

水素防護対策に関するBWR事業者への質問票

令和4年3月25日
原子力規制庁
東京電力福島第一原子力発電所事故に関する
知見の規制への取り入れに関する作業チーム

回答事業者名：

中国電力株式会社

(以下では、島根原子力発電所2号炉を対象として回答します)

東京電力福島第一原子力発電所事故に関する知見の規制への取り入れに関する作業チームは、令和3年12月8日の原子力規制委員会において、水素防護対策を議論するための素材として、対策例を2例提示しました¹。これに関し、以下について回答ください。

1. 「対策例①：水素爆発の未然防止対策として格納容器フィルタベント機能を用いる」に関する質問

炉心損傷後～格納容器破損前の環境下で早期に格納容器フィルタベントを使用し、水素を放出する場合を想定し質問します。貴社の見解を教えてください。

Q①-1 ベントするタイミングを判断するためには、そのための情報が必要です。原子炉建屋のどこでどのようなパラメータが取得できればその判断が可能か、及びパラメータの検知の実現性について、説明してください。

【格納容器ベント実施判断に用いるパラメータ】

原子炉建物内の以下いずれかの水素濃度計により格納容器ベントを判断します。

<設置場所>

- ・原子炉建物原子炉棟4階：2個
- ・原子炉建物原子炉棟2階：2個（SRV補修室、SGT吸込口付近）
- ・原子炉建物原子炉棟1階：2個（CRD補修室、所員用エアロック室）
- ・原子炉建物原子炉棟地下1階：1個（トーラス室）

<設置場所の考え方>

重大事故時に格納容器から原子炉建物内に漏えいした水素ガスは、大物搬入口等を経由し、原子炉建物原子炉棟4階に流入し滞留するものとして考えています。

格納容器からの水素ガスの漏えいを想定している箇所のうち、局所エリアとなっているものについては漏えいした水素ガスが局所エリア内に滞留する可能性があると考えています。

¹ 別紙「東京電力福島第一原子力発電所事故に関する知見の規制への取り入れに関する作業チームにおける検討状況」

また、SGTを使用する場合、格納容器から漏えいした水素ガスが、原子炉建物原子炉棟4階まで上昇せず、SGTの吸込み配管がある、原子炉建物原子炉棟2階に流入する可能性があると考えています。

なお、トーラス室については、上階に繋がるハッチ（常時開放）があることから滞留するとは考えにくいものの、格納容器からの水素ガスの漏えいを想定している箇所があるため、滞留するものとして整理しています。

一方、格納容器からの水素ガスの漏えい箇所から原子炉建物原子炉棟4階までの流路中での滞留や局所エリア以外での漏えいについては、局所エリアの水素濃度を監視することで、流路中で水素濃度が可燃限界に到達する前に格納容器ベントの判断が可能であると考えます。

【検知の実現性】

格納容器内から漏えいした水素ガスが滞留する可能性のある箇所での水素濃度を監視できる配置設計としており、現状の設備にて検知可能と考えます。

Q①-2 ベントのタイミングをどのように設定するか、その際の放射性物質（希ガス等）の放出量の想定を、格納容器破損防止の有効性評価の評価ケースとの比較で説明してください。

【格納容器ベント実施判断基準】

原子炉建物原子炉棟内のいずれかの原子炉建物水素濃度指示値が2.5vol%（可燃限界（4 vol%）に計器誤差（±1.1vol%）及び運転操作の余裕（0.4vol%）を考慮した値）に到達した場合

【放射性物質の放出量の想定】

格納容器破損防止の有効性評価で想定しているジルコニウム-水反応による水素発生量及び格納容器漏えい率を一定程度超えた場合を仮定しても、原子炉建物内に設置したPARの処理能力により上記の格納容器ベント実施判断が極端に早期となることはないと考えています。

このため、原子炉建物水素爆発未然防止の観点から格納容器ベントを実施した場合の放射性物質の放出量が、有効性評価の評価ケースと比較して極端に大きくなることはないと考えています。

Q①-3 ベントのタイミングを早めることによって、既存のSA対策設備、体制・手順等で成立しないものがありますか。ある場合、具体的な設備、体制・手順等と成立しない理由について説明してください。

炉心損傷が発生しているような状況では、損傷炉心の冷却及び格納容器破損防止を行っていくこととなります。状況によっては可搬型設備を使用する可能性もあり、屋外での作業を要することとなります。

Q①-2で回答した通り、格納容器ベントタイミングが極端に早期となるとは考えていませんが、仮にその想定を超えて早期に格納容器ベントを実施した場合、作業員被ばくの観点から可搬型設備の準備が阻害されることが考えられますが、格納容器ベントに関係する各種パラメータを監視し、格納容器ベントタイミングを計画的に見積もることによって、主要な作業への影響は小さいと考えています。

