

第 65 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。

（指示がない限り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問中4問を選択して解答すること。

令和5年3月16日

第1問 核燃料物質の特性及び核燃料サイクルの燃料製造に関する以下の文章中の□に入る適切な数値(①～③)、化学式(④～⑥)、元素記号(⑦～⑩)、核種(⑪～⑭)、語句(⑮～⑳)を番号とともに記せ。なお、同じ番号の□には、同じ語句等が入る。また、化学式(④～⑥)については、同じものを複数回解答してもよい。

[解答例] ㉑—東京

- (1) 金属ウラン、二酸化ウラン(天然ウランの同位体組成)および二酸化プルトニウム(^{239}Pu 約90 wt%の同位体組成)の理論密度は、それぞれ□①□ g/cm^3 、□②□ g/cm^3 及び□③□ g/cm^3 である。
- (2) 二酸化ウラン、二酸化プルトニウム及び一室化ウランは面心立方晶であり、結晶構造は、それぞれ□④□型、□⑤□型及び□⑥□型である。
- (3) 軽水炉用 UO_2 燃料を使用すると、Uからの生成崩壊の過程が燃焼とともに進み4つの超ウラン元素の□⑦□、□⑧□、□⑨□、□⑩□が順に生成する。□⑧□の同位体である□⑪□は熱中性子により核分裂するが、 β 崩壊すると□⑨□の同位体である半減期432年の□⑫□となり中性子吸収が増える。□⑩□の同位体である□⑬□及び□⑭□は、自発核分裂により中性子を放出する。
- (4) 軽水炉用 UO_2 燃料製造のための再転換工程では、ウラン濃縮で得られた UF_6 を原料粉末の UO_2 に転換する方法として、湿式法については従来から実績のある□⑮□法及び炭酸ガスを用いる□⑯□法があり、乾式法についてはロータリーキルンを用いる□⑰□法、流動層とロータリーキルンを組み合わせる□⑱□法がある。湿式法では、ウラン化合物を溶液中に□⑲□させて、ろ過、焙焼の後に□⑳□して UO_2 粉末を得る。

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

- (1) PWR用 UO_2 燃料ペレットの加圧成形工程において燃料棒の被覆管との相互作用を軽減するためにペレットの表面にあらかじめ設けるものを2つ記せ。また、焼結後の燃料ペレットを所定の外径寸法にするために用いる装置の名称を記せ。
- (2) PWR用燃料棒の被覆管に用いるジルカロイ-4の炉内耐食性改善のためにNbを添加し開発された改良被覆管の名称を3つ記せ。また、BWR用燃料棒の被覆管に用いるジルカロイ-2の応力腐食割れ防止対策で開発された被覆管はどのようなものを記せ。
- (3) 軽水炉の使用済 UO_2 燃料のピューレックス法再処理における、ウラン及びプルトニウムの溶媒抽出プロセスで用いる抽出剤及び希釈剤の名称をそれぞれ記せ。また、ウランの逆抽出操作で用いる溶液の名称を記せ。さらに、分離・分配工程で溶媒抽出操作に用いられる機器の名称を2つ記せ。
- (4) 軽水炉の使用済 UO_2 燃料のピューレックス法再処理における硝酸ウラニルと硝酸プルトニウムの混合溶液の脱硝法の名称を4つ記せ。
- (5) 高レベル放射性廃液のガラス固化処理法の名称を2つ記せ。また、ガラス固化工程で使用するガラスおよびステンレス容器の名称をそれぞれ記せ。

第3問 発電用軽水炉にて使用される燃料材料とその使用中の挙動に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 出力上昇時の PCI/SCC 破損の特徴や燃料挙動との関係について、簡潔に説明せよ。
- (2) 大粒径ペレットの特徴や照射挙動について、簡潔に説明せよ。
- (3) グリッドフレッキングとその燃料健全性への影響について、簡潔に説明せよ。
- (4) 被覆管の水側腐食とその燃料健全性への影響について、簡潔に説明せよ。

