

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：

中部電力株式会社

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。

【質問回答の前提となる考え方について】

当社の水素爆発防止対策として、提示いただいた対策例を組み合わせた多段階の戦略を採用することとしています。

重大事故等対処設備が機能する場合には、原子炉格納容器（以下、PCVという）環境は限界温度圧力（200℃、2Pd）以下に抑えられることを確認しており、PCVからの異常な漏えいが発生することはないと考えています。このような状況においては、SGTSにより放射性物質を低減しつつ漏えいした水素を含む気体を原子炉建屋外に排出し、原子炉建屋内の水素濃度が可燃限界未満に維持されていることを水素濃度計（原子炉建屋オペレーションフロア及び下層階のPCVハッチ等のリークポテンシャルが高いと考えられる場所に設置）により監視することで、原子炉建屋の水素爆発を防止することが可能と考えています。そのため、現状の格納容器破損防止対策及び原子炉建屋の水素燃焼防止対策が機能する場合には、原子炉建屋における水素漏えいに対して各種対策の実施タイミングの早期化を行う必要はないと考えています。

仮に、PCVへの注水などの一部の重大事故等対処設備が機能しない場合にはPCV内の環境が悪化することでPCVの健全性が喪失し、原子炉建屋への異常な漏えいに至ることとなります。水素の異常な漏えいの兆候が見られる場合は、SGTS内での水素燃焼を防止するためにSGTSは停止し原子炉建屋ベントによる原子炉建屋外への水素排出に切替えていきます。また、PCVベントにより原子炉建屋への水素漏えいを抑制することとしています。

以上を踏まえ、以下の回答に当たっては、既存の対策を前提として説明していません。

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。

PCVベント判断として設定しているパラメータは以下のとおりであり、基準に到達した場合に手動で開放する運用としています。

<建屋漏えいに関連するパラメータ>

- ・原子炉建屋内水素濃度（オペレーションフロア、中小区画）
- ・線量率（モニタリングポスト（可搬含む）、燃料プール上部空間線量計）

<その他のパラメータ>

- ・PCV圧力
- ・PCV温度
- ・ハッチシール温度
- ・PCV内酸素濃度
- ・サプレッションプール水位（外部注水制限）

原子炉建屋内水素濃度については、オペレーションフロア及び下層階のPCVハッチ等のリークポテンシャルが高いと考えられる箇所に検出器を設置することで漏えいの検出を可能にしています。

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。

PCVベントのタイミングについてはQ①-1のパラメータを監視し、PCVからの漏えいにより原子炉建屋内水素濃度が可燃限界を超える前に実施することとしています。

有効性評価では、事象発生後、PCV内に放射性物質を保持させ減衰した状態でPCVベントを実施しているのに対して、事象発生後早期にPCVベントを実施することを仮定した場合には、PCV内での放射性物質の時間減衰等の効果が得られず、放射性物質の放出量は大きくなります。

早期の放出という観点で、FCVSによる低減効果が見込めず影響の大きい希ガスについて、初期炉内内蔵量に対する減衰割合と、PCVベントですべての希ガスが放出されると仮定した場合のPCVベント時間の違いによる放出割合を以下の図、表に示します。

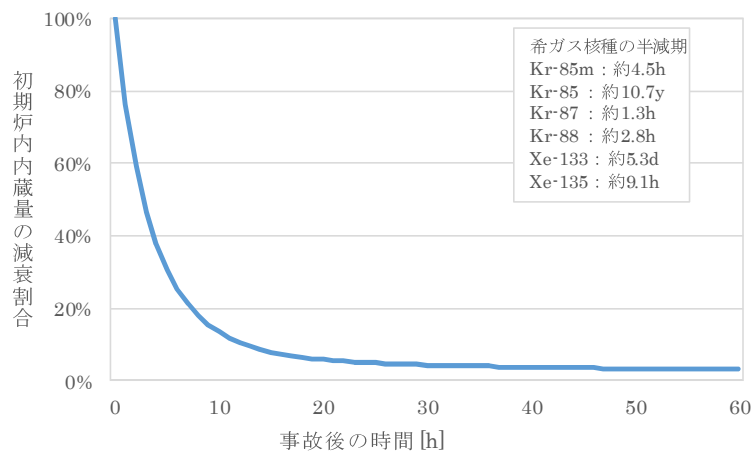


図 初期炉内内蔵量に対する希ガスの減衰割合（0.5MeV換算値）

表 PCVベント時間ごとの希ガスの放出割合（0.5MeV換算値）

PCVベント時間	初期炉内内蔵量に対する希ガスの放出割合
5時間後	約30.6%
10時間後	約13.4%
15時間後	約7.9%
20時間後	約5.8%
25時間後	約4.9%
30時間後	約4.3%
40時間後	約3.7%
50時間後	約3.3%
60時間後	約3.1%

