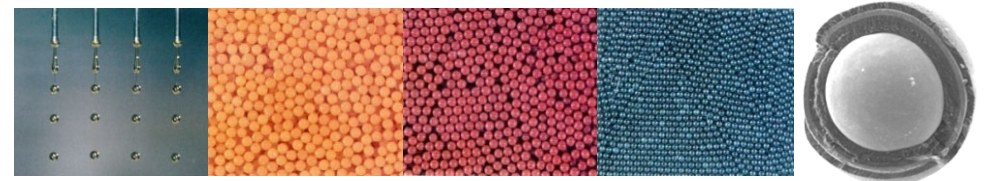


資料4

# 高温ガス炉燃料への取り組みについて

---

原子燃料工業株式会社  
2023年1月23日



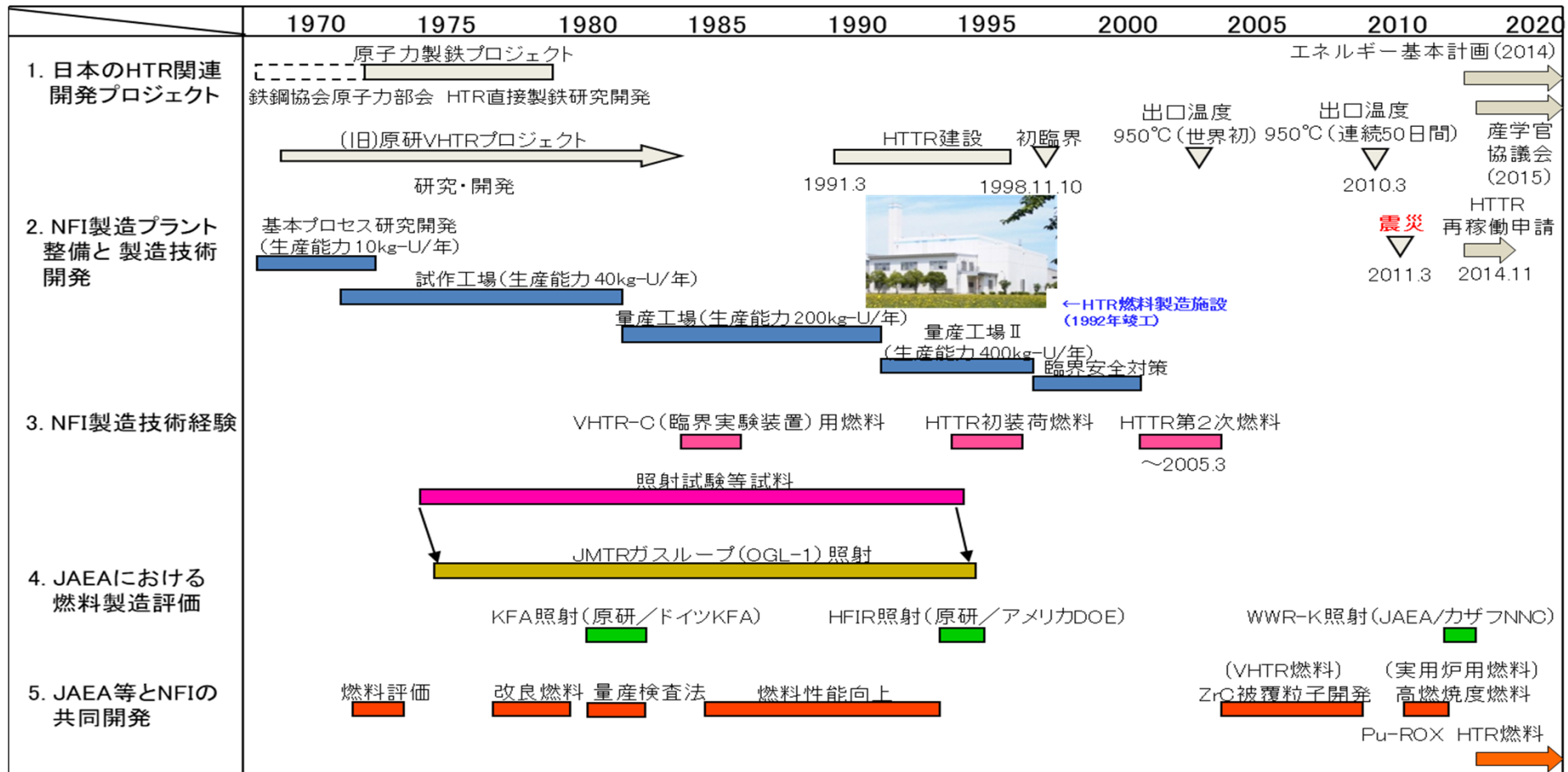
# 目次

1. HTR燃料製造技術開発の歴史
2. HTR燃料の構造
3. HTR燃料製造工程
4. HTR燃料製造施設
5. HTTR燃料製造実績
6. HTTR燃料照射実績
7. 高品質燃料製造に向けた取り組み
8. 国内実証炉向け燃料製造における課題

