

IAEA/TWGFPTの 活動状況について

平成21年6月16日

独立行政法人 原子力安全基盤機構 (JNES)
原子力システム安全部
上村 勝一郎

内容

1. TWGFPTの概要
2. 燃料破損レビュー
3. 被覆管外面からの破損
4. まとめ
5. 参考文献

1. TWGFPTの概要

概要

TWGFPT: TECHNICAL WORKING GROUP ON WATER REACTOR FUEL PERFORMANCE AND TECHNOLOGY

: 水炉燃料の挙動と技術に関するワーキンググループ

1976年に設立されたIAEA 枠内の常設のWGであり、水炉燃料の設計・製造、挙動、安全性研究、解析等幅広い分野において、情報交換、技術移転、国際協力研究、出版などを行ってきた。

TWGFPTは毎年総会が開催され、参加各国からの原子力の状況報告は、1年おきに行われる。

1. TWGFPTの概要

参加メンバー

26ヶ国

ARGENTINA、BELGIUM、BRAZIL、BULGARIA、CANADA、PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA、CZECH REPUBLIC、EGYPT、FINLAND、FRANCE、GERMANY、INDIA、ITALY、JAPAN、REPUBLIC OF KOREA、THE NETHERLANDS、NORWAY、ROMANIA、RUSSIAN FEDERATION、SLOVAKIA、SPAIN、SWEDEN、SWITZERLAND、UNITED KINGDOM、UKRAINE、USA

3国際機関

EC: Institute for Transuranium Elements (ITU)

OECD/NEA: Data Bank、Halden Reactor Project

IAEA

1. TWGFPTの概要

目的

- ・水炉燃料の挙動、技術及び使用の領域での世界中の状況を評価し、IAEAの水炉燃料に係る活動を規定し、その実行を支援する。
- ・水炉燃料の領域での情報交換と各国、多国間及び国際プログラムの状況と進展に基づく新技術開発と経験の交換を手助けする。
- ・加盟国に水炉燃料に係る現状の情報、現在と改良燃料の開発傾向の情報を提供する。

1. TWGFPTの概要

活動の対象

燃料、燃料集合体及び関連炉心構成要素(制御棒、一次、二次冷却系等)に関して必要な専門知識に係るトピックスで以下を含む。

設計、エンジニアリング及び挙動モデル

製造: 燃料製造に於ける製造技術

挙動: 通常運転時、過渡時挙動、及び事故時挙動

挙動に関係するジルコニウム合金や他の物質の特性

腐食、水素吸収、放射能移行及び関連水化学

照射済燃料と炉心構成要素の試験

検査、再構成及び修理

燃料使用と管理

MOX 燃料、代替燃料及び新燃料技術と新材料

経済性と他の諸相(環境効果)

品質保証及び品質管理

水炉燃料領域で新たに発生した問題

1. TWGFPTの概要

ワーキンググループの主な機能・活動

- ・原子力エネルギー局の計画策定への助言及び活動実行の支援
- ・各国、多国間及び国際プログラムに基づく水炉燃料の領域での新技術開発と経験の情報交換の促進
- ・IAEA の会議、シンポジウム、顧問会議及び技術ミーティングのトピックスを提案及びその組織の支援
- ・研究、評価及び訓練プログラムの提案に係る助言
- ・経験の評価と国際協力に役立つ適切な問題の特定
- ・新水炉燃料技術領域での二国間及び多国間プログラム及び共同研究プロジェクトの奨励と促進
- ・加盟国への水炉燃料領域での現状情報及び開発傾向の情報の提供
- ・水炉燃料領域でIAEAが出版するレポートの議論及びコメント
- ・OECD/NEAやEC等他機関が主催する国際シンポジウム、会議及び活動の評価及び討議並びにそれらの重複を最小にする提案の作成

1. TWGFPTの概要

ワーキンググループの助言に基づくIAEAの活動

- ・ **Coordinated Research Projects (CRP)**
- ・ **Technical Meetings (TM)**
- ・ **Expert Reviews**
- ・ **Conferences in Cooperation with IAEA**
- ・ **Support to Databases**
- ・ **Support to TC**

1. TWGFPTの概要

Coordinated Research Projects (CRP)
(共同研究プロジェクト)

- トピック的な技術テーマについて参加機関を募集し、IAEAとのバイラテラルな協定を締結し、それらの集合体として遂行する国際プロジェクト
- 現在進行中のCRP
 - ・FUWAC:水化学技術と管理の最適化
 - ・DHC: Zr合金被覆管の遅れ水素破壊研究
 - ・FUMEX-III: 高燃焼度燃料用挙動解析コードのベンチマーク計算
 - ・その他

