

水素防護に関する知見の規制への反映に向けた検討状況 (中間報告その2－事業者意見聴取会合の結果－)

令和4年5月25日
原子力規制庁

1. 趣旨

本議題は、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（以下「作業チーム」という。）における検討状況のうち事業者意見聴取会合の結果について報告するものである。

2. 経緯等

「東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析に係る中間取りまとめ」（以下「中間取りまとめ」という。）から得られた知見の規制への取り入れに関して、令和3年度第50回原子力規制委員会（令和3年12月8日）において、その時点で議論の素材としている対策例¹など作業チームにおける検討状況について報告するとともに、事業者及び原子力エネルギー協議会（ATENA）から意見を聴取する方針を示した（参考参照）。

これを踏まえ、作業チームは、令和4年4月22日に事業者からの意見聴取²を行った。意見聴取結果は、3. のとおり。

3. 事業者からの意見聴取結果

作業チームは、あらかじめ作業チームが示した対策例に関する質問票³を事業者に送付し、会合では事業者の回答資料を基に（1）作業チームの対策例に係る事業者の見解について説明を受け、（2）作業チームから追加質問し意見交換する形で、意見聴取を行った。事業者からの意見聴取結果のポイントは、それぞれ以下のとおり（詳細は別紙参照）。

（1）作業チームの対策例に係る事業者の見解

- 事象想定のお考え方や対策の仕方について事業者ごとに違いはあるものの、あらかじめ提示した対策例を組み合わせるとともに、追加の設備上の手当てを行い、水素爆発の防止対策強化を検討する方針であった。
- 格納容器フィルタベント（以下「PCVベント」という。）とブローアウトパネルもしくは原子炉建屋トップベントの開放による原子炉建屋からの排気（以下「建屋ベント」という。）について、多くの事業者はPCVベントを優先的に使用する考えであった。他方、東京電力ホールディングス株式会社（以下「東京電力」という。）は建屋ベントを優先的に使用する考えであった。

¹ 水素の排出元に着目し、水素爆発の未然防止対策として、①格納容器フィルタベント機能を用いる対策、②原子炉建屋内フィルタ付換気機能を用いる対策を例示

² 第1回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事業者意見聴取会合

³ 対策例①②ごとに、水素ガス検知の方法、考えられる具体的な対策、その対策を実施する際の懸念事項等を質問事項として整理したもの

- PCVベントや建屋ベントを実施するタイミングによっては、希ガスによる作業員の被ばく等の観点から、可搬型重大事故等対処設備による電源確保や注水確保のための準備作業（以下「インサービス」という。）に影響するとの懸念が示された。
- 非常用ガス処理系（以下「SGTS」という。）については、多くの事業者は原子炉建屋の水素爆発防止策として期待しないとの考えであった。
- PCVベントや建屋ベントの実施判断のため、水素濃度計の下層階への追加設置を検討するとの考えが示された。また、建屋ベントについては、中央制御室からの遠隔開操作設備の追加を検討するとの考えを表明する事業者もあった。
- 下層階の水素の局所滞留対策検討のため、プラントウォークダウン等を実施し、その結果に応じて水素濃度計や触媒式リコンビナ（以下「PAR」という。）の追加設置、流路確保策を検討するとの考えが示された。
- 水素漏えい挙動の予測の高度化等は、研究要素もあり時間を要するとの見解であった。また、ATENAの枠組みにより事業者間の共通課題として対応を検討していく予定であるとのことであった。

(2) 事業者の見解に係る意見交換

①：本検討に係る認識の共有について

- 中間取りまとめを踏まえて、原子炉建屋における水素爆発の更なるリスク低減を図るため何らかの対策が必要であること、特定の事象進展を想定して対策を講じることは難しいが、各プラントの特徴等を踏まえ様々な対策を検討しておく必要があることについては、出席者間で認識を共有した。

②：早期ベント⁴のフェージビリティについて

- 可搬型重大事故等対処設備のインサービスに影響するとの懸念に関して、ベントとインサービスの操作順序については、常設設備や計装設備の状態などによって判断するとの意見があった。プラント状態が監視できない場合には、プラント状態の悪化を推定してベント実施を判断すべきで、そのような場合を想定したアクシデントマネジメントを考慮しておく必要があるとの意見があった。
- PCVベントよりも建屋ベントを優先的に使用する東京電力の考えに関しては、ブローアウトパネルを中央制御室から遠隔開放できるようにしているため、開放作業による作業員の被ばくの懸念がなく、水素漏えいの初期段階では格納容器バウンダリの維持を重視するとの見解であった。

③：ベント判断に必要なパラメータ計測について

- 原子炉格納容器が健全と判断できる間はPCVベントは行わず、原子炉建屋への水素漏えいを検知してから、水素漏えいの進展に応じてPCVベント等の対応を行うという見解であった。

⁴ PCVベント、建屋ベントの双方に共通する場合は、便宜上「ベント」と記載している。

- 事業者の回答が過渡ケースでの事象進展を前提としていたことから、LOCAケースを想定した場合に対応に違いがあるかを質問したところ、原子炉建屋への水素漏えいの兆候を捉えたアクシデントマネジメントを検討するという視点では、用意する対策に大きな違いはないとの見解であった。
- 他方、判断に用いるパラメータが得られない状況も考える必要があり、その場合は、代替手段や時間経過によりプラント状態を推定してベント実施の判断をするなど、何に基づいて状況判断をし、用意された中からどの対策を講じるのかを考えておくことが重要との見解であった。

④：中央制御室の被ばく評価について

- 回答資料では、中央制御室の運転員の被ばく⁵に関して、建屋ベントの放出高さによる影響などに言及する事業者もあったため、実際の被ばく量に懸念があるのか、被ばく評価結果の数字上の懸念なのか質問した。事業者は、現実的な被ばく量を見積もることは難しく一概に言えないものの、おおよその被ばく量を把握し運転員の防護策を検討することや、水素爆発による放射性物質放出のデメリットと建屋ベントによって水素爆発を回避するメリットを比較し、ベント可否の判断をすることが考えられるとの見解であった。

⑤：原子炉建屋内の水素濃度低減策について

- 水素対策として、排出するのではなく、二酸化炭素等で希釈し原子炉建屋内の水素濃度を低減させるといった対策は想定されるか質問したところ、そのような対策が現実的に可能かは未検討であるとの回答であった。

⑥：SGTSの改良について

- 重大事故時の水素排出に用いるためSGTSの改良を検討しているか問うたところ、耐爆性や配管勾配のほか、フィルタの放射性物質除去性能は温度や湿度に依存することや、閉空間に水素を流入させることになるなど懸念があるため、SGTSの改良ではなくベントをするとの見解であった。

(3) その他：ATENAにおける検討状況について

- ATENAが検討中のアクションプラン⁶について、現時点では、検討内容やアクションプランの取りまとめ時期など見通しは明らかではなかった。

(4) 事業者からの意見聴取結果の整理

- 中間取りまとめを踏まえて、原子炉建屋における水素爆発（下層階での水素爆発の懸念）の更なるリスク低減を図るために対策を講じることで、作業チーム及び事業者間の認識を共有した。

⁵ ベント実施時には、運転員は中央制御室内の退避室に退避するため被ばくの影響は小さいというのが各事業者の見解

⁶ 参考資料P. 11の【ATENAにおける取組】参照。

- 他方で、原子炉建屋に漏えいする水素の挙動について、ある特定の事象進展を想定して対策を講じることは難しく、むしろ、柔軟な発想で様々な対策オプションを検討しておくことが有効であり、その対策オプションは、これまで作業チームが例示していた対策例に限らないことで、作業チーム及び事業者間の認識を共有した。
- また、各プラントの特徴や事象進展に応じて最適なアクシデントマネジメントを選択できるよう、手順の拡張やそれに附随する判断パラメータの拡充、さらには必要な設備対応を検討するという事業者の考えも把握した。

4. 今後の予定

作業チームにおいて、以下のとおり検討を進め、その結果を原子力規制委員会に報告する。

(1) 各事業者からの追加の意見聴取

各事業者がプラントウォークダウン等の調査を踏まえ検討するとしている対策内容とその対策を履行する目標時期について確認するため、追加の意見聴取を行う。

その際、事業者が中期的でかつ共同で取り組むとしている検討の内容と目標時期についても、事業者及びATENAから意見を聴取する。

(2) 規制上の取扱いの検討

令和3年度第60回原子力規制委員会で指示のあった、重大事故対策のうち不確かさの大きい後段の事象への対策を法令上どのように整理するかという検討も含め、本件の規制上の取扱いを検討する。

<別紙、参考資料>

別紙 第1回作業チーム事業者意見聴取会合について

参考 水素防護に関する知見の規制への反映に向けた検討状況（中間報告）（令和3年12月8日第50回原子力規制委員会資料3）

第 1 回作業チーム事業者意見聴取会合について

1. 開催日：令和 4 年 4 月 22 日（金）

2. 出席者：

（作業チーム）

市村原子力規制部長、金子緊急事態対策監、遠山技術基盤課長、鈴木課長補佐、岩永企画調査官、木原上席特殊施設分析官、角谷管理官補佐、照井安全審査官、阿部総括技術研究調査官、西村技術研究調査官、小城技術研究調査官

（事業者）

東北電力（佐藤原子力技術課長他）、東京電力（今井原子力安全技術 GM 他）、中部電力（泉安全技術グループ課長他）、北陸電力（四十田副部長他）、中国電力（村上 GM 他）、日本原電（山中技術・安全 GM 他）、電源開発（大谷炉心・安全室室長他）、原子力エネルギー協議会（山中部長他）

3. 内容

あらかじめ作業チームが示した対策例¹に関する質問票²を事業者に送付し、事業者の回答資料³を基に（1）作業チームの対策例に係る事業者の見解について説明を受け、（2）作業チームから追加質問し意見交換をした。

（1）作業チーム対策例に係る事業者の見解

① 東北電力

- 各社それぞれ前提条件を考えておいて回答しており、少しばらつきがある。どういう前提を置いて対策を考えていくのか、共通の前提条件を共有しながら進めていくことが今後の建設的な議論につながっていくのではないかと。
- 前提として以下を置き、早い段階で PCV ベント又は建屋ベントを行うケースと、R/B（原子炉建屋）への水素の異常な漏えいが検知された段階でそれらを行うケースを考えた。