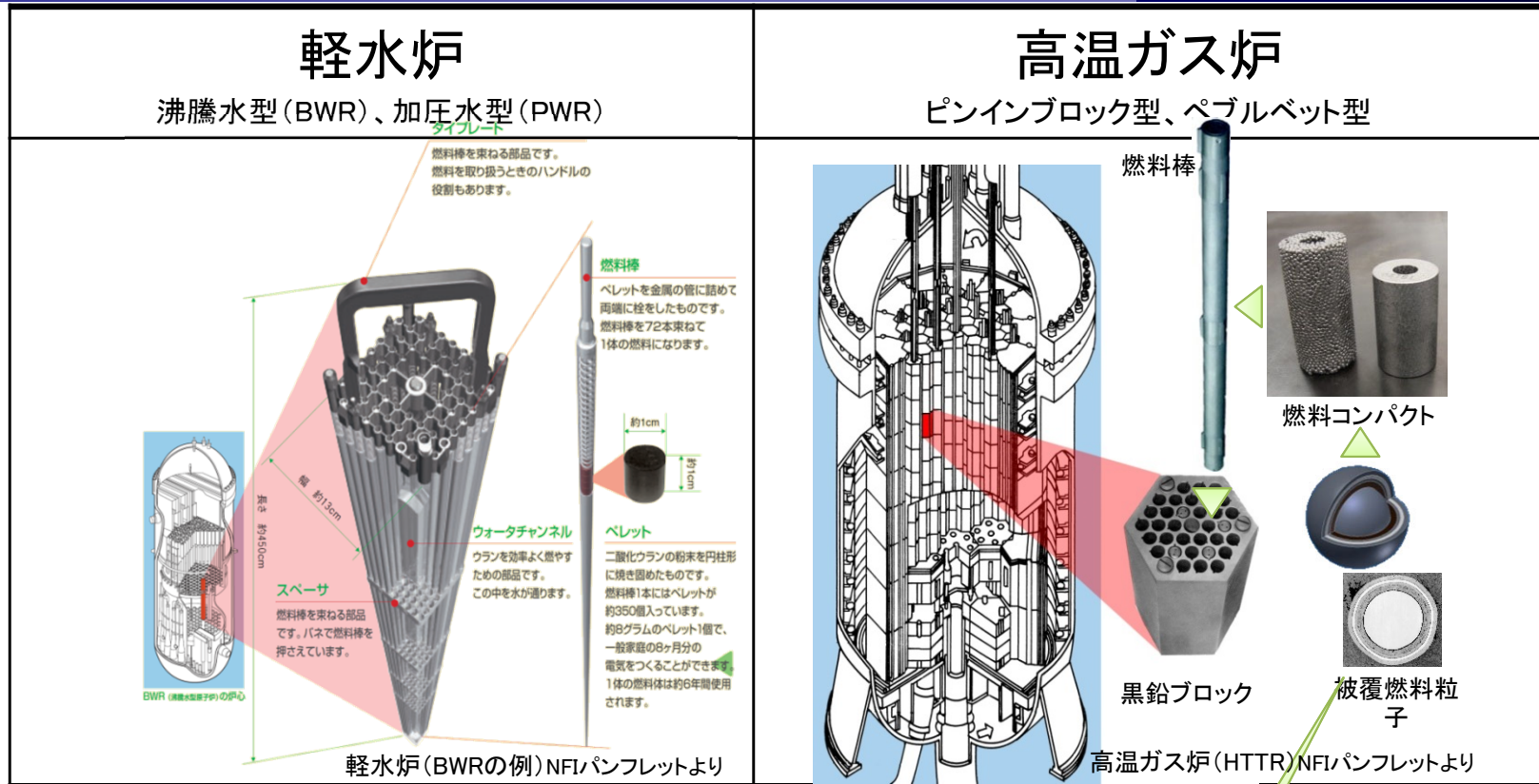
# 1. HTR燃料製造技術開発の歴史



高温ガス炉(HTR)の優れた特性を確実に機能させるためには、高品質の燃料供給が重要である。原子燃料工業(株)は、半世紀にわたり高品質なHTR燃料の製造技術の開発を行ってきた。



# 2. HTR燃料燃料の構造



### ○被覆燃料粒子各被覆層の主な役割

#### 第1層: 低密度熱分解炭素 (PyCバフファ) 層

- ・気体状核分裂生成物および燃焼に伴い発生するCOガス溜め
- ・燃料核移動、スウェリング吸収

#### 第2層: 高密度熱分解炭素 (IPyC) 層

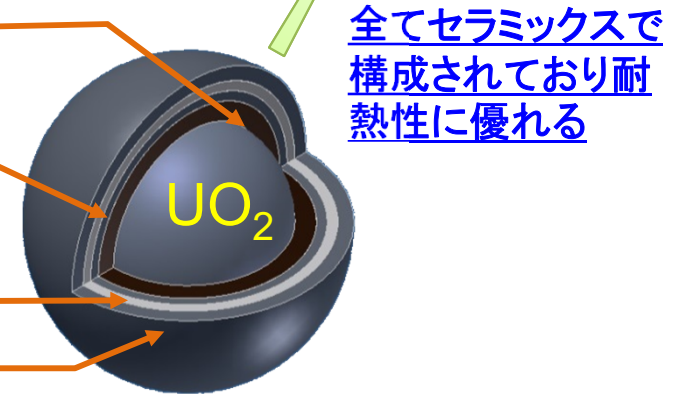
- ・気体状核分裂生成物 (FP) の閉じこめ
- ・核分裂生成物と第3層との反応の抑制

