

サンプスクリーンを通過したデブリが炉心に与える影響に関する米国の対応状況及びこれを踏まえた国内の対応について(案)

令和 2 年 8 月 19 日
システム安全研究部門

1. はじめに

この文書は、原子炉冷却材喪失事故（LOCA）時の保温材の破損等により発生した異物（以下「デブリ」という。）がサンプスクリーンを通過し、炉心へ与える影響（以下「炉内下流側影響」という。）についてまとめたものである。米国 NRC の規制ガイド RG1. 82 Rev. 4 [1] が 2012 年に発行されて以降、炉内下流側影響に関しては、米国で炉内繊維デブリ制限値の緩和等について議論があったが、プラントごとの情報を用いた評価を行うなど、米国の対応の方向性が明確化されてきた。以下、米国及び国内における経緯及び対応状況について報告する。

2. 米国における経緯及び対応状況

1992 年に発生したスウェーデンのバーセベック発電所におけるストレーナ閉塞事象¹を契機に、BWR プラントにおいてはストレーナ大型化等によるストレーナの閉塞防止対策が講じられた。PWR プラントにおいても、LOCA 発生後、デブリがサンプスクリーンに堆積し、緊急時炉心冷却装置（ECCS）や格納容器スプレイ冷却系（CSS）ポンプの正味吸い込みヘッド（NPSH）が確保されない可能性があるため、NRC は Generic Safety Issue（GSI）-191 として検討を開始し、サンプスクリーンに対する要件を LOCA 後の長期炉心冷却に必要な水源の要件に関する規制指針 RG1. 82 Rev. 3 [2] として 2003 年に取りまとめた。また、2004 年に NRC は GL2004-02 を発行し、事業者に対してサンプスクリーンの評価を要求し、事業者はサンプスクリーンの面積を大幅に増やす等²、サンプスクリーンが閉塞するリスクを下げる対応を行った。

GSI-191 で検討を進めるうちに、炉内下流側影響という問題が顕在化した。事業者はこの問題の解決のため試験を実施し、サンプスクリーンを通過した繊維、粒子及び化学デブリが炉心に与える影響を検討し、その安全性を評価する手法をトピカルレポート WCAP-16793-NP Rev. 2 [3] としてまとめた。NRC が 2012 年に改定した RG1. 82 Rev. 4 で

¹ 安全弁の誤作動により、配管断熱材が脱落し、これがサブプレッションプールに流入して ECCS の吸込ストレーナの閉塞を引き起こした。米国においてもベリー発電所等でストレーナの閉塞が発生した。

² 他の対策の例として、繊維デブリや粒子デブリを発生させる保温材の除去、化学的影響を低減するための pH 緩衝材の変更等がある。

は、WCAP-16793-NP Rev. 2 を参照する形で炉内下流側影響の考慮を要求している³。

ところが、WCAP-16793-NP Rev. 2 ではサンプスクリーンを通過した繊維デブリにより炉心下部が閉塞しないことを担保するために、炉内に到達する繊維デブリ量の制限値を設けているが、保守的に設定されているため、複数のプラントでその制限値を満たせない状況であった。このため、NRC は炉内下流側影響についての問題を解決するために、次のオプションを承認した^[4]。

- ・ オプション 1：炉内における繊維デブリ量制限値については WCAP-16793-NP Rev. 2 に記載された評価手法を用いる。炉内に到達し得る繊維デブリ量が少ないプラントは、このオプションを採用している。
- ・ オプション 2A：炉内繊維デブリ量の制限として WCAP-16793-NP Rev. 2 で示される包絡的な値ではなく、各プラント固有の情報を用いて、追加試験や解析することで制限値を定める。事業者は炉内繊維デブリ量制限値を個別プラントに対して評価する手法についてトピカルレポート WCAP-17788 [~~4-95-10~~] を NRC に提出した。
- ・ オプション 2B：確率論（リスク・インフォームド）的アプローチ。炉心入口閉塞によるリスク増分を評価し、リスクが小さいことを示す。
- ・ オプション 3：サンプスクリーン閉塞と炉内下流側影響を分離して扱う。前者に対してはオプション 1、後者に対してはオプション 2B の手法を用いる。

オプション 1、2A、2B はそれぞれ 19 プラント、35 プラント、11 プラントに採用され、オプション 3 を選択したプラントはない。2016 年にオプション 1 を選択した全プラントが、また、2017 年にオプション 2B を選んだ 2 プラントが GL2004-02 の対応終了となった。残りのプラントについては NRC 及び事業者が対応中であるが、PWR オーナーズグループは 2019 年 9 月のニュースレターの中でこの対応が 2020 年中に解決する見通しと述べている^[~~40~~11]。

なお、BWR プラントについては、GSI-191 で PWR プラントに対して得られた知見⁴に対して、事業者が自主的取組みとしてリスク評価を行い、2017 年に安全上問題がないとの評価結果を NRC に提出した^[~~41~~12]。NRC は事業者の評価結果を受け、2018 年に規制上のアクションは不要と結論づけている^[~~42~~13]。

3. 国内の経緯及び対応状況

旧原子力安全・保安院は、2004 年 6 月に電気事業者に対して保温材の実態調査やストレーナの有効性評価を行うよう指示するとともに、総合資源エネルギー調査会原子炉安全小委員会の下に設置した安全評価ワーキンググループにおいて、原子炉冷却材喪失

