

平成 24 年度技術士試験「原子力・放射線部門」対策講座

平成 23 年度技術士一次試験「原子力・放射線部門」

— 専門科目の解説 —

日本原子力学会 原子力教育・研究小委員会 監修

はじめに

平成 23 年 10 月 10 日(月)に、原子力・放射線部門を含む 20 の技術分野において技術士第一次試験が実施された。原子力・放射線部門では、137 名が受験し、75 名が合格(合格率 54.7%)している。

技術士第一次試験は、例年通り、基礎、適正、共通、専門の 4 科目から構成され、総て択一式問題であった。この試験のレベルは、共通科目においては 4 年生大学の自然科学系学部の教養教育程度、基礎科目及び専門科目については同学部の専門教育程度とされている¹⁾。本稿では、これら 4 科目のうちの専門科目 35 問について、問題と解答の解説を示すものである。

専門科目の試験内容

専門科目は、「当該技術部門に係る基礎知識及び専門知識を問う問題」とされている¹⁾。また、技術士法施行規則に基づく告示によれば、当該専門科目の出題範囲は、「原子力、放射線、エネルギー」の 3 つの分野と規定されている²⁾。平成 17 年度から平成 23 年度の 3 分野別設問数を表 1 に、各設問の概要を表 2 に示す(平成 17 年度から 22 年度までの問題分析については、参考文献 3 を参照した)。

まず、表 1 によれば、分野毎の設問数は、平成 17 年度以降同じであり、原子力及び放射線が 14 問ずつ、エネルギーが 7 問となっている。従って、平成 24 年度以降の試験においても、全設問数及び分野別出題数は大きく変わらないと予想される。なお、第一次試験の専門科目では 2 時間以内に出題された 35 問のうちから 25 問を選択して解答することが求められる。合否判定基準は、「基礎科目及び専門科目の各々の得点が 40%以上、かつ基礎科目及び専門科目の合計得点が 50%以上あること」とされている。

専門科目の出題傾向と対策

平成 23 年度の技術士第一次試験、原子力・放射線部門の専門科目の出題傾向を分析する。全体的な出題傾向として、計算問題の占める割合については、平成 22 年度では 35 問中 14 問³⁾、平成 23 年度では表 2 に示すように 13 問であり、大きな変化はなく、今後もこの傾向が続くものと思われる。従来、専門科目の攻略方法として、解答に時間のかかる計算問題は選択しない方がよいとされていたが、全体に占める割合から、計算問題を避けて通れるものではない。また、計算問題には、基礎的な公式を単純に当てはめるだけのものや、専門的な知識が無くとも工学的な常識や単位の整合性から解けるものもあるので、積極的に取り組んでいくべきであろう。以下に、専門科目の 3 分野における出題傾向と対策を示す。

1. 原子力分野

原子力分野においては、表 2 に示したように、炉物理(5 問)、設計(4 問)、核燃料・サイクル(3 問)、運転(1 問)及び法令(1 問)が出題された。出題範囲の割合については、平成 22 年度³⁾と大きな変化はない。しかし、平成 22 年度には 2 問が出題されていた工学的安全性からの出題が無くなっており、原子力プラント設備などの設計に関する専門的な知識を問う内容が少なくなり、どちらかと言えばより基礎的な内容の占める割合が多くなってきた印象を受ける。とは言え、こうした傾向が今後も続くかどうかはわからないので、原子炉物理や原子力プラントに関する初等テキストにより、基礎知識とともに代表的な計算問題をおさえておくとともに、「原子力がひらく世紀」⁴⁾や白書類^{5,6)}で現在、社会的関心の高いキーワードを抽出しておき、ATOMICA⁷⁾等で知識を整理しておく事を推奨する。

2. 放射線分野

放射線分野では、表 2 に示したように、放射線の基礎(4 問)、放射線防護(5 問)、放射線利用(3 問)及び被ばく管理(2 問)の合計 14 問の出題となっている。出題範囲及び内容に前年度と大きな変化はなく、放射線に関連した基礎的事項を問うオーソドックスなものとなっている。