¹ 令和 3 年度第 50 回原子力規制委員会資料 3 別紙に記載の対策例。

水素の排出元に着目し、水素爆発の未然防止対策として、①格納容器フィルタベント機能を用いる対策、②原子炉建屋内フィルタ付換気機能を用いる対策を例示している。

² 対策例①②ごとに、水素ガス検知の方法、考えられる具体的な対策、その対策を実施する際の懸念事項等を質問事項として整理したもの

³ 第 1 回作業チーム事業者意見聴取会合資料 1-1～資料 1-7

(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

- 主要な事象進展としては、事象発生（SBO）から、おおむね1時間を少し超えたあたりで炉心損傷、おおむね4時間でRPV破損、PCV圧力が1Pdを超えるのがおおむね6時間後。交流電源の復旧有無など8ケースを検討している。
- 1Pdに至る前というのは設計を大きく超えるものではないので、異常な水素漏えいを考える範囲ではないという考え。1Pdまでの範囲で早期ベントをするという戦略マネジメントを取る状況にはないとする。SGTSを活用し1Pdを超えたあたりからベントを使用することを考えるのが現実的。ただし、課題もあり、早期ベントによる希ガス排出になる。STGSも水素燃焼の耐性、配管が連続上り勾配ではないという課題もあり、1Pdを超えてSGTSを使用していくというのは、あまり現実的ではない。
- 電源復旧を見込める状況下では、電源復旧後に水素濃度の上昇を検知した場合に限ってはSGTSを起動し、それでもなおR/Bの水素濃度が顕著に上昇する場合にはPCVベントというマネジメントがよいと考えている。
- 常設・可搬型のいずれも当座復旧を見通せない状況下では、R/Bへの漏えいが顕著に見られた場合、PCVベントするマネジメントがよいと考えている。
- SGTSが使用できず、PCVベントを実施してもなおR/Bの水素濃度が低下しない場合、後備の手段として建屋ベントを使用していくのがよいと考えている。
- 有効性評価では最短45時間というPCVベントタイミングであり、希ガスは、ほぼ減衰しきっている。今回の前提条件で考えると、1Pdを超えてくるのが6時間となり、炉内内蔵量に対しての希ガスの放出割合が30%程度で、有効性評価の45時間と比べ10倍程度となる。屋外で注水のラインナップ作業には顕著な影響を与えると考える。作業の一時中断などの対応を併せて考えて、マネジメントしていくことかと思う。
- 自主的な取組について、水素の漏えい経路に対する不確かさとしては、局

所エリアに対する水素漏えい、下層階における水素の漏えいと滞留について考えていく必要があると思う。現場のウォークダウンを行い滞留ポイントなど確認できれば、PAR の設置といったものを具体的に検討していきたい。

- 建屋ベントはオペフロに2ヶ所あるが、ベント設備そのものについては、二重蓋で単純構造なので、構造的に特段問題はないと思う。開放は、R/Bの附属棟の屋上に作業員が行って、ワイヤーロープを巻き取るという作業がある。水素が出ている中、そして放射性物質の影響がある中、こうした作業上の問題というのはあると思うので、遠隔で開放できないのか検討を進めていきたい。
- 格納容器から水素が漏えいしてくるような局所エリアとし、バルブラッピング室などを挙げている。こうしたエリアは、建屋空間とつながる換気ダクトがあるが、ダクト口よりの部分は滞留の可能性も否定できないのではないかと考えている。こうしたエリアについても、自主的に PAR の設置ができないか検討をしていきたい。
- 水素の漏えい量の予測に対する課題について、段階的なアプローチが必要であると思う。まず、代表プラントで現場の調査を実施して、プラントの設計の類似性や違いを見ていくという効率的なやり方もあると思う。また、シール材の想定環境下での健全性を評価していく、解析的な水素漏えい量の予測精度を上げていくという検討も必要なのだろうと考えている。後者は、研究要素もあり少し時間をかけながらやっていくことだと思う。ATENAを軸にしたアクションプランの検討の中でも議論していくべきものと考えている。
- PCV ベント、SGTS、どちらを優先ということではなく、各プラントの状況に応じて最適な戦略を選択しながら対処する。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ながら、複数の対策を組み合わせることで最適な戦略を選択できるよう、事業者自らが対応の手順を拡張していく検討をするが重要と考えている。

② 東京電力

- 対策①、②を組み合わせた戦略を考えている。
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、まずはBOPを開放し、それでも水素濃度が低下しない場合にはPCVベントを考えている。水素漏えいを検知した場合の早期PCVベントは、閉じ込め機能の喪失につながるため、実施しないことを考えている。
- 前提の想定事象は、R/Bに大量に水素漏えいするようなSA超過を想定しており、注水と電源の状態によって進展が異なるため、それぞれの状態を考慮している。
1F事故相当の無注水で電源がない場合と、注水と電源確保は成功しているが漏えいが不測事態による水素漏えいが発生した場合を想定。

漏えい箇所によっても議論が異なるため、オペフロ、下層階の二つに分けて、計4パターン検討し回答する。

- PCV ベントのタイミング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、PAR の動作状況を考えているが、まずは水素濃度を見るのが有利であると考えている。

検知場所と実現性については、オペフロと下層階でリークポテンシャルの高いところには、既に水素濃度計を設置しており、対応可能と考えている。

一方、ウォークダウンを実施したところ、滞留が起こりそうな箇所を確認しており、水素濃度計を設置して中央制御室で監視することを考えている。

- 下層階やオペフロが設定値に到達した段階で、まずはBOP。その後も水素濃度が低下しない場合にはPCV ベントを実施する。

- 放射性物質の放出量は、1F 事故相当の場合は、早期でPCV ベント、BOP を開放することになるので、有効性評価よりも放出量は多くなる。例えば事象発生から6時間では、希ガスは4.1倍、Cs137は4.5倍になる。

不測事態のPCV 漏えいの場合には、ベント時間等はPCV の破損タイミングに依存するので、これが有効性評価より早い場合には、放出量は大きくなる。

- ベントを早めることによる作業成立性については、1F 事故相当の場合には電源がない状態なので、可搬型による対応が基本になる。可搬型の準備の時間より、PCV ベント、BOP 開放が早い場合には、被ばくの観点から、可搬型による作業は成立しない可能性がある。

不測のPCV 漏えいの場合には、電源確保されている場合には、循環冷却で除熱を行うが、こちらインサービス前にBOP 開放、PCV ベントとなれば、被ばくの観点から作業は成立しない可能性がある。

- 運転員の被ばくについて、中央制御室には陽圧化装置があり、この準備時間が30分なので、ベント開始が多少早まったとしても問題ない。

入退域の被ばくについては、今後検討していきたい。

- CV からの水素漏えいとPCV ベントどちらが優位であるかについては、速やかにベントするという前提で回答すると、水素爆発の未然防止ということ考えた場合には、単純に格納容器の水素を直接排出するPCV ベントが優位であると考えている。ただし、PCV ベントは、バウンダリを開放してFP を放出するので、作業員の被ばくと作業成立性を考えると、どちらがいいとは言えず、様々な対策を組み合わせるという選択を考えている。

- 規制基準化した場合の対策実施期間は、オペフロについては、特に対応は不要と考えている。下層階の漏えいについては、水素濃度計の設置、電源や監視設備、PAR の追加設置、扉の改造などが考えられる。期間は記載のとおり（最低で、解析12ヶ月以上、設計変更6ヶ月以上、許認可対応12ヶ月以上（仮）、工事14ヶ月以上）。

なお、手順書についても整備をしていく必要がある。

- SGTS については、負圧維持に必要な設備として電源がある場合に使用したいと考えている。SGTS は、水素濃度が1.3%に達した場合には系統内の水素

爆発を防止するために、余裕をもって停止することを考えている。

- 建屋放出時の放射性物質の放出量について、PCV の漏えい量によって放出量は変動するので、除去効果で考えればよい。希ガスについては、どちらの対策でも除去できないため PCV ベントと同等。ヨウ素についてはチャコールフィルタ、粒子状フィルタについては、それぞれ高性能フィルタで除去できるものと考えている。

中央制御室の入退域時の被ばくについては、PCV ベントに比べて BOP の放出高さが低いことへの影響はあるのではないかと考えている。

- R/B、SGTS、BOP 等の SA 上の役割については、許認可の被ばく評価、水素濃度評価において期待しているという観点で回答する。

R/B については、PCV の閉じ込めを補完する設備であって、SGTS と相まって、FP の放出低減に寄与する。また、(オペフロに設置する) PAR までの流路としても期待している。

SGTS については、R/B の負圧を維持する設備としては期待しているが、水素排出設備としては期待していない。

BOP は、ISLOCA 時の対策、あとは気密性確保のバウンダリの一部。

トップベントは、設計上は期待していないが、開放で水素の濃度を減らすことができる。

- BOP の開閉作業の被ばく、水素爆発による安全性観点については、BOP は、遠隔で中央制御室より操作できるようにしており、作業時の被ばく等はない。BOP、トップベントともに、電源がない場合には手動で開放することができるため、水素濃度が可燃限界に至る前に、手動で開けに行く手順を現在検討している。

- 下層階の水素滞留箇所については、①～⑤の部分にあると考えている。それぞれダクトや重力ダンパ (GD) が存在するが、こちらの存在による可燃性の評価をして、水素濃度が可燃限界を超えるものについては対策※をする。

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)

※②GD の撤去、⑤入り口扉に開口部を設定

ウォークダウンを実施し、周辺部や階段室に水素滞留の懸念のある場所を確認しており、こちらに対策を考えていきたい。

- 下層階の水素の滞留箇所の懸念による AM 作業への影響については、爆発又はその懸念がある場合には、建屋の入域を禁止している。なお、有効性評価においては、建屋内の作業は期待していない。

水素爆発又はその懸念がある場合には、例えば M0 弁を手動で開放する操作や機能喪失した設備を復旧するときに作業の妨げになるのではないかと考えている。

- 下層階の水素爆発の防止対策については、大物搬入口のハッチ開放、BOPの自動開放（遠隔開放）、水素濃度監視、PARの設置、扉にスリットを入れるなど、今後検討していく。
- 水素の漏えい量の予測については、短期間で向上させることは難しいと考えている。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、解析などによって確認していく。シール部の脆弱性などを調査し、精度向上を目指していきたい。

水素滞留箇所の特特定、検知、除去についても、短期間で向上するのは厳しいと考えている。水素の挙動は不確かさが大きいので、解析のみで実施するのは難しいので、解析からの情報とウォークダウンの情報を組み合わせて、適宜、水素濃度計、PARの設置、扉の改造など対策を打っていくことを検討している。

③ 中部電力

- 対策例①②を組み合わせた多段階の戦略を採用する。
まず、SA設備が機能する場合は、PCVは健全で、異常な漏えいが発生することはないと考えている。こういう状況では、SGTSで水素を含むガスを排出し、R/B内を可燃限界未満に維持するということを水素濃度計で確認する。そのため、現状のSA対策が機能する場合には、各種対策の実施タイミングを早期化する必要はないと考えている。
ここからはシナリオというよりは兆候ベースの話になるが、仮にSA対策の一部が機能しない場合、PCVの中の環境が悪化するということで、PCVの健全性が失われる可能性がある。こうした場合には、R/Bへの異常な水素漏えいが考えられ、その兆候が見られる場合には、可燃限界未満に維持できないような兆候が見られる場合には、SGTSを停止して、建屋ベントでの排出の方に、排出の方法を切り替えていくことで考えている。また、これと並行して、水素の漏えい元である格納容器のベントを行うことによって、建屋への漏えいの抑制をすることを考えている。
以上、こういった既存の対策を前提として、早期化については、仮定を置いた形で影響を見るということで回答をしている。
- 特徴的なところとして、浜岡では、SGTSを水素爆発によるR/Bの損傷を防止するための設備、設置許可基準規則第53条の対象設備に位置付けている。水素燃焼防止のために、可燃限界未満に維持できない場合には、停止する運用としている。BOPについては、オペフロに設置していないため、水素爆発を防止する設備としては期待していない。
- 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排出機能に期待をしている。建屋ベントについては、中央制御室からの遠隔操作が可能な設計としている。
- 下層階の水素滞留と水素漏えい量の予測については、東北電力も触れていたが、現在、ATENAの枠組みで、共通の課題として対応を検討していく予定で

