

第 50 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) 問題は全部で5問。1問題ごとに1枚の解答用紙を使用すること。

平成30年3月12日

第1問 以下の(1)から(5)の文章は、酸化物燃料の性質について述べたものである。

文章中の□に入る適切な語句、数値、あるいは化学式を番号とともに記せ。

〔解答例〕 ㉑ー東京

- (1) UO_2 の結晶構造は□①型の□②晶で、室温での格子定数は□③ nm、理論密度は□④ g/cm^3 である。単位格子 1 個に UO_2 として □⑤ 個分の原子が含まれる。熱膨張が等方的で融点まで相変態がないことと、融点が□⑥ $^\circ\text{C}$ と高いことから、核燃料として優れたセラミックス材料と言える。
- (2) 室温から 1500°C 程度の温度範囲において、 UO_2 燃料ペレットの熱伝導率は温度上昇とともに□⑦ する。これは、熱伝導の支配的キャリアである□⑧ が温度上昇とともに衝突・散乱される頻度が増え、□⑨ が短くなるためと解釈される。
- (3) UO_2 の特徴的な性質の一つに UO_{2+x} で表される酸素の□⑩ 領域があり、これが燃料としての物性や照射時のふるまいに大きく影響する。 x に相当する過剰の酸素原子は、結晶格子中に□⑪ 原子として存在する。熱力学的平衡状態にある x の値は、雰囲気中の酸素分圧と温度の関数によって定まる。この標準ギブスエネルギー変化に相当する熱力学量を□⑫ といい、酸化物燃料の酸化状態を記述する上で重要な指標である。
- (4) UO_{2+x} ($x > 0$) において、 x の値の増大とともに、格子定数は□⑬ くなり、理論密度は□⑭ くなり、融点は□⑮ くなり、熱伝導率は□⑯ くなる。一方、 UO_{2-x} ($x > 0$) は、約 1200°C 以上の極低酸素分圧条件下でのみ存在し、これを室温まで急冷した際には $\text{UO}_{2.0}$ と□⑰ に二相分離する。
- (5) PuO_2 は、空気中の高温加熱においても Pu が□⑱ 価よりも高次の酸化状態を取ることはない。 $(\text{U,Pu})\text{O}_{2+x}$ で表される混合酸化物 (MOX) 燃料において、 $\text{O}/(\text{U+Pu})$ 比が 2.0 より小さい領域では、主に□⑲ が 3 価に還元されている。MOX 燃料の製造においては、 $\text{O}/(\text{U+Pu})$ 比を 2.0 より□⑳ 側に調整する。

第2問 軽水炉 UO_2 燃料の燃焼時のふるまいに関して、以下の問いに答えよ。

- (1) 燃焼中の燃料ペレットの「焼きしまり」に関して、①どのような機構で起こる現象か、②燃焼の初期と高燃焼度のどちらで起こるか、③これによる悪影響は何か(2つ)、④焼きしまりを軽減するために採用された燃料製造時の改善策は何か、それぞれ簡潔に記せ。
- (2) 核分裂生成物 (FP) による燃料ペレットのスウェリングに関して、⑤固体 FP スウェリング、⑥FP ガススウェリングが、それぞれどのようにして起こるか簡潔に記せ。
- (3) 固体 FP のうち、⑦Zr や希土類元素、⑧白金族元素 (Ru、Rh、Pd) は、それぞれ燃料中でどのような化学形で存在するか記せ。
- (4) 燃料中に生成する Pu について、⑨ペレット径方向の分布の特徴と、⑩そのような分布になる理由を簡潔に記せ。

第3問 軽水炉で使用されている制御棒の、(1) 形状・大きさ、(2) 炉心での装荷位置、(3) 制御材の種別について、沸騰水型原子炉 (BWR) と加圧水型原子炉 (PWR) の特徴を答えよ。解答は、次の表の空欄に記載されている記号とともに記せ。

[解答例] (い) 形状は円柱状、大きさは直径約 1 c m、長さ約 1 c m

	沸騰水型原子炉 (BWR)	加圧水型原子炉 (PWR)
(1) 形状・大きさ	(い)	(ろ)
(2) 炉心での装荷位置	(は)	(に)
(3) 制御材の種別	(ほ)	(へ)

第4問 沸騰水型原子炉 (BWR) ならびに加圧水型原子炉 (PWR) の燃料被覆管に使用されているジルコニウム合金について、以下の問いに答えよ。なお、最近開発・実用化が進められている新合金 (MDA、NDA、ZIRLO 等) は対象外とする。

- (1) BWR用燃料被覆管に使用されているジルコニウム合金の名称と、合金に含有されている四つの添加元素を答えよ。添加元素は元素名と元素記号の両方で答えること。
- (2) PWR用燃料被覆管に使用されているジルコニウム合金の名称と、合金に含有されている三つの添加元素を答えよ。添加元素は元素名と元素記号の両方で答えること。
- (3) 純ジルコニウムがジルコニウム合金となることで、結晶構造、融点、耐腐食性、比熱、熱伝導率がどのように変化するか (あるいは変化しないか) 答えよ。

第5問 核燃料やアクチノイド元素に関する次の問いに対して回答せよ。

- (1) MOX燃料におけるプルトニウムスポットについて答えよ。①どのような現象か。②燃料挙動にどのように影響するか。③これを減らすために使われている方策は何か。
- (2) プルトニウムの同位体 ^{239}Pu と ^{240}Pu について答えよ。①それぞれの核種の原子炉内での主な生成メカニズムはどのようなものか。②それぞれの核種は核的性質においてどのような違いがあるか。
- (3) ウラン 238 (^{238}U) の放射性壊変について答えよ。①最終的に生成される鉛の安定同位体核種は何か。②その核種になるまでに、アルファ崩壊およびベータ崩壊を何回ずつ経験するか。③重要な放射線被ばくの原因となる気体状の生成核種は何か。
- (4) 核燃料加工施設における六フッ化ウラン UF_6 について答えよ。①どのような用途に用いられるか。②その用途で用いられるための UF_6 の持つ有利な点を2つ挙げよ。③水蒸気と接触したときの反応式を書け。
- (5) 高燃焼度を経験した高速炉燃料中に形成される中心空孔と柱状組織について答えよ。①それぞれどのようなものか。②これらの組織はどのようにして形成されるか。
- (6) 研究炉用板状燃料について答えよ。①どのような構造を有しているか。②燃料部分と被覆部分の材料はそれぞれ何か。