これらの出題範囲及び内容は、原子力工学を専攻とする大学専門教育での一般的な教科書のカバーする範囲であるとともに、第 1 種放射線取扱主任試験と共通する内容を多く含むことから、第 1 種放射線取扱主任試験問題に向けて市販されている参考書や問題集を利用することも効果がある。

3. エネルギー分野

エネルギー分野では、原子力発電の設備容量、各種発電方式の発電量比較、二酸化酸素排出量比較などの我が国や世界の現状を問う問題、軽水炉プラントの熱サイクルや電力送電方式などプラント工学・電気工学に関する問題、原子力災害対策特別措置法(原災法)・原子力災害の賠償に関する法律(原賠法)や原子力平和利用の国際的枠組みなどの法規・制度に関する問題が出題されている。全体的な出題傾向は、前年度と大きく変わっていない。

この分野での対策としては、原子力分野で述べたように、社会的関心の高いキーワードを抽出しておき、ATOMICA⁷⁾等で知識を整理しておく事が推奨される。キーワード抽出には、「原子力がひらく世紀」⁴⁾や白書類^{5,6)}等の文献、関連学協会誌や関連雑誌の特集記事を用いるとともに、経産省や環境省などのホームページ、新聞・TV のニュースなどにも広く目を向けておく必要があると思われる。

表 1 専門分野の分野別設問数

分野	平成 17～22 年度 ³⁾	平成 23 年度
原子力	14	14
放射線	14	14
エネルギー	7	7
計	35	35

表 2 平成 23 年度「専門科目」の設問分野と概要

設問	分類	内容の概要	計算問題	
1	原子力	炉物理	中性子による核反応	
2			原子核懐変の性質	
3			中性子無限増倍率(四因子公式)	
4			反応度と原子炉の挙動	
11			軽水炉の平均中性子束	○
6		運転	核分裂性物質・毒物の反応度効果	
5		設計	崩壊熱除去	○
7			圧力容器の肉厚計算	○
8			水への熱伝達・沸騰	
13			原子炉崩壊熱の計算	○
9		サイクル	ウラン濃縮の物質収支	○
12			放射性廃棄物の処理・処分	
10		核燃料	軽水炉燃料設計・製造	○
14		法令	原子力関連法規・許認可	
15	放射線	放射線の基礎	²³⁵ U核分裂・核分裂生成物	
16			γ線放出の反跳エネルギー	○
17			原子核懐変による核種変化	
18			γ線照射による空気吸収線量率	○
19		放射線防護	GM計数管の必要測定時間	○
20			サーベイメーターの種類・特性	
21			外部被ばくの実効線量及び等価線量	
22			放射線関連単位(SI単位)	
23			放射能の経時変化	○
24		放射線利用	⁶⁰ Co線源による実効線量	○
25			密封線源の使用例	
26			⁶⁰ Co線源の発熱量	○
27		被ばく管理	全身被ばくの確定的影響	
28			内部被ばくに関する知識	
29	エネルギー		原子力発電の設備容量	
30			電力送電と電力系統	
31			軽水炉プラントの熱サイクル(ランキンサイクル)	
32			各種発電方式の発電量	○
33			二酸化炭素排出量の国別推移	
34			原災法及び原賠法	
35			原子力平和利用の国際的枠組み	

参考文献

- 1) 文部科学省 科学技術・学術審議会 技術士分科会資料「平成24年度技術士第一次試験実施大綱」
http://www.engineer.or.jp/c_topics/001/attached/attach_151_3_1.pdf
- 2) 文部科学省告示第136号「技術士法施行規則の規定に基づき、第1次試験の専門科目の範囲及び第2次試験の選択科目の内容を定める件の全部を改正する件」平成15年8月18日
- 3) 原子力 eye 2010年3月号：平成22年度技術士第一次試験「原子力・放射線部門」専門科目の解説(上)－試験の概要とエネルギー分野
- 4) 原子力がひらく世紀、日本原子力学会編、2011年
- 5) 原子力白書 原子力委員会
<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/hakusho/index.htm>
- 6) 原子力安全白書 原子力安全委員会
http://www.nsc.go.jp/hakusyo/hakusyo_kensaku.htm
- 7) 「原子力百科事典」ATOMICA
<http://www.rist.or.jp/atomica/>

