



JRR-3起動系中性子検出器交換手順の検討 (交換マニュアル)

Review of Procedure for Exchanging Neutron Detector in JRR-3 Start-up Channels
(Exchanging and Testing Manual)

太田 和則 車田 修 仁尾 大資 宇野 裕基
村山 洋二

Kazunori OTA, Osamu KURUMADA, Daisuke NIO, Yuki UNO
and Yoji MURAYAMA

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

August 2011

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 起動系中性子検出器交換手順の検討（交換マニュアル）

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
太田 和則、車田 修、仁尾 大資、宇野 裕基、村山 洋二

（2011年 5月 27日受理）

起動系は起動時及び低出力時の中性子束を監視するものである。中性子検出器の交換計画に基づき、起動系の中性子検出器（BF₃）、それに接続されている同軸ケーブル及び乾燥空気供給用エアホースの交換作業を行っている。これまでの経験を基に効率的な交換手順について検討を行うとともに交換作業及び試験検査マニュアルとして整理した。このことにより確実な保守が可能となると考えている。

JAEA-Testing 2011-004

Review of Procedure for Exchanging Neutron Detector in JRR-3 Start-up Channels
(Exchanging and Testing Manual)

Kazunori OTA, Osamu KURUMADA, Daisuke NIO, Yuki UNO

and Yoji MURAYAMA

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 May 27 , 2011)

The JRR-3 start-up channels, used for monitoring neutron flux during the start-up procedure, are exchanged periodically. The exchange procedure was reviewed and improved to the JRR-3 start-up channels exchanging manual. Following the manual, exchanging work would be carried out adequately.

Keywords : Research Reactor, JRR-3, Start-up Channels, Neutron Detector, Manual

目次

1. はじめに	1
2. 中性子計装設備起動系の概要	2
3. BF ₃ 比例計数管の概要	3
3.1 BF ₃ 比例計数管の構造	3
3.2 BF ₃ 比例計数管の動作原理	4
3.3 BF ₃ 比例計数管の仕様	4
4. BF ₃ 比例計数管交換方法の検討	5
4.1 検出器の接続方法	5
4.2 検出器接続箇所の確認方法	5
5. BF ₃ 比例計数管の交換作業手順	5
5.1 安全管理及び放射線管理等	5
5.2 作業手順	6
6. 交換作業後試験検査	15
6.1 検査前条件	15
6.2 検査手順	15
6.3 評価方法及び判定基準	15
6.3.1 評価方法	15
6.3.2 判定基準	15
6.4 試験検査記録	16
謝辞	30
参考文献	30
付録	31

Contents

1.	Introduction	1
2.	Start-up Channel of JRR-3	2
3.	BF ₃ Proportional Counter	3
3.1	Structure of BF ₃ Proportional Counter	3
3.2	Principle of BF ₃ Proportional Counter	4
3.3	Specification of BF ₃ Proportional Counter for JRR-3	4
4.	Review of BF ₃ Proportional Counter exchange method	5
4.1	Connection method of Detector and Cable	5
4.2	Confirmation method of Connection Part	5
5.	Procedure of Exchanging Work for BF ₃ Proportional Counter	5
5.1	Safety Management and Radiation Management etc	5
5.2	Procedure of Exchanging Work	6
6.	Inspection after Exchanging Work	15
6.1	Requirement before Inspection	15
6.2	Procedure of Inspection	15
6.3	Evaluation method and Criteria	15
6.3.1	Evaluation Method	15
6.3.2	Criteria for Judgment	15
6.4	Record for Inspection	16
	Acknowledgements	30
	Reference	30
	Appendix	31

1. はじめに

起動系は原子炉の起動時及び低出力時の中性子束を監視するものである。中性子検出器の交換計画に基づき交換作業を行ってきた。これまでの経験をもとに新たに交換手順マニュアルを作成した。また交換作業で最も重要である検出器、コネクタ及び同軸ケーブルの接続に関して、半田付けの健全性確認として一般的には X 線による非破壊検査や導通測定検査が実施されているが、本作業では新たに静電容量測定検査を追加し、従来のパルス波形及びノイズ波形確認と併せて半田付けの健全性を確認した。また、技術が継承できるように工程毎に写真及び映像に記録し、作業報告書や試験検査記録にまとめた。これらのことにより確実な保守が可能となり、今後の JRR-3 独自で行う保守における品質向上が図られた。

本マニュアルは、中性子検出器交換作業及び試験検査を実施するために定めたものである。

2. 中性子計装設備起動系の概要

JRR-3 は、低濃縮ウラン軽水減速冷却プール型原子炉である。平成 2 年 11 月から最大熱出力 20MW で施設共同利用運転を開始し、設置された各種の利用設備は高い中性子束を利用者に提供している。また、冷中性子が利用できることも大きな特徴となっており、主に熱・冷中性子を用いたビーム実験、放射化分析、半導体用シリコン照射及びラジオアイソトープの製造に利用されている。

JRR-3 の中性子計装設備は計測制御系（起動系、線形出力系）及び安全保護系（対数出力炉周期系、安全系）で構成され、原子炉の停止状態から定格出力までの中性子束を連続して測定し、原子炉の運転制御及び安全保護動作に必要な情報を得ている。

起動系は、低出力時の中性子束を監視するものであり、中性子検出器（BF₃ 比例計数管）、中性子検出器駆動装置、前置増幅器、増幅器ディスクリミネータ、計数率計等から構成されている。図 1 に起動系系統図を示す。系統は独立及び多重化されており、A 系、B 系の 2 チャンネルから構成されている。電動の中性子検出器駆動装置により、原子炉プールのガイドチューブ内に設置している昇降部、可とう管(5 本)及び収納管（中性子検出器を収納している）が昇降することで、中性子検出器は引抜き及び挿入される。中性子検出器への高圧電源供給は、増幅器/ディスクリミネータ、プリアンプを継由して動作電圧 1700V（最大 2300V）が印加される。

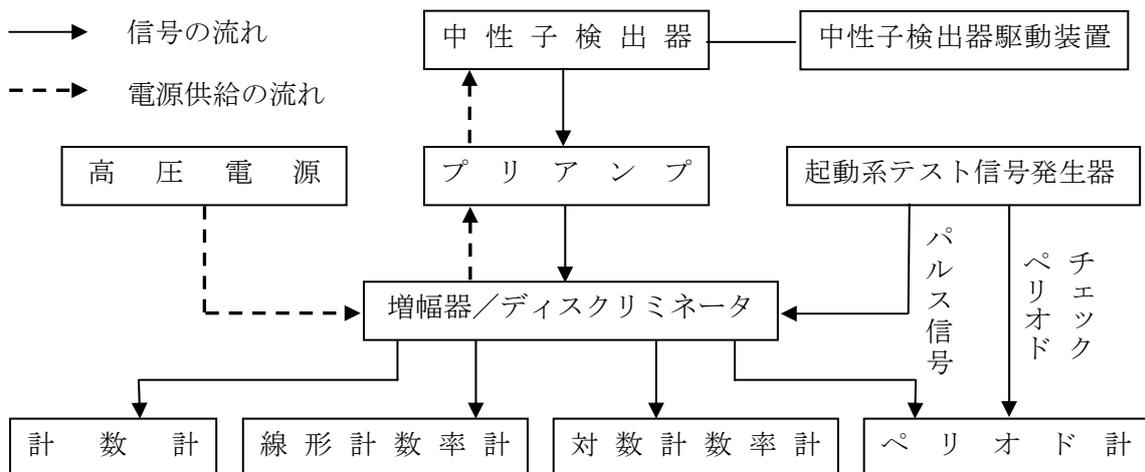


図 1 起動系系統図

3. BF₃ 比例計数管の概要

一般的に起動系中性子検出器^[1]として核分裂計数管、ボロン塗布比例計数管、BF₃ 比例計数管が使用される。核分裂計数管は、耐放射線特性及び耐熱特性に優れているが、低レベルの中性子束の場合において感度があまり高くない(熱中性子束が $10^1 \sim 10^7 \text{ n v}$)。ボロン塗布比例計数管は、低レベルの中性子束の場合における感度は比較的高い(熱中性子束が $10^{-1} \sim 10^4 \text{ n v}$)。

BF₃ 比例計数管は、低レベルの中性子束の場合における感度が高い(熱中性子束が $10^{-2} \sim 10^3 \text{ n v}$) が、必要な印加電圧が高く (JRR-3 の使用検出器：最大印加電圧 2300V、動作電圧 1700V)、 γ 線の照射により一時的な感度の低下を招くことがある。また、寿命が全中性子検出数 (約 10^9 n v t) により制限される。JRR-3 では、炉心内の中性子数が非常に少ない状況においても中性子数を計測できる BF₃ 比例計数管を採用している。

3.1 BF₃ 比例計数管の構造

BF₃ 比例計数管(三菱電機㈱製)は最大外径 25mm、全長 348mm の円筒形の熱中性子検出用比例計数管である。円筒形の本体(陰極の役割も担っている)は純アルミニウム製で、内部はタングステン製の線状陽極が設置されており濃縮 BF₃ ガス (¹⁰B 96%) が充填している。写真 1 に BF₃ 比例計数管外観を示す。使用にあたり BF₃ 比例計数管は、絶縁劣化が性能に大きく影響する。湿度が高い環境に設置してある BF₃ 比例計数管は、絶縁状態を維持するためにガラスウール製の絶縁テープが 3 重に施されており、更にエアチューブによって収納管内に乾燥空気を供給及び排気している。写真 2 に絶縁テープ処理後の BF₃ 比例計数管を示す。



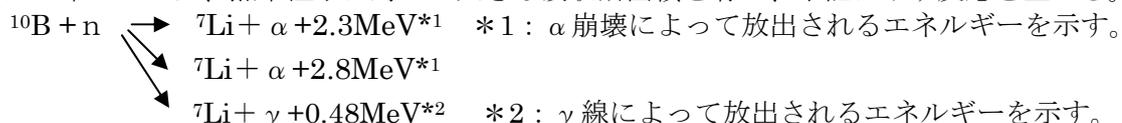
写真 1 BF₃ 比例計数管外観



写真 2 絶縁テープ処理後の BF₃ 比例計数管

3.2 BF₃ 比例計数管の動作原理

BF₃ ガス中の ¹⁰B は、熱中性子に対して大きな吸収断面積を有し、下記に示す反応を生じる。



Li(リチウム)粒子とα線はBF₃ガス内を通る際に多数の電離を引起こし、電離されたイオンは各電極へ集束されて電流パルスを生じる。γ線によってもパルスを生じるが、中性子パルスに比べてエネルギーが小さく、パルス波高も十分小さいためにディスクリミネータの波高弁別により除去される。