あり、その中でアウトプットを出して検討を進めたい。

④ 北陸電力

- 志賀 2 号機は現在新規規制基準適合性審査中であり、許認可を受けた社とは違うステージとは思いますが、有効性評価で想定しているシナリオでの対策を実現するに当たって、リスクが高いところはどこにあるのか、中間取りまとめは示唆に富むものがあるので当社なりに考えた。
- 基本はオペフロに設置した PAR で処理するため、いかにオペフロに水素を導くかに主眼が置いている。PCV のトップヘッド、格納容器のハッチ等リークポテンシャルが高いところから漏れてきたものをいかに上に導くか。周回通路を使って上方に流すものもあれば、それぞれ部屋にある換気空調系のダクトからオペフロに導かれるが、想定どおりいくのかどうかを確認するためにウォークダウンや、空調ダクトの図面を現場で追うなどしている。
- PAR による処理が一番の対象であって、これに導く経路を確保し、処理がうまくいかない場合も考え、ハッチ付近等に付ける水素濃度計の濃度を基準に、PCV ベントで格納容器の中の水素を排出する。
それでも R/B 内の水素濃度が上昇する場合は、BOP を強制的に開放することによって、水素を排出する。SGTS は防爆機能がないということもあり水素排出の対策とはしない。
- BOP は最終手段として水素を排出するもの。除染効果が期待できず地上放出になるため、PCV ベント等で排気筒から放出する場合と比べて厳しい結果が出るため、PCV の閉じ込め機能を生かしながら、公衆の被ばくをそれによってできるだけ抑えるという対策で、今のやり方というのは、かなりバランスが取れているのではないかと思う。
- 現状と今後について、設備面で言うと、先ほどの PAR、水素濃度計、BOP に加えて、これまでは機器ハッチ、オペフロには水素濃度計を付けているが、ほかにリークポテンシャルが高いと思われるペネトレーション室などにも水素濃度計を追設した方が、より現場の状況を把握しやすいのではないかと考えている。PAR も局所的に付けるか、他方で PAR が動作すると温度が上がるので、部屋の大きさにも制限がかかるとは思われるが、こういったものの導入も考えていきたい。
- 運用面で言えば、判断基準の設定、現状は格納容器の能力を最大限に活用しつつ、公衆被ばくの低減とのバランスを狙った判断基準になっているが、水素爆発によって、その後の作業が問題になるリスクが顕在化するシナリオがあるのであれば、それに重きを置いた判断基準というものもあると思うので、そういったものも検討をしていきたい。
通常の換気空調系、これは少し長期的な、事故直後というより数日後の話だと思うが、作業員が現場でいろいろ自由に作業をするには、放射線だけでなく水素も取り除きたいと思う。常用系の空調を動かすということも考えていきたい。

- このほか、BWR は PWR と異なり CV 内は窒素置換ということで、効果があるようなら CV 内の PAR 設置ということも実施する。
- 局所のみ水素が留まって、ほかはきれいな状態であれば、局所に空気や不活性なガスを送るといったアイデアもあるかと思うが、これらは水素の漏えいと、その水素濃度がどう変化していくかという解析的なところがどれだけ精緻にできるかにもかかってくるので、そういったものも今後検討していきたい。
- ウォークダウンの状況等については、志賀 2 号は 1 回目のウォークダウンをし、現場のビデオを撮影して、後からでもいろいろな目で確認できるような状況にしている。周回通路周辺で、小部屋、天井の付近にくぼみがあり溜まりそうなどころがあった。空調用のダクトも、基本はオペフロに上がっていく構造にはなっているが、一部の周回通路等で 1 回下がってから上がるころもあるので、直せるものなら直したいし、直せないようなら何らかの対策も今後考えていきたい。
- 空調関係では、各小部屋からオペフロにつながるダンパも現場図面等を確認したが、重力ダンパ (GD) のようなものは特にない。ただし、通路からの扉があるので、そちらは例えば東京電力と同様にスリットを付けて空気の流れを確保する形にしたいと思う。

⑤ 中国電力

- 島根 2 号機を対象に、新規規制基準適合性審査で説明した対策手順を基本として回答。BOP の使用は PCV ベントと組み合わせて実施することを前提。
- 審査では、有効性評価の範囲を一定程度超える状態まで考えており、水素爆発防止は基本的に対応できている。ただし、今後の議論の中で、それ以上の状況を想定するという話になれば、追加の設備、手順を考える。
- PCV ベントの判断は、R/B の水素濃度が 2.5% に到達した際に実施。
- 有効性評価で想定している水素発生量と格納容器漏えい率を一定程度超えた (10%/day) としても、オペフロの PAR によって水素が処理されるため、ベント開始時間が極端に早くなることはなく、有効性評価と比べ、放射性物質の放出量が極端に大きくなることはない。
- 中央制御室の被ばくについても、ベントタイミングが極端に早まるものでなければ、退避時間が手順に影響することはない。PCV ベント後、10 時間程度の退避で中央制御室の線量は十分低下する。ベントタイミングが早まった場合でも、被ばく線量増加に伴って手順が成立しなくなることは考えにくい。
- PCV ベントで圧力が下がるため、R/B の水素漏えいを緩和できる。
- SGTS と BOP から放出される放射性物質の放出量は、SGTS は有効性評価と同等の放出量の想定となり体制手順への影響はない。一方、BOP からの放出量は、有効性評価と比べて大きくなるが、PCV ベントと同様のタイミングであれば、運転員は待避室に待避するため、PCV ベントの影響に比べて、無視できる程度。

- BOP の開放操作時の被ばくと安全確保については、BOP の開放基準が可燃限界に対し十分余裕があることから、開放操作自体は可能。ただし、開放操作時に BOP 付近で手動操作すると被ばく評価は厳しくなると考えており、BOP 閉止装置を活用した遠隔での開放手順操作を検討している。

⑥ 日本原子力発電

- PCV ベントのタイミングについて、R/B の放射線、水素濃度 2%、PCV のスプレイができない場合、PCV 温度が 200°C を超えるような状況のときに、ベントをする判断基準を設けている。
- 格納容器から水素漏えいとベントによる水素の放出を比較については、定量的な検討・回答は難しいが、場合分けをしている。
まず、SA 対策は想定どおり機能しており、PCV が健全である場合は、格納容器の閉じ込め機能が期待できるので、早期ベントをするよりも放射性物質の閉じ込めを優先する。R/B への漏えいを許容しても、感知器、PAR によって、水素爆発リスクは抑制できる。
SA 対策が想定どおり機能していない状況を考えて場合は、R/B の方でも、水素爆発のリスクがかなり高まっているということで、水素の漏えい量を下げるという観点からも PCV ベントをする。PCV ベントをして、水素を外部に放出するほうが良い。
- 下層階の水素滞留の可能性については、原子炉建屋ガス処理系として、SGTS に加えて非常用ガス再循環系 (FRVS) の吸排気口が R/B 内の各階に多数存在する。様々なフロアから吸気、排気をするので、下層階に水素が滞留する可能性は、この系統が動いている場合は、かなり低い。ただし、今後、滞留の可能性というのも考えた上で、ウォークダウン等により調査することを考えている。
- 建屋側の水素爆発防止対策としては、FRVS が SGTS の手前側あり、R/B のガスを再循環させながら、一部を SGTS で排気筒から放出する設計。
- 対策例どちらか一方ではなく、状況に応じて判断をして、適切な方を使用していく。

⑦ 電源開発

- 当社も作業チームの対策例二つを組み合わせた対応を考えている。建屋の水素濃度が一定の値に到達した場合に、まず PCV ベントを行う。その後、水素の濃度が低下しない場合には、BOP を開放して、水素を排出する。これをベースに回答している。また、特定の事故シナリオというのは想定せずに、パラメータが操作基準に達した場合には、必要な操作をするということを前提としている。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。
- R/B からの排出対策については、SGTS は、建屋内で負圧を維持して、フィルタを通して排出するという、放射性物質の放出を抑制する機能に期待している。水素排出の機能は直接的には期待していない。水素対策としては PAR を

設置している。

- 下層階の滞留対策も、現在、ウォークダウンと 3D-CAD の確認によって、滞留箇所の確認を進めている。その結果を踏まえて、対応をどうするか検討していきたい。BWR 共通の課題と認識しており、ATENA のワーキングで今後取り組んでいく方向で検討している。

⑧ ATENA

- 今の段階で何か特にとということはないが、各社から回答があったとおり、共通的に対策をとれるものについては、共通で取り組んでいくというようなアクションプランを ATENA で検討中であり、これから各社一緒になって作っていききたい。よりよい対策にしていきたい。

(2) 意見交換

(1) の説明に関して作業チームから質問・コメントし、意見交換を行った。

① 本検討に係る認識の共有について

- 1F 事故分析の中間取りまとめをきっかけに、真摯な検討をされていること、本日の議論の機会もありがたい。事業者とも認識共有しなければならないと思ったことが二つある。

一つは、東北電力の説明冒頭にあった、どういう状況を想定して対策を講じること考えるのか。

例えば、PCV ベントの活用で言うと、早期の場合には、いろいろ検討事項があるが、時間が後ろのほうにいけば通常のアクシデントマネジメント対策とほぼ同じかもしれない。一方、水素が漏えいした状況というのを想定したときに、どういうことが実施し得るか、作業チーム質問票にも悪影響があるかというような質問があるが、少し詰めなければならないのは、そういう状況をどの程度想定するのかだと思う。また、建屋ベントを考えたときに、操作の成立性だけでなく、時間がどのタイミングであっても、そもそも出せるのかどうかも考えなければならない。時間的な状況、そこまでの原子炉施設がたどってきたパスも、一定の想定を置きながら考えなければならない。そこにはすごく幅が多分あり、だからといって何か想定を置かずに検討が止まってしまうわけにもいかない。どれぐらいの幅のところを考えるかというのは、議論の中で双方が認識共有していくという必要があるのだと強く感じた。したがって、各社ある一定の想定をそれぞれに置いて、その下でということに回答していると思うので、それがどれぐらい振らなければならないかは、また今後の議論の中で考えればよいと思う。

もう一つは、低層階での滞留懸念がある箇所の確認ということで、ウォークダウンなど具体的に取り組まれているが、水素濃度計や PAR を追加で設置する対策が一部示されてるが、結局そういう場所というのは、実際水素漏えい起きてしまうと、その水素がどかせるとか、あるいは再結合できるか、いろいろな課題があるのだと思う。その辺り具体的な有効性の評価みたいなも

のは、SGTS であれ、建屋のベントであれ、また再結合あるいは検知できるのかも含めて、対策内容との関係で技術的に詰めが必要な部分なのだろうと、課題としては認識をしている。【金子対策監】

- 各社の説明でも、SA を超えるという言葉が使われており、その意味は、現行の規制基準下で考えられているシーケンスで対策を打った SA を超える話として共通していると思う。規制基準で SA 対策を求めている、その対策が不十分であると言っているわけではなく、それはできた上で、1F 事故の知見を踏まえると、不確実さも含めていろいろな事象が考え得るので更に検討を進めた方が良いのではということかと思う。具体的なシーケンスを議論できるのか、実現可能性を議論できるのかというのは、基準適合性の議論とは別のフェーズの話をしているのだと思う。そこに踏み込もうとして、具体的な前提をどこまで置けるかというのは重要な議論だと思うし、結論として前提は置けないけれども、こういう対策はやっておこうということになるのかも知れない。それは今の時点で作業チーム側も終着地を見据えているわけではないので、そういうところも含めて少しずつ議論をしていけばよいと思う。【市村部長】
- 1F 事故分析では現場等も見て中間報告をまとめてきたが、事業者との対話の機会が設けられるというのは、事故分析側としても非常に価値があると思う。1号機の挙動を見ても、非常に長い間、加温されていたり加圧されていたり非常に難しい状況かつ注水ができないということもあって、R/B 側に対する負荷もかかっていた中で、事故現場を見ても1号機、3号機それぞれ爆発の仕方が異なり、下層階での爆発の痕跡があるなど、そういうところから課題を投げかけている。その中で、下層階での対策について言えば、ウォークダウンや、滞留箇所の特定の難しさもあると思う。そこは、この場でもしっかり議論したいし、例えばオペフロに PAR を置いているから大丈夫というのは、確かに上がっていくものに対してはある程度効果があるであろうが、水素濃度が高いものが下層階に滞留する場合には、そこで除去した方が良いのではかないかなどアイデアは出てくるのだと思うので、ウォークダウンなどで現場を見たときに、どこまで徹底できるのだろうかを、事業者との間で共有したいというのが説明聞いて感じたところ。【岩永調査官】