設問と解説

以下に、23年度に出題された原子力・放射線部門の一次試験専門科目の設問と回答を示す。

【設問1】 中性子と原子核の核反応に関する次の記述の、に入る語句又は数値の組合せとして正しいものはどれか。

中性子は単独では安定した粒子ではなく、 **a** を放出して陽子に変わる。中性子は電荷を持たないため、中性子が原子核と衝突して核反応を起こすときは、陽子が原子核と核反応を起こすときのような **b** がなく、エネルギーが非常に小さくても原子核の中に入って核反応が起こる。中性子は通常そのエネルギーによって3つの群に分けて取り扱われる。高速中性子は約 **c** 以上のもので、この領域の核反応断面積は一般に小さい。熱中性子は約1eV以下のエネルギーのもので、ウランのような重い原子核に対するこの領域の核反応断面積は中性子の **d** に反比例するものが多い。

	a	b	c	d
①	電子	クーロン障壁	500keV	速度
②	陽電子	トンネル効果	10keV	速度
③	電子	クーロン障壁	10keV	エネルギー
④	陽電子	トンネル効果	10keV	エネルギー
⑤	電子	トンネル効果	500keV	エネルギー

【解答と解説】

正解は①

- a 中性子は半減期約10分で電子とニュートリノと0.78MeVのγ線を放出し、陽子に変わる。
- b 荷電粒子同士の相互作用はクーロン力、中性子は電荷を持たないため、クーロン力による障壁、クーロン障壁がなく、原子核の中に入り込んで複合核を形成する。
- c 通常、0.5MeV (=500keV) 以上のエネルギーの中性子を高速中

性といます。

- d 重い原子核の熱中性子に対する断面積は1/vに比例、すなわち速度に反比例します。

【設問2】 次の記述の、に入る数式又は語句の組合せとして正しいものはどれか。

原子核が粒子を放出して他の原子核に変わることを壊変という。原子核が単位時間に壊変する確率は壊変定数であり、一般にλで表す。時刻t=0でN₀個あった原子核のうち、時刻tで壊変しないで残っている原子核の数はN(t)= **a** である。壊変しないでいる原子核の数が1/eとなる時間τは **b** と呼ばれる。λとτの関係は **c** で表される。また、原子核の数が半分になる時間T_{1/2}は半減期と呼ばれ、T_{1/2}= **d** で表される。

	a	b	c	d
①	N ₀ exp(-t/λ)	平均寿命	λ=0.693/τ	0.693τ
②	N ₀ exp(-λt)	壊変寿命	λ=1/τ	0.693λ
③	N ₀ λ/t	残存寿命	λ=0.693/τ	1/λ
④	N ₀ exp(-λt)	平均寿命	λ=1/τ	0.693τ
⑤	N ₀ exp(-t/λ)	壊変寿命	λ=0.693τ	1/λ

【解答と解説】

正解は④

- a 原子核が単位時間に崩壊する確率がλなので、これを式に表わすと

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t)$$

これより、N(0)=N₀として、N(t)=N₀ exp(-λt)

- c この核種の平均寿命を考える。時刻tにおいて崩壊しないで残っている数はN(t)であり1/eになる時間がτなので、 $N(t) = \frac{N_0}{e}$

$$\frac{N(t)}{N_0} = \exp(-\lambda t)$$

より、

$$\frac{N(\tau)}{N_0} = \frac{1}{e} = \exp(-\lambda \tau)$$

従って、λτ=1より、λ=1/τ

- d 半減期をT_{1/2}とすると

$$1/2 = \exp(-\lambda T_{1/2})$$

これより

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = 0.693\tau$$

【設問3】 低濃縮ウランを燃料とする原子炉において、中性子が発生してから次の核分裂を引き起こすまでの過程を四因子公式 ($k_{\infty} = \epsilon p f \eta$) で説明するとき、次の記述のうち誤っているものはどれか。