第4問 発電用軽水炉の設計基準事故として、(A) 冷却材喪失事故と (B) 反応度事故が挙げられる。このときの燃料挙動に関して、以下の問いに答えよ。

- (1) (A) (B) に共通して想定される燃料の破損挙動を2つ挙げ、それぞれについて簡潔に説明せよ。
- (2) (1) で挙げた破損挙動の内、より早い段階で発生するのはどちらか答えよ。また、その理由について説明せよ。
- (3) (2) で挙げた破損挙動に影響を及ぼすと考えられる事故発生時点での燃料の状態(例：燃料ペレットの密度)の内、(A) (B) に共通するものを2つ挙げ、その理由と燃料設計や通常運転時の燃料挙動との関連について述べよ。
- (4) (B) でのみ想定される燃料の破損挙動を2つ挙げ、それぞれについて簡潔に説明せよ。

第5問 軽水炉材料の劣化に関する以下の文章中の□に入る適切な語句を番号とともに記せ。なお、同じ番号の□には、同じ語句が入る。

〔解答例〕 ⑪－東京

- (1) 金属材料に繰り返し応力が加わった場合、初期段階においては表面に微小な凹凸が生じ、それらによる応力集中によりすべり面での剥離が生ずる。このようにして発生した疲労き裂は、表面から数結晶粒程度の深さまで進展した後、□①□方向に進展する。材料の疲労特性は横軸に破断繰り返し数、縦軸に□②□をとったS-N曲線で表現され、疲労破壊するまでの繰り返し数を疲労寿命、その際の□②□を疲労強度と呼ぶ。なお、一般的に破断繰り返し数が多くなると、疲労寿命に占める疲労き裂発生までの繰り返し数の比率は□③□。
- (2) 金属材料が高エネルギー中性子にさらされた場合、原子のはじき飛ばしや核変換などにより、材料中に非常に微小な欠陥等が生ずる。これらの欠陥は□④□の移動を妨げるため、材料の降伏応力は□⑤□し、靱性は□⑥□する。また、一般的に金属材料の破壊形態は温度に依存するが、中性子照射を受けることにより、材料の□⑦□は高温側にシフトするとともに、高温での延性破壊に必要なエネルギー（上部棚吸収エネルギー）が低下する。
- (3) 一般的にステンレス鋼が高い耐腐食性を有するのは表面でクロムが安定な□⑧□を形成するためである。しかしながら、溶接時の熱などにより結晶粒界にクロムの□⑨□が生成し、それに伴って結晶粒界近傍では局所的にクロム濃度が低下してしまうことがある。このとき、使用環境によってはクロムの欠乏した領域で結晶粒界に選択的に割れが発生してしまうことが知られており、このような割れを□⑩□と呼ぶ。

第6問 材料劣化及び検査、補修技術に関する以下の(1)～(6)の問いについて、**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) 炭素鋼配管の流れ加速型腐食において、流体のpHと溶存酸素濃度は減肉速度にどのような影響を与えるか、簡潔に説明せよ。ただし単相流下とする。
- (2) 一般的に渦電流探傷法は磁性を有する材料の検査には適した手法とは言い難い。その理由として、検査対象の材料が磁性を有する場合にどのような問題が発生するためか、簡潔に説明せよ。
- (3) 分析フェログラフイーとはどのような技術で、何を目的としたものか、簡潔に説明せよ。
- (4) 二相ステンレス鋼は、熱時効により、靱性、降伏応力、引っ張り強さ、脆性遷移温度がどのように変化するか。
- (5) 音響インピーダンスとはどのような値であるか説明し、音響インピーダンスが Z_1 の物質と Z_2 の物質の界面において反射される超音波と透過する超音波の強度の比はどのように表されるか示せ。
- (6) 高周波誘導加熱による応力改善とはどのような技術で、何を目的として応力をどのように改善するためのものか、簡潔に説明せよ。