1. TWGFPTの概要

Technical Meetings (TM)
(専門家会議)

- トピック的な技術テーマについて各国専門家による発表と討議を主体とした数十名規模の国際会議
- 今後予定しているTM
 - ・水炉用改良燃料ペレット材と燃料棒設計
(2009/11 スイス、PSI)
 - ・水化学と燃料破損を含む被覆管の腐食・水素化・付着
(2010 ウクライナ)
 - ・高速炉燃料の製造と照射挙動 (2011 ロシア)
 - ・LOCA及びRIA条件下における燃料挙動とモデリング
(2011 日本)
- ・その他

1. TWGFPTの概要

Expert Reviews (専門家レビュー)

- ・ノミネートされた数名～10名の各国専門家が、トピック的な技術テーマについて文献、学会、シンポジウム等幅広い情報・知見を収集整理し、数回の作業会を開いて評価を行った結果をIAEAレポートとして本にまとめ印刷発行する。
- ・進行中及び候補となっているテーマ
 - ・Zrブック: Zrベース合金の特性のレビュー (2008年発行予定であったが遅れている)
 - ・燃料破損レビュー: 1994～2006年の13年間の世界の水炉燃料破損実績レビューと破損原因の検討・評価、対策検討等 (2008年にドラフト完成 2009年発行予定)
 - ・燃料設計・製造・調達・取扱に関するQMS、QA/QCガイドブック (2009年からスタートの候補)
 - ・その他

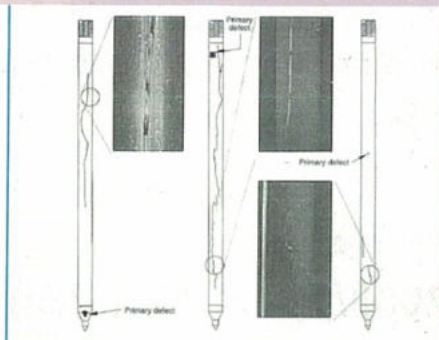
2. 燃料破損レビュー

概要

TRS No.388(1998)



改定



TECHNICAL REPORTS SERIES No. 388

Review of Fuel Failures
in Water Cooled Reactors



INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, 1998

・作業期間: 2007/2～2008/12

・メンバー: 以下の7名

D. Dangouleme(フランス),
V. Inozemtsev (IAEA),
K. Kamimura(日本),
J. Killeen (IAEA),
V. Novikov(ロシア),
V. Onufriev(元IAEA),
M. Tayal(カナダ)

・作業方法:

