

資料①-2

ペDESTAL排水時間変更による設置許可への影響について

東海第二発電所では、原子炉圧力容器（RPV）が破損し溶融炉心が落下することを仮定した場合の溶融燃料－冷却材相互作用及び溶融炉心・コンクリート相互作用による影響を緩和する観点から、RPV 破損時のペDESTAL水位を 1m と設定している。その上で、事故発生後にペDESTALへの流入水があった場合には、RPV 破損までに水位 1m まで排水可能であることを確認している。

今回変更となる排水機能評価における前提条件は、設置変更許可申請書の有効性評価で対象としている事象とは異なり、有効性評価において排水機能評価の条件や結果に係る記載はないことから、設置許可への影響はない。

【有効性評価における想定（添付 1）】

- ・有効性評価においては過渡事象及び LOCA 事象（再循環系配管破断）を対象としており、事象発生後早期に弁の自動閉止によりドライウェルからペDESTALへの流入水を制限することで、ペDESTAL内の水位は上昇しない。
- ・その後、運転員は炉心損傷を判断した場合にペDESTAL内水位確保操作を行うが、操作開始から RPV 破損までの約 1.8 時間（事象進展の速い大 LOCA の例）に対して、所要時間は 30 分程度であり、十分な時間余裕がある。

【排水機能評価における想定（添付 2）】

- ・排水機能評価においては、ペDESTAL内への流入水により水位が著しく高くなり得る事象として、ペDESTAL内におけるボトムドレン LOCA を対象としている。
 - ・評価条件として、初期水位をペDESTAL内満水（人通用開口部下端である約 3m）とし、ボトムドレン LOCA 発生後に流入が停止する約 0.3 時間から RPV 破損に至る約 3 時間*までの 2.7 時間以内に、水位 1m まで排水できることを確認している。
- ※：事象進展の速い大 LOCA 時の RPV 破損時間（約 3.3 時間）を切り下げた時間であり、制限時間の設定においては十分な保守性がある

以上

添付 1：設置変更許可申請書 添付書類十 抜粋

添付 2：工事計画認可申請書 V-1-8-1 別添 2 抜粋

高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱					経過時間 (分)															備考						
					10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200		
操作項目	実施箇所・必要要員数 【 】は操作前後移動してきた要員				操作の内容	事象発生 原子炉スクラム プラント状況判断 約35分 炉心損傷開始 (燃料被覆管温度 1,000K 到達) 約52分 燃料被覆管温度 1,200℃到達 約38分 原子炉水位が燃料有効長底部から燃料有効長の20%高い位置に到達 約1.2時間 炉心溶融開始 (燃料温度 2,500K 到達) 2時間 原子炉建屋ガス処理系及び中央制御室換気系の起動による負圧達成																				
	責任者	当直室長	1人	中央監視運転操作員																						
	補佐	当直副室長	1人	運転機長指図員																						
	指揮者等	災害対策要員 (指揮者)	4人	初期での指揮要員等内外連絡																						
	当直運転員 (中央制御室)	当直運転員 (現場)	重大事故等対応要員 (現場)																							
状況判断	2人 A, B	-	-	●原子炉スクラムの確認 ●タービン停止の確認 ●外圧電源喪失の確認 ●再循環系ポンプ停止の確認 ●正気監視停止及び及び安全弁 (安全弁機能) による原子炉停止の判断 ●非常用ディーゼル発電機等の自動起動失敗の確認 ●原子炉への注水機能喪失の確認 (自動起動)	10分																					
早期の電源回復不能の確認	【1人】 A	-	-	●高圧炉心スプレイシステム発電機の手動起動操作 (失敗)	1分																					
	【1人】 B	-	-	●非常用ディーゼル発電機の手動起動操作 (失敗)	2分																					
電源確保操作対応	-	-	2人 a, b	●電源回復操作		適宜実施																				解析上考慮しない
常設代替発電機設備による緊急用母線の受電操作	【1人】 A	-	-	●常設代替高圧電源装置2台の起動操作及び緊急用母線の受電操作	4分																					
原子炉への注水機能喪失の確認 (自動起動)	【1人】 A	-	-	●原子炉隔離時注水の手動起動操作 (失敗)	2分																					
中央制御室からの高圧代替注水系の起動操作	【1人】 A	-	-	●高圧代替注水による原子炉注水の系統構成操作及び起動操作	4分																					
常設低圧代替注水ポンプを用いた代替格納容器スプレイ冷却 (常設) 及び低圧代替注水系 (常設) の起動操作	【1人】 B	-	-	●常設低圧代替注水ポンプを用いた低圧代替注水 (常設) による原子炉注水及び代替格納容器スプレイ冷却 (常設) による格納容器冷却に必要な負荷の電源切替操作	4分																					
	【1人】 A	-	-	●常設低圧代替注水ポンプを用いた代替格納容器スプレイ冷却系 (常設) による格納容器冷却及び低圧代替注水 (常設) による原子炉注水の系統構成操作及び起動操作	3分																					
緊急用海水系による冷却水 (海水) の確保操作	【1人】 A	-	-	●緊急用海水系による海水通水に必要な負荷の電源切替操作	4分																					
	【1人】 A	-	-	●緊急用海水系による海水通水の系統構成操作及び起動操作																						
代替循環冷却系による格納容器除熱操作	【1人】 A	-	-	●代替循環冷却系による格納容器除熱に必要な負荷の電源切替操作	6分																					
	【1人】 A	-	-	●代替循環冷却系による格納容器除熱の系統構成操作及び起動操作																						
常設低圧代替注水ポンプを用いた格納容器下部注水系 (常設) によるベグスタル (ドライウェル部) 水位の確保操作	【1人】 A	-	-	●常設低圧代替注水ポンプを用いた格納容器下部注水系 (常設) によるベグスタル (ドライウェル部) 注水に必要な負荷の電源切替操作	4分																					
	【1人】 A	-	-	●常設低圧代替注水ポンプを用いた格納容器下部注水系 (常設) によるベグスタル (ドライウェル部) 水位の確保操作	20分																					
水素濃度及び酸素濃度監視設備の起動操作	【1人】 A	-	-	●水素濃度及び酸素濃度監視設備の起動操作																						
サブプレッション・プール水日割調整装置による薬液注入操作	【1人】 A	-	-	●サブプレッション・プール水日割調整装置による薬液注入操作																						
炉心損傷確認	【1人】 B	-	-	●炉心損傷確認	2分																					
逃がし安全弁 (自動減圧機能) の手動による原子炉急減圧操作	【1人】 B	-	-	●逃がし安全弁 (自動減圧機能) 2個の手動開放操作	1分																					
常設代替発電機設備による非常用母線の受電準備操作	-	2人 c, d	-	●非常用母線の受電準備操作 (中央制御室)	35分																					
	-	-	-	●非常用母線の受電準備操作 (現場)	75分																					
常設代替発電機設備による非常用母線の受電操作	【1人】 B	-	-	●常設代替高圧電源装置2台の追加起動操作	8分																					
	【1人】 B	-	-	●非常用母線の受電操作	5分																					
原子炉建屋ガス処理系及び中央制御室換気系の起動操作	【1人】 B	-	-	●原子炉建屋ガス処理系の起動操作																						
	【1人】 B	-	-	●中央制御室換気系の起動操作	5分																					
ほう酸水注入系による原子炉圧力容器へのほう酸水注入操作	【1人】 B	-	-	●ほう酸水注入系の起動操作																						
	【1人】 B	-	-	●ほう酸水注入系の注入状態監視	2分																					

※ 本格納容器減圧モードについては確認に類しないこととする。

第 7.2.2-3 図 高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱の作業と所要時間 (1/2)

