

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：

東京電力HD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。

質問回答にあたっての前提事項等について

<当社の水素爆発防止の戦略について>

- ・NRA殿よりいただいた質問は、対策例①(ベント)又は対策例②(建屋放出)のいずれかの対策を採用した場合のご質問となっているが、当社としては対策例①及び対策例②を組み合わせた戦略を考えている
- ・当社の水素爆発防止の戦略として、オペレーションフロア(以下、オペフロ)又は下層階の水素濃度が設定値に到達した段階で建屋放出(ブローアウトパネル開放)を実施し、それによって水素濃度が低下しない場合には、ベントを実施することを検討している。したがって、上記の戦略を採用した場合という条件で回答をさせていただきたい
- ・なお、水素漏えい開始(水素濃度上昇開始、PAR動作開始確認)を検知した場合の早期ベントは、閉じ込める機能の喪失につながるので、実施しないことを考えている

<質問回答にあたっての想定事象(前提条件)について>

- ・原子炉建屋への大量漏えいするSA超過状態を想定する。また、注水有無、電源の有無によって事象進展及び対応が異なるので、それぞれの状態を考慮する
- ・想定事象として「1F事故相当(無注水+電源喪失)」及び「不測事態によるPCVからの異常漏えい発生(注水+電源確保+PCV漏えい発生)」を想定する。また、水素の滞留箇所により対応が異なることから、滞留箇所を「オペフロ」及び「下層階」とする。下表のとおり、領域A~Dごとにそれぞれの質問について回答させていただく

シナリオ/水素漏洩・滞留箇所	オペフロ	下層階
1F事故相当(無注水+電源喪失)	領域A	領域B
不測事態によるPCVからの異常漏えい発生(注水+電源確保+PCV漏えい発生)	領域C	領域D

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。

<検知手段>

【領域A～D共通】

- ・原子炉建屋内の判断パラメータの候補としては、水素濃度、放射線量、水蒸気、静的触媒式水素再結合装置動作状況があるが、直接的な監視パラメータである水素濃度が優位であると考え

<検知場所>

【領域A, C（オペフロで漏えいが発生した場合）】

- ・オペフロに設置した水素濃度計にて検知する

【領域B, D（下層階で漏えいが発生した場合）】

- ・格納容器漏えいポテンシャルの高い場所（機器搬入ハッチ等のフランジが設置される部屋）に設置した水素濃度計にて検知する
- ・プラントウォークダウン等により確認した水素滞留が起こりそうな場所に水素濃度計を追加設置し、中央制御室で監視することを検討している

<検知実現性>

【領域A, C（オペフロで漏えいが発生した場合）】

- ・現在の設備構成でオペフロにて検知可能

【領域B, D（下層階で漏えいが発生した場合）】

- ・PCV漏えいポテンシャルが高い場所については、現在の設備構成で検知可能
- ・ウォークダウン等により確認した水素滞留が起こりそうな場所に水素濃度計の追加設置を検討

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。

<ブローアウトパネル開放、ベントタイミング>

【領域A～D共通】

- ・ オペフロ又は下層階の水素濃度が設定値に到達した時点で、ブローアウトパネルを中央制御室より遠隔開放する（電源がない場合には現場での手動開放）する。また、必要に応じて、トップベントも追加で手動開放する。
- ・ ブローアウトパネル開放後に水素濃度が低下しない場合には、格納容器ベントを実施する

<放射性物質放出量>

【領域A, B（無注水、電源喪失の場合）】

- ・ 有効性評価より早期でブローアウトパネル開放、ベントを実施することになるので、希ガス、Cs放出量は有効性評価より大きくなる。例えば、6時間でのベントを想定した場合にはおいては、希ガスは約4.1倍、Cs137放出量は約4.5倍となる

【領域C, D（注水あり、電源ありの場合）】

- ・ ブローアウトパネル開放、ベント時間はPCV破損タイミングに依存する。有効性評価のベント時間よりブローアウトパネル開放、ベント開始時間が早ければ、希ガス、Cs137放出量は大きくなる

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。

<成立しない作業>

【領域A,B（無注水、電源喪失の場合）】

- ・電源がない状態であることから、可搬型設備による対応が基本となる
- ・ブローアウトパネル開放、ベントのタイミングが可搬型設備の準備時間より早期であれば、作業員被ばくの観点から可搬型設備による炉心注水、スプレイ等の屋外作業が成立しない可能性がある

