

# PWR燃料基礎講座

2021年度 第5回

核燃料・材料・水化学合同夏期セミナー

講演者：三菱原子燃料株式会社

炉心・燃料技術部 燃料開発課 渡部 清一

2021年8月10日

三菱原子燃料株式会社

# 目次

## 1. 序論

- 原子燃料とは
- PWR炉心と燃料
- PWR燃料の役割

## 2. PWR燃料の構造

- PWR燃料の仕様
- 燃料棒の構造 / 燃料集合体の構造

## 3. PWR燃料の設計

- 燃料設計のあらまし
- PWR燃料の使用環境と燃料のふるまい
- 主な設計要求と考慮事項（燃料棒 / 燃料集合体）
- 燃料棒設計（解析評価）の流れ
- 設計コードによる解析評価の例（燃料棒内圧）

## 4. PWR燃料の製造

- 核燃料サイクル（軽水炉）の概要
- 燃料集合体の製造工程（概要）
- 二酸化ウラン粉末の製造／ペレットの製造／燃料被覆管の製造／燃料棒の組立／燃料集合体の組立

## 5. PWR燃料の開発

- 燃料開発の概要
- 燃料開発の例（新材料の燃料被覆管） / 燃料開発の例（リーク対策） / 燃料開発の例（事故耐性燃料）
- 燃料開発における今後の課題

# 1. 序論

# 原子燃料とは

ねん-りょう【燃料】

燃焼させて熱源とする材料。薪、木炭、石油、天然ガスなど。  
広義には核燃料も含める。（広辞苑より抜粋）

☞ **核燃料** . . . **核分裂**によって、エネルギーを生成する物質。  
ウラン（U）、プルトニウム（Pu）、トリウム（Th）など。

☞ **燃焼** . . . 原子燃料が燃焼するとは、**核分裂反応を起こすこと**を指す。

☞ **燃焼度** . . .  $1\text{MWd/t} = \frac{\text{出力1メガワット (MW)} \times \text{1日間 (d)}}{\text{ウラン1トン}}$

要するに、燃焼度とは燃料の**消耗度合い**を表しており、  
高燃焼度であるほど燃料の劣化も進んでいることになるため、  
燃焼度は燃料使用制限の指標として用いられる。

現在、国内PWR燃料の制限燃焼度は**55,000 MWd/t**である。

☞ **原子燃料** . . . 核燃料そのもの（**二酸化ウラン**あるいは**ペレット**）を指すこともあるが、  
一般には**燃料集合体**のことを指すことが多い。

# PWR炉心と燃料

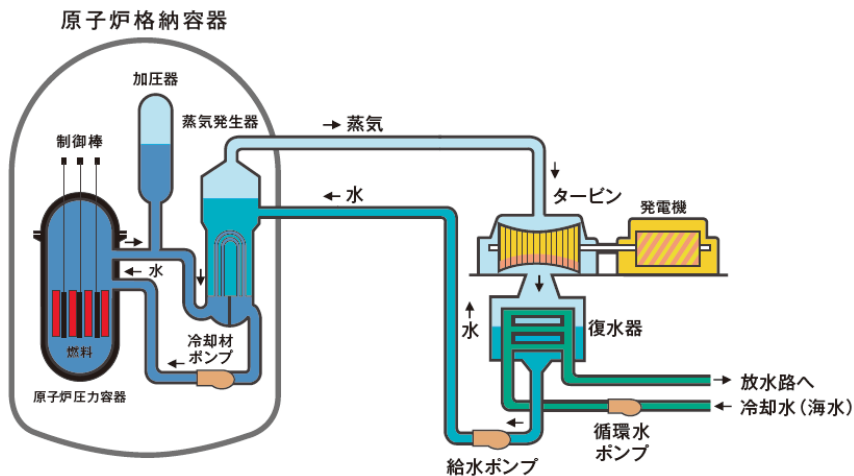


図5-1 PWR発電所の概要(冷却系統) [1]

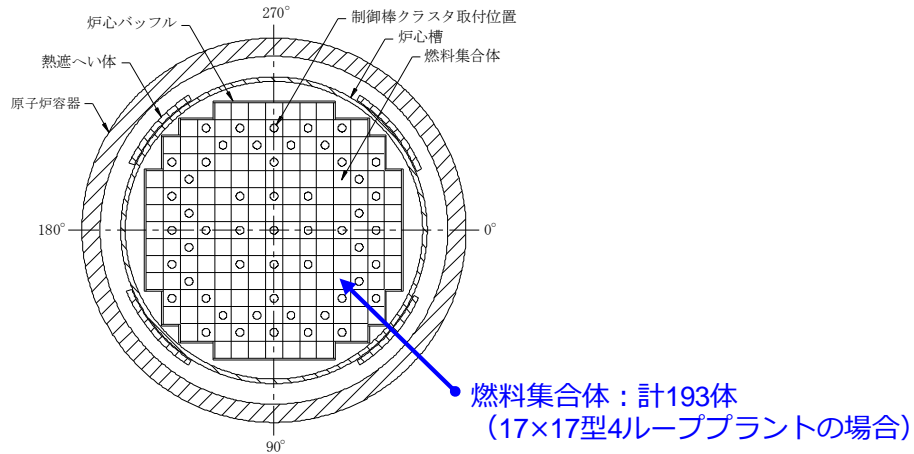


図5-4 PWR炉心の横断面図(燃料集合体の装荷位置)

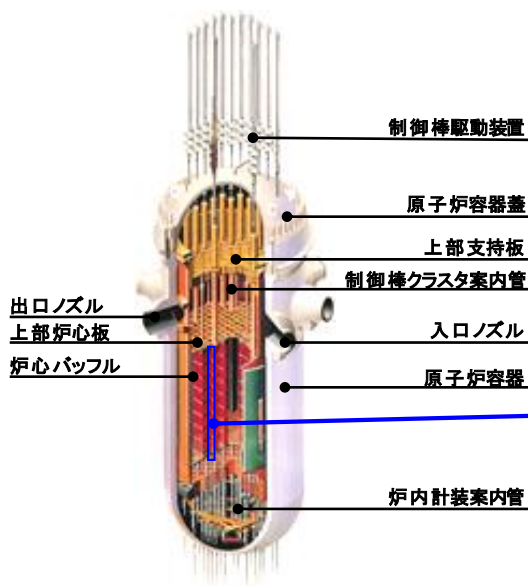


図5-2 PWR炉心

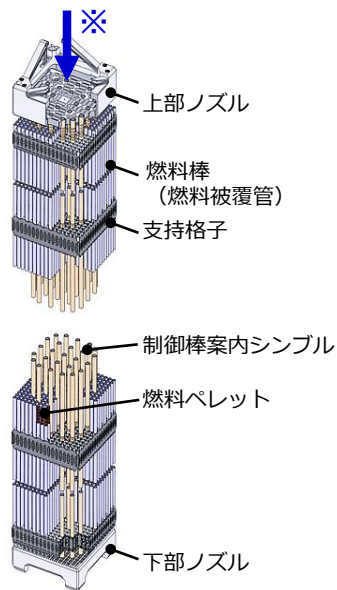


図5-3 PWR燃料集合体

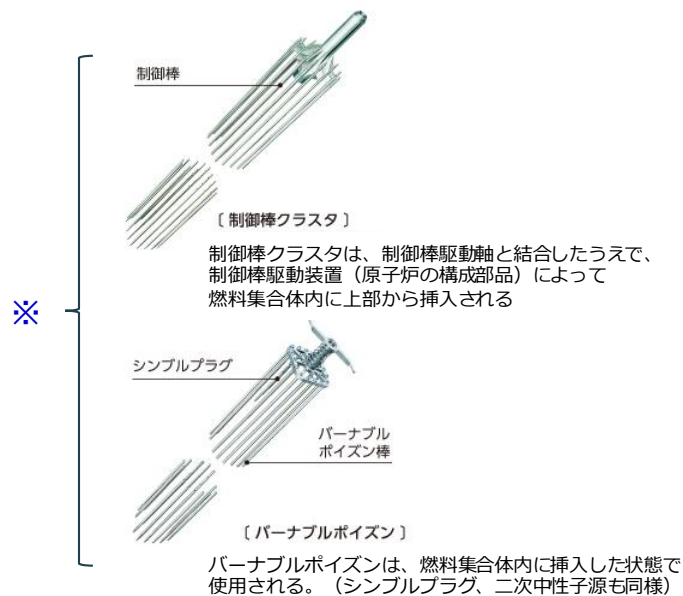


図5-5 制御棒とバーナブルポイズン

# PWR燃料の役割

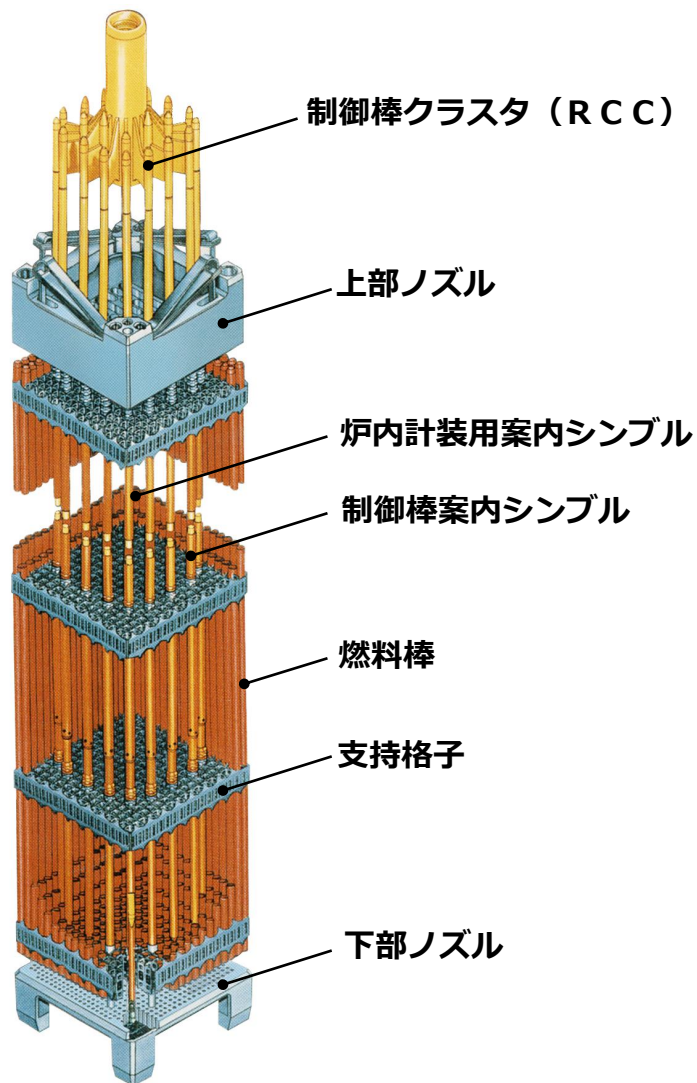


図6-1 PWR用燃料集合体の概略図  
(三菱原子燃料製17×17型の例)

