

第 58 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 28 年 3 月 18 日

第1問 我が国の軽水炉核燃料の製造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、番号とともに答えよ。また、×印を記したものについては、適切な語句等を答えよ。

〔解答例〕 ① ○ 、 ② × 核燃料

- (1) ウラン鉱床から採掘されたウラン鉱石の粗製錬においては、ウラン鉱石の粉砕、主に① 硝酸または炭酸アルカリ溶液による浸出、浸出液の② 吸着法やイオン交換法による精製・濃縮、濃縮液へのアンモニア等の添加によるイエローケーキ生成が行われる。
- (2) 湿式法によるウラン精製工程では、イエローケーキを硝酸溶液とし、③ TODGAにより抽出して硝酸ウラニルとした後、アンモニアで沈殿させて④ 炭酸ウラニルアンモニウム (ADU) を作る。ADUは、仮焼・還元により UO_2 とした後、⑤ フッ化水素で UF_4 にフッ化し、さらに⑥ フッ化水素でフッ化して UF_6 にして ^{235}U 同位体濃縮工程に供する。
- (3) UF_6 の再転換製品である UO_2 粉末は、同じ製法であってもロットにより⑦ 比熱等の粉末特性に若干の差を生じ、焼結性が異なる。このため、焼結密度調整のための⑧ ガドリニウム添加を行うこともある。
- (4) UO_2 粉末は、プレス機により数百MPa程度の圧力をかけてペレット状に成形し、水素等の還元性ガス中、焼結炉で⑨ 1400℃で加熱することにより、密度⑩ 85%TDの焼結体を得る。
- (5) 焼結したペレットは、 $10\mu m$ オーダーの高精度で寸法をそろえるため、⑪ サンダーによって研削される。研削工程では、研削面の表面⑫ 硬さの管理が重要である。
- (6) 近年、核分裂生成物ガス放出を抑制する目的で、結晶粒を⑬ 小粒径化させたペレットの開発が行われている。その一つとして、⑭ マグネシアシリカ粉末を添加する方法がある。
- (7) 燃料棒の製造工程では、燃料ペレットを⑮ ステンレス製の被覆管に挿入した後、⑯ 下部に⑰ ニッケル合金製のペレット押えばねを挿入する。燃料棒内を⑱ 窒素で置換、⑲ 減圧した後、⑳ 蓋を溶接して封入する。

第2問 軽水炉使用済燃料に含まれる核種に関する次の問いに答えよ。

- (1) 軽水炉使用済燃料に含まれる4つのセシウム同位体を記せ。また、それら4つのセシウム同位体について、半減期（または安定同位体であること）及び崩壊形式（安定同位体で無い場合）をそれぞれ記せ。
- (2) 軽水炉使用済燃料に含まれる4つのセシウム同位体の中には、核分裂により直接生成するよりも、他の反応を経て生成される量が圧倒的に多いものがある。そのセシウム同位体と生成経路をそれぞれ記せ。
- (3) 5年以上冷却した軽水炉使用済燃料に含まれる希土類元素に関して、生成量が多い元素4つを記せ。
- (4) 軽水炉使用済燃料に含まれる希土類元素について、軽水炉燃料の物理化学特性に与える影響を記せ。

第3問 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として、被覆管とペレットの間のギャップ熱伝達率及びペレット熱伝導率を上げることができ、ギャップ熱伝達率はギャップ寸法やギャップ部のガス組成によって変化すること、ペレット熱伝導率は燃焼の進行に伴い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) 燃料棒の燃焼に伴うギャップ寸法変化をもたらす現象を3つ答えよ。
- (2) 燃料棒のギャップ部のガス組成は、燃料棒の燃焼に伴ってどのように変化するか、また、この組成の変化に伴いギャップ熱伝達率はどのように変化するか、それぞれ簡潔に説明せよ。
- (3) ペレット熱伝導率について、燃焼に伴う変化をもたらす原因を4つ答えよ。

第4問 軽水炉で使用中の燃料棒に生じる破損形態の1つとして、PCI破損がある。これに関する以下の問いに答えよ。

(1) この破損の発生メカニズムについて、以下①～⑥の語句を全て用いて簡潔に説明せよ。

①ペレット、②被覆管、③外面、④内面、⑤ヨウ素、⑥相互作用

(2) 軽水炉の運転条件に関し、この破損の発生に影響を及ぼす因子を4つ答えよ。

(3) この破損の発生防止対策として考えられた、被覆管の改良方法を2つ答えよ。

第5問 軽水炉構造材料に関する以下の問いに答えよ。

(1) 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

(a) 原子炉容器鋼の製造過程において、良好な強度、高靱性を確保するため、通常□①□や□②□を添加した低合金鋼に、□③□、□④□の熱処理を行う。また、原子炉容器鋼は、中性子照射環境で長時間使用されることにより、□⑤□の上昇、□⑥□の低下等の劣化が発生する。この劣化を測定する試験として、□⑦□や□⑧□がある。照射環境における劣化を抑制するため、不純物元素の□⑨□や□⑩□の含有量を低減することが図られている。

(b) オーステナイト系ステンレス鋼に対する溶接施工で留意すべき点として、応力腐食割れの原因となる□⑪□と□⑫□、および□⑬□がある。□⑪□は熱影響部において□⑭□が析出することに起因する。また、□⑫□については、オーステナイト系ステンレス鋼は熱伝導率が低くかつ線膨張係数が高いため、注意が必要である。□⑬□の一つである凝固割れを防止するため、溶接金属に適量の□⑮□を含有させることが有効であるが、□⑮□を長時間高温で保持することにより□⑯□が析出するため、注意が必要である。

(2) 炭素鋼におけるS-N曲線の概略図を示せ。概略図には、横軸のおおよその値を記した上で、高サイクル疲労、低サイクル疲労、疲労限度も記載すること。

第6問 軽水炉材料に関する以下(1)～(6)の劣化事象、検査技術について、5項目を選択し、それぞれ簡潔に説明せよ。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) 流れ加速型腐食 (要因、発生部位)
- (2) コンクリート構造物の中性化 (要因、腐食)
- (3) ケーブル劣化 (要因、絶縁性)
- (4) アコースティックエミッション (測定原理、長所)
- (5) 渦電流探傷法 (測定原理、表皮効果、長所)
- (6) 磁粉探傷法 (測定原理、測定対象、長所)

【メモ】

【メモ】

【メモ】

【メモ】

【メモ】