3.3 BF₃ 比例計数管の仕様

表1にBF₃比例計数管の仕様について示す。

表1 BF₃ 比例計数管の仕様

項目		仕様	備考
製造業者		三菱電機株式会社	
型式		ND-8534-30	
寸法	直径	25mm	
	全長	348mm	
材料	検出物質	¹⁰ B 96%濃縮	
	封入ガス	BF ₃	
	主要構成材料	Al	
電気特性	静電容量	6.8 pF	
	抵抗値	10 ¹¹ Ω以上	
寿命		10 ¹⁰ カウント	
定格	電圧	2300 V	動作電圧 1700V
	周囲γ線量率	5×10 ⁵ R/h (200R/h)	非動作時 (動作時)
検出器特性	熱中性子感度	2.5 cps/nv	
	測定範囲	~10 ⁵ nv	
	電荷入力	1.7×10 ⁻¹³ c/パルス	
	バックグラウンドα線	約 0.1 cps	

4. BF₃ 比例計数管交換方法の検討

4.1 検出器の接続方法

検出器である BF₃ 比例計数管を交換する際、検出器を装着するためのコネクタと同軸ケーブルを半田付けにより接続する必要がある。検出器用コネクタと同軸ケーブルとの半田付けの確実性が、BF₃ 比例計数管交換における最重要作業である。検出器から同軸ケーブルを通して出力される信号は微小電流であるため、半田付けの良し悪しが中性子数を示す電気信号である電流パルスに大きく影響するからである。そのため半田付け接続の方法に関する検討を行った。半田付けする際の困難な点は、検出器用コネクタに被覆を剥離した同軸ケーブルを偏芯しないように半田付けすることである。検出器用コネクタを固定することにより偏芯を防止することができるため、コネクタ固定用治具を製作し、容易に半田接続できるように改善した。

4.2 検出器接続箇所の確認方法

これまで JRR-3 では BF₃ 比例計数管が微小電流を出力する機器であることから、半田付けの接続状態を確認するためにパルス波形確認及びノイズ波形確認を行ってきた。今回半田付け接続確認の確実性を高めるために、新たに静電容量測定を追加した。静電容量測定は、どのくらい電荷を蓄えられるか導通状態を定量的に評価できるため、有効な確認方法である。

検出器の半田付け接続が確実であるかを評価するには、静電容量の設計値と接続後の測定値を比較する必要がある。検出器と同軸ケーブルとのそれぞれの静電容量設計値を加算した値と接続後の静電容量測定値に有意な差がないことにより半田付け接続の妥当性が確認できる。

5. BF₃ 比例計数管の交換作業手順

5.1 安全管理及び放射線管理等

作業を行うにあたり表 2 安全管理、放射線管理等の管理項目を遵守する。

表 2 安全管理、放射線管理等

管理項目	内 容
安全管理	<ol style="list-style-type: none"> 1. 毎日作業責任者による危険予知（KY）及びツールボックスミーティング（TBM）並びにリスクアセスメントを実施する。 2. 重量物及び重要機器の吊上げに際しては、事故を防止するため有資格者によるワイヤロープの点検及び作業を行う。 3. 必要に応じ安全帯等の保護具を着用する。
放射線管理	<ol style="list-style-type: none"> 1. 各作業ステップにおける計画被ばく線量を周知徹底させ過剰被ばくを防止する。 2. 被ばく防護三原則を考慮し作業者の被ばくを最小限に押さえること。 〈三原則〉 遮へい・距離・時間による防護 3. 指定された保護具の着用を厳守し、内部被ばくの防止に努めること。 4. 作業エリアの空間線量率・表面汚染密度・空間中濃度を適時測定し作業計画に反映する。 5. 汚染区域の区分を明確にし、定められた物品持ち出しのステップを踏み他エリアの汚染拡大防止に努める。
その他	<ol style="list-style-type: none"> 1. 取外した部品で再使用するものは、ポリ袋・保管箱等に入れ保管場所を明確にし、紛失や他部品との混入・破損を防止する。 2. 作業場所には、必要な工具のみを持ち込み、使用前・後に工具を確認する。 3. 開口部の閉止前には、必ず内部点検を行い、異物混入を防止する。

5.2 作業手順

次ページの手順に従い作業を実施する。作業及び試験検査フローを図 2 に示す。

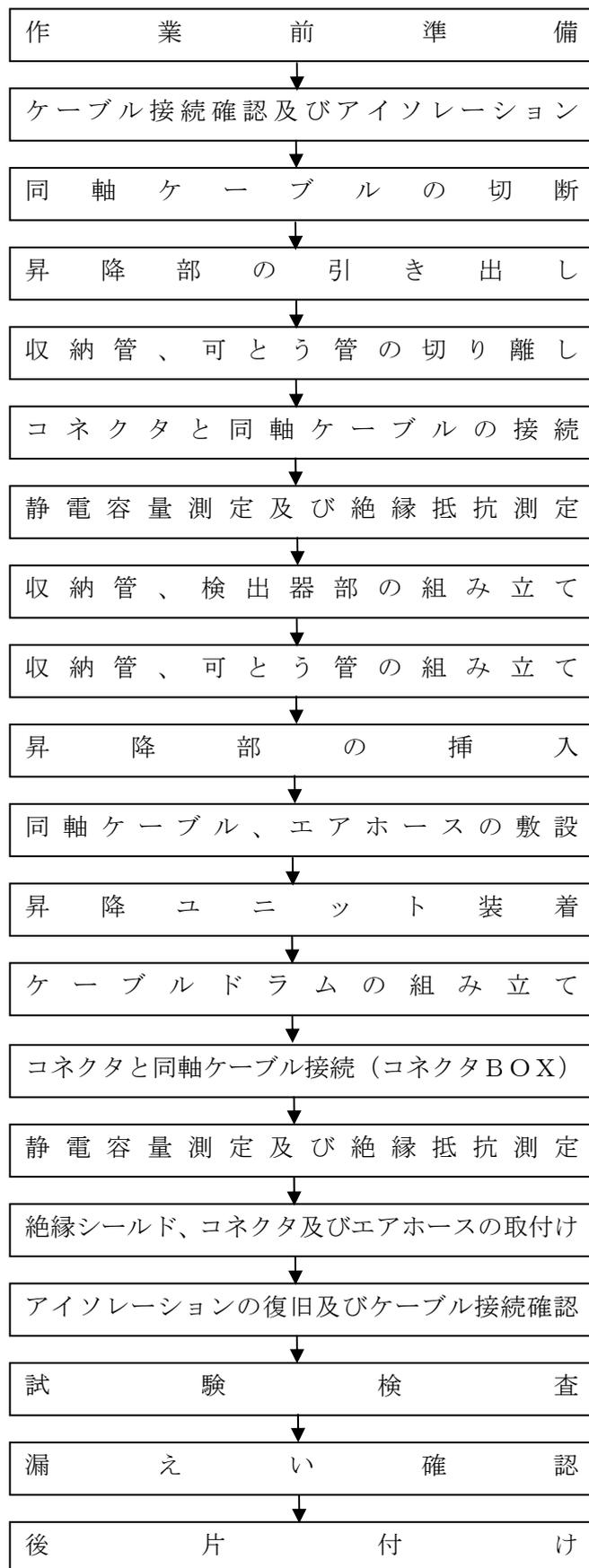


図2 作業及び試験検査フロー

5.2.1 作業前準備

- (1) 機材及び工具の員数を確認する。表 3.工具及び機材管理表に記入する。
- (2) 使用済みの検出器及び収納管を廃棄するための容器を準備する。検出器は放射化されているため、遮へい材（鉛マット、鉛毛）を準備する。
- (3) 交換部品を確認する。表 4.交換部品管理表に記入する。
- (4) 作業エリアの確保及び床養生を行う。
- (5) 放射線管理第 1 課に作業開始の旨を伝える。

5.2.2 ケーブル接続確認及びアイソレーション

- (1) プロセス制御計算機を操作し、起動系検出器を下限まで挿入する。
- (2) 起動系の低圧電源、高圧電源の順に ON にし、増幅器／ディスクリミネータ及びペリオド計／対数計数率計をテストから使用に切り替える。表 5.アイソレーション確認及び解除確認表に記入する。
- (3) 増幅器／ディスクリミネータの増幅器出力にオシロスコープを接続し、波形を記録する。同様に起動計の計数率を測定する。表 6.ケーブル接続確認検査記録に記入する。
- (4) 起動系の高圧電源、低圧電源の順に OFF にし、増幅器／ディスクリミネータ及びペリオド計／対数計数率計を使用からテストに切り替える。
- (5) プロセス制御計算機を操作し、起動系検出器を上限まで引き抜く。
- (6) 中性子計装盤裏 NFB、PDB-U44 の MCCB3、PDB-EA2 の MCCB2 及び PDB-EB2 の MCCB2、PDB-U12 の MCCB9 及び MCCB10 を断にする。表 5.アイソレーション確認及び解除確認表に記入する。
- (7) 空気の吸気元弁(KAV1-73)、排気元弁(KVV1-43)を「閉」にする。表 5.アイソレーション確認及び解除確認表に記入する。
- (8) 絶縁抵抗測定を行う。超絶縁計を用いて、中継ボックスのプリアンプ入力ケーブル（A 系 PAI コネクタ、B 系 PBI コネクタ）について中性子検出器信号線とシールド線及びシールド線とアース線の 2 箇所絶縁抵抗を測定する。印加電圧は、1000V とする。測定結果を表 7.絶縁抵抗検査記録に記入する。

