

島根原子力発電所 2号炉 運転中の原子炉における 格納容器破損防止対策の有効性評価について (コメント回答)

令和2年4月
中国電力株式会社

審査会合での指摘事項に対する回答（1/4）

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
146	令和元年12月10日	見直し後のサプレッション・プールの注水制限値に対する不確かさ、裕度については、操作遅れや計器誤差及びベント時の体積膨張との関係を整理した上で、制限値の妥当性を説明すること。	5～7
170	令和元年12月10日 (耐震設計の基本方針)	格納容器スプレイを止めた後のサプレッション・プール水位上昇率について、水位計の計器誤差との関係も含めて説明すること。	
147	令和元年12月10日	ベントが遅れた場合のCs137の放出量への影響を説明すること。	8
148	令和元年12月10日	サプレッション・プールの水位制限の見直しに伴いベント開始時間が73時間から32時間に早まったが、手順全般の成立性への影響は無いことを説明すること。	9, 10
149	令和元年12月10日	エアロゾル粒子に対するスクラビング効果に関する実験について、実験条件等の詳細を整理して説明すること。	11
150	令和元年12月10日	損傷した炉心の最外周の温度について、シュラウドへの影響の観点から説明すること。	12

No.は「島根原子力発電所2号炉審査会合における指摘事項に対する回答一覧表（有効性評価：格納容器破損防止）」の番号を記載

審査会合での指摘事項に対する回答（2/4）

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
152	令和元年12月10日	ベント実施時に可搬型重大事故等対処設備の給油作業を実施しない場合について、その理由を整理して説明すること。	13, 14
153	令和元年12月10日	自主対策設備とした非常用C/C切替盤について、通常運転時の運用及び悪影響防止対策を説明すること。	15
154	令和元年12月10日	新たに設置されるSA所内電源設備のL/C及びC/Cの水密区画化について説明すること。	16, 17
155	令和2年1月23日	MCCIの解析結果について、コリウムシールドの構造範囲を踏まえ浸食量を整理して説明すること。	18
156	令和2年1月23日	格納容器代替スプレイ（可搬型）、原子炉代替補機冷却（可搬型）及び可搬式窒素供給装置の対応手順について、連続した訓練を実施し、その結果を示す等、作業の成立性を示すこと。その際、アクセスルート、交代要員、個別の訓練との差異等も合わせて説明すること。	19～23
157	令和2年1月23日	原子炉水位低（レベル1）到達後の時間遅れにおける原子炉水位の状態及び水素発生量について、急速減圧に使用する自動減圧機能付き逃がし安全弁を2個及び6個とした場合における水素発生ピーク水位との関係を整理した上で、原子炉減圧のタイミング及び方法の選定根拠並びにそれらを踏まえた評価を説明すること。	24, 25

No.は「島根原子力発電所2号炉審査会合における指摘事項に対する回答一覧表（有効性評価：格納容器破損防止）」の番号を記載

審査会合での指摘事項に対する回答（3/4）

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
158	令和2年1月23日	DCHに対する原子炉減圧の実施時期について、時間余裕も考慮した上で原子炉圧力容器破損前のいつまでに減圧すればいいのか、整理して説明すること。	26
159	令和2年1月23日	解析で用いた原子炉内の環境条件と原子炉水位計（燃料域）の計測条件を踏まえ、実運用における原子炉水位の確認手順を詳細に説明すること。	27
160	令和2年1月23日	急速減圧に使用する自動減圧機能付き逃がし安全弁2弁について、サブレーション・プールへの熱影響の観点を踏まえ、選定の考え方を示すこと。	28
161	令和2年1月23日	逃がし安全弁のシリンダの改良について、試験に係る方針だけではなく、今後の島根2号機における対応スケジュールを示すこと。	29
162	令和2年1月23日	ペDESTALへの初期水張りは、2.4mで停止するとしているが、ドライウェルサンプからの逆流による水位上昇及び溶融炉心落下に係る水位上昇の影響を踏まえてFCIに対する水位の適切性を定量的に説明すること。	30, 31
163	令和2年1月23日	格納容器代替スプレイ（可搬型）によるペDESTALへの初期水張りについて、スプレイ注水した量がそのまま全て入ると評価しているが、原子炉格納容器内で滞留する箇所はないのか、ペDESTALまでの流路の確実性について、ペDESTAL周囲の堰等の構造の詳細図と原子炉格納容器内及びペDESTAL代替注水系の流路、エレベーションを示して説明すること。	32

No.は「島根原子力発電所2号炉審査会合における指摘事項に対する回答一覧表（有効性評価：格納容器破損防止）」の番号を記載

審査会合での指摘事項に対する回答（4/4）

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
164	令和2年1月23日	ペDESTALへの初期水張りから残留熱代替除去系への切替え，サプレッション・チェンバへの流出までの一連の操作におけるペDESTAL水位，ドライウェル水位の2つの水位トレンドを示し，残留熱代替除去系への切替え時期等を説明すること。	33
165	令和2年1月23日	ペDESTAL注水の停止判断に用いるドライウェル水位計について，故障した場合の影響も踏まえ，設計の考え方を説明すること。	34
166	令和2年1月23日	コリウムシールドの材料と溶融炉心の浸食試験に用いた材料データとの関係を整理し，浸食試験の適用性について説明すること。	35
167	令和2年1月23日	圧力容器破損後のペDESTALへの注水で崩壊熱相当に余裕を見た注水量の流量調整方法について，詳細を説明すること。	36～39
168	令和2年2月6日	格納容器内酸素濃度計について，既設（CAMS）と新設SA設備とあるが，SAの水蒸気環境下において適切に測定できるのか，サンプリング方式の冷却条件等も踏まえて，それぞれの酸素濃度計（磁気力式と熱磁気風式）の構造，原理の相違，特徴等について整理して説明すること。	40～44
169	令和2年2月6日	BWRの場合には，酸素，水素，窒素，水蒸気の4元系の方がより正確な評価ができるため，その評価結果が現在の評価と同程度であることを確認すること。	45

No.は「島根原子力発電所2号炉審査会合における指摘事項に対する回答一覧表（有効性評価：格納容器破損防止）」の番号を記載

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.146,170) (1/3)

- 指摘事項 (第809回審査会合 (令和元年12月10日) 格納容器過圧・過温破損, 耐震設計の基本方針)
 - 見直し後のサプレッション・プールの注水制限値に対する不確かさ, 裕度については, 操作遅れや計器誤差及びベント時の体積膨張との関係を整理した上で, 制限値の妥当性を説明すること。
 - 格納容器スプレイを止めた後のサプレッション・プール水位上昇率について, 水位計の計器誤差との関係も含めて説明すること。
- 回答
 - 島根 2 号炉では, サプレッション・プール水位が通常水位 + 約1.3m (サプレッション・チェンバ底面から4.9m) 到達時に格納容器代替スプレイを停止し, 格納容器ベントを実施する手順としている。
 - 格納容器ベント実施判断時におけるサプレッション・プール水位について, 不確かさを考慮した場合の影響を確認した。

<サプレッション・プール水位が変動する要因>

① 計器誤差による影響

サプレッション・プール水位 (SA) の計器誤差が±約0.05mであることから, 格納容器ベント実施判断時の実際のサプレッション・プール水位は, 約4.85m~4.95mとなる。

② 格納容器代替スプレイ停止操作による影響

格納容器代替スプレイ停止操作判断の時間遅れ及び操作実施後のスプレイ弁全閉までの間, 格納容器代替スプレイによるスプレイ量が増加する可能性がある。

③ 格納容器ベント実施操作による影響

格納容器代替スプレイ停止後に中央制御室にて遠隔で格納容器ベント操作を実施することとしており, 仮に遠隔操作に失敗した場合には現場にて格納容器ベント実施操作をすることとしている。格納容器代替スプレイ停止後も, 原子炉注水を継続することから, 中央制御室における遠隔操作失敗の時間及び現場操作 (移動時間含む) の時間分, 原子炉注水による注水量が増加する可能性がある。

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.146,170) (2/3)

■ 回答 (続き)

<サプレッション・プール水位不確かさ評価の結果>

- サプレッション・プール水位が、耐震信頼性を確保している水位 (約5.05m) を上回らないことを確認するため、不確かさを考慮した場合のサプレッション・プール水位の上昇量について評価を行った。
- 評価の結果、不確かさを考慮してもサプレッション・プール水位の最大値は約5.01mであり、約5.05mを下回ることを確認した。

<評価プロセス>

① 計器誤差による影響

格納容器ベント実施判断時のサプレッション・プール水位は、**計器誤差最大値を考慮して4.95mとする。**

② 格納容器代替スプレイ停止操作による影響

格納容器代替スプレイ停止操作の不確かさによる**追加注水量は20m³とする。**

(計算) 格納容器スプレイ弁が全閉するまでの時間は約1分であることから、停止操作等の不確かさを考慮して追加で10分間スプレイされると仮定する。格納容器代替スプレイの流量が120m³/hであることから、追加注水量は20m³ (120m³/h×10/60h)。

③ 格納容器ベント実施操作による影響

格納容器ベント実施操作の不確かさによる**追加注水量は40m³とする。**

(計算) 格納容器代替スプレイ停止操作：10分、格納容器ベント遠隔操作失敗の時間：10分及び格納容器ベント現場操作時間：90分を考慮して、追加で2時間原子炉へ注水されると仮定する。格納容器過圧・過温破損 (残留熱代替除去系を使用しない場合) では、事象発生から約32時間後に格納容器ベントを実施することとしており、約30時間後の崩壊熱相当の注水量は20m³/hであることから、追加注水量は40m³/h (20m³/h×2h)。



追加の注水量は合計で60m³であり、サプレッション・プール水位4.95mからの水位上昇量に換算すると+約0.06mとなることから、以上の不確かさを考慮した場合のサプレッション・プール水位は、約5.01mとなる。

■ 回答 (続き)

＜有効性評価結果のサプレッション・プール水位＞

- 図146-1に、格納容器過圧・過温破損（残留熱代替除去系を使用しない場合）において、格納容器圧力 2 Pd (853kPa[gage]) 到達時に格納容器ベントを実施した場合のサプレッション・プール水位の推移を示す。
- 図146-1は、格納容器ベント実施後のベントクリア（ダウンコマ部からサプレッション・チェンバへの水の移行）及びサプレッション・チェンバ圧力の低下による体積膨張によるサプレッション・プール水位上昇を考慮した結果となっており、サプレッション・プール水位は最大で約5.03mとなる。

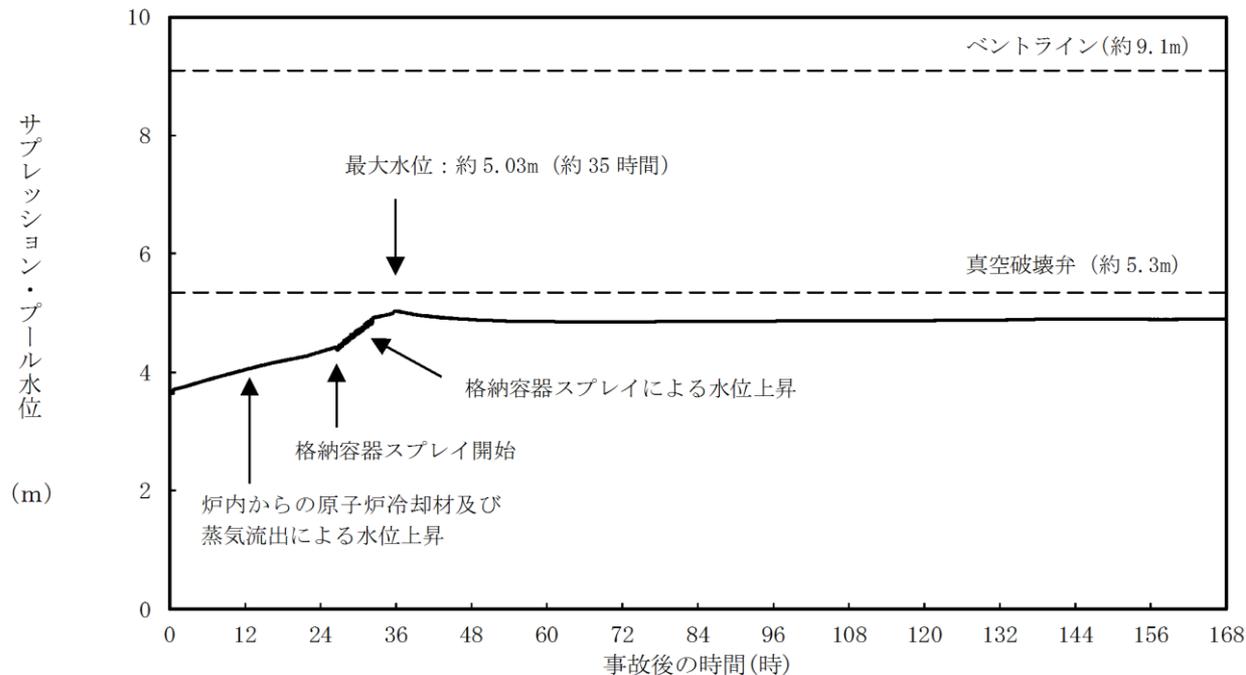


図146-1 格納容器圧力の推移

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.147)

- 指摘事項 (第809回審査会合 (令和元年12月10日) 格納容器過圧・過温破損) ベントが遅れた場合のCs137の放出量への影響を説明すること。

■ 回答

- 大破断LOCA時に、格納容器ベント実施判断基準 (S/P水位通常水位+約1.3m) に達し、格納容器スプレイが停止した後、ベント操作が遅延した場合、格納容器から漏えいし原子炉建物から大気へ放出されるCsが増加する。
- 図147-1のとおり、格納容器スプレイ開始後は、スプレイの効果によりCsの存在割合が低く抑えられているが、ベント遅延期間中はスプレイの実施がないことを考慮し、スプレイ開始直前における原子炉建物から大気へのCs放出率を用い、これが格納容器圧力 2 Pd到達までの期間続くものとしてCs放出量の増加量を評価した。
- Cs放出量の増加量を評価した結果、影響は小さいことを確認した。