#### 第3層: 炭化ケイ素 (SiC) 層

- ・気体状及び金属状FPの閉じこめ

#### 第4層: 高密度熱分解炭素 (OPyC) 層

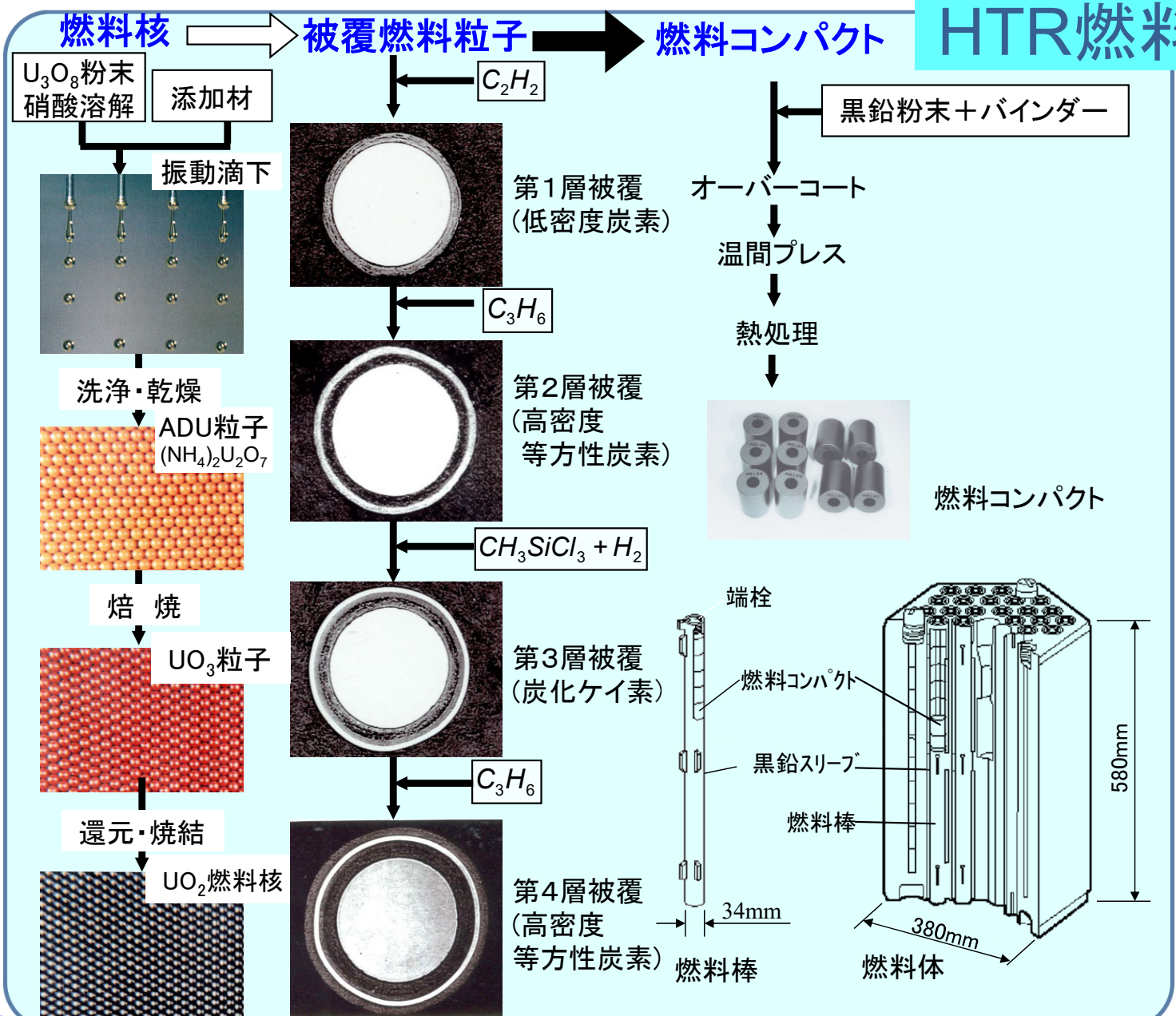
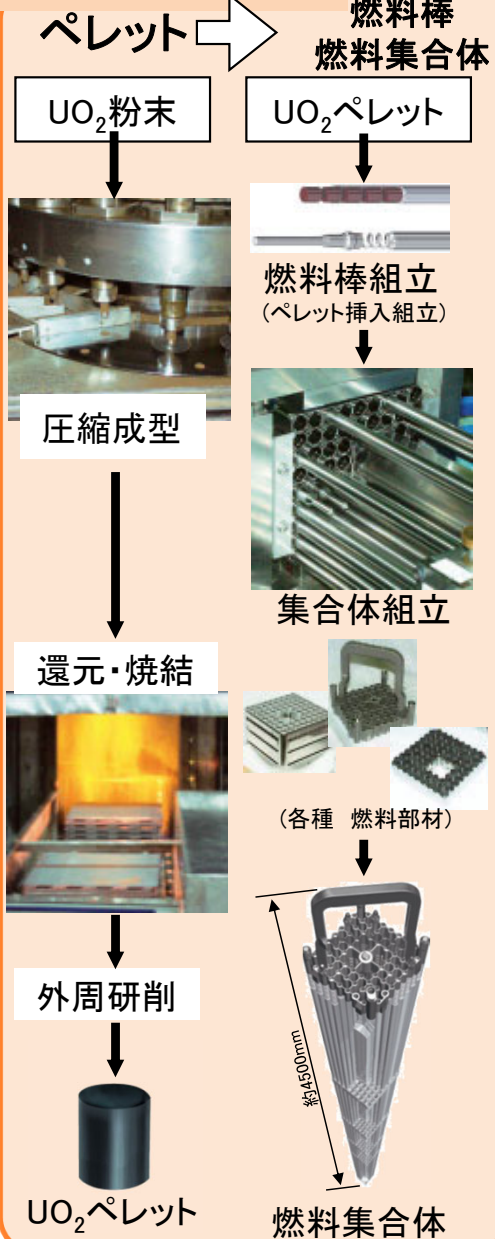
- ・SiC層保護及び気体状FPの閉じこめ



