



水化学部会第12回定例研究会

JMTRを用いた水化学試験

平成22年3月7日

原子力機構 安全研究センター
高度化軽水炉燃材料研究グループ

埴 悟史

本報告の一部は、経済産業省原子力安全・保安院からの委託による「軽水炉燃材料詳細健全性調査」の一環として実施したものである。

Reactor Power	50 MW
Fast Neutron Flux (Max)	4×10^{18} n/m ² /s
Thermal Neutron Flux (Max)	4×10^{18} n/m ² /s
Flow of Primary Coolant	6000 m ³ /h
Coolant Temperature	49°C / 56°C
Core Height	750mm
Irradiation Capability (Max)	60 (20*) capsules
Fluence/y (Max)	3×10^{25} n/m ² · y
Diameter of Capsule	30 - 65mm

* : measurement capsule

照射後試験設備

ホットラボ

- コンクリートセル : 8基
- 顕微鏡鉛セル : 4基
- 鉛セル : 7基
- 鉄セル : 5基
- 遮へい型XMA施設 : 1基

主な特徴

- ・世界有数の高中性子束を有する軽水減速冷却型の材料試験用原子炉
- ・各種照射試験を実施し得る広い照射領域
- ・様々な照射設備を設置可能な原子炉施設構造
- ・照射済燃料・材料の照射後試験を行うホットラボとカナルで直結

ユーティリティ設備

機械室

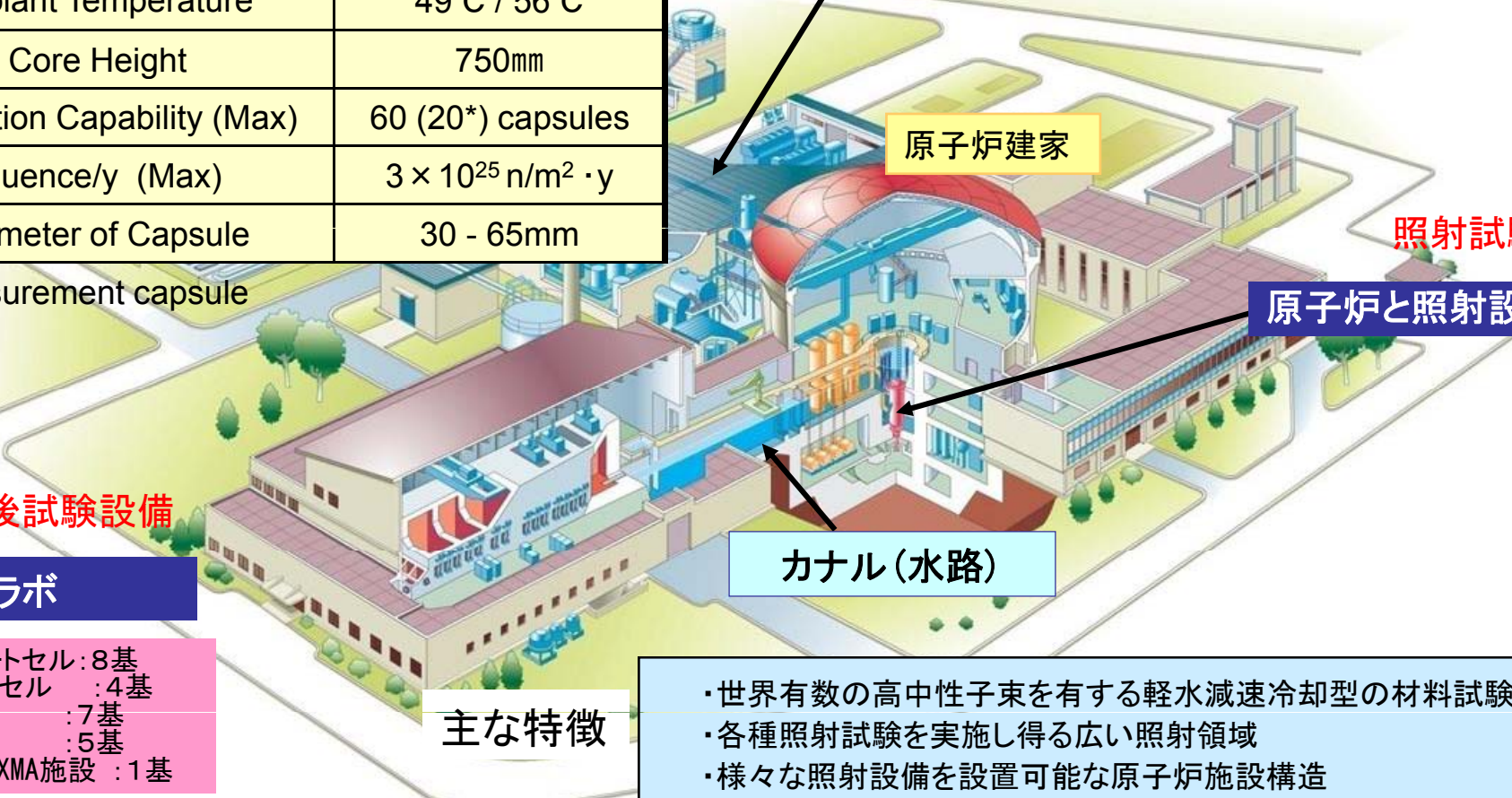
建設開始 : 1965. 4 (S40)
 初臨界 : 1968. 3 (S43)
 供用開始 : 1970. 9 (S45)

