

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 2 5 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：

東北電力株式会社

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 1 2 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。

- ・水素が発生して原子炉圧力容器（以下「圧力容器」という）から格納容器に水素が移行する事象の際には、放射性物質（希ガス）が同時に発生し、水素と希ガスが格納容器に対する加圧源になる。
- ・格納容器圧力の監視の他、原子炉建屋内水素濃度（触媒式：地上 3 階・地下 2 階、気体熱伝導式：地上 1 階・地下 1 階）、静的触媒式水素再結合装置動作監視装置、可搬型モニタリングポスト（使用可能な場合はモニタリングポスト）、原子炉建屋内各種放射線モニタにより確認する。
- ・なお、原子炉建屋内水素濃度、静的触媒式水素再結合装置動作監視装置、可搬型モニタリングポストは重大事故等対処設備としての耐性を有する。原子炉建屋内各種放射線モニタは耐震性等の観点での課題がある。

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」

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。

- 炉心損傷発生以降、圧力容器破損に至るまでの間は、格納容器が設計圧力以上になることは現実的ではないため、格納容器内の圧力が1 Pdを越える領域において、異常な水素漏えいが発生することを想定する。時間としては、事象発生から6時間程度経過した時点をもベントタイミングとして想定する。有効性評価においては、事象発生後、格納容器内に希ガスを保持させ十分に減衰した状態で格納容器ベントを実施しているのに対して、事象発生後、早期に格納容器ベントすることで、格納容器内での時間減衰の効果が得られず、希ガスの放出量は相当大きくなると考えられる。
- セシウムのような粒子状物質は格納容器自体や隙間部に沈着する効果やフィルタ装置による除去効果があるため、希ガスに比べ格納容器ベントが早いことによる影響が大きいものとは考えにくい。
- 格納容器ベント時間の違いによる初期炉内内蔵量に対する希ガスの放出割合を以下の図、表に示す。
- 事象発生後、可搬型設備により注水機能等を確保することを想定すると、圧力容器が破損した以降のタイミングにおける早期の格納容器ベントでは、作業の一時中断が考えられるが、格納容器ベントにより放出された希ガスを含むプルームの影響がないことを確認した後、作業を再開する。
- 原子炉格納容器フィルタベント系により放射性物質は除去されることから、放射性物質の地面沈着による線量影響は低減しており、線量影響を確認しながら作業するものと想定される。

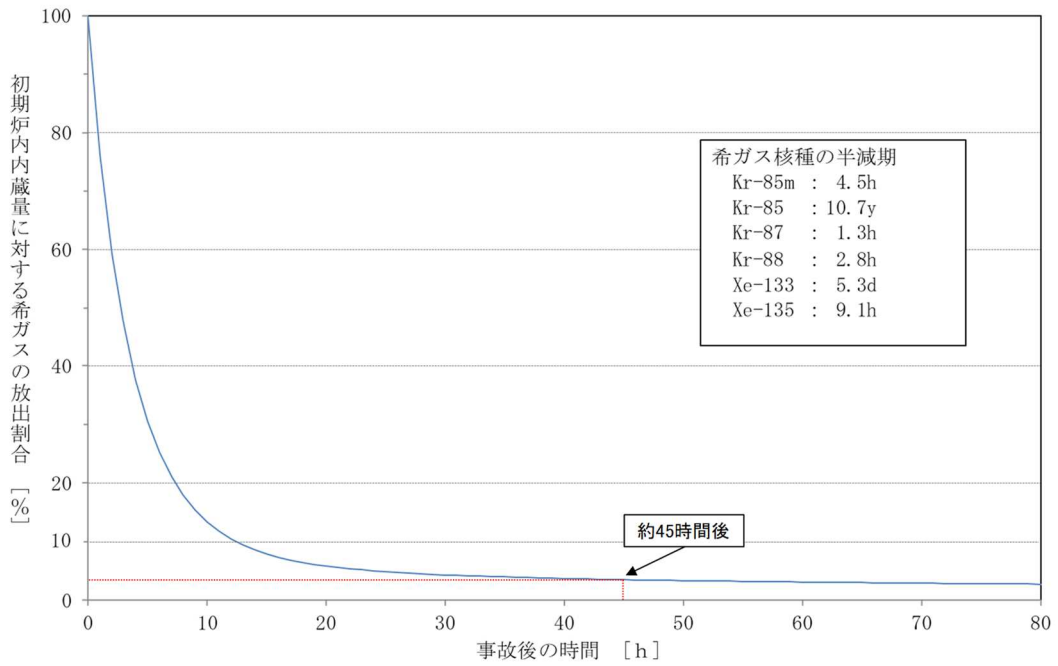


図 初期炉内内蔵量に対する希ガスの放出割合 (0.5MeV換算値)

