

区 分 変 更	
変更前記号	176
決議年月日	平成 13 年 7 月 31 日

高速実験炉「常陽」核計装設備の更新

— 出力系中性子検出器の交換 —

1996年8月



動力炉・核燃料開発事業団

大 洗 工 学 セ ン タ ー

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

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

製、
下



社 内 資 料

PNC 9440 96-021

1 9 9 6 年 8 月

高速実験炉「常陽」核計装設備の更新

出力系中性子検出器の交換

西野	一成*	長井	秋則*
関	尚之*	七字	雄二**
今井	勝友*	坂井	茂*

要 旨

高速実験炉「常陽」の核計装設備の出力領域で使用している中性子検出器は、炉外の黒鉛遮蔽体外側に設置され中性子照射による消耗劣化が少ないため、設置後約20年間「常陽」の出力領域中性子計装機器として使用してきた。

しかし、長期使用による機械的、電気的な経年劣化を考慮し、より一層の信頼性向上及び予防保全の観点から交換する必要があるため、第11回定期検査期間の平成7年7月1日から8月4日まで約1カ月間で交換作業を実施した。

出力系中性子検出器の交換は「常陽」で初めての経験であったが、事前調査、引抜モックアップ試験を行い実機の交換作業に反映したため、大きな問題もなく無事終了することができた。

* 大洗工学センター実験炉部原子炉第2課
** 東興機械工業(株)

目 次

1. 緒言	1
2. 中性子計装設備の概要.....	2
2.1 中性子計装設備の概要	2
2.2 出力系中性子計装の概要.....	2
3. 出力系中性子検出器の交換.....	3
3.1 概要	3
3.2 出力系中性子検出器の交換工程実績.....	3
3.3 出力系中性子検出器の製作	3
(1) 出力系中性子検出器の主要仕様	3
(2) 出力系中性子検出器保持装置の主要仕様	4
(3) 出力系中性子検出器の製作に係る試験検査.....	4
(4) 出力系中性子検出器の製作に係る許認可	7
3.4 使用済出力系中性子検出器の引抜作業	8
(1) 中性子検出器引抜装置のモックアップ試験.....	8
(2) 使用機材の使用前後の点検整備	9
(3) 炉上部ピット 周りの干渉物の撤去、復旧作業	11
(4) 出力系中性子検出器引抜作業	11
(5) 使用済検出器の保管作業	14
(6) 引抜作業時の放射線量当量率について	14
3.5 新出力系中性子検出器の据付作業	15
(1) 中性子検出器の案内管への挿入作業	15
(2) 据付け後の調整・試験作業	16
3.6 交換作業時の不具合事象	17
4. 結言	19

1 . 緒言

高速実験炉「常陽」の核計装設備で使用している中性子検出器は、起動系及び中間出力系に核分裂計数管、線形出力系に γ 線補償型電離箱を用いている。この内核分裂計数管については、中性子変換物質として ^{235}U を使用し炉心位置にやや近い場所に設置されていることから中性子照射に伴い消耗するため定期的な交換を行っている。一方、線形出力系の γ 線補償型電離箱については、中性子束が起動系及び中間系より低い場所に設置されているため中性子照射による消耗は少なく、昭和49年に設置以来約20年間連続で使用してきており、これまで交換の実績はなかった。

そのため、長期使用による機械的や電氣的な経年劣化等を考慮すると共に、より一層の信頼性の向上及び予防保全の観点から、第11回定期検査期間中に中性子検出器の交換を行った。本報告書は、出力系中性子検出器3体の交換作業とその結果について取りまとめたものである。なお、交換後の検出器諸特性の確認試験に関しては、第11回定期検査の遅延により実施していないため、実施後別途報告する予定であり、本報告書では交換作業までの実施結果を取りまとめた。

2. 中性子計装設備の概要

2.1 中性子計装設備の概要

中性子計装設備の各チャンネルの中性子検出器は全て原子炉容器の外側に設置されており、炉心から漏れてくる中性子束を炉外で検出して原子炉出力を測定するようになっている。起動系、中間出力系については、炉心中心から水平方向2.9 mの黒鉛遮蔽体中に設けられた案内管に挿入されている。また、線形出力系の中性子検出器は炉心中心から水平方向3.55 mの安全容器外側の窒素雰囲気中の設けられた案内管に挿入されている。

図-1に中性子検出器の据付け位置を示す。

起動系及び中間出力系は中性子検出器から出力されるパルス及びパルスの重なりによるゆらぎ電流を計測するため、信号のS/N比を良くする目的で前置増幅器を使用している。この前置増幅器は原子炉格納容器内壁に設置された前置増幅器盤に収納されている。線形出力系については、微小電流出力であり、前置増幅器は使用していない。中性子検出器から出力される信号は中央制御室に設置された起動系、中間系及び線形出力系の各モニタに入力される。これらのモニタは直流電源ユニット、補助リレーユニット及びアイソレータ等付属機器とともに中性子計装盤に収められている。また、原子炉の運転制御に必要な各モニタの出力は原子炉制御盤に設置されている指示計、記録計に表示される。

2.2 出力系中性子計装の概要

線形出力系は中性子検出器（ γ 線補償型電離箱）の直流電流が中性子束に比例することを利用して原子炉出力を測定するもので、原子炉定格出力の約1%から125%までの範囲で使用される。モニタはチャンネル6、7、8の3台で構成され、103%、106%でそれぞれ中性子束高アラーム、中性子束高スクラム信号を発する。モニタの回路は微小電流計、低圧電源、高圧電源及びトリップ回路より構成されている。また、原子炉制御盤に設けられたレンジ切り換えスイッチにより約1/2デカード毎に利得の切り換えを行うことができる。また、線形出力系の中性子検出器は、原子炉容器の周囲に設けられた黒鉛遮蔽体の外側に設置され、炉心からの中性子束は、この黒鉛遮蔽体の温度変化による遮蔽、減速効果の影響を受けるため、線形出力系3台のモニタのそれぞれに黒鉛温度補償回路が設けられている。図-2に出力系中性子検出器の配置、図-3に線形出力系モニタ回路及び図-4に黒鉛温度補償回路図を示す。

3. 出力系中性子検出器の交換

3.1 概要

出力系中性子検出器（ γ 線補償型電離箱）の設計寿命としては、中性子照射量として 1×10^{19} nvtである。「常陽」での照射実績は、これまで 1.76×10^{17} nvtと僅かであるため中性子照射量に関しては特に問題はなかった。「常陽」の γ 線補償型電離箱は昭和49年当時に特性試験の一環として照射寿命試験が実施されこの時の照射量は 1.3×10^{16} nvtであった。この照射試験の結果検出器特性に変化のないことを確認している。現在の「常陽」の検出器照射量は特性試験時の照射実績より1桁程多く照射しているが検出器の特性に変化は認められず、順調に運転してきた。しかし、出力系中性子検出器は設置以来約20年が経過し計装品として電氣的、機械的劣化による不具合の発生確率が高くなる時期にきており、予防保全の観点から早急に交換する必要性があった。

3.2 出力系中性子検出器の交換工程実績

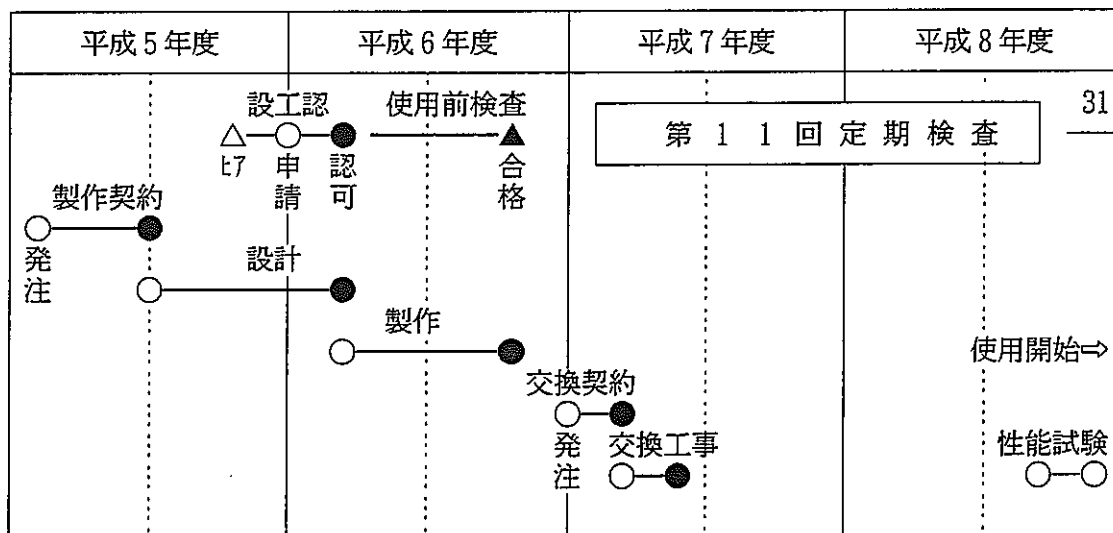


表-1に交換工事工程の詳細を示す。

3.3 出力系中性子検出器の製作

(1) 出力系中性子検出器の主要仕様

- ① 検出器型式 γ 線補償型電離箱（REUTER-STOKES社製）
- ② 中性子変換物質 $92\%^{10}\text{B}$

- ③ 測定範囲 $1 \times 10^4 \text{nv} \sim 1 \times 10^{11} \text{nv}$
- ④ 検出器感度 $2.8 \times 10^{-14} \text{A/nv}$
- ⑤ γ 線感度 $5.25 \times 10^{-12} \text{A/R/hr}$
- ⑥ γ 線補償率 97%~99%

出力系中性子検出器の構造を図-5に示す。

(2) 出力系中性子検出器保持装置の主要仕様

① 構成

- ・検出器保持具
- ・フレキシブルチューブ
- ・遮蔽プラグ
- ・コネクタボックス
- ・遮蔽球
- ・ワイヤロープ

② 外形概略寸法

- ・全長 約8m
- ・遮蔽プラグ 上部 約 $\Phi 200 \text{mm} \times 800 \text{mm}$
下部 約 $\Phi 150 \text{mm} \times 700 \text{mm}$
- ・フレキシブルチューブ 内側 約 $\Phi 60 \text{mm} \times 5200 \text{mm}$
外側 約 $\Phi 120 \text{mm} \times 1700 \text{mm}$

③ 主要材料

- ・遮蔽プラグ SS400及びSTKM
- ・フレキシブルチューブ SUS304

保持装置の構造を図-6に示す。

(3) 出力系中性子検出器の製作に係る試験検査

出力系中性子検出器及び保持装置以下の試験検査を行い、健全性を確認した。

① 材料検査

検出器及び保持装置遮蔽プラグに使用している材料の化学成分及び機械的性質が所定の規格値を満足していることを確認した。

② 外観検査

検出器及び保持装置について、有害な傷変形等のないことを確認した。

③ 寸法検査

検出器及び保持装置の主要寸法が規格値を満足することを確認した。

	測定箇所	基準値 (mm)	測定値(mm)			結果	
			CH 6	CH 7	CH 8		
検出器	外径	$\Phi 39 \pm 0.76$	39.70	39.30	39.60	良	
	検出部長さ	342.9 ± 1.53	344.0	344.0	344.0	良	
	ミケール長さ	信号	7110 ± 10	7108	7108	7105	良
		高圧	6910 ± 10	6908	6905	6905	良
補償		7010 ± 10	7008	7005	7008	良	
保持装置	全長	7746 ± 60	7724	7716	7715	良	
	シヤイプラグ 外径	$200^{+0.3}_{-0.5}$	199.54	199.54	199.55	良	
	遮蔽プラグ 長さ	1500 ± 2	1501	1501	1500	良	

④ 重コンクリート充填密度測定

保持装置遮蔽プラグの遮蔽機能の確認のため、遮蔽プラグに充填した重コンクリートの密度を測定し所定の規格値を満足していることを確認した。

	基準値 (g/cm ³)	充填重量 (Kg)	コンクリート密度 (g/cm ³)	結果
CH 6	3.8以上	211.0	4.20	良
CH 7		205.2	3.96	良
CH 8		205.7	3.94	良

⑤ 溶接検査

保持装置遮蔽プラグの各溶接部について浸透探傷試験を行い、欠陥のないことを確認した。

⑥ 耐圧漏洩試験

保持装置遮蔽プラグ部のシールフランジ及びシールリングのオーリングシール部及びシールリング内エポキシ注型部から漏洩の無いことを確認した。

⑦ 電気試験

検出器各電極の絶縁抵抗、静電容量及びリーク電流並びに保持装置熱電対の絶縁抵抗を測定し所定の規格値を満足していることを確認した。

	測定箇所測	基準値	測定値			結果
			CH 6	CH 7	CH 8	
静電容量	信号	1670PF ±334PF	1489PF	1487PF	1485PF	良
	高圧		1547PF	1543PF	1535PF	良
	補償		1390PF	1391PF	1389PF	良
絶縁抵抗	信号	1 × 10 ¹² Ω 以上	9 × 10 ¹² Ω	2 × 10 ¹³ Ω	1.2 × 10 ¹³ Ω	良
	高圧		7 × 10 ¹² Ω	1.7 × 10 ¹³ Ω	1.6 × 10 ¹³ Ω	良
	補償		1 × 10 ¹³ Ω	1.4 × 10 ¹³ Ω	2.5 × 10 ¹³ Ω	良
	熱電対	5 MΩ以上	1000MΩ	1000MΩ	1000MΩ	良
リーク電流		10 ⁻¹³ A 以下	7.8 × 10 ⁻¹⁴ A	3.6 × 10 ⁻¹⁴ A	1.8 × 10 ⁻¹⁴ A	良

⑧ 特性試験

出力系中性子検出器のγ線及び中性子の照射試験を行い、所定の性能を有していることを下記のとおり確認した。

・γ線感度試験

補償電極に電圧を印加しない状態において、検出部にγ線（約100R/h）を照射しγ線に対する出力電流を測定からγ線感度を算出した。

	基準値	測定値			結果
		照射線量	出力電流	γ線感度	
CH 6	5.25 × 10 ⁻¹² A/R/hr ± 20%	102 R/hr	5.00 × 10 ⁻¹⁰ A	4.9 × 10 ⁻¹² A	良
CH 7		102 R/hr	5.03 × 10 ⁻¹⁰ A	4.93 × 10 ⁻¹² A	良
CH 8		102 R/hr	5.10 × 10 ⁻¹⁰ A	5.00 × 10 ⁻¹² A	良

・中性子感度試験

検出器に中性子を照射(350nv) し、中性子検出器の出力電流から中性子感度を算出した。

	基準値	測定値			結果
		中性子束密度	出力電流	中性子感度	
CH 6	2.80×10^{-14} A/nv $\pm 20\%$	346 nv	9.0×10^{-12} A	2.60×10^{-14} A/nv	良
CH 7		346 nv	9.3×10^{-12} A	2.68×10^{-14} A/nv	良
CH 8		346 nv	9.2×10^{-12} A	2.65×10^{-14} A/nv	良

nv : n/cm²・s⁻¹

(4) 出力系中性子検出器の製作に係る許認可

① 設工認

出力系中性子検出器の製作（3体）に先立ち設工認申請を科学技術庁原子炉規制課に行い認可を受けた。

設工認は、耐用年数を考慮し、予防保全の観点から製作することを目的に申請し、予備品としての位置付けで認可を受けた。（科学技術庁内規「予備品の規制について」に基づいた。）

また、平成元年のICRP Pub. 26 の取り入れによる原子炉等規制法の改正によって遮蔽評価の見直しが必要となったため、遮蔽プラグ部の遮蔽再評価を行い問題のないことを確認した。

- ・設工認申請 6 動燃（安）610 平成 6 年 5 月 23 日付け
- ・設工認認可 6 安（原規）第 127 号 平成 6 年 6 月 16 日付け

② 使用前検査

使用前検査は、平成 6 年 12 月 2 日に（株）東芝京浜事業所にて受検した。

この時、出力系中性子検出器は保持装置に組み込み完成した状態で、外観、寸法検査を立会いで、材料、絶縁抵抗、単体性能検査を記録確認で受検し合格した。

- ・使用前検査申請 6 動燃（安）638 平成 6 年 7 月 13 日付け
- ・使用前検査変更届 6 動燃（安）713 平成 6 年 10 月 3 日付け
- ・使用前検査合格証 6 安（原規）第 178 号 平成 7 年 1 月 12 日付け

3.4 使用済出力系中性子検出器の引抜作業

出力系中性子検出器は、「常陽」運開以来一度も交換したことがなく、引く抜きに必要な機材類も製作後長期間保管されていたことから、交換作業手順、必要機材の整備、現場調査等を事前に行い交換本番を支障なく遂行できるよう実施した。

中性子検出器の交換作業フローを表-2に示す。

(1) 中性子検出器引抜装置のモックアップ試験

中性子検出器引抜装置は、原子炉周囲に配置された中性子検出器案内管内の中性子検出器保持装置をオペフロ上に据付けられる中性子検出器引抜キャスクに受け渡すため、中性子検出器引抜装置のプラグ保持具で接続、保持して、中性子検出器引抜装置の巻き上げ装置で中性子検出器案内管内から巻き上げ、中性子検出器引抜装置の伏仰装置を伏動して中性子検出器中部出し入れ管内に収納して、伏仰する機能を有している。

本装置は、製作後約18年を経過し、構成部品が劣化しているため、平成6年度に整備を行った。また、本装置を用いたモックアップ試験を行うための試験用機器の製作を行った。

モックアップ試験は、引抜装置を実機据付け、取扱条件を模擬した試験用機器と実機用中部出し入れ管とを組み合わせ、中性子検出器保持装置の主要部位である、遮蔽プラグ部分を被試験体として使用して、取扱作業性の確認を行い、問題点の摘出改善を行って実機交換作業に反映することを目的として実施した。

モックアップ試験は以下の項目について行った。

イ) 引抜装置の分解、組み立て試験

ロ) モックアップ作動試験

- ・引抜装置による巻き上げ、巻き下げ試験
- ・引抜装置による伏動、仰動試験
- ・試験用架台の滑車による保持装置吊り上げ、吊り下げ試験

モックアップ試験の結果、下表に示す改善項目を抽出した。

インタロック条件の変更	爪の昇降動作及び本体の俯仰動作に関し、以下のインタロック条件に変更する。 ①本体の俯仰動作は「巻き上げ上限LSがON」の時のみ可能とする。 ②爪の昇降動作は「俯仰上限LS」（本体が直立状態）の時のみ可能とする。
軸継手に安全カバー追加	巻き上げモータの軸継手が露出状態であるので、安全カバーを設置する。
ワイヤロープ端末処理の変更	爪が下限位置の状態ワイヤロープの端末部が床と干渉しないように端末部の長さ75mm以下にする必要がある。
爪との干渉部の切除	爪上限位置で、爪と本体上部が水平リブが干渉する。水平リブの干渉部を切除する。
ローラ及びローラガイド変更	爪を折り込む際に、外側のローラとローラガイドが接触摺動する。摺動時引っ掛かりを低減する。 ① ローラの端面角部をR加工する ② ローラガイドの内面の塗装を除去し、グリスを塗布する。

