



第13回原子力機構報告会

原子炉安全性研究炉NSRRを 用いた安全研究 －改良型軽水炉燃料の事故時限界性能－

平成30年11月13日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
安全研究・防災支援部門 安全研究センター
原子炉安全研究ディビジョン 燃料安全研究グループ
研究副主幹 宇田川 豊

本研究におけるALPS-II試験については原子力規制庁の平成24-29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。

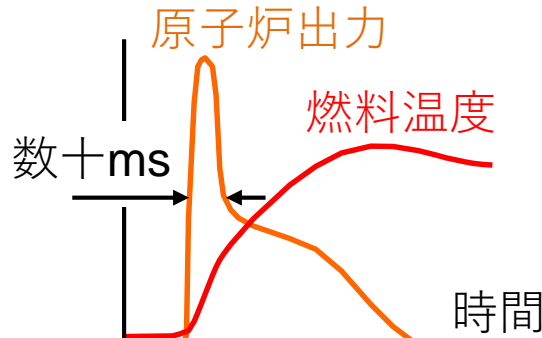
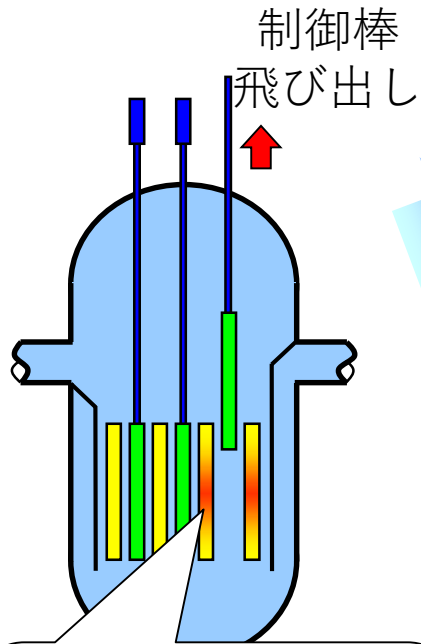
- ✓ 福島第一原子力発電所事故後に策定された新規制基準に対応
- ✓ 6月28日に再稼働（3年半振り）
- ✓ 安全研究専用の原子炉
- ✓ 主な研究対象：反応度事故

