

高燃焼度 BWR 燃料及び PWR-MOX 燃料の反応度事故模擬実験 最近観察された破損限界低下及び破損モード変化の原因特定に向けた検討

RIA-simulated experiments on high-burnup BWR fuel and PWR-MOX fuel

Follow-up study on causes of the recently observed low-enthalpy failure and failure mode change

*三原 武¹, 谷口良徳¹, 秋山佳也¹, 村松靖之¹, 宇佐美浩二¹, 吉田拓矢¹, 宇田川豊¹

¹原子力機構

高燃焼度燃料を対象とした最近の反応度事故 (RIA) 模擬実験で、破損限界の低下や破損形態の変化等、従来と異なる破損挙動が確認された。原因究明のため実施した RIA 模擬実験の結果を報告する。

キーワード : RIA, 軽水炉燃料, NSRR, PCMI 破損, 破裂, 水素化物, 内圧

1. 緒言

添加物入り BWR 燃料及び PWR-MOX 燃料を対象とした最近の RIA 模擬実験において、従来の傾向に比して低い PCMI 破損限界 (OS-1 実験) [1]、及び、従前と異なる、内圧破裂に類似した破損形態 (CN-1 実験) [2] が確認された。OS-1 燃料の低破損限界については被覆管の径方向に配向・成長した水素化物の寄与が疑われており [3]、また CN-1 燃料の破損形態についてはその変化をもたらした原因が明確でない。これらの考察に必要なデータを取得するため RIA 模擬実験を実施した。

2. 実験方法・条件および着眼点

被覆管径方向に配向・成長した水素化物が破損限界の低下に及ぼす影響を調べるため、配向・成長が進んだ高燃焼度 BWR 燃料 (LS-5) を対象とし、また CN-1 実験の破損形態変化の原因究明のため、同一の燃料セグメントから採取した燃料 (CN-2) を対象とし、原子炉安全性研究炉 (NSRR) にてパルス照射実験を実施した (表 1)。CN-2 実験については、CN-1 の破損原因の分析を容易にする観点で試験燃料棒内を 5MPa に加圧するとともに、PCMI 破損をより生じにくい発熱量条件 (CN-1 に比べ 15%程度低い) 及び高温の冷却材条件とした。

3. 結果及び考察

LS-5 燃料は、OS-1 に続き、従来の傾向に比して低い破損限界を示した (図 1)。同燃料の被覆管 (再結晶焼鈍材) 中に観察された、径方向に配向・成長した水素化物は、高燃焼度まで照射されたことで、被覆管がより長い期間 PCMI による周方向応力に晒されて形成したと推測されることから、OS-1 燃料の場合 [3] と同様、このような水素化物の存在が従来に比べ低い破損限界の原因となったと考えられる。CN-2 実験では、CN-1 に続き、膨れを伴った破損形態が観察された。同実験中のオンライン計測では、PCMI 破損時に検出される液相中の圧力波や燃料棒の強い振動が PCMI 発生の予測される時間区間で観測されない一方、PCMI のピークから有意な時間遅れの後に有意な燃料棒の振動が観測された。この特徴に加え、同燃料では実験条件上、CN-1 よりも PCMI 破損を生じにくかったと考えられる点、更に燃料棒内を予加圧していた点を考慮すれば、CN-2 燃料で生じた破損は、高い燃料棒内圧が駆動力となった可能性が高い。現在までに得られている試験後 CN-2 燃料のマクロ外観観察結果を見ると CN-2 燃料と CN-1 燃料の破損形態が非常に類似していることから、CN-1 実験で観察された破損も燃料棒内圧に起因する破裂であったと考えられる。本研究は原子力規制庁の令和 2 年度及び令和 3 年度原子力施設等防災対策等委託費 (燃料破損に関する規制高度化研究) 事業として行われたものである。

参考文献 [1] Mihara T. et al., TopFuel2019, 544–550. [2] Taniguchi Y. et al., TopFuel2019, 551–558. [3] Udagawa Y. et al., ANE 139 (2020) 107268.

*Takeshi Mihara¹, Yoshinori Taniguchi¹, Yoshiya Akiyama¹, Yasuyuki Muramatsu¹, Koji Usami¹, Takuya Yoshida¹ and Yutaka Udagawa¹, ¹Japan Atomic Energy Agency

表 1 実験対象燃料及び実験条件

実験 ID	LS-5	CN-2
燃料タイプ	BWR 10×10 型	PWR 17×17 型
	UO ₂	MOX
被覆管材料	ジルカロイ-2	M5
燃焼度[GWd/t]	91	64
被覆管酸化膜厚さ[μm]	69	9.4
被覆管水素濃度[wtppm]	718	約 80*
冷却水温度[°C]	16	262–282
冷却水圧力[MPa]	0.1	6.8
室温時燃料内圧[MPa]	約 0.1	約 5
ピーク燃料エンタルピー増分[J/g]	314	560

*解析による推定値

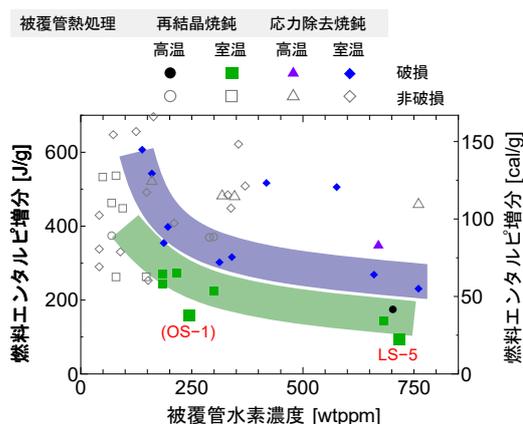


図 1 被覆管水素濃度により整理した PCMI 破損時燃料エンタルピー増分と LS-5 燃料の破損限界