5.2.3 同軸ケーブルの切断

- (1) 検出器が上端に在ることを確認する。
- (2) 同軸ケーブルをプリアンプ内コネクタ直近にて切断する。
- (3) ケーブルドラムへセットピンを挿入し、ドラムが回転しないようにする。
- (4) クラッチを切る。
- (5) ケーブルドラムの側面板及び上面板（六角ボルト M5）を取外し、ケーブルドラム内のスミヤ測定を行う。放射線管理第 1 課にサーベイ（表面汚染密度測定）を依頼する。
- (6) 同軸ケーブル及びエアホースの巻取り状況を観察し、取外し前の状態をスケッチ、写真等に記録する。
- (7) エアホースと同軸ケーブルに引き紐を取付ける。
- (8) コンストンドラムと金具支柱を取外す。
- (9) エアホースと同軸ケーブルをケーブルドラムより取外す。

- (10) アイボルト (M16 真鍮製) をメンテナンスプラグに装着し、天井クレーンにて取外す。
- (11) 案内管上蓋の取手にナイロンスリングを通す。
- (12) 上蓋固定用のボルト(M12)を T レンチにより取外す。上蓋の O リングが落下しないよう十分に注意する。また、放射線管理第 1 課にサーベイ(線量当量率、表面汚染密度測定)を依頼する。

5.2.4 昇降部の引き出し

- (1) 伝導シャフト側のカップリングを貫通管側へ押しやり、左右いずれかへ首を振り昇降部を出しやすくする。
- (2) 昇降部と案内管を固定しているボルト(M10)を T レンチにより取外す。
- (3) 間隔ローラの片側(側面板方向)を調整(約 3cm 広げる)し、固定する。
- (4) 昇降部の吊りフックに吊り具(ナイロンスリング)を掛ける。
- (5) クレーンにチェーンブロックを掛ける。
- (6) 同軸ケーブルにケーブル引き込みガイド用ひもを取付ける。
- (7) チェーンブロックに吊り具(ナイロンスリング)を掛け、昇後部をゆっくり引上げる。この時、同軸ケーブル、エアホースも一緒に引上げる。約 1m 引上げたら、チェーンブロックを外し、吊り具(ナイロンスリング)をクレーンのフックに掛け直し、クレーンにて巻上げる。駆動モータ側で、手鏡を見ながら引っかからないように引っ張る。
- (8) クレーンにて昇降部(下には可とう管、収納管がついてくる)をゆっくりと巻上げる。同時に同軸ケーブル、エアホースと一緒にゆっくりと引上げる。昇降部、ケーブル部をビニール袋(約 6m の円筒形)に内包しながら、引きあげる。昇降部からの汚染拡大していないことを確認するため、放射線管理第 1 課にサーベイ(線量当量率、表面汚染密度測定)を依頼する。
- (9) ケーブル引き込みガイド用ひもを取外す。
- (10) 昇降部の吊り出し後、案内管内に異物混入させないように細心の注意を払いながら養生をする。
- (11) 昇降部を調整架台ステージに降ろす。
- (12) 昇降部の外観検査を実施する。表 8.外観検査記録に記入する。

5.2.5 収納管、可とう管の切り離し

- (1) 収納管及び可とう管のローラ部は、放射化しているため、鉛板もしくは鉛毛マットを被せておく。
- (2) 可とう管部などの清掃をアルコール等により行う。放射線管理第 1 課にサーベイ(線量当量率、表面汚染密度測定)を依頼する。
- (3) 可とう管と収納管の外観検査を実施する。表 8.外観検査記録に記入する。
- (4) ボルト落下防止用ワイヤーを切断し(可とう管直近の収納管)、六角ボルト(M4)を外す。
- (5) 可とう管と収納管の切り離し部分にて同軸ケーブルを切断し、収納管の検出器固定金具(スリーブ、二つ割)から、エアホースを取外す。
- (6) 2本の六角ボルト(M12)を緩め、下部プレートを取外す。ボルト落下防止用ワイヤーを切断し、六角ボルト(M3:シャフトガイド用)を取外す。

- (7) カバーを取り外し、連結管部のボルトも取外す。
- (8) 同軸ケーブル及びエアホースを取外す。その後、同軸ケーブルとエアホースの長さを測定する。
- (9) コネクタ接続失敗した場合を考慮し既設より約 1m長めに同軸ケーブル及びエアホースを準備する。
- (10) 同軸ケーブル・エアホース固定用プレート（波型）を取外し、固定用ゴム板（厚さ 1mm）を交換する。
- (11) 新しいケーブル及びエアホースを昇降装置側から敷設する。
- (12) 同軸ケーブル及びエアホースを取付け、その後固定用プレートで固定し、六角ボルトをワイヤリングする。

5.2.6 コネクタと同軸ケーブルの接続

- (1) コネクタ型式、ケーブル仕様及びハンダ仕様を確認する。
- (2) ケーブル外皮を指定寸法 65mm 剥離する。
- (3) シールド編組に傷がついていないか確認する。
- (4) シールドは指定どおりの処理をする。
- (5) 芯線被覆を指定寸法 41mm 剥離する。
- (6) 芯線の素線に傷が無いか確認する。
- (7) 塗布されているカーボンブラックを除去する。
- (8) 芯線を撚る。
- (9) 芯線、ソルダポッドに迎えハンダをする。
- (10) ハンダ小手の先端温度を放射温度計により確認する。
- (11) ハンダ仕上げが完全であるかを目視及び軽く引っ張ることにより確認する。
- (12) シールド処理が完全であるかを目視により確認する。
- (13) 異物が入っていないか確認し、ある場合は取除く。
- (14) 外部リングを圧着する。
- (15) コネクタを順序良く、確実に組み合わせる。
- (16) 導通確認を行う。

5.2.7 静電容量測定及び絶縁抵抗測定

- (1) ケーブルの仕様から静電容量を確認し、ケーブル全体の静電容量を算出する。
- (2) コネクタ半田付け後、ケーブル端からコネクタまでの静電容量を LCR メータにより測定する。
- (3) 算出値と測定値を比較し、同等値であることよりコネクタが正常に接続されていることを確認する。
- (4) 絶縁抵抗測定を行う。表 7.絶縁抵抗検査記録に記入する。

5.2.8 収納管、検出器部の組立

- (1) 検出器に絶縁テープを巻く。（3重巻、ガラス糸約 17カ所）
- (2) 収納管 2 の中へ検出器を通す。

- (3) 検出器押さえを検出器に装着する。
- (4) 検出器にコネクタケーブルを接続し、コネクタ部分に絶縁テープとガラス糸（1ヶ所）を巻く。
- (5) ケーブル及び検出器の仕様から静電容量を確認し、全体の静電容量を算出する。
- (6) 検出器接続後の静電容量を LCR メータにより測定する。
- (7) 算出値と測定値を比較し、同等値であることより検出器が正常に接続されていることを確認する。
- (8) 検出器接続後の絶縁抵抗測定を行う。表 7.絶縁抵抗検査記録に記入する。
- (9) カラー（二つ割の長円筒）を装着する。
- (10) クランプ部にエアホース固定用ブッシュを装着し、エアホースを通す。エアホースの先端が、1~2mm 飛び出すようにする。
- (11) クランプ（2つ割り）部の六角ボルト（M6×2 本）を取付けワイヤリングする。クランプ組立てた後、収納管 2 に装着する。
- (12) 収納管 1 を検出器に被せた後、収納管 1 と収納管 2 を六角ボルト（M8×4 本）で接続する。固定後、ボルトはワイヤリングする。

5.2.9 収納管、可とう管の組み立て

- (1) 収納管及び可とう管内部に異物混入が無いことを確認する。
- (2) 収納管と可とう管を接続する。
- (3) 連結管と可とう管を接続ボルトにより接続する。固定後、ボルトはワイヤリングする。

5.2.10 昇後部の挿入

- (1) 昇降部をクレーンで移送し、メンテナンスプラグの中心と可とう管の中心が合っていることを確認する。（案内管に挿入するとき、収納管先端部が、案内管フランジ部に乗らない様、十分注意する。）
- (2) 案内管の曲がりの方向に合わせて昇降部を案内管に挿入する。（案内管に挿入中、可とう管を円周方向に廻さないこと。）
- (3) 昇降部の先端が案内管に近づいたら、昇降部と案内管の芯が合っていること及び同軸ケーブル・エアホース用外れ防止ローラがセットされていることを確認する。
- (4) 昇降部のフランジ面がメンテナンスプラグより 200~300mm の位置でクレーンを停止する。

5.2.11 同軸ケーブル、エアホースの敷設

- (1) 同軸ケーブルとエアホースが交差するのを防ぐため作業者は、同軸ケーブル側の位置にて行う。エアホースは曲がりぐせがあるため、弱く引っ張ること。エアホースと同軸ケーブルが交差しないよう注意する。
- (2) 押さえローラを取外す（六角ボルト M5×2 本）。
- (3) 引き紐が貫通スリーブ内を通っていることを確認する。
- (4) ケーブルドラム側より照明をつけ、昇降部側で鏡を見ながらエアホースを送り込む。その際、同軸ケーブル側を貫通していないことを確認しながら行う。
- (5) 引き終えたらエアホースがたるまないように左端に紐等で固定する。
- (6) 同軸ケーブルに引き紐を取付ける。

- (7) 同軸ケーブルがねじれないように引き紐を引く。その際、エアホースと交差しないように細心の注意を払う。(ケーブル敷設後、貫通スリーブ内でケーブルのたるみがないこと。)
- (8) ケーブルドラム側の作業者は同軸ケーブルとエアホースの両方を広げるように引っ張り、クレーンは徐々に下降させる。その際、クレーンを下げるタイミングとケーブルを引くタイミングを合わせながら、同軸ケーブル、エアホースを一緒に引っ張る。メンテナンスプラグ付近にて手で保護し、同軸ケーブル、エアホースの傷つき防止を行う。

5.2.12 昇降ユニット装着

- (1) 昇降ユニットを案内管に着座させ、Tレンチにより4本の六角ボルト(M10)を取付ける。
- (2) 案内管内部に水が混入しないよう、案内管上蓋に養生を施す。

