

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：

電源開発株式会社

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。

回答にあたっての前提条件

【原子炉建屋水素燃焼防止の対策について】

- ・当社は、放射性物質の放出抑制を大前提として、原子炉格納容器（以下「PCV」という。）の閉じ込め、原子炉建屋原子炉区域（以下「原子炉建屋」という。）の放射性物質の放出抑制の機能に可能な限り期待する方針である。
- ・PCVの閉じ込め機能が低下し、水素の漏えい（同時に放射性物質も漏えい）により、原子炉建屋の水素濃度が上昇し水素爆発の可能性があると判断した場合には、フィルタ装置を介したベントにより放射性物質の放出抑制に配慮しつつ、PCV内から水素を排出する手順とする計画である。
- ・また、ベント実施後に原子炉建屋の水素濃度が低下しない場合には、ブローアウトパネル（以下「BOP」という。）を開放して、原子炉建屋から水素を排出する手順とする計画である。
- ・当社では、炉心損傷に伴う水素発生や原子炉への水素漏えい開始を検知して実施するような早期のベント対策は採用しない方針である。

【事故想定等について】

- ・当社の回答作成にあたっては、徴候ベースの対応（パラメータが操作基準に達した場合には、必要な操作を実施する）を前提としており、特定の事故シナリオは想定していない。
- ・有効性評価を超える厳しいプラント状態を前提としている。

【その他】

- ・回答内容には、検討の途中段階の内容を含んでおり、今後の検討の進捗により回答の内容は変わる可能性がある。

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」

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。

当社では、原子炉建屋内での水素燃焼防止のため、原子炉建屋内の水素濃度をパラメータとして、ベントを実施する手順とする計画である。

PCVから原子炉建屋への水素漏えいパスとして、PCV貫通部のうち、シール構造を持つ大きな貫通部である、PCVトップヘッドフランジ、機器搬入用ハッチ及びエアロックを想定しており、これらが設置される区画及びオペレーティングフロア（以下「オペフロ」という。）に水素濃度計を設置し、水素濃度計の指示値によりベント実施の判断を行う計画である。

基本的には上記箇所に水素濃度計を設置することで検知可能と考えているが、現在、現場踏査と3D-CADの確認により上記箇所以外の水素滞留の可能性のある箇所の有無を確認中である。

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。

当社では、原子炉建屋内での水素燃焼防止のため、原子炉建屋内の水素濃度が設定値に到達した場合に、ベントを実施する手順を計画している。

具体的な設定値については、水素濃度計の計測誤差、ベント操作時間等も踏まえて、設定する計画としている。

放射性物質の放出量の想定について、原子炉建屋水素濃度がベント実施の判断基準に到達するタイミングが、有効性評価のベント実施の判断基準（過圧破損防止又はPCV内の水素燃焼防止）に到達するタイミングよりも早まることになった場合、放出量の想定は定性的には以下のようにになると考えられる。

- ・希ガスについて

PCV内での減衰時間が短くなるため放出量は多くなる。

- ・粒子状放射性物質，よう素について

粒子状放射性物質，よう素は，フィルタ装置による除去に期待できるため，PCV内に放出されたこれらの放射性物質のうち，漏えいによって放出される割合とフィルタ装置を通して放出される割合によって放出量は変動する。仮に，PCV破損防止の有効性評価の評価ケースよりも，フィルタ装置を通して放出される割合が少ない場合には，放出量は増加する。

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。

炉心損傷後にベントを行う場合、現場作業を行う要員は、一時的に待避室に待避する計画である。事故の状況に応じて必要となる操作は様々であるため、ベントのタイミングを早めることによる影響を一概に述べることは難しいが、現場にて行うことが想定される注水、除熱、電源の確保、水源補給等の作業に着手遅れや作業中断による遅れが生じる可能性がある。

また、中央制御室の運転員は、炉心損傷後にベントを行う場合、一時的に中央制御室内にある待避室に待避する計画であるが、注水、除熱等の事象収束に必要な対応は待避室内から対応可能であるため、ベントタイミングによる影響は無いものと考えている。

