

格納容器再循環サンプスクリーン閉塞事象に係る
対応に関する報告書

平成18年8月

関西電力株式会社

本資料は、弊社及び関係企業の商業秘密等を含んでいることから、一部の記載、添付及び参考資料については、非公開とさせていただきます。

目 次

1. はじめに	1
2. 有効性評価方法の検討	1
(1) 発生デブリ量の検討	2
(a) 保温材に対する影響範囲の検討	
(b) 塗装に対する影響範囲の検討	
(c) 潜在デブリ量の検討	
(2) デブリ移送量の検討	4
(3) ポンプのNPSH評価の検討	5
(a) 再循環サンプの上流側影響の考慮	
(b) 格納容器内圧の考慮	
(c) 化学的影響の検討	
(4) その他	6
(a) 下流側影響の検討	
3. 保温材破壊圧力検証試験	6
4. 塗装DBA試験	6
5. 格納容器再循環サンプスクリーンの有効性評価／設備上の対策案の検討	6
6. まとめ	7

1. はじめに

平成17年10月25日付「格納容器再循環サンプスクリーン閉塞事象に係る対応について」(平成17・10・20原院第2号)に基づき、策定した作業計画書(平成17年11月24日提出)に従い、以下の検討及び試験を実施した。なお、本計画書における「有効性評価方法の検討」のうち、「NPSH評価パラメータの適正化」については、より具体的な「格納容器内圧の考慮」に項目名を変更している。また、計画書の「上流側影響の確認」については、ポンプのNPSH評価への影響が主であることを踏まえて、「再循環サンプの上流側影響の考慮」として記載箇所を変更する見直しを行っている。

○有効性評価方法の検討

ー発生デブリ量の検討

- ・保温材に対する影響範囲の検討
- ・塗装に対する影響範囲の検討
- ・潜在デブリ量の検討

ーデブリ移送量の検討

ーポンプのNPSH評価の検討

- ・再循環サンプの上流側影響の考慮
- ・格納容器内圧の考慮
- ・化学的影響の検討

ーその他

- ・下流側影響の検討

○保温材破壊圧力検証試験

○塗装DBA試験

○格納容器再循環サンプスクリーンの有効性評価／設備上の対策案の検討

また、平成17年10月25日付「格納容器再循環サンプスクリーン閉塞事象に係る対応について」(平成17・10・20原院第2号)の指示のうち、格納容器再循環サンプスクリーンの有効性を示すか、もしくは、設備上の対策案及びその有効性評価方法について報告するかについては、米国のほとんどのプラントで設備上の対策を実施することを決めている状況や、当社プラントの保温材等に関する現地調査の結果を踏まえ、設備上の対策を講じることとし、以下にその有効性評価方法を報告する。

2. 有効性評価方法の検討

格納容器再循環サンプスクリーンの有効性評価については、実験結果が公開されており、根拠が明確な米国PWRプラントの評価方法をベースとし、国内PWRプラントに適用することの妥当性について検討した。

その検討の内容については、以下に記載するとともに、本検討を踏まえた国内PWRプラン

トに対する格納容器再循環サンプスクリーンの有効性評価方法の詳細については、添付1に示す。

また、これらの有効性評価方法を適用し、検討した設備上の対策案については、5項に記載する。

(1) 発生デブリ量の検討

(a) 保温材に対する影響範囲の検討

米国と国内の保温材の構造が類似しているカプセル保温(金属保温)、カプセル保温(繊維質)及び一般保温(ケイ酸カルシウム)に対しては、米国PWRプラントで適用している破壊圧力を適用する。

ただし、一般保温(繊維質)については、米国と国内とで構造が異なるため、国内で使用している一般保温(繊維質)に対する保温材破壊圧力について検証試験を行い、各プラントの再循環サンプスクリーンの詳細設計(以下「詳細設計」という。)においては、3項に記載する試験により得られた破壊圧力を適用して影響範囲を算出することとする。また、既設保温材の補強等により発生デブリの低減を図る場合は、その破壊圧力の評価を行い、その改善効果の確認を行い、詳細設計に反映することとする。

なお、保温材に対しては、格納容器再循環切替が事象終息のために必要となる1次冷却材喪失事故時に破断が想定される1次系配管からのジェットの影響を受ける範囲を評価する。

2次系配管からのジェットを評価対象としないことについては、2次系配管破断に係る事象は、健全側蒸気発生器による炉心の冷却により終息可能であり、設置許可における安全評価においても格納容器再循環による炉心の冷却は期待していないことによるものである。

