

これまでの調査・分析のまとめ

2020年11月27日

原子力規制庁

事故分析調査チーム

目次

1. 1～4号機のSGTS配管系の汚染分布	3
議論がほぼ終結した事項	3
未終結事項、或いは、継続取り組み事項	4
2. シールドプラグ下面でのCs捕獲	4
議論がほぼ終結した事項	4
未終結事項、或いは、継続取り組み事項	4
3. 3号機「水素爆発」の詳細分析	5
議論がほぼ終結した事項	5
未終結事項、或いは、継続取り組み事項	5
本日追加検討事項	5
4. ベント時点までの3号機原子炉圧力容器圧力の挙動分析	6
議論がほぼ終結した事項	6
未終結事項、或いは、継続取り組み事項	6
5. ベント以降の3号機原子炉格納容器圧力の挙動	6
議論がほぼ終結した事項	6
未終結事項、或いは、継続取り組み事項	7

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第7回会合から第15回会合において検討した主な事項を事故分析調査チーム^{※1}として以下のとおり整理した。

1. 1～4号機のSGTS配管系^{※2}の汚染分布

議論がほぼ終結した事項

- ① 2号機のラプチャーディスク（RD）は破裂しておらず、同号機は一度もベントに成功しなかった。

（注1）東京電力ホールディングス株式会社（東京電力）の第5回進捗状況報告^{※3}では、「ラプチャーディスク周辺線量は低いことが確認されている。」としながら、「（2号機では）ラプチャーディスク作動の有無に関する決定的な証拠は存在していない。」とされている。今回は、3号機のRD線量率との比較も用いてこのように確定判断をしたいと考えているが、特に問題があるか要確認。

- ② 1号機の非常用ガス処理系（SGTS）配管系よりも2号機の配管系の方が相対的に強く汚染されている理由は、1号機からのベントガスが一部流入し凝縮が進んだことが主要因と考えられる。

（注2）さらに、一度スタックに放出されたベントガスが2号機配管系での凝縮の進行にともなって2号機配管にも吸引・凝縮した効果もあり得るとの見解が日本原子力研究開発機構（JAEA）から提示されているが、定量的な議論ができるようにシミュレーションの精度向上を測ることが必要。1. ⑦を参照。

- ③ 1/2号機共用スタック底部内側が強く汚染されている原因は、同スタックには内部配管が設置されていなかったことによる。

- ④ 1/2号機のベント配管系の方が3/4号機のベント配管系よりも2桁程度強く汚染されている原因は、ベント実施時点の原子炉格納容器（PCV）内部のセシウム（Cs）濃度が1号機の方が3号機よりも大幅に高かったことと考えられる。

（注3）追加論点2. ④を参照。

※1 原子力規制庁 原子力規制部 東京電力福島第一原子力発電所事故対策室の職員を中心として現地調査及びその結果の整理等を実施している。ここでは、当該業務を主として行ったチームを「事故分析調査チーム」と言う。

※2 実機では、ベント配管は非常用ガス処理系（SGTS）の排気系配管に接続されている。ここでは、ベント配管とSGTS排気系配管をまとめて、「SGTS配管系」と言う。

※3 福島第一原子力発電所1～3号機の炉心・格納容器の状態の推定と未解明問題に関する検討 第5回進捗報告（平成29年12月25日東京電力ホールディングス株式会社）

- ④-1 ベント時のスクラビングによる除染係数は、サプレッションチェンバ（S/C）水の温度（減圧沸騰条件を含めて）には余り大きく影響されず、スクラビング水位に大きく影響される。
- ④-2 真空破壊弁の作動不良によるスクラビング・バイパス・シナリオは今後も研究すべきアイデアだが、1号機 SGTS 配管系の汚染状況などの各種データと整合しない。
- ⑤ SGTS 配管系に連なる SGTS フィルタの汚染状況から、相当量の自号機逆流があった。単純な概算では、3号機では、4号機への水素流入の1/2程度、1号機では2号機への流入量の5-10倍程度の水素流入があった可能性が高い。（東京電力の調査報告。）
（注4）5. ④を参照。
- ⑥ 1/2号機 SGTS 配管系に高温履歴が見られるのではないかと懸念を事故分析調査チームから示したが、飛散防止剤の散布があったためと判明。

未終結事項、或いは、継続取り組み事項

- ⑦ JAEAによる、SGTS 配管系の汚染状況シミュレーションの精度向上。
- ⑧ 1号機 SGTS フィルタの汚染度調査の精度向上を事故分析調査チーム及び東京電力が計画中。

2. シールドプラグ下面での Cs 捕獲

議論がほぼ終結した事項

- ① 2号機及び3号機のシールドプラグ最上層下面だけで、数十PBqのCs137が捕獲されているのに対し、1号機では、同面に0.1-0.2PBqのCs137が捕獲されているに過ぎない。
（注5）1-3号機の炉心中に存在したCs137は約700PBqと算出されているのに対し、環境中に気体として放出されたCs137の総量が15PBq程度となった1つの要因ではないか。

