

島根原子力発電所 2 号炉 重大事故等対策の有効性評価等について

(コメント回答)

令和 2 年 6 月
中国電力株式会社

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。

Energia

1. 審査会合での指摘事項に対する回答	
（1）重大事故等対策の有効性評価	・・・ P2
（2）格納容器フィルタベント系について	・・・ P8
（3）残留熱代替除去系について	・・・ P18
（4）水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備について	・・・ P21

(1) 重大事故等対策の有効性評価

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

(1) 重大事故等対策の有効性評価 指摘事項一覧

a. 運転中の原子炉における炉心損傷防止対策

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
266	令和2年6月9日	ブローアウトパネルの数を3個から2個に変更する影響について、既許可の添付書類十の解析の主蒸気破断における被ばくの影響について明確にすること。	4
267	令和2年6月9日	ISLOCA 発生 の 検知 について、検知の手順のトリガーとなる検知器の手段についてはSA 設備、自主対策設備等の位置づけを明確にすること。	5

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：炉心損傷防止）」の番号を記載

b. 運転中の原子炉における格納容器破損防止対策

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
171	令和2年4月28日	格納容器ベント実施時の一時退避中における大型送水ポンプ車への給油作業の必要性について、想定する大型送水ポンプ車の流量の妥当性も踏まえて説明すること。 また、対策の変更の際には、ソフトだけでなくハードでの対応も検討した上で、対策の妥当性を説明すること。	6, 7

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

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

(1) 重大事故等対策の有効性評価 (指摘事項No.266)

- 指摘事項 (第866回審査会合 令和2年6月9日)
ブローアウトパネルの数を3個から2個に変更する影響について、既許可の添付書類十の解析の主蒸気破断における被ばくの影響について明確にすること。

■ 回答

既許可の添付書類十の主蒸気管破断事故における線量評価においては、大気中へ放出される核分裂生成物はタービン建物から地上放散するものとして評価を行っていることから、原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネルの数の変更に伴う被ばく線量評価結果への影響はないことを確認している。

表266-1 主蒸気管破断事故 主要解析条件

項目	条件
破断箇所	格納容器外側主蒸気管 1 本 (瞬時両端破断)
主蒸気隔離弁全閉時間	事故後5.5秒
大気拡散	タービン建物からの地上放散
冷却材流出量の変化	図266-1参照

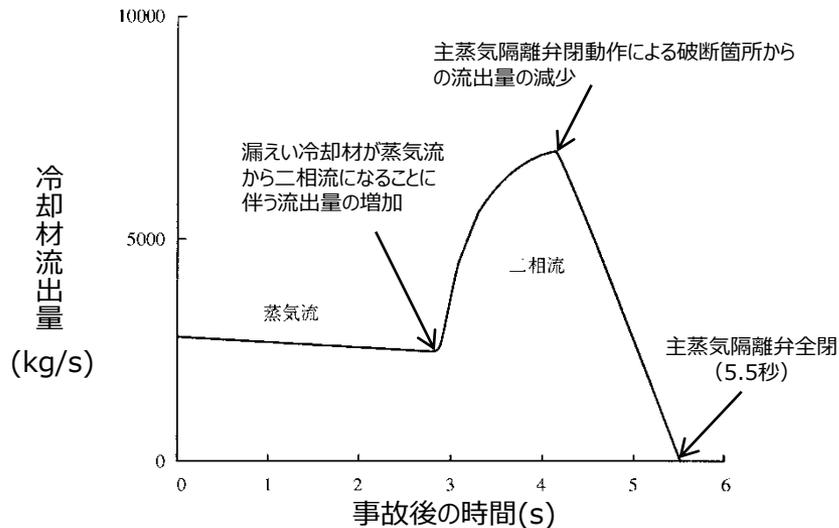


図266-1 主蒸気管破断時の冷却材流出量の変化

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

(1) 重大事故等対策の有効性評価 (指摘事項No.267)

- 指摘事項 (第866回審査会合 令和2年6月9日)
ISLOCA発生の検知について、検知の手順のトリガーとなる検知器の手段についてはSA 設備、自主対策設備等の位置づけを明確にすること。
- 回答
 - ISLOCA発生時及び漏えいエリアの特定に使用する計器等の位置付けについて、表267-1のとおり明確化した。
 - ISLOCA発生後の漏えいエリアの特定は、火災感知器の動作状況により確認する。火災感知器により確認できない場合には、監視カメラ、漏えい検知器、温度検知器、エリア放射線モニタの状況を確認する。
なお、上記確認設備により状況が確認できない場合には、巡視によりエリアの特定を実施する。

表267-1 ISLOCA発生確認及び漏えいエリアの特定のための確認設備

	確認設備	位置付け
ISLOCAの発生確認	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉水位 ・原子炉圧力 ・格納容器圧力・雰囲気温度 ・ポンプ出口圧力 	設置許可基準規則第58条に基づく計装設備
漏えいエリアの特定	<ul style="list-style-type: none"> ・火災感知器 	設置許可基準規則第8条に基づく火災感知設備

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

(1) 重大事故等対策の有効性評価（指摘事項No.171）（1/2）

- 指摘事項（第858回審査会合 令和2年4月28日）
格納容器ベント実施時の一時退避中における大型送水ポンプ車への給油作業の必要性について、想定する大型送水ポンプ車の流量の妥当性も踏まえて説明すること。また、対策の変更の際には、ソフトだけでなくハードでの対応も検討した上で、対策の妥当性を説明すること。
- 回答
 - 一時待避中における大型送水ポンプ車への燃料給油は、運用面及び設備面の対応を講ずることで不要とする。
 - 運用面の対応として、ベント実施前の大型送水ポンプ車の必要流量を算出し、それに見合った燃料消費量を実証試験で確認したところ、一時待避中における待避時間（約11時間30分）を超える約15時間50分の運転継続が可能であることが確認できたため、一時待避前に必要流量まで絞り、連続運転可能時間を延長する。また、設備面の対応として、大型送水ポンプ車の燃料タンク容量（現状990L）を増量し、運転時間をさらに延長する。

【運用面による対応の検討内容】

- 第858回審査会合時において、一時待避中の大型送水ポンプ車の必要流量は、原子炉停止8時間経過後の崩壊熱（23MW※1）を除去するための必要流量780m³/hとし、既実証試験結果を参考に近い流量であった880m³/h時の燃料消費量から、再給油はベント実施7時間後としていた。
今回、解析結果のベント実施時間は事象発生約32時間後であり、運用上ベント実施1時間前（事象発生約31時間後）に燃料給油を実施し待避するが、原子炉の崩壊熱はベントにより大気へ放出され大型送水ポンプ車による冷却は必要ないため、その他補機（FPC等）の冷却のみを考慮する（約4MW）こととし、必要流量は大型送水ポンプ車の最低流量約340m³/hでの運転継続時間について再検討した。
※1：原子炉及びその他補機（FPC等）の崩壊熱を含んでいる。
- 上記を踏まえ、大型送水ポンプ車の流量約340m³/hでの燃料消費量を確認するため実証試験※2を実施した。試験の結果、340m³/hでの燃料消費量は約60L/hであり、連続運転可能時間は約15時間50分※3となる。
上記試験結果より、図171-1に示す一時待避中において、燃料給油を実施することなく、大型送水ポンプ車の運転を継続させることが可能であることから、流量を340m³/hまで絞り、連続運転可能時間を延長する。
※2：実証試験（燃料消費量確認）は、規定流量にて約1時間運転し、1分毎にデータを採取しその平均を算出
※3：燃料タンク容量990Lのうち、タンク底部の吸い取れない容量約35Lを除いた値（955L）にて算出

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

(1) 重大事故等対策の有効性評価 (指摘事項No.171) (2/2)

■ 回答 (続き)

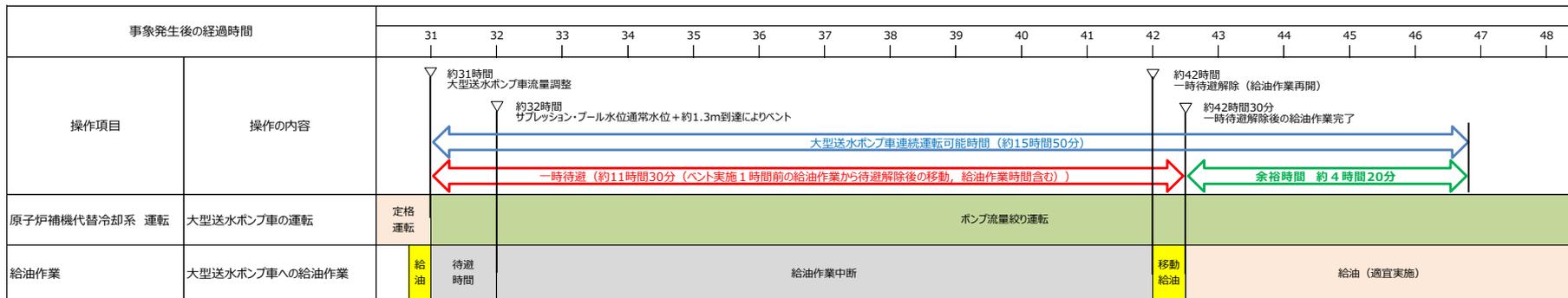


図171-1 ベント実施時の大型送水ポンプ車の運転及び給油作業タイムチャート

【設備面による対応の検討内容】

- 運用面による対応により、一時待避中に燃料給油を実施することなく、継続運転が可能であるが、さらに連続運転可能時間に余裕を持たせるため、大型送水ポンプ車のタンク容量を増量することで、連続運転可能時間を延長させる。
- 設備面による対応として、大型送水ポンプ車の燃料タンク容量を既存の990Lから、約1時間以上の運転延長が可能となるようタンク容量を増量する。