主要な屋外作業は以下のとおり。

可搬型設備	目的	体制	想定時間
大量送水車	炉心冷却	復旧班12名	2時間10分
	格納容器スプレイ		
	低圧原子炉代替注水槽への補給		
原子炉補機代替冷却系	格納容器除熱 (ヒートシンク確保)	復旧班12名	7時間20分
高圧発電機車	電源確保	復旧班3名	4時間35分

※対策例①は、格納容器フィルタベントを原子炉建屋の損傷防止を目的とする設備としても用いることとなります。このため対策例①を採用した場合に、対策例①を採ることによって影響を受ける、あるいは対策例①を躊躇する要因がないか確認するものです。

Q①-4 Q①-3のうち、原子炉制御室の運転員が被ばくすることにより、体制・手順等で実施が困難となるものがありますか。ある場合、具体的な体制・手順等と成立しない理由について説明してください。

格納容器ベント実施後は、プルーム通過時の運転員被ばくを抑制する観点から、運転員は中央制御室待避室に待避する手順となっていますが、待避中に中央制御室内で必要な操作はない認識であり、Q①-2、3で回答した通り、格納容器ベントのタイミングが極端に早まるものでなければ、この待避期間が手順に影響することはないと考えております。

運転員の居住性の観点からは、格納容器ベント後10時間程度の待避で中央制御室内の線量が十分低下することを確認しており、格納容器ベントのタイミングが早まった場合でも同様と考えられます。また、大気拡散評価等における保守性もあることから、被ばく線量増加に伴って手順が成立しなくなるということは考えにくいと考えております。

※設置許可基準規則第五十九条（運転員が制御室にとどまるための設備）について、同条解釈でいう事故シーケンスとは異なるケースを想定した場合の具体的な影響を確認するものです。被ばくそのものではなく、被ばく評価の方法（DFの設定など）によって評価上影響を受けるという場合には、その旨がわかるように説明してください。

Q①-5 格納容器から原子炉建屋への水素の漏えいと、格納容器フィルタベントによる外気への水素の放出を比較した場合、どちらが優位であると考えますか。その理由をできるだけ定量的に説明してください。

格納容器ベントを行うと、格納容器圧力が下がるため、原子炉建物への水素漏えいを緩和できると考えております。

※格納容器フィルタベントの性能として、格納容器フィルタベントが原子炉建屋への水素漏えいを緩和する役割に期待できるかを確認するものです。場合分けが必要であれば、いくつかのケースを例示する形で説明してください。

原子炉建屋の水素爆発の未然防止の効果を期待することが難しい場合は、その理由を回答ください。

Q①-6 対策例①のような要求を規制基準とした場合、貴社の設置している発電用原子炉施設においてどのような設計変更、工事、体制・手順の整備その他の対応が必要になると考えられるか、その対応を行うためにどの程度の期間が必要と考えられるか、現時点で把握している範囲で回答ください。

現状の対策により、格納容器破損防止の有効性評価で想定している評価ケース及びQ①-2で回答した一定程度超えた評価ケースに対しては、原子炉建物の水素爆発を防止できることを確認していることから、現時点において追加対策は不要と考えます。

※工事等の対応が必要となる場合には、それらを含めた全対応が完了する期間を回答ください。Q①-1により新たに検知設備が必要な場合は、その工事も含みます・
また、フェーズ（設計変更、工事など）ごとにどの程度の期間を必要とするのかについても併せて回答ください。

2. 「対策例②（建屋放出）：水素爆発の未然防止対策として原子炉建屋内フィルタ付換気機能を用いる」に関する質問

炉心損傷後～格納容器破損前の環境下で早期に原子炉建屋内フィルタ付換気機能等を使用し、水素を放出する場合を想定し質問します。貴社の見解を教えてください。

Q②-1 SGTsを作動する、又はトップベントやブローアウトパネルを開放するタイミングを判断するためには、そのための情報が必要です。原子炉建屋周辺のどこでどのようなパラメータが取得できればその判断が可能か、及びパラメータの検知の実現性について、説明してください。

○SGTについて

以下の信号により自動起動します。

- ・原子炉水位低
- ・格納容器圧力高
- ・原子炉棟排気放射線高
- ・燃料取替階放射線高

炉心損傷時は、自動起動しているものと考えられ、電源喪失により起動していない場合は、電源復旧後起動します。なお、検出器は多重性を持った構成としており、検知の実現性はあります。

