



産学官連携

原子力人材育成ネットワーク

Nuclear Human Resource Development Network

---

# 原子炉物理学の基礎 (第2章)

---

山下清信

(独) 日本原子力研究開発機構

原子力人材育成センター長



## 1. いろいろな原子炉

### └ 動力利用

#### └ 実用炉

#### └ 開発試験炉

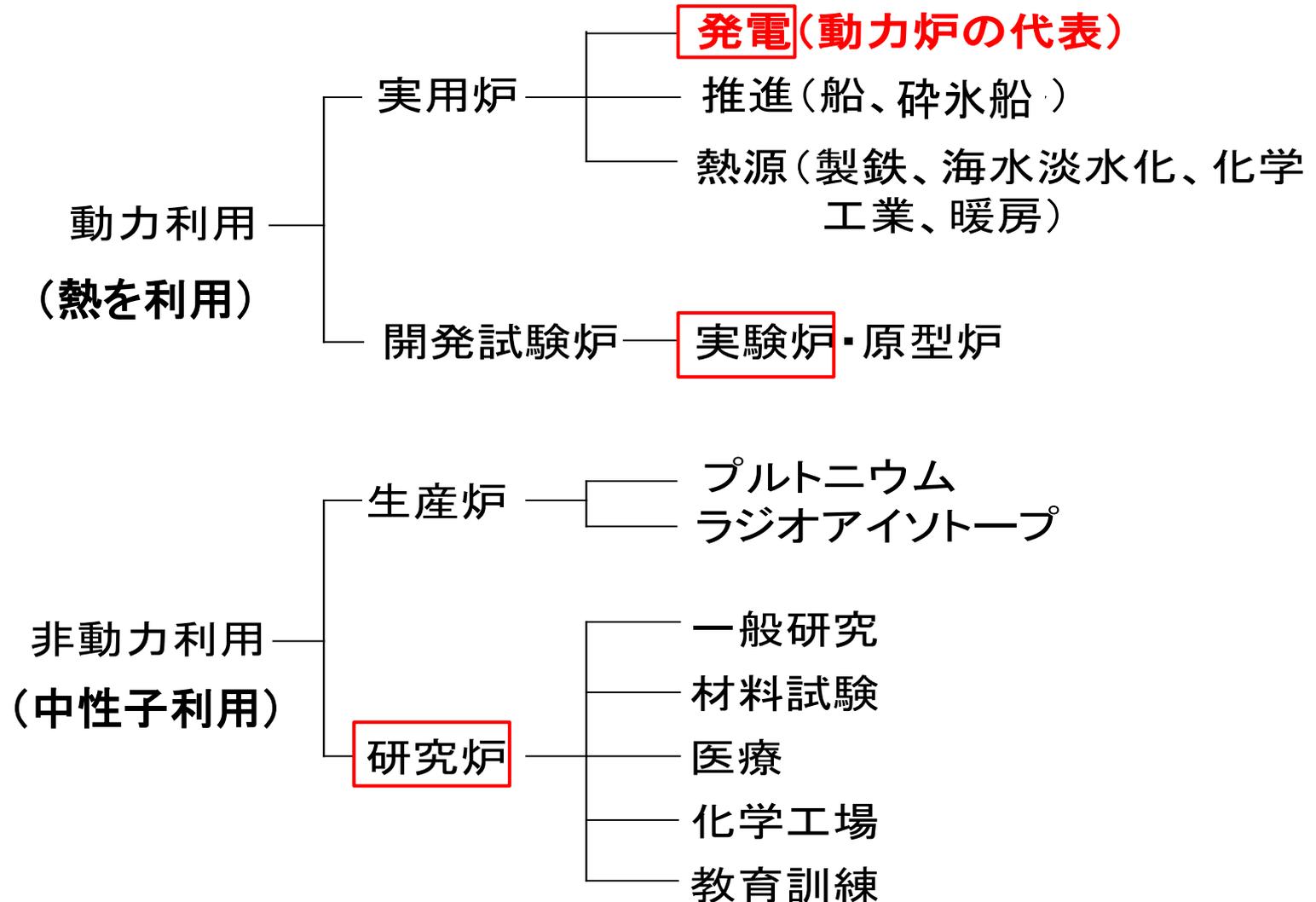
### └ 非動力利用

#### └ 生産炉

#### └ 研究炉



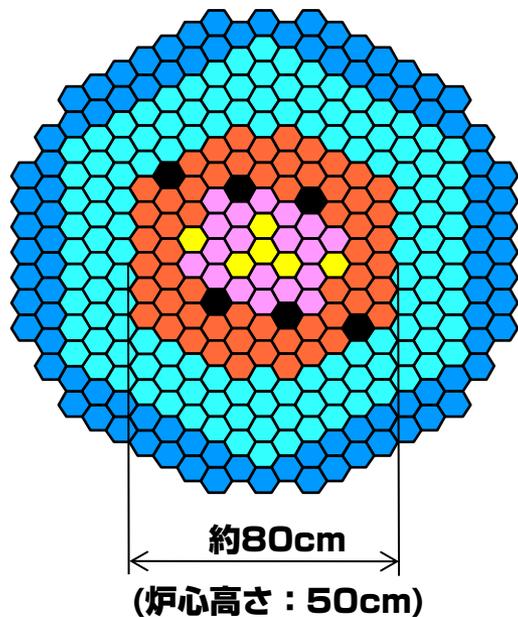
# いろいろな原子炉



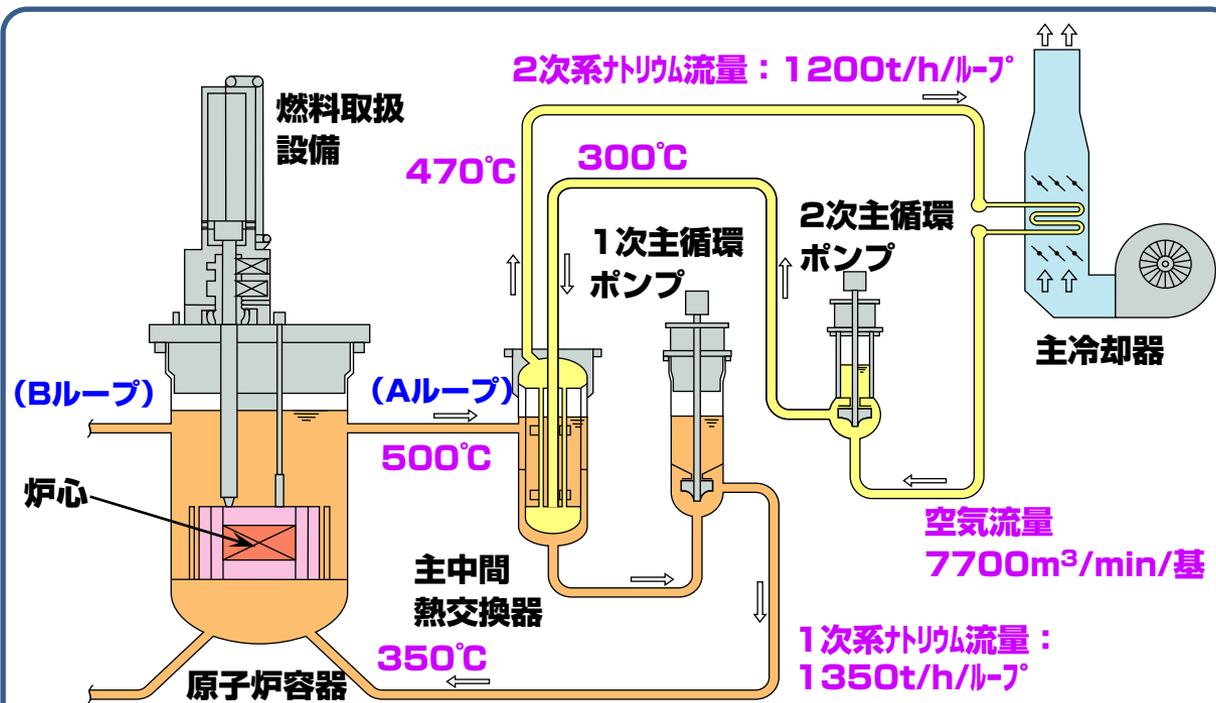