(2) 格納容器フィルタベント系について

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

(2) 格納容器フィルタベント系について 指摘事項一覧

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
106	令和2年2月20日	ベント戦略の変更による低圧・低流速状態でのベント実施時のフィルタ性能への影響評価に性能試験結果を踏まえて説明すること。	10
107	令和2年2月20日	水素排出経路における水素爆発防止のための水素滞留防止対策について、窒素パージ運用だけでなく、設備面の対策についても設置許可基準規則及びその解釈への適合性を説明すること。また、あわせて可搬型水素濃度計の運用についてベント実施中の水素濃度監視の観点も踏まえ、整理して説明すること。	11～14
108	令和2年2月20日	系統設計として、スクラバ容器等を4基構成にしている理由、性能への評価について設計の経緯も含めて説明すること。	15
109	令和2年2月20日	ベント実施中はフィルタベント排気ラインへ凝縮水が滞留し、排気ラインドレンからスクラバ容器（銀ゼオライトフィルタ経由）へ排出されるとの説明であるが、銀ゼオライトフィルタへの影響について詳細に説明すること。また、通常待機時に滞留する雨水の排出の頻度の考え方を示すこと。	16,17
110	令和2年2月20日	格納容器フィルタベント系への雨水の流入防止について、現状の対策を説明するとともに、影響、効果等を考慮して追加対策ができるか検討すること。	

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（重大事故等対処設備：別添資料－1 格納容器フィルタベント系について）」の番号を記載

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

(2) 格納容器フィルタベント系について (指摘事項No.106)

■ 指摘事項 (第838回審査会合 令和2年2月20日)

ベント戦略の変更による低圧・低流速状態でのベント実施時のフィルタ性能への影響評価に性能試験結果を踏まえて説明すること。

■ 回答

- フィルタ装置 (スクラバ容器) はベンチュリスクラバ及び金属フィルタの組合せでエアロゾルを除去するものであり、図106-1に示すとおり、フィルタ装置 (スクラバ容器) 全体の性能検証試験範囲 (①) は全域にわたって 以上を満足する。
- ベント戦略の変更による低圧・低流速状態でのベント実施においてフィルタ性能が要求されるケースとしては、アーリーベント後に炉心損傷する場合が考えられるが、この場合に該当するシナリオとして、仮にTQUVシナリオでアーリーベント後に炉心損傷する場合を想定すると、事故後7日間のベンチュリノズル部のベントガス流速は図中②に示す範囲となり、全範囲にわたり性能検証試験範囲 (①) 内であるため、フィルタ装置 (スクラバ容器) は十分な性能があると評価できる。
- なお、アーリーベント後にベンチュリスクラバの設計上考慮している運転範囲 (③) を下回る範囲で炉心損傷する場合、金属フィルタの負荷量が大きくなることが考えられるが、仮に有効性評価のうち炉心損傷する代表的な事故シナリオである格納容器過圧・過温破損におけるエアロゾル移行量の全量が金属フィルタに移行すると想定した場合でも、金属フィルタの閉塞が発生することはない。

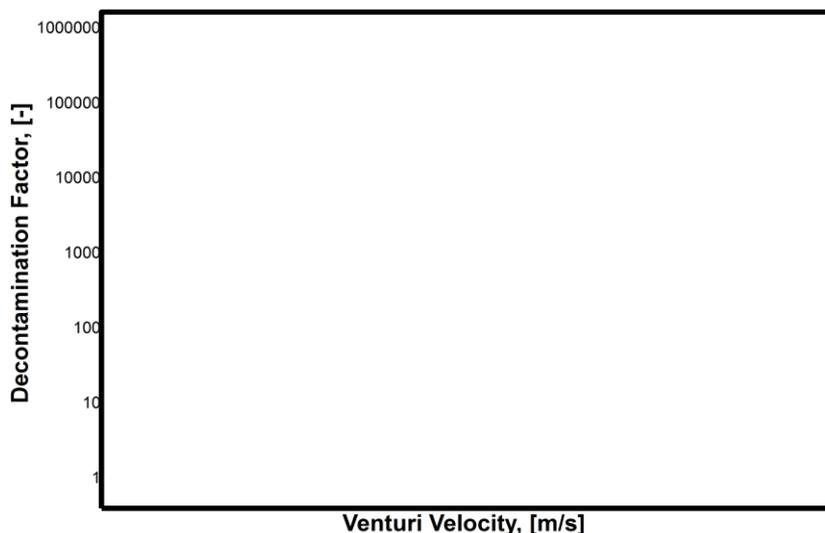


図106-1 性能検証試験結果 (ベンチュリノズル部におけるベントガス流速に対する除去係数)

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

(2) 格納容器フィルタベント系について (指摘事項No.107) (1/4)

■ 指摘事項 (第838回審査会合 令和2年2月20日)

水素排出経路における水素爆発防止のための水素滞留防止対策について、窒素パージ運用だけでなく、設備面の対策についても設置許可基準規則及びその解釈への適合性を説明すること。

また、あわせて可搬型水素濃度計の運用についてベント実施中の水素濃度監視の観点も踏まえ、整理して説明すること。

■ 回答

【設備面の対策について】

- 格納容器フィルタベント系は、排気中に含まれる可燃性ガスによる爆発を防ぐため、系統内を窒素ガスで置換した状態で待機させ、ベント実施後においても可搬式窒素供給装置により窒素パージを行うことが可能な設計とする。また、排出経路の枝管のうち可燃性ガスが蓄積する可能性のある箇所にはバイパスラインを設け、可燃性ガスを連続して排出できる設計とすることで、系統内で水素濃度及び酸素濃度が可燃領域に達することを防止できる設計とする。
- 排出経路における水素濃度を測定し、監視できるよう、フィルタ装置出口配管に可搬型の水素濃度測定設備を設置する。

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

(2) 格納容器フィルタベント系について (指摘事項No.107) (2/4)

■ 回答 (続き)

【可搬式窒素供給装置の運用について】

- ベント実施中は、格納容器から多量の蒸気が排出されるためベントガス中の水素濃度は低く、ベントガス流速が大きいことから、水素が系統内で滞留することはないため、水素爆発は発生しない。
- 可搬式窒素供給装置は、ベント停止前までに起動し、格納容器に窒素を供給することにより格納容器内の窒素置換を行うとともに、水素の排出経路である格納容器フィルタベント系の系統内の窒素パーージを連続的に実施する。
- ベント停止にあたって格納容器への窒素供給を停止するが、ベント停止後すみやかに格納容器フィルタベント系に窒素を供給することにより系統内の窒素パーージを実施する。なお、可搬式窒素供給装置は接続口に接続したまま起動状態を維持でき、弁操作のみで窒素供給先を格納容器側から格納容器フィルタベント系側に切り替えることが可能であり、また可搬式窒素供給装置への燃料補給中であっても窒素パーージを連続して実施可能である。
- 可搬式窒素供給装置による窒素パーージは、スクラビング水の格納容器 (S/C) への移送を完了するまで継続する。
- 上記運用を踏まえ、排出経路のハイポイントにおける水素の排出状況をベントガス流速及び窒素パーージ流速を用いて評価した結果、表107-1で示すとおり、ガイドライン※¹で示されている水素を排出可能な流速である1mm/s以上であり、各ハイポイントにおいて水素は滞留せず、放出端から排出されることを確認した。

表107-1 ハイポイントにおけるガス流速

ハイポイント	ベントガス流速※ ² (mm/s)	窒素パーージ流速※ ³ (mm/s)
① 非常用ガス処理系との隔離弁 (AV216-12) までの配管に設置されたバイパスライン	約19500	約450
② ベント弁第3弁 (MV226-13) 下流配管	約16800	約400
③ 銀ゼオライト容器入口配管 (全4箇所)	約4200	約100
④ フィルタ装置出口配管 (全2箇所)	約4200	約100