## ① 核分裂によるエネルギー生成

- 臨界の維持
  - ・濃縮ウランペレット（固形状）
  - ・燃料棒への封入（ペレット保持）
  - ・支持格子及びその他構造材（燃料棒保持）

## ② 核分裂の制御（止める）

- 制御棒のスムーズな導入
  - ・制御棒案内シンプル

## ③ 炉心の冷却（冷やす）

- 冷却材流動の最適化
  - ・支持格子（ベーン）による攪拌
  - ・上下部ノズルの流路孔（流動最適化）

## ④ 被ばくの防止（閉じ込める）

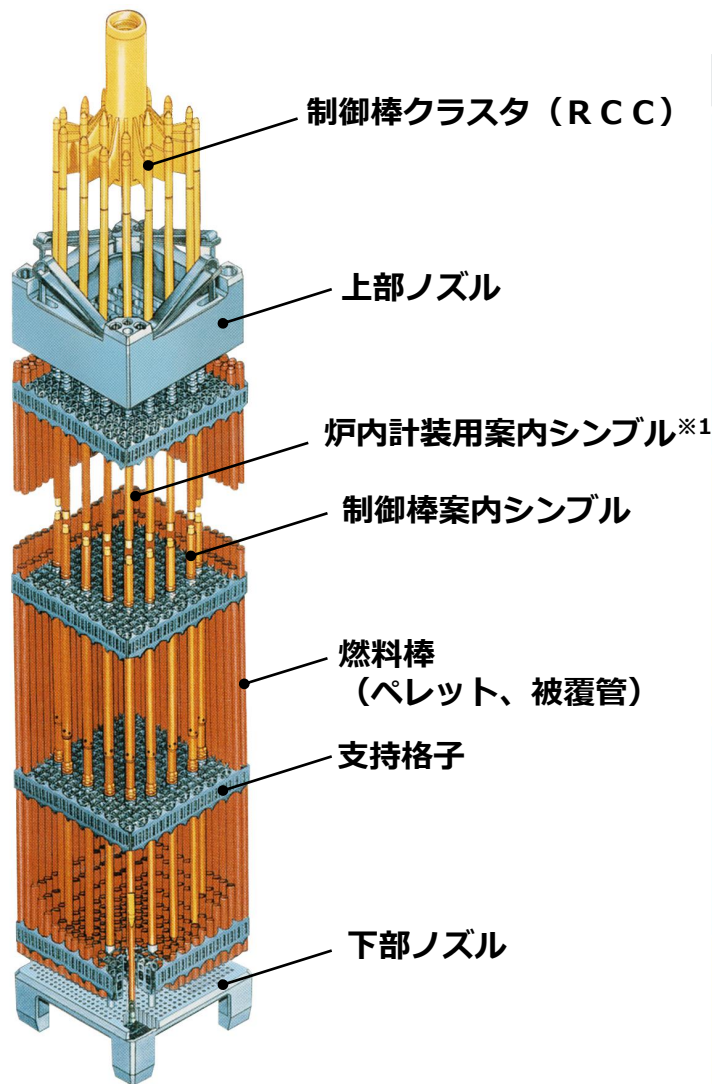
- 核分裂生成物（FP）の閉じ込め
  - ・ペレット（焼結体）
  - ・燃料棒（密封構造）

⇒ 原子燃料は単なるエネルギー源ではなく、  
安全性を担保するための精密設計が必要。

## 2. PWR燃料の構造

# PWR燃料の仕様

表8-1 PWR用17×17型燃料集合体の仕様

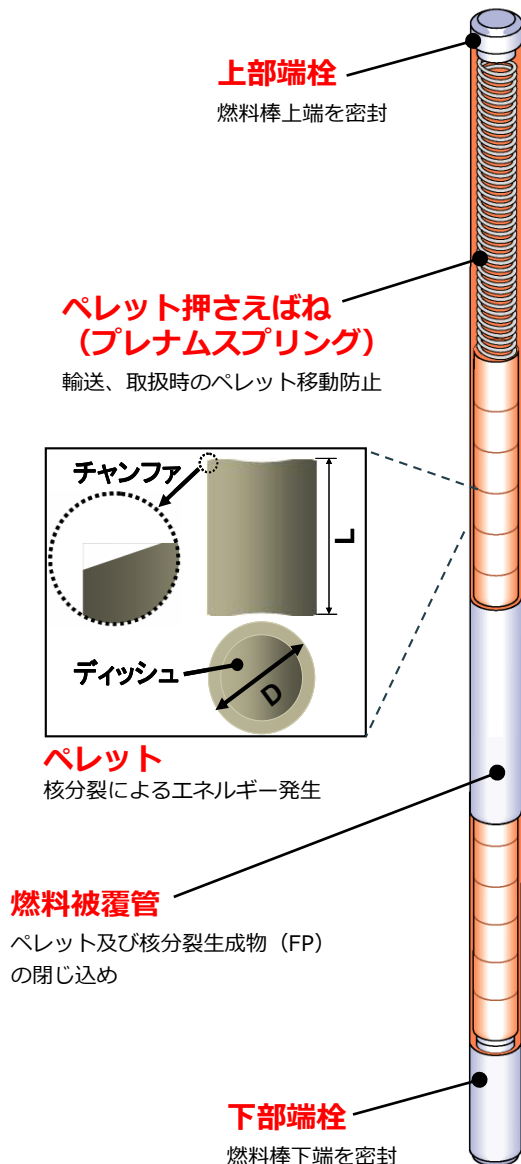


部材	仕様	
燃料集合体	断面寸法	約214 mm × 約214 mm
	全長	約4.1 m
燃料棒	数量	264本
	全長	約3.9 m
支持格子	材質	インコネル / ジルカロイ 4
	数量	9個
制御棒案内シンプル	材質	ジルカロイ 4
	数量	24本
	外径	約12 mm (一部は約11 mm)
	厚さ	約0.4 mm
燃料被覆管	材質	MDA (改良ジルコニウム合金)
	外径	約10 mm
	肉厚	約0.6 mm
燃料ペレット	材質	二酸化ウラン
	直径	約8 mm
	長さ	約10 mm

注1：炉内計装用案内シンプルは、燃料集合体の中心に1本装荷されており、仕様は概ね制御棒案内シンプルと同じである。



# 燃料棒の構造



## 燃料棒

**構造** ペレットを300個以上装填してペレット押さえばねで固定し、ヘリウムガスを加圧充填して両端を端栓で密封。

## ペレット (二酸化ウラン)

**機能** 核分裂によるエネルギー発生とFPの閉じ込め

**材質** 二酸化ウラン粉末の焼結体

**形状・寸法** 直径8mm、長さ10mmの円柱形

### 特徴

- ・ 炉心内で最も高温となる (安全上、極めて重要)
- ・ 照射挙動が極めて複雑であり、挙動解明のための研究およびモデリングが盛んに行われている。

## 燃料被覆管 (ジルコニウム合金)

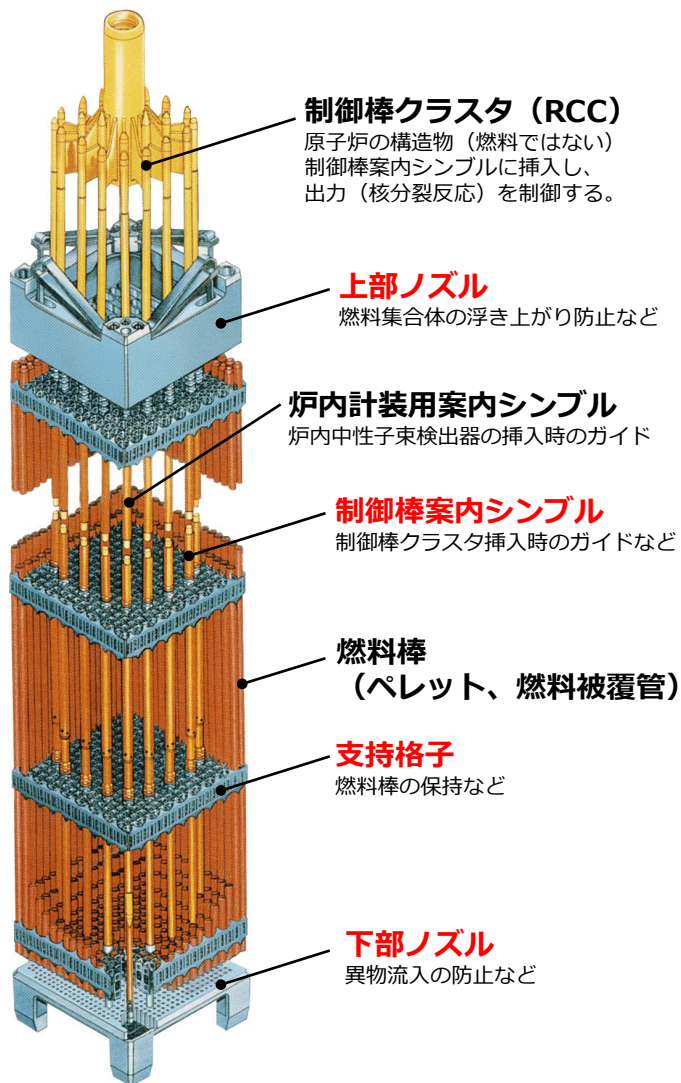
**機能** ペレットとFPを閉じ込めることで、燃料の健全性を維持  
ペレットの熱エネルギーを一次冷却材に伝達

