

第 52 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。  
(問題を書き取る必要はない。)
- (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。

令和 2 年 3 月 4 日

第1問 以下の文章中の下線部①から⑩について、正しいものには○印を、間違っているものには×印を番号とともに記せ。また、×印を記したものについては、下線部全体を正しく記せ。なお、文章中の「          」の部分は変えずにそのまま用いること。

〔解答例〕⑪ ○、 ⑫ × 東京

- (1) アクチノイド (Actinoid) とは、原子番号 ①91 番の Th から 103 番の Lr までの元素の総称である。
- (2) 金属ウラン (U) には、室温から融点に至る温度範囲に  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  の 3 相がある。これら 3 相の結晶構造は、順に ②単斜晶、斜方晶、体心立方晶 である。一方、二酸化ウラン ( $\text{UO}_2$ ) は面心立方晶で相変態がない。U の原子量を  $M_U$ 、酸素 (O) の原子量を  $M_O$ 、 $\text{UO}_2$  の格子定数を  $a$ 、アボガドロ数を  $N_A$  とした場合、 $\text{UO}_2$  の理論密度を求める式は ③ $(M_U + M_O)/(N_A \cdot a^3)$  で表される。
- (3)  $\text{ThO}_2$ 、 $\text{UO}_2$ 、 $\text{PuO}_2$  の 3 種類の二酸化物について、融点が高いものから順に ④ $\text{UO}_2 > \text{ThO}_2 > \text{PuO}_2$  であり、室温での格子定数が大きいものから順に ⑤ $\text{PuO}_2 > \text{UO}_2 > \text{ThO}_2$  である。
- (4) U、窒化ウラン (UN)、 $\text{UO}_2$  の 3 種類のウランの化学形について、室温での理論密度が高いものから順に ⑥ $\text{U} > \text{UN} > \text{UO}_2$  であり、気孔率が同じ場合に  $1000^\circ\text{C}$  での熱伝導率が高いものから順に ⑦ $\text{UN} > \text{U} > \text{UO}_2$  である。
- (5) 酸化燃料中に生成する核分裂生成物 (FP) のうち、燃料中に気体で存在する主要な元素は ⑧Ne、Rn 等の希ガスである。燃料ペレットと被覆管のギャップが閉塞していない状況で燃料ペレットから FP ガスが放出されると、燃料棒内ガスの ⑨圧力が上昇するため「ギャップ熱伝達率が」大きくなる。この結果、⑩「燃料温度が」下がり、「FP ガス放出が」抑制される。これをサーマルフィードバック効果と呼ぶ。

第2問 トリウムとウランの化合物に関して、以下の問いに答えよ。

- (1) 以下の①から④の操作によって生じるウランの化学的変化について、それぞれ適切な化学反応式を番号とともに記せ。なお、水和水は考慮しなくてよい。

〔例題〕 ⑨ 金属マグネシウムの小片を常温で塩酸に浸漬した

〔解答例〕 ⑨  $\text{Mg} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{MgCl}_2 + \text{H}_2$

- ① 金属ウランの小片を空气中 800℃で長時間加熱した
- ② 金属ウランの小片を水素気流中 300℃で長時間加熱した
- ③ 二酸化ウランの粉末をフッ化水素気流中 400℃で長時間加熱した
- ④ 硝酸ウラニルの水溶液に常温でアンモニア水を添加した

- (2) 種々の酸化物の性状に関して、下表の⑤から⑧に入る適切な結晶系、数値、外観色を番号とともに記せ。

表

化合物	室温での結晶系	理論密度 (g/cm <sup>3</sup> )	粉末の外観色
ThO <sub>2</sub>	立方晶	10.00	⑤
UO <sub>2</sub>	立方晶	⑥* <sup>1</sup>	⑦* <sup>2</sup>
α-U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	⑧	8.40	緑黒色

\*<sup>1</sup> 小数点以下2桁まで記すこと

\*<sup>2</sup> 水素気流中で還元した定比組成のもの

- (3) 焼結した UO<sub>2</sub>ペレットと ThO<sub>2</sub>ペレットを、それぞれ空气中 800℃で長時間加熱保持したとする。その際の外観上の物理的変化の相違点と、そのような相違が生じる理由を簡潔に記せ。

〔解答の記載方法〕

相違点：

理由：

第3問 ジルカロイの添加元素の存在形態に関して、以下の問いに答えよ。

ジルカロイの金属組織を観察すると、母相中に析出した金属間化合物がみられる。金属間化合物の析出状態は、ジルカロイの加工や焼成の条件により大きく変化し、ジルカロイの種々の特性に影響を及ぼす。

ジルカロイの添加元素のうち、、、は、-Zr へのが非常に小さいため、金属間化合物として母相中に析出する。ジルカロイ-2 中にはタイプとタイプの2種類が、ジルカロイ-4 にはタイプが、主として析出する。いずれの金属間化合物もを固溶している。

- (1) (ア)、(イ)、(ウ)に入る元素の、原子番号と元素記号と元素名を答えよ。
- (2) (エ)に入るギリシャ文字を答えよ。
- (3) (オ)に入る語句を漢字3文字で答えよ。
- (4) (カ)、(キ)に入る二元系金属間化合物を、化学式で答えよ。
- (5) ジルカロイ-2とジルカロイ-4に添加されている主要な元素のうち、(ア)、(イ)、(ウ)及びジルコニウム以外の元素を、原子番号と元素記号と元素名で答えよ。