- ※ 1 日本原子力技術協会「BWR配管における混合ガス(水素・酸素)の燃焼による配管損傷防止に関するガイドライン (第3版)」(平成22年3月)
- ※ 2 有効性評価のうち、格納容器過圧・過温破損 (大LOCA + SBO + ECCS機能喪失) における約100日後の蒸気流量による評価
- ※ 3 可搬式窒素供給装置の窒素パーージ流量100m³/hによる評価

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

(2) 格納容器フィルタベント系について (指摘事項No.107) (3/4)

■ 回答 (続き)

【可搬式窒素供給装置の接続口について】

- 可搬式窒素供給装置は、格納容器フィルタベント系又は残留熱代替除去系により格納容器の減圧及び除熱を行う場合に使用し、格納容器 (D/W, S/C) 及び格納容器フィルタベント系への窒素供給ラインを独立して設置することとしているが、原子炉建物付属棟内にそれぞれのラインの接続口【図中①】を追加で設置することにより、窒素供給の信頼性向上を図る。
- 原子炉建物付属棟内の接続口については、原子炉建物南側の接続口【図中②】が使用できない場合に使用する。

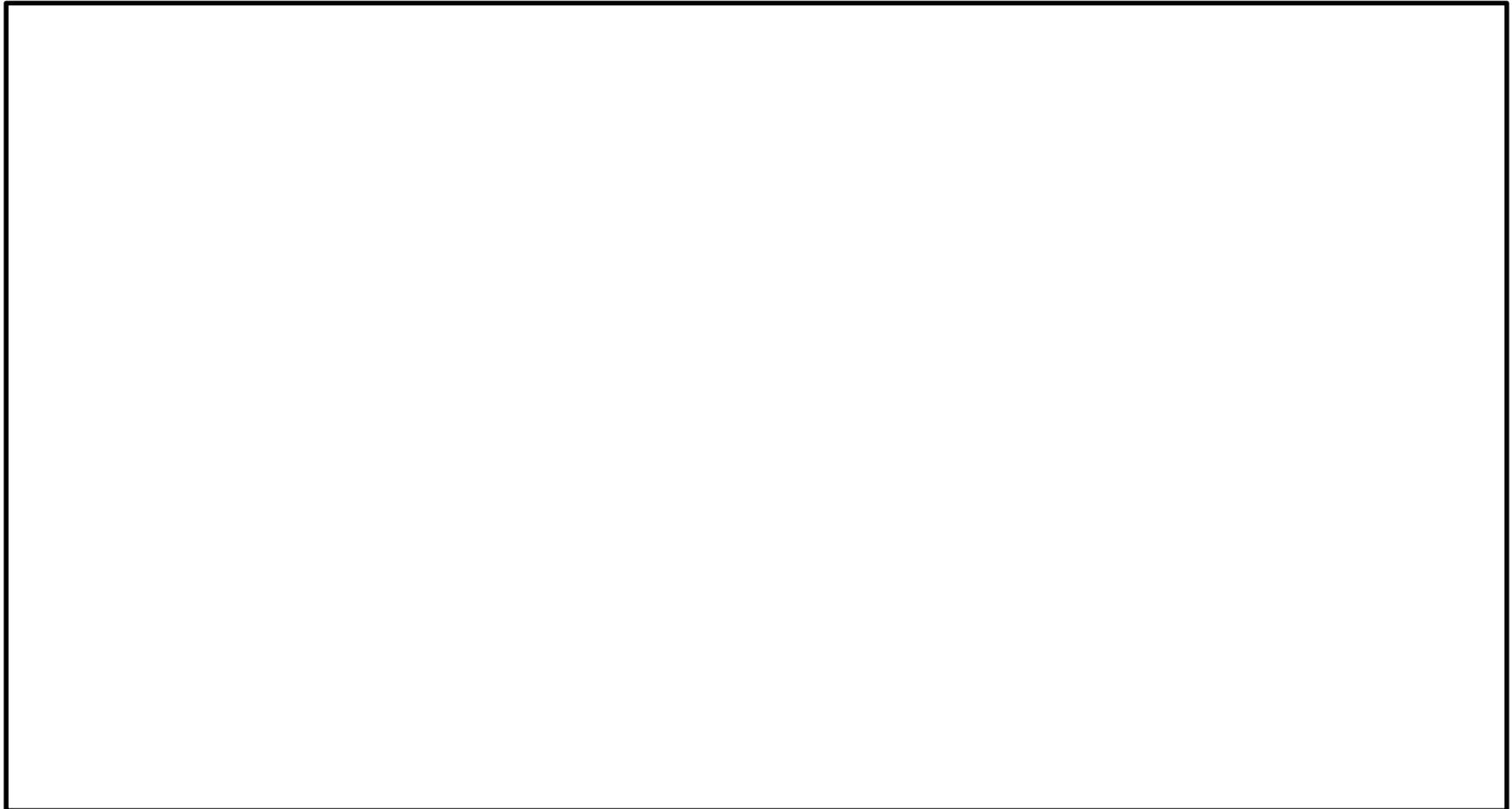


図107-2 窒素供給ラインの追設範囲

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

(2) 格納容器フィルタベント系について (指摘事項No.107) (4/4)

■ 回答 (続き)

【可搬型の水素濃度測定設備の設計について】

- 可搬型の水素濃度測定設備は、格納容器フィルタベント系の排出経路での水素爆発を防止するために行う窒素パージが確実に実施されていることを確認する目的で水素濃度を測定、監視するために設置する。
- ベント実施中は水素が格納容器フィルタベント系統内で滞留することはないため、格納容器への窒素供給を実施するベント停止前のタイミングで測定を開始する。なお、可搬型の水素濃度測定設備は、ベント実施までに測定の準備を実施する。
- ベント停止後にスクラバ容器内で発生した水素は窒素パージによりフィルタ装置下流側に連続排出されること、及び意図せず窒素パージが中断した場合の水素濃度推移 (図107-3)を踏まえるとフィルタ装置下流側のドライ値の計測により、窒素パージ状況の異常の早期検知が期待できるため、図107-4に示すフィルタ装置下流側に水素濃度測定箇所を設け排出経路での水素蓄積徴候を監視する設計とする。



①フィルタ装置上流 (ハイポイント(EL.41050))

閉塞配管で流れはなく窒素充填配管に水素が徐々に蓄積する。蒸気は配管経路で全量凝縮しドライ状態と想定され、可燃限界濃度到達は約18時間後。

②フィルタ装置下流 (水素濃度測定箇所)

大気開放のため窒素は排出されるが、スクラバ容器内で発生するガスにより流れが生じ水素は蓄積しない。スクラバ容器内は水素より蒸気の発生量が大きく、発生するガスはウェット状態であり可燃限界濃度に達しない。

③水素濃度測定 (ドライ値)

スクラバ容器内で発生するガスから蒸気を除くとほぼ水素と酸素のみであり、窒素が供給されない窒素パージ中断後は測定結果が顕著に上昇する。

図107-3 窒素パージ中断後の水素濃度推移(事故7日後想定)



図107-4 水素濃度測定設備の測定箇所

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

(2) 格納容器フィルタベント系について (指摘事項No.108)

- 指摘事項 (第838回審査会合 令和2年2月20日)
系統設計として、スクラバ容器等を4基構成にしている理由、性能への評価について設計の経緯も含めて説明すること。

- 回答
【格納容器フィルタベント系の設計経緯】

➤ 当初設計

- フィルタベント設備のシステム設計としては、海外でスクラバ容器を2基構成とした実績があり、島根2号機においても地下格納槽内の配置スペースの観点で容器をコンパクトに設計するため、スクラバ容器を複数基とする設計が可能であることを確認したことから、スクラバ容器を複数基で構成するシステムを採用した。
- スクラバ容器の容量として、スクラバ容器の設計崩壊熱量370kWに対応できるスクラビング水量を確保するため、性能検証試験 (JAVA試験) で使用された容器と同等の高さのスクラバ容器を4基設置することとした。
- スクラバ容器を4基構成としたことから、フィルタ装置出口配管についても4本構成とした。

➤ 設計変更

- フィルタベント設備の設計を進める段階で、スクラバ容器では捕集できない有機よう素を捕集するために銀ゼオライト容器を追加することを決定し、スクラバ容器下流に追設した。銀ゼオライト容器については、必要な容量と設置スペースを考慮し、1基構成とした。
- 銀ゼオライト容器の追設に伴い、流量制限オリフィスの位置を銀ゼオライト容器上流としたことにより、フィルタ装置出口配管4本にそれぞれ設置することとしていた圧力開放板にかかる圧力が低下し、圧力開放板の破裂枚数に応じた配管圧損を計算した結果、圧力開放板が2枚破裂すると残り2枚の圧力開放板上流の圧力が設定破裂圧力 80 kPa[gage] を下回ることを確認したため、フィルタ装置出口配管について途中で1本の配管 (400A) に合流させ、圧力開放板を1個設置する設計に変更した。