表 格納容器ベント時間毎の希ガスの放出割合 (0.5MeV換算値)

格納容器ベント時間	初期炉内内蔵量に対する希ガスの放出割合
約5時間後	約30.6%
約10時間後	約13.4%
約20時間後	約5.8%
約30時間後	約4.3%
約40時間後	約3.7%
約50時間後	約3.3%

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。

- ・水素濃度の上昇により格納容器ベントの早期実施が必要となる状況は、電源確保、原子炉注水、格納容器除熱等の既存のSA対策が機能しない場合において想定される。そのような状況においても、可搬型設備を最大限活用して事故収束を図る必要があると考えている。
- ・一方、プルーム通過までの間は、被ばく影響を抑制する観点から要員は一時退避し、可搬型設備による対策等の作業は中断するが、プルーム通過後においては、作業環境に対する必要な防護措置を講じた上で作業を継続していくことになると思われる。
- ・格納容器ベントの早期実施に至るようなSAを超える領域に対しては、判断に必要なパラメータを確実に把握し、必要により組み合わせた最適なマネジメントを選択できるよう、事業者自らが対応手順等の拡張を検討していく必要があるものと考えている。

(参考) 可搬型設備による電源確保、注水確保に係る主要な作業

- ①可搬型代替交流電源設備による交流電源を復旧後、低圧代替注水系（常設）による原子炉注水（所要時間：130分*）
- ②低圧代替注水系（可搬型）による原子炉注水開始（所要時間：385分*）

※ アクセスルート復旧が必要な場合は、さらに約4時間要する。

※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。

- Q①-2のとおり、有効性評価に比べて早期に格納容器ベントを実施するため、放射性物質の放出量は大きくなる傾向であるが、Q①-3のとおり格納容器ベント時には、被ばく影響を低減する観点から、運転員は中央制御室待避所へ避難し、待避所内を加圧することで放射性物質の流入を防止し、運転員の過剰な被ばくを避ける運用としている。
- 格納容器ベントのタイミングによっては、運転員が待避所にいる間は重大事故等に係る作業（低圧代替注水系（可搬型）のラインナップ、注水操作等）は一時的に中断することになるが、プルーム通過後においては、作業環境に対する必要な防護措置を講じた上で作業を継続していくことになると考えられる。

※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。

- ・格納容器から原子炉建屋への水素の漏えいについて、主要な漏えい経路である格納容器主フランジ部からの水素漏えいへの対策として静的触媒式水素再結合装置（PAR）を設置することとしている。
- ・東京電力福島第一原子力発電所事故に関する知見を踏まえ、漏えい経路に関する不確かさとして、局所エリアに対する水素漏えいや、下層階における水素の漏えいと滞留については、現場ウォークダウンによる確認が必要であり、その上で自主的なPARの設置の要否について検討していきたい。
- ・原子炉格納容器フィルタベント系による外気への水素の放出は、重大事故等対処設備としての一定の信頼性を有するものとする。

※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。

- ・「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」に関して、格納容器圧力が低い場合にはフィルタベント機能の実効性は得られない。早期ベントを図るような水素発生・漏えい状況となる1Pd以降のベントにおいて、原子炉格納容器フィルタベント系は設計変更や工事はないまたは少ないものと考えられる。
- ・判断パラメータとしては、格納容器圧力の監視の他、原子炉建屋内水素濃度（触媒式：地上3階・地下2階，気体熱伝導式：地上1階・地下1階），静的触媒式水素再結合装置動作監視装置，可搬型モニタリングポスト（使用可能な場合はモニタリングポスト），原子炉建屋内各種放射線モニタなども期待するが，SA環境を超えた領域での有効性については，これらの計器の耐性について同様に把握する必要もあると考えている。
- ・その他のエリアで水素濃度の測定または水素の検出が必要となる場合には設備設計，工事が別途必要になる。水素濃度計の追加設置にあたっては，東京電力福島第一原子力発電所事故に関する知見を踏まえ，局所エリアに対する水素漏えいや，下層階における水素の漏えいと滞留などの不確かさについて，現場確認および解析的な検討を踏まえて設計検討を進める事になるが，こうしたプロセスを技術的成立性を持って進めるには，相応の時間を有するものとする。

