

第 58 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。  
(指示がない限り問題を写し取る必要はない。)
- (ロ) 問題は全部で6問。1問題ごとに1枚の解答用紙を使用すること。

令和8年3月2日

第1問 核燃料物質の壊変系列、原子核の反応について以下の問いに答えよ。

(1) トリウム壊変系列について、最初と最後の核種をそれぞれ記せ。

[解答例] 最初の核種 : Be-8、もしくはベリリウム-8

最後の核種 : He-4、もしくはヘリウム-4

(2) 燃料の燃焼においてU-238 から Pu-239 を経て、Pu-241 が生成されるまでの5つの反応を記せ。

[解答例] Bi-209(n,  $\gamma$ )Bi-210、Bi-210の $\beta$ 壊変、Po-210の $\alpha$ 壊変

第2問 次の文章は、 $\text{UO}_2$ ペレットの機械的特性や、それに関連する照射時のふるまいについて述べたものである。文章中の□に入る適切な語句を番号とともに示せ。なお、同じ番号の□には同じ語句が入るが、異なる番号の□でも、同じ語句が入る場合がある。

[解答例] ⑮-核燃料

- (1)  $\text{UO}_2$ ペレットの機械的特性に関しては、一般的なセラミックスと同様に、融点の半以下以下の温度領域では□①、応力が最大強度を超えると破壊に至る。
- (2) 応力-ひずみ線図において、弾性領域で応力とひずみの関係は□②で示され、その勾配は□③である。 $\text{UO}_2$ ペレットの□③は室温で約 200 GPa であり、温度の上昇とともに急激に□④する。また  $\text{UO}_2$ ペレットが酸素過剰となり  $\text{UO}_{2+x}$  となった場合、□③は□⑤する。
- (3) 温度が上昇するにつれ、□⑥-□⑦遷移が生じる。 $\text{UO}_2$ ペレットの場合は約 1300 °C以上で□⑧変形が生じるようになる。□⑥-□⑦遷移は、破壊の様相により特徴付けられ、□⑥領域では粒内クラックによる□⑨面を呈し、□⑦領域では粒界での破面を呈する。
- (4)  $\text{UO}_2$ ペレットは燃焼中において、中心で温度が□⑩、外周部で温度が□⑪なる。この径方向の温度勾配により□⑫応力が発生し、ペレット半径の中心から約 60%のところを境として、その外側では□⑬応力が、また内側では□⑭応力が生ずる。外周部では温度が□⑪、□⑥領域であり、□⑬応力が生じるため、□⑬応力が最大強度を超えるとクラックが発生する。中心側は□⑧変形領域で機械的強度が小さいため、1200~1400 °Cの円環領域にひずみが集中することになる。

第3問 アクチノイドの電子配置等について以下の問いに答えよ。

- (1) トリウム、ウラン、プルトニウムのそれぞれの原子番号と電子配置を示せ。

[解答例] ネオジム 原子番号：60 電子配置： $[\text{Xe}] 4f^4 6s^2$

- (2) ランタノイドとアクチノイドはともに f 軌道の電子が埋まっていくが、ランタノイドとは異なり、ウランでは6価の価数を取る。その理由をランタノイドの4f電子とアクチノイドの5f電子の違いを踏まえて述べよ。

- (3) アクチノイド収縮について説明せよ。

- (4) アクチノイドについて、酸化状態（価数）の増減及び配位数の増減によりイオン半径がどのように変化するか、それぞれ述べよ。

- (5)  $\text{UO}_2$  の結晶構造と2つの結合の種類を述べよ。また、その結合においてウランの5f電子がどのように関与するか述べよ。

第4問 以下に示す大気圧下における熱伝導率に最も近い数値（単位は  $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ）を、下記の選択肢から選び番号で答えよ。なお、同じ選択肢は複数回使用できないものとする。また、複数回使用した場合は該当箇所の解答をすべて無効とする。

[解答例] (を) - ⑩

二酸化ウラン燃料ペレットの 0 K での熱伝導率：  $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$

二酸化ウラン燃料ペレットの 300 K 付近での熱伝導率：  $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$

二酸化ウラン燃料ペレットの 1000 K 付近での熱伝導率：  $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$

二酸化ウラン燃料ペレットの 2000 K 付近での熱伝導率：  $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$

ナトリウムの 300 K 付近での熱伝導率：  $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$

鉄の 300 K 付近での熱伝導率：  $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$

銅の 300 K 付近での熱伝導率：  $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$

ジルコニウムの 300 K 付近での熱伝導率：  $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$

ヨウ素の 300 K 付近での熱伝導率：  $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$

ウランの 300 K 付近での熱伝導率：  $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$

**【選択肢】**

① : 0、 ② : 0.5、 ③ : 2.5、 ④ : 4、 ⑤ : 9、 ⑥ : 23、 ⑦ : 28、 ⑧ : 80、 ⑨ : 142、  
⑩ : 400

第5問 物質をその大気圧下における融点の大きさに応じて以下のように分類した。(あ)から(こ)に入る物質を下記の選択肢から選び番号で答えよ。なお、同じ選択肢は複数回使用できないものとする。また、複数回使用した場合は該当箇所の解答をすべて無効とする。

【解答例】 (を) - ⑩

融点が 1000 K 未満の物質：【(あ)、(い)、(う)、(え)、順不同】

融点が 1000 K 以上 2000 K 未満の物質：【(お)、(か)、順不同】

融点が 2000 K 以上 3000 K 未満の物質：【(き)、(く)、順不同】

融点が 3000 K 以上の物質：【(け)、(こ)、順不同】

**【選択肢】**

①：一窒化ウラン、②：二酸化プルトニウム、③：二酸化トリウム、④：ナトリウム、  
⑤：鉄、⑥：ジルコニウム、⑦：ヨウ素、⑧：セシウム、⑨：ウラン、⑩：プルトニウム

第6問 以下の問いに答えよ。

- (1) 室温におけるアルミニウムの熱伝導率 (単位は  $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ) を以下の情報から求めよ。また、導出式も示すこと。なお、ここで示した数値は本試験のために記した概算のものであり、実際の値とは異なることもある。

アルミニウムの原子量 : 27.0

室温におけるアルミニウムのモル比熱 :  $24.0 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

室温におけるアルミニウムの密度 :  $2.70 \text{ g cm}^{-3}$

室温におけるアルミニウムの熱拡散率 :  $100 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$

- (2) ヨウ化セシウム結晶は体心立方構造である。ヨウ化セシウム結晶の密度を以下の情報から求め、単位とともに示せ。また、導出式も示すこと。なお、ここで示した数値は本試験のために記した概算のものであり、実際の値とは異なることもある。

ヨウ素の原子量 : 126

セシウムの原子量 : 132

ヨウ化セシウム結晶の格子定数 :  $0.460 \text{ nm}$

アボガドロ定数 :  $6.00 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

【メモ】

【メモ】