# 実験炉 (高速実験炉 (常陽))



炉心構成 (MK-III)



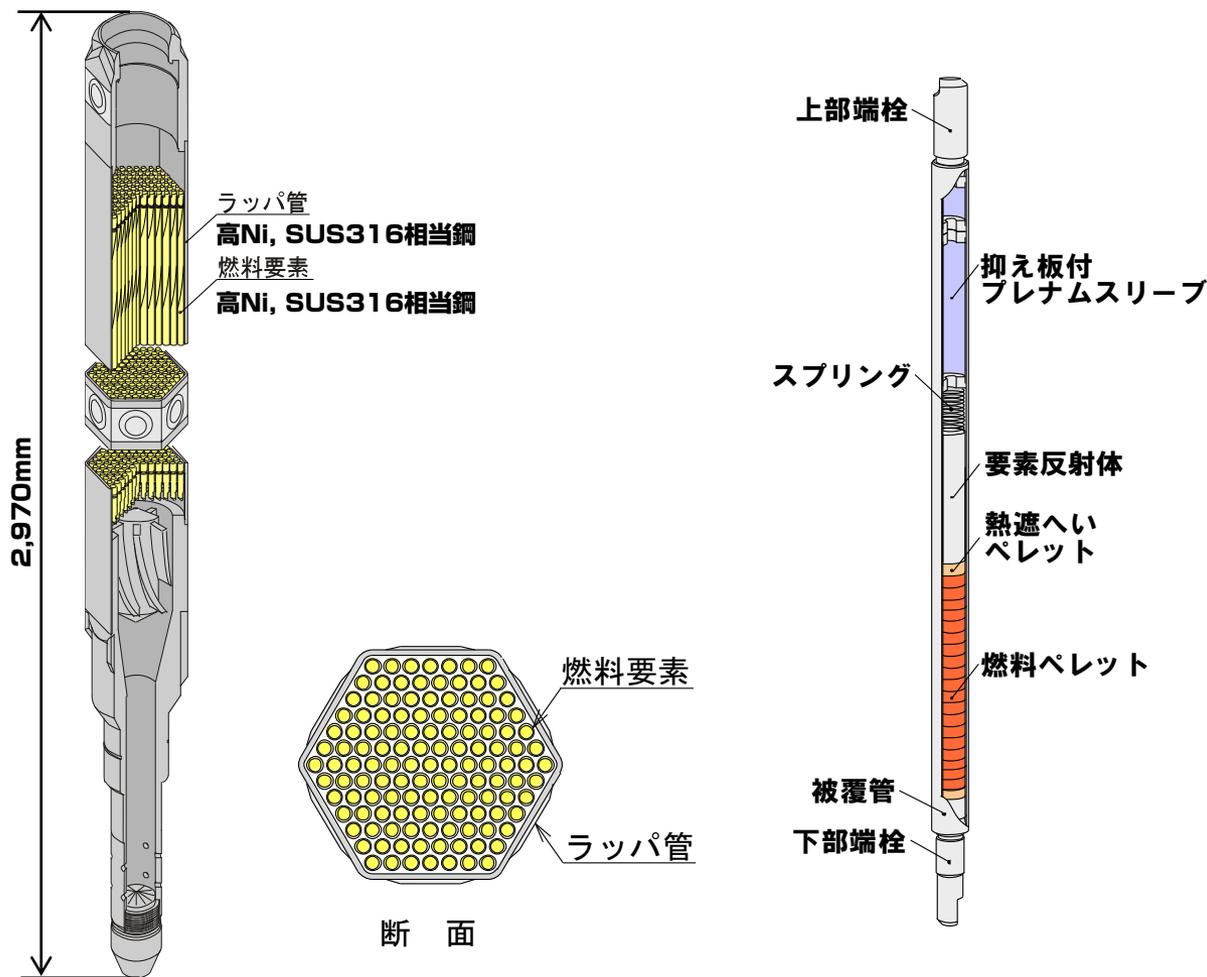
-  内側炉心燃料集合体
-  外側炉心燃料集合体
-  制御棒
-  照射用集合体
-  反射体
-  遮へい集合体



- 型式: ナトリウム冷却型高速炉
- 原子炉熱出力: 140MWt
- 主冷却系: 2系統 (A, Bループ)、空気冷却方式

- 燃料: プルトニウム・ウラン混合酸化物
- 炉心燃料集合体の装荷体数 (最大) 85 体
- 高速中性子束 ( $E \geq 0.1$  MeV)  $4.0 \times 10^{15}$  n/cm<sup>2</sup> · s