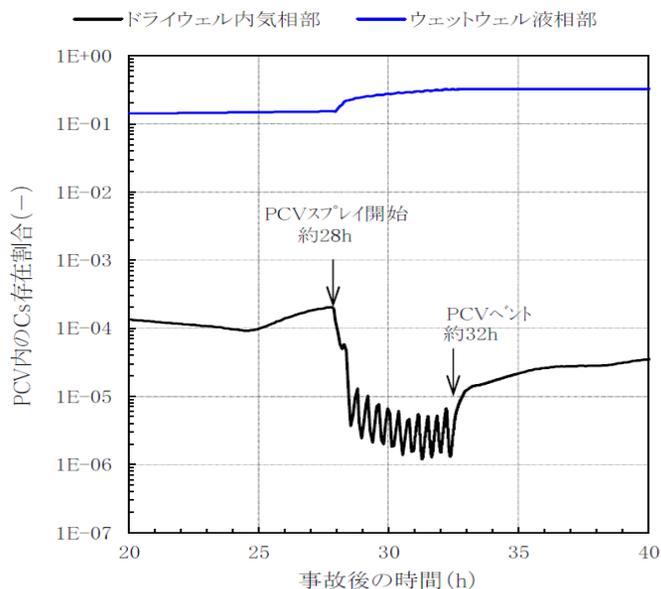


表147-1 影響評価結果
(ドライウエルのラインを経由してベントする場合)

	Cs-137放出量 (TBq)
遅延による建物漏えいの増加量	3.9×10^{-2}
遅延なし (7日間積算)	4.71
合計	4.75

図147-1 ドライウエル内気相部のCs存在割合

審査会合での指摘事項に対する回答（No.148）（1/2）

- 指摘事項（第809回審査会合（令和元年12月10日）格納容器過圧・過温破損）
サブプレッション・プールの水位制限の見直しに伴いバント開始時間が73時間から32時間に早まったが、手順全般の成立性への影響は無いことを説明すること。

■ 回答

- 表148-1に示すとおり、格納容器バント基準見直しにより、格納容器代替スプレイ開始基準到達（1.5Pd到達）（格納容器圧力640kPa[gage]）から格納容器バント開始までの時間が約45時間から約5時間となった。

表148-1 格納容器バント基準見直し前後の1.5Pd到達からバント開始までの時間比較

項目	バント基準	1.5Pd到達から バント開始までの時間
変更前	外部水源総注水量 4,000m ³ 到達	約45時間
変更後	S/P水位通常水位 + 約1.3m到達	約5時間

- 「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）（残留熱代替除去系を使用しない場合）」の有効性評価において、1.5Pd到達（事象発生後約27時間後）から格納容器バント開始までの作業の成立性への影響を確認した結果、表148-2に示すとおり、最も時間を要する作業は「水素濃度測定装置準備」及び「可搬式窒素供給装置準備」（解析上考慮しない操作）の1時間40分であり、それぞれの作業は異なる復旧班要員が行い、また、本作業を行う復旧班要員はその他の作業を実施しないことから、1.5Pd到達からバント開始までに必要な作業の成立性に影響は無い。

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.148) (2/2)

■ 回答 (つづき)

表148-2 格納容器ベント基準見直し前後のタイムチャート比較

項目	ベント基準	タイムチャート																				
		作業項目				運転員		復旧班要員		経過時間												
変更前	外部水源総注水量 4,000m ³ 到達	事象発生からの経過時間				28		29		30		31		72			73		74		75	
		事象進展				約28時間		約73時間														
		格納容器代替スプレイ				A		—		640kPa~588kPaで間欠スプレイ												
		格納容器ベント準備 第2弁 (フィルタ装置側) 開 (中央)				A		—		10分												
		格納容器ベント準備 第2弁 (フィルタ装置側) 開 (現場)				B, C		—		1時間20分												
		水素濃度測定装置準備				—		o, p		1時間40分												
		可搬式窒素供給装置準備				—		e, f		1時間40分												
		中央制御室待避室加圧操作				A		—		5分												
		格納容器ベント操作 第1弁 (W/W側) 開 (中央)				A		—		10分												
		格納容器ベント操作 第1弁 (W/W側) 開 (現場)				B, C		—		1時間30分												
変更後	S/P水位通常水位 +約1.3m到達	事象発生からの経過時間				27		28		29		30		31		32		33		34		
		事象進展				約27時間		約32時間														
		格納容器代替スプレイ				A		—		640kPa~588kPaで間欠スプレイ												
		格納容器ベント準備 第2弁 (フィルタ装置側) 開 (中央)				A		—		10分												
		格納容器ベント準備 第2弁 (フィルタ装置側) 開 (現場)				B, C		—		1時間20分												
		水素濃度測定装置準備				—		o, p		1時間40分												
		可搬式窒素供給装置準備				—		e, f		1時間40分												
		中央制御室待避室加圧操作				A		—		5分												
		格納容器ベント操作 第1弁 (W/W側) 開 (中央)				A		—		10分												
		格納容器ベント操作 第1弁 (W/W側) 開 (現場)				B, C		—		1時間30分												

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.149)

- 指摘事項（第809回審査会合（令和元年12月10日）格納容器過圧・過温破損）
エアロゾル粒子に対するスクラビング効果に関する実験について、実験条件等の詳細を整理して説明すること。

■ 回答

- エアロゾル粒子に対するスクラビング効果に関する実験では、事故時に放出されるよう素の化学形態がほぼCsIであることから、主にCsIが試料として用いられた。CsIを用いた実験では、沸騰時と未飽和時においてスクラビングによる除去効果は同程度であることが確認された。
- 一方で、有効性評価におけるMAAP解析では、沸騰時と未飽和時のスクラビングによる除去効果（DF）を同一とはしておらず、スクラビング計算プログラム（SUPRAコード）により計算されたDF値のデータテーブルに、プール水深、エアロゾルの粒子径、キャリアガス中の水蒸気割合、格納容器圧力及びサブプレッション・プールのサブクール度の条件を補間して求めている。
- MAAP解析における沸騰時の除去効果への影響を確認するため、サブプレッション・プール水のサブクール度をパラメータとした評価を実施した。表149-1に評価条件を、表149-2に評価結果を示す。表149-2に示すとおり、沸騰時の除去効果は未飽和時に比べて小さい値が用いられることを確認した。

表149-1 MAAP評価条件

項目	評価条件※	選定理由
蒸気割合	<input type="text"/> %	ベント実施前のD/Wにおける蒸気割合相当
格納容器圧力	<input type="text"/> kPa[gage]	ベント実施前の格納容器圧力を考慮して設定（設定上限値）
サブプレッション・プール水深	<input type="text"/> m	実機では水深 3 m以上のため、設定上限値を採用
サブクール度	<input type="text"/> °C	未飽和状態として設定(設定上限値)
	<input type="text"/> °C	飽和状態として設定(設定下限値)
エアロゾルの粒子径（半径）	<input type="text"/> μm	スクラビング前の最も割合が多い粒子径
	<input type="text"/> μm	スクラビング後の最も割合が多い粒子径

※ SUPRAコードにより計算されたデータテーブルの設定値を採用

表149-2 MAAP評価結果

粒径（半径）	DF	
	未飽和状態（サブクール度 <input type="text"/> °C）	飽和状態（サブクール度 <input type="text"/> °C）
<input type="text"/> μm	<input type="text"/>	
<input type="text"/> μm		

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.150)

- 指摘事項（第809回審査会合（令和元年12月10日）格納容器過圧・過温破損）
損傷した炉心の最外周の温度について、シュラウドへの影響の観点から説明すること。

■ 回答

- 図150-1に、格納容器過圧・過温破損（残留熱代替除去系を使用する場合）の炉心の損傷状態図を示す。炉心最外周の下から4，5ノードにおいて“流路が閉塞した状態”となっている。
- 図150-2に、炉心最外周の下から4，5ノードの被覆管温度及び同じ高さ位置にあるシュラウド壁面温度の推移を示す。被覆管温度は約2,000℃まで上昇するが、事象発生30分後の原子炉注水の実施によりシュラウドは冷却されるため、シュラウド壁面温度は低い温度で維持される。



損傷状態のモデル

- 0 : 空洞
- 1 : 燃料が自立した状態
- 2 : 燃料が崩壊した状態
- 3 : 流路が減少した状態
- 4 : 流路が閉塞した状態
- 5 : 溶融プール状態

図150-1 炉心の損傷状態

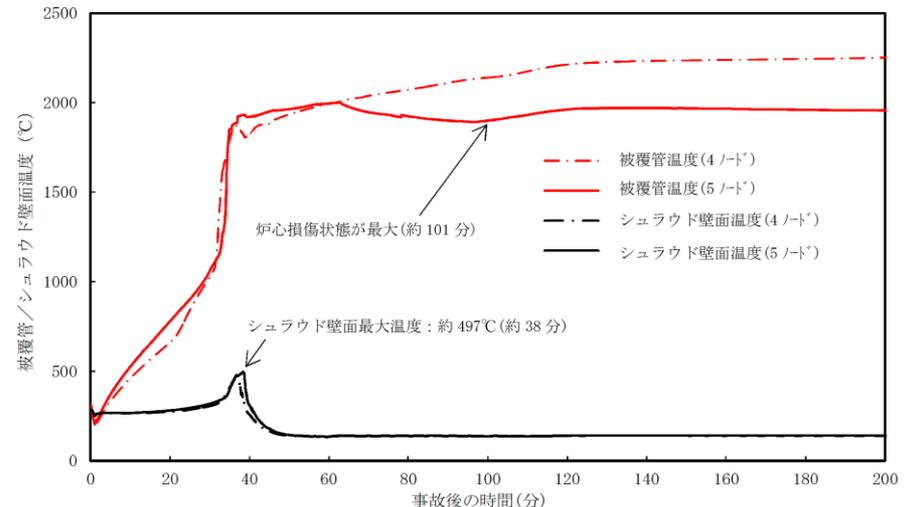


図150-2 被覆管及び壁面温度の推移

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.152) (1/2)

- 指摘事項 (第809回審査会合 (令和元年12月10日) 格納容器過圧・過温破損)
ベント実施時に可搬型重大事故等対処設備の給油作業を実施しない場合について、その理由を整理して説明すること。

■ 回答

- 格納容器過圧・過温破損 (残留熱代替除去系を使用しない場合) において、ベント実施時の一時待避に伴い中断する作業項目は表152-1のとおりであり、有効性評価において給油作業の中断により影響を受ける可搬型重大事故等対処設備としては、低圧原子炉代替注水槽への補給に使用する大量送水車がある。
- 大量送水車による低圧原子炉代替注水槽への補給については、一時待避までに低圧原子炉代替注水槽に水張りを実施し、満水まで補給した後、補給を停止する運用としている。一時待避中も低圧原子炉代替注水系 (常設) による原子炉注水を継続しているため、低圧原子炉代替注水槽の水位は低下するが、保有水量約740m³に対して補給停止中の水位低下量は約230m³であり、水源は枯渇することなく原子炉注水を維持できるため、有効性評価に与える影響はないことを確認している。

表152-1 給油作業中断に伴う雰囲気圧力・温度による静的負荷 (格納容器過圧・過温破損) 作業への影響について (解析上考慮する作業)

雰囲気圧力・温度による静的負荷 (格納容器過圧・過温破損) (残留熱代替除去系を使用しない場合) における必要要員と作業項目 (一時待避中に運転継続する設備に関連する作業項目のみ抜粋)				影響		
操作項目	実施箇所・必要人員数			操作の内容	影響	影響の有無に対する評価
	運転員 (中央制御室)	運転員 (現場)	復旧班要員			
常設代替交流電源設備起動操作	(1人) A	-	-	・常設代替交流電源設備起動, 受電操作	無	ガスタービン発電機は燃料補給なしで7日間の運転が可能。
非常用ガス処理系 運転確認	(1人) A	-	-	・原子炉建物差圧監視 ・原子炉建物差圧調整	無	非常用ガス処理系の運転継続により、建物差圧は一定に維持される。
水素濃度及び酸素濃度監視設備の起動	(1人) A	-	-	・格納容器水素濃度 (S A) 及び格納容器酸素濃度 (S A) の監視	無	中央制御室待避室にて継続監視が可能。
中央制御室換気系 加圧運転操作	(1人) A	-	-	・中央制御室換気系 加圧運転操作	無	運転継続するが、待避中に実施する対応操作はない。
中央制御室待避室準備	(1人) A	-	-	・中央制御室待避室加圧操作	-	中央制御室待避前に加圧操作完了。
中央制御室待避	(5名) 当直長, 当直副長, 運転員A,D,E	-	-	・中央制御室待避室内への待避	無	中央制御室待避室内への待避。
低圧原子炉代替注水系 (常設) 注水操作	(1人) A	-	-	・低圧原子炉代替注水系 (常設) 注水弁操作	無	中央制御室待避前に崩壊熱相当の注水流量 (約20m ³ /h) に調整するため、待避中の調整は不要。
輪倉貯水槽 (西) から低圧原子炉代替注水槽への補給	-	-	(2人) a,b	・大量送水車による低圧原子炉代替注水槽への補給	無	一時待避前に低圧原子炉代替注水槽満水まで水張り後、大量送水車による補給を停止する。一時待避中の原子炉注水による水位低下 (約230m ³) を考慮しても水源は枯渇しない。(低圧原子炉代替注水槽の保有水量約740m ³)
格納容器代替スプレイ系 (可搬型) スプレイ操作	-	-	(2人) a,b	・格納容器代替スプレイ系 (可搬型) スプレイ弁操作 (現場)	-	一時待避前にスプレイ弁開し、以降の操作は不要。
	(1人) A	-	-	・格納容器代替スプレイ系 (可搬型) スプレイ弁操作	-	中央制御室待避前にスプレイ弁停止。
格納容器ベント準備操作	(1人) A	-	-	・格納容器ベント準備 (N G C 非常用ガス処理入口隔離弁操作)	-	待避前にベント準備操作完了。
格納容器ベント操作	(1人) A	-	-	・格納容器ベント操作 (N G C N 2 トラス出口隔離弁操作)	無	ベント操作。

「-」は一時待避前に完了する作業のため、評価対象外としている

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.152) (2/2)

■ 回答 (つづき)

