共通技術基盤SWGでの議題案

-ATF実装化の観点から考える照射場(試験研究炉)-

2025年12月5日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

目次

- 燃料棒が曝される条件と使用中に燃料で起こる変化
- 燃料被覆管に求められる特性
- 軽水炉燃料の開発ステップ
- 国際協力で実施中の各種試験の計画
- 検討項目の整理

燃料棒が曝される条件と使用中に燃料で起こる変化

燃料棒が曝される条件(PWR)

【炉心】

- 冷却材温度　290～330℃
- 圧力　～15MPa
- 平均中性子束
  - (高速)　～10^{14}/cm^2/s
  - (熱)　～10^{13}/cm^2/s

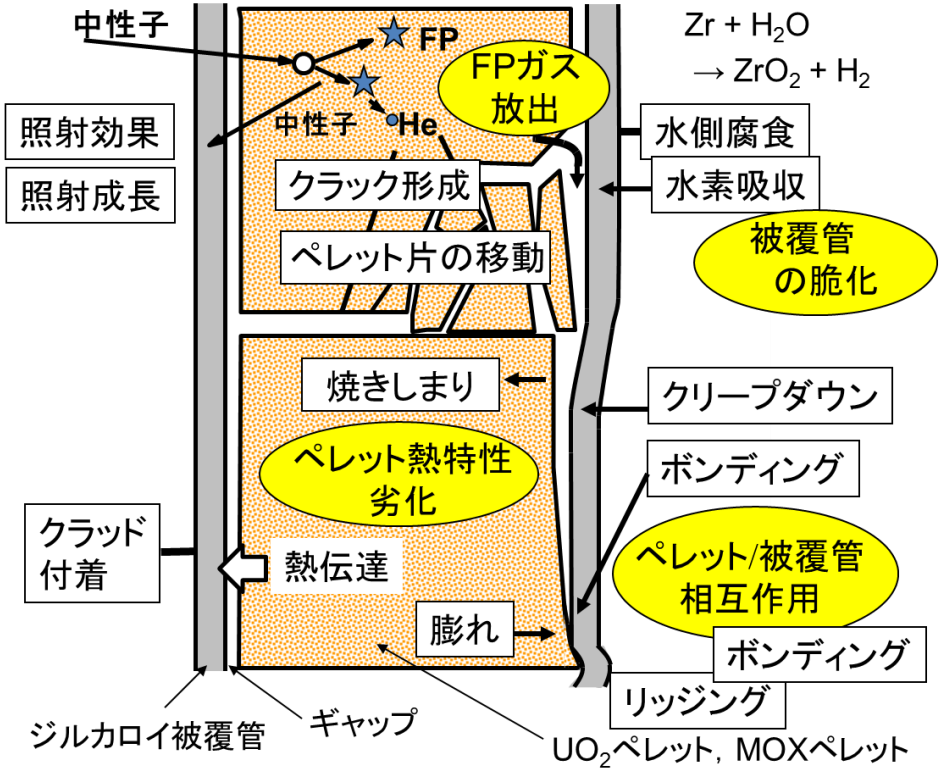
【燃料棒】

- ペレット中心温度　<～1800℃
- ペレット表面温度　<～700℃
- 被覆管表面温度　<～330℃
- 使用期間　<5年

(参考) PWR燃料の寸法

- ペレット　直径　8.2 mm
  高さ　9.5 mm
