

近畿大学原子炉施設 設工認 (制御棒駆動機構の更新)

令和5年9月14日

近畿大学 原子力研究所

設工認申請の概要

- 本申請は以下の装置の更新に関するものである。
 - (制御設備)のうち
 - (制御材駆動設備)のうち
 - 制御棒駆動機構のうち
 - シム安全棒 (非常用制御設備を兼ねる) の電動機

- (非常用制御設備)のうち
 - (制御材駆動設備)のうち
 - 駆動機構のうち
- 安全棒 # 1、安全棒 # 2 及びシム安全棒の電動機

今回工事対象設備の設置許可書における記載 (1/2)

添付書類八 変更後における試験研究用等原子炉施設の安全設計に関する説明書

3. 原子炉本体

3. 2 機械設計

3. 2. 2 炉心構造物

(3) 制御棒及び制御棒駆動機構

本原子炉には、原子炉停止系統の制御棒3本（安全棒#1、安全棒#2及びシム安全棒）及び反応度制御系統の制御棒2本（シム安全棒、調整棒）を配置する。ただし、シム安全棒については、原子炉停止系統と反応度制御系統において共用する。制御棒の動作は、燃料タンク外周に垂直に設けたステンレス鋼製制御棒案内ケース内を上下させて行う。駆動装置は、生体遮蔽タンクの側壁に取付けた電動機により、電磁クラッチと駆動シャフト（調整棒は駆動シャフトのみ）及び回転ドラムを介して、制御棒を上下させる（安全棒は落下のみ）。この駆動装置は個々の制御棒ごとに設置し、制御棒を1本ずつ駆動することができる。なお、スクラム時には、電磁クラッチの電源が断となり、制御棒はバネ力及び重力により挿入される（調整棒を除く）。制御棒及び制御棒駆動機構図を、図3-4、図3-5及び図3-6に示す。

制御棒の構造は、中性子吸収体をステンレス鋼薄板のさやで包み、上部をステンレス鋼バネの先端部に固定したもので、中性子吸収体としてカドミウム薄板を用いる。制御棒の主な仕様を次に示す。

本数	4本
被覆材料	ステンレス鋼板
中性子吸収体	カドミウム（99.97%）
中性子吸収体有効寸法	
シム安全棒及び安全棒	約178×178×1 mm
調整棒	約51×51×1 mm
被覆厚さ	約0.3 mm

今回工事対象設備の設置許可書における記載（2/2）

制御棒駆動装置は、制御棒案内ケース、駆動電動機、減速機構、電磁クラッチ、駆動シャフト位置検出器及び回転ドラムから構成する。

制御棒案内ケースは、ステンレス鋼板製で、燃料タンク外周の反射体に設けた細い隙間内に挿入、設置し、制御棒駆動時の案内と保護を兼ねる。

駆動シャフト位置検出器は制御棒駆動装置の計装装置として、調整棒、シム安全棒の位置指示計及び安全棒の上限、下限リミットスイッチを設ける。これらの計装装置からの信号は原子炉制御盤に送り、調整棒、シム安全棒の位置指示器並びに安全棒#1 及び #2 の位置指示灯で表示する。