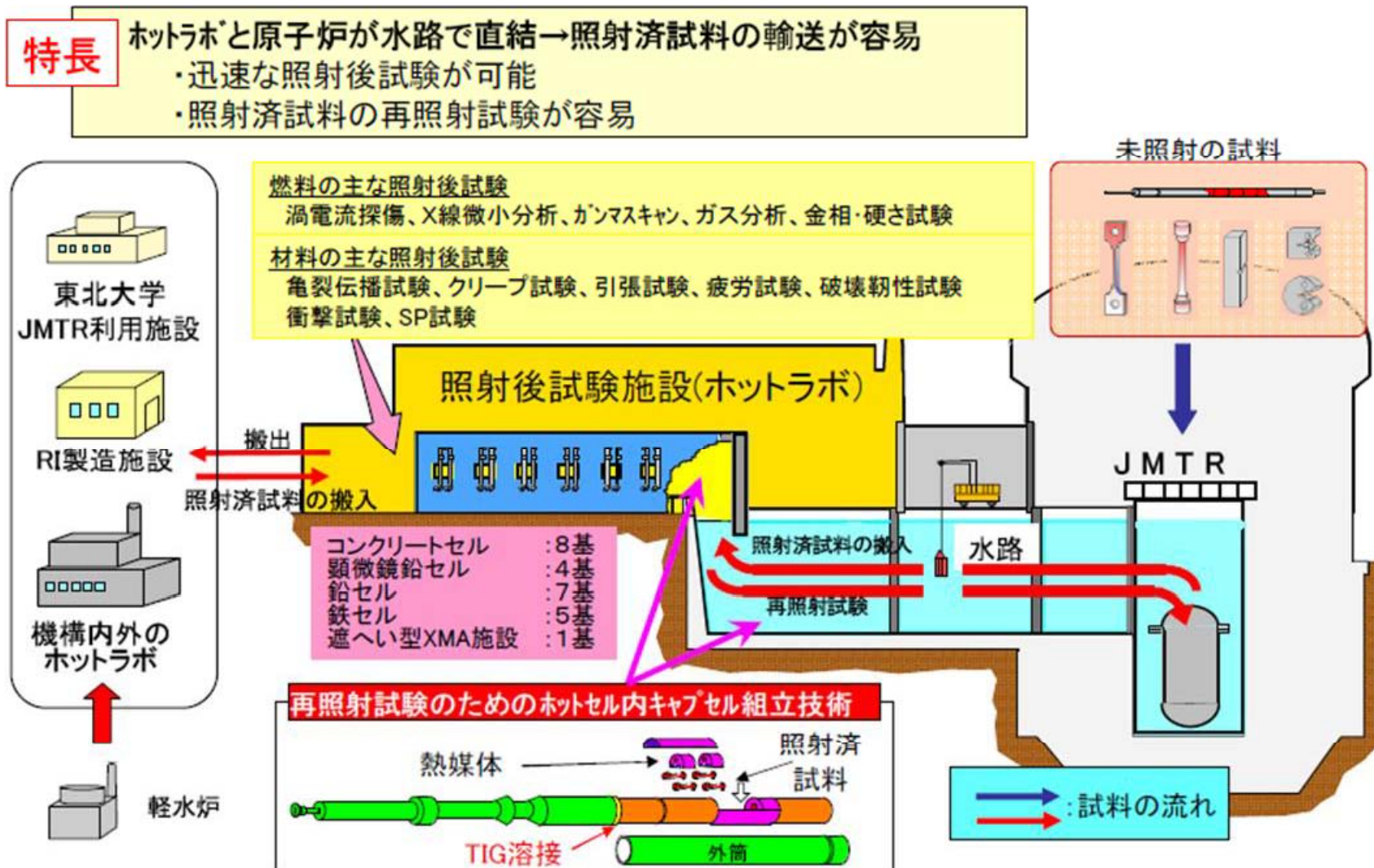
原子炉建家

照射試験設備

原子炉と照射設備

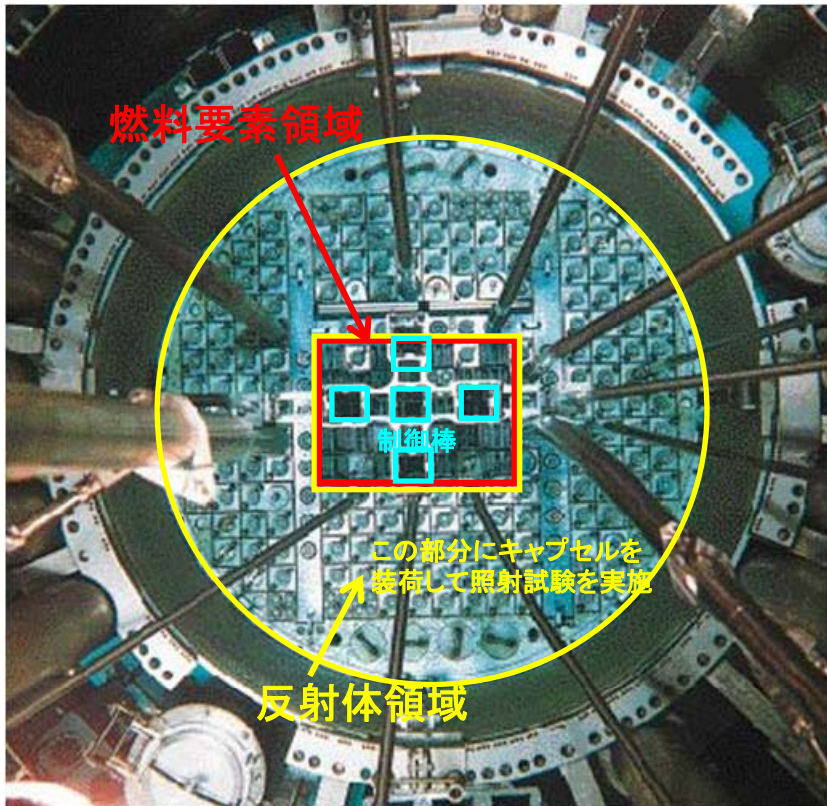
カナル (水路)



