

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 原子炉の起動時には中性子源が用いられる。中性子源のある未臨界状態の原子炉を、中性子源はそのままにして、臨界にした場合の原子炉出力の変化について考える。ただし、出力は充分低く、熱的な反応度フィードバックは考慮しなくて良い。以下の問いに答えよ。

- (1) 遅発中性子1群近似の1点炉近似原子炉動特性方程式(下記参照)を用いて、定常状態における原子炉出力を求めよ。ただし、初期状態の未臨界度は既知で、 ρ_0 とせよ。
- (2) 原子炉出力の変化に関する方程式において、原子炉出力の微分項が他の項に比べ小さい場合、この成分をゼロと近似できる(即発跳躍近似という)。この近似を用いて、上記の定常状態の原子炉が臨界となった場合($\rho = 0$)の原子炉出力の変化を求めよ。
- (3) 上記(2)で得られた結果を $t > 0$ の範囲で図示せよ。
- (4) この結果をもとに、実機の臨界近接時の原子炉の挙動について説明し、臨界判定の手順を述べよ。

参考：1点炉近似原子炉動特性方程式

$$\frac{dP(t)}{dt} = \frac{\rho - \beta}{\ell} P(t) + \lambda C(t) + S \quad \dots\dots (1)$$

$$\frac{dC(t)}{dt} = \frac{\beta}{\ell} P(t) - \lambda C(t) \quad \dots\dots (2)$$

ここで、

- $P(t)$: 原子炉出力
- ρ : 反応度
- β : 遅発中性子割合
- ℓ : 中性子寿命
- λ : 遅発中性子先行核崩壊定数
- $C(t)$: 遅発中性子先行核数
- S : 中性子源

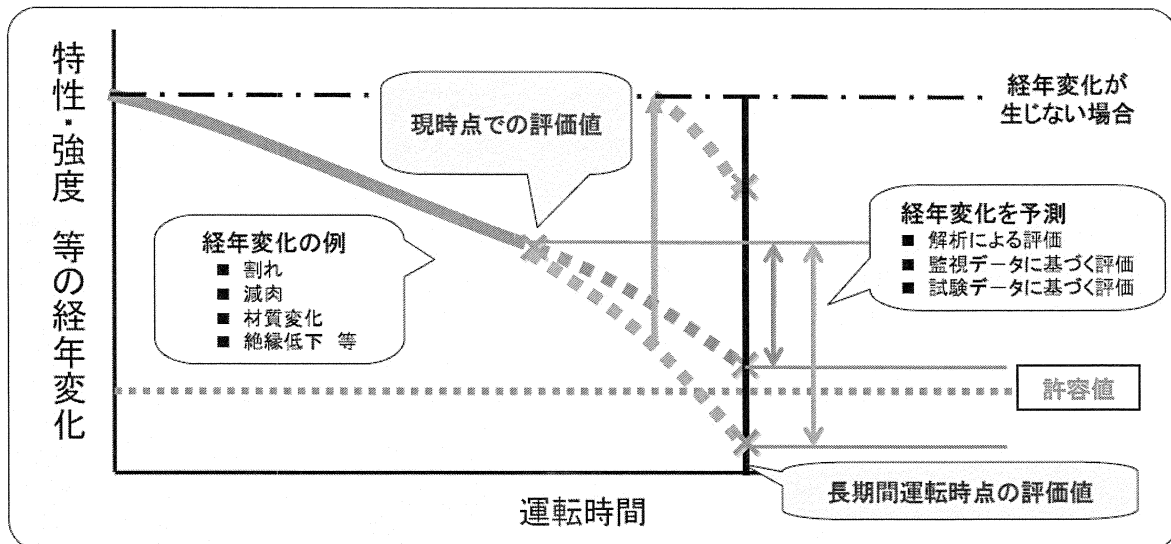
I-2 原子力発電所を長期間供用すると、プラントの老朽化が進行し、安全上の問題が発生するのではないかという、漠然とした不安があると言われる。しかしながら、経年劣化の状況を点検し、取替・補修を適切に行い、高経年化対策を施せば、長期間の供用にも安全を確保することができると考えられる。すなわち高経年化対策とは、プラントの供用期間に関係なく、一定の安全水準を確保するため、プラントの長期間の供用に伴う経年劣化の特徴を把握し、これに的確に対応した保守管理を行うことであると言える。平成15年10月、実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則（昭和53年通商産業省令第77号、以下「実用炉規則」という。）が一部改正施行され、高経年化技術評価の実施及び長期保全計画の策定が事業者には義務づけられ、その後、平成17年8月、「実用発電用原子炉施設における高経年化対策の充実について」として取りまとめられた。さらに、平成20年8月、実用炉規則の一部改正省令が公布され、平成21年1月から施行された。本改正により、高経年化技術評価の結果に基づき長期保守管理方針を策定し、当該方針を記載事項とした原子炉等規制法第37条第1項による保安規定の認可を受けることが義務づけられ、改めてガイドライン^{注)}が制定された。これに関連して、次の(1)～(3)の問いに答えよ。