✓ 実験の時間 → 約1000分の4秒

→ 反応度事故の時間スケール

- ✓ 事故が起こってから出力暴走自体の回避あるいは緩和のために人為的な措置を講じる時間的猶予は無い → **事故の安全な収束は 燃料設計 に大きく依拠**

事故発生



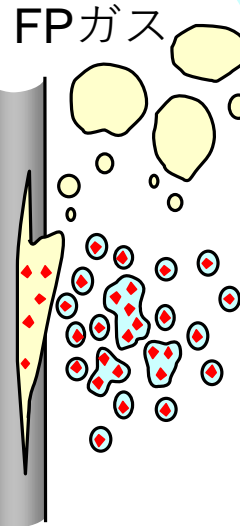
破壊力発生

安全評価

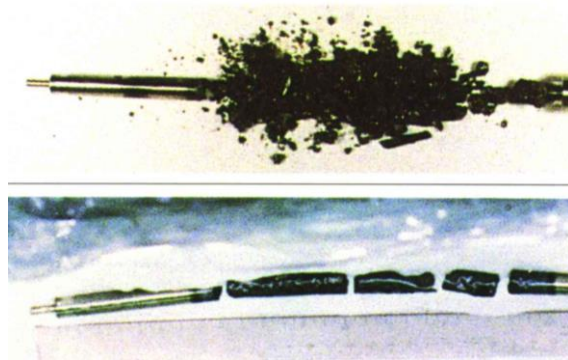
燃料破損

水撃力

衝撃圧力



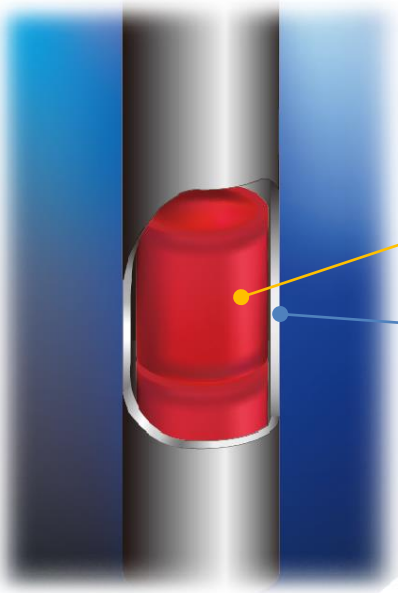
FPガス放出



燃料

ペレット

被覆管



ペレット

被覆管

設計改良

添加物入り

高耐食性

効果

大粒径化

脆化の原因となる
水素吸収低減

ねらい

FPガス放出抑制

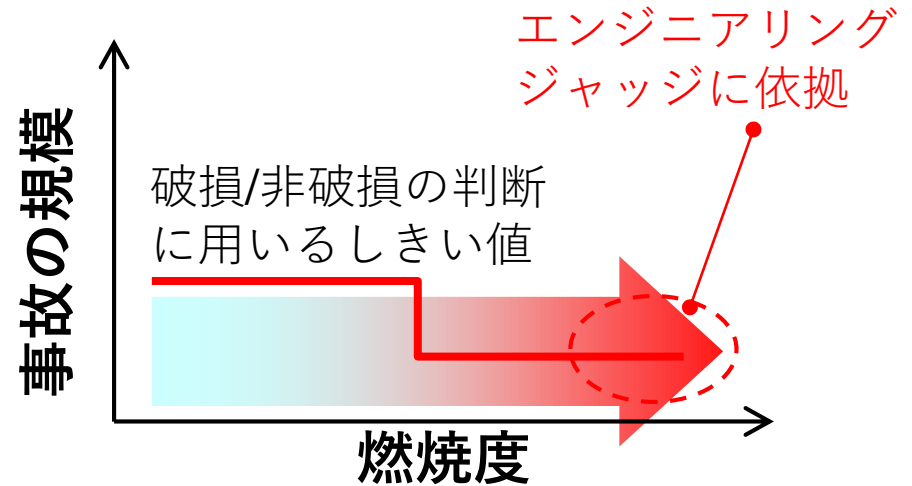
壊れにくい管

燃料設計上の課題

事故条件下で安全性能を発揮するか？

軽水炉への要請と施策

- ✓ ウラン資源の有効利用、経済性向上
 - 燃料の利用期間長期化（高燃焼度化）
 - MOX燃料の利用（プルサーマル）拡大



安全評価上の課題

長期の利用、MOX利用下の事故時安全性を適切に評価できるか？



高燃焼度改良型燃料を対象とした事故模擬試験(ALPS-II)

✓ 本年の再稼働後に4回の実験、これまで計9回の実験を実施

実験ID	燃焼度(GWd/tU)	燃料を構成する材料の特徴
------	-------------	--------------

ペレット

被覆管

実験後の 分析を継続	VA-5	81		M-MDA(SR)	Sn含有 Nb添加
	VA-6	78		M-MDA(RX)	
	VA-7	81		M-MDA(SR)	
	VA-8	78		M-MDA(RX)	
	GR-1	84		M5	
本年度 パルス実験	LS-4	49	添加物入り大粒径		Sn非含有 Nb添加
	OS-1	63	添加物入り大粒径		
	VA-9	80		低スズZIRLO	
	CN-1	64	MOX	M5	

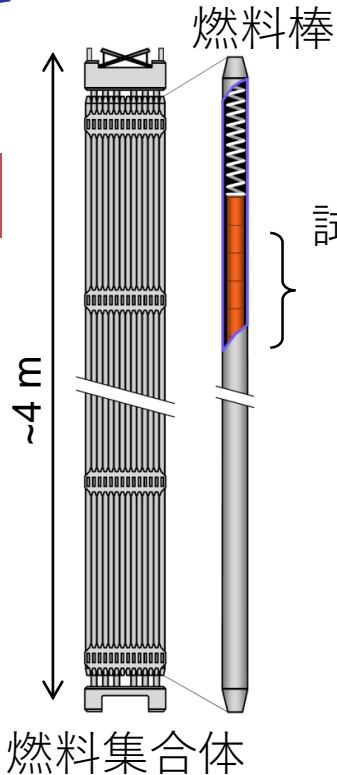
1.改良型燃料の長期に亘る照射

原子力発電所
(欧州)

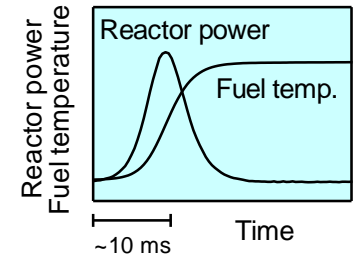
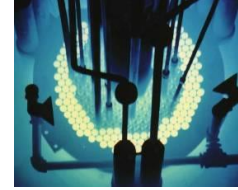