運転員の被ばくについては、ベントタイミングを早めることになった場合でも陽圧化した待避室に待避することから被ばくの影響は大きくないと考えるが、非常用ガス処理系（以下「SGTS」という。）や中央制御室換気空調系の作動状況など、事故の状況によっては、被ばくが厳しくなる可能性がある。

※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。

Q①-3にて回答

※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。

原子炉建屋への水素漏えい量は、PCVの状況（PCV内の水素濃度、PCV圧力、漏えい率等）に依存するため、原子炉建屋への水素漏えいとベントによる外気への放出との比較は難しいが、PCV圧力がベント排気ラインに設置されているラプチャディスクの作動する圧力に達していれば、ベントによる水素の放出に期待できることから、原子炉建屋への水素漏えいの抑制効果に期待できるものと考えている。

なお、PCV圧力がラプチャディスクの作動する圧力未満の場合には、BOPを開放して、原子炉建屋から水素を放出する対応を実施することとなる。

※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。

現状においては必要となる対応（設計上想定するシナリオ）等が整理できておらず、設計変更、工事、体制・手順の整備に要する期間等について検討・回答できる段階にない。

※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。

当社では、原子炉建屋内での水素燃焼防止のためのベントを実施したにもかかわらず、原子炉建屋内の水素濃度が低下しない場合、BOPを開放する手順とする計画である。

PCVから原子炉建屋への水素漏えいパスとして、PCV貫通部のうち、シール構造を持つ大きな貫通部である、PCVトップヘッドフランジ、機器搬入用ハッチ及びエアロックを想定しており、これらが設置される区画及びオペフロに水素濃度計を設置し、ベント後も水素濃度計の指示値が低下しない場合にBOPの開放を行う計画である。

基本的には上記箇所に水素濃度計を設置することで検知可能と考えているが、現在、現場踏査と3D-CADの確認により上記箇所以外の水素滞留の可能性のある箇所の有無を確認中である。

なお、SGTSは、原子炉建屋内の雰囲気ガスを引いて負圧に維持するとともに、よう素用チャコールフィルタ及び高性能粒子フィルタを通して排気筒より排出することで、放射性物質の放出を抑制する機能に期待しているものであり、水素排出の機能に期待しておらず、原子炉建屋内の水素濃度が設定値に達した場合に停止する手順とする計画である。

※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。

当社では、原子炉建屋内での水素燃焼防止のためのベントを実施したにもかかわらず、原子炉建屋内の水素濃度が低下しない場合、BOPを開放する手順とする計画である。

放射性物質の放出量の想定について、BOPを開放することにより、原子炉建屋内の換気が促進され、原子炉建屋の雰囲気ガスの放出は増加すると考えられるため、BOPを開放しない場合に比べて、放射性物質の放出量は多くなるものと考えられる。

※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。

事故の状況に応じて必要となる操作は様々であるため、BOPの開放タイミングによる影響を一概に述べることは難しいが、現場にて行うことが想定される注水、除熱、電源の確保、水源補給等の作業に着手遅れや作業中断による遅れが生じる可能性がある。

※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

放射性物質の放出量は、PCVの状況（PCV内の水素濃度、PCV圧力、漏えい率等）に依存するため、a)、b)の場合における放射性物質の放出量を一概に決定することは難しいと考えている。仮に、炉心損傷の程度が同じと仮定した場合には、PCVからの漏えい量が大きくなるにつれ、放射性物質の放出量は多くなると考えられる。

また、中央制御室の運転員は、一時的に中央制御室内にある陽圧化した待避室に待避する計画であり、注水、除熱等の事象収束に必要な対応は待避室内から対応可能であるため、影響は受けないものと考えられる。

運転員の被ばくについては、陽圧化した待避室に待避することから被ばくの影響は大きくないと考えるが、SGTSや中央制御室換気空調系の作動状況など、事故の状況によっては、被ばくが厳しくなる可能性がある。

※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。

SGTSについては、中央制御室居住性（運転員の被ばく低減）の観点から原子炉建屋内の雰囲気ガスを引いて負圧に維持し、排気筒より排出する機能（設置許可基準規則第五十九条「運転員が原子炉制御室にとどまるための設備」対応）として期待している。但し、この場合にSGTSのよう素用チャコールフィルタによる放射性物質の除去効果は期待していない。