【フィルタ性能への影響評価】

- スクラバ容器を4基構成とした場合でも、各スクラバ容器の配管圧損の差が十分小さくなるよう配管のルート計画を考慮しており、ベント流量のバラつきを評価した結果、性能に影響は無いことを確認している。
- フィルタ装置出口配管を4本構成とした場合でも、フィルタ装置出口配管の圧力損失が小さくなるよう配管口径を300Aとし、流量制限オリフィスにおける圧力差を確保することで、ベントガス流速の運転範囲が性能検証試験範囲内であることを確認している。

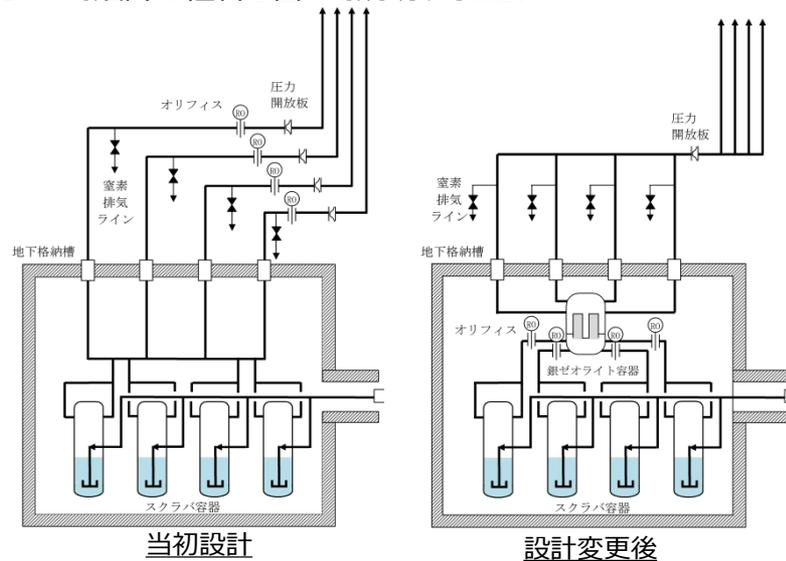


図108-1 設計変更の経緯

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

(2) 格納容器フィルタベント系について（指摘事項No.109,110）（1/2）

■ 指摘事項（第838回審査会合 令和2年2月20日）

- ベント実施中はフィルタベント排気ラインへ凝縮水が滞留し、排気ラインドレンからスクラバ容器（銀ゼオライトフィルタ経由）へ排出されるとの説明であるが、銀ゼオライトフィルタへの影響について詳細に説明すること。また、通常待機時に滞留する雨水の排出の頻度の考え方を示すこと。
- 格納容器フィルタベント系への雨水の流入防止について、現状の対策を説明するとともに、影響、効果等を考慮して追加対策ができるか検討すること。

■ 回答

- ベント実施中にベントガス流量が少なくなるとフィルタ装置出口配管で発生したドレンは放出端より排出できなくなり、格納容器フィルタベント系配管を通して銀ゼオライト容器まで戻る構成としており、その後、ドレンは銀ゼオライトフィルタ出口側ドレンラインを通してスクラバ容器連結管（液相部）に流入する。
- ベント実施後にはスクラバ容器と銀ゼオライト容器には圧力差が生じるため、銀ゼオライトフィルタ出口側ドレンラインにおいては、以下の水位が形成される。

$$H = h_1 + h_2 + h_3 \cdots (\text{式1})$$

H: 銀ゼオライトフィルタ出口側ドレンラインに形成される水位

h_1 : スクラバ容器のスクラビング水位

h_2 : スクラバ容器と銀ゼオライト容器の圧力差に相当する水位

h_3 : ドレンラインで発生する圧力損失に相当する水位

- ベントガスによりドレンを出口配管の放出端から排出できなくなる時点の圧力差で水位を評価した結果、図109-1に示すとおり、ドレンラインに形成される水位は、最大でも銀ゼオライトフィルタ下端以下となる。
- ドレン発生量は少ないため、ドレンラインで発生する圧力損失はほぼゼロであり、式1に示す h_3 に相当する水位は無視できるため、 h_1 及び h_2 に相当する水位までドレンが溜まれば、ドレンはスクラバ容器に排出される。

図109-1 銀ゼオライトフィルタドレンラインに形成される水位の評価結果

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

(2) 格納容器フィルタベント系について（指摘事項No.109,110）（2/2）

17

■ 回答（続き）

- 格納容器フィルタベント系出口配管の放出端は，図109-2に示すとおり，放出方向を水平とし，水平部を1m以上確保したうえで，先端を45度で斜切りした形状としていたが，さらに，図109-3に示すとおり，先端を約70度で斜切りした形状に変更することで，出口配管内に雨水が浸入し難いような対策を図る。なお，放出端には，異物混入防止のためバードスクリーンを設置する。
- 上記の対策により，出口配管内への雨水の浸入はほぼないと考えているが，出口配管下端の雨水排水ラインの止め弁について，格納容器フィルタベント系の系統待機時における弁状態を閉運用から開運用に変更することとし，系統待機時に雨水排水ラインに雨水が溜まらない運用とする。雨水排水ラインの止め弁については，ベント実施前に人力で確実に閉操作する運用とする。



図109-2 格納容器フィルタベント系出口配管（放出端及び雨水排水ライン）

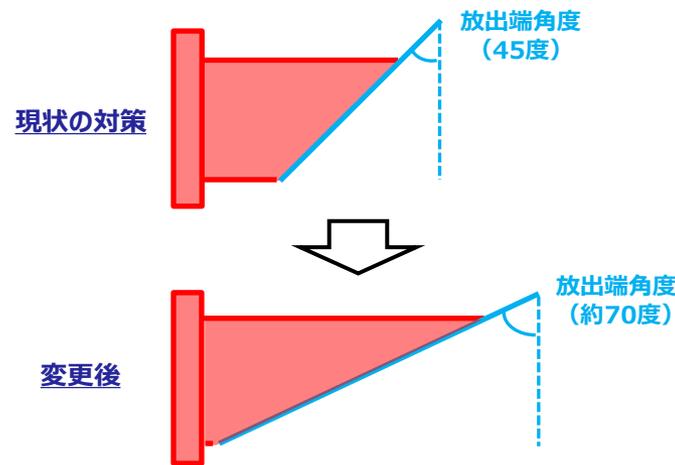


図109-3 放出端の雨水浸入防止対策

(3) 残留熱代替除去系について

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

(3) 残留熱代替除去系について 指摘事項一覧

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
1	令和2年2月20日	除熱手段に関する自主対策についても全体像を示すこと。	20

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（重大事故等対処設備：別添資料－2 残留熱代替除去系を用いた代替循環冷却の成立性について）」の番号を記載

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

(3) 残留熱代替除去系について (指摘事項No.1)

■ 指摘事項 (第838回審査会合 令和2年2月20日)

除熱手段に関する自主対策についても全体像を示すこと。

■ 回答

残留熱代替除去系が使用できない場合、除熱手段として以下を設ける。各手段は、事故発生約30日後の崩壊熱を除去可能である。

➤ 可搬型格納容器除熱系による格納容器除熱 (図1-1)

サプレッション・チェンバを水源とし、耐熱ホース・可搬ポンプによりサプレッション・プール水を可搬型熱交換器へ供給し、除熱したサプレッション・プール水を原子炉圧力容器へ注水する。可搬ポンプの容量を考慮し、サプレッション・プール水冷却及び格納容器スプレイは行わない設計ではあるが、サプレッション・プール水温及び格納容器温度は低下し、格納容器除熱が可能である。

➤ 原子炉補機代替冷却系を用いた原子炉浄化系 (CUW) による原子炉除熱 (図1-2)

