第　67　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５問については、６問中４問を選択して解答すること。
(ﾆ) 第６問については、６問中４問を選択して解答すること。

令和 7 年 3 月 19 日

第１問　核燃料の製造などに関する以下の文章について、［　　］に入る適切な語句等を番号とともに記せ。⑧と⑨は元素記号を用いて記せ〔解答例 ^{3}H など〕。なお、同じ番号の［　　］には、同じ語句等が入る。また、同じ語句等を複数回解答してもよい。

〔解答例〕㉑－東京

（１）　MOX 燃料は、［ ① ］型結晶構造であり、液相状態または固相状態においてもプルトニウムの混合割合にかかわらず［ ② ］を形成する。MOX 燃料の熱膨張率は UO_2 燃料と比較して［ ③ ］であるが、MOX 燃料の融点は UO_2 と比較して［ ④ ］く、熱伝導率は UO_2 と比較して［ ⑤ ］い。

（２）　軽水炉燃料の燃焼初期における反応度を抑制するため［ ⑥ ］粉末を UO_2 粉末に添加して焼結した燃料ペレットが用いられることがある。［ ⑦ ］の同位体である［ ⑧ ］および［ ⑨ ］は、熱中性子を吸収する能力がきわめて大きい。［ ⑦ ］は［ ⑩ ］と呼ばれる。

（３）　チャンネルボックスで覆われた BWR 用燃料集合体内部では、冷却材が［ ⑪ ］するため［ ⑫ ］の効果を高めるために円管状の［ ⑬ ］を導入している。［ ⑬ ］の材料は、［ ⑭ ］が使用される。また［ ⑬ ］は、［ ⑮ ］の軸方向位置を定める機能も有している。

（４）　軽水炉で使用される燃料ペレットは、製造工程でディッシュやチャンファと呼ばれる加工が施されている。ディッシュは、ペレット上下端の［ ⑯ ］部が［ ⑰ ］増加するのを吸収する。チャンファは、ペレット上下端の［ ⑱ ］部が［ ⑲ ］と接触することによる局所的な［ ⑳ ］の発生を軽減する。

第２問　核燃料サイクルにおける再処理や原子炉などに関する文章について、［　　］に入る適切な語句等を番号とともに記せ。なお、②及び③については、化合物を答えよ。また、⑪～⑭と⑯は元素記号を用いて記せ〔解答例 H_2O、^3H など〕。同じ番号の［　　］には、同じ語句等が入る。

〔解答例〕㉑－東京

（１）　国内のピューレックス法による再処理においては、使用済燃料の硝酸溶解液に含まれるウランおよびプルトニウムを［　①　］と分離し、精製する。溶媒抽出反応では、水溶液中の［　②　］および［　③　］が、水溶液と溶媒が接する界面において、希釈剤の［　④　］（炭化水素）に溶け込んでいるＴＢＰと［　⑤　］を作ることで溶媒側に抽出される。

（２）　燃料棒のプレナムは、原子炉で使用中に燃料ペレットから放出される［　⑥　］による圧力増加を抑制するように設計されており、燃料ペレットを押さえるための［　⑦　］製の［　⑧　］が入れられている。［　⑥　］は、［　⑨　］と［　⑩　］に依存して燃料ペレットから放出される。

（３）　天然で安定に存在するヨウ素の同位体は、［　⑪　］のみであり、これ以外の同位体はウランの核分裂等に伴って生成される。原子炉事故時に検出される主要なヨウ素の同位体は、［　⑫　］、［　⑬　］、［　⑭　］などであり、一般にβ線とγ線を放出して他の元素に［　⑮　］するものをいう。

（４）　ジルカロイ被覆管は、高温高圧の冷却水により酸化されて［　⑯　］と［　⑰　］が生じて腐食が進行する。［　⑰　］の一部は被覆管に［　⑱　］されるが、［　⑰　］の［　⑲　］度は極めて小さく、［　⑲　］限を超えると［　⑳　］として析出する。

