

第 53 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6問。1問題ごとに1枚の解答用紙を使用すること。

令和3年3月4日

第1問 図1に示すグラフ(ア)～(オ)は、 UO_2 燃料ペレットの各種物性値の温度依存性を示したものである。 UO_2 燃料ペレットの物性に関して、以下の問いに答えよ。

- (1) 燃焼中の燃料ペレット内の径方向温度分布を考える上で重要な、燃料ペレットの熱物性の名称を選択肢から2つ選び、その単位(SI系)とともに記せ。また、それらの温度依存性を示すグラフを図1から選んでそれぞれ記号で記せ。

〔解答例〕 融点(K)、(カ)

- (2) 燃焼中の燃料ペレットと被覆管の機械的相互作用を考える上で重要な、燃料ペレットの熱機械物性の名称を選択肢から2つ選び、その単位(SI系)とともに記せ。また、それらの温度依存性を示すグラフを図1から選んでそれぞれ記号で記せ。

〔解答例〕 融点(K)、(カ)

- (3) 未照射 UO_2 の融点(K)を有効数字2桁で記せ。

〔解答例〕 $4.5 \times 10^3 \text{ K}$

- (4) グラフ(イ)の物性値が、温度上昇にともない減少から増大に転じる理由を機構論的に説明せよ。

- (5) UO_2 の不定比組成を表す UO_{2+x} ($x \geq 0$) に関して、 x の値が大きくなると、融点とグラフ(イ)の物性値はそれぞれ高くなるか、低くなるか、または変わらないか記せ。

選択肢：ヤング率 ポアソン比 定圧比熱 酸素の拡散係数 線熱膨張係数 電気伝導率 熱伝導率 生成自由エネルギー 熱クリープ速度
--

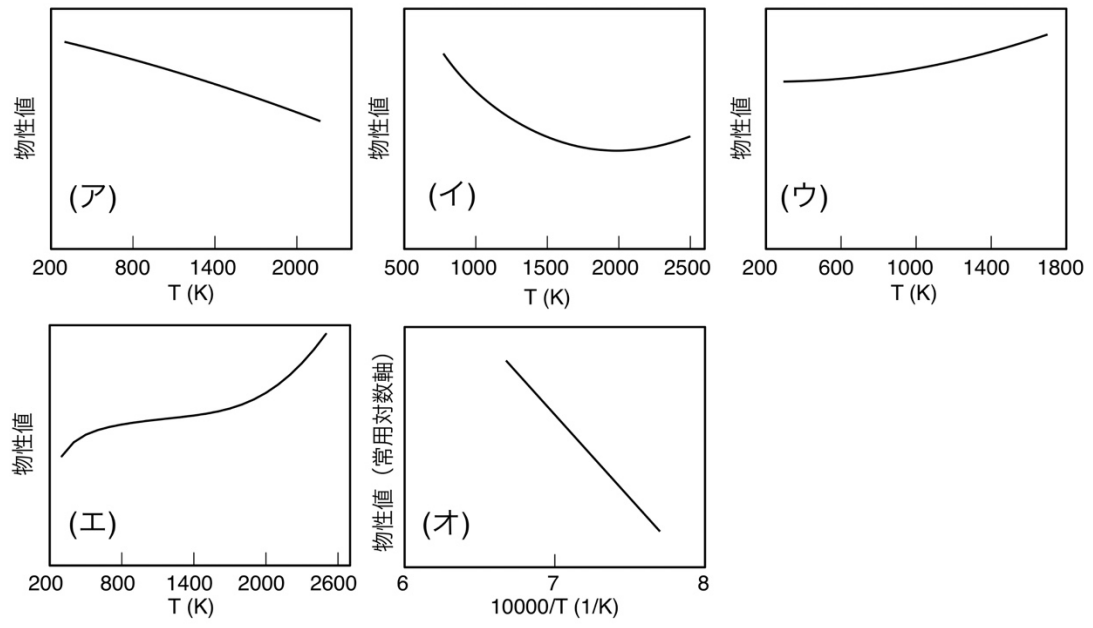


図1 UO_2 燃料ペレットの各種物性値の温度依存性

第2問 核燃料物質の化合物及び同位体に関して、以下の問いに答えよ。

- (1) 以下の①から④の化合物の化学式を番号とともに記せ。ただし、水和水あるいは結晶水は考慮しなくてよい。

〔解答例〕 ⑬— CaCO_3

- ①硫酸ウラニル
- ②重ウラン酸ナトリウム
- ③フッ化ウラニル
- ④硝酸プルトニウム(IV)

- (2) ウラン粗製錬における「イエローケーキ」と称するものの主成分に該当するのは、上記(1)の化合物のうちどれか、番号を記せ。

- (3) 上記(1)の化合物①の水溶液に、何を添加すると②の沈殿が生じるか、その化合物の化学式を記せ。

- (4) 上記(1)の化合物③は、水蒸気と何を反応させると生じるか、その化合物の化学式を記せ。また、この反応の際に生じる気体化合物の名称を記せ。

- (5) U と Pu の同位体について述べた以下の文章中の空欄 ⑤ から ⑫ に入る適切な同位体または数字を番号とともに記せ。なお、⑨ は小数点以下一桁まで数値を記せ。