- 被覆管　外径　9.5 mm
  肉厚　0.57 mm

使用中に燃料中で起こる変化



非常に厳しい条件下で使用され、使用中には複雑で多くの現象が起こり燃料棒の部材は変質する。一方で、製造から使用、廃棄まで厳しい品質管理と安全性が求められる。

出典：永瀬ら、軽水型動力炉の非常用炉心冷却系の性能評価指針の技術的根拠と高燃焼度燃料への適用性、JAEA-Review 2020-076、March 2021

燃料被覆管に求められる特性

閉じ込め

- 冷却材に対する外表面の高耐食性
- 燃料ペレット変形(スエリング、熱膨張)などへの順応性
- 内表面の耐SCC性、ペレットと反応しないこと

核的性質

- 低熱中性子吸収断面積
- 照射効果、2次放射化

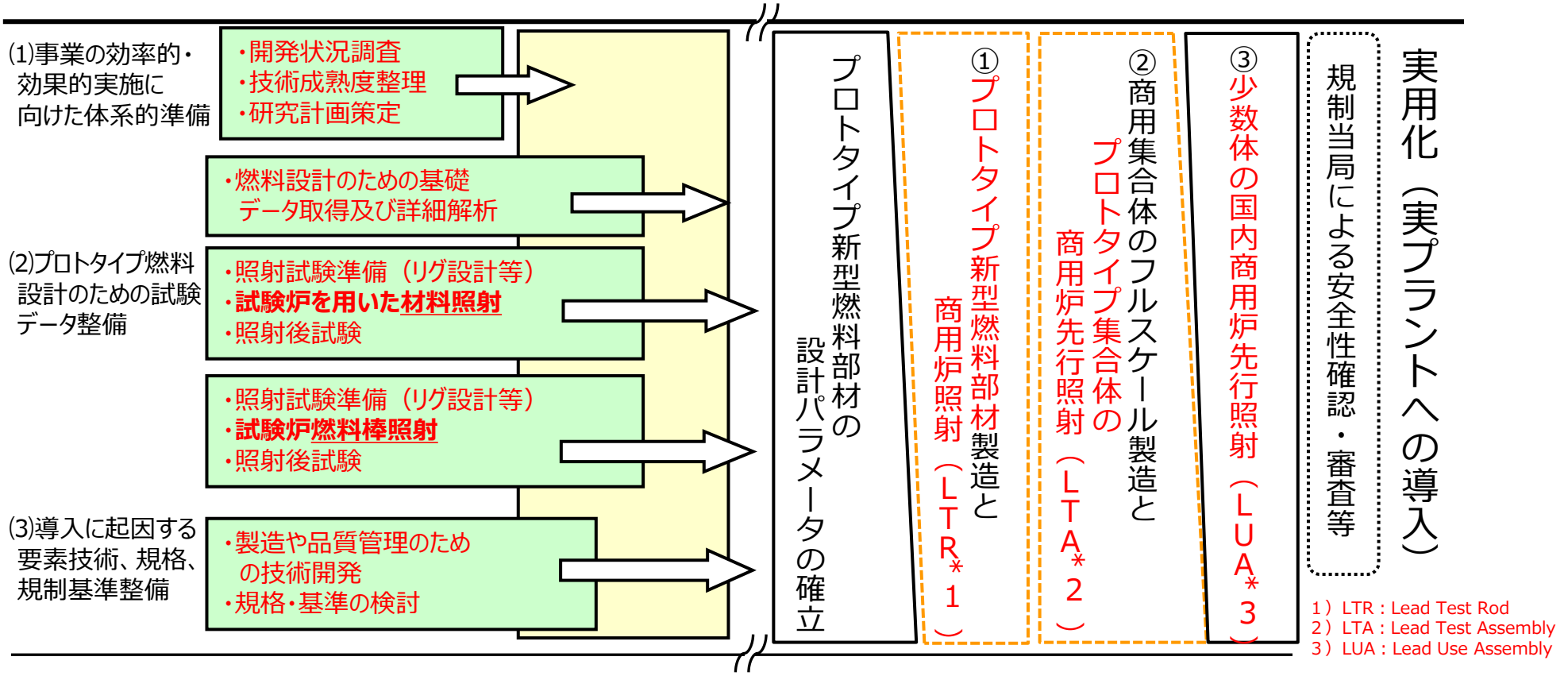
力学的・物理的性質

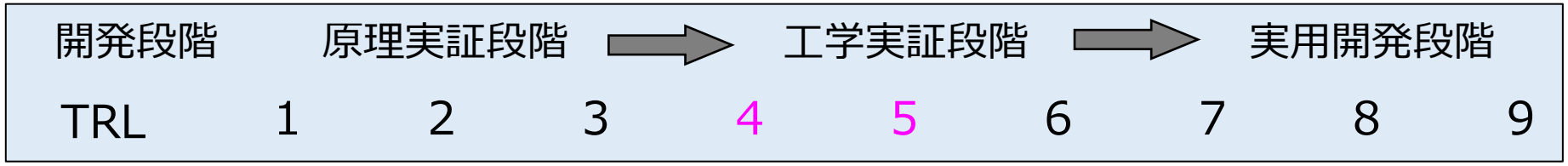
- 構造部材としての機械的性質 (強さ、延性)
- 燃料ペレットから冷却水への高熱伝達 (高い熱伝導率)
- 適度に高い融点