2.海上輸送

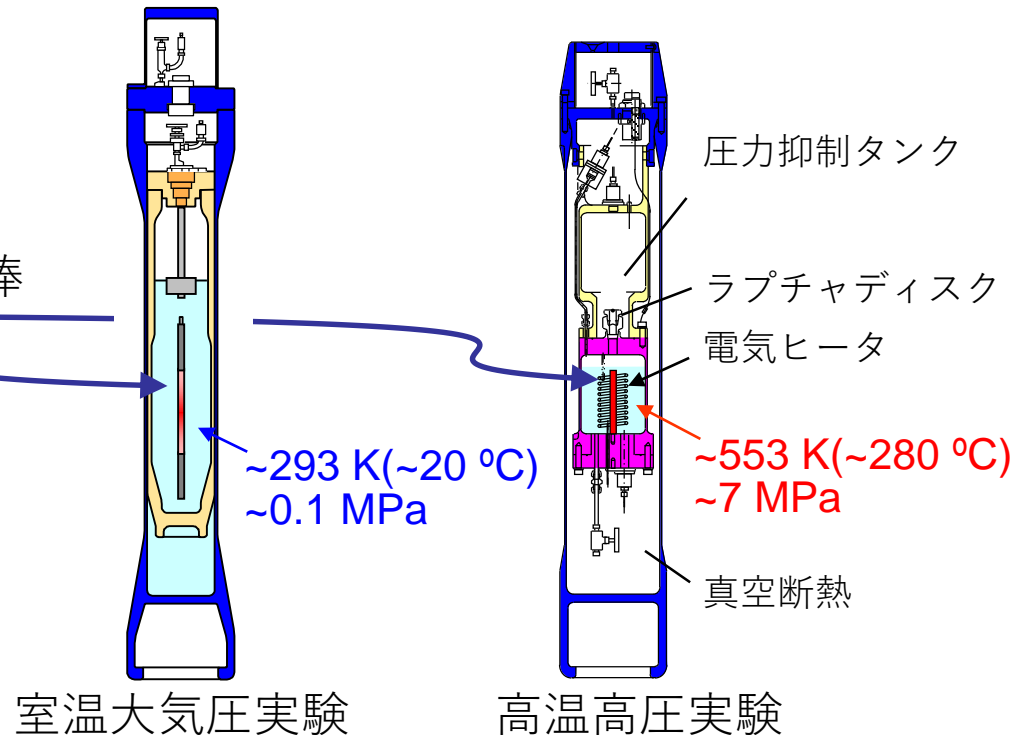
3.短尺加工



5.パルス照射実験



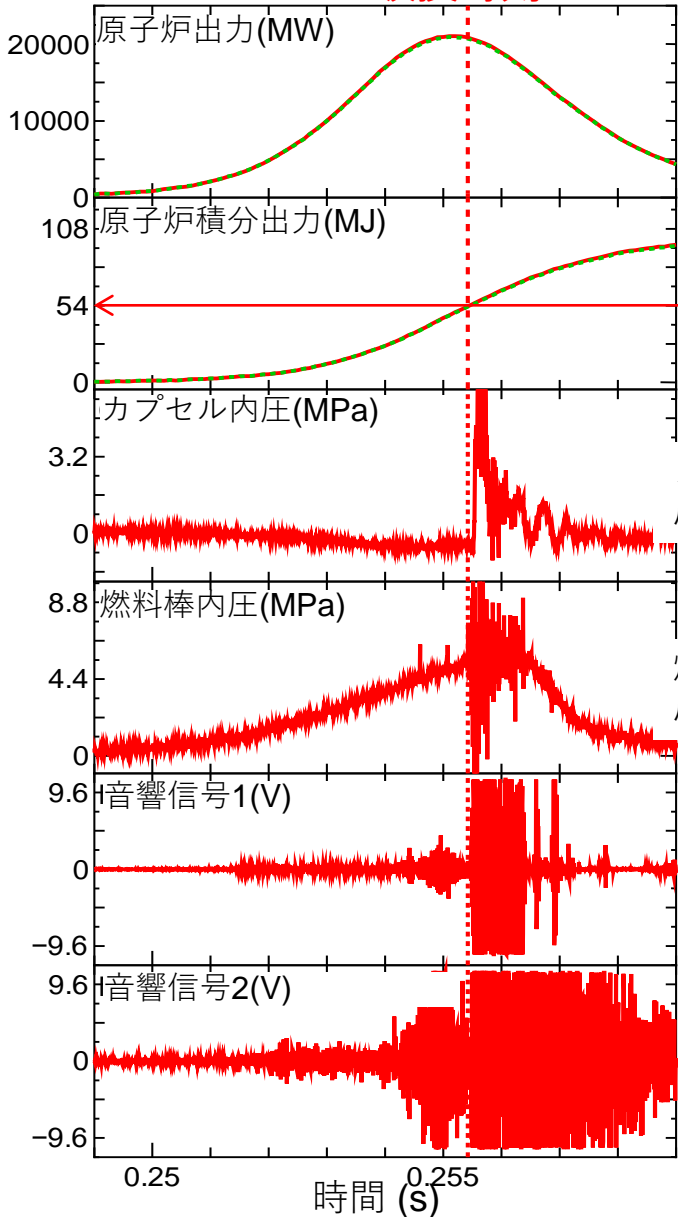
反応度事故を模擬



4.実験カプセルに封入

VA-5実験(M-MDA(SR)被覆燃料)

破損時刻

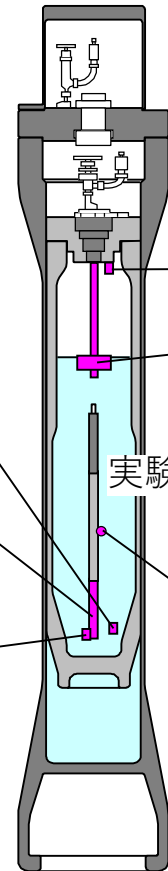


- ・ 圧力センサ及びAEセンサ出力挙動より燃料が破損したと判断。
- 破損時積分出力から、破損時燃料エンタルピ増分を71cal/gと評価。
(+質量分析データ)

カプセル
圧力計

燃料棒
圧力計

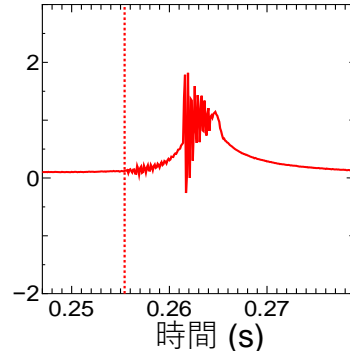
AEセンサ



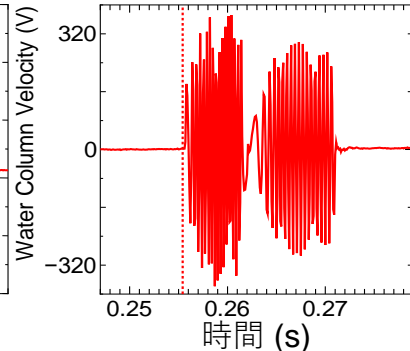
実験燃料棒

被覆管
熱電対
(接触式)

Capsule Pressure #2 (MPa)