引抜装置の構造を図-7に示す。

モックアップ試験装置組み立て図を図-8に示す。

(2) 使用機材の使用前後の点検整備

「使用前の整備作業」

引抜に使用する機材をメンテナンス建屋内の集め、主要機材である主キャスクについて次の点検整備を行った。

(a) 外観点検

① 主キャスク内面等に塗布されている防錆油除去後、機器内外表面について目視で欠陥（キズ、錆塗装の剥離）のないことを確認した。又、キャスク以外の機材についても同様に確認した。

② ワイヤロープについては、素線の切断、ほつれ変形等のないことを確認した。

③ リミットスイッチについては、外観に損傷等の異常のないことを確認した。

(b) 絶縁抵抗試験

主キャスク、取出装置操作盤、電源ケーブル等電気回路の絶縁抵抗測定を行った。

① 主キャスク（巻上げモータ、中間遮蔽体モータ） 20MΩ

- ② 引抜装置操作盤 2 MΩ
- ③ リミットスイッチ 2 0 MΩ

(c) 主キャスク作動試験

主キャスク作動試験は、主キャスクを垂直状態で次の試験を実施し、異常のないことを確認した。

① ドアバルブ作動試験

ドアバルブを全開、全閉が手動ハンドルにより円滑に操作できることを確認した。

② 中間遮蔽体駆動試験

中間遮蔽体を上昇、下降作動させ、円滑に作動できると及び作動ストロークが320 mm付近で自動停止すること。また、駆動電流が定格値以内であることを確認した。

- ・駆動ストローク 320 mm
- ・駆動ストローク時間 43秒
- ・駆動時モータ電流 1.4 A

③ 巻上機駆動試験

操作盤スイッチの操作により巻き上げ機の巻き上げ巻き下げが正常に作動すること及び停止することを確認した。

- ・巻き上げ速度 530 mm/min
- ・巻き上げ時作動電流 1.25 A
- ・作動時間（主キャスク下面から上限リミットスイッチまで） 14分50秒

④ 屈曲試験

主キャスクと中間遮蔽体とを固定している支持パイプを取り外し、中間遮蔽体中心と上部の主キャスク中心とが同芯円上にあることを確認した。その後、中間遮蔽体下部の支持ピンを架台の軸受ブッシュ上に支持した状態で主キャスクを転倒しながら主キャスクと中間遮蔽体との間を約30°屈曲させ、異常なく作動することを確認した。

「使用後の整備作業」

中性子検出器貯蔵保管作業終了後、主キャスク等の使用機材をメンテナンス建家で整備を行った。これらの主な作業内容は次の通りである。

- ① 主キャスク等使用機材の放射線サーベイを行い汚染がないこと確認した。
- ② 主キャスクの内面を清掃し、防錆油を塗布した。
- ③ 使用機材一式を大型倉庫へ保管した。

(3) 炉上部ピット周りの干渉物の撤去、復旧作業

出力系中性子検出器の交換作業は、「常陽」運転開始以来始めて行う作業であり、使用済検出器取り出しキャスクの附帯設備である引抜装置を始めて使用する。また、引抜装置を設置する炉上部ピット周りの状況は、種々の増設、改造工事により設置当時より変わっている。そのため、交換作業を円滑に実施するために、事前調査を行った。調査の結果、次のような干渉物に対する対策の必要があることが判った。これらの干渉物及びその対策については以下のとおりである。

① 回転プラグ内グレーチングの一部 (CH6, 7, 8 上部)

引抜装置は炉上部ピット内のCH7, CH8 上部に据付ける必要がある。このため搬出入時に干渉するグレーチングを撤去した。また、CH6 引抜は、主キャスクを直接炉上部ピット内のCH6 上部に据付けるため、主キャスクと干渉するグレーチングを撤去した。

② 回転プラグ外壁面の追加遮蔽体の一部 (CH7, CH8)

引抜装置を炉上部ピット内のCH7, CH8 上部に据付ける際に、引抜装置の架台部とモータ部が干渉するため、回転プラグの外壁面の追加遮蔽体 (パラフィン袋含む) の一部を撤去した。

③ CH8 上部の配管、CH7 周辺の電線管

引抜装置は、伏仰動作時に引抜装置上部がピット内の天井付近のガス配管、電線管と干渉するため、若干しない位置に移動した。

④ 空調ダクト

炉上部ピット内の空調ダクトが、引抜装置の搬入据付け及び主キャスクの据付けに干渉するため、干渉部分の空調ダクトを撤去した。

⑤ CH6 周りの窒素ガス配管

回転プラグ冷却用の窒素ガス配管がCH6 への主キャスク据付時に主キャスクと干渉するため、撤去した。

⑥ CH6 横のCH3 中性子検出器関連設備 (駆動部、出し入れ管、密封管他)

CH3 は、CH6 と隣接するため、使用済出力系中性子検出器保持装置の交換時に炉上部ピット室内に設置された案内管取り付け台上での主キャスクドアバルブ開閉操作上、ドアバルブの駆動軸がCH3 用出入管、密封管、コネクタボックスと干渉するため、駆動装置、取付台、出入管及び密封管を撤去し、コネクタボックスを引き上げて回避した。

(4) 出力系中性子検出器引抜作業

3体の出力系中性子検出器の引抜作業は、引抜工程短縮を図るため引抜装置を使用するCH7、8と使用しないCH6を考慮して、CH7⇒CH6⇒CH8の順番で引抜こととした。

① 使用済検出器地切作業

中性子検出器保持装置の遮蔽プラグ部をRPU天井に設置したフェンブロックで吊り約200mm引き抜き地切し、プラグ部のオーリングを切断した。また、摺動抵抗軽減対策のため遮蔽プラグシール面にグリースを塗布した。

② コネクタボックス分解吊り金具取り付け作業

遮蔽プラグ上部のコネクタボックスを分解し、引抜用の吊り金具を取り付けた。
なお、CH7,8の吊り金具は、引抜装置、中部出し入れ管を設置し引抜作動が完了した時点で取り付けた。これは、引抜装置の据付前に設置すると引抜装置の爪が吊り金具に取り付けできないためである。

③ 中部出し入れ管の据付け作業

RPU天井埋め込み金物に吊り耳を溶接取り付け、旋回クレーン及びチェンブロックによりRPU内検出器上部に吊り込み、案内管取り付け台に据付けた。

④ 引抜装置の据付け作業

引抜装置は、寸法上RPU内に吊り込めないため分解、組み立てできる構造となっている。RPU内への吊り込みは引抜装置を分解し各部品毎に吊り込みRPU据付け位置で組み立て作業を行った。吊り込み、組み立て据付けは次の手順で実施した。

吊り込み組み立て手順

- ・据付けベース セット 右半分
- ・駆動部
- ・支柱
- ・据付けベース セット 左半分
- ・ステー

なお、CH8に引抜装置を据付け時にベース固定用ボルト穴のズレがあり、ボルト固定が不可能となった。そのため、ベースと案内管取り付け台を一時的に溶接で固定した。

⑤ 引抜装置作動確認

引抜装置の爪を上昇、下降作動させ、円滑に作動できること及び上下限位置で自動停止すること。また、駆動電流が定格値以内であることを確認した。

- ・ 駆動時モータ電流（上昇時） 1. 8 A
- ・ 駆動時モータ電流（下降時） 1. 9 A

引抜装置の伏仰装置を伏動、仰動させ、円滑に作動できること及び上下限位置で自動停止し伏仰角度が正常であること。また、駆動電流が定格値以内であることを確認した。

- ・ 駆動時モータ電流（伏動時） 1. 3 5 A
- ・ 駆動時モータ電流（仰動時） 1. 2 5 A
- ・ 伏仰角度 3 0 °

⑥ 主キャスク類の格内搬入据付作業

主キャスク及び付属遮蔽体 2 はメンテナンス建屋よりメンテナンス台車を使用して格納容器内へ搬入し、引抜く検出器位置に据付けた。なお、主キャスクは、旋回クレーンの芯で起立転倒できるような位置（図-9に示す。）に仮置きした。

主キャスク起立、転倒図を図-10に示す。

⑦ CH 6 の引抜作業

主キャスクを起立吊り上げ、CH 6 検出器上部へ移動し周囲の障害物に注意しながらゆっくり下降させ据付けた。据付け図を図-11に示す。

CH 6 据付けに際しては、据付け箇所周辺が非常に狭いため事前に主キャスクの木製テンプレートを用いて据付けの経路の確認をした後に実施した。

なお、干渉するCH 6 横のCH 3 検出器コネクタボックスについては、約 2 m 程引き上げCH 3 フレキ部を屈曲させて干渉を避けた。

主キャスクワイヤを吊り金具に取り付け（図-12参照）、巻き上げ装置を作動させ保持装置をキャスク内に収納した。引抜作動時間は14分50秒であった。

収納後ドアバルブを閉め、据付けと逆の手順でキャスクを移動転倒した。

⑧ CH 7、8 の引抜作業

主キャスクを起立吊り上げ、CH 7、8 位置に移動し中間遮蔽体を引き上げ主キャスクを屈曲させ、ワイヤロープを吊り金具に取り付けた後（図-13参照）、引抜操作を開始した。

引抜装置を上昇させ、遮蔽プラグを約 2 m 引抜（作動時間約 7 7 秒）上限で停止の後（図-14(1/5) 参照）、仰動し中部出し入れ管に遮蔽プラグを沿わせた。（図-14(2/5) 参照）

主キャスクの巻き上げ機を作動させ遮蔽プラグが主キャスクの屈曲部に達するまで引

き抜いた。(引抜時間約14分)(図-14(3/5)参照)

屈曲部に達したら巻き上げ機を一時停止し、主キャスクを屈曲状態から垂直状態にさせ中間遮蔽体を降下させた。(図-14(4/5)参照)

垂直後再度巻き上げ機を作動させ保持装置を主キャスク内に収納した。引抜作動時間は10分30秒であった。(図-14(5/5)参照)

収納後ドアバルブを閉め、据付けと逆の手順でキャスクを移動転倒した。

(5) 使用済検出器の保管作業

引き抜かれた出力系中性子検出器は、主キャスクの中に収納された状態で格内から台車によりメンテナンス建家に搬入し一時保管するための作業を行った。貯蔵プールへの保管作業は、検出器をプール内に落下させないようにするため、次の手順で実施した。

- ① メンテナンス建家内で主キャスクを垂直に起立させ固体廃棄物移送台車の上載せる。
- ② 中性子検出器を中継ポート内へ装荷する。このとき中性子検出器の上部(吊り金具が見える位置)で停止し、キャスクを台車上面より約500mm上昇させ中性子検出器が吊り下ろされているかを目視で確認した。
- ③ 中性子検出器吊り金具に仮置きバーを挿入して台車上面に仮置きした。
- ④ 主キャスクを中性子検出器より切離、移動して転倒架台に載せた。
- ⑤ 中性子検出器の吊り金具にハンドリングヘッドを取り付けた。
- ⑥ ハンドリングヘッドを水中移送機グリッパでつかみ少し吊り上げ仮置きバーを取り外す。
- ⑦ 水中移送機を使用して中性子検出器を中継ポートから保管台へ挿入する。
- ⑧ 水中移送機グリッパにフックを取り付け、中継ポートにある保管台を吊り上げ貯蔵ラックに移す。

以上、引き抜いた中性子検出器をメンテナンス建家の固体廃棄物貯蔵プールへ貯蔵する時の主な手順について述べた。これらの作業はより詳細な手順書に従って実施され問題無く作業を完了することができた。

(6) 引抜作業時の放射線量当量率について

出力系中性子検出器の引抜時に検出器及び主キャスク各部の表面線量率を測定した。実測データを以下に示す。

測定箇所	C H 6	C H 7	C H 8
遮蔽プラグ引上伏仰時プラグ表面	—	120 μ Sv/h	40 μ Sv/h
同上時雰囲気	—	8 μ Sv/h	5 μ Sv/h
検出器検出部から2.4 m地点	—	30 μ Sv/h	—
キャスク表面	1 μ Sv/h	4 μ Sv/h	5 μ Sv/h

① 測定結果の評価

CH7とCH8は、照射条件及び構造は同一であるため、ほぼ同一の測定値となると考えられたが、遮蔽プラグ引き上げ伏仰時の比較ではプラグ表面と雰囲気では、両者の比は異なる結果（1.6倍に対し3倍）となった。これは、雰囲気線量については、測定の実誤差と考えられるがプラグ表面については、遮蔽プラグの径方向の測定した箇所の違いで差が生じたものと考えられる。いずれにしても低い線量率であった。

CH7の検出器表面から2.4 m地点の測定値を基に検出器表面での値を外挿した。

「検出器表面を検出器中心から10 cmの位置と仮定、線源は点状と考える。」とすると、線量当量率は距離の2乗に反比例するので $0.03 \times (240/10)^2 = 17 \text{mSv/h}$ となった。CH8についてもキャスク表面の測定結果の比較から、CH7と同等であると考えられる。

② 予測評価との比較

今回の引抜対象である出力系中性子検出器の中性子照射による放射化量から交換時の線量当量率の事前予測を行った。評価結果を添付書類-1に示す。

添付書類-1より検出器表面線量は約48mSv/hと予測した。CH7の外挿値17mSv/hと比較すると約2.6倍の食い違いとなる。添付書類-1の「測定値は2倍程度の範囲で整合性がある」ことから、予測値と実測値はほぼ一致し、保守側の予測結果であった。

3.5 新出力系中性子検出器の据付作業

新しい検出器の据え付け・試験検査関連作業として、保管場所（第一倉庫）での点検、格内への移送、格内での据え付け前点検、炉上部ピット室内の案内管内への挿入、据え付け、据え付け後の単体試験（外観、耐圧、漏洩、電気試験）を行い据え付け工事の健全性を確認した。

(1) 中性子検出器の案内管への挿入作業

① 検出器の使用前点検

第一倉庫に保管していた検出器の健全性を確認するため、熱電対の絶縁抵抗確認、検

出器の信号ケーブル絶縁抵抗及び静電容量測定を行い下記の基準を満足していることを確認した。

- ・熱電対：5 M Ω 以上（500 VDC）
- ・検出器：1 × 10¹² Ω 以上（100 VDC）
 - ：1670 PF ± 20%（信号）
 - ：1660 PF ± 20%（高圧）
 - ：1580 PF ± 20%（補償）

② 案内管気密面の点検作業

中性子検出器の挿入前に案内管内の気密面の点検を行った。

点検の結果、内面に遮蔽プラグからの貫き錆と思われる赤錆付着し、CH7とCH8用案内管内面には使用済検出器引抜による摺り傷が認められた。錆の発生は、据え付け面の漏洩試験として実施された発砲液が染み込み、遮蔽プラグ部を発錆させたものと推測される。

また、案内管内面の傷は、使用済み検出器先端の保持具が中部出し入れ管側に斜めに引き抜かれた時、保持具先端部分が案内管内面を擦ったためできたものと推測する。

案内管内面の錆と傷は、手入れ補修を行った。手入れ後の案内管気密面を寸法検査をした結果（200.22～199.92）の範囲であり新検出器の挿入及び気密性上問題のないことを確認した。

図-15に手入れ後の案内管寸法測定試験結果を示す。

③ 新出力系中性子検出器の据え付け

- ・点検完了した新中性子検出器は、第1倉庫から格納容器内に搬入した。

遮蔽プラグに案内管挿入用の吊り具を取り付け、巡回クレーンで吊り上げる。このとき保持装置のフレキシブルチューブに異常な曲がりや脹らみのないことを確認した。
- ・保持装置を挿入する検出器位置に移動し、チェンブロックとクレーンで徐々に挿入し据え付けた。なお、CH7、CH8の案内管へは設備配置上真上から挿入できないため、ピット部のグレーチング位置から斜めに挿入し、RPU内で遮蔽プラグ部を垂直にして、案内管内に挿入した。
- ・コネクタボックス内で中性子検出器のコネクタと既設外線ケーブルコネクタを接続した。

(2) 据え付け後の調整・試験作業

① 遮蔽プラグの耐圧漏洩試験

挿入完了後、遮蔽プラグ、案内管の異常がないことを確認するため、耐圧漏洩試験を行った。案内管内に窒素を約1.5 kg/cm²で加圧し、30分保持後漏洩がないことを確認した。

② 検出器の電気試験

据え付け完了後中制のモニタからの検出器の信号ケーブル及び熱電対について抵抗、絶縁抵抗及び静電容量の測定を行い中性子検出器が健全であることを確認した。

3.6 交換作業時の不具合事象

出力系中性子検出器は、「常陽」建設時に据え付けて以来交換作業の経験は無く、今回が始めての交換作業であった。そのため、事前の調査、準備作業を実施し効率的な作業の遂行を図ったが、作業に支障を来す事象ではなかったが、作業期間中に幾つかの不具合を経験した。また、今回の作業で使用した引抜装置等の一部に次回以降の交換作業時迄に改善を要すると思われる項目があった。これらについては表-4に改善項目一覧表として示す。

以下に不具合概要を示す。表-3に交換作業時の不具合事象一覧表を示す。

① 使用済検出器用吊り金具の干渉

吊り金具フランジの内径と遮蔽プラグフランジ外径が干渉し、吊り金具が取り付けできなかった。フランジ内径を再加工して改善した。

② CH8案内管取付台上への引抜装置据え付け不備

中部出し入れ管の方位と引抜装置の方位にずれがあった。引抜装置ベース据え付けボルト用穴を長穴加工し改善した。

③ 遮蔽プラグ用オーリングの成形不良

遮蔽プラグシール用のオーリングの成形部（接着部）に段落があった。予備品を使用した。

④ CH8引抜作動時の使用済み検出器の引っ掛かり現象

取り付け台開口部近傍で検出器保持具の下部が引っ掛かり、外れたとき衝撃音が発生した。

⑤ 新検出器CH6据え付け方位ミス

遮蔽プラグに据え付け方位識別がなかったため炉心方位より180°逆方位に据え付けた。炉心方位を基準に再度据え付け直した。

⑥ CH7 新検出器漏洩試験疑義

CH7 耐圧漏洩試験をした結果若干の圧力降下があった。調査の結果、既設窒素ガス排気弁（V41-16）シート面のリークであった。パイプレンチで増し締め後試験を行い漏洩のないことを確認した。

