

HTTR原子炉施設 設工認 (2次ヘリウム循環機回転数制御装置の更新)

令和4年6月20日

日本原子力研究開発機構 大洗研究所
高温ガス炉研究開発センター
高温工学試験研究炉部

本申請は、原子炉冷却系統施設のうち2次ヘリウム冷却設備のうち2次ヘリウム循環機に係る回転数制御装置の更新に関するものである。

原子炉冷却系統施設は、次の各設備から構成される。

- (1) 一次冷却設備
- (2) 二次冷却設備
- (3) 非常用冷却設備
- (4) その他の主要な事項

上記のうち、(2) 二次冷却設備は、次の各設備から構成される。

- イ. 2次ヘリウム冷却設備
- ロ. 加圧水冷却設備

上記のうち、イ. 2次ヘリウム冷却設備は、次の各設備から構成される。

- a. 2次加圧水冷却器
- b. 2次ヘリウム循環機
- c. 2次ヘリウム配管(二重管)
- d. 2次ヘリウム主配管(単管)
- e. 主要弁

今回の申請範囲は、b. 2次ヘリウム循環機の一部である周波数変換器に関するものである。なお、周波数変換器は回転数制御装置に収納する。

【設計条件】

運転状態に応じた2次冷却材の循環流量を確保するため、2次ヘリウム循環機の回転数を可変させることのできる周波数変換器を設ける。

【設計仕様】

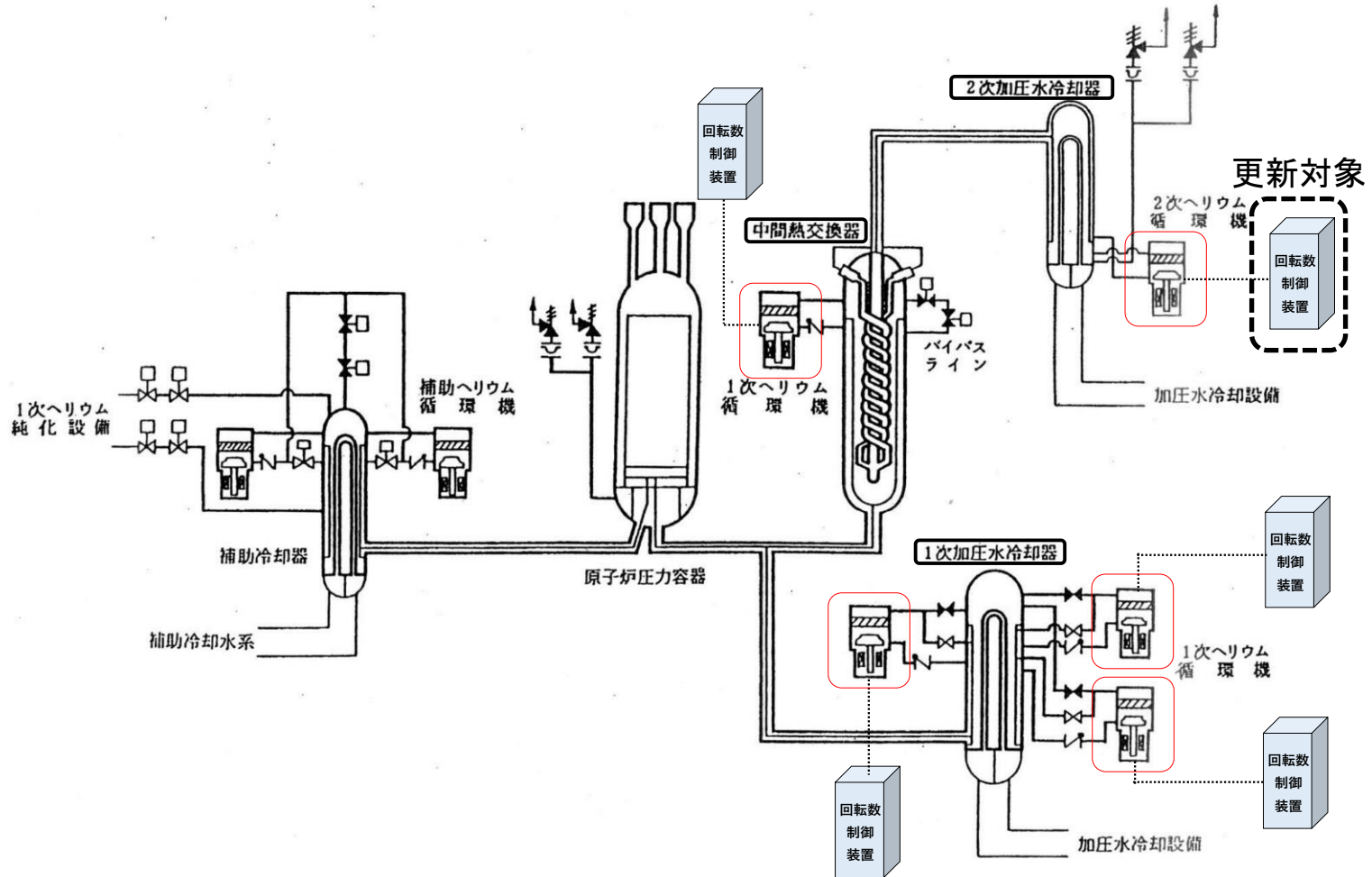
本申請に係る周波数変換器の仕様を以下に示す。なお、周波数変換器は2次ヘリウム循環機回転数制御装置に収納する。周波数変換器については、同一仕様品又は同等以上の性能を有するものと交換できるものとする。