駆動装置の主な仕様を次に示す。

ストローク

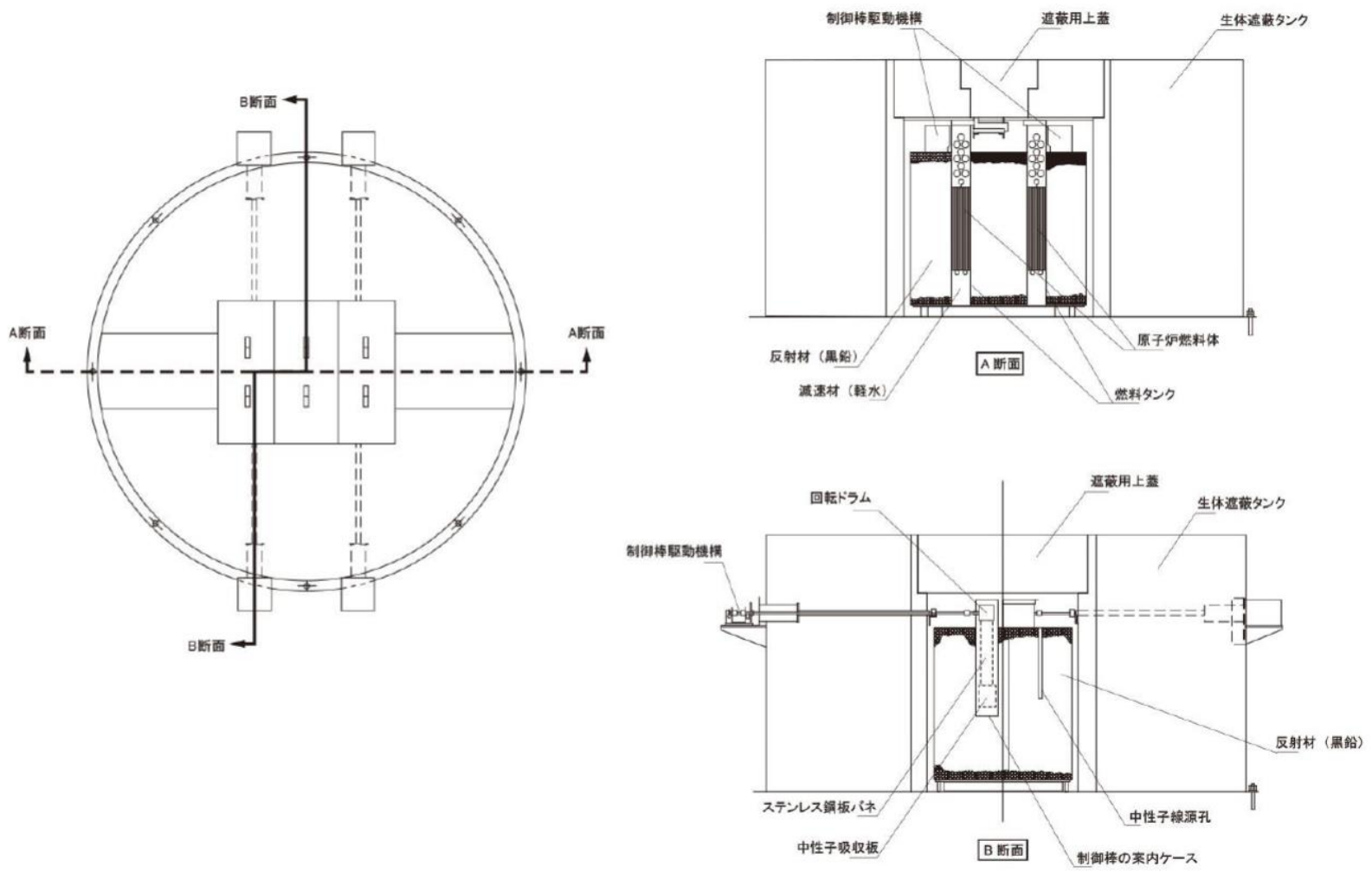
調整棒	約41 cm
シム安全棒	約41 cm
安全棒	約41 cm

駆動時間（全ストローク）

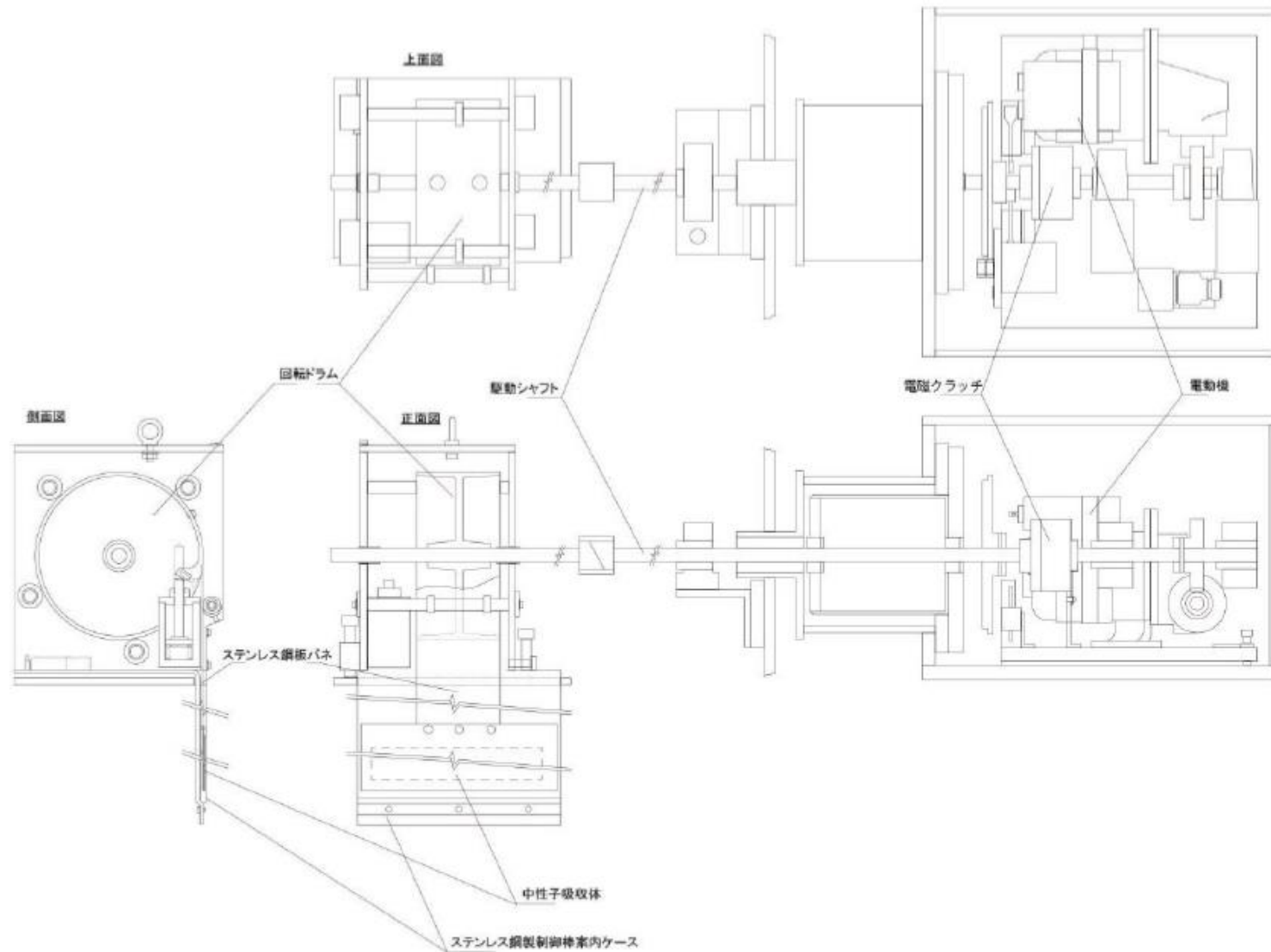
調整棒	30～35 秒
シム安全棒	170～220 秒
安全棒	170～220 秒