【領域C,D（注水あり、電源ありの場合）】

- ・注水及び電源が確保されている状態では格納容器除熱は代替循環冷却で行う
- ・ブローアウトパネル開放、ベント時間はPCV破損タイミングに依存するため、代替循環冷却インサービス前にブローアウトパネル開放及びベントとなれば、作業員被ばくの観点から作業は成立しない可能性がある
- ・また、早期にベントをすることにより、代替循環冷却系のNPSHが確保できないため、代替循環冷却系の継続運転への影響が生じる
- ・格納容器フィルターベント系の出口ラプチャーディスクの設定値が100kPaであるため、それ以下の格納容器圧力ではベントすることはできないため、ブローアウトパネルによる対応を行う

※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。

<体制・手順成立性>

【領域A～D共通】

- ・中央制御室運転員の被ばく防護として「MCR待避室陽圧化装置」があるが、これの準備操作は「約30分」であり、炉心損傷後に実施することからブローアウトパネル開放、ベントタイミングが早まったとしても問題ないと考えられる
- ・被ばく評価の経路として、運転員の交替時における入退域時の被ばくも考慮していることからベントタイミングが早まることで評価結果に影響を与える可能性がある

※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。

ご質問の格納容器フィルタベントによる外気への水素放出が、水素漏えいを検知した場合に速やかにベントするという戦略であるという前提で回答します

【領域A～D共通】

- ・水素爆発の未然防止対策のみとして考えた場合は、格納容器内で発生した水素を速やかに直接排出することができる「格納容器フィルタベントによる外気への水素の放出」の方が効果的と考える
- ・ただし、格納容器フィルタベントは自ら格納容器バウンダリを開放し、直接放射性物質を放出することから、作業員被ばく影響及び屋外作業の成立性を考慮すると、どちらが優位とはいえない
- ・したがって、当社としては、格納容器バウンダリを確保することを優先し、前述のとおりブローアウトパネル開放及びベントを組み合わせた戦略を考えている

※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。

<必要作業>

【領域A,C (オペフロで漏えいが発生した場合)】

- ・ 現行の設備にて対応可能であるため、追加対応は不要

【領域B,D (下層階で漏えいが発生した場合)】

- ・ 水素濃度計追加設置
- ・ 水素濃度計用の電源増設
- ・ 水素濃度監視設備の増設
- ・ PARの追加設置
- ・ 扉等の改造

水素濃度計及びPAR追加に関して、以下の期間は最低限必要と想定している。

解析：12か月以上

設計変更：6か月以上

許認可対応：12か月以上 (仮設定)

工事：14か月以上

【領域A～D共通】

- ・ 水素爆発防止に対応する新規手順書の整備

※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。Q

①-1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。

<検知手段><検知場所><検知実現性>

Q①-1と同様の回答となります

<SGTSの扱い>

【領域A～D共通】

- ・SGTSは原子炉建屋負圧維持に必要な設備として、電源がある場合には使用する
- ・SGTSは、原子炉建屋水素濃度が1.3%にて、系統内での水素爆発を防止するため、可燃限界に余裕をもった値で停止する
- ・当社としては、ブローアウトパネル開放、格納容器ベントすることを水素爆発防止の戦略とし、水素爆発対策においてSGTSは期待していない

※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。

Q①-2 と同様の回答となります

※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。

Q①-3と同様の回答となります

※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

<放射性物質放出量>

【領域A～D共通】

- ・PCVからの漏えい量によって放射性物質の放出量は変動するため、それぞれの対策で期待できる除去効果で比較する
 - 「希ガス」については、どちらの対策も除去できないため「同等」
 - 「よう素」については、よう素用チャコールフィルタで「99.99%以上」除去可能
 - 「粒子状放射性物質」については、高性能粒子フィルタで「99.9%以上」除去可能

<体制・手順成立性>

【領域A～D共通】

- ・中央制御室運転員の被ばく防護として「MCR待避室陽圧化装置」があるが、これの準備操作は「約30分」であり、炉心損傷後実施することから放出高さが変わったとしても問題ないと考えられる
- ・なお、運転員の交替時における入退域時の被ばく評価については放出高さが低い方が影響を受けやすい

※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。

【領域A～D共通】

- ・許認可における被ばく評価、水素濃度評価において期待しているかという観点で回答します

<原子炉建屋>

- ・PCV の閉じ込め機能を補完する設備であり、SGTS と相まって環境へのFP放出を低減する機能に期待している。また、静的触媒式水素再結合器に水素を導くための流路としての機能も期待している。