周波数変換器形式	IGBTインバータ
仕様	定格出力電圧:三相交流0~480V 定格出力周波数:0~500Hz
制御方式	V/F制御

既設工認申請書における周波数変換器の設計仕様を参考資料1に示す。

回転数制御装置の構成

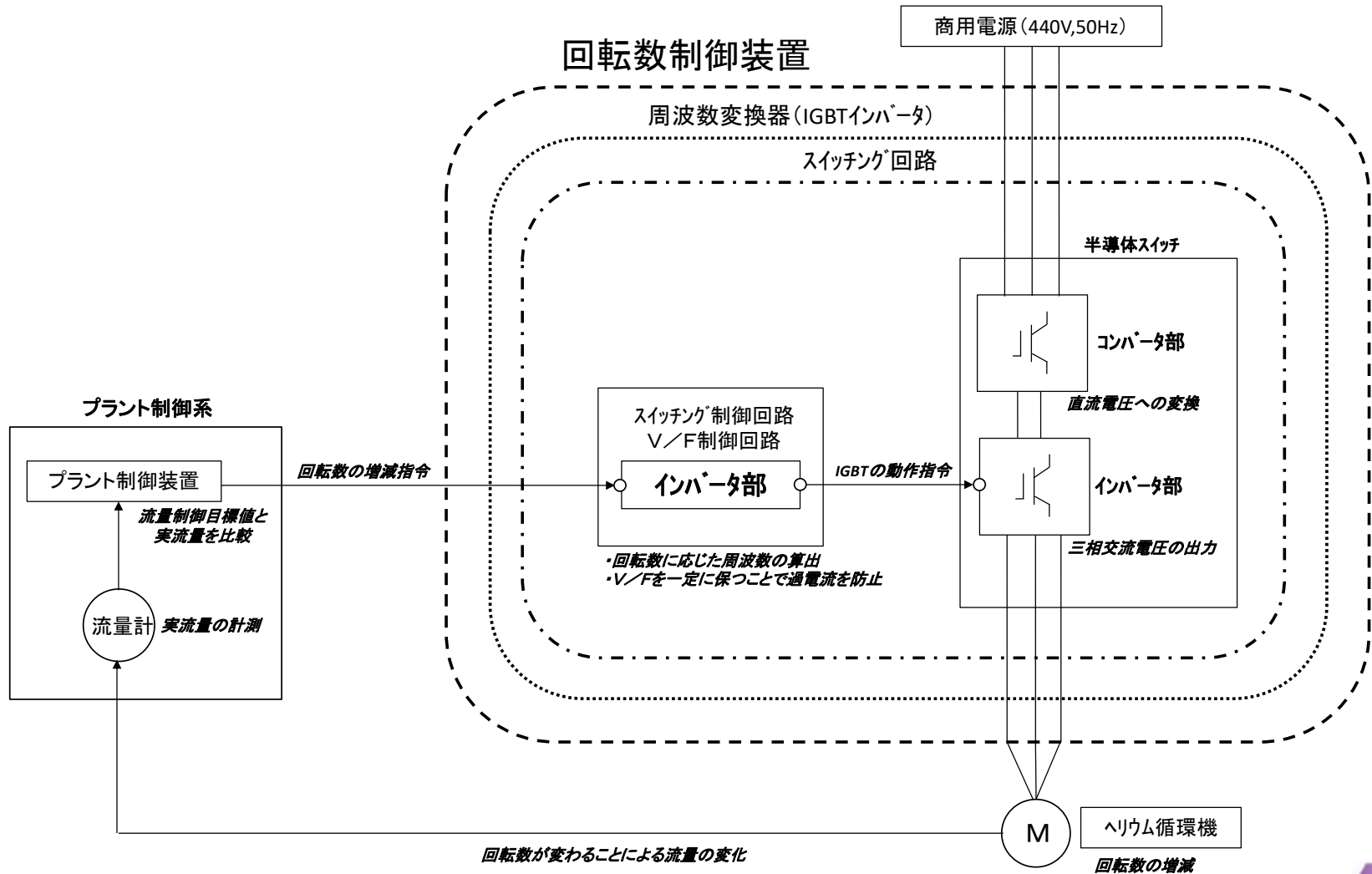
1次ヘリウム循環機4台、2次ヘリウム循環機1台の合計5台のヘリウム循環機を有しており、更新する制御装置は2次ヘリウム循環機用の回転数制御装置である。また、1次加圧水冷却器のみで熱交換を行う単独運転モード、1次加圧水冷却器並びに中間熱交換器により熱交換を行う並列運転モードを有しており、各々に対し定格運転モード及び高温試験運転モードの選択が可能である。2次ヘリウム循環機用の回転数制御装置は、並列運転モードで使用する。