原子炉建屋については、想定される重大事故等時において、SGTSにより、内部の負圧を確保する機能として期待している。

原子炉建屋の気密バウンダリの一部として原子炉建屋に設置するBOPについては、原子炉建屋の水素爆発を防止するため意図的に開放する機能（設置許可基準規則第五十三条「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」自主対策設備）に加えて、PCV外での配管破断事故時に原子炉建屋の圧力が上昇し、設定圧力に到達した場合に自動的に開放する機能（設置許可基準規則第四十六条「原子炉冷却材圧力バウンダリを減圧するための設備」対応）として期待している。

なお、当社はトップベント（建屋天井部の開口）を設置せず、十分な開口面積が確保できるBOPを重大事故時の原子炉建屋の水素爆発防止対策として使用することとしている。

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。

現状においては必要となる設備仕様（設計上想定するシナリオ）が整理できておらず、設計変更、工事、体制・手順の整備に要する期間等について検討・回答できる段階にない。

※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。

原子炉建屋の水素燃焼を防止する対策として、静的触媒式水素再結合装置（PAR）による水素処理，水素濃度計による水素濃度監視，ベントによるPCVからの漏えい抑制を実施することとしている。

上記対策によっても，原子炉建屋内の水素濃度が低下しない場合に実施するBOPの開放は，原子炉建屋内の原子炉区域外から遠隔（人力）にて行うこととしている。

なお，現場作業を行う要員の更なる安全確保を考慮し，中央制御室からの遠隔によるBOPの開放について今後検討することとしている。

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。

現在、現場踏査と3D-CADにより確認中であり、下層階の局所エリア及び隣接エリア（廊下）については、天井部に鉄骨の張り出しなど、凹凸の存在を確認している状況である。

原子炉建屋内の換気に期待できる設備として、SGTS（重大事故等対処設備）、原子炉建屋換気空調系（常用設備）があり、SGTSは原子炉建屋オペフロ階からの吸気、系統風量は2,000m³/hである。また、原子炉建屋換気空調系は原子炉建屋の全域に給気・排気ダクトが設置されており、系統風量は170,000m³/hであることからSGTSに比べて換気の効果は大きいと考えている。

※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、こ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、考えうる方法を説明してください。

事故の状況に応じて必要となる操作は様々であるため、一概に実施が困難になる操作等を特定することはできないが、原子炉建屋内で行う操作が困難になるものと考えられる。

下層階に滞留する水素に対する対策として、局所エリアへ漏えいした水素をオペフロに導くための経路を確保し、原子炉建屋の水素濃度が上昇した場合にはベントを実施しPCVから原子炉建屋への漏えいを抑制し、BOPを開放して原子炉建屋からの水素の放出を実施することとしている。

上記に加えて、下層階に水素が滞留する可能性がある場合の対応は、BWR電力共通課題としてATENA-WGにて取り組んでいく方向で検討しているところである。

※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。

PCVから原子炉建屋への水素漏えい量は、PCVの状況（PCV内の水素濃度、PCV圧力、漏えい率等）に依存するため、予測することは非常に困難であると考えている。

水素の滞留場所の特定、確実な検知及び除去する方法についても、短期間での開発は難しいと考えている。現在、下層階の水素の滞留場所の有無について、現場踏査と3D-CADにより確認中である。

また、下層階に水素が滞留する可能性がある場合の対応は、BWR電力共通課題としてATENA-WGにて取り組んでいく方向で検討しているところである。

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ものが、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。

当社では、原子炉建屋内での水素燃焼防止のためのベントを実施したにもかかわらず、原子炉建屋内の水素濃度が低下しない場合、BOP開放する手順を計画しており、対策例①又は②のどちらかの対策を選択するのではなく、両方を組み合わせて対応する方針である。

なお、対策例①及び②とは別の対策で、現時点で有効性や成立性が確認済の対策案はない状況であるが、下層階に水素が滞留する可能性がある場合の対応は、BWR電力共通課題としてATENA-WGにて取り組んでいく方向で検討しているところである。