※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 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。

(1) SGT Sを作動する場合（原子炉格納容器フィルタベント系と同じ）

- ・水素が発生して圧力容器から格納容器に水素が移行する事象の際には、放射性物質（希ガス）が同時に発生し、水素と希ガスが格納容器に対する加圧源になる。
- ・格納容器圧力の監視の他、原子炉建屋内水素濃度（触媒式：地上3階・地下2階、気体熱伝導式：地上1階・地下1階）、静的触媒式水素再結合装置動作監視装置、可搬型モニタリングポスト（使用可能な場合はモニタリングポスト）、原子炉建屋内各種放射線モニタにより確認する。
- ・なお、原子炉建屋内水素濃度、静的触媒式水素再結合装置動作監視装置、可搬型モニタリングポストは重大事故等対処設備としての耐性を有する。原子炉建屋内各種放射線モニタは耐震性等の観点での課題がある。

(2) 建屋ベントを開放する場合

- ・オペレーティングフロア（以下「オペフロ」）エリア天井に設置した建屋ベント（自主対策設備）を用いる場合、オペフロエリアに設置した水素濃度計（重大事故等対処設備）による測定が可能である。

(3) ブローアウトパネルを開放する場合

- ・女川2号炉のブローアウトパネルはMSトンネル室の上部に設置されており、建屋ベントを用いた水素防護対策として考慮している主要な放出経路（大物搬出入口と各階の床ハッチを開放して建屋ベントまでの流路を構成する）と直接接続していないことから、有効な対策になり得ない。

※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。

- Q②-1に示すとおり、女川2号炉においては建屋内に流入した水素への対策としてSGT Sまたは建屋ベントがあるが、以下の観点からSGT Sを優先して使用することが考えられる。一方で、SGT Sを作動するための電源がなく、建屋の上層階まで水素が導かれている状況であれば、建屋ベントも有効であると考えられる。
 - ①SGT Sはフィルタによる放射性物質の除去効果が得られるため、建屋ベントに比べSGT Sのほうが放射性物質の放出量は小さくなる。
 - ②建屋ベントに比べSGT Sの大气拡散係数（相対濃度，相対線量）は1桁程度低いため、SGT Sを使用した場合のほうが被ばく影響は小さくなる。
- SGT Sの作動タイミングは、建屋内で水素が検知されていない状態においても未全に水素防護対策をとる観点から事象発生後速やかに実施するか、格納容器内の圧力が一定程度高くなると考えられる圧力容器破損時点が考えられる。
- 有効性評価においては格納容器から原子炉建屋への漏えいを設計漏えい率に基づき放射性物質の放出量を評価しているが、早期に格納容器から異常な水素漏えいが発生することを前提とすると、設計漏えい率以上の漏えいが発生していると考えられるため、有効性評価に比べ放射性物質の放出量は大きくなると考えられる。
- また、SGT Sの作動後、水素の異常漏えいにより建屋内の水素濃度の上昇を検知した場合には、格納容器ベントを実施することで、格納容器から建屋への水素漏えい量の低減を図ることも考えられる。この場合、格納容器ベントのタイミングは有効性評価に比べて早期になると考えられるため、Q①-2と同様に、格納容器内での希ガスの時間減衰の効果が得られず、希ガスの放出量は相当大きくなると考えられる。
- セシウムのような粒子状物質は格納容器自体や隙間部に沈着する効果があり、希ガスに比べ格納容器ベントが早いことによる影響が大きいものとは考えにくい。