2次ヘリウム循環機回転数制御装置の機能

ヘリウム循環機の回転数を制御することで必要な流量を確保することを目的とした回転数制御装置*は、プラント制御系からの回転数と比例関係にある周波数を周波数変換器にて調整することで、ヘリウム循環機の回転数を制御する。この時、過電流防止の観点から電圧も同時に調整する。なお、周波数と電圧を一定の比率で調整することをV/F制御という。

*:2次ヘリウム冷却設備に係る安全上の機能別重要度:PS-3、耐震重要度:Cクラス



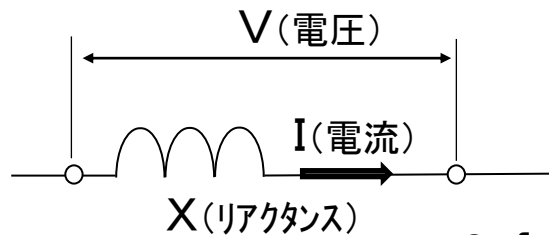
回転数制御装置機能説明図

回転数制御における過電流の防止

電圧と周波数を一定に保つ必要性

回転数制御は、IGBTのスイッチング速度により周波数を変更することで行う。また、過電流を防止する観点から、周波数と電圧の比率を一定に保つことが不可欠である。具体的には、過電流を防止する対策として、リアクタンス(直流回路の抵抗にあたるもの)の低下に併せ電圧を低減させることで、過電流とならないように制御している(リアクタンスを抵抗としたオームの法則)。また、リアクタンスは周波数と比例関係にあり、周波数を減少させた場合、リアクタンスも小さくなることから、過大な電流が流れることを防止するため電圧も減少させる。

オームの法則の適用



$$X = 2\pi f \cdot L$$

f: 周波数

L: インダクタンス(一定)

$$I = \frac{V}{X}$$

↓
増大

- 一定とした場合
- 周波数(f)低下に伴いリアクタンス(X)小
- 直流回路の抵抗に相当

周波数変換器に係るスイッチング方式

周波数変換器は回転数制御装置内に収納されており、コンバータにより商用電源である交流電圧を直流電圧に変換した後、ヘリウム循環機が要求する回転数に応じた三相交流電圧に変換(VVVF:可変電圧可変周波数)する装置である。

本更新においては、周波数変換器のスイッチング方式をGTOサイリスタ*1方式からIGBT*2方式に変更することとなるが、スイッチの動作方式を変更するのみであり、電動機(ヘリウム循環機)が要求する回転数に応じ算出される出力電圧及び出力周波数は、既設の周波数変換器の出力値と変わらない。なお、IGBTはGTOサイリスタと比べ、スイッチング速度が速く駆動電力が小さい等の利点を有し、鉄道業界等の一般産業界に広く普及している。