5.2.13 ケーブルドラムの組み立て

- (1) エアホースと同軸ケーブルをケーブルドラム外側に出す。
- (2) エアホースを外側で3巻きし、端をドラムのホース溝よりドラム内部へ差し込む。
- (3) エアホースの残りをドラムホース溝より送り込み、ドラム内支柱より奥側に巻く。溝が狭い場合は、エアホース固定金具の六角ボルト(M3)を緩めて、差し込む。
- (4) 1巻目は、ドラム中央の溝幅の広い部分に巻き付ける。エアホースを引っ張りながら、2巻目、3巻目と順次外側の溝に緩まないように巻いていく。
- (5) 固定金具の六角ボルト(M3)を増し締めする。
- (6) ドラム内でエアホースを整理する。
- (7) 新品のブッシュをエアホースに装着した後、エアホースをホース金具に留める。
- (8) 同軸ケーブルがゆるまないようにしっかりとドラムに巻く。
- (9) 同軸ケーブルを固定金具で止める。4巻目が折れ曲がらないよう大きな円弧にする。
- (10) 同軸ケーブルをリールの支柱に固定する。
- (11) 同軸ケーブルをリールの内側で5巻する。
- (12) 分岐金具(くし形状のケーブルを分岐する金具4個)は、L、R、下、上の順番で金具支柱に取付け、その後金具支柱をケーブルドラム内に取付ける。
- (13) 同軸ケーブルの5巻目を固定金具に固定する。
- (14) 4巻目は、少したるませる。
- (15) 1巻目のケーブル位置は左側、下側、右側分岐金具は外側へ、上側分岐金具は一番奥側を通す。
- (16) 左側分岐金具は一番奥側を通し、順次下側、右側と進める。
- (17) 最終5巻目は、右側分岐金具の一番外側を通し、固定金具1に接続する。
- (18) 間隔ローラを調整(間隔ローラの六角ボルト(M3)緩めて間隔を元の位置に戻す。)し、固定する。
- (19) 押さえローラを六角ボルト(M5×2本)により取付ける。
- (20) ケーブルがケーブルドラム内壁に沿うように調整し、グリースをケーブルの内外に塗布する。3項における取付け前状態の記録を参考に、取付ける。
- (21) 駆動装置のギアにグリースを塗布する。
- (22) ケーブル出口部分の金具を六角ボルト(M3×4本及びM5×2本)で取付け、シリコン

- グリース（脱アルコールタイプ）を塗布し、モールドする。
- (23) 案内管上蓋に、グリースを塗布した O リング（G-250）を取付ける。
- (24) T レンチにより 4 本の六角ボルト(M12)で案内管上蓋を閉じた後、メンテナンスプラグを取付ける。

5.2.14 コネクタと同軸ケーブルの接続（コネクタBOX側）

- (1) コネクタ型式、ケーブル仕様及びハンダ仕様を確認する。
- (2) ケーブル外皮を指定寸法 65mm 剥離する。
- (3) シールド編組に傷がついていないか確認する。
- (4) シールドは指定どおりの処理をする。
- (5) 芯線被覆を指定寸法 41mm 剥離する。
- (6) 芯線の素線に傷が無いか確認する。
- (7) 塗布されているカーボンブラックを除去する。
- (8) 芯線を撚る。
- (9) 芯線、ソルダポッドに迎えハンダをする。
- (10) ハンダ小手の先端温度を放射温度計により確認する。
- (11) ハンダ仕上げが完全であるかを目視及び軽く引っ張ることにより確認する。
- (12) シールド処理が完全であるかを目視により確認する。
- (13) 異物が入っていないか確認し、ある場合は取り除く。
- (14) 外部リングを圧着する。
- (15) コネクタを順序良く、確実に組み合わせる。
- (16) 導通確認を行う。

5.2.15 静電容量測定及び絶縁抵抗測定

- (1) 仕様からケーブル及び検出器の静電容量を確認し、全体の静電容量を算出する。
- (2) コネクタ半田付け後、プリアンプのコネクタから検出器までの静電容量を LCR メータにより測定する。
- (3) 算出値と測定値を比較し、同等値であることよりコネクタが正常に接続されていることを確認する。
- (4) 絶縁抵抗測定を行う。表 7.絶縁抵抗検査記録に記入する。

5.2.16 絶縁シールド、コネクタ及びエアホースの取付け

- (1) コネクタボックスのフランジ用パッキンを装着する。
- (2) プリアンプからケーブルドラムまでの同軸ケーブルに鉄網製の絶縁シールドを施工する。
絶縁シールドはアース線と接続する。
- (3) コネクタを接続する。（コネクタボックス内）
- (4) クラッチを元に戻す。
- (5) ケーブルドラムにセットしたピンを外し、ドラムが回転できるようにする。
- (6) コンストドラムカバーを六角ボルト（M3×6本）で取付ける。
- (7) エアホースを吸気口に取付ける。

5.2.17 アイソレーションの復旧及びケーブル接続確認

- (1) 空気の吸気元弁(KAV1-73)、排気元弁(KVV1-43)を「開」にする。表 5.アイソレーション確認及び解除確認表に記入する。
- (2) PDB-U12 の MCCB9 及び 10 を「入」にする。表 5.アイソレーション確認及び解除確認表に記入する。
- (3) PDB-U44 の MCCB3、PDB-EA2 の MCCB2 及び PDB-EB2 の MCCB2 並びに中性子計装盤裏 NFB を「入」にする。表 5.アイソレーション確認及び解除確認表に記入する。
- (4) センタムによる操作又は手動ハンドルにより、起動系検出器を挿入する。ケーブルドラム内における同軸ケーブル及びエアホースの異常が無いことを確認する。
- (5) 起動系の低圧電源、高圧電源の順に ON にし、増幅器／ディスクリミネータ及びペリオド計／対数計数率計をテストから使用に切り替える。表 5.アイソレーション確認及び解除確認表に記入する。
- (6) 増幅器／ディスクリミネータの増幅器出力にオシロスコープを接続し、波形を記録する。同様に起動計の計数率を測定する。表 6.ケーブル接続確認検査記録に記入する。
- (7) 増幅器／ディスクリミネータ及びペリオド計－対数計数率計を使用からテストに切り替えて、高圧電源、低圧電源の順に OFF にする。表 5.アイソレーション確認及び解除確認表に記入する。
- (8) センタムによる操作又は手動ハンドルにより、起動系検出器を引き抜く。ケーブルドラム内における同軸ケーブル及びエアホースの巻取り状態に異常が無いこと及びケーブルドラムの駆動に異音が無いことを確認する。

5.2.18 試験検査

- (1) 第 5 項、交換作業後試験検査における第 5.2 項の検査手順に従い、機能を確認する。

5.2.19 漏えい確認

- (1) ケーブルドラムの側面板及び上面板に、グリースを塗布した側面板用 O リング (G-360) 及び上面板用 O リング (G-190) を取付ける。
- (2) ケーブルドラムの側面板及び上面板を取り付ける。
- (3) 耐圧漏えい検査を行い案内管溶接部、フランジ取付カバーシール部及びケーブルシール部からの漏えいが無いことを確認する。表 9.耐圧漏えい検査記録に記入する。

5.2.20 後片付け

- (1) 作業エリアの養生を撤去し、清掃を行う。
- (2) 使用工具の片づけを行う。表 3.工具及び機材管理表に記入する。
- (3) 廃棄物については、可燃物、難燃物に分け廃棄する。

6. 交換作業後試験検査

計測制御設備系統施設の中性子検出器駆動装置について試験検査を行い、機能を確認する。検査場所及び検査項目について、それぞれ中央制御室及び炉頂にて作動検査を実施する。

6.1 検査前条件

検査に必要な測定機器の測定棒、バネはかり、ストップウォッチ及びクランプメータが準備されてあること。

6.2 検査手順

(1) ストローク確認検査

手動操作により全移動量（約1630mm）を測定棒により測定する。

(2) 手動トルク確認検査

手動ハンドルで挿入及び引抜操作を行い、手動トルクをバネはかりにより測定する。

(3) 昇降台原点確認検査

- ①手動ハンドルで挿入操作を行い、カウンター指示値が0mmになるまで検出器を挿入する。
- ②案内管上部より測定棒を挿入する。
- ③手動ハンドルで引抜操作を行い、カウンター指示値が400、800、1200、1600mmにおける昇降台の位置を測定棒により測定する。また、この時のプロセス制御計算機表示値も記録する。

(4) 駆動速度確認検査

電動操作により検出器を引抜又は挿入し、ストップウォッチによる測定時間から駆動速度を算出する。

(5) 駆動電流確認検査

MCC（低圧電動機起動盤）における電動駆動中のモータ電流を、クランプメータにより測定する。

(6) 検出器設定位置確認検査

プロセス制御計算機より検出器を挿入し、設定値で停止した時の位置を測定する。

6.3 評価方法及び判定基準

6.3.1 評価方法

検査結果を判定基準と比較する。

6.3.2 判定基準

(1) ストローク確認検査

ストローク : 1630mm ± 5mm

(2) 手動トルク確認検査

手動トルク : 2.345N・m以下

(3) 昇降台原点確認検査

原点位置 : 各カウンター値 ± 2mm

- (4) 駆動速度確認検査
引抜、挿入速度 : 0.2m/min±10%
- (5) 駆動電流確認検査
電動機定格電流 : 1.22A以下
- (6) 検出器設定位置確認検査
停止精度 : 設定値-2.0~+8.6mm

6.4 試験検査記録

試験検査の結果として表 10 に試験検査記録を示し、それぞれの作動検査の結果として表 11 作動検査記録 (1/3)、表 12 作動検査記録 (2/3) 及び表 13 作動検査記録 (3/3) を示す。

表 3 工具及び機材管理表 (1/2)

使用工具	使用前確認	使用后確認	備 考
モンキスパナ			手動トルク確認検査用
六角レンチ			M3、M4、M5、M6、M8、M12
ドライバー (+、-)			
照明灯			作業現場用
T レンチ M12、M10			案内管上蓋及び昇降部固定ボルト取外し 用
ラジオペンチ			
ニッパ			同軸ケーブル切断用
コンベックス			ストローク測定校正用
ビニールシート			作業領域及び昇降部養生等
絶縁テープ			BF ₃ 比例計数管絶縁用
ガラス糸			絶縁テープ固定用 (スコッチ No. 69-19)
ワイヤー			ボルト固定用
マジックペン・ビニルテ ープ			
トラロープ及びポール			立入禁止現場設定用
細いひも			2 本 (同軸ケーブル、エアホース引抜用)
洗浄剤 (アルコール)			比例計数管洗浄用等
グリース			ケーブルドラム内ケーブル及び O リン グ用 (APL700 : シェル石油)
シリコングリース			耐圧漏えい検査用 (TSK5401L : 東芝 シリコン)
吊り具 (ナイロンスリン グ)			1 本 (昇降部吊り上げ用)
懐中電灯			同軸ケーブル及びエアホース敷設用
手鏡			同軸ケーブル及びエアホース敷設用
バネはかり			手動トルク確認検査用 (5 k g)
鉛マット			収納管ローラ及び可とう管ローラ遮へい 用
超絶縁計			絶縁抵抗測定用
測定棒			昇降台原点確認検査及びストロー ク確認検査用
漏えい検出試験装置			耐圧漏えい検査用