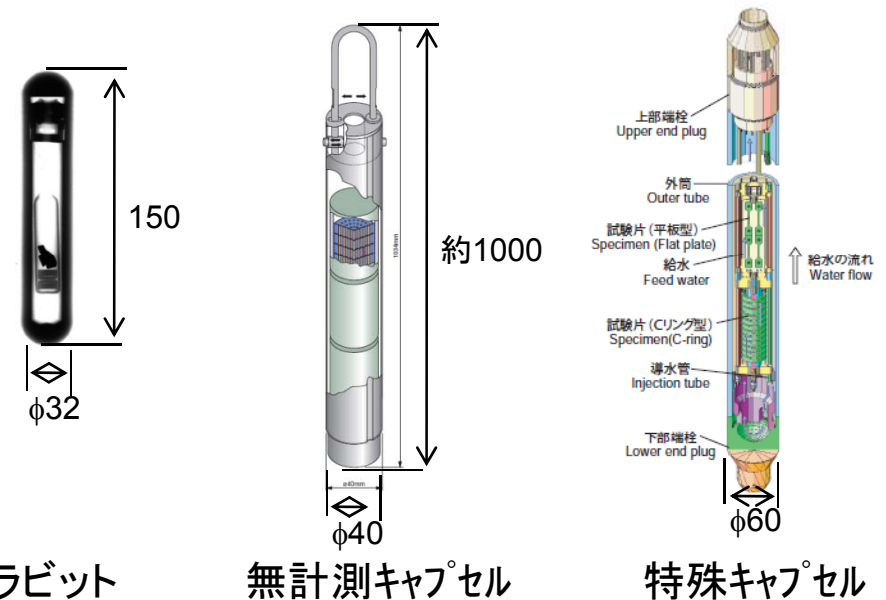


JMTRの照射設備

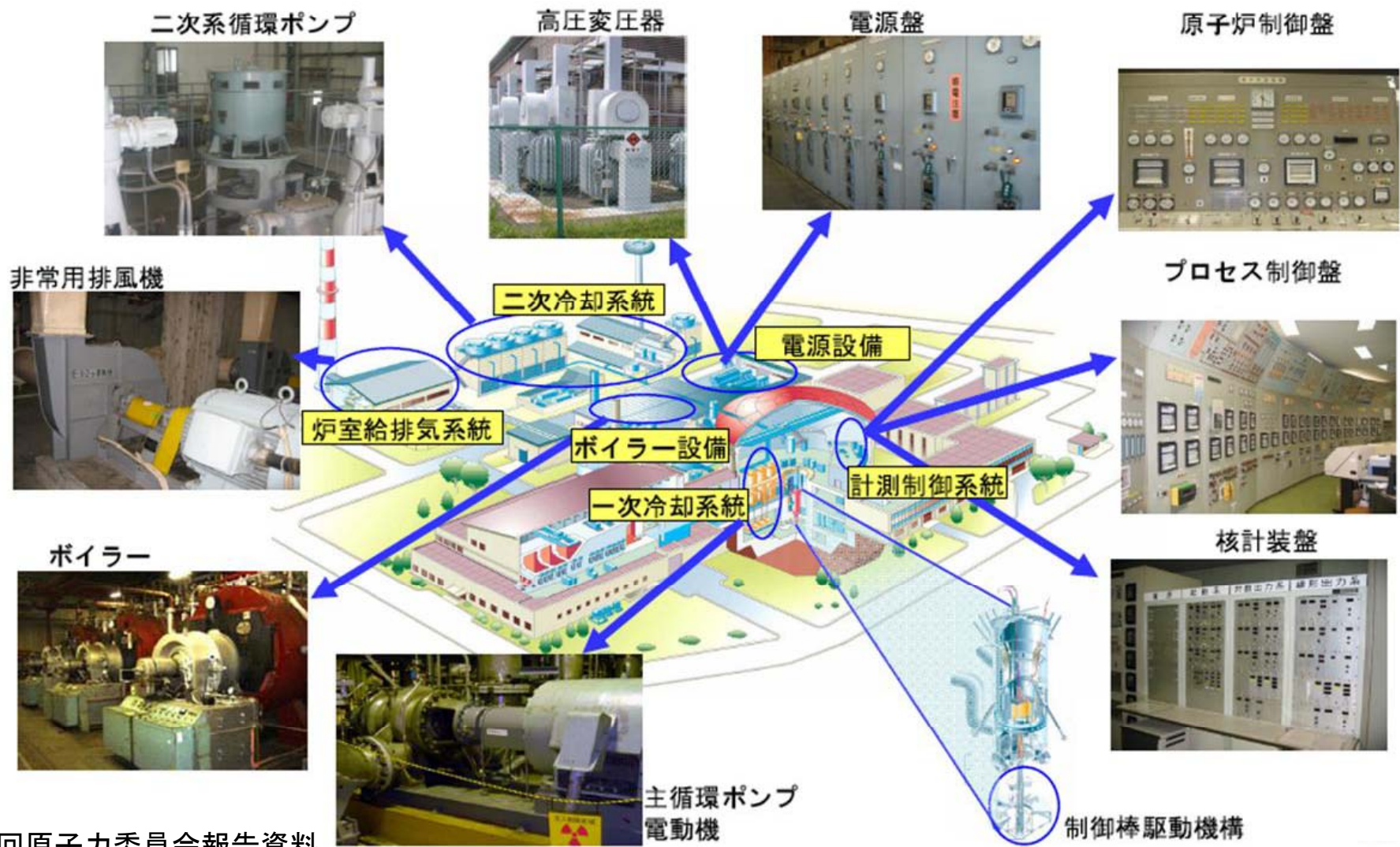
- 水カラビット型
- キャプセル型
 - a. 無計測キャプセル
 - b. 計測キャプセル
 - c. 特殊キャプセル
 - 飽和温度型など
(高温高圧水供給装置との併用)
 - 燃料異常過渡試験キャプセルなど
(炉外装置との併用)



