

第 45 回

核燃料取扱主任者試験

核燃料物質の化学的性質
及び物理的性質

- (注意) (イ) 解答用紙には、問題番号のみを付して解答すること。
(問題を書し取る必要はない。)
- (ロ) 1 問題ごとに 1 枚の解答用紙を使用すること。
- (ハ) 第 5 問は (1)～(3) と (4)、(5) は別の解答用紙を使用すること。

平成 25 年 3 月 14 日

第1問 軽水炉ウラン燃料について述べた次の文章中の□に入る適切な語句を番号とともに記せ。なお、同じ番号の□には同じ語句が入る。

〔解答例〕 ②—東京

(1) BWR 燃料は、圧力約 73 気圧、温度約 285℃の飽和沸騰水の条件下で使用される。サイクル初期の余剰反応度を抑えるため、熱中性子吸収断面積の大きい□①入り燃料棒が燃料集合体あたり数本用いられている。また、照射中のペレット等の変形による燃料被覆管の局所的な歪による損傷を減少させるために、延性の大きな□②を内張りした□③被覆管（ライナー管）を用いている。

BWR 燃料集合体は、たとえば、9×9 正方状に配置された 74 本の燃料棒と 2 本の□④より成り立っており、それらは 7 個の□⑤、上部および下部□⑥各 1 個によって支持されている。燃料集合体は、それを取り囲む□⑦を装着して原子炉内で使用される。燃料集合体には、局所的な高出力部分が現れないように、数種類の□⑧の燃料棒が組み込まれている。燃料棒は、ペレットを 1 列にしてヘリウムガスで充填した燃料被覆管に入れ、管の両端を□③端栓で溶接して密封した構造となっている。燃料棒には、ペレットより放出された核分裂生成ガスをためるための□⑨が設けられており、放出される核分裂生成ガスや他のガスによって過大な内圧とならぬよう充分な大きさを持っている。□⑨部には、輸送時または取り扱い時のペレットの移動を防ぐための□⑩が入っている。

□④は□③管に端栓をつけたもので、軸方向にスペーサーを保持している。□④管は上下端近くに数個の穴をあけて内部に冷却水が入るようになっている。□④管の代わりに角形の□⑪が設けられている場合もある。

□⑤は、□③製の筒状の丸セル管と□⑫のスプリングで燃料棒の間隔を規定通りに保持している。

上部および下部□⑥は、□⑬の鋳物で製作されており、上部□⑥には燃料集合体を移動する場合に使用する□⑭がついている。

(2) PWR 燃料は、圧力 158 気圧、温度約 300℃の条件下で使用される。PWR は一次冷却水に水素を添加して酸素濃度を抑制しているため、水素吸収の小さい□⑮製の燃料被覆管を用いていたが、55GWd/tU の高燃焼度対応で□⑯を含む新合金が用いられるようになった。

PWR 燃料集合体は、たとえば、17×17 の正方配列を形成する燃料棒 264 本、□⑰24 本、□⑱1 本および支持構造物として□⑲9 個、上部□⑳1 個、下部□㉑1 個より構成されている。BWR 燃料で用いられている□⑦は使用しない。

燃料棒の両端と□⑳の間にはすき間を設け、燃料棒の熱膨張や成長を許容しうる構造になっている。燃料棒は、ペレットを 1 列にしてヘリウムガスで充填した燃料被覆管に入れ、管

の両端を〔15〕端栓で溶接して密封した構造となっている。燃料棒には、ペレットより放出された核分裂生成ガスをためるための〔9〕が設けられており、放出される核分裂生成ガスや他のガスによって過大な内圧とならぬよう充分な大きさを持っている。〔9〕部には、輸送時または取り扱い時のペレットの移動を防ぐための〔10〕が入っている。〔19〕は燃料棒の間隔を保持する機能を持っており、その材質は耐食性と強度の点から〔12〕が用いられている。

〔17〕は、燃料集合体の構造強度を受け持ち、〔15〕管でつくられている。

上部および下部〔20〕の主要な機能は、集合体の骨格の構成体であると同時に炉心における集合体の位置決め、および冷却水の流路確保である。

第2問 アクチノイド元素の性質に関する次の問いに答えよ。

- (1) アクチノイド元素の化学的性質はランタノイド元素のそれと類似点があるが相違点もある。これらの化学的性質を基に、ピュレックス法再処理工場における、U、Pu、Am、ランタノイド元素の挙動について説明せよ。
- (2) 次の組成のプルトニウムを10年間貯蔵するとする。10年後の組成について説明せよ。
 ^{238}Pu 2%, ^{239}Pu 61%, ^{240}Pu 24%, ^{241}Pu 10%, ^{242}Pu 3%
- (3) マイナーアクチノイドの分離核変換の方法について説明せよ。
- (4) 溶融塩電解法乾式再処理でU、Puを分離回収する方法について説明せよ。

第3問 照射 UO_2 燃料ペレット中の放射性物質に関する次の問いに答えよ。

- (1) トリチウムはどのような核反応で生成するか。
- (2) 次の核分裂生成物の燃料中での化学状態について説明せよ。
① Kr、 ② I、 ③ La、 ④ Cs、 ⑤ Pd
- (3) 燃料の冷却能力喪失事故時には燃料温度が上がる。例えば 2000°C で4時間保持された場合の、Xe、Cs、I、Puの挙動について説明せよ。

第4問 核燃料物質である UO_2 の重要な物性である(1)熱伝導率(λ)、(2)線熱膨張率(α)、(3)定圧モル熱容量(C_p)、(4)ヤング率(E)の各物性について、以下の①から⑤の問いにそれぞれ答えよ。

- ① 定義を述べよ。
- ② 室温におけるおおよその値(単位付き)を書け。

- ③ 各物性の室温から 1500K までの温度変化の概略図（横軸に温度を取って縦軸に各物性を取って）示せ。
- ④ そのような温度変化をする理由について簡潔に説明せよ。
- ⑤ MOX 燃料として UO_2 に PuO_2 を 10-20% 程度添加した時に各物性値は上昇するかまたは低下するのどちらかを選んで答えよ。

〔解答例〕 (5)－⑤低下する

第5問 核燃料に関連する次の事項を簡潔に説明せよ。（ただし、(1)～(3)と(4)、(5)は別の解答用紙に記入すること）

- (1) リム効果
- (2) フレッキング腐食
- (3) ハル

-
- (4) 非化学量論性
 - (5) ペブルベッド燃料