**材質** 中性子吸収が少ないジルコニウム合金製

**形状・寸法** 外径10mm、肉厚0.6mm、長さ4.1mの薄肉長尺管

**特徴** 厳しい環境下で高い堅牢性が求められる重要な部材であり、各燃料メーカーが開発競争を行っている。

# 燃料集合体の構造



## 燃料集合体

**機能** 案内シンブル、支持格子、上部・下部ノズルが骨格を形成し、様々な衝撃から燃料棒を守っている。

## 制御棒案内シンブル

**構造** 燃料集合体の主要な構造部材であり、上部ノズル、下部ノズル、支持格子と結合している。

**機能** 上部から制御棒を挿入する際のガイドとしての機能を有し、原子炉緊急停止（スクラム）時には、落下してくる制御棒の速度を制御する機能も有する。

## 支持格子

**機能**

- ばね構造を有する薄板を格子状に組み立てた構造体であり、燃料棒を保持し、振動や衝撃から守る役割を担う。
- 板には冷却材を攪拌するベーンが付いており、冷却材を攪拌して冷却性を高める機能も有する。

## 上部ノズル

**機能** 燃料集合体の取り扱い時の掴み部、炉心内での位置決め、運転中の浮き上がり防止などの機能を有する。

## 下部ノズル

**機能** 冷却材流動の最適化（圧力損失の制御）、異物流入の防止などの機能を有する。

# 3. PWR燃料の設計

## 燃料設計のあらまし

### ● PWR燃料への設計要求

- 核分裂による熱エネルギーを設定仕様通り、**効率的**、**持続的**に取り出せること
- 使用期間、使用環境において**健全性**を維持し、**止める**、**冷やす**、**閉じ込める**機能を確保できること

### ● PWR燃料がおかれる環境

- **中性子照射**
- 一次冷却材 (**高温**、**高圧**、**流動**、**水化学**)
- その他の外部環境 (異常事象：**地震**、異常な**出力上昇**など)

### ● 設計の流れ (開発から検証まで)

- 材料および構造**開発**：新材料の開発、構造の改良など
- 燃料ふるまいの**把握**：主に試験によって材料特性、照射挙動を把握
- 解析**モデル**の構築：理論および実験データに基づいて、燃料ふるまいをモデル化
- **解析**評価 (検証)：使用条件での燃料ふるまいを解析し、設計要求を満たすことを確認

# PWR燃料の使用環境と燃料のふるまい

## 使用環境（負荷）

### 中性子照射

#### 【環境因子】

- ・高速中性子照射（ $\sim 1 \times 10^{26} \text{n/m}^2$ ）

#### 【具体的影響】

- ・被覆管の照射成長、クリープ、照射硬化、照射脆化
- ・制御棒案内シンプルの照射成長など
- ・支持格子の燃料棒押さえばね力の緩和
- ・一次冷却材の放射線分解（腐食雰囲気形成）

### 一次冷却材（圧力、温度、流動、水化学）

#### 【環境因子】

- ・圧力：157気圧
- ・温度：300°C以上
- ・流速： $\sim 5 \text{m/sec}$
- ・水質：弱アルカリ（リチウム、ホウ素）

#### 【具体的影響】

- ・外圧による燃料棒の変形
- ・被覆管の腐食、水素化
- ・流動振動（フレットング摩耗）
- ・ステンレス鋼製部材のSCC

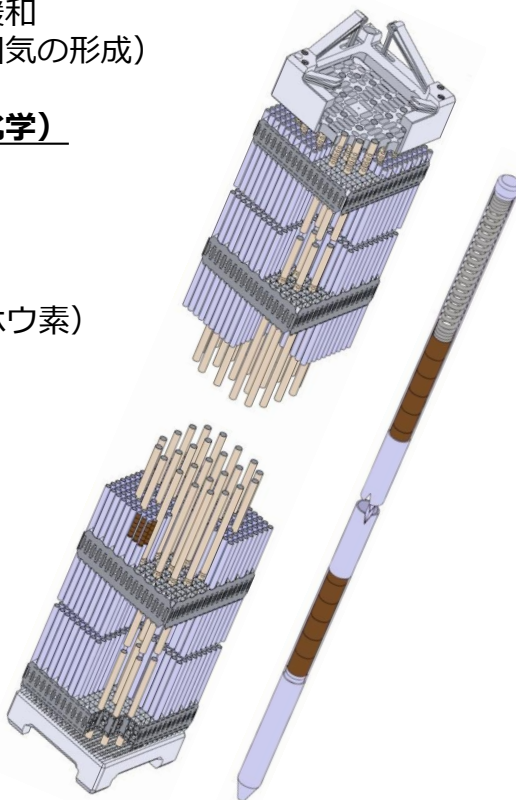
### その他の外的要因

#### 【環境因子】

- ・異物
- ・地震/冷却材喪失事故（LOCA）

#### 【具体的影響】

- ・異物の振動による摩耗
- ・地震の揺れによる変形



## 燃料のふるまい（炉内挙動）

### ペレット

- ・核分裂反応による発熱、温度上昇
- ・熱応力による割れ
- ・FPガスの放出
- ・収縮（焼き締め）と膨張（スエリング）

### 燃料被覆管

- ・照射成長（伸び）
- ・クリープ変形（収縮）
- ・疲労（繰り返し応力）
- ・照射硬化（脆化）
- ・腐食、水素吸収
- ・応力腐食割れ（SCC）

### 燃料棒

- ・ペレットと燃料被覆管の相互作用（PCI）
- ・内圧の増加（FPガスの蓄積）
- ・伸び

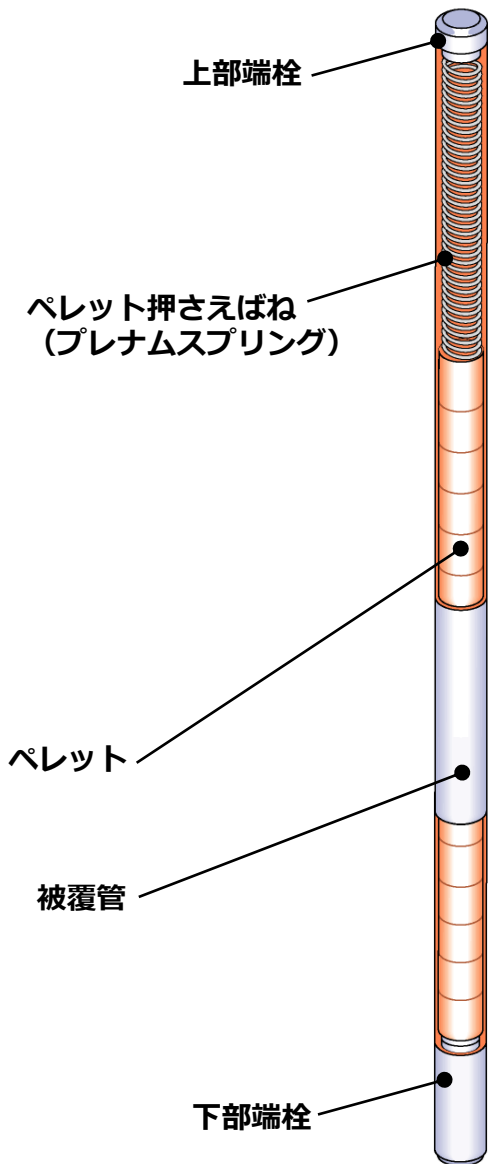
### 制御棒案内シングル

- ・照射成長（伸び）
- ・腐食、水素吸収
- ・地震による変形

### 支持格子

- ・腐食、水素吸収
- ・地震による変形
- ・燃料棒保持力の緩和

# 主な設計要求と考慮事項 (燃料棒)



## 燃料棒に対する主な設計要求

- ペレットが溶融しないこと
- 燃料棒の内圧が過大にならないこと
- 被覆管に生じる応力が耐力を超えないこと
- 被覆管に生じる歪が1%を超えないこと
- 被覆管が疲労破損しないこと
- 燃料棒がPCIにより破損しないこと

