

第 56 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6年2月29日

第1問 核燃料物質及びアクチノイド元素に関して、以下の問いに答えよ。

- (1) 以下の元素群は、原子番号 89 から 96 までのアクチノイド元素を羅列したものである。これらを原子番号の小さい順に左から、原子番号とともに元素記号を記せ。

〔解答例〕 ${}_{1}\text{H}$ 、 ${}_{2}\text{He}$ 、…

元素群：Pu U Am Pa Th Cm Ac Np

- (2) 天然の同位体組成のウランは 3 種類の同位体からなる。これらをアルファ崩壊の半減期が長い方から順に記せ。

〔解答例〕 ${}^{\text{x}}\text{U} > {}^{\text{y}}\text{U} > {}^{\text{z}}\text{U}$

- (3) 原子炉で照射中のウラン燃料において、 ${}^{238}\text{U}$ から ${}^{239}\text{Pu}$ が生じる最も主要な一連の核反応を核反応式または文章で簡潔に説明せよ。

- (4) ウラン燃料中に生成する質量数 238 から 242 までのプルトニウム同位体について記した以下の①から③の問いの解答を番号とともに記せ。

〔解答例〕 ④－東京

- ① アルファ崩壊の半減期の最も長い同位体
- ② ベータ崩壊する唯一の同位体
- ③ 上記②のベータ崩壊の半減期（単位：年、有効数字二桁）

- (5) トリウム燃料サイクルでは、 ${}^{232}\text{Th}$ を原子炉で照射して生成する核分裂性の ${}^{233}\text{U}$ を燃焼させる。これについて記した以下の①と②の問いの解答を簡潔に説明せよ。

- ① ${}^{233}\text{U}$ を燃料として用いることの、生成する核種の観点からの利点は何か
- ② トリウムを酸化物セラミック燃料とする場合、現行の軽水炉用低濃縮ウラン酸化物燃料の製造と比較して、製造時の取扱いの観点からの問題点は何か

第2問 ウラン化合物について、以下の問いに答えよ。

- (1) 図1中のA及びBは、ウラン化合物の結晶構造を模式的に示したものである。結晶構造に関して述べた以下の文章中の□に入る適切な語句、化学式、記号または数値を番号とともに記せ。なお、⑧はAまたはBから選んで記せ。また、⑫及び⑬の数値は有効数字二桁（小数点以下四捨五入）で記せ。

〔解答例〕 ⑭－東京

図1中のA及びBの結晶構造はいずれも□①□晶であるが、軽元素の配置の違いによりAは□②□型、Bは□③□型と呼んで区別している。ウラン化合物のうち、Aに該当する核燃料としての化合物は□④□であり、Bに該当する核燃料としての化合物には□⑤□や□⑥□がある。単位体積あたりのウラン原子数密度は、核燃料としての化合物での比較では、BよりAの方が□⑦□い。そのため、原子炉に装荷する核燃料中のウラン充填密度を高める観点のみを考慮すると、□⑧□の結晶構造を持つウラン化合物の方が理想的である。

一方、金属Uは室温から融点直下の温度にかけて□⑨□晶、□⑩□晶、□⑪□晶の順に相変態する。金属Uの理論密度は化合物よりかなり高く、室温では UO_2 の□⑫□ g/cm^3 に対して□⑬□ g/cm^3 である。

- (2) 図1中のBのウラン化合物について、ウランの原子量を M 、軽元素の原子量を m 、格子定数を a 、アボガドロ数を N とした場合、これらの記号を用いて理論密度を式で表せ。
- (3) UO_2 中への固溶度が高く、照射中の UO_2 燃料ペレット内で二酸化物固溶体を形成しやすい核分裂生成物 (FP) 元素を希土類元素以外に1つ元素記号で記せ。
- (4) UO_2 中への固溶度が低く、照射中の UO_2 燃料ペレット内で酸化物として析出しやすい FP 元素を2つ元素記号で記せ。
- (5) 6価の酸化状態のウランは、アルカリ金属やアルカリ土類金属の酸化物と種々のウラン酸塩 (uranate) を形成しやすい。1価の金属酸化物を M_2O とした場合、ウランと形成しやすいウラン酸塩の化学式を2つ記せ。