# 3. HTR燃料製造工程



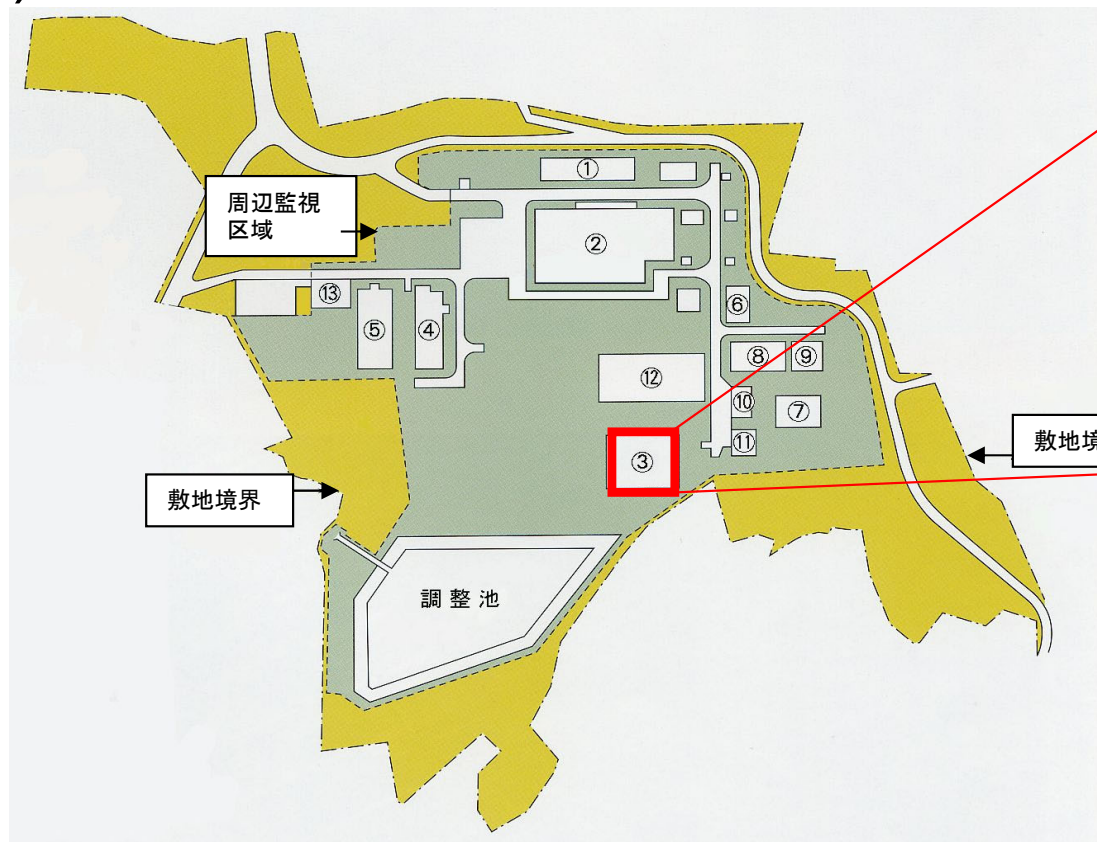
## 軽水炉燃料(BWR)



## 4. HTR燃料製造施設



- 1) 総床面積：約 1,860 m<sup>2</sup>
- 2) 生産能力：約 0.4 t-U/年 (HTTR燃料製造時 最高濃縮度 9.9%)
- 3) 様々な化学形態、物理形態の核燃料物質が取扱可能
- 4) 2016年8月に使用許可を変更、施設で取扱可能なウラン量<sup>※</sup>を制限



HTR 燃料製造施設 (1992年完成)