原子炉圧力容器を水源とし、CUW補助ポンプにより炉水をCUW補助熱交換器へ供給し、除熱した炉水を原子炉圧力容器へ注水することにより崩壊熱除去が可能である。

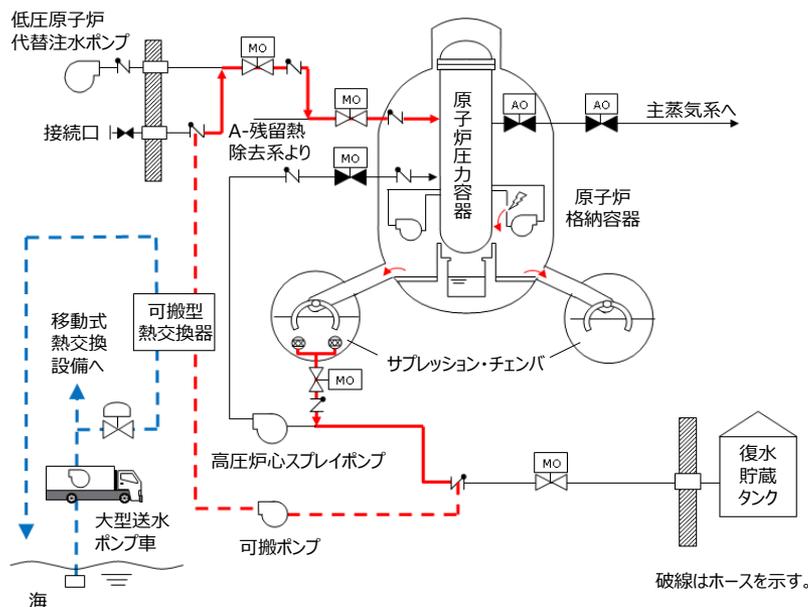


図1-1 可搬型格納容器除熱系による格納容器除熱

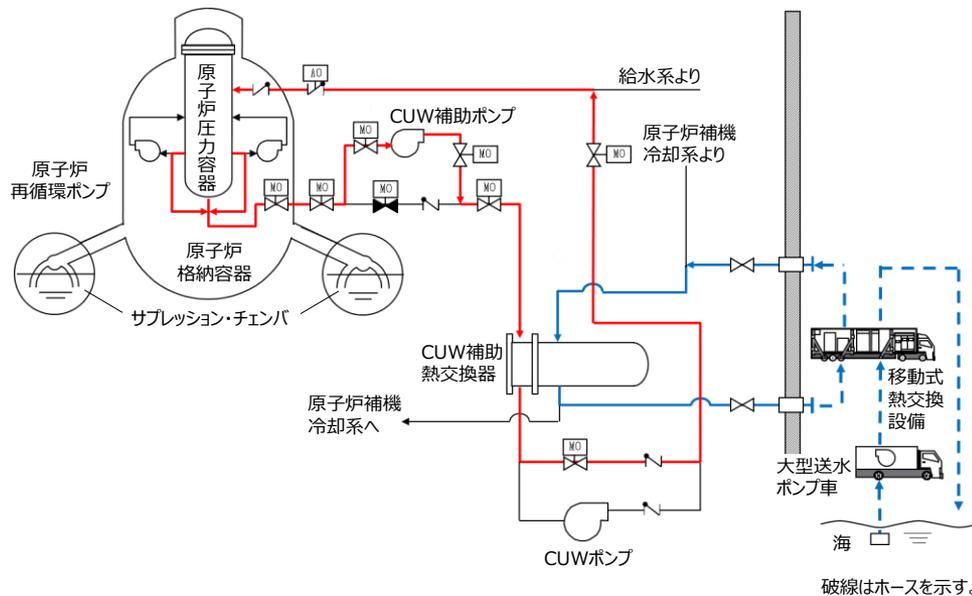


図1-2 原子炉補機代替冷却系を用いた原子炉浄化系による原子炉除熱

(4) 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備について

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

(4) 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備について 指摘事項一覧

No.	審査会合日	指摘事項の内容	回答頁
7	令和2年2月6日	水素が建屋内でどのように流れるかを踏まえて、P A Rの設置場所の考え方について説明すること。	23～26
8	令和2年2月6日	各サブボリュームに設置されているP A Rの設置箇所には、設置個数の偏りがあるため、設置箇所及び解析モデルの妥当性について、検討過程を含めて説明すること。	
9	令和2年2月6日	局所漏えいを考慮して設置するとしている原子炉建屋水素濃度計について、サプレッションチェンバ・アクセスハッチに設置しない考え方を説明すること。	27
10	令和2年2月6日	反応阻害物質ファクタの評価について、格納容器から漏えいする粒子状放射性物質や一酸化炭素等による触媒性能への影響も含めて整理すること。	28～29
11	令和2年2月6日	自主対策であるB O P開放の目的、想定外の水素濃度上昇に対する自主対策を整理して説明すること。	30
12	令和2年2月6日	原子炉棟3階の水素濃度が上昇継続しているが、その後の事象収束について整理して説明すること。	31

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（重大事故等対処設備：別添資料－3 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備について）」の番号を記載

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

(4) 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備について (指摘事項No.7,8) (1/4)

■ 指摘事項 (第832回審査会合 令和2年2月6日)

- 水素が建屋内でどのように流れるかを踏まえて、P A Rの設置場所の考え方について説明すること。
- 各サブボリュームに設置されているP A Rの設置箇所には、設置個数の偏りがあるため、設置箇所及び解析モデルの妥当性について、検討過程を含めて説明すること。

■ 回答

(1) P A R設置箇所の考え方 (階層)

- 原子炉格納容器の各ハッチ等から漏えいした水素を含む高温のガスは、図7-1に示すとおり、原子炉建物4階(燃料取替階)に上昇すると考えられることから、燃料取替階にP A Rを設置する。

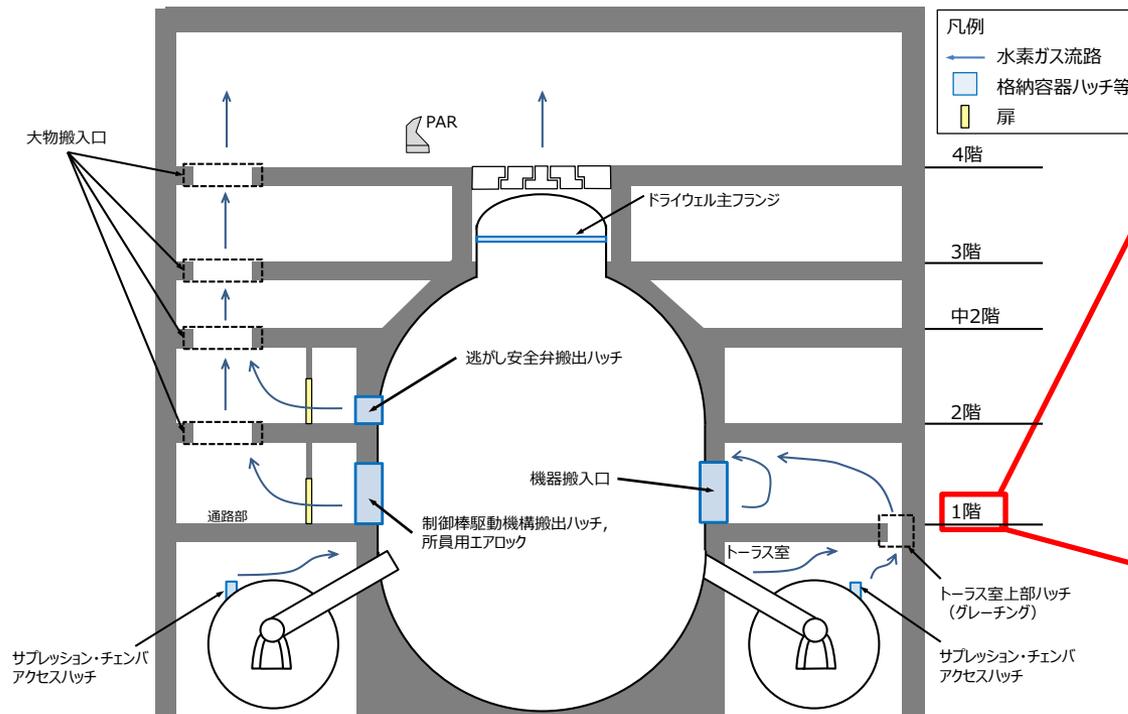


図7-1 水素ガス流路のイメージ図 (原子炉建物 (断面図))

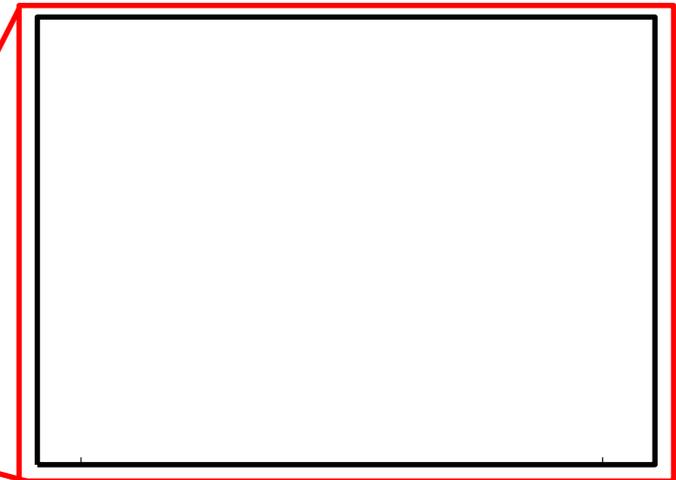


図7-2 水素ガス流路のイメージ図
(原子炉建物1階 平面図)

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

(4) 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備について (指摘事項No.7,8) (2/4)

■ 回答 (続き)

(2) P A R設置箇所の考え方 (高さ方向)

