

「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」に対するATENAの取り組みについて

2022年2月28日
原子力エネルギー協議会
(ATENA)

1. 経緯
2. ATENAの取り組み
3. 水素関連
4. 可燃性ガス関連
5. SRV（逃がし弁機能）の不安定動作関連
6. インターロック関連
7. まとめ

- ✓ 原子力規制委員会（2021.3.10）にて、「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」（以下「中間取りまとめ」という。）についての報告が了承され、2021年7月から12月にかけて、「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」（以下「事故分析検討会」という。）において、中間取りまとめに対する事業者の見解等の確認が行われた。
- ✓ ATENAは、中間取りまとめに対する事業者の見解等には共通的な内容があり、産業界として取り組む内容があると判断し、2021年12月に「東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析から得られた知見への対応」をテーマとして設定し、中間取りまとめから得られた知見等を踏まえ技術課題を抽出、分析・評価を行い、産業界としての対応要否、内容、スケジュール、役割分担等を検討することとした。

2. ATENAの取り組み

➤ 中間取りまとめから得られた知見等を踏まえた技術課題の抽出

- ✓ 中間取りまとめに対する事業者への見解聴取事項※1、中間とりまとめから得られた知見等を踏まえた論点※2や、事業者の見解等から技術課題を抽出する。

※1 原子力規制委員会（2021.3.31）

※2 原子力規制委員会（2021.4.7）

➤ 技術課題の分析・評価

- ①各技術課題について分析・評価を行い、既往の知見（知見拡充が必要な事項も含む）を整理
- ②知見拡充が安全の観点から有する意味・重要性を整理
- ③知見拡充のために、産業界として考え得る対応案（さらなる調査や試験等）を検討

- ④各技術課題について、現時点で取り得る対策案を整理

③④について産業界としての対応要否、内容、スケジュール、役割分担等を検討

➤ ATENAの取り組み状況

- ✓ 中間取りまとめから得られた知見等から技術課題の抽出とその分析・評価に着手したところである。
- ✓ 次項以降に、代表例として水素・可燃性ガス・SRV（逃がし弁機能）の不安定動作・インターロックについて、分析・評価のイメージを示す。

【技術課題】

- ✓ オペレーティングフロアだけではなく原子炉建屋下層階でも水素燃焼・爆発が発生している。

【知見拡充が安全の観点から有する意味・重要性（イメージ）】

- ✓ 格納容器から原子炉建屋下層階への水素漏えい若しくは移行があったことを示唆しており、現状の水素防護対策の効果が十分発揮できない可能性がある。

【知見拡充のために産業界として考え得る対応（イメージ）】

原子炉建屋内の水素滞留・水素拡散挙動の評価

- ✓ 詳細な建屋構造モデルを用いた水素拡散シミュレーション
解析条件の確認
 - ・下層階格納容器シール部からの漏えいを仮定
シミュレーションによる水素拡散挙動の確認
 - ・下層階における滞留の可能性
 - ・建屋開放時およびSGTS等による水素排気挙動
- ✓ 解析では十分に評価できない建屋構造に関わる水素対策の検討
 - ・ウォークダウンによる水素滞留の可能性のある箇所の確認
 - ・水素滞留の状態に応じた対策の検討

※今後実施要否を含めて検討していく。 - 5-1-5 -

【知見拡充のために産業界として考え得る対応（イメージ）】

《対策案》

知見拡充を待たずとも実施可能な対策についても検討を進める。対策例は以下の通り。

✓ 水素発生抑制

- ・事故耐性燃料による炉心損傷時の水素発生抑制

現在研究開発中であり実用時期が未定であること、燃料被覆管以外の水金属反応による水素発生抑制は期待できない、等の課題がある。

✓ 建屋への水素漏えい防止・抑制

- ・過圧破損前の格納容器早期ベント実施

水素と同時に短半減期の希ガスが放出される、ベント後に格納容器が負圧になる可能性がある、等の課題がある。

※今後実施要否を含めて検討していく。

(前ページからの続き)

