

図 2 建屋内雰囲気温度評価結果 (1 ノード評価)

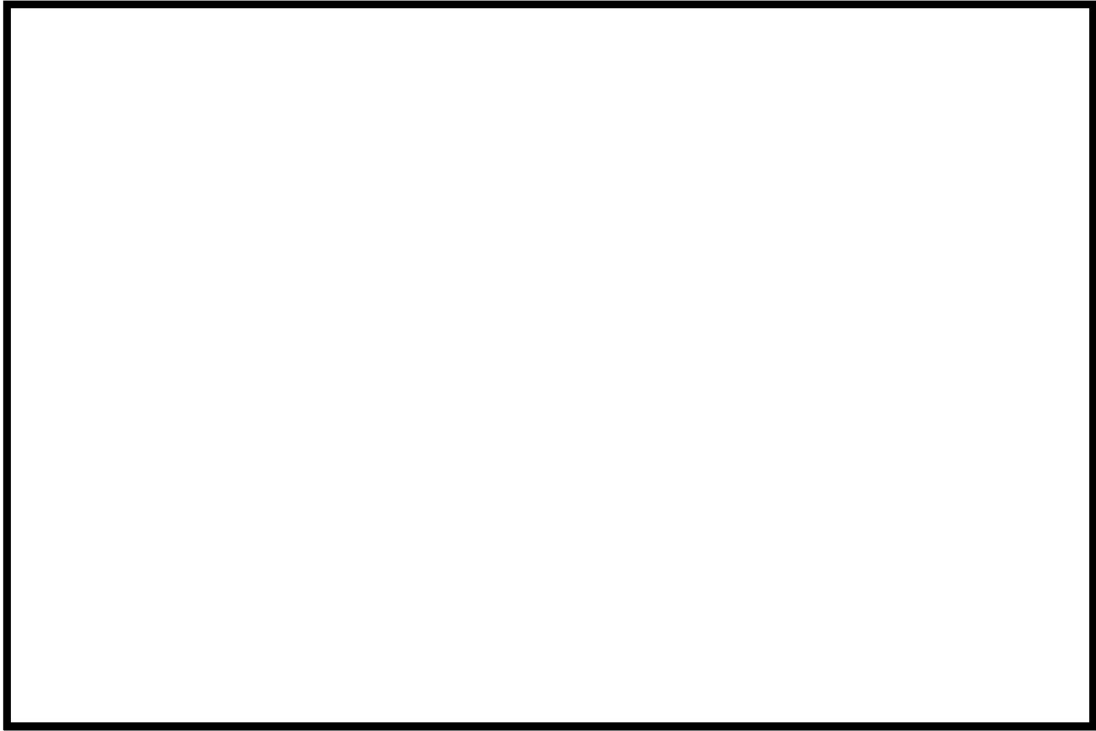


図 3 多ノード評価におけるノーディング図 (E.L.+3.5m) (A系の漏えいを想定)

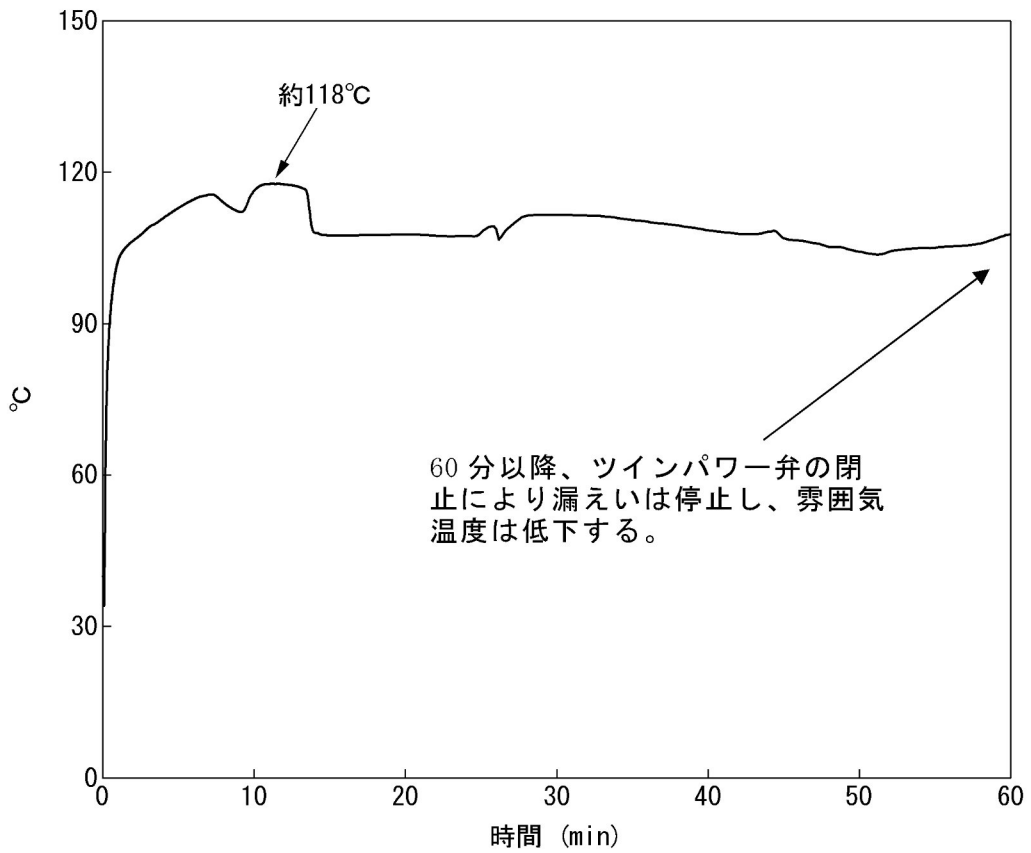


図 4 多ノード評価における区画⑫の温度評価結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

インターフェイスシステムLOCAに係る手順成立性について

インターフェイスシステムLOCAの対応手順は、2次系での急速冷却により、1次系を減圧し、1次系圧力が2.75MPa以下になれば、余熱除去系を隔離する手順となっている。(別添－1) この操作を事象発生の60分以内に実施出来ることは表1、表2に示す教育訓練等により担保している。

表1に示す「力量維持向上のための教育訓練」では、保安規定添付3や事故時操作所則等を用いた事象全体の確認、中央・現場模擬操作や移動ルート・機器配置等の確認を行い、「中央制御室主体の操作に係る成立性確認訓練」では、重要事故シーケンスについて運転シミュレータ設備を用いて成立性を確認を行うものである。

表2に示すとおり、インターフェイスシステムLOCAの対応で要求時間内に操作できることとして「力量維持向上のための教育訓練」の中で、事象判断(事象発生10分後)～2次系強制冷却開始(事象発生25分後)の15分間で2次系急速冷却が実施できること、およびその後に実施する余熱除去系の隔離(余熱除去ポンプ入口弁であるツインパワー弁)のための現場対応操作を30分以内に実施できる(実績:約19分)ことを確認している(別添－2)。また、解析上2次系急速冷却開始から余熱除去系の隔離操作の判断基準としている1次系圧力が2.75MPa以下へ到達する時間は約3分である(別添－3)。

なお、格納容器バイパス事象は「インターフェイスシステムLOCA」、「SGTR時の破損SG隔離失敗事象」の2つであるが、両事象で事象収束に必要な2次系急速冷却等の操作は類似性を有していることから、「成立性確認訓練のうち中央制御室主体の操作に係る成立性確認」では「SGTR時の破損SG隔離失敗事象」を代表シーケンスとして実施している(別添－4)。

項目	目的、位置付け	内容	訓練範囲	頻度
力量維持向上のための教育訓練	重大事故等および大規模損壊発生時において、事象の進展に応じて的確、かつ、柔軟に対処するために必要な力量の維持向上を図る。	運転員等が対応する各対応手順について、事故時操作所則等を用いて、中央・現場模擬操作および重大事故対策等の成立性（操作・作業の想定時間）を満足するため、現場機器配置、アクセスルート等の現場確認ならびに机上による確認を行う。	保安規定 添付 3 の記載内容についての確認。 事故時操作所則等を用いて机上による確認。 事故時操作所則等を用いた中央・現場模擬操作および移動ルート・機器配置等の確認。また、現場対応手順教育一覧表により中央対応操作（蒸気発生器、加圧器逃がし弁による減温減圧操作等）および現場対応操作（破断系列の余熱除去系列隔離操作等）が時間内に実施できることを確認する。	2回以上/年 (1回は机上教育)
成立性確認訓練のうち、中央制御室主体の操作に係る成立性確認（シミュレータによる成立性確認）	中央操作主体、重要事故シークエンスの類似性および操作の類似性の観点から整理したⅠからⅦの重要事故シークエンスについて、運転シミュレータ設備を用い成立性を確認する。	インターフェイスシステム L O C A については、「Ⅵ 格納容器バイパス事象」で整理され S G T R 時に破損側 S G の隔離に失敗する事象を代表シークエンスとして確認を行う。	蒸気発生器伝熱管破損＋減圧継続事象にて、事象発生から収束までの対応操作、対応時間をシミュレータにより確認。	1回以上/年

表 1 保安規定添付 3 に基づく教育訓練のうち、インターフェイスシステム L O C A の手順成立性に係る教育

対応操作	力量維持向上のための教育訓練	成立性確認訓練	備考
事象判断後（10分）～ 2次系強制冷却開始（25分） 【別添－1：ステップ 1～11】	別添－2 のとおり、中央制御室での操作について一連の操作を机上訓練、模擬操作等により時間内に実施できることを確認。	別添－4 のとおり、2次系強制冷却等の一連の操作について、シミュレータを用いて訓練している。	－
2次系強制冷却後、2.75MPa 到達（28分※）～ 余熱除去ポンプ入口弁閉止（60分） 【別添－1：ステップ 17～20】 ※事象発生の 25 分後に実施する 2次系強制冷却開始の 3 分後に 2.75MPa に到達する【別添－3】	別添－2 のとおり、余熱除去系の隔離（余熱除去ポンプ入口弁であるツインパワー弁）のための現場対応操作を 30 分以内に実施できることを確認。	－	－

表 2 インターフェイスシステム L O C A の手順成立性に係る教育訓練の整理

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

⑩「格納容器バイパス(インターフェイスシステムLOCA)」における対応手順と所要時間

手順の項目	必要な要員と作業項目	経過時間(分)		備考
		経過時間(分)	経過時間(時間)	
要員(名) (作業に必要な要員数) 【 】は他作業後移動してきた要員	手順の内容	10	1	
状況判断	<ul style="list-style-type: none"> 3号機 4号機 当直課長、当直主任 ●当直ごと 運転操作指揮 ●原子炉トリップ、タービントリップ確認 ●前内電源及び外部電源の確認 ●安全注入シケーン作動確認 ●余熱除去系からの漏えいの判断(中央制御室確認) 	約25分 約63分	約7時間 約7時間	約25分 2次冷却系強制冷却開始 約63分 充てん注入開始、高圧注入停止 約7時間 余熱除去系からの漏えい停止
1次冷却系強制減圧操作	<ul style="list-style-type: none"> ●加圧器遮がし弁開操作 ※1(中央制御室確認) 	5分		※1: 1次冷却系のサブクール度を確保した段階で実施する。
余熱除去系の分離、隔離操作	<ul style="list-style-type: none"> ●余熱除去系の燃料取替用ピットからの隔離操作 ●余熱除去系の1次冷却系からの隔離操作(中央制御室確認) ●破断系列の余熱除去系隔離操作(現場操作) 	5分 5分 30分		
2次冷却系強制冷却操作	<ul style="list-style-type: none"> ●補助給水ポンプ起動確認、補助給水流量確立の確認 ●主蒸気遮がし弁開操作(中央制御室確認) 	4分 1分		2次冷却系強制冷却が、開始上、期待している約25分までに実施できる。
燃料取替用ピット補給操作(解析上考慮せず)	<ul style="list-style-type: none"> ●燃料取替用ピット補給系統構成(現場操作) ●燃料取替用ピット補給操作(中央制御室確認) 	25分 5分		※2: 余熱除去系隔離操作を適宜実施する。
充てん開始、高圧注入停止操作	<ul style="list-style-type: none"> ●充てん注入開始操作(中央制御室確認) ●高圧注入停止操作(中央制御室確認) 	5分 5分		
蓄圧タンク出口弁操作	<ul style="list-style-type: none"> ●蓄圧タンク出口弁開操作(中央制御室確認) 	5分		
電源盤確認、復旧操作	<ul style="list-style-type: none"> ●電源盤確認、復旧操作 ※3(現場操作) 	30分		復旧に失敗 ※3: 電源盤確認実施に要する時間は30分に繰り越される。その後は他に考えられる項目を調査し回線を試みる。
機器の復旧作業	<ul style="list-style-type: none"> ●電源盤確認、機能喪失した機器の復旧作業 ※4(現場操作) 			※4: 通常の交通状態での召集を待機。

