

第 59 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、5項目中4項目の選択問題です。

平成 29 年 3 月 17 日

第1問 国内における軽水炉の核燃料サイクル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) PWRでは、被覆管に UO_2 ペレットや押えばね等を装填して端栓を①ネジ締め密封した燃料棒、中性子吸収材を内包する制御棒等を組み合わせて、燃料集合体を組み立てる。制御棒は、②ジルカロイ製の被覆管に、中性子吸収材である③Cu-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。
- (2) BWR用の制御棒は、中性子吸収材である④SiCを充填した数十本の⑤ジルカロイ製の管を⑥インコネル製の薄板で被覆し、それらを十字型に配置したものである。中性子吸収材として、⑦Cdを用いる場合もある。
- (3) PWR燃料集合体は、燃料棒が⑧ワイヤーにより正方の配列に束ねられ、制御棒が挿入される⑨制御棒駆動機構を介して、上下端にそれぞれノズルが取り付けられる構造である。
- (4) BWR燃料体は、燃料棒と、内部を冷却材が流れる構造のウォーターロッドが、⑩ワイヤーによって正方の配列に束ねられ、上下端をそれぞれステンレス鋼製の⑪スプリングで支持する構造である。それぞれの燃料体の周囲は、⑫ステンレス鋼製の⑬反射板で囲まれている。
- (5) 現在、軽水炉燃料の再処理法としては、溶媒抽出を適用した⑭熔融塩電解法が用いられている。燃料集合体を切断後、⑮水酸化ナトリウム溶液で燃料を溶解する。⑯CMPOを希釈材の⑰アセトンに溶かした有機溶媒により、燃料溶解液からウラン及びプルトニウムを抽出する。
- (6) 再処理において抽出されずに溶解液中に残された核分裂生成物や⑱トリウムは、高レベル放射性廃棄物として処理する。抽出したウランとプルトニウムは、酸濃度と酸化還元条件の違いによって有機溶媒への溶解度が異なることを利用して相互に分離するが、抽出分離を効率良く行うために⑲試験管や⑳攪拌機が使用されている。

第2問 ウラン燃料の燃焼により生成する超ウラン元素の特徴やふるまいに関して、次の問いに答えよ。

- (1) 原子番号 93 の核種のうち 3 つについて、半減期と代表的な生成反応を記せ。

(解答例 $^{133}\text{Cs}(n, \gamma)^{134}\text{Cs} \rightarrow \beta^- \text{崩壊} \rightarrow ^{134}\text{Ba}$ [半減期 55 年])

- (2) 原子番号 95 の核種のうち 3 つについて、半減期と代表的な生成反応を記せ。

(解答例 $^{133}\text{Cs}(n, \gamma)^{134}\text{Cs} \rightarrow \beta^- \text{崩壊} \rightarrow ^{134}\text{Ba}$ [半減期 55 年])

- (3) 原子番号 94 の元素と UO_2 から成る代表的な化合物形態を記せ。また、その化合物の物理化学的特性及びその化合物の粉末から燃料ペレットを製造する方法と注意点について、主に UO_2 との対比から記せ。

第3問 発電用軽水炉にて使用中の燃料棒内のペレット温度に影響を及ぼす因子の一つとして、被覆管とペレットの間のギャップコンダクタンス（ギャップ熱伝達率）を上げることができる。このギャップコンダクタンス（ギャップ熱伝達率）はギャップ部のガス組成によって変化することが知られている。これに関し、次の問いに答えよ。

- (1) 発電用軽水炉の燃料棒の製造において一般に燃料ペレットと共に封入されるガスの元素名を答えよ。また、このガスを使用する主たる理由を簡潔に述べよ。

- (2) 燃料棒のギャップ部のガス組成が燃料の燃焼に伴って変化する理由を簡潔に述べよ。また、この組成の変化に伴いギャップコンダクタンス（ギャップ熱伝達率）はどのように変化するか、簡潔に述べよ。

