第 4 回 Cr-Zry SWG 議事録

日 時：2026 年 7 月 28 日(火) 13:30～16:00

場 所：東京大学本郷キャンパス工学部 8 号館 B1 85 会議室

出席者：(全 29 名、順不同、敬称略)

【参加者（対面参加）18 名】

牟田（大阪大学)、茶木（エネルギー総合研究所)、西内、的場（関西電力)、櫨川、吉武（九州電力)、江口、山内（原子力規制庁)、槙井（神戸製鋼)、河村、園田（電力中央研究所)、阿部（東京大学)、菅原（東京電力ホールディングス)、篠原（三菱重工)、加治、山下、三輪、谷口（日本原子力研究開発機構、事務局)

【参加者（Web 参加）11 名】

鈴木（エネルギー総合研究所)、小柳（九州電力）下山（原燃工)、金本（四国電力)、佐藤（NDC)、岡田、前田、松井（三菱重工)、福田、宇田川、垣内（日本原子力研究開発機構)

【資料配付のみ】

米谷（ATENA)、松永（GNF-J)、坂本（NFD)、安部田（Westinghouse Japan)、荻田（関西電力)、有馬（九州大学)、安武（九州電力)、久保（原子力規制庁)、大堀（四国電力)、中森（電力中央研究所)、村上、西村（東京大学)、土屋（東京電力ホールディングス)、佐藤（東京都市大学)、大野（東北大学)、杉野（日本エネルギー経済研究所)、安元（日本原電）栗須（三菱重工)、阿部（日本原子力研究開発機構)

配付資料：

資料 4-0：第４回 Cr-Zry SWG 議事次第（案）

資料 4-1：運営要綱及び秘密保持誓約

資料 4-2：第３回 Cr-Zry SWG 議事録（案）

資料 4-3：第 4 回 Cr-ZrySWG の進め方（案）

資料 4-4：Cr-Zry PIRT に関する意見募集コメント整理結果

資料 4-5：コメント反映用展開表 3_PIRT

資料 4-6：Cr-Zry SWG からのご報告（中間報告）

主要議事：

1. 開会挨拶

リード役の大阪大学牟田先生より、開会のあいさつをいただいた。

2. 運営関連他

以下の内容について特段の意見・質問はなかった。

・事務局（JAEA）より、資料 4-1 に基づき、運営要綱及び秘密保持誓約について説明があった。運営要綱等は従来から変更がなく、独占禁止法に抵触する議論を避け、参加者が対等な立場で議論することを確認した。また、議事録に資料配付先を含む参加者の氏名を記載することをもって、運営要綱及び秘密保持誓約に同意したものとして取り扱う旨説明があった。

・第 3 回 Cr-Zry サブワーキング議事録（資料 4-2）について、修正等がある場合は同週末を目途に事務局（JAEA）へ連絡するよう依頼があった。

2. 主要議事概要

(1) 第 4 回 Cr-Zry SWG の進め方

・事務局（JAEA）より資料 4-3 に基づき、第 3 回 SWG までの検討状況及び第 4 回以降の進め方について説明があった。主な説明内容は以下のとおり。

- Cr-Zry PIRT に関する意見募集結果を踏まえ、重要事象の抽出（PI）を優先して議論している。
- 当面は設計基準事故（DBA）までの範囲を優先し、PI の抜け漏れを確認した後、ランキングテーブル（RT）の検討及び技術成熟度（TRL）との関連付けを進める。
- 第 4 回では、これまで未議論となっていたコメントについて議論し、PI の整理を一通り完了することを目指す。
- 第 5 回以降は、MHI 及び JAEA 等が保有する実験データや技術的知見を紹介する勉強会を設けた上で、RT に関する議論を進める。
- 勉強会で紹介した知見を踏まえ、参加者から追加的な意見を Microsoft Forms 等で収集し、次回以降の議論に反映する。
- 9 月 15 日に予定されている第 3 回 ATF プラットフォーム全体会合では、各 SWG の進捗状況及び最終取りまとめに向けた方向性について中間報告する。

上記の進め方を説明した後、Cr-Zry PIRT に関する個別コメントの議論に移った。

(2) Cr-Zry PIRT に関する議論

・MHI より、Cr-Zry PIRT に対する意見募集コメント及び事務局回答案について説明があった。第 3 回 SWG では主として DBA 関連の PI について議論しており、第 4 回ではそれ以外の技術分野に関するコメントを中心に議論した。

