

第 55 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。

平成 25 年 3 月 13 日

第1問 軽水炉燃料の製造及び構造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ー○、②ー× 核燃料)

- (1) 燃料ペレットは、① U_3O_8 粉末を円柱形状に圧縮成型し、高温で焼き固めた、高密度のセラミックスである。初期反応度抑制のために、② B_2O_3 を添加した燃料ペレットも用いられている。
- (2) 燃料棒は、被覆管に燃料ペレットを挿入し、上部及び下部端栓を溶接したもので、③窒素ガスが④減圧封入されている。燃料ペレットから放出される核分裂生成ガスにより燃料棒の内圧が過大にならないように、燃料棒の上部に、また燃料タイプによっては下部にも⑤スリーブが設けられている。⑥インコネル製の⑦膨張スプリングは、燃料ペレットを押し付け、輸送中や取扱中の燃料ペレットの燃料棒内での移動を防いでいる。
- (3) BWR用の制御棒は、中性子吸収材である⑧SiCを充填した数十本の⑨ジルカロイ製の被覆管を⑩ジルカロイ製の薄板で⑪四角形に被覆したものである。中性子吸収材として、⑫Cuを用いる場合もある。このような制御棒が4体の燃料集合体毎に、炉心全体に一様に配置されている。
- (4) PWR用の制御棒は、⑬ステンレス鋼製の被覆管に中性子吸収材である⑭Cu-Zn-Ga合金を充填したものであり、燃料集合体内に分散して挿入される構造である。
- (5) BWR燃料集合体は、燃料棒と内部を冷却材が流れる構造の⑮案内管が、スペーサによって正方の配列に束ねられ、上下端を⑯インコネル製の上部タイププレート及び下部タイププレートで支持される構造である。それぞれの燃料集合体の周囲は、⑰ステンレス鋼製の⑱反射板で囲まれている。
- (6) PWR燃料集合体は、燃料棒が支持格子により正方の配列に束ねられ、制御棒が挿入される⑲制御棒駆動機構を介して、上下端に⑳インコネル製の上部ノズル及び下部ノズルが取り付けられている構造である。

第2問 軽水炉燃料における核分裂生成物及び超ウラン元素などに関する次の問いに答えよ。

- (1) 核分裂で生成される代表的な希ガスの元素を2つ記せ。
- (2) 燃料中で酸化物として安定な核分裂生成物のうち、核分裂収率の大きい希土類元素を3つ記せ。
- (3) 燃料中で金属析出物を形成する代表的な核分裂生成物の元素を5つ記せ。
- (4) 燃料中に生成される代表的な超ウラン元素を4つ記せ。
- (5) 燃料から放出されやすく、福島第一原子力発電所の事故において環境を汚染している主要な元素の2つの放射性同位体及びそれらのおよその半減期をそれぞれ記せ。
- (6) 燃料から放出されやすく、人体に取り込まれると甲状腺に集まりやすい核分裂生成物のうち、福島第一原子力発電所の事故直後に多く検出された放射性同位体及びそのおよその半減期をそれぞれ記せ。

第3問 発電用軽水炉燃料の通常運転中の破損原因として、次の2つが挙げられる。

- ① デブリフレッシング
- ② PCI破損

これら2つについて、(1) 破損機構、(2) 破損防止対策に分け、それぞれ100字以内で簡潔に述べよ。

第4問 発電用軽水炉の冷却材喪失事故後の非常用炉心冷却系の作動に伴う燃料被覆管の急冷を模擬した試験の一つとして、ジルコニウム基合金被覆管からリング状の試料を採取し、1100℃で5分程度、十分な量の水蒸気に触れさせて反応させた後、急冷した。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、組織の名称と共に模式的に記せ。
- (3) 冷却材喪失事故後の非常用炉心冷却系の作動に伴う急冷時の燃料棒破断を防ぐ上で重要な金属組織は、上記(2)の組織の中のどれか。また、冷却材喪失事故後の燃料被覆管の延性-脆性を評価する際に用いられるECRについて150字以内で説明せよ。

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) 一般的な金属材料に対して引張試験を行うと、応力が低い領域では、応力とひずみが比例関係にある□①□変形が観察されるが、□②□より高い応力が付加されると、応力を除いてもひずみがゼロに戻らない□③□変形が観察される。ほとんど□③□変形を伴わずに急速に生じる破壊を□④□破壊という。
- (2) 材料に応力を繰り返し負荷することにより、静的な破壊強度よりも低い応力で破壊に至ることがある。これを□⑤□破壊という。□⑤□は、規則的な繰り返し応力を加えたときに破壊を生ずるまでの応力の繰り返し数によって分類される。繰り返し数が 10^4 程度以下の□⑤□破壊を□⑥□という。一方、炭素鋼などの鉄鋼材料では応力振幅が限界値以下になると、いくら繰り返し数を増加しても破壊が生じなくなる。この限界の応力を□⑦□という。
- (3) 耐食性を向上させるため、クロム、あるいはクロムとニッケルを添加した合金鋼をステンレス鋼という。高クロム・ニッケル系ステンレス鋼は□⑧□組織を有し、□⑧□系ステンレス鋼とも呼ばれる。一方、クロム系ステンレス鋼では□⑨□組織または□⑩□組織を有する。

第6問 軽水炉発電プラント構造物に生じうる経年劣化に関連した次の事項について、それぞれ発生メカニズムとその対策を100字以内で説明せよ。

- (1) 中性子照射脆化
- (2) 応力腐食割れ
- (3) エロージョン・コロージョン
- (4) ケーブル劣化