各国のTWGFPTメンバーにアンケートを送り 燃料破損の統計的情報収集

公開文献等の収集と整理評価

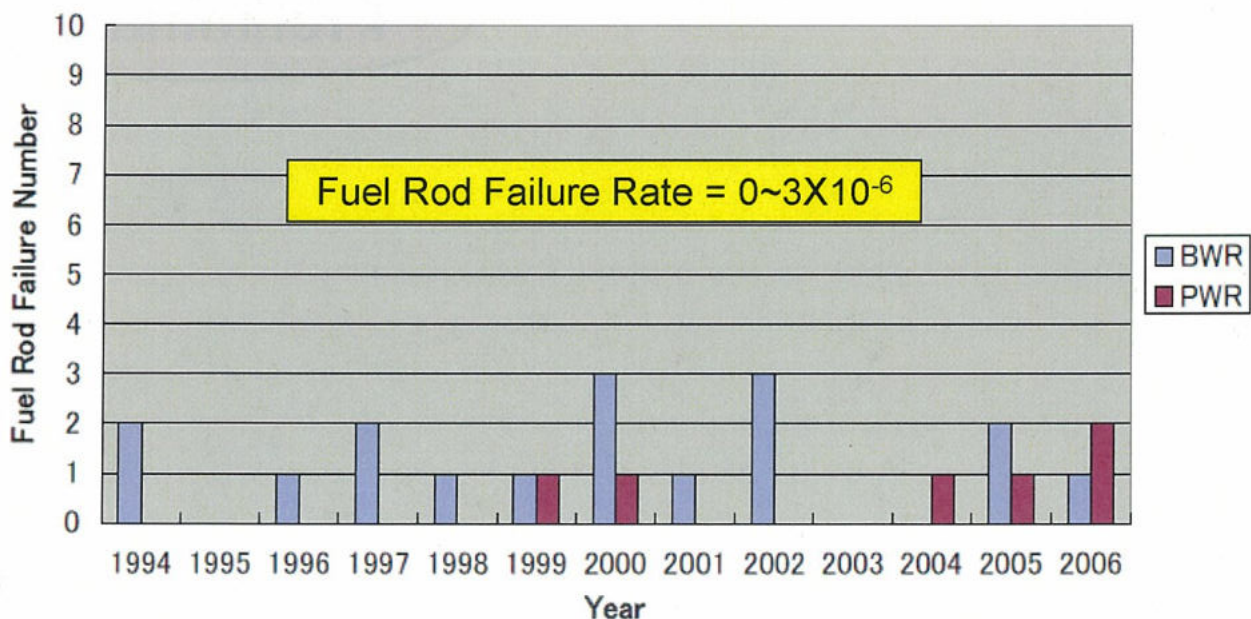
2. 燃料破損レビュー

Review of Fuel Failures in Water Cooled Reactors 目次

- まえがき: 略語一覧
- 第1章: 序
- 第2章: 運転環境の変化
- 第3章: 世界の燃料破損の統計的実態
- 第4章: 燃料破損検出と分析
- 第5章: 燃料破損のメカニズムとその要因
- 第6章: 燃料集合体の損傷
- 第7章: 2次破損
- 第8章: 燃料破損の対策と予防
- 第9章: 結論

2. 燃料破損レビュー

The Number of Fuel Failure in Japan (1994-2006)



2. 燃料破損レビュー

FA Failure Rate in PWRs

Preliminary

2. 燃料破損レビュー

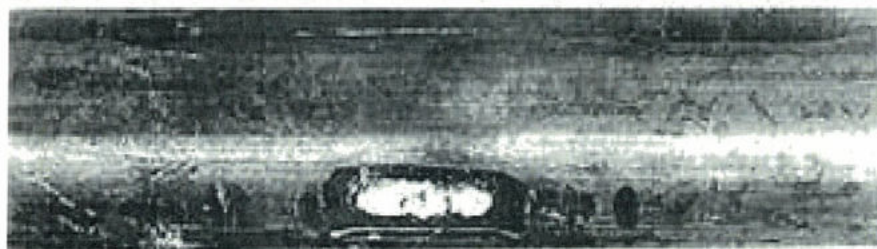
FA Failure Rate in BWRs

Preliminary

2. 燃料破損レビュー

**PWR Fuel Leaker Causes Worldwide
in 1994-2006.****Preliminary**

2. 燃料破損レビュー

**Fretting Defect Induced by Grid to
Cladding Interaction**

BLANC, C., BOURNAY, P., DANGOULEME, D., "FRAGEMA fuel reliability",
LWR Fuel Performance (Proc. Int. Top. Mtg Avignon, 1991), Vol. 1, Société
française d'énergie nucléaire, Paris (1991) 353.

2. 燃料破損レビュー

BWR Fuel Leaker Causes Worldwide
in 1994-2006.

Preliminary

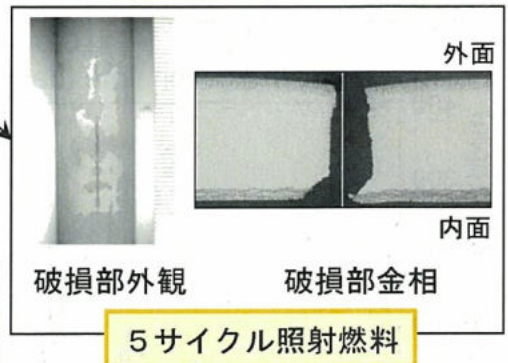
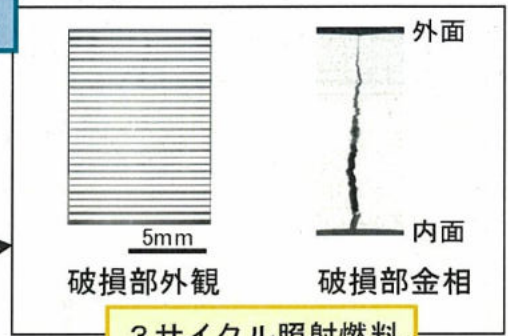
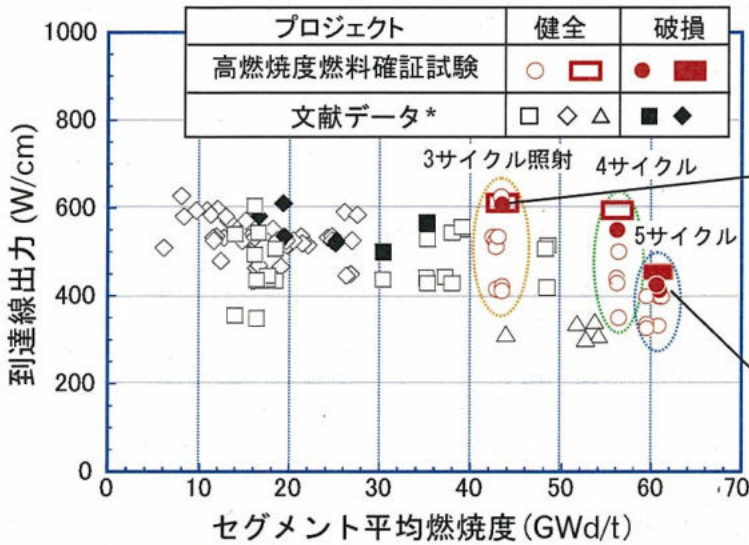
2. 燃料破損レビュー