- 電共研※において、P A Rを燃料取替階の下層部に設置した場合と上層部に設置した場合の解析を実施している。解析モデル及び解析結果を図7-3に示す。
- 図中(1)に示すとおり、P A Rを下層部に設置した場合、原子炉格納容器から漏えいした高温の気体及びP A Rの再結合処理に伴う高温の排気による上昇流と、上昇した気体が天井及び側壁にて冷却されることで発生する下降流により、燃料取替階の雰囲気全体を混合する自然循環流が生じ、水素濃度がほぼ均一になっている。
- 一方、P A Rを上層部に設置した場合は、図中(2)に示すとおり、P A Rからの排気は、再結合反応により発生するエネルギーが大きいのに対して天井までの移動距離が短いため天井及び側壁で十分冷却されず、燃料取替階の雰囲気全体を混合する自然循環流とはならない。その結果、高温かつ水素濃度の低いP A Rの排気ガスが天井付近に蓄積し、温度成層効果により原子炉格納容器から漏えいした水素の上昇が抑制され、P A R下端レベルより下側に高濃度の水素が蓄積する結果となっている。
- 以上から、高さ方向のP A R設置箇所は、より自然循環流が発生しやすい燃料取替階の下層部へ設置することとする。

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

(4) 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備について (指摘事項No.7,8) (3/4)

■ 回答 (続き)

(3) P A R 設置箇所の考え方 (水平方向)

- 燃料取替階の下層部について、現場調査した結果、図7-4に示す着色部については下記①～③の理由で、設置困難箇所であることを確認した。

<設置困難箇所の理由>

- ① 定期検査等において、通行や他設備の点検作業の支障となる。(図中 部)
- ② 水素濃度、放射線量の監視の支障となる。(図中 部)
- ③ 冷却機等の既存設備に干渉する。(図中 部)

- 設置困難箇所以外から、P A R の点検スペースが比較的確保しやすい箇所を抽出した上で、燃料取替エリアと原子炉補助エリアの空間容積比を考慮した台数の P A R を可能な範囲で分散配置させるように設置箇所を選定した。

<凡例>

- : P A R 設置箇所
- : P A R の点検スペースが比較的確保しやすい箇所
- : P A R の点検スペースが確保しにくい箇所

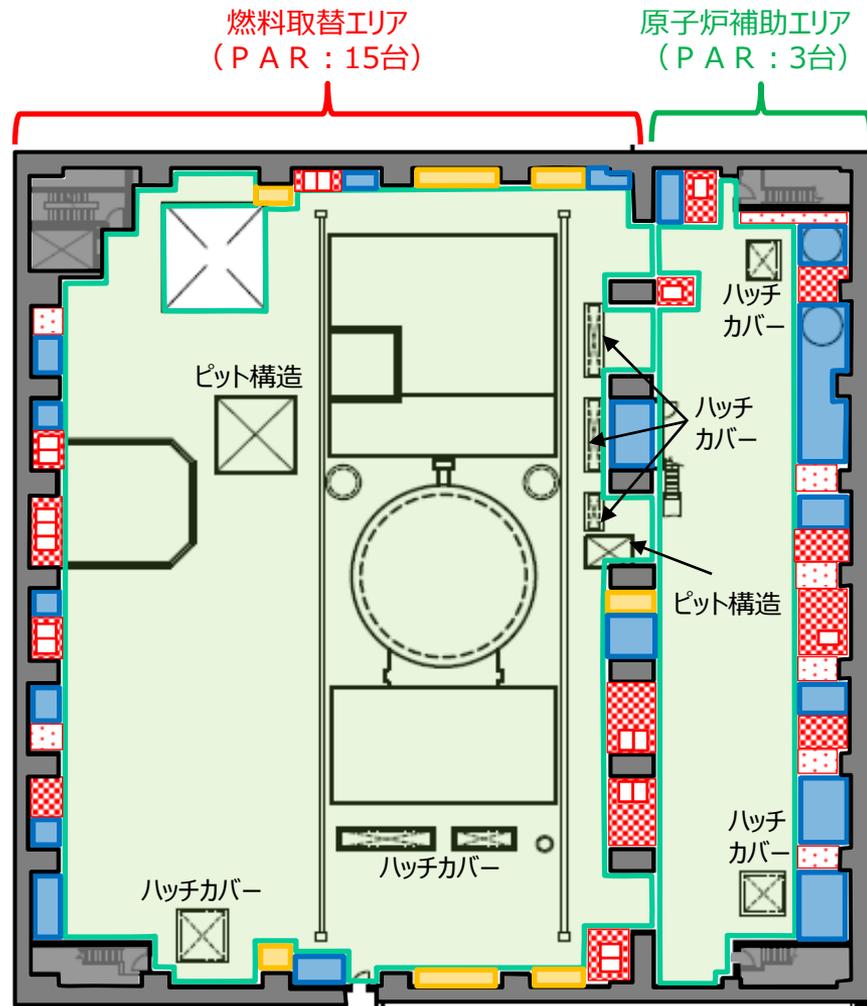


図7-4 現場調査結果 (燃料取替階)

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

(4) 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備について (指摘事項No.7,8) (4/4)

■ 回答 (続き)

(4) 解析モデル設定の考え方

- 燃料取替階の形状を踏まえたサブボリュームの分割の考え方を表7-1に示す。また、表7-1の考え方に基づき設定した解析モデルを図7-5に示す。

表7-1 サブボリューム分割の考え方

水平方向 (第1,2層)	高さ方向 (断面図)

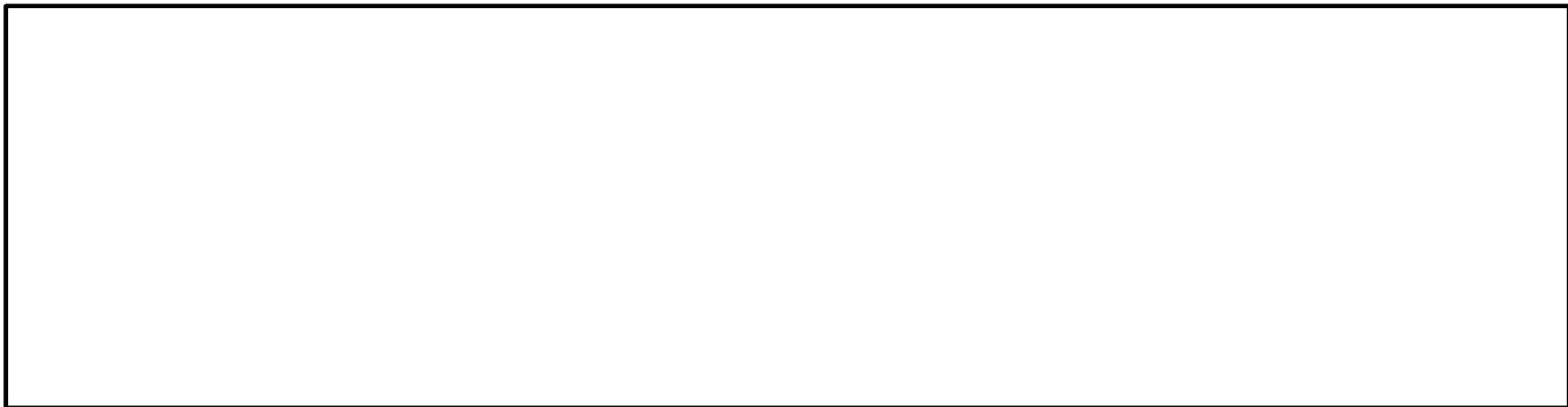


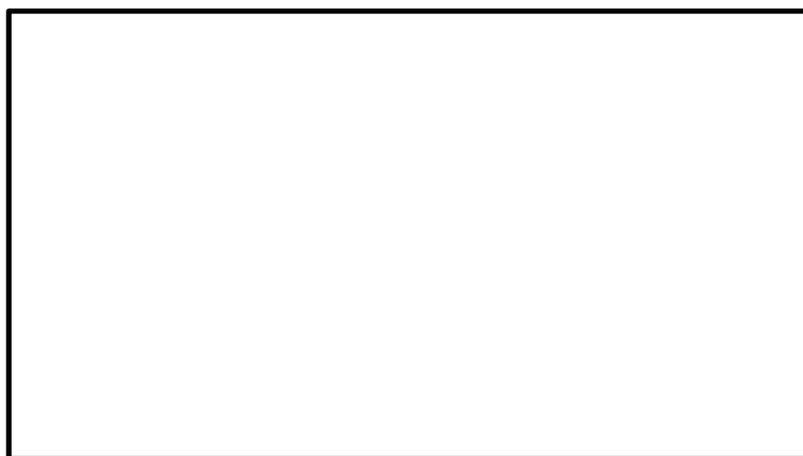
図7-5 解析モデル

上記(1)~(3)に基づきP A Rを設置し、(4)の解析モデルに基づき水素濃度解析を実施した結果、燃料取替階における水素濃度は可燃限界未満になることを確認したことから、P A R設置箇所は妥当であると考えます。