上記要員に加え、緊急時対策本部要員6名にて関係各所に通報連絡を行う。
なお、各設定時間は操作場所、操作条件並びに実際の現場移動を含む作業時間等を考慮した上で解析上の仮定として設定したものであり、運転員は手冊書に従って各操作条件を満たせば順次操作を実施する。
また、運転員が解析上設定した操作余裕時間内に対応できることは訓練等に基づき確認している(一部の機器については想定時間により算出)。

大飯発電所 保安規定 添付3 表1～19 現場対応手順教育一覧表

※1：中央操作は、中央制御室での模擬操作またはシミュレータ設備の対応にて確認する。

手順の項目	手順詳細	操作場所※1	想定時間(分)			対象ポジション/確認者			使用教材	備考
			移動	操作	合計	制御員	主機員	補機員		
1.3 原子炉冷却材圧力低下を減圧するための手順等										
01	保安規定の記載内容を理解している。 知応操作を理解している。	—							原子炉施設保安規定 事故時操作所則 重大事故に資するおそれがある事故及び重大事故に 対する対策の有効性評価	
1.3.1	系統構成 加圧器補助スプレイ弁閉鎖操作 移動 加圧器補助スプレイ弁電源入	中央 (1名) 現場 (1名)	10 5 5	5	15 10	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	事故時操作所則 第一部 「緊急発生時制御系統構成」 重大事故の発生及び拡大防止に必要な措置を実施 するために必要な技術的能力	
1.3.2	移動 閉鎖操作 移動 開鎖操作 系統構成 主蒸気速がし弁閉鎖操作	現場 (1名) 現場 (3名) 中央 (1名)	10 10 20 10	10	20 30 15	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	運転操作所則 重大事故の発生及び拡大防止に必要な措置を実施 するために必要な技術的能力	有効性評価の重要事故シナケンスに係る対応手順	
1.3.3	移動 カプラー接続 系統構成 主蒸気速がし弁閉鎖操作、駆動用蒸気ライン弁正	現場 (1名) 中央 (1名)	10 5 5 10	10	15 30	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	事故時操作所則 第二部 「共通操作 代替空気供給(主蒸気速がし弁および ヒータービーム補助給水ライン減量調節弁)」 重大事故の発生及び拡大防止に必要な措置を実施 するために必要な技術的能力		
1.3.4	系統構成 加圧器速がし弁閉鎖操作 移動 系統構成	中央 (1名) 現場 (1名)	5 5 25 30	5	10 55	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	事故時操作所則 第二部 「共通操作 代替空気供給(アニュウラス空気浄化 系タンクおよび加圧器速がし弁)」 事故時操作所則 第三部 「個別操作 R.C.Sの減圧」 重大事故の発生及び拡大防止に必要な措置を実施 するために必要な技術的能力	有効性評価の重要事故シナケンスに係る対応手順	
1.3.5	系統構成 加圧器速がし弁閉鎖操作 移動 系統構成	中央 (1名) 現場 (1名)	5 5 15 40	5	10 55	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	事故時操作所則 第二部 「共通操作 代替空気供給(アニュウラス空気浄化 系タンクおよび加圧器速がし弁)」 事故時操作所則 第三部 「個別操作 R.C.Sの減圧」 重大事故の発生及び拡大防止に必要な措置を実施 するために必要な技術的能力		
1.3.6	加圧器速がし弁閉鎖操作 移動 給電評価 給電操作	中央 (1名) 現場 (1名)	5 15 35 5	5	5 55	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	事故時操作所則 第二部 「共通操作 代替空気供給(アニュウラス空気浄化 系タンクおよび加圧器速がし弁)」 事故時操作所則 第三部 「個別操作 R.C.Sの減圧」 重大事故の発生及び拡大防止に必要な措置を実施 するために必要な技術的能力		

大飯発電所 保安規定 添付3 表1～19 現場対応手順教育一覧表

※1：中央操作は、中央制御室での模擬操作またはシミュレータ設備の対応にて確認する。

手順の項目	手順詳細	操作場所※1	想定時間(分)		対象ポジション/確認者			使用教材	備考
			移動	操作	合計	制御員	主機員		
1.3.7	蒸気発生器伝熱管破損発生時の手順	中央		2	2			事故時操作所則 第二部「STR破損S/G減圧継続」重大事故の発生及び拡大防止に必要な措置を実施するために必要な技術的能力	有効性評価の重要事故シナケケンスに係る対応手順
1.3.8	インターフェースシステムLOCA発生時の手順	現場		12	12			事故時操作所則 第二部「インターフェースシステムLOCA」重大事故の発生及び拡大防止に必要な措置を実施するために必要な技術的能力	有効性評価の重要事故シナケケンスに係る対応手順
<p>1.4 原子炉冷却材圧力パワントラップに蒸気加圧器を冷却するための手順等</p>									
01	原子炉冷却材圧力パワントラップ低圧時に発電用原子炉を冷却するための手順等の内容を理解している	—						原子炉施設保安規定 事故時操作所則 重大事故に資する事項及び関係士事故シナケケンス	
1.4.1	A格納容器スプレイポンプ(RHRS-CSS連絡ライン使用)による代替炉心注水	中央(1名)		8	13			<p>中央操作10分： 2次系急速冷却開始までの時間を事象判断後15分(事象発生後25分)として机上教育、模擬操作訓練を実施している。 (運転員Aが実施する加圧器逃がし弁開操作、主蒸気逃がし弁開操作を10分) (運転員Bが実施する余熱除去系統の燃料取替用水ピットからの隔離操作、1次冷却系からの隔離操作を10分) 現場操作30分： 余熱除去ポンプ入口弁操作を30分以内に実施することを机上教育、現場模擬操作訓練を実施している。</p>	
	系統構成			5					
	ポンプ起動								
	移動		5		10				
	RHRS-CSS連絡ライン弁電源入			5					
	空冷式非常発電装置起動	中央(1名)		5	5				
	系統構成(RHRS-CSS連絡ライン弁開操作)	中央(1名)		2	2				
	移動		15						
1.4.2	恒設代替低圧注水ポンプによる代替炉心注水	現場(1名)		10	30			事故時操作所則 第二部「共通操作 炉心注入・代替炉心注入」重大事故の発生及び拡大防止に必要な措置を実施するために必要な技術的能力	有効性評価の重要事故シナケケンスに係る対応手順
	系統構成			3					
	ポンプ電源入			2					
	ポンプ起動			2					
	移動		5		7				
	RHRS-CSS連絡ライン弁電源入	現場(1名)		2					
	系統確認			5					
	系統構成	中央(1名)		5	20				
	ポンプ起動			5					
	注水操作			5				事故時操作所則 第二部「共通操作 炉心注入・代替炉心注入」重大事故の発生及び拡大防止に必要な措置を実施するために必要な技術的能力	
1.4.3	電動消火ポンプ又はディーゼル消火ポンプによる代替炉心注水	現場(1名)		15	30				
	移動			15					
	系統構成			5					
	移動	現場(1名)		5	10				
	RHRS-CSS連絡ライン弁及び消火ライン弁電源入			5					

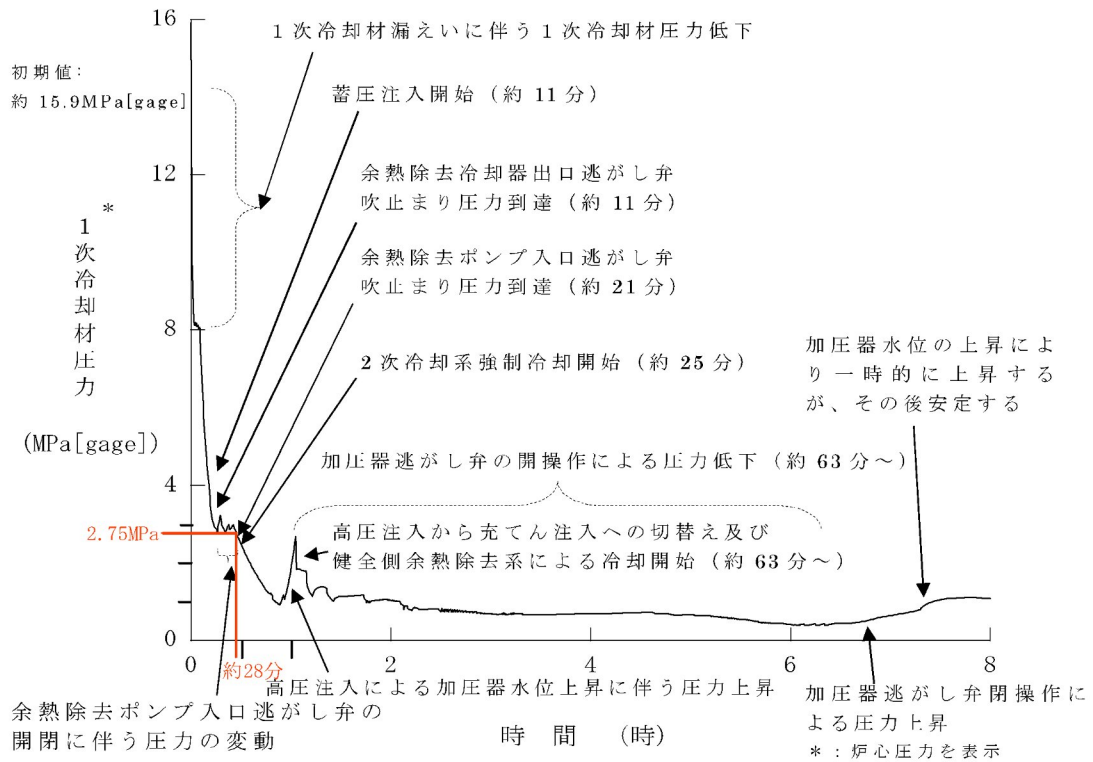
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

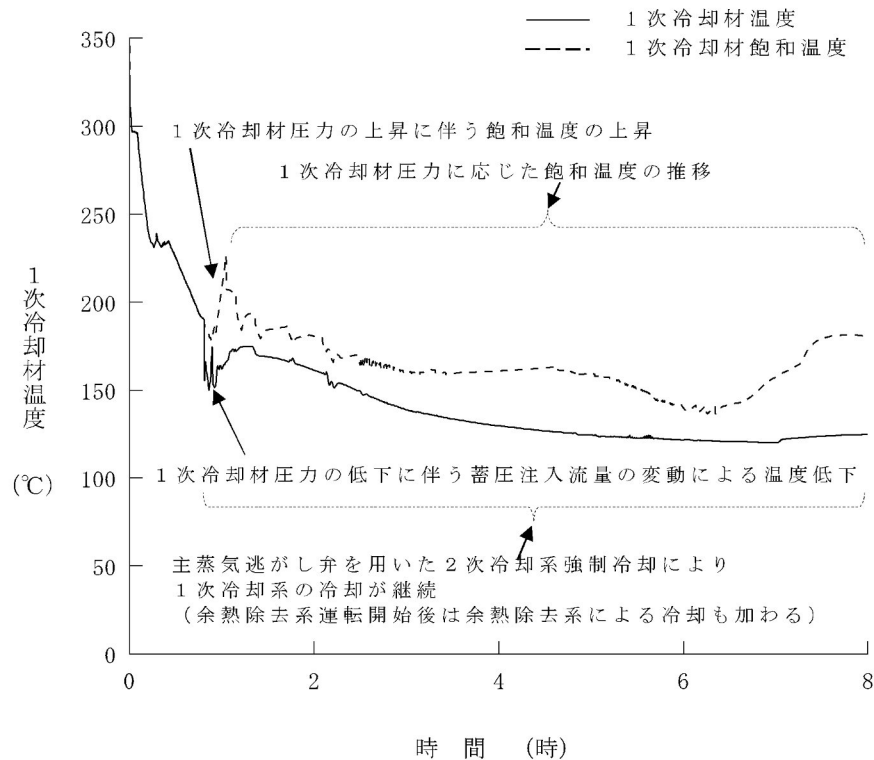
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