未終結事項、或いは、継続取り組み事項

- ② 1号機と2/3号機とのCs捕獲量の差は何故生じたのか。
 - ②-1 CsがPCVからトップヘッドフランジ（THF）経由で大量に漏出した時期とメカニズム（敷地周辺のモニタリングポスト記録との関係整理を含む。）
 - ②-2 1号機シールドプラグが外れた時期とメカニズム
 - ②-3 ベント時においては1号機のPCV内のCs濃度が大幅に高かったとする、前記結論（1. ④）と矛盾しているように見えることの解明。

- ③ 廃炉作業担当機関への情報提供と廃炉の安全実施のための知見反映。
- ④ シールドプラグ下面の Cs 量の推定精度を向上させるための追加測定。

3. 3号機「水素爆発」の詳細分析

議論がほぼ終結した事項

- ① 映像分析から、3号機の「水素爆発」は多段階事象であったとの仮説を提示した。更に解像度の高まった映像により、根拠が強化され、技術的詳細には未解明の部分も残っているものの、本事象が多段階からなるものであることは妥当な認識と判断した。
(注6) 追加報告あり。地震計の振動記録と水素爆発の事態推移の比較、衛星写真情報から確認される水素爆発時点での3号機原子炉建屋5階部分の相当量の水蒸気
- ② 地震計記録から算出した水素爆発時に地面に伝わったエネルギー量は1号機の水素爆発時の方が、3号機爆発時のそれと比較してやや大きい。
- ③ 3号機原子炉建屋3階天井部の大梁の損傷は、20-40m 秒程度の時間、5気圧程度の圧力がかかれば生じうる。

未終結事項、或いは、継続取り組み事項

- ④ 3号機原子炉建屋屋根部などの大きな破片を200m程度の高さにまで持ち上げることに、可燃性ガスの燃焼に伴う上昇気流はどの程度寄与したのか。
- ⑤ 3号機原子炉建屋3階天井部小梁のせん断破損を生じさせる4階での圧力はどの程度か。
- ⑥ 3号機の水素爆発時の気象条件下で、凝縮波が生成しうるかどうか。
- ⑦ 水素爆発時の損傷の中には、衝撃波ではなく圧力上昇による損傷によると考えられるものがある。

本日追加検討事項

- ⑧ 1号機、3号機共に水素爆発当時、原子炉建屋内の水素ガスは炭化水素を含み、その濃度は3号機の方が高かったのではないか。また、上昇する濃い色の噴煙は、建屋のダストではなく、炭化水素の燃焼の結果生じる煤、或いは、煙なのではないか。ただし、南東部火炎には、黒煙が明確には確認できない。
- ⑨ 3号機原子炉建屋天井部の鉄骨トラスとりつけ部分の破損形態の調査は今回の分析を進める上で有効であろうか。また、技術的フィージビリティはあるのか。

4. ベント時点までの3号機原子炉圧力容器圧力の挙動分析

議論がほぼ終結した事項

- ① 全交流動力電源喪失（SB0）条件下で、複数回の作動の後、主蒸気逃し安全弁（SRV）逃し弁機能は一定の圧力条件下で中間開状態を示す。
（注7）SRVの中間開の可能性については、政府事故調報告書^{※4}に一部言及されている。
- ② 3月13日午前6時頃の原子炉圧力容器（RPV）圧力の振動はSRVの安全弁機能の作動によるもの。ただし、安全弁機能は設定圧力よりも0.2MPa程度低い圧力で作動した。その原因は何らかの理由でSRV内部のバネの高温化が進んで、作動圧力が低下したと考えられる。
（注8）政府事故調最終報告書^{※5}によれば基準面器の水位低下による原子炉圧力計の最大誤差は90 kPaである。
- ③ 3号機ベント成功の引き金として、RPV下部プレナムへの溶融炉心の一部落下、及びこれによって生じた圧力サージによる自動減圧系（ADS）の作動があったとする東京電力の分析は合理的なものと判断。
- ④ 3号機のベント実施回数は2回とする東京電力の分析を支持。
- ⑤ この結果、4号機は水素供給完了後、約40時間経過してから水素爆発した。