³ WCAP-16793-NP Rev. 2 では、長期炉心冷却の基準として以下が定められている。（1）燃料被覆管表面温度は 800 F（427 °C）を超えないこと（2）燃料被覆管への付着物の厚さが 50 mil（1.27 mm）を超えないこと（3）炉内繊維デブリが 15 g/FA を超えないこと

⁴ 炉内下流側影響に加え、下流側機器への影響、化学的影響、塗膜影響等

時のストレーナ（BWR プラントの非常用炉心冷却系統ストレーナ、PWR プラントの格納容器再循環サンプスクリーン）の閉塞事象に関して審議・検討を行った。

その検討結果を踏まえ、2008年2月に、PWR プラント及び BWR プラントを対象とした「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」[1314]を制定した。

電気事業者は工事計画手続きにおいて、上記内規に基づきストレーナの有効性評価を行い、必要に応じて保温材の取替えやストレーナの大型化などの対策を実施した。

上記内規では、詳細な炉内下流側影響の評価については要求していないが、高浜3/4号炉の新規制基準適合性審査において、電気事業者はPWR 共通の中長期的な安全性向上の取組みとして炉内下流側影響について検討する旨を表明している[1415]。

4. 今後の予定

新規制基準において、「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」[1314]は技術基準規則解釈第17条、第32条及び第44条において引用されている。3.でも述べたように内規では、炉内下流側影響については、「ストレーナの網目の粗さは、ECCS ポンプ下流のスプレインズル、ECCS ポンプシール部等、下流側機器の機能を損なうことのない設計であること。」を要求しているが、ストレーナの網目の粗さに関するものであり、今回報告したような炉内下流側影響の評価についてはではない。

このため、米国における対応状況を勘案し、PWR プラント及び BWR プラントを対象に、内規等への反映の要否について、規制庁として検討する必要があると考える。検討に際しては、関係部署を交えて国内外の情報収集を継続して行いたい。

参考文献

- [1] Regulatory Guide 1.82 Revision 4, “Water Source for Long-Term Recirculation Cooling Following a Loss-of-Coolant Accident”, March 2012.
- [2] Regulatory Guide 1.82 Revision 3, “Water Source for Long-Term Recirculation Cooling Following a Loss-of-Coolant Accident”, November 2003.
- [3] WCAP-16793-NP-A, Revision 2, “Evaluation of Long-Term Cooling Considering Particulate, Fibrous and Chemical Debris in the Recirculation Fluid”, July 2013.
- [4] SECY-12-0093, “CLOSURE OPTIONS FOR GENERIC SAFETY ISSUE - 191, ASSESSMENT OF DEBRIS ACCUMULATION ON PRESSURIZED-WATER REACTOR SUMP PERFORMANCE”, July 2012.
- [45] WCAP-17788-NP, Volume 1, Revision 1, “Comprehensive Analysis and Test Program for GSI-191 Closure (PA-SEE-1090)”, December 2019.

- [56] WCAP-17788-NP, Volume 2, Revision 1, “Comprehensive Analysis and Test Program for GSI-191 Closure (PA-SEE-1090) – Phenomena Identification and Ranking Table (PIRT) for GSI-191 Long-Term Cooling” , December 2019.
- [67] WCAP-17788-NP, Volume 3, Revision 0, “Comprehensive Analysis and Test Program for GSI-191 Closure (PA-SEE-1090) – Cold Leg Break (CLB) Evaluation Method for GSI-191 Long Term Cooling” , December 2014.
- [78] WCAP-17788-NP, Volume 4, Revision 0, “Comprehensive Analysis and Test Program for GSI-191 Closure (PA-SEE-1090) – Thermal-Hydraulic Analysis of Large Hot Leg Break with Simulation of Core Inlet Blockage” , December 2019.
- [89] WCAP-17788-NP, Volume 5, Revision 1, “Comprehensive Analysis and Test Program for GSI-191 Closure (PA-SEE-1090) – Autoclave Chemical Effects Testing for GSI-191 Long-Term Cooling” , December 2019.
- [910] WCAP-17788-NP, Volume 6, Revision 1, “Comprehensive Analysis and Test Program for GSI-191 Closure (PA-SEE-1090) – Subscale Head Loss Test Program Report” , December 2019.
- [1011] PWROG September 2019 Newsletter,
(<https://pwropublic.westinghousenuclear.com/Pages/PWROG-News.aspx>)
- [1112] BWROG Letter, BWROG17-3-381r0, “Final Resolution of Potential Issues Related to Emergency Core Cooling Systems (ECCS) Strainer Performance at Boiling Water Reactors” , November 20, 2017.
- [1213] “Closure of Potential Issues Related to Emergency Core Cooling Systems Strainer Performance at Boiling Water Reactors,” U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, June 29, 2018, ADAMS Accession No. ML18078A061.
- [1314] 平成 20・02・12 原院 5 号 「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」 , 平成 20 年 2 月 27 日
※本内規は、平成 17 年 10 月に制定した「沸騰水型原子炉発電設備における非常用炉心冷却設備及び格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価及び構造強度について（内規）」を PWR プラントにも適用できる共通の審査基準（内規）として改めて策定しなおしたものである。
- [1415] 第 93 回原子力発電所の新規規制基準適合性に係る審査会合資料 1-2,
(<https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/10953979/www.nsr.go.jp/data/000035481.pdf>)