なお、スイッチング方式を変更する同等性については、仕様並びに性能に差異が無いことを以って確認する。

*1: Gate Turn-Off thyristor

*2: Insulated Gate Bipolar Transistor

スイッチング方式	GTOサイリスタ方式 (更新前)	IGBT方式 (更新後)
<p>変更する 半導体スイッチ</p>	<p style="text-align: center;">VVVF</p> <p style="text-align: center;">凡例: サイリスタ</p>	<p style="text-align: center;">VVVF</p> <p style="text-align: center;">凡例: トランジスタ</p>

回転数制御装置に係る同等性(型式変更)

既設の回転数制御装置は、仏国メーカーの制御装置であり更新後の回転数制御装置と同様、製作メーカーの既製品(型式:E300487)であり、更新する回転数制御装置についても、製作メーカーの既製品(型式:FRN315G1S-4J)である。更新する回転数制御装置の製品カタログ(抜粋)を参考資料2に示す。なお、更新後において、既設の回転数制御装置の性能を下回る仕様変更は生じないことから、事業者品証に基づく調達管理にて同等性を確認する。

項目		既設の回転数制御装置の仕様	更新後の回転数制御装置の仕様
盤電源	電源電圧	3φAC440V 許容変動範囲:+10%, -20%(352V~484V)	3φAC380V~440V 許容変動範囲:+10%, -15%(323V~484V)
	電源周波数	50Hz 許容変動範囲: ±2.5Hz(47.5Hz~52.5Hz)	50Hz 許容変動範囲: ±2.5Hz(47.5Hz~52.5Hz)
	制御電源電圧	DC100V 許容変動範囲: ±20%(80V~120V)	DC100V 許容変動範囲: ±20%(80V~120V)
周囲条件		温度0°C~40°C	温度-5°C~+40°C
定格出力	容量	約375kVA	445kVA
	電圧	3φAC約50V~430V	3φAC0V~480V
	周波数	0~200Hz	0~500Hz
最大出力電流		約850A	878A
効率		95%以上	95%以上
出力周波数精度		±1.0%	±0.2%以下
制御方式		V/F制御(精度±10%)	V/F制御(精度±10%)
周波数変換器の形式		GTOサイリスタインバータ	IGBTインバータ
重量		1700kg	1600kg

赤枠:更新に伴い周波数変換器の性能に変更が生じる項目

今回は、周波数変換器を含む回転数制御装置を更新するものであり、ヘリウム循環機本体、プラント制御系及び電源系統は更新しない。更新後においては、使用前検査*と同様にプラント制御系及びヘリウム循環機本体を組み合わせた作動検査を実施し、流量制御に係る性能が更新前と同等であることを確認する。