✓ 建屋内の水素処理

- ・水素滞留個所の特定とPAR等の設置

建屋内の水素挙動によっては現状の処理能力および設置場所で十分な効果が期待できない可能性がある、等の課題がある。

✓ 原子炉建屋からの水素排気

- ・建屋換気空調系・SGTS・ブローアウトパネル等の活用

十分な排気が期待できない可能性、被ばくの影響、着火源となり得ること、事故シーケンスによっては使用可能性（電源の利用可能性）が低い、等の課題がある。

※今後実施要否を含めて検討していく。

【技術課題】

- ✓ 3号機の水素爆発では、水素以外の可燃性ガスが寄与している可能性がある。

【知見拡充が安全の観点から有する意味・重要性（イメージ）】

- ✓ **有機化合物を含んだ水素ガスを仮定した場合に、現状の水素防護対策の有効性に影響を与える可能性**がある。（例えばPAR触媒性能への影響）

【知見拡充のために産業界として考え得る対応（イメージ）】

- ✓ 有機化合物の発生源（格納容器内等）の検討（文献調査・燃焼試験）
- ✓ 有機化合物を含んだ水素の拡散、燃焼挙動の検討
- ✓ 有機化合物のPAR触媒性能への影響評価

≪対策案≫

- ✓ PAR設置条件の再検討（有機化合物のPAR触媒性能への影響が確認された場合）

※今後実施要否を含めて検討していく。

【技術課題】

- ✓ SRVの逃がし弁機能の不安定動作（中途開閉状態の継続と開信号解除の不成立）が生じた可能性がある。

【知見拡充が安全の観点から有する意味・重要性（イメージ）】

- ✓ SRVの逃がし弁機能が不安定動作を起こすメカニズムによっては、他の状況においてもSRVが意図しない挙動を起こす可能性は否定できない。

【知見拡充のために産業界として考え得る対応（イメージ）】

- ✓ SRV（逃がし弁機能）が不安定動作を起こしたと考えられる1F3号機のSRVの挙動を再分析
- ✓ 再現挙動解析および再現試験（必要に応じて）

《対策案》

- ✓ SRVの設計への反映要否検討

※今後実施要否を含めて検討していく。

【技術課題】

- ✓ 3号機のベントについては、ADSが設計の意図と異なる条件（サプレッションチェンバ圧力の上昇を低圧注水系ポンプの吐出圧力確立と誤検知したこと）で作動したことによりPCV圧力がRDの破壊圧力に達し、ベントが成立した。

【知見拡充が安全の観点から有する意味・重要性（イメージ）】

- ✓ SA時にインターロックの意図しない作動により、SA対策が阻害される可能性がある。

【知見拡充のために産業界として考え得る対応（イメージ）】

- ✓ SA時に期待する設備について、悪影響を及ぼす可能性のあるインターロックを抽出

《対策案》

- ✓ 手順書にインターロックに関する注意事項や除外方法を反映
- ✓ インターロックの設計への反映要否について検討

※今後実施要否を含めて検討していく。

- ✓ ATENAでは、中間取りまとめから得られた知見等から技術課題を抽出するとともに、それらの分析・評価に着手したところである。
- ✓ 今後、産業界としての対応要否、内容、スケジュール、役割分担等について検討していく計画。
- ✓ これらがまとめ次第、改めて意見交換をさせていただきたい。

水素防護対策の検討状況について

2022年 7月28日

東北電力株式会社
中部電力株式会社
中国電力株式会社
電源開発株式会社

東京電力ホールディングス株式会社
北陸電力株式会社
日本原子力発電株式会社
原子力エネルギー協議会

1. はじめに
 2. 水素防護対策の検討の進め方
 3. 水素防護対策候補に係る簡易評価結果
 4. まとめ
- 参考 1. 現状の各社の水素防護対策の実施状況
- 参考 2. 常用換気空調系の設計

- ✓ 2022年4月22日の「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」（以下、「第1回意見聴取会合」という。）にて、事業者から、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に、各プラントの特徴等を踏まえ、様々な水素防護対策を検討していく必要がある旨を説明させていただいた。
- ✓ また、ATENAのアクションプランについては、策定次第、説明させていただくこととした。
- ✓ 今回、ATENAの取り組みも交え、事業者の水素防護対策検討の進め方及び工程について説明させていただく。