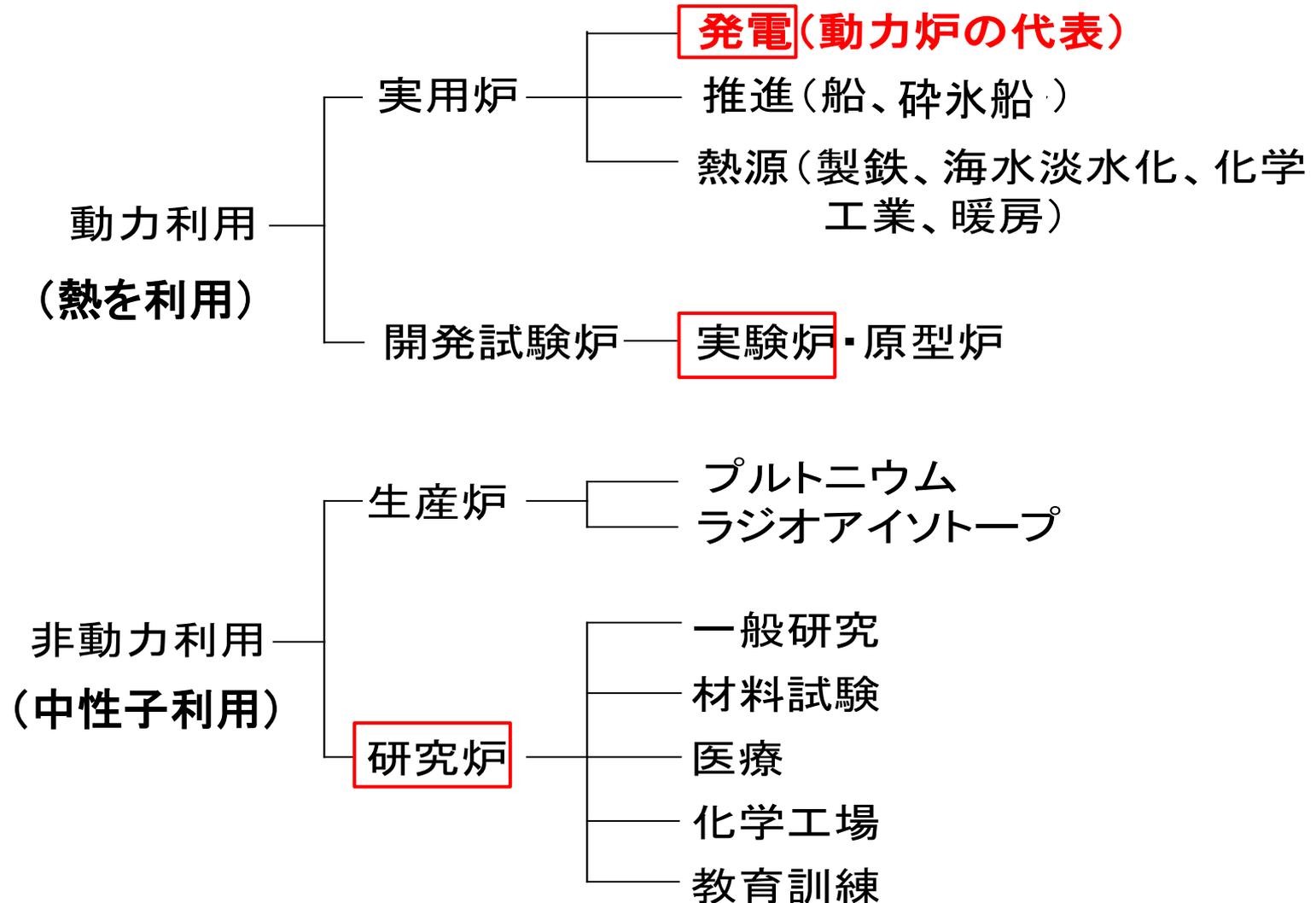
# 燃料集合体の構造概要



## 炉心燃料集合体

## 燃料要素

# いろいろな原子炉



# 高温工学試験研究炉 (試験研究炉)



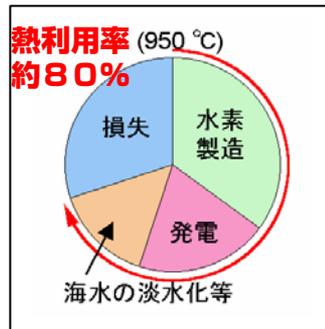
## 高温ガス炉の特長

### ■ 安全上の特長

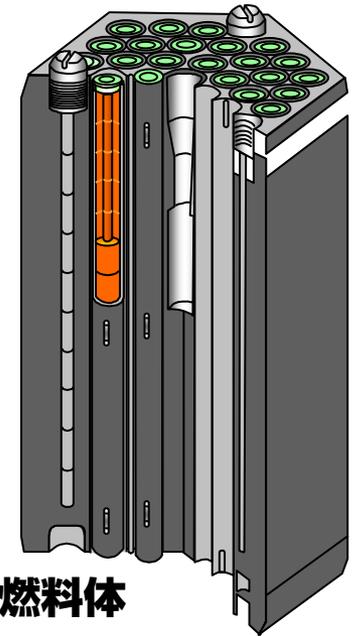
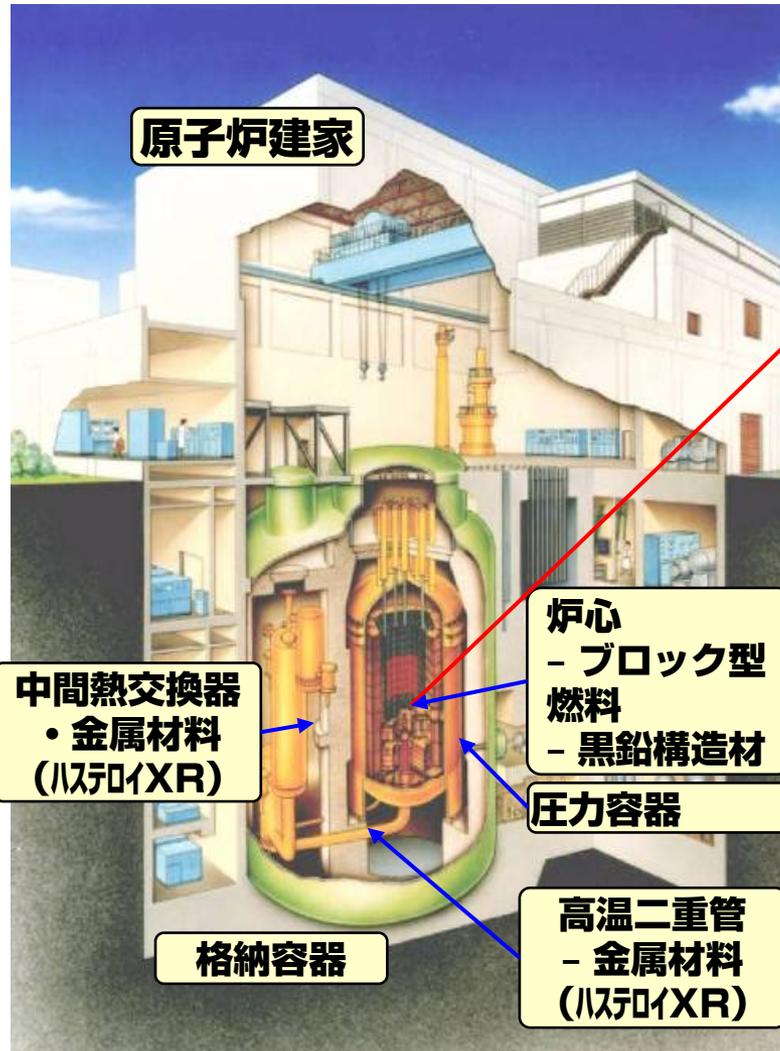
- 燃料の大規模破損や炉心溶融に至る事故が起こらない