				経過時間 (時間)										備考		
				1	2	3	4	5	50	124	167					
操作項目	実施箇所・必要員数 【 】は操作前後移動してきた要員			操作の内容												
	当直運転員 (中央制御室)	当直運転員 (現場)	重大事故等対応要員 (現場)	<p>約 2.7 時間 原子炉圧力容器温度 (下鏡部) が 300°C 到達</p> <p>約 4.5 時間 原子炉圧力容器破損</p> <p>格納容器圧力 低下から 30 分後</p> <p>約 124 時間 格納容器内酸素濃度 3.5vol% (ドライ条件) 到達</p> <p>約 167 時間 格納容器内酸素濃度 4.0vol% (ドライ条件) 到達</p> <p>大LOCAの場合 は約3.3時間でRPV破損</p>												
原子炉圧力容器破損の判断	【1人】 A	-	-	破損判断パラメータ (格納容器下部水道) の継続監視										5分		
常設低圧代替注水系ポンプを用いた代替格納容器スプレイ冷却系 (常設) による格納容器冷却操作 (原子炉圧力容器破損後)	【1人】 A	-	-	●常設低圧代替注水系ポンプを用いた代替格納容器スプレイ冷却系 (常設) による格納容器冷却操作 (原子炉圧力容器破損後)										1分	適宜状態監視	
常設低圧代替注水系ポンプを用いた格納容器下部注水系 (常設) によるベダスタル (ドライウェル部) 注水操作	【1人】 A	-	-	●常設低圧代替注水系ポンプを用いた格納容器下部注水系 (常設) によるベダスタル (ドライウェル部) 注水操作及び水位制御操作										1分	注水開始後、水位制御を継続	解任までは、約10分以上の間隔でベダスタル水位が変動するが、実運用上では格納容器内の注水量に実用する上で可能な限り連続注水による予備とし、実行した操作を省力減らすこととする
代替蓄電池冷却による格納容器除熱操作 (原子炉圧力容器破損後)	【1人】 A	-	-	●代替蓄電池冷却による原子炉注水操作 ●代替蓄電池冷却による格納容器冷却操作											原子炉注水中、適宜状態監視 格納容器冷却中、適宜状態監視	
常設低圧代替注水系ポンプを用いた代替格納容器スプレイ冷却系 (常設) による格納容器冷却操作	【1人】 A	-	-	●常設低圧代替注水系ポンプを用いた代替格納容器スプレイ冷却系 (常設) による格納容器冷却操作											適宜実施	解任までは、約10分以上の間隔で格納容器水位が変動するが、実運用上ではスプレイ流量を調整することで蓄電池冷却系がドライにならないようにし、実行した操作を省力減らすこととする
使用済燃料プールの除熱操作	【1人】 A	-	-	●常設低圧代替注水系ポンプによる代替燃料プール注水 (注水ライン) を使用した使用済燃料プールへの注水操作 ●代替燃料プール冷却系の起動操作										15分	適宜実施	解任上考慮しない 約20時間までに実施する
可搬型代替注水中型ポンプを用いた低圧代替注水系 (可搬型) の起動準備操作	-	-	8人 c~j	●可搬型代替注水中型ポンプの移動、ボース敷設等の操作										170分		解任上考慮しない 貯蔵庫内より緊急燃料搬送が完了後は速やかに格納容器へ戻す。モータ駆動を確認しながら作業を行う
可搬型燃料供給装置による格納容器内への緊急注入操作	-	-	【6人】 c~h	●可搬型燃料供給装置の移動、接続操作及び起動操作										180分	可搬型燃料供給装置起動後、適宜状態監視	
タンクローリによる燃料給油操作	-	-	2人 (整備)	●可搬型燃料供給装置からタンクローリへの給油操作 ●可搬型燃料供給装置への給油操作										90分	適宜実施	タンクローリ位置に応じて搬送燃料タンクから給油する
必要員合計	3人 A, B	2人 C, D	10人 a~j 及び参集2人													

第 7.2.2-3 図 高圧溶融物放出/格納容器雰囲気直接加熱の作業と所要時間 (2/2)

別添2 コリウムシールド及びペデスタル排水系の設計

目 次

1. ペDESTAL（ドライウエル部）に係る設備対策の概要について…………… 別添 2-1
2. コリウムシールドの設計について…………… 別添 2-5
3. ペDESTAL（ドライウエル部）水位管理に係る対策設備の設計について…………… 別添 2-12
4. ペDESTAL（ドライウエル部）内の水位管理方法について…………… 別添 2-23
5. 溶融炉心の排水流路内での凝固停止評価について…………… 別添 2-32
6. 原子炉圧力容器破損時の溶融炉心の冠水評価について…………… 別添 2-45
7. コリウムシールドを考慮した溶融炉心・コンクリート相互作用による侵食量評価について…………… 別添 2-48
8. 溶融炉心による熱影響評価について…………… 別添 2-71
9. ペDESTAL排水系の排水機能評価について…………… 別添 2-97
10. コリウムシールドの施工性について…………… 別添 2-112
11. コリウムシールドの選択的侵食について…………… 別添 2-125

1. ペDESTAL（ドライウェル部）に係る設備対策の概要について

東海第二発電所における，溶融燃料－冷却材相互作用（以下「FCI」という。）及び溶融炉心・コンクリート相互作用（以下「MCCI」という。）の影響抑制を考慮したペDESTAL（ドライウェル部）（以下「ペDESTAL」という。）に係る設備対策の概要を以下に示す。

東海第二発電所のペDESTALの概要図を図 1-1 及び図 1-2 に示す。

ペDESTAL内の底面及び側面には，原子炉圧力容器（以下「RPV」という。）が破損し溶融炉心（以下「デブリ」という。）が落下した際のペDESTAL構造健全性確保のため，ZrO₂製のコリウムシールドを設置する。コリウムシールド内は格納容器床ドレンサンプとして用いるために，コリウムシールド表面にSUS製のライナを敷設し通常運転中の水密性を確保するとともに，その内側に格納容器機器ドレンサンプを設置する。

ドライウェルにて生じる床ドレン及び機器ドレンと，格納容器機器ドレンサンプを冷却するための原子炉補機冷却系の冷却水は，図 1-1 及び図 1-2 のようにペDESTAL側壁の貫通孔を通る配管により各ドレンサンプへ導かれる。これらの配管には，事故時にペDESTAL内への流入水を制限するため，ペDESTAL側壁の外側に制限弁を設ける。

格納容器床ドレンサンプ内に流入した水は，1 mに立ち上げた格納容器床ドレンサンプの導入管（スワンネック）から流出させ，スリット及び配管を通じて原子炉建屋原子炉棟床ドレンサンプ設備へ排水する。また，格納容器機器ドレンサンプにも導入管を設け，事故発生後にペDESTAL内の水位が1.2 mを超えた場合には，格納容器床ドレンサンプの導入管と併せて排水が可能な設計とする。それぞれの導入管の周囲には，ペDESTAL内での落下物や異物による悪影響を防止するための導入管カバーを設置する。

それぞれの排水配管の下流には格納容器外側隔離弁が設置されており，これらの弁は事故発生時に自動閉止する。これに対して，各排水配管を分岐させベント管へ接続することで，事故発生後においてペDESTALからサプレッション・チェンバへ排水する経路を設けるとともに，排水完了後にペDESTALからの冷却水の流出を防止するための排水弁を設ける。さらに，RPVが破損しデブリがスリット内へ流入した際に，下流側の配管内で圧力上昇が生じる可能性を考慮し，安全弁を設ける。

RPVが破損しデブリがペDESTAL内に落下した場合には，格納容器下部注水配管から注水を行うことでデブリを継続的に冷却する。また，RPV破損（ペDESTAL内へのデブリ落下）の検知及びペDESTAL内水位管理のために，ペDESTAL内には温度計及び水位計（格納容器下部水温及び格納容器下部水位）を設置する。

ペDESTALの側壁は鋼製スカートを介してRPVを支持しており，RPV下部プレナムの中心付近には原子炉冷却材浄化系のボトムドレン配管が接続されているとともに，ペDESTAL内には制御棒駆動水圧系配管が敷設されている。

また，MCCIに係る設備のDB・SAの区分について図 1-3 に示す。

- 弁の閉止タイミング
 ※1 (図中○) :
 格納容器隔離信号発信時
 ※2 (図中○) :
 ドライウエル圧力高信号及び
 原子炉水位異常低下 (L1)
 信号発信時
 ※3 (図中○) :
 炉心損傷後のペDESTAL
 水の排水完了時