○ブローアウトパネル（以下「BOP」という。）について

重大事故時に格納容器から原子炉建物内に漏えいした水素ガスは、大物搬入口等を経由し、原子炉建物原子炉棟4階に流入し滞留すると考えています。よって、原子炉建物原子炉棟4階に滞留した水素ガスを放出することで水素濃度の低減効果が期待できることから、原子炉建物原子炉棟4階の水素濃度にてBOPの開放タイミングは判断可能と考えます。

【検知の実現性】

原子炉建物原子炉棟4階の水素濃度を監視できる配置設計としており、現状の設備にて検知可能と考えます。

※Q①-1と同旨。

Q②-2 SGT Sを作動する、又はトップベントやブローアウトパネルを開放するタイミングをどのように設定するかと、その際の放射性物質の放出量の想定を、格納容器破損防止の有効性評価の評価ケースとの比較で説明してください。

【実施判断基準】

○SGT

実施判断基準は、Q②-1のとおり。

なお、SGTは防爆仕様ではないことから、原子炉建物原子炉棟内の原子炉建物水素濃度（SGT吸込口付近）が1.8vol%に到達した時点で停止する手順としています。

○BOP

原子炉建物内の水素濃度の上昇により格納容器フィルタベント系による格納容器ベントを実施したにもかかわらず、原子炉建物内の水素濃度が低下しない場合

【放射性物質の放出量の想定】

○SGT

格納容器破損防止の有効性評価の評価ケースにおいて、電源が復旧した時点でSGTを作動する条件で評価を実施しているため、同等の放出量となります。

○BOP

BOPを開放するタイミングは、Q①-2で想定している格納容器ベントのタイミングと同等と考えています。この場合、格納容器から漏えいした放射性物質の放出量は、有効性評価の評価ケースと比較して大きくなります。

※Q①-2と同旨。

Q②-3 既存のSA対策設備、体制・手順等で成立しないものがありますか。ある場合、具体的な設備、対策、手順等と成立しない理由について説明してください。

BOP開放が想定よりも極端に早くなった場合には、作業員被ばくの観点から可搬型設備の準備が阻害されることが考えられますが、格納容器ベント及びBOP開放に関する各種パラメータを監視し、実施するタイミングを計画的に見積もることによって、主要な作業への影響は小さいと考えています。

※Q①-3と同旨。

Q②-4 次の方法により水素を放出する場合の放射性物質放出量を回答ください。

a) 放射性物質除去（例：SGTSフィルタ）により放出する場合

b) 放射性物質除去に期待せず（例：ブローアウトパネル）放出する場合

また、a)及びb)が以下の1)～3)の方法で排出できると仮定した場合、原子炉制御室の運転員が被ばくすることにより、体制・手順等で実施が困難となるものとその理由を挙げてください。

1) 排気筒から高所放出する場合

2) 原子炉建屋のオペレーションフロアの高さで放出する場合

3) 原子炉建屋の中下層階からの任意の高さで放出する場合

【 a) 放射性物質除去（例：SGTSフィルタ）により放出する場合】

有効性評価の評価ケースと同等の放出量の想定となり、体制・手順等への影響はないと考えています。

【 b) 放射性物質除去に期待せず（例：ブローアウトパネル）放出する場合】

格納容器から漏えいした放射性物質の放出量は、有効性評価の評価ケースと比較して大きくなると考えられますが、Q②-2の回答のとおり格納容器ベントと同等のタイミングでの開放を想定した場合、運転員は待避室に待避することから、格納容器フィルタベント系からの放出による影響に比べて無視できる程度にとどまると考えられます。

※制御室居住性への影響については、Q1-4と同旨。

Q②-5 原子炉建屋、SGTS及びブローアウトパネルは設計基準事故対処設備ですが、重大事故時の機能として設計上期待しているものがあるか、あればその機能を説明してください。また、トップベントに設計上期待している機能を説明してください。

原子炉建物及びSGTについては、重大事故が発生した場合においても、環境への放射性物質の放出低減及び中央制御室運転員の被ばく低減の機能に期待しています。

BOPについては、IS-LOCA時の建屋環境の緩和に期待しているほか、PARによる水素処理及び格納容器フィルタベント系による格納容器ベントを実施しても原子炉建物水素濃度が低下しない場合の自主対策としての水素排出機能に期待しています。

Q②-6 対策例②のような要求を規制基準とした場合、貴社の設置している発電用原子炉施設においてどのような設計変更、工事、体制・手順の整備その他の対応が必要になると考えられるか、その対応を行うためにどの程度の期間が必要と考えられるか、現時点で把握している範囲で回答ください。

現状、BOP強制開放装置は自主対策として位置付けていることから、規制基準上の要求となった場合には、要求を満足するための各種検討が必要になると考えています。

※Q①-6と同旨。

Q②—7 トップベントあるいはブローアウトパネルの開閉操作は、建屋に近接して手動操作する運用となっていますが、その作業要員の被ばくと水素爆発に対する安全確保方法について、回答ください。