表 3 工具及び機材管理表 (2/2)

使用工具	使用前確認	使用后確認	備 考
クランプメータ			駆動電流確認検査用
テスター			導通（コネクタ接続健全性）確認用
ストップウォッチ			駆動速度確認検査
オシロスコープ			交換前後の波形確認用
LCR メータ			静電容量測定用
半田用ゴムマット			コネクタ接続用
半田小手			コネクタ接続用
半田			コネクタ接続用（0.8φ）
アイボルト			メンテナンスプラグ取外し用（M16）
チェーンブロック			同軸ケーブル布設用
ボルト入れタッパー			2 個
鉄網			絶縁シールド用
スケールバンド			絶縁シールド固定用
圧着端子用機器			絶縁シールド接続アース取付け用
圧着端子			絶縁シールド接続アース取付け用

表 4 交換部品管理表

部 品 名		型 式	数 量	備 考	確 認
検出器	BF3 比例係数管	ND-8534-30	1 個	三菱電機(株)製	
ケーブル類	同軸ケーブル用 コネクタ	HN-P-59-AU-NU	4 個	在庫品流用	
	同軸ケーブル	S-3A N-CX-734243	1 本	日立電線(株)製	
エア チューブ類	エアチューブ	U2-1-1/2-BK-20M	2 巻 (20m/巻)	ニッタ・ムアー (株)製	
	エアチューブ用 金具	LIN1/2-PT3/8ST	2 個	ニッタ・ムアー (株)製	
O リング パッキン	O リング	NBR G-190	2 個		
	O リング	NBR G-250	2 個		
	O リング	NBR G-360	2 個		
	パッキン	NBR 261.5×200 × t 1mm	2 枚		
	パッキン	NBR 200×135.5 × t 1mm	2 枚		
	パッキン	NBR φ 60× t 2mm	2 枚		
	パッキン	NBR φ 40× t 2mm	2 枚		
	パッキン	NBR 117×66× t 2mm	2 枚		

表 5 アイソレーション確認及び解除確認表

アイソレーション確認 (作業前)

操作対象盤及び弁	機器名称	確認
中性子計装盤 (CP001)	低圧電源 高圧電源 増幅器/ディスクリミネータ 対数計数率計/ペリオド計 盤裏 NFB	入→断 入→断 使用→テスト 使用→テスト 入→断
機側分電盤 (PDB-U44)	MCCB3	入→断
機側分電盤 (PDB-EA2)	MCCB2	入→断
機側分電盤 (PDB-EB2)	MCCB2	入→断
機側分電盤 (PDB-U12)	MCCB9、10 (中性子検出器 駆動モータ)	入→断
起動系エアバルブ	吸気側 KAV1-73 排気側 KAV1-43	開→閉 開→閉

アイソレーション解除確認 (作業後)

操作対象盤及び弁	機器名称	確認
起動系エアバルブ	排気側 KAV1-43 吸気側 KAV1-73	閉→開 閉→開
機側分電盤 (PDB-U12)	MCCB9、10 (中性子検出器 駆動モータ)	断→入
機側分電盤 (PDB-EB2)	MCCB2	断→入
機側分電盤 (PDB-EA2)	MCCB2	断→入
機側分電盤 (PDB-U44)	MCCB3	断→入
中性子計装盤 (CP001)	低圧電源 高圧電源 増幅器/ディスクリミネータ 対数計数率計/ペリオド計 盤裏 NFB	断→入 断→入 テスト→使用 テスト→使用 断→入

表 6 ケーブル接続確認検査記録 (1/2)

施設区分	計測制御系統施設	検査年月日	平成 年 月 日
検査対象機器	中性子検出器駆動装置	検査実施者	
検査項目	作動検査	検査場所	中央制御室及び炉頂
<p>1. 記録</p> <p>オシロスコープの波形</p> <p>表 6.ケーブル接続確認検査記録 (2/2) パルス及びノイズ波形測定記録に記載</p> <p>交換前：起動系線形計数率計 cps、対数計数率計 cps (/)</p> <p>交換後：起動系線形計数率計 cps、対数計数率計 cps (/)</p> <p>2. 判定基準</p> <p>オシロスコープにおいて中性子パルスが観測できること。</p> <p>起動系線形計数率計及び対数計数率計で中性子パルスが計測できること。</p> <p>3. 判定</p>			
備考			

表 6 ケーブル接続確認検査記録 (2/2)

パルス及びノイズ波形測定記録

表 7 絶縁抵抗測定検査記録

施設区分	計測制御系統施設	検査年月日	平成 年 月 日																	
検査対象機器	中性子検出器駆動装置	検査実施者																		
検査項目	絶縁抵抗測定検査	検査場所	炉頂																	
<p>1. 記録</p> <p>検出器型式：_____ 検出器製造番号：_____</p> <p>測定器名称：_____ 測定器型式 _____</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">系統名</th> <th rowspan="2">測定箇所</th> <th colspan="3">絶縁抵抗値</th> </tr> <tr> <th>作業前 (/)</th> <th>検出器側処理後 (/)</th> <th>両端処理後 (/)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">系</td> <td>信号線－シールド線</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>シールド線－アース線</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>2. 判定基準 絶縁抵抗が $1.0 \times 10^{10}(\Omega)$ 以上あること。</p> <p>3. 判定</p>				系統名	測定箇所	絶縁抵抗値			作業前 (/)	検出器側処理後 (/)	両端処理後 (/)	系	信号線－シールド線				シールド線－アース線			
系統名	測定箇所	絶縁抵抗値																		
		作業前 (/)	検出器側処理後 (/)	両端処理後 (/)																
系	信号線－シールド線																			
	シールド線－アース線																			
備考																				

表 8 外観検査記録

施設区分	計測制御系統施設	検査年月日	平成 年 月 日																								
検査対象機器	中性子検出器駆動装置	日本原子力研究開発機構 検査実施者																									
検査項目	外観検査	検査場所	炉頂																								
<p>記録</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>検査対象機器</th> <th>検査内容</th> <th>判定基準</th> <th>結果</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>同軸ケーブル</td> <td>有害な損傷及び変形が無いことを確認する。</td> <td>有害な損傷及び変形が無いこと。</td> <td></td> </tr> <tr> <td>エアホース</td> <td>有害な損傷及び変形が無いことを確認する。</td> <td>有害な損傷及び変形が無いこと。</td> <td></td> </tr> <tr> <td>昇降部</td> <td>昇降ねじ部の著しい磨耗、有害な損傷が無いことを確認する。</td> <td>昇降ねじ部等の著しい磨耗、有害な損傷が無いこと。</td> <td></td> </tr> <tr> <td>収納管</td> <td>有害な損傷及び変形が無いことを確認する。</td> <td>有害な損傷及び変形が無いこと。</td> <td></td> </tr> <tr> <td>可とう管</td> <td>有害な損傷及び変形が無いことを確認する。</td> <td>有害な損傷及び変形が無いこと。</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>判定</p>				検査対象機器	検査内容	判定基準	結果	同軸ケーブル	有害な損傷及び変形が無いことを確認する。	有害な損傷及び変形が無いこと。		エアホース	有害な損傷及び変形が無いことを確認する。	有害な損傷及び変形が無いこと。		昇降部	昇降ねじ部の著しい磨耗、有害な損傷が無いことを確認する。	昇降ねじ部等の著しい磨耗、有害な損傷が無いこと。		収納管	有害な損傷及び変形が無いことを確認する。	有害な損傷及び変形が無いこと。		可とう管	有害な損傷及び変形が無いことを確認する。	有害な損傷及び変形が無いこと。	
検査対象機器	検査内容	判定基準	結果																								
同軸ケーブル	有害な損傷及び変形が無いことを確認する。	有害な損傷及び変形が無いこと。																									
エアホース	有害な損傷及び変形が無いことを確認する。	有害な損傷及び変形が無いこと。																									
昇降部	昇降ねじ部の著しい磨耗、有害な損傷が無いことを確認する。	昇降ねじ部等の著しい磨耗、有害な損傷が無いこと。																									
収納管	有害な損傷及び変形が無いことを確認する。	有害な損傷及び変形が無いこと。																									
可とう管	有害な損傷及び変形が無いことを確認する。	有害な損傷及び変形が無いこと。																									
備考																											

表 9 耐圧漏えい検査記録

施設区分	計測制御系統施設	検査年月日	平成 年 月 日	
検査対象機器	中性子検出器駆動装置	日本原子力研究開発機構 検査実施者		
検査項目	耐圧漏えい検査	検査場所	炉頂	
1.試験条件				
試験の種類	最高使用圧力	試験圧力	保持時間	圧力計番号
水圧 気圧	MPa	MPa	30分	正副
2.試験要領図				
3.記録				
検査対象箇所	検査内容	結果		
案内管溶接部	フランジ部及び溶接部等からの漏えいがないことを確認する。			
各フランジ取付カバーシール部				
ケーブルシール部				
4.判定基準				
フランジ部及び溶接部等からの漏えいがないこと。				
5.判定				
備考				

表 10 試験検査記録

施設区分	計測制御系統施設	検査年月日	平成 年 月 日
検査対象機器	中性子検出器駆動装置	日本原子力研究開発機構 検査実施者	
検査項目	作動検査	検査場所	中央制御室及び炉頂
<p>1. 記録 表 11、表 12 及び表 13 の各作動検査記録のとおり。</p> <p>2. 判定基準</p> <p>(1) ストローク確認検査 ストローク : 1630±5mm</p> <p>(2) 手動トルク確認検査 手動トルク : 2.345N・m以下</p> <p>(3) 昇降台原点確認検査 原点位置 : 各カウンター値±2mm</p> <p>(4) 駆動速度確認検査 引抜、挿入速度 : 0.2m/min±10%</p> <p>(5) 駆動電流確認検査 電動機定格電流 : 1.22A以下</p> <p>(6) 検出器設定位置確認検査 停止精度 : 設定値-2.0~+8.6mm</p> <p>3. 判定</p>			
備考			