- 表152-2のとおり、有効性評価上考慮しない作業のうち給油作業中断により影響を受ける可能性がある作業項目として、原子炉補機代替冷却系に使用する大型送水ポンプ車の運転がある。
- 大型送水ポンプ車が停止することにより、原子炉補機代替冷却系から冷却水を供給している燃料プール冷却系による燃料プール冷却に影響があるため、一時待避中でも大型送水ポンプ車が停止しないよう、燃料補給を実施することとする。
 - 大型送水ポンプ車の連続運転可能時間は、最大燃料消費量の運転状態にて約3時間であるが、大型送水ポンプ車の容量は、保守性を有した評価による原子炉停止8時間経過後の崩壊熱を除去するために必要な流量が780m³であるため、ベント実施時には大型送水ポンプ車の回転数を抑えてポンプ流量を絞り、連続運転可能時間を延長する。これにより、約8時間の連続運転が可能となる。
 - ベント実施1時間前には、大型送水ポンプ車に給油し、給油完了後緊急時対策所に一時待避することとしている。
 - 燃料補給時の被ばく線量としては、緊急時対策所から徒歩で移動(往復)して給油作業を実施した場合を想定すると、約1時間かかり、被ばく線量としては、約15mSvとなる。(ベント実施7時間後)
 - なお、給油作業を実施する要員は、一時待避の際にはタンクローリによって緊急時対策所へ移動し、一時待避中の給油作業時の往復もタンクローリによる移動となるため、実際の作業時間は更に短縮され、被ばく線量は約15mSvよりも小さくなる。

表152-2 給油作業中断に伴う雰囲気圧力・温度による静的負荷(格納容器過圧・過温破損)(残留熱除去系を使用しない場合)における必要要員と作業項目(一時待避中に運転継続する設備に関連する作業項目のみ抜粋)

操作項目	実施箇所・必要人員数			操作の内容	時間軸 (27-43)													影響	影響の有無に対する評価
	運転員 (中央制御室)	運転員 (現場)	復旧班要員		27	28	29	30	31	32	33	34	40	41	42	43			
原子炉ウエル代替注水系注水操作	-	-	(2人) a,b	・ 大量送水車による原子炉ウエルへの注水														無	事象発生後適宜実施する操作であり、一時待避中は実施する必要なし。
原子炉補機代替冷却系運転	-	-	(2人) c,d	・ 原子炉補機代替冷却系 運転														有	大型送水ポンプ車の停止に伴い原子炉補機代替冷却系の温度が上昇するため、関連する設備(格納容器内雰囲気計装、燃料プール冷却系)に影響がある。
格納容器内雰囲気計装による水素濃度及び酸素濃度監視	-	-	-	・ 格納容器内水素濃度及び酸素濃度の監視														無	事象初期より格納容器水素濃度(SA)及び格納容器酸素濃度(SA)により継続監視しているため、一時待避中は停止可能である。
格納容器ベント準備操作(現場操作)	-	(2人) D,E	-	・ 格納容器ベント準備(NGC非常用ガス処理入口隔離弁操作)														-	待避前にベント準備操作完了。
格納容器ベント操作(中央操作)	-	(2人) D,E	-	・ 格納容器ベント操作(NGC N2トラス出口隔離弁操作)														-	待避前に準備操作完了。
	-	-	(2人) o,p	・ 水素濃度測定装置準備														-	待避前に準備操作完了。
	-	-	(2人) e,f	・ 可搬式窒素供給装置準備														-	待避前に準備操作完了。
-	-	(2人) B,C	-	・ 緊急時対策所への待避														-	緊急時対策所への待避。
燃料プール冷却	(1人) A	-	-	・ 燃料プール冷却系再起動、運転														有	燃料プール水温が上昇し、燃料プール冷却ポンプの最高使用温度を超過するため、燃料プール冷却系の再起動が困難となる可能性がある。

「-」は一時待避前に完了する作業のため、評価対象外としている

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.153)

- 指摘事項（第809回審査会合（令和元年12月10日）格納容器過圧・過温破損）
自主対策設備とした非常用C/C切替盤について，通常運転時の運用及び悪影響防止対策を説明すること。
- 回答
 - 通常運転時は，SA用L/Cからの受電用遮断器(52C/SA)を開放することにより既設非常用所内電気設備との電気的分離を図っており，電気事故が他の区分へ波及することを防止している。
 - 制御回路には電氣的インターロックを使用し，SA用L/C側の受電遮断器(52C/SA)と既設非常用L/C側の受電遮断器(52C/C)が同時に投入されない設計としている。また，誤操作防止対策として手動で52C/Cを切操作しなければ52C/SAが投入できない設計としている。
 - 非常用コントロールセンタ切替盤は，既設非常用C/Cと同じ耐震Sクラスとしている。

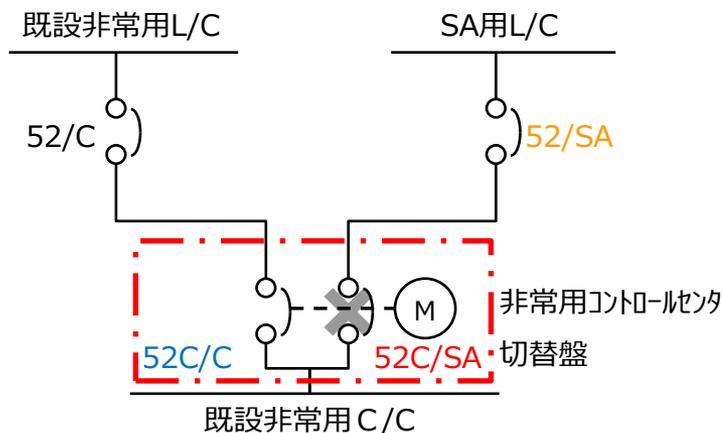


図153-1 非常用コントロールセンタ切替盤回路構成図
(通常運転時)

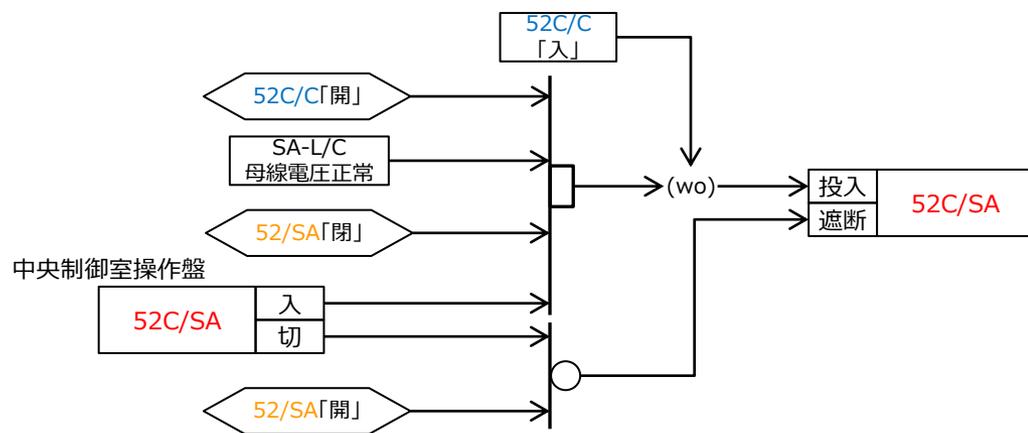


図153-2 非常用コントロールセンタ切替盤インターロックブロック線図
(SA用L/C側を操作する場合)

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.154) (1/2)

- 指摘事項 (第809回審査会合 (令和元年12月10日) 格納容器過圧・過温破損)
新たに設置されるSA所内電気設備のL/C及びC/Cの水密区画化について説明すること。
- 回答
 - SA所内電気設備のSA-L/C, SA1-C/Cは低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽地下1階, SA2-C/Cは原子炉建物付属棟3階のSA2-C/C室に設置している。
 - 以下のとおり各設備が, 重大事故等対処設備の内部溢水に対する防護方針に適合していることを確認している。

設置設備	SA-L/C, SA1-C/C	SA2-C/C
設置場所	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div> 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽地下1階(EL8,200)	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div> A-非常用電気室送排風機室 (原子炉建物付属棟3階(EL34,800))
溢水源	低圧原子炉代替注水系配管	空調換気設備冷却水系配管 消火系配管
地震起因による溢水	当該配管はSs機能維持設計で, 溢水源とならない。	当該配管はSs機能維持設計で, 溢水源とならない。
想定破損による溢水	当該配管は静水頭圧の配管であり, 想定破損による溢水源とならない。	当該配管からの溢水によりSA2-C/Cが機能喪失する場合においても, 対応する設計基準対象施設への溢水影響は無く, 安全機能は同時に喪失しない。また, 自主対策として鋼板により部屋化及び堰による溢水対策を実施している。
消火水の放水による溢水	固定式消火装置設置区画であり, 消火水の放水は無い。	固定式消火装置設置区画であり, 消火水の放水は無い。

審査会合での指摘事項に対する回答（No.154）（2/2）

（参考）

「共－8 重大事故等対処設備の内部溢水に対する防護方針について」で示している防護方針は以下のとおり。

【方針Ⅰ】

方針Ⅰへの適合について確認すべき対象は、“防止設備”に分類された設備であり、以下のような流れでその適合性を確認する。

- ①：各条文の防止設備が、溢水による影響でその安全機能を維持できるか
- ②：①にて維持できない場合は、同一の溢水により対応する設計基準対象施設の安全機能が同時に喪失していないか
- ③：②にて同時に喪失していた場合は、各種対応を実施する

【方針Ⅱ】

方針Ⅱへの適合について確認すべき対象は、“緩和設備”及び“防止でも緩和でもない設備”に分類された設備であり、以下のような流れでその適合性を確認する。

- ①：各条文の緩和設備又は防止でも緩和でもない設備が、溢水による影響でその安全機能を維持できるか
- ②：①にて維持できない場合は、修復性等を考慮したできる限りの頑健性を確保する

【方針Ⅲ】

方針Ⅲへの適合性については、以下のような流れでその適合性を確認する。

- ①：溢水による影響を考慮した上で、設計基準対象施設の機能に期待せず、重大事故等対処設備によって“未臨界移行”，“燃料冷却”，“格納容器除熱”及び“燃料プール注水”機能が維持できるか
- ②：①にて維持できない場合は、各種対応を実施する

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.155)

- 指摘事項 (第825回審査会合 (令和2年1月23日) MCCI)
MCCIの解析結果について、コリウムシールドの構造範囲を踏まえ浸食量を整理して説明すること。
- 回答
 - コリウムシールドの基本構造について、犠牲材とサンプル防護材を合わせてコリウムシールドと定義している。コリウムシールドのスリット部断面概略図を図155-1に示す。
 - 「犠牲材」については熱衝撃を吸収するためのもの (熱衝撃による割れを許容するもの) であることから、MAAPコードによる侵食量評価では、「サンプル防護材」のみを評価対象としており、MCCI伝熱モデルにおいて、サンプル防護材の厚さ部分に対してZrO₂の物性値を設定している。
 - 格納容器破損モード「溶融炉心・コンクリート相互作用」で想定される事故シーケンスにおける、コンクリート侵食量の解析結果においては、落下した溶融炉心とサンプル防護材間の接触面温度はジルコニア耐熱材の侵食が開始するものと設定した温度 (2,100℃) 未満であり、侵食は生じない。

なお、コリウムシールドスリット内に溶融デブリが流入した場合についても、汎用有限解析コードABAQUSを用いた熱伝導解析により、ペDESTAL下部のコンクリートが侵食しない温度となることを確認している。



図155-1 スリット部断面概略図

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.156) (1/5)

- 指摘事項 (第825回審査会合 (令和2年1月23日) DCH)
格納容器代替スプレイ (可搬型)、原子炉代替補機冷却 (可搬型) 及び可搬式窒素供給装置の対応手順について、連続した訓練を実施し、その結果を示す等、作業の成立性を示すこと。その際、アクセスルート、交代要員、個別の訓練との差異等も合わせて説明すること。
- 回答
➢ 有効性評価のうち、同一の復旧班要員にて実施する作業が最も多い高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱 (DCH) において、一連の作業を実施した場合でも、作業時間が想定時間内に収まることを訓練にて確認した。DCHの同一の復旧班要員にて実施する作業は、図156-1のとおり。(①, ②, ③の順番で準備を実施)

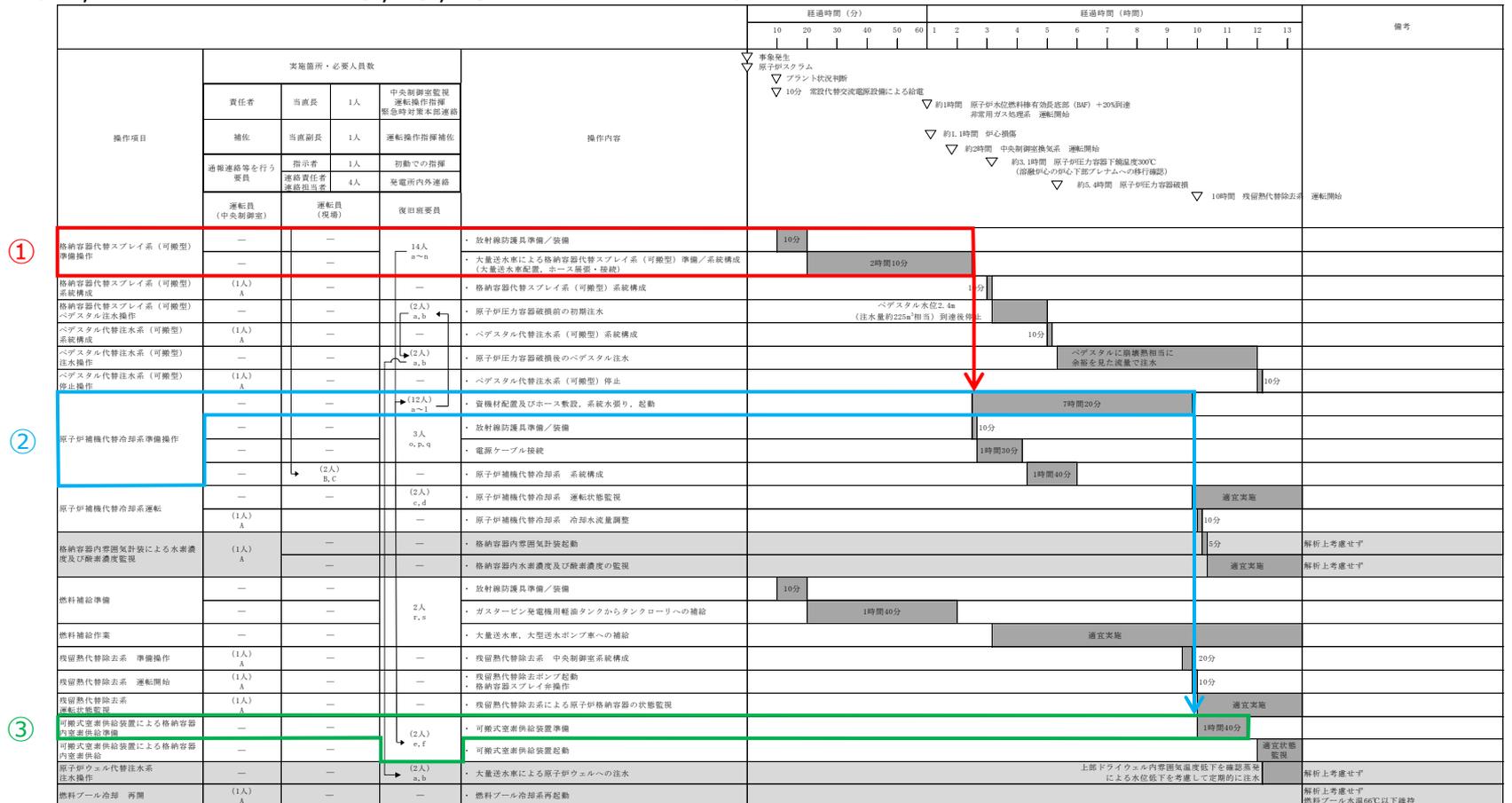


図156-1 「高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱」の作業と所要時間

審査会合での指摘事項に対する回答（No.156）（2/5）

■ 回答（つづき）

- 訓練の結果、図156-2に示す事象発生からの想定時間11時間20分に対し、作業を一連で実施した場合、図156-3に示すとおり、休憩等を含めても10時間6分であったため、同一の復旧班要員にて、作業の成立性を満足することを確認した。また、各々の作業の所要時間も訓練結果から満足していることを確認した。なお、技術的能力の各作業には十分な余裕時間を設定しており、訓練における休憩時間、訓練と技術的能力の作業開始場所の起点の相違による移動時間の差異を考慮しても、技術的能力で示している各作業の想定時間内に収まることを確認した。

