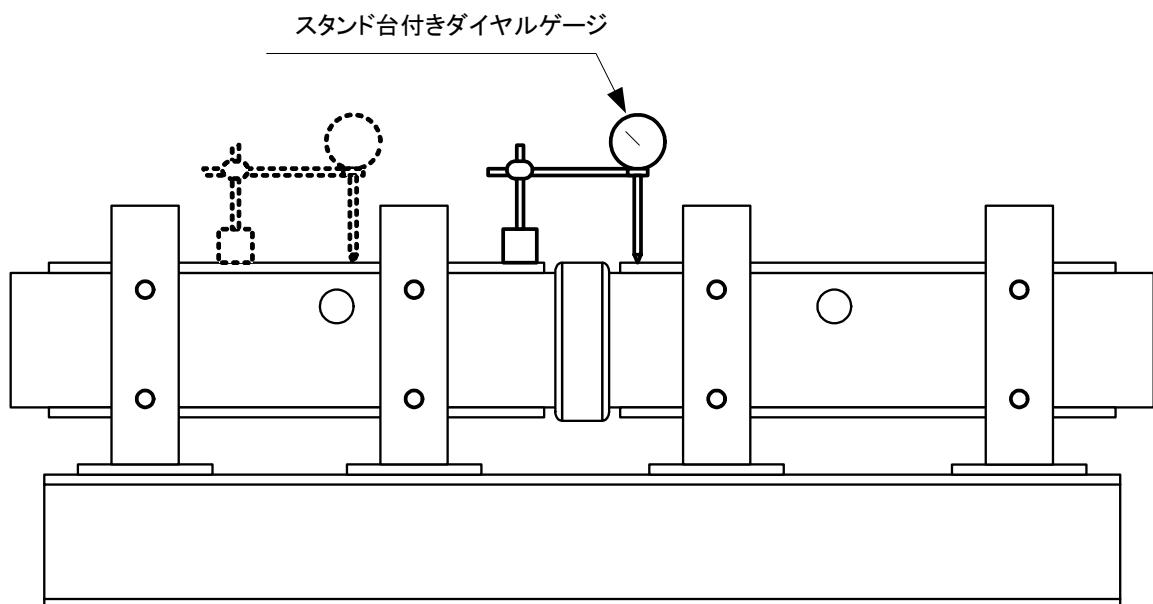


図4 接合部縦方向ずれの確認

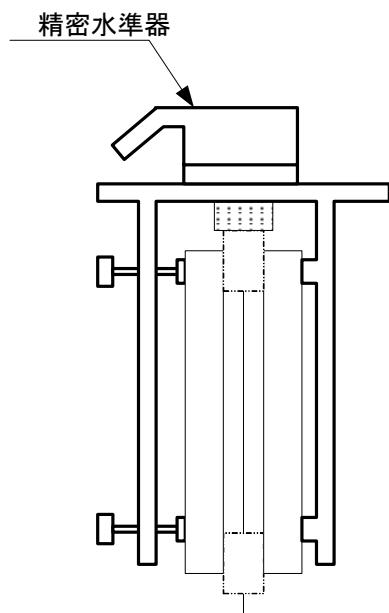


図5 垂直度の確認

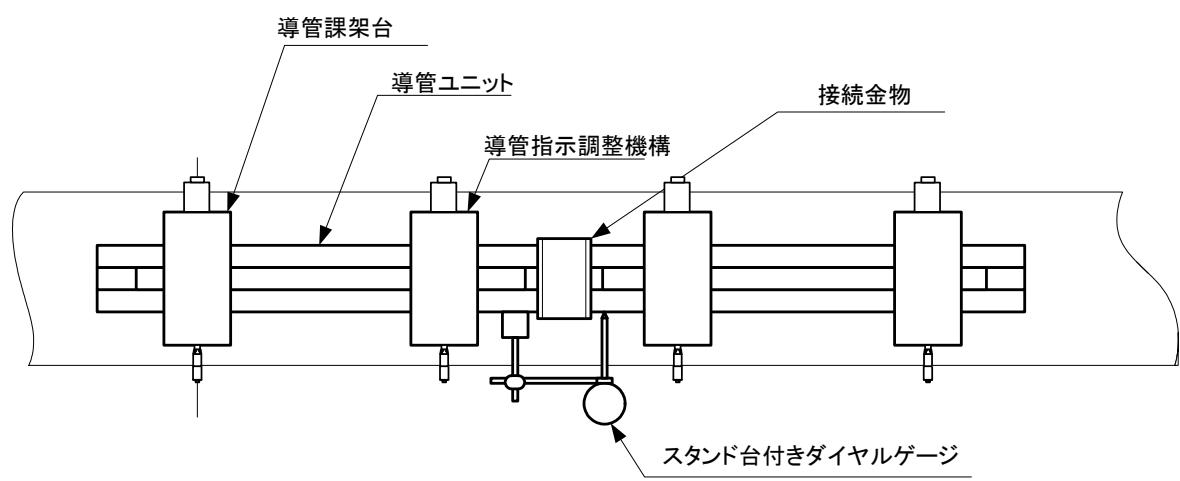


図6 接合部横方向のずれ確認

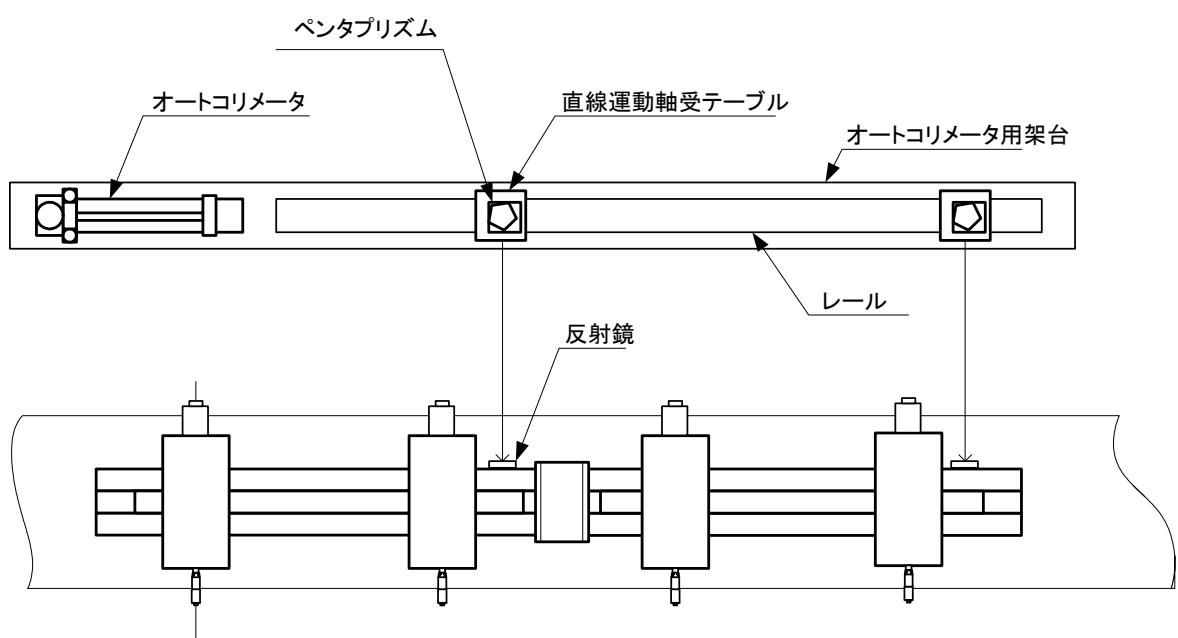


図7 接合角度の確認

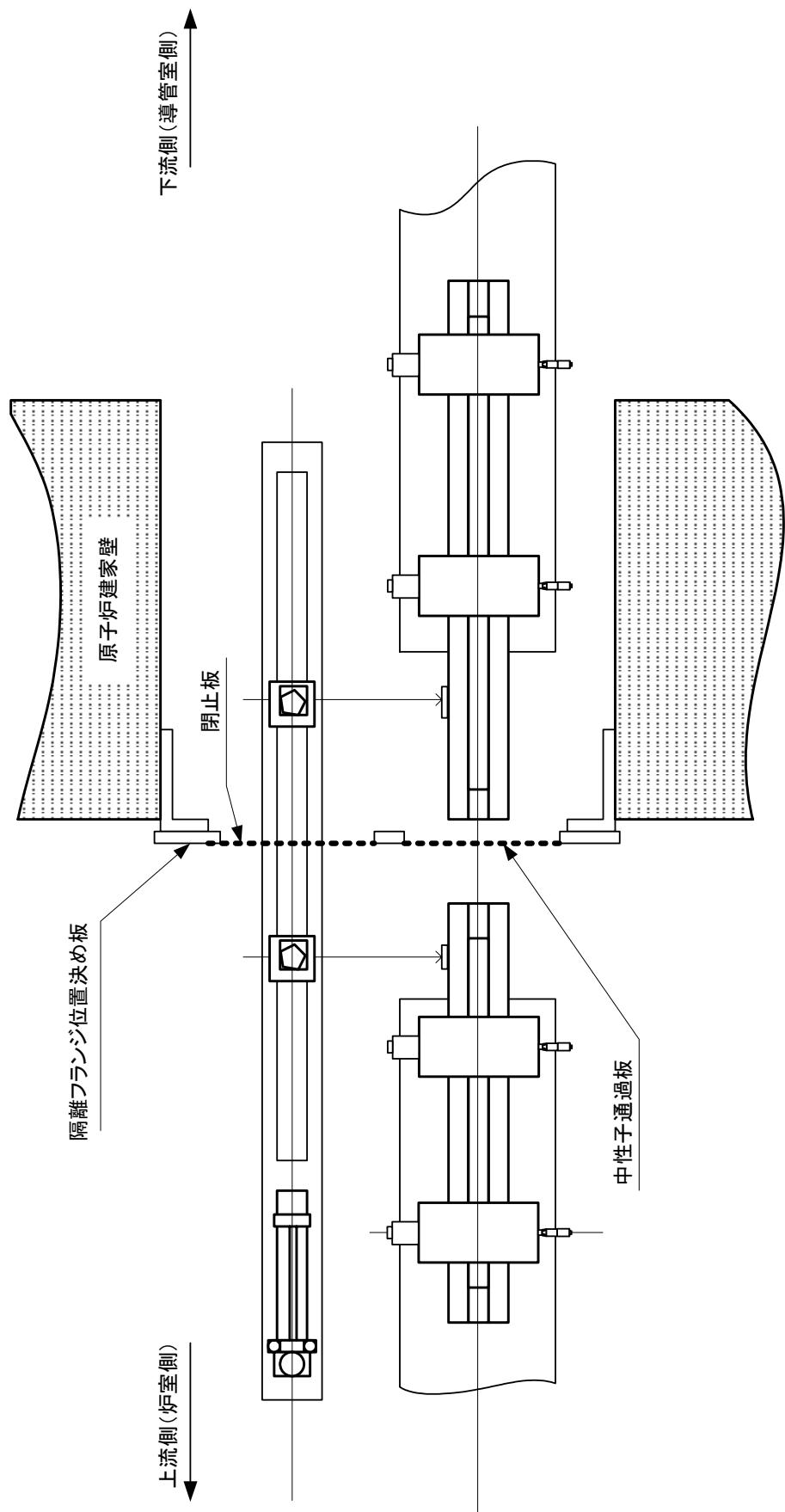


図8 ガイドトンネルと導管室の設置位置調整

付録(2)

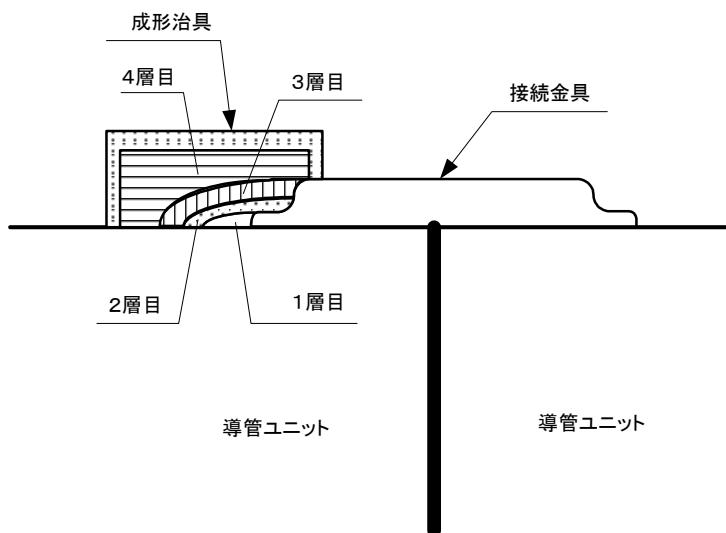
シール剤充填要領

1. 事前準備

- (1) シール剤(ナフトサーム)は、主材と硬化剤を練り板の上で鉄ヘラを使い混ぜ合わせる。
混合比は10対1(重量比)とする。また混ぜ合わせる時に空気が混入しないように注意すること。
- (2) 導管ユニット及び導管接続金具のシール部は予め、洗浄剤(アルコール等)で清浄しておく。
接続金具のシール剤を塗布する面はサンドペーパーで粗面にする。
- (3) 成形治具の内面(シール剤と接する面)は、洗浄剤で拭いた後、剥離剤を吹き付ける。

2. シール剤充填

- (1) シール剤は3～4層盛りとする。



- (2) 鉄ヘラで、空気が入らないように1層目を盛り、5～6時間放置する。
- (3) 1層目のシール剤の凝固を確認後、2層目を同様に盛り、さらに時間を置いて3層目を盛る。
- (4) 4層目を盛ったあとは、成形治具を当ててシール剤を成形する。

成形治具は外れないように布団ばさみ等で固定し、この状態で凝固するまで放置する。

3. 充填後

- シール剤の凝固を確認したら、成形金具を取り外し、きれいに洗浄する。
シール剤の表面状態が悪い場合は、サンドペーパー等によりきれいに成形する。

4. 参考図

- 図1 接続金具(冷中性子用 A型)
- 図2 接続金具(冷中性子用 C型)
- 図3 接続金具(冷中性子用 D型)
- 図4 接続金具(冷中性子用 D型特殊)