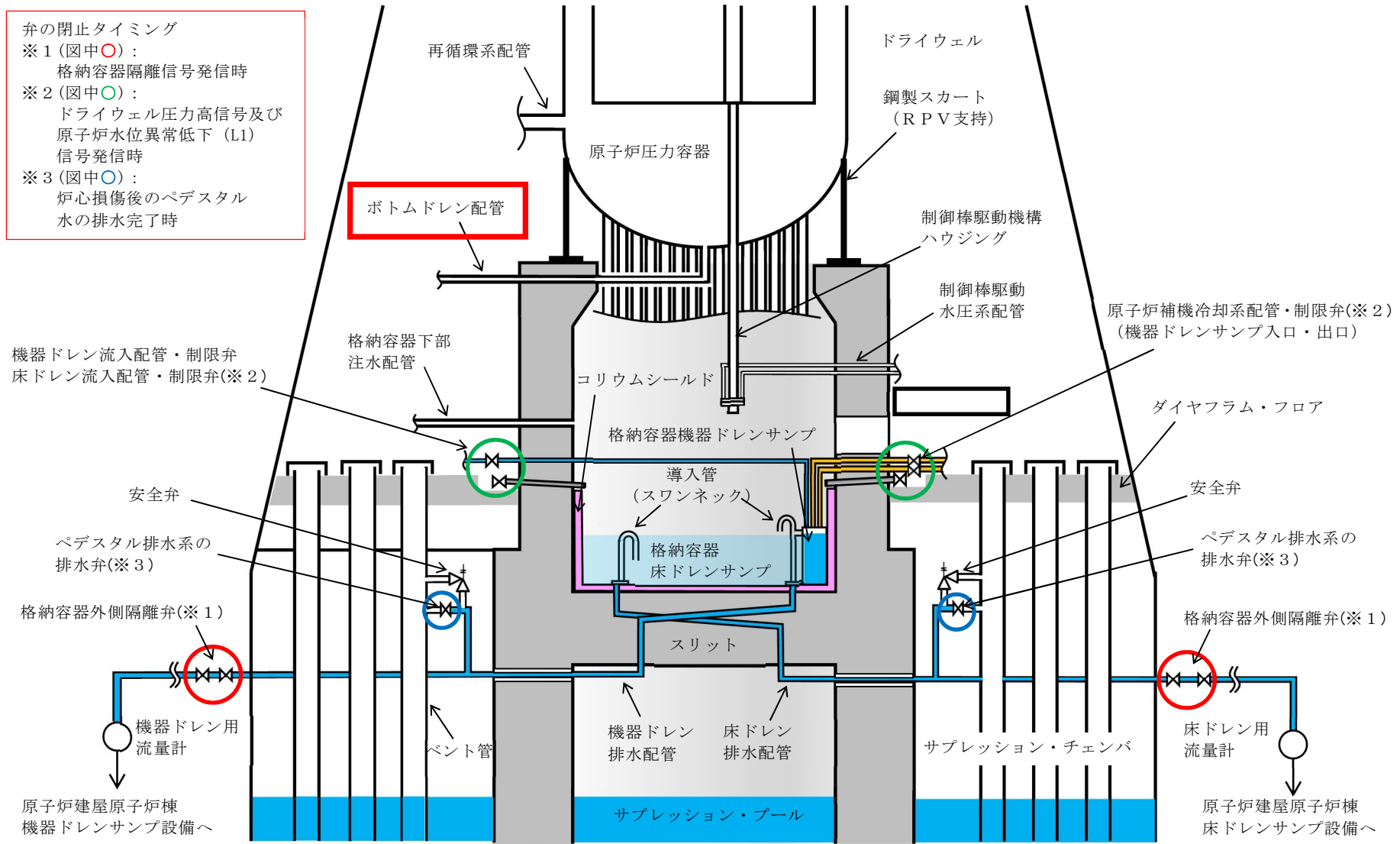


図 1-1 ペDESTAL概要図 (断面図)

別添 2-2

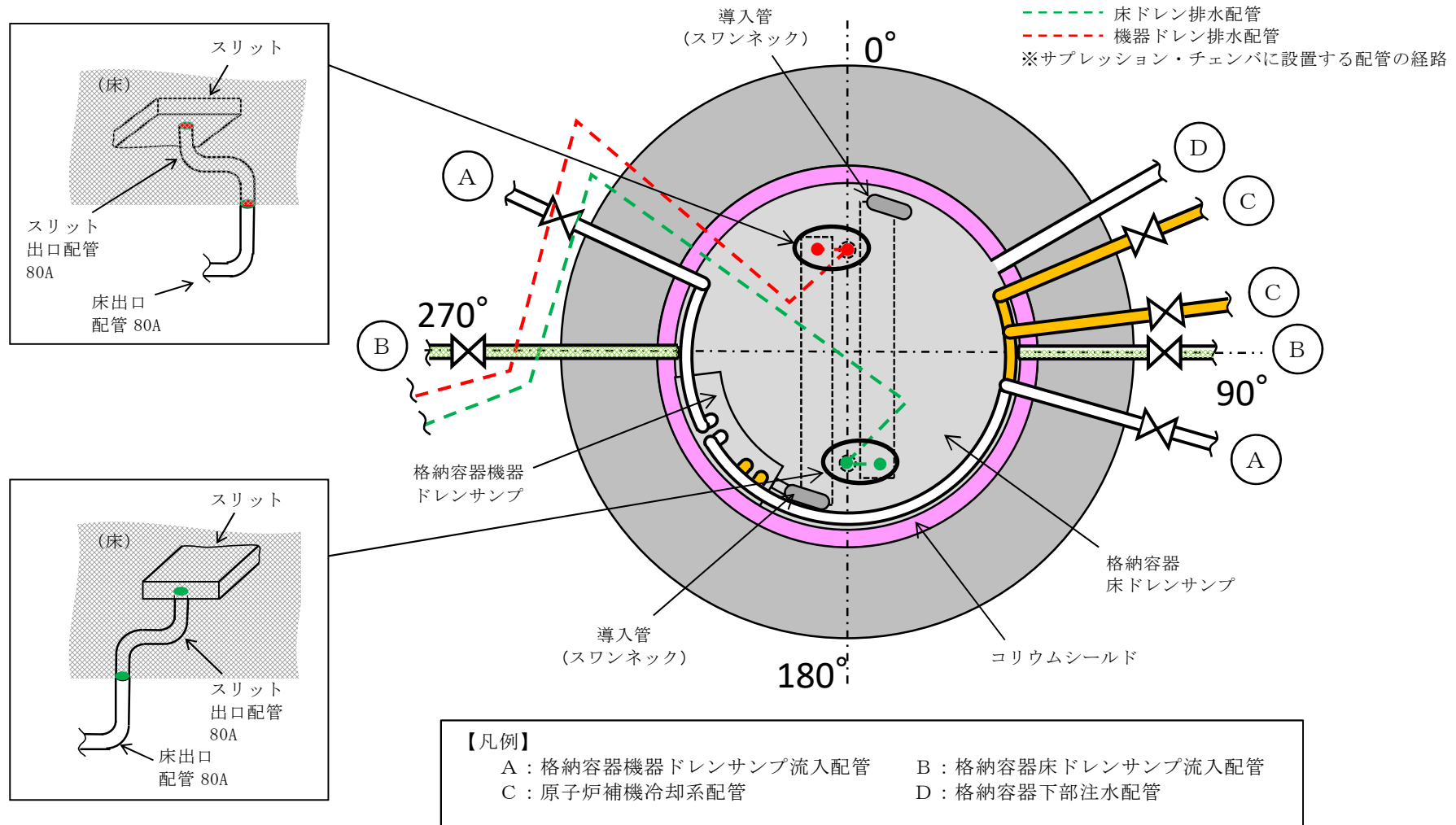


図 1-2 ペDESTAL概要図 (平面図)