② 早期ベントのフィージビリティについて

- 作業チームからの質問では、議論のきっかけとして有効性評価上の PCV ベントの最短ケースと比較してという形で質問を投げかけていた。実際に PCV ベントを開けるか開けないかという判断は別の問題かと思うが、例えば東北電力でいうと、有効性評価で想定している最短は 45 時間で希ガスは減衰しきっており、例えば 5 時間、10 時間早く開けなければならない状態になった場合にもバッファがあるかと受け止めている。ただ、これは各社のプラントごとでどの程度余裕があるのかは変わってくるので、それぞれのプラントがそれぞれのプラントの余裕に沿って対策を考えていくという

ほうがよいと受け止めた。

可搬設備のインサースビスにかかる時間との関係で共通認識を持ちたいが、可各社ともインサースビスに数時間、10 時間ぐらい、20 時間ぐらいと回答あるが、インサースビスができていない段階で、かつ特に水素の顕著な漏えいがない段階では、基本的にはインサースビスを優先されるという考えとの理解で合っているか。【鈴木課長補佐】

- 可搬設備のインサースビス、ラインナップについては、事象発生時に常設設備がどういう状態かということによるのだと思う。全く常設が使えないような事態が起こっているとすれば、速やかに可搬型の戦略を走らせるということだと思う。また、どれだけ計装系が活着しているかが大きく、プラント状態が監視できない場合は、最悪を想定して動くという判断をすべきと思う。過酷な状態を前提条件として置いて、プラントがどういう進展するかを押さえてマネジメントを考えておかないと、実際プラントの監視ができないときに「どうしよう」から始まるのでは困るので、最悪このぐらいのスピード感だということをもって、プラントの監視ができないときは、こういうイメージ、時間軸を持って動かしていくのだと思う。【東北電力】
- 各社とも、予期せぬ漏えいがあり、建屋ベントか PCV ベントかというときに、基本は PCV ベントを優先し、その後も R/B 内の水素濃度が下がらなければ建屋ベントをする、重大事故時の技術的能力審査基準の 1.10 (水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための手順等) のベントの順番と基本的には同じという回答。東京電力のみ、建屋ベントを優先するという事で順番が逆転しているが、考えを聞きたい。【鈴木課長補佐】
- 新規制基準適合性審査では PCV ベントが先としていた。今回、当社として自主的に BOP を遠隔で開けられるようにし、それが作業要員の被ばくのない形でできるので、まずは BOP をという議論をしている。まず、例えば下層階のごく一部で水素漏えいが発生しているような、水素漏えい量が圧倒的に小さく PCV のバウンダリが確保されている状態で PCV ベントというのは、あまり良くない考えている。漏えいしているところを緩和するという意図で、まずは BOP を開けて、それでも緩和できない場合には、水素発生源である PCV からベントすることによって断つということを考えてそのような順番にしている。【東京電力】
- 今の点について問題意識の共有だが、多少漏れていてもという状況を許容すると、水素爆発後の事故対応できないということ、作業チームとしては非常に危惧している。東京電力は事故の当事者なので、その危険性を一番よく認識されていると思うが、水素漏えい開始を検知した場合の早期 PCV ベントは閉じ込める機能の喪失につながるので行わないとしているが、爆発後はコントロールできなくなってしまうこととのトレードオフがあるはず。そういうことを考えて、どの時点で何をするか計画しなければならないと思うので、技術的に考えるとバウンダリ維持というのは理解をする一方で、その後には与えるリスクも考えなければならないと感じている。【金子対策監】

- ぎりぎりまで待っているという意図ではなく、ある程度の爆発の可能性があれば、その可能性が低い段階で判断していく、水素爆発を防止するという観点で検討したい。【東京電力】
- ③ ベント判断に必要なパラメータ計測について
- 早期 PCV ベントに対する考え方として、何をもち CV が健全なのかというところは議論の余地はあるかとは思いますが、各社とも、各種パラメータからある程度 CV が健全と判断が可能で、R/B への水素の漏えいがない状況であれば、R/B への漏えい抑制の観点から早めに PCV ベントを行うことは、今の時点ではあまり考えられてないと受け止めたが、そのような理解ということによろしいか。【照井審査官】
 - 格納容器の健全性がパラメータから担保されている場合には、ベントで出すことは考えていない。漏えいが進むにつれ後段の対策をとっていく。【東京電力】
 - 先ほど東北電力から、パラメータがしっかり見れることが大事だという発言があったが、有効性評価あるいは審査の中での取り扱いでは、パラメータが見れないときは代替手段での判断、可搬計器で現場に見に行くということも想定をされていると思う。見えないときに最悪の状態を想定して動くという発言もあったが、可搬計器で見に行けるという状態で PCV ベントをしてしまうと、その現場にアクセスできなくなるという状況が想定される。それまでの事象進展の状況にもよるのかもしれないが、やはり可搬計器で見に行く間は PCV ベントをしないこともあり得るのか考えを聞きたい。【照井審査官】
 - 先ほど、最悪の場合は時間軸をもってという話をしたが、代替パラメータ取得も、必ずしも運転員だけで対処できるものと、そうでないものというのがあり、事故が発生した時点での発電所内の要員体制が大きいと思う。その意味で、パラメータが監視できないというのは、代替パラメータでの確認も含めての発言。【東北電力】
 - そのときの状況、あるいは見えなくなったタイミングが事象の初期なのか、中期、あるいは後期なのかでも変わってくるので、その状況によるということで理解した。【照井審査官】
 - 各社とも取りあえず置いている想定的前提としては、有効性評価でいうと過渡ケース（DCH、FCI、MCCI ケース）での事象進展をベースとしていると思うが、一方で、LOCA ケースの場合は当然その事象進展は早く、CV 内の圧力等の挙動も過渡ケースとは全く異なる進展になる。LOCA シーケンスを考慮した場合だと、例えば女川の想定ではマネジメントの採否を○×で書かれていたが、そういったものが変わり得るのかどうか、何か考えがあれば聞きたい。【照井審査官】
 - 前提として LOCA ケースは考えていない。LOCA ケースを考えると、もう少しプラントの進展違うというのはそうだが、マネジメントに対してということであれば、考え方は基本一緒だと思う。水素の異常な漏えいが検知されたら、

マネジメントを考えて動くと、そこに何ら変わりはないと考える。【東北電力】

- 結局、兆候ベースで判断していくしかないところだと思うので、特にマネジメントを行う場合には、過渡であろうが LOCA であろうが、あまり変わらないということに理解した。【照井審査官】
- 各社とも、基本的に、格納容器が健全であれば、水素爆発の予防的なベントは現状考えてないと理解。R/B 内の水素濃度の上昇が確認できてから対策を講じるということで、先ほど多少漏れることを許容するかというのもあったが、多少漏れたとしても燃焼に至るもっと低いところで検知をして出すという整理をされているのかと思う。
検出してから動き出すということだとすると、やはり水素濃度を検出するというのが一番重要なポイントになってくる。説明の中にも、審査の中ではリークポテンシャルの高いところに水素濃度計を付ける。それに加えてウォークダウンなど行ってという話もあったが、水素濃度を R/B の中で検出ができる信頼性を高めるための工夫、取組について、考えを聞きたい。【角谷管理官補佐】
- 水素濃度検知の信頼性を高めるという観点では、女川では、例えば下層階の水素濃度計は一重だが、オペフロでは水素濃度計を二重に設置ことや、代替パラメータを設定することで信頼性確保を図っている。【東北電力】
- 多重化に加えてウォークダウンにより、自主的かとは思いますが、水素濃度計を追設する考えもあるという理解でよいか。【角谷管理官補佐】
- 下層階についても、滞留ポイントなどウォークダウンで確認し、そこに PAR の追加設置の検討が必要なのだろうと考えている。ただ、北陸電力の説明にもあったが、PAR を設置すると、その処理の過程で非常に高い発熱があるため、周りに重要機器があれば、配置や、離隔の要否も非常に重要になってくる。現場の周辺状況に対する配慮も併せながら対策していくと考えている。【東北電力】
- 基本的には検知をして、しっかり対策をとるという考えであるということには理解をした。【角谷管理官補佐】
- 各社、水素濃度の検知を一つのきっかけにしながら対策を考えるというのを基本路線にしている。これは理解をしており、一つの合理的な道筋だと思う。一方で、どこに検知器を置いて、どういうふうに検知していくのか、なかなか分からないという状況も一つ不確定要素としてある中で、水素を直接検知するのではなく、炉心損傷が起こって水-ジルコニウム反応が起きれば水素が出るというのは機構として分かっているので、水素発生状況から時間経過に応じて、これぐらいのタイミングでは何をするという、パラメトリックな検討からトリガーを引くという発想はないのか。ないと困るということではないが、どのような感触を持たれているか。【金子対策監】
- 実は、東北電力の検討アプローチには、そういう観点が少し含まれている。水素の濃度状態が分からない、代替パラメータでの検知に対しても確実性が

ない状況でどう考えるのかとなると、やはり異常な水素漏えいが、どの辺から起こり得ると考えて動くべきなのかということだと思う。

その意味で前提条件を仮置きし、6時間ぐらいというところに一つの目安を考えた。それは6時間ぐらい経ったときに、1Pdを超えてくるあたりで、水素濃度が測定できていれば、どのぐらいの濃度というところをもって、異常な上昇があるなという判断の下でアクションに移るということなのだが、それが分からない場合は、やはり6時間ぐらいだと思ってマネジメントを打っていくということだと思う。そのときに電源がなければ、PCV ベントの隔離弁も遠隔では開けられないという状態なので、隔離弁を操作する時間余裕、女川でいえば人力で開けるようと90分程度かかるので、もう少し早い段階から動いていくというところだと思う。

説明冒頭で述べたとおり、本件の議論をする上での前提条件は、事業者側もそうであるし、規制側とも一定程度の認識を同じく議論していくということが重要なのだらうと思う。【東北電力】