(b) 塗装に対する影響範囲の検討

格納容器内に使用されている塗装は、1次冷却材喪失事故の発生による物理的・化学的影響により、塗装表面から剥離してデブリ化する可能性がある。

一つは、破断口近傍の塗装が高温高圧の2相流ジェットの影響により、剥離するケース、一つは格納容器内の温度・圧力等の環境条件が継続するために、塗料が劣化して剥離するケースである。

前者のケースで、2相流ジェットによる影響範囲について、米国の有効性評価手法においては、その影響範囲としての球形ZOI(ZOI:Zone of influence)をプラント固有に決めるか、あるいは10D(D:破断を想定する配管の直径)とすることを推奨している。これに対し、米国PWR事業者は10Dは過度に保守的すぎるとして、半径5D(D:破断を想定する配管の直径。)の球体の内側とすることを検討している状況にある。(参考資料1参照)。

国内においても、塗装ZOIについては10Dとして今後のスクリーン設計を進めるものの、

5Dの適用性が確認された場合は、必要に応じて設計の見直しを行うこととする。

また、後者の環境条件によるケースは、2相流ジェットの影響範囲外であっても、格納容器内部スプレーによる影響を受ける範囲については、4項の塗装DBA試験(DBA:Design Basis Accident設計基準事故)により、非DBA仕様の塗装と判断された塗装を使用している場合は、当該塗装がデブリとなるものとして評価を行う。詳細については4項に記載する。

(c) 潜在デブリ量の検討

米国の有効性手法においては、潜在デブリは堆積デブリ^{*1}とその他デブリ^{*2}に分類される。米国におけるその取り扱いより国内の適用については、以下のとおりとする。(参考資料2参照)

※1: 格納容器内の機器、配管、あるいはコンクリート表面などに積もった塵や繊維等、事故時の格納容器スプレー水の流れによって洗い流される可能性のある堆積ゴミのことをいう。

※2: 事故後の蒸気環境や格納容器スプレー水によって剥がれたりして、デブリ化するおそれがあるステッカー類、養生していないビニールシート等のことをいう。

① 堆積デブリ

米国の有効性評価手法においては、保温材や塗装以外の格納容器内に堆積するほこり等が起因となる堆積デブリ量を 2001b(約 90.7kg)と考えれば保守的であるとしている。ただし、現地サンプリング調査を実施し、詳細な評価を行った場合には、評価結果より得られた堆積デブリ量を踏まえた値を適用することができるとしている。

国内においても、評価実施にあたっては、米国の方法と同様に、詳細設計に適用する堆積デブリ量は基本的には 2001b(約 90.7kg)とし、その妥当性を実機調査で確認したうえで適用を判断する。なお、実機調査結果を踏まえた値を適用することができるものとする。

また、堆積デブリの状態について、代表性があると判断できるプラント(同型プラント、清掃の運用が同様等)については、調査結果を他プラントに適用することも可能とする。

② その他デブリ

米国の有効性評価手法においては、その他デブリは実機プラントの現地調査結果に基づき決定することとしており、調査の結果から得られた移送されるおそれのあるデブリの総面積のうち、75%がスクリーン表面積を閉塞させる扱いとされている。

国内においても、その他デブリについては、プラント毎の設備、掲示物の扱い等の相違によるところが大きいと考えられることから、米国の方法と同様に、プラント毎に現地調査を行い、その結果を詳細設計に適用することとする。

なお、その他デブリについては、撤去、固縛・固定等の管理強化によってデブリ化を防ぐことが可能であることから、詳細設計にあたっては、現地調査結果を踏まえて管理

強化を図る場合には、その効果を見込んだその他デブリ量を適用することも可能とする。

また、その他デブリの状態等について、代表性があると判断できるプラント(同型プラント、設備、掲示物の扱いが同様等)については、調査結果を他プラントに適用することも可能とする。

(2) デブリ移送量の検討

米国の有効性評価手法においては、2項(1)に示した破損する保温材に起因するデブリについて、原子炉冷却材圧力バウンダリから流出した冷却材や格納容器内を流れる再循環水により再循環サンプに移送される割合について、以下の取り扱いをしている。