別添 2-4

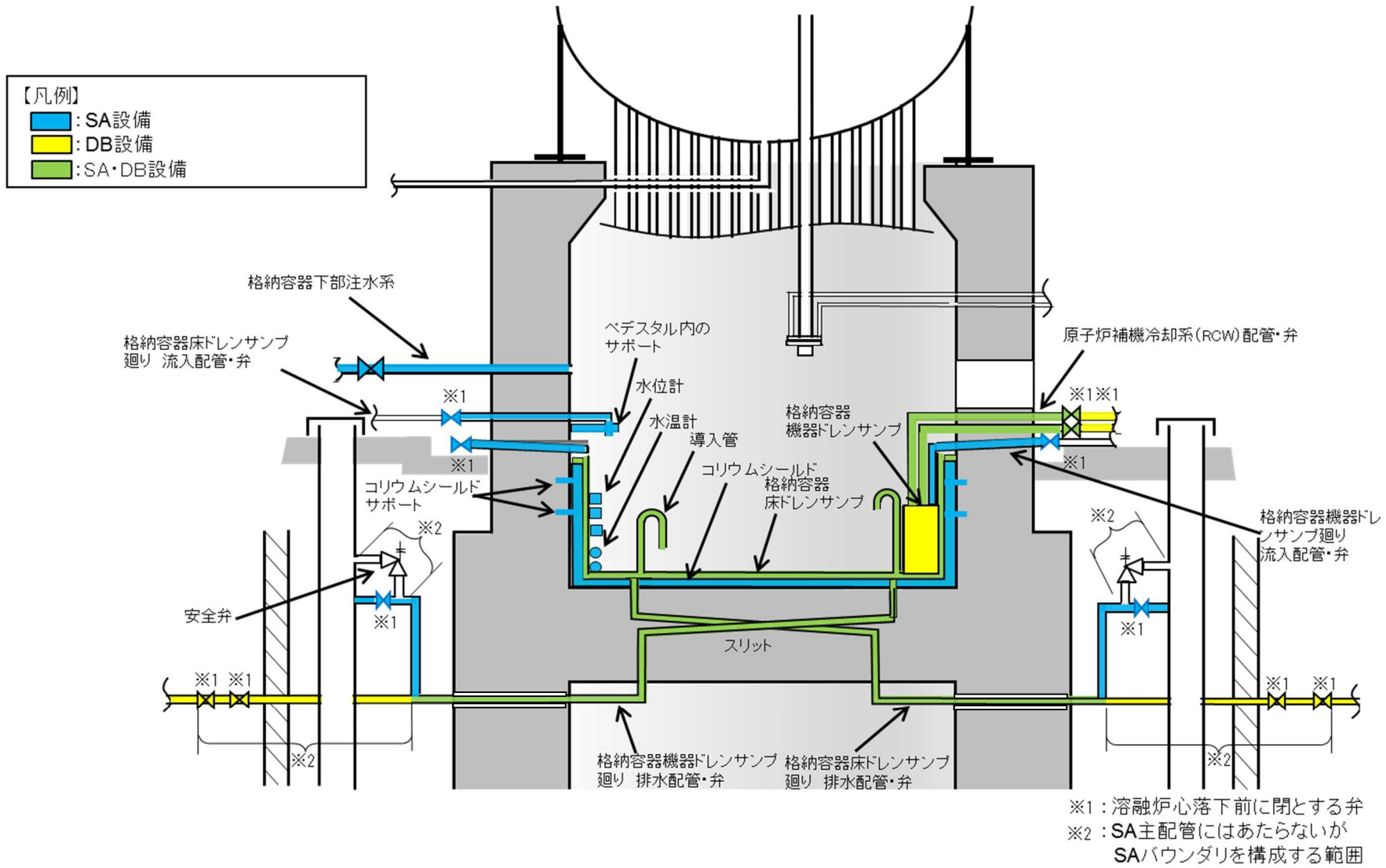


図 1-3 M C C I 対策に係る DB ・ S A 設備範囲図 (断面図)

9. ペDESTAL排水系の排水機能評価について

9.1 概要

R P Vから落下した溶融炉心の冠水及びF C Iによる影響抑制の観点から、R P V破損時のペDESTAL内水位を1 mに維持することとしている。

これに対して、事故発生後にペDESTAL内への流入水（余剰水）が生じた場合に、余剰水が規定時間内にサプレッション・チェンバへ排水できることを、モックアップ試験及び試験結果に基づく排水評価により確認する。具体的には、下記の確認を実施する。

- ・モックアップ試験により、格納容器床ドレンサンプ導入管（以下「導入管」という。）及びスリット形状の排水ラインにおける流動状況を確認するとともに、圧損係数を評価する。
- ・試験結果を基に、実機体系における排水評価を実施し、排水制限時間内にペDESTAL内水位1 mまで排水可能であることを確認する。

9.2 評価において想定する事象

ペDESTAL内への流入水により水位が著しく高くなり得る事象として、ペDESTAL内におけるボトムドレンL O C Aを想定する。この場合、R P VからペDESTAL内への流入は事象発生約0.3時間で停止し、水位はペDESTALの人通用開口部下端まで達すると想定される。

排水時間の制限としては、流入が停止する事象発生約0.3時間から、R P V破損が早くなる大破断L O C A時におけるR P V破損時間を保守的に短くした3時間を組合せて2.7時間とする。

9.3 試験条件

試験方法を表 9-1、設備条件を表 9-2、確認項目及び判定基準を表 9-3 に示す。また、試験装置を図 9-1 に示す。

表 9-1 試験方法

試験水	排水配管状態	排水先	試験方法
水道水 (常温)	配管内満水 (D B時に常時排水があるため)	排水口をスリットと同程度の高さに設定 (S A時にベント管への排水となるため)	排水弁を閉の状態にて導入管より高く水を張り、弁を開とすることで、静水圧にて排水

表 9-2 設備条件

排水配管経路	試験計画
導入管～ スリット入口	アクリル製 80A (ペDESTAL床面から高さ1 m)
スリット入口～ スリット出口	アクリル製 (流路断面寸法：H <input type="text"/> mm×W <input type="text"/> mm)
スリット出口～ ベント管	塩化ビニル製 80A