製造性

- 成型加工性，溶接性

軽水炉燃料の開発ステップ





国際協力で実施中の各種試験の計画

	4/2024	9/2024	12/2024	4/2025	9/2025
Crコーティングジルカロイ(MHI)		**米国ATR/INL:** 低燃焼度照射試験（完了）		**米国ATR/INL** 低燃焼度材の照射後試験	
FeCrAl-ODS (日立GE/GNF/NFD)			**米国ATR/INL:** 端栓接合技術開発		**米国ATR/INL** 照射試験開始
SiC/SiC複合材 (東芝ESS, 日立GE)		**米国MITR/MIT:** BWR水質環境下における材料照射試験を実施中		**米国MITR/MIT** ４サイクルまで材料照射試験を継続	
事故耐性制御棒 (CRIEPI)			**独国QUENCH/KIT:** Cr-Zry燃料バンドルを用いたDEC模擬試験 (OECD/NEAプロジェクト)		

→ 上記試験は全て経産省資源エネルギー庁からの助成を受けて進行中

出典：モハマド アフィカ、「国内におけるATF開発状況と研究開発概要」、事故耐性燃料開発に関するワークショップ（2024年12月14日）、https://nsec.jaea.go.jp/ATFWS/pdf/2024/atfws_material_2.pdf

検討項目の整理

ATF実装化において、求められる照射影響(現象、特性)、燃料の開発ステップにおける照射データ、現在実施中の照射試験の概要を説明した。

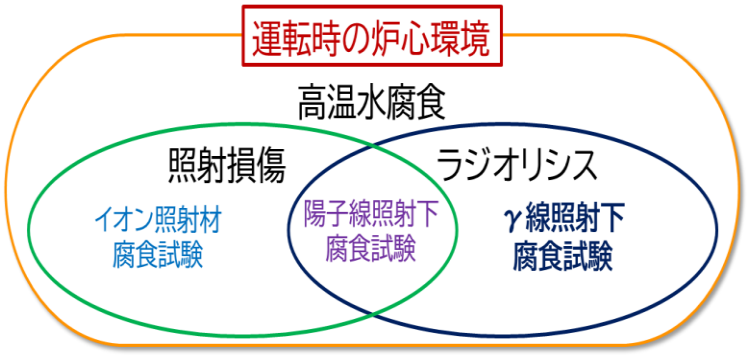
その上で、ATF実装化の観点から照射場(試験研究炉)を考えてはいかがか。具体的には、参考資料に添付したような下記の項目について整理してはいかがか。

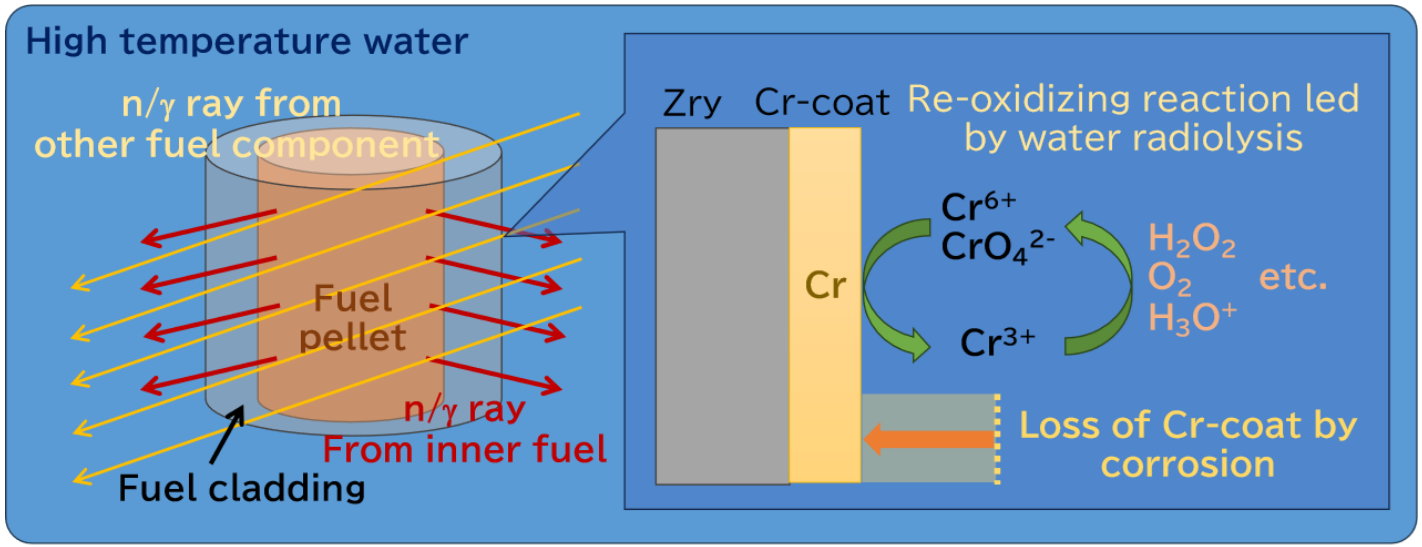
- 国内外の燃材料用照射炉の現状と課題
- ATF実装化に向けた照射データの整理と整備戦略
- 試験研究炉の概略仕様と理解促進戦略　等
  （JMTR後継炉の検討状況）