第 2.8.9 図 1次冷却材圧力の推移

(インターフェイスシステム LOCA)



第 2.8.10 図 1次冷却材温度の推移

(インターフェイスシステム LOCA)

解析条件を踏まえたインターフェイスシステムLOCA発生時対応操作の成立性について

インターフェイスシステムLOCA発生時の対応操作については、有効性評価の結果に基づいて、事象発生から25分後に2次系強制冷却を開始し28分後に1次系圧力が2.75MPa[gage]以下に到達することを以って、余熱除去系統の隔離操作に着手する手順となっている、

このうち、有効性評価に係る解析の条件設定については、燃料被覆管の最高温度に対する評価結果が厳しくなるように設定をしており、例えば、設計値等の現実的な条件を基本としつつも、一次冷却材の温度や圧力の初期値として、定格値に正の定常誤差を考慮した値を用いるとともに、炉心崩壊熱についても、崩壊熱が高くなるように、全ての燃焼度を包絡するような高い値を設定している。

これらの解析条件に対する種々の保守的な取扱いを踏まえると、実際においては2.75MPa[gage]以下の到達は早くなり、早期に隔離操作への着手が可能となる方向であるため、隔離操作に係る時間余裕は増加することで、操作の成立性は高まると考えられる。

以上のことから、既許可において操作成立性の確認が出来ていることに加え、解析条件の保守性を踏まえると、実際は更に操作可能時間が増加する方向と考えられることから、十分な操作の成立性があると考えられる。

重大事故等対応に係るシミュレータ訓練における成立性確認について

1. 目的

有効性評価の重要事故シーケンスのうち、中央制御室操作を主体とした重要事故シーケンスに対して、シミュレータ訓練を実施し、適切に対応できることを確認する。

2. 対象範囲

(1) 対象シーケンス：設置変更許可申請に示した有効性評価の重要事故シーケンスにおいて、類似性及び網羅性の観点から選定したシーケンスを対象とする。

(2) 対象者：運転員（当直員）

3. 実施頻度

対象となる重要事故シーケンスについて、年1回実施する。

4. 実施方法

当直毎に、シミュレータを用いて重要事故シーケンス訓練を実施する。

成立性確認はシミュレータ特性と安全解析結果の違いを考慮の上、以下に留意し実施する。

- (1) シミュレータは、基本的には実機の運転状態と応答を模擬していることから、安全解析の初期条件及び機器条件とは相違がある。
- (2) シミュレータに入力する事故条件は、原則安全解析の事故条件を入力し訓練を実施する。
- (3) インストラクタは、シミュレータ上で模擬できない部分を始めとする情報や訓練の方法について、予め対応（訓練に対する約束）を定め、訓練開始前までに運転員に周知する。
- (4) 訓練では、パラメータ等のプラント挙動から手順書に従い対応できることを確認する。
- (5) 成立性確認は、運転操作が解析上の操作条件を満足し、炉心損傷を防止できることを確認する。ただし、解析上の操作条件が、シミュレータ挙動と解析挙動の違いにより一致しない場合は、予め解析上の操作条件の代替となる成立性確認事項を定める。

5. 成立性確認内容

中央制御室操作を主体とした重要事故シーケンスについて、手順書に従い、有効性評価の重要事故シーケンスの成立性確認ポイント（解析条件のうち操作条件）を満足できることを確認する。

以上

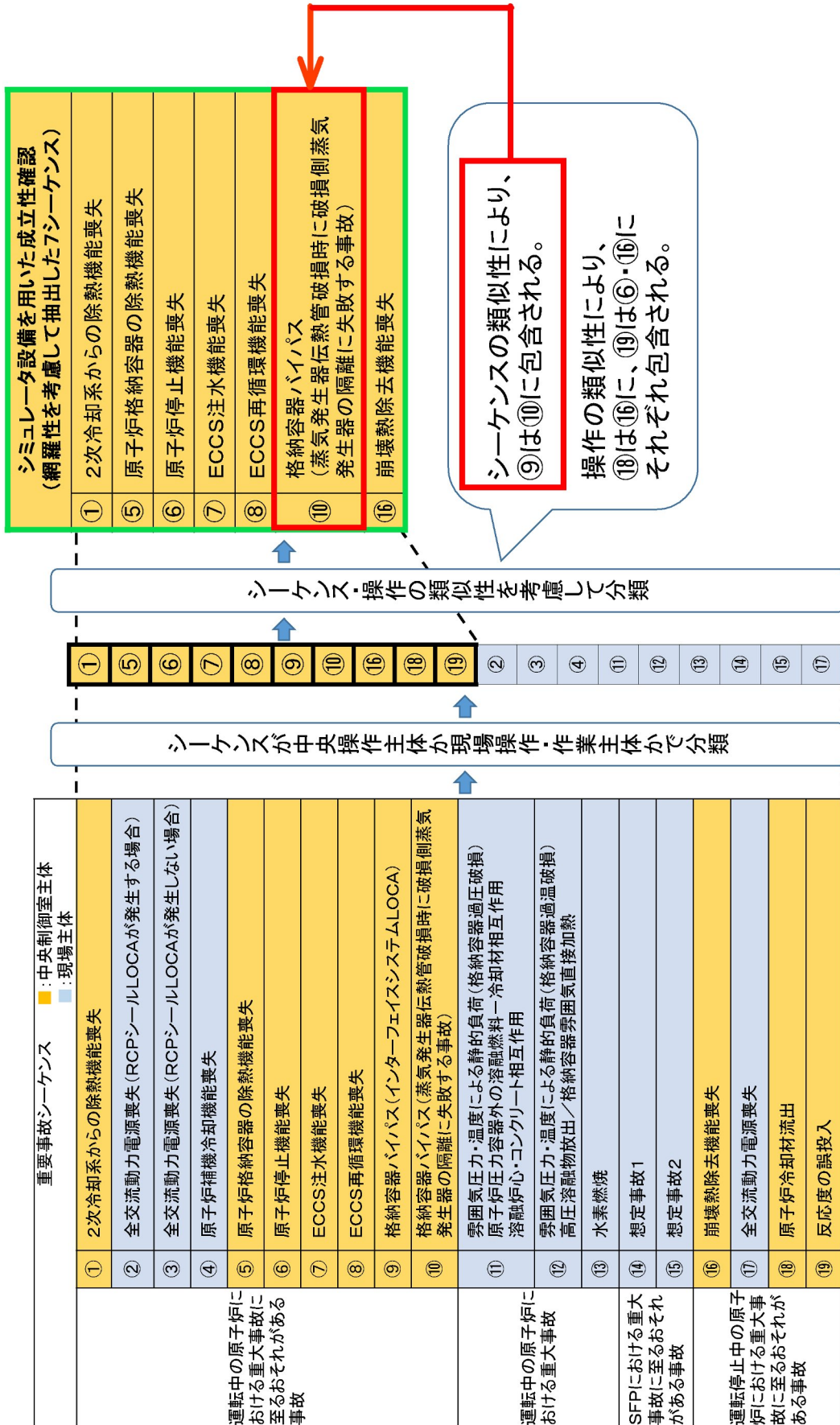
重要事故シーケンスシミュレータ訓練実施内容整理表

○：重要事故シーケンスと同様に実施できるもの
 △：設備の動作模擬が必要なもの

対策	有効性評価		シミュレータ装置	
	番号	重要事故シーケンス	訓練の可否	有効性評価重要事故シーケンスとシミュレータ訓練の相違※
運転中の原子炉における重大事故に至るおそれがある事故	①	2次冷却系からの除熱機能喪失	○	1次冷却系のフィードアンドブリード運転操作 解析上は、「すべての蒸気発生器水位(広域)0%到達の5分後」であるが、事故時操作所則上は「すべての蒸気発生器水位(広域)が10%未満」で判断する。 (10%の根拠は、広域水位計は停止中に使用するため低温で校正されており、出力運転状態でドライアウトに至った時の指示に計器誤差を見込んだものである。) シミュレータ訓練実施範囲 余熱除去系による炉心の長期冷却まで可能であるが、長期冷却開始まで約3.7時間かかるため、訓練は1次冷却系のフィードアンドブリード運転を開始し、炉心冷却が開始されたことを確認するポイントまでとする。
	⑤	原子炉格納容器の除熱機能喪失	△	原子炉補機冷却系による格納容器内自然滞留冷却のタイミング 解析上は、格納容器圧力が最高使用圧力(0.39MPa)到達から30分後から開始するが、シミュレータでは、格納容器圧力は最高使用圧力に到達しないことから、格納容器再循環ユニットへの通水準備が整い次第、自然対流冷却を開始する。 シミュレータ訓練実施範囲 高圧再循環による炉心冷却は可能であるが、格納容器最高使用圧力到達までに約8.6時間かかるため、原子炉補機冷却水サージタンク加圧後に格納容器内自然対流冷却を開始するポイントまでとする。
	⑥	原子炉停止機能喪失	○	シミュレータ訓練実施範囲 余熱除去系による炉心の長期冷却まで可能であるが、長期冷却開始まで約13.2時間かかるため、ほう酸注入による原子炉出力の低下を確認するポイントまでとする。
	⑦	ECCS注水喪失	○	シミュレータ訓練実施範囲 再循環切替ポイントまで約3.6時間(4インチ破断)かかることから、2次系強制冷却により1次冷却系が冷却されることにより、余熱除去ポンプによる低圧注入系にて炉心が冷却され、蓄圧タンク出口弁を閉止するポイントまでとする。
	⑧	ECCS再循環機能喪失	○	シミュレータ訓練実施範囲 再循環切替失敗と判断し、代替再循環による1次冷却系の冷却を開始するポイントまでとする。
	⑨	格納容器バイパス (蒸気発生器伝熱管破損)	○	シミュレータ訓練実施範囲 余熱除去系での冷却に切替まで約2.3時間を要することから、高圧注入から充てん注入への切替後に1次冷却系統の減温、減圧がなされていることを確認するポイントまでとする。
運転停止中の原子炉における重大事故に至るおそれがある事故	⑬	崩壊熱除去機能喪失	△	シミュレータ訓練実施範囲 蓄圧タンク出口弁を開放し、1次系保有水量確保操作を開始し、水位が回復することを確認するポイントまでとする。 恒設代替低圧注水ポンプ準備は、現場主体操作でありシミュレータ訓練範囲外とする。

※シミュレータ訓練では、故障条件(破断サイズ等)や発生場所、発生時間等シミュレータの設定条件により有効性評価重要事故シーケンスを完全に再現するものではない。

中央制御室操作主体の重要事故シーケンス (シミュレータ訓練)



全当直班がシミュレータ設備を用いて7つのシーケンスについて成立性確認を実施することで、中央操作の個別手順、操作判断、動き、連携の確認を行う。

中央制御室操作主体の重要事故シナリオにおける操作の類似性

操作内容	保安規定 添付3													備考
	表-1 手動による原子炉緊急停止	表-1 原子炉出力抑制(自動)	表-1 ばう酸水注入	表-2,3 リ一次系のフイットアンドブ	表-3 LOCA システム	表-3 蒸気発生器破損 破断箇所隔離流出防止	表-4 炉心注水/代管炉心注水	表-4 代替循環運転	表-4 原子炉格納容器内からの選避	表-6 格納容器内自然対流冷却	表-10 水素発生	表-16 居住性の確保		
重要事故シナリオ	① 2次冷却系からの除熱機能喪失			○									訓練実施項目	
	② 全交流動力電源喪失(RCPシールドLOCAが発生する場合)													
	③ 全交流動力電源喪失(RCPシールドLOCAが発生しない場合)													
	④ 原子炉補機冷却機能喪失													
	⑤ 原子炉格納容器の除熱機能喪失								○				訓練実施項目	
	⑥ 原子炉停止機能喪失	○	○										訓練実施項目	
	⑦ ECCS注水機能喪失		○				○						訓練実施項目	
	⑧ ECCS再循環機能喪失							○					訓練実施項目	
	⑨ 格納容器ハイス(インターフェイス)LOCA												シナリオの類似性により⑩に包含される	
	⑩ 格納容器ハイス(蒸気発生器圧縮機時に破損副熱気発生器の隔離に失敗する事故)												訓練実施項目	
	⑪ 蒸気圧力/温度による動的負荷(格納容器過温過圧)													
	⑫ 原子炉圧力容器外の溶融燃料-冷却材相互作用													
	⑬ 蒸気圧力/温度による静的負荷(格納容器過温過圧)													
	⑭ 高圧溶融物放出/格納容器雰囲気圧力増加													
	⑮ 水素燃焼													
	⑯ 想定事故1													
	⑰ 想定事故2													
	⑱ 捕集除去機能喪失								○	○	○	○	訓練実施項目	
	⑲ 全交流動力電源喪失													
	⑲ 原子炉冷却材流出												操作の類似性により⑩に包含される	
	⑲ 反応度の誤投入												操作の類似性により⑩、⑱に包含される	