<訓練時の考慮事項>

- ・初動（大量送水車の準備作業）の緊急時対策所からの緊急時対策要員の移動は、時間のかかる第二輪谷トンネルを通行し、第4保管エリアへ徒歩にて移動。
- ・炉心損傷後を想定した訓練のため、防護具（全面マスク、綿手袋、ゴム手袋、汚染防護服）を着用。
- ・休憩は適宜実施し、休憩時間についても作業時間にカウント。
- ・一部、工事等により通行できないアクセスルートや作業箇所については、作業等を模擬することで作業時間を算出。（例：取水槽周辺の工事に伴い大型送水ポンプ車の訓練は荷揚場で実施する等）
- ・緊急時対策要員間の連絡は無線通信設備（トランシーバ）を使用し、緊急時対策本部への準備実施・完了等の連絡も模擬。
- ・夜間における照明は、ヘッドライト及び車両の作業用照明にて確保。

操作項目	復旧班要員	操作内容	経過時間（時間）												備考	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
			▽ 作業開始から2時間20分													
			▽ 作業開始から9時間40分													
			▽ 作業開始から11時間20分													
格納容器代替スプレイ系（可搬型）準備操作	14人 a~n	・放射線防護具準備／装備 ・大量送水車による格納容器代替スプレイ系（可搬型）準備／系統構成（大量送水車配置、ホース展張・接続）	10分													
原子炉補機代替冷却系準備操作	(12人) a~l	・資機材配置及びホース敷設、系統水張り、起動														
可搬式窒素供給装置による格納容器内窒素供給準備	(2人) e, f	・可搬式窒素供給装置準備														1時間40分

図156-2 想定される作業時間

- 訓練に使用したアクセスルート及び各作業における想定時間算出に用いたアクセスルートを図156-4に示す。また、訓練時の風景について図156-5に示す。
- 訓練時の気づき事項等、今回参加していない本作業に関わる緊急時対策要員にも共有し、今後、教育・訓練をととして、力量の維持・向上を継続的に図っていく。

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.156) (3/5)

■ 回答 (つづき)

訓練日：令和2年2月23日，天候：晴れ，気温6.9℃～9.3℃

操作項目	復旧班要員	操作内容	経過時間 (時間)												備考
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
			(想定) 作業開始から2時間20分 (実績) 作業開始から2時間5分 (想定) 作業開始から9時間40分 (実績) 作業開始から9時間15分 (想定) 作業開始から11時間20分 (実績) 作業開始から10時間6分												
格納容器代替スプレイ系 (可搬型) 準備操作	12人 a~1	・放射線防護具装備，作業内容確認等	約14分												
	6人 a~f EL44m 作業	・要員移動 (徒歩) 緊急時対策所から才津谷ルート経由の第3保管エリアへ移動	約25分												
		・大量送水車健全性確認・配置，水中ポンプの投入，ホース敷設等)	約83分												
	6人 g~1 EL15m 作業	・要員移動 (徒歩) 緊急時対策所から才津谷ルート経由の第4保管エリアへ移動	約39分												
・ホース敷設等		約72分													
原子炉補機代替冷却系 準備操作	6人 a~f EL8.5m 作業	・要員移動 (徒歩) EL44mから第4保管エリアへ移動	約14分												
		・大型送水ポンプ車健全性確認・配置，ホース運搬等	約10分											休憩15分 (黄色ハッチング部)	
		・作業場所から緊急時対策所へ移動	約12分												
	6人 g~1 EL15m 作業	・要員移動 (徒歩) EL15mから第4保管エリアへ移動	約7分												
		・移動式代替熱交換設備健全性確認・配置，ホース運搬等	約36分												
		・作業場所から緊急時対策所へ移動	約16分												
	(12人) a~1	・放射線防護具脱衣 (身体サーベイ含む)，昼食休憩	約1時間10分												
		・放射線防護具装備，作業内容確認等	約14分												
	6人 a~f EL8.5m 作業	・要員移動 (車両) 緊急時対策所からEL8.5mへ移動	約12分												
		・ホース敷設，水中ポンプの投入，水張り・漏えい確認等	約2時間31分											約20分 (漏えい確認)	
6人 g~1 EL15m 作業	・要員移動 (車両) 緊急時対策所からEL15mへ移動	約15分													
	・ホース運搬・敷設，系統構成	約4時間32分											休憩5分×4回含む		
可搬式窒素供給装置による格納容器内窒素供給準備	(2人) e, f EL15m 作業	・要員移動 (徒歩) 作業場所から第1保管エリア	約12分												
		・可搬式窒素供給装置配置，ホース敷設	約39分												

図156-3 訓練結果

■ 回答 (つづき)

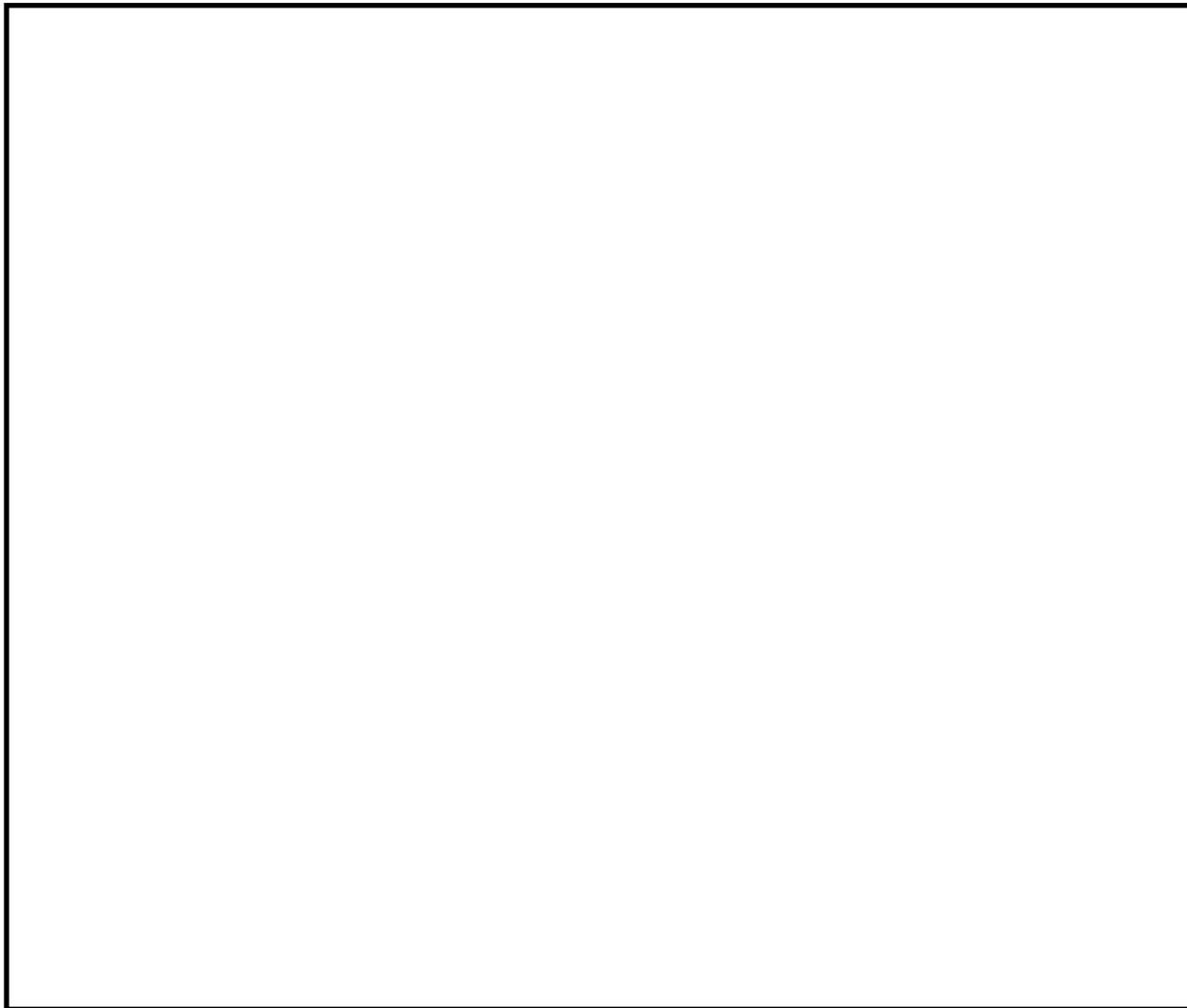


図156-4 初動における訓練及び想定時間の算出に用いたアクセスルート

■ 回答 (つづき)

訓練の様子



大量送水車準備作業
(EL44m 輪谷貯水槽)



移動式代替熱交換設備
(EL15m 西側接続口付近)



大型送水ポンプ車
(EL8.5m (荷揚場にて模擬操作))



可搬式窒素供給装置
(EL15m 原子炉建物南側)

審査会合での指摘事項に対する回答（No.157）（1/2）

- 指摘事項（第825回審査会合（令和2年1月23日）DCH）
原子炉水位低（レベル1）到達後の時間遅れにおける原子炉水位の状態及び水素発生量について、急速減圧に使用する自動減圧機能付き逃がし安全弁を2個及び6個とした場合における水素発生ピーク水位との関係を整理した上で、原子炉減圧のタイミング及び方法の選定根拠並びにそれらを踏まえた評価を説明すること。

■ 回答

- 原子炉手動減圧に用いる弁の個数と水素の積算発生量に有意な変化が表れる減圧タイミング（水素発生ピーク水位）の関係性について確認するため、減圧に用いる自動減圧機能付き逃がし安全弁の弁の個数を2個又は6個とし、原子炉水位がL1に到達後10分から60分までのそれぞれのタイミングで減圧する場合の解析を実施し、水素の積算発生量を評価した。評価の結果を表157-1、図157-1及び図157-2に示す。

水素の積算発生量^{※1}は、減圧に用いる弁数を2個及び6個とした場合のいずれにおいても、L1到達後40分後と50分後の間に大きな差が表れており、減圧に用いる弁数によらず、水素の積算発生量に有意な変化が表れるタイミングは同じであることを確認した。

- また、減圧時の炉内蒸気流量の観点では、自動減圧機能付き逃がし安全弁6個の場合よりも2個の場合の方が、炉内蒸気流量が小さいことから、燃料被覆管にかかる荷重が小さいものとする。なお、低圧注水がある場合、水位回復の観点から早めに減圧すべきであるが、低圧注水がない場合には、注水ができない状況であってもできるだけ燃料破損を遅らせる観点から原子炉減圧の弁数は少ない方が望ましい。
- 水素発生量を抑えつつ、燃料被覆管の荷重を低く抑える観点から、減圧時に開放する適切な弁数は2個と判断した。ただし、仮に減圧操作が遅れ水素ガスが多く発生したとしても、450kg程度^{※2}であれば、原子炉過圧破損の観点から原子炉格納容器圧力への影響は過大ではないと考える。

※1 事象が安定した時点である事象発生から3時間後までの積算量。なお、3時間以降の水素量の増加はない。

※2 炉心損傷前において、仮に原子炉格納容器内に存在する亜鉛及びアルミニウムが全量反応することを考慮した場合に発生する水素量

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.157) (2/2)

■ 回答 (つづき)

表157-1 原子炉減圧のタイミングに関する評価結果

減圧弁数	L 1 到達後の 時間遅れ[分]	原子炉水位 (燃料域)の目安	積算水素発生量 (3時間後まで) [kg]	被覆管への 荷重 *
自動減圧 機能付き 逃がし安全 弁 6個	10	BAF + 121%	70	130
	20	BAF + 69%	70	110
	30	BAF + 29%	70	130
	40	BAF + 18%	80	150
	50	BAF + 13%	350	150
	60	BAF + 7%	310	470
自動減圧 機能付き 逃がし安全 弁 2個	10	BAF + 121%	140	80
	20	BAF + 69%	130	70
	30	BAF + 29%	140	60
	40	BAF + 18%	160	100
	50	BAF + 13%	430	110
	60	BAF + 7%	270	350

* 原子炉減圧時の最大炉内蒸気流量[kg/s]

(減圧時に燃料被覆管が受ける荷重としては、燃料被覆管内外の圧力差による応力等が考えられ、蒸気流量の増加とともに大きくなると考えられることから、加わる荷重の指標として蒸気流量を参考としている。)