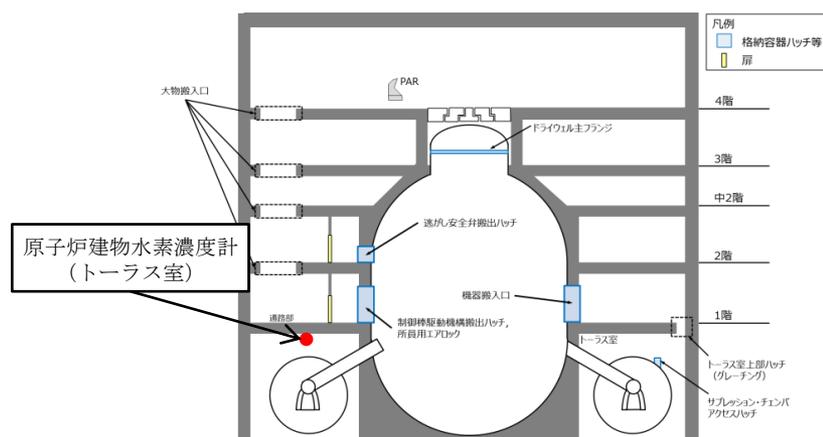
1. 審査会合での指摘事項に対する回答

(4) 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備について (指摘事項No.9)

- 指摘事項（第832回審査会合 令和2年2月6日）
局所漏えいを考慮して設置するとしている原子炉建屋水素濃度計について、サプレッションチェンバ・アクセスハッチに設置しない考え方を説明すること。
- 回答
- トーラス室上部ハッチ（グレーチング）は常時開口しており、トーラス室の雰囲気は原子炉建物の上階に流れ水素が滞留することはなく、上階の局所エリア以外と同様、最終的に原子炉建物4階に到達することから、トーラス室は局所エリアとみなさず水素濃度計を設置しない設計としていた。
- トーラス室の水素濃度は可燃限界未満となることは解析でも確認しているものの、PCVから漏えいした水素ガスを早期検知することは、水素爆発による原子炉建物の損傷を防止するために有益な情報となることから、サプレッション・チェンバアクセスハッチが設置されているトーラス室にも水素濃度計を設置し、事故時の監視機能を向上させる設計に変更する。
- トーラス室の水素ガスの挙動としては、原子炉格納容器から漏えいした高温の気体による上昇流と、上昇した気体が天井および側壁にて冷却されることで発生する下降流により、トーラス室の雰囲気全体を混合する自然循環流が生じ、水素濃度はほぼ均一になると考えられるため、計器配置上の制約はない。ただし、影響は小さいもののトーラス室上部ハッチの近傍は開口部での対流により水素濃度の低い上階雰囲気の流入が考えられるため、図9-1に示す開口部の対角位置に水素濃度計を1台設置する。



(原子炉建物地下1階 平面図)



(原子炉建物 断面図)

図9-1 トーラス室水素濃度計の設置場所

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。

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

(4) 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備について (指摘事項No.10) (1/2)

■ 指摘事項 (第832回審査会合 令和2年2月6日)

- 反応阻害物質ファクタの評価について、格納容器から漏えいする粒子状放射性物質や一酸化炭素等による触媒性能への影響も含めて整理すること。

■ 回答

- 炉心損傷を伴う重大事故等時において、原子炉格納容器内に一酸化炭素、よう化セシウム等の粒子状物質、ガス状よう素等が発生する。これらが原子炉棟へ漏えいした場合、P A Rの触媒性能に影響を与える可能性があるため、影響評価を行った。
- 以下のとおり、ガス状よう素等による触媒性能への影響は小さいと考えるが、ガス状よう素による触媒の性能低下に余裕を考慮し、反応阻害物質ファクタを0.5 (50%のP A R性能低下) と設定している。

(1) 一酸化炭素

- ・ M C C Iにより発生する一酸化炭素は、燃料取替階に全量漏えいすることは考え難いが、仮にP A Rの触媒に対して最も厳しい条件である燃料取替階へ全量漏えいしたとした場合、一酸化炭素濃度は約 $1.5 \times 10^{-4} \text{kg/m}^3$ である。
- ・ S N E試験※では、一酸化炭素濃度 [] で触媒性能への影響を確認しており、P A R性能低下は [] であることを確認している。
- ・ 試験条件と比べて、島根2号炉で想定される一酸化炭素濃度は十分に低く、触媒性能への影響は小さいと考える。

※Southern Nuclear Engineering試験

(2) ガス状よう素

- ・ ガス状よう素は、原子炉格納容器内での沈着や原子炉格納容器スプレイにより除去されることから、原子炉棟への漏えい量は少なく、燃料取替階に全量漏えいすることは考え難いが、仮にP A Rの触媒に対して最も厳しい条件である燃料取替階へ全量漏えいしたとした場合、ガス状よう素濃度は、約 11mg/m^3 となる。
- ・ よう素による触媒性能への影響を確認したBattelle MC試験※は、ガス状よう素濃度約 300mg/m^3 で実施しており、P A Rの性能が約25%低下していることを確認している。
- ・ 試験条件と比べて、島根2号炉で想定されるガス状よう素濃度は十分に低く、触媒性能への影響は小さいと考える。

※Battelle Model Containment試験

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

(4) 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備について (指摘事項No.10) (2/2)

■ 回答 (続き)

(3) 粒子状物質

- 触媒の性能低下は、粒子状物質によるパラジウムの物理的閉塞により発生するものであり、以下2点の理由により、触媒性能への影響は小さいと考える。(図10-1参照)

① P A R 内部 (カートリッジ間) に発生する上昇気流により、P A R の下部から上部へ運ばれる粒子状物質は、触媒カートリッジを鉛直に設置することで、拡散しやすいガス状物質とは異なり、触媒面への付着 (触媒性能低下) が抑制される。

② カートリッジ内部には触媒を充填しているため、水素及び酸素に比べて粒径が大きい粒子状物質 (約 $1\mu\text{m}$) は、開口部近傍の触媒面に付着するが、粒径が小さい水素 (約 0.28nm) 及び酸素 (約 0.34nm) は、より内側の触媒面にて反応するため、触媒性能は低下しにくい構造となっている。

- 粒子状物質は、原子炉格納容器内での沈着や原子炉格納容器スプレーによりほぼ除去されることから、原子炉棟への漏えい量はごく少量と考えられ、燃料取替階に全量漏えいすることは考え難い。

仮に P A R の触媒に対して最も厳しい条件である燃料取替階へ全量漏えいとした場合、粒子状物質濃度は、約 $3.2 \times 10^{-5}\text{g}/\text{m}^3$ となるが、粒子状物質による触媒性能への影響を確認した H₂ P A R 試験では、粒子状物質濃度を (島根 2 号炉で想定される粒子状物質濃度の約 10^5 倍) で実施し、P A R の性能低下が小さいことが確認されている。

- 以上のことから、島根 2 号炉で想定される粒子状物質が P A R の触媒性能へ及ぼす影響は小さいと考える。

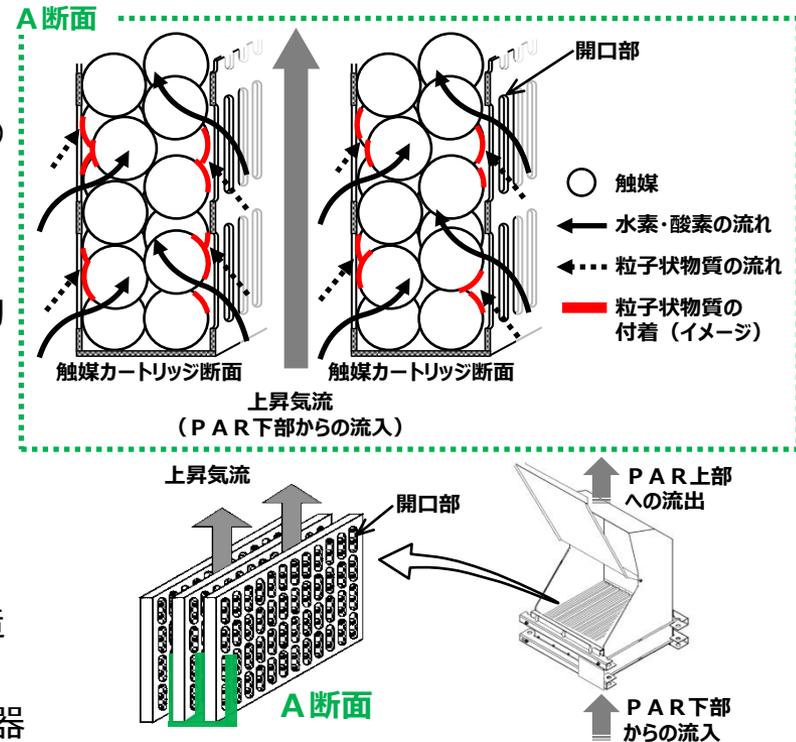


図10-1 触媒カートリッジへの流入概略図

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

(4) 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備について (指摘事項No.11)

