

第 62 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問中4問を選択して解答すること。

令和2年3月19日

第1問 核燃料物質及び核燃料サイクルに関す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) ガドリニウムの同位体①ガドリニウム 140、②ガドリニウム 141 は熱中性子を吸収する能力が極めて大きいため、ガドリニアと呼ばれる③ Gd_3O_8 の形態で軽水炉用濃縮ウラン燃料中に混合すると装荷燃料の出力運転中の初期段階における④温度を低下させ、核分裂性物質の減少に伴う④温度低下を補うことができる。このガドリニアを⑤不活性母材という。
- (2) アクチノイド元素は、周期表において⑥セリウムから⑦アインスタイニウムに至る元素の総称である。アクチノイド核種のうち、ウラン 235、人工核種の⑧ウラン 238、⑨トリウム 232 及び⑩キュリウム 244 は、熱中性子で核分裂するため核燃料として使用できる。
- (3) 中性子吸収断面積が小さいジルコニウムは、軽水炉用燃料の被覆材に合金として用いられるが、ジルコニウムは水との⑪熱分解反応によって腐食が進み、⑫有機物を形成して⑬軟化する。PWR用被覆材のジルカロイ-4 は、BWR用被覆材のジルカロイ-2 に比べて⑭アルミニウムを若干増やし、⑮マグネシウムを減らすことによって⑯軟化特性を改良している。
- (4) 低品位ウラン鉱床からのウラン回収を効率的、経済的に行うため、⑰粉末冶金法と⑱電気分解法が開発された。⑲電気分解法は、⑳坑内採掘又は㉑海底採掘により搬出堆積した鉱石に、㉒メチルアルコール等の浸出液を散布し、鉱石中を浸透して下に集まった浸出液をポンプで循環させながら回収・精製してウランを回収する方法である。

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

- (1) 軽水炉用MOX燃料ペレットの製造工程における検査項目を5つ記せ。
- (2) 軽水炉用ウラン燃料棒の製造工程における燃料棒を対象とする検査項目を5つ記せ。
- (3) ウラン濃縮終了後に六フッ化ウランから二酸化ウランへ再転換する方法を5つ記せ。
- (4) 軽水炉の使用済核燃料の再処理に伴って発生する高レベル放射性廃液に含まれる半減期がいずれも十万年以上の主な長寿命核分裂生成物の核種を5つ記せ。

第3問 発電用軽水炉にて使用中の燃料ペレットに生じる体積変化に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 体積変化をもたらす「焼きしまり」は、燃料ペレットの製造時に内部に残存する気泡径の影響を受けることが知られている。焼きしまりに伴う燃料ペレット密度変化の挙動は、この気泡径の大小でどのように異なるか。縦軸を燃料ペレット密度、横軸を燃焼度とし、気泡径が大きい場合と小さい場合とを比較して模式的に図示せよ。
- (2) 気泡径の大小で(1)の違いを生じる理由を簡潔に述べよ。
- (3) 「スエリング」は同じく体積変化をもたらす現象である。低～中燃焼度において見られるスエリングの機構を2つ挙げよ。
- (4) (3)に挙げた2つの機構に起因するスエリングそれぞれについて、燃料ペレットの燃焼度が及ぼす影響について簡潔に述べよ。
- (5) (3)に挙げた2つの機構に起因するスエリングそれぞれについて、使用中の燃料棒線出力が及ぼす影響について簡潔に述べよ。

第4問 核分裂によって燃料ペレット内に生成するFPガスの挙動に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 使用中の燃料棒の挙動を評価する際にFPガス放出率が用いられる。FPガス放出率の定義を示せ。
- (2) 使用済燃料を対象とした照射後試験において、FPガス放出率を測定する方法を2つ挙げよ。
- (3) 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。
- (4) 発電用軽水炉燃料の性能を向上させるため、FPガス放出の観点から燃料ペレットの特性をどのように改良することが有効と考えられているか、その方法を1つ挙げよ。
- (5) (4)の方法がなぜ有効と考えられているのか、その理由を簡潔に述べよ。

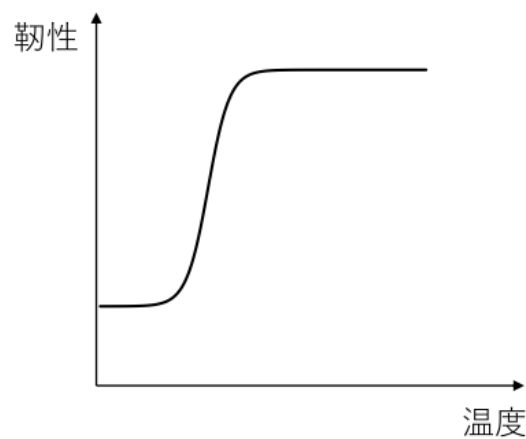
第5問 非破壊検査技術に関する以下の文章中の□に入る適切な語句を番号とともに記せ。