- 水素濃度が見えないときの検知手段としては、どこまで精度よくできるかという話はあるが、1Fの事故のときにも水蒸気が出ていて、実際の自分の目で見ることができると思うので、計器で見えない中でもある程度予測できるというのも、手段の一つとは思っている。1F事故の際も、事故発生後、大体8時間ぐらいでFPが検出されていることもあるので、そういう実績から、見えない、何も情報がない中で、この程度の時間で動くというのも、手段としてはありなのかとは考えている。【東京電力】
- 1F事故分析検討会で早期ベントの話をしたこともあり、例えば何のパラメータも見れず格納容器側の対策も打てないとなると、放っておくと現場の状況も悪くなる。このままいくと格納容器が壊れてしまう蓋然性が高いと判断した場合には、早期にできる範囲でベントなりの対策を打つという考え方はあると思っており、そういう検討もしていきたい。【中国電力】
- 他社と同じく、水素検出器による対策を考えているが、当然SBO下では、間接的な判断にはなるが、ほかに参照できるパラメータも盛り込んだ上で判断することになる。水素検出器が機能しない場合でも、例えば時間でピン留めする場合もあれば、水蒸気の発生状況など、いろいろ手順の中に盛り込んで総合的に判断していくということは、別にこの事象だけではなく今までやってきたことなので、もっと充実していきたい。【北陸電力】
- 最後に水素だけではなくという話があったが、状況判断をどうするかということとの関係で、対策のトリガーをどうするかというのは大切な視点。今回の質問票の回答中でそういうことまで書き込むことまでは想定していなかったが、今後、各社がいろんな手順を検討する際には、何をベースに状況判断をし、対策のトリガーを引くのが肝になると思う。【金子対策監】

④ 中央制御室の被ばく評価について

- 各社とも、PCVベントであれ、建屋ベントであれ、放射性物質の放出時は待

待避室に入るので中央制御室での被ばくの懸念は低いと。他方で、可搬設備のラインナップや、待避室にこもり続けている間、中央制御室で行う操作に影響があるということかと思う。電源開発の説明資料では、大間が建設段階ということなのか、待避室内でもある程度の操作が可能となるような設計にするとあるが、これは電源開発オリジナルの設計か。【鈴木課長補佐】

- おそらく当社オリジナルと考えて結構。待避室から注水設備や除熱の操作をできるように待避室内に制御盤も設ける計画としている。【電源開発】
- 待避室外滞在時は、ある程度被ばく上の懸念があるという社が複数いるが、実際の被ばく量として懸念があるのか、それとも評価上の懸念か。実態の被ばくとして問題があるのか、ベストエスティメイトで評価すれば打てる対策を、保守性をもった評価結果の方で難点を出してしまうのか、という趣旨。【鈴木課長補佐】
- 両方の側面はある。まず、影響度を見るという観点でいうと、シナリオ想定が必要になってくる部分があるので、シナリオをどう置くかという問題もある。もう一つは、評価条件。被ばく評価上いろいろな除去効果を考えているが、そういったものが有効性評価で考えている範囲の領域を超えてきたときに、その条件が本当に適用できるのか。これは結果を厳しくする方向に振れるので、中央制御室の活動に対する線量影響の相場観というのを掴めれば、ある程度、運転員に対する防護策というのは考えられるかも知れない。100mSvを超えるレベルなのか、ある防護措置を講じることによって、活動性は確保できるのか。前提条件をどう置くのか、これまで取り扱ってきた低減効果、除去係数などが本当に適用できるのかを確認していく作業が必要になってくると思う。【東北電力】
- 中央制御室の被ばくの防護対策として、陽圧化は30分で可能なので、特にベントタイミングが早まることは問題ないと考えている。被ばく評価の中で、運転員の交代についても入退域時期の評価の被ばくをしているが、保守的に長めの時間がかかるとしている。そういう点も踏まえて、ベントタイミングにもよるが、評価結果に影響ないという見通しを立てていきたいと考えている。【東京電力】
- 評価の保守性の部分については、非常に難しい問題。現状は対策の成立性、有効性を確認するために行っているものなので、実際どの程度の被ばくになるかを現実的に評価するということは、風向、風速等にもよるので少し難しい。水素爆発の懸念があるような状態で、例えば爆発によって大量の被ばくするデメリットと、放出してしまっても後のマネジメントを成立させるというメリットを比較して、建屋ベントをするかどうかという判断になると思う。【中部電力】
- 中央制御室の居住性評価で、待避室に入るので影響は軽微だと考えられるとの回答があったが、審査の中での議論では、やはり建屋から漏えいをしてくる放射性物質による被ばくへの影響は大きいだろうということで、BOPの閉止装置を付けることによって、負圧を維持してSGTSの一定換気率で排出し、

中央制御室居住性として SGTS に期待をしている。例えば建屋ベントをしたときには、当然 SGTS による負圧は達成せず、その前に水素濃度が上がって SGTS は止まっているのかもしれないが、その様な状況だと居住性評価に響いてくるのではと考えているが、その点はいかがか。【照井審査官】

- BOP を再閉止させないと、居住性の評価の中で基準を満足できないというのは確かだが、実際、BOP のみではなくて PCV ベントのことまで考えると、待避室の中にこもるとというのが前提になっている。その準備にかかる時間がおよそ 30 分、その判断基準が炉心損傷なので、基本的に運転員については退避室にこもる。陽圧化されたクリーンな空気が 10 時間は確保されるということをおも前提に、有効性評価で示した結果と差はないと考えていると回答している。

BOP が開放された状態になると、評価上と言うと R/B の壁が無く格納容器むき出しということになってしまい、評価上は厳しくなると考えている。【東京電力】

- 当社も BOP 開放の前に PCV ベントにより、まず格納容器圧力を逃がすことを考えている。PCV ベントが成功すれば、格納容器から R/B への漏えい量が少なくなるので、その時点で、BOP を開けたとしても R/B からの放射性物質量は少なくなるのではないかと考えており、無視できる程度という回答をしている。【中国電力】

⑤ 原子炉建屋内の水素濃度低減策について

- R/B の水素濃度が設定された値を超えれば、格納容器のバウンダリであれ、建屋の壁であれ、開いて水素を逃がすということになる。水素だけを対象に対策を考えればそれで良いが、結局、放射性物質の一定程度の放出は避けられないことが問題となり、R/B の水素濃度を上げないためにはどうするかという話になる。

まず、漏らさないことについては、異常な漏えいを前提にしており成立しない。逃がすという対策はベントである。薄める戦略はというと、一つは PAR を使って水素濃度を低減していくという対策で、既に入っている。もう一つは、何かガスを使って希釈するという手段はないのかというのが考えられる。例えば地下の駐車場の消防対策などで CO₂ をまいて不燃の状態を維持するといったような対策もあると思うが、そういったものを簡易的に R/B で行うことは想定されるか。【西村研究調査官】

- 確かに PCV の水素対策でも窒素というのは使われており、薄めるという観点では、そういう対策があろうと考える。ただ現実的に可能か検討したことはないので、現状可能かと言われると分かりませんという回答になる。【東北電力】
- 早期のベントでの希ガス放出を気にしているのだとすると、希ガスの減衰を待てれば排出してもいいとなるかもしれない。例えば東北電力の説明資料で希ガスの放出割合を出してもらっているが、例えば 24 時間待てれば、あと

何時間待っても変わらない程度に減衰しているという状況になるので、少なくとも 24 時間我慢できれば、その後ベントしても希ガスの影響はかなり低減できるというような発想もあると思う。そういった観点でも考える価値があるのではないかと趣旨でのコメントである。【西村研究調査官】

⑥ SGTS の改良について

- SGTS はもともと SA 時に使用するために、水素を排出するために設計された設備ではないので、作業チームの対策例の検討の際にも、防爆ではない、排出する能力としても建屋を微負圧にする程度であるという懸念点は、当然認識している。各社とも、SGTS を何かしら改良して、活用しようという検討をされた上で、それよりも下層階に水素濃度計の追設、PAR の追設をする方がよいという考えなのか、改良について見解はいかがか。【鈴木課長補佐】
- SGTS に対する懸念として、1 点目として、水素排出以外の FP の対応として期待する場合の除去性能として温度とか湿度が非常に大きく影響してくるので、どういう環境状況にあるのかが大きい。二点目は、女川 2 号の場合、SGTS の配管端部は排気筒の底部までで、あとは排気筒の筒身を期待して、比重で上まで行く。底部は独立トレンチになっているので、3 号側への影響は考えられないが、本当に排出できるのかを検討しなければいけない設備改造となると非常に大がかりになるだろう。SGTS に対しての改良検討があって PAR の設置という議論をしているわけではなく、根本的な滞留対策としてクリアにできるのであれば、既存の SGTS の改造までは必要ないのではないかと考え方の下で、当社は回答している。【東北電力】
- SGTS に何らかの改良を加えて防爆処置をとるところまでは、発想としては至っていない。東北電力が回答したとおり、どちらかというところ閉空間の中に水素が入っていくので、比較的早めの水素濃度で SGTS を止めに行くというようなマネジメントをとっている。【東京電力】
- 浜岡では、SGTS を水素排出の設備として期待をしている。更なる改造、例えば防爆については、SGTS で排出をして、なお水素濃度が下がらないという場合であれば、許容を超えて可燃限界未満に維持できないということなので、排出の手段としての SGTS は止めて、建屋ベントに移行していく。現状の SGTS を改造してというところは、現状は検討していない。【中部電力】
- SGTS を改良することが難しいのであれば、SGTS を止めるまでどのぐらいまで実際に余裕があるのかも検討して欲しい。【鈴木課長補佐】

⑦ ATENA における検討状況について

(概要)

- 複数社が、下層階に局所的に滞留する水素対策は、ATENA で鋭意検討中としている。本日は ATENA も出席しているが、この検討取りまとめの見通しとして、近々なのか数ヶ月後なのか。【鈴木課長補佐】
- 下層階での滞留や水素の流動、拡散については、どこから漏れるのか解らな

いという前提に立って、リークポテンシャルのあるところを全て挙げ、各社ウォークダウン等で確認をというお願いをしている。あとは様々な対策との組み合わせになろうかと思うが、もう少し詳細な解析をしてみるというようなこともトライをしようかと考え、その取組を始めようとしている。もう少しそこは時間がかかると思っており、今の時点でいつまでにというのは、なかなか見通せない。【ATENA】

- 本日の様に各事業者に個別の考えを聞くというタスクと、ATENAの方でも中間取りまとめの知見反映を検討しているというので聞いてみようかという2つがある。当然アクションプランを作って、そのアクションプランに従って各社が動いて、さらに検討するという段階はあるにせよ、アクションプランを作るなど節目で聞けるのはいつ頃かも今の時点で答えが難しいのであれば、準備ができた段階で聞ければなと思う。【鈴木課長補佐】
- ATENAの検討は、結局いつ出てくるかも、何が出てくるかも、はっきり言ってよく分からない。どこから漏れそうか、滞留しそうかという話は、プラントごと大分違うからこそ各社ウォークダウンをしていく各社固有の話のように思う。それをATENAが音頭取りしているのか、さらにそれを用いて解析をして何かを持ち出すのか分からないが、いずれにしろ、計画やスケジュールは、聞ける機会があれば聞くということかと思う。【市村部長】

(3) その他

- 本検討は、中間取りまとめで新たに浮かび上がった懸念をどのように払拭するか、リスク低減していこうかという発想でスタートしている。新規制基準適合の結果、新しい設備の追加、手段の追加がされており、これらを組み合わせて事故をマネージしていく中で、中間取りまとめで見つかった懸念をどうやって低減していくのかという観点で作業チームは検討しているし、幸い事業者も、そのような観点で検討していると感じた。
この後、作業チームとしては、検討の進め、ある程度の方針にまとめる作業をしたい。ただし、それに当たって、本日分かった点もあるし、まとめをする中で不明な点も出てくるかも知れないので、その場合はあらかじめ作業チームの考えをまとめつつ、確認したい点を事業者の皆さんに投げかけるという作業をし、それを基に再度、このような場を設定しようと考えている。【遠山課長】
- 議論を進めていく上で、引き続きコミュニケーションをとっていく必要があると思う。どういう機会に、どのように行うかというのは、直ちに決めきれないが、引き続き、お互いに議論を進めていければと思う。【市村部長】