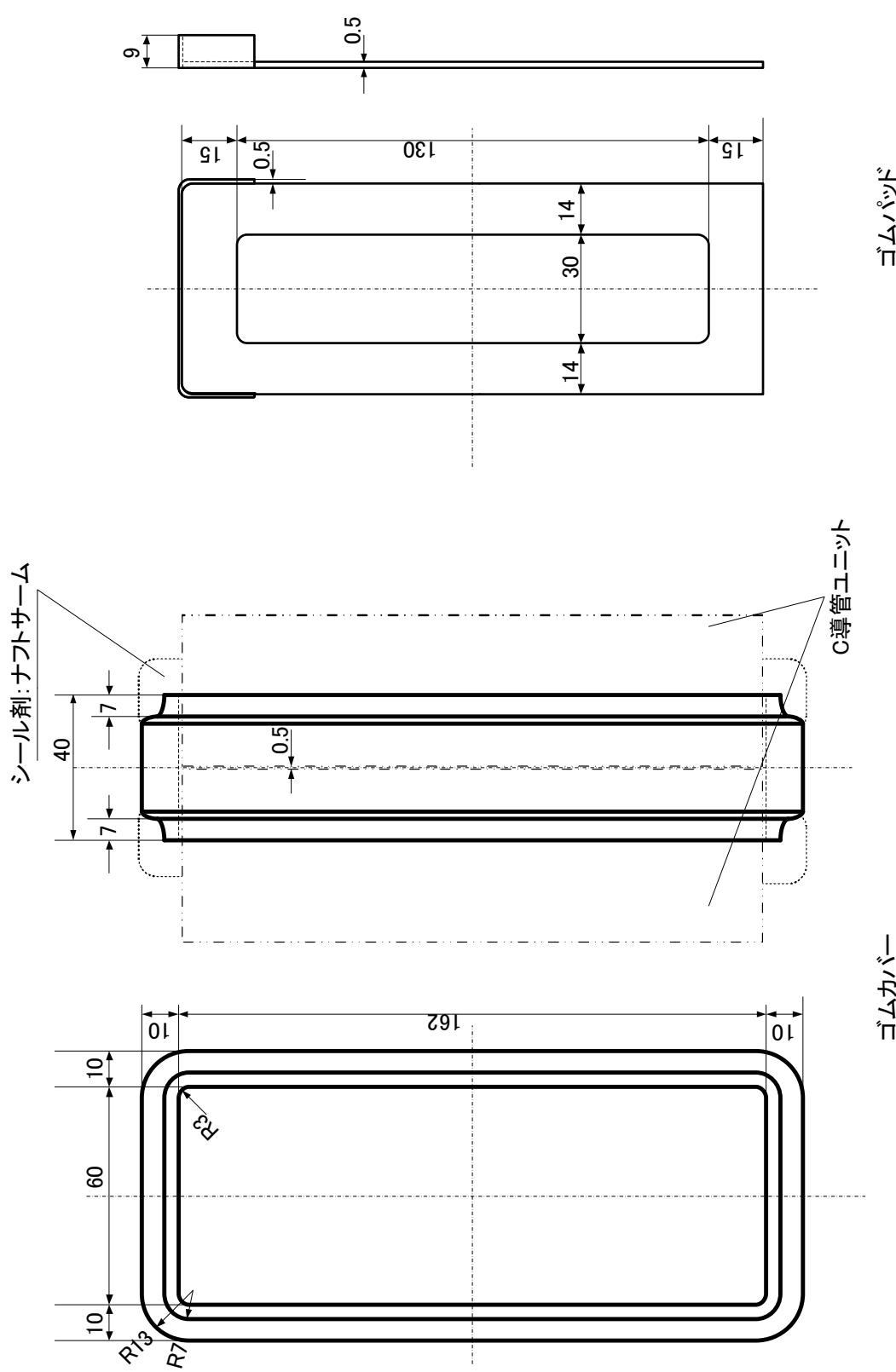


図1 接続金具(冷中性子用A型)

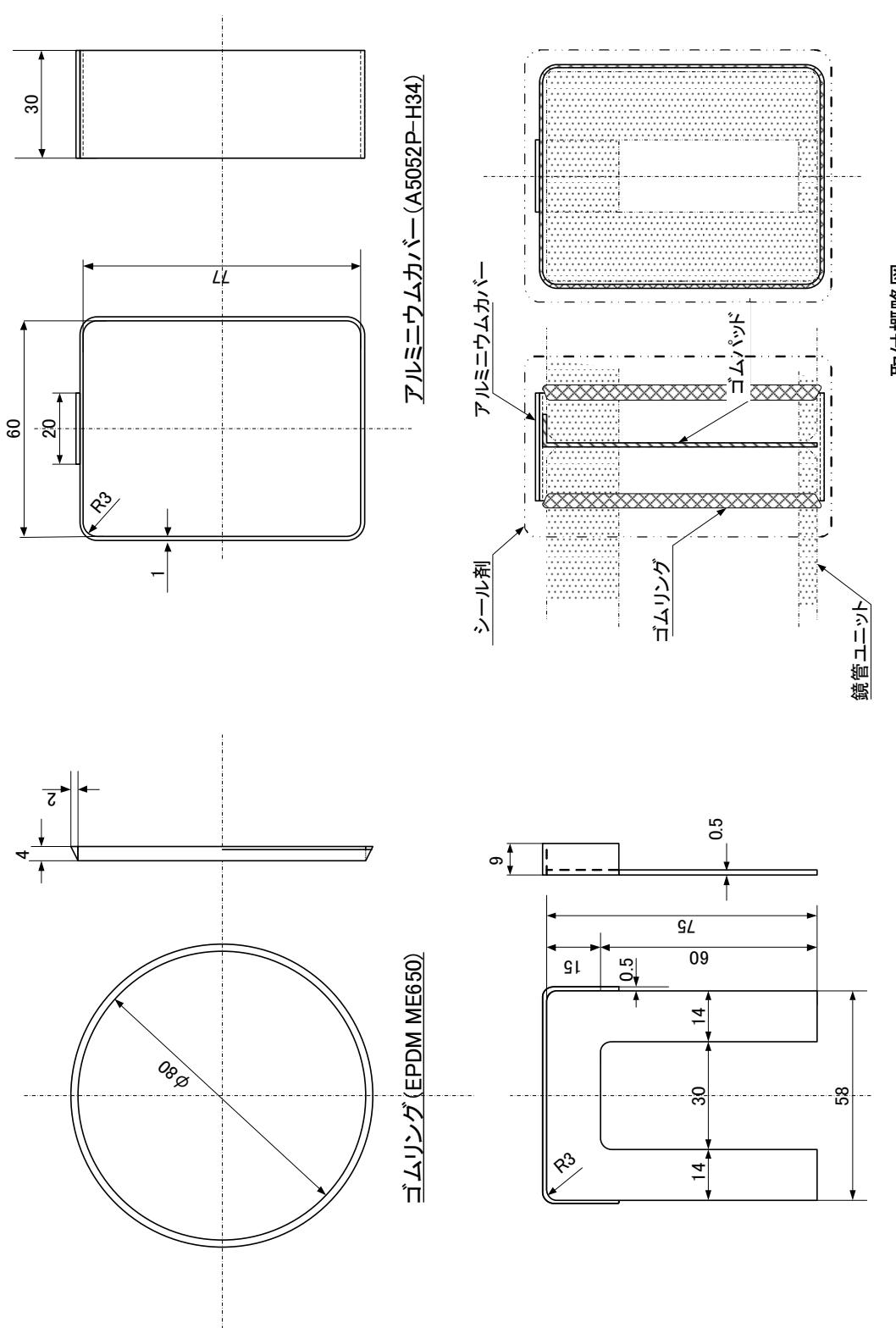


図2 接続金具(冷中性子用C型)

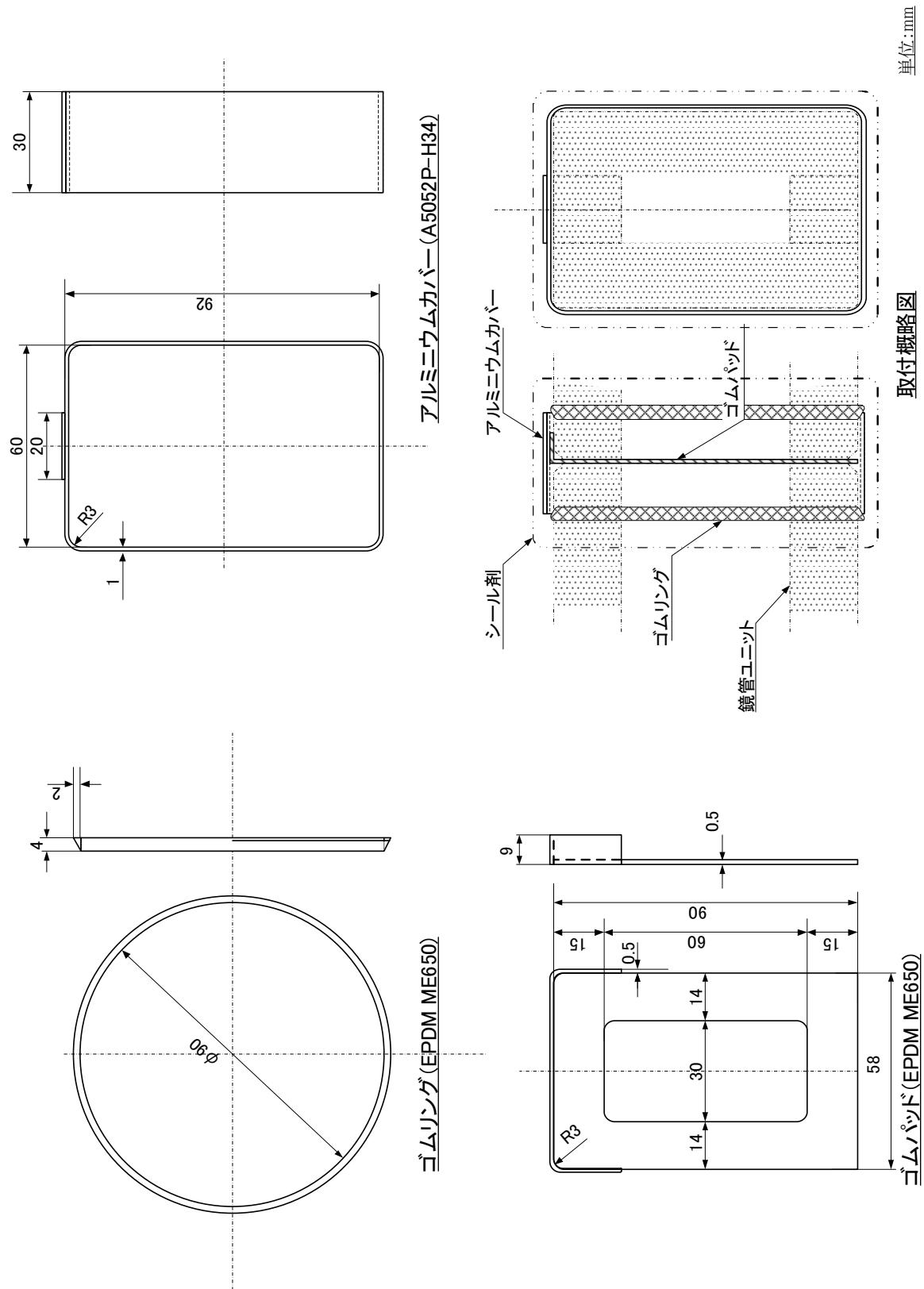
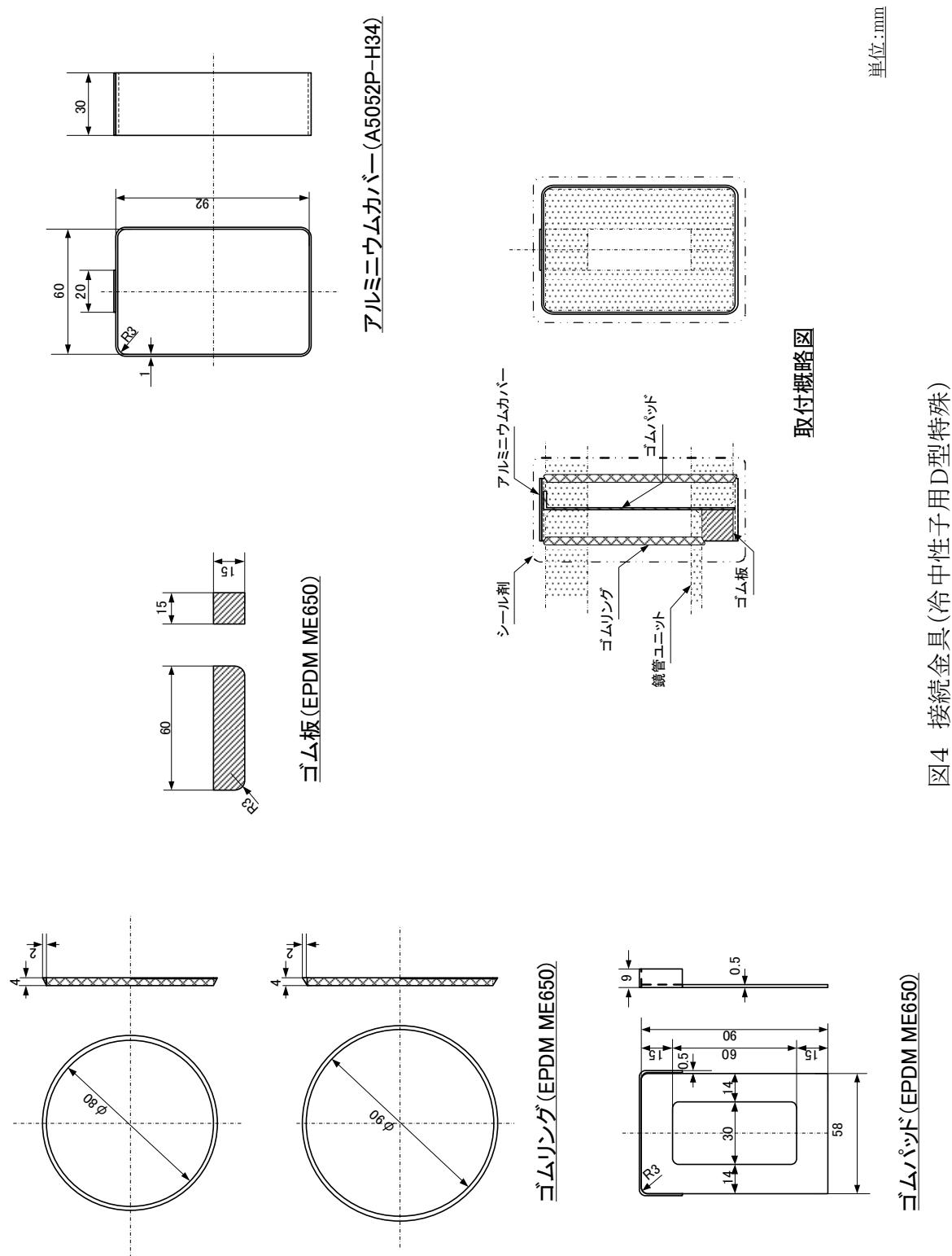


図3 接続金具(冷中性子用D型)



冷中性子導管スーパーミラー更新後の遮へい体部線量当量率測定

1. 概要

JRR-3 冷中性子導管は单層膜ミラーからスーパーミラーに更新される予定である。このことにより冷中性子導管内の中性子束が数倍上昇することが見込まれるため、既存の遮へい体の遮へい能力を確認する必要がある。本要領はスーパーミラー導管更新後の冷中性子導管ラインの遮へい能力の測定方法について記したものである。