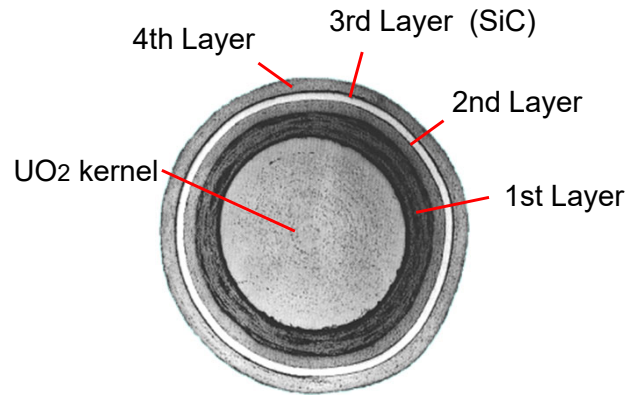


※原子炉等規制法施行令第41条に基づき、使用前検査等を必要としない施設とするため、施設全体で取り扱える濃縮ウランのU235量を650g以下とした。天然ウラン、劣化ウランはこの制限を受けない

# 5. HTTR燃料の製造実績

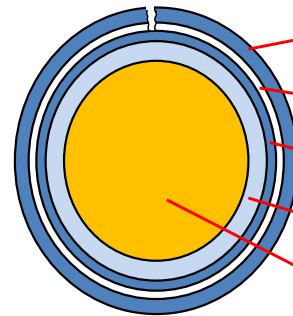


## 健全な被覆燃料粒子の断面

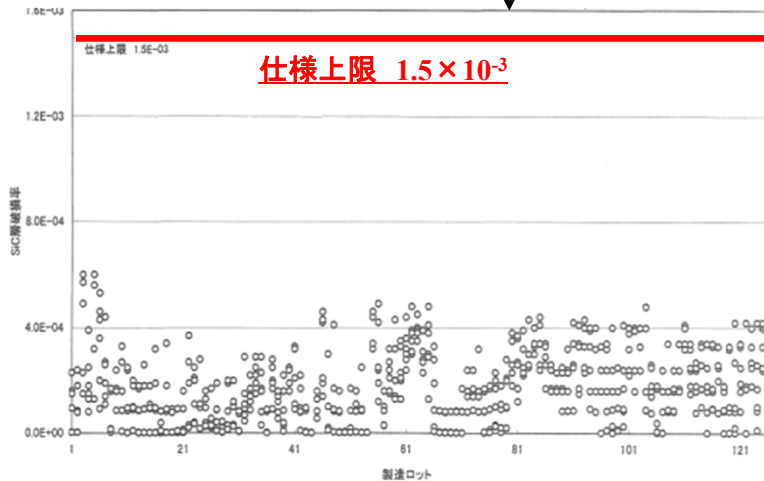
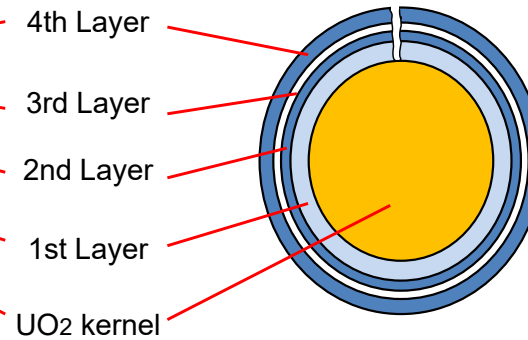


## 被覆燃料粒子の製造時欠陥

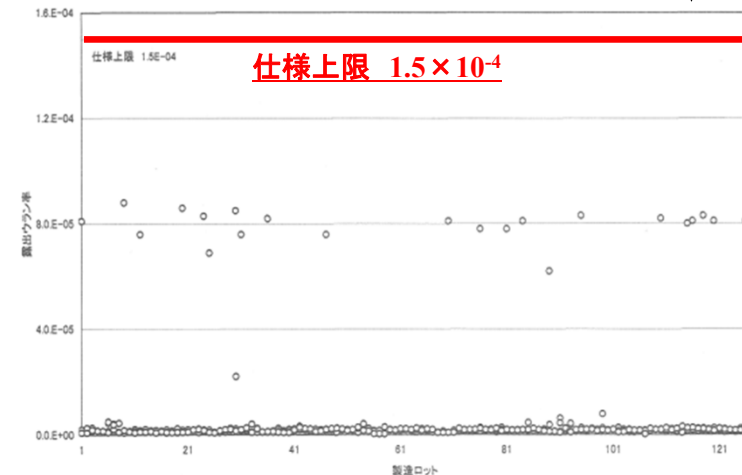
### SiC層破損



### 貫通破損(U露出)



SiC層破損率



露出ウラン率 (貫通破損+製造時表面汚染量)