（挿入を除く）

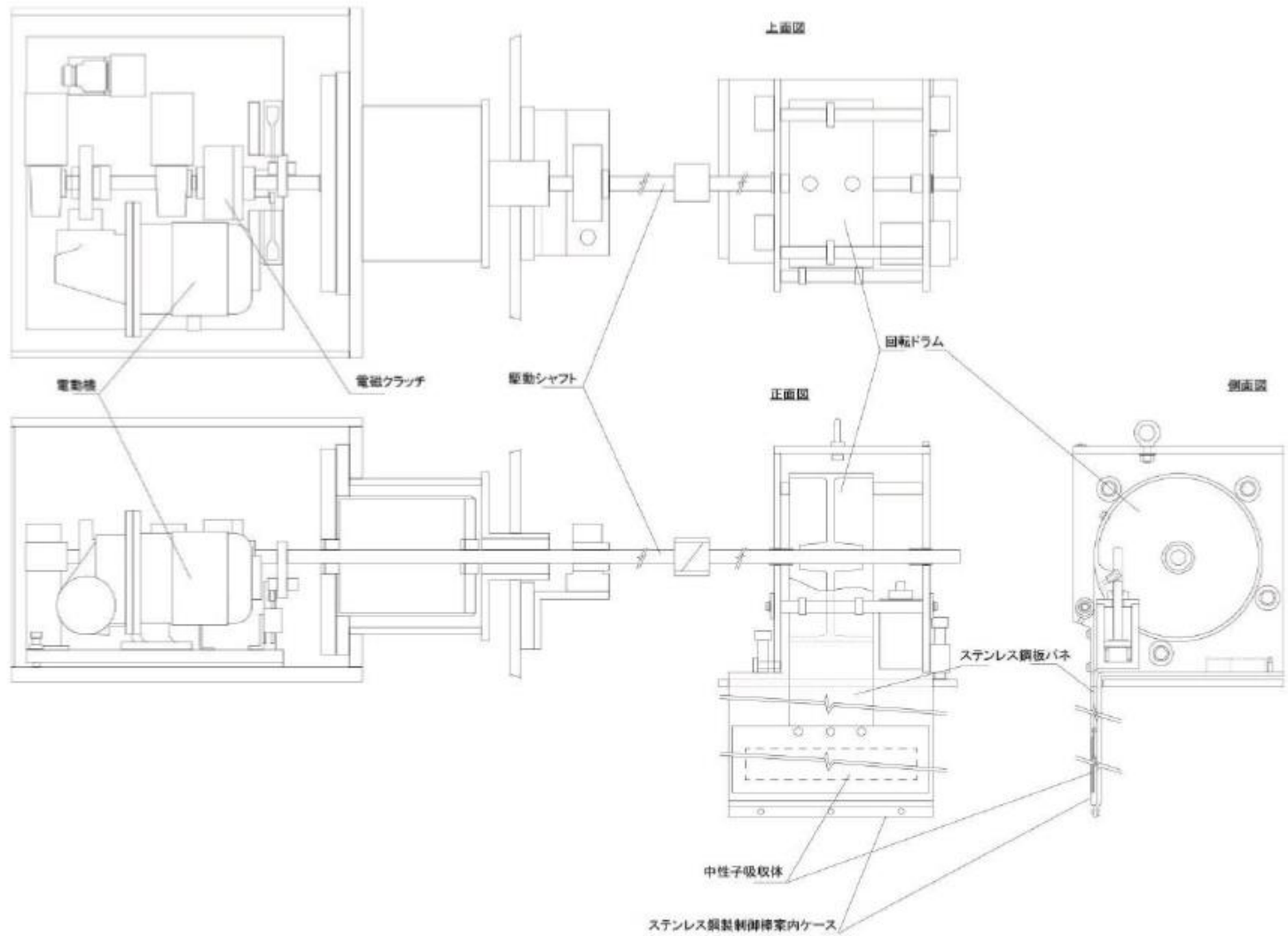
今回工事対象設備の位置



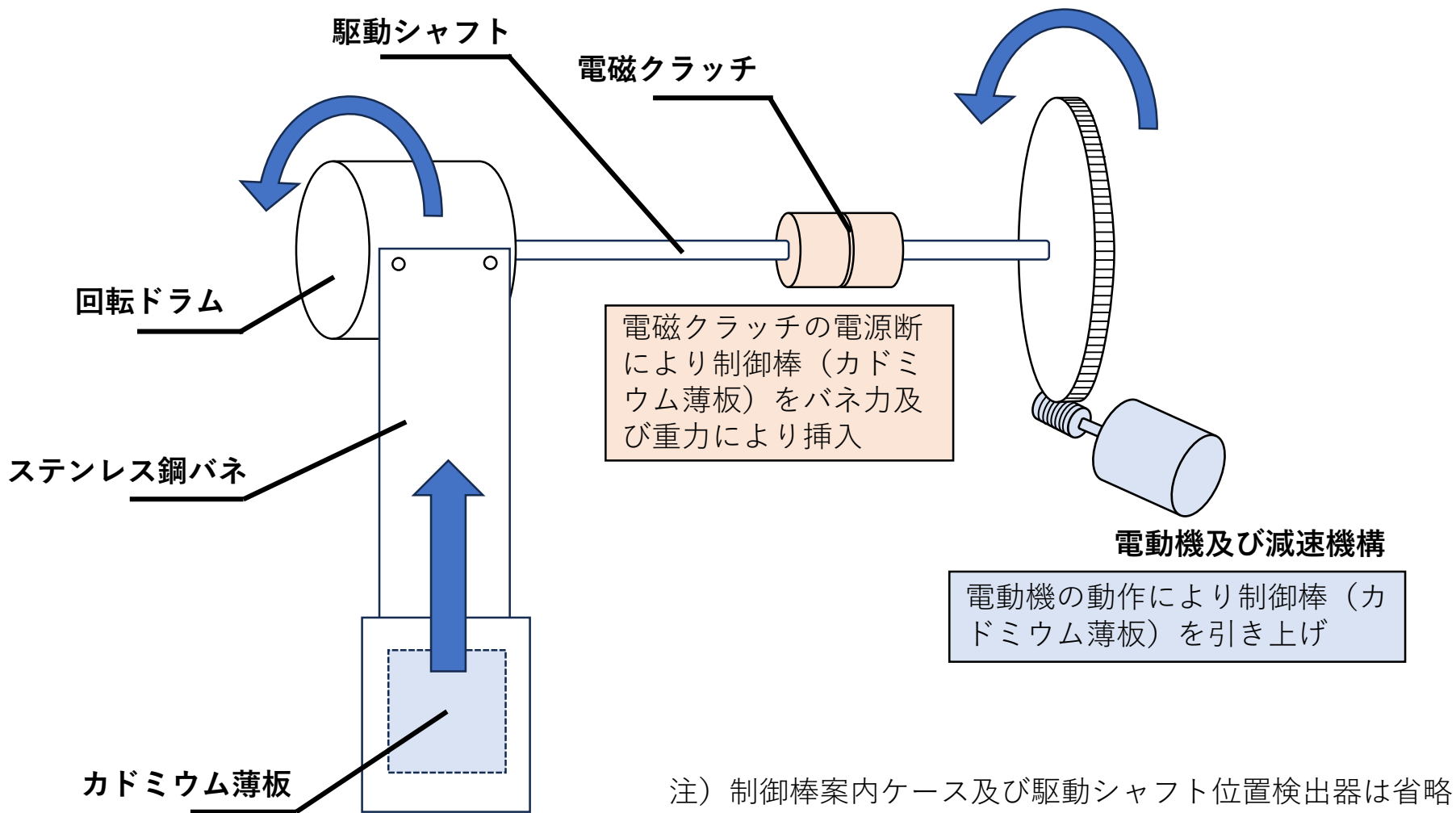
今回工事対象設備の構成（シム安全棒）



今回工事対象設備の構成（安全棒#1, #2）



駆動用モータ及び電磁クラッチの機能概要



今回工事により更新の対象とする機器

制御棒駆動装置の主要な概要を以下に示す。下線部が今回の更新対象である。

機器	主な仕様・構成等
制御棒駆動装置	制御棒案内ケース、 <u>電動機</u> 、 <u>減速機構</u> 、 <u>電磁ク ラッチ</u> 、駆動シャフト位置検出器、回転ドラム

(参考*)

減速機構 — ギヤヘッドについて

ギヤヘッドとは、ACモーターの回転速度を遅くし、発生トルクを大きくする機構のことです。

(中略)

ギヤヘッドには、モーターの「回転速度を遅くする」「発生トルクを大きくする」「オーバーラン量を小さくする」という役割があります。