〔解答例〕 ⑬— ^{231}Pa

天然の同位体組成の U に含まれる U 同位体は、 α 崩壊の半減期の長いものから順に、⑤、⑥、⑦の3種類である。これらのうち、熱中性子に対する核分裂断面積が大きいのは⑧であるが、天然の同位体組成中に⑨%しか含まれないため、軽水炉ではこれを同位体濃縮して燃料に用いる。

軽水炉 UO_2 燃料中に生成する質量数 238 から 242 までの Pu 同位体に関して、主要な生成起源となる天然の U 同位体は⑩である。これらの Pu 同位体のうち、 β 崩壊するのは⑪であり、その結果⑫が蓄積するため、⑪を含有する Pu を長期間保管すると γ 線量率が次第に高くなる。

第3問 選択肢に元素記号で示す軽水炉 UO_2 燃料中の核分裂生成物に関して、以下の問いに答えよ。

選択肢 : Zr Tc I Y Cs Ru Sr Mo

- (1) 燃料中に合金を形成して析出する元素を3つ記せ。
- (2) 燃料中に酸化物として析出、または UO_2 と酸化物固溶体を形成する元素を3つ記せ。
- (3) 冷却水喪失による炉心溶融事故の際に、揮発性が高く炉外に放出されやすい代表的な元素を2つ記せ。
- (4) 使用済燃料の再処理で生じる高レベル放射性廃棄物中の主要発熱源となる元素を2つ記せ。

第4問 二酸化ウランペレットの製造工程に関して、以下の問いに答えよ。

- (1) 図2は、二酸化ウラン粉末から二酸化ウランペレットを製造する代表的な工程を示したものである。作業(1)から作業(7)に入る項目を、選択肢から選択せよ。

[解答例] 作業(8)－東京

選択肢： 検査、研削、焼結、潤滑剤添加混合、成形、造粒、粗成形

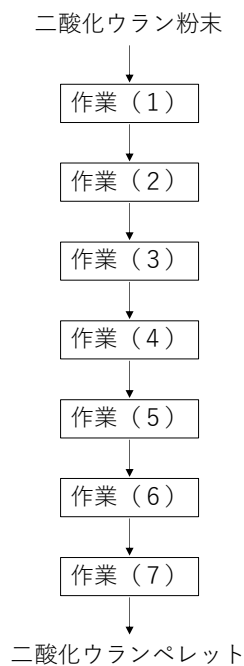


図2 二酸化ウラン粉末から二酸化ウランペレットを製造する代表的な工程

- (2) 以下の文章は、焼結の具体的な手順について説明したものである。(ア)に入る元素名を日本語(カタカナ)で答えよ。また、(イ)、(ウ)、(エ)に入る数字を答えよ。

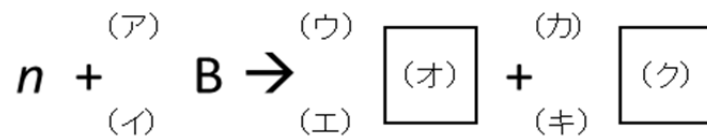
[解答例] (オ)－オオサカ、(カ)－10

二酸化ウランのグリーン・ペレットを(ア)製容器に入れ、これを約(イ)°Cの還元雰囲気をもつ焼結炉に挿入し、焼結炉にて焼結する。これにより、密度が理論密度の約(ウ)%、O/U比が(エ)の焼結ペレットを得る。

第5問 制御棒に含まれる中性子制御材に使用されるホウ素に関して、以下の問いに答えよ。

- (1) ホウ素が中性子制御材として使用されるとき化学形態を、化学式と日本語名の両方で答えよ。
- (2) ホウ素には主な同位体としてホウ素10とホウ素11がある。このうち、中性子を吸収するものを答えよ。
- (3) ホウ素10とホウ素11の天然でのおおよその同位体比を答えよ。
- (4) 以下の式は、ホウ素が中性子を吸収する核反応を表す式である。 n は中性子を表している。(ア)、(イ)、(ウ)、(エ)、(カ)、(キ)に入る数字を答えよ。また、(オ)と(ク)に入る元素を元素記号で答えよ。元素記号の左下の数字を原子番号、左上の数字を質量数とすること。なお、(ウ)、(エ)、(オ)のセットと(カ)、(キ)、(ク)のセットの順番は問わない。

〔解答例〕 (ケ) - 1、(コ) - Pu



- (5) (4)で示した核反応から、ホウ素を中性子制御材として使用する際の問題点を100字程度で説明せよ。

第6問 アクチノイド収縮に関して、以下の問いに答えよ。

- (1) アクチノイド収縮とはどのような現象か50字程度で説明せよ。
- (2) アクチノイド収縮が生じる理由を100字程度で説明せよ。