- ① 無限増倍率 (無限増倍係数) k_∞は原子炉の大きさを考慮していない。
- ② 高速中性子核分裂係数εはウラン238によるものが主である。
- ③ 高速中性子が衝突を繰り返して熱中性子になるまでに、主にウラ

ン238によって吸収されるものが出てくる。この共鳴吸収を逃れる確率が p である。

④ 熱中性子は燃料のほか被覆材や減速材にも吸収されるが、のうち燃料に吸収される割合が f である。

⑤ 燃料に吸収された中性子のうち、核分裂を起こす割合が η である。

【解答と解説】

正解は⑤

η は熱中性子 1 個が燃料に吸収されたときに放出される核分裂中性子の数の平均値である。

【設問 4】 原子炉における反応度に関する次の記述のうち、誤っているものはどれか。

① 反応度は $\rho = (k_{\text{eff}} - 1) / k_{\text{eff}}$ で定義される。 k_{eff} は実効増倍率（実効増倍係数）である。

② 出力が e 倍に上がる、又は $1/e$ に下がる時間を安定ペリオド（ペリオド）と呼ぶ。

③ 正の反応度が加わる場合、反応度が大きいほどペリオドは減少する。

④ どんなに大きい負の反応度が加わってもペリオドは約 80 秒よりも短くはならない。

⑤ 長さ方向に均質な制御棒を原子炉に挿入していくとき、挿入長さに比例した負の反応度が加わる。

【解答と解説】

正解は⑤

制御棒挿入による負の反応度添加量（制御棒積分値）は挿入長さには比例しない。

【設問 5】 使用済燃料プールで残留熱（崩壊熱）が 500kW 発生している。プールの水を熱交換器に送り、この熱をすべて熱交換器内の別の水で冷却するとき、熱交換器に必要な伝熱面積は次のうちどれか。

ただし、熱通過率（総括熱伝達係数）を $3,000 \text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$ 、2 つの水の平均の温度差（対数平均温度差）を 20°C とする。

① 10m^2 ② 15m^2 ③ 30m^2 ④ 60m^2 ⑤ 120m^2

【解答と解説】

正解は③

熱交換すべき単位時間当たりのエネルギーは 500kW であり、これは熱通過率に温度差と伝熱面積 A をかけたものに等しい。従って、 $500 = (3000 \times 20 \times A) / 3600 \text{(sec/hr)}$ より、 $A = 30 \text{m}^2$

【設問 6】 発電用原子炉の燃料の燃焼に伴う反応度変化に関する次の (a) ~ (e) の記述について、正しいものの組合せはどれか。

(a) プルトニウム 239 及びプルトニウム 241 の蓄積は負の反応度をもたらす。

(b) ウラン 235 の消費は負の反応度をもたらす。

(c) 原子炉の停止後、キセノン 135 の蓄積による負の反応度の絶対値は増加したのち減少する。

(d) 運転中に蓄積するサマリウム 149 による負の反応度の大きさは、出力（中性子束の値）に依存しない。

(e) 可燃性毒物は、炉心の初期の余剰反応度を上げるのに用いられる。

る。

① a, b, c

② a, b, e

③ b, c, d

④ b, d, e

⑤ c, d, e

【解答と解説】

正解は③

- (a) プルトニウム 239 及びプルトニウム 241 は核分裂性核種であり、蓄積すると正の反応度をもたらす。
- (b) 正しい。
- (c) 正しい。
- (d) 正しい。平衡サマリウム状態の ^{149}Sm の反応度は中性子束にはよらない。
- (e) 可燃性毒物は初期の余剰反応度をおさえるはたらきがある。したがって、正しいのは b, c, d

【設問 7】 円筒の上下に半球形の鏡部を持つ鋼製の圧力容器を設計する。鏡部の内径が 6m で、最高使用圧力が 10MPa であるとき、安全率を 2 として必要な最小限の鏡部の厚さは次のうちどれか。ただし、圧力容器は薄肉容器として考え、鋼の引張り強さを $500 \text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$ とせよ。