表 9-3 確認項目／判定基準

確認項目	判定基準
排水流路全体での排水時間	2.7 時間以下
流動状況	—

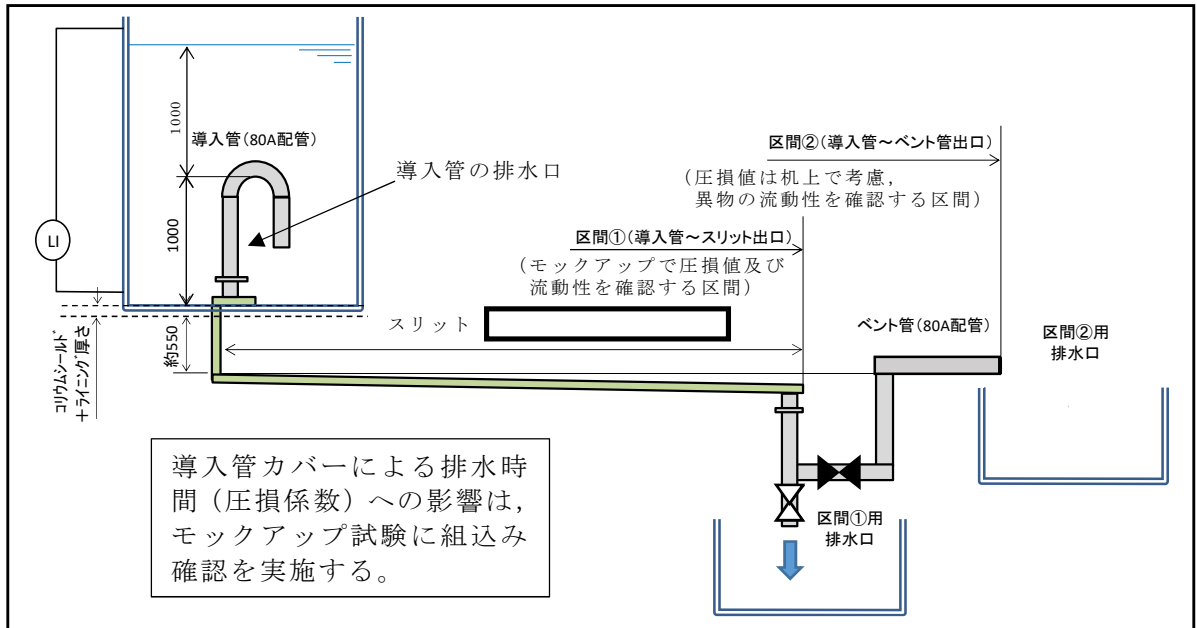


図 9-1 試験装置

9.4 モックアップ装置と実機の相違点について

今回使用するモックアップ装置と実機の相違点を表 9-4 に示す。

表 9-4 モックアップ装置と実機の相違点

	モックアップ装置	実機	評価に与える影響
配管材質	導入管～スリット出口： アクリル製 スリット出口からベント管： 塩化ビニル製	導入管～ベント管： ステンレス製	材質の違いによる表面粗さの違いによって、圧損係数への影響はあるが、試験で得られた係数に対しては、裕度を考慮して今後の設計を行うため問題ないと考える。
水温	常温（約 10～20 ℃）	高温水 （約 167 ℃（2Pd での飽和温度に相当））	水温が低い方が圧損係数は高くなるため、常温水での試験を実施しておけば、SA 時の高温水の排水性については包絡できる。
流路勾配	□	□	装置のたわみ等を考慮し、保守的に設定。
水位差	1.000 m （最高水位 2 m から最低水位 1 m までの差）	□ m （最高水位 □ m から最低水位 1 m までの差）	圧損 $H = \text{圧損係数 } K \times \text{流量 } Q^2$ より水位差による圧損係数算出への影響は無いが、信頼性のあるデータ取得のため十分な試験時間及び流量確保の観点から設定。

9.5 異物による影響について

ペDESTAL内に設ける排水の流入口（導入管）は、スワンネック構造とする。導入管は、逆U字形の形状をしているため、水面付近の浮遊物は排水口から流入し難い構造上の利点がある。空気孔は、逆U字形部からの排水性を確実にするために設ける設計とする。排水口の高さ方向の位置は、水面の浮遊物や床面の異物を持ち込ませないために適切な位置で設定する設計とする。また、異物落下に対して破損等がないよう、サポート等で固定する。この導入管の構造を考慮した上で、導入管への落下物の影響、ペDESTAL内に流入する異物による排水性への影響を評価する。なお、スワンネック構造を流入口とする排水流路は、RPV破損前にペDESTAL内の水位 1 m を達成した時点で排水弁を閉止し、その後は用いないことから、排水機能の要求期間はRPV破損前までであり、RPV破損前までに想定される落下物及び異物を対象として評価する。

事故時に発生する落下物により導入管が損傷しないこと、異物がペDESTAL格納容器床ドレンサンプに流入したと仮定し評価しても、異物により排水性に悪影響が生じる可能性が低いことを表 9-5 に示す。

落下物により、導入管が影響を受けないことを確実にするため、導入管の周囲に柵を設置する設計とする。

この柵は、異物が導入管及び排水配管の排水性に対して悪影響を及ぼさないこと及び想定されない異物が排水性に悪影響を及ぼさないことをより確実にするため、異物混入防止機能を有した設計とする。柵は、スリットの短辺 mm よりも小さい開口径を有し、開口が重ならないよう2重に配置した設計とする。仮に、スリット部で固着し堆積する可能性がある線状の異物を想定しても、柵の2重部分で流入を防ぐ構造の設計とする。(図 9-2)

なお、格納容器機器ドレンサンプについても、排水経路として利用することから、異物落下に対して破損等がないよう、十分な強度を有する設計とし、導入管の異物混入防止及び損傷防止については、床ドレン排水用の導入管と同様の対策を行うことで、悪影響を防止する。

表 9-5 想定異物と影響評価 (1/2)

想定異物	異物による排水性への影響
核計装用及び照明用等のケーブル (管路含む)	<p>【発生源】 ペDESTAL内</p> <p>【導入管への落下/床ドレンへの流入】 落下あり/流入あり</p> <p>ペDESTAL上部には、ケーブルが設置されており、落下の可能性はある。</p> <p>【影響評価】</p> <ul style="list-style-type: none"> 落下による影響 導入管は鋼製でサポートに固定されているため破損・転倒するおそれはない。また、周囲に鋼製の柵を設置することから、導入管に直接接触することもない。格納容器機器ドレンサンプについては、サンプ自体を十分な強度を有する設計とするため、破損するおそれはない。 流入による影響 ケーブルは床に沈降することから、排水性に影響はない。また、何らかの要因で被覆片が生じたとしても、格納容器機器ドレンサンプと格納容器床ドレンサンプ各々の導入管は対向して配置され、かつ前述のとおり各々の周囲を柵(図 9-2 参照)にて囲うため、共通要因による排水性への影響はない。
保温材	<p>【発生源】 ペDESTAL外</p> <p>【導入管への落下/床ドレンへの流入】 落下なし/流入あり</p> <p>ペDESTAL格納容器床ドレンサンプ内に保温材はない。</p> <p>重大事故時にドライウエルから格納容器スプレイ水等によって床ドレンの流入経路から持ち込まれる可能性がある。</p> <p>【影響評価】</p> <p>床ドレン流入経路の弁を事故後早期に閉じ流入を制限することから、排水経路を閉塞させる等、排水性への影響はない。</p>

表 9-5 想定異物と影響評価 (2/2)

想定異物	異物による排水性への影響
塗料片	<p>【発生源】 ペDESTAL内・外</p> <p>【導入管への落下/床ドレンへの流入】 落下あり/流入あり</p> <p>ペDESTAL内・外の構造物には塗装が施されていることから導入管への落下、床ドレンへ流入する可能性がある。</p> <p>【影響評価】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・落下による影響 導入管を損傷する程の重量はなく導入管が破損・転倒するおそれはない。また、同様に格納容器機器ドレンサンプへの影響もない。 ・流入による影響 塗料片は、底に堆積若しくは水面に浮遊することが考えられるが、導入管の排水口を水位 1 m の中間位置に設定するため、これらの異物が導入管の排水口に流入するとは考え難い。また、重大事故時は格納容器スプレイ水等によってペDESTAL外から床ドレンの流入経路を通じて塗料片が多く持ち込まれる可能性があるが、床ドレン流入経路の弁を事故後早期に閉にし、流入を制限することから、排水経路を閉塞させる等、排水性への影響はない。
スラッジ (鉄錆)	<p>【発生源】 ペDESTAL外</p> <p>【導入管への落下/床ドレンへの流入】 落下なし/流入あり</p> <p>スラッジ(鉄錆)は、床ドレン水によって格納容器床ドレンサンプ内に流入し底に堆積する可能性がある。</p> <p>【影響評価】</p> <p>導入管の排水口を水位 1 m の中間位置に設定するため、底に堆積した異物が積極的に排水経路に流入するとは考え難い。また、重大事故時は格納容器スプレイ水等によってペDESTAL外から床ドレンの流入経路を通じてスラッジが多く持ち込まれる可能性があるが、床ドレン流入経路の弁を事故後早期に閉にし、流入を制限することから、排水経路を閉塞させる等、排水性への影響はない。</p>
サポート	<p>【発生源】 ペDESTAL内</p> <p>【導入管への落下/床ドレンへの流入】 落下なし/流入なし</p> <p>ペDESTAL内にはサポートが設置されているが、十分な耐震性を有する設計とすることから、落下しない。</p> <p>【影響評価】</p> <p>排水性への影響はない。</p>
照明	<p>【発生源】 ペDESTAL内</p> <p>【導入管への落下/床ドレンへの流入】 落下あり/流入あり</p> <p>ペDESTAL内には照明が設置されているため、落下の可能性がある。</p> <p>【影響評価】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・落下による影響 導入管は鋼製でサポートに固定されているため破損・転倒するおそれはない。また、周囲に鋼製の柵を設置することから、導入管に直接接触することもない。格納容器機器ドレンサンプについても、十分な強度を有する設計とすることから、破損するおそれはない。 ・流入による影響 照明は、床に沈降することから、排水性に影響はない。