### ■ 1000°C近い高温のガス

- 高い効率で、水からの水素製造・発電が可能
- 排熱利用により、熱出力の約80%を利用可能

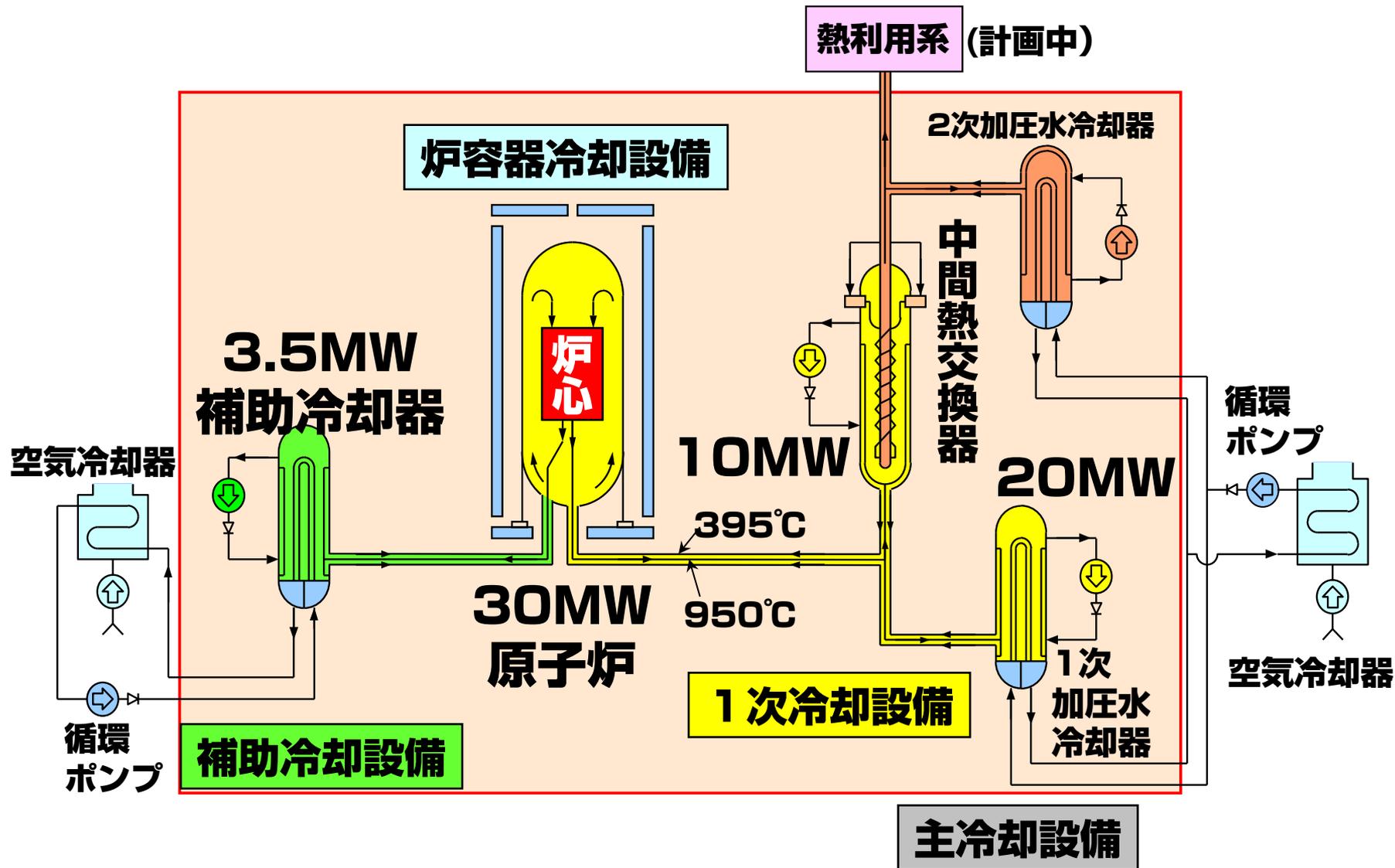


原子炉出口温度950°Cの達成 (平成16年4月)