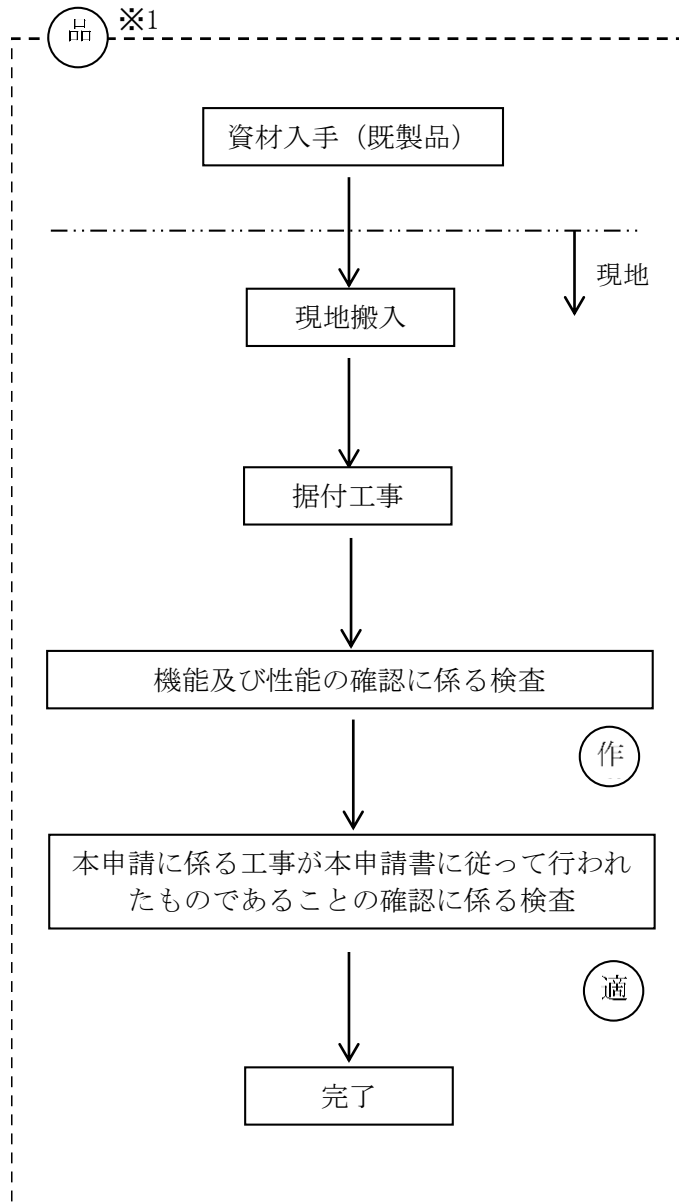
使用前検査

2次ヘリウム循環機を起動し、2次加圧水冷却器のヘリウム流量が定格流量であることを確認している。

* : 申請番号:3原研53第1号
受検年月日 : 平成9年1月31日
使用前検査番号:359

使用前事業者検査

2次ヘリウム循環機を起動し、手動により任意の回転数まで上昇させたときに、その回転数に維持できることを確認する。また、回転数を自動で上昇させたときに、ヘリウム流量が流量目標値に制御できることを確認する。



凡例

作 : 作動検査

適 : 適合性確認検査

品 : 品質管理検査

※1: 品質管理検査は工事の状況等を踏まえ適切な時期で実施する。

項目	年度		令和4				令和5			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV		
原子炉冷却系統施設のうち 2次ヘリウム循環機のうち 回転数制御装置			□					□ △ 作・適		

- (1) 構造、強度及び漏えいの確認に係る検査
該当なし
- (2) 機能及び性能の確認に係る検査
作: 作動検査
- (3) 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
適: 適合性確認検査、品: 品質マネジメントシステム検査(※1)
※1: 品質マネジメント検査は、工事の状況等を踏まえ適切な時期で実施する。
注記1: 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。

検査項目	内容
作動検査	<p>定格運転かつ並列運転、高温試験運転かつ並列運転の各運転モードにおいて、2次ヘリウム循環機を起動し、手動により任意の回転数まで上昇させたときに、その回転数に維持できること。</p> <p>また、回転数を自動で上昇させたときに、ヘリウム流量が各運転モードに対応する流量目標値(定格運転かつ並列運転:約12.8t/h、高温試験運転かつ並列運転:約10.8t/h)に制御できること。</p>

【技術基準規則】

(冷却設備等)

第二十八条 試験研究用等原子炉施設には、次に掲げる設備が設けられていなければならない。ただし、試験研究用等原子炉の安全を確保する上で支障がない場合にあっては、この限りでない。

- 一 原子炉容器内において発生した熱を除去することができる容量の冷却材その他の流体を循環させる設備

(後略)

【適合性】

2次ヘリウム循環機回転数制御装置の更新において、運転状態に応じた2次冷却材の循環流量を確保するため、2次ヘリウム循環機の回転数を可変させることのできる周波数変換器を設けることとしており、第1項第1号に適合する設計となっている。

設工認申請書の設計条件及び設計仕様は、「周波数変換器の形式」に係る記載を除き、原子炉設置変更許可申請書の内容に整合するものである。なお、「周波数変換器の形式」については、原子炉設置変更許可申請書の添付書類八の記載をIGBTインバータに変更する予定である。

第 5.3.1 表 2 次ヘリウム循環機の設備仕様

形式	たて型遠心式動圧ガス軸受型
台数	1
流量(最大)	約 15 t/h
昇圧(最大)	約 107.9 kPa (約 1.1 kg/cm ²)
最高使用圧力	5.0 MPa[gage] (51 kg/cm ² g)
最高使用温度	350 °C
材料	
ケーシング	低合金鋼
主軸	低合金鋼
電動機	
形式	かご型誘導電動機
出力	約 200 kW
回転数(可変)	約 3,000～12,000 rpm
周波数変換器の形式	サイリスタインバータ
フィルタ	
形式	焼結金属型
材料	オーステナイト系ステンレス鋼