【第1回意見聴取会合で説明した水素防護対策の案】

分類	対策案※1、※2
原子炉建屋への漏えい防止・抑制	・FCVSによる格納容器ベント
原子炉建屋内の水素処理	・PARの設置
原子炉建屋からの水素排気	・HVACの活用 ・SGTSの活用 ・ブローアウトパネル（BOP）の開放 ・トップベント※3の開放
原子炉建屋内の滞留への対策	・水素濃度計設置（PAR設置） ・扉改造

※1 以下の対策案を多段に組み合わせ、マネジメントとして手順に反映することを含む。

※2 各社の水素防護対策の実施状況についてはスライド11参照。

※3 BOPの他に、オペフロに設置した水素排出設備のことをいう。

（東北電力、中部電力における建屋ベント設備、東京電力におけるトップベント設備）

- 新規制基準対応済みプラントは、多くの炉心損傷防止対策・格納容器破損防止対策が導入されているため、格納容器からの水素漏えい起きる確率は極めて小さく、さらに対処すべき事故の態様、水素漏えい箇所や規模等について想定をするのは難しい。
- 従って、ある事象の条件を設定し、対策を検討するという、これまで設計基準事故や重大事故で採用していたアプローチを採るよりも、プラントの置かれた状況に応じて柔軟な対応が取れるようなマネジメント策を幅広く検討しておく方がより効果的であると考え
- そこで、抽出した水素防護対策候補※の効果に係る簡易評価及び機能させるための条件等を整理（スライド7）した。
- 今後、考え得る事象のケース分け（経過時間、起因事象、等）や、各ケースでの対策候補の優先順位付け等を上記整理に基づき実施し、広範な水素漏えい事象に対応できるように検討を進めていく。

※水素防護対策候補

格納容器から原子炉建屋への水素漏えい防止・抑制対策（格納容器ベント）

原子炉建屋に漏えいした水素の排出対策（自然排出、強制排出）

原子炉建屋内での処理（PAR）

2. 水素防護対策の検討の進め方（2/4）

- ✓ 水素防護対策の検討については、以下の通りBWR事業者で共通的なアプローチとなることから、ATENA及び個社で役割分担のうえ、取り組んでいく。

【水素防護対策の検討アプローチ】

ATENA

各水素防護対策案の簡易評価の実施
(水素濃度、被ばく量の観点から対策案の特徴を整理)

各事業者

プラントウォークダウンの実施
(水素が滞留するおそれのある場所の特定)

アクションプランの作成

- ✓ **検討項目の抽出**
- ✓ **各検討項目の実施スケジュール策定**
(短期、中長期の仕分け)

事業者共通の取組の実施

- ✓ **短期的な水素防護対策案の検討・実施**
- ✓ **中長期的な水素防護対策案の検討・実施**

スライド6

〔短期的対応〕

水素防護対策の検討実施

〔中長期的対応〕

追加的な水素防護対策の検討実施

2. 水素防護対策の検討の進め方（3/4）

アプローチ	実施項目	実施主体	2022年度 第二四半期	2022年度 第三四半期	2022年度 第四四半期	2023年度	2024年度	
簡易評価	各水素防護対策の簡易評価（被ばく・水素濃度）	ATENA	■					
プラントワーク ダウン	標準手順書の作成	ATENA	■					
	ワークダウンの実施	各事業者	■					
アクションプラン 作成	検討項目の抽出、 スケジュールリング	ATENA	■					
共通的取組の 実施	短期的対応の検討・実施	ATENA	■					
	中長期的対応の検討・実施	ATENA	■					
短期的 対応	短期的な水素防護対策の 自社への反映	各事業者		■				
中長期的 対応	中長期的な水素防護対策の 自社への反映	各事業者				■		