2. 線量当量率測定

(1) 目的

原子炉定格出力 20MW、ビームシャッター(8T 及び9C)全開の状態で中性子導管に関連する利用設備周辺の線量当量率を測定する。

(2) 測定方法

線量当量率の測定は、施設放射線管理課の指示助言を仰ぐこととし、サーベイメータ、レムカウンターによる測定とする。

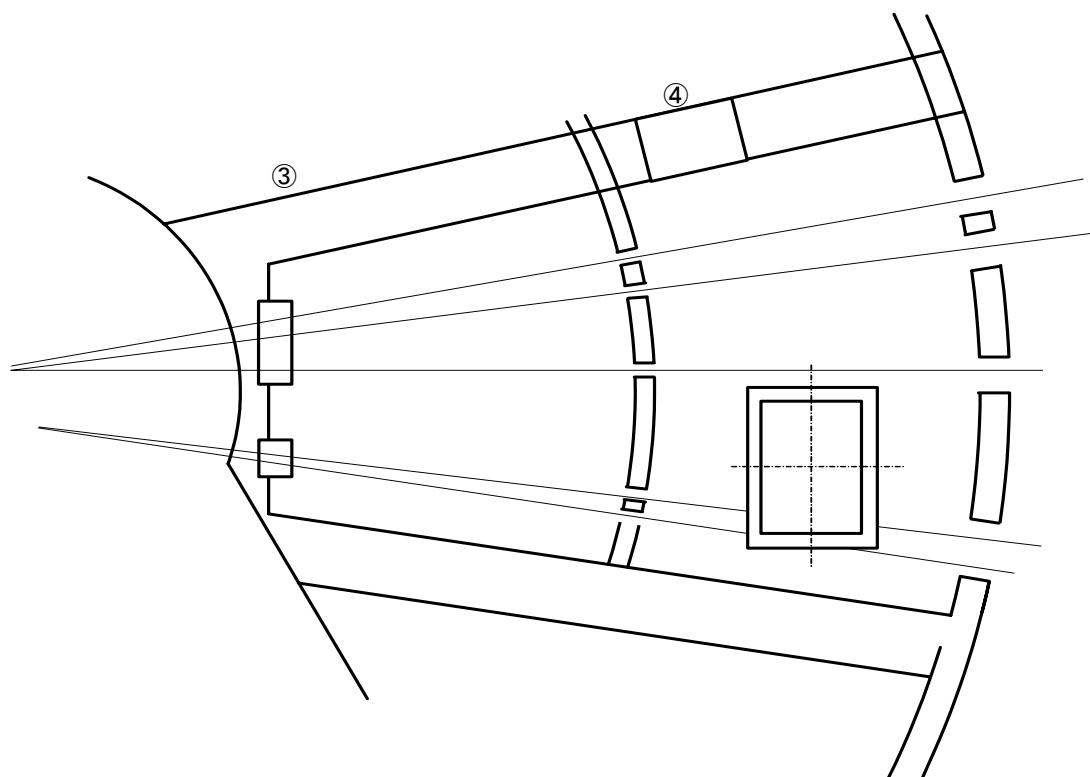
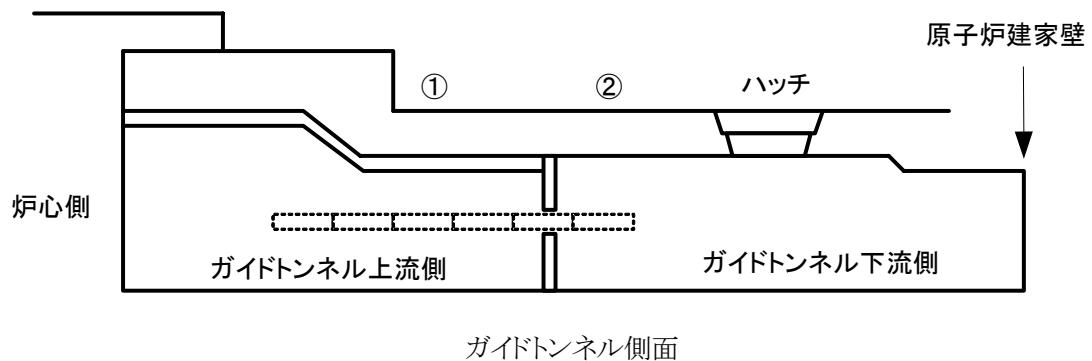
(3) 測定点

測定点は平成2年度に実施した JRR-3M 設置時の特性測定で測定している点と同じ個所とする。床面の測定位置は床面で測定し、壁面の測定位置は床面より約1mの高さとする。

また、特性測定時の測定値を表-1に示す。測定点は図1及び2を参照。

表-1 特性測定時(原子炉出力:20MW)の線量当量率

測定点	測定個所	線量当量率	単位 $\mu\text{Sv}/\text{h}$
①	ガイドトンネル上部表面	-	上段: 中性子線量当量率
		0.6	下段: γ 線量当量率
②		-	
		1.4	
③	ガイドトンネル側面(C 側)	-	
		0.3	
④		0.1	
		0.1	
⑤	導管室側面(9C 側)	-	
		0.1	
⑥	遮へい体外表面(C1 ライン)	-	
		1.2	
⑦	遮へい体外表面(C2 ライン)	-	
		1.2	
⑧	遮へい体外表面(C3 ライン)	-	
		1.0	



ガイドトンネル平面

図1 ガイドトンネルの線量当量率測定点

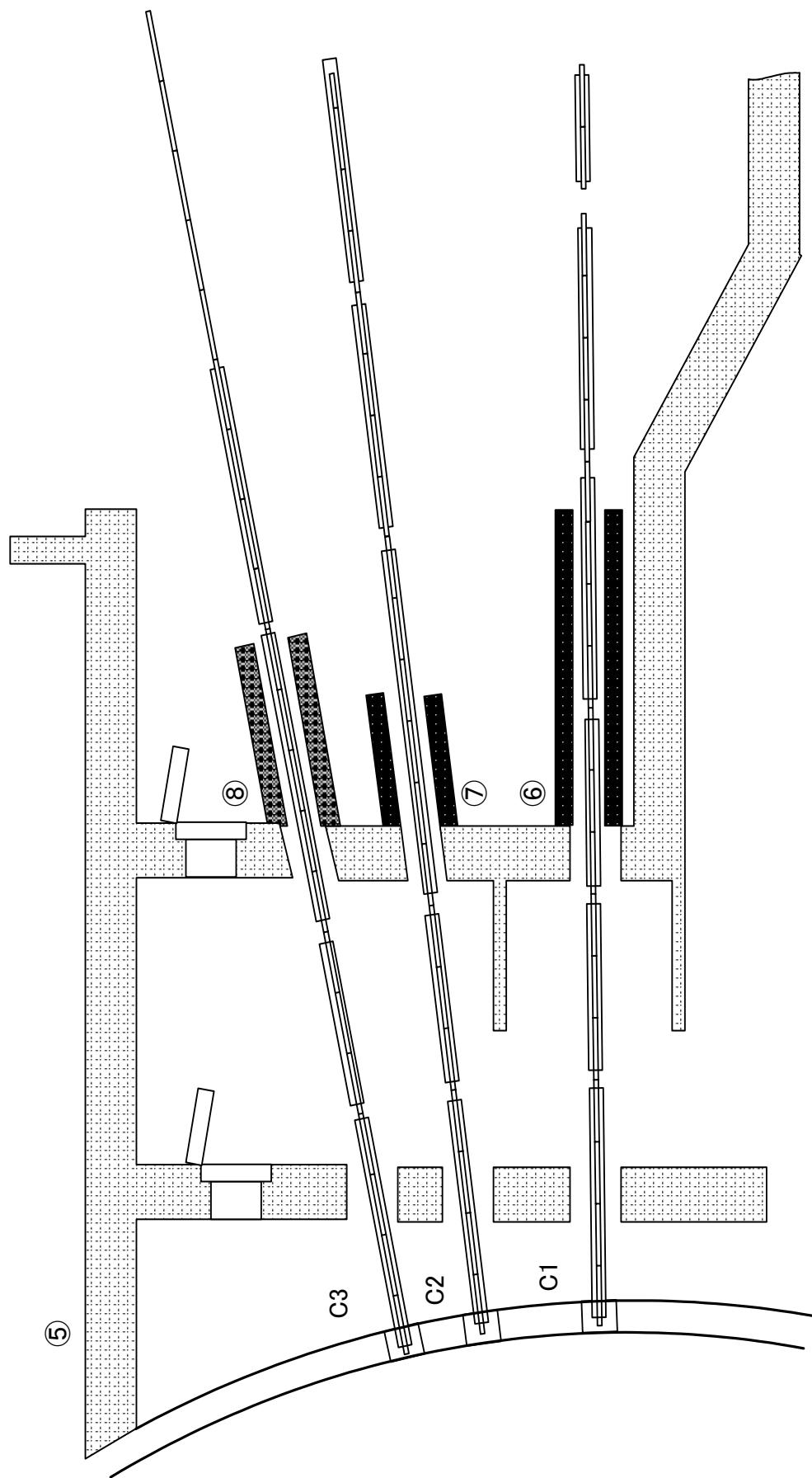
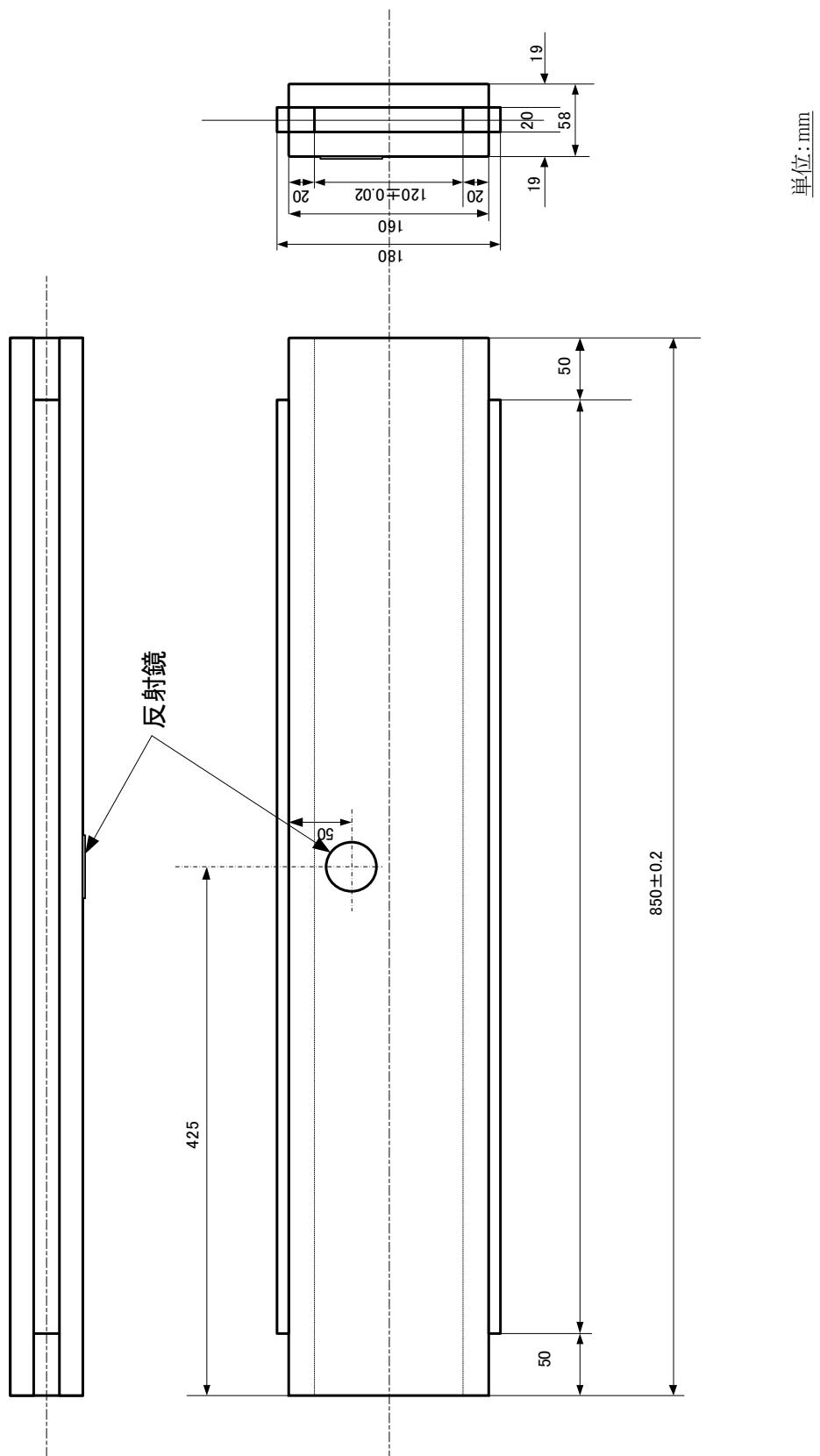


図2 導管室の線量当量率測定点

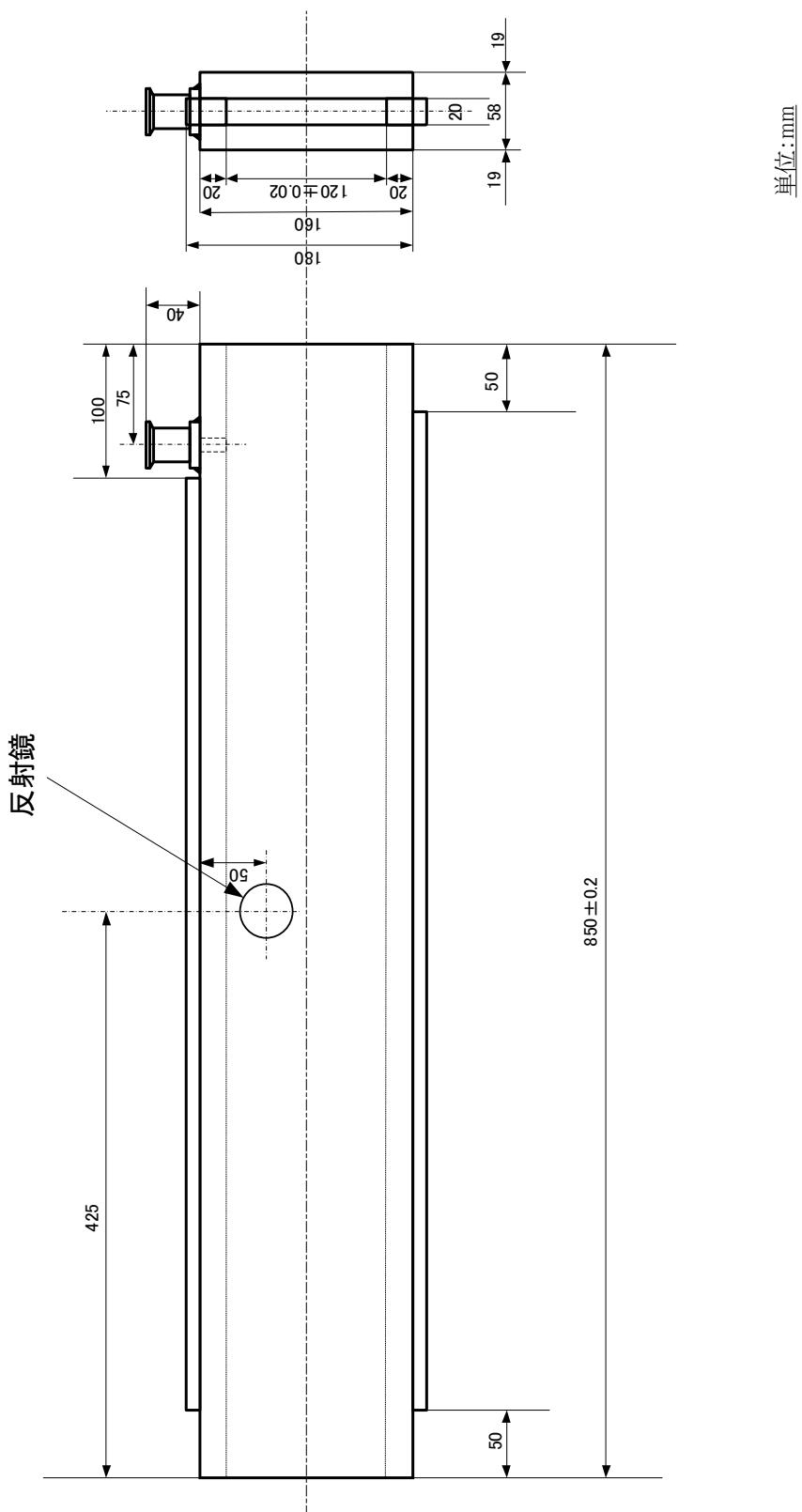
付録(4)