表 11 作動検査記録 (1/3)

(1) ストローク確認検査

機器番号	測定位置 (mm)		ストローク C = A - B	結果
	最下端位置	最下端位置		
K Z 1101	()	()		
K Z 1102				

測定値は測定棒による測定値。() 内は、原子炉制御操作卓 (CRT) 表示値。

A : 最下端位置、B : 最下端位置、C : ストローク

判定基準 : ストローク : 1630 ± 5mm

(2) 手動トルク確認検査

機器番号	CRT表示値	操作トルク		結果
		引抜	挿入	
K Z 1101	0	()	()	
	400	()	()	
	800	()	()	
	1200	()	()	
	1600	()	()	
K Z 1102	0	()	()	
	400	()	()	
	800	()	()	
	1200	()	()	
	1600	()	()	

操作トルクはkg・cmで測定し、() 内はN・mへの換算値を示す。

判定基準 : 手動トルク 2.345N・m以下

備考

表 11 作動検査記録 (2/3)

(3) 昇降台原点確認検査

機器番号	カウンター値	測定値 (mm)	結果	備考
K Z 1101	0			
	400			
	800			
	1200			
	1600			
K Z 1102	0			
	400			
	800			
	1200			
	1600			

測定値は測定棒による測定値。

判定基準：原点位置：各カウンター値±2mm

(4) 駆動速度確認検査

機器番号	測定回数	測定値 (m/min)		結果	備考
		引抜	挿入		
K Z 1101	1回目				
	2回目				
K Z 1102	1回目				
	2回目				

駆動速度の測定位置：1回目 1000⇔800、2回目 1200⇔1400間のカウンター値で測定実施

判定基準：引抜、挿入速度 0.2m/min±10%

表 11 作動検査記録 (3/3)

(5) 駆動電流確認検査

機器番号	測定回数	測定値 (A)		結果	備考
		引抜	挿入		
K Z 1101	U				
	V				
	W				
K Z 1102	U				
	V				
	W				

判定基準：電動機定格電流 : 1.22A以下

(6) 検出器設定位置確認検査

機器番号	設定位置 (mm)	測定値 (mm)	結果	備考
K Z 1101	398			
K Z 1102	598			

測定値は、プロセス制御計算機表示値。

判定基準：設定値-2.0~+8.6mm

謝辞

本マニュアルの作成に当たり技術的な助言を頂いた研究炉加速器管理部山下清信部長に感謝の意を表します。

参考文献

- [1]** 木村逸郎、“放射線計測ハンドブック”、日刊工業新聞社（2001）

付録

A1 検出器交換作業チェックリスト

作業日 年 月 日
 作業者

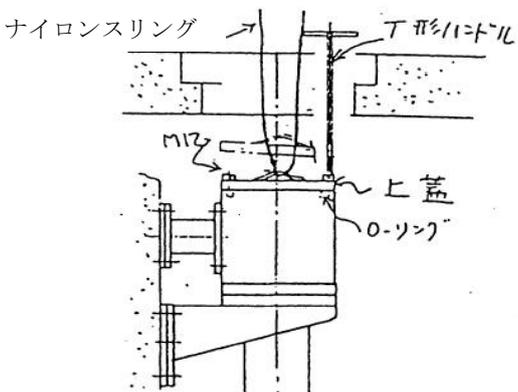
1. 作業準備

作業内容（注意事項及び安全対策）	確認
機材及び工具の員数を確認する。（工具及び機材管理表記入する。）	
使用済みの検出器及び収納管を廃棄するための容器を準備する。検出器は放射化されているため、遮へい材（鉛マット、鉛毛）を準備する。	
交換部品を確認する。（交換部品管理表に記入する。）	
作業エリアの確保及び床養生を行う。	
放射線管理第1課に作業開始の旨を伝える。	

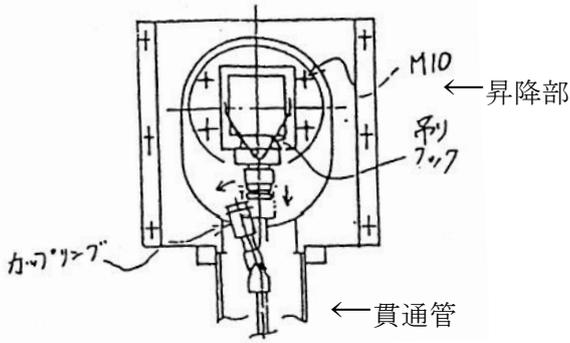
2. ケーブル接続確認及びアイソレーション

作業内容（注意事項及び安全対策）	確認
プロセス制御計算機を操作し、起動系検出器を下限まで挿入する。	
制御室の起動系の低圧電源、高圧電源の順に ON にし、増幅器ディスクリミネータ及びペリオド計／対数計数率計をテストから使用に切り替える。（アイソレーション確認及び解除確認表に記入する。）	
中性子検出器を接続した本設ケーブルにオシロスコープを接続し、波形を確認する。又、核計装の起動系の計数率を確認する。（ケーブル接続確認検査記録に記入する。）	
制御室の起動系の高圧電源、低圧電源の順に OFF にし、増幅器ディスクリミネータ及びペリオド計／対数計数率計を使用からテストに切り替える。（アイソレーション確認及び解除確認表に記入する。）	
プロセス制御計算機を操作し、起動系検出器を上限まで引き抜く。	
中性子計装盤裏NF B、PDB-U44のMCCB3、PDB-EA2のMCCB2及びPDB-EB2のMCCB2、PDB-U12のMCCB9及びMCCB10を断にする。（アイソレーション確認及び解除確認表に記入する。）	
空気の吸気元弁(KAV1-73)、排気元弁(KVV1-43)を「閉」にする。（アイソレーション確認及び解除確認表に記入する。）	
添付資料2を参考に絶縁抵抗測定を行う。（絶縁抵抗検査記録に記入する。）	

3. 同軸ケーブルの切断

作業内容（注意事項及び安全対策）	確認
検出器が上端にあることを確認する。	mm
同軸ケーブルをプリアンプ内コネクタ付近にて切断する。	
ケーブルドラムへセットピンを挿入し、ドラムが回転しないようにする。	
クラッチを切る。	
ケーブルドラムの側面板及び上面板（六角ボルトM5）を取外し、ケーブルドラム内のスミヤ測定を行う。（放射線管理第1課にサーベイ（表面汚染密度測定）を依頼する）	
同軸ケーブル及びエアホースの巻取り状況を観察し、取外し前の状態を写真、スケッチ等に記録する。	
エアホースと同軸ケーブルに引き紐を取付ける。	
コンストンドラムと金具支柱を取外す。	
エアホースと同軸ケーブルをケーブルドラムより取外す。	
アイボルト（M16 真鍮製）をメンテナンスプラグに装着し、天井クレーンにて取外す。（放射線管理第1課に案内管上部の空間線量率測定を依頼する。）	
案内管上蓋の取手にナイロンスリングを通す。 	
上蓋固定用の六角ボルト(M12)をTレンチにて取外す。上蓋のOリングが落下しないよう十分に注意する。（放射線管理第1課にサーベイ（線量当量率、表面汚染密度測定）を依頼する。）	

4. 昇降部の引き出し

作業内容（注意事項及び安全対策）	確認
<p>伝導シャフト側のカップリングを貫通管側へ押しやり、左右いずれかへ首を振り昇降部を出しやすくする。</p> 	
昇降部と案内管を固定しているボルト(M10)を T レンチにて取外す。	
間隔ローラの片側（側面板方向）を調整（約 3cm 広げる）し、固定する。	
昇降部の吊りフックに吊り具(ナイロンスリング)を掛ける。	
クレーンにチェンブロックを掛ける。	
同軸ケーブルにケーブル引き込みガイド用ひもを取付ける。	
チェンブロックに吊り具(ナイロンスリング)を掛け、昇降部をゆっくり引上げる。この時、同軸ケーブル、エアホースも一緒に引上げる。約 1m 引上げたら、チェンブロックを外し、吊り具(ナイロンスリング)をクレーンのフックに掛け直し、クレーンにて巻上げる。駆動モータ側で、手鏡を見ながら引っかからないように引っ張る。	
クレーンにて昇降部（下には可とう管、収納管がついてくる）をゆっくりと巻上げる。同時に同軸ケーブル、エアホースを一緒にゆっくりと引上げる。昇降部、ケーブル部をビニール袋（約 6m の円筒形）に内包しながら、引きあげる。昇降部からの汚染拡大していないことを確認するため放射線管理第 1 課にサーベイ（線量当量率、表面汚染密度測定）を依頼する。	<p>線量当量率 ____ μ Sv/h 汚染： _____</p>
ケーブル引き込みガイド用ひもを取外す。	
昇降部の吊り出し後、案内管内に異物混入させないように細心の注意を払いながら養生をする。	
昇降部を調整架台ステージに降ろす。	
昇降部の外観検査を実施する。（外観検査記録に記入する。）	

5. 収納管、可とう管の切り離し

作業内容（注意事項及び安全対策）	確認
収納管及び可とう管のローラ部は、放射化しているため、鉛板もしくは鉛毛マットを被せておく。	
可とう管部などの清掃をアルコール等により行う。放射線管理第1課にサーベイ（線量当量率、表面汚染密度測定）を依頼する。	線量当量率： _____ μ Sv/h 汚染：_____
可とう管と収納管の外観検査を実施する。（外観検査記録に記入する。）	
ボルト落下防止用ワイヤーを切断し（可とう管直近の収納管）、六角ボルト（M4）を外す。	
可とう管と収納管の切り離し部分にて、同軸ケーブルを切断し、収納管の検出器固定金具（スリーブ、二つ割）より、エアホースを取外す。	
2本の六角ボルト（M12）を緩め、下部プレートを取り外す。ボルト落下防止用ワイヤーを切断し、六角ボルト（M3：シャフトガイド用）を取外す。	
カバーを取り外し、連結管部のボルトも取外す。	
同軸ケーブル及びエアホースを取外す。その後、同軸ケーブルとエアホースの長さを測定する。	ケーブル： _____ m エアホース： _____ m
コネクタ接続失敗した場合を考慮し既設より約1m長めに同軸ケーブル及びエアホースを準備する。	ケーブル： _____ m エアホース： _____ m
同軸ケーブル・エアホース固定用プレート（波型）を取外し、固定用ゴム板（厚さ1mm）を交換する。	
新しいケーブル及びエアホースを昇降装置側から敷設する。	
同軸ケーブル及びエアホースを取付け、固定用プレートで固定し、六角ボルトをワイヤリングする。	