■ 指摘事項 (第832回審査会合 令和2年2月6日)

自主対策であるBOP開放の目的, 想定外の水素濃度上昇に対する自主対策を整理して説明すること。

■ 回答

- 原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル (以下, 「BOP」という) 開放は, 図11-1に示すとおり, PARによる水素処理および格納容器ベントを実施してもなお, 水素濃度が低下しない場合に実施し, 更なる水素濃度の低減を図る目的で実施する。
- 図11-2にBOP開放による燃料取替階の水素濃度の時間変化を示す。格納容器ベントの判断基準である水素濃度2.5%から, BOP開放の判断及び準備時間を踏まえても, 可燃限界到達までには十分に時間的余裕があることから, BOPの開放操作は可能であり, BOP開放後は燃料取替階の水素濃度の低減が期待できる。

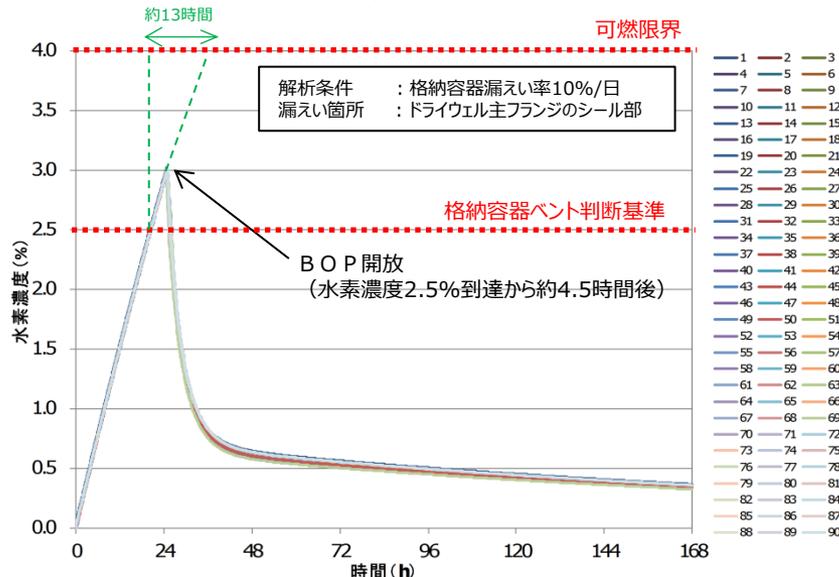


図11-2 BOP開放による水素濃度の時間変化
(PAR及び格納容器ベント不作動時)

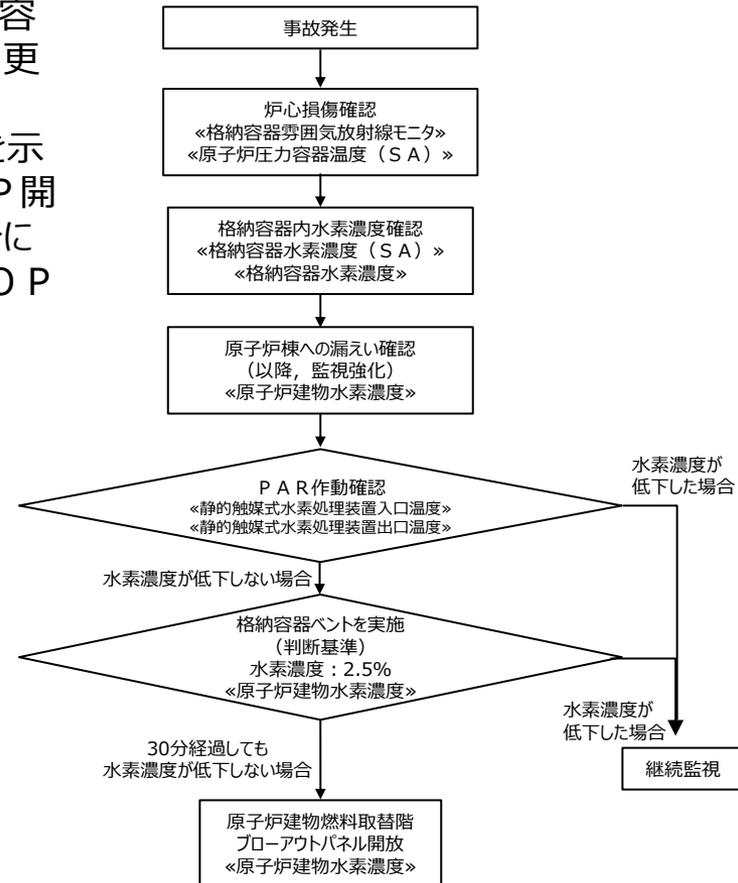


図11-1 水素漏えい時の対策フロー

1. 審査会合での指摘事項に対する回答

(4) 水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備について (指摘事項No.12)

■ 指摘事項 (第832回審査会合 令和2年2月6日)

原子炉棟3階の水素濃度が上昇継続しているが、その後の事象収束について整理して説明すること。

■ 回答

- 168時間以降の解析結果を追加した各フロアの水素濃度の時間変化を図12-1に示す。原子炉建物3階の水素濃度について、事象発生から約192時間までは水素濃度が上昇傾向を示しているが、約192時間以降は上昇傾向が緩やかになり、次第に減少傾向に変わることを確認している。

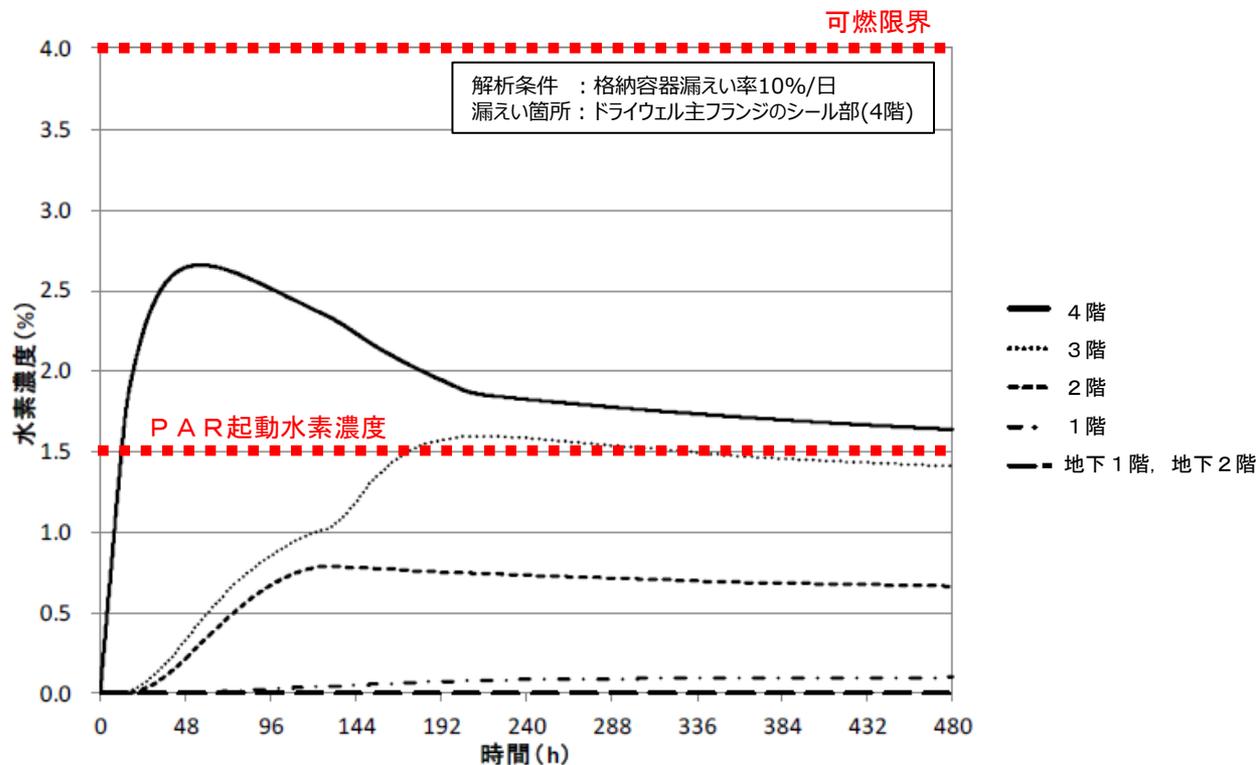


図12-1 各フロアの水素濃度の時間変化