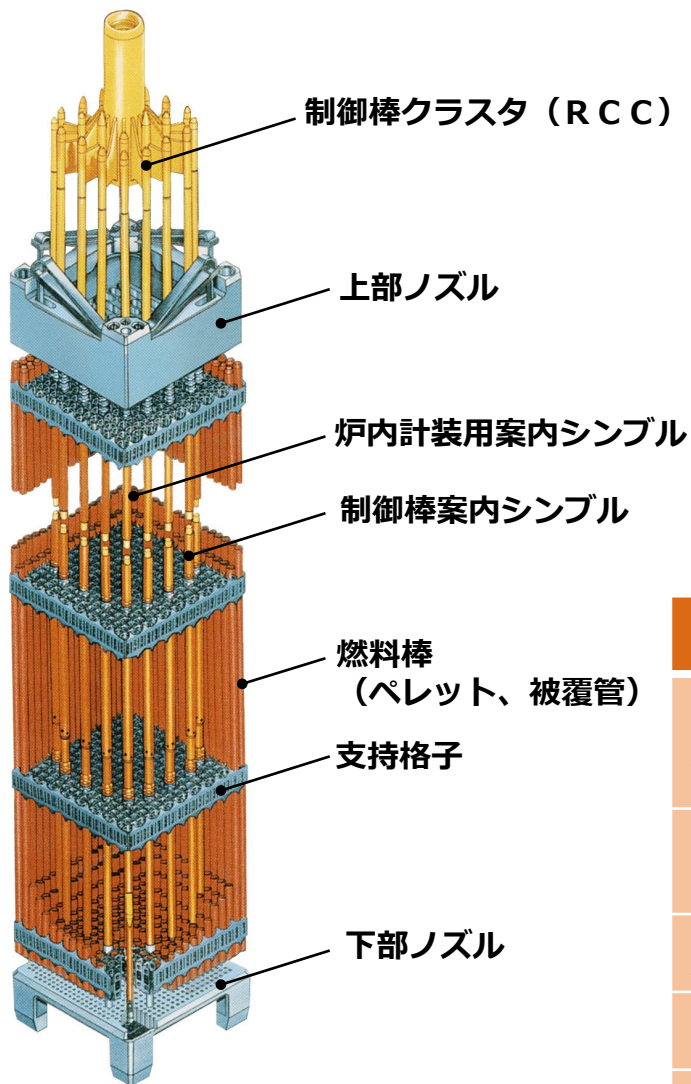
図14 燃料棒に対する設計要求と主な考慮事項

設計要求	設計上の主な考慮事項	主に考慮すべき照射挙動
ペレットが溶融しないこと	・ペレットと被覆管の熱伝導 (ギャップコンダクタンス)	・照射に伴う融点および熱伝導率の低下
燃料棒の内圧が過大にならないこと	・初期ヘリウム加圧量 ・燃料棒自由体積	・ペレットのFPガス放出率 ・燃料棒の寸法変化 (照射成長、クリープ) ・ペレットの寸法変化 (焼き締め、スエリング)
被覆管に生じる応力が耐力を超えないこと	・被覆管の耐力 ・初期ヘリウム加圧量	・被覆管の照射硬化 (耐力の増加) ・被覆管の腐食 (減肉) ・ペレットの接触による応力
被覆管に生じる円周方向の歪が1%を超えないこと	・被覆管の延性 ・初期ヘリウム加圧量	・被覆管の照射脆化 ・被覆管の水素化 (水素脆化)
被覆管が疲労破損しないこと	・被覆管の疲労強度	・ペレットとの接触による応力



# 主な設計要求と考慮事項 (燃料集合体)

## 燃料集合体に対する主な設計要求

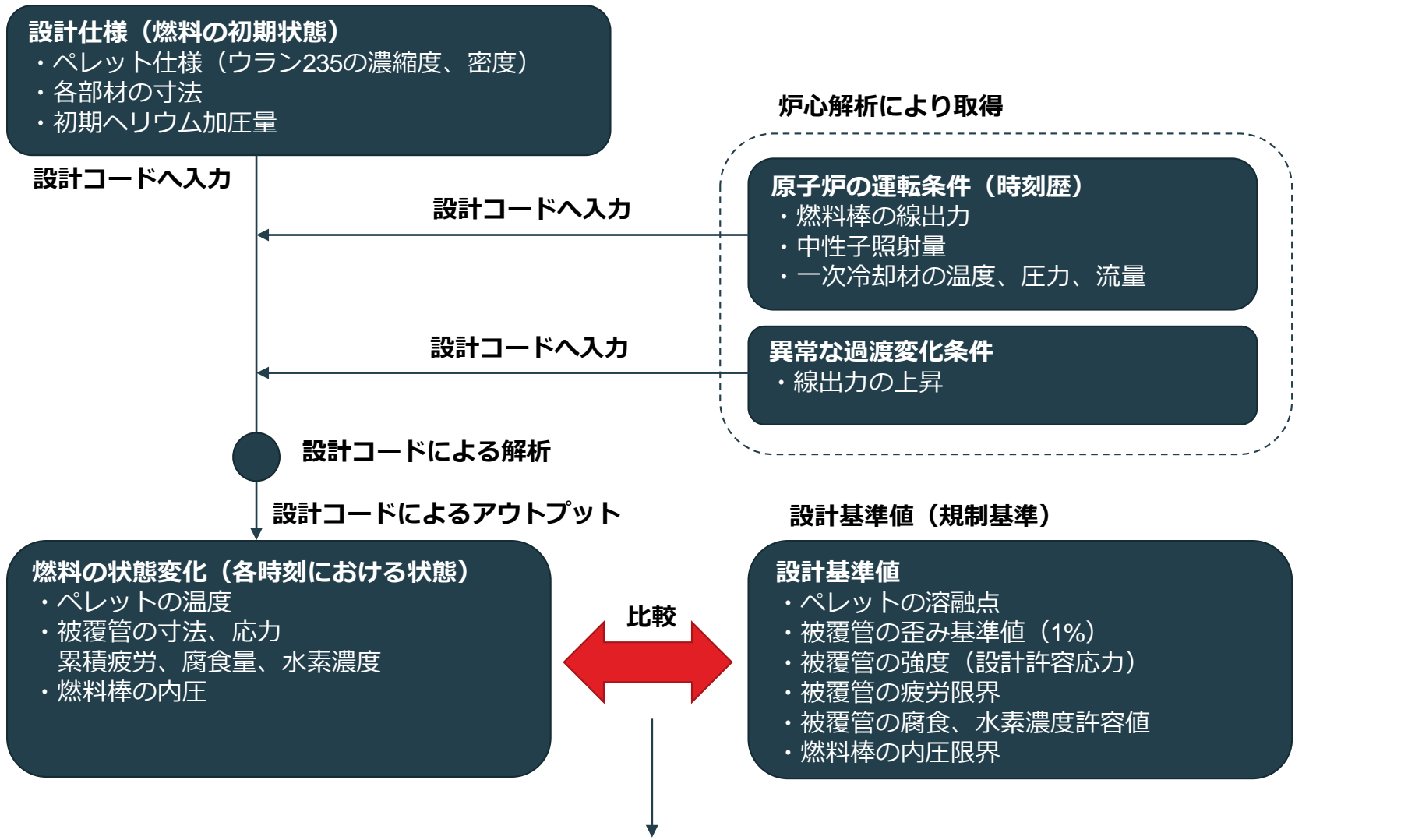


- 通常運転時、輸送・取扱い時、異常な過渡変化時、地震時、スクラム時に破損しないこと
- 案内シンプルの変形により制御棒の挿入性が阻害されないこと
- 燃料棒のフレットニング摩耗の防止
- 上部ノズルが上部炉心板と干渉しないこと
- 浮き上がらないこと

図15 燃料集合体に対する設計要求と主な考慮事項

設計要求	設計上の主な考慮事項	主に考慮すべき照射挙動
通常運転時、輸送・取扱い時、異常な過渡変化時、地震時、スクラム時に破損しないこと	<ul style="list-style-type: none"> <li>各部材の強度</li> <li>各部材の耐SCC性能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料棒押さえばねの保持力低下 (応力緩和)</li> </ul>
案内シンプルの変形により制御棒の挿入性が阻害されないこと	<ul style="list-style-type: none"> <li>案内シンプルの強度</li> <li>支持格子の強度</li> </ul>	
燃料棒のフレットニング摩耗の防止	<ul style="list-style-type: none"> <li>支持格子 (燃料棒押さえばね) の燃料棒保持力</li> </ul>	
上部ノズルが上部炉心板と干渉しないこと	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料集合体の全長</li> <li>上部ノズル押さえばねの押さえ力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料集合体の伸び (案内シンプルの照射成長等)</li> </ul>
浮き上がらないこと	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料集合体の重量および揚力</li> </ul>	-

# 燃料棒設計（解析評価）の流れ



解析による計算値が、設計基準値（上限値）を下回ることを確認し、設計成立性を検証する



# 設計コードによる解析評価の例 (燃料棒内圧)

## 設計コードへのインプット

- 燃料棒設計コードによる解析では、燃料棒線出力の径時変化（出力履歴）をインプットする。  
（出力履歴は、炉心解析によって取得する）
- 図17-1は、炉心内で燃焼度が最高となる燃料棒の出力履歴を示している。

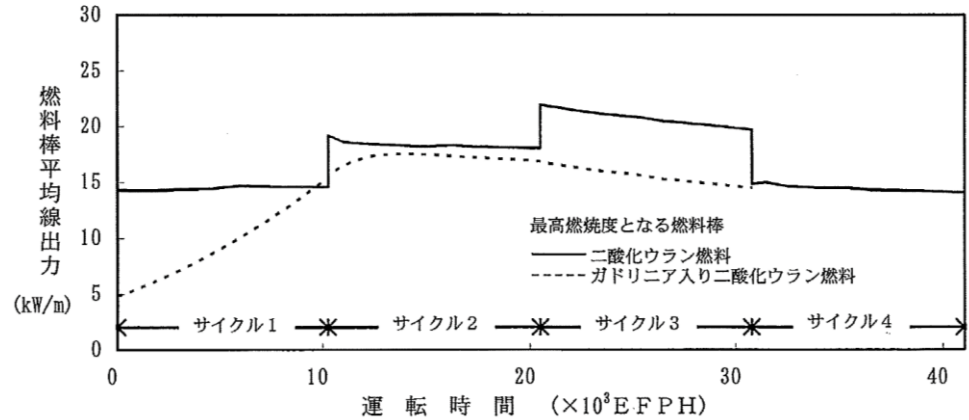


図17-1 燃料棒の平均線出力履歴（解析へのインプット） [2]  
（17×17型4ループプラントの例）

## 解析結果

- 燃料棒設計コードによって原子炉運転中の燃料棒の状態変化を計算し、解析等の不確定性を考慮したうえで、設計基準値（19.7MPa）を超えないことを確認している。
- 図17-2は、燃料棒設計コードによって計算した燃料棒内圧の変化を示している。燃料棒内圧はFPガスの蓄積や寸法変化等により、燃焼と共に徐々に増加する。