JMTR炉心配置



平成19～22年度にJMTRを改修し、平成23年度から再稼働
 経年変化による劣化や交換部品の調達が困難となる等の観点から必要となる更新を実施



平成22年度までに原子炉施設の改修を終え、平成23年度から原子炉を再稼働

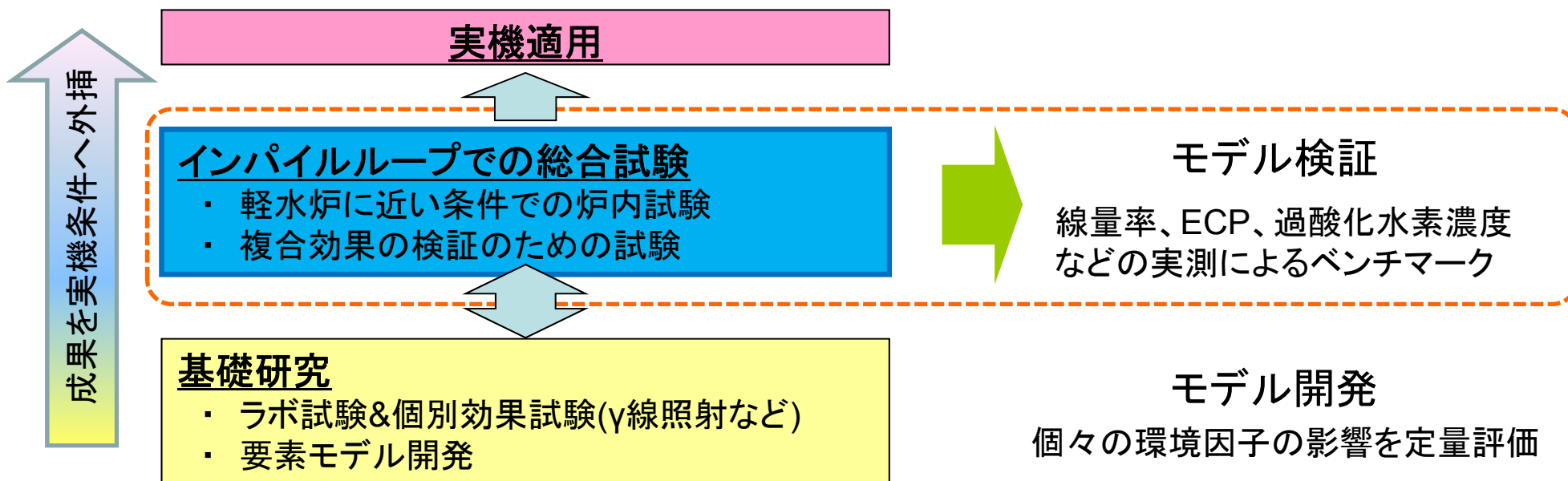
▼ : JMTR施設定期検査合格証交付

年度	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
平成23年度 (150日運転)			▼	166 cycle	保守期間	自主検査	167 cycle	168 cycle		169 cycle	170 cycle	
平成24年度 (210日運転)	171 cycle	172 cycle	施設定期検査期間	▼	173 cycle	自主検査	174 cycle	175 cycle		176 cycle	177 cycle	
平成25年度 (210日運転)	178 cycle	179 cycle	180 cycle	施設定期検査期間	▼	181 cycle	182 cycle		183 cycle	184 cycle		
平成26年度 (240日運転)	185 cycle	186 cycle	187 cycle	188 cycle	189 cycle	自主検査	▼	施設定期検査期間	190 cycle	191 cycle	192 cycle	

照射試験装置の整備

- 燃料照射試験装置、材料照射試験装置 (保安院受託事業) : H23年度より共用開始 (一部H25より)
- 材料照射試験装置 (最先端研究基盤事業) : H25年度より共用開始

JMTRを用いた水化学試験



	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28
装置整備	—————						
JAEA ECPセンサー開発 他機関ECPセンサー導入	—————						
ECPセンサー炉外試験 ECPセンサー照射下実証試験	—————	—————	—————				
照射下水化学試験				—————			
照射下IASCC試験				- - - - -			

BWR条件

PWR条件

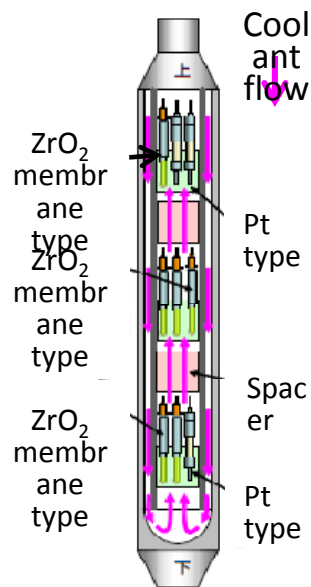
JMTRを用いた水化学試験

インパイルループを使った水化学環境の測定と解析評価でモデル検証

放射線強度が異なる種々の照射位置に設置可能な照射キャプセルに水質を制御した高温高压水を供給し、照射場の腐食電位(ECP)やその近傍の過酸化水素濃度などを測定し、解析手法の検証のためのベンチマークとなる照射実験を実施する