出展: 植田他 高温工学試験研究炉の第2次燃料データベース(その1) JAEA-Data/Code 2006-009

**HTTR燃料の製造時欠陥率は仕様上限を大きく下回った**

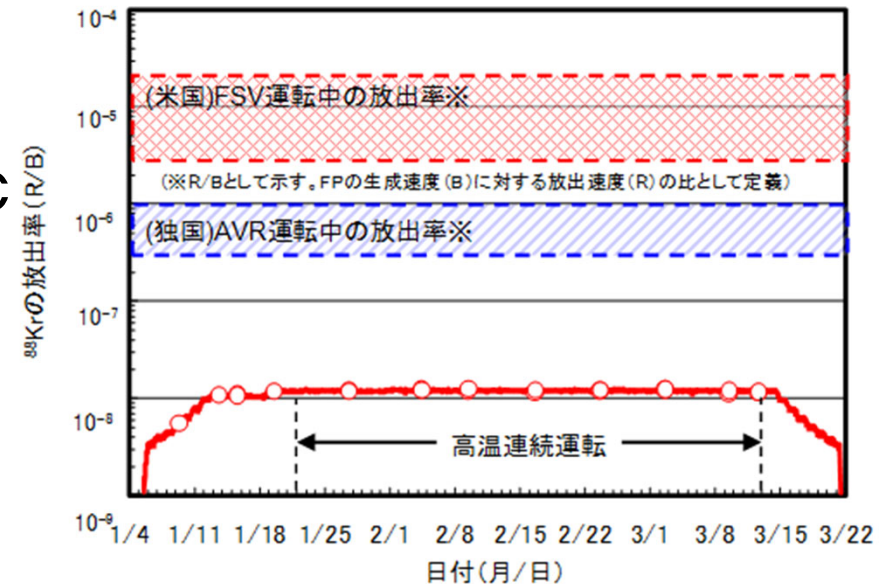
## 6. HTTR燃料の照射実績



- HTTRでは初装荷燃料が設計燃焼度(22GWd/t)のおよそ半分(約12GWd/t)まで燃焼が進んでいるが、今日まで燃料の系統破損による炉心周辺での線量の上昇等は生じていない。
- 950°C試験(2010年1月~3月)
  - ✓ 原子炉出口温度950°Cを50日間継続
  - ✓ 高温連続運転時の燃料温度は約1300°C



$^{88}\text{Kr}$ 放出率は $10^{-8} \sim 10^{-9}$ であり、先行国(米国、ドイツ)の実績( $10^{-4} \sim 10^{-7}$ )と比較して、HTTRは桁違いのFP閉じ込め性能を示した。



(JAEA殿HPより)

**HTTRの通常運転、高温時運転の実績を通して、  
当社製被覆燃料粒子の高い健全性が証明された。**



## 7. 高品質燃料製造に向けた取り組み

□ 高温ガス炉燃料の製造時及び照射中における低破損率達成のためには、以下の燃料スペックが特に重要

### □被覆層の均一性

⇒被覆層には核分裂生成物(特にガス成分)のバリアとしての機能が期待されている。そのバリア機能をフルに発揮させるためには、各層が均一に形成されている必要がある。

### □UO<sub>2</sub> 燃料核の真球度

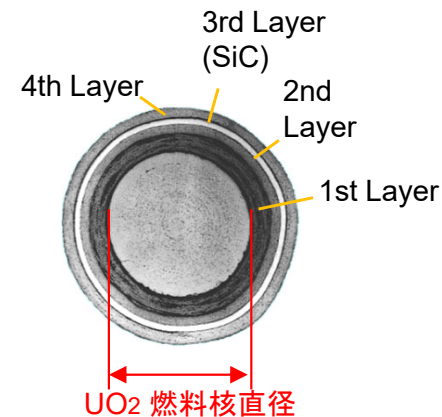
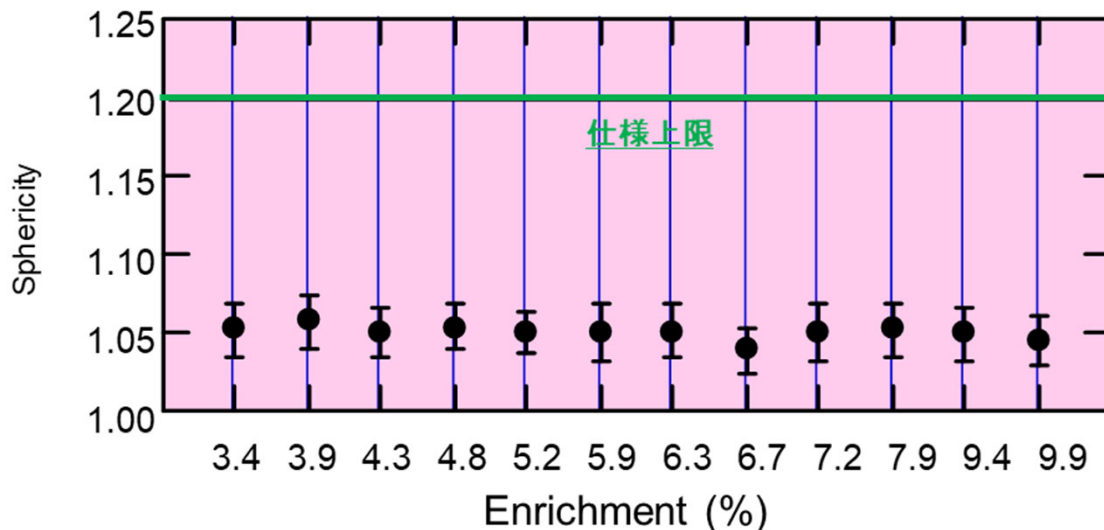
⇒燃料核の真球度が良好でない場合、被覆層を均一に形成することができず、結果として熱応力や内圧による被覆層破壊の弱点を生じることとなる。