参考資料

Cr被覆の腐食特性研究の進め方

■ Cr被覆の腐食挙動への高温水と放射線との重畳効果のモデル化を目指す



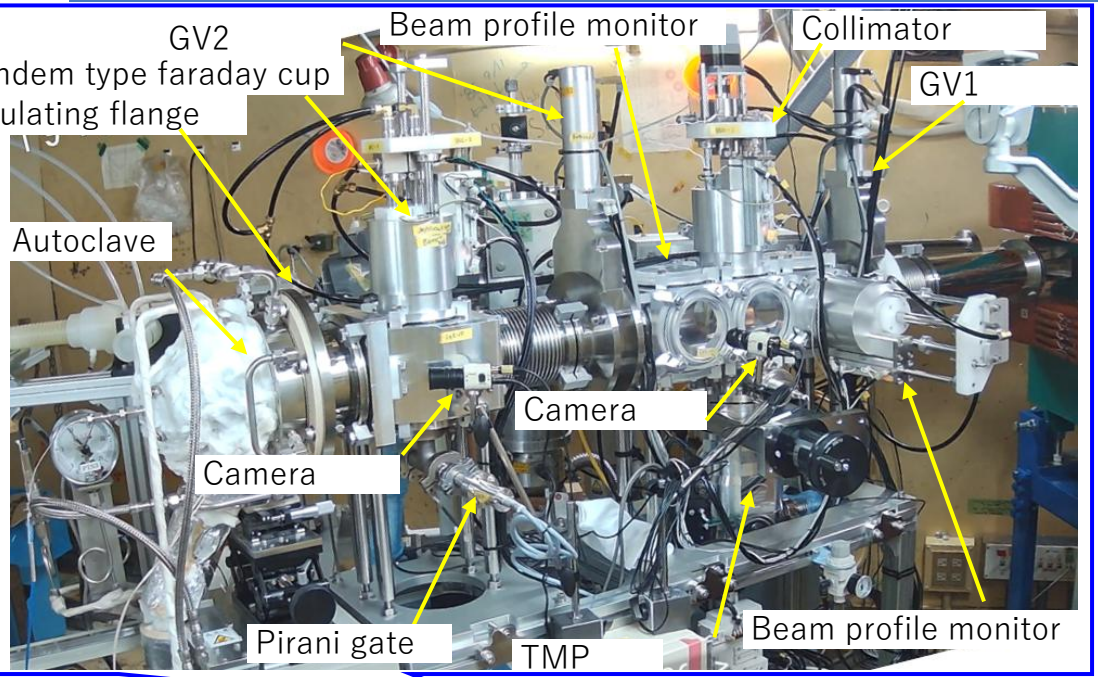


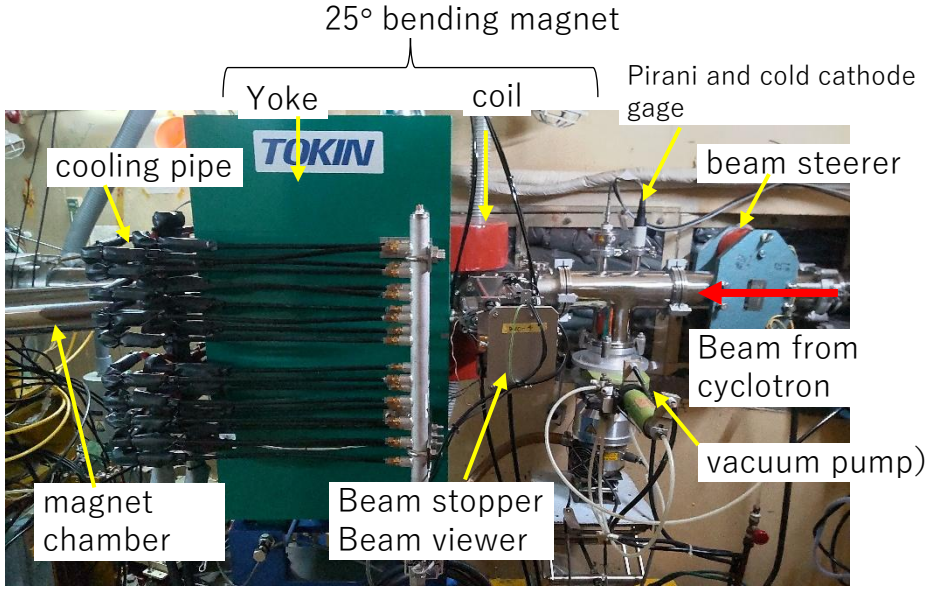
Crコーティング被覆管の通常運転時における腐食環境模式図

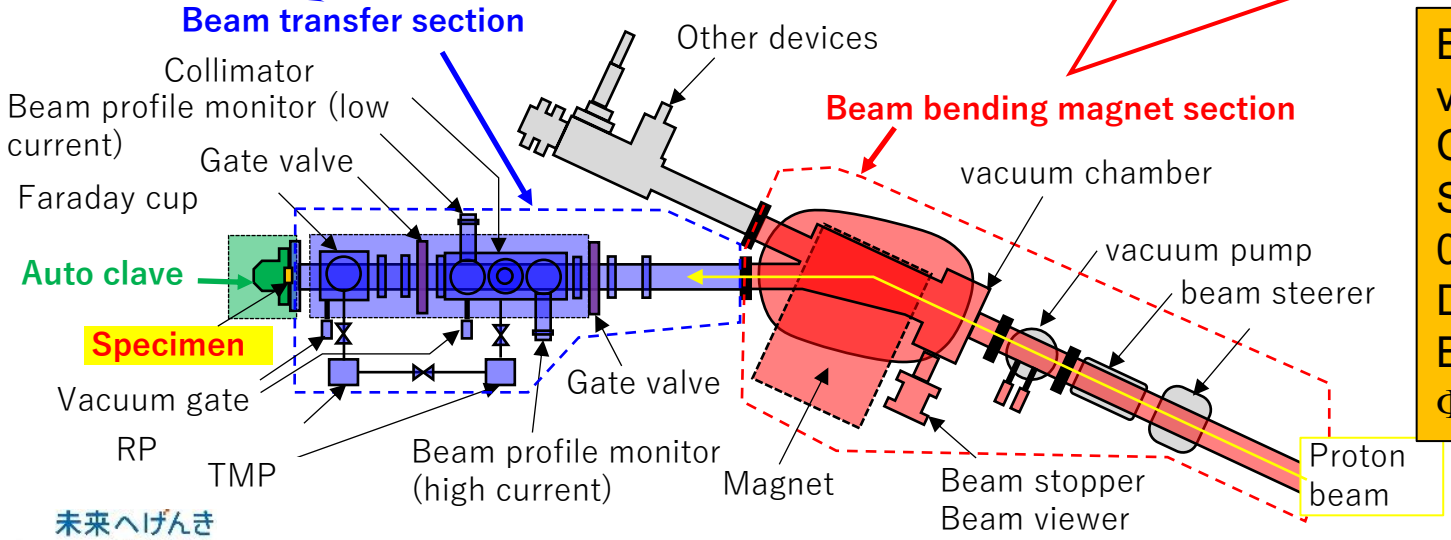
テーマ	ねらい	進捗
γ線照射下腐食試験	高温水とラジオリシスの重畳影響解明	本報告
陽子線照射下腐食試験	実炉代替技術開発、重畳因子制御	東北大学と共同でプロトン照射試験装置を開発、2025年3月照射試験成功
イオン照射材腐食試験	照射とラジオリシスの重畳影響解明	オートクレーブ整備中

出典：石島暖大他、「事故耐性向上を目指したクロムコーティング被覆管の基礎基盤研究(2)Crのγ線照射下における高温水中電気化学測定」、2025年日本原子力学会秋の大会3G06（2025年9月12日）

