

## 第 63 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。

（問題を書し取る必要はない。）

（ロ） 1問題ごとに1枚の解答用紙を使用すること。

（ハ） 第5問及び第6問については、6問中4問を選択して解答すること。

令和3年3月19日

第1問 核燃料物質及び核燃料サイクルにおける燃料製造や再処理などに関する次の文章中の  
□に入る適切な語句又は数値を番号とともに記せ。なお、同じ番号の□には、  
同じ語句又は数値が入る。

〔解答例〕 ㉑－東京

- (1) MOX 燃料の原料である二酸化プルトニウムの融点は約□①℃であり、二酸化ウランの融点は約□②℃である。これらは、共に□③型の□④格子の結晶系を有しており、室温から融点までの温度域で□⑤を形成する。
- (2) 加圧水型発電炉（PWR）の燃料集合体は、主に燃料棒、クラスタ状の制御棒を挿入するための□⑥の他に支持格子（グリッド）、上部及び下部ノズルより構成されている。支持格子は、□⑦と□⑧によって、燃料棒を保持する。支持格子が燃料棒を保持する力が低下すると、燃料棒の□⑨が大きくなり、被覆管の□⑩が大きくなる可能性がある。
- (3) 我が国のウラン濃縮工場では、ウラン濃縮法のうち□⑪ガスを用いる□⑫法が採用されており、単位分離器は□⑬と呼ばれる。単位分離器の分離係数が小さいため単位分離器を□⑭状に連結することにより分離操作を繰り返して、所定濃度の濃縮ウラン及び□⑮を得る。
- (4) 湿式の再処理工場において、せん断した燃料棒を溶解槽で溶解した後の溶液中には、燃料棒構成材料の廃材であるハルの細片や核分裂生成物の□⑯等が混入しており、これらを除く工程を□⑰という。実用化されている除去装置の方式は、□⑱と□⑲がある。□⑯の量は□⑳の増大に伴って増加する。

第2問 核燃料サイクルにおける燃料製造や再処理などに関する以下の問いに答えよ。

- (1) ウラン235とプルトニウム239(α相)の金属状態での最小臨界量を、キログラム単位で少数第一位までそれぞれ記せ。また、水のような減速材がある溶液状態におけるウラン235とプルトニウム239の最小臨界量をグラム単位の整数でそれぞれ記せ。
- (2) 我が国の商用再処理施設の工程において用いられる溶媒抽出装置を2つ記せ。さらに、我が国の主に高速炉燃料再処理用に開発されてきた溶媒抽出装置を1つ記せ。
- (3) 沸騰水型発電炉(BWR)の燃料集合体を覆っているチャンネルボックスの機能を簡潔に3つ記せ。また、チャンネルボックス及びチャンネルボックスの上部表面にある板状のチャンネルスペーサの材料をそれぞれ記せ。
- (4) ウラン鉱石の精製錬において、ウラン溶解液に沈澱剤として添加する溶液の種類によって異なる沈殿物が生成する。使用する溶液と対応する沈殿物の組み合わせを2つ記せ。ただし、溶液と沈殿物は、それぞれ化学式で示すこと。  
〔解答例〕  $\text{H}_2\text{O}$  溶液、 $\text{NaCl}$
- (5) 希土類元素のうち熱中性子吸収断面積が1000バーンを超えるものを元素名で3つ記せ。これらの元素のうち1つは、発電用軽水炉では $\text{UO}_2$ 燃料に混入して用いられるが、その使用目的を簡潔に記せ。

第3問 発電用軽水炉にて使用中の燃料棒内部で生じる熱的、力学的な変化に関する以下の問いに答えよ。

(1) 燃料ペレットの外表面から被覆管の内表面への熱伝達に影響を及ぼす次の現象 (a) ~ (d) のそれぞれについて、簡潔に説明せよ。なお、発生の機構と熱伝達への影響の傾向を中心に述べること。