※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。

- SGT Sは、SGT S系統内での水素滞留による爆発を回避するために建屋水素濃度1.3%到達で停止させる運用としており、この水素濃度の範囲においては既存のSA対策への影響はないと考えている。
- PARによる水素の再結合、原子炉格納容器フィルタベント系による格納容器からの水素漏えいの抑制などの水素対策を講じてもおお建屋内の水素濃度が低下しない不測の事態においては、建屋ベントを使用する手順としている。
- 建屋ベントによる放射性物質の放出によって、要員の一時退避による作業の中断が考えられるが、作業環境に対する必要な防護措置を講じた上で作業することになるものと考えられる。
- 建屋ベントに至るようなSAを超える領域に対しては、判断に必要なパラメータを確実に把握し、必要により組み合わせた最適なマネジメントを選択できるよう、事業者自らが対応手順等の拡張を検討していく必要があるものと考えている。

※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

- ・SGTSまたは建屋ベントを使用した場合の放射性物質の放出量については、電源の有無、対策のタイミング等により事象進展は異なるため、定量的に評価することは困難である。
- ・SGTSまたは建屋ベントを使用した場合の被ばく影響は、フィルタによる除去効果の有無、放出位置の違いによる拡散効果により、SGTSのほうが被ばく影響の観点では有利である。
- ・仮に、被ばく影響が大きい場合は、運転員の重大事故等に係る作業（低圧代替注水系（可搬型）のラインナップ、注水操作等）に支障を来さないよう、作業環境に対する必要な防護措置を講じた上で作業することになるものと考えられる。

※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。

- 重大事故等時には、原子炉建屋原子炉棟は二次格納施設として、SGTSは原子炉建屋原子炉棟内部の負圧を確保する機能として設計上期待している。
- ブローアウトパネルは、有効性評価シナリオISLOCA時の環境緩和として開放機能が期待されている。その後の原子炉建屋原子炉棟の二次格納施設としての機能を維持するため、重大事故等対処設備として新たにブローアウトパネル閉止装置を設置する設計としている。
- なお、女川2号炉のブローアウトパネルは建屋ベントを用いた水素防護対策として考慮している主要な放出経路と直接接続していないことから、重大事故等時の水素放出機能としては期待していない。
- 建屋ベントは自主対策設備の位置付けであり、環境耐性については評価はしていないものの二重蓋の単純構造であり構造的に特段の課題はないと考えるが、開放する場合には、原子炉建屋付属棟の屋上に作業員が行き、ワイヤーロープの巻取り操作をする必要があるため、被ばくと水素爆発に対する作業安全面での課題はあると考えており、遠隔で開放ができないかといった検討も進めていく事を考えている。

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。

(1) SGT Sを作動する場合

- 水素排出でSGT Sのフィルタを期待するのであれば、性能確認（温度影響、湿度影響等）が必要となる。
- SGT Sの配管について、一様勾配になっていないため系統内における水素滞留の懸念もあることから、水素燃焼に対する影響評価が必要である。また、SGT S配管の端部は排気筒低部までであり、比重により排気筒から大気中に排気されると考えられるが、東京電力福島第一原子力発電所事故に関する知見を踏まえた場合、これについても効果が得られるか評価が必要である。
- また、SGT S起動の判断にはエリアモニタを判断パラメータとすることが考えられるが、耐震性等の観点での課題もあり、マネジメントを備える上でも、こうした計器に対する扱いは課題である。
- なお、判断パラメータとしては、格納容器圧力の監視の他、原子炉建屋内水素濃度（触媒式：地上3階・地下2階、気体熱伝導式：地上1階・地下1階）、静的触媒式水素再結合装置動作監視装置、可搬型モニタリングポスト（使用可能な場合はモニタリングポスト）、原子炉建屋内各種放射線モニタなども期待するが、SA環境を超えた領域での有効性については、これらの計器の耐性について同様に把握する必要もあると考えている。
- その他のエリアで水素濃度の測定または水素の検出が必要となる場合には設備設計、工事が別途必要になる。水素濃度計の追加設置にあたっては、東京電力福島第一原子力発電所事故に関する知見を踏まえ、局所エリアに対する水素漏えいや、下層階における水素の漏えいと滞留などの不確かさについて、現場確認および解析的な検討を踏まえて設計検討を進める事になるが、こうしたプロセスを技術的成立性を持って進めるには、相応の時間を有するものとする。