格納容器ベントの判断基準である原子炉建物内のいずれかの水素濃度が2.5vol%到達から、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ると考えています。

ただし、BOP開放は屋外のBOP付近での操作であり、遠隔操作ができないため、被ばく上の評価は厳しいものになると考えます。このため、BOP閉止装置を活用した遠隔操作手順を検討しています。なお、BOP開放時は原子炉建物内の水素濃度は可燃限界以下のため、水素爆発は発生しないものと考えています。

※：PARの設計条件として設定した格納容器漏えい率10%/日（設計漏えい率1.3%/日）を考慮しても格納容器ベント実施判断基準（2.5vol%）から可燃限界（4vol%）に計器誤差（±1.1vol%）を考慮した値（2.9vol%）まで3時間程度

Q②-8 下層階には、換気機能がなく、局所的に水素が滞留する可能性があります。下層階で水素滞留の可能性がある箇所（区画）と、当該箇所（区画）における換気設備の有無とその位置付け、吸気箇所、重大事故時における換気設備の動作状況、ダンパ等の閉止状況を回答ください。

原子炉棟空調換気系については、建物内全域に空調ダクトが敷設されており、送・排風機による換気機能に期待できますが、常用系であること、重大事故時には外気と隔離される設計としていること及び防爆仕様ではないことから、重大事故時の水素排出設備として位置付けておりません。

SGTについては、原子炉建物原子炉棟2階に吸込口があり、炉心損傷前に起動し、炉心損傷後にも原子炉棟内の空気排出に期待できますが、防爆仕様ではないことから、系統内での水素爆発を防止するため、重大事故時には、SGT吸込口付近の水素濃度が1.8vol%に到達した時点で停止する運用としており、水素排出設備として位置付けておりません。

※一部の社では既に着手しているプラントウォークダウンによる下層階での水素滞留箇所の把握の状況（例えばペネトレーション室など、どういった区画で滞留する可能性があるか）、今後の予定（現在未実施の社含む）を含めて回答ください。

また、換気設備の位置付けについては、常用・非常用の別や設計基準事故時、重大事故時の使用の有無などについて回答ください。

Q②-9 下層階での水素滞留による水素爆発やその懸念により、重大事故対策の体制・手順等で実施が困難となるものを挙げてください。また、下層階に滞留する水素に対してどのように水素爆発を防止するか、考える方法を説明してください。

下層階での水素爆発の発生や発生リスクがある場合、建物内機器の損傷や建物内／近傍へ接近できなくなることが考えられ、以降の重大事故等対策全体の実施が困難になると考えられます。

格納容器内から漏えいした水素ガスが滞留する可能性のある箇所及び原子炉建物原子炉棟4階の水素濃度を監視し、可燃限界に到達する前に、格納容器フィルタベント系により格納容器内の水素ガスを大気中へ放出し、原子炉建物内への水素ガスの漏えいを低減することで、下層階についても、水素濃度が可燃限界に到達することはないと考えます。

さらに、格納容器フィルタベント系による格納容器ベントを実施したにもかかわらず、原子炉建物内の水素濃度が低下しない場合において、BOPを開放し原子炉建物原子炉棟4階の水素ガスを含む雰囲気ガスを放出することで、下層階から原子炉建物原子炉棟4階までの流れが生じ、下層階の雰囲気ガスをBOPより放出できるため、下層階における水素爆発を防止できると考えています。

※例えば、建屋内でオペレーションフロアに誘導するための流路を増やすことを考える場合には、それによって通常運転時から設計基準事故への対処に対する影響についても同時に考察ください。

Q②-10 格納容器から原子炉建屋への水素漏えい量の予測は、短期間（1～2年程度）で精度の向上が期待できると考えますか。また、水素の滞留場所を特定し、確実に検知し、除去する方法についても短期間で開発できると考えますか。可能と考える場合、その技術的根拠について説明してください。

水素漏えい量や水素の滞留場所特定の精緻な予測については、事故の不確実さが大きいいため、短期間での精度向上は困難であると考えます。

3. その他

上記1. 及び2. の質問に共通する、次の質問に回答ください。

Q③-1 対策例①及び対策例②は水素防護対策を議論するための素材を例示したのですが、事業者として早期に実施可能な別の対策案があれば、対策例①及び対策例②よりも優位な点、実現可能時期等とともに説明してください。また、別の対策案がなく、仮に対策例①及び対策例②のいずれかを選択する場合、どちらを選択するか、その理由とともに回答ください。

対策例①又は②のいずれかを選択するのではなく、対策例①及び②を組み合わせ活用することが有効であると考えています。