<SGTS>

- ・SGTSは、原子炉建屋を負圧維持する設備として期待しているが、水素排出する設備として期待していない

<ブローアウトパネル>

- ・ブローアウトパネルは格納容器バイパス（ISLOCA）発生時の原子炉建屋の圧力、温度を低下させる機能に期待している。また、原子炉建屋の気密バウンダリの一部として期待している

<トップベント>

- ・トップベントは、設計上の期待はないものの、開放することによって原子炉建屋の水素を排出することが可能である

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。

Q①-6 と同様の回答となります

※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。

【領域A～D共通】

＜ブローアウトパネル＞

- ・ブローアウトパネルは遠隔で中央制御室より操作可能であり、作業に伴う被ばくはない
- ・ブローアウトパネルは、電源がない場合においても手動にて開放可能であり、水素濃度が可燃限界に到達する前に手動にて開放する手順とすることを検討している

＜トップベント＞

- ・トップベントは手動で開放するため、水素濃度が可燃限界に到達する前に開放する手順とすることを検討している

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。

【領域A～D共通】

- ・ 下階層で水素滞留の可能性がある区画
 - ① 上部D/W機器搬入用ハッチ室（地上2階）
 - ② 上部D/W所員用エアロック室（地上2階）
 - ③ S/C出入口室（地下1階）
 - ④ 下部D/W機器搬入用ハッチ室（地下2階）
 - ⑤ 下部D/W所員用エアロック室（地下2階）
- ・ ①～⑤の区画には常用換気設備（R/A HVAC）の給排気ダクトが存在し、内①②④の給気ダクトには重力ダンパ（GD）が存在するが、非常時にR/A HVACは停止（GDは閉止）する
- ・ ①～⑤における水素濃度解析を実施し、可燃限界を超える結果となった②⑤について以下の対策を実施し、可燃限界未滿となることを確認済
 - ② GDを撤去
 - ⑤ 入口扉に開口部を設定

※プラントウォークダウン状況

- ・ 2021年12月にK7を対象にプラントウォークダウンを実施。
- ・ 周回通路部や階段室、パイプスペース等においてハイポイントや横穴が存在し、上記①～⑤以外にも水素滞留の懸念のある箇所を調査

※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。

【領域A～D共通】

＜重大事故対策の体制・手順等＞

- ・水素爆発又はその懸念がある場合には、原子炉建屋内への入域を禁止としている。なお、有効性評価においては、炉心損傷後の原子炉建屋内作業に期待していない
- ・水素爆発又はその懸念がある場合には、原子炉建屋内における作業（電源喪失時の電動弁手動操作等）が困難となる。
- ・また、原子炉建屋入域が困難な状況となるため、機能喪失した設備の復旧に影響を与える可能性がある

＜下層階での水素爆発防止対策＞

- ・大物搬入口ハッチ開放：通常運転時からハッチを開維持運用とする。（地震力を受けても開状態を維持可能のため、設計基準事故への対処に影響なし）
- ・新規設置したブローアウトパネル強制開放装置により中央制御室からブローアウトパネルを開放し、原子炉建屋内の換気を促進
- ・水素濃度計追加設置の検討
- ・PARの追加設置の検討
- ・扉等の改造の検討

※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。

【領域A～D共通】

＜水素漏えい量の予測＞

- ・水素漏えい量の予測の精度向上は、短期間では困難と考えている
- ・水素漏えい量は、事故進展、格納容器内の環境にも依存するため、解析等によって確認していく。さらに漏洩部（シール部等）の脆弱性等を文献調査・実験等で確認する等、精度向上を目指していきたい

＜水素滞留場所の特定、検知、除去＞

- ・水素滞留箇所を特定し、確実に検知、除去することは短期間では困難と考えている
- ・水素の挙動は不確かさが大きいいため、解析のみでその挙動を確実に把握することは困難があることから、解析から得られた情報に加えウォークダウン等で確認した箇所に水素濃度計及びPARの設置、扉等の改造等を検討していく

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。

【領域A～D共通】

- ・水素が大量に漏えいする状況は不確かさが大きいものの、対策例①、②はそれぞれ有効な対策であることから、それらを組み合わせた戦略を整備することが有効と考える
- ・当社ではブローアウトパネルを遠隔で開閉できるよう追加対策し、水素対応に有効なハード対策を整備している
- ・当社としては、格納容器バウンダリを確保することを優先し、ブローアウトパネル開放及びベントを組み合わせた戦略を考えている
- ・水素濃度計及びPAR追加、扉等の改造に関して、以下の期間は最低限必要と想定している

解析：12か月以上

設計変更：6か月以上

許認可対応：12か月以上（仮設定）

工事：14か月以上