

第 51 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。

平成 31 年 3 月 6 日

第1問 次の文章は、ウラン、トリウム、プルトニウムの同位体又は化合物について述べたものである。文章中の□に入る適切な語句、数値、化学式又は核種を番号とともに記せ。なお、同じ番号の□には、同じ語句、数値、化学式又は核種が入る。

〔解答例〕 ㉑－東京

- (1) 天然ウランに含まれるウラン同位体のうち、アルファ崩壊の半減期が最も短いのは□①である。 ^{233}U は天然には存在せず、天然のトリウム同位体である□②を原子炉で照射すると中性子捕獲と□③により生成する。 ^{233}U のアルファ崩壊の半減期は、□①よりも□④い。
- (2) 金属ウランを硝酸に溶解した際にウランの最も安定な価数は□⑤であり、イオンの化学式は□⑥と表され、名称を□⑦イオンという。一方、トリウムの硝酸溶液中で安定なイオンの化学式は、□⑧である。
- (3) ウランの硝酸塩水溶液にアンモニア水を添加すると、□⑨色の重ウラン酸アンモニウム(ADU)の沈殿が得られる。ADUの化学式は□⑩と表される。ADUを空气中 800°C 程度で加熱すると□⑪が得られ、さらに水素気流中同温度で加熱すると□⑫が得られる。
- (4) UO_2 を UF_6 に転換する際には、まず UO_2 と□⑬ガスを反応させて UF_4 を得る。固体の UF_4 の外観は□⑭色である。次に UF_4 と□⑮ガスを反応させて UF_6 が得られる。1気圧、常温で UF_6 は固体であるが、□⑯ $^{\circ}\text{C}$ で昇華して気体となる。
- (5) 取り出し燃焼度 45 GWd/tHM の軽水炉使用済 UO_2 燃料には、金属元素 1t あたり約□⑰ kg のPuが含まれる。質量数 238 から 242 までのプルトニウム同位体のうち、熱中性子に対する核分裂断面積が大きいのは□⑱と□⑲である。また、プルトニウム同位体組成において含有率が二番目に多いのは□⑳である。

第2問 UO_2 の不定比組成領域を表す UO_{2+x} ($x \geq 0$) に関して、以下の問いに答えよ。

- (1) UO_2 の単位格子に過剰の酸素原子1個が格子間原子として入り得るとすると、 x のとり得る最大値はいくらか記せ。
- (2) 高温で平衡状態にある UO_{2+x} の x 値は、保持温度 $T(\text{K})$ と標準状態 1atm に対する酸素分圧 $P_{\text{O}_2}(\text{atm})$ の関数の値により一義的に定まる。 UO_{2+x} の酸化状態を記述する指標となるこの関数の名称を記せ。また、この関数を気体定数 R 、温度 T 、酸素分圧 P_{O_2} を用いて式で記せ。
- (3) 図1は、 1400°C における酸素分圧（常用対数値）と x 値の関係を表すグラフである。同温度において、 UO_2 をアルゴンと酸素の混合気流（大気圧、 0.1 体積% O_2 ）中に保持した場合、平衡状態で O/U 比はいくらになるか、小数点以下2桁まで数値を記せ。
- (4) 図1において、同じ酸素分圧のまま保持温度を下げると、 O/U 比は増大するか、減少するか、簡潔な理由とともに記せ。
- (5) x 値の増大とともに、以下の①から④の物性値はそれぞれ増大するか、減少するか記せ。

