

第 56 回

原子炉主任技術者試験（筆記試験）

原子炉燃料及び原子炉材料

6問中5問を選択して解答すること。（各問20点：100点満点）

- （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。  
（問題を写し取る必要はない。）
- （ロ）1問題ごとに1枚の解答用紙を使用すること。
- （ハ）第6問については、6項目中4項目の選択問題である。

平成 26 年 3 月 14 日

第1問 軽水炉燃料の製造、構造などに関する次の問に答えよ。

- (1) 粗製錬工程において、①採掘されたウラン鉱石からウランを化学的に浸出させる代表的な薬品名を1つ記せ。また、②イエローケーキを沈殿させるために加える代表的な薬品名を1つ記せ。
- (2)  $^{235}\text{U}$ の同位体割合を高めるウラン濃縮の方法のうち、実用化されている方法の名称を2つ記せ。
- (3) 実用化されているウラン濃縮法において用いられるウラン化合物名を記せ。また、その化合物がウラン濃縮の際に用いられる理由を記せ。
- (4) 再転換工程において、濃縮ウランの製品であるウラン化合物を燃料ペレット製造の原料のウラン化合物にする代表的な方法の名称を2つ記せ。
- (5) 燃料ペレットの製造における原料粉末のウラン化合物名を記せ。また、燃料ペレットに可燃性毒物を添加する場合、添加する化合物名を記せ。
- (6) 燃料ペレットは、原料粉末のウラン化合物を円柱形に圧縮成型した後に焼結したものである。焼結する際の雰囲気及びおよその温度をそれぞれ記せ。
- (7) 燃料棒の製造において、燃料ペレットは被覆管に封入される。被覆管内に充填される気体の名称を記せ。また、その気体の充填圧力について、大気圧より低い、ほぼ大気圧、大気圧より高い、の3つから正しいものを1つ選んで記せ。
- (8) 燃料棒内部の上部には、プレナムと呼ばれる燃料ペレットがない部分があり、そこにはコイルばね（スプリング）が挿入されている。①プレナムの役割、及び②コイルばねの役割をそれぞれ記せ。
- (9) BWR 燃料集合体を構成する部品である、①下部タイプレート<sup>①</sup>の材料名、及び②ウォーターロッドの材料名をそれぞれ記せ。
- (10) PWR 燃料集合体を構成する部品である、①上部ノズルの材料名、及び②制御棒案内シンプルの材料名をそれぞれ記せ。

第2問 軽水炉燃料における核分裂生成物などに関する以下の記述について、下線部が正しいものには○印を、間違っているものには×印を番号と共に記せ。また、×印を記したものについては、適切な語句を記せ。〔解答例 ②① ○、 ②② × 核燃料〕

- (1) トリチウムは、①リチウムの放射性同位体であり、原子核には②3個の陽子と③4個の中性子がある。トリチウムの半減期は④約9年であり、⑤ $\alpha$ 崩壊により安定核種である⑥ $^7\text{Be}$ になる。軽水炉においては、トリチウムは、主に⑦中性子捕獲により生成される。

- (2) セシウムにはいくつかの放射性同位体があるが、そのうち、 $^{137}\text{Cs}$  は、⑧約 15 年の半減期で安定核種の⑨ $^{137}\text{La}$ に壊変する。また、 $^{134}\text{Cs}$  は、⑩約 5 年の半減期で安定核種の⑪ $^{130}\text{Te}$ になる。 $^{137}\text{Cs}$ はウランの核分裂で直接生成されるのに対して、 $^{134}\text{Cs}$ は安定核種である核分裂生成物の⑫ $^{130}\text{I}$ が $\alpha$ 粒子を捕獲して生成される。
- (3) ヨウ素にはいくつかの放射性同位体があるが、そのうち、 $^{131}\text{I}$  は、⑬約 25 日の半減期で安定核種の⑭ $^{127}\text{Sb}$ になる。また、 $^{129}\text{I}$  は、⑮約 450 万年の半減期で安定核種の⑯ $^{129}\text{Cs}$ になる。
- (4) ストロンチウムにはいくつかの放射性同位体があるが、そのうち、 $^{90}\text{Sr}$  は、⑰約 50 年の半減期であり、2回の⑱ $\alpha$ 崩壊により、⑲ $^{86}\text{Kr}$ を経て安定核種の⑳ $^{82}\text{Se}$ になる。

**第3問** 発電用軽水炉燃料の以下の特性が燃焼の進行に伴いどのように変化するかを簡潔に述べよ。

- (1) 燃料被覆管の引張強さ
- (2) 燃料ペレットの密度
- (3) 燃料棒の長さ
- (4) 燃料棒の外径

**第4問** 原子炉に関係する燃料材料等に関し、以下の(1)から(10)の事項と(a)から(j)の温度について、最も関係の深いものを組み合わせて記号で示せ。[解答例 (11)-(k)]

- |                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| (1) ステンレス鋼の融点                   | (a) 1410 K |
| (2) ジルカロイの融点                    | (b) 2980 K |
| (3) $\text{ZrO}_2$ の融点          | (c) 910 K  |
| (4) Ag-In-Cd 合金の融点              | (d) 1480 K |
| (5) ジルコニウムの融点                   | (e) 2030 K |
| (6) ウランの融点                      | (f) 1100 K |
| (7) $\text{PuO}_2$ の融点          | (g) 2130 K |
| (8) $\text{ZrO}_2$ の単斜晶-正方晶相転移点 | (h) 3120 K |
| (9) $\text{UO}_2$ の融点           | (i) 1720 K |
| (10) プルトニウムの融点                  | (j) 2670 K |

第5問 次の文章中の□□□□に入れるべき適切な語句を番号とともに記せ。同じ番号の□□□□には同じ語句が入る。〔解答例 ⑪—東京〕

- (1) 外部応力を負荷した場合、事実上殆ど塑性変形を伴わずに破壊する現象を□①□破壊といい、破壊に対する材料の抵抗を□②□という。□②□を求める試験方法の1つとして、引張試験の他、低温から室温以上までの範囲で□③□試験を行い、破壊に要するエネルギーが急激に変化する□④□温度を求める方法がある。
- (2) 応力が静的な破壊強度以下であっても、繰り返し負荷することによって破壊に至ることがある。これを□⑤□破壊という。□⑤□破壊の破面を観察すると、特徴的な□⑥□が観察される。
- (3) 一定負荷応力のもとで、時間の経過と共に生じる変形を□⑦□といい、金属材料では高温において顕著になる。材料中のひずみを一定に保った際には、□⑦□の発生により、応力が時間と共に減少する。これを□⑧□という。
- (4) ステンレス鋼とは、□⑨□を10.5%以上含有させた耐食性に富む合金鋼である。炉内構造材料として使用されるオーステナイト系ステンレス鋼では、Feと□⑨□の他に、主要元素として□⑩□を含有する。

第6問 以下の非破壊検査技術に関して、4項目を選び、欠陥検出の原理、検出可能な欠陥について、簡潔に述べよ。(5項目以上解答した場合は全て無効とする。)

- (1) 超音波探傷試験
- (2) 渦電流探傷試験
- (3) アコースティックエミッション法
- (4) 放射線透過試験
- (5) 浸透探傷試験
- (6) 磁粉探傷試験