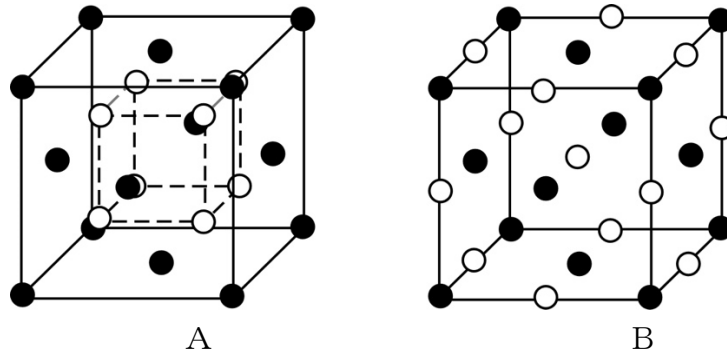


図 1 模式的に示したウラン化合物の結晶構造 (● : ウラン、○ : 軽元素)

第3問 定比組成の ThO_2 、 UO_2 、 PuO_2 の物性または性質に関して、以下の問いに答えよ。なお、(1) から (5) に対しては、序列を不等式で示せ。

〔解答例〕 (7) $\text{ThO}_2 > \text{PuO}_2 > \text{UO}_2$

- (1) 室温でのイオン半径が大きいものから順に記せ。
- (2) 室温での理論密度が高いものから順に記せ。
- (3) 融点が高いものから順に記せ。
- (4) 理論密度で比較した際に、熱伝導率が高いものから順に記せ。
- (5) 同程度の粒度の粉末で比較した際に、硝酸への溶解性が高いものから順に記せ。
- (6) 不定比組成領域がほとんどなく、4 価の酸化状態が極めて安定なものを 1 つだけ記せ。

第4問 以下の文章を読んで、(1) から (3) の問いに答えよ。なお、文章中に出てくる物性値は本試験のために記した概算のものであり、実際とは異なることもある。

これから二酸化ウランペレットの室温における熱伝導率を算出する。

まず、二酸化ウランの室温における定圧モル比熱を文献で調査したところ、 $54.0 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ であった。ウランの原子量が 238、酸素の原子量が 16.0 なので、二酸化ウランの室温における一グラムあたりの定圧比熱は、 $\boxed{\text{①}} \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$ となる。次に、当該の二酸化ウランペレットの室温における密度を測定(A)したところ、 10.0 g cm^{-3} であった。これを cm^{-3} から m^{-3} に換算すると、 $\boxed{\text{②}} \text{ g m}^{-3}$ となる。最後に、当該の二酸化ウランペレットの室温における熱拡散率を測定(B)したところ、 $4.00 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$ であった。これを mm^2 から m^2 に換算すると、 $\boxed{\text{③}} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ となる。

これで、熱伝導率の算出に必要なすべての情報がそろった。

最後に、熱伝導率を算出したところ、 $\boxed{\text{④}} [\text{⑤}]$ となった。

- (1) 文章中の $\boxed{\text{①}}$ から $\boxed{\text{④}}$ に入る数字を有効数字三桁で答えよ。また、 $[\text{⑤}]$ に入る単位を SI 単位系で記せ。

[解答例] ⑥ - 100

- (2) 文章中の下線部 (A)、(B) の方法を簡潔に記せ。

[解答例] (X) - $\times\times\times$ 法により測定

(Y) - $\times\times\times$ 装置を用いて測定

(Z) - $\times\times\times$ と $\times\times\times$ をもとに算出 など

- (3) 今回は、比熱の値は文献から収集したが、実験的に求めることもできる。二酸化ウランの比熱測定において実績のある方法を簡潔に記せ。

[解答例] $\times\times\times$ 法により測定 または $\times\times\times$ 装置を用いて測定 など

第5問 以下の問いに答えよ。なお、ここで示す状態図は本試験のために概略化したものであり、実際とは異なることもある。

(1) 以下の図は、縦軸に温度、横軸に PuO_2 含有率をとった $\text{UO}_2\text{-PuO}_2$ 擬二元系状態図である。以下の①から⑦の情報を図から読み取り、答えよ。