陽子線照射下腐食試験装置の構成と配置





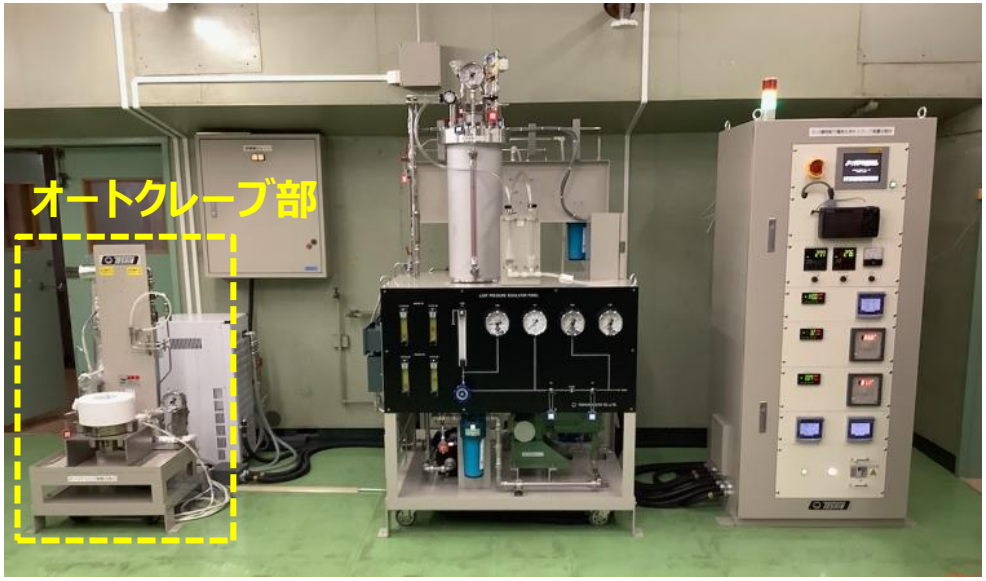


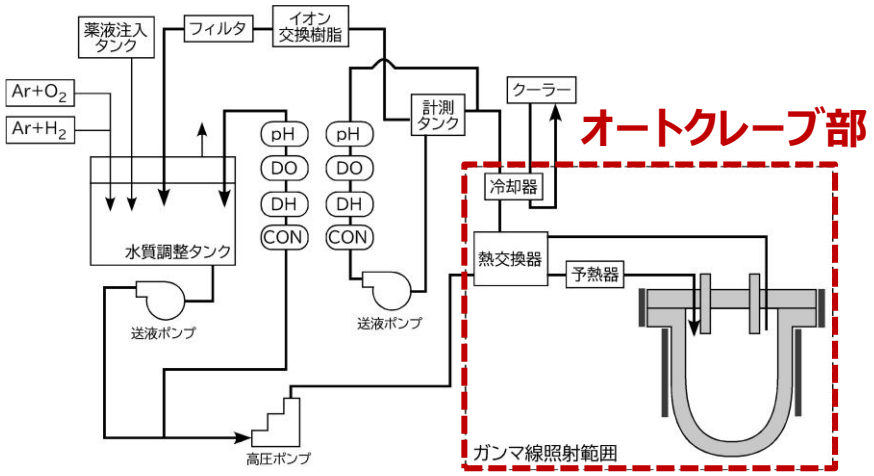
Beam acceleration voltage: 20 MeV (max.)
Current：50 μA (max.)
Specimen: Cr-Zry
0.5 mm Zry4 + 10 μm Cr
Diameter: 11 mm
Beam irradiation area: Φ3 mm

出典：Y. Soma, et al., “Development of a versatile irradiation test system for basic studies of materials under irradiation”, 22nd ICFRM, Shizuoka, Japan, Oct. 3, 2025.