(2) 建屋ベントを開放する場合

- オペフロエリアにはPARを19台設置しており、建屋内に漏えいした水素を導くことが出来れば水素処理は可能であるが、仮にこれらの効果が十分に得られない状況が生じた場合には、また、SGTSが使用できない状況においては、建屋ベントが有効な手段となり得る。
- 建屋ベントは自主対策設備の位置付けであり、環境耐性については評価はしていないものの二重蓋の単純構造であり構造的に特段の課題はないと考えるが、開放する場合には、原子炉建屋付属棟の屋上に作業員が行き、ワイヤーロープの巻取り操作する必要があるため、被ばくと水素爆発に対する作業安全面での課題はあると考えており、遠隔で開放ができないかといった検討も進めていく事を考えている。

(3) ブローアウトパネルを開放する場合

- ブローアウトパネルを経由した水素の放出は有効な対策になり得ない。

※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。

- 建屋ベントの実施については、格納容器ベントの実施状況、SGTSの作動状況、建屋内の水素濃度等に応じて判断するものと想定する。
- 格納容器ベント、SGTSを使用している状況において早期に建屋ベントを実施しても水素防護の効果は無いものと考えられる。仮に、格納容器ベントに失敗し、電源がなく、SGTSも使用できずに建屋内の水素濃度が高い状況になれば、建屋ベントは有効であると考えられる。
- このような状況下においては、建屋内に水素および放射性物質が蓄積されていることが想定されるため、作業要員の安全確保の観点から、早期に建屋ベントを実施するか、もしくは遠隔操作が可能となる自主対策をとることが考えられる。
- 建屋ベントは、水素と共に放射性物質も放出されるため、遠隔操作により開放した場合においても、操作者の被ばく対策は必要であるため、自給式呼吸器による内部被ばくの影響低減およびタンクステンベスト着用による外部被ばくの影響低減を講じる等、運用面での配慮についても開放手段の改善と併せた検討が必要と考えている。

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。

- ・格納容器からの水素漏えいが想定される箇所のうち、下層階で漏えい先が小部屋状となっている局所エリアとしては「バルブラッピング室」「所員用エアロック前室」「計装ペネトレーション室」および「CRD補修室」がある。
- ・下層階の各局所エリアの天井付近には、それぞれ水素濃度計を設置する設計としており、これらの水素濃度計により、万一、各局所エリアでの水素滞留が発生した場合においても、速やかに検知が可能である。
- ・下層階の各局所エリアは、ダクト等の開口部を通じて通路とつながっている。各局所エリアから通路に漏えいした水素は、階段室、ダクト等を通じてさらに拡散し、水素は比重が軽いため原子炉建屋地上3階に到達する。

※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。

- 水素爆発またはその懸念がある場合には、原子炉建屋原子炉棟内への入城が困難な状況にあるものと考えており、有効性評価においては、炉心損傷後の原子炉建屋原子炉棟内での作業に期待していない。
- 格納容器からの水素漏えいが想定される、バルブラッピング室、所員用エアロック前室、計装ペネトレーション室、CRD補修室といった局所エリアには換気ダクトを設けており、配置的には天井付近に設置している。また、局所エリアには天井付近に水素濃度計も設置している。
- 格納容器から水素が漏えいしているような状況においては、圧力差によりこれらの局所エリアから水素は換気ダクトを介して押し出されると考えているが、ダクトの給排気口よりも上部での水素滞留の可能性も現状では排除できないため、自主的なPARの設置についても検討していく考えである。

※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。

- 格納容器から原子炉建屋への水素漏えい量の予測に関しては、段階的なアプローチが必要であると考えている。例えば、①代表プラントでの現場調査結果を踏まえて各プラントの設計の類似性や違いを確認、②格納容器の閉じ込め機能を担うシール材の想定環境下での健全性評価、③解析的な水素漏えい量の予測、等である。ただし、②については、環境条件をどう考えるかについて、プラント状態によって大きく変わり得ることや、③については、不確かさが相当に大きい等、懸案や課題があると考えている。
- ①は、短時間で整理できると考えているが、②、③は既存の知見のみで一定の見解を示すことは難しく、研究要素もあると認識しており、中期的な課題と捉えるべきと考えている。