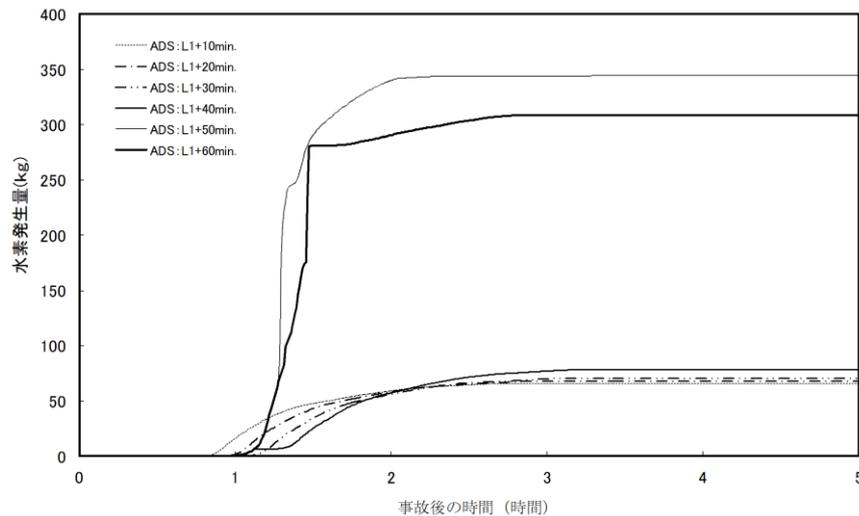


図157-1 積算水素発生量の時間変化
(自動減圧機能付き逃がし安全弁全弁 (6個))

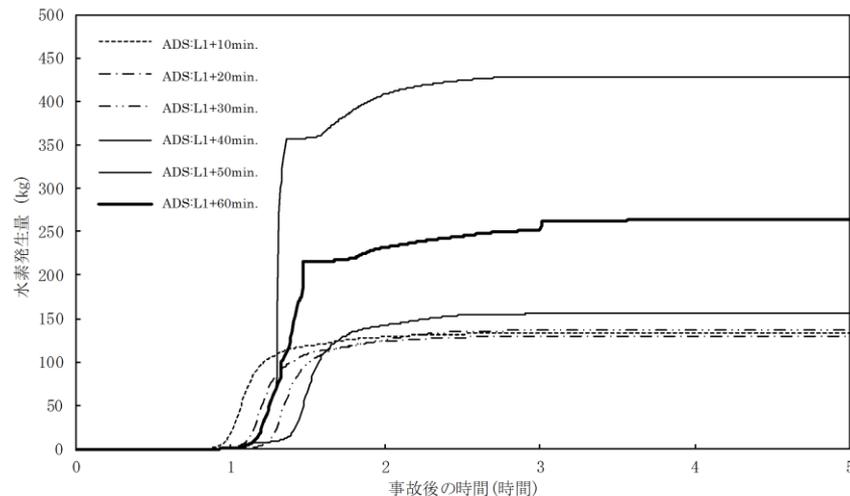


図157-2 積算水素発生量の時間変化
(自動減圧機能付き逃がし安全弁全弁 (2個))

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.158)

- 指摘事項 (第825回審査会合 (令和2年1月23日) DCH)
DCHに対する原子炉減圧の実施時期について、時間余裕も考慮した上で原子炉圧力容器破損前のいつまでに減圧すればいいのか、整理して説明すること。
- 回答
 - 原子炉への注水手段がなく原子炉圧力容器の破損に至るおそれがある場合には、原子炉圧力容器高圧破損防止のための原子炉手動減圧を実施する必要がある。この際、蒸気冷却による燃料の冷却効果に期待するために原子炉減圧を遅らせ、シュラウド内の原子炉水位計(燃料域)で原子炉水位が「燃料棒有効長底部より燃料棒有効長の20%高い位置」(以下、「BAF+20%」という)を下回った場合に自動減圧機能付き逃がし安全弁2個で原子炉の減圧を実施する手順としている。
 - この減圧タイミング及び弁の個数については、以下を考慮し決定している。
 - ・ 格納容器破損モード「高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱」では、溶融炉心、水蒸気及び水素ガスの急速な放出に伴い原子炉格納容器に熱的・機械的な負荷が加えられることを防止するため、原子炉圧力容器破損までに逃がし安全弁の手動開操作により原子炉減圧を実施し、原子炉冷却材圧力を2.0MPa[gage]以下に低減する必要がある。
 - ・ 蒸気冷却による燃料の冷却効果に期待するという観点で原子炉減圧を遅くする一方で、原子炉圧力容器破損のタイミングが見通せない中で運転員による手動操作が必要な状況下であることを踏まえると、到達予測が容易である原子炉水位で判断することが妥当とし、蒸気冷却効果、水素発生量及び燃料被覆管に対する負荷の観点を考慮する。
 - ・ 原子炉水位が低下しBAFを下回った以降、原子炉減圧を実施する場合には、表158-1のとおりSA事象進展等に対する悪影響が考えられる。

表158-1 BAFを下回った以降で原子炉減圧する場合のSA事象進展等に与える悪影響

原子炉水位の確認	原子炉水位計 (燃料域) による水位確認が不可となる。
水素発生	燃料がヒートアップした後の減圧となるため、水素発生量が増加する。
原子炉圧力容器破損タイミング	水素発生量の増加により反応熱が増加し、RPV破損タイミングが早くなる。
原子炉圧力容器高圧破損	減圧からRPV破損の時間が短く、高圧破損のリスクが上昇する。
PCV過圧・過温	水素発生量の増加およびRPV破損の早期化により、PCV過圧・過温破損を防止するためのマネジメントの時間余裕が短くなる。

- なお、仮に原子炉水位がBAF + 20%で減圧操作できなかった場合でもBAFに到達するまでに約30分間の時間余裕があり、また、原子炉急速減圧操作は原子炉水位の低下傾向を監視しながらあらかじめ準備が可能であることから、操作の不確かさはない。

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.159)

- 指摘事項 (第825回審査会合 (令和2年1月23日) DCH)
解析で用いた原子炉内の環境条件と原子炉水位計 (燃料域) の計測条件を踏まえ、実運用における原子炉水位の確認手順を詳細に説明すること。
- 回答
 - 原子炉水位計 (燃料域) の校正条件は「大気圧・飽和温度」であり、原子炉圧力高圧時は図159-1に示す補正曲線を用いて原子炉圧力に対する補正を行い、BAF + 20%を判断する。
 - 高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱において、原子炉水位がBAF + 20%に到達する時点 (事象発生から約1時間後) では、原子炉圧力容器内の気相部温度は飽和温度を超えているが、ドライウェル内の気相部温度は約77℃であり、図159-2に示す水位不明判断曲線の水位不明領域に入っていないことから、原子炉水位計の凝縮槽内の水位は維持され、原子炉水位計による原子炉水位の確認は可能である。

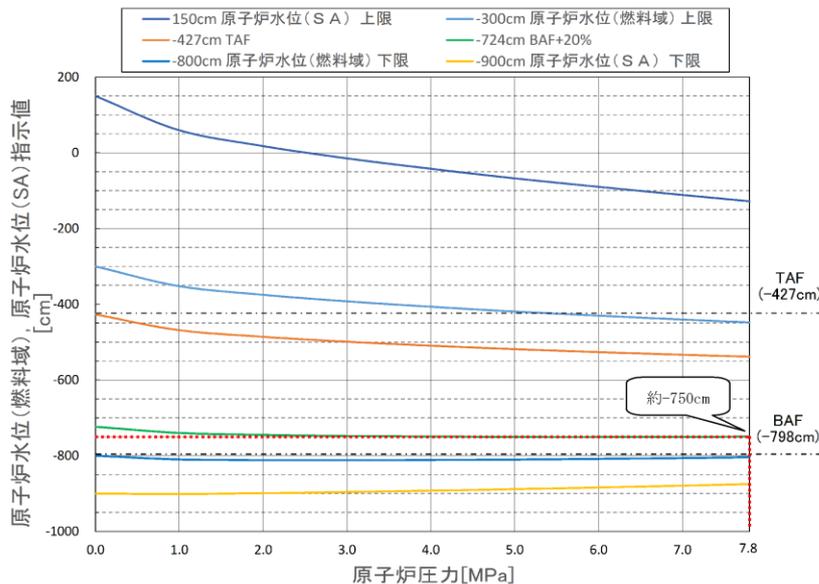


図159-1 原子炉水位 (燃料域) 補正曲線

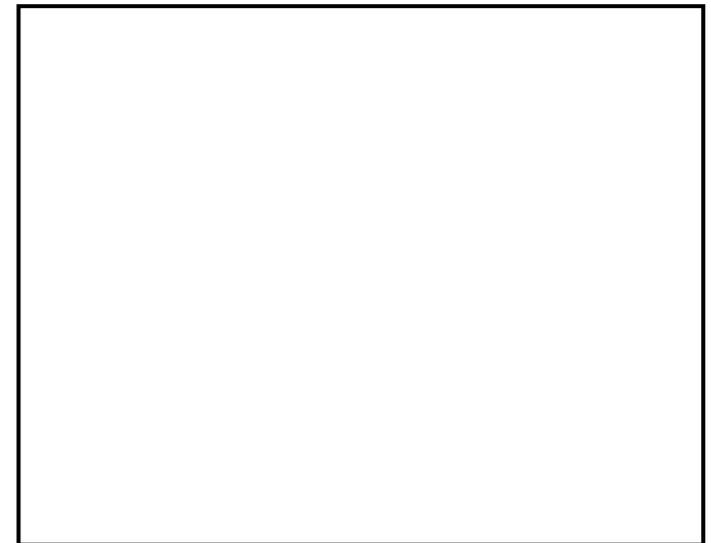


図159-2 水位不明判断曲線

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.160)

- 指摘事項 (第825回審査会合 (令和2年1月23日) DCH)
急速減圧に使用する自動減圧機能付き逃がし安全弁2弁について, サプレッション・プールへの熱影響の観点から踏まえ, 選定の考え方を示すこと。
- 回答
 - 原子炉注水機能喪失時の原子炉手動減圧に用いる逃がし安全弁は, 以下に示す条件を考慮し「B弁」及び「M弁」を選定している。
 - ・自動減圧機能及び代替自動減圧機能を有する弁とし, 本機能が作動した場合に必要な以上の逃がし安全弁が開とならないようにする。
 - ・過熱蒸気による逃がし安全弁損傷防止の観点から, 開放する弁は可能な限り離隔させる。(図160-1)
 - ・残留熱除去系の機能喪失防止の観点から, 開放する弁は残留熱除去系ストレーナから可能な限り離隔させる。(図160-2)
 - ・サプレッション・プール水温度の上昇を均一にするため, 可能な限り離れた排気管の位置の弁とする。(図160-2)
 - 図160-2に示すとおり, 「B弁」と「M弁」の排気ラインは比較的近接しているが, サプレッション・プール水量 (2,800m³) を勘案すると原子炉からの蒸気凝縮は十分可能である。
 - サプレッション・プールへの熱影響の観点からは, 「B弁」と「M弁」の排気ラインは比較的近接しているが, 重大事故等対応における悪影響を考慮し, その他の条件を全て満たす弁を選定している。

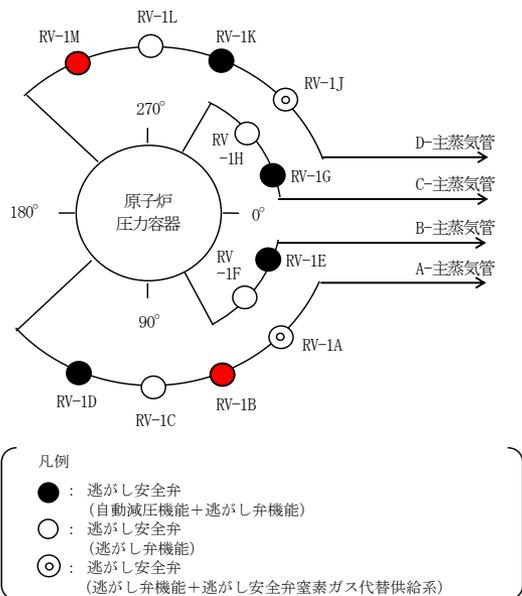


図160-1 逃がし安全弁の配置図

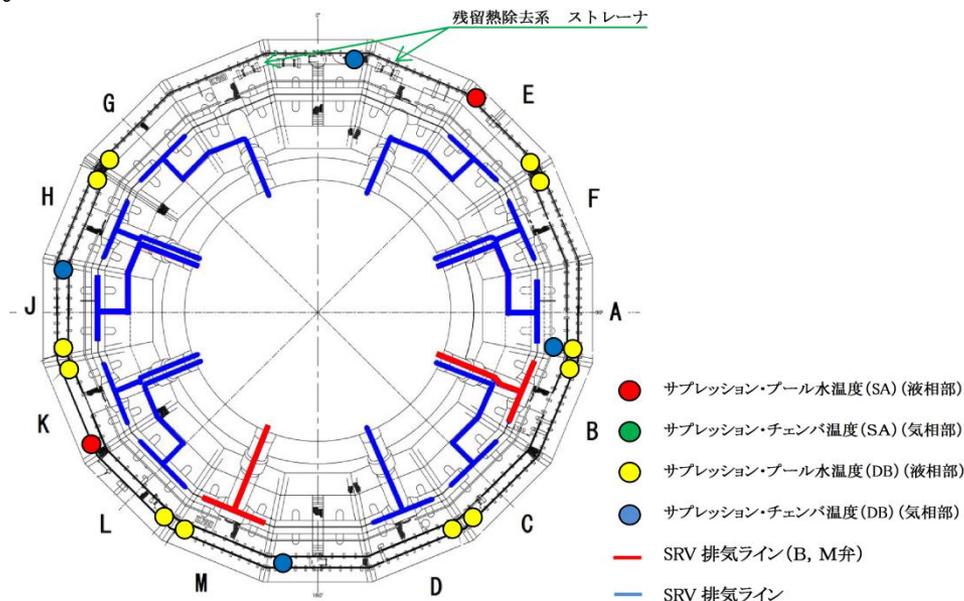


図160-2 サプレッション・チェンバ内の逃がし安全弁排気管の配置図

審査会合での指摘事項に対する回答（No.161）

■ 指摘事項（第825回審査会合（令和2年1月23日）DCH）

逃がし安全弁のシリンダの改良について、試験に係る方針だけではなく、今後の島根2号機における対応スケジュールを示すこと。

■ 回答

逃がし安全弁（SRV）シリンダの改良は耐SA環境性の目標として、原子炉格納容器の限界温度・圧力（200℃、0.853MPa[gage]）を目指す設計とするが、SRVシリンダの改良は、DBA時の動作に影響を与える変更となるため、加振試験や蒸気曝露試験等の信頼性確認試験を実施しプラント運転に影響を与えないことを確認する（2020年3月）。