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。

現状の対策が機能する場合には、PCVベントの実施タイミングを早める必要はないと考えています。

仮に早期のPCVベントを実施する実施基準を設ける場合には、各種可搬設備について「作業準備時間」「要員確保」「要員被ばく」の観点から成立しなくなる可能性があります。

一例として、ベント実施以前の対応の継続に必要な作業が実施できない可能性があります。

恒設設備による原子炉注水を実施している場合、約20時間で復水貯蔵槽が枯渇する可能性があるため、事前に可搬型設備を用いた補給作業を実施することとしておりますが、地震・津波発生時のアクセスルート啓開及び可搬型注水設備設置に12時間要することを想定しており、12時間以前のベント実施により屋外での作業が制限され、これらの対応が中断・遅延することにより、復水貯蔵槽水が枯渇することで恒設設備による継続注水に失敗する可能性があります。

なお、上記の水源枯渇の時間評価、可搬型設備設置までに要する時間について、時間余裕を見込んだ想定を置いているため、それらも踏まえ、ベント実施による対応時間の遅れについて考慮する必要があります。

※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。

現状の対策が機能する場合には、PCVベントの実施タイミングを早める必要はないと考えています。

Q①-2のとおり有効性評価に比べて早期にPCVベントを実施することを仮定すると放射性物質の放出量は大きくなるものの、ベント時の運転員の線量影響を低減するために待機所を設けていることから、ベント時間の早期化を踏まえても待機所に移動することで判断基準(100mSv)は超えないと考えています。

ただし、待機所に移動することで運転員の活動が制限されるため、ベント中に想定される運転操作が遅れる可能性があります。

- ・原子炉圧力容器破損等の事象進展に伴う注水先の切替え
- ・可搬型設備接続後の系統構成

※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ふ場合には、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。

漏えいの大きさによって影響も変わるため、水素漏えい量の定量的な比較は難しいと考えています。定性的にはPCVの健全性が確保されているのであれば、FCVSを介した放出の方が優位と考えています。

※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。

対策例①及びこれに付随する設備・対応に係る設計変更が必要となった場合、設計変更、工事等の対応に必要な期間について、現段階で述べることは難しいと考えています。

※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。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。

SGTSは以下のパラメータが基準に到達した場合に自動起動します。なお、電源喪失による不動作の場合には、常設代替交流電源設備からの給電により手動起動する運用としています。

- ・原子炉水位
- ・PCV圧力
- ・線量率（原子炉建屋換気、オペレーションフロア）

原子炉建屋ベント開放判断として設定しているパラメータは以下のとおりであり、基準に到達した場合に手動で開放する運用となっています。なお、SGTSが停止中の場合には運転中の基準より低い基準で原子炉建屋ベントを開放することで建屋内の環境改善を図ることにしています。

- ・原子炉建屋内水素濃度（オペレーションフロア、中小区画）

原子炉建屋内水素濃度については、オペレーションフロア及び下層階のPCVハッチ等のリークポテンシャルが高いと考えられる箇所に検出器を設置することで漏えいの検出を可能にしています。

※Q①-1と同旨。

Q②-2 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。

SGTSの起動タイミングとしては、事象進展に伴うQ②-1のパラメータの変化を踏まえ自動起動することとなります。

原子炉建屋ベントの開放タイミングとしては、Q②-1のパラメータを監視し、PCVからの漏えいにより原子炉建屋内水素濃度が可燃限界を超える前に実施することとしています。

有効性評価においては事象発生後に常設代替交流電源設備からの給電によりSGTSの作動(80分後)を想定しているのに対して、事象発生後にSGTSに期待せずに原子炉建屋ベントを開放することを仮定した場合はPCVから漏えいした放射性物質がそのまま地上放出されることとなり、放射性物質の放出量は大きくなります。定量的な比較については、Q②-4で示します。

※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。

新規規制基準対応としてはSGTSが動作する状況において各種対応が可能なことを確認しています。

仮に早期に原子炉建屋ベントを開放することを仮定した場合は、Q②-2で示したとおり放射性物質の放出量が大きくなることに加え、Q②-4で示すとおり大気拡散係数も大きくなることから、各種可搬設備について「作業準備時間」「要員確保」「要員被ばく」の観点から実施できなくなる可能性があります。