*オリエンタルモーター株式会社HP (技術情報>eラーニング>ACモーターの基礎>2-2. 減速機構 — ギヤヘッドについて) より引用

設計条件および設計仕様 (1/3)

- 設計条件

制御棒駆動機構（安全棒#1、安全棒#2、シム安全棒）駆動用モータ（以下、「駆動用モータ」という。）等の設計条件を次に示す。

要求性能 安全棒#1、安全棒#2、シム安全棒の下限から上限まで、及びシム安全棒については上限から下限までの移動時間が設置変更許可申請書に記載の範囲内となること

個数 各1式

- 設計仕様

駆動用モータは交流モータで構成する。また、駆動用モータから制御棒駆動軸へはギヤヘッド、ウォームホイール、歯研ウォーム、スパイラルマイタ歯車及び電磁クラッチを介して動力が伝達されている。これら駆動用モータ、ギヤヘッド、ウォームホイール、歯研ウォーム、スパイラルマイタ歯車及び電磁クラッチは別途定める手順に従い、同一規格品又は同等性能を有するものと交換できるものとする。

駆動用モータ、ギヤヘッド、ウォームホイール、歯研ウォーム、スパイラルマイタ歯車及び電磁クラッチの設計仕様を次ページ以降に示す。

設計条件および設計仕様 (2/3)