操作の類似性から包含される

シナリオの類似性により、⑨は⑩に包含される。また、操作の類似性により、⑩は⑱に、⑱は⑲に、⑲は⑳にそれぞれ包含される。

重要事故シーケンス 成立性確認チェック票

VI. 格納容器バイパス (蒸気発生器伝熱管破損 + 破損側蒸気発生器隔離失敗)

項目	操作内容	チェック欄			備考
		1. 確認 判断	2. 操作 (中央)	3. 指示 (現場) (対策本部)	
1	プラントトリップの確認 (1) 原子炉トリップ及びタービントリップを確認 (2) 非常用母線及び常用母線の電圧を確認し、所内電源及び外部電源喪失の有無を判断	✓			[13:09:16] (外部電源喪失を模擬)
2	安全注入シーケンス作動状況の確認 「安全注入作動」警報により非常用炉心冷却設備作動信号が発信し、安全注入シーケンスが作動していることを確認 蒸気発生器伝熱管破損発生時の判断及び破損側蒸気発生器の判定 ・蒸気発生器伝熱管漏えい監視モニタ指示の上昇 ・蒸気発生器水位及び主蒸気圧力の上昇 ・加圧器水位及び圧力の低下	✓			7分34秒
3	破損側蒸気発生器の隔離 破損側蒸気発生器の隔離操作 ・破損側蒸気発生器への補助給水停止 ・主蒸気隔離弁、タービン動補給水ポンプ駆動蒸気元弁の閉操作等	✓	✓	✓	不可 (良) [13:10:45]
4	破損側蒸気発生器圧力の減圧継続判断 破損側蒸気発生器圧力の減圧継続判断 ・破損側蒸気発生器水位・主蒸気圧力 ・加圧器水位及び圧力	✓			不可 (良) [13:16:50]
5	破損側蒸気発生器圧力の減圧継続判断 破損側蒸気発生器圧力の減圧継続判断 ・健全側蒸気発生器2次側による炉心冷却 ・健全側蒸気発生器への補助給水流量確立の確認 ・健全側蒸気発生器の主蒸気速がし弁閉操作	✓	✓	✓	不可 (良) [13:26:50]
6	燃料取替用水ピット補給操作準備 (2) 燃料取替用水ピット補給操作準備	✓	✓	✓	原子炉トリップ13分以内に健全蒸気発生器主蒸気速がし弁閉による2次系強制冷却ができる 原子炉トリップ13分以内に健全蒸気発生器主蒸気速がし弁閉による2次系強制冷却ができる
7	加圧器速がし弁閉操作による1次冷却系強制減圧 加圧器速がし弁を手動で閉操作	✓	✓	✓	原子炉トリップ13分以内 = 事象発生後20分以内
8	蓄圧タンク出口弁閉操作 蓄圧タンク出口弁を閉操作 (1次冷却材圧力が蓄圧タンクの保持圧力になる前)	✓	✓	✓	
9	高圧注入から充てん注入への切替え (1) 非常用炉心冷却設備停止条件を満足 (2) 高圧注入から充てん注入へ切替え	✓	✓	✓	[13:29:45] 不可 (良) [13:35:50] 高圧注入から充てん注入へ切替え 高圧注入から36分以内に高圧注入から充てん注入への切替ができる

※以降の対応は実施しない。(燃料取替用水ピット補給、余熱除去系による冷却等)

ISLOCA 時におけるツインパワー弁の健全性について

ツインパワー弁が確実に動作することについては、以下のとおり設計段階でツインパワー弁の操作に必要なトルクを確保できるように設計し、現地据付完了後において通常状態で弁が円滑に開閉操作できることを確認する。また、高温蒸気雰囲気下においてツインパワー弁が開閉できることを試験により確認する。

1. 設計段階及び現地据付完了後の確認

ツインパワー弁の動作原理は圧縮空気が低ひん度単動形 4 ポート空気式切換弁を介してエアモータに供給され、エアモータのピストン運動によりツインパワーアクチュエータへトルクが伝達されることで、ツインパワー弁を開閉操作する。ツインパワー弁の開操作に必要なトルク $36\text{N}\cdot\text{m}$ 以上になるように圧縮空気の設計を行い、現地据付完了後、弁が円滑に開操作できることを確認している。(ボンベ操作完了から 20 分で閉止可能)

2. ISLOCA 発生時の温度環境下における駆動部構成品の健全性

ツインパワー弁の構成品は図 1 から図 7 に示すとおり、金属材料と高分子材料（O リング等の NBR 製品、オイルシール、樹脂類）で作られている。ツインパワー弁の構成品は、ISLOCA に伴う高温の蒸気漏えいにより、最高で約 118°C の温度環境に曝される。

金属材料については、ISLOCA 発生時の温度環境において著しい変形や化学反応による非可逆的な変化はなく、また、ツインパワー弁の開操作を行なう事象発生から 1 時間後以降、雰囲気温度は低下することから動作に大きな影響はないと考えられるが、次項にて試験的に確認を実施することとする。