周波数変換器形式	IGBTインバータ
仕様	定格出力電圧：三相交流 0～480V 定格出力周波数：0～500Hz
制御方式	V/F制御

原子炉設置変更許可申請書(添付書類八)の記載

設工認申請書(設計仕様)の記載

技術基準規則		説明の必要性の有無 (無の場合はその理由)	適合性
第1、2条	適用範囲、定義	無 ・更新対象に係る要求なし。	—
第3条	特殊な設計による試験研究用等原子炉施設	無 ・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	無 ・該当なし。	—
第5条	試験研究用等原子炉施設の地盤	無 ・該当なし。	—
第6条	地震による損傷の防止	無 ・耐震重要施設に非該当。	—
第7条	津波による損傷の防止	無 ・津波対策に係る要求なし。	—
第8条	外部からの衝撃による損傷の防止	無 ・外部からの衝撃に係る要求なし。	—
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 ・該当なし。	—
第10条	試験研究用等原子炉施設の機能	無 ・該当なし。	—
第11条	機能の確認等	無 ・該当なし。	—
第12条	材料及び構造	無 ・該当なし。	—
第13条	安全弁等	無 ・該当なし。	—
第14条	逆止め弁	無 ・該当なし。	—
第15条	放射性物質による汚染の防止	無 ・該当なし。	—
第16条	遮蔽等	無 ・該当なし。	—

技術基準規則		説明の必要性の有無 (無の場合はその理由)	適合性
第17条	換気設備	無 ・該当なし。	—
第18条	適用	無 ・更新対象に係る要求なし。	—
第19条	溢水による損傷の防止	無 ・溢水対策に係る要求なし。	—
第20条	安全避難通路等	無 ・該当なし。	—
第21条	安全設備	無 ・該当なし。	—
第22条	炉心等	無 ・該当なし。	—
第23条	熱遮蔽材	無 ・該当なし。	—
第24条	一次冷却材	無 ・該当なし。	—
第25条	核燃料物質取扱設備	無 ・該当なし。	—
第26条	核燃料物質貯蔵設備	無 ・該当なし。	—
第27条	一次冷却材処理装置	無 ・該当なし。	—
第28条	冷却設備等	有 ・第1項第1号を除き、更新対象に係る要求なし。	P9に示すとおり。
第29条	液位の保持等	無 ・該当なし。	—
第30条	計測設備	無 ・該当なし。	—
第31条	放射線管理施設	無 ・該当なし。	—

技術基準規則		説明の必要性の有無 (無の場合はその理由)	適合性
第32条	安全保護回路	無 ・該当なし。	—
第33条	反応度制御系統及び原子炉停止系統	無 ・該当なし。	—
第34条	原子炉制御室等	無 ・該当なし。	—
第35条	廃棄物処理設備	無 ・該当なし。	—
第36条	保管廃棄設備	無 ・該当なし。	—
第37条	原子炉格納施設	無 ・該当なし。	—
第38条	実験設備等	無 ・該当なし。	—
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	無 ・該当なし。	—
第40条	保安電源設備	無 ・該当なし。	—
第41条	警報装置	無 ・該当なし。	—
第42条	通信連絡設備等	無 ・該当なし。	—
第43条 ～第52条	第三章 研究開発段階原子炉に係る試験研究用等原子炉施設に関する条項	無 ・該当なし。	—
第53条	適用	無 ・更新対象に係る要求なし。	—
第54条	原子炉冷却材圧力バウンダリ	無 ・該当なし。	—
第55条	計測設備	無 ・該当なし。	—

技術基準規則		説明の必要性の有無 (無の場合はその理由)	適合性
第56条	原子炉格納施設	無 ・該当なし。	—
第57条	試験用燃料体	無 ・該当なし。	—
第58条	多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止	無 ・該当なし。	—
第59条	準用	無 ・更新対象に係る要求なし。	—
第60条 ～第70条	第五章 ナトリウム冷却型高速炉に係る試験 研究用等原子炉施設に関する条項	無 ・該当なし。	—