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。

- 水素の挙動に係る不確かさ、被ばく影響などを鑑みると、特定の対策により対処するというよりは、状況に応じた最適な戦略を選択できるよう、各状況におけるリスクと各対策の特徴を正しく認識し、判断基準を整理することが肝要と考えている。
- また、「東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る中間取りまとめ」から得られた水素防護に関する知見、水素挙動に係る解析・評価の不確かさを踏まえると、仮に局所的な滞留が生じた場合の対処には課題がある。
- よって、例えば局所的な滞留のおそれのあるエリアに自主的にPARを追設する等の対策が考えられる。PARは静的機器であるため、電源喪失時にも機能する。さらに、現場操作が発生しないため、被ばく・水素爆発に対する要員の防護の面でも利点がある。
- SAを超える領域に対しては、判断に必要なパラメータを確実に把握し、複数の対策を組み合わせた最適な戦略を選択できるよう、事業者自らが対応手順等の拡張を検討していく必要があるものと考えている。

水素防護対策の検討において想定するケースについて

各水素防護対策の成立性や得失等を検討するため、考える対策の組合せについてケース想定を実施

(1) 事象進展等の前提条件

SBO + 全注水喪失事象（スクラム成功，LOCAなし）が発生。SRVは機能しDCH発生は防止。直流電源によるパラメータ監視は可能。可搬型設備は使用可能

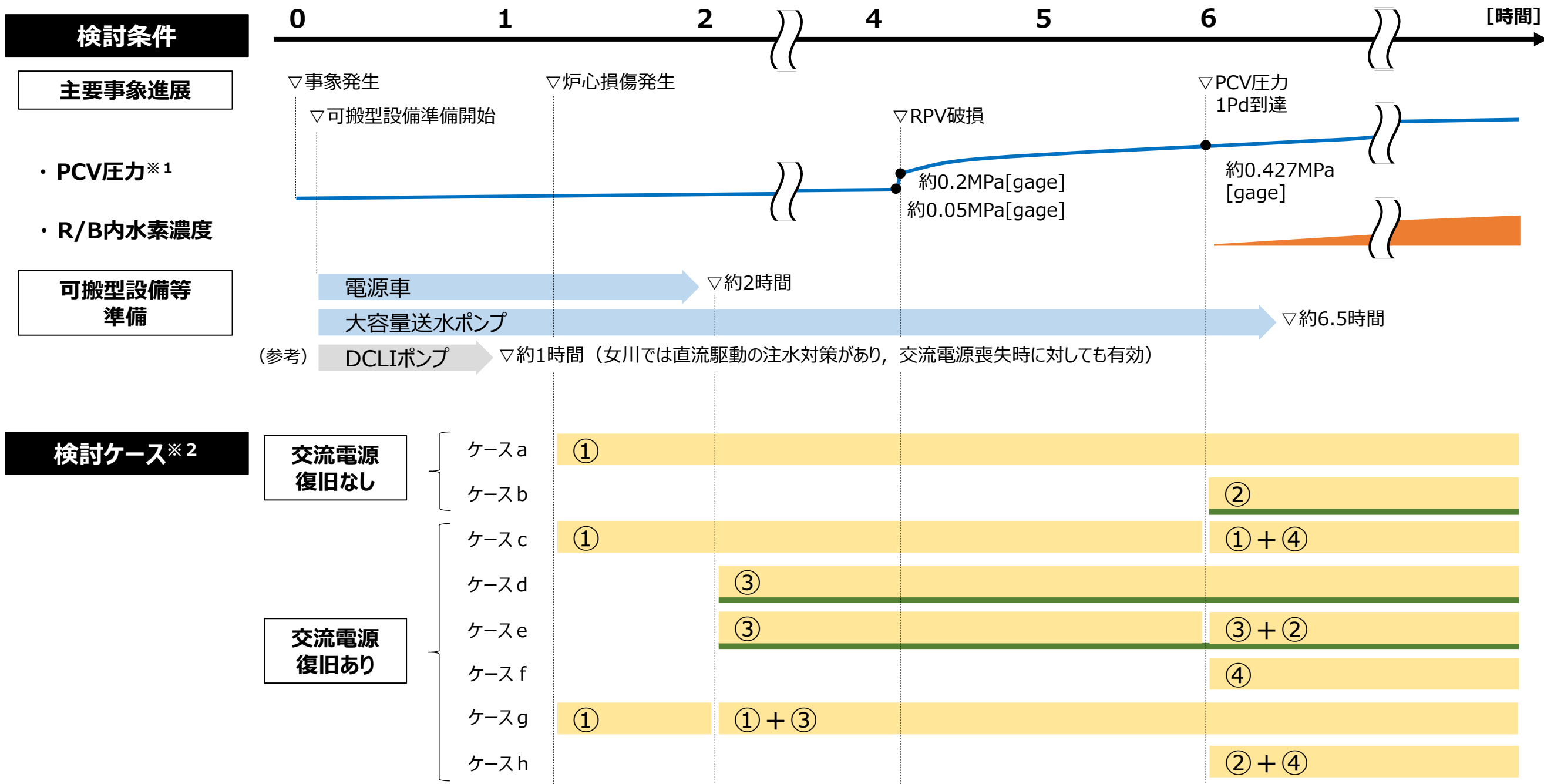