当社は高温ガス炉燃料製造技術の開発において  
燃料核の真球度と被覆層の均一性を追求

⇒ HTTRでの極めて低い破損率に貢献

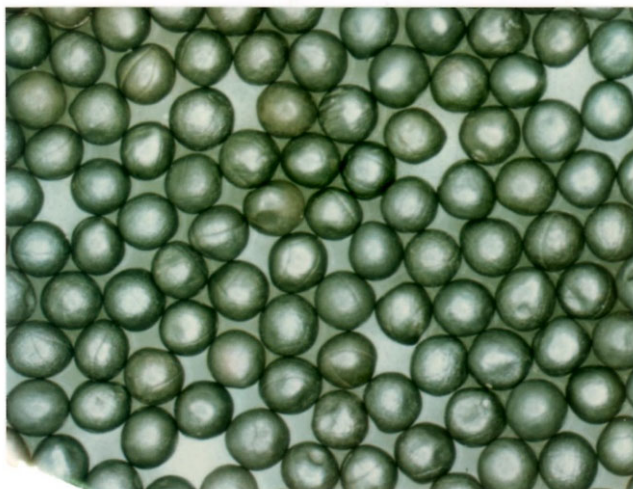
# 7. 高品質燃料製造に向けた取り組み

## HTTR 初装荷燃料のUO<sub>2</sub> 燃料核真球度

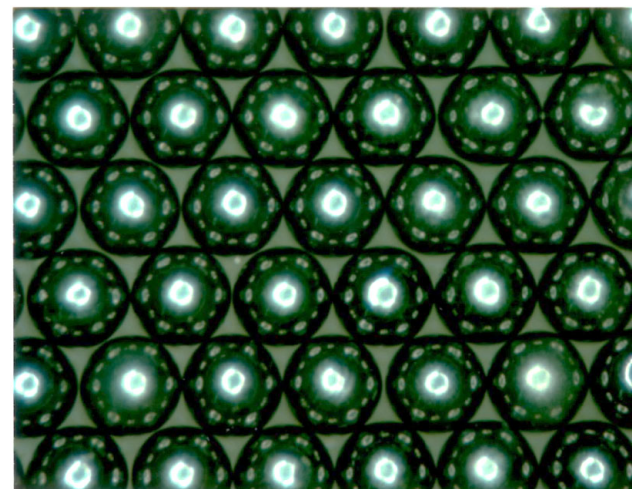


$$\text{真球度} = \frac{\text{直径最大値}}{\text{直径最小値}}$$

## UO<sub>2</sub> 燃料核外観の比較

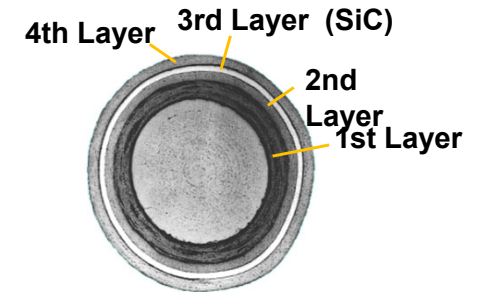


研究開発段階(1970年代)

