

第 60 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5問については、6項目中4項目を選択して解答すること。

（ニ）第6問については、5項目中4項目を選択して解答すること

平成30年3月16日

第1問 軽水炉に使用される混合酸化物（MOX）燃料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) プルトニウムの同位体の中で存在量が多い主な同位体としては、① プルトニウム236、② プルトニウム238、プルトニウム241があり、核燃料として主に核分裂に寄与するのは① プルトニウム236である。
① プルトニウム236、② プルトニウム238の主な壊変形式は③ β崩壊であるが、それらの半減期はウラン238に比べて④ 長い。
- (2) MOX粉末は、ウラン酸化物粉末に比べて、 α 比放射能が⑤ 低い、最小臨界量が⑥ 大きいこと等の特徴がある。このため、MOX粉末は、⑦ 外部被ばくを避けるために⑧ フード等の気密設備内で取扱うとともに、保管に際しては、発熱や同梱の有機物との相互作用による⑨ 水分発生等に注意が必要である。
- (3) ウラン燃料ペレットに比べて、MOX粉末から製造されたMOX燃料ペレットの熱伝導率は⑩ 高く、融点は⑪ 高い。MOX燃料ペレットの熱伝導率は2100K程度までは温度の上昇とともに⑫ 増加する。また、クリープ速度は、ウラン燃料ペレットに比べて⑬ 小さい。
- (4) MOX燃料では、ヘリウムの生成はウラン燃料に比べて⑭ 少ない。また、MOX燃料では、パラジウムなどの⑮ 希土類元素の核分裂収率はウラン燃料に比べて⑯ 小さい。
- (5) MOX燃料では、⑰ 高濃縮ウランを用いているので、使用済MOX燃料中のネプジウムの量は使用済ウラン燃料に比べて⑱ 多い。また、MOX燃料では、使用済MOX燃料中の超ウラン元素⑲ ラドン（原子番号 95）及び⑳ フランシウム（原子番号 96）の量は使用済ウラン燃料に比べて多い。

第2問 わが国における軽水炉核燃料の製造等に関して、以下の問いに答えよ。

- (1) 商用プラントに用いられているウラン濃縮の方法名を記せ。また、その際に用いられるウラン化合物名の化学式又は化合物を記せ。
- (2) MOX燃料ペレットの製造において、局所的にプルトニウム濃度の高い部分が生じることがあるが、その部分の名称を記せ。また、その代表的な検査方法を記せ。
- (3) 軽水炉ウラン燃料ペレットの原子炉内での使用により生じる燃料ペレットの変形による機械的影響を緩和するために、燃料ペレット製造段階で施されている形状の対策名を2つ記せ。
- (4) 軽水炉の燃料棒の製造では、燃料ペレットをジルコニウム基合金被覆管に装填するが、燃料ペレットを装填した被覆管の密封の方法を記せ。また、置換して燃料棒内に封入される気体の元素名又は元素記号を記せ。
- (5) 商用プラントに用いられている再処理の方法名を記せ。また、その際に用いられる燃料溶解液からウランやプルトニウムを抽出するための溶媒の名前を記せ。

第3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間に答えよ。

- (1) 核分裂で生成した FP ガスが燃料ペレットから燃料棒内の自由空間に放出される主な機構を3つ挙げよ。
- (2) 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。また、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1つ挙げよ。
- (3) 発電用軽水炉で使用中の燃料棒に関し、あるレベルの FP ガス放出率に到達する燃料ペレット温度を考えたとき、この温度は燃焼の進展とともにどのような変化傾向を示すか。燃焼度を横軸にとり概略を図示せよ。
- (4) 発電用軽水炉燃料の通常運転時の健全性に関して、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。

第4問 発電用軽水炉で使用中の燃料棒の挙動に関する以下の間に答えよ。

- (1) 燃料棒の製造時には、ジルコニウム基合金被覆管と燃料ペレットの間にギャップが設けられている。燃料棒の燃焼が進むにつれてこのギャップの幅は一般にどのように変化するか。横軸を燃焼度として図示せよ。また、このような変化傾向を示す原因となる、燃料棒の燃焼とともに生じる燃料材料（被覆管及び燃料ペレット）の寸法変化メカニズムを3つ挙げよ。
- (2) ジルコニウム基合金被覆管にピンホール状の孔があき、冷却材が燃料棒内部に浸入した後、さらに使用を継続した場合、被覆管にはどのような変化が起こるか。この孔位置を基準とした燃料棒軸方向位置及びその変化がその軸方向位置で起こる原因と関連させて簡潔に説明せよ。但し、あいた孔は十分に小さく破損発生後に燃料棒内に供給される冷却材の量は制限されるものとし、被覆管と燃料ペレットとは癒着（ボンディング）していないものとする。
- (3) 燃料の使用中にジルコニウム基合金被覆管に（2）のような、燃料の使用中にジルコニウム基合金被覆管にピンホール状の孔があく原因を1つ挙げよ。また、この原因によって被覆管に孔があくメカニズムを簡潔に説明せよ。さらに、この原因の発生を防止するための対策を1つ挙げよ。

第5問 以下の非破壊検査技術に関して、4項目を選び、その原理と特徴、そしてどのような部位に発生したどのようなきずに対して有効な技術であるかを簡潔に説明せよ。発生部位は軽水炉内の具体的な部位を挙げてもよいし、一般的な特徴を述べてもよい。(5項目以上解答した場合にはすべて無効とする。)

- (1) 渦電流探傷試験
- (2) 浸透探傷試験
- (3) 磁粉探傷試験
- (4) 漏えい磁束探傷試験
- (5) 超音波探傷試験
- (6) 放射線透過試験

第6問 軽水炉の材料、劣化、評価に関する以下（1）～（5）の語句について、4項目を選択し、それぞれ100文字程度で簡潔に説明せよ。なお、説明には、括弧内の用語を全て用いること。（5項目解答した場合はすべて無効とする。）

- （1） 二相ステンレスの熱時効（フェライト、クロム、使用温度）
- （2） フェログラフィ（摩耗、油、異常）
- （3） キャビテーション・エロージョン（蒸気圧、衝撃、減肉）
- （4） 高周波誘導加熱による応力緩和法（配管、冷却、溶接残留応力）
- （5） 第二段階の欠陥評価（モデル化、寸法、許容）