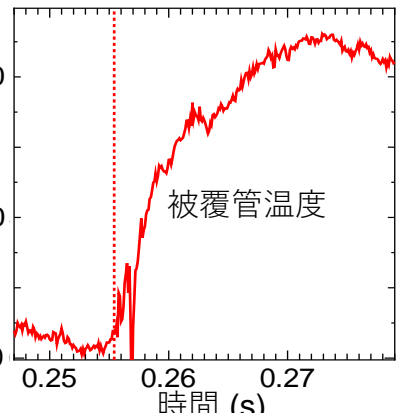
カプセル圧力計



水塊速度計

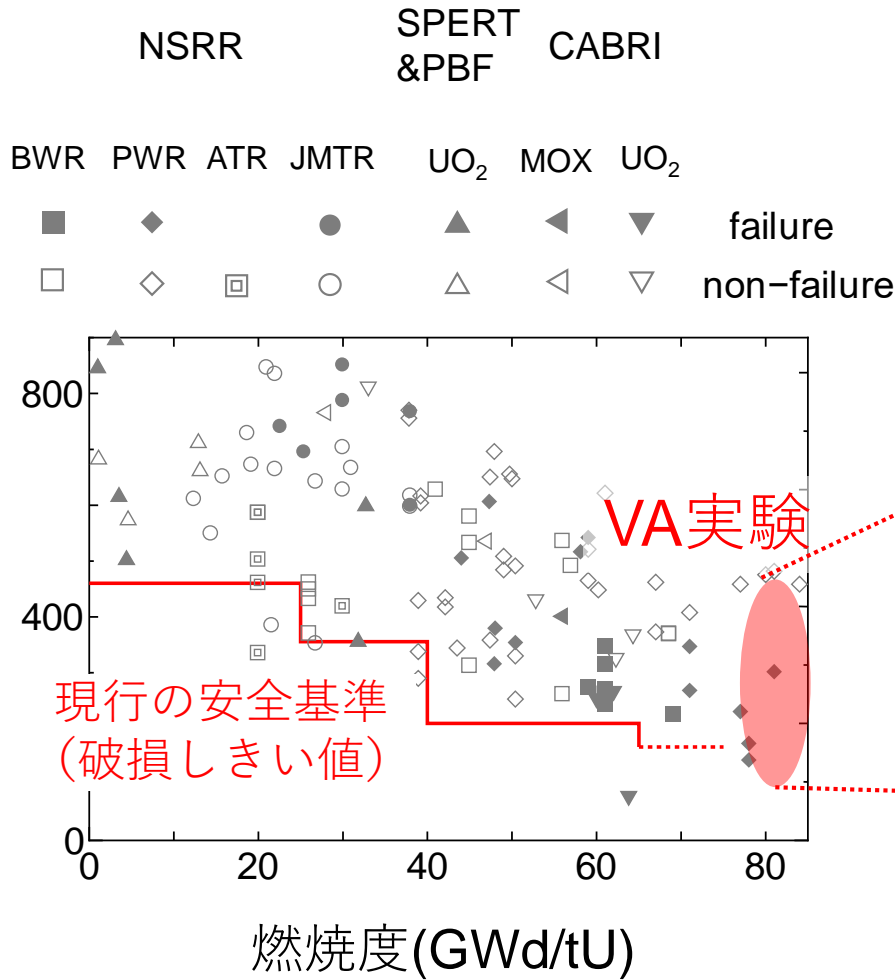
- ・ 気相部圧力センサ及び水塊速度計の出力信号から、水撃力発生を確認。

Clad Temperature #1 (C)