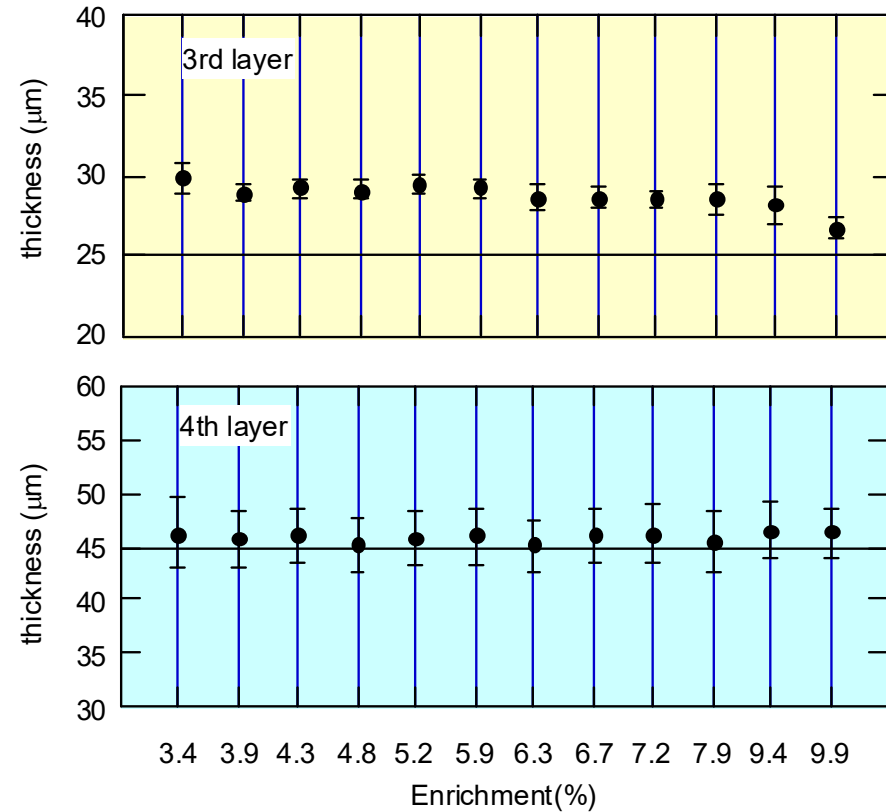
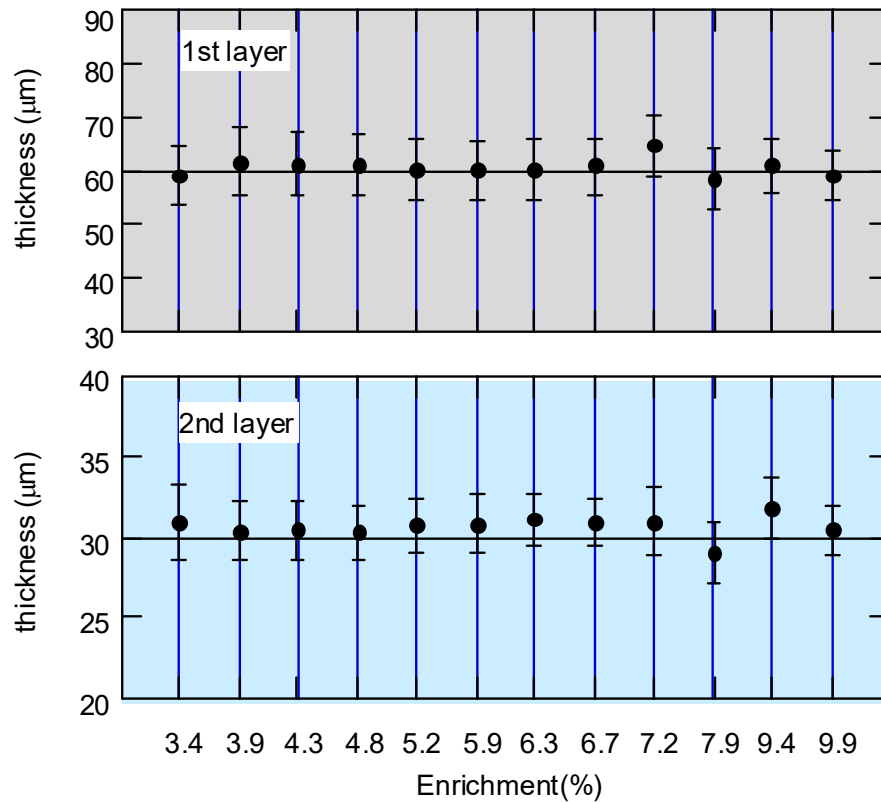


HTTR第2次燃料(2000年代)

# 7. 高品質燃料製造に向けた取り組み



## HTTR初装荷燃料における粒子燃料各被覆層の厚さ

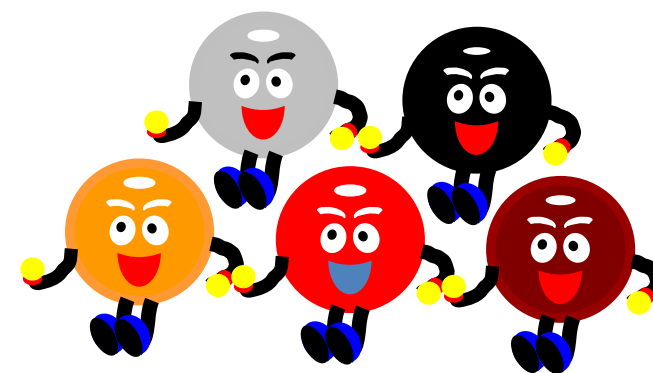


## 8. 国内実証炉向け燃料製造における課題



- 当社の長年にわたるHTR燃料製造技術開発の成果はHTTR初装荷燃料及び第2次燃料に結実し、HTTRの優れた性能に貢献した。
- しかし、2008年の第2次燃料納入以降の発注がないまま東日本大震災を迎え、以降の厳しい事業環境の中で当社はHTR燃料製造施設の使用許可を変更した。これにより、現状ではHTTR向け燃料の生産はできない。
- 高温ガス炉の国内実証炉(および後続の商用炉)に燃料を供給するのであれば、新たな燃料製造施設を整備する必要がある。
- 条件が整えば施設の整備には対応可能である一方、製造に係る技術(スキル)の伝承は辛うじて維持している状況。
- 過去の製造技術R&Dの成果や、2度にわたるHTTR燃料製造の貴重な経験は文書(アーカイブ)として維持されているものの、作業者がこれら知見を活かした技術として活用する機会が存在しない。
- 燃料製造技術(スキル)の維持には、既存施設で天然(劣化)ウランを用い長期間・反復して模擬燃料製品を製造する機会が有効。

ありがとうございました



HTR Sentai "Particle Rangers"