- 設計仕様 (続き)

駆動用モータ

員数：3 台 (安全棒#1、安全棒#2、シム安全棒に各1 台)

型番：4RK25GN-AW2U(オリエンタルモーター社製)

(参考スペック)

定格回転数：1450 rpm (単相AC115V/60Hz)

定格トルク：170 mN・m

定格出力：7 W

ギヤヘッド

員数：3 枚 (安全棒#1、安全棒#2、シム安全棒に各1 枚)

型番：4GN150K(オリエンタルモーター社製)

(参考スペック)

減速比：150

ウォームギア

員数：3 枚 (安全棒#1、安全棒#2、シム安全棒に各1 枚)

型番：AG1.5-40R1J12 (小原歯車工業)

(参考スペック)

歯数：40

モジュール：1.5

設計条件および設計仕様 (3/3)

- 設計仕様 (続き)

歯研ウォーム

員数：3 枚 (安全棒#1、安全棒#2、シム安全棒に各1 枚)

型番：SWG1.5-R1J10 (小原歯車工業)

(参考スペック)

モジュール：1.5

スパイラルマイタ歯車

員数：3 対 (安全棒#1、安全棒#2、シム安全棒に各1 対)

型番：SMS1-30RJ10、SMS1-30LJ10 (小原歯車工業)

(参考スペック)

歯数：30

電磁クラッチ

員数：3 個 (安全棒#1、安全棒#2、シム安全棒に各1 個)

型番：SFC-250/BMS-AG (シンフォニアテクノロジー)

(参考スペック)

耐摩擦トルク；7 Nm

定格電圧：DC+24V

電動機に関連する制御棒駆動時間及び反応度添加率の制限について

設置許可書 本文 記載内容

5. 試験研究用等原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備
へ 計測制御系統施設の構造及び設備
(3) 制御設備
(iii) 反応度制御能力
b 反応度添加率 (通常運転時)
(中略)
シム安全棒 $\pm 0.006 \% \Delta k/k/s$ 以下

設置許可書 添付書類八 記載内容

3. 原子炉本体
3. 2 機械設計
3. 2. 2 炉心構造物
(中略)
(3) 制御棒及び制御棒駆動機構
(中略)
駆動時間 (全ストローク)
(中略)
シム安全棒 170～220 秒
安全棒 170～220 秒

5. 計測制御系統施設
5. 1 反応度制御系統設備
5. 1. 3 主要設備
(1) 反応度制御系統の制御棒
c 反応度制御系統の制御棒の反応度添加率
(中略)
シム安全棒 $\pm 0.006 \% \Delta k/k/s$ 以下