1994~2006年の破損レビューのまとめ

- ここ10数年間の燃料破損の第1要因は、PWRはグリッド・燃料棒フレットティング、BWRはデブリフレットティングとクラッド腐食である。
- PWRではデブリフレットティングは顕著に少なくなった。
- PCI/SCC破損は、PWRではほとんど無くなったが、BWRではまだ少し生じている。
- 製造欠陥による破損は少ない。
- 日本は依然として燃料破損率が世界で最も小さく、他の諸国より1桁小さい。
- 発電炉で新しいタイプの破損は見られていないが、日本の出力急昇試験で新しいタイプのメカニズムの破損が生じた。

3. 被覆管外面からの破損

BWR燃料の出力急昇試験結果



高燃焼度BWR燃料の出力急昇試験で従来にない破損

- ・軸方向クラックを伴う被覆管外面からの破損
- ・破損出力の低下傾向

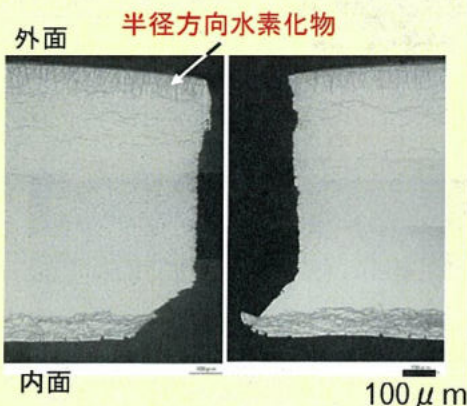
* : H. Ohara, et al., "Fuel Behavior During Power Ramp Tests", Proc. 1994 Int. Topical Mtg. on LWR Fuel Performance, West Palm Beach, FL, (1994).

3. 被覆管外面からの破損

外面割れにより破損したBWR燃料被覆管の金相観察*

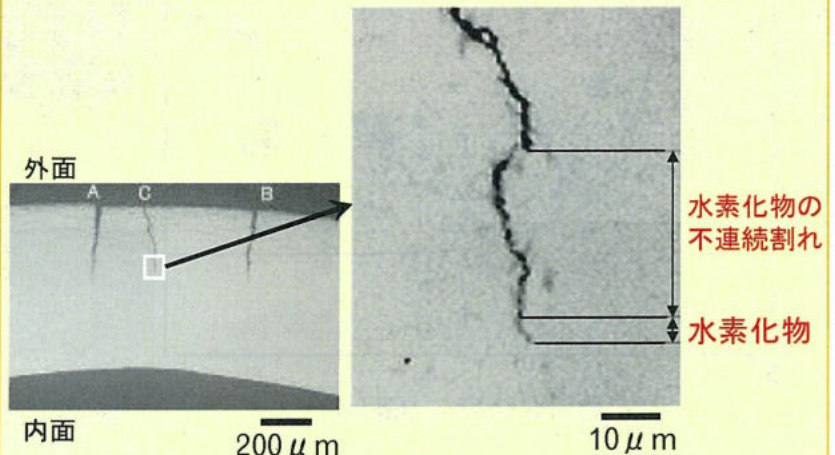
貫通クラック部

(60.8GWd/t、446W/cmで破損)



クラック未貫通部

(61.1GWd/t、421W/cmで破損)