参考図面

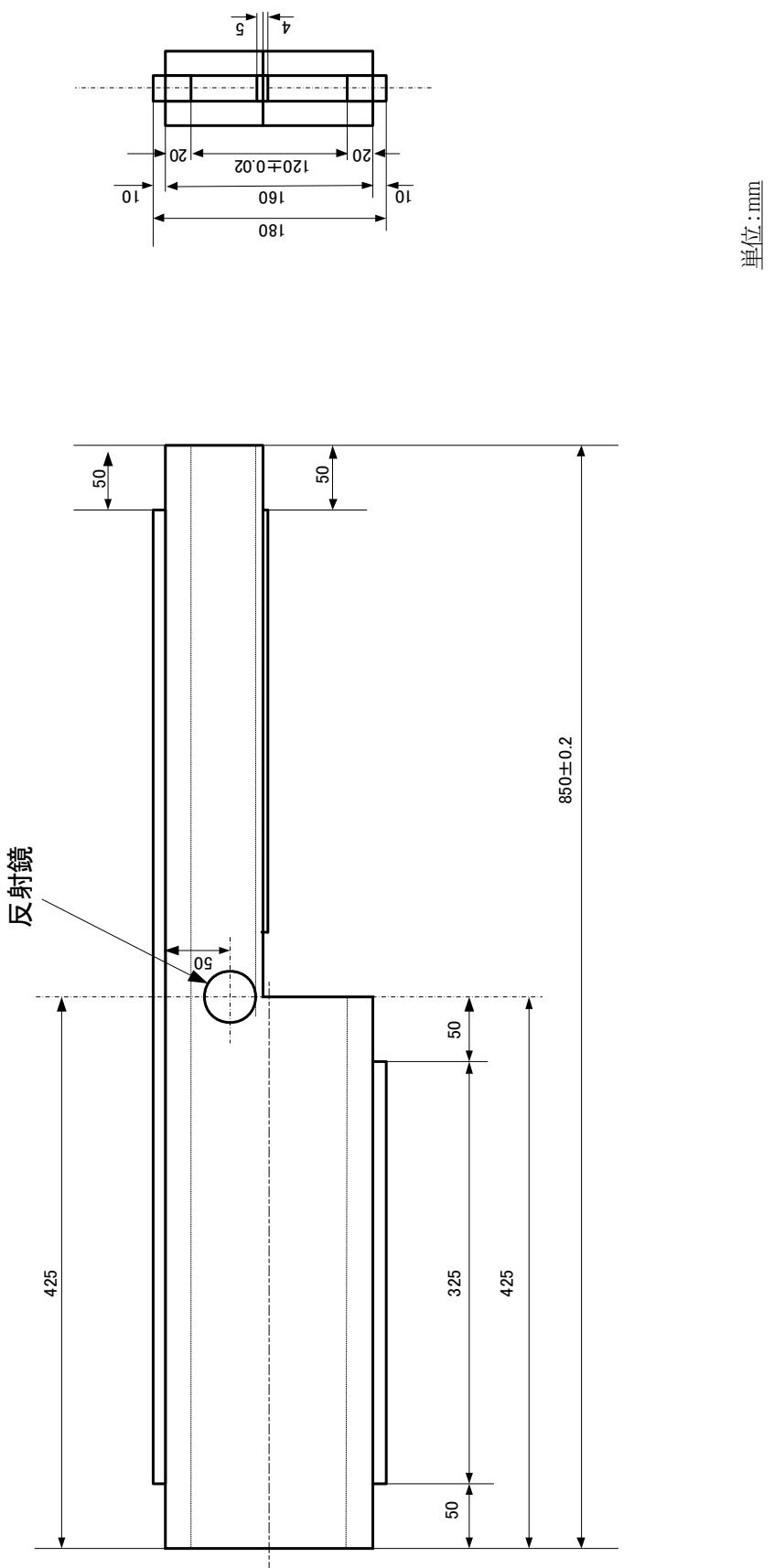
- | | |
|--------|-----------------------|
| 参考図－1 | 冷中性子導管ユニット(CA-1型) |
| 参考図－2 | 冷中性子導管ユニット(CA-2型) |
| 参考図－3 | 冷中性子導管ユニット(CB-1型) |
| 参考図－4 | 冷中性子導管ユニット(CC-1型) |
| 参考図－5 | 冷中性子導管ユニット(CD-1型) |
| 参考図－6 | 冷中性子導管ユニット(CD-2型) |
| 参考図－7 | 冷中性子駆動プラグ内導管ユニット |
| 参考図－8 | 冷中性子固定プラグ内導管ユニット |
| 参考図－9 | 冷中性子導管ユニット端末密封板(A型) |
| 参考図－10 | 冷中性子導管ユニット端末密封板(B型) |
| 参考図－11 | 冷中性子導管ユニット端末密封板(C型) |
| 参考図－12 | 冷中性子導管ユニット端末密封板(D型) |
| 参考図－13 | 冷中性子駆動プラグ内導管ユニット端末密封板 |
| 参考図－14 | 冷中性子駆動プラグケーシング |
| 参考図－15 | 冷中性子固定プラグケーシング |
| 参考図－16 | 冷中性子導管支持調整機構(A型) |
| 参考図－17 | 冷中性子導管支持調整機構(B型) |
| 参考図－18 | 冷中性子導管支持調整機構(C型) |
| 参考図－19 | 冷中性子導管支持調整機構(D型) |



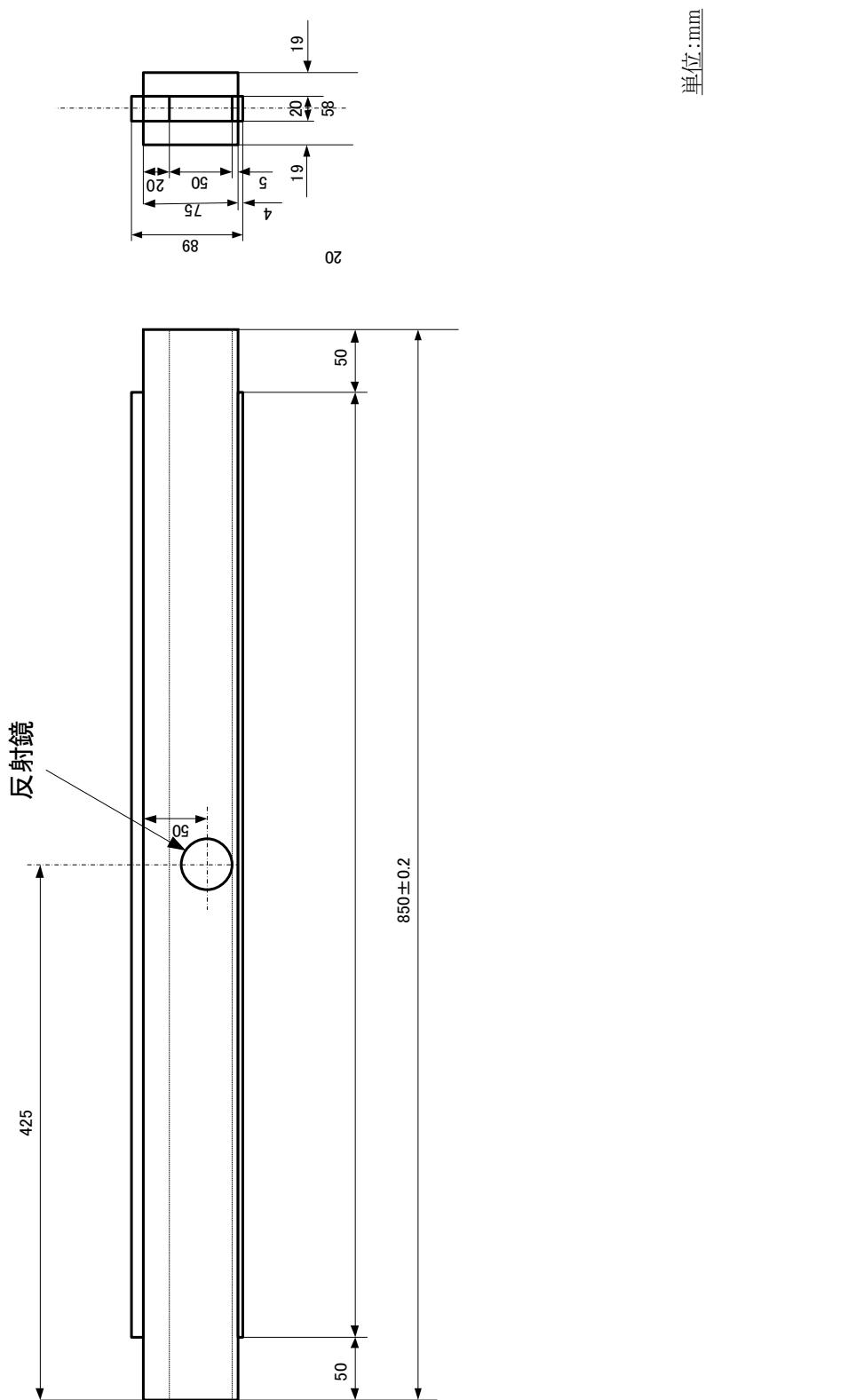
参考図-1 液中性子導管ユニット(CA-1型)



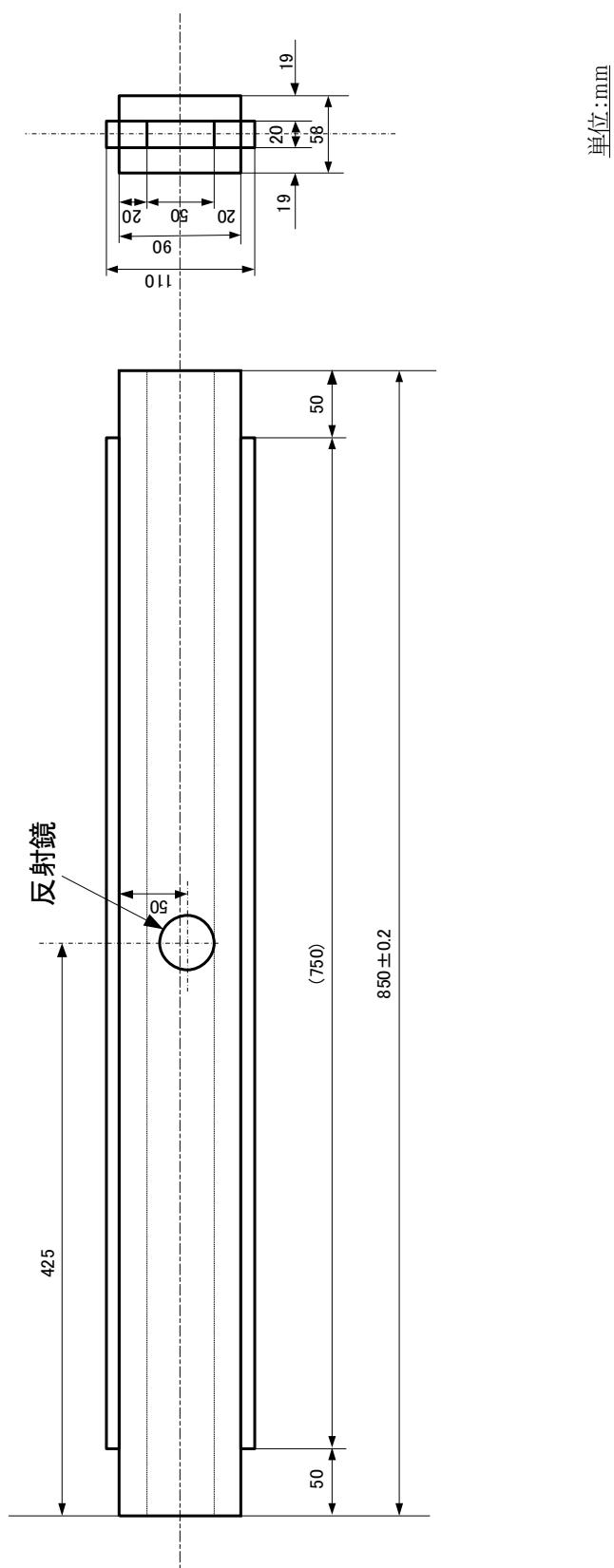
参考図-2 液中性子導管ユニット(CA-2型)