注)「実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイドライン」原子力安全・保安院（平成21年10月）

(1) 高経年化対策に関連する、次の4つの用語について説明せよ。

- ① 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象
- ② 高経年化技術評価
- ③ 定期安全レビュー（PSR：Periodic Safety Review）
- ④ 高温・高圧の環境下にある機器

(2) 以下の図は、高経年化対策実施における経年変化の評価について、基本的な考え方を簡略にまとめたものである。高経年化対策の実施に関連し、同図及び(1)を参考にして、経年変化評価、実施の流れ、実施体制について例示するとともに、経年劣化事象を4つ以上示し、かつそれぞれの事象における対象機器と考えられるものを挙げ、そのうちの1つの機器を選び、あなたが高経年化対策実施プラントの担当になった場合を想定し、事業者の立場としての評価例(評価部位、評価方法、技術評価結果)及びそれに対する国の主な確認内容例を記せ。



(出典) 福井県原子力安全専門委員会資料、「日本原子力発電(株)敦賀発電所1号炉高経年化技術評価書等に係る審査結果について」、原子力安全・保安院(平成21年10月)

(3) あなたが技術士となって、一般の人から「原子力発電所だって、長い間使用したら老朽化するでしょう。将来のことなのに、原子力発電所を長期間使用しても大丈夫だって、どうして言えるのですか?」と尋ねられた場合を想定して、その時あなたは、分かり易くどのように説明するか述べてよ。

I-3 原子炉の出力調整時の反応度制御について、下記の問いに答えよ。原子炉の特性並びに現在の原子炉の状態は以下のとおりと仮定する。なお、pcm=0.00001 Δ k/kを表す。

出力係数：20 pcm/% 出力

微分制御棒価値： $1.2x - 0.012x^2$ pcm/% 挿入 (図1を参考にせよ。)

キセノン反応度：図2に示す

現在の制御棒位置：炉心軸方向中央

- (1) 積分制御棒価値は微分制御棒価値を積分して得られる。制御棒位置が0%，25%，50%，75%，100%挿入された位置での積分制御棒価値を求めよ。
- (2) 上記(1)で求めた積分制御棒価値を図示せよ。なお、求めた制御棒位置の間は直線としてよい。
- (3) 75%出力で定常状態にある原子炉の出力をステップ状に出力を100%にする場合の制御棒位置はどこか。
- (4) 出力上昇後、①5時間目、②50時間目における臨界制御棒位置はどこか。