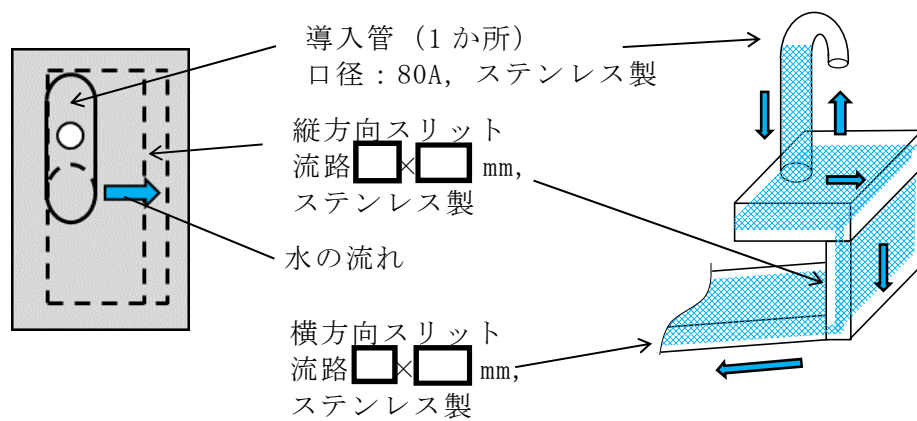
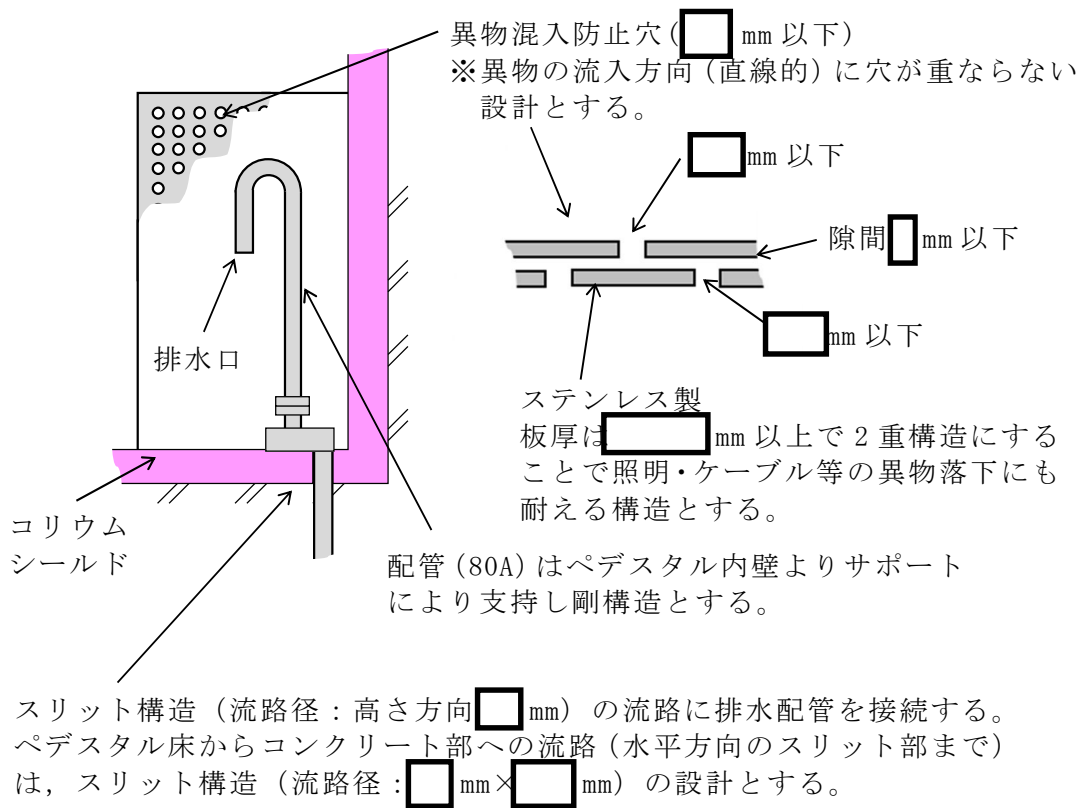


図 9-2 排水配管に対する異物対策概要

9.6 モックアップ試験における異物の考慮

9.5 項の内容を踏まえ想定した異物の種類を表 9-6 に示す。表 9-6 の保温材、塵土、塗料片、錆片、スラッジ及びその他異物は、ECCS ストレーナに関する『平成 20・02・12 原院第 5 号』の内規記載項目から抽出した。

表 9-6 に示すように、導入管に到達、通過する異物としてスラッジが想定されるため、モックアップ試験で想定する異物は下記のとおりとした。

- ・異物（スラッジ）の模擬材として Fe_3O_4 （四酸化三鉄）を使用する。
- ・濃度は、東海第二発電所の調査結果から最大値を考慮し保守的に ppm で設定する。
- ・異物（スラッジ）は、保守的に全量がスリットを通過するよう投入する。

表 9-6 モックアップで想定する異物の種類

想定異物	ペDESTAL内への流入		導入管・スリットへの流入	
ケーブル	○	ペDESTAL内での落下	×	床に沈降*2
照明	○	ペDESTAL内での落下	×	床に沈降*2
保温材	×	ペDESTAL内にはない*1	—	(評価不要)
塵土	×	ペDESTAL内にはない*1	—	(評価不要)
塗装片	○	流入、あるいは、ペDESTAL内に存在	×	床に沈降*2
錆片	○		×	床に沈降*2
スラッジ	○		○	大部分は床に沈降*2

- 注記 ○ : 流入すると想定したもの。
 × : 流入しないと想定したもの。
 *1 : 外部からの通常時流入については、作業後清掃等を実施することでほとんどないと想定。
 また、事故後早期に流入経路の弁を閉とすることで流入を制限することから事故時の流入は無いものと想定。
 *2 : 導入管 (80A) の周りには導入管カバー (mm の穴ダブル構造) を設置していることから、大きな異物は近接・流入できない構造となっている。
 導入管の排水口を水位 1 m の中間位置に設置するため、床や水面の異物が排水口に流入するとは考え難い。

9.7 試験結果

試験結果の一例を図 9-3 に示す。図 9-3 は床ドレン排水系経路のみを考慮した場合であるが、判定基準である 2.7 時間以内に水位 1 m まで排水できない結果となった。このため、排水経路全体で支配的な圧損発生部位を特定し、特定部位を改善し、全体圧損を低減することとした。

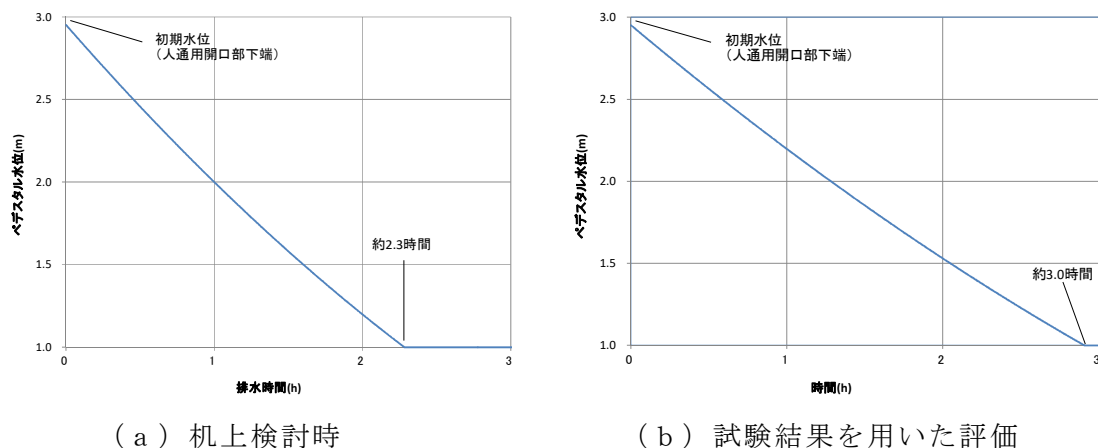


図 9-3 実機排水時間評価結果

9.8 試験結果を踏まえた改善

流動性の向上を図るため導入管とスリット接続部の形状をレデューサ形状に変更し、導入管のベント穴形状や位置を見直すことで流速及び抵抗の低減を図ることとした。

(図 9-4)