・また、第 4 回 SWG では、事務局(MHI)がコメント内容及び回答案を説明した後、コメント提出者から補足説明を行い、その後、参加者全体で議論する流れで進行することが説明され、議題 2 の頂いた意見に関する議論（審議）に移った。資料 4-4 の内容について以下とおり ID 番号順に順次議論を進めた。論点整理内容は以下のとおり。

- **（PIRT 拡張 ID6.01-6.06） Cr コーティングによる炉物理パラメータへの影響は小さいと考えられ、既に簡易的な評価も実施されているが、影響の定量的な確認については、現行 PIRT とは別に個票で整理する方針が示された。**

  - ✧ Cr 膜は 10 μm 程度と薄く、炉物理パラメータへの影響は小さいと考えられるものの、その影響が無視できることを定量的に確認する必要があるとの意見があった。
  - ✧ 事務局（MHI）より、炉物理パラメータは燃料安全設計評価の入力となる影響因子であり、現行 PIRT の評価項目には含めず、別途個票で整理する方針が示され、コメント提出者から異論はなかった。
  - ✧ 影響評価の方法として、既存の中性子輸送計算に Cr コーティングを考慮し、炉物理パラメータに有意な差が生じないことを確認する方法が提案され、事務局（MHI）より、当該意見を踏まえて個票への記載を検討する旨説明があった。
  - ✧ 炉物理パラメータへの影響評価の実施状況について質問があったが、簡易的な評価を実施しており、その影響はホウ酸濃度の調整レベルであるとの紹介があった。

- **（PIRT 拡張ⅠD7.05） Cr コーティング被覆管の製造・輸送時のハンドリングに伴う Cr 皮膜の割れ・剥離及び再処理への影響について議論し、今後の知見拡充の必要性が指摘されるとともに、これらの課題を現行 PIRT とは別に個票で整理する方針が示された。**

  - ✧ **再処理への影響**： 事業者より Cr コーティングが再処理工程、特に溶解処理に及ぼす影響について検討を開始しようとしている旨紹介があった。また、Cr の硝酸への溶解性について議論があり、硝酸濃度等による影響を確認する必要があるとの認識が示された。
  - ✧ **製造・輸送時の皮膜健全性**： 燃料棒のハンドリング時のたわみに伴う Cr 皮膜の割れ・剥離について議論があり、事業者より要素試験による確認は進めているものの、燃料棒全体のたわみによる影響については今後の検討課題である旨説明があった。
  - ✧ **Cr 皮膜の割れ・剥離に関する知見：** Cr 皮膜は被膜条件によるが、引張ひずみ約 2%から亀裂が発生可能性があるとの試験知見が紹介された。また、米国の照射後試験では、外観上の異常や皮膜の剥離は報告されていないとの紹介があった。

- ✧ **今後の検討課題**： 特に燃料集合体への組立前の単独燃料棒のハンドリングについて、皮膜損傷を防止するための工程管理や支持方法の検討が重要との意見があった。また、皮膜損傷後の補修は困難と考えられることから、製造段階での健全性確保が重要との認識が示された。

- ➢ **（PI 方針ＩＤ11.01） Cr コーティング被覆管におけるクラッド付着を起点とした局部腐食の可能性について議論し、米国の知見ではクラッド付着は抑制される傾向にあるものの、不均一腐食への影響は別途確認が必要との意見があり、コメント提出者に意図を確認することとなった。**

  - ✧ **局部腐食の可能性**： クラッド付着を起点とした隙間腐食や不均一腐食の発生を懸念したコメントではないかとの意見があり、コメント提出者に意図を確認する必要があるとの認識が示された。
  - ✧ **クラッド付着と腐食の関係**： 事業者より、米国の照射後試験では Cr コーティングによってクラッド付着が抑制される傾向が報告されている旨説明があった。一方、クラッド付着の抑制と不均一腐食の抑制は必ずしも同義ではなく、区別して評価すべきとの指摘があった。
  - ✧ **局部腐食の発生条件**： 局部腐食が生じる場合には、沸騰が激しい部位や高熱流束条件等が影響する可能性があるものの、基本的には全面腐食が支配的と考えられるとの意見があった。
  - ✧ なお、前項の炉物理パラメータへの影響に関連して、事業者より、Cr コーティングによる中性子吸収の増加はホウ酸濃度を下げる方向で調整可能と認識している旨説明があり、具体的な数値については再確認することとなった。

- ➢ **（PIRT 拡張ＩＤ12.02） 再処理及び乾式貯蔵時の Cr コーティングの影響について議論し、乾式貯蔵時の健全性への影響は限定的と考えられるものの、皮膜剥離に伴う局所的な水素化物析出や被覆管破損の可能性については知見が不足しており、別途個票で整理する方針が示された。**