※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

浜岡の設備構成として、SGTSであればa)－1)の組み合わせ、原子炉建屋ベントであればb)－2)の組み合わせとなります。

放出量については以下に示すとおり、原子炉建屋ベントの方が放射性物質の放出量が大きくなります。

- ・希ガス：いずれの対策であっても同程度
- ・よう素・粒子状物質：SGTSのフィルタ効果は99.9%以上であり、原子炉建屋ベント開放の場合の放出量は有効性評価の場合と比べて1,000倍以上となります

放出位置については、浜岡4号機の中央制御室における大気拡散係数（ χ/Q 、 D/Q ）を比較すると、高所放出と地上放出で χ/Q は2桁程度、 D/Q は1桁程度、増加することとなります。

以上を踏まえると、SGTSに期待しない場合、2桁以上の線量増加が見込まれることから、判断基準（100mSv）を満足できないと考えています。

影響を受ける操作はQ1-④の操作に加え、PCVベント操作があります。

※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。

浜岡ではSGTSを水素爆発による原子炉建屋の損傷を防止するための設備（53条）に位置づけています。

SGTSは炉心の著しい損傷によりPCVから原子炉建屋内に水素等を含む気体が漏えいした場合において、水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するため、放射性物質を低減するとともに水素等を含む気体を排出することとしています。SGTSはフィルタユニットにて放射性物質を低減して排気筒から排出することで、原子炉建屋内に水素が滞留せず、水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止できる設計としています。

なお、仮に水素濃度上昇が継続した際にはSGTS内での水素燃焼を防止するため、SGTSを停止することとしています。

ブローアウトパネルについては、浜岡ではオペレーションフロアへ設置していないことから水素爆発による原子炉建屋の損傷を防止するための設備として期待していません。

原子炉建屋ベント（トップベント）については、53条の自主設備として、建屋から水素を排出することを期待しています。

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。

対策例②及びこれに付随する設備・対応に係る設計変更が必要となった場合、設計変更、工事等の対応に必要な期間について、現段階で述べることは難しいと考えています。

※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。

原子炉建屋ベントは中央制御室からの遠隔操作が可能な設計としています。

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。

下層階の状況については、以下に示すとおり。

- ・水素滞留の可能性がある箇所：シール部を有するPCVハッチ類が配置されている区画として、「バルブラッピング室」「所員用エアロック室」「ペネトレーション室」「CRD補修室」及び「トールラス室」がある。
- ・換気設備の有無及び位置付け：常用の換気空調系ダクトが設置されている。
- ・吸気箇所：各区画のダクト開口部より吸気し、各階の通路、大物搬入口、ハッチダクト区画等を通してオペレーションフロアに設定されているSGTS吸込口から吸気される。
- ・重大事故時における換気設備の動作状況：SGTSが動作（その他動的換気設備は動作しない）。
- ・ダンパ等の閉止状況：オペレーションフロアまでの排出経路上に閉となるダンパは設置されていない。

プラントウォークダウンについては、下層階の中小区画からSGTS吸込口に至る排出経路上の局所滞留の可能性がある箇所を確認する観点で実施した。現在のデータ整理ができていない範囲で確認した状況は、下記のとおりである。なお、本格的なプラントウォークダウンについては本年度実施する計画である。

- ・水素濃度計は想定漏えい箇所の直上付近に設置されており、漏えいがあった場合の検知に影響するような箇所は認められなかった
- ・下層階の中小区画からSGTS吸込口に至る排出経路上の天井部に梁があり、梁と梁の間に凹凸が見られた。

※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。

万が一、水素爆発が発生し、その影響が大きい場合には原子炉建屋内の重大事故等対処設備が使用不能になるおそれがあるため、場所・規模を踏まえて段階的に大規模損壊対応に移行していく形となります。

下層階の水素滞留に対しては、既存の対策にて一定程度の効果があると考えていますが、更なる対応についてATENAの枠組みで共通課題としての対応を検討しています。

※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。

水素の検知（測定範囲、重大事故環境耐性）は既存の技術で対応可能と考えています。

一方で、水素滞留箇所の特定及び除去方法については漏えいに係る想定も含めて検討する必要があり、現状、短期間での開発は困難であると考えています。

水素滞留に係る課題については、ATENAの枠組みで共通課題としての対応を検討しています。

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。

前提となる考え方にも記載のとおり、当社は水素爆発防止対策として、提示いただいた対策例を組み合わせた多段階の戦略を採用することとしています。