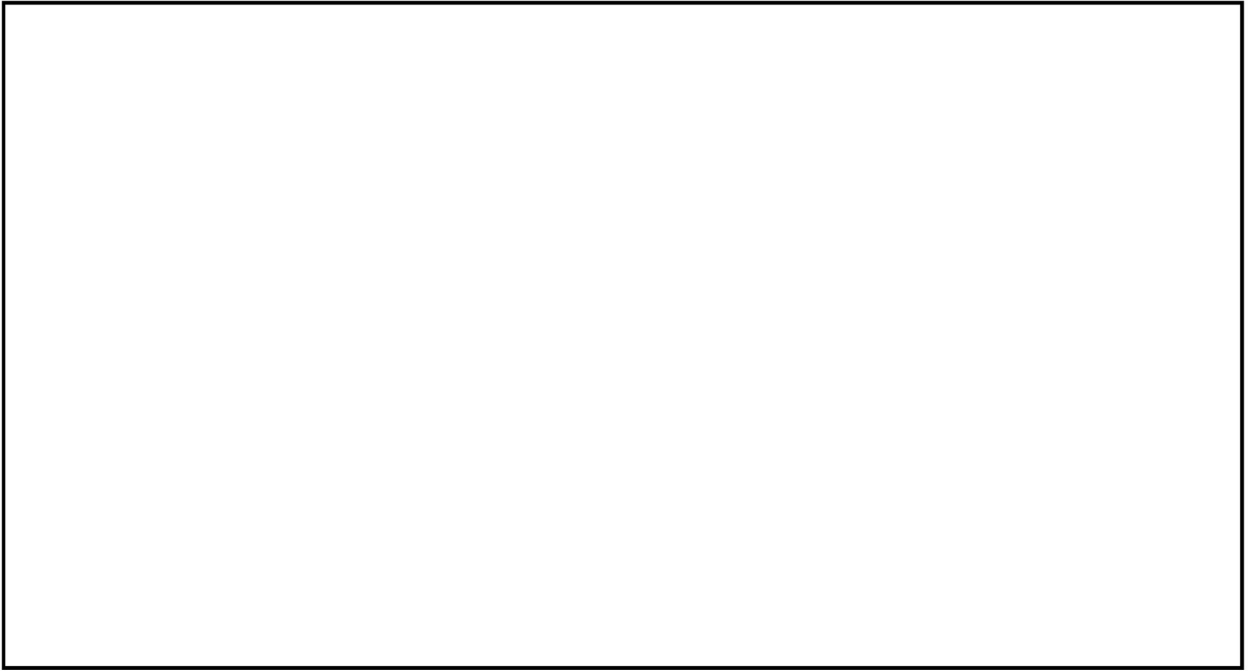


図1 ツインパワーアクチュエータ構造図

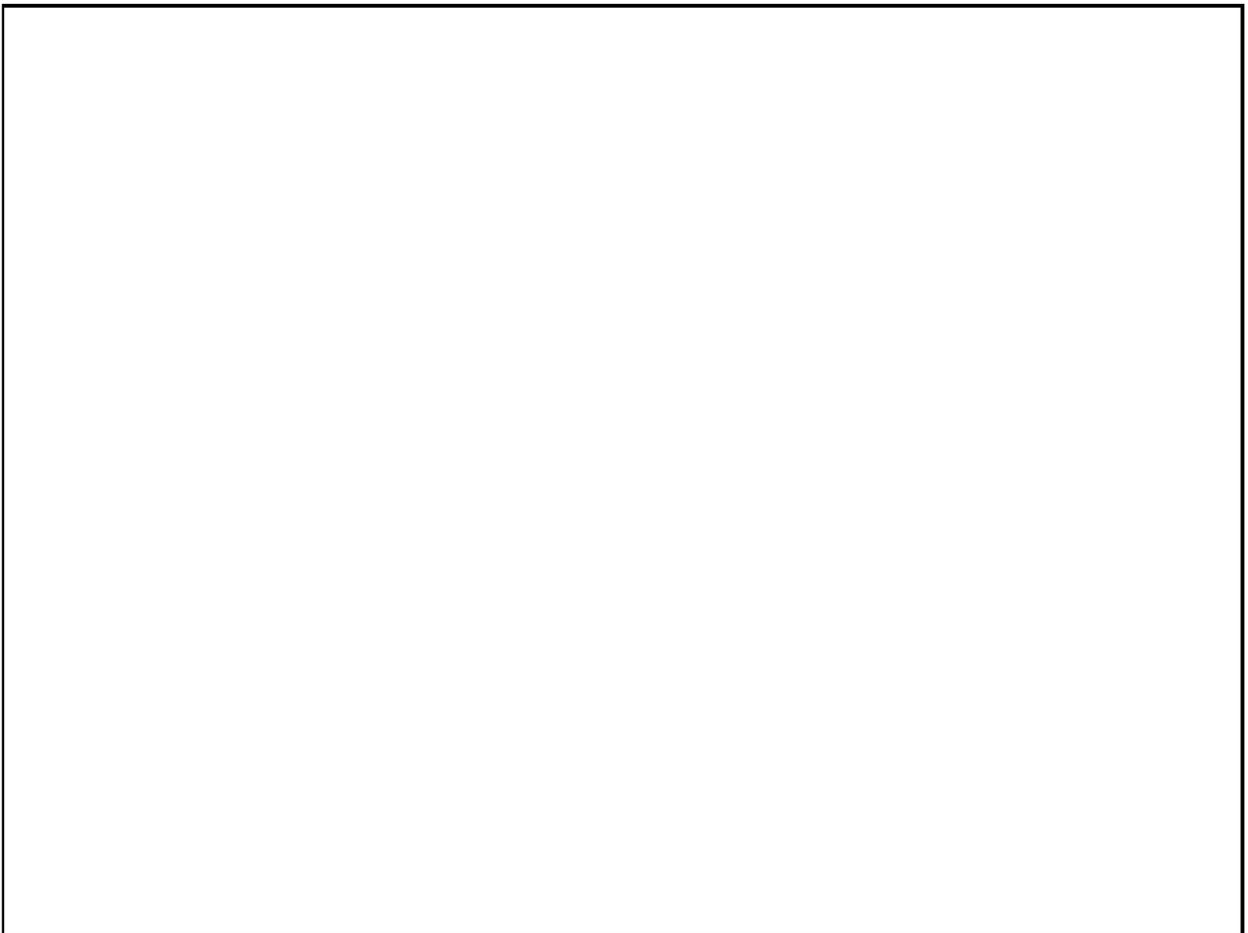


図2 エアモータ構造図

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

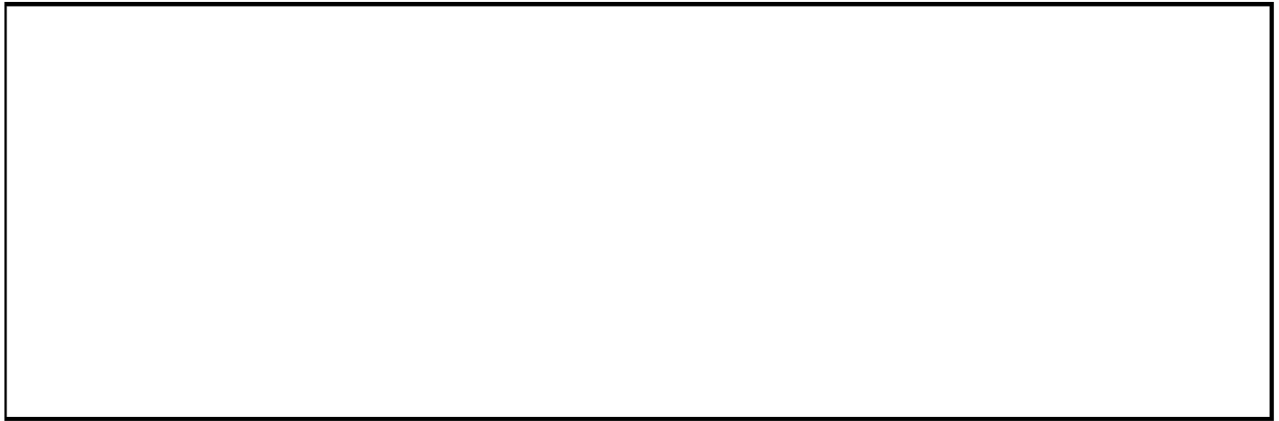


図3 オペレーティングシリンダー構造図

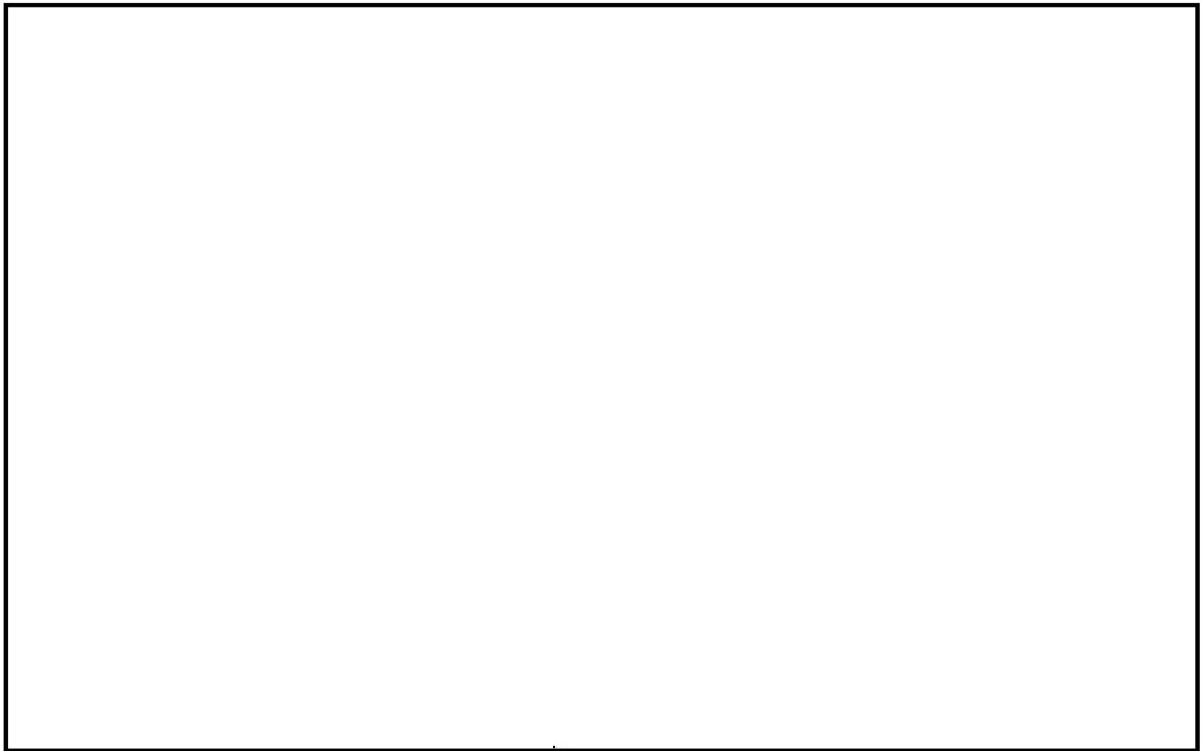


図4 空気式リミットスイッチ構造図

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

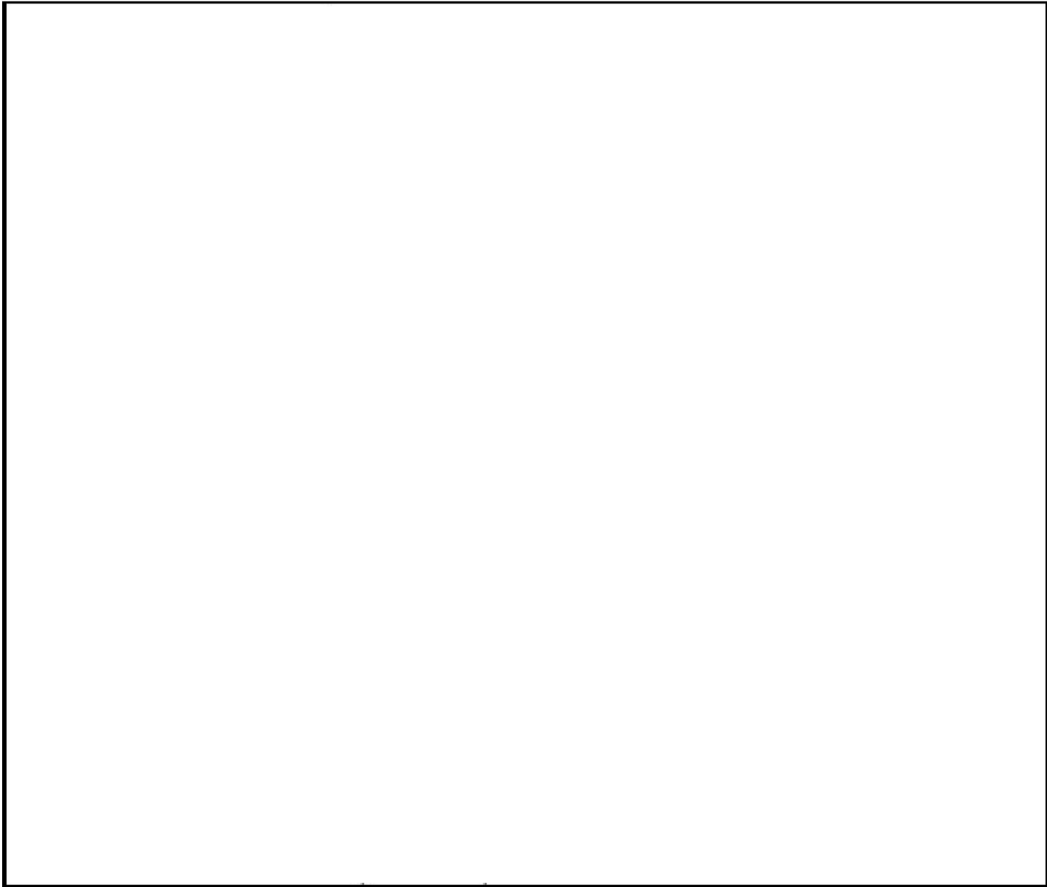


図5 コントロールバルブ構造図

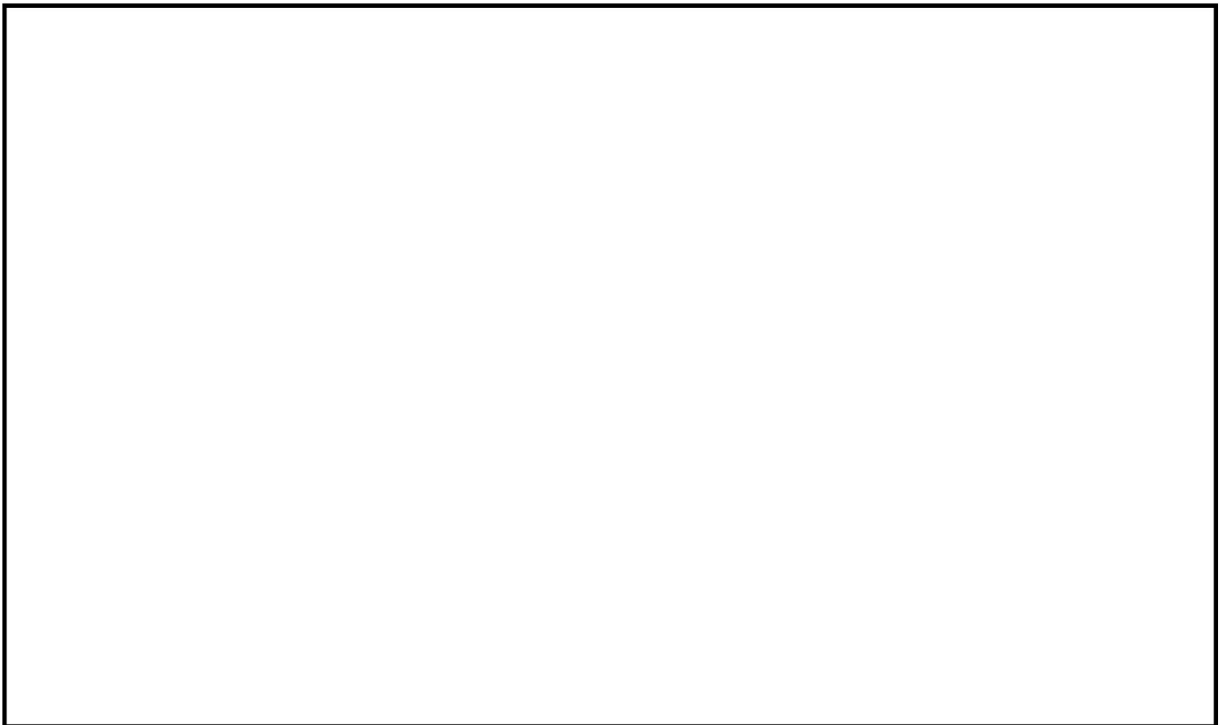


図6 低ひん度単動形4ポート空気式切換弁構造図

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

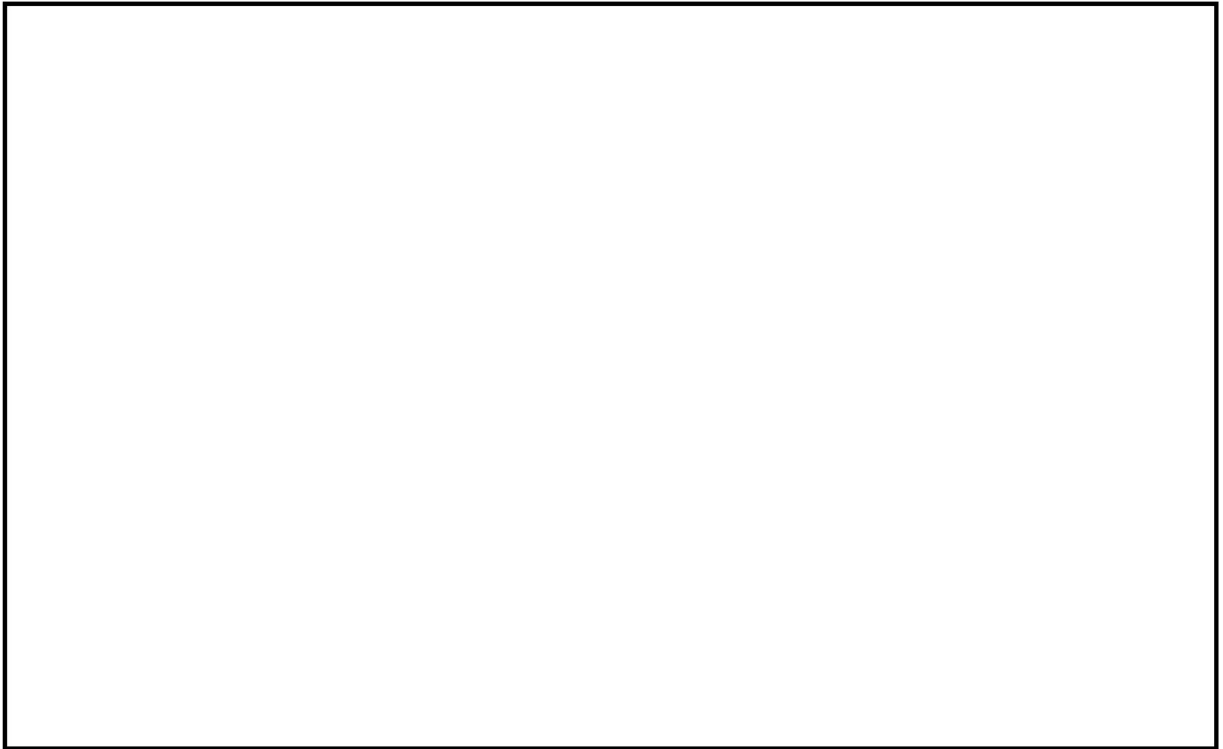


図7 オペレーティングシリンダー構造図

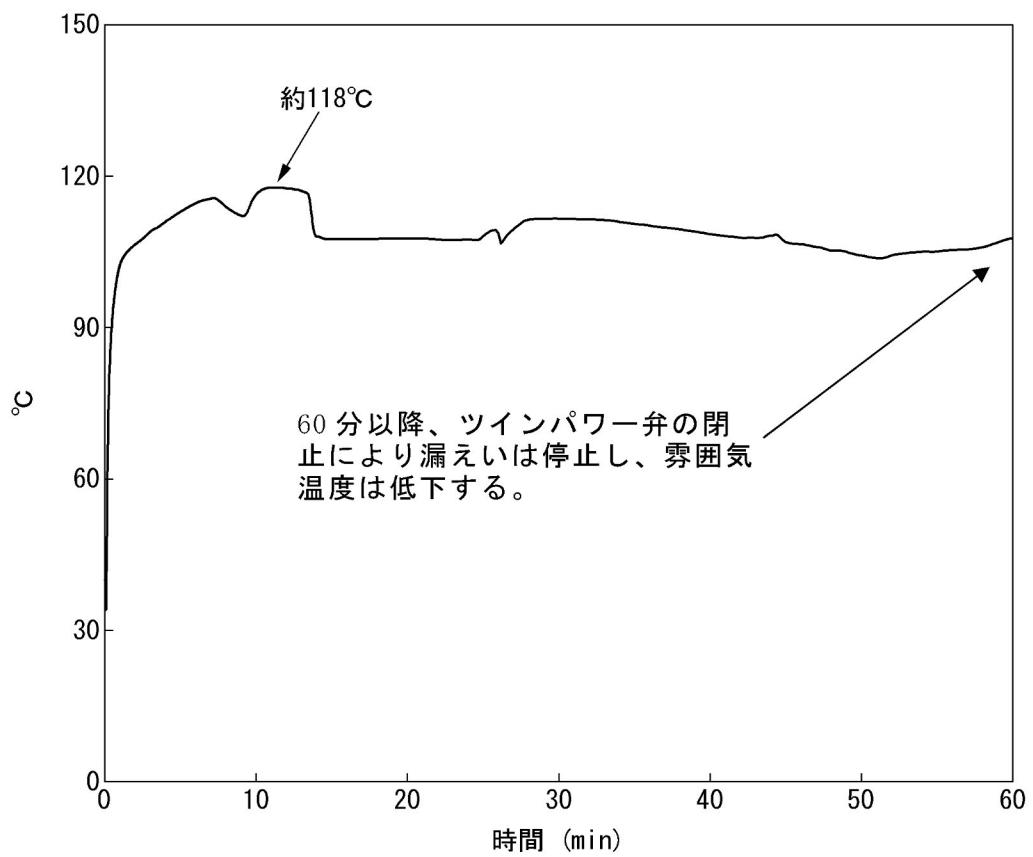


図8 建屋内雰囲気温度評価結果

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

3. 試験による確認

ISLOCA 発生時においても、ツインパワー弁の動作は確保できると考えられるが、念のため、次に示すとおり、蒸気曝露試験及び高温試験を組み合わせ、ISLOCA に伴う高温の蒸気雰囲気模擬し、ツインパワー弁が ISLOCA 発生時に確実に動作することを確認した。

3.1 蒸気曝露試験

<試験内容>

ツインパワー弁の構成品を試験装置内に設置し、最高 125℃以上の蒸気雰囲気中で 8 時間^{※1}保持した後、試験装置から取り出し常温まで冷えた状態で、規定の負荷に対して円滑に動作することを確認する。また、外観観察を行い、動作に影響を及ぼすような過大な変形、割れ等がないことを確認する。