[解答例] ⑧ - 3300 K

- ① UO_2 の融点
- ② PuO_2 の融点
- ③ PuO_2 含有率が 20% のときの固相線の温度
- ④ PuO_2 含有率が 35% のときの液相線の温度
- ⑤ PuO_2 含有率が 35% のときの固相線の温度
- ⑥ 3000 K で PuO_2 含有率が 30% の領域における固相と液相の比 (単なる数字ではなく両者の関係がわかるように答えること)
- ⑦ 2900 K で PuO_2 含有率が 50% の領域における固相と液相の比 (単なる数字ではなく両者の関係がわかるように答えること)

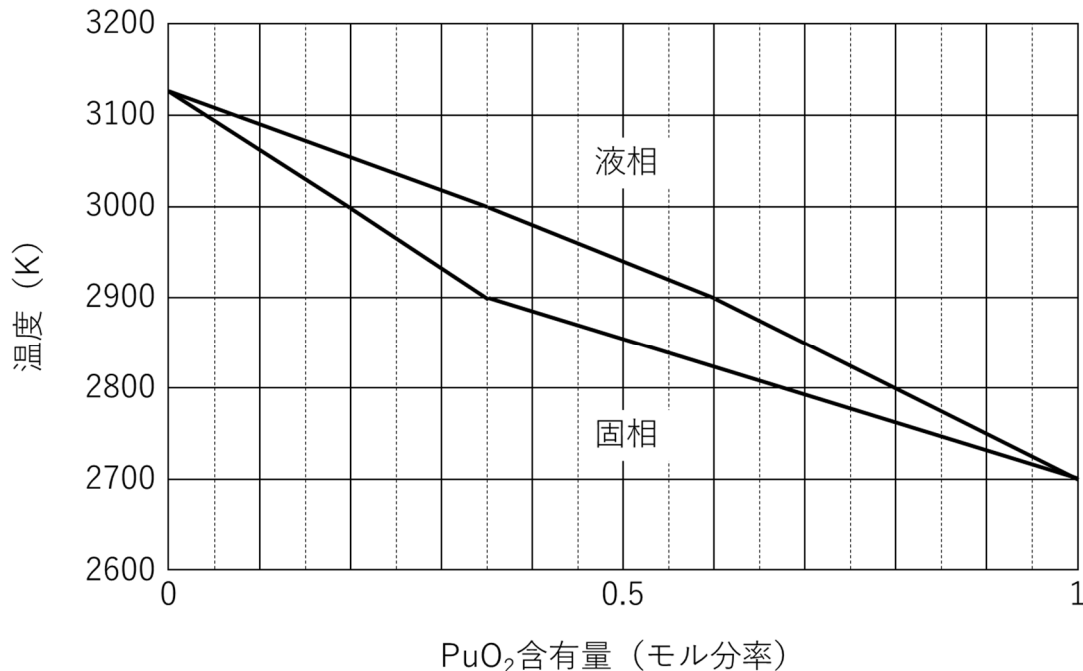


図 $\text{UO}_2\text{-PuO}_2$ 擬二元系状態図

(2) $\text{UO}_2\text{-PuO}_2$ 擬二元系や Si-Ge 二元系にみられる状態図の名称を答えよ。

〔解答例〕 ○○○型状態図

(3) 核燃料の融点測定で実績のあるサーマルアレスト法とはどのような方法か
50～100字で説明せよ。説明に要した文字数も記載すること。

第6問 以下の語句を、それぞれ 50～100 字で説明せよ。説明に要した文字数も記載すること。

(1) MCCI

(2) Bredig 転移

(3) PCMI

【メモ】

【メモ】