現時点で、事業者・ATENAが検討中の水素防護対策を以下に示す。なお、これらは今後の検討次第で、実施内容や項目の廃止・追加があり得るものである。

（1）短期的な水素防護対策案の検討例

- ✓ AMG改定ガイド（仮称）（ATENA）／AMGへの反映（事業者）
- ✓ 原子炉建屋開放実験の実施要否

（2）中長期的な水素防護対策案の検討例

- ✓ SGTS・HVACによる着火リスク低減方策（例；設備の防爆化）
- ✓ 事故時における隔離方針のあり方（例；HVAC運転継続は正当化できるか）
- ✓ 現場ウォークダウン結果等を反映した原子炉建屋内水素挙動評価
- ✓ 中長期的な検討結果を踏まえた下層階における水素防護対策の実施（例；PAR、水素濃度計追設、扉改造）（事業者）
- ✓ 中長期的な検討結果を踏まえたAMG改定ガイド（仮称）の改定（ATENA）／AMGへの反映（事業者）

3. 水素防護対策候補に係る簡易評価結果 (1/3)

		水素処理・排出能力	被ばく影響 (敷地境界)	電源の要否	インターロックの影響	下層階での水素滞留への影響	その他の留意点
格納容器から原子炉建屋への水素漏えい防止・抑制策							
格納容器ベント		— (格納容器から環境へ直接水素を排出)	影響 大※1 (早期ベント実施時)	不要	—	—	—
原子炉建屋へ漏えいしてきた水素の処理・排出策							
触媒式水素再結合器		中	—	不要	—	—	—
強制排出	非常用ガス処理系	中	影響 小 (排気筒放出、フィルタ有)	要 (非常用母線/SA電源で動作可)	事故発生時※2に自動起動	・下層階に吸込口あり (プラント依存)	・着火リスクあり
	常用換気空調系	大	影響 小 (排気筒放出)	要 (常用母線)	事故発生時※2に隔離	・下層階に吸込口あり	・着火リスクあり ・耐震Cクラス
自然排出	ブローアウトパネル	大	影響 中 (地上放出)	不要	—	—	—
	トップベント	小	影響 中 (地上放出)	不要	—	—	—

※1：早期ベント（事象発生から十数時間以内を想定）をすると、被ばく影響の大きい短半減期核種の希ガス（格納容器ベントのフィルタで捕捉不可）が直接環境に大量に放出されるため。

※2：LOCA等の事故発生時に、原子炉水位低（L-3）、ドライウェル圧力高、オペフロ放射能高等の信号で原子炉建屋の換気系が常用換気空調系から非常用ガス処理系へ自動的に切り替わる。

3. 水素防護対策候補に係る簡易評価結果 (2/3)

(1) 水素処理・排出能力

- ✓ 排気量が多い常用換気空調系や開口部面積が大きいブローアウトパネルが最も能力が高く、次いで触媒式水素再結合器と非常用ガス処理系、トップベントの順。
- ✓ トップベントは排気量は小さいが、オペフロの成層化防止に効果を発揮する場合がある。
- ✓ 格納容器ベントは、原子炉建屋への漏えい防止・抑制策として有効。
- ✓ 下層階から強制的に直接水素を排出できるのは、下層階にダクト・吸入口がある常用換気空調系と一部のプラントの非常用ガス処理系。
- ✓ 自然排出を利用する場合、原子炉建屋 1 階にある大物搬入口を開放すれば、水素排出能力が向上することを評価にて確認。

(2) 被ばく影響

- ✓ 被ばく影響は、放出放射エネルギー、放出高さ（拡散効果）及びサイト条件（敷地境界までの距離、気象等）に大きく影響される。
- ✓ 本簡易評価で扱う範囲（事象発生後～数十時間）では、被ばく影響はフィルタに捕捉されない希ガスによるものが支配的となる。
- ✓ 格納容器ベント使用では、希ガスが直接環境に大量に放出されるため評価結果は大。希ガスの多くは短半減期核種であり、格納容器内で滞留・減衰させることが被ばく低減に効果的。
- ✓ 強制排出は、原子炉建屋に漏えいしてきた放射能を高所放出（排気筒放出）することから、拡散効果が期待できるため、評価結果は小。
- ✓ 自然排出は、原子炉建屋に漏えいしてきた放射能を被ばく影響が大きい地上放出（原子炉建屋上部）することから、被ばく影響は強制排出よりも大きく、評価結果は中。