  - ✧ **再処理への影響**： Cr が硝酸溶液中に移行した場合、その量によっては後続の再処理工程に影響する可能性があるとの意見があった。
  - ✧ **乾式貯蔵への影響**： Cr コーティングの剥離が乾式貯蔵の安全要件に直接影響する可能性は低いとの意見があった。
  - ✧ **長期健全性に関する懸念**： Cr コーティングの剥離部や界面における局所的な水素化物析出、水素再配向等により、被覆管の脆化や貫通割れが生

じ、ハンドリング時や落下事故時の破損につながる可能性が議論された。ただし、これらの現象については現時点で十分なデータがなく、影響は不明であるとの説明があった。

- **（PIRT 拡張ⅠD13.07） Cr の放射化については、燃料自体の挙動を対象とする現行 PIRT には含めず、「波及影響」として別途個票で整理する方針が示され、了承された。**

  - Cr の放射化について、「Cr／安定性／通常運転時」に分類し、溶解度や溶出性等を評価項目とする提案があった。これに対し、MHI より、現行 PIRT は燃料自体の挙動に着目して整理していることから、Cr の放射化については「波及影響」に分類し、別途個票で整理する方針が説明され、コメント提出者側から了承された。

- **（PIRT 拡張ⅠD16.01,16.03）Cr コーティングによる SA 時の水素発生抑制効果や Zr/Cr 共晶反応等について議論し、DBA までを対象とする現行 PIRT とは別に、SA/DEC における安全性や規制対応に必要な知見を個票で整理する重要性が指摘された。**

  - **Cr の放射水素発生抑制効果**： Cr コーティングにより水素発生の開始温度が高温側に移行するとの試験知見が紹介された。一方、高温条件では Cr 皮膜の酸化・拡散や Zr/Cr 共晶反応によって皮膜が消失し、水素発生抑制効果が失われる可能性があり、その時期や条件については十分な知見が得られていないとの説明があった。
  - **SA 時の事故進展への影響**： Cr コーティングによって事故進展までの猶予時間（グレースピリオド）を確保できる可能性があるものの、高温条件での効果には限界があり、水素発生量や発生タイミングへの影響を把握することが重要との議論があった。
  - **規制対応の観点**： 実用化に向けて DBA までの安全性を優先的に検討する方針は理解できる一方、許認可では重大事故等対策の有効性評価や格納容器破損防止対策の評価も必要となるため、SA/DEC 条件においても従来燃料と同等以上の安全性を説明できる知見の整理が重要との指摘があった。
  - **今後の整理方針**： 事務局より、SA/DEC に関する個票の内容や整理方法について、事務局内で引き続き検討する旨説明があった。

- **（PIRT 拡張ⅠD23.10）Cr コーティング燃料の輸送時の健全性について、Cr 皮膜の割れ・剥離に対する許容条件や輸送時の加速度制限値の妥当性を確認する必要性が指摘され、想定される損傷モード、評価条件及び必要な試験等を具体化して個票に整理することが重要との認識が示された。**

  - ✧ **使用前検査及び輸送時の管理**： 現行制度では、燃料製造時に使用前事業者検査を実施し、発電所到着後には自主検査として受入検査を実施しているとの説明があった。また、新燃料輸送時には加速度計を用い、燃料に応じて 4G 又は 6G を制限値として管理しているとの説明があった。
  - ✧ **Cr 皮膜の健全性評価**： 従来燃料の輸送時加速度制限値を Cr コーティング燃料にも適用できるかについて、検討が必要との指摘があった。特に、燃料集合体全体の健全性だけでなく、グリッドスペーサーによる拘束部等を含め、輸送時の振動・衝撃によって Cr 皮膜に割れや剥離が生じないことを確認する必要性が指摘された。
  - ✧ **品質保証及び許容欠陥の考え方**： Cr 皮膜の損傷を許容しない設計とするか、一定の損傷が生じても従来燃料と同等以上の性能を確保できることを示すかによって、必要な品質保証や輸送時の管理条件が異なるとの意見があった。このため、皮膜の許容損傷範囲や製品仕様、輸送条件等を明確化することが重要との認識が示された。
  - ✧ **皮膜欠陥による腐食への影響**： Cr 皮膜の割れ・剥離によって Zr 合金が露出した場合、局所的な腐食やガルバニック腐食が生じる可能性について議論があった。事業者より、あらかじめ亀裂等の損傷を与えた試験片を用いた炉外腐食試験では、現時点で特異な腐食挙動は認められていないとの説明があり、今後も欠陥の影響を確認していく旨説明があった。
  - ✧ **今後の検討課題**： 単に個票で整理するだけでなく、想定される損傷モード、発生条件、Cr コーティングの影響、確認に必要な試験及び評価方法を具体的に記載し、今後の研究課題の抽出につなげることが重要との指摘があった。これに対し、事務局より、今回の議論を踏まえて個票の内容を整理し、改めて議論したいとの説明があった。