※1：ISLOCA 発生時の温度履歴以上に保持する。8 時間は ISLOCA の有効性評価で想定した事象発生からツインパワー弁閉止完了までの時間である 1 時間を越えるものとして設定している。

3.2 高温試験

<試験内容>

ツインパワー弁の構成品について 3.1 の蒸気試験に供した後、手入れをせずに高温試験を実施する。ツインパワー弁の構成品を加熱容器内に収納し、最高 125℃以上の高温雰囲気中で計 8 時間^{※2}保持する。保持開始 1 時間後^{※3}から、1 時間ごとに高温状態でツインパワー弁が規定の負荷に対して円滑に動作することを確認する。また、高温雰囲気中で 8 時間保持後、外観観察を行い、動作に影響を及ぼすような過大な変形、割れ等がないことを確認する。

※2：ISLOCA 発生時の温度履歴以上に保持する。8 時間は ISLOCA の有効性評価で想定した事象発生からツインパワー弁閉操作完了までの時間である 1 時間を越えるものとして設定している。

※3：2 次冷却系強制冷却、減圧操作により、1 次冷却系の圧力が十分低下し、ツインパワー弁の閉操作が可能な時間。

○試験装置

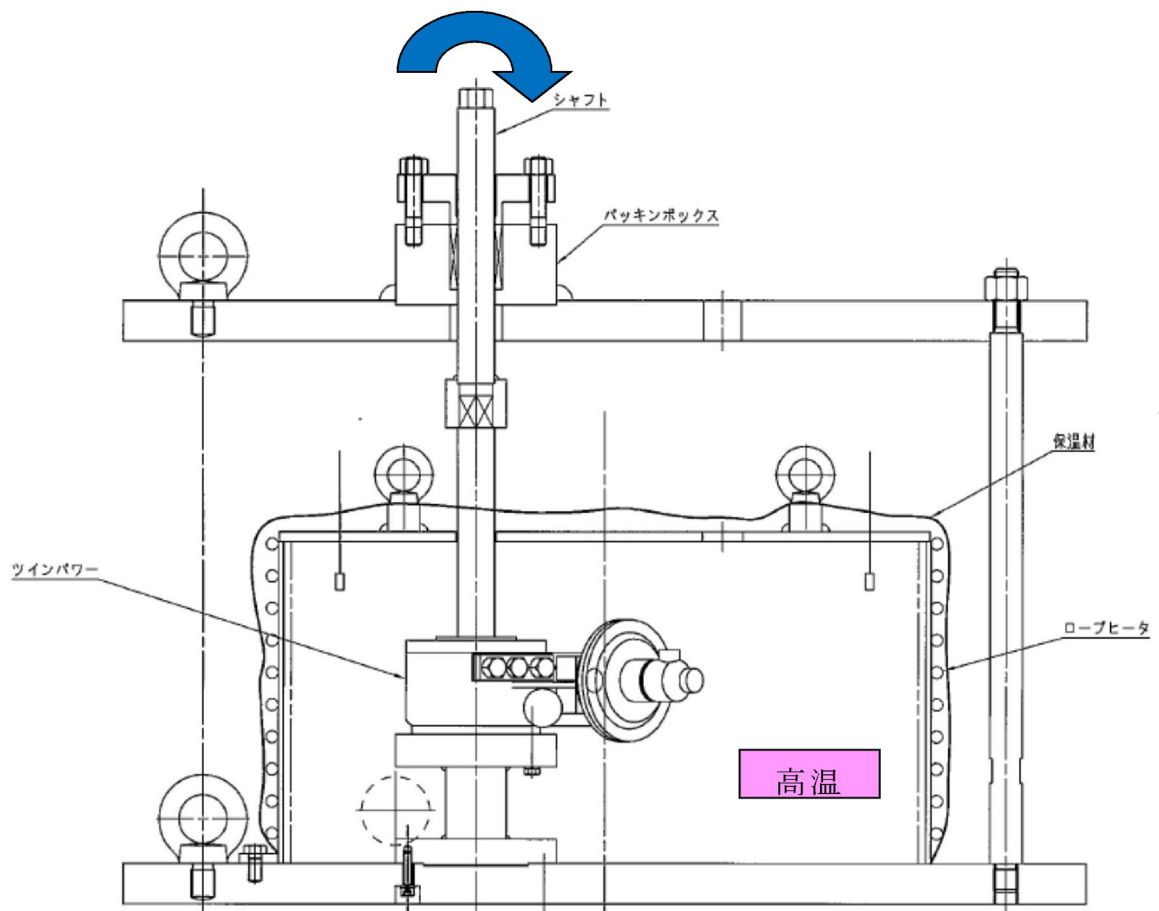


図9 試験装置概要

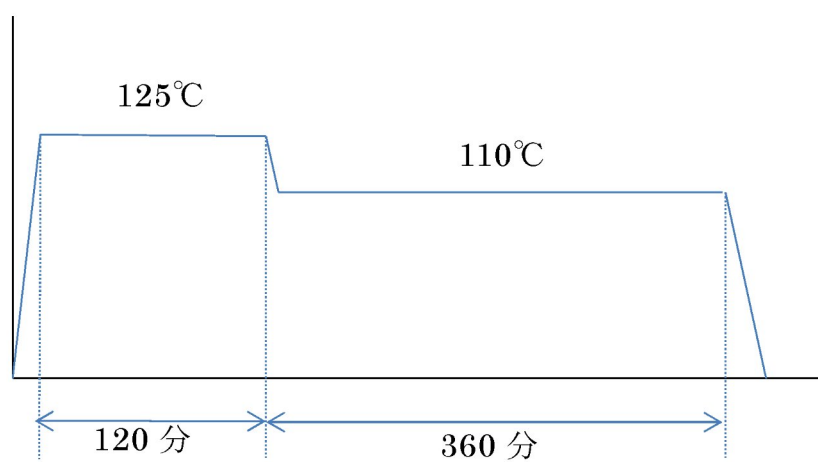


図10 試験時温度条件

3.3 試験結果

ISLOCA 発生時の環境条件を模擬し、蒸気曝露試験及び高温試験を行った結果、ISLOCA 時においてもツインパワー弁の動作は可能であることを確認した。

各試験結果について以下に示す。

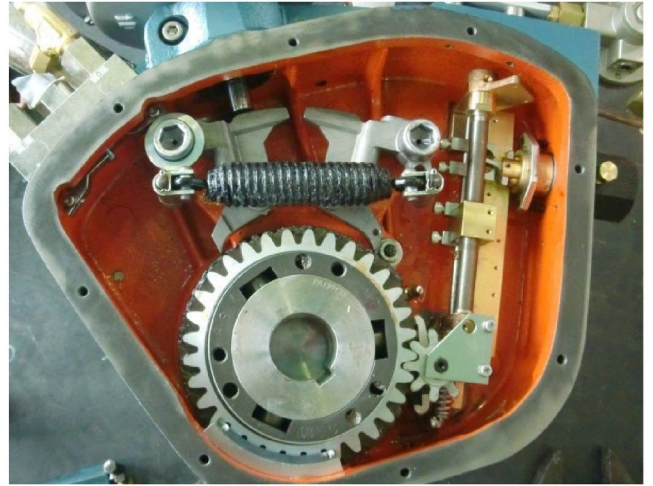
【蒸気曝露試験】

8 時間蒸気雰囲気保持後に動作確認したところ、規定の負荷に対して円滑に動作した。また、外観観察においても動作に影響を及ぼすような過大な変形、割れ等はなかった。試験前後におけるツインパワー本体の外観及び内部の状況を図 11 に示す。