(2) 水素防護対策の実施想定

- ① R/B内水素濃度上昇を確認する前に，R/B内への水素漏えいを防止する目的で，非常に早期にフィルタベントを実施する場合
- ② R/B内水素濃度上昇を確認後，以降のR/B内への水素漏えいを緩和する目的で，早期にフィルタベントを実施する場合
- ③ R/B内水素濃度上昇を確認する前に，R/B内の水素濃度を抑制する目的で，予めSGTSを起動する場合
- ④ R/B内水素濃度上昇を確認後，R/B内の水素を排出する目的で，SGTSを起動する場合

[実施想定整理表]

	R/B内水素濃度上昇	
	確認前	確認後
フィルタベント	①	②
SGTS	③	④

(3) 想定される対策の組合せ



※1 PCVからR/B内への水素漏えいを厳しく想定するため，PCV圧力上昇が厳しい格納容器下部への事前水張りが実施されたケースに基づくトレンドにて整理

※2 それぞれのケースに加えて，更に建屋ベント等の対策を組み合わせることも考えられる

事象進展を踏まえた分析結果	<ul style="list-style-type: none"> ・電源復旧を見込める状況においては電源復旧後に水素濃度の上昇を検知した場合、SGTSを起動し、それでもなお原子炉建屋の水素濃度が顕著に上昇した場合はPCVベント ・常設、可搬型のいずれでも復旧を見通せない状態において、原子炉建屋への漏えいが顕著に見られた場合はPCVベント ・SGTSが使用できず、PCVベントを実施してもなお原子炉建屋の水素濃度が低下しない場合には、後備の手段として建屋ベントを使用
---------------	--