⑦ 熱電対用コネクタへの結線ミス

新検出器の熱電対用コネクタ結線と外部配線側のコネクタの結線をしたら、CH7, CH8が低い温度指示を示した。結線を逆として改善した。

⑧ CH7 高圧用ケーブルの静電容量異常

CH7 高圧用ケーブルの静電容量が不安定となった。ケーブルペネトレーションコネクタ部で接地されていた。接地を外し測定し異常のないことを確認した。

⑨ CH7 用上部コネクタボックス内面塗装の剥離

仕上げ塗装の密着不良により剥離していた。再塗装を実施した。

4. 結言

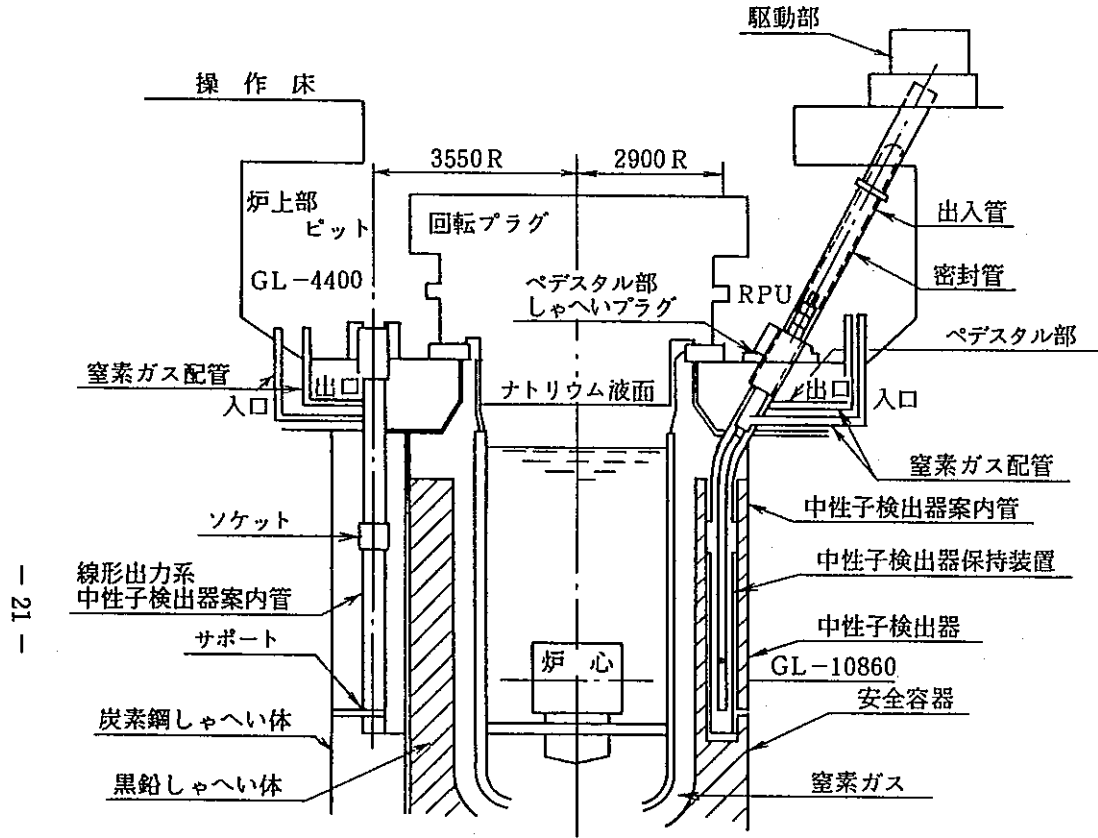
高速実験炉「常陽」の計測制御系統施設の一部である核計装設備の出力系中性子検出器3体について、予防保全の観点から更新を行った。更新工事は平成7年に開始された第11回定期検査期間中の平成7年7月から8月までの約1か月間に渡り実施した。使用済出力系中性子検出器3体は、CH7、CH6、CH8の順に引抜キャスク及び引抜装置を用いて引き抜きを行い、その後平成6年度に製作した新しい出力系中性子検出器を案内管内に挿入、据付、調整を実施し交換作業を完了した。

出力系中性子検出器の交換は「常陽」設置以来初めての作業であったため、事前調査やモックアップ試験を行い交換作業が支障なく遂行できるように臨んだことから、大きな問題もなく計画工程どおり無事に作業を進めることができた。

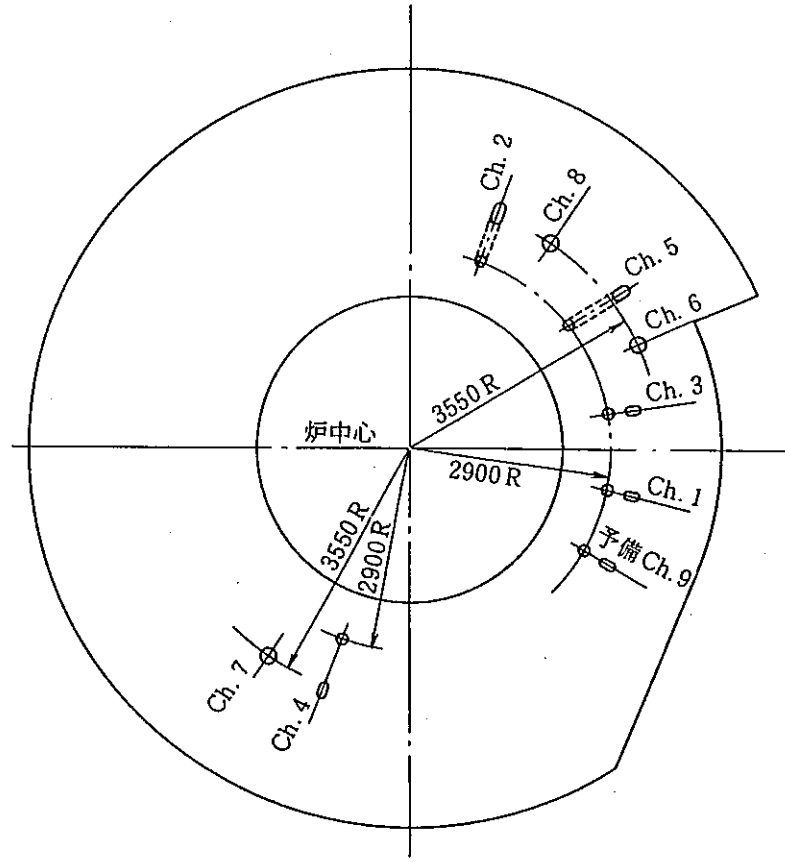
出力系中性子検出器の交換については、計画から製作、据付まで約3年を要し、この間に得られた許認可、製作、交換作業等に関する経験及び知見については、今後の「常陽」核計装設備の保守作業に反映していく。

図 表 リ ス ト

- 図-1 「常陽」中性子検出器の配置図
- 図-2 出力系中性子検出器の配置図
- 図-3 線形出力系モニタの回路図
- 図-4 黒鉛温度補償回路図
- 図-5 出力系中性子検出器の外形図
- 図-6 出力系中性子検出器保持装置の外形図
- 図-7 使用済中性子検出器引抜装置の構造図
- 図-8 モックアップ試験装置組立図
- 図-9 主キャスク格内搬入図
- 図-10 主キャスク起立、転倒図
- 図-11 主キャスクCH6据付図
- 図-12 CH6ワイヤロープ接続図
- 図-13 CH7, .8ワイヤロープ接続図
- 図-14(1/5) 主キャスクCH7, 8据付図
- 図-14(2/5) 主キャスクCH7, 8据付図
- 図-14(3/5) 主キャスクCH7, 8据付図
- 図-14(4/5) 主キャスクCH7, 8据付図
- 図-14(5/5) 主キャスクCH7, 8据付図
- 図-15 検出器案内管寸法測定図
- 図-16 保持装置引抜時干渉図及び改造案
- 図-17 CH8案内管取付台及び引抜装置改造案
- 表-1 出力系中性子検出器の交換工事工程表
- 表-2 出力系中性子検出器の交換作業フロー
- 表-3 不具合事象一覧表
- 表-4 改善項目一覧表



中性子検出器保持駆動装置配置図 (断面図)



中性子検出器保持駆動装置配置図 (平面図)