- **（PIRT 拡張ⅠD23.11）Cr コーティング被覆管の乾式中間貯蔵時の健全性について、現行の貯蔵条件では影響は小さいと考えられる一方、水素吸収抑制による貯蔵条件の緩和や使用済燃料プールでの保管期間短縮といった利点も含め、個票で整理する重要性が指摘された。**

- ✧ **乾式貯蔵時の健全性**： 長期貯蔵中の温度低下に伴い、Cr 皮膜が脆性温度域に入ることで、残留応力や水素化物再配向等と重畳して皮膜の割れ・剥離や被覆管の貫通亀裂につながる可能性が指摘された。一方、MHI より、現行の乾式貯蔵では被覆管の周方向応力を 100 MPa 程度以下に抑える考え方が採られており、機械的負荷は小さいとの説明があった。
- ✧ **現行の貯蔵条件**： 温度や応力の具体的な制限値が規制上明記されているわけではなく、既往の試験結果に基づき、水素化物再配向や機械的性質の低下が生じない範囲で貯蔵条件が設定されているとの補足があった。これを踏まえ、現行の貯蔵条件では Cr コーティングによる悪影響は生じにくいと考えられるとの認識が示された。
- ✧ **長期貯蔵に関する課題**： Cr 皮膜の欠陥等による予期しない影響や、さらに長期間の貯蔵における健全性については知見が十分ではなく、クリープ変形等も含めて潜在的な課題を整理することが重要との意見があった。
- ✧ **Cr コーティングの利点**： Cr コーティングによる腐食・水素吸収の抑制は、水素化物再配向に伴う脆化リスクの低減につながり、乾式貯蔵条件の緩和や使用済燃料プールでの保管期間短縮に寄与する可能性があるとの意見があった。一方、照射脆化の影響等については知見が不足しており、定量的な評価が必要との指摘があった。
- ✧ **今後の整理方針**： 現行の貯蔵条件に対する適合性だけでなく、Cr コーティングの導入によって期待される安全上・運用上の利点についても、今後の検討課題として整理することが重要との認識が示された。

- ➢ **（PIRT 拡張ＩＤ23.12）Cr コーティングが再処理工程に及ぼす影響について、必要に応じて再処理前に Cr 皮膜を化学的に除去する前処理の可能性も含め、Cr の溶解性等に関する知見を拡充し、別途個票で整理する方針が示された。**

  - ✧ 事務局より、Cr 皮膜の化学的溶解性等を踏まえ、再処理工程への影響を評価するための知見を拡充するとともに、現行 PIRT とは別に個票で整理する方針が説明された。
  - ✧ また、Cr 皮膜が既存の再処理工程に影響する場合には、再処理前に Cr 皮膜を化学的に除去する前処理工程を追加する可能性について意見があった。これに対し、事務局より、当該事項について確認する旨説明があった。

- ➢ **（PI 説明見直しＩＤ25.02）Cr 皮膜の欠陥による局所的なクリープ変形や酸化・脆化への影響について、基本的には Zr 基材と同程度の性能までの低下と**

考えられるものの、知見が十分でないため、今後の知見の蓄積に応じて記載を見直す方針が了承された。

- ✧ Cr 皮膜の割れ・剥離等の欠陥部における局所的なクリープ変形や酸化・脆化について、「進む可能性がある」という記載を「Zr 基材と同等の性能まで低下する可能性がある」とする方が適切ではないかとの意見があった。
- ✧ これに対し、事務局より、現状では Cr 皮膜の欠陥による性能低下は基本的に Zr 基材と同程度までと考えているものの、それを下回る可能性も含めて十分な知見が得られていないことから、今後の知見の蓄積に応じて記載を見直す方針が説明され、異論はなかった。

(3) PIRT に関する意見募集の分類分けの説明

- ➢ 第 2 回及び第 3 回 SWG でのコメントを踏まえた評価項目の技術分野の分類結果について説明があった。時間の都合上、会合中の詳細な確認は行わず、後日、事務局からアンケートフォームを送付し、参加者に確認を依頼することとした。