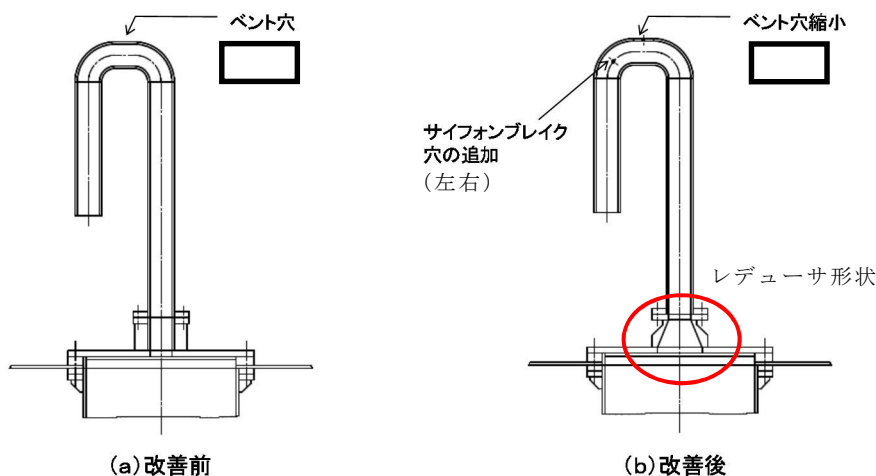


図 9-4 導入管の接続部及びベント穴の改善

9.9 実機排水評価

実施した試験結果を踏まえ、流路等の改善を反映した試験を実施し、試験結果を基にした実機体系における排水時間を評価した。評価においては、以下を考慮している。

- ・排水評価は人通用開口部下端から水位 1 m までの水量（必要排水量）とする。また、設備対策より配置されるコリウムシールド等の構造物については、評価上その体積を除外することで必要排水量を増やし、保守的な評価とする。
- ・排水配管はドライウェル気相部に接続され圧力差はないため、排水量を評価する上でドライウェル及びサプレッション・チェンバ内圧は考慮しない。
- ・導入管及びスリット部の圧損係数は、モックアップ試験により確認された値を用いる。モックアップ試験により確認された圧損係数値は、 $3.0 \times 10^{-3} \text{ m}/(\text{m}^3/\text{h})^2$ である。
- ・スリット部下流側の排水配管については、実配管ルートを考慮した机上評価により算出した圧損係数を用いる。配管の長さ、内径、エルボや弁等に相当する長さ等考慮し、下記式によりある排水流量を想定した場合の排水流路の圧力損失を算出する。本評価では、まず任意の流量（ $22 \text{ m}^3/\text{h}$ ：ボトムドレン L O C A 時の平均必要排水流量）の場合の圧力損失（1.04 m）を算出し、圧損係数（K）を求めた。

圧力損失計算式（出典：日本機械学会編，機械工学便覧）

$$H = \lambda \times (L/D) \times (v^2/2g) + \Sigma \lambda \times (L'/D) \times (v^2/2g) = K \times Q^2 \quad (9.1)$$

H：配管圧損 [m]，L：配管長さ [m]，D：配管内径 [m]，

L'：エルボや弁等に相当する長さ [m]，v：流速 [m/s]，

g：重力加速度 [m/s²]，λ：管摩擦係数 [-]，K：圧損係数 [-]，

Q：流量 [m³/h]

表 9-7 圧力損失計算要素

	単位	スリット下流配管
配管内径：D	m	
流量* ¹	m ³ /h	22
流速	m/s	
管摩擦係数：λ	—	
配管長	m	
配管 L/D	—	
90° ショートエルボ* ² (L' /D=□)	個	
90° ロングエルボ (L' /D=□)	個	
弁 (L' /D=□)	個	
ティー分岐 (直流) (L' /D=□)	個	
ティー分岐 (分流) (L' /D=□)	個	
管入口 (λ・(L' /D)=□)	個	
開放端 (λ・(L' /D)=□)	個	

注記 *1：必要排水量約 59 m³を約 2.7 時間で排出する場合の流量 22 m³/h とした場合の例を記載。

*2：CRANE 社「FLOW OF FLUIDS THROUGH VALVES, FITTINGS, AND PIPE Technical Paper No. 410, 1988」

上表を基に、スリット下流配管の圧力損失を計算した結果を以下に示す。

$$H = \square$$

$$\frac{m}{h}$$

$$K = \square$$

導入管及びスリット部とスリット部下流側の排水配管それぞれで求めた圧損係数を加えた流路全体の圧損係数を以下に示す。

$$K = \square \text{ m}/(\text{m}^3/\text{h})^2$$

圧力損失はペDESTAL水位と排水口の水頭差に等しいことから、排水開始する初期水位時の排水口との水頭差及び圧損係数 (K) を基に初期排水流量を算出し、初期排水流量である時間ステップ幅だけ排水された場合の水位及び当該水位での排水流量を算出し、これを繰り返すことによって水位 1 m までの排出時間を算出している。

評価結果を図 9-5 に示す。床ドレン流路からの排水により、判定基準である 2.7 時間以内にペDESTAL水位 1 m までの排水が可能であることを確認した。

また、床ドレンに加え機器ドレンも考慮した場合の評価結果は、図 9-6 のとおりであり、排水時間は約 1.5 時間となる。

なお、排水時間の判定基準は想定事象を保守的に組合せて設定していること、必要排水量等についても保守的な条件で評価を行っていることから、実態としては十分な時間余裕がある。