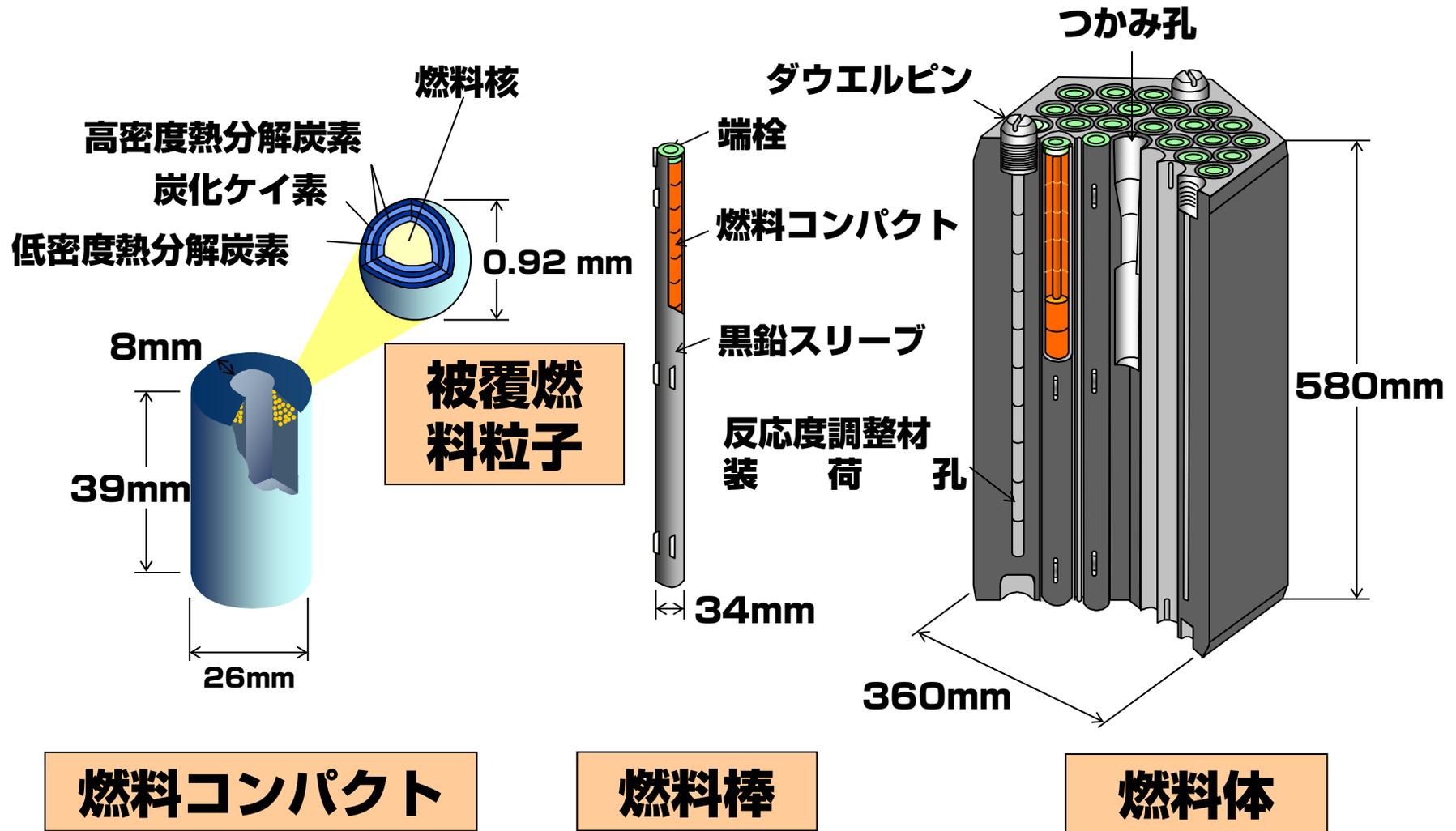


仕様	
出力	30 MW
燃料型	黒鉛ブロック
炉心構造材	黒鉛
冷却材	ヘリウムガス
入口温度	395 °C
最高出口温度	950 °C
圧力	40 気圧

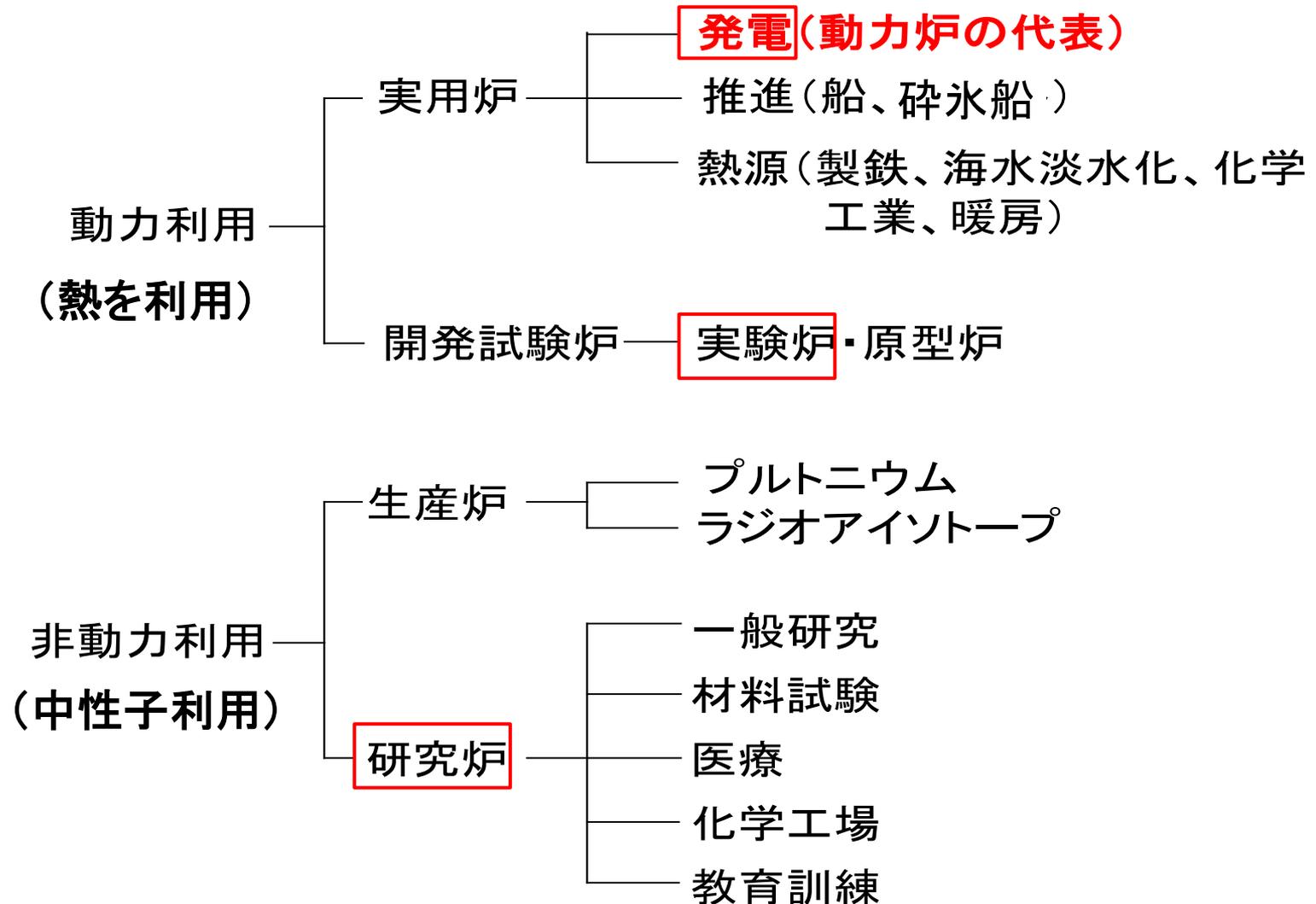
# 高温工学試験研究炉の冷却系統



# 高温工学試験研究炉の燃料体



# いろいろな原子炉



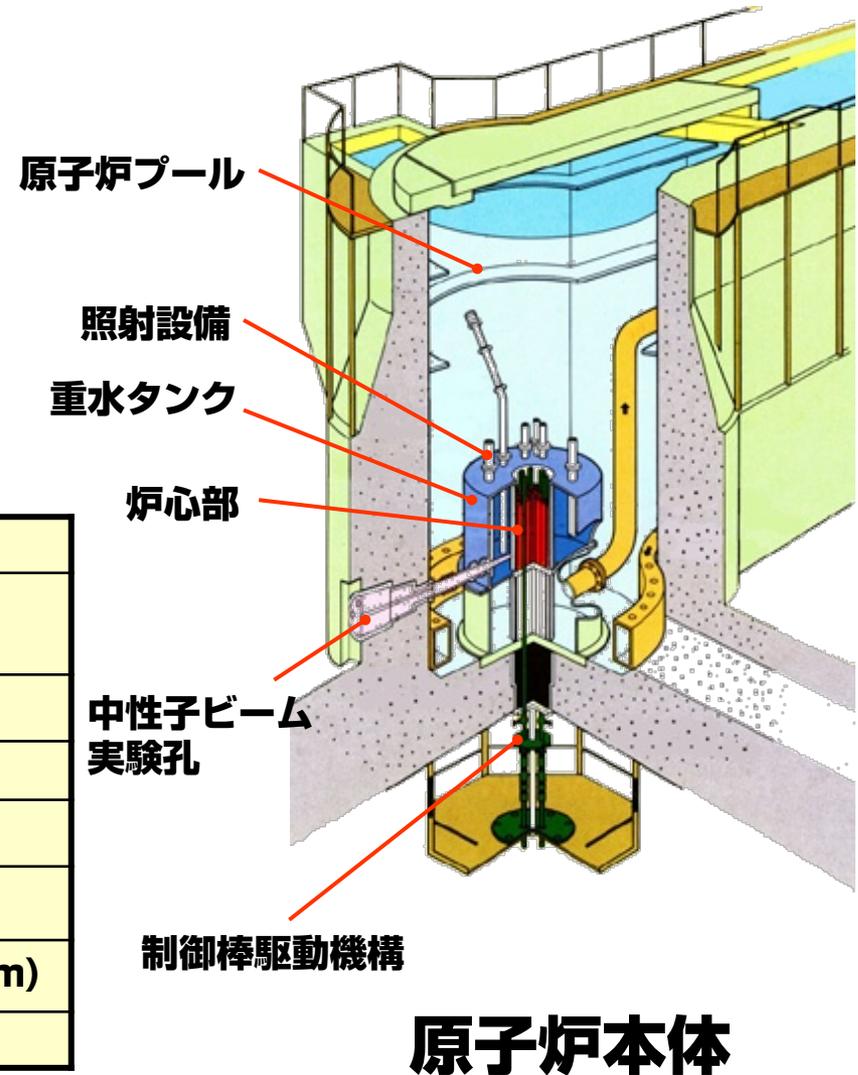