- ①デブリの種類別にデブリ片の大きさを「微細」、「大型」の2つに分類し、微細デブリのみがサンプへの移送に係るものとする。
- ②「デブリ発生－ブローダウン(破断時ジェットによる上方、下方への移送)－ウォッシュダウン(構造材に捕獲、最下層への流入移送)－プール注水(再循環流水部への移送)－再循環運転(再循環運転時のサンプへの移送)」の各デブリの移送フェーズ毎に移送率を設定したロジックツリーを用いる。また、格納容器内の区画分けの度合い(ドライ型、アイスコンデンサ型格納容器等での相違)に応じて異なるロジックツリーを使い分ける。
- ③サンプへの流れ込みに関わらない滞留水区画(滞留水:格納容器最下層のプールを形成するが再循環水とならない水)となる格納容器最下層のプールの割合に応じたデブリの捕獲効果を考慮する。

国内におけるこれらの適用については、まず、上記①については、2項(1)に示したとおり、カプセル保温(金属保温)、カプセル保温(繊維質)及び一般保温(ケイ酸カルシウム)については米国の製品と仕様が同等と判断されることから、米国で採用されているサイズ分布を適用することが可能と判断する。なお、一般保温(繊維質)については、国内での破壊試験結果を踏まえて、保温材が破壊しない圧力を破壊圧力と定め、微細化率に保守的な値を適用することと判断した。

②については、国内プラントと米国プラントの格納容器内の区画化、主な構造を比較したところ、国内プラントは米国での設計を踏襲しており、区画化及び主要な構造においても同等と判断できることから、米国での有効性評価手法を国内プラントに対しても適用できるものと判断した。

また、③については、米国において、プラント毎に格納容器内の全水量に対する滞留水区画のプール水の体積比(NRCのコメントにより、この値は15%を上限とされている)を用いることになっているが、上記にも記載のとおり国内プラントと米国プラントは、格納容器の区画化、主な構造は同等であることから、国内プラントにおいても米国の評価手法を適

用し、評価対象プラントの滞留水区画の体積比を算出して移送率を設定することとする。

なお、各プラントの詳細設計においては、数値流体解析に基づき直接的にデブリの移送率を求める方法も考えられる。

(3) ポンプのNPSH評価の検討

(a) 再循環サンプの上流側影響の考慮

米国の有効性評価手法においては、ポンプのNPSH評価に係る再循環サンプの水位を決定するに当たり、再循環サンプの上流側の影響を検討することとしている。これは、スプレイ水または破断水が再循環サンプに到達する経路において、発生デブリによって閉塞する可能性のある狭隘部が存在する場合には、特定の狭隘部の閉塞によって再循環に必要な水が大量に溜まり、無効水（格納容器最下層より上部に溜まり、再循環水とならない水）となり、サンプの水没レベルが低下する可能性を考慮したものである。

国内評価ではこれに従い、各プラントの詳細設計において閉塞の可能性のある経路を抽出し、再循環サンプの上流側に溜まる無効水を評価してサンプ水位を設定する。なお、当該部について閉塞防止対策を実施した場合には、その効果をサンプ水位の評価に反映することも考慮できることとする。（参考資料3参照）

(b) 格納容器内圧の考慮

格納容器内圧及び再循環サンプ水温に関する定性的検討と、解析により、再循環流量、再循環サンプ内の温度、格納容器内の圧力等の現実的な組み合わせのうち、ポンプのNPSH評価として、ポンプの有効吸込ヘッドから必要吸込ヘッドを差し引いた値（以下「NPSH余裕」という。）について最も厳しくなるケースを検討した。

この検討によると、再循環サンプ水温を高めにするケースが保守的であり、また、再循環切替の直後にNPSH余裕が最も厳しくなることが分かった。なお、最も厳しくなるケースについては、プラントごとに異なる可能性があるため、各プラントの詳細設計において本条件が成立することを示すか、プラント毎に保守的な条件を評価することにより、NPSHを評価するためのパラメータの適正化を行う。（参考資料4参照）

(c) 化学的影響の検討

NPSH評価における化学的影響については、参考とする米国においても継続して検討されている課題であり、現時点では具体的な評価の方法は示されていない。また、国内においても本件に関する知見はまだ得られていない。

よって、引き続き、米国の検討状況等を調査し、得られた知見について、再循環サンプスクリーンの詳細設計に反映することとする。

なお、現時点で可能な対応としては、化学的影響としてある程度の圧損値に余裕を見込んでおくこととなるが、その場合、後に化学的影響に関する知見が得られた段階で、そ

の影響が当初設定した余裕に含まれることを確認することとする。

(4) その他

(a) 下流側影響の検討

再循環サンプスクリーンを通過したデブリによるスクリーン下流側への影響としては、スクリーンメッシュサイズよりも開口部が小さい箇所がスクリーン下流側に存在する場合に目詰まりを引き起こす影響が考えられる。この影響に対しては、詳細設計においてスクリーンメッシュサイズを選定する際に考慮することとする。

