

# 高燃焼度改良型燃料の反応度事故（RIA）及び 冷却材喪失事故（LOCA）条件下における挙動 (5) 高燃焼度改良型燃料の LOCA 時挙動

Behavior of high-burnup advanced fuels under reactivity-initiated accident (RIA) and  
loss-of-coolant accident (LOCA)

(5) Behavior of high-burnup advanced fuel during LOCA

\*成川 隆文<sup>1</sup>, 上原 寛之<sup>1</sup>, 天谷 政樹<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 日本原子力研究開発機構（原子力機構）

85 GWd/t まで照射した高燃焼度改良型燃料被覆管に対し冷却材喪失事故模擬試験を実施し、冷却材喪失事故時及び冷却材喪失事故後の被覆管の破断限界を評価した。その結果、燃焼の進展及び被覆管材質の変更により破断限界は著しく低下することはないと考えられた。

**キーワード：** LOCA, 高燃焼度燃料被覆管, 改良型燃料被覆管, 急冷破断限界, LOCA 後機械強度

## 1. 緒言

原子力機構安全研究センターでは、原子力規制庁からの委託事業として、既存炉の安全性向上を目的に事業者により開発された改良型燃料に対する現行の規制基準の適用性確認、及び今後の規制に必要な技術的根拠となる知見取得のための研究を実施している。その一環として、原子力機構燃料試験施設において高燃焼度改良型燃料被覆管を用いた冷却材喪失事故（LOCA）模擬試験を実施し、燃焼の進展及び被覆管材質の変更が LOCA 時及び LOCA 後の被覆管の破断限界に及ぼす影響を評価した。

## 2. LOCA 模擬試験条件

欧州の加圧水型炉（PWR）及び沸騰水型炉（BWR）において照射された高燃焼度改良型燃料から長さ 190 mm の被覆管を 8 本採取した。表 1 に採取した被覆管の情報を示す。燃料ペレットを取り除いた被覆管にアルミナペレットを装填した後、室温にて 5 MPa のアルゴンガスを封入し試験燃料棒とした。この試験燃料棒を水蒸気中において赤外線イメージ炉を用いて加熱し、1473 K で所定の時間、等温酸化させた（Baker-Just 酸化速度式<sup>[1]</sup>から求められる酸化量は等価被覆酸化量（ECR）にして 20–30%）後に徐冷し、被覆管温度が 973 K に達した時点で下端から注水し冠水させ急冷した。実機の燃料集合体では燃料棒の軸方向収縮が拘束されると想定されるため、急冷時には試験燃料棒の熱収縮を拘束し、540 N を上限とした軸方向拘束力が試験燃料棒に負荷される条件とした。更に、急冷後の被覆管試料に対し室温大気雰囲気条件で 4 点曲げ試験を実施し、最大曲げモーメントを評価した。

## 3. 結果及び考察

図 1 に酸化量と初期水素濃度に関する急冷破断マップを示す。比較のため、非照射ジルカ洛伊-4 被覆管の急冷破断限界<sup>[2]</sup>を点線で示している。同図から、高燃焼度改良型燃料被覆管は非照射ジルカ洛伊-4 被覆管の急冷破断限界に近い酸化条件においても破断しないことが分かる。図 2 に最大曲げモーメントと酸化量の関係を示す。比較のため、非照射ジルカ洛伊-4 被覆管の最大曲げモーメント<sup>[3]</sup>を併せて示している。同図から、高燃焼度改良型燃料被覆管の LOCA 後の破断限界に相当する最大曲げモーメントは非照射ジルカ洛伊-4 被覆管と比較して同等であることが分かる。以上から、LOCA 時及び LOCA 後の被覆管破断限界は通常運転中の水素吸収量の増大に伴い若干低下するものの、85 GWd/t までの燃焼の進展や被覆管材質の変更により著しく低下しないと考えられる。

本研究は原子力規制庁の平成 27–29 年度原子力施設等防災対策等委託費（燃料等安全高度化対策）事業として行われたものである。

## 参考文献

[1] ANL-6548. [2] Nagase F. et al. JNST, 2009; 46: 763–769. [3] Yamato M. et al. JNST, 2014; 51: 1125–1132.

\*Takafumi Narukawa<sup>1</sup>, Hiroyuki Uehara<sup>1</sup> and Masaki Amaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

表 1 LOCA 模擬試験に供した被覆管

| 試験燃料棒番号 | 被覆管材質                   | 局所燃焼度 (GWd/t) | 腐食層厚さ (μm) | 初期水素濃度* (wtppm) |
|---------|-------------------------|---------------|------------|-----------------|
| MMDA1   | M-MDA <sup>TM</sup>     | 81            | 27         | 249             |
| MMDA2   |                         |               |            | 227             |
| LZIR4   | 低スズ ZIRLO <sup>TM</sup> | 80            | 18         | 144             |
| LZIR5   |                         |               |            | 123             |
| LMFI3   | M5 <sup>TM</sup>        | 84            | 10         | 64              |
| LMFI4   |                         |               |            | 63              |
| LZRT3   | Zircaloy-2 (LK3)        | 85            | 39         | 492             |
| LZRT4   |                         |               |            | 73              |

\*通常運転中に被覆管に吸収された水素の濃度

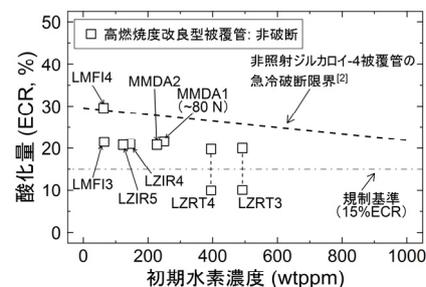


図 1 酸化量と初期水素濃度に関する急冷破断マップ（拘束力上限値：540 N）

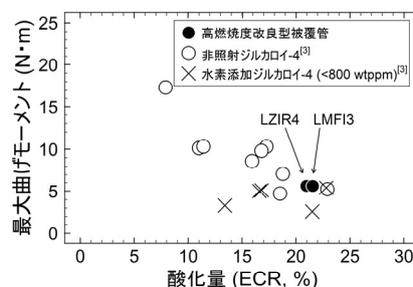


図 2 酸化量と最大曲げモーメントの関係（PWR 被覆管、等温酸化温度：1473 K）