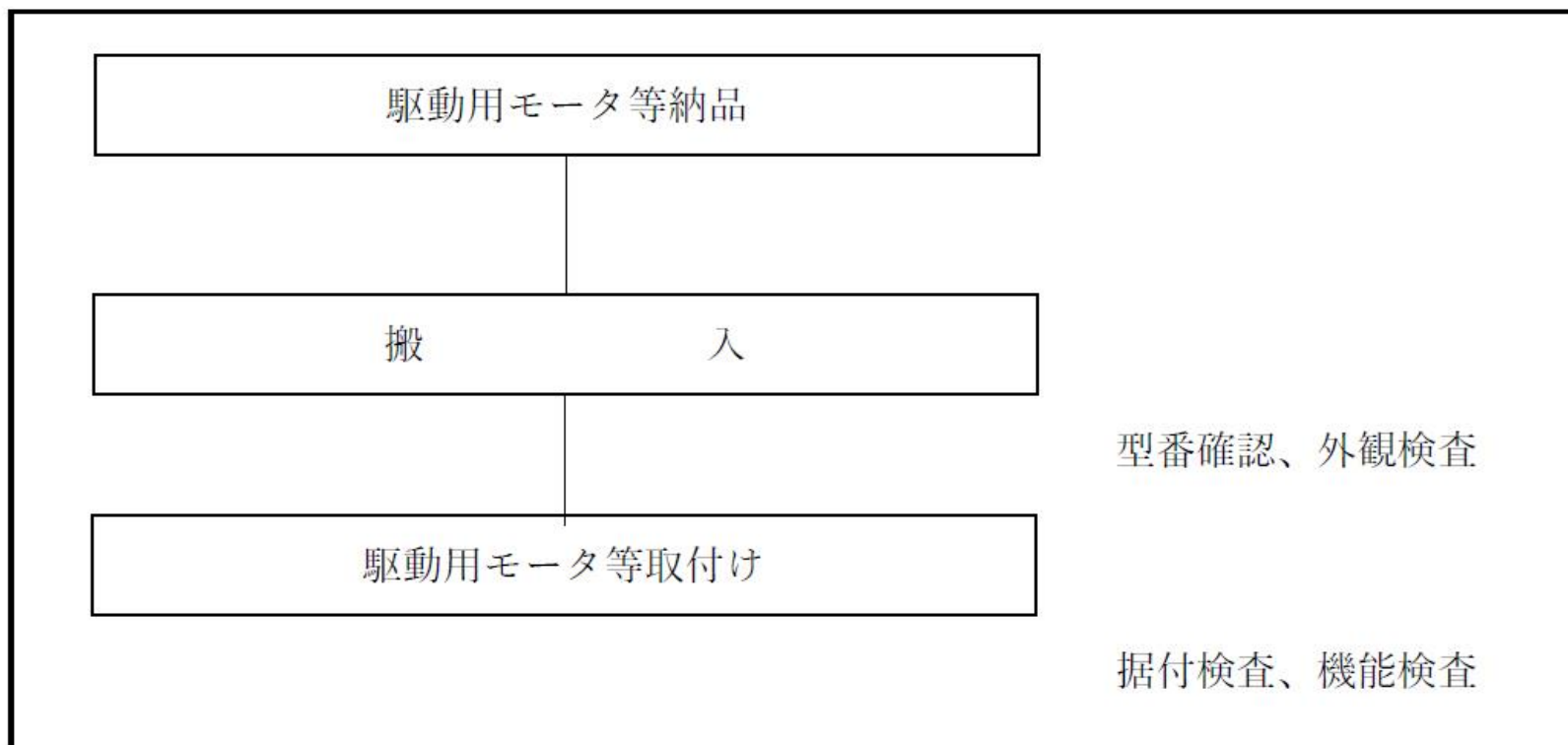
設置許可申請書との整合性について

項目	設置許可申請書に記載の制限値	更新後の仕様
反応度添加率*	± 0.006 %Δk/k/s 以下	(引抜時) +0.0032%Δk/k/s (挿入時) -0.031～0.032%Δk/k/s **
全ストロークの 駆動時間	170～220秒	(引抜時) 170.3秒 (挿入時) 171.9～175.9秒*

詳細な計算方法については、設工認申請書別紙1 別添3 制御棒駆動機構（安全棒#1、安全棒#2及びシム安全棒）
における駆動モータ回転数及び負荷トルクに関する計算書を参照

*反応度添加率、挿入時間はシム安全棒のみ
**シム安全棒反応度を0.54 %Δk/kとして算出

工事フロー



工事工程

項目 \ 時期	令和5年度			
	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
制御棒駆動機構の更新				<input type="checkbox"/> ①及び②

① 機能及び性能の確認に係る検査

② 本申請に係る工事が本申請書に従って行われたものであることの確認に係る検査

注：検査時期は、工事計画の進捗により変更となる場合がある。16

使用前事業者検査項目

検査項目	内容
(型番確認) 制御棒駆動機構機器の型番確認	安全棒 # 1、安全棒 # 2 及びシム安全棒の電動機、減速機構、電磁クラッチが計画通りの型番であるか確認する。
(外観検査) 制御棒駆動機構機器の外観検査	安全棒 # 1、安全棒 # 2 及びシム安全棒の電動機、減速機構、電磁クラッチに外観上有害な傷や損傷が無い か確認する。
(据付け検査) 制御棒駆動機構の据え付け検査	安全棒 # 1、安全棒 # 2 及びシム安全棒の電動機、減速機構、電磁クラッチが計画通りに据付けられている か確認する。
(機能検査) 制御棒の駆動時間検査	安全棒 # 1、安全棒 # 2 及びシム安全棒について、以下の方法で駆動時間を確認する。 ①安全棒 # 1、安全棒 # 2 を下限位置から上限位置まで上昇させ、駆動時間（上昇時間）をストップウォッチにより測定（位置表示灯で確認）する。 ②シム安全棒を上昇（0～50%）及び下降（50～0%）させ、①と同様の方法で駆動時間（上昇時間及び下降時間）を測定し、この駆動時間測定値を2倍することにより、全ストロークの駆動時間を求める。
(機能検査) シム安全棒の最大反応度添加率検査	シム安全棒の反応度値をペリオド法及び落下法により求め、「制御棒の駆動速度検査」の上昇/下降時間を用いて最大反応度添加率を確認する。

今回工事に係る試験炉技術基準規則の適合すべき条文について
 (反応度制御系統としてのシム安全棒の駆動機構について)

条項番号			適合要否	理由
条	項	号		
6	1		○	安全設備の一部であるため
	2		×	耐震重要施設が無いため
	3		×	耐震重要施設が無いため
33	1	1	○	反応度添加率が関係するため
		2	○	反応度添加率が関係するため
	2	1	×	原子炉停止系統への要求事項であるため
		2	×	原子炉停止系統への要求事項であるため
		3	×	原子炉停止系統への要求事項であるため
		4	×	原子炉停止系統への要求事項であるため

今回工事に係る試験炉技術基準規則の適合すべき条文について
 (反応度制御系統としてのシム安全棒の駆動機構について)

条項番号			適合要否	理由
条	項	号		
33	3		×	制御材自体は今回工事の範囲外であるため
	4	1	○	制御材の駆動速度が関係するため
		2	○	制御材の駆動機構に関係するため
		3	×	原子炉停止系統への要求事項であるため
	5		×	炉心冠水維持バウンダリ及び冷却機能が無い ため
	6		○	原子炉停止系統と反応度制御系統とを共用 するため

その他の条文については、今回工事の範囲外であるため適合確認は必要ない

今回工事に係る試験炉技術基準規則の適合すべき条文について
 (原子炉停止系統としてのシム安全棒、安全棒#1、#2の駆動機構について)