【参考資料1】既設工認申請書における周波数変換器の設計仕様



名 称		2次ヘリウム循環機		
循 環 機	形 式	—	たて型遠心式動圧ガス軸受型	
	流量 (最大)	t/h	15.0	
	昇圧 (最大)	kPa {kg/cm ² }	107.9 {1.1}	
	主 要 材 料	上部ケーシング	—	SCMV4-2 NT, SFVA F22B
		下部ケーシング	—	SFVA F22B相当 (SA336 F22)
	全 高	mm	3332	
台 数	—	1		
電 動 機	形 式	—	かご型誘導電動機	
	出 力	kW	260	
	回転数制御範囲	rpm	3000~12000	
	制動方式	—	直流制動	
	制動時間	秒	10以内	
	台 数	—	1	
フ ィ ル タ	形 式	—	焼結金属型	
	主要材料	—	SUS316	
周 波 数 変 換 器	形 式	—	GTOサイリスタインバータ	

認可番号:4安(原規)第47号
認可日 :平成4年4月9日

重過負荷向けHD (High Duty) 仕様

項目		仕様													
形式 (FRN□□□G1S-4J)		75	90	110	132	160	200	220	280	315	355	400	500	630	
標準適用モータ[kW] (※1)		75	90	110	132	160	200	220	280	315	355	400	500	630	
出力 定格	定格容量[kVA] (※2)	114	134	160	192	231	287	316	396	445	495	563	731	891	
	電圧[V] (※3)	3相380~480V (AVR機能付)													
	定格電流[A]	150	176	210	253	304	377	415	520	585	650	740	960	1170	
	過負荷電流定格	150%-1min, 200%-3.0s													
入力 電源	定格周波数[Hz]	50, 60Hz													
	主電源 相数・電圧・周波数	3相380~440V/50Hz 3相380~480V/60Hz													
	制御電源補助入力 相数・電圧・周波数	単相380~480V, 50/60Hz													
	ファン電源補助入力 相数・電圧・周波数 (※5)	単相380~440V/50Hz 単相380~480V/60Hz													
	電圧・周波数 許容変動	電圧:+10~-15% (相間アンバランス率2%以内 (※6)) 周波数:+5~-5%													
	定格入力 電流[A] (※7)	DCR付	138	164	201	238	286	357	390	500	559	628	705	881	1115
		DCR無	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
所要電源容量[kVA] (※8)	DCR付	96	114	140	165	199	248	271	347	388	436	489	611	773	
制 動	制動トルク[%] (※9)	10~15%													
	制動トランジスタ	-													
	最小接続抵抗値[Ω]	-													
	制動トルク[%]	-													
直流制動	制動開始周波数:0.0~60.0Hz, 制動時間:0.0~30.0s, 制動動作レベル:0~100%														
直流リアクトル(DCR) (※10)	標準付属														
適合安全規格 (※11)	UL508C, C22.2No.14, IEC/EN 61800-5-1:2007														
保護構造 (IEC 60529)	IP00 開放形 UL open type														
冷却方式	ファン冷却														
概略質量[kg]		42	62	64	94	98	129	140	245	245	330	330	552	552	

- (※1) 標準適用モータは、当社4極品の場合を示します。
- (※2) 定格容量は、200V系列:220V定格 / 400V系列:440V定格の場合を示します。
- (※3) 電源電圧より高い電圧は出力できません。
- (※5) 電源回生機能付高効率PWMコンバータなどと組み合わせる場合に、ACファン電源の入力として使用します。(通常は使用しません。)
- (※6) 相間アンバランス率[%] = (最大電圧[V] - 最小電圧[V]) / 3相平均電圧[V] × 67 (IEC/EN 61800-3参照。
2~3%のアンバランス率で使用の場合は交流リアクトル(ACR:オプション)を使用してください。
- (※7) 電源容量が500kVA (インバータ容量を超える場合は、インバータ容量の10倍) で、%X=5%の電源に接続した場合の試算値です。
- (※8) 直流リアクトル(DCR)付の場合を示します。
- (※9) モータ単体での平均制動トルクの数値です。(モータの効率により変化します。)
- (※10) 55kWの直流リアクトル(DCR)はHD仕様の場合はオプション、LD仕様の場合は標準付属です。
- (※11) FRN160,200,220,355,400G1S-4Jについては、C22.2No.14が不適合となります。