図-1 「常陽」中性子検出器の配置図

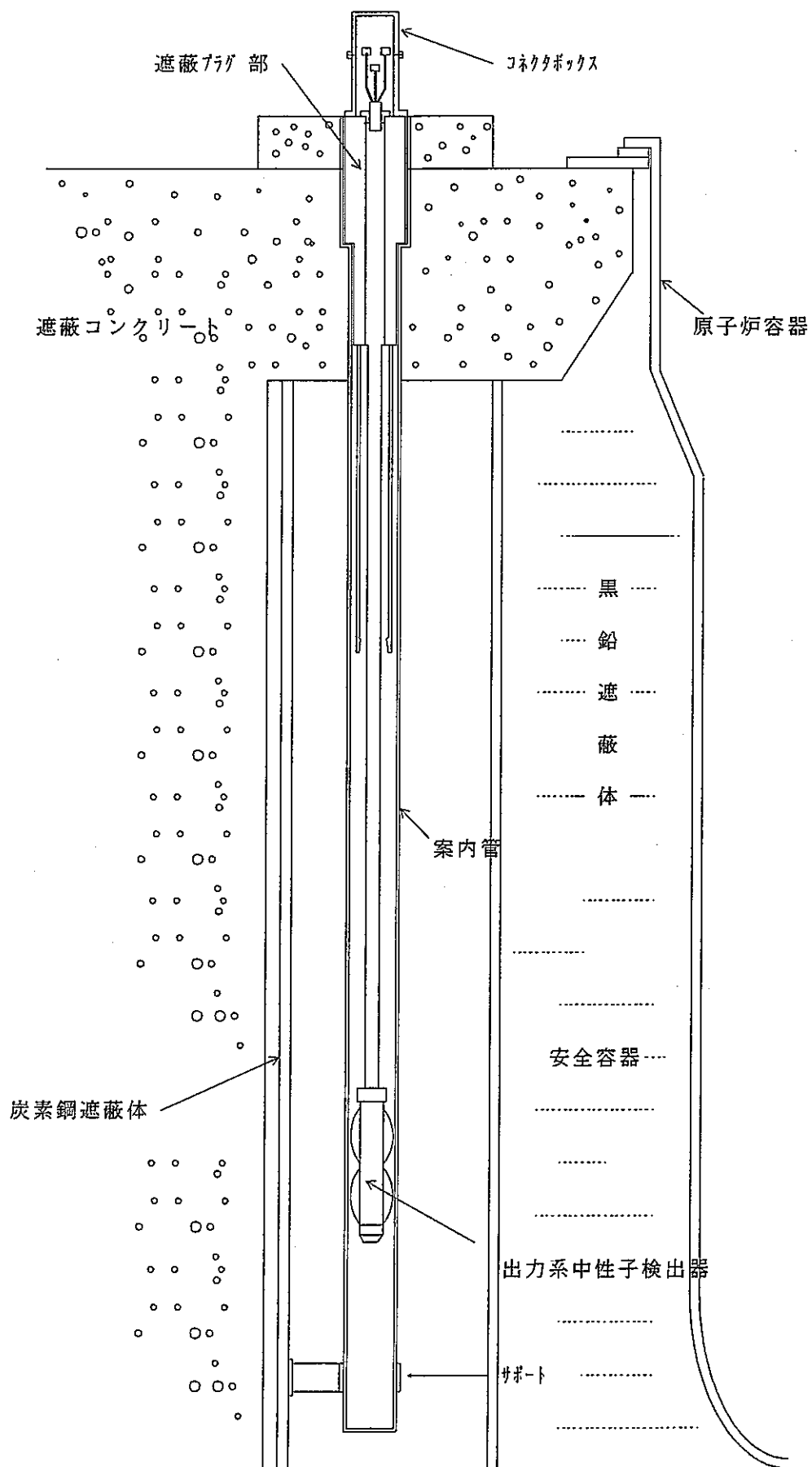


図-2 出力系中性子検出器の配置図

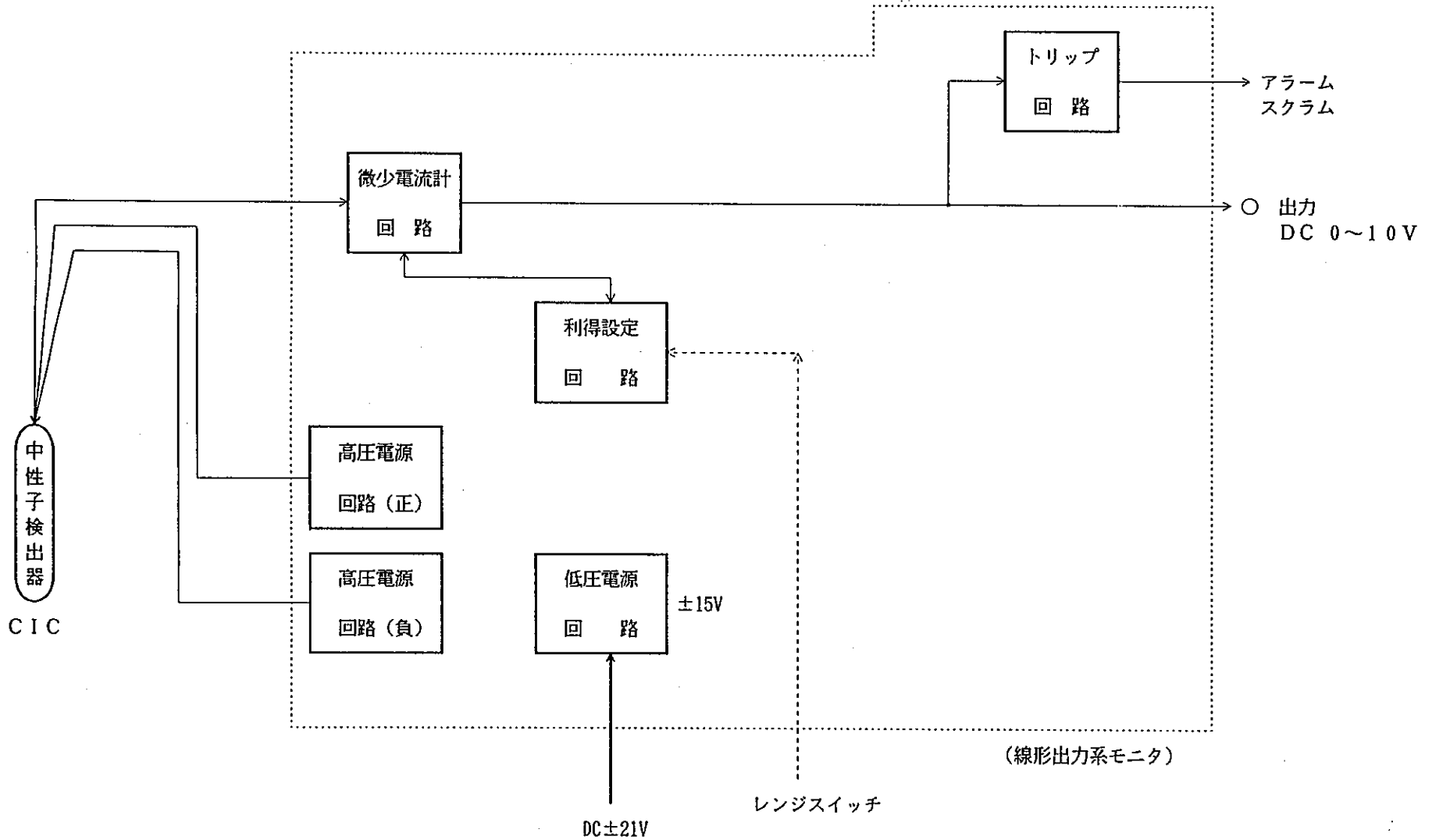


図-3 線形出力系モニタの回路図

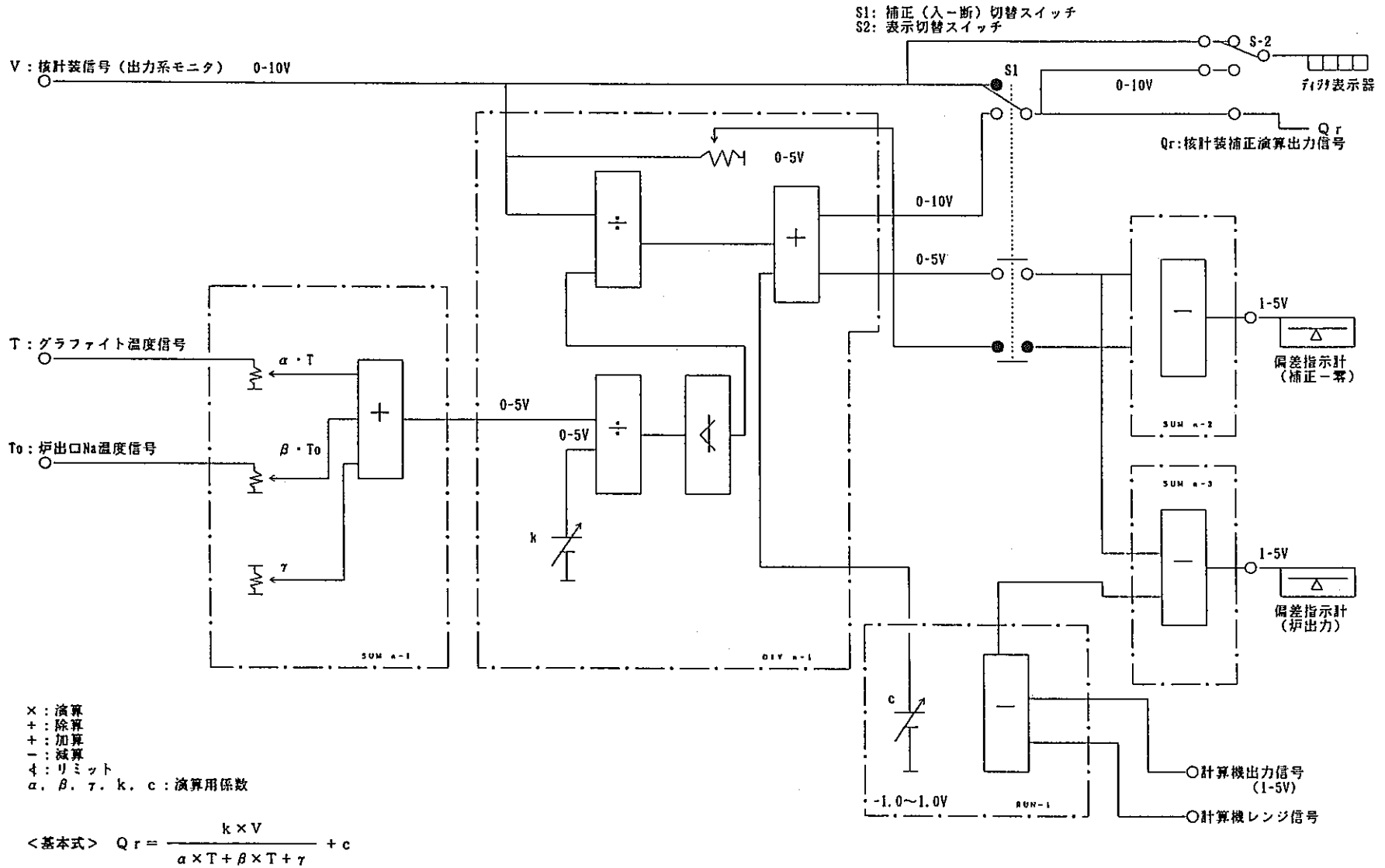


図-4 黒鉛温度補償回路図

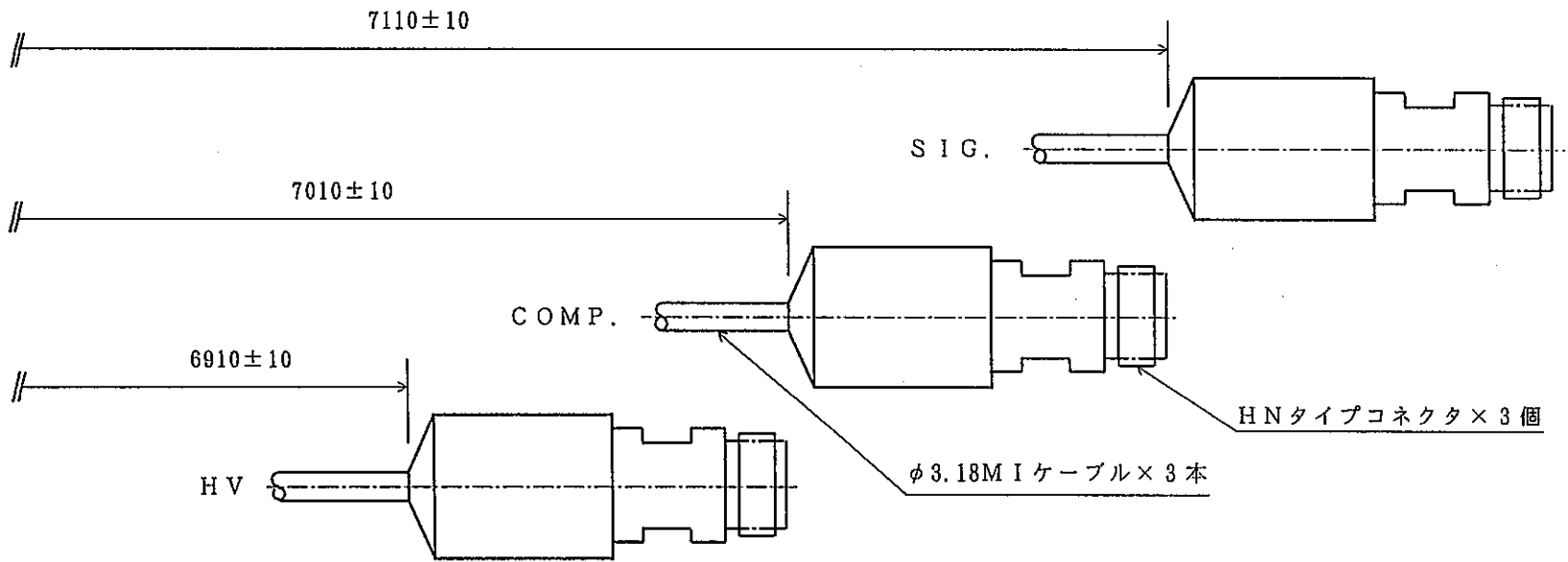
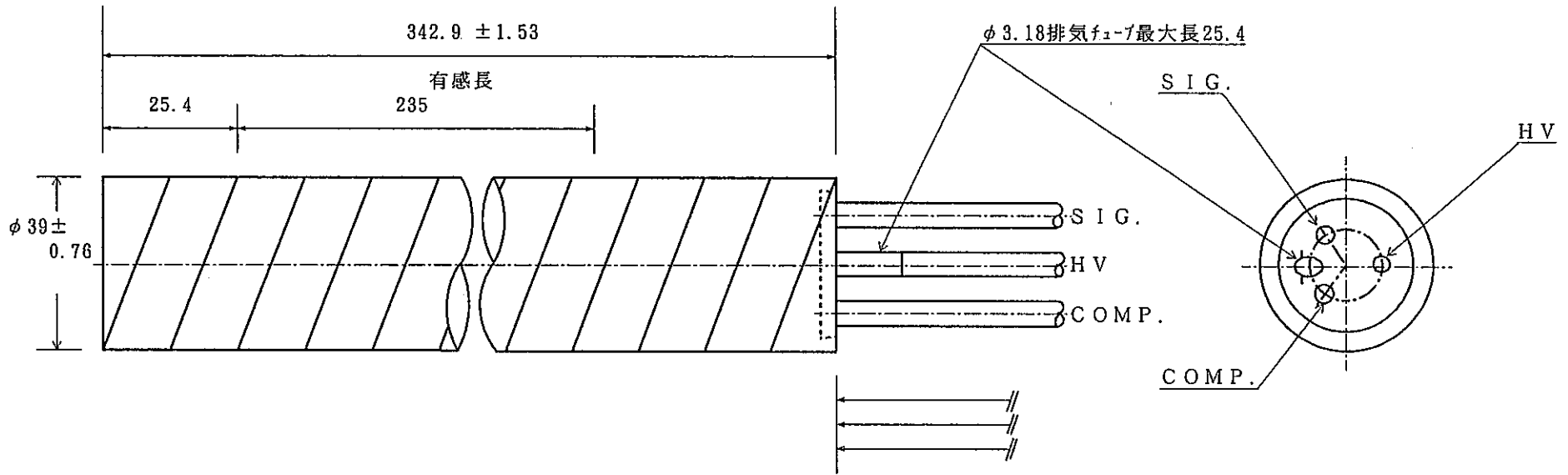
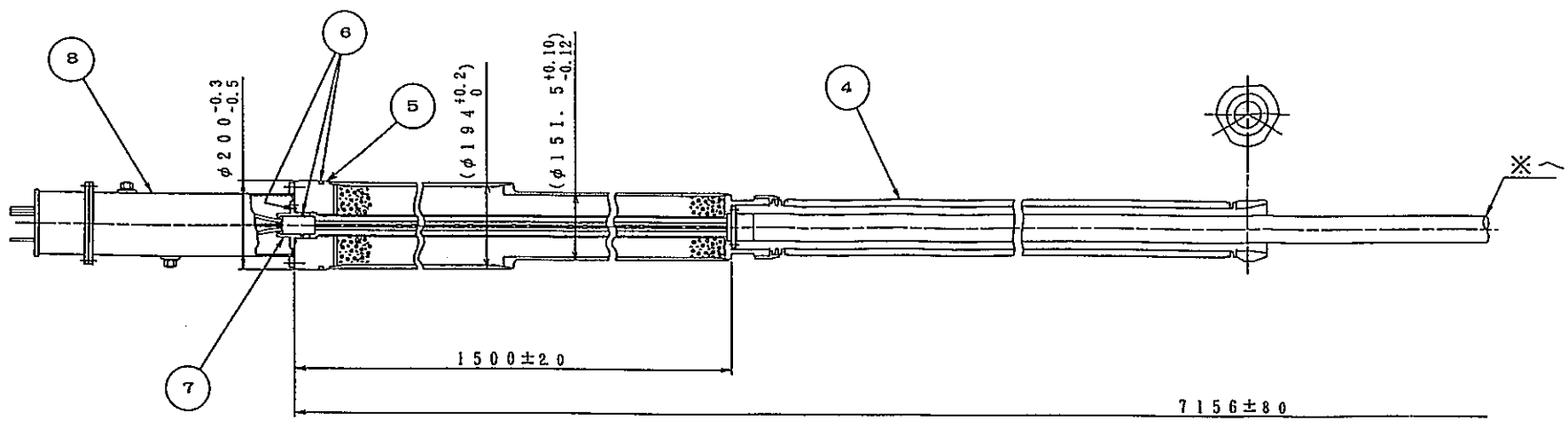
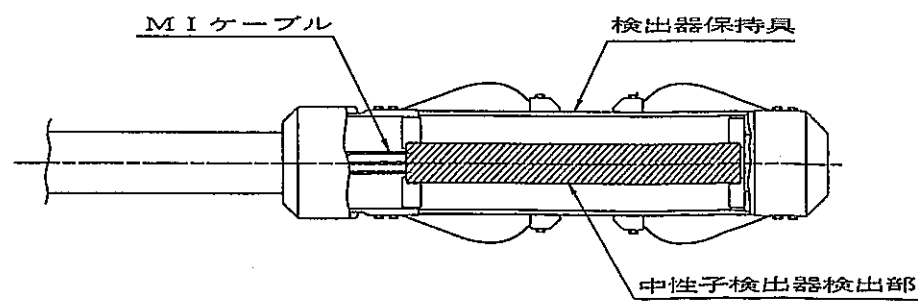
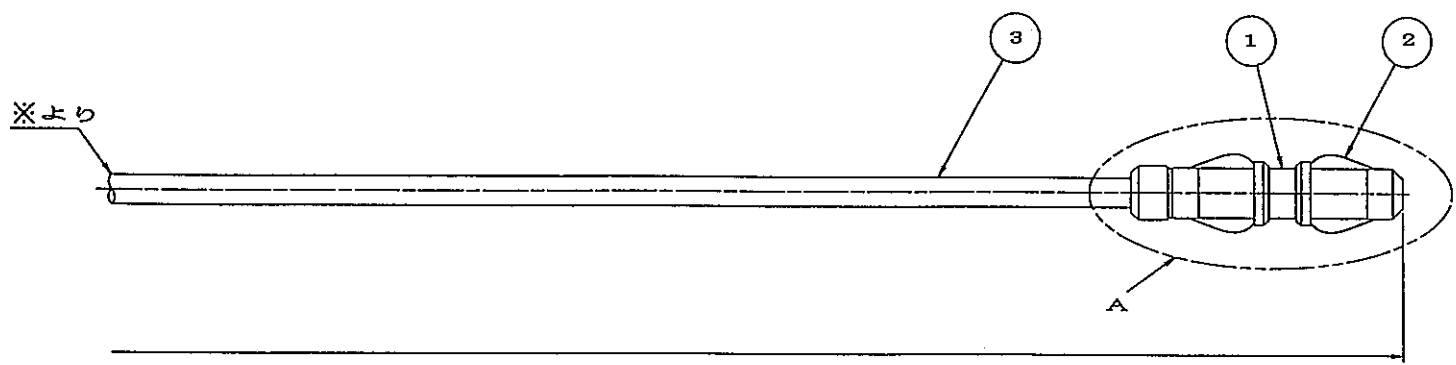


図-5 出力系中性子検出器の外形図



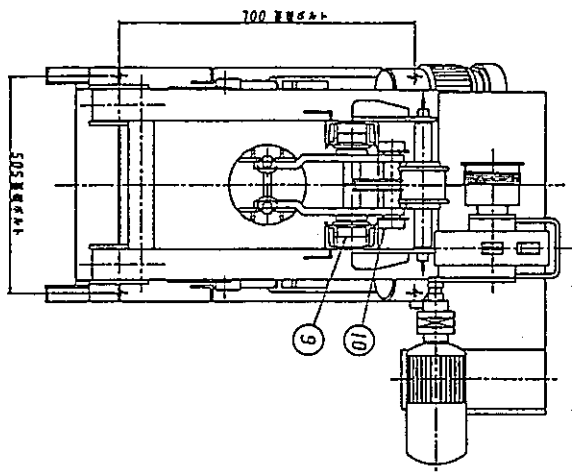
- 26 -



A部詳細

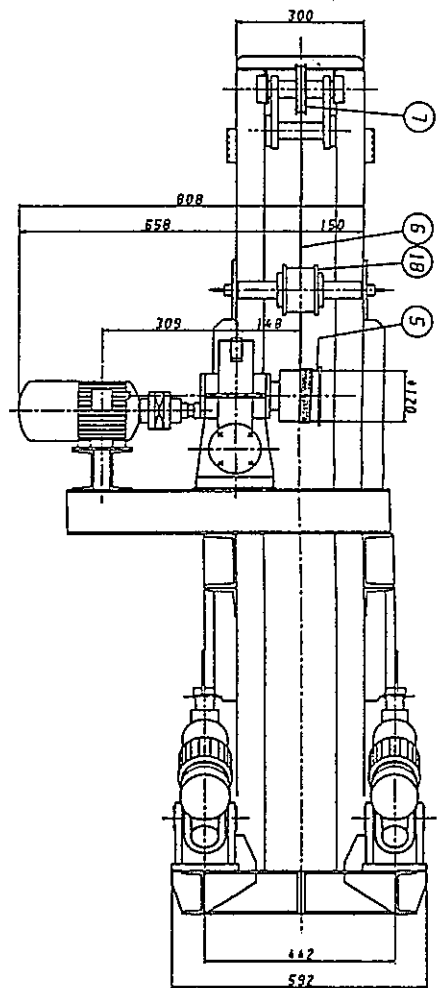
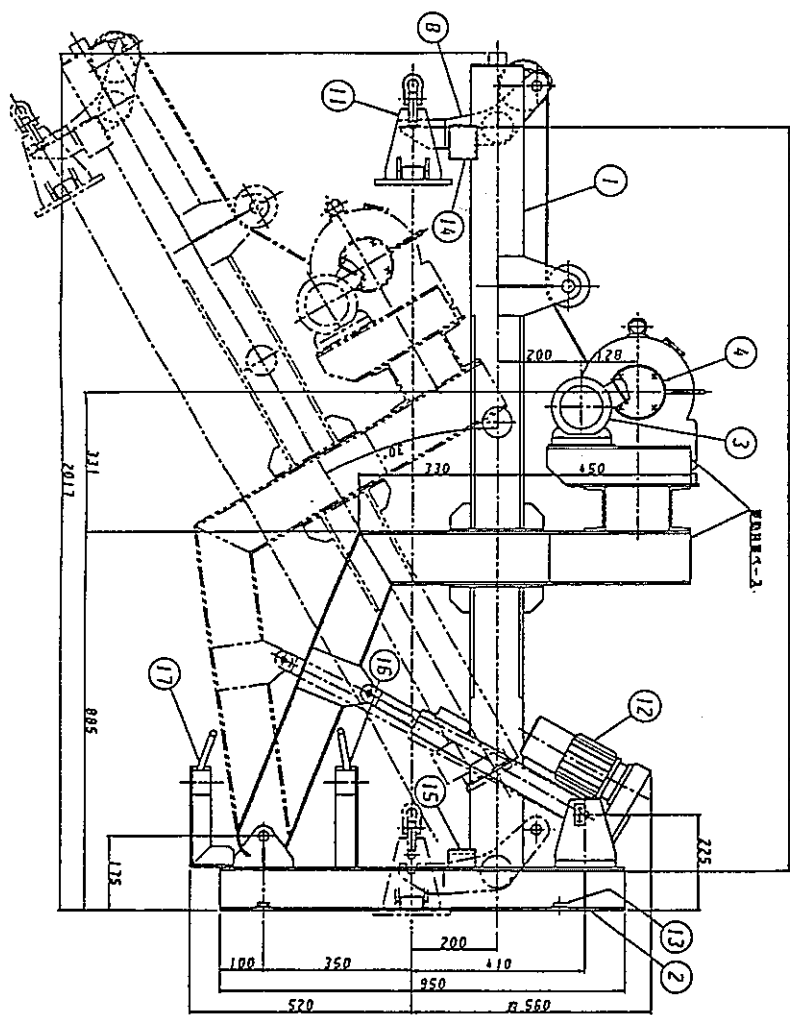
1	検出器保持具
2	板バネ
3	フレキシブルチューブ
4	フレキシブルチューブ (外)
5	遮蔽プラグ
6	Oリング
7	シールフランジ
8	コネクタボックス
No	名称

図-6 出力系中性子検出器保持装置の外形図



18	ガイドローラー	購入品	1	φ100
17	リミットスイッチ	購入品	(1)	前障 上障
16	リミットスイッチ	購入品	(1)	前障 下障
15	リミットスイッチ	購入品	(1)	后下 下障
14	リミットスイッチ	購入品	(1)	后上 上障
13	蓋ボルト (M18)	取寄機	4	現地取付済み
12	パワーシリンダー	購入品	(2)	CDRLP500-L3
11	プラグ品上具	取寄機	1	
10	ネローラー	購入品	2	φ70
9	内ローラー	購入品	2	φ70
8	爪	取寄機	1	200φ
7	ロープシューブ	購入品	1	φ120
6	ワイヤロープ	購入品	(1)	φ8JIS386φ19AM
5	ドラム	購入品	1	φ120
4	減速機	購入品	(1)	減速機M121-1/400
3	0.4KWモーター	購入品	(1)	型名IK-FCKBD
2	ベース	取寄機	1	
1	本体	取寄機	1	

Pnc 名称 材料 個数 備 考



仕 様	
保料状態自費	250kg 取扱荷重 500kg
ストローク	1750mm
引込速度	1.3m/min
引込モーター	0.4KW 4P.プレ-キ付
前障角	30°
前障位置	パワーシリンダー
前障モーター	0.2KWx2
電 源	200V. 50HZ