① 30mm ② 60mm ③ 90mm ④ 120mm ⑤ 150mm

【解答と解説】

正解は②

発生応力を σ 、内圧を p 、半径を R 、厚さを t 、引張強さを σ_u 、安全率を SF とすると、下式が成り立つ。

$$\sigma = \frac{pR}{2t} = \frac{\sigma_u}{SF}$$

したがって、最小厚さ t は以下で求められる。

$$t = \frac{pR \cdot SF}{2\sigma_u} = \frac{10 \cdot 3 \cdot 2}{2 \cdot 500} = 0.06$$

よって、最小厚さは 60mm。

【設問 8】 伝熱面から水への熱伝達に関する次の記述のうち、誤っているものはどれか。

① 伝熱面の温度が水の飽和温度よりも低いとき、自然対流による伝熱が起こる。これを対流熱伝達という。

② 伝熱面の温度が水の飽和温度を超えると沸騰が生じるが、水の温度が飽和温度よりも低い場合、気泡は伝熱面から離脱すると消滅する。これをバブル沸騰という。

③ 沸騰している状態では伝熱面の熱流束を上げていくと、伝熱面の温度のわずかな上昇によって伝熱面表面からの熱流束が急激に増加する範囲がある。これを核沸騰領域という。

④ 核沸騰の状態からさらに伝熱面の温度が上昇し続けると、熱流束が低下する現象が起こる範囲がある。これを遷移沸騰領域という。

⑤ 遷移沸騰領域を超えて伝熱面の温度がさらに上昇すると、伝熱面が薄い蒸気膜で覆われ、蒸気膜内の熱伝導で伝わる熱量により気液界面で蒸発が生じる。これを膜沸騰領域という。

【解答と解説】

正解は②

- ①、③、④、⑤：記載内容は正しい。
 ②：水の温度が飽和温度よりも低い場合、気泡が伝熱面から離脱すると消滅するのはサブクール沸騰という。

【設問9】 濃縮工場では、天然ウランを濃縮ウランと劣化ウランに分離する。工場全体の物質収支は、次の2つの式で表すことができる。

- ・ウラン全体量の収支平衡 $F = P + W$
- ・ウラン235の収支平衡 $f \times F = e \times P + d \times W$

ここで、記号の意味は、

- F ：天然ウラン供給量（トン）
- P ：濃縮ウラン製品量（トン）
- W ：劣化ウラン発生量（トン）
- f ：天然ウラン中のウラン235の存在比
- e ：製品ウラン濃縮度
- d ：劣化ウラン中のウラン235の含有率

である。

濃縮度3.5%のウラン製品1トンを得るために必要な天然ウランの重量として、次のうち最も近いのはどれか。ただし、劣化ウランのウラン235含有率を0.25%とする。

- ① 2トン ② 4トン ③ 7トン ④ 10トン ⑤ 15トン

【解答と解説】

正解は③

天然ウラン中のウラン235の存在比は0.71%であるので、物質収支式は以下のとおりPとWの連立方程式となる。

$$F = 1 + W$$

$$0.0071F = 0.035 + 0.0025W$$

これをFについて解けば、 $F = 7.07$ （トン）となる。

【設問10】 我が国の発電用軽水炉の燃料設計及び燃料製造に関する次の記述のうち、正しいものはどれか。

- ① 燃料ペレットは、細かい燃料の粉末を成形し、次に研削して寸法と形状を整え、最後に高温で焼結して製造される。
- ② 燃料が原子炉の中で発熱する際には、燃料ペレットの中心の温度が高くなるので、中心孔を設けた中空の燃料ペレットにしている。
- ③ 燃料ペレットの密度は、核分裂反応により発生するガスを燃料ペレットの中に保持することができるように、理論密度の約80%としている。
- ④ 燃料被覆管の内部には、燃料ペレットと被覆管の間の熱伝達をよくするために、熱伝導率の大きいアルゴンを充填している。
- ⑤ MOX燃料の製造においては、燃料ペレットを被覆管に挿入する作業はグローブボックスの中で行われる。

【解答と解説】

正解は⑤

- ① 誤り。研削後に焼結するのではなく、焼結後に研削する。
- ② 誤り。我が国の発電用軽水炉の燃料では、中心には孔を開けていない。
- ③ 誤り。軽水炉に使用される燃料ペレットの密度は、通常、理論密度の95～97%である。
- ④ アルゴンガスではなく、ヘリウムガスを充填している。
- ⑤ 正しい。

