

I 次の4問題のうち2問題を選んで解答せよ。(問題ごとに答案用紙を替えて解答問題番号を明記し、それぞれ3枚以内にまとめよ。)

I-1 原子炉が有すべき重要な特性の一つとして、固有の安全性がある。これに関する以下の問いに答えよ。

- (1) 軽水炉における反応度投入事象の例として、加圧水型軽水炉(PWR)では制御棒飛び出し事故、沸騰水型軽水炉(BWR)では制御棒落下事故がある。これら2つの事故がどのように発生するか、その発生メカニズムをそれぞれ説明せよ。
- (2) 反応度投入事象では、原子炉は即発臨界状態になる。プラント防護の観点から、即発臨界と遅発臨界への対応策の違いを説明せよ。
- (3) (1)を参考にしつつ、反応度投入事象が発生した場合の、炉心の熱出力の時間推移を図示せよ。この際、横軸には時間スケールを明示せよ。また、炉心の熱出力が図示された時間推移を示すことについて、物理的な理由を説明せよ。
- (4) 安全評価における、反応度投入事象に関する判断基準を述べよ。また、判断基準の根拠について、反応度投入事象時のプラント、及び燃料の振る舞いの観点から説明せよ。
- (5) 原子炉の固有の安全性を、一般の人にわかりやすく説明する方法を論ぜよ。

I-2 シビアアクシデント (SA) 時には、原子炉容器や格納容器内における水素の蓄積と、その事故の拡大に大きな影響を及ぼす水素燃焼に伴う圧力負荷により、原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリの健全性への影響が懸念される。格納容器内で水素燃焼が生じた場合には、熱と高圧の負荷により、原子炉格納容器バウンダリの健全性への影響のほか、さらにアクシデントマネジメント (AM) に用いられる格納容器内の監視計器類や、安全設備等への影響の可能性も考えられる。格納容器内におけるこれらの大量水素燃焼の影響は、水素ガスの総量や濃度だけでなく、格納容器内雰囲気条件、及び格納容器スプレイ設備等のような、プラント固有の条件にも依存すると考えられている。これらに関連して、下記の問いに答えよ。

- (1) SA時に予想される水素の発生源を5つ挙げ、それぞれについて、水素発生のプロセスを概説せよ。また、炉心損傷の度合いと水素発生量のおおよその程度について述べよ。
- (2) 水素燃焼は、燃焼時の条件によっては、静的加圧 (緩やかな燃焼及び拡散炎) あるいは動的加圧と、それに伴うミサイル発生による格納容器への影響や、加熱、加圧効果により安全系機器へ深刻な影響を与える。これについて、格納容器内における水素燃焼条件及び水素燃焼現象について説明せよ。また、それに伴い想定される現象について述べよ。
- (3) SA時に想定される水素発生に対する、各国における対策について、少なくとも3カ国を挙げ述べよ。また、今回の、東北地方太平洋沖地震に伴う大津波によって引き起こされた、東京電力福島第一原子力発電所における、深刻な事故に伴う水素爆発について、その教訓とすべきと考えられること、及び今後の課題は何か、問い(1)及び(2)を参考にして、思うところを述べよ。

I-3 動力用原子炉の運転について、以下の問いに答えよ。

(1) 一般的なPWR及びBWRで用いられている反応度制御方法を述べよ。また、PWRとBWRの反応度制御方式の得失について論ぜよ。

(2) 取替炉心設計に関し、PWRもしくはBWRどちらかを対象として、以下の点について説明せよ。

- ① 取替炉心の安全性確認項目になっているパラメータ
- ② 取替炉心の安全性確認項目に関する制限値を遵守することで、取替炉心の安全性が確保できる理由
- ③ アップレートや長期サイクル運転など、運転条件が変化した際の取替炉心の安全性確認項目に関する考え方

(3) 定常運転をしていた原子炉がスクラムし、大きな負の反応度が加わった。この際の核分裂出力の時間変化について、一点炉動特性方程式（下記参照）を用いて説明せよ。

(参考) 一点炉動特性方程式

$$\frac{dP(t)}{dt} = \frac{\rho - \beta}{\ell} P(t) + \lambda C(t)$$

$$\frac{dC(t)}{dt} = \frac{\beta}{\ell} P(t) - \lambda C(t)$$

I-4 昨年3月、東北地方太平洋沖地震に伴う大津波によって引き起こされた、東京電力福島第一原子力発電所の事故について、日本国政府からIAEA閣僚会議及びIAEAに対して、昨年6月^(注1)と9月^(注2)に、原子力安全及び事故対策に関する報告書が提出されている。この報告書の中で、東京電力福島第一原子力発電所の事故から得られた教訓として、(第1の教訓のグループ)シビアアクシデント防止策の強化、(第2の教訓のグループ)シビアアクシデントへの対応策の強化、(第3の教訓のグループ)原子力災害への対応の強化、(第4の教訓のグループ)安全確保の基盤の強化、及び(第5の教訓のグループ)安全文化の徹底について、計28項目にわたり述べられているとともに、今後の事故収束への取組について述べられている。これに関し、以下の(1)及び(2)の問いに答えよ。

^(注1)「原子力安全に関するIAEA閣僚会議に対する日本国政府の報告書－東京電力福島原子力発電所の事故について－」平成23年6月、原子力災害対策本部

^(注2)「国際原子力機関に対する日本国政府の追加報告書－東京電力福島原子力発電所の事故について－(第2報)」平成23年9月、原子力災害対策本部

(1) 東京電力福島第一原子力発電所の事故の教訓について、上記の第1から第5の教訓のグループの中から少なくとも3グループを挙げ、得られた教訓とそれをもとに考えられる事故への対応強化策について、あなたの考えに基づき説明を加えるとともに、東京電力福島第一原子力発電所の事故の収束に向けた取組について、思うところを述べよ。

(2) 上記の、第1及び第2の教訓のグループに関して、これらのシビアアクシデントに対する防止・対応強化策について、さらなる課題は何か、また、この教訓を我が国及び世界にどのように発信して、東京電力福島第一原子力発電所事故の再発を防ぎ、世界の原子力の安全に寄与できるか、思うところを述べよ。