# JRR-3 (研究炉)



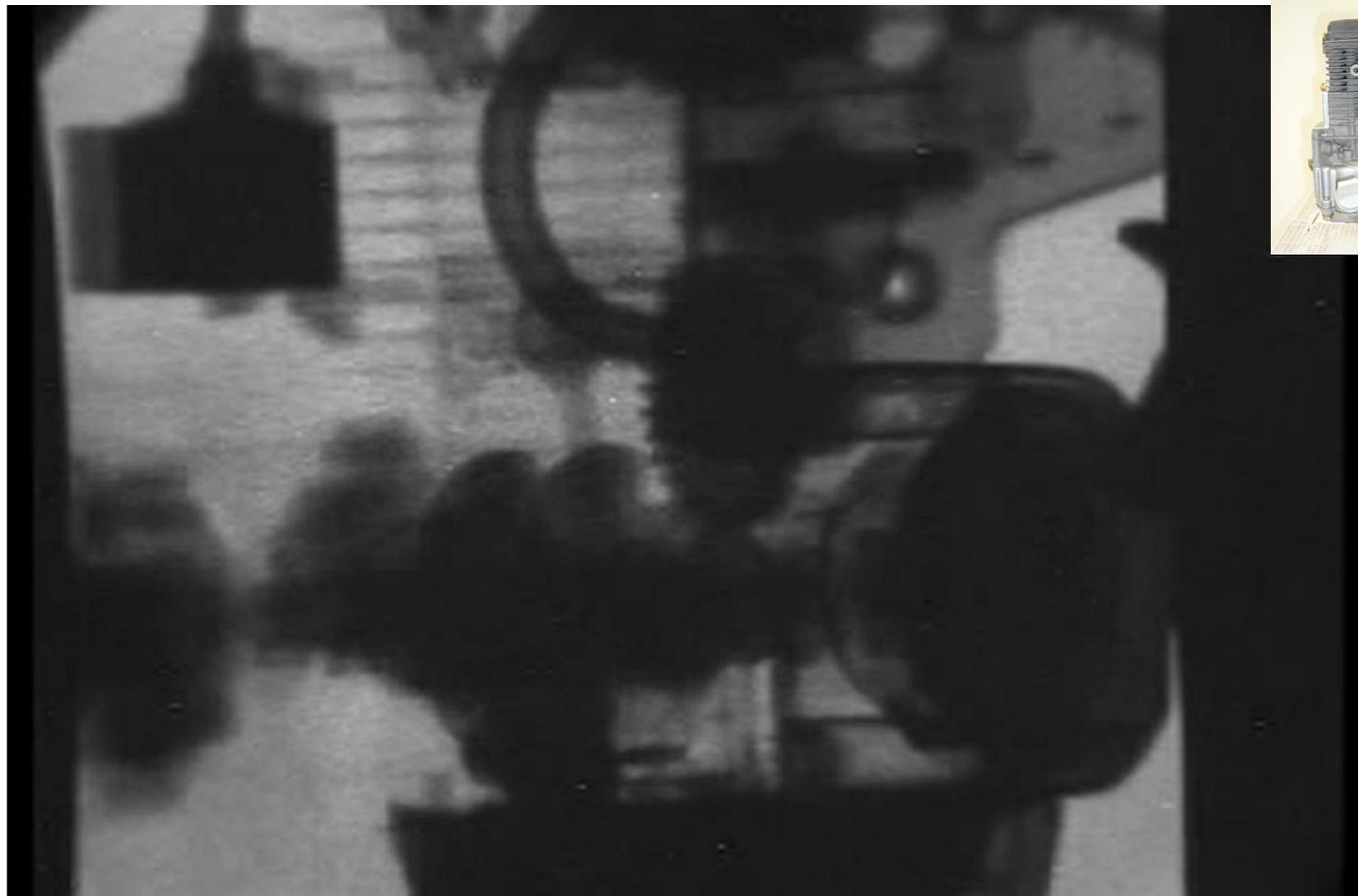
昭和37年	国産原子炉として臨界
昭和60年	高性能化のための改造工事開始
昭和61年	原子炉本体一括搬出
平成2年3月	改造JRR-3 臨界
同年11月	改造JRR-3利用運転開始
平成19年	米国原子力学会ランドマーク賞受賞
平成20年	日本原子力学会原子力歴史構築賞
平成22年11月	積算出力約6.4万MWD達成