図-7 使用済中性子検出器引抜装置の構造図

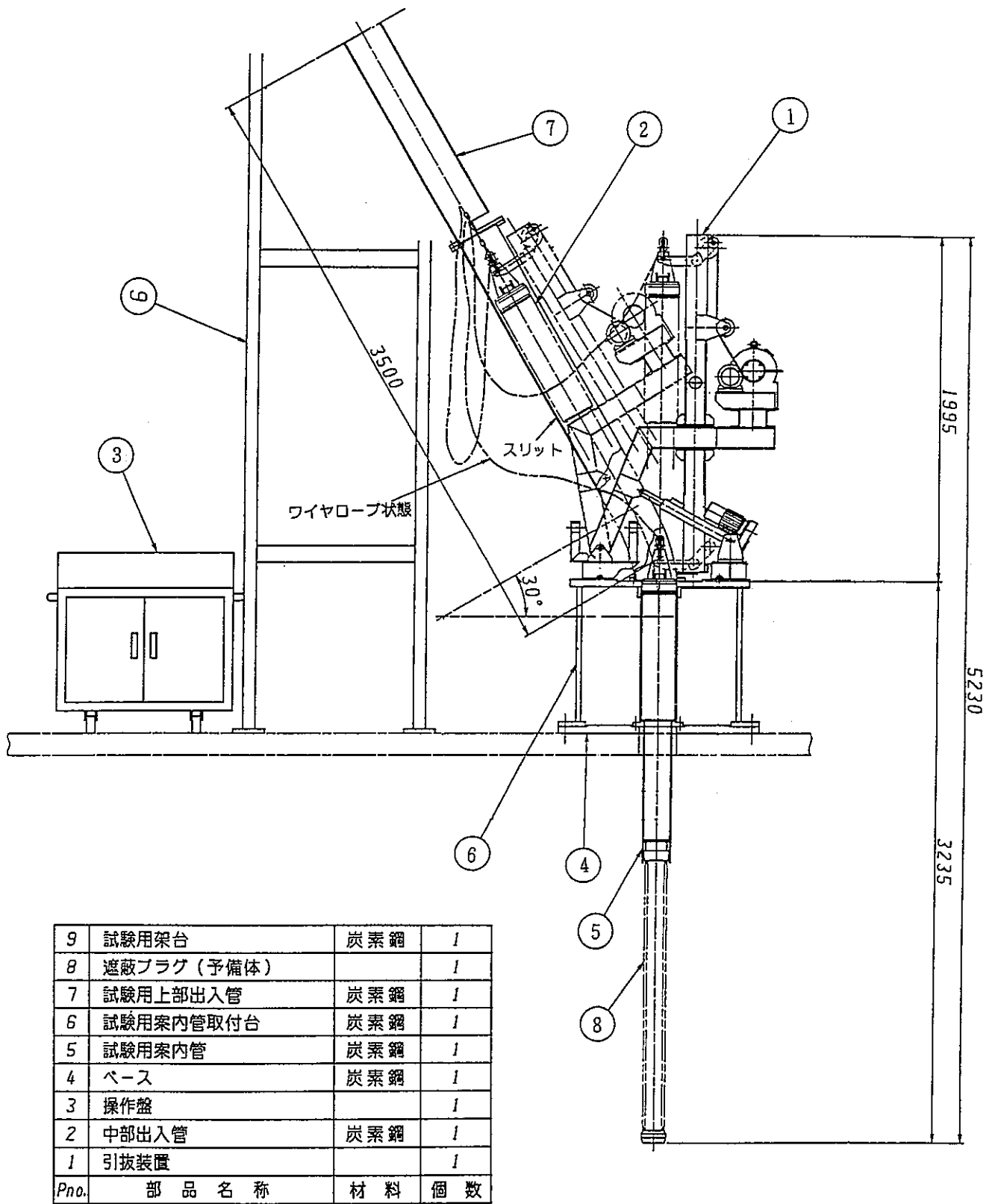
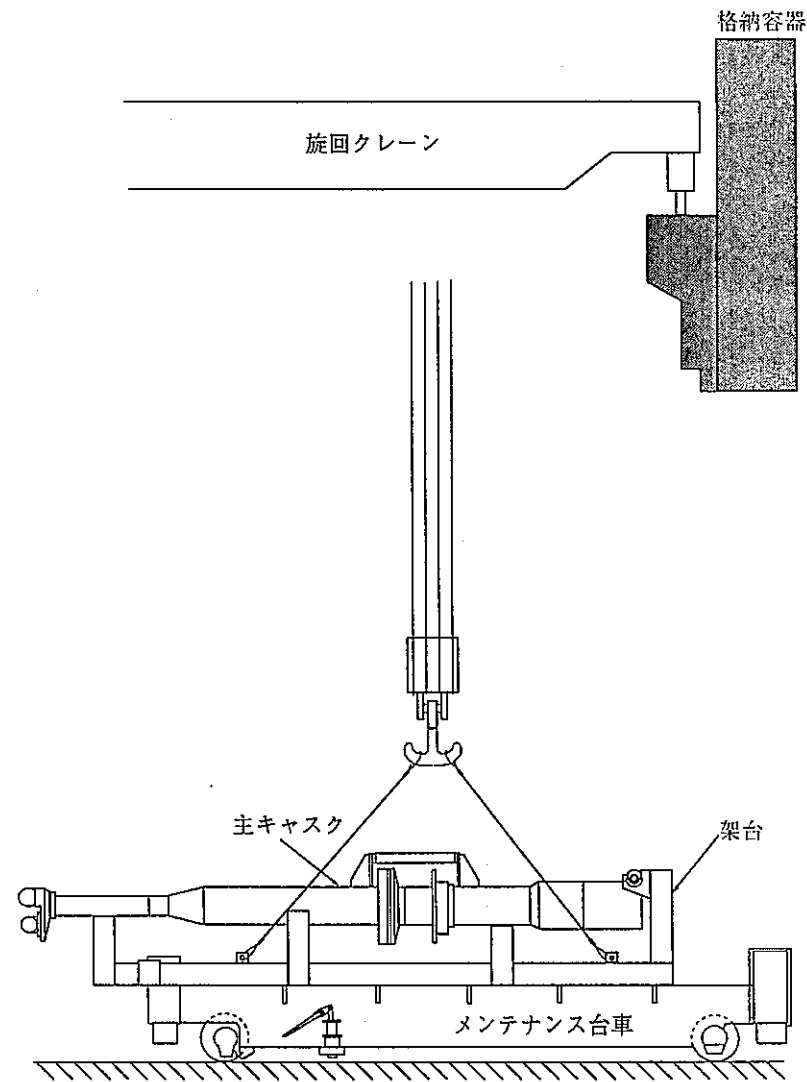
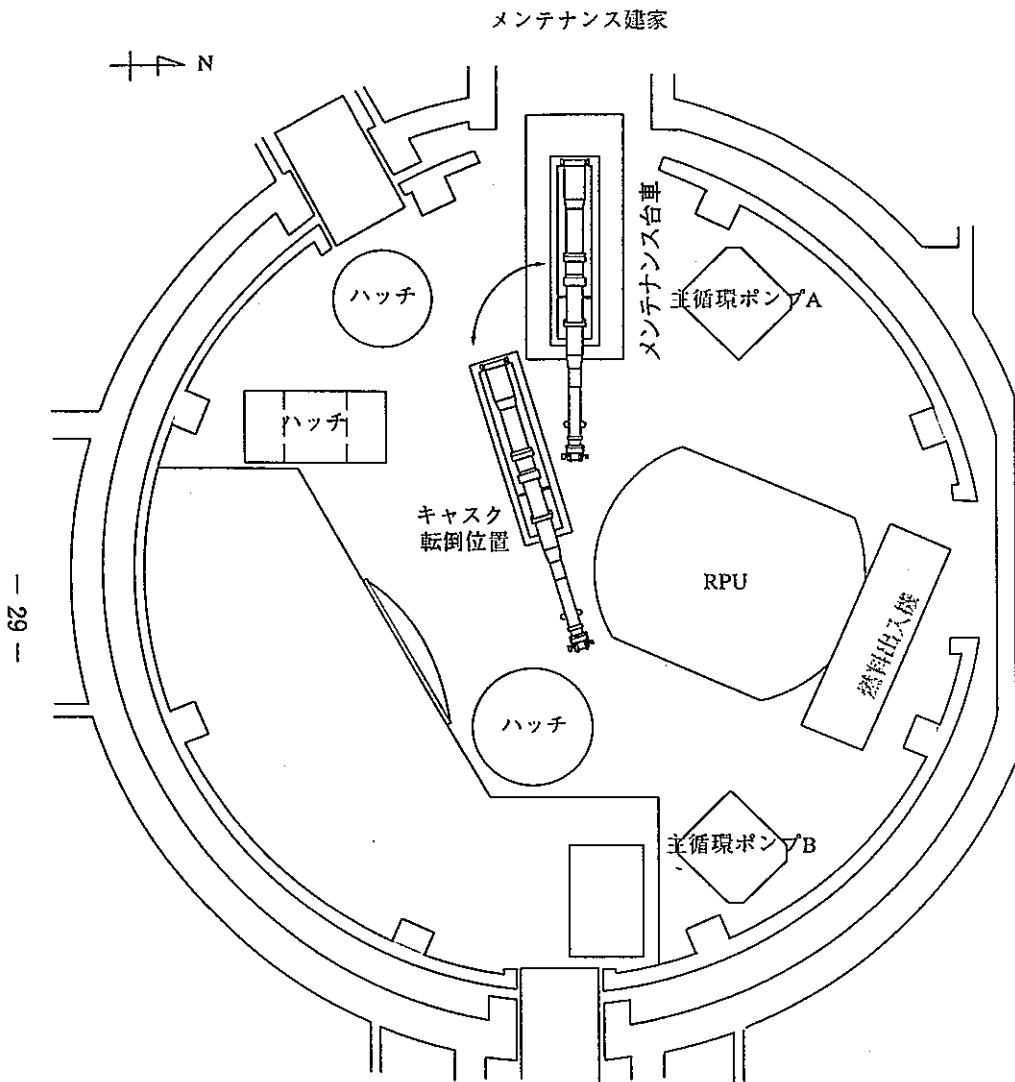


