

第 57 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7年3月3日

第1問 核燃料の燃焼により生成される核分裂生成物（FP）に関して、以下の問いに答えよ。

- （1） 軽水炉における燃焼条件において生成される FP の内、燃料内における形態としてウラン酸化物相への固溶のみとなる代表的な元素を 3 つ答えよ。
- （2） 軽水炉における燃焼条件において生成される FP の内、燃料内における形態として金属析出物のみとなる代表的な元素を 3 つ答えよ。
- （3） 燃料の燃焼が進むにつれて核燃料の酸素ポテンシャルがどのように変化するか、理由とともに述べよ。
- （4） 現行の制限を超えた高燃焼度での酸素ポテンシャルの変化により、Mo の化学的・物理的形態がどのように変化するか、理由とともに述べよ。

第2問 次の文章は、核燃料物質の蒸気圧や、それに伴う燃料のふるまいについて述べたものである。文章中の□に入る適切な語句等を番号とともに記せ。ただし、②～⑥、⑱については化学式で答えよ。なお、同じ番号の□には同じ化学式が入る。また、同じ語句等を複数回解答してもよい。

〔解答例〕 ㉑—東京

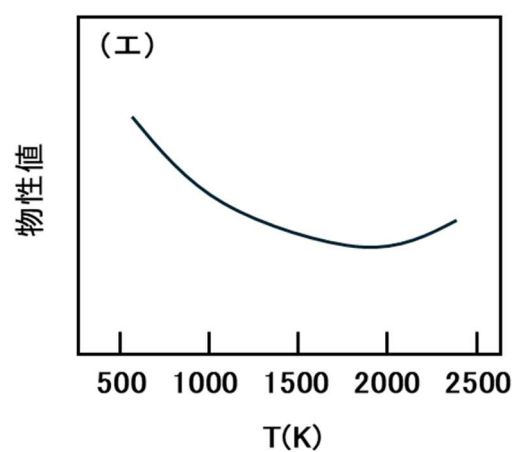
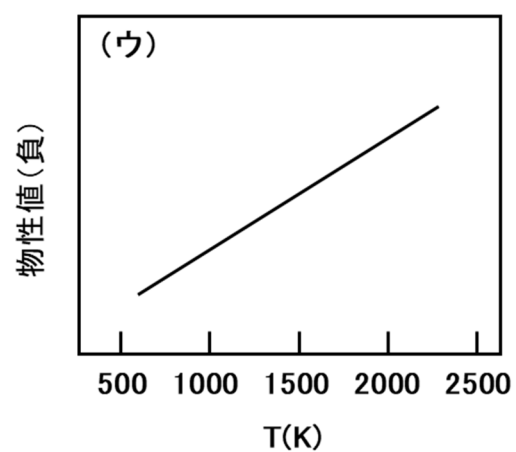
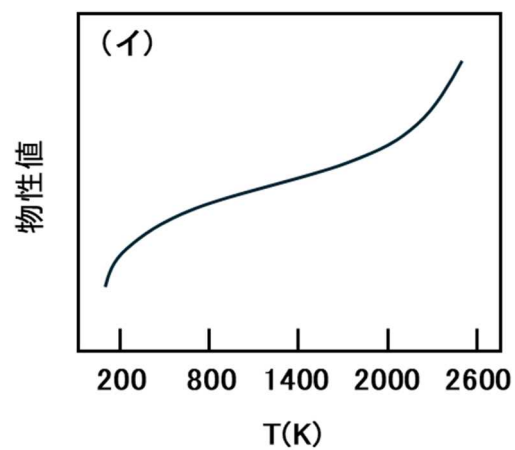
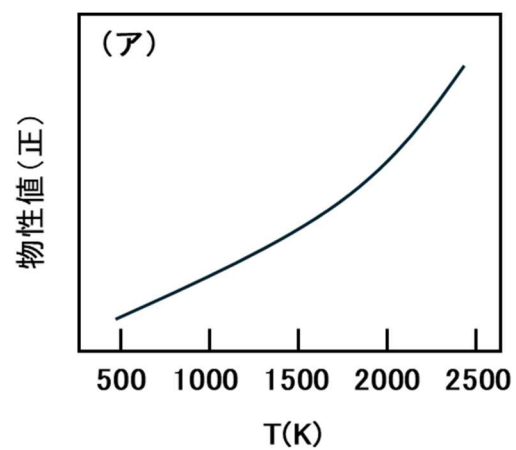
- (1) 定比組成の UO_2 は高温になればなるほど蒸気圧は ㉑ くなり、2,000 K 以下では主として ㉒ として蒸発し、2,000 K 以上では ㉒ の他、㉓、㉔ として蒸発する。一方、定比組成の PuO_2 は、㉕ や ㉖ として蒸発する。
- (2) 軽水炉において線出力が ㉗ い場合や高速炉の場合、燃料の径方向に大きな温度勾配が生じ、燃料中心で温度が ㉘ く、燃料外周部で温度が ㉙ くなる。燃料中に残存する空孔は、空孔内の温度の違いにより ㉚ 温部で蒸発した蒸気種が ㉛ 温部に蒸着するため、空孔が ㉜ 部に向かって移動する。これにより、核燃料の中心近傍において、特徴的な組織である ㉝ や ㉞ が生成する。
- (3) 高速炉における MOX 燃料の燃焼初期においては、 UO_2 と PuO_2 の蒸気圧の違いにより、固溶していた U と Pu が燃料内で異なる分布を示す。この場合、 UO_2 より、 PuO_2 の蒸気圧は ㉟ いため、Pu の濃度は中心近傍にて ㊱ くなる。
- (4) 過酷事故時において、燃料被覆管が破損した高温条件では、水蒸気が燃料被覆管内に混入するため、一部のウラン酸化物は ㊲ され、㊳ 定比組成となり、主に ㊴ として蒸発し、燃料から放出される。一方、燃料からの放出後は、環境の温度が低下することで飽和蒸気圧が下がるため、㊵ する。

