高燃焼度燃料の反応度事故時破損挙動に関する研究 PWR-MOX 燃料で観察された破損モード変化の分析と発生条件の解析

FWR-MUA 燃料で観奈された吸食で一下変化の方例と光エ末件の解例

Study on the failure behavior of high-burnup fuels under reactivity initiated accident conditions

Analyses of the failure mode change observed on a PWR-MOX fuel and its occurrence condition

*谷口 良徳 ', 三原 武 ', 垣内 一雄 ', 袴塚 駿 ', 吉田 拓矢 ', 宇田川 豊 '

1原子力機構

高燃焼度 MOX 燃料を対象とした最近の反応度事故(RIA) 模擬実験で、従来見られなかった高温破裂の発生 が確認された。解析から、応力絶対値とひずみ硬化率の比が破裂発生予測の指標として有効と考えられた。 キーワード: RIA, 軽水炉燃料, MOX 燃料, NSRR, 高温破裂, 燃料挙動解析コード, RANNS

1. 緒言

高燃焼度 M5TM 被覆 PWR-MOX 燃料を対象と した最近の RIA 模擬実験(CN-1 実験)[1]にお いて、高燃焼度燃料で支配的な破損モードとし て知られるペレットー被覆管機械的相互作用

(PCMI)とは異なる破損モードが観察された。 外観上の特徴から、高温破裂が生じたと考えら れている。この破損モード変化の分析及び発生 条件の特定に向け、事故時燃料挙動解析コード RANNSを用いて RIA 供試燃料の高温時挙動を 調べた。

2. 解析方法及び条件

照射済燃料を供した RIA 模擬実験のうち、非 破損ケースではあったものの、高温破裂に近い 条件に達していたと考えられた TK-1[2]及び

衣」	1:	CN-I	TK-I,	BZ-3	美颖 結果 0	しまと	: Ø[I	, 2

実験 ID	CN-1	TK-1	BZ-3		
歴史ロノー	PWR 17×17型PWR 17×17型PWR 14×14型				
<u>旅航社</u> クイノ	MOX	UO_2	MOX		
被覆管材料	$M5^{TM}$	Zry-4	Zry-4		
燃焼度 [GWd/tU]	64	38	59		
加期必却水冬州	~20 °C	~20 °C	281 °C		
初期印刷小禾件	0.1 MPa	0.1 MPa	6.6 MPa		
ピーク燃料エンタルピ 増分 [J/g]	670	753	528 [*]		
過渡 FP ガス放出率 [%]	未測定	20.0	39.4		
被覆管最大表面温度 [℃]	~790	~590	~830		
破損/非破損	破損	非破損	非破損		

*初期燃料エンタルピ 70 [J/g]

BZ-3 実験[2]を CN-1 実験の比較対象とし(表 1)、RANNS を用いて、高温破裂の発生予測に有効な指標を検討した。CN-1 実験の過渡 FP ガス放出率(FGR)については、より低燃焼度のケースである TK-1 は上回った可能性が高いことから、~20%となるようモデルを調整した。各ケースの被覆管温度については、実験中計測された被覆管最大表面温度(表 1)を概ね再現するよう被覆管表面熱伝達モデルを調整した。

3. 結果及び考察

被覆管温度及び周方向応力をパ ラメータに取る既存の高温破裂 モデル[3]と各実験ケースの解析 値を比較した(図1(a))。実験解 析値は 500 ℃付近で同モデル予 測値を上回り、全ケースが破裂と 判定された上、高温域での CN-1 応力値は非破損ケースと同等か 下回っており、応力ベースのモデ ルは予測に適さない。次に、塑性 不安定状態の発生予測に用いられ





る応力(σ)とひずみ硬化率($d\sigma/d\varepsilon$)の比[4](本解析では相当応力と相当ひずみ硬化率の比)を比較した(図 1(b))ところ、破裂発生の有無に比較的よく対応し、破裂予測の指標として有効と考えられた。同指標によ れば、CN-1 は金属層表面温度約 530 °Cで非破損ケース(TK-1)の最大値を上回っており、破裂発生は同温 度到達時刻以降と考えられた。

本研究は原子力規制庁の令和 4 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] Taniguchi Y. et al., TopFuel2019, p551-558. [2] Udagawa Y. et al., JNST 56-12, p1063-1072 (2019). [3] Hagrman D. L., EGG-CDAP-5379 (1981). [4] 林豊, 塑性と加工 22-244, p425-432 (1981).

*Yoshinori Taniguchi¹, Takeshi Mihara¹, Kazuo Kakiuchi¹, Shun Hakamatsuka¹, Takuya Yoshida¹ and Yutaka Udagawa¹ ¹Japan Atomic Energy Agency