プラント運転に影響を与えないことが確認された場合、今後は更なる安全性向上のため改良シリンダを採用することとし、実機への導入準備が整い次第、至近のプラント停止中に設置する。

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.162) (1/2)

- 指摘事項（第825回審査会合（令和2年1月23日）FCI）
ペDESTALへの初期水張りは、2.4mで停止するとしているが、ドライウェルサンプからの逆流による水位上昇及び溶融炉心落下に係る水位上昇の影響を踏まえてFCIに対する水位の適切性を定量的に説明すること。

- 回答
 - 格納容器スプレイによるペDESTALへの注水操作（原子炉圧力容器破損前の初期水張り）におけるスプレイ水の流入経路としては、ペDESTAL開口部である制御棒駆動機構搬出入口より流入する経路の他に、ドレン配管及びコリウムシールドスリットを通じてドライウェルサンプからペDESTALに流入する経路がある。そのため、注水の停止後にドライウェルサンプに貯まったスプレイ水がこの経路を通じてペDESTALに流入することで水位が上昇する場合が考えられるが、この経路を通じて流入する流量は最大で約 $1.5\text{m}^3/\text{h}$ ※1、ペDESTALの水位上昇率は約 $0.06\text{m}/\text{h}$ であり、注水を停止した後の原子炉圧力容器破損まで※2の逆流による水位上昇分は約3cmであることから、FCIに対して与える影響は小さい。

※1 ドライウェルサンプ側に制御棒駆動機構搬出入口下端位置の高さまでの水位が形成された場合

※2（有効性評価の事象進展解析結果）水張り停止：事象発生から約5.0時間後、原子炉圧力容器破損：事象発生から約5.4時間後

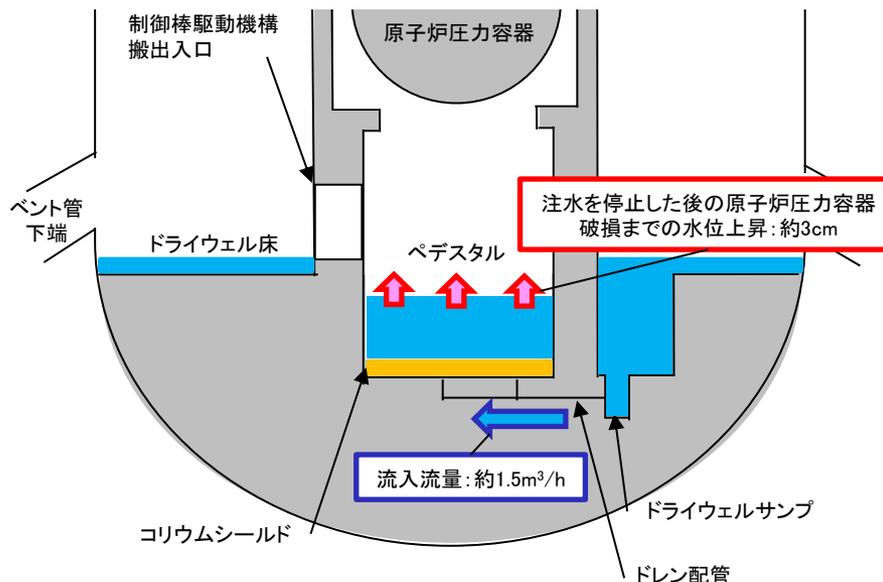


図162-1 ペDESTAL水位イメージ図

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.162) (2/2)

■ 回答 (続き)

➤ 初期水張り水位の適切性については、デブリの落下位置及び堆積形状の不確かさに関して近年得られた知見を踏まえ、初期水張り水位2.4mにおけるデブリの冠水状態の評価に与える影響を確認している。

✓ デブリの堆積高さ評価

東京電力福島第一原子力発電所2号炉の調査結果から压力容器中心位置から偏心して落下すること及びPULiMS実験結果から熔融炉心が円錐状に堆積することを仮定した場合(図162-2)、デブリが均一に堆積した場合(図162-1)に比べ堆積高さは高くなり、約2.2mとなる。

✓ デブリの冠水維持に対する評価

粒子化割合0.38のデブリ量に対してポロシティ0.5と仮定した場合、円錐部分の頂部から水面までの水深は約1.4mである。

このようにデブリが均一に堆積した場合と比較して堆積高さが高くなり、デブリ露出までの水深が低くなる場合においても、MAAP結果から、原子炉压力容器破損時点からペDESTAL注水が実施されずにデブリが冠水維持できる時間は、過渡起因事象の場合で約1.0時間、LOCA起因事象の場合で約0.24時間(約15分)であることから、ペDESTAL注水の開始が遅れた場合でも一定時間冠水維持することが可能である。

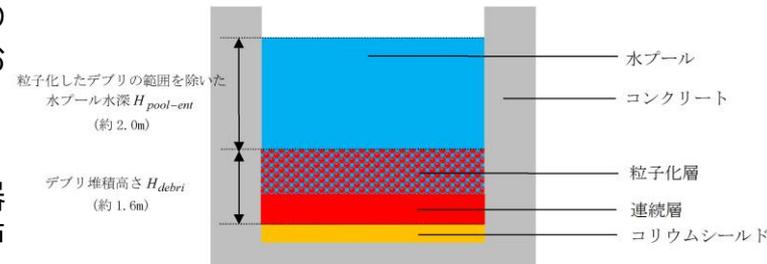


図162-1 デブリ堆積形状

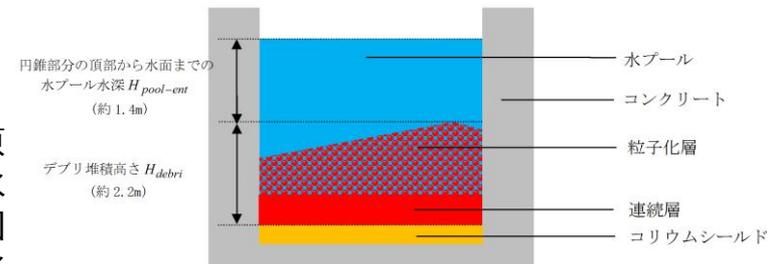


図162-2 デブリ堆積形状 (不確かさ考慮)

表162-2 デブリの冠水維持の評価結果 (ペDESTAL注水が実施されずにデブリが露出するまでの時間)

評価ケース	デブリ露出までの時間	
	一様に広がって円柱状に堆積 (図162-1)	偏心して円錐状に堆積 (図162-2)
過渡起因事象の場合	約1.4時間	約1.0時間
LOCA起因事象の場合	約0.58時間	約0.24時間

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.163)

■ 指摘事項 (第825回審査会合 (令和2年1月23日) DCH, FCI, MCCI)

格納容器代替スプレイ (可搬型) によるペDESTALへの初期水張りについて、スプレイ注水した量がそのまま全て入ると評価しているが、原子炉格納容器内で滞留する箇所はないのか、ペDESTALまでの流路の確実性について、ペDESTAL周囲の堰等の構造の詳細図と原子炉格納容器内及びペDESTAL代替注水系の流路、エレベーションを示して説明すること。

■ 回答

- 格納容器代替スプレイ系 (可搬型) を用いた場合のスプレイ水の経路については、原子炉格納容器内の各フロアにスプレイ水が滞留するような機器や堰が無く、各フロアの床がグレーチングとなっていることから、スプレイ水は原子炉格納容器最下階のドライウェル床に全量流下する (①)。ドライウェル床に流下したスプレイ水は、ドライウェル床面を流れ、ドライウェルサンプピットに流れ込み、ドライウェルサンプピットの水位が上昇する (②)。ドライウェルサンプピットが満水になるとドライウェル床面に水が溜まり、ドライウェル床面に溜まった水の水位が上昇すると、制御棒駆動機構搬出入口からペDESTALに流入する (③)。
- なお、ベント管下端の高さより、ペDESTAL開口部である制御棒駆動機構搬出入口下端の高さの方が低いため、サブプレッション・チェンバ側に流出することはない。

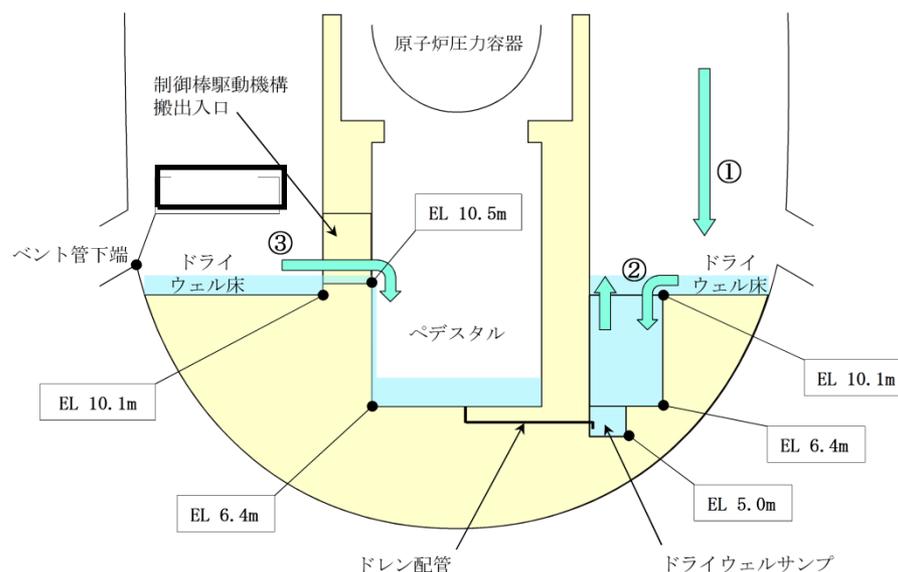


図163-1 原子炉格納容器断面図

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.164)

■ 指摘事項 (第825回審査会合 (令和2年1月23日) DCH)

ペDESTALへの初期水張りから残留熱代替除去系への切替え, サプレッション・チェンバへの流出までの一連の操作におけるペDESTAL水位, ドライウェル水位の2つの水位トレンドを示し, 残留熱代替除去系への切替え時期等を説明すること。

■ 回答

- 評価事故シーケンス「高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱」におけるペDESTAL(P/D)水位／ドライウェル(D/W)水位と注水流量の推移を図164-1に, 原子炉格納容器の断面図を図164-2に示す。
- 本評価事故シーケンスでは, 事象発生から約3.1時間後, 原子炉圧力容器下鏡温度が300℃に到達した時点で, 格納容器代替スプレイ系 (可搬型) によるペDESTAL注水を開始し, 原子炉圧力容器破損までにペDESTALに溶融炉心の冷却に必要な水位及び水量を確保するとともに格納容器冷却を実施する。溶融炉心の落下後は, ペDESTAL代替注水系 (可搬型) によって溶融炉心の冷却を実施する。さらに, 原子炉補機代替冷却系及び残留熱代替除去系の準備が完了する事象発生から10時間が経過した時点で, 残留熱代替除去系の運転を開始し, 原子炉格納容器の圧力及び温度を低下させる。その後, ペDESTAL代替注水系 (可搬型) の停止基準である, 格納容器圧力384kPa[gage]以下及びドライウェル水位がベント管下端位置 (ドライウェル床面 + 1m) 到達を確認後に注水を停止する。

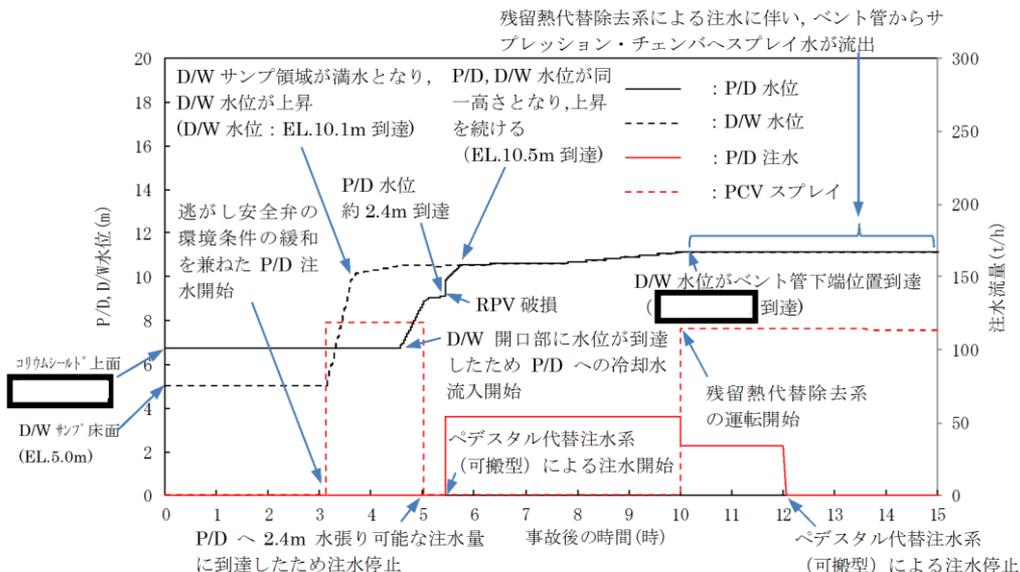


図164-1 ペDESTAL水位／ドライウェル水位と注水流量の推移

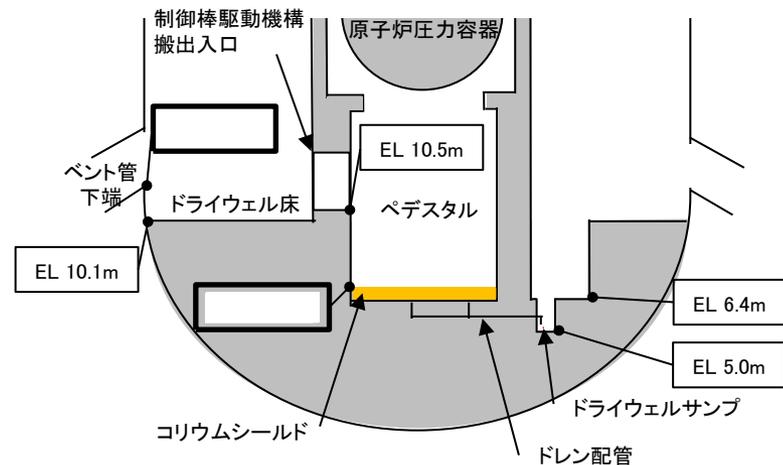


図164-2 原子炉格納容器 断面図

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.165)