3. 保温材破壊圧力検証試験

国内の一般保温(繊維質)に対して米国で実施した試験と同様の保温材破壊圧力検証試験を実施した。試験の結果、においては、保温材が破壊に至らないことが分かったが、超過の圧力に対しては、破壊に至る場合と至らない場合があった。この試験結果と米国の試験結果とを比較したところ、米国の一般保温(繊維質)よりも国内の一般保温(繊維質)の方が破壊圧力が低い傾向を示していることより、米国PWRプラントで使用している一般保温(繊維質)に対する破壊圧力は適用できないことが分かった。そこで、国内の一般保温(繊維質)に対する破壊圧力については、米国PWRで適用している6.0psigではなく、保温材が破壊されない圧力であるを適用することが保守的であることを確認した。詳細については、添付2に示す。

※3: 米国PWRにおいては、2相流ジェットによる影響を考慮するため、空気ジェット試験結果から得られた破壊圧力の0.6倍の圧力を評価上の破壊圧力としている。

4. 塗装DBA試験

米国の有効性評価手法においては、DBA仕様の塗装であれば、ZOI範囲外の塗料はデブリとしての考慮は不要とされ、一方、非DBA仕様の塗装は、ZOI範囲外であっても格納容器内のものはスプレイ水で流されるものとし、デブリとして考慮することとしている。

このことを踏まえ、国内PWRプラントに使用している格納容器内塗装について、米国基準ASTM D3911に従い、塗装DBA試験を行った。この試験結果によると一部の塗装が非DBA仕様であることが分かった。

よって、各プラントの詳細設計においては、非DBA仕様の塗装について再循環サンプスクリーンの必要NPSH評価上のデブリとなる可能性があることを想定して評価するか、もしくは、DBA仕様の塗装に塗り替えることとする。詳細については、添付3に示す。

5. 格納容器再循環サンプスクリーンの有効性評価/設備上の対策案の検討

有効性評価方法は2項に示したとおりであり、これは、1項でも述べたとおり、当社が設備上の対策を実施することを前提にしているものである。

2項に示した有効性評価方法は、大きな保守性を有したものであり、これに基づき、添付4の

条件で、再循環サンプスクリーンに必要と想定される評価面積を算出した結果及び設備上の対策案は、添付5のとおりとなった。

設備上の対策案としては、当社の全プラントについて再循環サンプスクリーンの高性能化(面積の拡大)を行うこととするが、詳細設計にあたっては、再循環サンプ周辺のスペース等を勘案して必要に応じて保温材取替えなど追加対策を合わせて検討し、設計の最適化を行うこととする。

なお、再循環サンプスクリーンは、非常用炉心冷却設備及び格納容器熱除去設備として必要な機械的荷重、地震荷重を考慮した設計を行うこととする。

6. まとめ

1次冷却材喪失時のデブリ発生により格納容器再循環サンプスクリーンの閉塞が国内外で懸念されている。この状況を受け、原子力安全・保安院からの報告指示に対し、サンプスクリーンの有効性評価方法について、米国において適用されている評価手法をベースに、国内プラントへの適用性を吟味しながら、評価手法を検討した。また、これらの適用にあたっては、個別に検討が必要であると判断した事項として米国仕様と異なる一般保温(繊維質)に対する保温材破壊圧力検証試験、及び格納容器内塗装のDBA試験を行い、これらの結果を評価に反映すること等、我が国のPWRプラントの実態に合わせた検討を行った。

また、米国のほとんどのPWRプラントが設備上の対策を実施することを決めている状況や、当社プラントの保温材等に関する現地調査の結果も踏まえ、当社の全プラントについて格納容器再循環サンプスクリーンの高性能化(面積の拡大)等設備上の対策を行うこととした。

今後の設備上の対策の実施にあたっては、国内外で検討が進められている化学的影響などの評価上の不確定要素があること、潜在デブリ源の現地調査、NPSH評価、及び必要に応じた保温材取替えなど追加対策検討を合わせて実施することが必要なこと等から、これらの必要な調査検討を行ったうえで、詳細設計を行い、計画的に設備上の対策を進めることとする。

なお、設備上の対策を完了するまでの間は、平成17年4月22日経済産業大臣に報告し、現在実施中の暫定対策を継続する。

以 上