図-8 モックアップ試験装置組立図



PNC PN9440 96-021

図-9 主キャスク格内搬入図

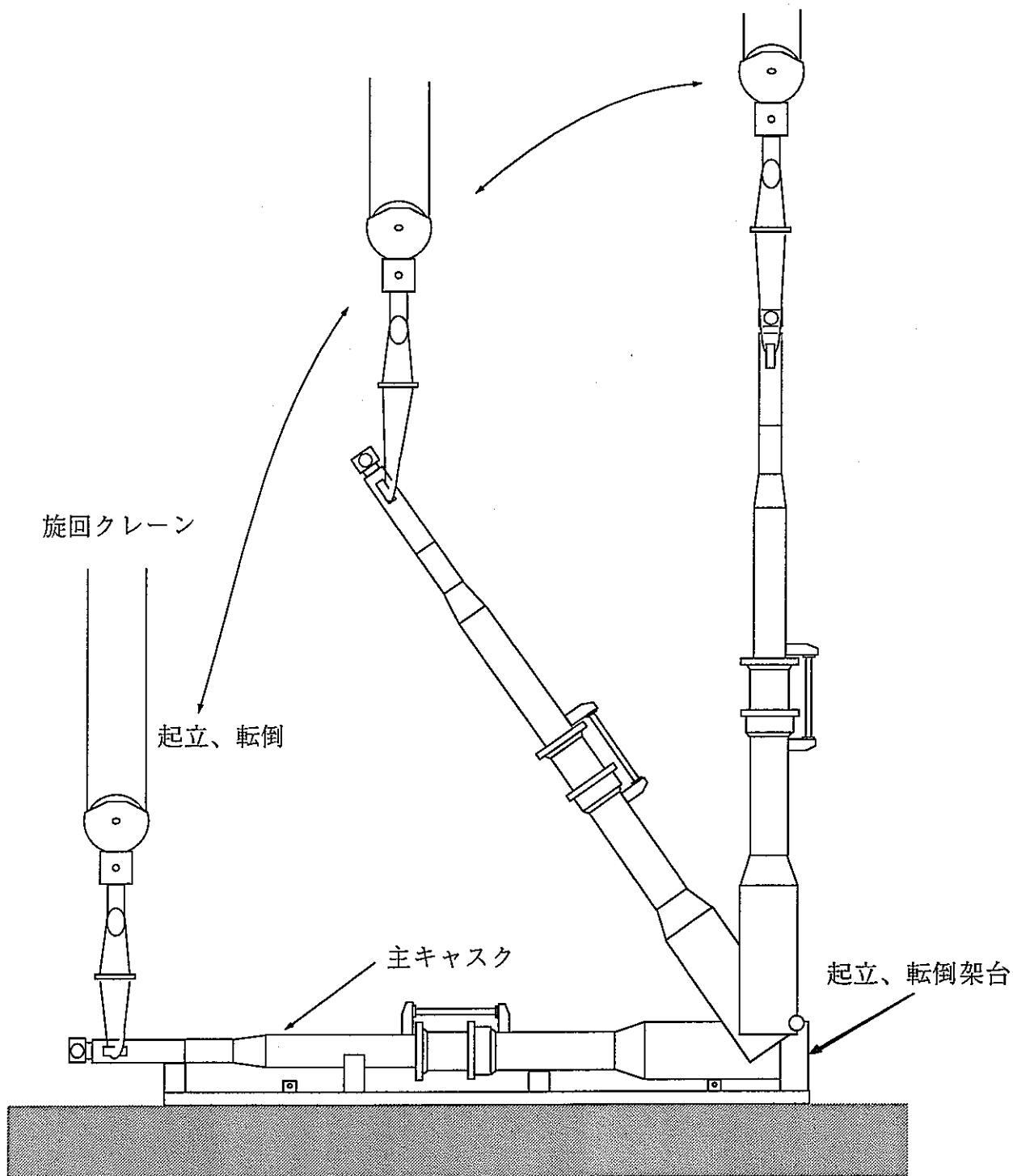


図-10 主キャスト起立、転倒図

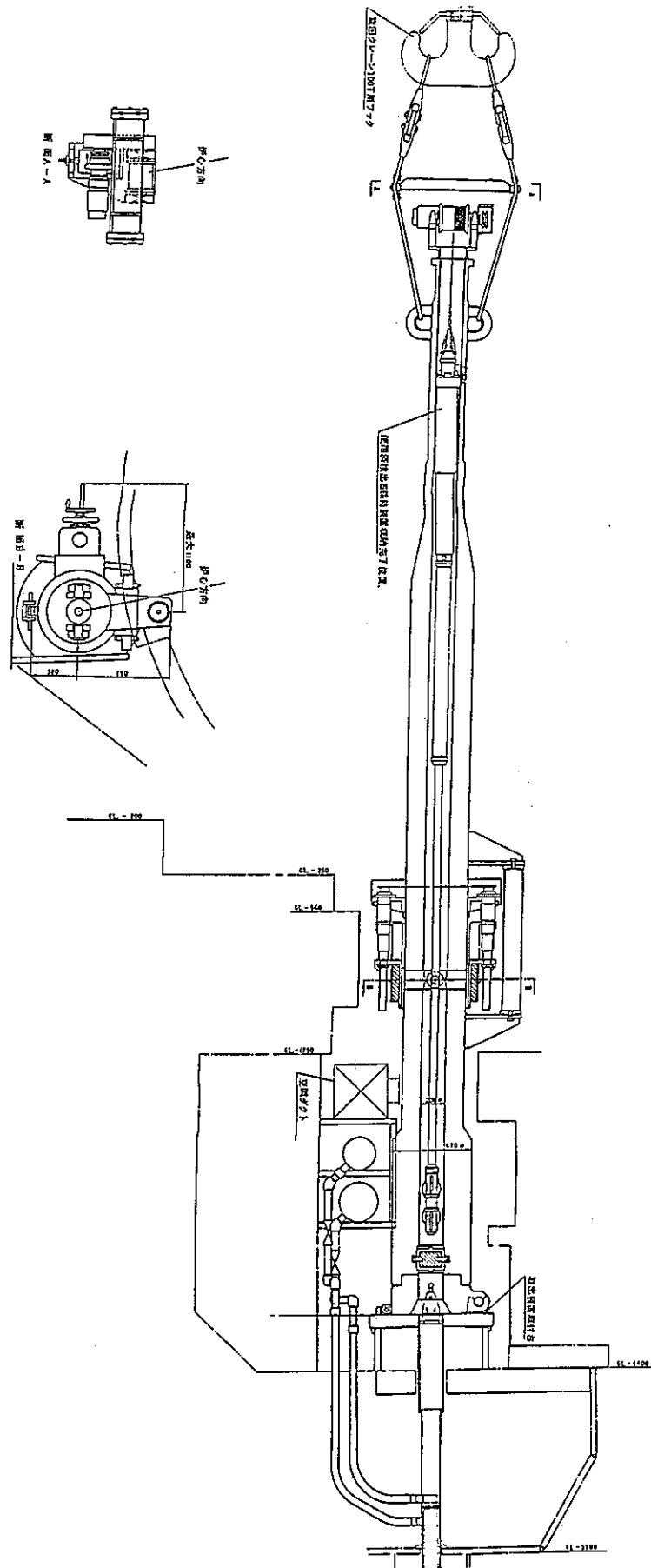


図-11 主キャストCH6据付図

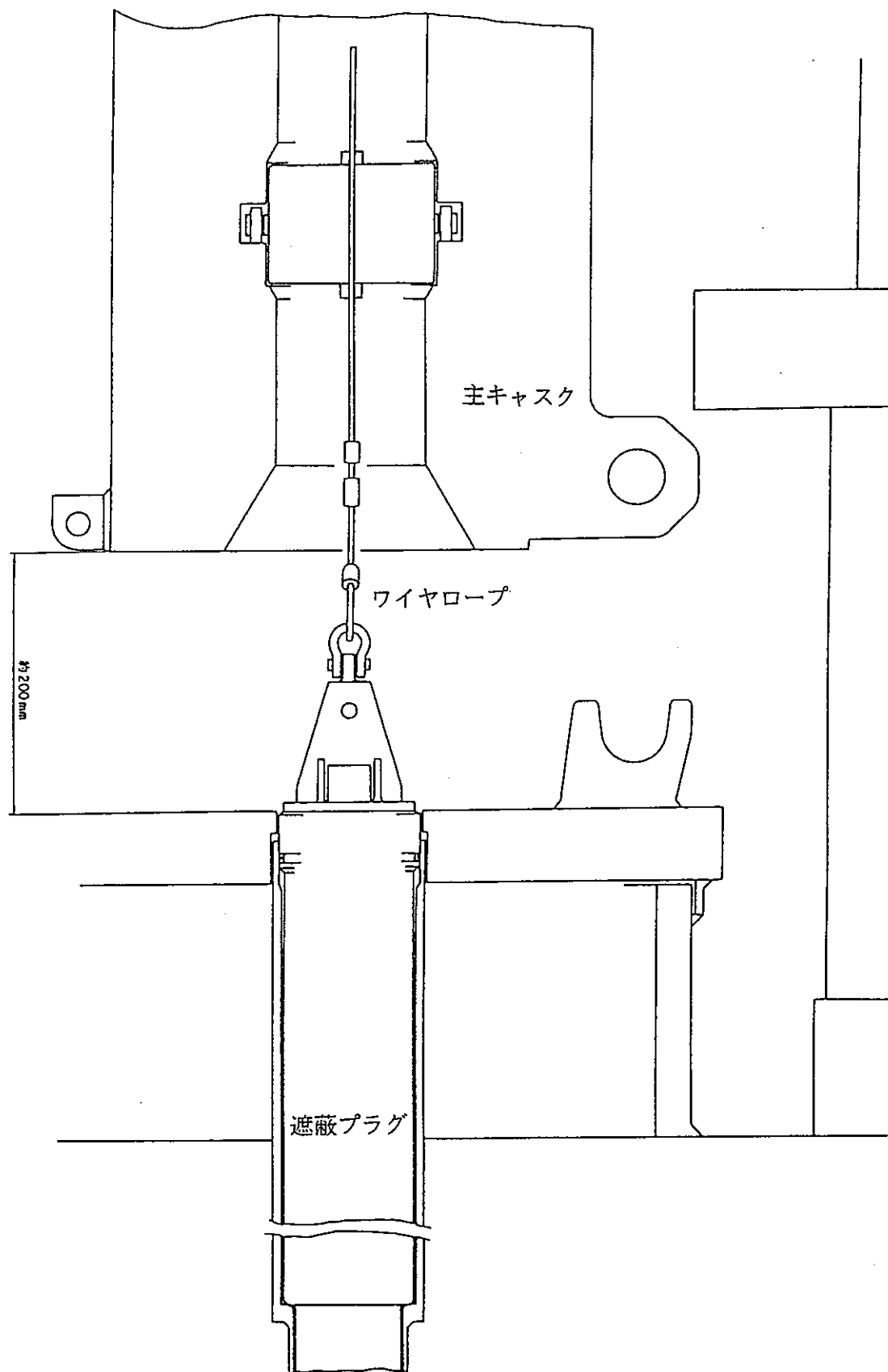


図-12 CH6ワイヤロープ接続図

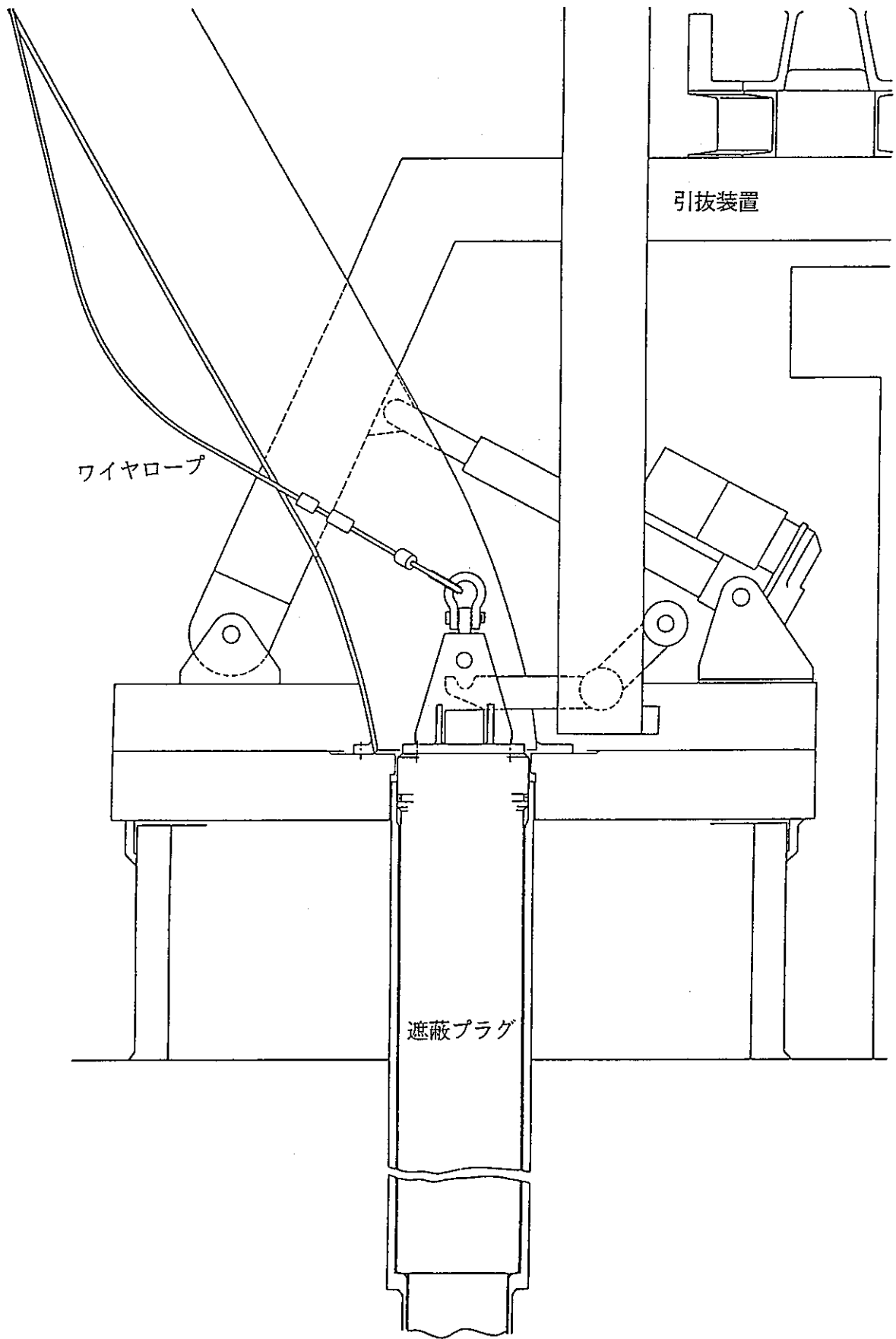


図-13 CH 7, 8ワイヤロープ接続図

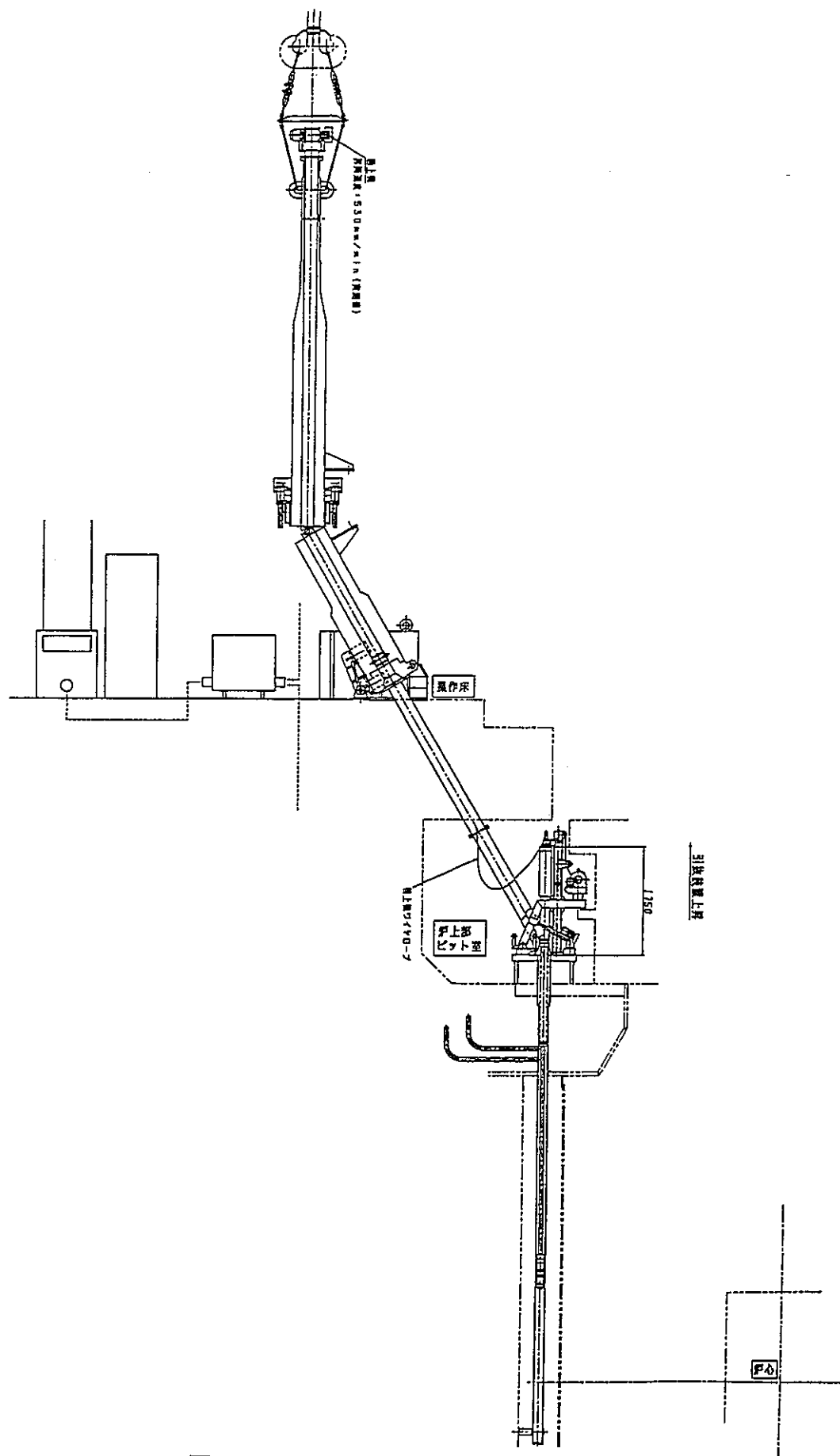


図-14(1/5) 主キャスクCH7, 8 据付図

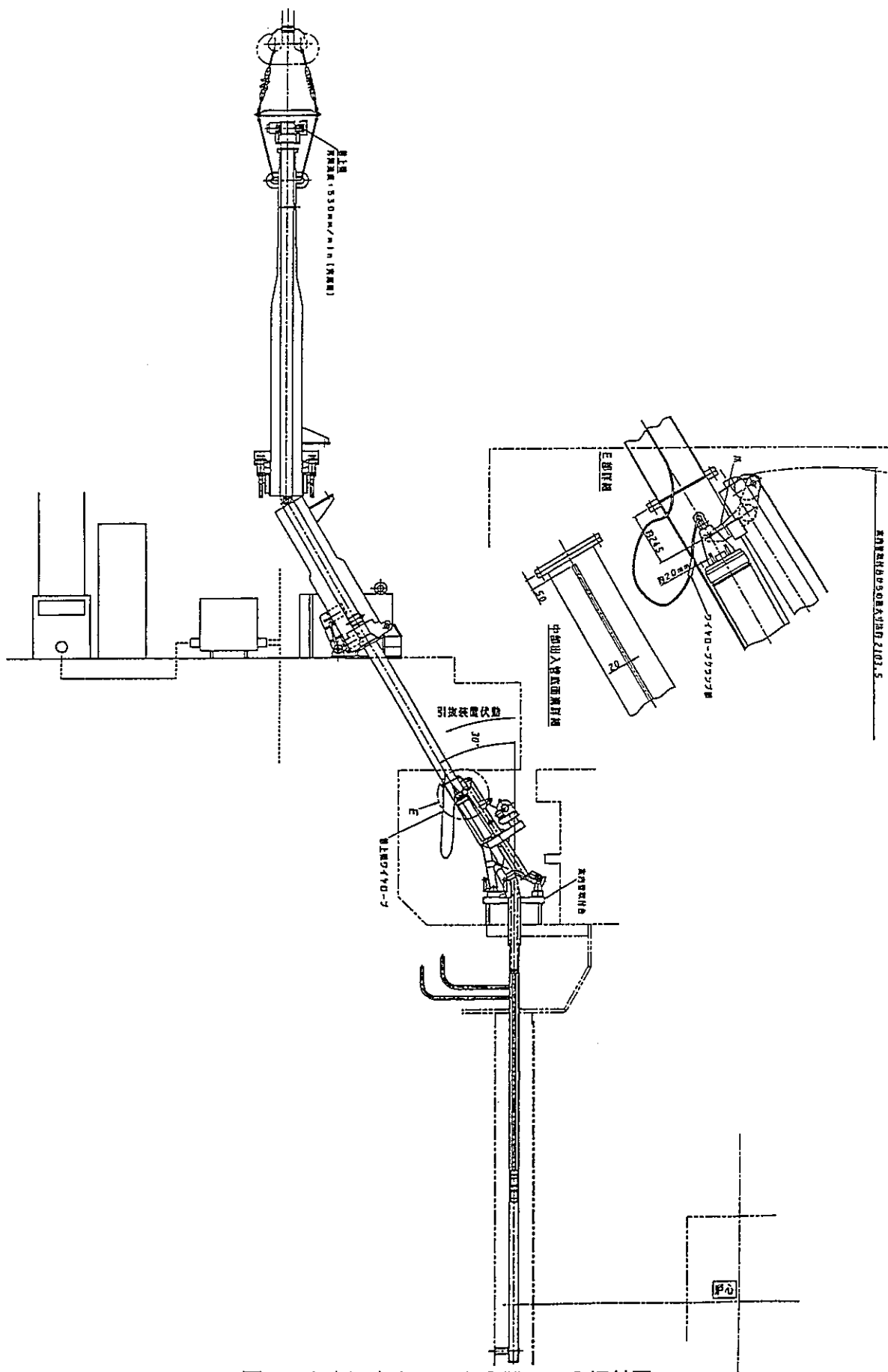


図-14(2/5) 主キャスク CH 7, 8 据付図

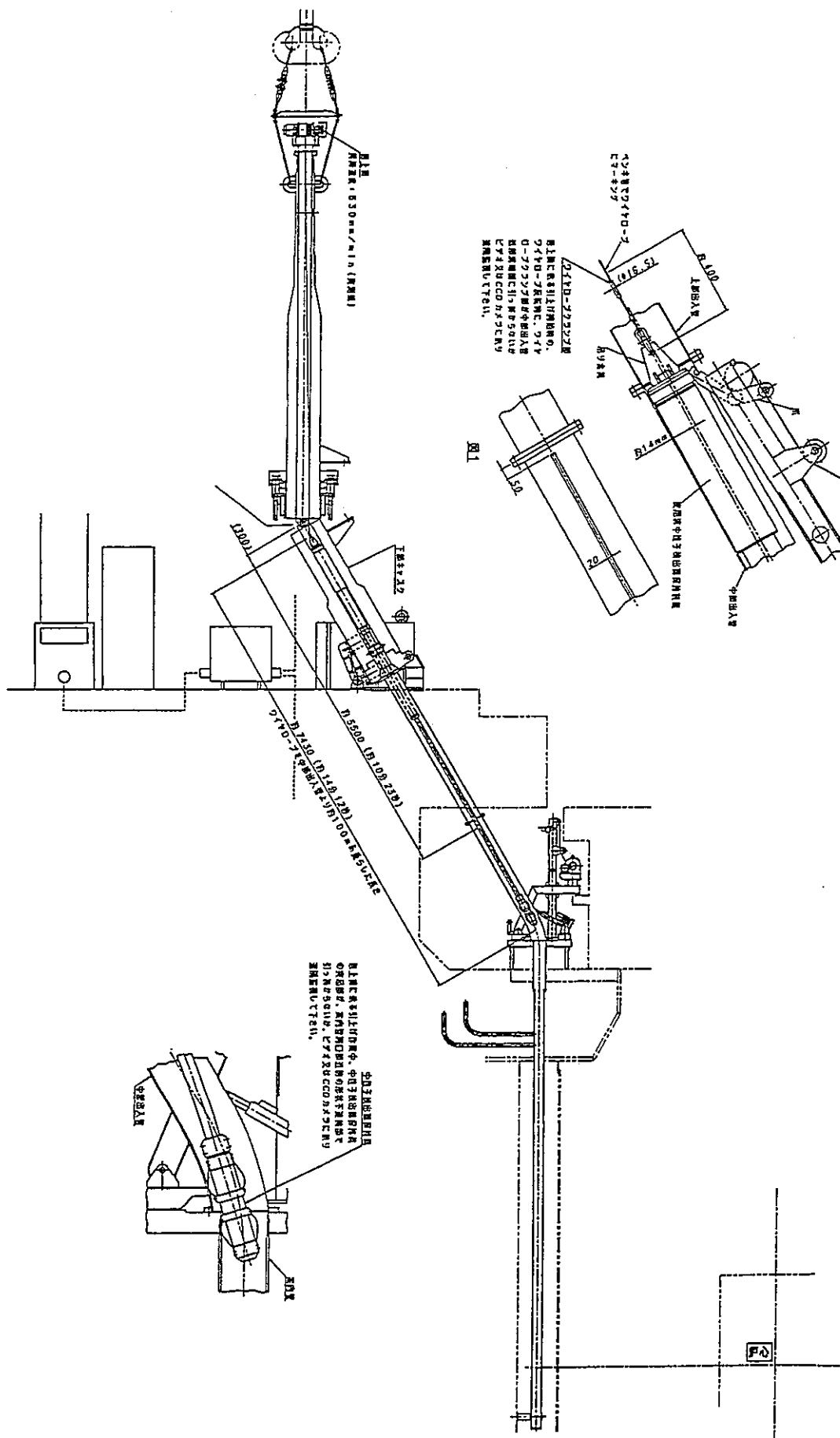


図-14(3/5) 主カセットCH7, 8 据付図

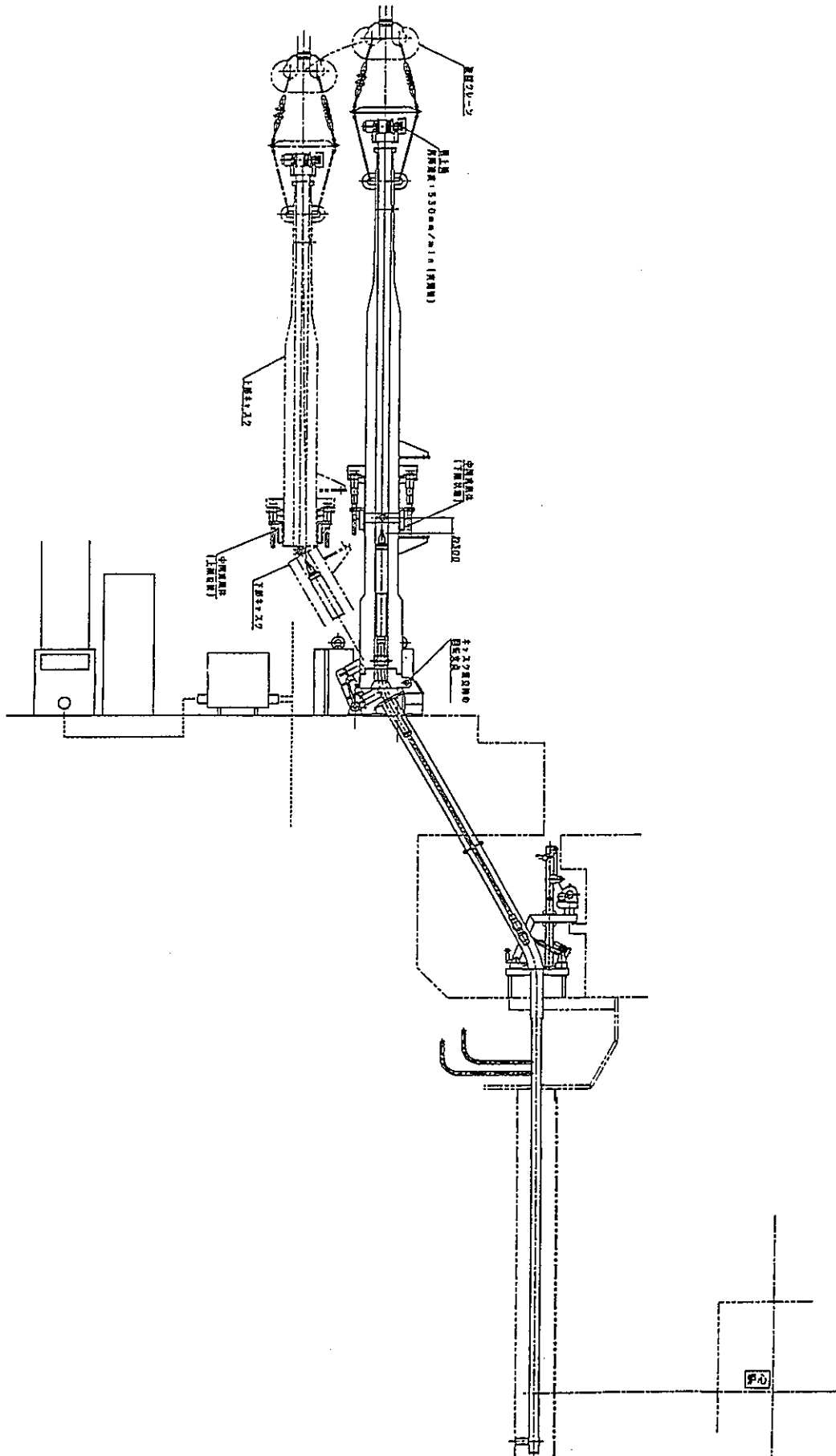


図-14(4/5) 主マスクCH7, 8 据付図

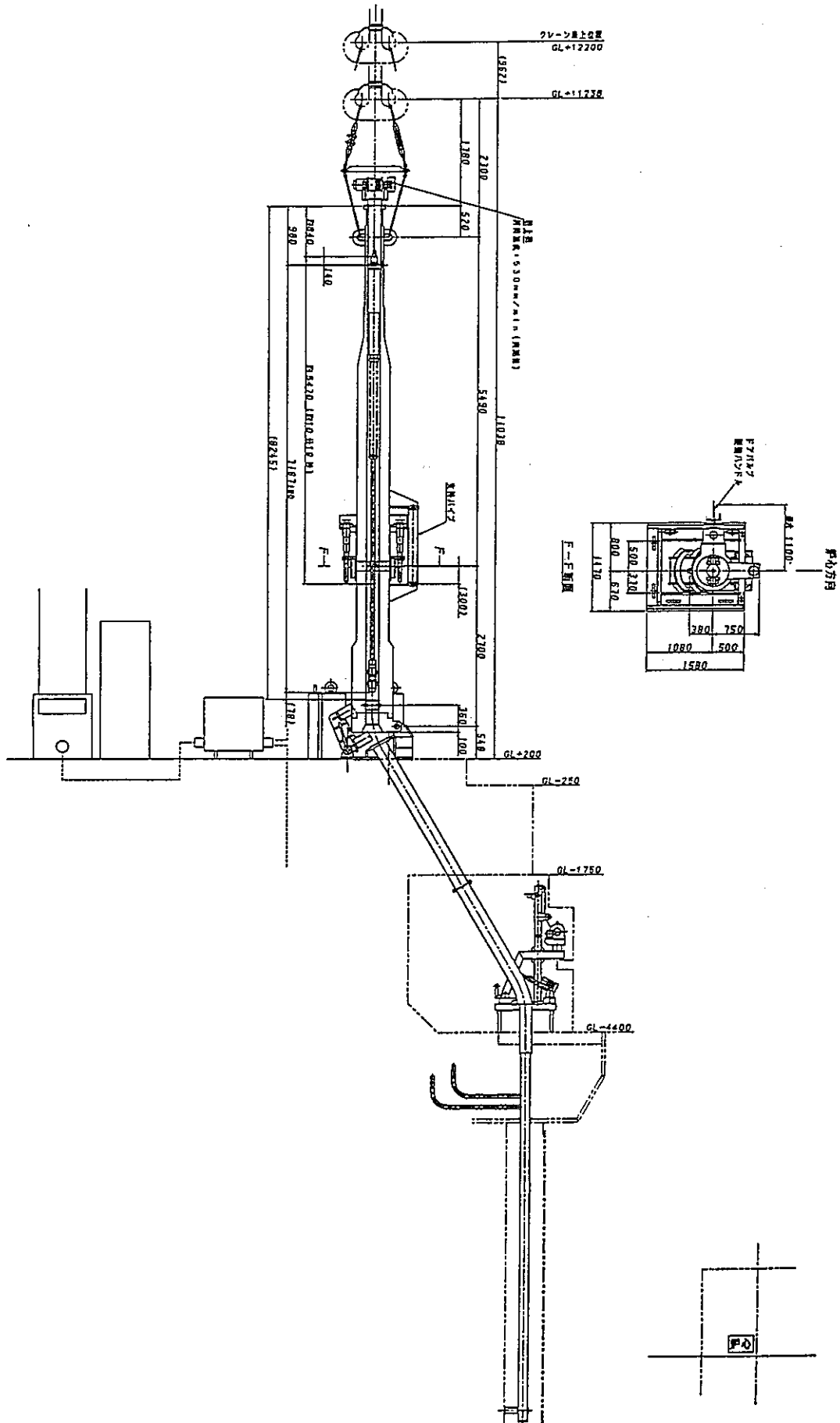
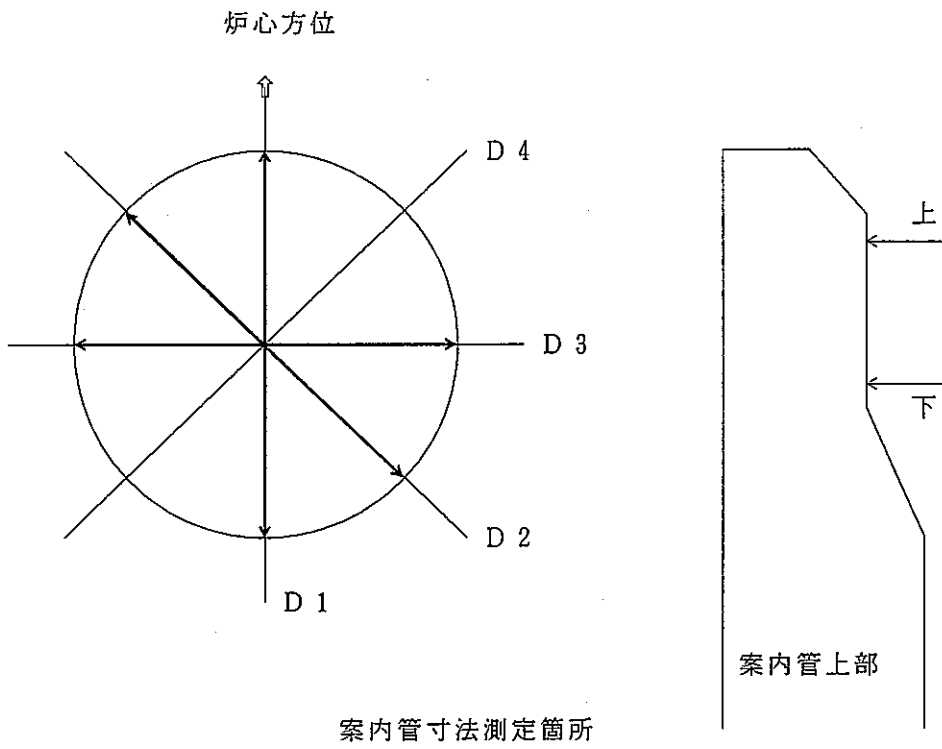


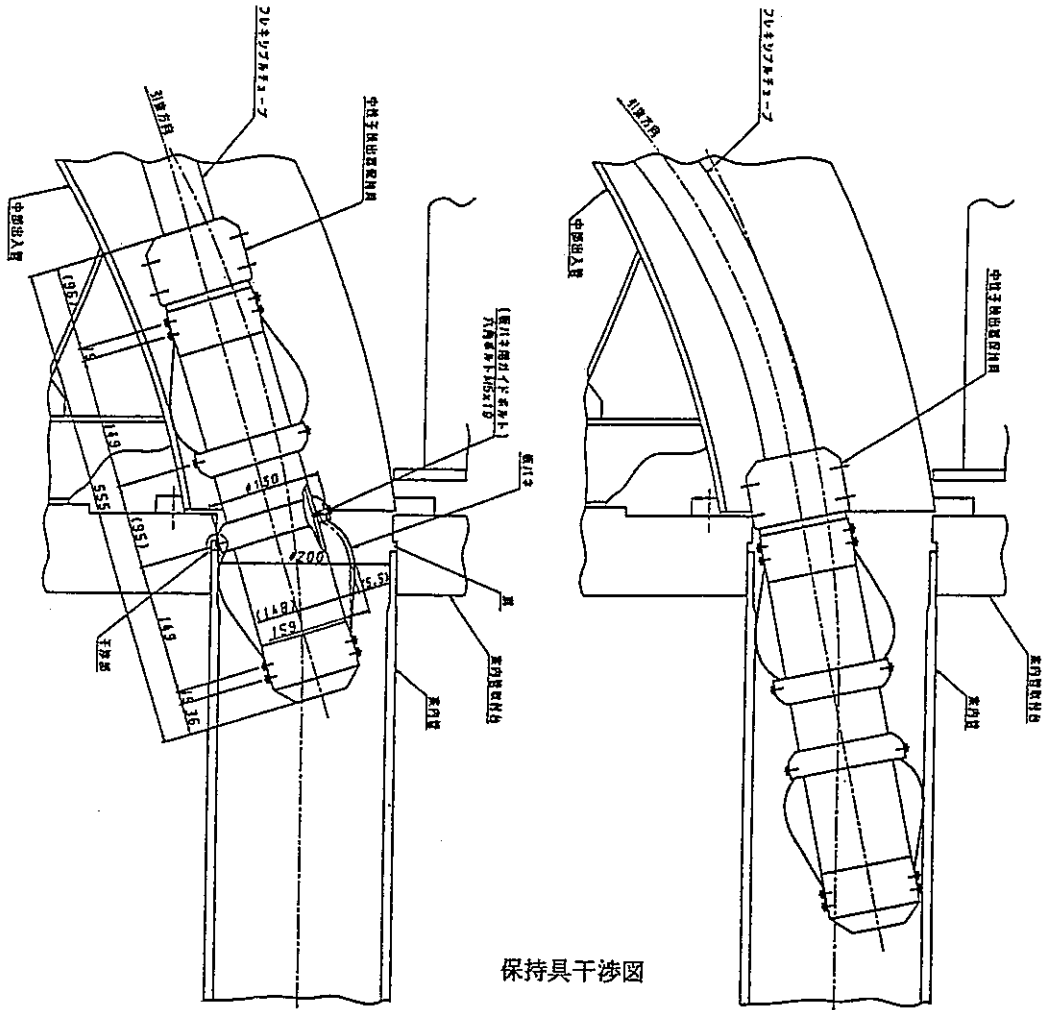
図-14(5/5) 主キャスクCH 7, 8 据付図



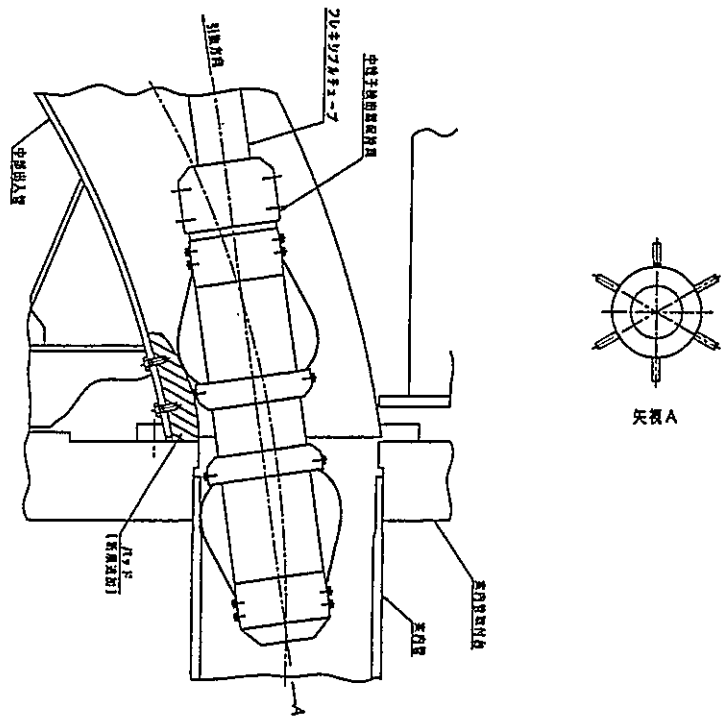
案内管寸法測定箇所

チャンネルNo		D 1	D 2	D 3	D 4
CH 6	上	200.21	200.14	199.95	200.03
	下	200.16	200.10	199.95	200.03
CH 7	上	200.22	200.12	200.03	200.11
	下	200.19	200.11	200.03	200.12
CH 8	上	199.99	200.01	200.02	200.19
	下	199.92	199.96	200.09	200.16

図-15 案内管内径寸法測定結果



保持具干渉図



保持具干渉回避案

図-16 保持装置引抜時干渉図及び改造案

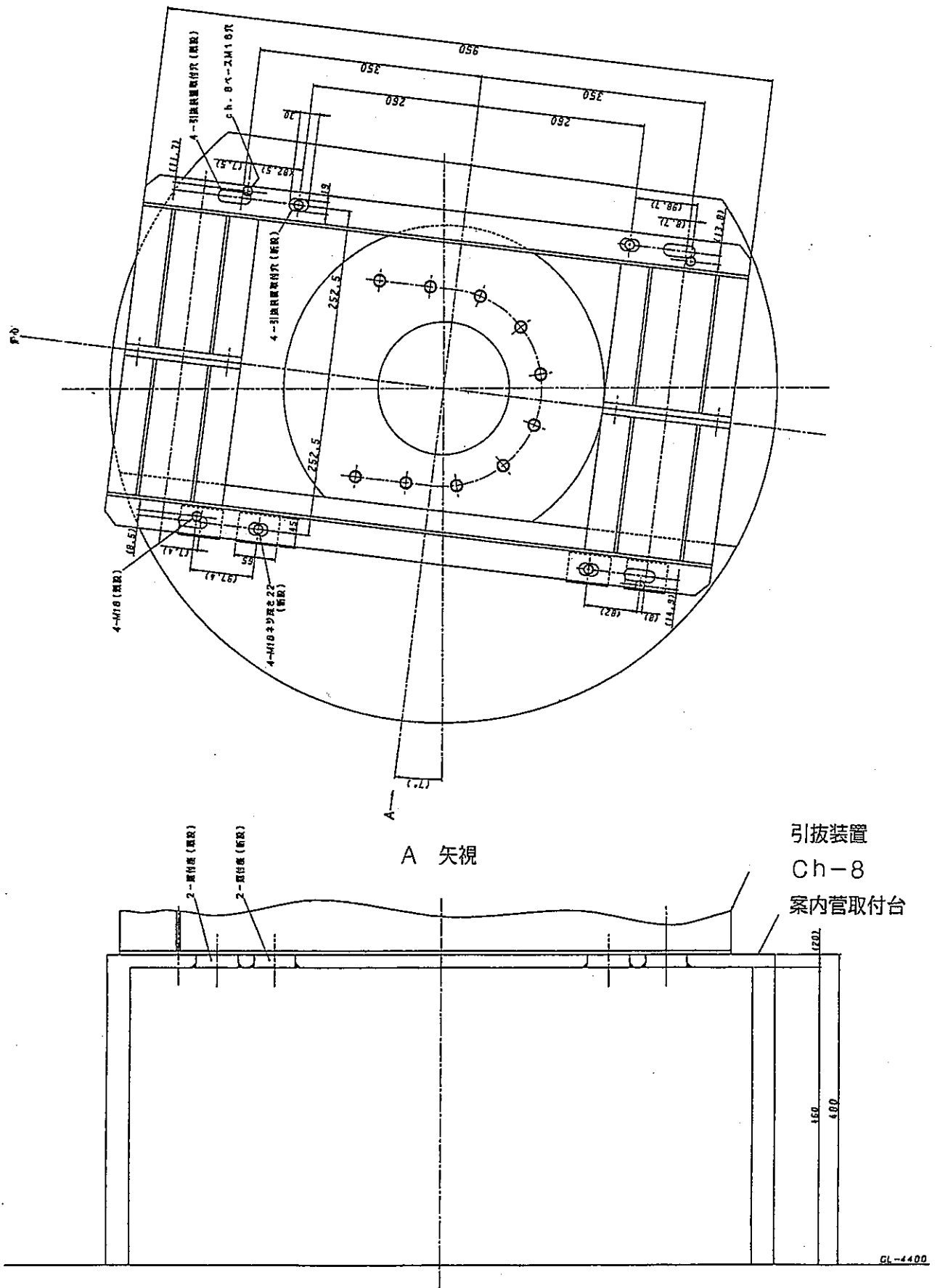


図-17 CH 8 案内管取付台及び引抜装置改造案

表 - 1 出力系中性子検出器の交換実績工程表

R : リハーサル

項目	7 月														8 月																																												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13															
	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日															
1 主キャスク等作業																																																											
① 格内干渉物の撤去(外)、配管等																																																											
② パワールームへの機器搬入																																																											
③ 軸等外観点検、清掃整備																																																											
④ 軸等作動調整																																																											
⑤ 軸類の格内搬入(パワールーム)																																																											
⑥ 付属遮蔽体II据付・撤去																																																											
⑦ 主軸起立→移動→据付																																																											
⑧ 検出器の引抜																																																											
⑨ 主軸取外→移動→転倒																																																											
⑩ 軸類の格内搬出(パワールーム)																																																											
⑪ パワールーム貯蔵																																																											
⑫ 軸等使用後の整備作業																																																											
⑬ 干渉物の復旧作業																																																											
⑭ キャスク等保管作業																																																											
2 引抜装置関連作業 (引抜き作業)																																																											
① 吊りビース取付																																																											
② 保持装置上部組立据付、分解・取外																																																											
③ 作動確認及び検出器の引抜																																																											
④ 引抜装置の保管作業																																																											
3 検出器関連作業																																																											
① 床遮蔽プラグ取外・取付																																																											
② コネクタボックス分解・組立																																																											
③ 吊り具取付・地切り																																																											
④ 中性子検出器の搬入・点検・据付																																																											
⑤ 遮蔽プラグのリーク試験																																																											
⑥ 電気試験																																																											
4 CH3駆動部関連作業																																																											
① 駆動部・出入管・密封管取外・取付																																																											
② コネクタボックス分解・組立																																																											