6. コネクタと同軸ケーブルの接続

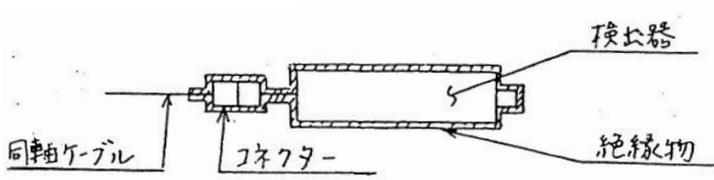
添付資料 1 に従い作業を行う。

作業項目	作業内容（注意事項及び安全対策）	確認
部品確認	コネクタ型式（ ） ケーブル仕様（ ） ハンダ仕様（ ）	
ケーブル 端末 処理	ケーブル外皮を指定寸法 6 5 mm 剥離する。	
	シールド編組に傷がついていないか確認する。	
	シールドは指定どおりの処理をする。	
	芯線被覆を指定寸法 4 1 mm 剥離する。	
	芯線の素線に傷が無いか確認する。	
	塗布されているカーボンブラックを除去する。 芯線を撚る。	
ハンダ 処理	芯線、ソルダポッドに迎えハンダをする。	
	ハンダ小手の先端温度を放射温度計により確認する。	℃
	ハンダ仕上げが完全であるかを目視及び軽く引っ張ることにより確認する。	
組み立て	シールド処理が完全であるかを目視により確認する。	
	異物が入っていないか確認し、ある場合は取り除く。	
	外部リングを圧着する。	
	コネクタを順序良く、確実に組み合わせる。	
チェック	導通確認を行う。	

7. 静電容量測定及び絶縁抵抗測定

作業内容（注意事項及び安全対策）	確認
ケーブルの仕様から静電容量を確認し、ケーブル全体の静電容量を算出する。	ケーブル仕様 _____ μ F/m ケーブル長： _____ m 全体： _____ μ F
コネクタ半田付け後、ケーブル端からコネクタまでの静電容量をLCRメータにより測定する。	_____ μ F
算出値と測定値を比較し、同等値であることよりコネクタが正常に接続されていることを確認する。	
絶縁抵抗測定を行う。（絶縁抵抗検査記録に記入する。）	

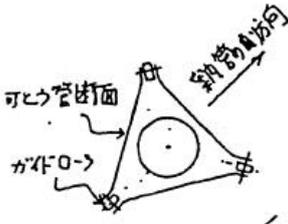
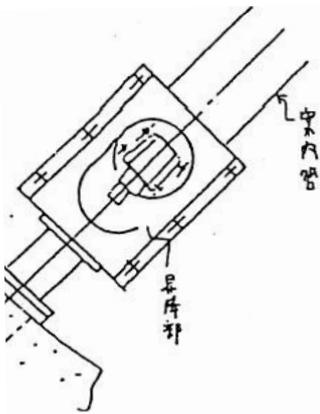
8. 収納管、検出器部の組み立て

作業内容（注意事項及び安全対策）	確認
<p>検出器に絶縁テープを巻く。（3重巻、ガラス糸約17カ所）</p> 	
<p>収納管2の中へ検出器を通す。</p>	
<p>検出器押さえを検出器に装着する。</p>	
<p>検出器にコネクタケーブルを接続し、コネクタ部分に絶縁テープとガラス糸（1ヶ所）を巻く。</p>	
<p>ケーブル及び検出器の仕様から静電容量を確認し、全体の静電容量を算出する。</p>	<p>ケーブル： _____ μF 検出器： _____ μF 全体： _____ μF</p>
<p>検出器接続後の静電容量を LCR メータにより測定する。</p>	<p>_____ μF</p>
<p>算出値と測定値を比較し、同等値であることより検出器が正常に接続されていることを確認する。</p>	
<p>検出器接続後の絶縁抵抗測定を行う。（絶縁抵抗検査記録に記入する。）</p>	
<p>カラー（二つ割の長円筒）を装着する。</p>	
<p>クランプ部にエアホース固定用ブッシュを装着し、エアホースを通す。（エアホースの先端が、1~2mm 飛び出すようにする。）</p>	
<p>クランプ（2つ割り）部の六角ボルト（M6×2本）を取付けワイヤリングする。クランプ組立てた後、収納管2に装着する。</p>	
<p>収納管1を検出器に被せた後、収納管1と収納管2を六角ボルト（M8×4本）で接続する。固定後、ボルトはワイヤリングする。</p>	

9. 収納管、可とう管の組み立て

作業内容（注意事項及び安全対策）	確認
収納管及び可とう管内部に異物混入が無いことを確認する。	
収納管と可とう管を接続する。	
連結管と可とう管を接続ボルトにより接続する。固定後、ボルトはワイヤリングする。	

10. 昇降部の挿入

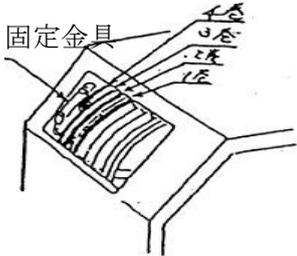
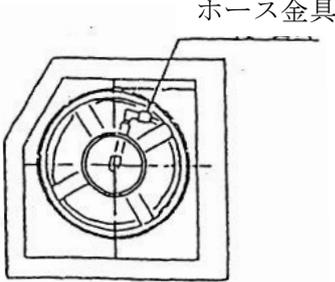
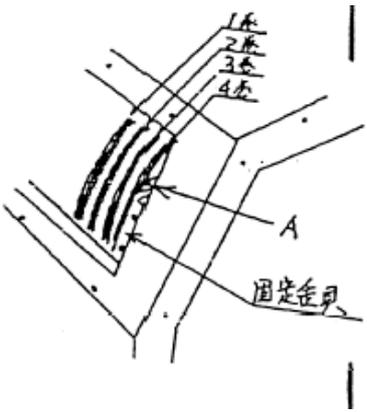
作業内容（注意事項及び安全対策）	確認
<p>昇降部をクレーンで移送し、メンテナンスプラグの中心と可とう管の中心が合っていることを確認する。（案内管に挿入するとき、収納管先端部が、案内管フランジ部に乗らない様、十分注意する。）</p> 	
案内管の曲がりの方向に合わせて昇降部を案内管に挿入する。（案内管に挿入中、可とう管を円周方向に廻さないこと。）	
<p>昇降部のパイプが案内管に近づいたら、次の確認を行う。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 昇降部と案内管の芯を再確認する。 ② 同軸ケーブル・エアホース用外れ防止ローラがセットされていることを確認する。 	
昇降部のフランジ面がメンテナンスプラグより 200~300mm の位置でクレーンを停止する。	

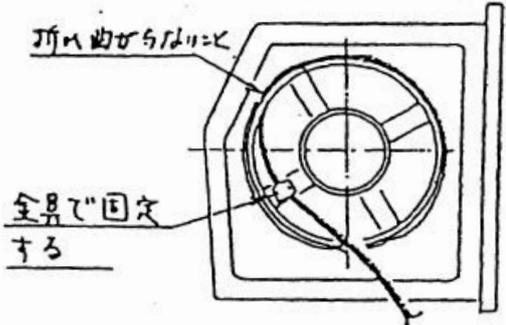
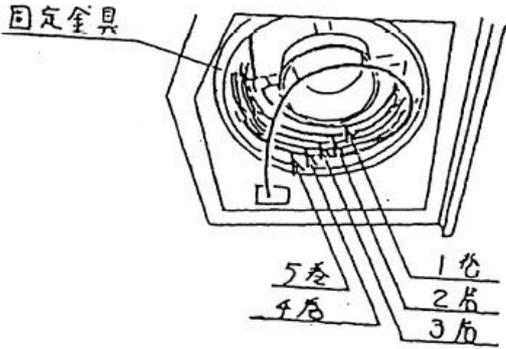
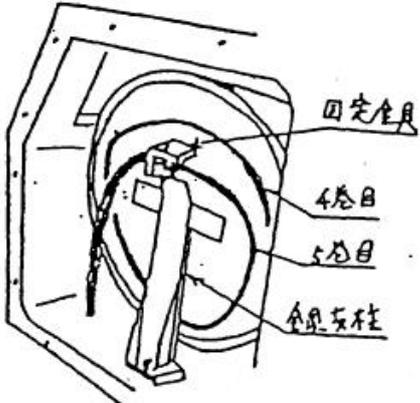
12. 昇降ユニット装着

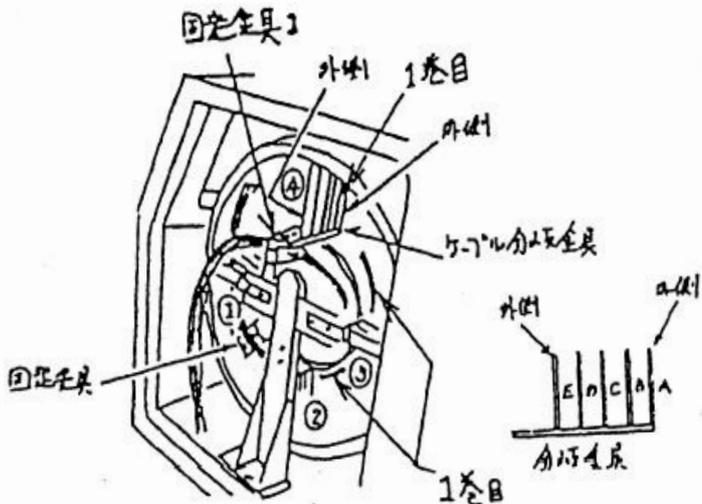
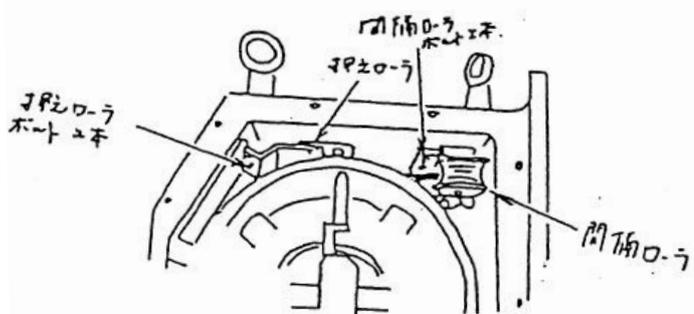
作業内容（注意事項及び安全対策）	確認
<p>昇降ユニットを案内管に着座させ、Tレンチにより4本の六角ボルト(M10)を取付ける。</p>	
<p>案内管内部に水が混入しないよう、案内管上蓋に養生を施す。</p>	