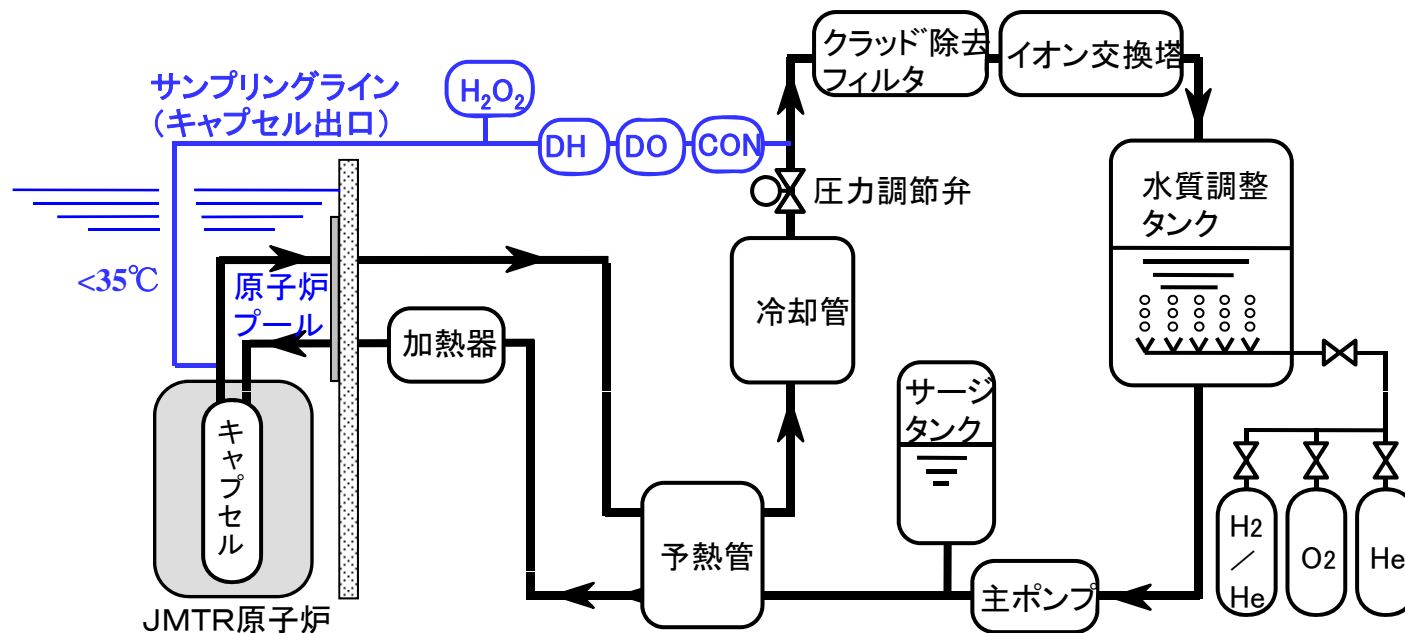
- ①モデル検証、ベンチマークに使用できるデータの取得
- ②ECPセンサーの開発

ECPセンサーによる腐食環境のモニタリング



ZrO₂隔膜型、Pt型を「対」としてECPモニタリング

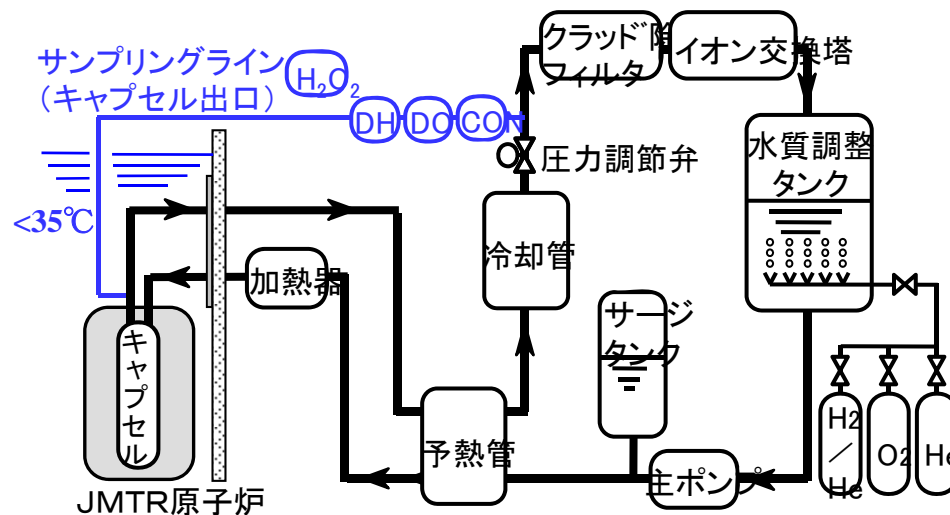
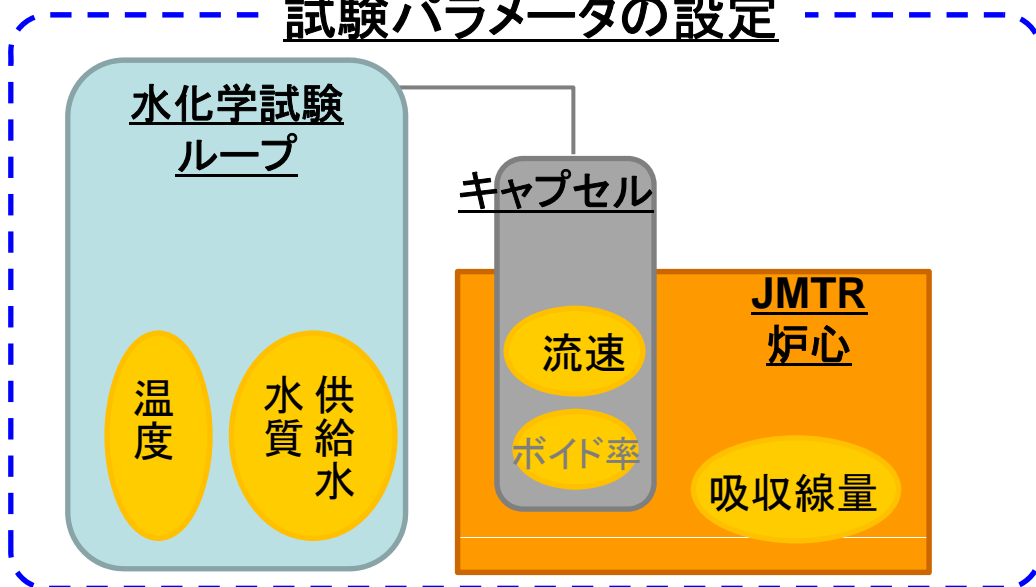
ループ水サンプリングによる水質測定