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して、以下の問いに答えよ。

（１）　燃料ペレット、燃料被覆管の照射に伴う寸法変化について、以下の括弧（< >）中の語を用いて簡潔に記述せよ。

< リロケーション、焼き締まり、クリープ、照射成長 >

（２）　以下の文章中の①、②に入る元素名をそれぞれ番号とともに記せ。また、③に入る語句を括弧（< >）より選んで番号とともに記せ。なお、同じ番号の［　　］には同じ語句が入る。

〔解答例〕④－水素

主要な固体 FP 元素の１つである［　①　］は、およそ 96 の質量数を持ち、主に金属析出相として燃料マトリクス中に観察される。また、シビアアクシデント条件等の酸化雰囲気下では、Cs との複合酸化物を形成することが知られる。［　①　］と酸素の結びつきやすさは、燃料被覆管の主要な構成元素である［　②　］と酸素のそれに比べて［　③　］。

< 強い、　弱い、　同程度である >

（３）　燃料ペレットの熱的な挙動及び燃料被覆管の機械的な挙動の相関が重要な役割を果たし、また燃料設計上回避すべき状況としての「リフトオフ」挙動について、簡潔に記述せよ。

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）　冷却材喪失事故（LOCA）時の燃料棒内径方向温度分布について、通常運転時との違いと、そのような違いが生じる理由を、それぞれ簡潔に述べよ。

（２）　通常運転時の線出力が高い燃料棒ほど、LOCA 時の燃料温度上昇の度合いは大きくなる傾向にある。主な理由を２つ挙げよ。

（３）　LOCA 時の燃料被覆管最高温度は安全評価上 1200℃を超えないことが要求される。これによりどのような燃料挙動、燃料材料への影響、及び炉心への影響を防止しようとしているか、設計基準事故に対する規制基準の観点から簡潔に述べよ。

（４）　炉心構成材料の高温挙動に関して、ステンレス鋼の融点よりも低い温度で生じうる材料と挙動の組み合わせを以下（ａ）～（ｉ）より４つ選べ。

（ａ）　燃料被覆管の破裂
（ｂ）　ジルカロイ（β相）の溶融
（ｃ）　立方晶系ジルコニアの形成
（ｄ）　ジルカロイ（安定化α相）の溶融
（ｅ）　制御棒被覆材（ステンレス鋼）と制御材（B_4C）の共晶
（ｆ）　燃料ペレット/燃料被覆管接触面での液相形成
（ｇ）　燃料ペレットの溶融
（ｈ）　燃料被覆管外面酸化膜の溶融
（ｉ）　制御材（Ag-In-Cd 合金）の溶融

第５問　材料及び材料劣化に関する以下の（１）～（６）の問いについて、4 問を選択し回答せよ。なお、5 問以上を解答した場合は、全ての解答を無効とする。

（１）　繰り返し荷重を受ける金属材料におけるパリス則とはどのようなものか、図を用いて簡潔に説明せよ。

（２）　SUS316L は SUS316 に比して応力腐食割れへの感受性が低い。この理由を簡潔に説明せよ。

（３）　炭素鋼管の流れ加速型腐食における流体の溶存酸素濃度の影響及びそのメカニズムを簡潔に説明せよ。

（４）　一般的に、放射線環境下におかれるケーブルはその機能を維持するために定期的に交換する必要がある。この理由を簡潔に説明せよ。

（５）　キャビテーション・エロージョンとはどのような現象か簡潔に説明せよ。

（６）　金属材料が中性子照射を受けた場合、機械的特性がどのように変化するかを、そのメカニズムとともに簡潔に説明せよ。

第６問　検査及び補修技術に関する以下の（１）～（６）の語句について、４つを選択し、それぞれ括弧内の用語を全て用いて簡潔に説明せよ。なお、５つ以上を解答した場合は、全ての解答を無効とする。

（１）　フェーズドアレイ超音波探傷法（電子制御、遅延時間、焦点）

（２）　表皮効果（渦電流探傷法、周波数、電磁場）

（３）　SOAP 法（潤滑油、劣化、金属元素）

（４）　アコースティックエミッション（弾性波、ひずみエネルギー、材料）

（５）　シェフラーの組織図（Ni 当量、ステンレス鋼溶接金属、フェライト量）

（６）　封止溶接（応力腐食割れ、隔離、進展）