

第 46 回

核燃料取扱主任者試験

核燃料物質の化学的性質
及び物理的性質

- (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。
(問題を書き取る必要はない。)
- (ロ) 1 問題ごとに 1 枚の解答用紙を使用すること。
- (ハ) 第 5 問は(1)、(2)と(3)、(4)は別の解答用紙を使用すること。

平成 26 年 3 月 10 日

第1問 アクチノイド元素の性質や核燃料サイクルに関する次の問に答えよ。

- (1) アクチノイド元素は原子番号順に記すと次の15個の元素群である。()に当てはまる元素を元素記号で示せ。

[解答例] リーH

(イ), (ロ), (ハ), (ニ), (ホ), (ヘ), (ト), (チ), Bk, Cf, Es, Fm, Md, No, Lr

- (2) アクチノイド元素とランタノイド元素の化学的性質の異なる点について説明せよ。また、その理由を述べよ。

- (3) アクチノイド元素の環境中での存在状態(化学種)を説明する場合に、酸化還元反応と錯体形成反応が重要である。酸化還元反応、錯体形成反応について定量的に説明するにはどのようにすればいいか。

- (4) 転換、再転換とは何か。各々について化学反応式を用いて説明せよ。

- (5) ^{235}U の核分裂でできる核分裂生成物を質量数に対してプロットすると2つの山ができる。2つの山のピークの質量数はおおよそいくらか。また、原子力発電所から取り出して10年経過した使用済燃料中の核分裂生成物で存在量の多い元素を5個あげよ。

第2問 ジルコニウム合金について述べた次の文章中の【 】に入る適切な語句または数字及び《 》に入る適切な元素記号を、番号とともに記せ。なお、同じ番号の【 】には同じ語句または数字が、同じ番号の《 》には同じ元素記号が入る。

[解答例] ①—東京

ジルコニウム合金の開発

ジルコニウム合金の開発にあたっては、まず、【 ① 】改善のために《 ② 》のみを【 ③ 】%添加したジルカロイ-1が考案されたが、長期間の【 ④ 】で満足な結果が得られなかった。

その後、《 ⑤ 》、《 ⑥ 》、《 ⑦ 》の複合添加が【 ① 】を増すことがわかり、【 ⑧ 】が誕生した。この材料が米国海軍の原子炉に採用されたが、現在に至るまで成分変更もなく、主に【 ⑨ 】用燃料被覆管に使用されている。

次に、《 ② 》を減らしたジルカロイ-3が登場したが、実用化には至らなかった。

その後、【 ⑩ 】を低下させるため《 ⑦ 》を減らし、《 ⑤ 》、《 ⑥ 》を若干増加させた【 ⑪ 】が開発された。これが今日まで【 ⑫ 】用燃料被覆管、【 ⑨ 】用【 ⑬ 】および【 ⑭ 】などに広く採用されている。

カナダの重水炉では、燃料被覆管には【 ⑪ 】が使われるが、【 ⑮ 】には当初は【 ⑧ 】が、のちに、Zr-【 ③ 】%《 ⑯ 》合金が採用された。

ジルコニウム合金の腐食挙動対策

【 ⑨ 】用【 ⑧ 】では【 ⑰ 】対策に重きがおかれている。合金の化学成分の規格範囲内で《 ② 》含有量を低くしたり、《 ⑤ 》、《 ⑦ 》含有量を高くしたりして制御している。一方、【 ⑫ 】用【 ⑪ 】では【 ⑱ 】の改善とそれに伴う【 ⑩ 】を抑制する対策が重要となる。これらを改善するために合金の化学成分の規格範囲内で、低《 ② 》化、低《 ⑲ 》化、高《 ⑳ 》化が採用されている。

第3問 ガドリニア添加二酸化ウラン燃料に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 軽水炉において、ガドリニア添加二酸化ウラン燃料が用いられる理由を説明せよ。
- (2) ガドリニアの化学組成を述べよ。
- (3) 最適とされるガドリニアの添加量を述べよ。
- (4) 二酸化ウラン中のガドリニウムの存在状態を説明せよ。
- (5) 二酸化ウランにガドリニアを添加すると、二酸化ウランの熱伝導率はどのように変化するか？熱伝導率の大きさと温度依存性の二つの観点から説明せよ。また、そのように変化するとした理由も述べよ。

第4問 トリウムサイクルについて述べた以下の文章中の□に入る適切な語句を番号とともに記せ。

〔解答例〕 ㉑—東京

- (1) トリウムは、原子番号□①番のアクチノイド元素であり、アクチノイド元素の中では、地殻中に最も多く存在する元素である。天然に存在するトリウムのほとんどは、質量数 232 のもの (Th-232) であり、約 1.6MeV 以上のエネルギーの高速中性子に対してのみ核分裂をおこす。Th-232 が中性子を吸収して生ずる Th-233 は□②により□③を経て U-233 となるが、この U-233 は核分裂性核種であり、□④である η が熱中性子に対して 2.28 と大きく、また□⑤領域でもあまり小さくならないので、熱中性子を用いた増殖炉を構成できる可能性がある。
- (2) 熱中性子増殖炉は高速増殖炉に比べて、核分裂物質のインベントリが少なくてすむ利点がある。トリウムサイクルは、(1) □⑥の増大、(2) U-235 等の核分裂物質利用の効率化、(3) □⑦の低減、(4) トリウム燃料はウラン燃料よりも照射特性が良く、腐食抵抗性が高く、安全上有利、等の理由から原子力開発の当初には多くの研究が行われた。しかし、増殖のためには η のより大きなプルトニウムの高エネルギー核分裂を利用する高速増殖炉が有利であること等のため、その後、関心は低下した。1980 年代に核拡散防止の立場から、すなわち U-233 は天然 (または、劣化) ウランと混合することにより□⑧ができなくなること、および U-233 の生成に伴って生ずる□⑨の娘核種に□⑩のような高エネルギー□⑪を放出する核種があり、再処理が困難になるという理由から、関心が高まったが、ウラン資源が乏しくトリウム資源に恵まれている□⑫を除くと、意欲的な研究開発は行われていない。
- (3) 今日、トリウムサイクルで運転されている原子炉は存在せず、また U-233 を主な燃料とする原子炉もごく一部限られている。しかし、IAEA 等では、トリウムを利用することにより、(1) □⑬の生成が少ない、(2) ウラン燃料より高燃焼度が期待できる、(3) □⑭せずにプルトニウムを燃焼させることによって、解体核兵器のプルトニウムや原子力発電に伴って生ずるプルトニウムの蓄積を減らせる可能性がある、(4) トリウム燃料の方がウラン燃料より□⑮が高く、かつ□⑯が大きいので、安全性の向上が図れる、(5) トリウム燃料の使用により原子炉の□⑰、□⑱、ボイド係数等の安全に関する特性の改善が図れる、(6) □⑲が高い、(7) トリウム燃料サイクルを加速器駆動システムや熔融塩炉システムと結合させて U-233 の増殖や□⑳の放射性核種の消滅を図ることができる、等の理由により研究の推進を図っている。

第5問 次の問いに対して、簡潔に説明せよ。(ただし、(1)、(2)と(3)、(4)は、別の解答用紙に記入すること。)

(1) 軽水炉で用いられている制御棒に含まれる制御材の種類と特徴を述べよ。

(2) 高速炉酸化物燃料の組織は、照射に伴ってどのように変化するか？

(3) 核燃料における応力腐食割れとは何か、簡単に説明せよ。

(4) 福島第一原子力発電所事故における燃料デブリとは何か、その中に含まれる代表的な元素を4つあげるとともに、その生成プロセスについて説明せよ。