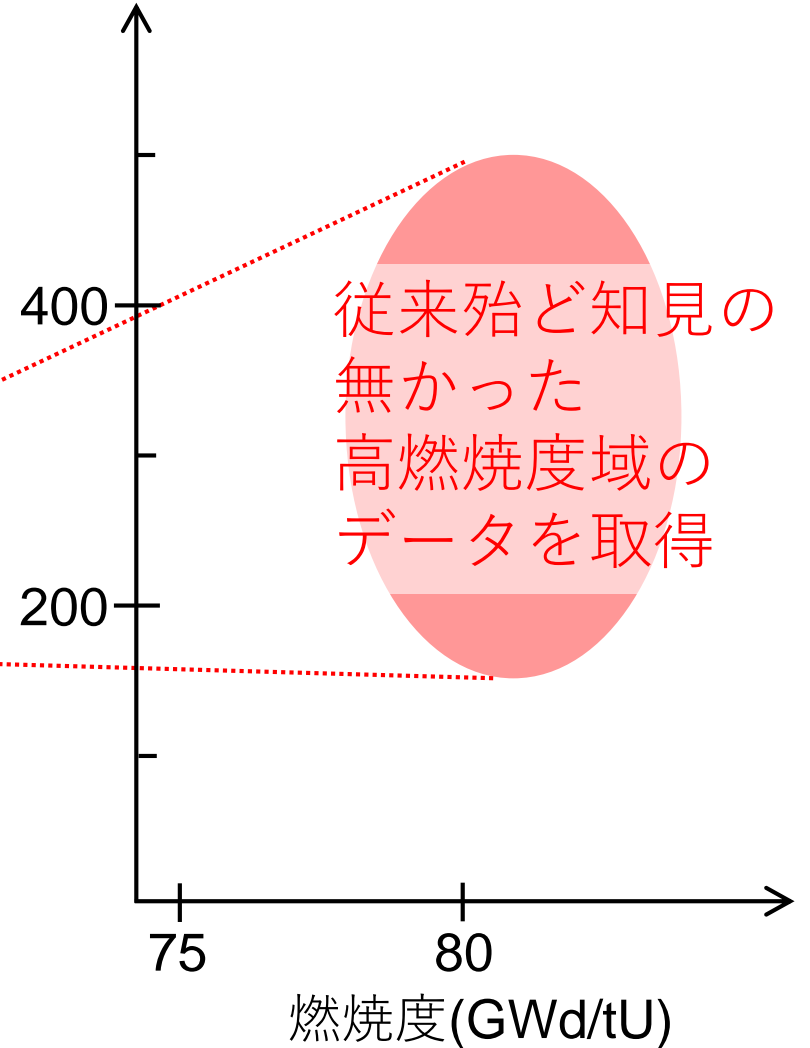


反応度事故
模擬実験炉

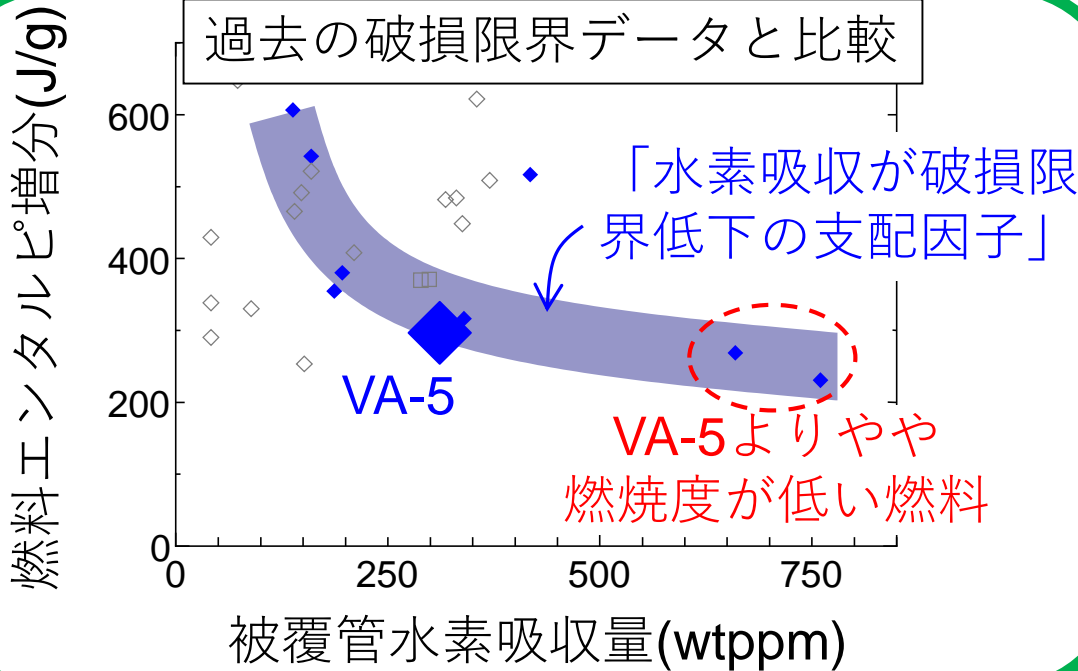
予備照射炉型/
燃料種別



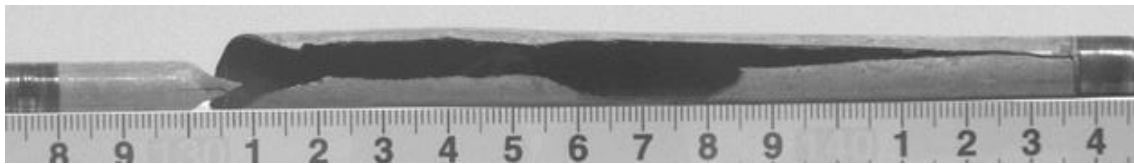
燃料エンタルピ
増分(J/g)