サンプル水の素早い冷却による精度良い過酸化水素の測定

JMTRを用いた水化学試験

試験パラメータの設定



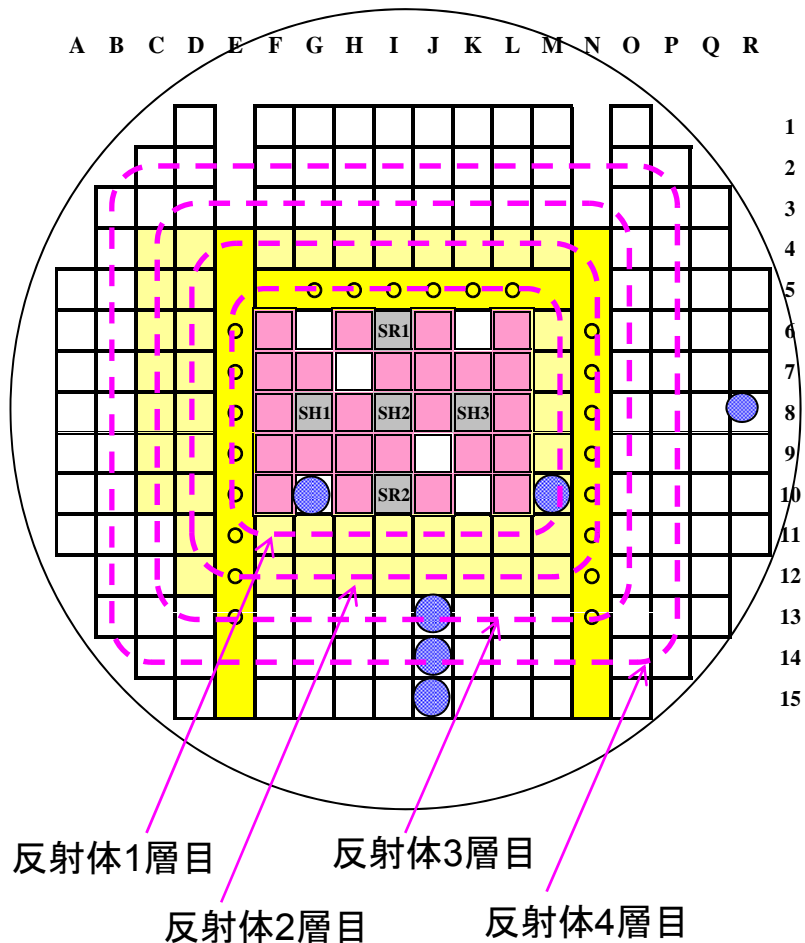
水化学試験のパラメータ

- 冷却材温度
- 供給水質
- 流速
- 吸収線量
- ボイド率

水化学試験ループの仕様		
冷却材流量	0.4 ton/hr (キャプセル1本あたり最大)	
冷却材温度	～ 約325 °C	
冷却材圧力	～ 約15 MPa	
接続キャプセル	2 (最大)	
水質	制御	測定
	<ul style="list-style-type: none"> •溶存酸素(DO): 0～10ppm •溶存水素(DH): 0～2ppm •pH : 4～11 •導電率 : $\leq 20\mu\text{S/m}$ 	<ul style="list-style-type: none"> •インライン測定 : DO、DH、導電率、pH •バッチ測定 : H_2O_2