PNC PN9440 96-021

表-2 出力系中性子検出器の交換作業フロー

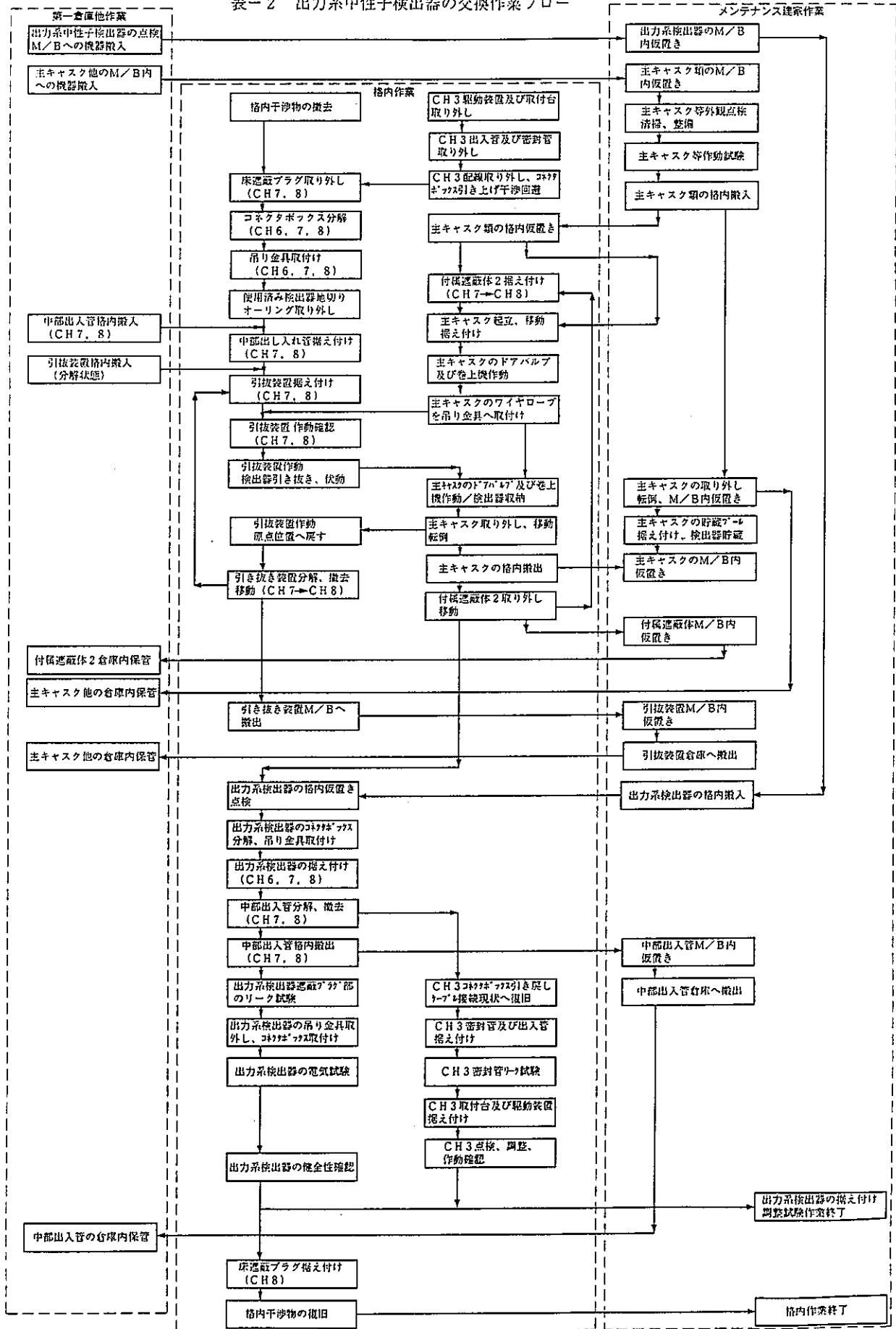


表-3 交換作業時の不具合事象一覧表(1/2)

No	項目	現象	原因	対策	備考
1	使用済み検出器用吊り金具の据え付け干渉	吊り金具のフランジ内径と使用済み検出器ツルフランジ外径が干渉	・取り合い寸法確認不備	・吊り金具のフランジ内径を再加工して拡大 ・図面上、取り合い寸法は寸法公差を記載して明確にする。	
2	CH8案内管取付台上への引抜装置据え付け不備	引抜装置と吊り金具位置及び伏動時の中部出入管との方位のズレ	・建設時の据付け確認未了で取付台上のネジ穴位置ズレ ・事前調査で判らなかった。	引抜装置ベースを取付台と約1万で止め溶接で固定した。	次回までに改造の必要がある。
3	遮蔽プラグ部用ゴムリングの成形不備	据付け前の外観検査で、ゴムリングの成形部(接着部)に段落の有るものを発見	・特殊寸法のゴムリングで使用数が少ない為、接着タイプを選定している。 ・受入れ検査上の不備	・据付け用として予備品の中から良いものを選定し手入れの上使用した。	・購入図面に接着部の形状に関する注記を記載 ・受入れ検査の充実
4	CH8案内管取付台開口部近傍での使用済み検出器の引っ掛かり	取付台の開口部近傍で、検出器保持具の下部が引っ掛かりジャンピングして衝撃音を発生し外れた。	取付台の開口部近傍に内径不連続形状(段落)があり、保持具の突起部(板金用ボルト)が引っ掛かる。	・次回作業時までに突起部の引っ掛かりを防止する対策を行う。	図-16に詳細を示す。
5	新検出器CH6位置据付け時の方位確認ミス	炉心方位を基準に据付け作業を行ったが据付け後の検査で検出器コネクタボックスで方位を確認した結果炉心方位と180度逆であった。	・製品に方位の識別表示が無く案内管窒素ガス配管ノズルと検出器のノズルが直角に据付けた。	・炉心方位を基準に再度据付けた。 ・遮蔽プラグ又はコネクタボックスに方位の識別表示を行う。	検出器製作時に方位の識別表示を行う。
6	CH7位置での新検出器漏洩の疑義	窒素供給排気基弁を手締めで全閉とし、耐圧漏洩検査をした結果若干の圧力降下があった。	・窒素元弁(V41-16)のシート面で漏洩	・ハイレンチで増し締めしリークを止めた。	
7	CH7高圧側Mケーブルの静電容量異常	据付け単体試験後、中央制御室中性子計装盤から検出器までの静電容量を測定した結果指示値の不安定で測定できなかった。	・ケーブルトレイション内部のHNコネクタケースがアルミ製でアースされていた。	HNコネクタケースアルミ製を切断し、コネクタケースが絶縁されるようにした。	

表 - 3 交換作業時の不具合事象一覧表 (2 / 2)

	項 目	現 象	原 因	対 策	備 考																																																																										
8	熱電対用コネクタへの結線ミス	<p>熱電対コネクタの外部配線側を圧着タイフへ交換後、中央制御室の温度記録計の指示値を確認したらRPU雰囲気温度より低い指示を示していた。</p> <table border="1" data-bbox="517 550 757 837"> <thead> <tr> <th>チャンネル番号</th> <th>温度計 ℃</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CH 6</td> <td>35.6</td> </tr> <tr> <td>CH 7</td> <td>27.2</td> </tr> <tr> <td>CH 8</td> <td>30.0</td> </tr> </tbody> </table>	チャンネル番号	温度計 ℃	CH 6	35.6	CH 7	27.2	CH 8	30.0	<p>・新検出器の熱電対用コネクタ結線は端子Aに赤、端子Bに白と結線。外部配線側コネクタの結線は、既設とおり以下の結線したためCH7, CH8結線が逆となった。</p> <table border="1" data-bbox="882 550 1196 837"> <thead> <tr> <th rowspan="2">チャンネル番号</th> <th colspan="2">配線側</th> <th colspan="2">検出器</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>A</th> <th>B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CH 6</td> <td>赤</td> <td>白</td> <td>赤</td> <td>白</td> </tr> <tr> <td>CH 7</td> <td>白</td> <td>赤</td> <td>赤</td> <td>白</td> </tr> <tr> <td>CH 8</td> <td>白</td> <td>赤</td> <td>赤</td> <td>白</td> </tr> </tbody> </table>	チャンネル番号	配線側		検出器		A	B	A	B	CH 6	赤	白	赤	白	CH 7	白	赤	赤	白	CH 8	白	赤	赤	白	<p>・CH7と8の配線側コネクタ結線を検出器側と同一となるように、端子Aに赤、端子Bに白と、赤白を入れ換えた。</p> <table border="1" data-bbox="1245 550 1693 837"> <thead> <tr> <th rowspan="2">チャンネル番号</th> <th colspan="2">配線側</th> <th colspan="2">検出器</th> <th rowspan="2">温度計 ℃</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>A</th> <th>B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CH 6</td> <td>赤</td> <td>白</td> <td>赤</td> <td>白</td> <td>35.5</td> </tr> <tr> <td>CH 7</td> <td>赤</td> <td>白</td> <td>赤</td> <td>白</td> <td>37.6</td> </tr> <tr> <td>CH 8</td> <td>赤</td> <td>白</td> <td>赤</td> <td>白</td> <td>37.1</td> </tr> </tbody> </table>	チャンネル番号	配線側		検出器		温度計 ℃	A	B	A	B	CH 6	赤	白	赤	白	35.5	CH 7	赤	白	赤	白	37.6	CH 8	赤	白	赤	白	37.1	<p>・使用済み検出器の熱電対コネクタ配線は以下のとおりCH7, 8が逆結線であった。</p> <table border="1" data-bbox="1740 550 1980 837"> <thead> <tr> <th rowspan="2">チャンネル番号</th> <th colspan="2">旧検出器</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CH 6</td> <td>赤</td> <td>白</td> </tr> <tr> <td>CH 7</td> <td>白</td> <td>赤</td> </tr> <tr> <td>CH 8</td> <td>白</td> <td>赤</td> </tr> </tbody> </table>	チャンネル番号	旧検出器		A	B	CH 6	赤	白	CH 7	白	赤	CH 8	白	赤
チャンネル番号	温度計 ℃																																																																														
CH 6	35.6																																																																														
CH 7	27.2																																																																														
CH 8	30.0																																																																														
チャンネル番号	配線側		検出器																																																																												
	A	B	A	B																																																																											
CH 6	赤	白	赤	白																																																																											
CH 7	白	赤	赤	白																																																																											
CH 8	白	赤	赤	白																																																																											
チャンネル番号	配線側		検出器		温度計 ℃																																																																										
	A	B	A	B																																																																											
CH 6	赤	白	赤	白	35.5																																																																										
CH 7	赤	白	赤	白	37.6																																																																										
CH 8	赤	白	赤	白	37.1																																																																										
チャンネル番号	旧検出器																																																																														
	A	B																																																																													
CH 6	赤	白																																																																													
CH 7	白	赤																																																																													
CH 8	白	赤																																																																													

表-4 改善項目一覧表

No	件名	内容	対策(案)	備考
1	使用済み検出器の引抜時の引っ掛かり	使用済中性子検出器保持装置(CH8)引き抜き時にフレキシブルチューブ先端の剛体部(保持具)が案内管開口部に引っ掛かりジャンピングして外れた。	<ul style="list-style-type: none"> ・中部出入管と案内管との連結部に段差が生じないように案内管ガイドを追加する ・中部出入管の底部溝から検出器を遠隔操作で押せるような治具を製作する。 	図-16参照
2	CH8案内管取付台上に引抜装置が締結不可	<p>CH8案内管取付台上の引抜装置用締結穴位置が以下のようにずれて引抜装置の固定が出来なかった。そのため溶接で固定した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・中性子検出器(案内管)用吊り金具位置と引抜装置爪位置 ・引装置伏動方位と中部出入管の据付け方位 	<ul style="list-style-type: none"> ・引抜装置据付けベース及び取付台を改造し、締結可能とする。 	図-17参照
3	主キャスク電気、計装品の劣化	<p>製作後、約20年以上経過しているため、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・主キャスクの機内配線、コネクタ類が外観上劣化 ・主キャスクの巻き上げ機、中間遮蔽体モータが製造中止となり交換部品なし。 	<ul style="list-style-type: none"> ・電気部品の交換が必要 	機内配線は平成7年度に実施済
4	CH6交換時のCH3関連設備の分解撤去	CH6と隣接するCH3関連設備は、CH6の交換時(主キャスクのドアバルブ開閉時)にドアバルブの駆動軸がCH3関連設備と干渉するため駆動装置、取付台、出入管、密封間の撤去及びコネクタボックス部を引き上げ回避する作業が必要となる。	<ul style="list-style-type: none"> ・ドアバルブを駆動軸が外部へ出入りしないような機構にする。 	
5	CH7交換時のCH7用外部配線の操作床上への引抜	<p>CH7交換時に、操作床上のCH7用主キャスク取付台廻りに付属遮蔽体2を設置する上で干渉するCH7用外部配線を回避するため、操作床貫通配線を操作床貫通スリブから引抜く作業を行った。</p> <p>この引抜作業を行うためには外部配線先端のコネクタを分解する作業が必要となる。</p>	<p>外部配線を撤去しなくても付属遮蔽体2を据付け可能とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・信号ケーブルを変更する。 ・付属遮蔽体2に下駄を履かせる ・付属遮蔽体2の貫通部を切欠く。 	

添付書類－ 1

出力系中性子検出器の線量当量率の予測

1. 概要

事前に線量当量率を測定した使用済中性子検出器（メンテナンス建屋貯蔵プールに貯蔵）の照射量及び保管年から算出した線源強度の相対比と線量当量率の測定値との比較並びにキャスク収納時の線量当量率測定値から外挿した結果との比較を実施し、この測定値より出力系中性子検出器交換時の放射線量当量率を予測した。

2. 使用済中性子検出器測定値の妥当性検討

(1) 線源強度と線量当量率の相対比の検討

使用済中性子検出器について、照射及び保管年から算出した線源強度の相対比を表1に示す。相対比としては、CH5を基準とした時の相対値として表示している。なお、ここでは近似的に照射量と線源強度は比例関係にあるとしている。また、保管年の違いによる減衰補正にはCo60の半減期(5.27)年を使用している。使用済中性子検出器の先端部分の測定値を表2に示す。表1と表2を比較すると、線源強度と線量当量率の相対関係は、2から3倍程度で一致している。違いの要因は、測定誤差以外に以下が考えられる。

- ① 測定器の位置が同一でない。
- ② 線量当量率測定値にプール内の汚染による寄与が含まれていてその分だけげたを履いている。
- ③ 検出器内のFPの寄与を無視している。

表1 線源比較

名 称	CH2(P7A)	CH5(P7A)	CH1(KSA51)
照射量 ($\times 10^{18}$ nvt)	0.018	0.12	1.289
保管年数	16	12	4
線源強度相対比	0.09	1	30

表2 線量当量率比較 (測定値)

名 称	CH2(P7A)	CH5(P7A)	CH1(KSA51)
線量当量率(mSv/h)	0.7 ~0.2	5.30~1.3	60 ~6.3
線量当量率 (相対比)	0.13~0.15	1	11~5

(2) キャスク収納時の線量当量率測定値から外挿した結果との比較

① 中間系(CH5)の実測値

CH5については、キャスク表面について線量当量率の実測値があることからこれよ

り遮蔽体が無い場合の出力系近傍の線量当量率を予測する。

- ・最も線源強度が強いと考えられる位置の線量当量率は2.5 μSv/hである。
- ・その位置での鉄遮蔽厚さは23.1 cmである。
- ・γ線は鉄7 cmで1桁減衰するため、遮蔽体が無い時は $10^{(23.1/7)} = 2000$ 倍となる。
- ・従って、遮蔽体が無い場合の最も線源強度が強いと考えられる位置（検出器中心から33.5 cm位置）の線量当量率は5000 μSv/hと外挿される。

更に、検出器表面では、検出器中心から10 cmの位置の線量当量率は、線源は点状と考えて、距離の2乗に反比例すると $5000 \times (33.5/10)^2 = 55 \text{ mSv/h}$ となる。

また、キャスク装荷時と裸の検出器測定時との相違12年の減衰を補正すると、 $55 \times (1/2)^{(12/5.27)} = 11 \text{ mSv/h}$ となる。

上記外挿値を測定値5.3 mSv/hと比較すると約2倍程度で一致している。

以上の照射量及び保管年から算出した線源強度の相対比と線量当量率の測定値との相対比較、キャスク収納時の線量当量率測定値から外挿した結果より、測定値は2倍程度範囲で整合性があることが分かった。

3. 出力系中性子検出器交換時の予測

交換予定の出力系中性子検出器の線量当量率について、既交換中性子検出器（CH5）の測定値を外挿して予測を行う。

(1) 放射化量の相対比

放射化量は以下の式で求められる。

$$A = \sum_g \sigma_g \phi_g N (1 - \exp(-\lambda T)) \exp(-\lambda t) / 3.7 \times 10^{10}$$

A : 放射能濃度(Ci/cc)

g : エネルギー群を表す添字

σ : g 群の放射化反応断面積(barn)

φ : g 群の中性子束(n/cm²・s)

N : ターゲット核種の原子数密度(atoms/barn・cm)

λ : 崩壊定数(1/S)

T : 照射期間(S)

t : 交換作業開始までの原子炉停止後の時間(S)

出力系中性子検出器と中間系中性子検出器（CH5）の放射化量の比較を上記式で変わり得る項目を比較することにより実施する。

① ターゲット核種の原子数密度

両者の検出器材料及び検出器保持装置の構造が異なるため、その補正を以下に実施する。

・検出器容器材質

出力系 チタン

中間系 SUS

チタンはSUSより放射化し難いが、ここでは保守側に中間系（CH5）と同等とする。

・検出器保持具重量（材質は両者ともSUS）

出力系 約7.5kg

中間系 約4kg

$N(\text{出力系}) / N(\text{中間系}) = 7.5 / 4 = 1.88$

② 中性子束及び照射期間

ここでは、近似的に照射量（中性子束×照射期間）と線源強度は比例関係にあるとする。

それぞれの照射量は、

中間系（CH5） $= 0.12 \times 10^{18} \text{ nvt}$

出力系 $= 0.18 \times 10^{18} \text{ nvt}$

となる。

$\text{nvt}(\text{出力系}) / \text{nvt}(\text{中間系}) = 1.5$

③ 原子炉停止後測定までの時間

中間系（CH5）=約12年

出力系=約3年

以上の違いによる減衰補正にはCo60の半減期（5.27年）を使用する。

以上により両者の放射化量を比較する。

$$\begin{aligned} A(\text{出力系}) / A(\text{中間系}) &= \text{nvt}(\text{出力系}) / \text{nvt}(\text{中間系}) \\ &\quad \times N(\text{出力系}) / N(\text{中間系}) \\ &\quad \times \exp(-\lambda t(\text{出力系})) / \exp(-\lambda t(\text{中間系})) \\ &= 1.88 \times 1.5 \times (1/2)^{(3/5.27)} / (1/2)^{(12/5.27)} = 2.8 \times 3.3 = 9 \end{aligned}$$

従って、出力系の放射化量は、中間系（CH5）の9倍になる。

(2) 出力系検出器の線量当量の予測

以上により、出力系検出器表面（検出器中心から10cm位置と仮定）の線量当量率は、

$5.3 \text{ mSv/h} \times 9 \text{ 倍} = 47.7 \text{ mSv/h}$ となる。