- (a) リロケーション
- (b) 焼きしまり
- (c) スウェリング
- (d) FP ガス放出

(2)  $\text{UO}_2$  燃料ペレットとジルカロイ被覆管で構成される燃料棒を、①核加熱により線出力  $0\text{W/cm}$  から短時間で上昇させ、②上昇後の出力で長期間保持することを考える。このとき、燃料ペレットと被覆管が示す力学的挙動を、①、②についてそれぞれ応力状態と変形の機構を中心に簡潔に説明せよ。

ただし、条件は以下のとおりとする。

- ・①の初期状態で燃料ペレットと被覆管のギャップは閉塞している。
- ・①の初期状態で系の温度は  $600\text{K}$  である。
- ・出力上昇時の燃料ペレット中心部の温度は  $1300\text{K}$ 、周辺部の温度は  $900\text{K}$  である。
- ・化学的变化や FP 生成、気孔の状態変化に起因する挙動は生じないものとする。

第4問 発電用軽水炉で使用中の燃料棒について想定される事故に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時の燃料棒のふるまいに関して、安全評価上様々な制限が設けられている。この理由を簡潔に述べよ。
- (2) シビアアクシデント時には、炉心各部の温度上昇に伴い、炉心構成材料に様々な現象が生じる。シビアアクシデント時の炉心状態を評価する上で重要な構成材料のふるまいであって、かつ、以下に示す温度①～⑦に密接に結びつくものをそれぞれ挙げよ。ただし、(a) 及び (b) に挙げる語句を1つずつ用いること。

〔解答例〕 ⑧ Au の 破裂

- ① 1100K
- ② 1200～1250K
- ③ 1400K
- ④ 1447K
- ⑤ 2030K
- ⑥ 2960K
- ⑦ 3120K

(a) Au、ステンレス鋼、Fe/B、水蒸気、Fe/Zr、 $\text{UO}_2$ /ジルカロイ、冷却材、減速材、ジルカロイ、 $\text{UO}_2$ 、インコネル、ジルコニア、Ag-In-Cd 合金、Ag、Cd、空気、Fe/ $\text{UO}_2$ 、U

(b) 破裂、融点、破損、放出、液相形成、対流、放出、共晶、沸点、沸騰

第5問 軽水炉材料、材料劣化及び評価に関する以下の(1)～(6)の中から4問を選択し、解答せよ。なお、5問以上を解答した場合は、全ての解答を無効とする。

- (1) ウォータージェットピーニングにより材料の応力腐食割れ耐性が向上するのはなぜか説明せよ。
- (2) 中性子照射により金属材料の応力-ひずみの関係はどのように変化するか。そのメカニズムと共に説明せよ。
- (3) 溶接性評価に用いるシェフラーの組織図は、何に基づき何を予測することで溶接性を評価しているのか説明せよ。
- (4) 液滴衝撃エロージョンとはどのようなものか説明し、液滴衝撃エロージョンによる配管減肉速度は主として何に依存するか述べよ。
- (5) クラス1機器に欠陥が発見された場合に行う、第一段階の欠陥評価と第二段階の欠陥評価について概要を説明せよ。
- (6) テンパービード溶接とはどのような溶接工法かを簡単に述べ、フェライト系材料の補修溶接においてテンパービード溶接が有するメリットを説明せよ。

第6問 非破壊検査技術に関する以下の(1)～(6)の中から4問を選択し、解答せよ。なお、5問以上を解答した場合は、全ての解答を無効とする。

- (1) 浸透探傷試験の原理及び大まかな手順について説明し、染色浸透探傷試験と蛍光浸透探傷試験を比較した場合の各々の利点と欠点を述べよ。
- (2) TOFD法の原理を図を用いて説明し、一般的なパルス反射法に対する優位性を述べよ。
- (3) 斜角超音波探触子を用いた端部エコー法により割れの深さを評価する手順を説明せよ。
- (4) 油分析に用いられる SOAP 法とは、どのような原理に基づき何を評価するためのものか説明せよ。
- (5) 炭素鋼配管内面に発生した減肉を管外面から渦電流探傷法で検出することは一般的に困難であるが、これはなぜか説明せよ。
- (6) アコースティックエミッションとは何か説明し、アコースティックエミッションにより検出可能である材料の劣化・損傷の例を1つ挙げよ。