第4問 二元系全率固溶型状態図に関して、以下の問いに答えよ。

- (1) 核燃料に関係する物質群から、全率固溶型状態図をとる組合せを一つ挙げよ。
- (2) 図1は、金属Aと金属Bの間の仮想的な二元系全率固溶型状態図を示したものである。各相の境界を表す線Xと線Yの名称を、それぞれ漢字3文字で答えよ。
- (3) 以下の文章は、図1に示された金属Aと金属Bの混合物の熔融・固化挙動を説明したものである。(ア)、(イ)、(ウ)、(エ)、(オ)に入る数字を、解答例のように答えよ。

〔解答例〕(カ) - 99

室温において固体状態の金属Aと金属Bを、それぞれ、20グラムと30グラムを量りとり、均一に混合した。この混合物を昇温し完全に熔融した。この熔融体をゆっくり冷却すると、約(ア)°Cで固相が現れた。そのままさらにゆっくり冷却し、250°Cで長時間保持した。このときの固相と液相の質量は、それぞれ、(イ)グラムと(ウ)グラムであり、各相中に存在する金属Bの量は、固相中が(エ)質量パーセント、液相中が(オ)質量パーセントであった。なお、以上の試験は空气中、大気圧下で行われたが、この間、金属Aと金属Bには、酸化等の余計な化学反応は生じなかった。

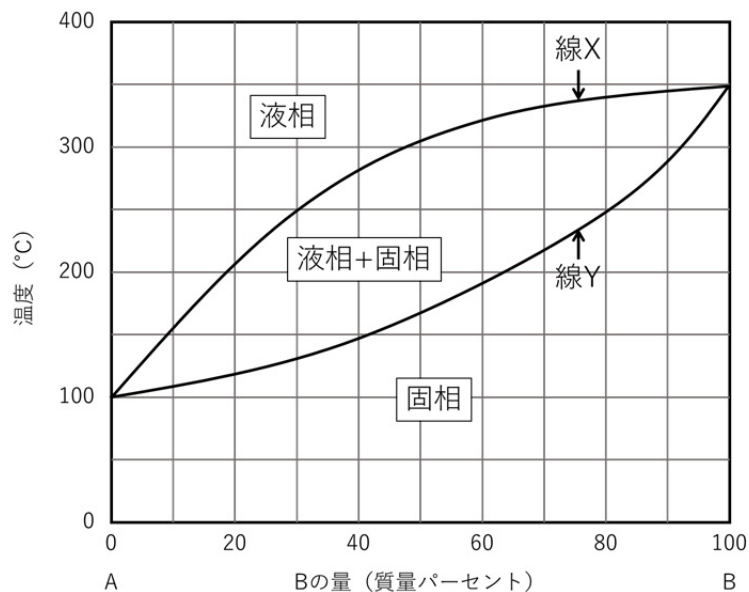


図1 金属Aと金属Bの間の仮想的な二元系全率固溶型状態図

第5問 核燃料とアクチノイド元素に関して、以下の問いに答えよ。

- (1) 核燃料を原子炉中で核分裂させると即発中性子の他に遅発中性子が発生する。
- ① 遅発中性子発生メカニズムについて説明せよ。
  - ② ウラン 235 ( $^{235}\text{U}$ ) 核分裂時に発生する中性子のうち、遅発中性子の割合はどの程度か。有効数字1桁で答えよ。
  - ③ 遅発中性子を発生する代表的な核種を一つ挙げよ。
  - ④ 遅発中性子の原子炉運転上の役割について説明せよ。
- (2)  $^{235}\text{U}$  の放射性壊変について答えよ。
- ① 最終的に生成される安定同位体核種は何か。
  - ② その核種になるまでに、アルファ壊変及びベータ壊変を何回ずつ経験するか。
- (3)  $^{235}\text{U}$  の核分裂について答えよ。
- ① 1回の核分裂によって発生するエネルギーの大きさはどの程度か。有効数字1桁で MeV の単位で答えよ。
  - ② 1g の  $^{235}\text{U}$  が核分裂するとき発生するエネルギーはどの程度か。有効数字1桁で MWd の単位で答えよ。
- (4) アクチノイド元素の応用について答えよ。
- ① アルファ線源として用いられる代表的な核種を一つ挙げよ。
  - ② Be と一緒にして中性子線源として用いられる核種を一つ挙げよ。
  - ③ 単独で中性子線源として用いられる核種を一つ挙げよ。
  - ④ アイソトープ電池の熱源として用いられる核種を一つ挙げよ。
- (5) 濃縮度 4.5% の軽水炉燃料を集合体平均燃焼度 45GWd/tU で燃焼させた後に取り出し、150 日を経過した時の使用済燃料の化学組成について、 $^{235}\text{U}$ 、 $^{236}\text{U}$ 、 $^{238}\text{U}$ 、Pu、核分裂生成物、マイナーアクチノイドの割合を重量%で記述せよ。ただし、酸素は除くものとする。