水素防護に関する知見の規制への反映に向けた検討状況（中間報告）

令和3年12月8日
原子力規制庁

1. 趣旨

「東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析に係る中間取りまとめ」¹から得られた知見の規制への取り入れに関して、令和3年8月18日第25回原子力規制委員会において、水素防護に関する知見の規制への反映は他の項目（ベント機能／減圧機能）とは別に作業チーム²において検討を進め、年内を目途に検討結果を原子力規制委員会に報告する方針が了承された（参考1）。

また、その際、検討状況は適宜原子力規制委員会に報告するよう指示があったので、作業チームにおけるこれまでの検討状況について別紙のとおり報告する。

2. 今後の予定

本件に関して、「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検討会」において、事業者側から、原子炉建屋内に漏えいした水素の滞留防止やベント機能の活用による水素の排出等の見解が示されている（参考2）。また、原子力エネルギー協議会（ATENA）においても、東京電力福島第一原子力発電所事故調査等から得られた知見の評価・反映について、ATENA及び事業者の検討事項として取り上げているところ（参考3）。

このため、同検討会及び作業チームの合同会合により、上記の検討状況等に関してATENA及び事業者から意見を聴取することとしたい。

また、本日の議論並びにATENA及び事業者からの意見を踏まえて作業チームにおいて検討を進め、その結果を原子力規制委員会に報告することとしたい。

<別紙、参考資料>

- 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
- 参考1 水素防護に関する知見の規制への反映に向けた今後の検討の進め方（令和3年度第25回原子力規制委員会資料7-2）
- 参考2 「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検討会」における発電用原子炉設置者の見解等の確認について
- 参考3 長期安全運転に係る取り組みの全体像（2021年10月26日原子力エネルギー協議会）

¹ 以下単に「中間取りまとめ」という。

² 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をいう。以下同じ。

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

令和3年12月8日
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

1. 現状の認識と課題

中間取りまとめから得られた水素防護に関する知見、現行の基準及び審査実績（別添1）を踏まえ、現状の認識と課題を次のとおり整理した。

なお、ここでは主にBWRを想定しており、PWRについてはBWRに関する検討結果が得られた後、PWRの特徴なども踏まえて検討する。

- ▶今般得られた知見を踏まえても、現行の基準及びこれに基づく事業者の設計により相当程度（爆燃も含む）水素爆発事象を防止できるものと考えられる。
- ▶しかし、中間取りまとめでは事故当時の東京電力福島第一原子力発電所3号機³原子炉建屋内の低層階に水素が滞留していたことが示唆されている。事象進展の機序に不確かさは残るものの、事業者が現在用いている手法では水素の滞留現象を十分には表現できない可能性があり、これを否定する知見は得られていない。
- ▶また、事故当時の3号機においては、水素以外の可燃性ガスが相当量発生し、3号機の水素爆発時の火炎や爆煙に寄与したことが示唆されている。可燃性ガスの発生源や発生量等に関して不確かさは残るものの、従来想定よりも多量の可燃性ガスが発生し燃焼ないし爆発に至る可能性があり、これを否定する知見も得られていない。
- ▶原子炉建屋内に水素等が滞留し燃焼範囲に至っているおそれのある状態では原子炉建屋内の設備・機器へのアクセスができなくなり、また爆発事象により原子炉建屋が損傷するとその後の工場等外への放射性物質の拡散抑制対策が適切に実施できなくなるなど、シビアアクシデントへの対処に困難をきたすおそれがあることから、原子炉建屋内への水素等の滞留及びこれを原因とした爆発現象を未然に防止できるような対策を検討する必要がある。

2. 議論の素材と論点

現時点で議論の素材としている対策例は、以下のとおり。水素の排出元に着目し①及び②としているが、これらを組み合わせることも考えられる。各対策例の利点・懸念点は別添2のとおり。

また、これらの対策例について議論を行う際に想定する論点は、以下に整理した。

³ 以下単に「3号機」という。

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

格納容器内に水素が発生した際に、格納容器の内圧の上昇に伴って格納容器から原子炉建屋内に水素が漏えいすることを防止するため、早期に格納容器フィルタベントにより水素を排出し、もって原子炉建屋内（格納容器外）の水素の滞留を未然に防止する。

【想定する論点】

- 格納容器フィルタベント設備は動的に雰囲気循環させる機能を有しておらず、格納容器の内圧と大気圧の差が少ない場合や原子炉建屋内への漏えいパスが存在する場合には効果的な排気を行えない可能性がある。そこで、どのような環境条件下でどのような能力を有するべきかについて検討する必要がある。
- 格納容器フィルタベントを動作させて水素と併せて放射性物質（希ガス）を放出することについて、そのような動作をさせない場合との比較等を通じて対策の合理性を検討する必要がある。

対策例②：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

格納容器から原子炉建屋内に漏えいした水素が、原子炉建屋内において局所的に滞留した場合にも効果的に除去できるよう、原子炉建屋内の水素を強制的に排気させる機能を備えた水素排出設備を用いる。なお、水素排出設備は、現行の要求にもあるとおり動的機器等に水素爆発を防止する機能及び放射性物質低減機能を付けるものとする。

【想定する論点】

- いわゆる二次格納施設としての原子炉建屋の設計の考え方、下層階における局所的な滞留への対策について、事業者を確認する必要がある。
- 事業者が現在用いている水素の挙動の評価手法では水素の滞留現象を十分には表現できない可能性があるところ、水素排出設備が原子炉建屋内の水素滞留を防止できるか否かについてどのように評価するかを検討する必要がある。

<別添>

別添1 中間取りまとめから得られた水素防護に関する知見、現行の基準及び審査実績

別添2 各対策例の利点・懸念点

中間取りまとめから得られた水素防護に関する知見、現行の基準及び審査実績

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

中間とりまとめ ¹ の記載／ 中間取りまとめのポイント（知見の整理） ²	中間とりまとめから得られた知見等を踏まえた論点 ³		現行の基準及び審査実績（BWRを対象に検討したもの） ⁴	
	事故分析の検討から得られた知見等	知見等を踏まえた論点	基準	審査
<p><中間取りまとめ> 第2章 原子炉建屋における水素爆発の詳細分析（P.22～P.26） 1. 3号機の水素爆発の詳細な状況 1. 2 検討結果</p> <p>（3）水素爆発時点の原子炉建屋内の燃焼ガスの組成（別添10） 水素爆発時に観測された火炎の色は、1号機及び3号機ともに黄橙色でその差は明確ではない。これは、水素だけではなく（可燃性）有機化合物が相当量存在していたことを示唆している。また、3号機の火炎の輝度が高いことから、（可燃性）有機化合物の割合は3号機の方が高かったと推測される。 一方、3号機の水素爆発に関して、調査チームは水素爆発直後（2011年3月14日11時4分（水素爆発発生3分後））の衛星写真を入手した。これを見ると、3号機のシールドプラグ部分から激しく水蒸気が噴出しており、水素爆発時点では原子炉建屋内部に水蒸気が相当量存在したと考えられる。 この結果、3号機の水素爆発時点の原子炉建屋内部の雰囲気は、水素、（可燃性）有機化合物、水蒸気及び空気が混合したものであったと考えられる。個々の要素の具体的な濃度を特定することは困難であるが、原子炉建屋内のガス中の含有酸素量に対して、燃焼可能量を大きく超える量の燃焼成分が存在していたと推測される。この推測に基づく場合、建屋変形を引き起こした爆発時に一気に水素爆発が建屋全体に広がらなかったこと、少し遅れて建屋内に蓄積されていた可燃性ガスの燃焼によって上昇する噴煙が形成されたことなどが、合理的に理解できる。 なお、原子炉建屋内部のガス組成の推計は、必要量の面のみならず、供給可能量及び建屋内蓄積可能量の面からも検討する必要がある。水素爆発時のデータが限定されているため、ガス組成の推計には相当の困難が伴うことが想定されるが、重要な事項であるため、今後、可能な限り検討に取り組む。</p> <p>（7）水素爆発発生時に見られる凝縮波 水素爆発時の映像によると、1号機の水素爆発時には原子炉建屋上部に凝縮波が観測されているが、3号機については超解像処理を施した映像でも凝縮波は確認できなかった。 3号機の水素爆発時点の湿度は1号機の爆発時点よりもかなり低かったことが確認されているが、これが凝縮波が存在せずに観測されなかった理由になるかどうかは現時点では明確ではない。 仮に凝縮波が形成可能であったとすると、3号機原子炉建屋5階で大規模な爆発現象は起きていなかったという結論の補強になると考えられ、今後の検討課題とする。</p> <p>（8）爆発の性質：爆轟と爆燃 従来、福島第一原子力発電所の原子炉建屋の破損をもたらした水素爆発は、爆轟現象であるとの見解が我が国では多かった。 しかし、3号機原子炉建屋4階並びに4号機原子炉建屋3階及び4階の破損状況について、少なくともいくつかの箇所では、爆轟現象ではなく圧力上昇（爆燃現象）が生じた結果であることを示唆していると考えられる。3号機原子炉建屋4階並びに4号機原子炉建屋3階及び4階の破損状況は、別添14で詳述している。 本件については、他の諸課題と関連して紹介されてきたが、体系的な議論を行っていないため、今後も引き続き検討を実施する。</p> <p><中間取りまとめのポイント（知見の整理）> ○3号機の水素爆発時の映像（p.17） ○3号機原子炉建屋内の損傷状況（P.18）</p>	<p>（5）水素爆発時の映像及び損傷状況から、原子炉建屋の破損の主要因は、原子炉建屋内に滞留した水素の爆燃（水素濃度8%程度）によって生じた圧力によることを示唆している。</p>	<p>① SA時の原子炉建屋内の水素量、分布・拡散、滞留時間に着目した、水素爆発対策及び原子炉建屋の健全性への影響確認が必要か。</p> <p>② 3号機の水素爆発時の火炎や爆煙については、水素以外の可燃性ガスが寄与している可能性が高く、可燃性ガスの種類、量の把握と規制上の位置付けの整理が必要か。</p>	<p>水素爆発による原子炉格納容器、原子炉建屋等の損傷を防止するための設備を設けることを要求している（設置許可基準規則第52条等）が、水素量、分布・拡散、滞留時間に関する要求は設定していない。</p> <p>原子炉格納容器内については、水素を含む可燃性ガスの発生について考慮することを要求している（設置許可基準規則第37条）が、原子炉建屋内については、水素以外の可燃性ガスに対して具体的な要求は設定していない。</p>	<p>原子炉建屋等の損傷を防止するための設備である静的触媒式水素再結合装置（PAR）の設計に当たって、一定の条件下で、原子炉格納容器内で発生した水素がトップヘッドフランジ等のシール材から漏えいすることを想定し、原子炉建屋での水素濃度評価を行い可燃限界以下となること等を確認している。</p> <p>原子炉格納容器内で発生するその他の可燃性ガス（一酸化炭素等）の発生量が水素発生量に対して小さくなることを確認している。原子炉建屋内については、規制要求がないため審査では確認していない。</p>

¹ 「東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析に係る中間取りまとめ～2019年9月から2021年3月までの検討」（2021年3月5日 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検討会）

² 詳細は第45回技術情報検討会「参考2 東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析に係る中間取りまとめ（2021年3月5日）から得られた知見等の概要」参照。