条項番号			適合要否	理由
条	項	号		
6	1		○	安全設備の一部であるため
	2		×	耐震重要施設が無いため
	3		×	耐震重要施設が無いため
33	1	1	×	反応度制御系統への要求事項であるため
		2	×	反応度制御系統への要求事項であるため
	2	1	×	原子炉停止系統の多様性確保は 今回工事の範囲外であるため
		2	×	
		3	×	
		4	×	

今回工事に係る試験炉技術基準規則の適合すべき条文について
 (原子炉停止系統としてのシム安全棒、安全棒#1、#2の駆動機構について)

条項番号			適合要否	理由
条	項	号		
33	3		×	制御材自体は今回工事の範囲外であるため
	4	1	○	制御材の駆動速度が関係するため
		2	○	制御材の駆動機構に関係するため
		3	○	制御材の駆動機構に関係するため
	5		×	炉心冠水維持バウンダリ及び冷却機能が無い ため
	6		○	原子炉停止系統と反応度制御系統とを共用 するため

その他の条文については、今回工事の範囲外であるため適合確認は必要ない

試験炉技術基準規則への適合性 (第6条 第1項)

【試験炉許可基準規則】 第6条 第1項

試験研究用等原子炉施設は、これに作用する地震力（試験炉許可基準規則第四条第二項の規定により算定する地震力をいう。）による損壊により公衆に放射線障害を及ぼすことがないものでなければならない。

適合性

本申請の対象である制御棒駆動機構（安全棒#1、安全棒#2、シム安全棒）駆動用モータ等については、原子炉設置変更許可申請書並びに試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則に基づき、耐震重要度Cクラスに分類し、それに応じた耐震性を有する構造となっている。

試験炉技術基準規則への適合性 (第33条 第1項) (1/2)

【試験炉許可基準規則】 第33条 第1項

試験研究用等原子炉施設には、通常運転時において、燃料の許容設計限界を超えることがないように反応度を制御できるよう、次に掲げるところにより反応度制御系統が設けられていなければならない。

- 一 通常運転時に予想される温度変化、キセノンの濃度変化、実験物（試験炉許可基準規則第十九条第一号に規定する実験物をいう。以下同じ。）の移動その他の要因による反応度変化を制御できるものであること。
- 二 制御棒を用いる場合にあっては、次のとおりとすること。
 - イ 炉心からの飛び出し又は落下を防止するものであること。
 - ロ 当該制御棒の反応度添加率は、原子炉停止系統の停止能力と併せて、想定される制御棒の異常な引き抜きが発生しても、燃料の許容設計限界を超えないものであること。

適合性 (第1項 第1号)

近畿大学原子炉の定格出力が1W と小さいことから運転時における温度変化並びにキセノンの濃度変化はシム安全棒反応度価値と比べて十分に小さい。また、運転中に移動が発生する実験物については反応度価値をシム安全棒反応度価値の十分の一以下である0.05% $\Delta k/k$ 以下に制限している。また、シム安全棒と同じ反応度制御系統制御棒である調整棒の反応度価値はシム安全棒に比べて約五分の一であるが、実験物の反応度価値はその半分以下であるため、実験物の移動により発生する反応度変化は十分に制御可能である。

試験炉技術基準規則への適合性 (第33条 第1項) (2/2)

【試験炉許可基準規則】 第33条 第1項

試験研究用等原子炉施設には、通常運転時において、燃料の許容設計限界を超えることがないように反応度を制御できるよう、次に掲げるところにより反応度制御系統が設けられていなければならない。

- 一 通常運転時に予想される温度変化、キセノンの濃度変化、実験物（試験炉許可基準規則第十九条第一号に規定する実験物をいう。以下同じ。）の移動その他の要因による反応度変化を制御できるものであること。
- 二 制御棒を用いる場合にあっては、次のとおりとすること。
 - イ 炉心からの飛び出し又は落下を防止するものであること。
 - ロ 当該制御棒の反応度添加率は、原子炉停止系統の停止能力と併せて、想定される制御棒の異常な引き抜きが発生しても、燃料の許容設計限界を超えないものであること。

適合性 (第1項 第2号)

近畿大学原子炉における4本の制御棒は全て炉心の上部から挿入されており、その駆動方法はステンレス製の板バネをドラムに巻き上げる駆動方式である。制御棒の挿入領域は黒鉛反射体に設けられたスリット内に限られており、吸収体及びステンレス製の板バネはアルミニウム及びステンレス製の挿入カバーでおおわれている。これらのことから、制御棒の炉心からの飛び出しは発生しない。また、反応度制御系統制御棒の反応度添加率は調整棒で $\pm 0.007\% \Delta k/k/s$ 以下、シム安全棒が $\pm 0.006\% \Delta k/k/s$ 以下に設計されている。これらを満足することにより、原子炉停止系統の停止能力と併せて、想定される制御棒の異常な引き抜きが発生しても、燃料の許容設計限界を超えないものである。

試験炉技術基準規則への適合性 (第33条 第4項) (1/3)

【試験炉許可基準規則】 第33条 第4項

- 4 制御材を駆動する設備は、次に掲げるところによるものでなければならない。
 - 一 試験研究用等原子炉の特性に適合した速度で制御材を駆動し得るものであること。
 - 二 制御材を駆動するための動力の供給が停止した場合に、制御材が反応度を増加させる方向に動かないものであること。
 - 三 制御棒の落下その他の衝撃により燃料体、制御棒その他の設備を損壊することがないものであること。

