

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。	<ul style="list-style-type: none"> ○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。 ○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。 ○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。 ○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。 ○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。 	<ul style="list-style-type: none"> ●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。 ●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。 ●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。 ●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。 ●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。
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。	<ul style="list-style-type: none"> ○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。 ○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定等の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。 ○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」（触媒式リコンビナ等）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。 ○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。 ○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。 	<ul style="list-style-type: none"> ●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。 ●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。 ●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。 ●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。 ●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。 ●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。 ●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。 ●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。

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18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、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、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	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）