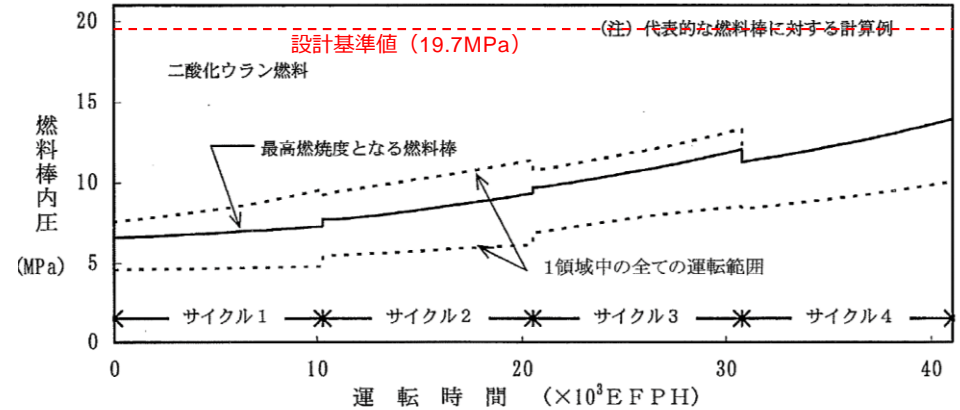
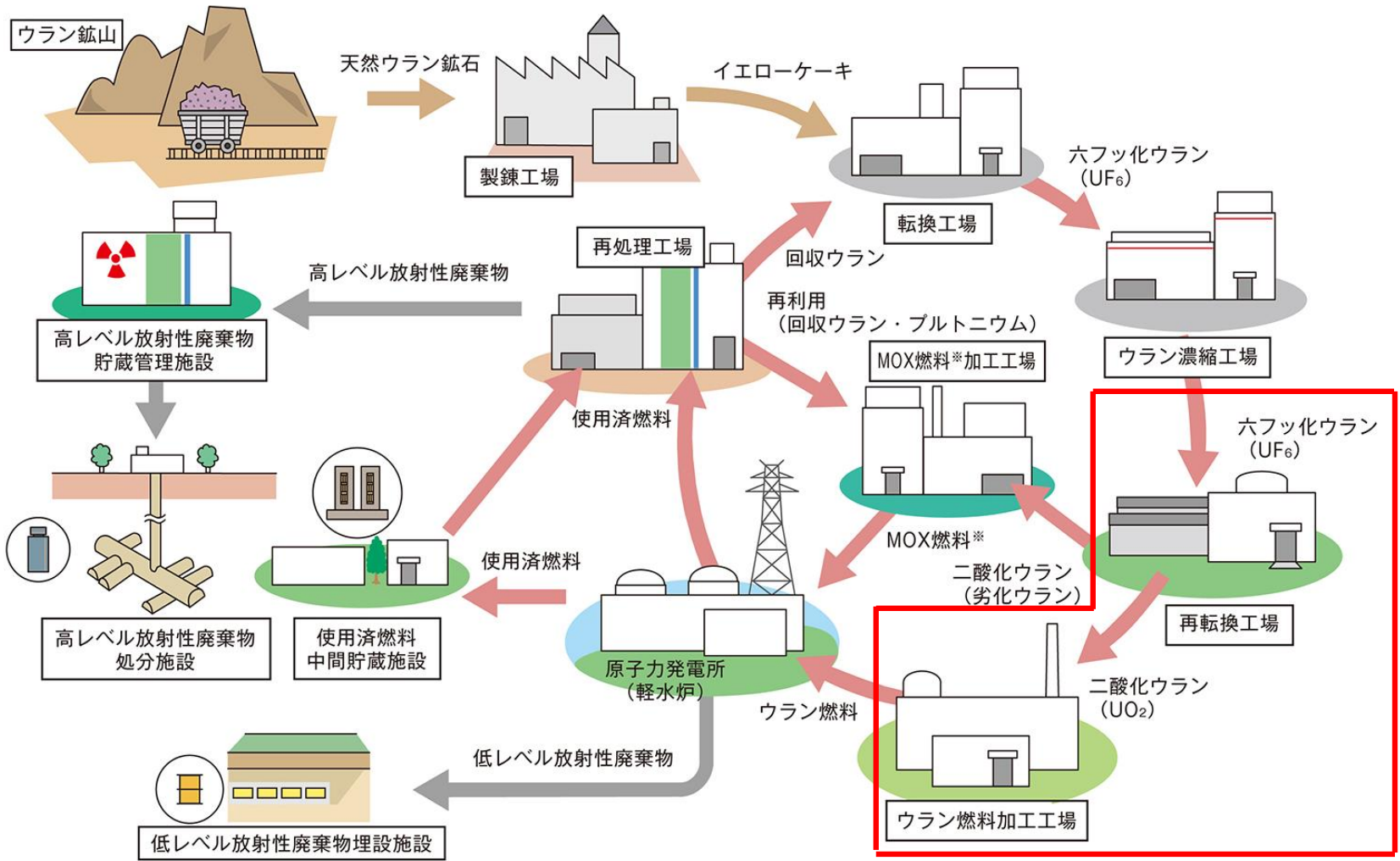