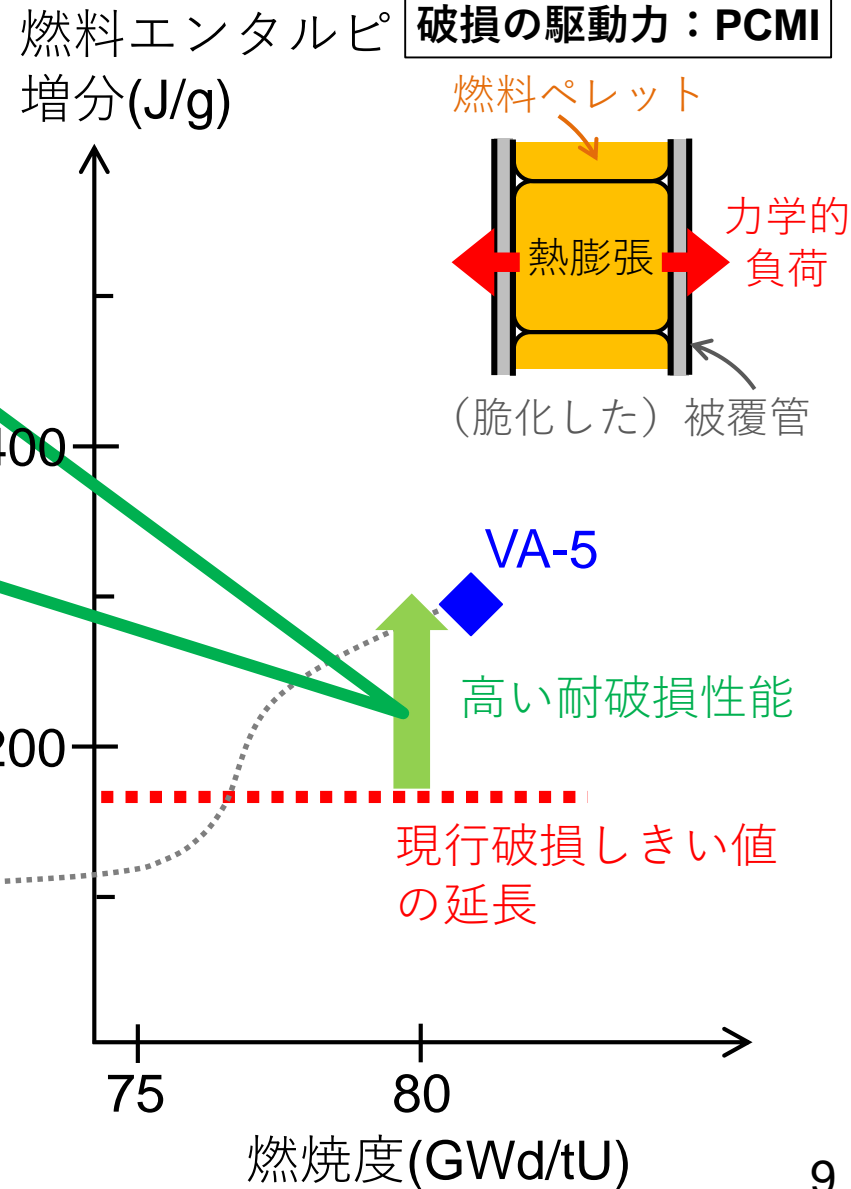
VA実験の結果が示す燃料設計と温度条件の影響



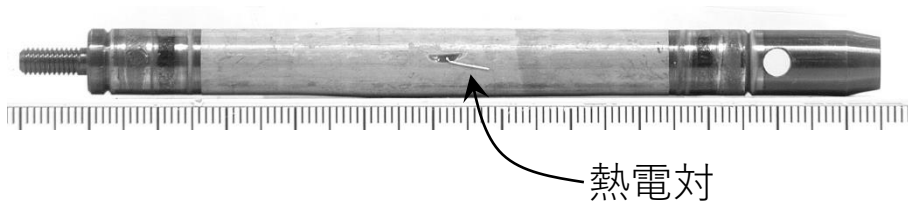
設計改良により耐食性が向上した結果



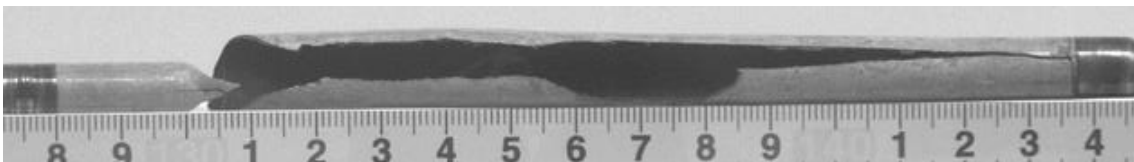
破損したVA-5実験燃料の外観



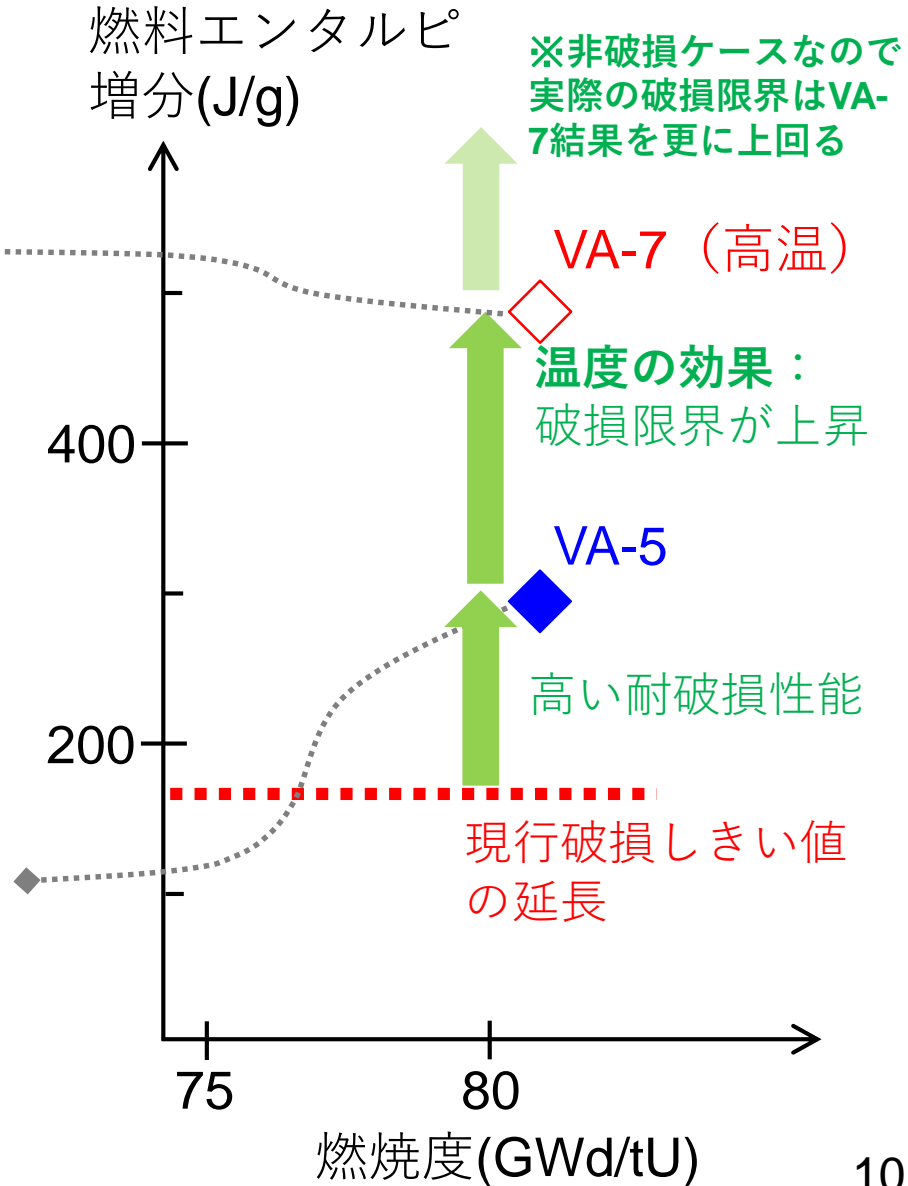