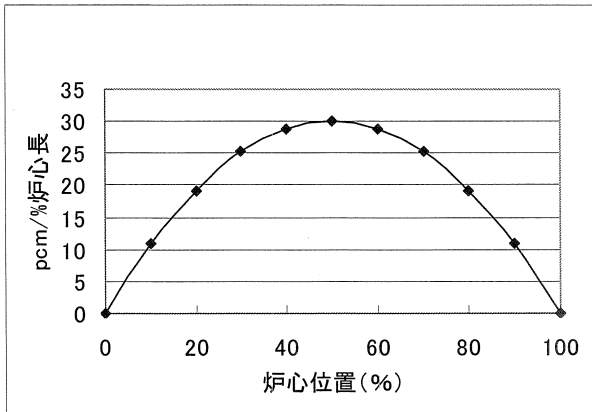


図1 微分制御棒価値

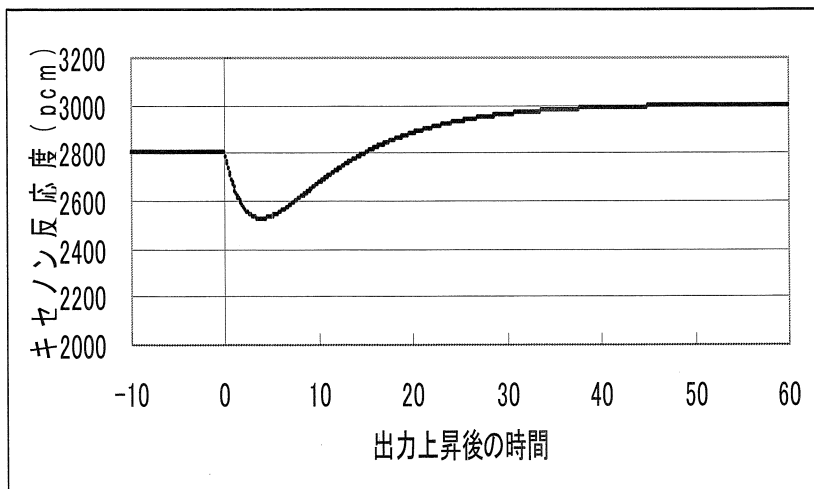


図2 出力変化と
キセノン反応度変化

I-4 原子力発電プラントは、今や国内で50基を超え、総発電量の約1/3を占める基幹電源となっている。「原子力政策大綱」では、既設の原子力発電施設の安全確保を前提に、最大限活用する基本的考え方が示されている。この観点から、原子炉出力向上等の高度利用をめざし、増出力への取組みがなされている。増出力は、現状認可出力の原子炉出力を、安全確保を前提とした認可出力の増加により、出力向上を図るものである。欧米では1970年代から、増出力の認可実績と豊富な運転実績がある。米国だけでも、すでに、100万kW級原子力発電プラント5基を超える電気出力に相当する増出力が認可されているが、出力向上実施にあたっては、安全上評価すべき事項の抽出、これらに関する対応及び考え方の明確化、検討評価の具体的道筋（手段）の明示、適切な設計及び評価並びに管理等を行なうことでプラントの安全が確保できることを示す必要がある^{注)}。これに関連して以下の(1)～(3)の問いに答えよ。

注) 参考文献：社団法人日本原子力学会「原子炉出力向上に関する技術検討評価」特別専門委員会報告書等

- (1) 軽水炉の炉出力向上方策において、米国で実施されているいくつかの増出力の方策と特長について、具体的に述べるとともに、原子炉増出力のエネルギー供給に与える影響と意義について、考えるところを記せ。
- (2) 軽水炉の増出力実施において、運転保守の観点から、安全上評価すべき項目の分類及びプラントへの影響パラメータを、原子炉系からタービン復水系、給水加熱系にわたり、考えられるものを挙げ説明を加えよ。
- (3) 増出力に関する出力向上の影響事象として、主蒸気逃がし安全弁の部品損傷、設定値逸脱及び蒸気乾燥器損傷が報告されている。これらについて、それぞれの事象について説明を加え、また、考えられる原因及び対策について、考えるところを記せ。