- (3) 発電用軽水炉燃料棒の設計において、通常運転時の健全性及び安全性を高める目的で燃焼中のギャップコンダクタンス（ギャップ熱伝達率）の変化に対処するための種々の改良が考えられてきており、最近では一部が実用化されている。この改良方法を2つ挙げ、これらの方法が、効果を生む理由をそれぞれ簡潔に述べよ。

第4問 発電用軽水炉にて使用中の燃料棒に生じる変形に関し、次の問いに答えよ。

- (1) 使用中の燃料棒に軸方向変形を生じさせる原因となる現象を2つ挙げよ。
- (2) 燃焼が進んでいない燃料棒において線出力を零から短時間に一定の速さで大きく上昇させる場合を考える。この場合、燃料棒内のペレットスタック及び被覆管の軸方向の長さは、線出力の上昇中にそれぞれどのような変化を示すか。縦軸に長さの変化を、横軸に線出力をとり、模式的に図示せよ。
- (3) ペレットスタック及び被覆管の軸方向長さ変化に、上記(2)で図示した線出力依存性が表れる理由をそれぞれ簡潔に説明せよ。

第5問 軽水炉材料の劣化事象に関する次の文章中の□に入る適切な語句等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。

〔解答例〕 ⑰－東京

- (1) 一般的にステンレス鋼やニッケル基合金が高い耐腐食性を有するのは表面で□①が安定な不働態被膜を形成するためであるが、この不働態被膜による保護性が局所的に失われた場合、応力腐食割れ(SCC)と呼ばれる割れが発生することがある。不働態被膜の喪失に寄与する主たる因子の一つが表面の引張応力であることから、SCCの対策として、溶接などにより生じた引張残留応力をピーニングにより□②にかえる等が行われている。尚、高照射を受ける部位に発生するSCCを特に□③と呼ぶ。
- (2) 疲労とは、引張強度以下の即破断に繋がらない応力を繰り返し受けることによって機械強度が低下し、最終的には破壊に至る現象である。軽水炉において発生しうる疲労としては、原子炉の起動・停止時などに受ける温度・圧力変化によって発生する□④と、配管の高温水と低温水が合流する部位等における温度揺らぎによる繰り返し□⑤によって発生する高サイクル熱疲労が挙げられる。
- (3) オーステナイト相と□⑥相の2相から成るステンレス鋼は、高温状態で長時間使用すると靱性が低下するが、これを□⑦と呼ぶ。これは、□⑥相中に□①の割合の高い層が析出することで、□⑥相が硬化するためであると考えられている。□⑦の程度は、材料に含まれる□⑥量が多いほど、使用温度が高いほど、使用時間が長いほど大となることが知られている。
- (4) 蒸気と□⑧が混在する配管においては、オリフィスなどにより加速された□⑧が配管壁面に衝突し、配管を局所的に侵食させることがある。これを□⑨と呼び、エルボ等の流れが変化する部分で発生しやすい。□⑨による減肉速度は□⑩、湿り度、配管材料の硬さに依存するとされており、特に□⑩に関しては4～5乗に比例し、その影響は大きい。

第6問 軽水炉材料及び検査技術に関する以下の(1)～(5)の問いについて、4項目を選択して、それぞれ簡潔に説明せよ。(5項目以上回答した場合にはすべて無効とする)

- (1) プラント一次系を構成する主要材料においてコバルト含有率が低い材料が用いられるのは何故か説明せよ。
- (2) 軽水炉の構造材として多く用いられているオーステナイト系ステンレス鋼に関して、SUS316、SUS316L、原子力用 316 ステンレス鋼 (SUS316NG) の差異と特徴を説明せよ。
- (3) 冷却材中の溶存酸素濃度が炭素鋼管の腐食に及ぼす影響について、そのメカニズムと共に説明せよ。
- (4) フェーズドアレイ超音波探傷法について説明せよ。
- (5) 中性子照射により金属材料の応力-ひずみの関係がどのように変化するか。そのメカニズムと共に説明せよ。