- 指摘事項 (第825回審査会合 (令和2年1月23日) MCCI)
ペDESTAL注水の停止判断に用いるドライウェル水位計について、故障した場合の影響も踏まえ、設計の考え方を説明すること。
- 回答
 - 残留熱代替除去系の起動後に内部保有水の増加を最小限とするため、「格納容器底面+1m」にドライウェル水位計を設置し、ペDESTAL代替注水系 (可搬型) の崩壊熱に余裕を見た注水の停止を判断する。
 - 図165-1のとおり、「格納容器底面+1m」はベント管下端位置であるため、ドライウェル水位が「格納容器底面+1m」を超えると同時にサプレッション・チェンバに流入しサプレッション・プール水位が上昇する。仮に、ドライウェル水位計 (格納容器底面+1m) の故障によりペDESTAL注水を継続した場合は、内部保有水の増加をサプレッション・プール水位 (SA) により認知する代替監視が可能のため、ドライウェル水位計 (格納容器底面+1m) は設置台数を1台としている。

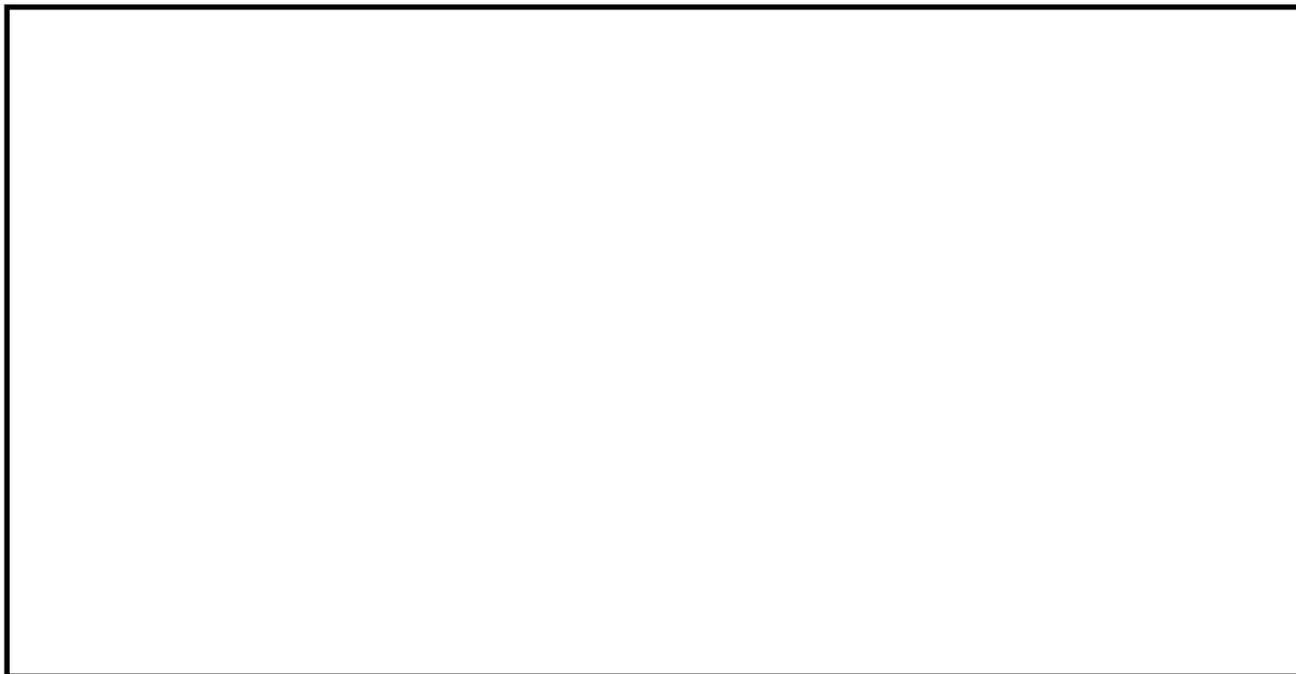


図165-1 ドライウェル水位計の配置図

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.166)

■ 指摘事項 (第825回審査会合 (令和2年1月23日) DCH, FCI, MCCI)

コリウムシールドの材料と溶融炉心の浸食試験に用いた材料データとの関係を整理し、浸食試験の適用性について説明すること。

■ 回答

- 島根2号炉は、国プロ/電共研試験 (以下、「国プロ試験」という) の浸漬試験※で用いたZrO₂耐熱材と同じ製造メーカーの同一品番の製品を購入し、設置しており、国プロ試験の浸漬試験で用いたZrO₂耐熱材 (サンプル分析ではZrO₂含有量が約93%) と同等のZrO₂含有量である。
- また、国プロ試験の浸漬試験では、実機の溶融炉心の組成と比較して、ZrO₂耐熱材への化学侵食 (酸化還元反応による融点の低下) の影響が大きくなるよう、模擬溶融炉心の金属成分をZr100%で試験を実施し、2100℃におけるZrO₂耐熱材の健全性が確認されている。
- 以上より、国プロ試験の試験体と同一品番であれば、ZrO₂含有量も同等であり、化学侵食の影響が大きくなる条件で実施した浸漬試験において2100℃の健全性が確認できていることから、浸漬試験結果を基に侵食開始温度を2100℃と設定することは妥当と考える。

※本試験は、中部電力(株)、東北電力(株)、東京電力ホールディングス(株)、北陸電力(株)、中国電力(株)、日本原子力発電(株)、電源開発(株)、(一財)エネルギー総合工学研究所、(株)東芝、日立GEニュークリア・エナジー(株)が実施した共同研究の成果の一部である。

審査会合での指摘事項に対する回答（No.167）（1/4）

- 指摘事項（第825回審査会合（令和2年1月23日）DCH）
圧力容器破損後のペDESTALへの注水で崩壊熱相当に余裕を見た注水量の流量調整方法について、詳細を説明すること。
- 回答
 - 原子炉圧力容器破損後のペDESTAL注水における崩壊熱相当に余裕を見た注水量への流量調整操作の概要を表167-1に示す。
 - 有効性評価「高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱」では、原子炉圧力容器破損後のペDESTAL注水をペDESTAL代替注水系（可搬型）により実施することとしている。崩壊熱に余裕を見た注水量の流量調整は、復旧班要員にて実施するが、中央制御室にて流量監視を実施するため、中央制御室運転員の指示に基づき、屋外接続口に設置されているペDESTAL代替注水元弁の弁開度を調整することで、崩壊熱相当に余裕を見た注水流量（12～60m³/h）にて注水を実施する。

表167-1 崩壊熱相当に余裕を見た注水量への流量調整操作の概要

	流量調整弁	操作場所（操作員）
ペDESTAL代替注水系（常設）	FLSR注水隔離弁	中央制御室（運転員）
格納容器代替スプレイ系（可搬型）	格納容器代替スプレイ元弁	屋外接続口（復旧班要員）
ペDESTAL代替注水系（可搬型）	ペDESTAL代替注水元弁	屋外接続口（復旧班要員）

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.167) (4/4)

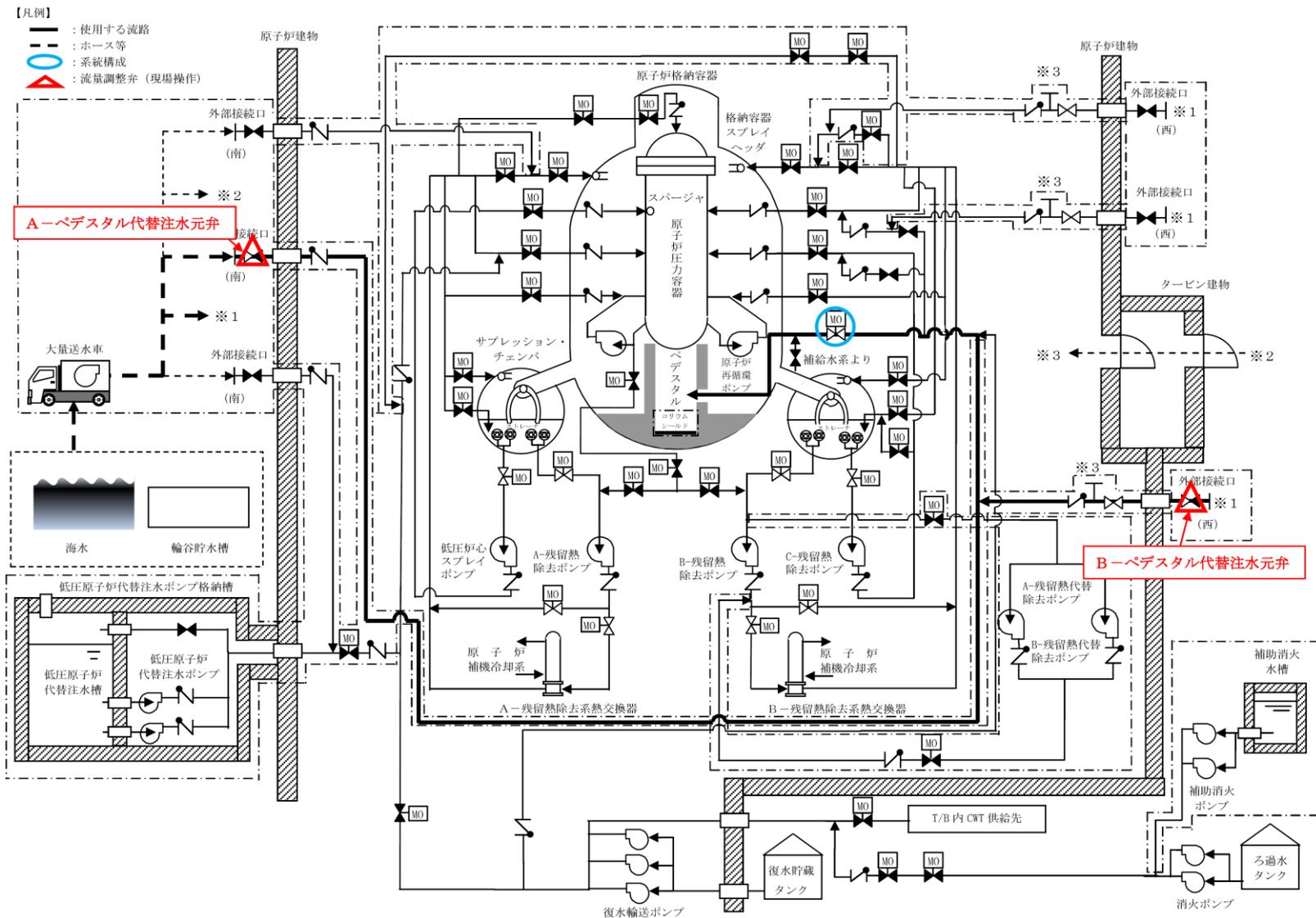


図167-3 ペDESTAL代替注水系 (可搬型) 系統概要図

審査会合での指摘事項に対する回答（No.168）（1/5）

- 指摘事項（第832回審査会合（令和2年2月6日）水素燃焼）
格納容器内酸素濃度計について、既設（CAMS）と新設SA設備とあるが、SAの水蒸気環境下において適切に測定できるのか、サンプリング方式の冷却条件等も踏まえて、それぞれの酸素濃度計（磁気力式と熱磁気風式）の構造、原理の相違、特徴等について整理して説明すること。
 - 回答
【S A水蒸気環境下における測定性について】
 - 格納容器酸素濃度（B系）：既設（CAMS）
 - 重大事故等時の原子炉格納容器酸素濃度の計測は、除湿器によりドライ状態にした酸素濃度を測定している。除湿器は、入口温度40℃以下でドライ条件まで除湿可能な機器のため、高温のサンプルガスは除湿器前段で冷却器により除湿可能な温度まで冷却する。冷却器は水冷式であり、重大事故等時の冷却水は原子炉補機代替冷却系より供給される。
 - 冷却器は、有効性評価（格納容器過圧・過温破損）の格納容器最大圧力(約660kPa)における飽和蒸気温度(約170℃)において水蒸気割合90vol%以下※のサンプルガスを冷却するため、原子炉補機代替冷却系から供給可能な冷却水流量に対して必要となる伝熱面積約0.22m²を上回る0.53m²を有する設計としている。
なお、冷却水流量および伝熱面積は重大事故等時の計測が可能なよう容量を増加させる変更を実施している。
 - 格納容器酸素濃度（SA）：新設SA設備
 - 重大事故等時の原子炉格納容器酸素濃度の計測は、冷却器によりドライ状態にした酸素濃度を測定している。冷却器は電子冷却式であり、入口温度180℃以下、水蒸気割合90vol%以下※でドライ条件まで除湿可能な設計としている。
- ※大LOCA時における格納容器スプレイ前の原子炉格納容器内の水蒸気割合は ほぼ100vol%であるが、水蒸気割合が65vol%以上であれば可燃限界に至ることはない（図168-3）ため、水蒸気割合90vol%以上で計測する必要はない。

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.168) (2/5)

回答 (続き)