(3) 電源・インターロック

- ✓ 強制排出を利用するためには、電源が必要。
 - 非常用ガス処理系；非常用母線に接続しており、SA電源によって電力供給可能。
 - 常用換気空調系；常用母線に接続。
- ✓ 常用換気空調系はLOCA等の事故発生時にインターロック動作によって隔離されるため、隔離後に再起動する場合は系統隔離のインターロックを解除する必要あり。

(4) 下層階での水素滞留への影響

- ✓ 常用換気空調系は、原子炉建屋下層階にもダクト・吸入口があり、下層階に水素が漏えい・滞留した場合でも、強制的に水素を直接排出することが可能。
- ✓ 非常用ガス処理系は、原子炉建屋下層階にダクト・吸入口があるプラント（プラント設計により異なる）では、下層階に水素が漏えい・滞留しても強制的に水素を直接排出することが可能。

(5) その他の留意点

- ✓ 強制排出を使用する場合、着火リスクを低減させるための検討が必要。
（例；使用条件（水素濃度制限）の設定、等）
- ✓ 常用換気空調系は、耐震Cクラスで設計されているため、地震起因の場合にはそれを念頭においた動作確認等が必要。

- ✓ 今回説明した検討工程に基づき、ATENA及び個社にて水素防護対策の検討を進めていく。
- ✓ アクションプランを策定した時点で提示させていただく。

参考 1. 現状の各社の水素防護対策の実施状況

【凡例】○:新規制基準対応(自主対策含む) ▲:導入要否検討中

分類	実施項目	東北	東京	中部	北陸	中国	原電	電発
		女川 2号機	KK 7号機	浜岡3,4号 機	志賀 2号機	島根 2号機	東海 第二	大間
原子炉建屋への漏えい防止・抑制	FCVSによる格納容器ベント	○	○	○	○	○	○	○
原子炉建屋内の水素処理	PARの設置(オペフロ)	○	○	※1	○	○	○	○
	PARの追設(下層階)	▲	▲		▲	▲	▲	▲
原子炉建屋からの水素排気	HVACの活用	▲			▲	▲	▲	▲
	SGTSの活用	○	○	○※1	○	○	○	○
	BOP(オペフロ)	※2	○	※2	○ (遠隔化検討中)	○ (遠隔化検討中)	○	○ (遠隔化検討中)
	トップベントの設置	○ (遠隔化検討中)	○ (現場操作)	○				
	扉改造(スリット等の追加)	○	○		○	▲		
原子炉建屋内の水素検出	水素濃度計の設置(オペフロ)	○	○	○	○	○	○	○
	水素濃度計の設置(下層階主要箇所)	○	○	○	○	○	○	○
	水素濃度計の追設(下層階)	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲

※1 浜岡3,4号機はSA対策(53条対応)としてSGTSを選択

※2 女川2号機、浜岡3,4号機はオペフロにBOP設置なし

参考 2. 常用換気空調系の設計

原子炉常用換気空調系（HVAC）のインターロック（東海第二の例）

原子炉建屋換気空調系（HVAC）は停止に関する以下のインターロックを有している。

FP放出抑制

- 原子炉格納容器圧力高信号
- 原子炉水位低信号
- 原子炉建屋内放射能高信号

設備保護

- 排気ファン起動後に給気ファンが起動しない場合
 - 給気側の流量低や過負荷を検知した場合
- 水素排出対策としてHVACを使用する場合、①常用電源が使用可能であること、②動作したインターロックの確認、その解除を行う必要がある。また、排気ファンのみを動作させる場合には、原子炉建屋内の過負圧を防止するためのインターロックについても除外する必要がある。
- なお、東海第二では、原子炉建屋ガス処理系の吸入口は原子炉建屋の6階に加え、3階、2階及び地下1階にあり、原子炉建屋内の空気を循環させながら、フィルターを介して一部を高所から排出する設計となっており、原子炉建屋ガス処理系を水素排出設備に係るSA設備と位置付けている。