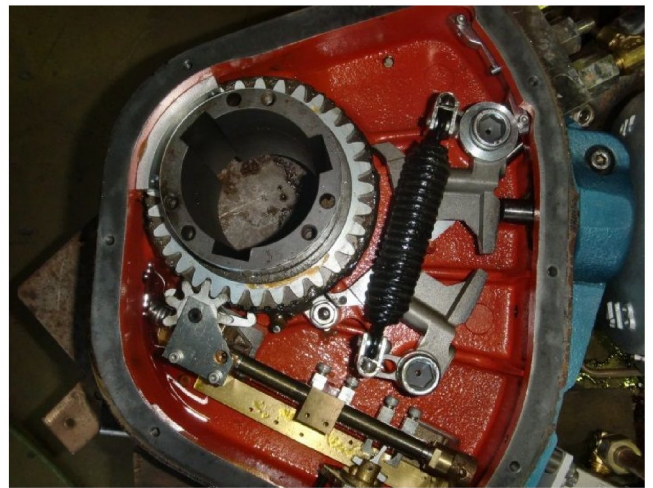
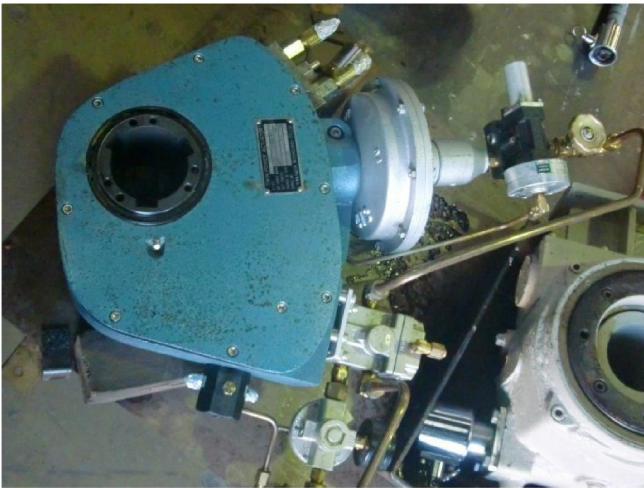
【高温試験】

温度保持開始 1 時間後から 1 時間ごとに高温状態で動作確認したところ、規定の負荷に対して円滑に動作した。また、外観観察においても動作に影響を及ぼすような過大な変形、割れ等はなかった。試験前後におけるツインパワー本体の外観及び内部の状況を図 11 に示す。

試験前



蒸気曝露試験後



高温試験後

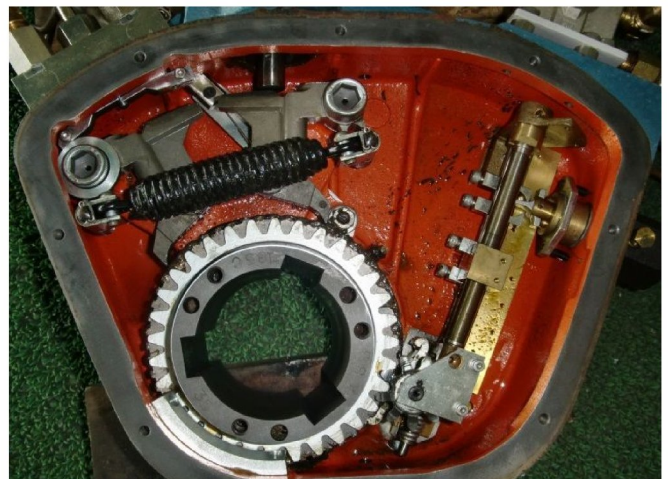
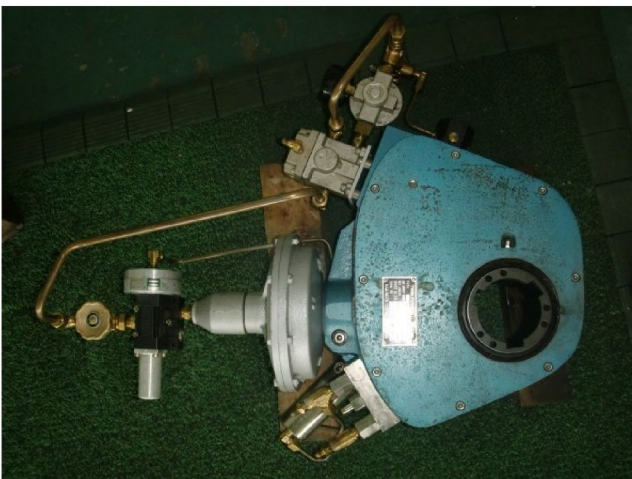


図 11 ツインパワー弁外観及び内部観察

ツインパワー弁の駆動のメカニズムについて

ツインパワー機構とは、駆動源である圧縮空気等により、エアモータでピストンシャフトを往復運動させ、更に回転送り機構でピストンシャフトの往復運動を回転運動に変換するものである。下図に一般的なツインパワー弁の構造及び駆動のメカニズムについて示す。

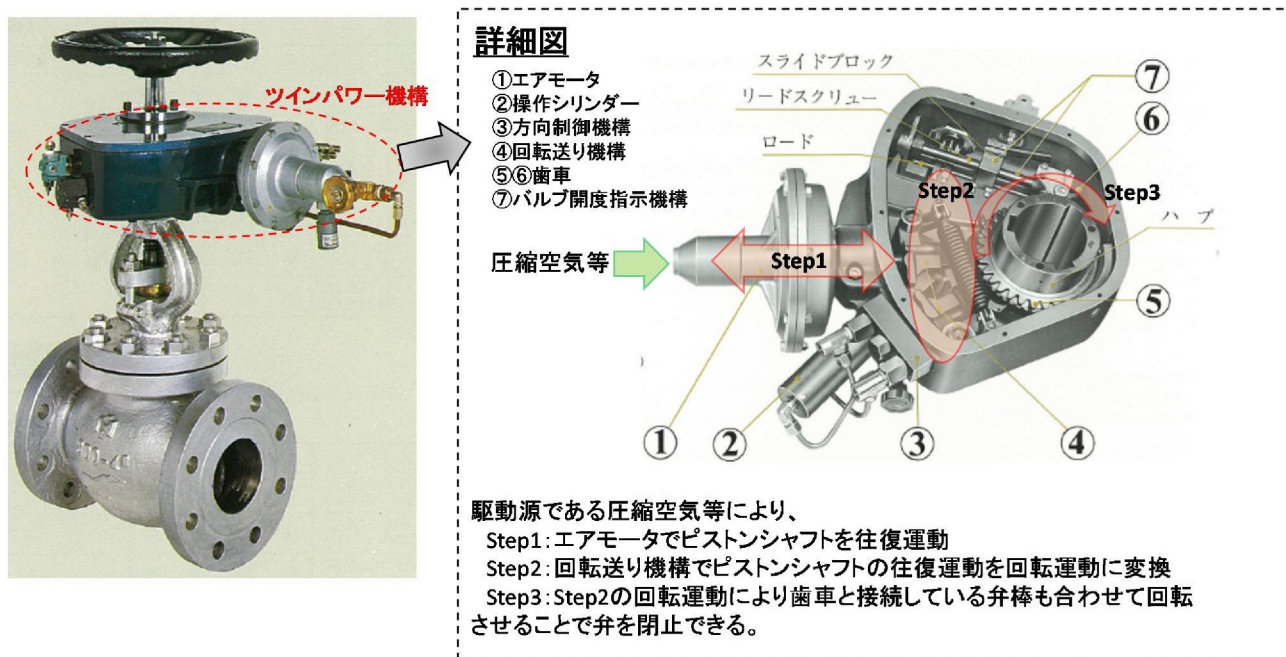


図 ツインパワー弁の構造及び駆動のメカニズムについて

(参考) 余熱除去ポンプ入口弁閉止が遅れた場合の機器の耐環境性について

1. はじめに

ISLOCA 時の各機器の耐環境性評価では、現実的な操作時間として事象発生後の 60 分後に余熱除去ポンプ入口弁を閉止した場合の耐環境性を確認しているが、余熱除去ポンプ入口弁の閉止時間が遅れた場合の評価として、仮に、事象発生後の約 80 分後に当該弁を閉止した場合の、蒸気漏えい区画にある事象収束に必要な各機器の耐環境性について確認した結果を提示する。

2. 評価結果

(1) 必要な機器

ISLOCA 時に使用する設備については、既許可の添付書類十(追補含む)にて選定している。選定したリストを添付 1 に示す。添付 1 のとおり、事象収束に必要な機器のうち、IS-LOCA に伴う原子炉格納容器外の環境悪化エリアに設置している機器は、高圧注入ポンプ、高圧注入流量、余熱除去ポンプ入口弁、余熱除去ポンプ、余熱除去冷却器、余熱除去流量の 6 つとなる。

(2) 環境条件

a. 溢水

有効性評価において想定した余熱除去系の機器、弁から漏えいするものとし、各機器、弁からの漏えいは IS-LOCA の有効性評価における漏えい量を破断面積比で按分する。

b. 放射線

a. で求めた溢水量から放射エネルギーを算出し、その放射エネルギーから評価対象区画の線量率を算出し、各機器の吸収線量を求めた。評価期間は 7 日を設定した。

c. 雰囲気温度

現状の事象発生後の 60 分後に余熱除去ポンプ入口弁を閉止した場合の雰囲気温度の評価結果を基に、事象発生後の 60 分後時点での温度上昇の傾向が維持されるものとして、事象発生後の 80 分後に当該弁を閉止した場合の評価結果を見積もった。その結果、添付 2 のとおり、事象収束に必要な機器である、余熱除去ポンプ入口弁以外の機器の設置区画は約 95℃まで上昇することとなり、余熱除去ポンプ入口弁の設置区画については、

事象発生 の 80 分後時点において、事象発生 の約 10 分後の最高値である約 118℃を上回らないことを確認した。

(3) 機器の耐環境性

a. 溢水

添付資料 1.3.21 本文に示した余熱除去ポンプ入口弁を事象発生 の 60 分後に閉止した際の溢水評価の結果を表 4 に示す。本評価結果を踏まえると、60 分時点において機能喪失高さ とフロア床面からの没水高さには十分な裕度があることが分かる（高圧注入ポンプ及び余熱除去ポンプを除き、最も裕度が小さいものでも機能喪失高さ とフロア床面からの没水高さとの比が 4 以上ある）。ただし、高圧注入ポンプ及び余熱除去ポンプについては裕度が小さい（機能喪失高さ とフロア床面からの没水高さとの比が 1.6 程度である）ことから、事象発生 の 80 分時点のフロア床面からの没水高さについて確認した。高圧注入ポンプ及び余熱除去ポンプについてはフロア床面からの没水高さは 0.297m となり、機能喪失高さに至らない。以上のことから、溢水に対して耐環境性を有するもの と考える。

表 1. 各機器の溢水影響について（事象発生 の 60 分後に閉止した場合）

機器名	設置場所	機能喪失高さ	フロア床面からの没水高さ	溢水影響
高圧注入ポンプ	E.L.3.5m	E.L.3.851m	0.215m	無
高圧注入流量	E.L.3.5m	E.L.4.532m	0.215m	無
余熱除去ポンプ入口弁	E.L.3.5m (中間床)	—※1	0m※1	無
余熱除去ポンプ	E.L.3.5m	E.L.3.851m	0.215m	無
余熱除去クーラ	E.L.10.0m	—※2	0.111m	無
余熱除去流量	E.L.10.0m	E.L.10.982m	0.111m	無

※ 1 : 余熱除去ポンプ入口弁の設置区画は E.L.3.5m の中間床であり、漏えい水は中間床に滞留することではなく、E.L.3.5m に流れるため、溢水影響は受けない。

※ 2 : 余熱除去冷却器は金属部品で構成されており、溢水の影響を受けない。

b. 放射線

添付資料 1.3.21 本文に示した余熱除去ポンプ入口弁の閉止時間とした場合の、7 日間の各機器の吸収線量について表 2 に整理する。いずれの機器の吸収線量についても健全