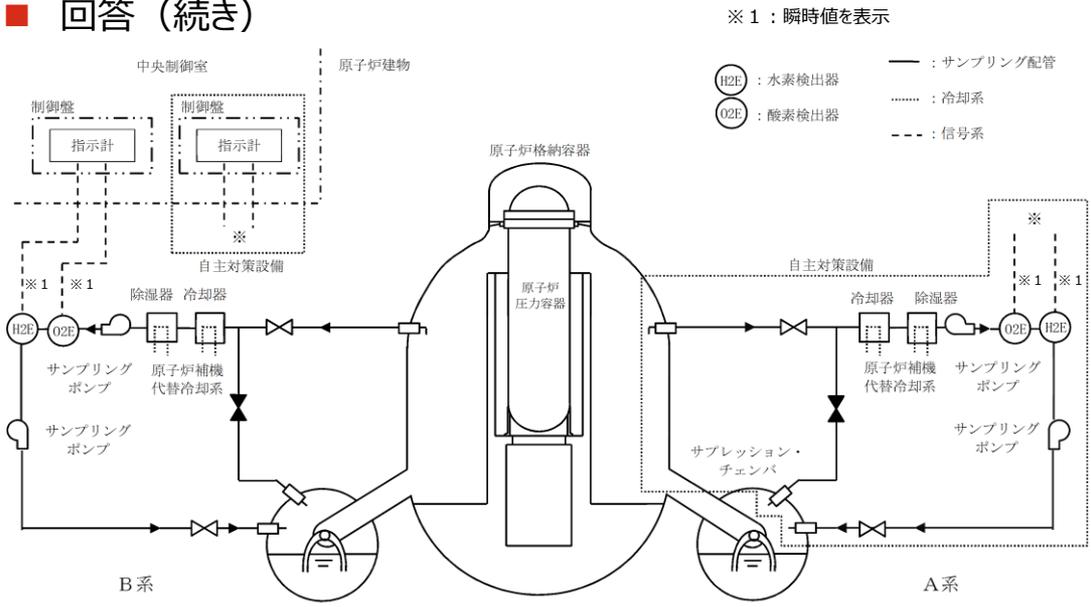


図168-1 格納容器水素濃度及び格納容器酸素濃度 系統概要図

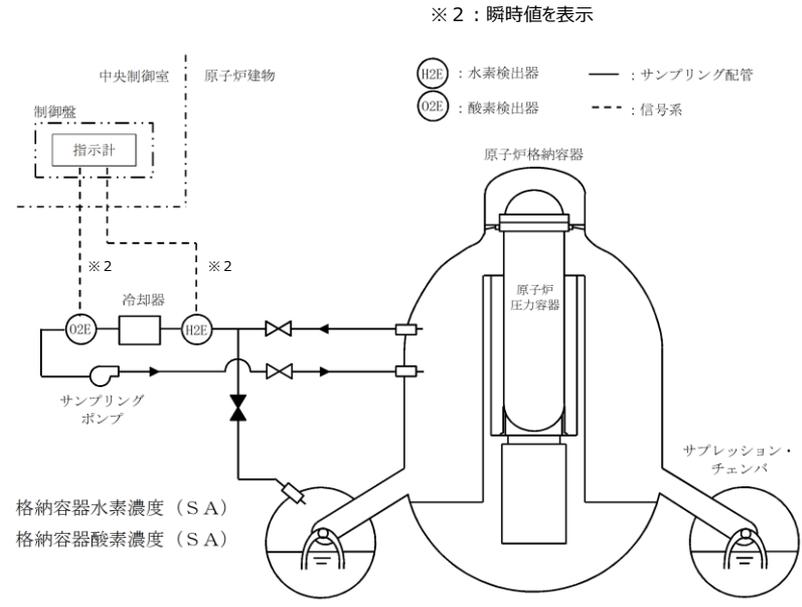


図168-2 格納容器水素濃度 (SA) 及び格納容器酸素濃度 (SA) 系統概要図

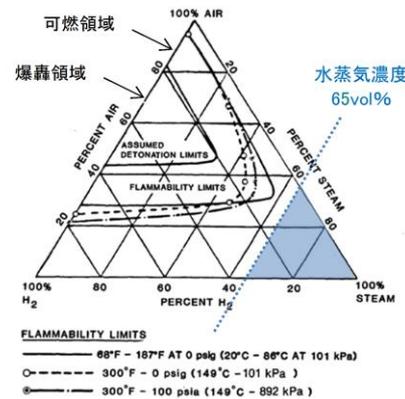


図168-3 水素、空気及び水蒸気混合条件下における可燃限界と爆轟限界

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.168) (3/5)

■ 回答(続き)

【酸素濃度計の構造及び原理について】

- 酸素濃度計の構造及び原理とその特徴を表168-1に示す。
- 構造及び原理は違うものの、特徴として酸素分子の常磁性を利用した測定方法である点は同じであり、表168-1に示す対策等により重大事故等対処設備として採用可能である。

表168-1 酸素濃度計の構造及び原理比較

設備	計測原理	構造及び原理	特徴		対策等
			長所	短所	
格納容器内 酸素濃度 (B系) : 既設 (CAMS)	熱磁気風式	下部と上部の2層構造のチャンバーで構成されている。上部測定チャンバー内に常磁性の特徴のある酸素分子が流れ込むことにより、磁界中心部から追い出されることとなる磁気風による発風側素子の温度低下及び受風側素子の温度上昇に対する抵抗値の変化を利用し、酸素濃度の測定を行っている。	<ul style="list-style-type: none"> ・振動及び衝撃に強い ・共存ガスの影響は小さい ・消耗する構成部品がない 	<ul style="list-style-type: none"> ・急激な周囲温度変化に弱い ・汚れや腐食の影響を受ける可能性がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・熱伝導を利用していることから、急激な周囲温度変化に弱い特徴があるが、検出器の設置エリアである原子炉棟内の環境条件を考慮して、空調設置することで耐環境性の向上対策を実施し、周囲温度変化に対する影響を考慮した設計とする。 ・汚れや腐食の影響を受ける可能性があるが、フィルタを設けることで影響緩和可能
格納容器内 酸素濃度 (SA) : 新設SA 設備	磁気力式	2つの球体、磁極片、LEDからの光を受光素子へ反射する鏡等にて構成されている。ガラス管内に常磁性の特徴のある酸素分子が流れ込み磁極片に引き寄せられることにより球体が回転する力に対して、球体の回転を戻す力を発生させるために流れるフィードバック電流が酸素濃度に比例することを利用し、酸素濃度の測定を行っている。	<ul style="list-style-type: none"> ・急激な周囲温度変化に強い ・共存ガスの影響は小さい ・消耗する構成部品がない 	<ul style="list-style-type: none"> ・振動及び衝撃に弱い ・汚れや腐食の影響を受ける可能性がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・可動部があることから振動及び衝撃に弱い特徴があるが、加振試験による機能維持確認を実施しており、地震などによる振動・衝撃による計測への影響がないことを確認している。 ・汚れや腐食の影響を受ける可能性があるが、フィルタを設けることで影響緩和可能

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.168) (4/5)

■ 回答 (続き)

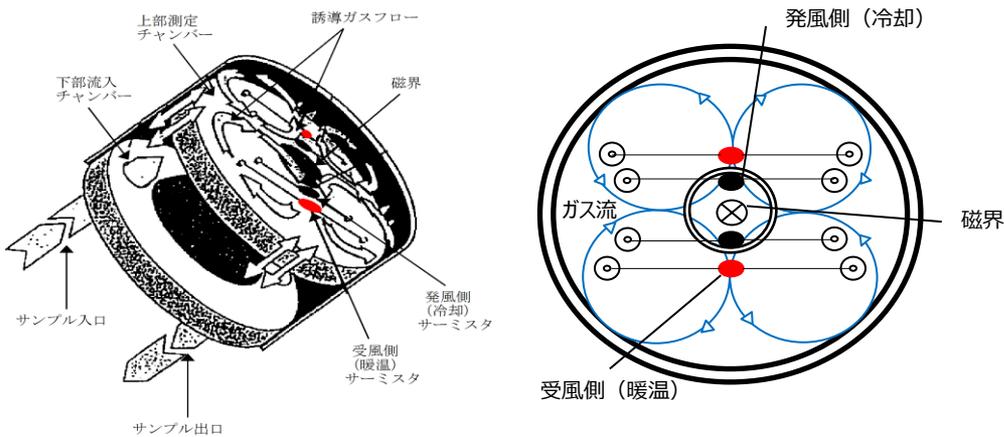


図168-4 格納容器酸素濃度 原理図

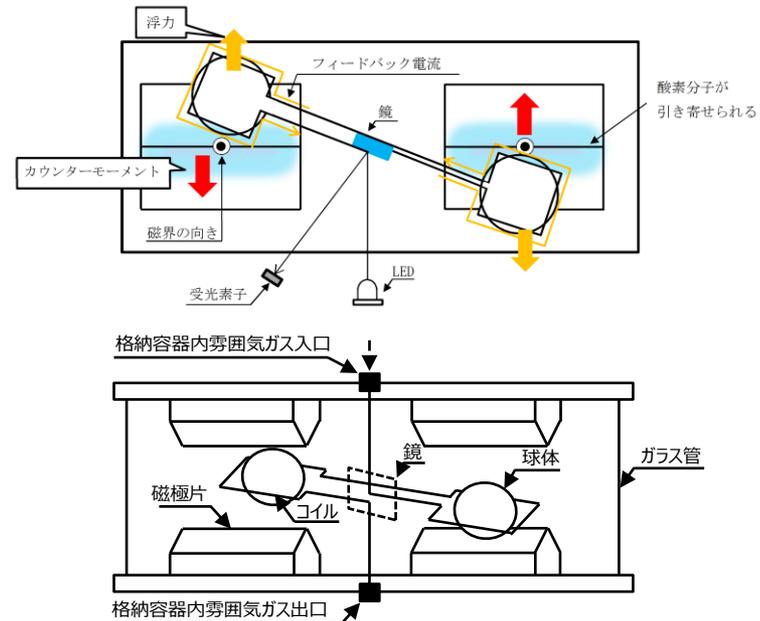


図168-5 格納容器酸素濃度 (SA) 原理図

審査会合での指摘事項に対する回答（No.168）（5/5）

■ 回答（続き）

【故障時の代替性について】

- 設置許可基準規則58条（計装設備）において、重要監視パラメータが故障した際に代替パラメータを設ける必要性がある。島根2号炉は、格納容器酸素濃度（B系）と格納容器酸素濃度（SA）により相互に代替監視が可能な設計としている。

<格納容器酸素濃度（B系）：既設（CAMS）>

- 通常運転時から設計基準事故時の可燃性ガス濃度を監視している設備であり、重大事故等へ進展する状況下においても継続的に監視ができる設計とする。なお、冷却器への冷却水供給が必要なため、ヒートシンク喪失を伴う重大事故等時においては、有効性評価における原子炉補機代替冷却系の冷却水が確保される事象発生約10.5時間後から監視可能となる。

<格納容器酸素濃度（SA）：新設SA設備>

- 通常運転時および設計基準事故時は基本的に待機運用とするが、重大事故等時には中央制御室からの操作により容易に計測を開始し、監視できる設計とする。なお、計測装置以外に付帯設備を必要としないため、ヒートシンク喪失の影響を受けることなく監視可能である。
- 有効性評価（水素燃焼）のシナリオにおいて、格納容器内への窒素供給により、酸素濃度が可燃領域に至らないことを確認しており、DBAベースのG値を使用した感度解析において、可燃領域到達前の格納容器ベントが必要となるものの、酸素濃度の上昇は比較的緩やかなためベント判断基準への到達は約85時間後である。このため、有効性評価における常設代替交流電源および原子炉補機代替冷却系の冷却水が確保される事象発生約10.5時間後を考慮しても、格納容器酸素濃度（B系）および格納容器酸素濃度（SA）は共に計測可能な状態であるため、重大事故等時において相互に代替監視が可能である。

審査会合での指摘事項に対する回答 (No.169)

- 指摘事項 (第832回審査会合 (令和2年2月6日) 水素燃焼)
BWRの場合には、酸素、水素、窒素、水蒸気の4元系の方がより正確な評価ができるため、その評価結果が現在の評価と同程度であることを確認すること。
- 回答
 - 重大事故が発生した場合に、ジルコニウム-水反応等による水素濃度の上昇並びに水の放射線分解による水素濃度及び酸素濃度の上昇により、格納容器内が可燃限界に到達することを防止するため、“ドライ条件の酸素濃度が4.4vol%及びウェット条件の酸素濃度が1.5vol%に到達した場合”に格納容器ベントを実施する判断基準を定めている。
 - 酸素濃度がドライ条件で4.4vol%のときにウェット条件で1.5vol%以下の状態では、水蒸気濃度が65vol%以上となるため、図169-1の水素-空気-水蒸気系の三元図を参考とした場合、可燃領域又は爆轟領域と重ならない。
 - また、ドライ条件の酸素濃度が4.4vol%未満の状態では、図169-2の水素-酸素-窒素系の三元図を参考とした場合においても、爆発領域と重ならない。

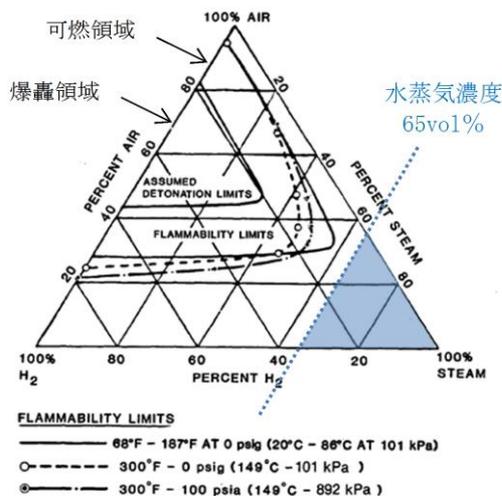


図169-1 水素、空気及び水蒸気混合条件下における
可燃限界と爆轟限界^[1]

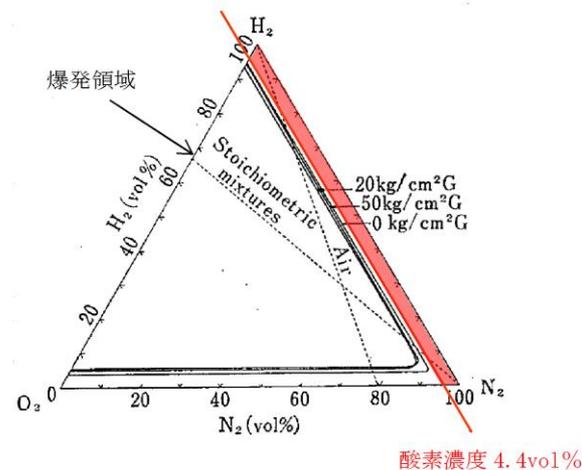


図169-2 水素、酸素及び窒素混合条件下における
爆発限界^[2]

[1] Allen L.Camp, et al., "Light Water Reactor Hydrogen Manual", NUREG/CR-2726 (1983)

[2] 産業安全研究所研究報告“水素の爆発危険性についての研究 (第1報) 水素の爆発限界に及ぼす圧力の影響” (JUNE 1969)