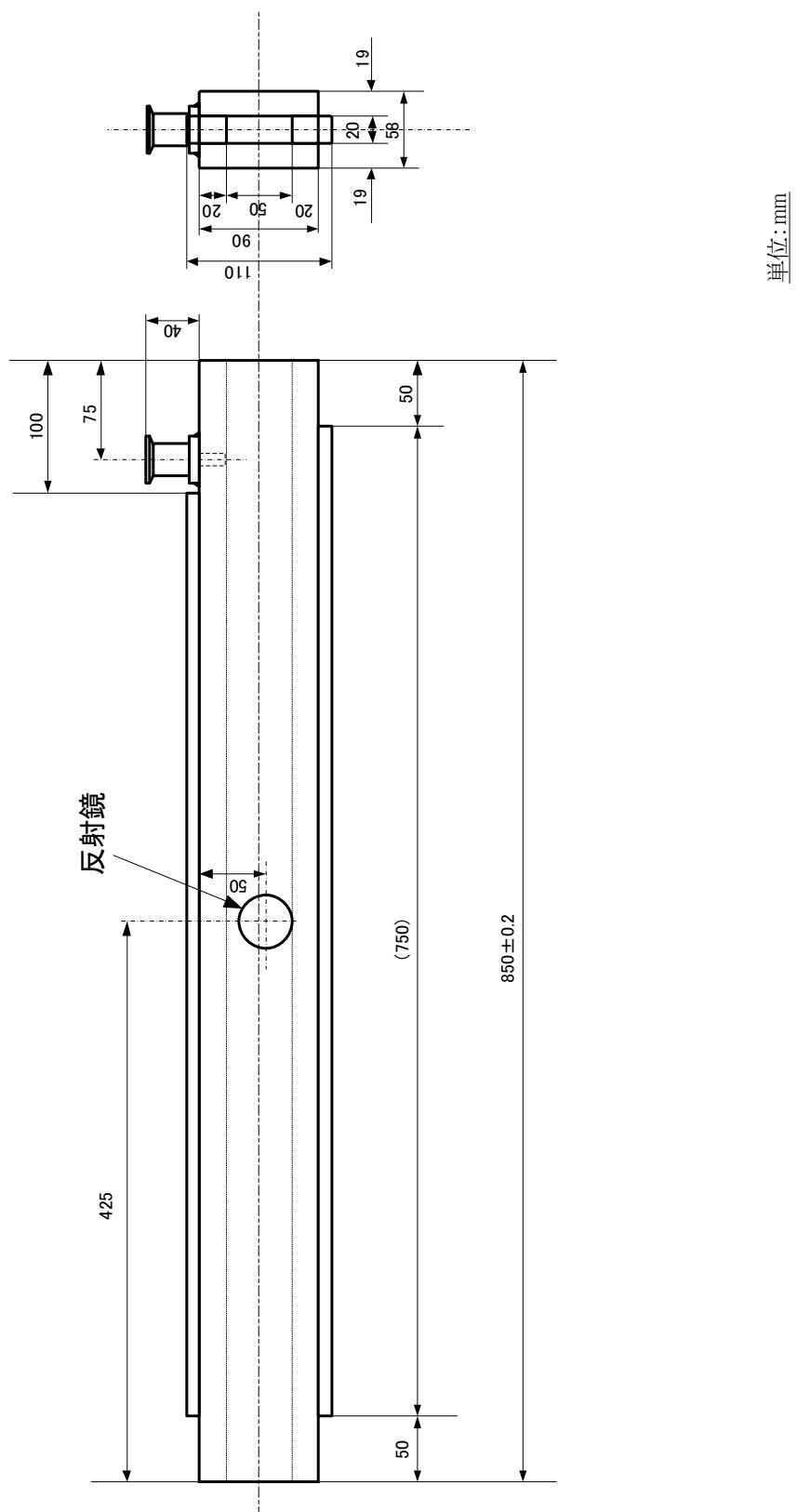
参考図-3 治中性子導管ユニット(CB-1型)



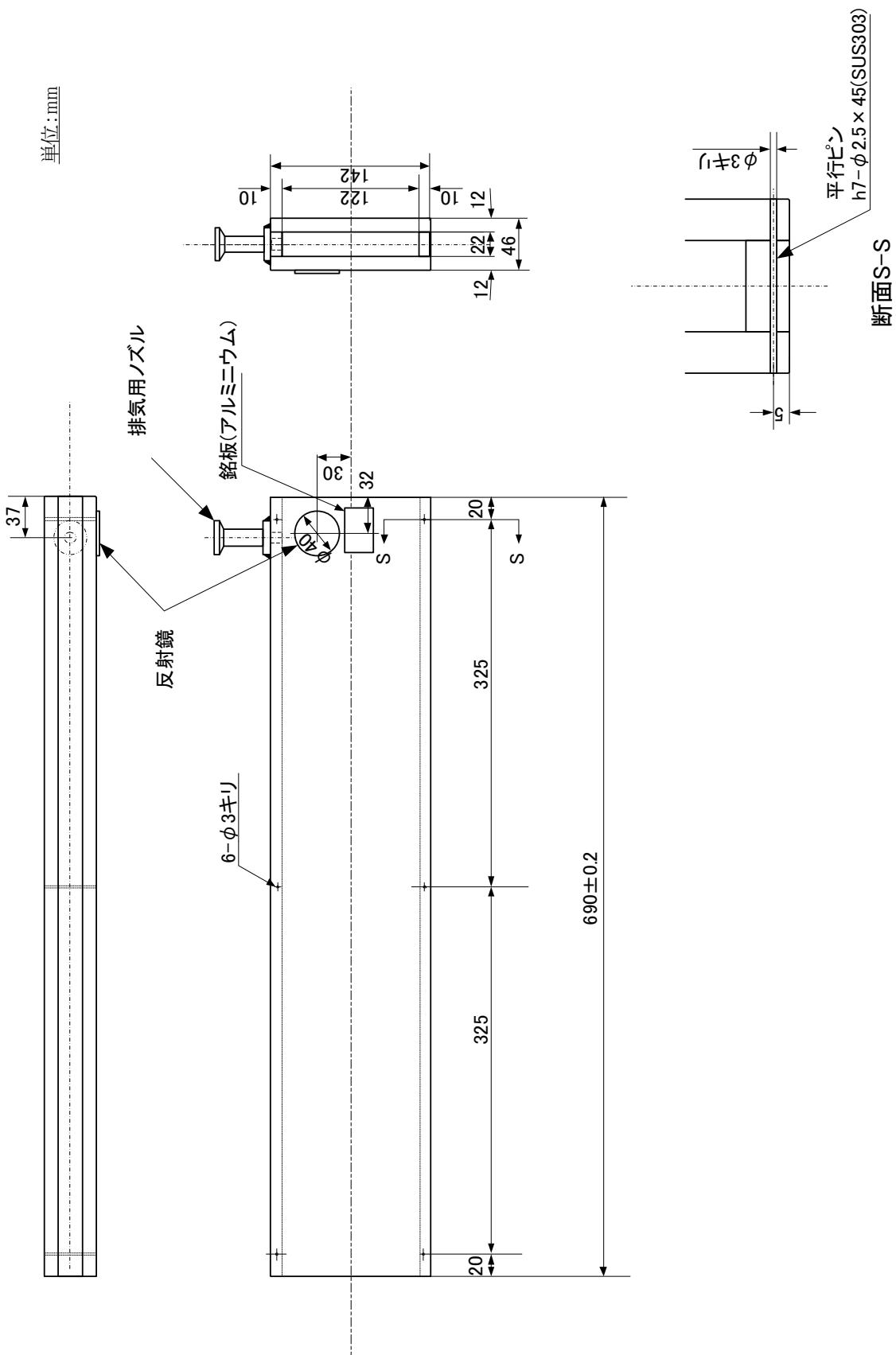
参考図-4 液中性子導管ユニット(CC-1型)



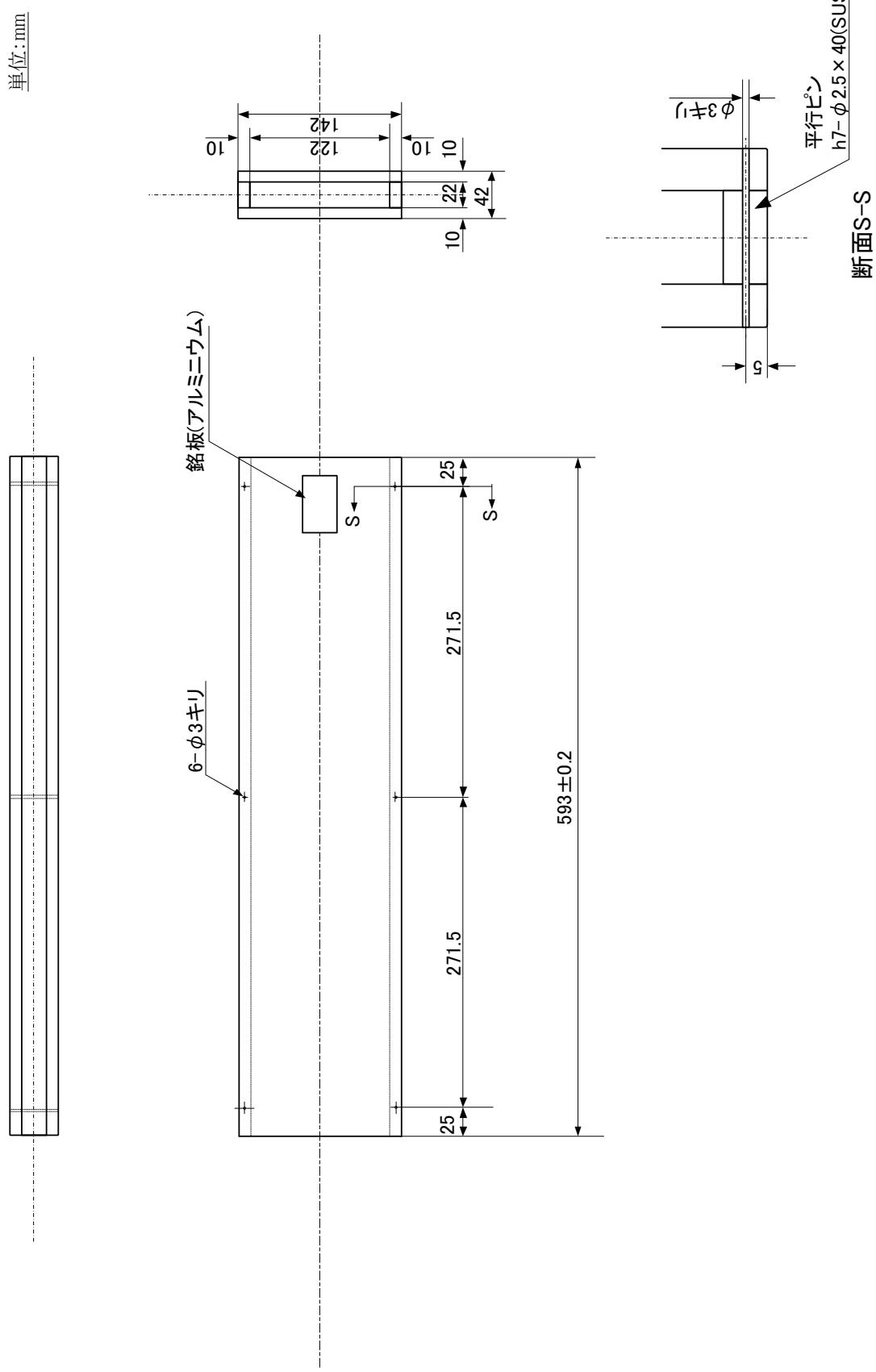
参考図－5 冷中性子導管ユニット(CD-1型)



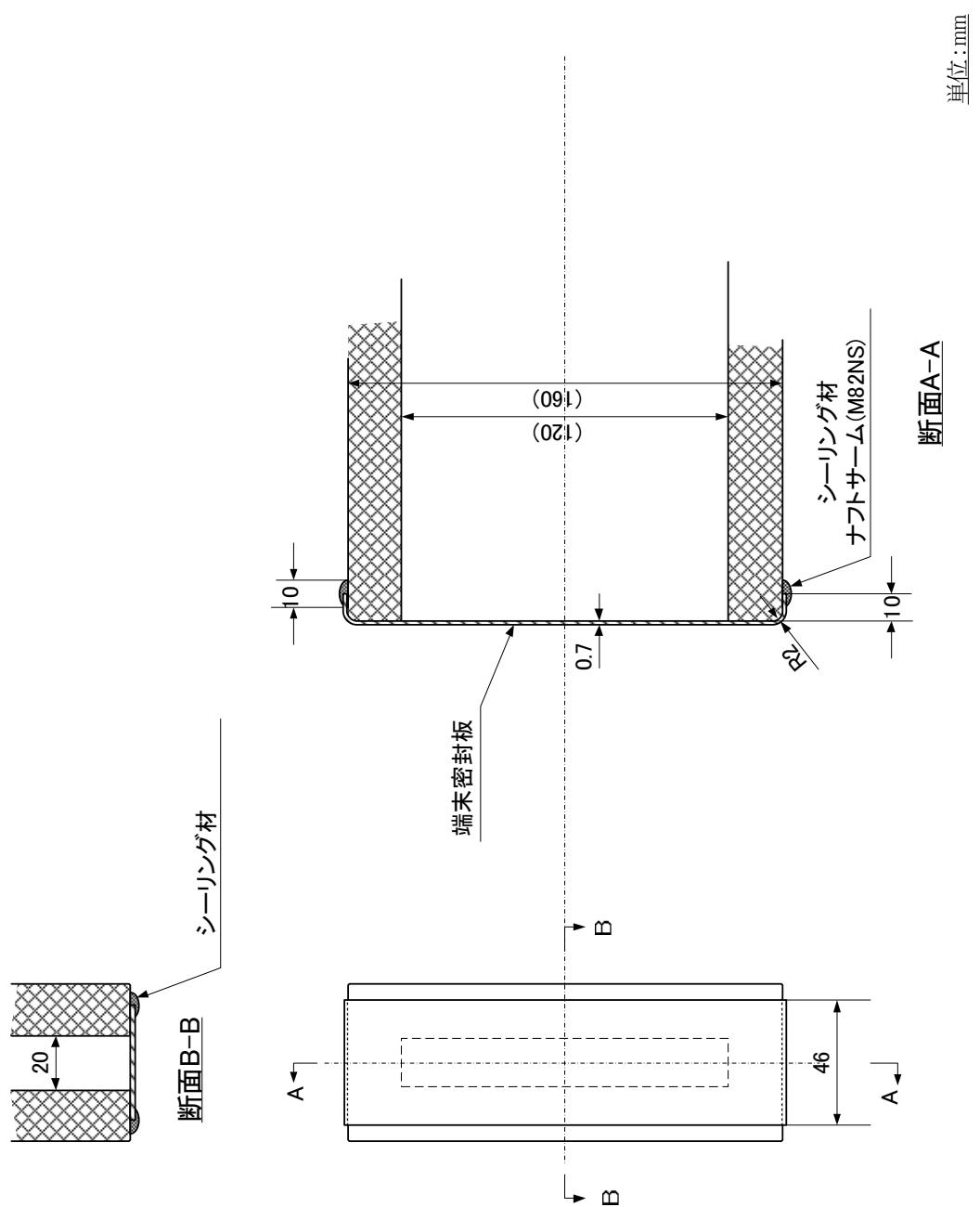
参考図-6 液中性子導管ユニット(CD-2型)