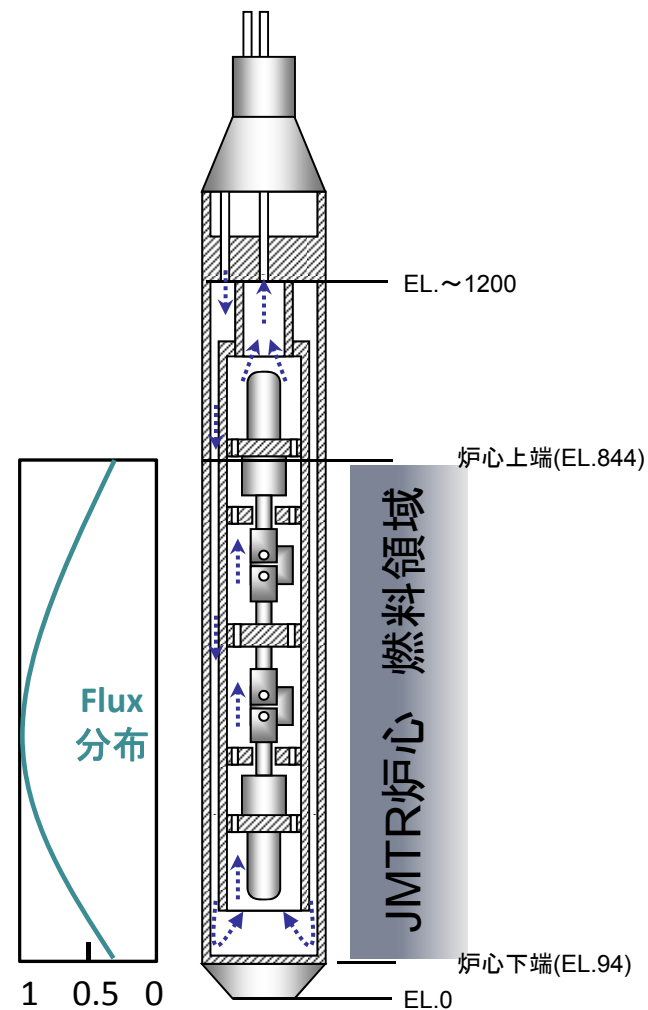
水の吸収線量

JMTRの炉心配置と照射キャプセル

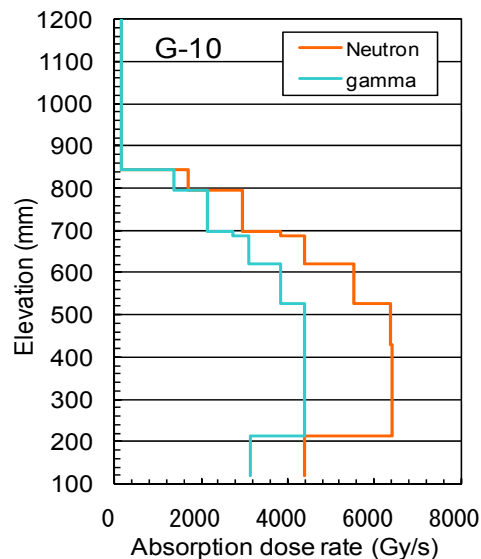


- Driver fuel
- Control rods
- Be frame
- Be reflector
- Al reflector
- 評価位置

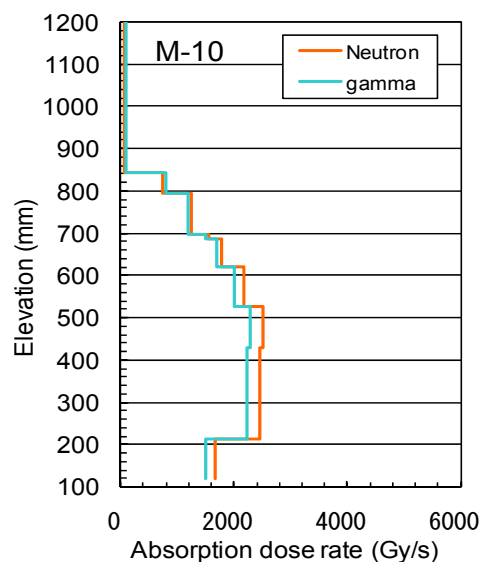
JMTR炉心図



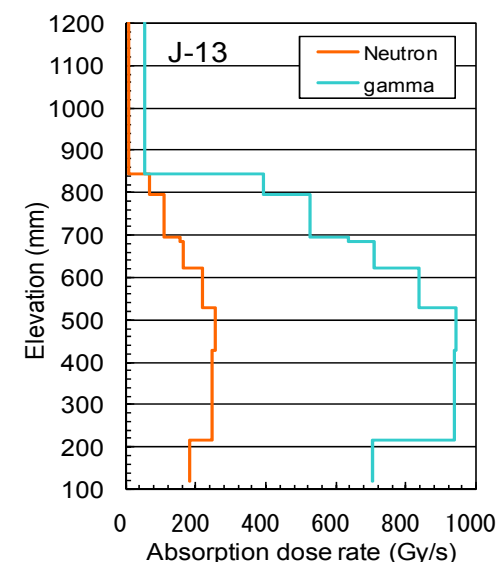
キャプセル



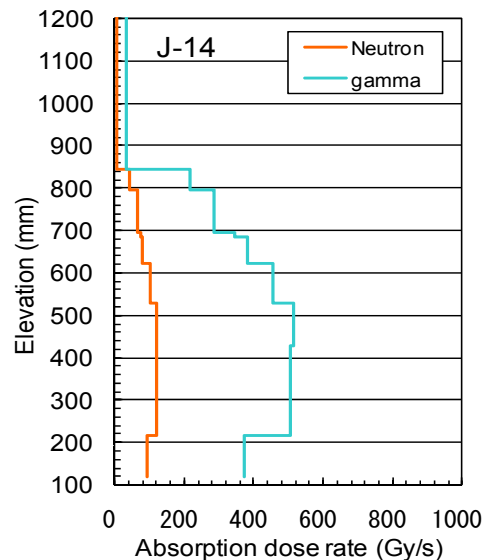
燃料領域 ($\phi_f \sim 1 \times 10^{18} \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)



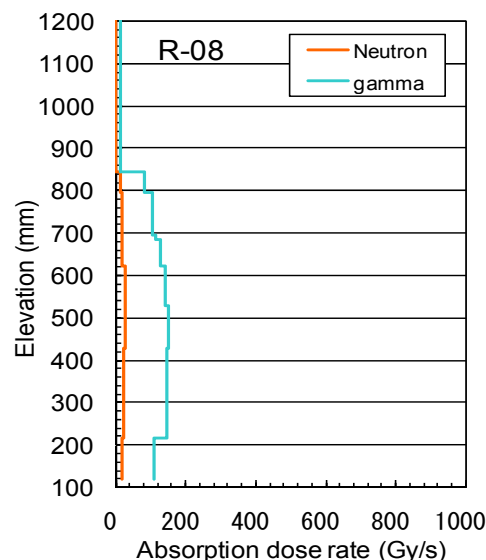
反射体1層目 ($\phi_f \sim 5 \times 10^{17} \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)



反射体3層目 ($\phi_f \sim 1 \times 10^{16} \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)



反射体3層目 ($\phi_f \sim 1 \times 10^{16} \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