【設問11】 炉心にウラン235が3トン装荷されている大型の軽水炉（熱出力：330万kW）において、平均熱中性子束 $[\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$ の値として最も近いものは次のうちどれか。

ただし、熱出力に寄与するのは、熱中性子によるウラン235の核分裂のみとする。また、アボガドロ数は $6.0 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$ 、ウラン235の熱中性子核分裂断面積は580b、 $1\text{b} = 1 \times 10^{-24} \text{cm}^2$ 、1個の核分裂によって有効に取り出せるエネルギーは190MeV、 $1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{J}$ とする。

- ① 8.3×10^{12} ② 2.4×10^{13} ③ 5.6×10^{13}
 ④ 2.7×10^{14} ⑤ 6.4×10^{14}

【解答と解説】

正解は②

原子炉の出力は核分裂反応の総数×1核分裂あたりの放出エネルギーであるので

$$\text{原子炉出力} = \text{原子個数} \times \text{微視的断面積} \times \text{熱中性子束} \times \text{1核分裂あたりの放出エネルギー}$$

中性子束を ϕ とおくと

$$330 \times 10^7 = (3 \times 10^6) / 235 \times 6.0 \times 10^{23} \times 580 \times 10^{-24} \times \phi \times 190 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}$$

これより

$$\phi = 2.4 \times 10^{13}$$

【設問12】 我が国の原子力発電所の放射性廃棄物の処理・処分にに関する次の記述のうち、誤っているものはどれか

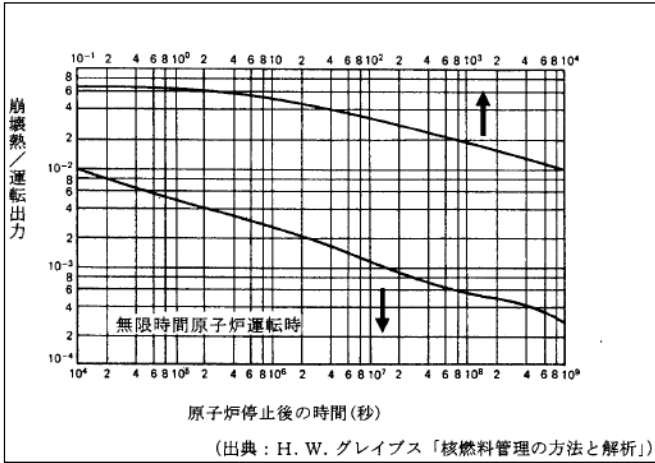
- ① 運転に伴い発生する低レベルの放射性固体廃棄物の一部は、既に埋設処分が行われている。
- ② 運転に伴い発生する放射性固体廃棄物のうち、極低レベル廃棄物はモニタリングすることを条件にして海洋投棄が許されている。
- ③ 運転に伴い発生する放射性気体廃棄物のうち、希ガスは放射能を減衰させて規制値以下であることを確認した後、大気中に放出される。
- ④ 運転に伴い発生する放射性液体廃棄物のうち、放射能濃度が規制値以下のものは海水中に放出することが許されている。
- ⑤ 廃止措置等で発生した放射性固体廃棄物に対しては、クリアランスレベルが設定されており、このレベル以下であることが確認されたものの一部は既に再利用がなされている。

【解答と解説】

正解は②

②誤り。1993年にはすべての放射性廃棄物の海洋投棄を禁止するようにロンドン条約が改正され、現在、諸外国でも実施されていない。

【設問13】 研究用原子炉が、熱出力50kWで5.6時間運転した後に停止した。原子炉停止後40秒における崩壊熱による出力の値として、最も近いものは次のうちどれか。この研究用原子炉が、無限時間運転して停止した場合の運転出力に対する崩壊熱の比（崩壊熱/運転出力）を下図に示す。



(出典：H. W. グレイブス「核燃料管理の方法と解析」)

