

第 66 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。
（指示がない限り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6年3月15日

第1問 核燃料サイクルに関する次の文章中の□に入る適切な語句を番号とともに記せ。

(2)の⑦及び⑨については該当する物質を化学式を用いて、(3)の⑪から⑭は該当する元素を元素記号を用いて記せ。なお、同じ番号の□には、同じ語句が入る。

〔解答例〕 ②-H、H₂O

- (1) 天然ウランをUF₆ガスの状態でウラン濃縮する技術には、ウラン中の2つの同位体(²³⁵U、²³⁸U)の一般的な①性質や②性質がほぼ同じであるものの、原子核の③にわずかな違いがあることを利用しているものがある。このようなウラン濃縮技術には、現在の主な濃縮工場で利用されている④法がある。また、過去に米国やフランス等の濃縮工場で採用されていた⑤法がある。その他の濃縮技術としては、分子レーザー法、SILEX法などがある。
- (2) ウラン濃縮後の再転換工程では、UF₆を⑥と反応させて化学式が⑦のフッ化物を生成させ、これに⑧を加えてADUと呼ばれる化学式が⑨の沈殿物を得る。さらにADUを⑩で還元して二酸化ウランを製造する。
- (3) 使用済み軽水炉用ウラン燃料の再処理技術であるピューレックス法の溶解工程では、溶解せずに溶液内に微粒子として残るものがあり、これらは不溶解残渣と呼ばれる。不溶解残渣のうち、一部のFPが金属相となった場合の同相中の元素はMo、⑪、⑫、⑬、⑭が主成分であり、⑮工程において除去する。
- (4) ピューレックス再処理では、使用済燃料棒を小片に⑯した後、溶解槽で⑰による溶解を行う。⑰で溶解した溶解液は分離工程に送る。分離工程で分離した⑱は最終的に⑲し、高レベル放射性廃棄物として保管する。分離工程で分離したウラン及びプルトニウムの溶液は精製した後、⑳としてウラン酸化物とウラン・プルトニウム混合酸化物とする。

第2問 核燃料サイクルにおける燃料集合体の製造などに関する次の文章中の□に入る適切な語句を番号とともに記せ。なお、(2)の⑦、⑧及び⑩については該当する物質を記号を用いて記せ。また、同じ番号の□には、同じ語句が入る。

〔解答例〕 ②-H、H₂O、Na-K

- (1) BWR用燃料集合体では、集合体の上部および下部にはそれぞれ□①があり、燃料棒は、□②によって保持されている。燃料棒上端には□③が取り付けられた上で、上部の□①に差し込まれている。PWR用燃料集合体では、集合体の上部および下部にはそれぞれ□④があり、□⑤と燃料棒を保持する□②で全体の構造を保つ。
- (2) BWR用制御棒の□⑥内には□⑦粉末や□⑧を収納した中性子吸収棒または□⑧板が収納されている。PWRの制御棒は□⑨構造で中性子吸収材の□⑩がステンレス鋼製の被覆管に挿入されている。
- (3) 軽水炉用ジルカロイ被覆管の製造工程では、圧延のため□⑪を数回繰り返して被覆管の寸法に仕上げる。□⑪によりジルカロイは□⑫を起こす。圧延後の□⑬として真空中で500℃以上に加熱すると□⑭が起こりはじめて強度が低下して□⑮する。
- (4) 軽水炉用ジルカロイ被覆管は炉内での□⑯に伴って□⑰が発生し、その一部が被覆管に□⑱される。ジルカロイ中に□⑱された□⑰はその多くが固溶するが、その量が多い場合には□⑰の一部は□⑲として析出した状態になる。□⑲の析出量が多い場合には、被覆管の□⑳が低下する。

第3問 発電用軽水炉にて使用される燃料材料とその使用中の挙動に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 燃料棒の曲がりが生じる機構を2つ挙げ、それぞれについて簡潔に説明せよ。
- (2) FPガス放出の主な素過程として、燃料ペレット結晶粒内で生成したFPガスの結晶粒界への移行がある。この移行の機構を4つ挙げよ。
- (3) 燃料ペレットの実効的な熱伝導率に影響を及ぼす主な因子を3つ挙げ、それぞれ上昇・低下のいずれに作用するかを述べよ。

[解答例] 水素濃度 (因子) : 増加とともに上昇 (いずれに作用するか)