未終結事項、或いは、継続取り組み事項

- ⑥ 3月11日19:30頃にRPV圧力が、逃し弁機能の閉設定圧力を下回る6.6MPa程度にまで低下した後においても、中間開状態が継続する理由は何か。

5. ベント以降の3号機原子炉格納容器圧力の挙動

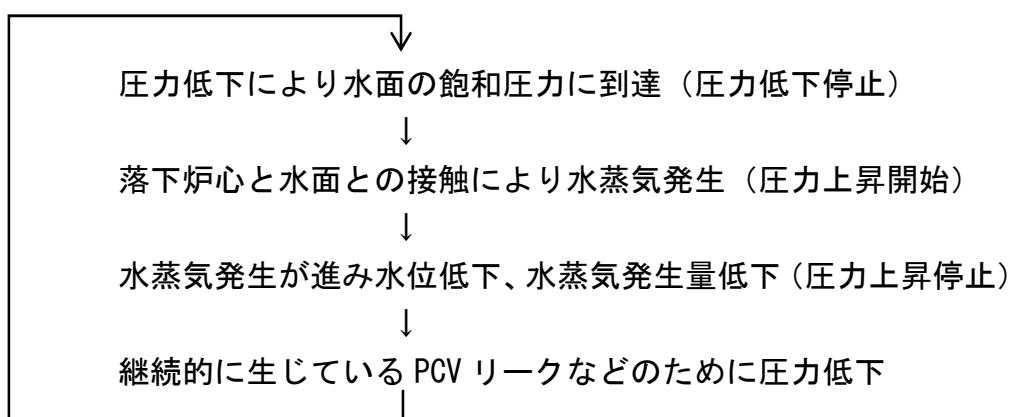
議論がほぼ終結した事項

- ① これまでは、PCV圧力の低下をベント成功と判断されてきたが、4. ④に示すようにベントの成功回数は2回であることが明らかになった。したがって、その後のPCV圧力の変動は、ベント以外のメカニズムで生じている。ここでは、PCV内での蒸気等の発生量の変動することによって、以下のようなサイクリック過程を形成し、圧力の増減が繰り返されたと

※4 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会 中間報告（平成23年12月26日 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会）

※5 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会 最終報告（平成24年7月23日 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会）

する仮説を提示したい。



- ①-1 ベント実施以前に RPV から D/W への規模の小さな漏えいが生じていた

3月13日6時頃から9時頃までの間、D/Wへの漏えいが無ければ、まずS/C圧力が上昇することになるが、D/W圧力はS/C圧力とほぼ同様に上昇している。（ただし、RPV圧力は7MPaGを超えて維持されており、大規模な漏えいではない。）

- ①-2 D/W床面には一定量の冷却材が存在していた

3号機では、5. ①-1の小規模漏洩に加え、13日午前8時後にPCVスプレーが実施されており、D/W床面に水位が形成されていた可能性が高い。更に、S/Cの水位が高かったことから、3月13日23時頃のように、D/W圧力がS/C圧力より低下すると、S/CからD/Wへの水の逆流が生じ、D/W床面への水位形成に寄与した可能性がある。

- ①-3 3月14日1時10分頃にはD/Wへ熔融炉心が移行していた

3月14日1時10分から同日3時20分の間、PCV圧力は上昇している。この時D/W床面には一定の冷却材が存在していたと考えられ、熔融炉心がD/Wへ移行したことで、D/Wが蒸気等の発生源になり、PCVの圧力を上昇させたと考えることが合理的である。

- ①-4 蒸気発生量の変動によりPCV圧力の変化がもたらされた

2回目のベントが終了した後の3月13日21時頃から3月14日21時頃までの間、何らかのPCVからの漏えいが継続している状態において、水蒸気の発生量が減少し、PCVからの漏えい量が勝るとPCVの圧力が低下するが、PCV内水面の飽和圧力に達すると圧力低下が停止する。D/W床面に落下した炉心と水面との接触

により水蒸気が発生し、圧力が上昇する（注9）。水蒸気発生が進み水面が低下すると、水蒸気発生量が低下する。水蒸気の発生量が減少し、PCVからの漏えい量が勝るとPCVの圧力が低下し、上記の現象が繰り返される。ただし、水素爆発直前の高圧部分には相当量の水素や炭化水素が機よしており例外。

（注9）D/W圧力がS/C圧力より低くなると、S/CからD/Wへプール水が移行し、蒸気供給源となる。

- ② 3月13日16時頃まではRPV下部ヘッドに冷却材が保持されていたと考えられる。

ベント実施前からRPVからD/Wへの小規模の漏えいが生じていたが、大小の圧カスパイクが観測されていることから、3月13日少なくとも16時頃まではRPVの下部プレナムに冷却材が保持されていたことになり、この時点までは少なくともRPV下部ヘッドに大規模な損傷は生じなかったのではないかと推定される。（5. ①-3と整合。）

- ③ ADSが起動されてから開状態を維持できた期間は6時間に満たないと推定される。

2回目のベントが終了した後の3月13日14時30分頃から3月13日16時30分頃の間、格納容器圧力が上昇している（注10）。ADSによりRPVからS/Cへ蒸気等が輸送されれば、まずS/Cの圧力が上昇に転じるはずであるが、D/WとS/Cの圧力はほぼ等しい速度で上昇している。したがって、この時点では、ADSは開状態が維持されていなかったと考えられる。

（注10）3月13日14時30分頃と3月14日1時頃では、PCV圧力の上昇速度が異なるが、3月13日14時30分頃は、RPV内部にある炉心が蒸気発生に寄与したのに対し、3月14日1時頃はD/W床面に移行した熔融炉心が蒸気発生に寄与したと考えられる。また、3月14日6時頃には圧力上昇が速まっており、水素等の非凝縮性ガス発生への寄与が考えられる。

未終結事項、或いは、継続取り組み事項

- ④ PCV漏えいタイミングの分析の過程で、原子炉建屋内部の「もやもや」の存在を利用することに言及したが、ベント時の自号機逆流の影響の可能性が指摘された。1. ⑤の結果から、この可能性は否定しがたいものの、1号機の場合はベントと時期が合わないという面もあり、継続検討とした。