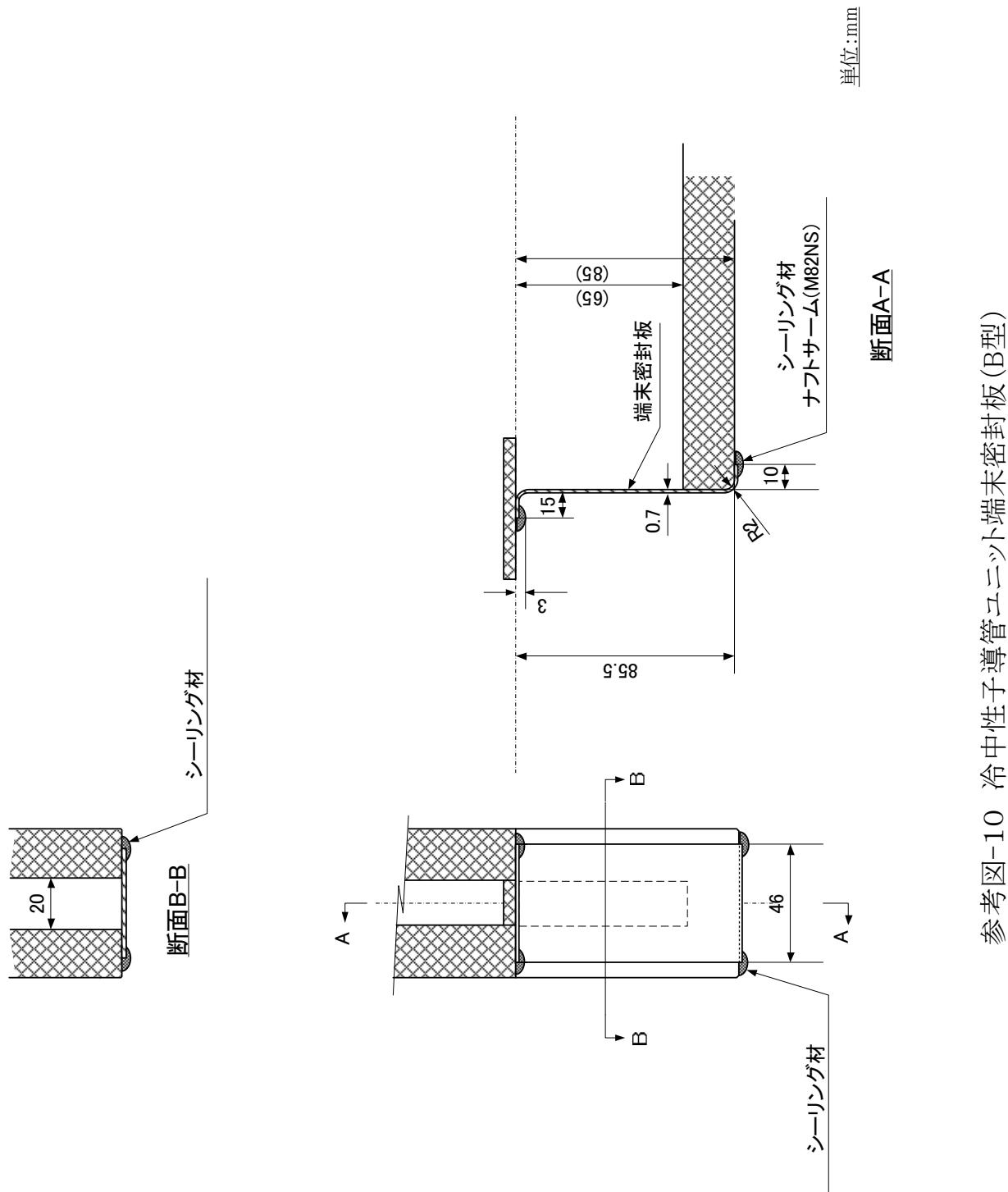
参考図-7 冷中性子駆動プラグ内導管ユニット

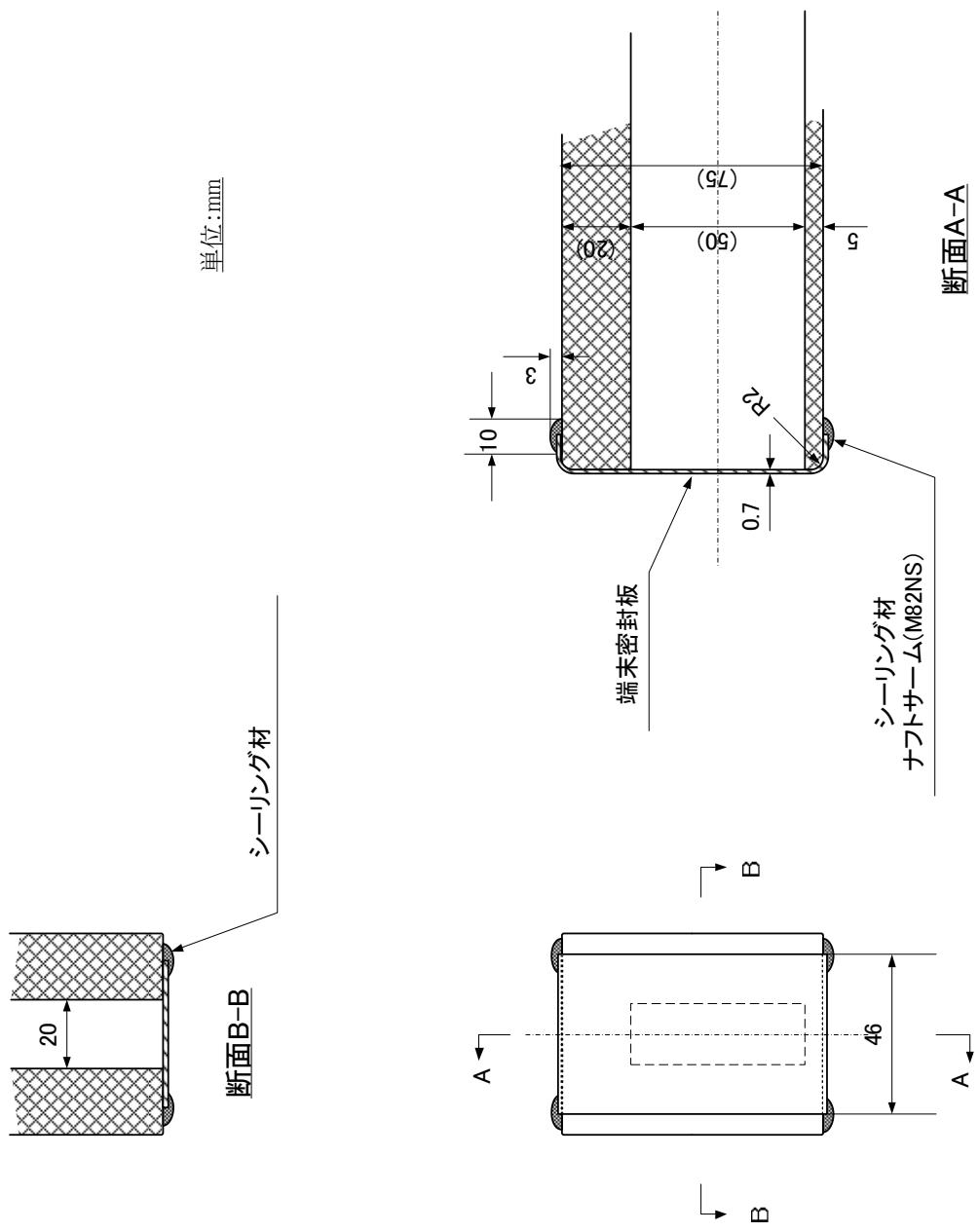


参考図一8 液中性子固定ブレグ内導管ユニット

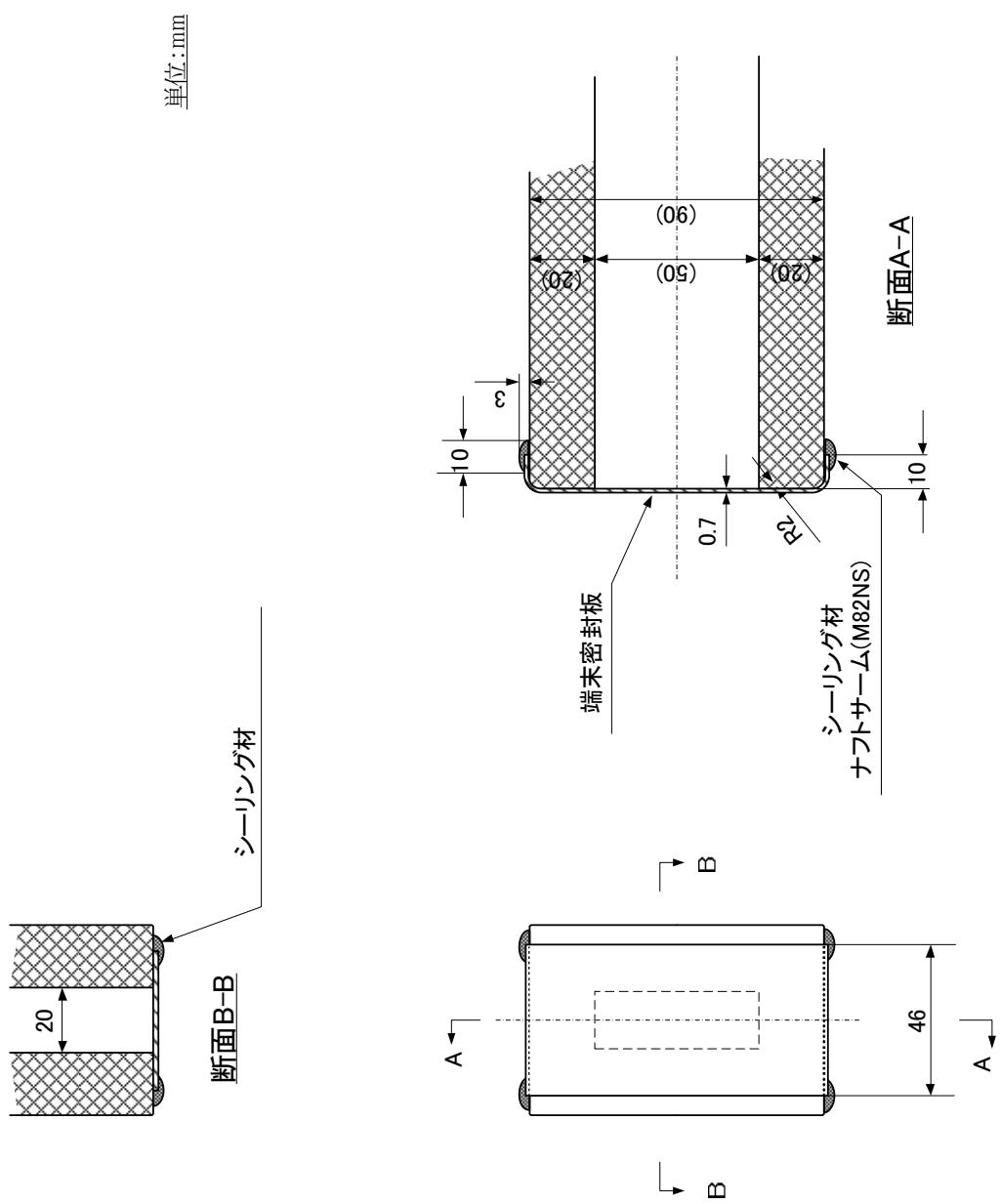


参考図-9 冷中性子導管ユニット端末密封板(A型)