## JRR-3の仕様

目的	中性子ビーム実験、RI生産、放射化分析、材料照射等
型式	軽水減速冷却プール型
燃料要素	板状燃料
最大熱出力	20MW
最大熱中性子束	約 $3 \times 10^{14}$ n/(cm <sup>2</sup> ・s)
炉心の形状等	円柱(直径: 60cm、高さ75cm)
運転形態	26日連続/cy: 6~7cy/年)



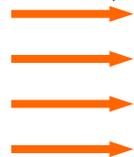
# 中性子ラジオグラフィーによるエンジン投影



# 中性子ラジオグラフィ



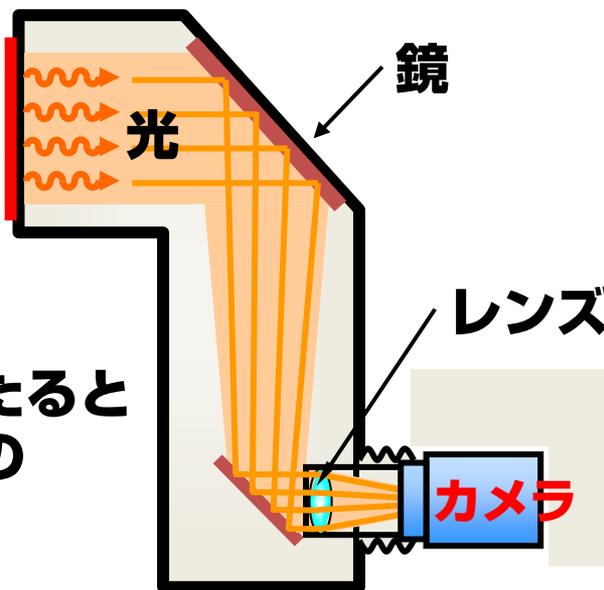
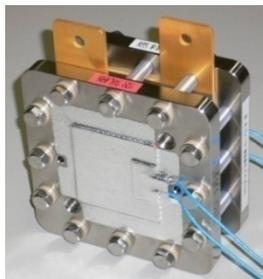
中性子  
ビーム



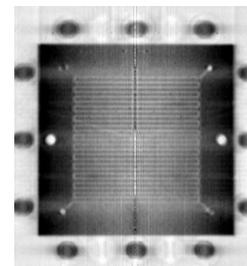
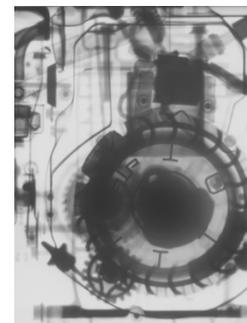
対象物



中性子があたると  
光を出すもの



対象物内の水の分布



エンジンの動作状況、  
潤滑油等の観察

燃料電池のCT像

X線では、見えない  
水素の位置がよくわかる

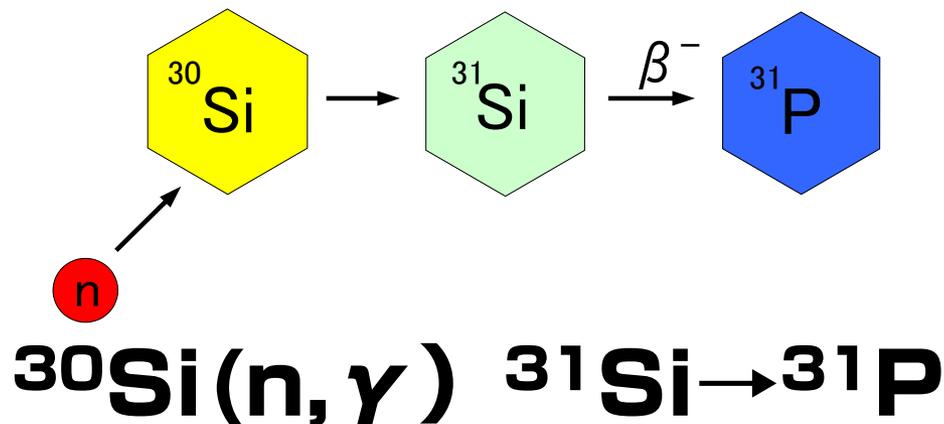
# 中性子核変換ドーピングによる半導体の製造



シリコン照射装置



シリコン単結晶



均一なドーピングが可能

## 大電流素子及び高品質素子への活用



IGBT (サイリスタ)