図17-2 原子炉運転中の燃料棒内圧の変化（解析結果） [2]  
（17×17型4ループプラントの例）

# 4. PWR燃料の製造

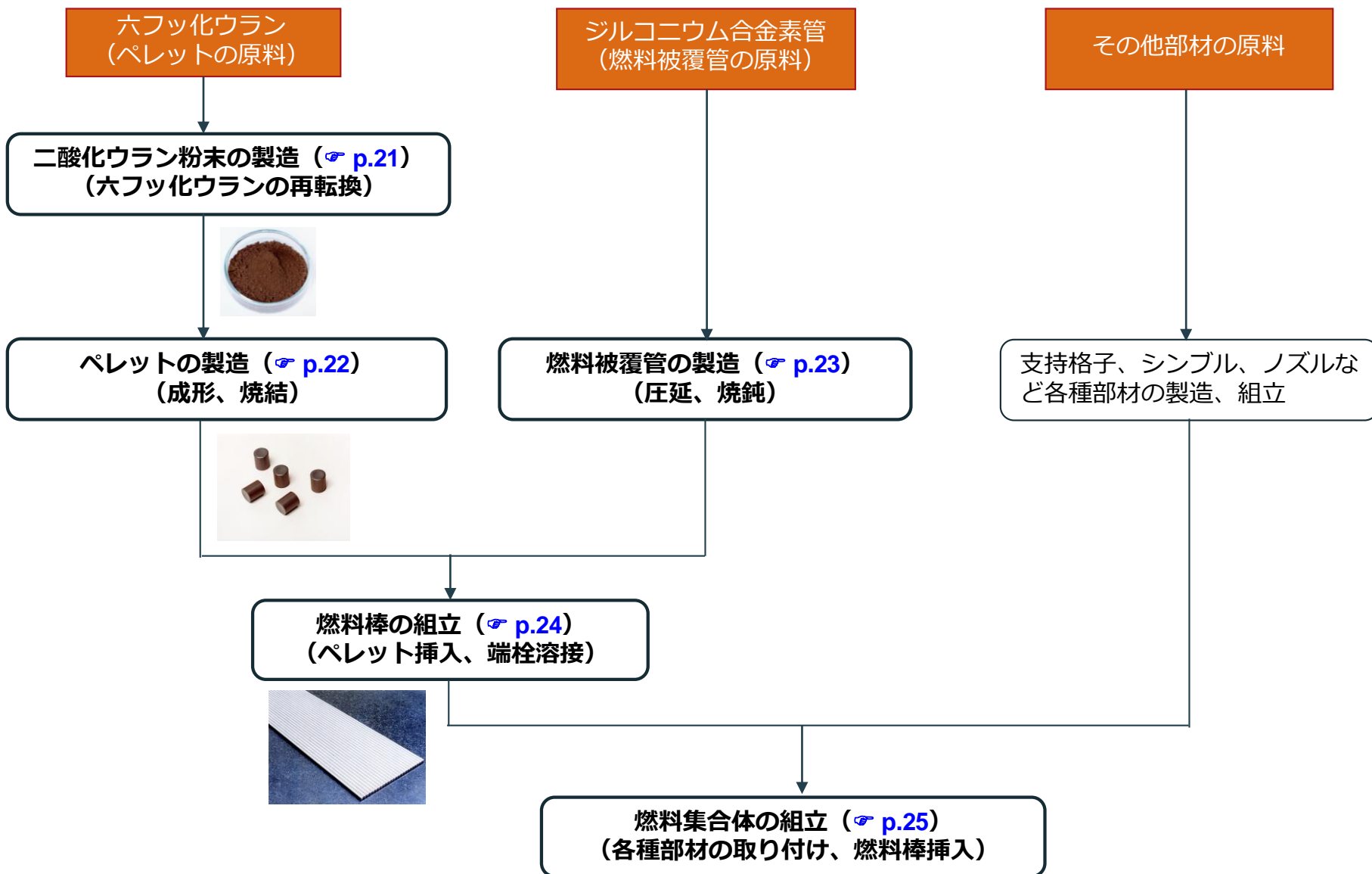
# 核燃料サイクル（軽水炉）の概要<sup>[1]</sup>



※MOX (Mixed Oxide) 燃料：プルトニウムとウランの混合燃料

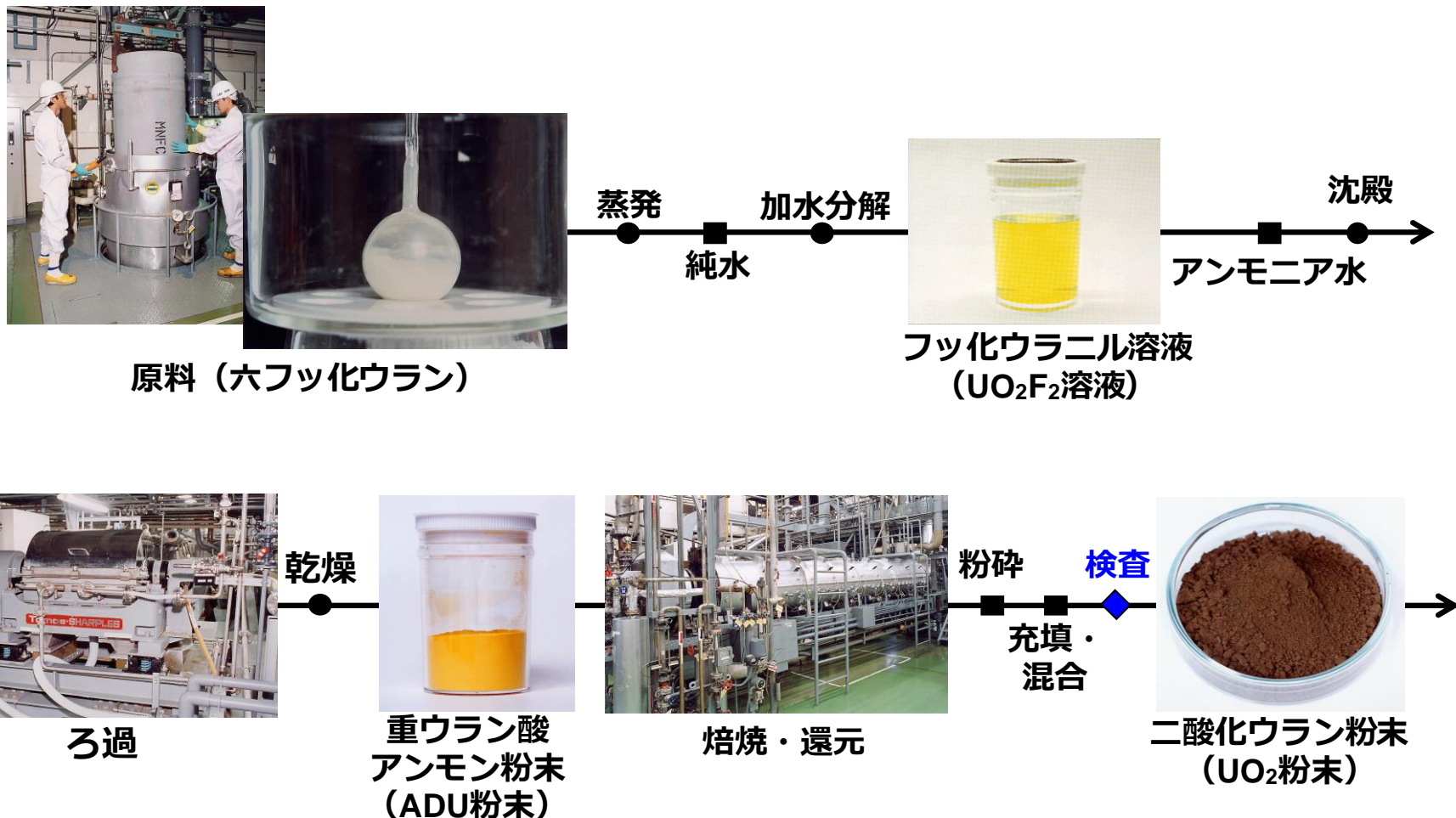
**燃料の製造**  
**(以降のスライドで詳しく説明)**

# 燃料集合体の製造工程（全体概要）



## 二酸化ウラン粉末の製造（再転換）

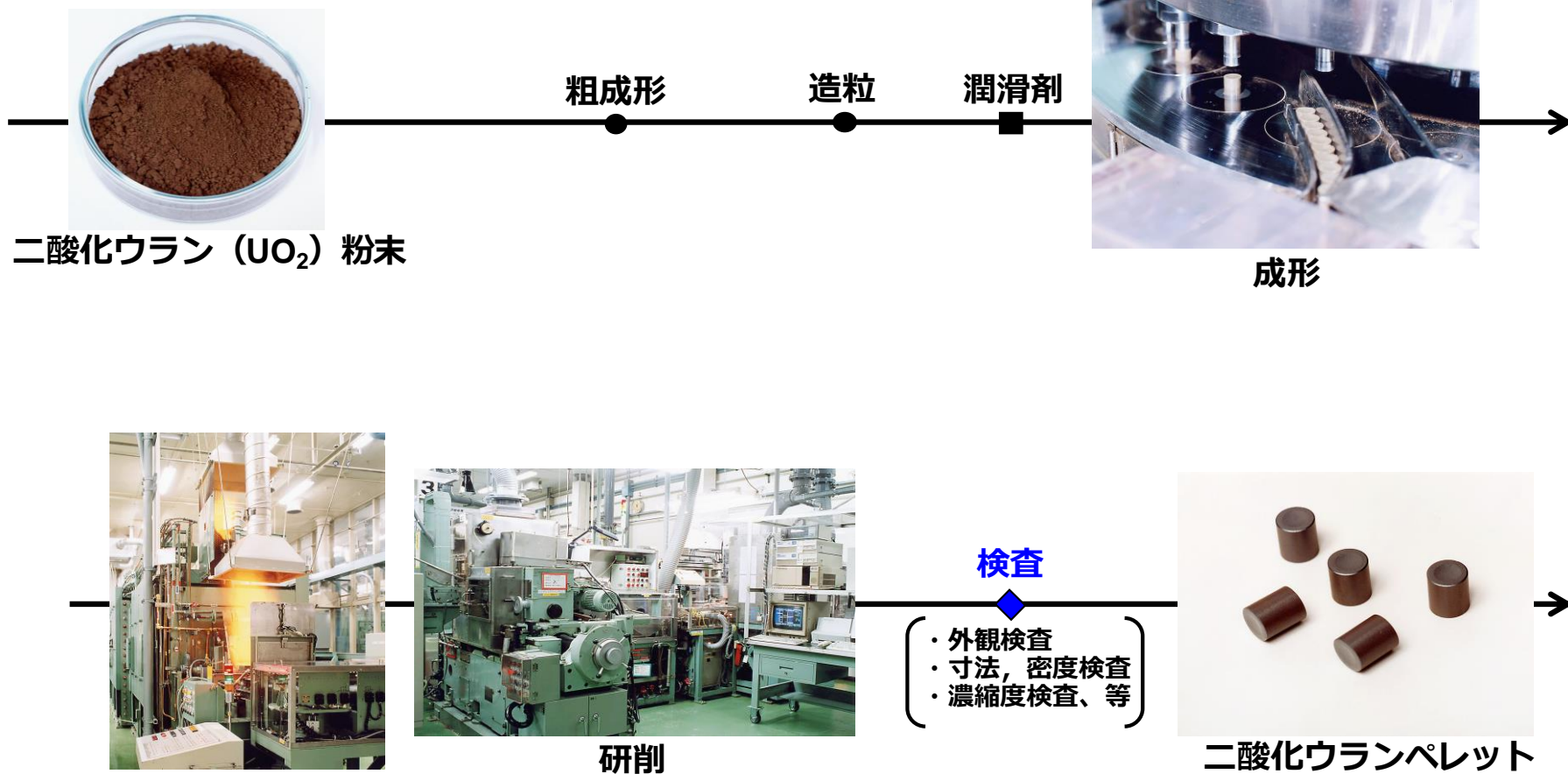
- 原料となる六フッ化ウラン（6価）を還元し、二酸化ウラン粉末（4価）を製造する工程。
- 様々な再転換方法のうち、三菱原子燃料では湿式法（ADU法）を採用している。