³ 令和3年度第1回原子力規制委員会 資料2から抜粋

⁴ 審査で確認した内容等の詳細は第48回技術情報検討会「資料48-2 水素防護に関する知見について（（5）及び（9）関係）（修正版）」参照。

<p><中間取りまとめ> (5)に記載(第2章1. 3号機の水素爆発の詳細な状況)のほか、以下。</p> <p>第1章 原子炉格納容器からの放射性物質等の放出又は漏えい経路・箇所に関する検討 2. 1~3号機オペレーティングフロア及びシールドプラグ付近の放射線量と2,3号機シールドプラグ下面における大量のセシウム存在 2. 2 検討結果 (1) 環境に放出されたセシウム量との関係 (P.19) 2号機及び3号機のシールドプラグ下部に大量のCsが捕獲されている場合、東京電力福島第一原子力発電所事故時に環境中(大気中)に放出されたCs量(15PBq程度)が、チェルノブイル原子力発電所事故(1986年)時に環境中(大気中)に放出されたCs量(85PBq程度)と比較して少なかったことの主要な説明の1つになると考えられる。 2011年3月11日時点での、1~3号機におけるCs-137の炉内インベントリの合計値は約700PBqと算定されている。このうち、滞留水に溶け込んで流出したものが約430PBqと評価されている。現在、燃料デブリを含めた原子炉格納容器(PCV)内のCs-137の残存量は不明であるが、原子炉格納容器(PCV)のトップヘッドフランジ(THF)から漏出したCs-137量が、滞留水に溶け込んで流出したものを以外(約270PBq)の半分という大胆な仮定を置いても、環境への放出量(15PBq程度)との差は大きい。2号機及び3号機でおおよそ50~70PBq程度のCs-137がシールドプラグに付着しているのであれば、この差を理解する上で大きな意味をもつと考えられる。 なお、2. 1で示したCs-137の量は、シールドプラグの1層目(頂部カバー)下面と2層目(中間カバー)上面の間の部分に付着している量であり、2層目(中間カバー)と3層目(底部カバー)との間や3層目(底部カバー)の下面には別にCsが付着して存在している可能性も考えられる。</p> <p>第3章 原子炉冷却のために機能すべき機器の動作状況に関する検討 1. 津波襲来から3号機のベント時点までの原子炉圧力容器の挙動からみた機器の状況 1. 2 検討結果 (4) 3号機のベント実施回数 (P.29~P.30) 3号機のベント成功回数について、東京電力は、・・・中略・・・、原子炉格納容器(PCV)の減圧速度などから、2011年3月13日9時頃及び12時頃の2回だけであるとの見解を示している。今回の検討では、・・・中略・・・東京電力が示している2回のみであることの説明ができるため、その評価は妥当なものであると判断する。 なお、これにより、3号機から4号機への水素の流入は、2011年3月13日12時頃以降は生じないため、4号機の水素爆発は、水素が供給されてから約40時間程度経過してから発生したことを意味する。</p> <p><中間取りまとめのポイント(知見の整理)> ○3号機のベント成功回数(2回)(P.28) ○4号機原子炉建屋内の水素滞留(P.29) ○原子炉建屋内における水素滞留(P.30)</p>	<p>(9) 3号機のベント成功回数は2回。このベントによって4号機原子炉建屋内に水素が流入し、40時間にわたって水素が滞留した後、爆発に至った。</p>	<p>① 水素の拡散や滞留等の挙動の検討が必要か。</p> <p>② 水素が滞留した原子炉建屋等におけるSA対策や復旧作業等の安全確保の検討が必要か。</p> <p>③ 原子炉建屋内の水素濃度の検知の必要性、水素が滞留した場合の水素濃度の低減対策、人の立ち入りを伴うSA対策等との整理及び水素漏えいの回避対策の検討が必要か。</p> <p>④ BWRトップヘッドフランジへの保護対策はPCVの他の箇所からの水素漏えいの誘因とならないか。</p>	<p>○ 論点(5)①参照</p> <p>重大事故等対処及び復旧作業にあたって、運転・対処要員の防護に関しては、放射線防護や有毒ガス対策が要求されているが、原子炉建屋等における水素滞留等による環境条件についての具体的な要求は設定していない。(SA技術的能力審査基準)。</p> <p>○ 論点(9)②参照。</p> <p>水素漏えい箇所について具体的な要求は設定していない。</p>	<p>一定の条件の下で、原子炉格納容器内で発生した水素が原子炉建屋に漏えいすることを想定し、原子炉建屋内の水素濃度が可燃限界に至らないこと等を確認していることから、水素が滞留した環境条件での作業の成立性は確認していない。</p> <p>一定の条件の下でのトップヘッドフランジ以外の箇所から水素が漏えいすることも考慮して、対策の成立性や自主対策による悪影響がないことを確認している。</p>
--	---	--	---	--

各対策例の利点・懸念点¹

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

議論の素材としている対策例		利点	懸念点
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	格納容器内に水素が発生した際に、格納容器の内圧の上昇に伴って格納容器から原子炉建屋等内に水素が漏えいすることを防止するため、早期に格納容器フィルタベントにより水素を排出し、もって原子炉建屋等内（格納容器外）の水素の滞留を未然に防止する。	<p>○格納容器内の水素を、原子炉建屋に漏えいする前に直接放出できる。</p> <p>○動的に雰囲気循環させるものではないため、フィルタベント開の操作をすればその後の操作は不要であり、開操作による水素爆発の懸念がない。</p> <p>○新設で施設されているため、排気筒とは異なる排気口を有しており、他系統を経由した予期せぬ原子炉建屋への流入の可能性は低い。</p> <p>○知見拡充が必要なその他可燃性ガスの排出にも寄与しうる。</p> <p>○完全には予測しきれない重大事故時にも原子炉建屋内での水素爆発を回避できる手段を強化できる。</p>	<p>●フィルタベント開の操作条件（タイミング）を決める必要がある。水素の放出に伴う希ガスについての影響を考慮すべき操作条件（タイミング）なのかも検討が必要。</p> <p>●原子炉制御室居住性等、要員の被ばく評価への影響を考える必要がある。</p> <p>●フィルタベントを開操作するための前提条件（水素濃度、格納容器圧力等）とその検知方法の検討も必要。</p> <p>●フィルタベント開の操作条件にもよるが、既に漏えいした水素に対しての効果は限定される。フィルタベント開後に原子炉建屋への水素漏えいがどこまで抑制効果が期待できるかは、原子炉建屋への漏えいパスをどのように捉えるか次第。</p> <p>●窒素充填による原子炉格納容器破損防止の効果を失うタイミングを早める可能性がある。</p>
対策例②： 水素爆発の未然防止対策として原子炉建屋等内フィルタ付換気機能を用いる	格納容器から原子炉建屋等内に漏えいした水素が、原子炉建屋等内において局所的に滞留した場合にも効果的に除去できるよう、原子炉建屋等内の水素を強制的に排気させる機能を備えた水素排出設備を用いる。なお、水素排出設備は、現行の要求にもあるとおり動的機器等に水素爆発を防止する機能及び放射性物質低減機能を付けるものとする。	<p>○環境へ放出される放射性物質の低減機能を担保した上で水素排出が可能。</p> <p>○設計漏えい率から外挿した水素漏えい率の不確かさ、予期せぬ漏えい箇所の特等詳細な条件設定が明らかにならずとも原子炉建屋内での水素爆発を回避できる手段を強化できる。</p> <p>○現行の「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」（触媒式リコンバイナ等）やその拡充、オペレーションフロアへの上昇流路確保と併用しやすい。</p> <p>○知見拡充が必要なその他可燃性ガスの排出にも寄与しうる。</p> <p>○完全には予測しきれない重大事故時にも原子炉建屋内での水素爆発を回避できる手段を強化できる。</p>	<p>●SGTS を用いることが考えられるが、SGTS は防爆仕様とはなっておらず、電源を必要とするため、その使用には一定の制限がある。</p> <p>●SGTS は原子炉建屋原子炉区域を負圧に保ち一定量の空気を処理し放出するものなので、水素排出を目的とした場合に、それに見合う能力かという点では限界がある。SGTS の負圧能力を高めたとしても、逆に原子炉建屋内への水素漏えいを促進するおそれがある。</p> <p>●原子炉建屋トップベント設備（もしくはブローアウトパネル）を用いることも考えられるが、放射性物質の低減機能は有していないため、いわゆる二次格納施設としての原子炉建屋の設計の考え方（特に使用済燃料貯蔵プールとの関係）について事業者を確認する必要がある。</p> <p>●原子炉建屋トップベント設備、ブローアウトパネルとも原子炉建屋低層部屋上での開操作など建屋に接近して開操作する仕様となっているため、開操作するタイミングも検討が必要。</p> <p>●また、原子炉建屋トップベント（もしくはブローアウトパネル）を開放した場合、SGTS による一定の換気が困難となるため、原子炉制御室等、要員の被ばく評価への影響を考える必要がある。</p> <p>●下層階における局所的滞留については、自号機の AM 策への影響が考えられ箇所なのか、上昇流路確保による悪影響の可能性等、現場の状況を把握している事業者を確認する必要がある。</p> <p>●仮に設備設計・運用手順として考えるのであれば、水素排出設備が性能を担保すべき条件設定（水素の発生総量、原子炉建屋への時間当たりの漏えい量）は必要。</p> <p>●原子炉建屋への漏えい経路、原子炉建屋内での漏えい水素の挙動に不確実性が残る状況で、一旦原子炉建屋へ漏えいさせた水素を建屋に排出するという間接性に伴う困難さはある。</p>

¹ 作業チーム内で検討中のもの。

水素防護に関する知見の規制への反映に向けた 今後の検討の進め方

令和 3 年 8 月 1 8 日
原 子 力 規 制 庁

「東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析に係る中間とりまとめ」から得られた知見の規制への取り入れについては、第 2 回原子力規制委員会において、技術情報検討会において取り扱うこと、その際の具体的な検討作業等を実施するため原子力規制庁の関係部局の職員で構成する作業チーム¹を設けることが了承され、検討を重ねてきた²。

その後、第17回原子力規制委員会において第46回技術情報検討会の結果を報告した際、委員会から、水素防護に関する知見の規制への反映については、他の項目（ベント機能／減圧機能）とは切り分けて、技術情報検討会とは別の場で、期間を区切って早期に結論を出すよう指示があった。

このため、水素防護に係る規制対応について作業チーム³において検討を進め、年内を目途にその検討結果を原子力規制委員会に報告する。

○水素防護に関する知見の規制への反映検討論点

検討論点		(注) ⁴
1	原子炉建屋内に漏えいする水素量等が現行の審査における想定と異なることを前提として、水素爆発による原子炉建屋の損傷の防止対策を検討するか（原子炉建屋内等における重大事故対策への影響を回避）。	(5) ① (9) ①②
2	原子炉建屋内への水素漏えい経路や原子炉建屋内での水素の挙動には不確かな部分があるため、これを前提として水素爆発による原子炉建屋の損傷の防止対策やその他重大事故対策の成立性を検討するか。 その際、水素の漏えい経路についても見直すか。	(9) ④
3	原子炉建屋内への水素漏えい経路、漏えい量等の議論を踏まえ、原子炉建屋における水素濃度検知、水素濃度低減策等の見直しを検討するか。	(9) ③
4	水素以外の可燃性ガスについて、水素と同様に爆発による原子炉建屋の損傷の防止対策を検討するか。	(5) ②

