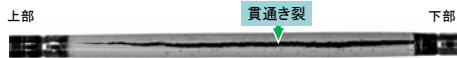
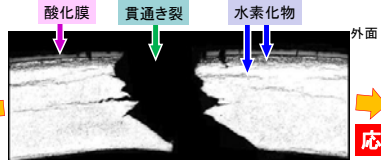


背景

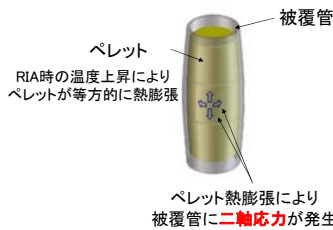
- ・高燃焼度燃料を対象とした反応度事故(RIA)模擬実験時に軸方向き裂の発生を伴う破損例がみられたことから、その破損メカニズム及び破損限界を把握することは、発電用原子炉施設の安全評価において重要である。
- 発電用軽水炉用ジルカロイ燃料被覆管は、その製造時熱処理条件から再結晶焼鈍(RX)材料及び応力除去焼鈍(SR)材料に区別される。PCMI破損限界の評価精度の向上のためには、これらジルカロイ燃料被覆管の二軸応力下での変形挙動及び破損限界に関する機械特性を知ることが必要かつ重要である。
- ジルカロイ燃料被覆管は軸及び周方向にジルコニウムの結晶構造に起因する変形異方性を有すると考えられるが、この異方性と被覆管製造時熱処理条件との関係については殆ど明らかになっていない。



RIA模擬実験後の試験燃料棒外観

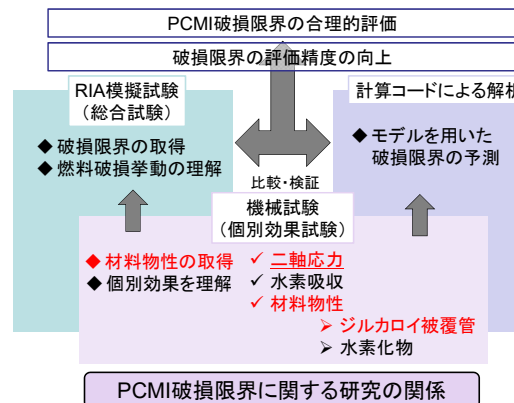


破損部(き裂貫通部)の被覆管の断面



PCMI: Pellet-Cladding Mechanical Interaction

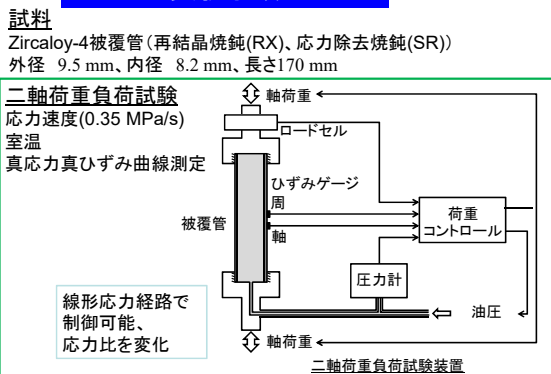
PCMI破損時の応力状態



目的

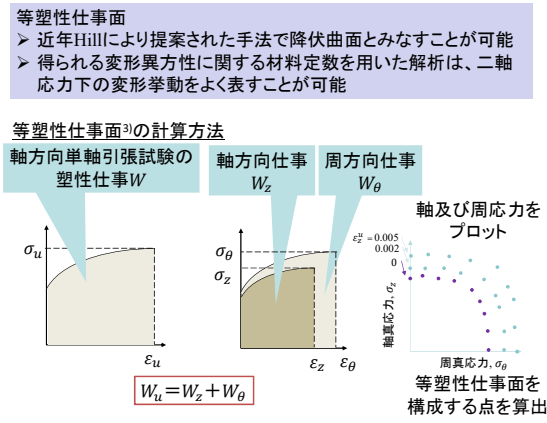
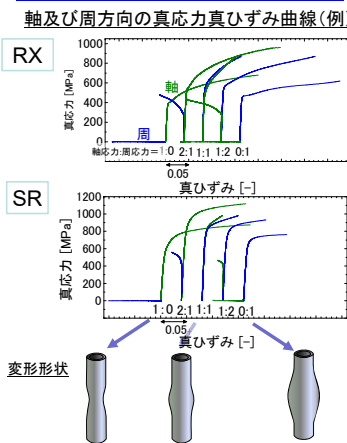
- RIA時のPCMIによる燃料の変形、破損限界の評価に必要なジルカロイ燃料被覆管の変形異方性に関する材料定数の取得
- 二軸応力状態及び被覆管熱処理状態が変形異方性に与える影響を把握