〔解答例〕 ⑪—原子炉

- (1) 導電性材料に□①を与えた場合、渦電流と呼ばれる電流が誘導されるが、この渦電流の乱れから対象の検査を行う手法が渦電流探傷試験である。誘導される渦電流は深さ方向には指数関数的に減衰するという特徴があるため、渦電流探傷試験は一般的に表面開口きずの検出に用いられる。誘導される渦電流の表面への集中度合いを表すものに表皮深さというパラメータがあるが、表皮深さは、励磁周波数、導電率、□②が大であるほど小さくなる。なお、オーステナイト系ステンレス鋼の場合、励磁周波数 100kHz において表皮深さの値は□③程度である。
- (2) 対象内部に伝播させた可聴領域以上の周波数の弾性波の伝播挙動から対象の検査を行う手法が超音波探傷試験であり、従来の単一探触子を用いた手法に加え、近年では多数の振動子の遅延時間制御により超音波ビームを任意の位置に収束させる□④という技術も多く用いられるようになってきている。高周波であるほど弾性波の波長が□⑤なるため、一般的には高周波であるほど微小なきずが検出できるようになる一方で□⑥が大きくなるという問題もある。なお、一般的に用いられる超音波は連続波ではなくパルス波であり、広帯域の探触子は狭帯域の探触子に比べてパルスの幅が□⑦。
- (3) 対象を透過した放射線の強度から対象の検査を行う手法が放射線透過試験である。放射線には様々なものがあるが、透過力と取扱いの観点からX線が用いられることが多い。放射線の透過力の度合いとして用いられるものの一つに半価層があるが、X線管によるX線は最大エネルギーが□⑧に等しい白色X線であるため、半価層の値は一定ではなく、通常第一半価層に比べて第二半価層の値は□⑨。放射線透過試験を用いて溶接部の検査を行った場合、□⑩などは比較的容易に検出できる一方で、各種割れの検出は必ずしも容易ではないことが多い。

第6問 軽水炉材料の劣化に関する以下の問いに関し、(1)～(5)のうち4問を選択し解答せよ。なお、5問を解答した場合は、全ての解答を無効とする。

- (1) 下図は原子炉容器の靱性と温度の関係を定性的に示したものである。原子炉容器が中性子照射を受けることにより、靱性に対する温度の影響はどのように変化するか。下図を解答用紙に書き写したものに、中性子照射後の温度と靱性を表すグラフを破線で追加することで答えよ。また、中性子照射により材料の機械的特性が変化する本質的な理由を簡潔に説明せよ。



図

- (2) 流れ加速型腐食は炭素鋼や低合金鋼などの表面の保護被膜が流体中に溶出することによって腐食が促進される現象とされている。一般的に流体の溶存酸素濃度が10～20ppm以上の場合及びpHが9.5程度以上で流れ加速型腐食の進展速度が顕著に低下するのは何故か、簡潔に説明せよ。
- (3) 鉄筋コンクリートの内部は多量に存在する水酸化カルシウムのため高アルカリ状態に保たれているが、空気中の二酸化炭素の影響により徐々にそのアルカリ性が失われてゆく。これは中性化と呼ばれる鉄筋コンクリートの強度を低下させる主たる劣化事象の一つであるが、ではなぜ鉄筋コンクリートは中性化することにより強度が低下するのか、簡潔に説明せよ。

- (4) 一般的に金属材料が繰り返し荷重を受けた場合、最初に材料の表面に微小な凹凸が生じ、その後最大引張り応力の作用面に沿ってき裂が進展してゆく。作用する荷重の応力比が一定であり、かつ最大応力が材料の降伏応力に比して小さい場合、材料が破壊に至るまでの1サイクル当たりのき裂の進展長さ (da/dN) と応力拡大係数範囲 (ΔK) との関係を図示せよ。図には下限界応力拡大係数 (ΔK_{th}) も明記すること。
- (5) 二相ステンレス鋼は高温において長時間使用した場合、熱時効によって材料の靱性が低下することが知られている。この理由を、フェライト量の多寡及び使用温度が靱性低下の度合いにどのように影響を及ぼすかとともに、簡潔に説明せよ。