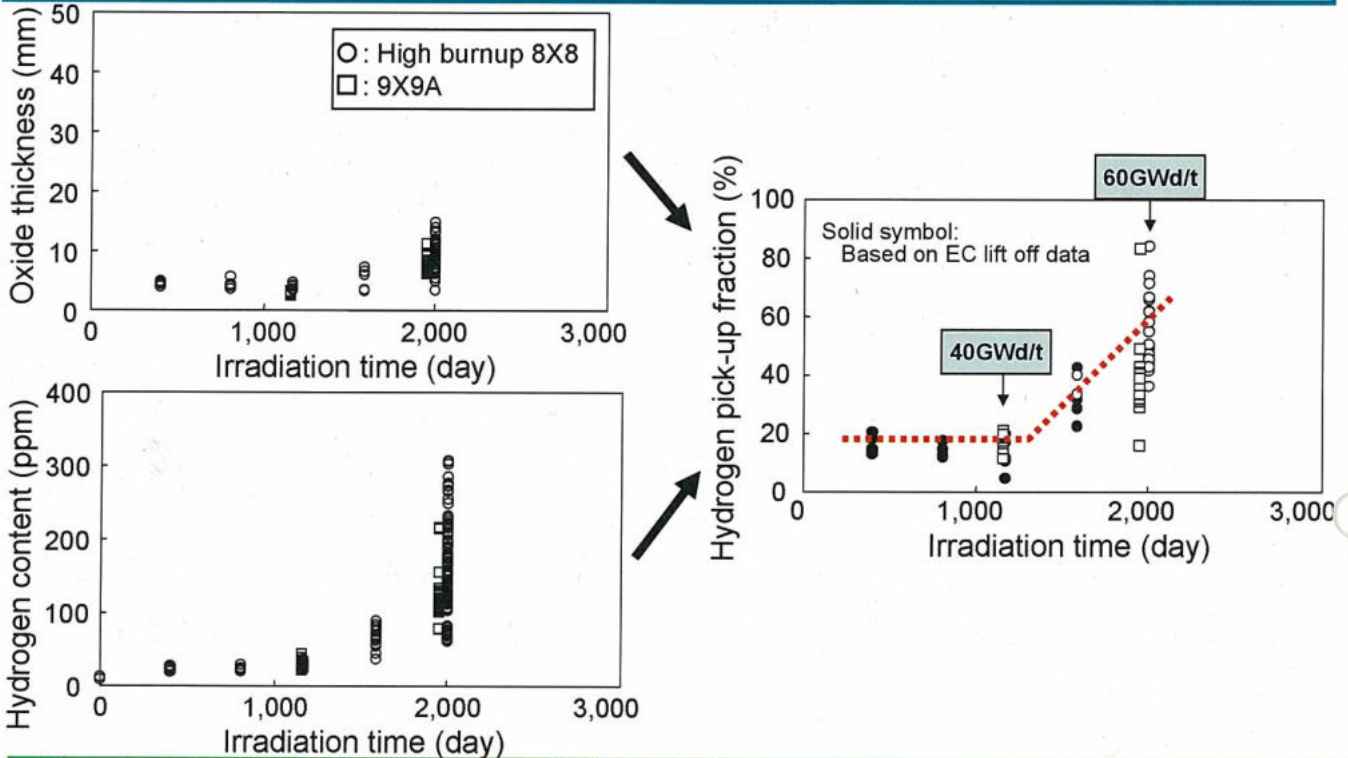


- ・被覆管外面近傍に半径方向に析出した水素化物が集積 (初期クラックの起点)
- ・クラック先端部の水素化物による進展

* : S. Shimada, et al., A Metallographic and Fractographic Study of Outside-in Cracking Caused by Power Ramp Test, J. Nucl. Mater., 327, 97 (2004).

3. 被覆管外面からの破損

Enhanced Hydrogen Uptake at High Burnup (BWR Fuel)