¹ 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

² 第45回、第46回及び第48回技術情報検討会

³ 8月時点の最新構成メンバーは別紙のとおり

⁴ 第48回技術情報検討会資料48-1中の「中間取りまとめから得られた知見等を踏まえた論点」区分との対応

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 構成メンバー（8月時点）

原子力規制庁

市村 知也 原子力規制部長

金子 修一 長官官房緊急事態対策監

長官官房技術基盤グループ

遠山 眞 技術基盤課長

村上 玄 技術基盤課 課長補佐

谷川 泰淳 技術基盤課 原子力規制専門職

鈴木 健之 技術基盤課 課長補佐

阿部 豊 シビアアクシデント研究部門 統括技術研究調査官

秋葉 美幸 シビアアクシデント研究部門 上席技術研究調査官

西村 健 シビアアクシデント研究部門 技術研究調査官

小城 烈 シビアアクシデント研究部門 技術研究調査官

原子力規制部

岩永 宏平 東京電力福島第一原子力発電所事故対策室 企画調査官

星 陽崇 東京電力福島第一原子力発電所事故対策室 上席技術研究調査官

木原 昌二 東京電力福島第一原子力発電所事故対策室 上席特殊施設分析官

佐藤 雄一 東京電力福島第一原子力発電所事故対策室 管理官補佐

止野 友博 審査グループ実用炉審査部門 企画調査官

岡本 肇 審査グループ実用炉審査部門 上席安全審査官

正岡 秀章 審査グループ実用炉審査部門 管理官補佐

角谷 愉貴 審査グループ実用炉審査部門 管理官補佐

照井 裕之 審査グループ実用炉審査部門 安全審査官

※必要に応じて、適宜構成メンバーの追加等を行う。

「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検討会」における発電用原子炉設置者の見解等の確認について

1. 経緯

「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検討会」において、「東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析に係る中間取りまとめ」から得られた知見に対する発電用原子炉設置者の見解等を確認してきた¹。

2. BWR事業者の主な見解等

発電用原子炉設置者（BWR事業者）の水素防護等に係る主な見解等は下記のとおり。

原子炉建屋内に漏えいした水素の滞留防止

- ▶原子炉建屋内に漏えいした水素の挙動は、まだ分かっていない部分もある。解析コードを用いて評価はしているが、評価を行う上での前提条件は、これから解明されてくることを条件として当てはめ、水素の滞留などに対しての条件設定や解析コードの確認をしていくものと思っている。（東北電力）
- ▶今回、東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえて、やはり水素が局所的に滞留するリスクが顕在化してきたと思っており、プラントウォークダウンを実施した。今までは、周回通路に行けば大物搬入口に行くものだと単純に考えていたが、プラントウォークダウンをしてみると、全てが平たんな壁ではなく局所的にへこみがあり、水素の対流が滞る可能性があると考えられるというエリアをピックアップしてきている。（北陸電力）
- ▶SGTSの図面上のダクトの配置の確認や、必要に応じてプラントウォークダウンをするなど、水素の滞留に対する知見の拡充に努めていきたい。（中部電力）
- ▶アクティブなSGTSで絶えず原子炉建屋内の空気の流れを作ることによって、できるだけ水素の滞留を抑制しようと考えている。（中部電力）

格納容器フィルタベント機能の活用による水素の排出

- ▶原子炉建屋内の局所若しくはオペフロで水素濃度が上昇した場合には、積極的に格納容器フィルタベントをすることを考えている。もともと水素については、東京電力福島第一原子力発電所事故以降、まず、リークポテンシャルが高いところに対して対策を取りながらやってはいるが、やはりどう漏れてくるか分からないとすると、まずはリークポテンシャルを下げるために、そういう状況になった場合には、速やかにベントをして格納容器内の圧力を下げることと、水素を排出していくことで、最終的に事故の影響を低減できるのではないかと考えている。格納容器の健全性が脅かされるような状態、要は水素が大量に出てくるかもしれないという予測になったときには、SGTSで二次格納容器を守るという領域を超えていると

¹ 令和3年7月8日の第21回会合では、中国電力株式会社。同年9月14日の第22回会合では、東北電力株式会社及び日本原子力発電株式会社。同年10月19日の第23回会合では、中部電力株式会社、北陸電力株式会社及び電源開発株式会社。

思っており、そういう状態が予見されるときには、格納容器フィルタベントを早めに行うというのが戦略だと思っている。（中部電力）

- ▶原子炉建屋内の局所に水素が滞留するという点が、気になるリスクだと思っている。水素をもう少し積極的に外に排出しなければならない。一番効果的な方法が何か、今取り得る方法で何ができるかを考えているところ。（北陸電力）
- ▶原子炉建屋内に水素が漏えいし滞留するという状況を極力作らないことが重要。水素がエアロックやハッチの類があるエリアに漏えいしてくる可能性は完全には否定できない以上、それらのエリアには水素濃度検出器を設置して早め早めに対策をとる、水素濃度が上がり切る手前で格納容器フィルタベントを行い格納容器側の圧力を下げ、原子炉建屋内への水素の漏えい量を下げる。それでもさらに原子炉建屋内の水素濃度が上昇するようであれば、ブローアウトパネルを開放するなど、原子炉建屋から水素を排出することが第一かと思っている。（電源開発）
- ▶東京電力福島第一原子力発電所事故のような事故が発生した場合、炉心が損傷し大量の水素が発生した場合については、いろいろ知見が出て来ているので、事業者側も規制当局と問題意識を共有して対応していきたい。（原電）

水素以外の可燃性ガスへの考慮

- ▶島根原子力発電所1号機であれば、40年運転を迎えるに当たり、ケーブルの取替え計画もあり格納容器内で使用され、可燃性ガスの発生源となるようなケーブルがあるのではないかと考えている、格納容器内での可燃性ガスの発生を模擬した実験の材料として期待されているというイメージを持っていた。（中国電力）
- ▶当社と電力中央研究所との間で、難燃性の高圧・低圧動力ケーブルの延焼試験（加熱温度が400℃、加熱時間が30分）を実施しており、どういう可燃性ガスがどれくらい出てくるかという試験結果を保有している。これらの結果についても提供することは可能。（中部電力）
- ▶格納容器内に、ケーブル関係で大体9点、9,600kgぐらいの被覆材や絶縁材がある。これらが全量可燃性ガス（炭素の化合物を含むガス）になるかというのは分からないが、そのポテンシャルはあると考えている。（北陸電力）

追加的な知見の蓄積

- ▶東京電力福島第一原子力発電所事故に対する実証試験など、特にBWR電力で取り組むべきところは多々あると考えている。例えば、資材の提供も含めていろいろ考えられる。BWR電力として、できる協力はしっかり行っていく。事業者として東京電力福島第一原子力発電所と同じマーク1型の1号機を保有しており、比較的、格納容器の中もクリーンな状態であり、事故分析に協力できることはあると思う。（中国電力）
- ▶ある機器をシビアアクシデント環境下で使用した場合に、どのような影響がありそうか。使い続けることがほかの機器や事故進展に対して悪影響を及ぼすかとか、事業者がそれぞれ頭の体操をしていく必要がある。（東北電力）

長期安全運転に係る取り組みの全体像

ATENA のミッション

原子力産業界全体の知見・リソースを効果的に活用しながら、**原子力発電所の安全性に関する共通的な技術課題に取り組み、自主的に効果ある安全対策を立案し、事業者の現場への導入を促す**ことにより、原子力発電所の安全性をさらに高い水準に引き上げる。

安全性向上に向けた取組の重点項目

① 新たなデジタル技術の導入拡大への対応

一般産業界におけるデジタル技術の発達と、社会への導入が広く進む中で、既設の原子力発電所においても、安全上の重要度の高いシステムへのデジタル技術の導入が進みつつあり、サイバー攻撃やソフトウェアの共通要因故障など、新たな共通課題に取り組んでいる。

② 自然事象への対応

新規規制基準への対応として、保守性を見込んだ上で頑健な安全対策が進んでいるが、自然事象は、不確実さが大きい事象という特徴があり、福島第一原子力発電所事故の教訓も踏まえ、規制基準の枠に留まることなく安全性向上に取り組んでいる。

③ 安全な長期運転に向けた経年劣化管理の取組

今後、新規規制基準に適合し再稼働した既設炉が、長期に亘って安全に運転を継続するため、産業界共通の課題である経年劣化管理に取り組んでいる。

安全な長期運転に向けた経年劣化管理の取組

取組事項	これまでの事業者の取組	ATENA の取組	
物理的な劣化	設備の経年劣化への対応 (経年劣化事象) 腐食、SCC、摩耗、照射脆化、疲労等	【運転期間】 ・運転状態を前提とした保全 ・経年劣化評価 (運転前提 PLM 評価)	米国 80 年運転の審査知見も参考に、知見拡充が望まれる事項を整理（技術レポートを作成中）し、事業者の保全活動や研究開発に資する
		【長期停止期間】 ・停止状態を考慮した保全 ・経年劣化評価 (冷温停止 PLM 評価)	長期停止期間における経年劣化も考慮し、各社個別に策定している停止中の保全計画の策定の考え方を整理し、より確実な保全活動に資する
非物理的な劣化	最新知見の反映	サイクル毎に最新知見を集約し、分析結果やプラント安全評価結果を元に、プラント安全をレビュー（安全性向上評価等）	1F 事故の教訓を踏まえ、設計の相違に起因する安全上の弱点を抽出し、継続的な安全性向上に取り組んでいく仕組み（設計経年劣化評価）を構築し、事業者に対策実施を促す
	製造中止品への対応	部品・サービスの特性に応じ、事業者毎で安定調達の方法を検討（自主的取組）	プラントメーカー・事業者間で、製造中止品情報の共有、代替品等対応方策の共有を、効率的に管理する仕組みを構築し、事業者のより確実な対応に資する



規制への対応も求められる取組



設計経年劣化評価

IAEA 安全ガイド(SSG-48^{*}等)も参照し ATENA の取組を検討



自主的取組

1F 事故から得られた教訓・知見の評価・反映

1F 事故の発生・進展の原因に係る教訓の評価・反映

【教訓】

・想定外のハザードおよびプラントの損傷状態（巨大津波、格納容器破損、建屋の水素爆発など）が発生した。
・巨大津波を想定外とした結果、タービン建屋地下階に安全系電源設備が設置されている状況（古いプラント特有の設計）が改善されなかった。

【設計経年劣化の取組への反映】

上記の教訓を踏まえ、新規規制基準では、既往最大のものなどを考慮した厳しい設計基準ハザードを設定し、それに対するプラントの頑健性確保を要求。設計経年劣化評価の取組においては、新規規制基準の要求を超えた自主的対応として、特に不確かさの大きい外的事象については、想定外の状況（設計想定を超えるハザードやプラント状態）も視野に入れた事故影響緩和のためのマネジメント策を抽出することを目的の一つとして検討。

1F 事故調査等から得られた知見の評価・反映

【知見】

・原子炉建屋内に漏えいした水素等の挙動
・SA 環境下における SRV の不安定挙動
・DB で要求される閉じ込め機能が SA 対応に与える悪影響など

【ATENA における取組】

・ATENA が主体となり、産業界として取組む観点から、知見の優先順位付けや分担等について検討
・上記検討に基づき、ATENA、事業者のそれぞれについて、具体的なアクションプラン（対策の検討およびそれに必要な R & D）を策定

国内外の運転知見（NEI,WANO,JANSI,学協会等）、研究開発成果（電中研、EPRI 等）の反映

※Ageing Management and Development of a Programme for Long Term Operation of Nuclear Power Plants（原子力発電所の長期運転に関する経年劣化管理及びプログラムの策定）