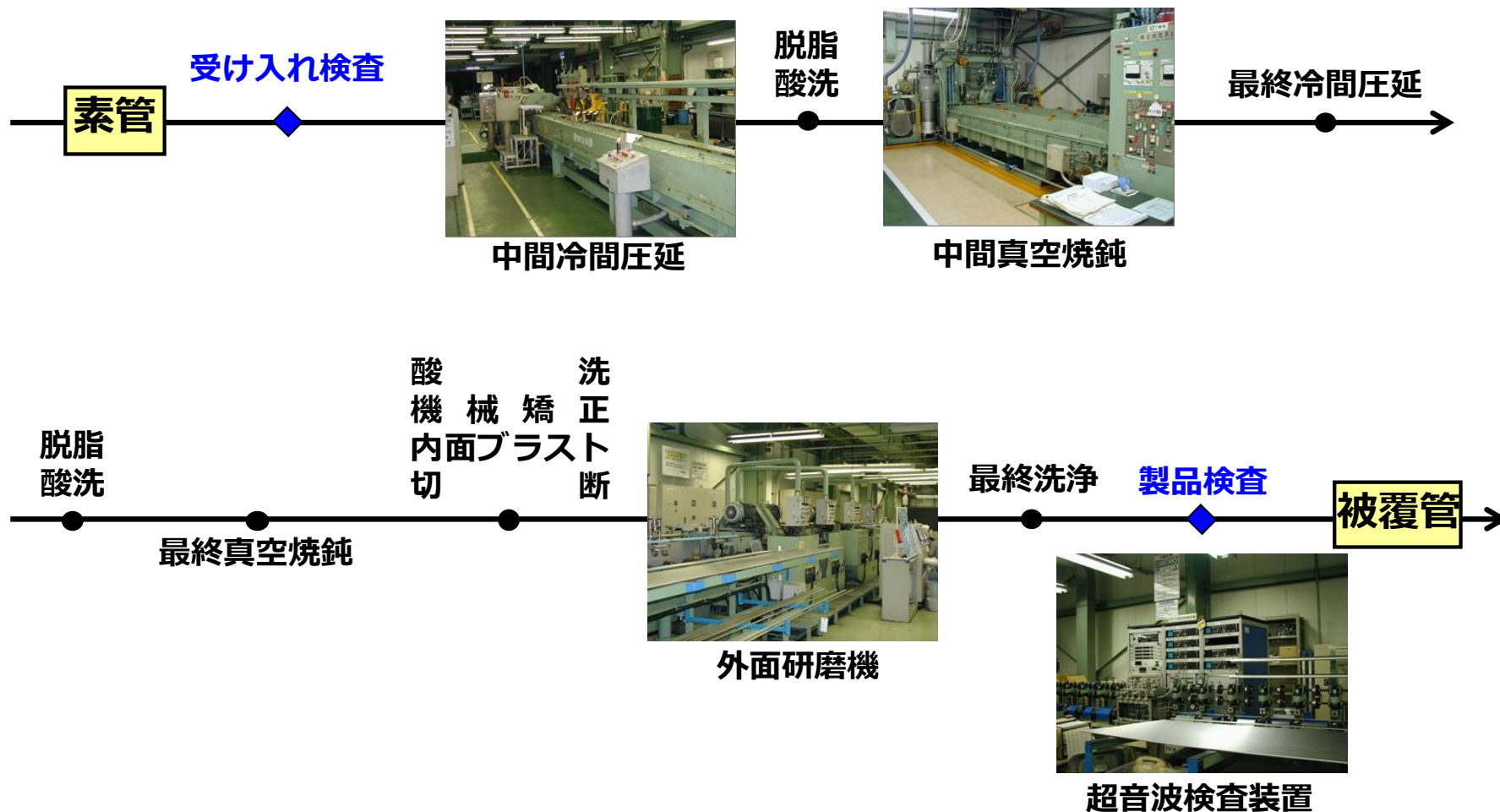
# ペレットの製造（成形、焼結）

- 二酸化ウラン粉末を圧縮して**成形**し、焼結して**ペレット**（セラミクス）を製造する工程。



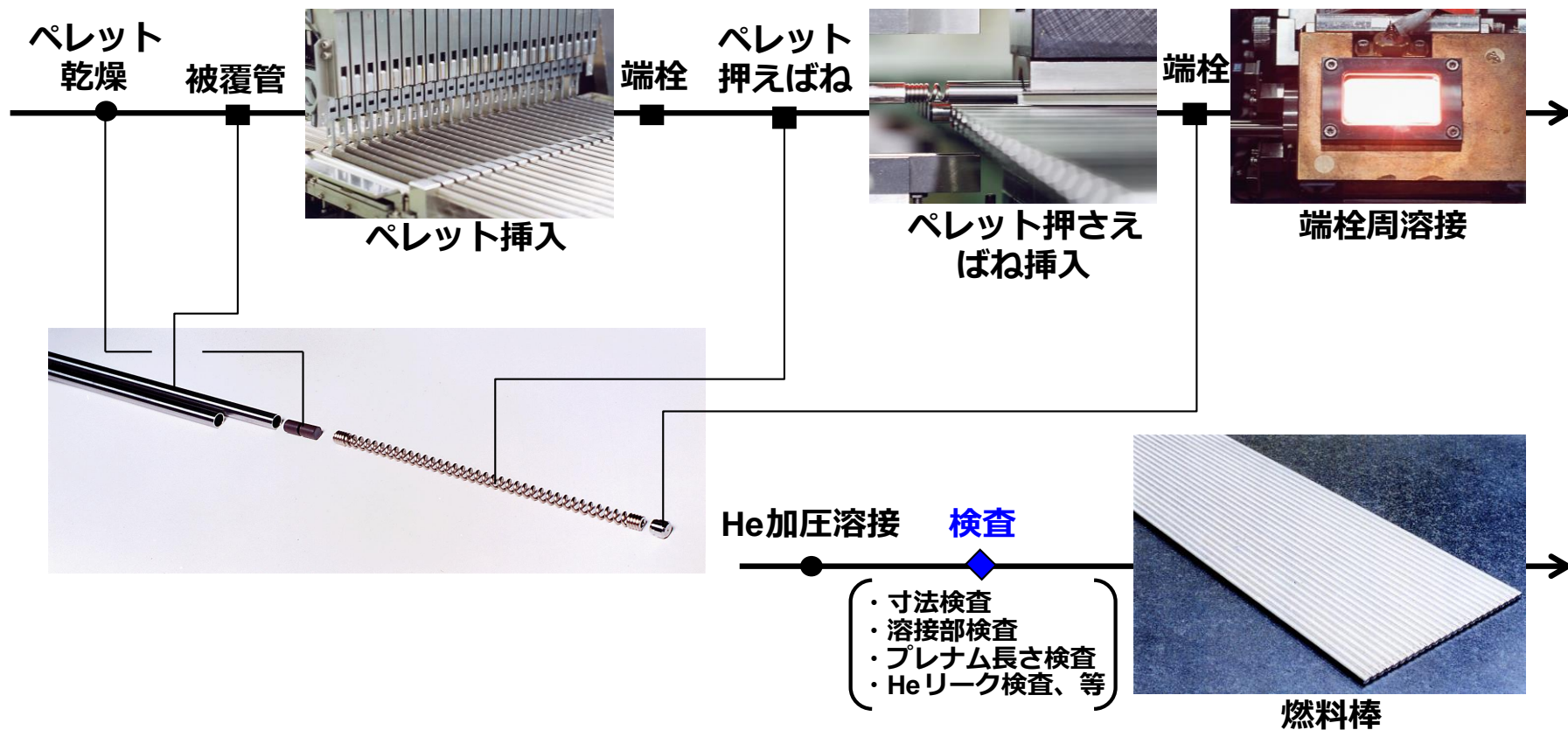
## 燃料被覆管の製造（圧延、焼鈍）

- 原料となる素管に圧延と焼鈍を繰り返し、被覆管を製造する工程。



# 燃料棒の組立（ペレット挿入、端栓溶接）

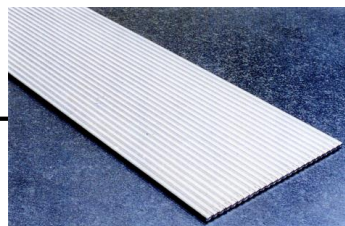
- 被覆管にペレットを装填し、端栓とペレット押さえばねを圧入後、ヘリウムを加圧した状態で密封溶接して燃料棒を組み立てる工程。





## 燃料集合体の組立（各種部材の取り付け、燃料棒挿入）

- 支持格子に燃料棒と案内シンブルを装荷し、案内シンブルに上部ノズルと下部ノズルを取り付けて燃料集合体を組み立てる工程。
- 燃料集合体は専用の輸送容器に梱包し、発電所へと輸送する。



燃料棒



支持格子

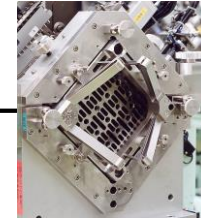


燃料棒挿入

案内管



ノズル



ノズル取付

### 検査

- ・燃料棒間ギャップ検査
- ・寸法検査、等



燃料集合体



輸送容器



梱包

### 輸送

# 5. PWR燃料の開発

## 燃料開発の概要（1/2）

- 燃料開発の目的には以下のようなものがある。
  - 使用済燃料発生量の抑制（高燃焼度化）
  - 炉心条件の高度化（高出力、長サイクルなど）
  - 燃料破損への対策（燃料漏えい対策など）
  - 耐震設計基準の変更への対応（耐震性の向上）
  - 更なる安全性の向上（事故耐性燃料など）
  
- 開発内容（対策）は、大きく以下の2つに分けられる。
  - 新材料の開発
  - 構造設計の改良
  
- ☞ 次ページ以降で、具体的な開発例を紹介する。

## 燃料開発の概要 (2/2)

表28 燃料開発の目的と開発内容

開発の目的	開発方針	開発課題	開発内容
使用済燃料発生量の抑制	高燃焼度化 (長寿命化)	燃料被覆管の耐食性の向上	新材料の燃料被覆管の開発 (☞ p.29)
		中性子経済の向上	ジルコニウム合金製の支持格子
炉心条件の高度化	高出力、長サイクル化	燃料被覆管の耐食性の向上	新材料の適用
		出力分布の平坦化 (ピーキング抑制)	ガドリニア入り燃料ペレットの適用
燃料漏えいへの対策	燃料棒フレットング防止	燃料棒保持性能の向上	支持格子の設計改良 (支持格子ばねの構造など)
			燃料棒保持機構の改良 (端栓保持) (☞ p.30)
		流動振動の抑制	上・下部ノズルの流路孔の改良 (☞ p.30)
	燃料棒保持機構の改良 (励振力の低減) (☞ p.30)		
異物フレットング防止	異物の捕獲	異物フィルタの設置 異物対策下部ノズル	
耐震性の向上	耐震性の向上	案内シンプルの強度の向上	新材料の適用 (材料強度の向上) シンプル構造の改良 (構造強度の向上)
		支持格子の強度の向上	新材料の適用 (材料強度の向上) 支持格子構造の改良 (構造強度の向上)
安全性の向上	事故時の酸化反応抑制	事故時の冷却性向上等	事故耐性燃料の開発 (☞ p.31)

## 5. PWR燃料の開発

# 燃料開発の例（新材料の燃料被覆管）

### ■ 開発課題

- 燃料の長寿命化、安全性向上（高負荷運用への耐性）

### ■ 開発内容

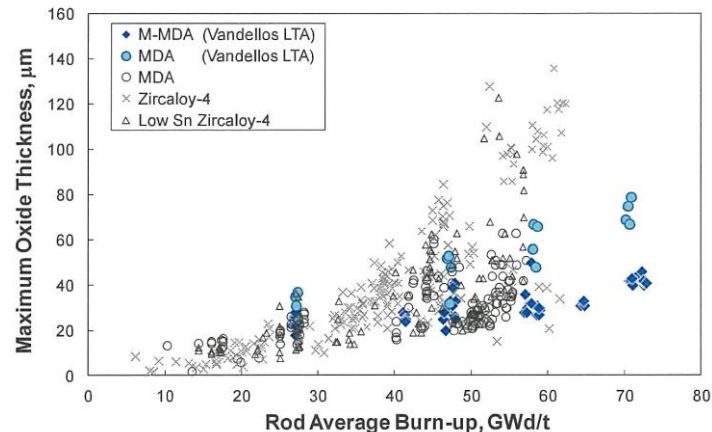
- 耐食性・水素吸収特性を向上した燃料被覆管（新材料）の開発
- 開発材の試作および炉外（実験室）での材料試験
- 研究炉や商用炉における照射試験および照射後試験