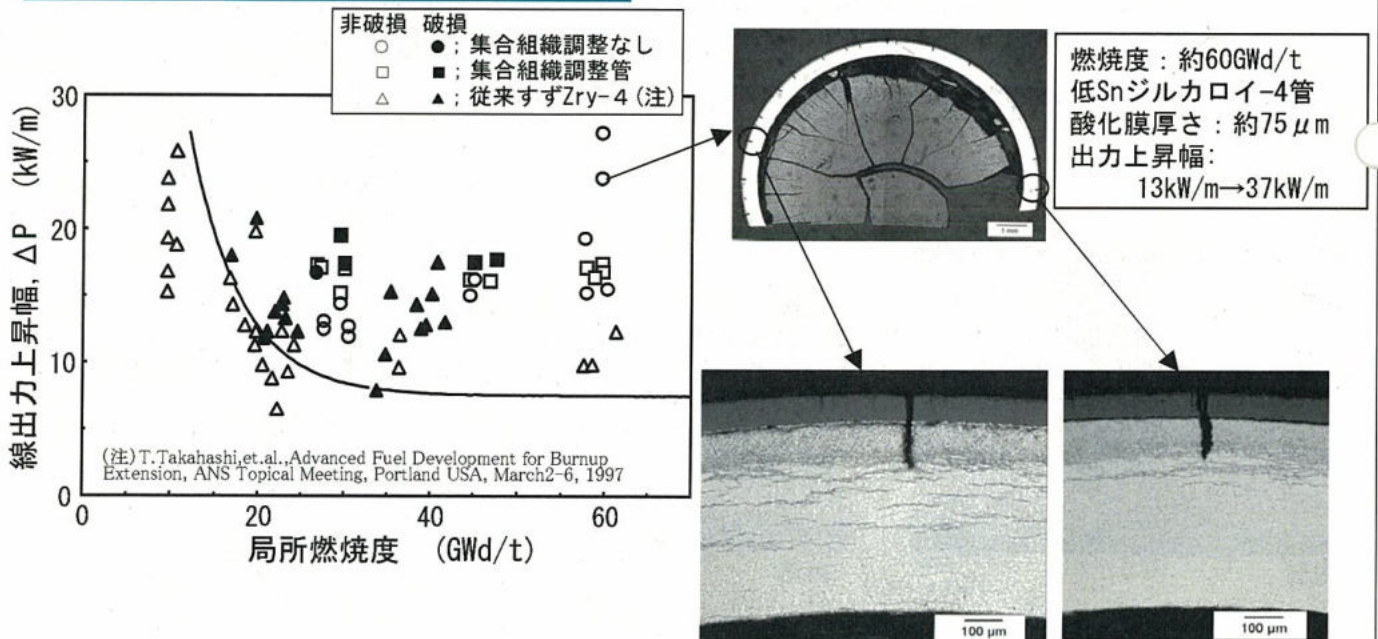
平成21年6月16日原子力学会水化学部会第7回定例研究会 JNES上村

23

3. 被覆管外面からの破損

PWR燃料の出力急昇試験結果

(高燃焼度等燃料安全試験 (NUPEC))



高燃焼度PWR燃料の出力急昇試験では

- ・ 被覆管外周部の水素化物集積領域にクラックが発生
- ・ クラック進展の様子は見られない

平成21年6月16日原子力学会水化学部会第7回定例研究会 JNES上村

24

4. まとめ

- 最近10数年中に実行された、燃料の信頼性向上に通じると思われた、燃料材料、設計、及び品質保証の絶えざる改良によって、ほとんどの国で、破損率は減少してきているものの単調ではなく振動が見られる。(唯一の例外は日本で、安定して非常に低い破損率レベルにある。)
- クラッド付着・腐食による破損は、大量破損の主要因の一つとして重要である。
- 高燃焼度燃料における破損要因として、被覆管、集合体部材の水素脆化・水素化物の影響に留意する必要がある。

5. 参考文献 (クラッド付着・腐食・破損に関係するもの)

- [3.21] YANG, R., OZER, O., ROSENBAUM, H.S., "Current challenges and expectations of high performance fuel for the millennium", LWR Fuel Performance (Proc. Int. Top. Mtg Park City, Utah, 2000), ANS, 2000, 756-765.
- [3.22] KEYS, T.A., LEMONS, J.F, OTTENFELD, C., SCHADT, J., "Fuel corrosion failures in the Browns Ferry nuclear plant", LWR Fuel Performance (Proc. Int. Top. Mtg Orlando, Florida, September 19-22), ANS, 2004, paper 1036, 229-236
- [3.28] TROPASSO, R., WILLSE, J., CHENG, B., "Crud-induced cladding corrosion failures in TMI-1 Cycle 10", see [3.22], Paper 1070, 339-346.
- [3.29] CHENG, Bo, et al, "Water chemistry and fuel performance in LWRs", see [3.21]. 64-80
- [3.31] RUZAUSKAS. E.J., SMITH, D.J., "Fuel failures during cycle 11 at River Bend", LWR Fuel Performance (Proc. Int. Top. Mtg Orlando, Florida, September 19-22), ANS, 2004, paper 1016, 221-228.