性確認条件に対して十分な裕度がある。余熱除去ポンプ入口弁の閉止タイミングを 20 分遅らせた場合、蒸気漏えい等に伴い、区画に滞留する放射性物質の量が増加することとなるが、裕度が十分にあることから、放射線により各機器の健全性は喪失することはない、耐環境性を有するものとする。

c. 雰囲気温度

2.(2)c. で検討した余熱除去ポンプの閉止タイミングを遅らせた場合での雰囲気温度を踏まえた各機器の健全性について表 2 に整理する。表 2 のとおり、各機器の雰囲気温度の環境条件は健全性確認条件を上回ることはなく健全性が確保され、雰囲気温度に対して耐環境性を有するものとする。

表 2. 放射線及び雰囲気温度の影響について

機器名	構成品	放射線		雰囲気温度	
		環境条件※ ¹	健全性 確認条件	環境条件※ ²	健全性 確認条件
高圧注入ポンプ	本体	20.8Gy	1kGy	95℃	150℃
	モータ		2MGy		120℃
高圧注入流量	本体	10.2Gy	100Gy	95℃	125℃
	ケーブル		2MGy		190℃
余熱除去ポンプ入口弁	ツインパワー弁	18.7Gy	1kGy	118℃	165℃
余熱除去ポンプ	本体	18.7Gy	1kGy	95℃	200℃
	モータ		2MGy		120℃
余熱除去冷却器	本体	16.0Gy	8.7MGy	95℃	管側：200℃ 胴側：95℃
余熱除去流量	本体	36.7Gy	100Gy	95℃	125℃
	ケーブル		2MGy		190℃

※ 1：事象発生の 60 分後に余熱除去ポンプ入口弁を閉止した場合の各機器の吸収線量

※ 2：2.(4)c. で検討した事象発生の 80 分後に余熱除去ポンプ入口弁を閉止した場合の雰囲気温度

3. まとめ

ISLOCA 時の事象収束に必要な機器のうち、ISLOCA に伴う原子炉格納容器外の環境悪

化エリアに設置している機器について、事象発生の約 80 分後に余熱除去ポンプ入口弁を閉止した場合にも、当該機器等の耐環境性が確保されることを確認した。

以 上

Q3.4 IS-LOCA対応に使用する計器リスト

	パラメータ	必須	必須でない理由	設置エリア※	耐環境性	備考
事象初期 (アラート停止、SII動作)	出力領域中性子束	○		①	※	※IS-LOCAにより、原子炉格納容器外の環境が悪化する前に、計器の寿命期間を終えるため、耐環境性を考慮する必要がない。
	中間領域中性子束	○		①	※	
	中性子線領域中性子束	○		①	※	
	安全注入作動警報		高圧注入流量等で確認可能		—	
	高圧注入流量	○		②	○	
	余熱除去流量		燃料取替用水ピット水位等で確認可能		—	
事象判断	燃料取替用水ピット水位	○		③	○	
	1次冷却材圧力	○		①	○	
	加圧器水位	○		①	○	
	格納容器再循環サンプ水位 (広域)	○		①	○	
	蒸気発生器水位 (狭域)	○		①	○	
	主蒸気圧力	○		③	○	
	原子炉周辺建屋サンプ水位		1次冷却材圧力、加圧器水位、格納容器再循環サンプ水位 (広域)、蒸気発生器水位 (狭域)、主蒸気圧力で確認可能		—	
	排気筒ガスモニタ					
	復水器空気抽出器ガスモニタ		1次冷却材圧力、加圧器水位、格納容器再循環サンプ水位 (広域)、蒸気発生器水位 (狭域)、主蒸気圧力で確認可能		—	
	蒸気発生器ロータリウムモニタ					
高感度型主蒸気管モニタ						
余熱除去ポンプ吐出圧力						
加圧器逃がしタンク水位		1次冷却材圧力、加圧器水位で確認可能		—		
加圧器逃がしタンク温度						
加圧器逃がしタンク圧力(広域)						
事象収束	余熱除去流量	○		②	○	長期的な対応である健全側余熱除去システムによる冷却時に使用する。
	燃料取替用水ピット水位	○		③	○	
	加圧器水位	○		①	○	
	1次冷却材高温側温度 (広域)	○		①	○	
	1次冷却材低温側温度 (広域)	○		①	○	
	1次冷却材圧力	○		①	○	
	蒸気発生器補助給水流量	○		③	○	
	主蒸気圧力	○		③	○	
	蒸気発生器水位 (狭域)	○		①	○	
	蒸気発生器水位 (広域)	○		①	○	
	復水ピット水位	○		③	○	
	高圧注入流量	○		②	○	
	格納容器圧力 (広域)					
	A M用格納容器圧力		1次冷却材圧力、加圧器水位で確認可能		—	
	格納容器内温度					
	充てん水流量		燃料取替用水ピット水位、加圧器水位、原子炉水位等で確認可能		—	
	原子炉水位	○		①	○	
	ほうぎタンク水位					
1次系純水タンク水位		燃料取替用水ピットへの補給手段として、使用可能であれば確認		—		
No.3淡水タンク水位						

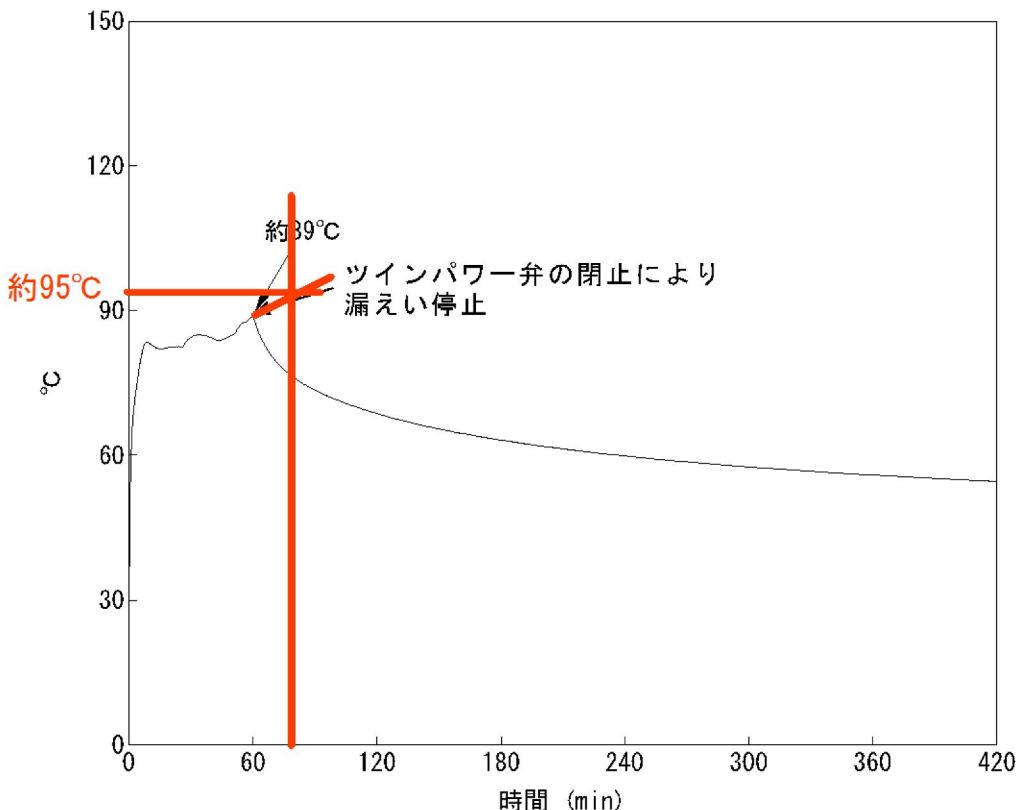
※①：C V内
 ②：C V外 (環境悪化エリア)
 ③：C V外 (環境悪化エリア外)

IS-LOCA対応に使用する機器リスト

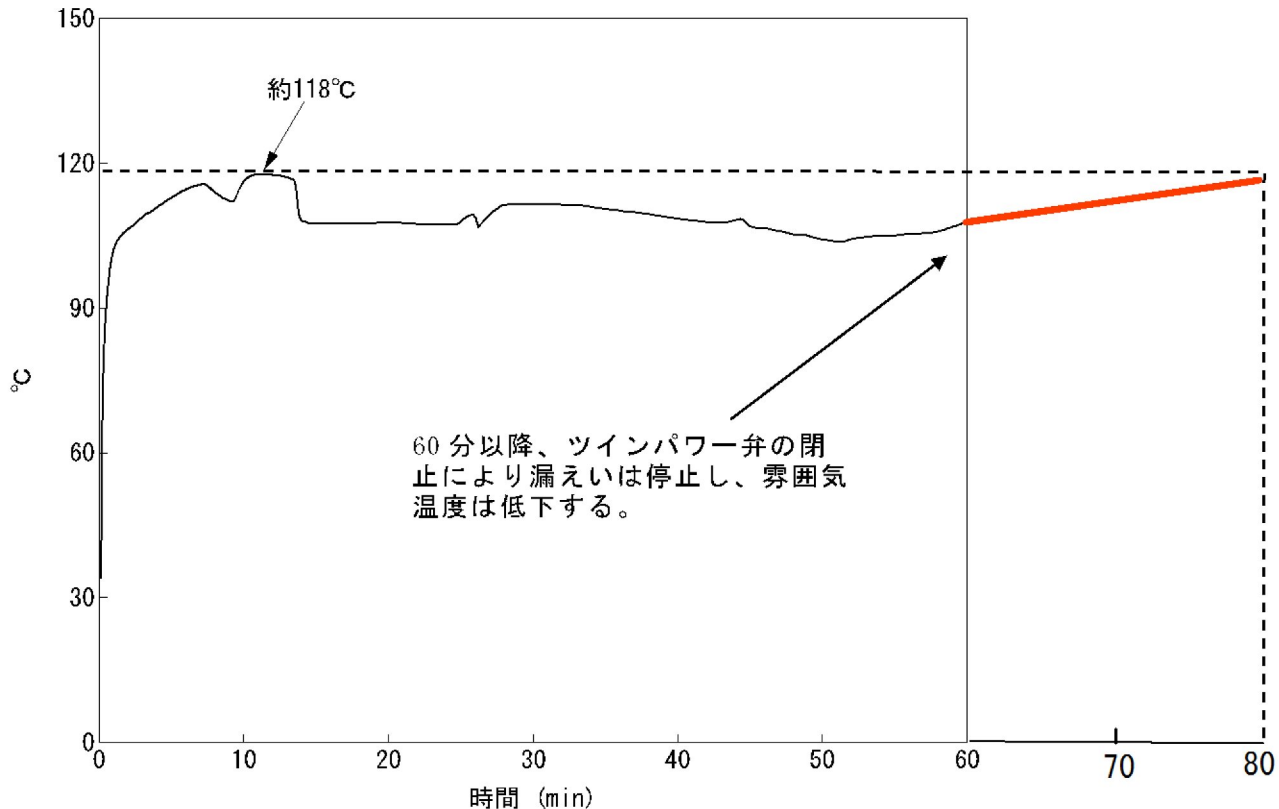
	使用機器	必須	必須でない理由	設置エリア※	耐環境性	備考
	燃料取替用水ピット	○		③		
	余熱除去ポンプ	○		②		長期的な対応である健全側余熱除去システムによる冷却時に使用する。
	高圧注入ポンプ	○		②		
	蓄圧タンク	○		①		
	主蒸気逃がし弁	○		③		
	タービン動補助給水ポンプ	○		③		
	電動補助給水ポンプ	○		③		
	蒸気発生器	○		①		
	復水ピット	○		③		
	ディーゼル発電機	○		③		
	燃料油貯蔵タンク	○		③		
	重油タンク	○		③		
	充てんポンプ	○		③		
	加圧器逃がし弁	○		①		
	蓄圧タンク出口弁	○		①		
	余熱除去ポンプ入口弁	○		②		
	余熱除去冷却器	○		②		長期的な対応である健全側余熱除去システムによる冷却時に使用する。

※①：C V内
 ②：C V外 (環境悪化エリア)
 ③：C V外 (環境悪化エリア外)

大飯3、4号機 各機器の設置区画における雰囲気気温度の推移



余熱除去ポンプ入口弁以外の機器の設置区画雰囲気気温度評価結果



余熱除去ポンプ入口弁設置区画雰囲気気温度評価結果