実験手順



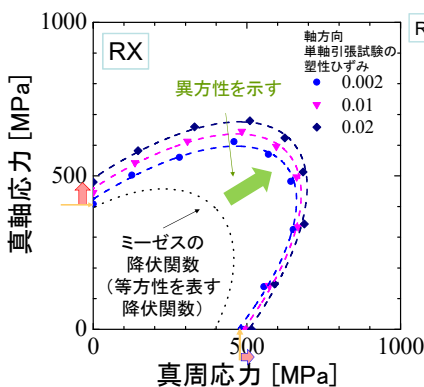
解析
真応力真ひずみ曲線より等塑性仕事面を算出
降伏関数でフィッティング

解析方法



結果及び考察

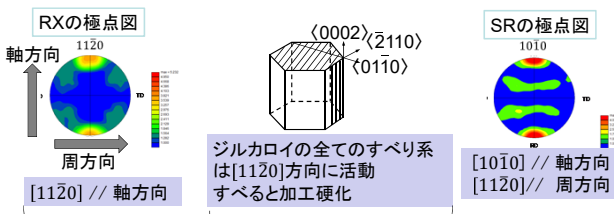
変形異方性を示す材料定数であるHill降伏関数 ($F(\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + G\sigma_z^2 + H\sigma_\theta^2 = f$) の係数をフィッティングにより算出



	ε_0^p [%]	0.002	0.01	0.02		ε_0^p [%]	0.002	0.01	0.02
RX R_a (F/G)		1.69	1.86	1.99	SR R_a (F/G)		2.30	2.29	2.29
RX R_c (F/H)		3.90	2.78	2.40	SR R_c (F/H)		1.30	1.31	1.31

(R_a : 軸方向の変形抵抗, R_c : 周方向の変形抵抗)

集合組織の特徴と機械的性質の異方性の関係



単軸引張試験の0.2%塑性ひずみ時応力は軸方向が周方向より小さい:
変形抵抗 $R_a < R_c$ に対応

変形による応力増加は軸方向は周方向に比べて大きい

RX材料の変形異方性に影響を与える因子:
変形時のすべり

単軸引張試験の0.2%塑性ひずみ時応力は周方向が軸方向より小さい:
変形抵抗 $R_a > R_c$ に対応

変形による応力増加は小さい

SR材料の変形異方性に影響を与える因子:
変形時のすべり及び残留歪み

まとめ

- ・ ジルカロイ燃料被覆管の二軸応力下での変形挙動を定量化し、SR処理した被覆管の変形異方性の材料定数を初めて取得した。また、これらの変形挙動を比較することでRX処理した被覆管には変形時のすべりが、SR処理した被覆管には変形時のすべり及び残留歪みが変形異方性に影響することを明らかにした。
- ・ 得られた異方性係数を分離効果実験及び解析の実施の際に利用することで、破損限界に対する水素吸収等の影響を定量的に評価できることが期待される。

参考文献: 1) T. Mihara et al., J. Nucl. Sci. Tech. DOI: 10.1080/00223131.2017.1383213. 2) T. Fuketa et al., Nucl. Tech. 133 (2001) 50. 3) R. Hill et al., Int. J. Sol. Str., 31 (1994) 2999.

(本研究の一部は、原子力規制庁からの委託事業(燃料等安全高度化対策)で実施したものです。)