- ①格子定数 ②熱伝導率 ③電気伝導率 ④熱クリープ速度

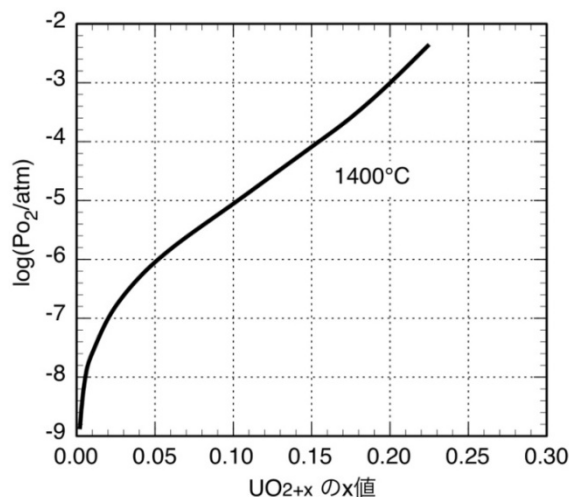


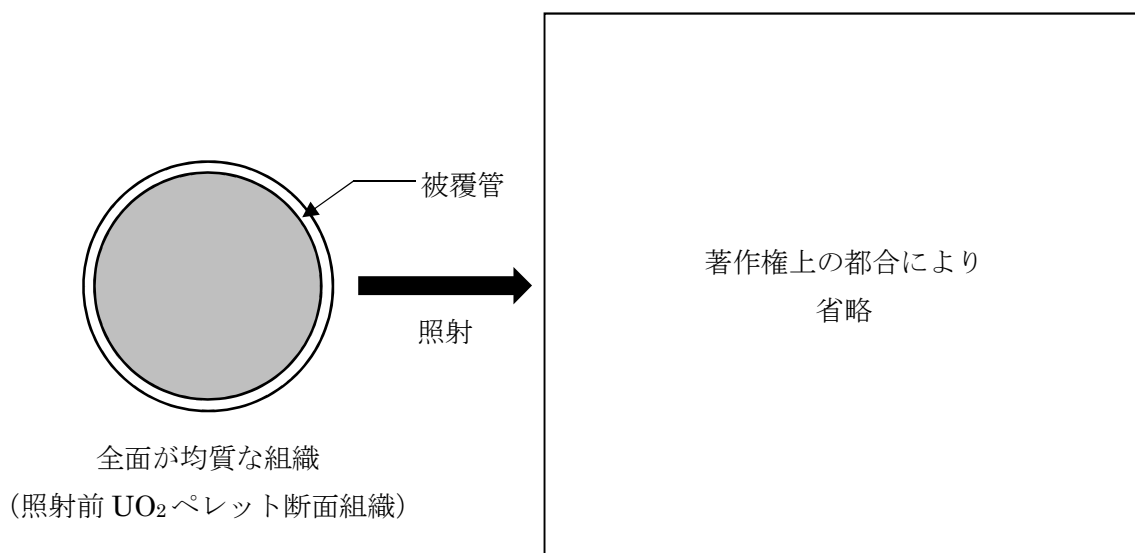
図1 1400°C における酸素分圧と UO_{2+x} の x 値の関係

図1の数値データ出典：K. Hagemark and M. Broli, "Equilibrium oxygen pressure over the nonstoichiometric uranium oxides UO_{2+x} and U_3O_{8-z} at higher temperatures," *Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry*, vol. 28, pp. 2837-2850 (1966).

第3問 軽水炉において、二酸化ウラン (UO₂) ペレットでは、燃焼の進行とともにその形態や組織が変化し、燃料のふるまいに影響を及ぼす。このようなペレットの形態や組織の変化を総称して、リストラクチャリングと呼ぶ。リストラクチャリングに関する以下の問いに答えよ。

- (1) リストラクチャリングに含まれる具体的な現象を4つ答えよ。
- (2) リストラクチャリングが発生するメカニズムを、150字程度で述べよ。
- (3) 下の図中、右側に拡大した図は、リストラクチャリングが生じた UO₂ ペレットの断面組織の概略を示したものである。この図中に示された領域ア、領域イ、領域ウの名称を答えよ。解答は、例のように示すこと。

〔解答例〕 エー東京



高出力（線出力 950 W/cm、燃焼度 680 MWd/t）
で照射された UO₂ ペレットの断面組織

【出典】

- ・（公財）原子力安全研究協会
実務テキストシリーズ No. 3、軽水炉燃料のふるまい
- ・H. Stehle, Atomwirtschaft Atomteck. , 15, 450 (1970)
（見やすいように拡大している。）

図2

第4問 軽水炉の通常運転時、燃料被覆管の外面は、高温高压の水と反応し、ジルコニウムが酸化されるとともに水素が発生する。発生した水素の一部は被覆管内部に吸収されるが、その量が固溶限を超えると、ジルコニウム水素化物が析出するようになる。ジルコニウム水素化物には、水素含有量の違いによって、結晶構造の異なる δ 相と ϵ 相が存在する。ここで、以下の問いに答えよ。

- (1) 下線で示した反応を、化学式で表記せよ。
- (2) δ 相ジルコニウム水素化物と ϵ 相ジルコニウム水素化物のそれぞれについて、室温におけるおおよその水素含有量を、 H/Zr (原子比) で答えよ。
- (3) δ 相ジルコニウム水素化物の結晶構造について述べた以下の文章中の□に入る語句を答えよ。解答は、例のように示すこと。

〔解答例〕 エー東京

δ 相ジルコニウム水素化物は、□ア□石型の結晶構造をとる。この構造は、ジルコニウム原子が構成する□イ□格子内に、水素原子が構成する□ウ□格子が含まれるものである。

- (4) 被覆管中に析出するジルコニウム水素化物が、被覆管に対して及ぼす影響を100字程度で述べよ。

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) 核燃料を原子炉で使用すると、運転終了後も熱が発生する。①この熱は何と呼ばれているか。②その熱はどのようなメカニズムにより発生するか。③その発熱量は1年以上運転した原子炉（ウラン酸化物燃料の軽水炉）の停止1秒後、1日後、30日後、1年後に、原子炉運転時の発熱量に比べてどの程度になるか。百分率（%）、有効数字1桁で答えよ。
- (2) 原子炉運転中の二酸化ウラン燃料中に生成する次の元素（Kr、Ru、Nd、I、Ce、Np、Ba、Xe）を、①気体状のもの、②揮発性のも、③固溶体としてペレット中に存在するもの、④金属析出物をつくってペレット中に存在するもの、⑤別の酸化物相をつくってペレット中に存在するものに分けよ。
- (3) アクチノイド元素はPuあたりを境として、その原子番号から大きく2つのグループに分けることができる。このことに関して、次の問いに答えよ。
- ① 小さな原子番号のアクチノイド元素と大きな原子番号のアクチノイド元素の例を元素記号でそれぞれ3つずつ記せ。ただしPuを除く。
- ② 小さな原子番号のアクチノイド元素と大きな原子番号のアクチノイド元素の最も安定な原子価における相違点について説明せよ。