**表29 PWR燃料被覆管の合金成分  
（三菱原子燃料製被覆管の例）**

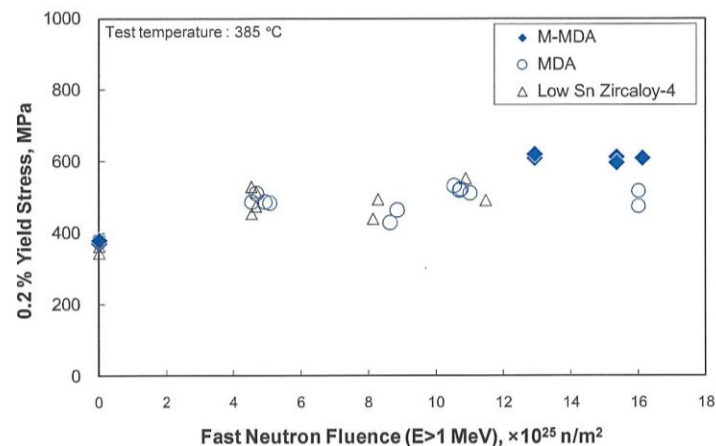
被覆管材料 (合金名)	Zr	Sn	Nb	Fe	Cr
ジルカロイ 4 (Zircaloy-4)	主成分	1.5wt%	—	0.2wt%	0.1wt%
低すずジルカロイ 4 (Low Sn Zircaloy-4)	主成分	1.3wt%	—	0.2wt%	0.1wt%
MDA	主成分	0.8wt%	0.5wt%	0.2wt%	0.1wt%
M-MDA	主成分	0.5wt%	0.5wt%	0.3wt%	0.4wt%

↓

新しい  
(高性能)



**図29-1 PWR燃料被覆管の炉内腐食挙動<sup>[3]</sup>  
（オンサイトECT検査による、酸化膜厚さ測定結果）**



**図29-2 PWR燃料被覆管の機械的強度（0.2%耐力）<sup>[3]</sup>  
（ホットセルにおける引張試験結果）**

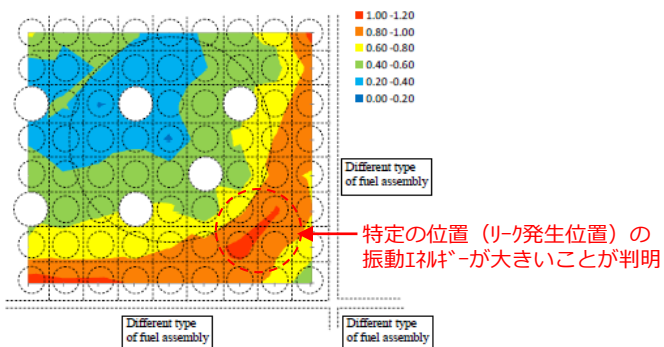
# 燃料開発の例（燃料漏えい対策）

## ■ 開発課題

- 燃料棒最下部におけるフレッティングリークの根絶

## ■ 開発内容

- 漏えい原因の究明（照射後試験による損傷形態の把握、振動試験及び摩耗解析による検証等）
- 設計改良
  - 炉心入口の圧力損失を適正化（冷却材流入量を低減）し、冷却材流れを整流化するため、下部ノズルを改良。
  - 燃料棒最下部の励振力を抑制するため、下部構造（端栓と支持格子の位置関係）、下部端栓設計を改良。
- 設計検証
  - 模擬燃料集合体（改良した下部構造）の励振力測定、振動速度測定、圧力損失測定、流動、振動及び摩耗解析、等。



\*\* : relative ratio of maximum lateral flow rate (fuel assembly next to different types)

図30-1 異種燃料と隣接した場合の燃料棒の振動解析結果<sup>[4]</sup>  
（集合体内における振動レベル\*分布）

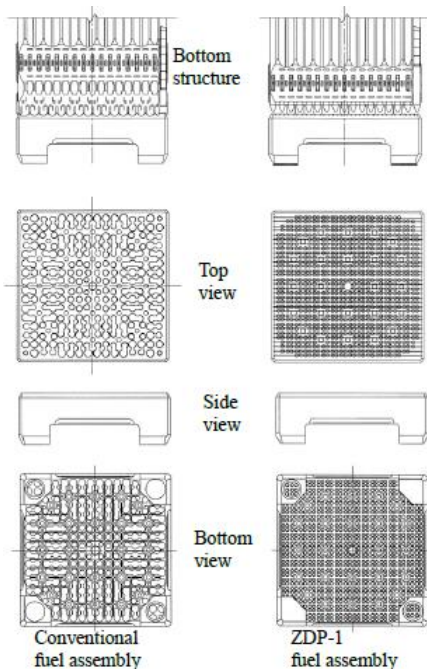


図30-2 改良燃料集合体（ZDP-1）の改良点<sup>[5]</sup>  
（左：従来燃料集合体 右：ZDP-1）

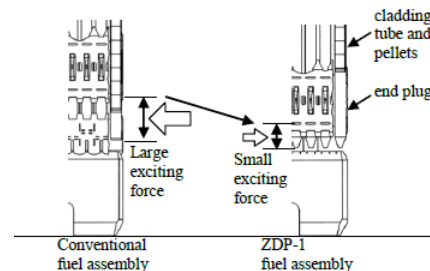


図30-3 下部端栓設計の改良<sup>[5]</sup>

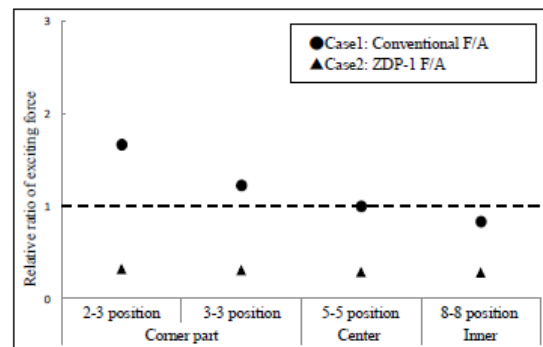


図30-4 振動試験結果<sup>[5]</sup>  
（設計改良による励振力低減効果）



# 燃料開発の例（事故耐性燃料）

### ■ 開発課題

- 原子炉の事故時（冷却材喪失事故など）においても、優れた炉心冷却性を有する燃料
- 炉心溶融や水素爆発などのシビアアクシデントへの進展を緩和・抑制できる燃料

### ■ 開発内容

- 事故環境（高温・水蒸気）において酸化反応や変形・破損が生じにくい被覆管として、従来のジルコニウム合金とは異なる材料の被覆管が開発されている。

被覆管材料	概要
クロムコーティング	従来のジルコニウム合金製被覆管の外表面に、耐食性に優れ硬質なクロムをコーティングした被覆管。クロムにより水蒸気との酸化反応（反応熱、酸化脆化）が抑制されると共に、変形（膨れ）が抑制されることによる炉心の冷却性向上効果も期待される。
炭化ケイ素複合材（SiC-SiC複合材）	耐熱材料である炭化ケイ素（SiC）製の被覆管。高温水蒸気との反応が殆どないのが特長。炭化ケイ素（SiC）は機械的強度、延性が低いという弱点を補うべく、繊維状の炭化ケイ素（SiC）によって強化した複合材（SiC-SiC複合材）が開発されている。
【参考】改良ステンレス鋼（FeCrAl）	従来のステンレス鋼に対し、添加元素の改良（アルミニウムの添加等）により高温水蒸気に対する耐酸化特性を改良した材料。BWR燃料に向けに開発されている。

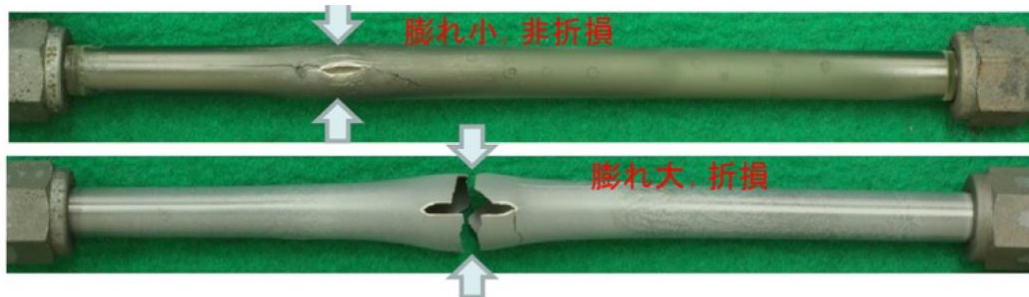


図31-1 Crコーティング被覆管の冷却材喪失事故（LOCA）を模擬した試験\*の結果<sup>[6]</sup>  
（上：クロムコーティングあり 下：クロムコーティングなし（通常の被覆管））

\* 現行のLOCA基準を超える厳しい条件での試験結果であり、通常の被覆管は膨れが大きくかつ破損したが、クロムコーティング管は膨れが小さくかつ破損しなかったことを示している。



図31-2 SiC-SiC被覆管及び模擬燃料棒（加圧ロッド）の外観写真<sup>[7]</sup>

## 燃料開発における今後の課題

### ■ 今後、求められるもの

- 使用済燃料発生量の抑制（高燃焼度化等）、炉心条件の高度化（高出力、長サイクル）
  - ・ 高燃焼度化特有の事象（水素脆化、FFRDなど）のメカニズム解明と対策
- 更なる信頼性・安全性の向上
  - ・ 耐震性の向上
  - ・ 燃料破損の抑制
  - ・ 事故耐性燃料の開発
- 評価精度の向上
  - ・ 解析モデルの精緻化
  - ・ 試験技術の高度化

### ■ 燃料開発が難しくなっている要因

- 照射データ取得の難しさ
  - ・ コスト（照射試験、燃料輸送、照射後試験、使用済燃料の廃棄）
  - ・ 研究炉の老朽化、閉鎖（ハルデンの廃炉など）
- 情報共有の難しさ
  - ・ メーカー開発材の多様化（昔は、各社とも似たような材料であったため、成果を共有しやすかった）



# 出典

- [1] 原子力・エネルギー図面集2015  
([https://www.ene100.jp/zumen\\_cat/chap7](https://www.ene100.jp/zumen_cat/chap7))
- [2] 三菱原子燃料株式会社, MNF-1001, 「三菱PWR高燃焼度化ステップ2 燃料の機械設計」
- [3] S. Watanabe et al., Topfuel 2015
- [4] N. Kitashiba et al., WRFPM 2011
- [5] Y. Yasuno et al., WRFPM 2014
- [6] 村上 望 他, 日本原子力学会 2020年秋の大会
- [7] 渡部 清一 他, 日本原子力学会 2019年秋の大会

**ご清聴ありがとうございました**