γ線照射オートクレーブの開発

■ γ線照射オートクレーブの概要





◆γ線遮蔽機能
- 鉛による電極引出し部・参照電極遮蔽

◆水質調整系・測定系
- タンク出入り口で水質測定
- 溶存酸素・水素制御

◆オートクレーブ（AC）部
- 余熱・熱交換部と一体化した可搬型

◆ノイズ対策
- 計装線にCat7Lanケーブルを使用
- 接液面の大きいACを対極とし電気化学測定の安定性向上

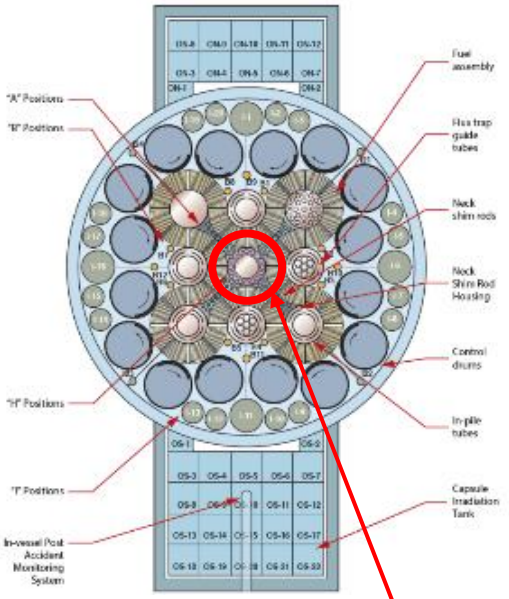
出典：石島暖大他、「事故耐性向上を目指したクロムコーティング被覆管の基礎基盤研究(2)Crのγ線照射下における高温水中電気化学測定」、2025年日本原子力学会秋の大会3G06（2025年9月12日）

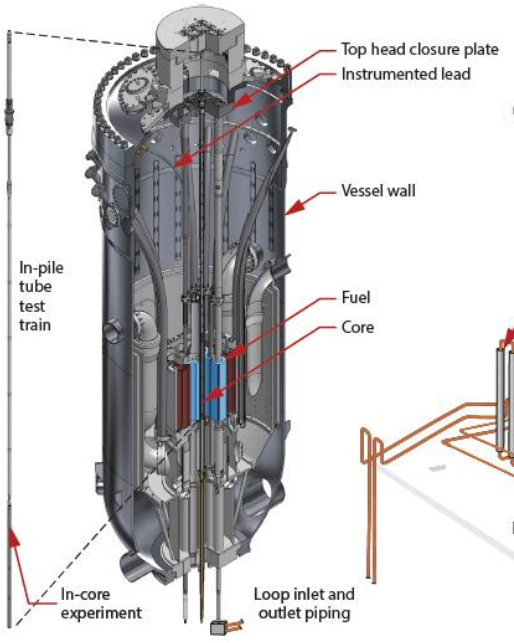
米国試験照射炉(ATR)の概要

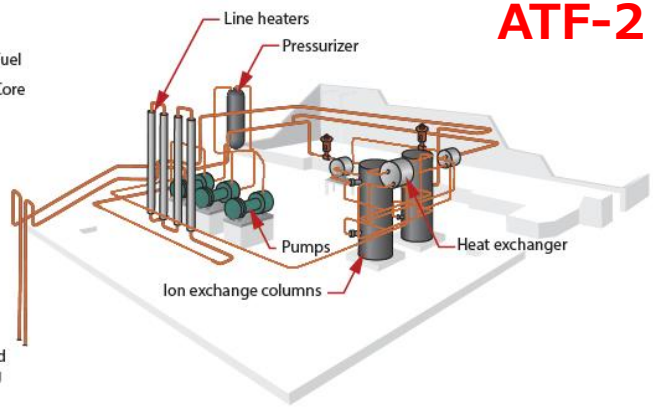
原子炉名	ATR（INL(米国)）
熱出力(MWt)	最大250（通常110）
熱中性子束 (n/cm^{2}s)	最大1.0x10^{15}（通常 4.0x10^{14}）
高速中性子束 (n/cm^{2}s)	最大5.0x10^{14}（通常 2.0x10^{14}）
燃料実効長	1.2m
冷却水圧力	2.5MPa
設計冷却水温度	115℃
運転時冷却水温度	<52℃(入り口)、71℃(出口)
運転日数	通常60日
付帯設備	PWR模擬水ループ*6ループ（1ループ：原子力エネルギー研究用）

*PWR模擬水ループ 15.2MPa, 300℃









出典.: Advanced Test Reactor User Guide, http://inl.gov/wp-content/uploads /2021/10/20-50097_ATR_UserGuide_R24.pdf

ATF用照射キャプセル

- **ATF-2：ループ照射**
  - 燃料ピンを商用PWR模擬水質条件で照射
  - 計装（ペレット温度、燃料ピンの内圧及び伸び、中性子束）
  - Cr-coated Zry短尺6本(4本計装、2本無計装)照射予定