大容量インバータ

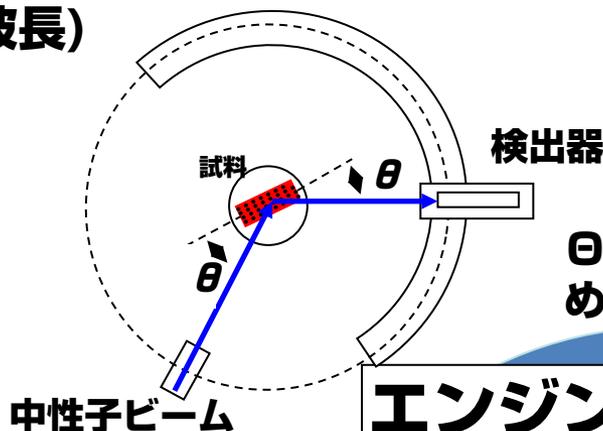
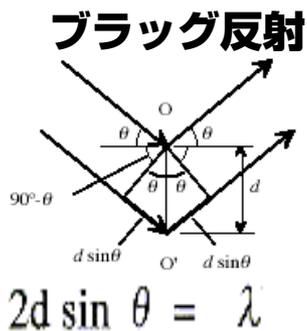


電車の電圧周波数制御設備

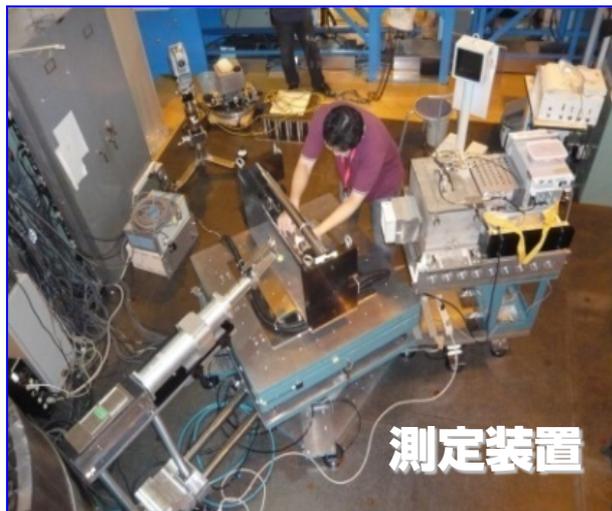
# 中性子による残留応力測定



$\lambda = h / mv$  (中性子波の波長)



θの変化から d の変化を求め残留応力を評価する



エンジン

ギア



産業応用例

機械強度の高性能、高信頼性などを目指した製品の開発研究に利用

1 プロファイル測定時間：20分程度（鉄鋼、パス長30mm、 $2 \times 2 \times 2 \text{mm}^3$ ）、応力分解能：±30MPa程度（鉄鋼）

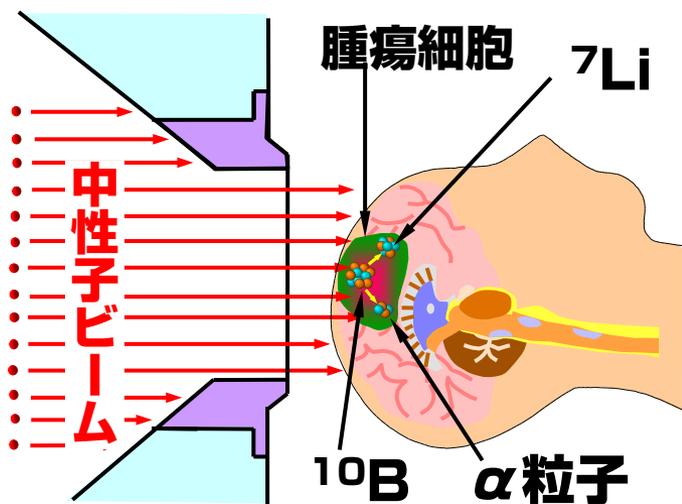


## ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) の原理

- ・ガン細胞に選択的に集まるホウ素化合物を投与
- ・原子炉からの中性子ビームを患部に照射
- ・中性子とガン細胞内のホウ素が $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ 反応を起こし、これによって生じるリチウム原子核と $\alpha$ 粒子が、ガン細胞のみを破壊

## BNCTの特徴

- ・ガン細胞のみを選択的に破壊でき、細胞レベルでのガン治療が可能
- ・治療後の生活の質 (Quality of Life) が極めて高い
- ・1回~数回の照射で治療が完了
- ・悪性脳腫瘍、皮膚癌、頭頸部癌等の治療に適用



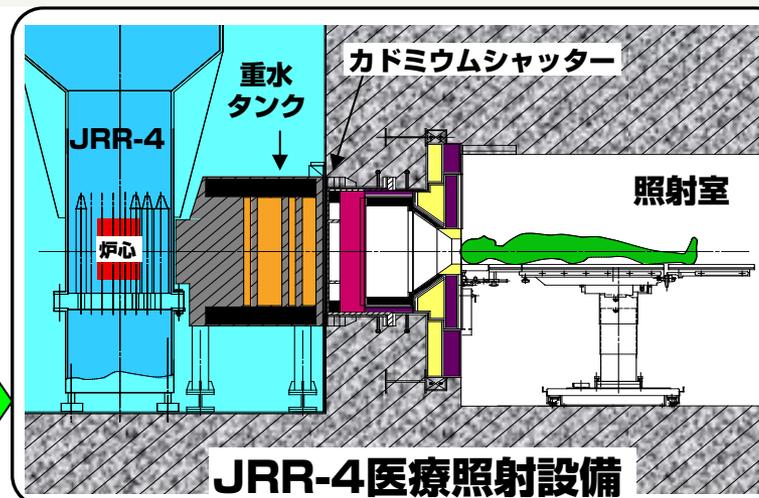
医学  
臨床研究等

# BNCT

薬学  
ホウ素化合物  
開発

原子炉工学

- ・最適な中性子ビームの提供
- ・高精度な線量評価



JRR-4医療照射設備

# この章のまとめ



- 1. 原子炉には、水を冷却材に使用する軽水炉の他に、ナトリウムやヘリウムを冷却材にする高速炉や高温ガス炉もある**
- 2. 原子炉には、熱エネルギーではなく発生する中性子を用いた研究や産業に活用する研究炉がある**