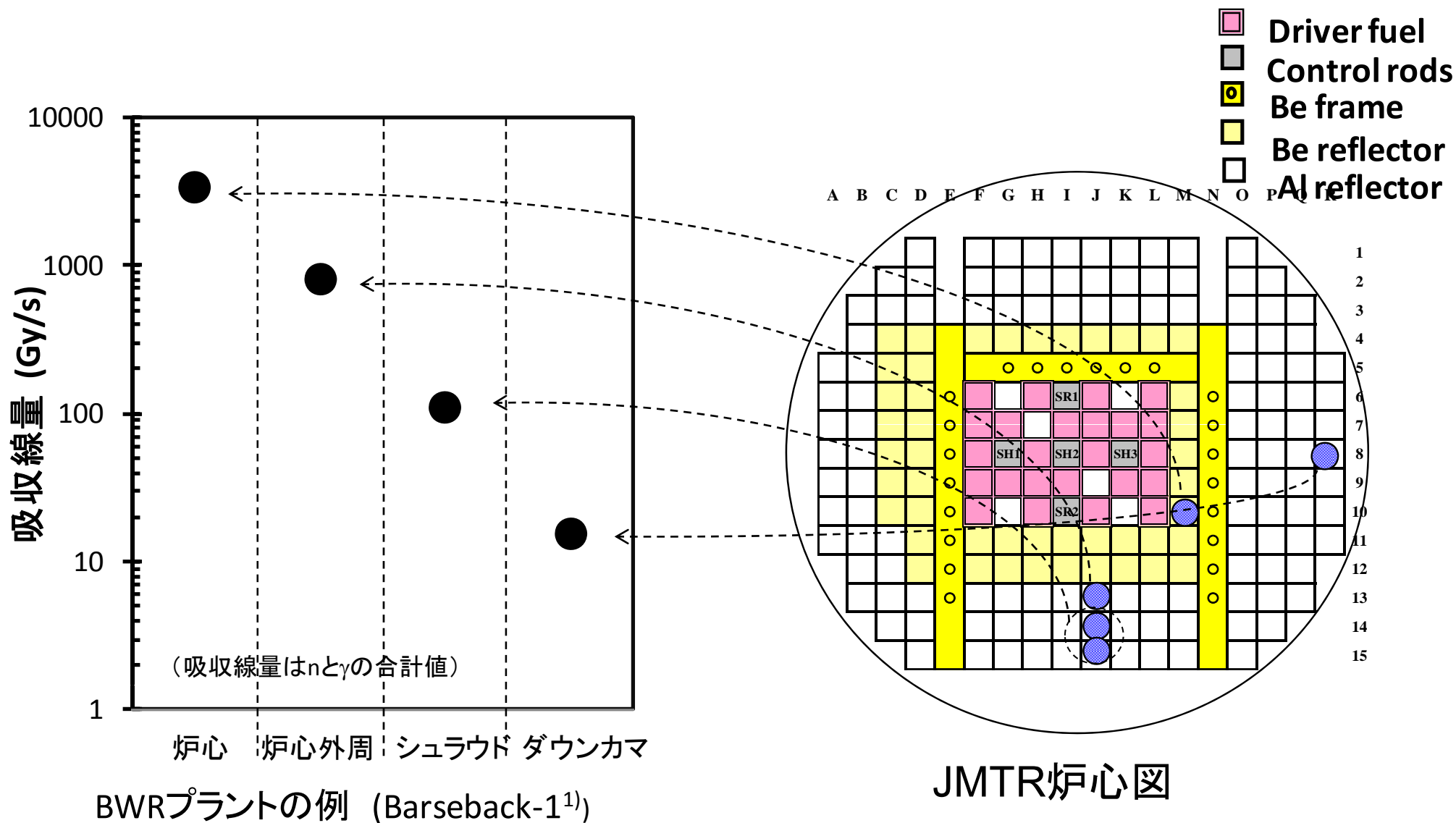


反射体6層目 ($\phi_f \sim 1 \times 10^{15} \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

試験を実施する上で考慮すべき点

- ・吸収線量の絶対値
- ・吸収線量のn/γ比

反射体1層目でn, γが同等。それより外側ではγの寄与が大きくなる。
炉心位置(照射孔及び高さ位置)を変えることで目標とする線量を与えることが可能。



照射の有無、低温条件及び高温条件を適宜組み合わせることで試験を実施

- 非照射試験：非照射条件で基準となるデータを取得
- 低温試験：信頼ある低温データセット、計測が容易になる等、少ない誤差要因でモデルを検証
- 高温試験：実炉条件での試験

基本マトリックス

		非照射試験	照射試験
温度	低温	約50°C*	約50°C*
	高温	～約290°C	～約290°C
水質	NWC	酸素注入量に対してECP/水質応答が現れる範囲で設定	酸素注入量に対してECP/水質応答が現れる範囲で設定
	HWC	水素注入量に対してECP/水質応答が現れる範囲で設定	水素注入量に対してECP/水質応答が現れる範囲で設定

*JMTR1次系温度



基本マトリックスに従い、照射条件(線量条件)を変えた試験を実施

JAEAのECPセンサー開発

照射下ECP測定

ZrO₂隔膜型ECPセンサーとPt型ECPセンサーを対としたECP測定
 ZrO₂隔膜型ECPセンサーについては開発を進めるとともに、実績ある他機関センサーを導入

ECPセンサーの開発

ZrO₂隔膜型 (Fe/Fe₃O₄) ECPセンサーを開発中。開発に当たっては、耐久性に深く関わる接合部へ生じる問題を解決するために必要な課題を整理し、

- ① 過去に開発・照射したECPセンサーの詳細調査
- ② 材料の選定 (セラミックス、金属)
- ③ セラミックスー金属の組合せ
- ④ 製造技術
- ⑤ 形状・構造の最適 (セラミックスに生じる応力を減らす形状・構造)

これらの結果から最適な条件でセンサーを試作し、その性能を確認

開発スケジュール

	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28
JAEA ECPセンサー開発 他機関ECPセンサー導入	—————		—————				
ECPセンサー炉外試験 ECPセンサー照射下実証試験			↓	↓			

← 照射下での水化学試験 →

Studsvikセンサー (Pt型)

メカニカルシール
(ネジ/Cリングによりセラミックスと金属の接合を担保)



Studsvikセンサー (ZrO₂隔膜型)

メカニカルシール
(ネジ/Cリングによりセラミックスと金属の接合を担保)
Ni/NiOを内包



Haldenセンサー (ZrO₂隔膜型)

メカニカルシール
(Swagelockを流用しセラミックスと金属の接合を担保)
Fe/Fe₃O₄を内包

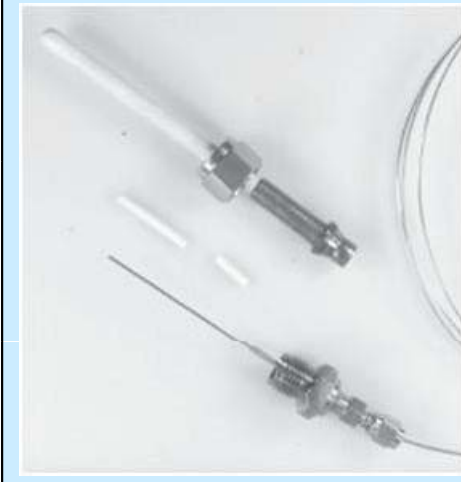


SCK・CEN (ZrO₂隔膜型)

メカニカルシール

(電磁誘導を利用し金属パイプをセラミックスにカシメ、セラミックスと金属の接合を担保)

Ni/NiOを内包



-
- JAEAでは、材料試験炉(JMTR)に設置するインパイルループを用いた照射下における水質評価試験を計画
 - モデルの検証やベンチマークに使用できるデータの取得を目指して具体的な試験計画試験を立案するとともに、ECPセンサーの開発を進めている。
 - H23年度、H24年度にECPセンサーの照射下実証試験を予定
 - H25年度より照射下水化学試験を開始