  - ✧ **技術分野の分類の確認**： これまでの議論では DBA を中心に検討してきたことから、多くの評価項目が DBA に分類されている。参加者には、各評価項目の技術分野の分類が適切か、また追加すべき項目がないかについて確認を依頼することとした。回答期間は 1～2 週間程度を想定する。
  - ✧ **今後の議論の進め方**： 第 5 回以降の SWG では、DBA に分類された評価項目を中心にランキングテーブルの議論を進める方針であり、その前段階として、今回の分類結果の妥当性を確認することとした。
  - ✧ **専門家の参加**： 事務局より、再処理等に関する議論を充実させるため、原子力学会の核燃料部会及び再処理・リサイクル部会に参加を呼び掛け、新たに専門家が SWG に参加することとなった旨報告があった。今後、再処理分野等について専門的な観点から意見をいただくことが期待される。

(4) 第 3 回 ATF-PF 全体会合での中間報告案に関する議論

- 事務局より、9 月 15 日に開催予定の第 3 回 ATF プラットフォーム全体会合における Cr-Zry SWG の中間報告案について説明があった。

  - ✧ **第 3 回全体会合での中間報告**： Cr-Zry SWG の活動概要、DBA までを対象とした PIRT の検討方針、これまでの主な議論、コメント及び回答案の整理状況、修正版 PIRT 等を報告する方針が示された。報告資料には、今回の第 4 回 SWG での議論概要を追加することとした。
  - ✧ **ランキングテーブル（RT）の取り扱い**： 現時点では RT の具体的な検討に着手していないため、中間報告案にその内容が含まれていないとの指摘があった。これを受け、今後の RT の検討方針について報告資料を補強する必要性が示された。
  - ✧ **最終報告の取りまとめ方針**： 今年度末の第 4 回全体会合では、各 SWG の検討状況を踏まえ、コメント整理表、修正版 PIRT 及び主な議論の整理結果等を中心に、最終報告の概要を提示する方針が説明された。可能であれば、議論内容を文章化した JAEA レポートのドラフト案も参考資料として提示したいとの説明があった。また、JAEA レポートについては、2027 年度第 1 四半期を目途にドラフトをブラッシュアップし、関係者による確認を経て、同年度の夏から秋頃の発刊を目指す構想が示された。ただし、具体的なスケジュールは今後 JAEA 内で調整する必要があるとの説明があった。

(5) 今後の進め方とまとめ

- 事務局より、第 5 回以降の Cr-Zry SWG では、現行の LOCA 基準の制定経緯や燃料安全評価に関する勉強会を実施し、関連する知見を共有した上で、ランキングテーブル（RT）の検討を進める方針が説明された。

  - ✧ **第 5 回以降の進め方**： LOCA 基準については JAEA、燃料安全評価については MHI から話題提供を行い、Cr コーティング材に関する既存の試験データや知見を確認した上で、不足する知見や今後必要となる研究課題について議論する方針が示された。第 6 回までの間に、事務局が用意するフォームを通じて参加者の意見を集約することとした。

- ✧ **ランキングの評価視点**： 重要度の判断は、電力、規制、メーカー、大学等の立場や、実用化、規制対応、基礎研究等の目的によって異なるとの指摘があった。このため、評価視点をあらかじめ一律に限定せず、各参加者が自身の評価視点と判断理由を明確にした上でランク付けを行い、必要に応じて異なる評価結果を併記することが重要との認識が示された。
- ✧ **影響レベルと知識レベルの区別**： 安全性等への影響の重要度と、関連する知見の十分性は異なる指標であり、知見が不足していることが必ずしも重要度の高さを意味するわけではないとの指摘があった。両者を区別して評価し、後から評価結果を参照する際にも、その判断根拠が分かるように整理する必要性が確認された。
- ✧ **評価方法及び意見集約**： 現行 PIRT に記載された MHI のランク付けを参考案として提示しつつ、参加者が先入観なく独自に評価できるようにする方針が示された。評価は高中低の 3 段階を基本とし、専門外等で判断できない項目については「評価せず」の選択肢を設けることが提案された。また、評価結果に相違がある項目については、その根拠を含めて議論することが想定された。
- ✧ **今後の対応**： 事務局にて、評価視点や判断理由を記載できる意見募集フォームを検討することとした。また、第 5 回 SWG の開催日程については、9 月 15 日の ATF プラットフォーム全体会合との関係も踏まえ、事務局で調整の上、参加者に連絡する旨説明があった。

以上