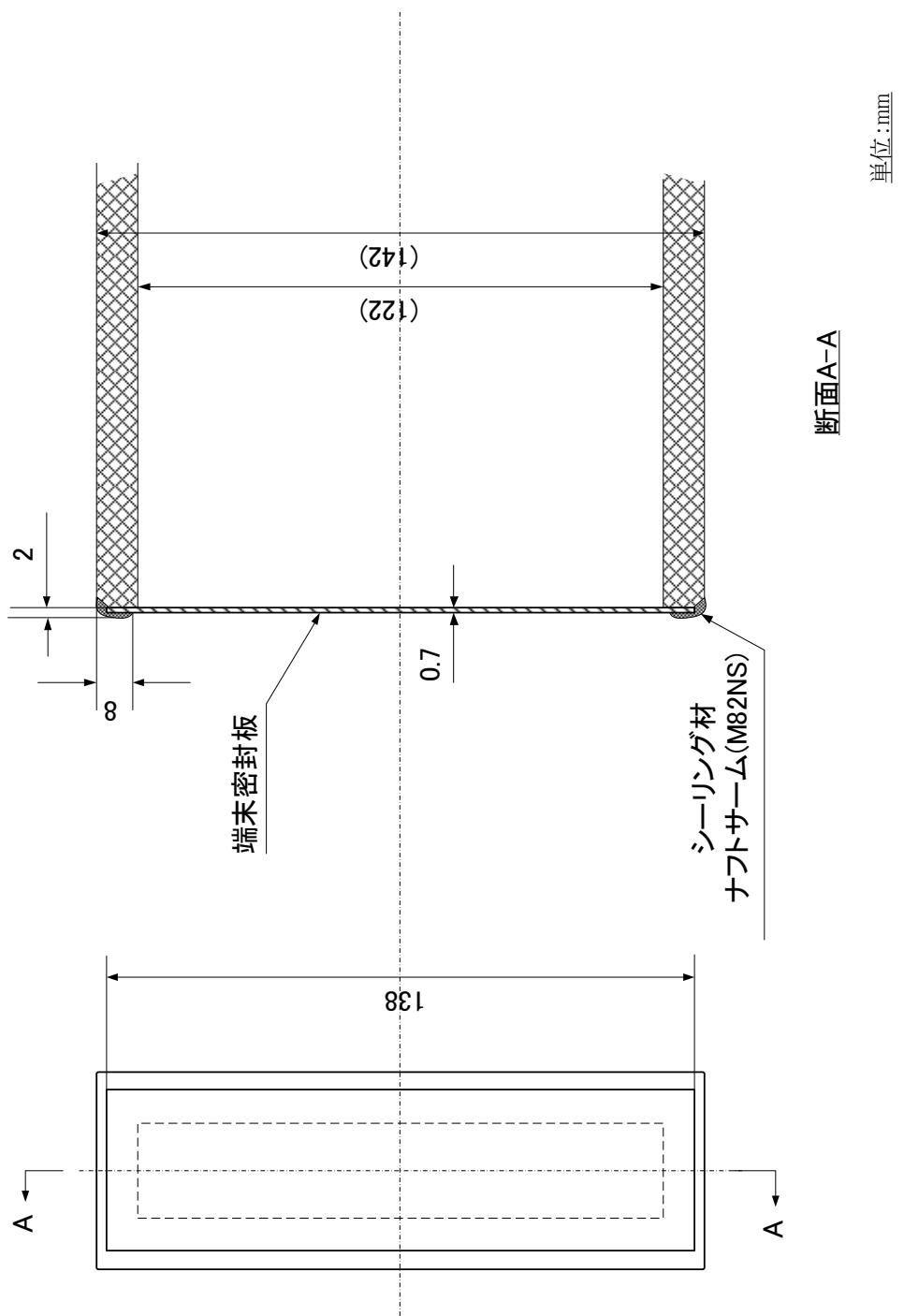




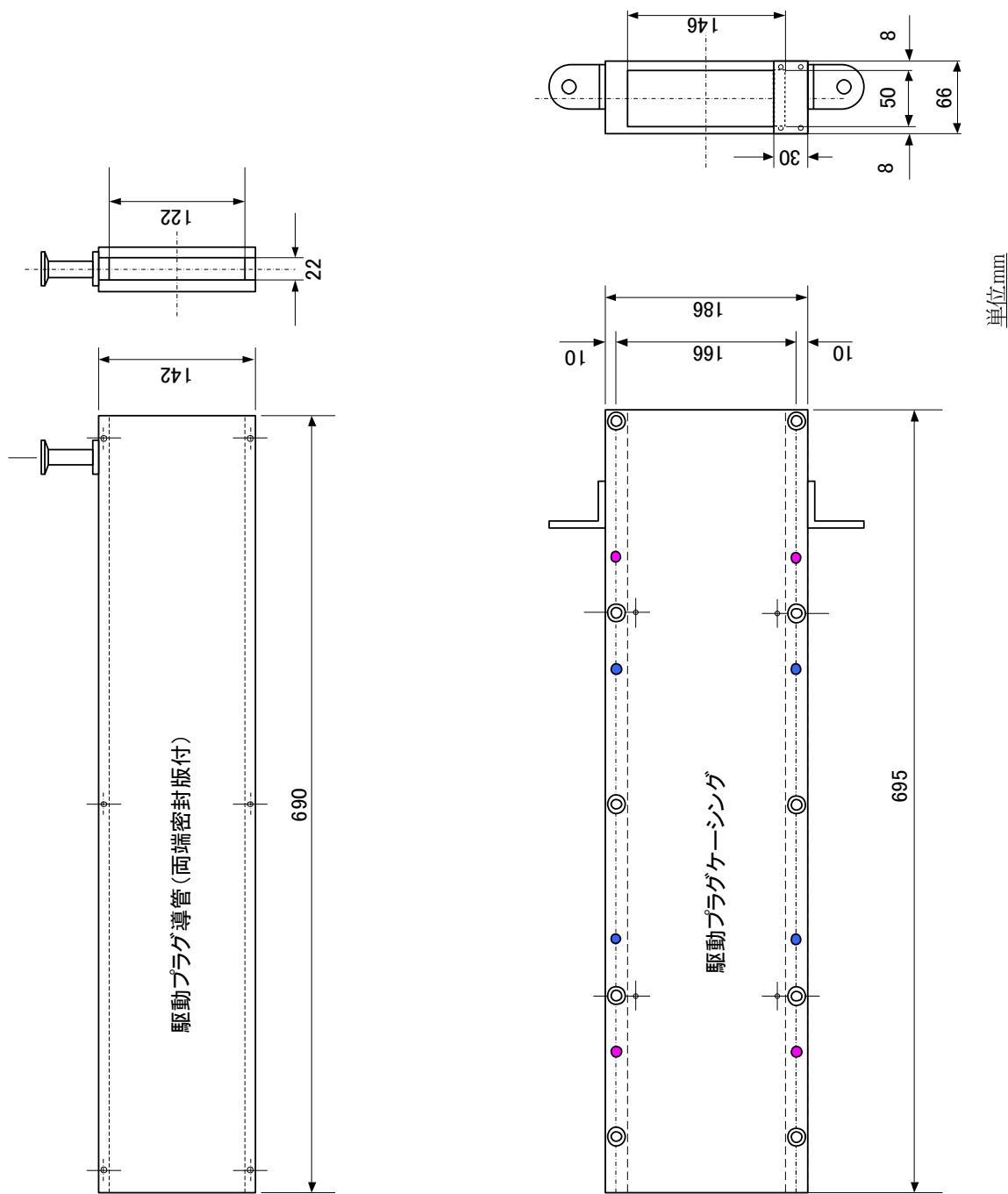
参考図-11 沸中性子導管ユニット端末密封板(C型)



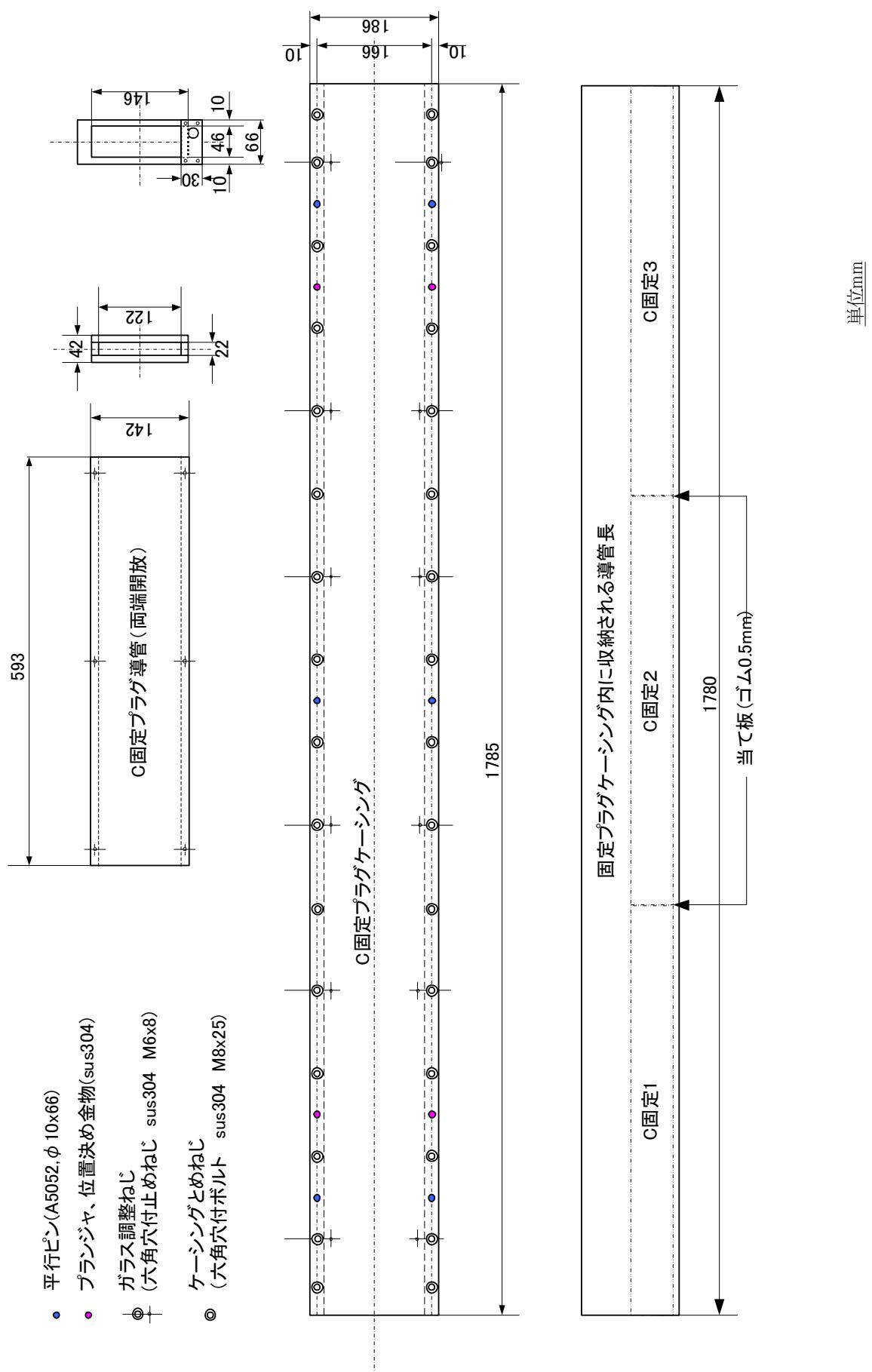
参考図-12 冷中性子導管ユニット端末密封板(D型)