適合性 (第4項第1号)

シム安全棒の駆動速度は反応度添加率の制限を満足するとともに、制御性を考慮し、下限から上限までの駆動時間を170～220秒の範囲とする。また、安全棒#1及び安全棒#2については、反応度添加率の制限はないが、反応度値の制限値はシム安全棒と同じため、下限から上限までの駆動時間を170～220秒の範囲とする。

試験炉技術基準規則への適合性 (第33条 第4項) (2/3)

【試験炉許可基準規則】 第33条 第4項

- 4 制御材を駆動する設備は、次に掲げるところによるものでなければならない。
- 一 試験研究用等原子炉の特性に適合した速度で制御材を駆動し得るものであること。
 - 二 制御材を駆動するための動力の供給が停止した場合に、制御材が反応度を増加させる方向に動かないものであること。
 - 三 制御棒の落下その他の衝撃により燃料体、制御棒その他の設備を損壊することがないものであること。

適合性 (第4項第2号)

制御材を駆動するための動力の供給が停止した場合、調整棒は停止機能を有しないため、動作が停止し、正の反応度も負の反応度も炉心に添加することはない。なお、停止機能を有する安全棒#1、安全棒#2 及びシム安全棒は落下挿入し、負の反応度を炉心に添加する。

試験炉技術基準規則への適合性 (第33条 第4項) (3/3)

【試験炉許可基準規則】 第33条 第4項

- 4 制御材を駆動する設備は、次に掲げるところによるものでなければならない。
- 一 試験研究用等原子炉の特性に適合した速度で制御材を駆動し得るものであること。
 - 二 制御材を駆動するための動力の供給が停止した場合に、制御材が反応度を増加させる方向に動かないものであること。
 - 三 制御棒の落下その他の衝撃により燃料体、制御棒その他の設備を損壊することがないものであること。

適合性 (第4項第3号)

調整棒はその機構上落下することはない。なお、落下機能を有する安全棒#1、安全棒#2 及びシム安全棒についてもその動作範囲は駆動装置で制限され、かつ吸収体及びステンレス製の板バネはアルミニウム及びステンレス製の挿入カバーでおおわれていることから、燃料体、制御棒その他の設備を損壊することはない。

試験炉技術基準規則への適合性 (第33条 第6項)

【試験炉許可基準規則】 第33条 第6項

原子炉停止系統は、反応度制御系統と共用する場合には、反応度制御系統を構成する設備の故障が発生した場合においても通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時に試験研究用等原子炉を未臨界に移行することができ、かつ、低温状態において未臨界を維持できるものでなければならない。

適合性

反応度制御系統と共用する原子炉停止系統のシム安全棒が故障した場合であっても、炉心の過剰反応度を $0.5\% \Delta k/k$ 以下に制限しているため、残りの原子炉停止系統である安全棒#1 もしくは安全棒#2 を炉心に挿入することにより通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時に試験研究用等原子炉を未臨界に移行することができる。

試験炉技術基準規則への適合性に係る評価の必要性について（1/3）

技術基準規則		評価の必要性の有無	適合性
第1条、第2条	適用範囲、定義	—	—
第3条	特殊な設計による史研究用等原子炉施設	該当なし	—
第4条	廃止措置中の試験研究用等原子炉施設の維持	該当なし	—
第5条	試験研究用等原子炉施設の地盤	無	—
第6条	地震による損傷の防止	有 (第1項)	P18の通り
第7条	津波による損傷の防止	無	—
第8条	外部からの衝撃による損傷の防止	無	—
第9条	試験研究用等原子炉施設への人の不法な侵入等の防止	無	—
第10条	試験研究用等原子炉施設の機能	無	—
第11条	機能の確認等	無	—
第12条	材料及び構造	無	—
第13条	安全弁等	該当なし	—
第14条	逆止め弁	該当なし	—
第15条	放射性物質による汚染の防止	無	—

試験炉技術基準規則への適合性に係る評価の必要性について（2/3）

技術基準規則		評価の必要性の有無	適合性
第16条	遮蔽等	無	—
第17条	換気設備	無	—
第18条	適用	—	—
第19条	溢水による損傷の防止	無	—
第20条	安全避難通路等	無	—
第21条	安全設備	無	—
第22条	炉心等	無	—
第23条	熱遮蔽材	該当なし	—
第24条	一次冷却材	該当なし	—
第25条	核燃料物質取扱設備	無	—
第26条	核燃料物質貯蔵設備	無	—
第27条	一次冷却材処理装置	該当なし	—
第28条	冷却設備等	該当なし	—
第29条	液位の保持等	該当なし	—

試験炉技術基準規則への適合性に係る評価の必要性について (3/3)

技術基準規則		評価の必要性の有無	適合性
第30条	計測設備	無	—
第31条	放射線管理施設	無	—
第32条	安全保護回路	無	—
第33条	反応度制御系統及び原子炉停止系統	有 (第1項、第4項及び第6項)	P19～24の通り
第34条	原子炉制御室等	無	—
第35条	廃棄物処理設備	無	—
第36条	保管廃棄設備	無	—
第37条	原子炉格納施設	無	—
第38条	実験設備等	無	—
第39条	多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止	該当なし	—
第40条	保安電源設備	無	—
第41条	警報装置	無	—
第42条	通信連絡設備等	無	—