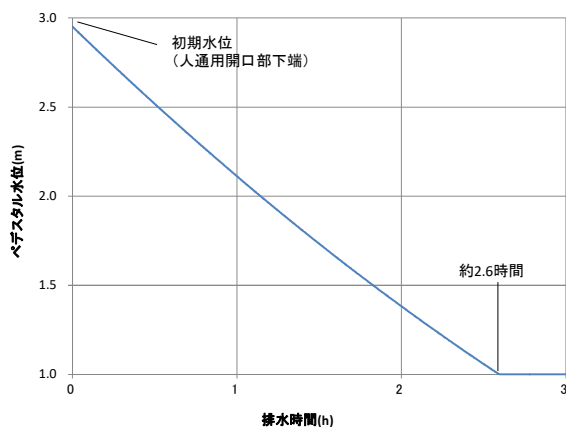


図 9-5 実機排水時間評価結果

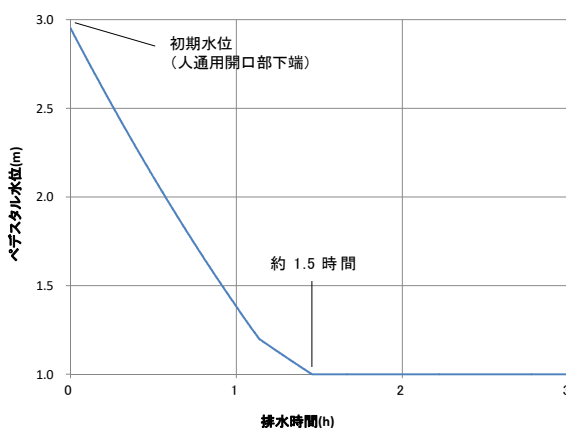


図 9-6 実機排水時間評価結果（床ドレン及び機器ドレン流路を考慮した場合）

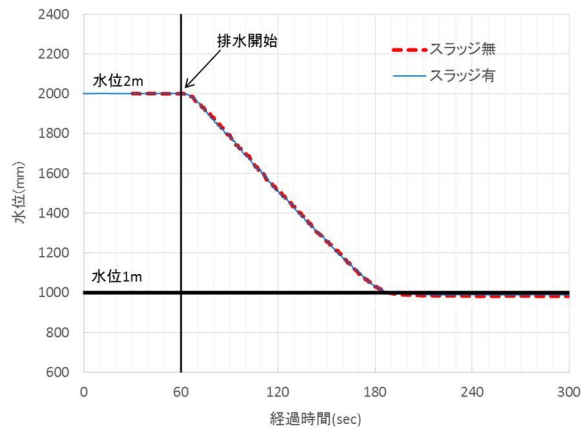
9.10 スラッジ模擬試験

9.6 項で検討した想定する異物であるスラッジ模擬材（ Fe_3O_4 ）を投入した試験を実施した。

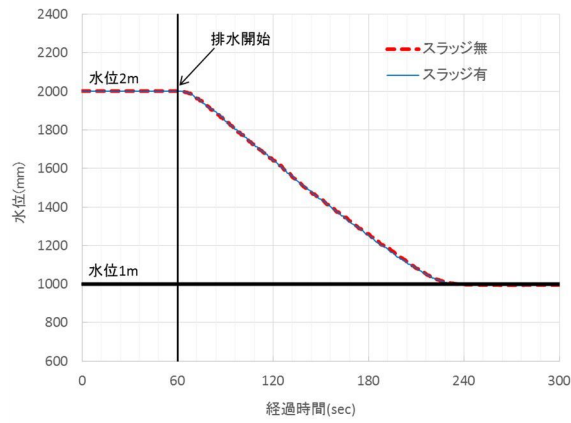
スラッジ模擬試験の結果を図 9-7 に示す。

区間①及び区間②から排出した場合共にスラッジ有無で排出時間の相違はなく、圧損への影響がないことを確認した。

スラッジ模擬試験におけるスラッジの流動状況を表 9-8 及び表 9-9 に示す。



(a) 区間①の試験結果



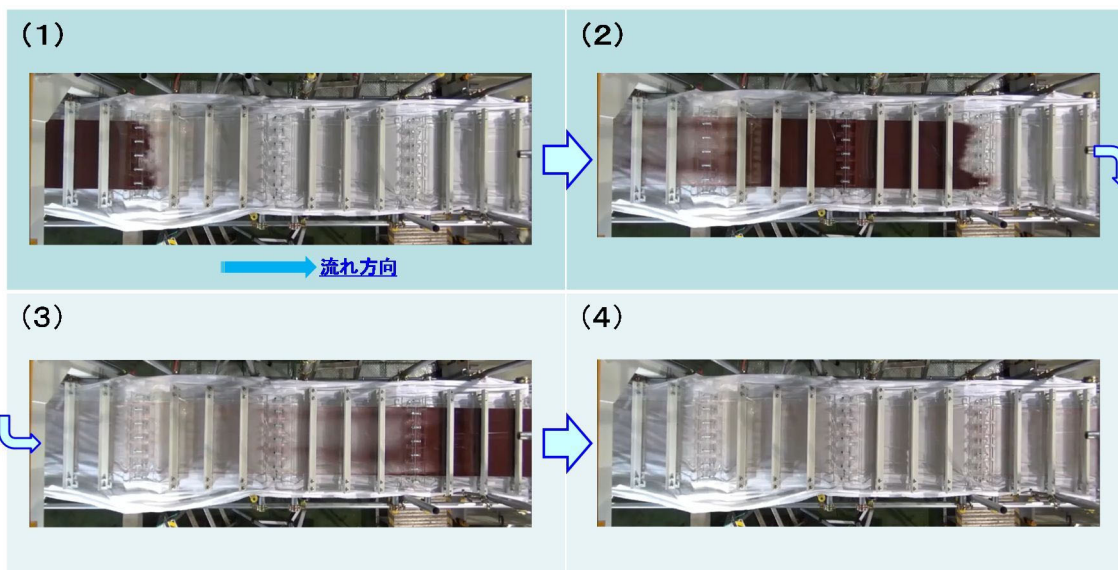
(b) 区間②から排出時の試験結果

図 9-7 スラッジ模擬試験結果

表 9-8 スラッジ模擬試験のスラッジ流動状況

	排水前	排水中	排水後
導入管部			
垂直スリット部			

表 9-9 スラッジ模擬試験のスラッジ流動状況（水平スリットを真上から見た状態）



9.11 導入管カバー影響試験

落下物に対する導入管保護，導入管への異物混入防止として設置する導入管カバーの圧損への影響を確認するため，導入管カバーを設置した試験を実施した。

試験用の導入管カバーは，流動状況を確認可能なようにスリットと同じアクリル製（図 9-8）とし，図 9-9 に示す位置に設置した。



図 9-8 試験用導入管カバー

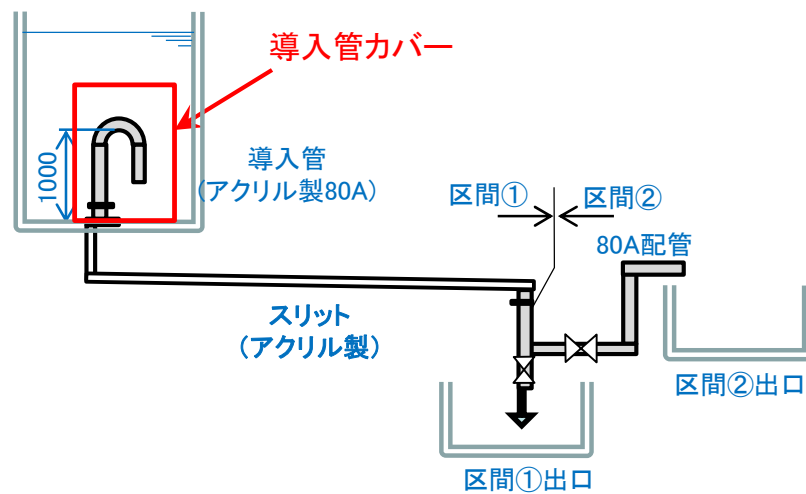


図 9-9 導入管カバー設置入位置

導入管カバーを設置した場合及び設置しない場合の試験結果を図 9-10 に示す。

図 9-10 に示すように導入管カバーの有無で排出時間の相違はなく，圧損への影響がないことを確認した。

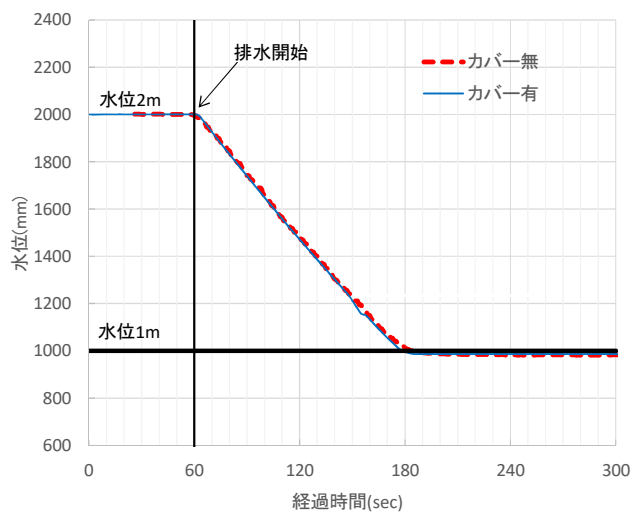


図 9-10 導入管カバー試験の結果

9.12 まとめ

採用実績，圧損評価実績のないスリット部の流動状況，圧損係数を把握し，実機排水評価のため，スリットモックアップ試験を実施した。

試験の結果，ボトムドレンLOCA時において，ペDESTAL内が満水（人通口開口部下端まで）になった際，RPV破損までの間（約2.7時間）に床ドレン流路からの排水によりペDESTAL水位1 mまでの排水が可能なことを確認した。

事故が発生し炉心が損傷した場合，格納容器下部注水配管から水位1 mを超過する（1.05 m）まで注水を実施し，その後排水することにより，RPV破損時に確実に水位1 mを確保する運用としている。その際に5 cm分の排水に要する時間を約5分としていたが，試験結果を踏まえ約6分と設定した。当運用に要する時間は約30分（注水開始操作に要する時間約17分，水位10 cm分の注水に要する時間約3分，注水停止操作に要する時間約4分及び5 cm分の排水に要する時間約6分）と想定され，炉心損傷後のペDESTAL注水開始からRPV破損までの約1.8時間（事象進展の早い大破断LOCA時の例）の間に余裕をもって実施可能であることを確認した。

また，スラッジ及び導入管カバーによる圧損への影響を確認する試験を実施し，スラッジ及び導入管カバーは圧損への影響がないことを確認した。