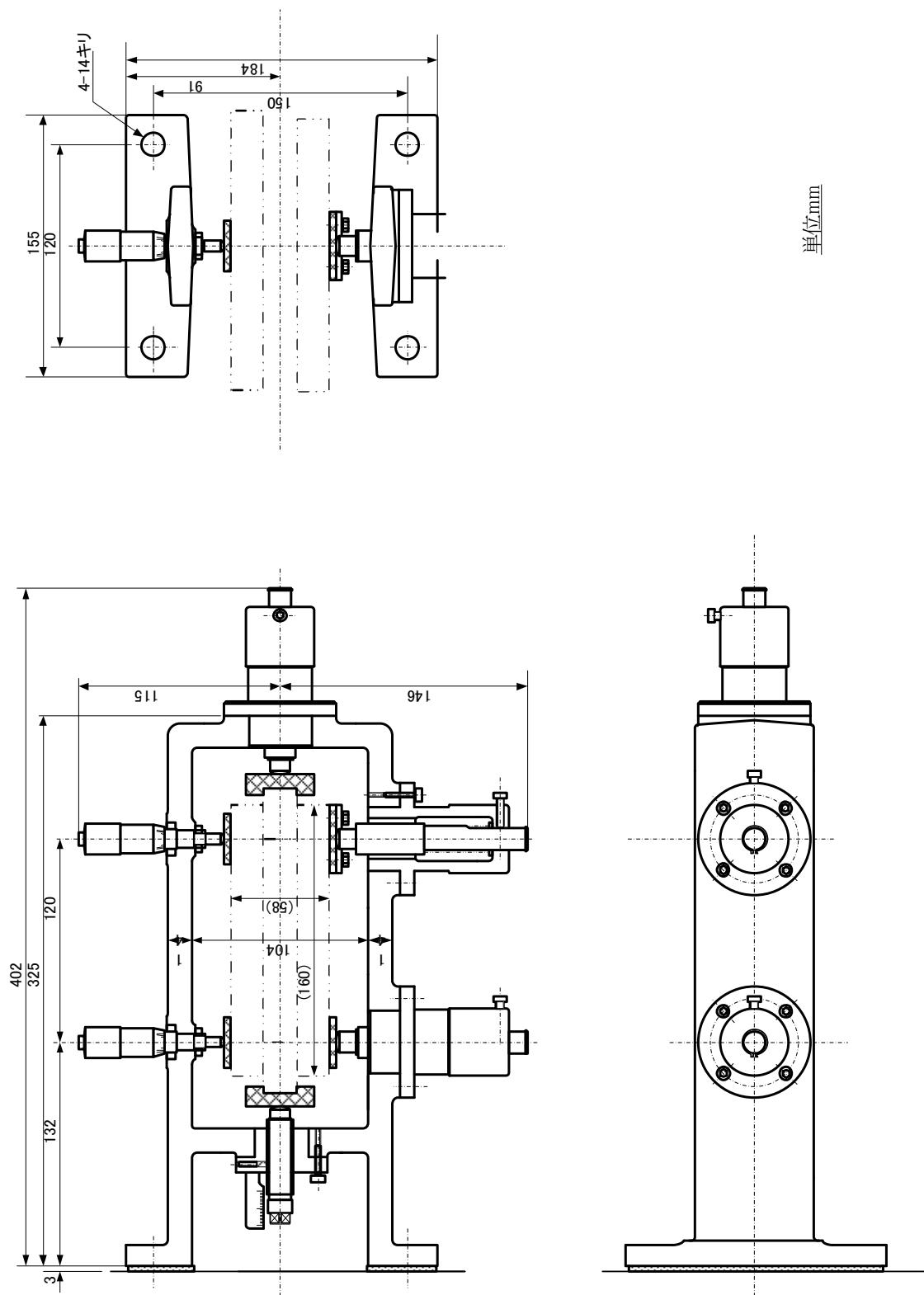
参考図-13 液中性子駆動プラグ内導管ユニット端末密封板



参考図-14 沸中性子駆動プラグケーシング

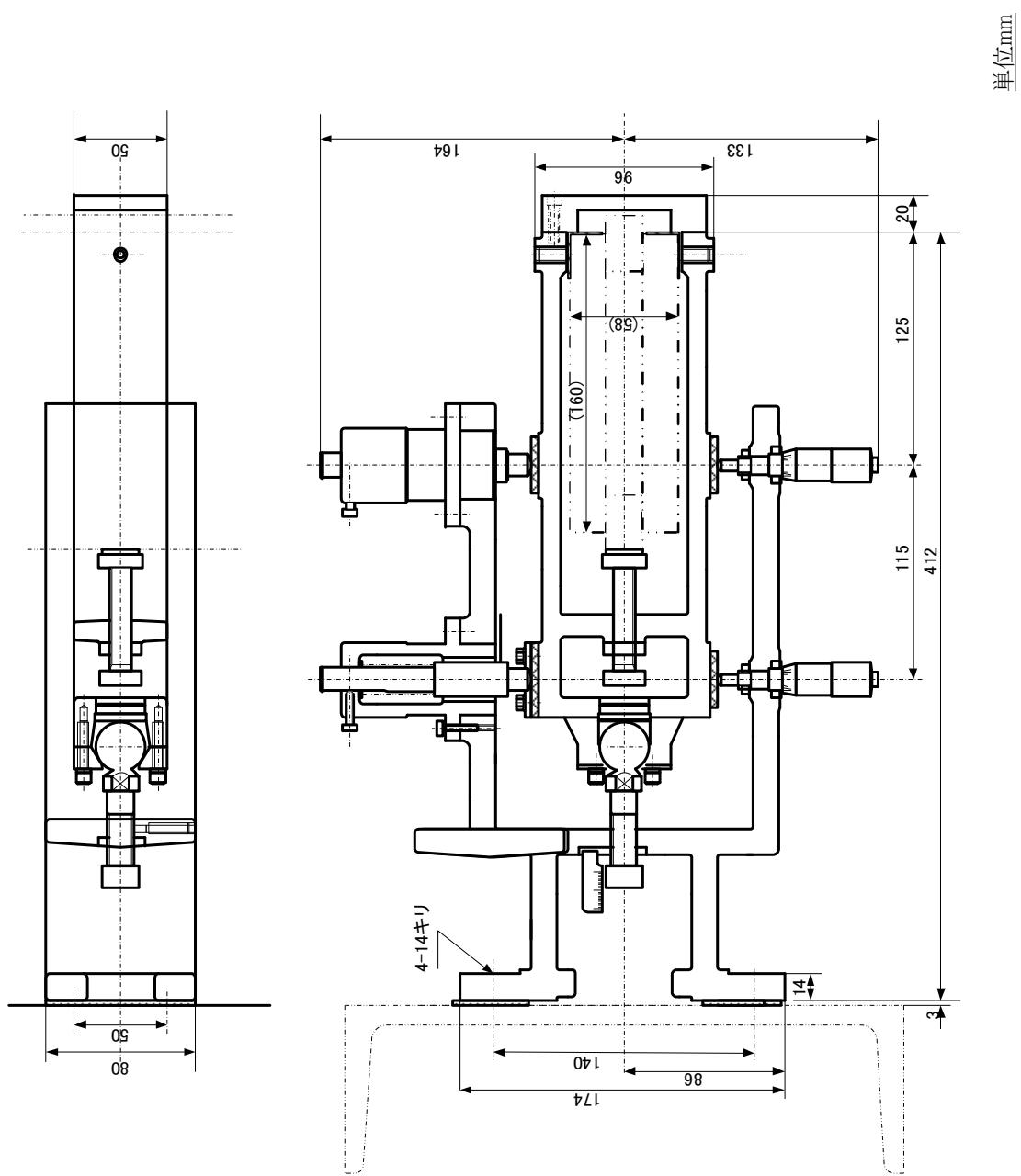


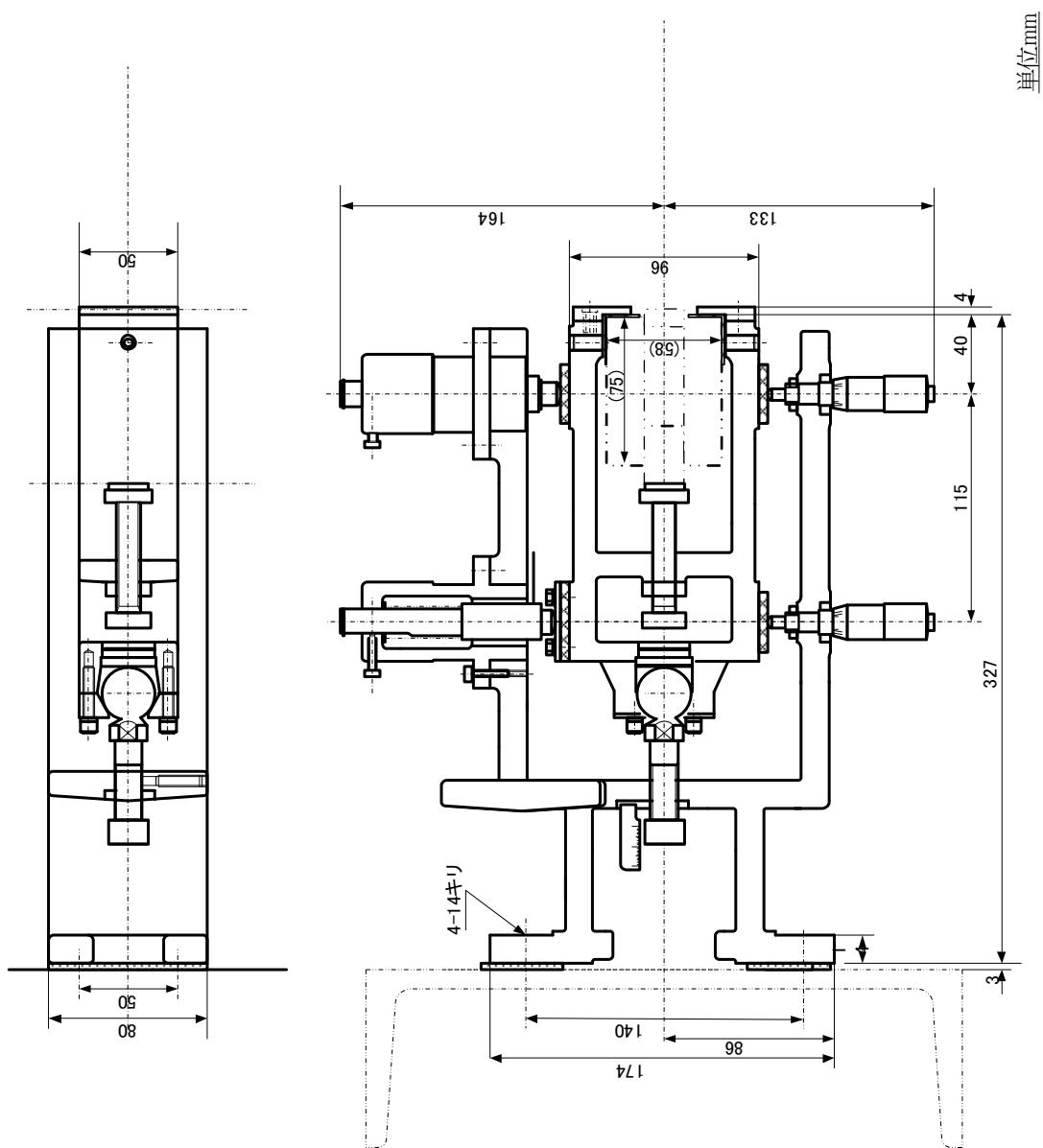
参考図-15 液中性子固定プラグケーシング



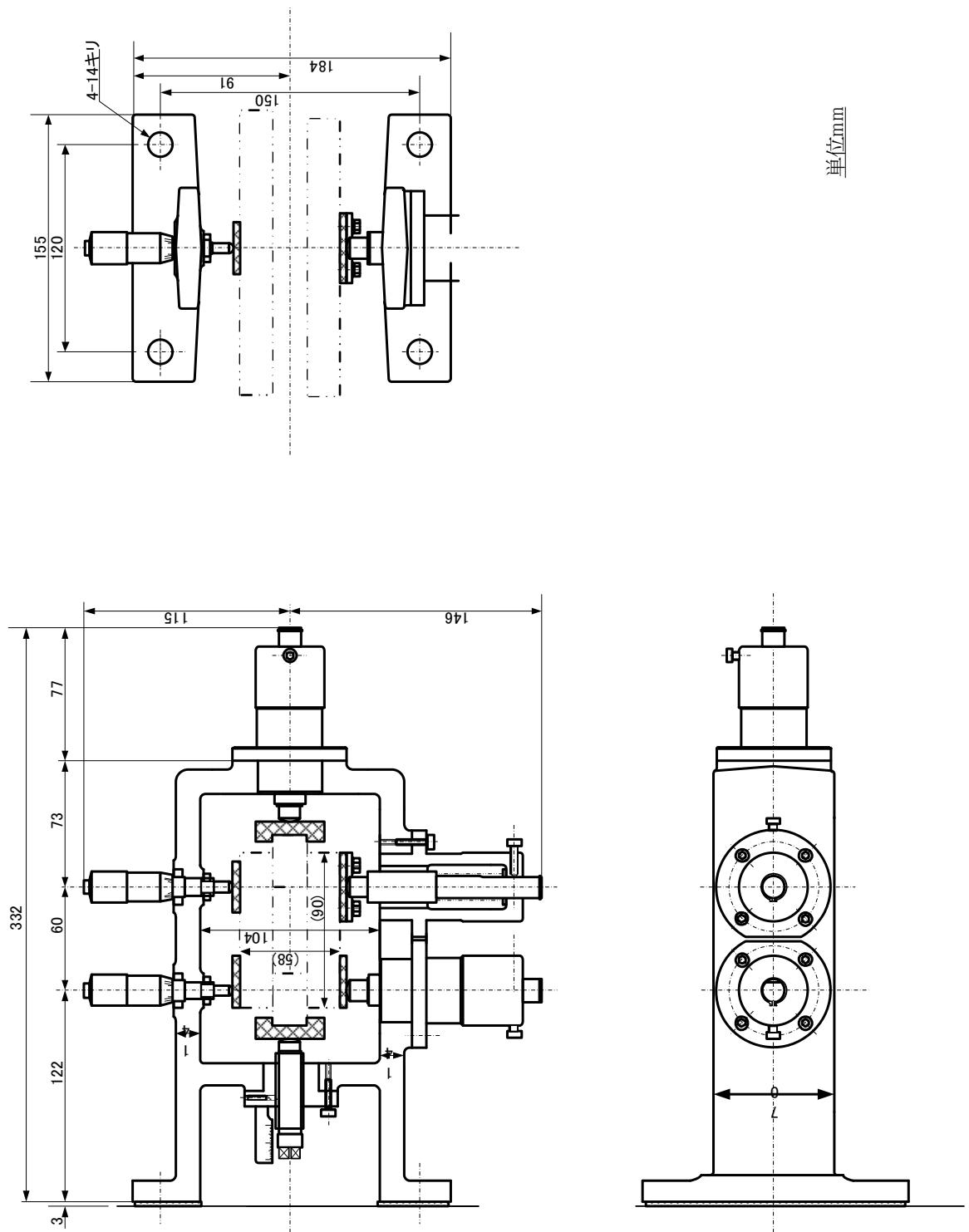
参考図-16 冷中性子導管支持調整機構(A型)

参考図－17 治中性子導管支持調整機構（B型）





参考図-18 涼中性子導管支持調整機構(C型)



参考図-19 冷中性子導管支持調整機構(D型)

国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位

基本量	SI基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m^2
体積	立方メートル	m^3
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s^2
波数	毎メートル	m^{-1}
密度、質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m^3
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m^2
比體積	立方メートル毎キログラム	m^3/kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m^2
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) 、濃度	モル毎立方メートル	mol/m^3
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m^3
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m^2
屈折率 ^(b)	(数字) 1	1
比透磁率 ^(b)	(数字) 1	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) とも呼ばれる。

(b) これらは無次元量あるいは次元¹をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	他のSI単位による表し方
			SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	$1^{(b)}$
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	$1^{(b)}$
波数	ヘルツ ^(d)	Hz	m^2m^2
力	ニュートン	N	s^{-1}
圧力、応力	パスカル	Pa	$m kg s^{-2}$
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	$N m$
仕事を、工率、放射束	ワット	W	$m^2 kg s^{-3}$
電荷、電気量	クーロン	C	$s A$
電位差(電圧)、起電力	ボルト	V	$m^2 kg s^{-3} A^{-1}$
静電容量	ファラド	F	$m^2 kg^{-1} s^4 A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	$m^2 kg s^{-3} A^2$
コンダクタンス	シーメンス	S	$m^2 kg^{-1} s^4 A^2$
磁束密度	テスラ	T	$m^2 kg s^{-2} A^{-1}$
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/m^2
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C	$kg s^{-2} A^{-1}$
光束度	ルーメン	lm	$m^2 kg s^{-2} A^2$
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq	K
吸収線量、比エネルギー分率、カーマ	グレイ	Gy	$cd sr^{(e)}$
線量当量、周辺線量当量、方向性線量当量、個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	lm
酸素活性	カタール	kat	$m^2 s^{-2}$

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもやはヨーロピアンではない。

(b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は表示されない。

(c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。

(d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。

(e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。

(f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で“radioactivity”と記される。

(g) 単位シーベルト (PV,2002,70,205) についてはCIPM勧告(CI-2002)を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	SI基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	$m^{-1} kg s^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	$m^2 kg s^2$
表面張力	ニュートン每メートル	N/m	$kg s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m^{-1} s^{-1} = s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	$m^{-1} s^{-2} = s^{-2}$
熱流密度、放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²	$kg s^{-3}$
熱容量、エンントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2 kg s^{-2} K^{-1}$
比熱容量、比エンントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2 s^{-2} K^{-1}$
比エネルギー	ジュール每キログラム	J/kg	$m^3 s^{-2}$
熱伝導率	ワット每メートル每ケルビン	W/(m K)	$m kg s^{-3} K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール每立方メートル	J/m ³	$m^{-1} kg s^2$
電界の強さ	ボルト每メートル	V/m	$m kg s^3 A^{-1}$
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	$m^3 sA$
表面電荷密度	クーロン毎平方メートル	C/m ²	$m^2 sA$
電束密度、電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	$m^2 sA$
誘電率	ファラード每メートル	F/m	$m^3 kg^{-1} s^2 A^2$
透磁率	ヘンリー每メートル	H/m	$m kg s^2 A^2$
モルエネルギー	ジュール每モル	J/mol	$m^2 kg s^2 mol^{-1}$
モルエントロピー、モル熱容量	ジュール每モル毎ケルビン	J/(mol K)	$m^2 kg s^2 K^{-1} mol^{-1}$
照射線量(X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	$kg^{-1} sA$
吸収線量	グレイ毎秒	Gy/s	$m^2 s^{-3}$
放射強度	ワット每ステラジアン	W/sr	$m^3 m^2 kg s^{-3} = m^2 kg s^{-3}$
放射輝度	ワット每平方メートル每ステラジアン	W/(m ² sr)	$m^2 m^2 kg s^{-3} = kg s^{-3}$
醇素活性濃度	カタール每立方メートル	kat/m ³	$m^{-3} s^{-1} mol$

表5. SI接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10^{-24}	ヨーダ	Y	10^{-1}	デシ	d
10^{-21}	ゼット	Z	10^{-2}	センチ	c
10^{18}	エクサ	E	10^{-3}	ミリ	m
10^{15}	ペタ	P	10^{-6}	マイクロ	μ
10^{12}	テラ	T	10^{-9}	ナノ	n
10^9	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	p
10^6	メガ	M	10^{-15}	フェムト	f
10^3	キロ	k	10^{-18}	アト	a
10^2	ヘクト	h	10^{-21}	ゼット	z
10^1	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1ha=1hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L	1L=1dm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1t=10 ³ kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	$1eV=1.602 176 53(14) \times 10^{-19} J$
ダルトン	Da	$1Da=1.660 538 86(28) \times 10^{-27} kg$
統一原子質量単位	u	$1u=1 Da$
天文単位	ua	$1ua=1.495 978 706 91(6) \times 10^{11} m$

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バー	bar	$1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10^5 Pa$
水銀柱ミリメートル	mmHg	$1 mmHg=133.322 Pa$
オングストローム	Å	$1 Å=0.1 nm=100 pm=10^{-10} m$
海里	M	$1 M=1852 m$
バーン	b	$1 b=100 fm^2=(10^{-12} cm)^2=10^{-28} m^2$
ノット	kn	$1 kn=(1852/3600)m/s$
ネーベル	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベル	B	
デジベル	dB	

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「▲」は対応関係を示すものである。

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エルグ	erg	$1 erg=10^{-7} J$
ダイニン	dyn	$1 dyn=10^{-5} N$
ボアズ	P	$1 P=1 dyn s cm^{-2}=0.1 Pa s$
ストーケス	St	$1 St=1 cm^2 s^{-1}=10^4 m^2 s^{-1}$
スチルブ	sb	$1 sb=1 cd m^{-2}=10^4 cd m^2$
フォント	ph	$1 ph=1 cd sr cm^{-2}=10^4 lx$
ガル	Gal	$1 Gal=1 cm s^{-2}=10^{-2} ms^{-2}$
マックスウェル	Mx	$1 Mx=1 G cm^2=10^8 Wb$
ガウス	G	$1 G=1 Mx cm^2=10^4 T$
エルステッド	Oe	$1 Oe \triangleq (10^3/4\pi)n A m^{-1}$

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「▲」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリ	Ci	$1 Ci=3.7 \times 10^{10} Bq$
レントゲン	R	$1 R=2.58 \times 10^4 C/kg$
ラド	rad	$1 rad=1 cGy=10^2 Gy$
レム	rem	$1 rem=1 cSv=10^{-2} Sv$
ガンマ	γ	$1 \gamma=1 nT=10^{-9} T$
フェルミ	fm	$1 \text{フェルミ}=1 fm=10^{-15} m$
メートル系カラット		$1 \text{メートル系カラット}=200 mg=2 \times 10^{-4} kg$
トル	Torr	$1 Torr=(101 325/760) Pa$
標準大気圧	atm	$1 atm=101 325 Pa$
カロリ	cal	$1 cal=4.1858 J \left(15^\circ C\right) \text{カロリー}, 4.1868 J \left(17^\circ C\right) \text{カロリー}$
ミクロ	μ	$1 \mu=1 \mu m=10^{-6} m$

