

第 57 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5項目の選択問題です。

平成 27 年 3 月 20 日

第1問 核燃料物質の基本的性質に係る次の記述について、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、番号とともに記せ。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] ① ○ 、 ② × 核燃料

- (1) 天然ウランには3種類の同位体が含まれ、 ^{235}U の同位体存在比は① 約3.0%である。その他の同位体として② ^{237}U が約0.0055%含まれる。
- (2) 使用済ウラン燃料を再処理して得られる回収ウラン中に微量含まれ、娘核種に ^{208}Tl 等の高放射線核種を生成する③ ^{240}U は、半減期が④ 約1000年である。また、回収ウラン中には⑤ ^{233}U も含まれ、その半減期は 2.34×10^7 年である。
- (3) 1回の核分裂あたりの中性子放出数は、熱中性子エネルギー領域において、 ^{235}U は⑥ 約2.2であるのに対して、 ^{239}Pu は⑦ 約2.6である。
- (4) ^{235}U 及び ^{239}Pu の核分裂生成物(FP)収率のピークは2つあり、熱中性子による核分裂の場合、原子番号が高い側のピークは、およそ⑧ 160近辺である。原子番号が低い側のピークは、 ^{235}U ではおよそ95近辺であるのに対して、 ^{239}Pu ではおよそ⑨ 110近辺である。
- (5) 商用軽水炉ウラン燃料の化合物形態である UO_2 は、燃焼によるFP生成・蓄積に対して比較的安定である。これは、結晶構造が⑩ 体心立方系のウラン副格子を含む⑪ 岩塩型構造であり比較的多くのFPを保持できる空間があること、Uの価数が⑫ II~Vに変化し多くのFPと化合物を形成して化学的に安定であること等に起因する。
- (6) UO_2 は、酸化されると、異なる結晶構造を有する化合物を生成する。このうち、核燃料取扱上重要なものは、⑬ U_4O_7 、⑭ U_3O_8 及び UO_3 である。また、 UO_{2+x} で表される⑮ 酸素定比を持った化合物もあり、結晶構造は UO_2 と⑯ 異なる。 UO_{2+x} は、一般的に、xが増加するに従い熱伝導率や融点が⑰ 低下する性質がある。
- (7) UO_2 燃料の燃焼により、Nd、Ce等の希土類FPは UO_2 と⑱ 混合して安定に存在する。Pd、Ru、⑲ Re等の白金族元素のFPは、主に⑳ 酸化物相として燃料中に析出する。

第2問 軽水炉の制御材について、次の問いに答えよ。

- (1) BWR に使われる代表的な制御材元素であるホウ素について、核的な特徴、代表的な化合物形態とその特性・特徴、原子炉内での使用形態・方法を記せ。
- (2) 制御材として使用されるハフニウムについて、核的な特徴、代表的な化合物形態とその特性・特徴、原子炉内での使用形態・方法を記せ。

第3問 核分裂によって燃料ペレット内に生成する FP ガスに関する次の問いに答えよ。

- (1) 発電用軽水炉の通常運転中に、FP ガスが燃料ペレットから燃料棒内の自由空間に放出される機構を3つ挙げよ。
- (2) 発電用軽水炉燃料の通常運転時の健全性に対して、燃料ペレットからの FP ガス放出が及ぼす主要な影響について、簡潔に説明せよ。

第4問 未照射の軽水炉用ジルコニウム基合金燃料被覆管から長さ 1cm のリング状の試料を採取して、これを水蒸気中で室温から急速に加熱し、1200℃で5分程度保持した後、急冷する試験を行った。これに関する次の問いに答えよ。

- (1) 被覆管試料と水蒸気の間で生じる主たる化学反応式を記せ。また、この反応は発熱、吸熱のどちらか。
- (2) 急冷後の被覆管試料を長さ方向中央部 5mm の位置で切断してその横断面の金相を観察した。この観察結果において得られる、試料外表面から肉厚中央までの金相組織を、組織の名称とともに模式的に記せ。
- (3) 1200℃程度の温度域における被覆管試料と水蒸気との反応に関し、反応に係る被覆管試料の質量変化量と反応時間との間には一般にどのような関係が成立するか。反応に係る質量変化量を w 、反応時間を t 、反応速度定数を k とし、式で表せ。

第5問 次の問いに答えよ。

- (1) 軽水炉炉内構造材料として使用される 304 系オーステナイト鋼、316 系オーステナイト鋼の主要元素 (JIS 規格で 1%以上の含有量とされている元素) をそれぞれ示せ。
- (2) 多結晶オーステナイト鋼において、ひずみ速度一定の一軸引張試験で得られる応力ひずみ曲線の概略図を示せ。概略図には、降伏応力 (耐力)、引張強さ、一様ひずみ、加工硬化も記せ。また、降伏応力 (耐力)、ヤング率のおおよその値を示せ。
- (3) 多結晶低合金鋼における応力ひずみ曲線で、上記 (2) との大きな相違を 2 点示せ。
- (4) オーステナイト鋼中性子照射材における応力ひずみ曲線で、上記 (2) との大きな相違を 2 点示せ。
- (5) オーステナイト鋼の溶接部近傍に生じた応力腐食割れの原因として考えられるものを挙げ、溶接との関連について説明せよ。

第6問 軽水炉構造材料に関する以下 (1) ~ (6) の劣化事象、検査技術、補修技術、予防保全技術について、5項目を選択して、それぞれ 100 字程度で説明せよ。なお、説明には、括弧内の用語を全て用いること。(6項目解答した場合は全て無効とする。)

- (1) 疲労 (S-N 曲線、高サイクル疲労、低サイクル疲労)
- (2) 2相ステンレス鋼の熱時効 (メカニズム、靱性)
- (3) アコースティックエミッション (測定原理、長所)
- (4) TOFD 法 (測定原理、長所)
- (5) ウォータージェットピーニング (原理、効果)
- (6) 電子ビーム溶接 (原理、長所)