非破損であったVA-7実験燃料の外観



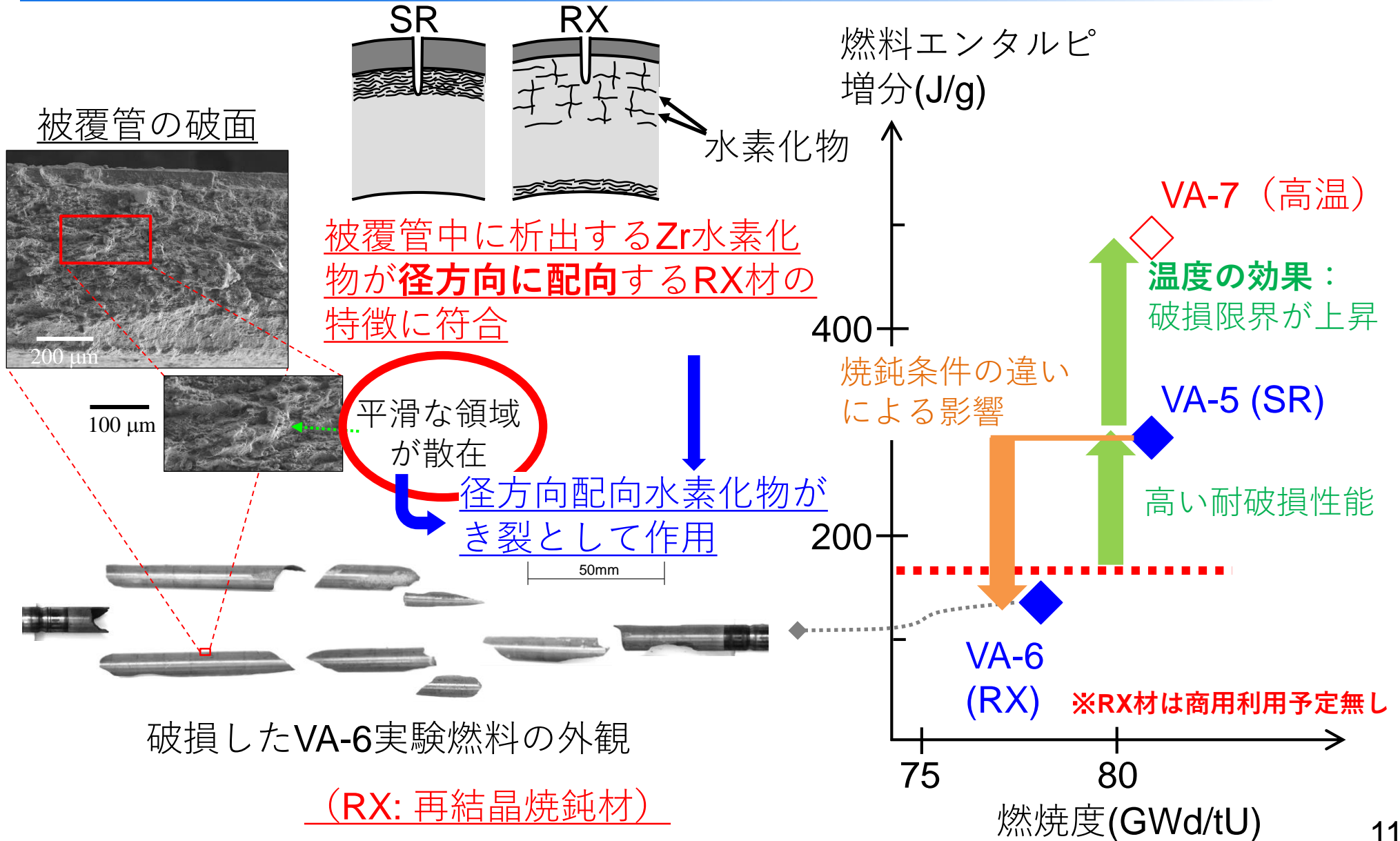
熱電対



破損したVA-5実験燃料の外観



VA実験の結果が示す燃料設計と温度条件の影響

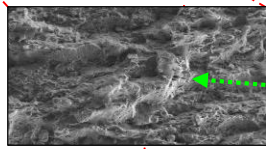
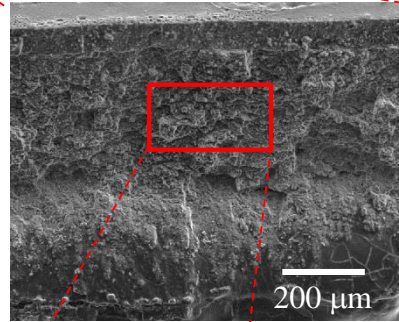
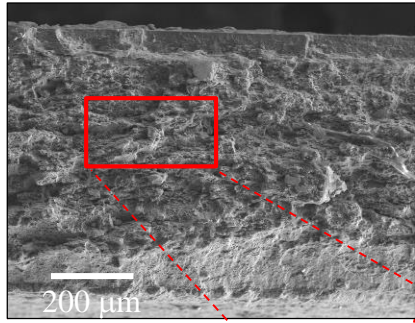