13. ケーブルドラムの組み立て

作業内容（注意事項及び安全対策）	確認
<p>エアホースと同軸ケーブルをケーブルドラム外側に出す。</p>	
<p>エアホースを外側で3巻きし、端をドラムのホース溝よりドラム内部へ差し込む。</p> <p>ドラムホースの溝</p>	

作業内容（注意事項及び安全対策）	確認
<p>ドラムホース溝より差込まれたエアホースをドラム内支柱より奥側に巻く。溝が狭い場合は、エアホース固定金具の六角ボルト（M3）を緩めて、差し込む。</p>	
<p>1巻目は、ドラム中央の溝幅の広い部分に巻きつける。エアホースを引っ張りながら、2巻目、3巻目と順次外側の溝に緩まないように巻いていく。</p> 	
<p>固定金具の六角ボルト（M3）を増し締めする。</p>	
<p>ドラム内でエアホースを整理する。</p>	
<p>新品のブッシュをエアホースに装着した後、エアホースをホース金具に留める。</p> 	
<p>同軸ケーブルが緩まないようにしっかりとドラムに巻く。</p> 	
<p>同軸ケーブルを固定金具で止める。A部で折れ曲がらないよう大きな円弧にする。</p>	

作業内容（注意事項及び安全対策）	確認
<p>同軸ケーブルをリールの支柱に固定する。</p> 	
<p>同軸ケーブルをリールの内側で5巻する。</p> 	
<p>分岐金具（くし形状のケーブルを分岐する金具4個）は、L、R、下、上の順番で金具支柱に取付け、その後金具支柱をケーブルドラム内に取付ける。</p>	
<p>同軸ケーブルの5巻目を固定する。</p>	
<p>4巻目は、少したるませる。</p> 	

作業内容（注意事項及び安全対策）	確認
<p>1 巻目のケーブル位置は①、②、③分岐金具はA部、④分岐金具はB部を通す。</p> 	
<p>次に①分岐金具はB部を通し、順次②、③と進める。</p>	
<p>最終 5 巻目は、③分岐金具のEを通し、固定金具 1 に接続する。</p>	
<p>間隔ローラを調整（間隔ローラの六角ボルト（M3）緩めて間隔を元の位置に戻す。）し、固定する。</p> 	
<p>押さえローラを六角ボルト（M5×2本）により取付ける。</p>	
<p>ケーブルがケーブルドラム内壁に沿うように調整し、グリースをケーブルの内外に塗布する。3 項における取付け前状態の記録を参考に、取付ける。</p>	
<p>駆動装置のギアにグリースを塗布する。</p>	
<p>ケーブル出口部分の金具を六角ボルト（M3×4本及び M5×2本）で取付け、シリコングリース（脱アルコールタイプ）を塗布し、モールドする。</p>	
<p>案内管上蓋に、グリースを塗布したOリング（G-250）を取付ける。</p>	
<p>Tレンチにより 4 本の六角ボルト(M12)で案内管上蓋を閉じた後、メンテナンスプラグを取付ける。</p>	

14. コネクタと同軸ケーブル接続 (コネクタ BOX 側)

添付資料1に従い作業を行う。

作業項目	作業内容 (注意事項及び安全対策)	確認
部品確認	コネクタ型式 () ケーブル仕様 () ハンダ仕様 ()	
ケーブル 端末 処理	ケーブル外皮を指定寸法 6.5 mm 剥離する。	
	シールド編組に傷がついていないか確認する。	
	シールドは指定どおりの処理をする。	
	芯線被覆を指定寸法 4.1 mm 剥離する。	
	芯線の素線に傷が無いか確認する。	
	塗布されているカーボンブラックを除去する。 芯線を撚る。	
ハンダ 処理	芯線、ソルダポッドに迎えハンダをする。	
	ハンダ小手の先端温度を放射温度計により確認する。	℃
	ハンダ仕上げが完全であるかを目視及び軽く引っ張ることにより確認する。	
組み立て	シールド処理が完全であるかを目視により確認する。	
	異物が入っていないか確認し、ある場合は取り除く。	
	外部リングを圧着する。	
	コネクタを順序良く、確実に組み合わせる。	
チェック	導通確認を行う。	

15. 静電容量測定及び絶縁抵抗測定

作業内容（注意事項及び安全対策）	確認
仕様からケーブル及び検出器の静電容量を確認し、全体の静電容量を算出する。	ケーブル： _____ μ F 検出器： _____ μ F 全体： _____ μ F
コネクタ半田付け後、プリアンプのコネクタから検出器までの静電容量をLCRメータにより測定する。	_____ μ F
算出値と測定値を比較し、同等値であることよりコネクタが正常に接続されていることを確認する。	
絶縁抵抗測定を行う。（絶縁抵抗検査記録）に記入する。）	

16. 絶縁シールド、コネクタ及びエアホースの取付け

作業内容（注意事項及び安全対策）	確認
コネクタボックスのフランジ用パッキンを装着する。	
プリアンプからケーブルドラムまでの同軸ケーブルに鉄網製の絶縁シールドを施工する。絶縁シールドはアース線と接続する。	
コネクタを接続する。（コネクタボックス内）	
クラッチを元に戻す。	
ケーブルドラムにセットしたピンを外し、ドラムが回転できるようにする。	
コンストンドラムカバーを六角ボルト（M3×6本）で取付ける。	
エアホースを吸気口に取付ける。	

17. アイソレーションの復旧及びケーブル接続確認

作業内容（注意事項及び安全対策）	確認
空気の吸気元弁(KAV1-73)、排気元弁(KVV1-43)を「開」にする。(アイソレーション確認及び解除確認表に記入する。)	
PDB-U12 の MCCB9 及び 10 を「入」にする。(アイソレーション確認及び解除確認表に記入する。)	
PDB-U44 の MCCB3、PDB-EA2 の MCCB2 及び PDB-EB2 の MCCB2 並びに中性子計装盤裏 NFB を「入」にする。(アイソレーション確認及び解除確認表に記入する。)	
センタムによる操作又は手動ハンドルにより、起動系検出器を挿入する。ケーブルドラム内における同軸ケーブル及びエアホースの異常が無いことを確認する。	
起動系の低圧電源、高圧電源の順に ON にし、増幅器／ディスクリミネータ及びペリオド計／対数計数率計をテストから使用に切り替える。(アイソレーション確認及び解除確認表に記入する。)	
増幅器／ディスクリミネータの増幅器出力にオシロスコープを接続し、波形を記録する。同様に起動計の計数率を測定する。(ケーブル接続確認検査記録に記入する)	
増幅器／ディスクリミネータ及びペリオド計／対数計数率計を使用からテストに切り替えて、高圧電源、低圧電源の順に OFF にする。(アイソレーション確認及び解除確認表に記入する。)	
センタムによる操作又は手動ハンドルにより、起動系検出器を引き抜く。ケーブルドラム内における同軸ケーブル及びエアホースの巻取り状態に異常が無いこと及びケーブルドラムの駆動に異音が無いことを確認する。	

18. 試験検査

作業内容（注意事項及び安全対策）	確認
交換作業後試験検査の検査手順に従い、機能を確認する。	

19. 漏えい確認

作業内容（注意事項及び安全対策）	確認
ケーブルドラムの側面板及び上面板に、グリースを塗布した側面板用Oリング（G-360）及び上面板用Oリング（G-190）を取付ける。	
ケーブルドラムの側面板及び上面板を取り付ける。	
耐圧漏えい検査を行い案内管溶接部、フランジ取付けカバーシール部及びケーブルシール部からの漏えいが無いことを確認する。（耐圧漏えい検査記録に記入する。）	

20. 後片付け

作業内容（注意事項及び安全対策）	確認
作業エリアの養生を撤去し、清掃を行う。	
使用工具の片づけを行う。（工具及び機材管理表に記入する。）	
廃棄物については、可燃物、難燃物に分け廃棄する。	

This is a blank page.

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
物質の量	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	立法メートル	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
比体積	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)	(数字の)	1
比透磁率 ^(b)	(数字の)	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
 (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
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)
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s
電荷, 電気量	クーロン	C	s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V
磁束	ウエーバ	Wb	Vs
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C	K
光照射度	ルーメン	lm	cd sr ^(c)
放射線量	グレイ	Gy	J/kg
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq	s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg
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	J/kg
酸素活性化	カタール	kat	s ⁻¹ mol

(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はやコヒーレントではない。
 (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は明示されない。
 (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2 (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
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s
表面張力	ニュートンメートル	N m
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s
角加減	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²
熱流密度, 放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²
熱容量, エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³
電表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m ²
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²
誘電率	ファラド毎メートル	F/m
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s
放射線強度	ワット毎ステラジアン	W/sr
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³

表5. SI接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	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	ゼプト	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	1 h=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	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=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	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×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
バール	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
バイン	b	1 b=100 fm ² =(10 ¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600) m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的關係は、 対数量の定義に依存。
ベール	B	
デジベル	dB	

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
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1 Pa s
ストークス	St	1 St=1 cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1 cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオト	ph	1 ph=1 cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1 cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	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 ^(c)	Oe	1 Oe _e =(10 ³ /4π) 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
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻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 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1メートル系カラット=200 mg=2×10 ⁻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 (「15°C」カロリ), 4.1868 J (「IT」カロリ), 4.184 J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1 μm=10 ⁻⁶ m