第3問 ウランの酸化物、窒化物、金属の特徴について以下の問いに答えよ。

- (1) UO_2 、 UN 、 U を融点の低い順に並べよ。
- (2) UO_2 、 UN 、 U を熱伝導率の低い順に並べよ。また、 UO_2 、 UN についてはウランとの結合性の違いを示し、結合性の観点から、その順序となる理由を述べよ。
- (3) ウラン金属 (U) の結晶構造は室温から温度上昇することにより変化する。ウラン金属の安定な結晶構造を挙げ、低温の方から順に並べよ。
- (4) ウランシリサイド燃料は分散型燃料として試験研究炉で利用されているが、分散型としている理由を端的に述べよ。
- (5) ウランの酸化物について、図 (ア) ～ (エ) に該当する物性値を以下から選び、その単位を SI 単位系にて示せ。

[解答例] (オ) - 融点 (K)

密度、線膨張率、酸素ポテンシャル、ヤング率、ポアソン比、電気伝導度、
熱伝導率、定圧比熱、熱クリープ速度



注)「物性値 (正)」 「物性値 (負)」 はそれぞれ値が正、負であることを示す。

第4問 以下の問いに答えよ。

- (1) 二酸化ウラン UO_2 と二酸化プルトニウム PuO_2 の固溶体である $(\text{U,Pu})\text{O}_2$ を考える。
 $(\text{U,Pu})\text{O}_2$ の格子定数を、 UO_2 の格子定数、 PuO_2 の格子定数、 PuO_2 の固容量から算出する方法を説明せよ。なお、ここでの格子定数は室温におけるものとする。また、 UO_2 、 PuO_2 、 $(\text{U,Pu})\text{O}_2$ はいずれも化学量論組成のものとし、 UO_2 と PuO_2 は全率固溶するものとする。

- (2) 以下に示す物質を、室温における熱伝導率が二酸化ウランペレットよりも高いものと低いものに分類せよ。

〔解答例〕 高いもの：x x x、y y y、z z z、・・・

低いもの：a a a、b b b、c c c、・・・

単結晶シリコン、天然木材、ダイヤモンド、石英ガラス、金属ジルコニウム塊、
イットリア安定化ジルコニア焼結体、炭化ケイ素焼結体、発泡スチロール

- (3) 軽水炉燃料被覆管の材料として用いられているジルカロイ 2 とジルカロイ 4 に添加される元素の種類及びおおよその添加量(wt%)を示せ。また、添加元素の違いによって材料特性がどのように異なるか説明せよ。

第5問 以下の文章中の(ア)から(キ)に入る数字、(A)と(B)に入る文言、(C)に入る長さの単位を答えよ。その際、(ア)と(カ)は有効数字三桁で、(イ)、(ウ)、(エ)、(オ)、(キ)は整数で答えよ。(A)と(C)は、それぞれ別途示している選択肢から一つを選び解答せよ。(B)に入る文言は漢字二字で答えよ。

なお、問題中の二酸化ウランは化学量論組成のものとし、アボガドロ数は 6.00×10^{23} 、円周率は3.00とする。また、二酸化ウランペレットの形状は完全な円柱状とする。問題文中に示している数字は本試験のために設定したものであって、実際のものとは異なることもありえる。

[解答例] (ヤ) — 99

(A) のための選択肢 [白、青、赤、緑、黒、黄]

(C) のための選択肢 [m、cm、mm、 μm 、nm、pm]

ここに二酸化ウランペレットがある。色は(A)色である。この二酸化ウランペレットのポロシティを求める場合を考える。

まず、ペレットの寸法を測定したところ、直径が10.0 mm、高さが10.0 mmであった。質量を測定したところ、7.50 gであった。この結果から、このペレットの密度は(ア) g cm^{-3} となる。

次に、二酸化ウランの理論密度を求める。ウランの原子量を四捨五入して整数で表すと(イ)、酸素の原子量を四捨五入して整数で表すと(ウ)となる。(B)型構造を有する二酸化ウランの単位格子中に、ウラン原子は(エ)個、酸素原子は(オ)個ある。また、二酸化ウラン結晶の格子定数を調べたところ、0.550 (C)であった。これらの情報から二酸化ウランの理論密度を求めたところ、(カ) g cm^{-3} となる。

以上の結果から、求めるべき二酸化ウランペレットのポロシティは、およそ(キ) vol %となる。

第6問 ガドリニア入り燃料について、以下の問いに答えよ。

- (1) ガドリニウムの元素記号を記せ。
- (2) ガドリニウムの原子番号を記せ。
- (3) ガドリニアの化学式を記せ。
- (4) ガドリニア入り燃料中のガドリニアのおおよその添加量 (wt%) を答えよ。
- (5) ガドリニア入り燃料中のガドリニウムあるいはガドリニアのことを何と称するか。漢字5文字で答えよ。
- (6) ガドリニアを添加する意図 (ねらい) を説明せよ。

【メモ】

【メモ】

【メモ】