第4問 発電用軽水炉で想定される事故条件下の燃料挙動に関して、以下の問いに答えよ。

- (1) (A) 冷却材喪失事故と(B) 出力-冷却不整合に共通して重要となる燃料の破損挙動を2つ挙げよ。破損の原因の内、材料特性の変化と、駆動力についてそれぞれ言及すること。
- (2) (1) (B)に関して、燃料温度上昇の主たる要因となり、また冷却材流量の影響を強く受ける伝熱挙動について、簡潔に説明せよ。燃料棒径方向のどの位置における現象であるか言及すること。また、以下の①、②の場合における温度上昇率の変化について、それぞれ (a) (b) (c) で答えよ。ここで、(a) (b) (c) は、(a) 大きくなる、(b) 変わらない、(c) 小さくなるとする。

①冷却材のサブクール度がより大きい場合

②冷却材の流速がより大きい場合

- (3) 燃料の温度上昇時に燃料ペレットから放出される FP 及びアクチニドの内、ガス状または高揮発性として知られる5核種を以下より選んで挙げよ。

I, Ru, Ba, Sb, Cm, Am, Kr, U, Sr, Pu, Xe, Te, Eu, Cs, Mo, Zr

- (4) シビアアクシデント時のソースターム評価上重要な核種とされるヨウ素(I)について、燃料の温度上昇時の放出及びその後の原子炉格納容器内での移行挙動の特徴を簡潔に述べよ。以下の用語を解答文中に含めること。

- ・希ガスの放出速度
- ・沸点
- ・安定な化学形
- ・水溶性

第5問 軽水炉材料の検査技術に関する以下の文章中の□□□□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〕 ㉑—原子炉

- (1) 浸透探傷試験とは、毛細管現象を利用した検査技術である。一般的な手順としては、対象の表面に浸透性の高い液体（浸透液）を塗布し、浸透液がきずの内部に浸透した後浸透液の除去と□①□の塗布によるきず内部の浸透液の吸出しを行う。これにより、目視では確認困難な開口が小さいきずであってもその存在を確認することができる。浸透液は大きく染色式と□②□に分類され、□②□はより微細なきずの検出が可能であるものの、別途設備が必要という特徴がある。浸透探傷試験は様々な対象に対して適用可能な技術ではあるが、原理的に□③□の検出は不可能であり、また検出されなきずの□④□を評価することもできない。浸透探傷試験が特に適している対象としては、□⑤□に発生した□⑥□の検出などが挙げられる。
- (2) 超音波探傷試験は、対象内での超音波の伝播挙動を利用した検査技術である。超音波は物質内部で直進し、□⑦□が異なる部位において反射するという性質があるため、超音波エコーが返ってくるまでの時間から対象までの距離を評価することができる。一方でこの性質のため、対象表面に□⑧□を塗布する必要がある。物質内部を伝播する超音波の形態は□⑨□と□⑩□があり、一般的な配管の肉厚測定では周波数□⑪□ Hz程度の□⑨□が用いられる。また、同一周波数であれば□⑨□は□⑩□よりも波長が□⑫□。割れなどの微細なきずの検出や評価のためには、送信探触子と受信探触子を対向させて配置し、きずからの回折波を利用する□⑬□や、電子制御された複数の超音波振動子を用いる□⑭□などが用いられることもある。
- (3) 放射線透過試験は、放射線が対象を透過するという性質を利用した検査技術である。用いられている放射線は主として□⑮□と□⑯□であり、一般的には□⑮□を照射するためには□⑰□などの放射性物質が、□⑯□を照射するためには□⑱□が用いられる。□⑮□はエネルギーが単色であるため半価層等の評価も容易であるが、放射線の発生を制御できないため、遮蔽も含めた取り扱いには注意が必要である。放射線が対象を透過する度合いは、放射線の□⑲□に加えて、対象の厚みや密度、□⑳□に大きく依存する。一般的に□㉑□が大きい物質に対しては、放射線透過試験が困難となる。

第6問 軽水炉材料の特性、劣化及び補修技術に関する以下の(1)～(5)の問いについて、
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) 応力腐食割れとはどのような割れであるかを説明し、ステンレス鋼が鋭敏化により応力腐食割れ感受性が高まるメカニズムを説明せよ。
- (2) コンクリートの中性化とはどのような現象かを説明し、中性化が何故コンクリート構造物の耐久性低下に繋がるのかを説明せよ。
- (3) 液滴衝撃エロージョンとはどのような現象か説明し、具体的に液滴衝撃エロージョンが発生しうる部位を1つ挙げよ。
- (4) テンパービード溶接とはどのような溶接方法か説明し、一般的な溶接方法に対してどのようなメリットがあるか説明せよ。
- (5) 金属材料におけるクリープとはどのような現象か説明し、クリープを受ける金属材料は一般的に時間と共にどのようにひずみを生じ破断に至るかをグラフとして示せ。

【メモ】

【メモ】

【メモ】

【メモ】