VA実験の結果が示す燃料設計と温度条件の影響

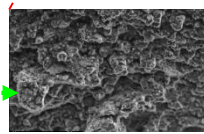
破損したVA-8実験燃料の外観



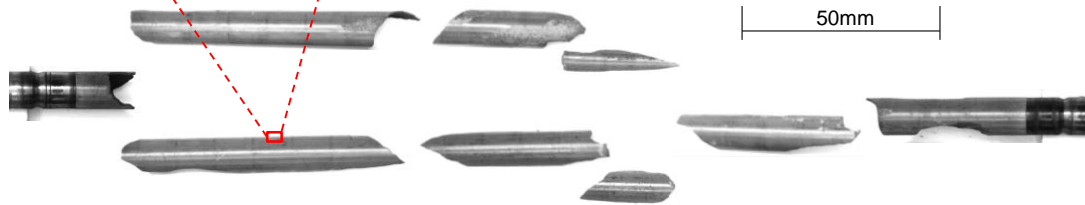
被覆管の破面



平滑な領域
が散在



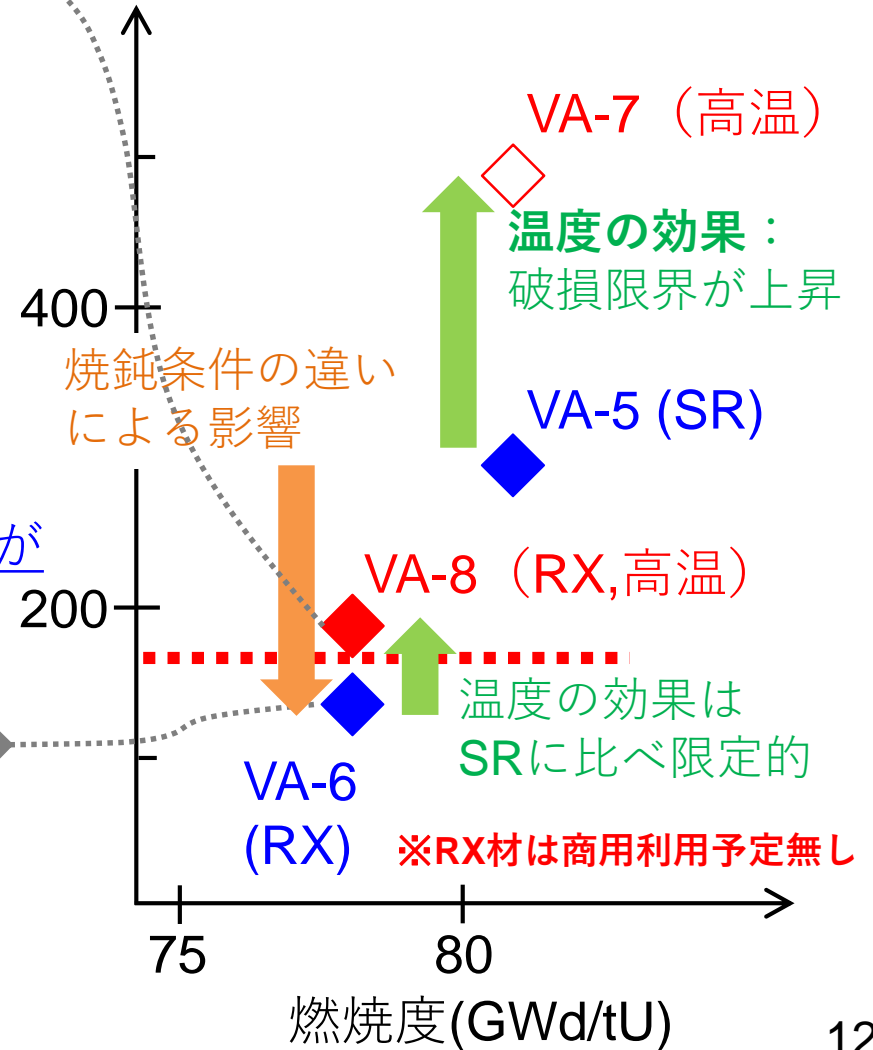
径方向配向水素化物が
き裂として作用



破損したVA-6実験燃料の外観

(RX: 再結晶焼鈍材)

燃料エンタルピー
増分(J/g)



軽水炉で想定される**反応度事故**について、

燃料設計上の課題 (改良型燃料の) 事故条件下での安全性能解明

- ✓ M-MDA (応力除去焼鈍) 被覆管を採用した改良型燃料は、81GWd/tUにおいても、現行の安全基準に照らして十分に高い耐破損性能を有する
- ✓ より現実的な条件である高温実験では更に破損限界が上昇

➡ 改良型被覆管の耐食性向上は高燃焼度領域でも耐破損性能向上に効果

安全評価上の課題 長期利用下の適切な事故時安全性評価

- ✓ M-MDA (再結晶焼鈍) 被覆管を採用した燃料では、ジルコニウム水素化物の析出状態の違いに起因して、応力除去焼鈍タイプに比して大きく破損限界が低下
- ✓ 焼鈍条件の影響は高温条件でも解消されない

➡ 破損限界の支配パラメータとしての水素化物配向特性の影響を解明

- ✓ 今年度再稼働後の実験：燃料ペレットの設計が変更された燃料のデータを取得



- ✓ 反応度事故に係る規制判断に技術的根拠を与える知見
- ✓ 我が国の規制基準改訂に活用される見通し
- ✓ 開発を進めている事故時の燃料挙動解析コードの物理モデルへ集約、検証に活用



今後のNSRR実験計画について

- ✓ 本年11月より建家（原子炉棟を除く）の耐震補強工事を開始
- ✓ 次回の運転再開は約1年後を予定
- ✓ 耐震補強後の運転再開時には、
 - ✓ 燃料の長期利用及び燃料設計変更が事故時挙動に及ぼす影響に着目した実験
 - ✓ シビアアクシデント時の燃料溶融進展挙動を調べる実験

に取り組み、**従来取得例が無く、安全評価上重要なデータ、知見の取得**を目指す

軽水炉を取り巻く技術、
環境の変化に対応する
適切な規制判断を支援

新しい設計により高い安全性能を有する燃料の導入
最新知見に基づくより適切な安全評価

軽水炉の継続的な安全性の向上に貢献