【凡例】 赤字:効果, 青字:課題

ケース	マネジメント採否	当該マネジメントをとるプラント状態	プラントに対する得失		
			炉心損傷後RPV破損前(約4h)	RPV破損～1Pdまで(約4～6h)	1Pd以降(約6h～)
			・異常な水素漏えいが生ずる想定は現実的ではない (PCV設計漏えい率でR/Bへ漏えい)	・異常な水素漏えいが生ずる想定は現実的ではない (PCV設計漏えい率でR/Bへ漏えい)	・異常な水素漏えいが発生することを想定 (PCV設計漏えい率を超えて漏えいすることを想定)
a	×	・1Pdを下回る状態で早期でベントするメリットはない	-	・PCV圧力との関係から、フィルタベントの実効性あり	<ul style="list-style-type: none"> ・PCVからR/Bへの水素漏えい量の低減^{※1} ・PCV圧力との関係から、フィルタベントの実効性あり
			・放射性物質の設計漏えい率を超える漏えいが想定されない状態であり、ベントに期待する状況にない	・放射性物質の設計漏えい率を超える漏えいが想定されない状態であり、ベントに期待する状況にない	<ul style="list-style-type: none"> ・希ガスが減衰されない ・フィルタベントでは希ガスの低減はできない
b	○	<ul style="list-style-type: none"> ・可搬型不可 ・常設復旧見通せない ・1Pdを超え、水素の顕著な漏えいを検知 	-	-	<ul style="list-style-type: none"> ・PCVからR/Bへの水素漏えい量の低減^{※1} ・PCV圧力との関係から、フィルタベントの実効性あり
			-	-	<ul style="list-style-type: none"> ・希ガスが減衰されない。 ・フィルタベントでは希ガスの低減はできない。
c ^{※2}	×	・aと同様、炉心損傷後早期にベントするケースであり、メリットはない	-	・PCV圧力との関係から、フィルタベントの実効性あり	<ul style="list-style-type: none"> 【PCVベント】 ・PCVからR/Bへの水素漏えい量の低減^{※1} ・格納容器圧力との関係から、フィルタベントの実効性あり 【SGTS】 ・PCVベントを実施することにより、建屋側の水素濃度がさらに上昇する想定は現実的ではない。
			・放射性物質の設計漏えい率を超える漏えいが想定されない状態であり、ベントに期待する状況にない	・放射性物質の設計漏えい率を超える漏えいが想定されない状態であり、ベントに期待する状況にない	<ul style="list-style-type: none"> 【PCVベント】 ・希ガスが減衰されない ・フィルタベントでは希ガスの低減はできない 【SGTS】 ・希ガスが減衰されない ・SGTSフィルタでは希ガスの低減はできない ・現状のSGTSは水素燃焼に対する耐性に課題
d ^{※2}	○	<ul style="list-style-type: none"> ・可搬型可(電源復旧) ・常設復旧見通せない ・水素の異常漏えいを検知 	<ul style="list-style-type: none"> ・建屋の負圧維持を目的としたSGTSの活用 ・設計漏えい率における建屋内の放射性物質への対処 	<ul style="list-style-type: none"> ・建屋の負圧維持を目的としたSGTSの活用 ・設計漏えい率における建屋内の放射性物質への対処 	<ul style="list-style-type: none"> ・SGTSによる水素の能動的な換気 ・高所放出による放射性物質拡散効果 ・SGTSフィルタによる放射性物質除去効果 ・格納容器内への放射性物質の沈着による低減効果
			-	-	<ul style="list-style-type: none"> ・R/B内の希ガスが減衰されない ・SGTSフィルタでは希ガスの低減はできない。 ・現状のSGTSは水素燃焼に対する耐性に課題
e ^{※2}	○	<ul style="list-style-type: none"> ・可搬型可(電源復旧) ・常設復旧見通せない ・水素の異常漏えいを検知 	<ul style="list-style-type: none"> ・建屋の負圧維持を目的としたSGTSの活用 ・設計漏えい率における建屋内の放射性物質への対処 	<ul style="list-style-type: none"> ・建屋の負圧維持を目的としたSGTSの活用 ・設計漏えい率における建屋内の放射性物質への対処 	<ul style="list-style-type: none"> 【SGTS】 ・SGTSによる水素の能動的な換気 ・高所放出による放射性物質拡散効果 ・SGTSフィルタによる放射性物質除去効果 ・格納容器内への放射性物質の沈着による低減効果 【PCVベント】 ・PCVからR/Bへの水素漏えい量の低減^{※1} ・PCV圧力との関係から、フィルタベントの実効性あり
			-	-	<ul style="list-style-type: none"> 【SGTS】 ・希ガスが減衰されない ・SGTSフィルタでは希ガスの低減はできない ・現状のSGTSは水素燃焼に対する耐性に課題 【PCVベント】 ・希ガスが減衰されない ・フィルタベントでは希ガスの低減はできない
f ^{※2}	×	・SGTSは水素燃焼に他する耐性に課題があり、高い水素濃度が想定される場合の使用には懸念あり	-	-	<ul style="list-style-type: none"> ・SGTSによる水素の能動的な換気 ・高所放出による放射性物質拡散効果 ・SGTSフィルタによる放射性物質除去効果 ・格納容器内への放射性物質の沈着による低減効果
			-	-	<ul style="list-style-type: none"> ・希ガスが減衰されない ・SGTSでは希ガスの低減はできない ・現状のSGTSは水素燃焼に対する耐性に課題
g ^{※2}	×	・aと同様、炉心損傷後早期にベントするケースであり、メリットはない	得失はケースaとdの組み合わせになる		
h ^{※2}	×	・fと同様、SGTSは水素燃焼に他する耐性に課題があり、高い水素濃度が想定される場合の使用には懸念あり	得失はケースbとfの組み合わせになる		

※1: 過温の場合は1Pd到達前の水素漏えいも想定される

※2: SGTSは、水素が局所に滞留しない場合、局所滞留に対する処置を行うケースで使用できる