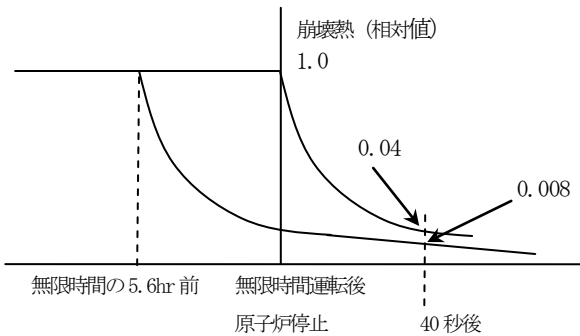
- ① 1,000W ② 1,200W ③ 1,600W ④ 2,000W ⑤ 2,200W

【解答と解説】

正解は③

問題のグラフより、無限時間運転した原子炉の停止後 40 秒後の崩壊熱 (相対値) は 0.04、20,000 秒後の崩壊熱 (相対値) は 0.008 と読み取れる。

一方、下図より、無限時間運転後の停止後 40 秒の崩壊熱から、無限時間 5.6 時間前に停止し、停止後「5.6 時間+40 秒 (=約 20,000 秒)」の崩壊熱を引き去れば、5.6 時間照射後 40 秒での崩壊熱が得られる。



これより、5.6 時間運転した原子炉の停止後 40 秒後の崩壊熱 (相対値) は $0.04 - 0.008 = 0.032$ であり、

よって、求める崩壊熱は、

$$50 \times 10^3 \times 0.032 = 1600 \text{ (W)}$$

【設問 14】 日本の原子力関連法規に関する次の記述のうち、正しいものはどれか。

- ① 原子力発電所の建設地点の選定に当たっては、発電所の建設が周辺の産業や住民の生活に及ぼす影響なども含めて幅広い観点から安全審査が行われるため、「環境影響評価法」に基づく環境影響評価は免除される。
- ② 実用船用原子炉を設置しようとする者は経済産業大臣、試験研究の用に供する原子炉を設置しようとする者は文部科学大臣の許可を受けなければならない。
- ③ 原子力発電所を設置・運転する電力会社は、当該原子力発電所を立地する地方自治体との間で、原子力発電所の安全確保に関する協定 (いわゆる原子力安全協定) を締結することが、法律により定められている。
- ④ 原子炉設置者は、保安規定を定め、原子炉の運転開始前に国 (主務大臣) の認可を受けなければならない。これを変更しようと

- する場合も同様である。
- ⑤ 原子炉設置者は、原子炉の運転に関して保安の監督を行わせるために原子炉主任技術者を選任したことを、国 (主務大臣) に届け出る必要はない。

【解答と解説】

正解は④

① 誤り。電気事業者は原子力発電所の立地点を選定し、環境影響評価方法書等の書類を経済産業省に提出して環境審査を受ける。その後、「重要な電源開発に係る地点の指定」に組み入れられたことを受けて安全審査が行われる。

② 誤り。実用船用原子炉を設置しようとする者は国土交通大臣、試験研究の用に供する原子炉を設置しようとする者は文部科学大臣の認可を受けなければならない (「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」の第二十三条)。

③ 誤り。原子力安全協定の締結に関する法的な義務はない。

④ 正しい。

⑤ 誤り。「原子炉主任技術者を選任したときは、選任した日から三十日以内に、その旨を主務大臣に届け出なければならない。これを解任したときも、同様とする (核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律) の第四十条の 2)。」

【設問 15】 中性子による ^{235}U の核分裂に関する次の記述のうち、正しいものはどれか。

- ① 熱中性子による ^{235}U の核分裂では、質量数が 110~125 の核分裂生成物が最も多く生成する。
- ② 熱中性子による ^{235}U の核分裂生成物は、 β 壊変するものが多い。
- ③ 熱外中性子による ^{235}U の核分裂では、わずかであるが共鳴反応によって Am 及び Cm が生成する。
- ④ 高速中性子による ^{235}U の核分裂生成物は、 α 壊変するものが多い。
- ⑤ 冷たい中性子 (cold neutron) による ^{235}U の核分裂では、中性子の運動量が非常に小さいため、質量数が 118 の核分裂生成物が最も多く生成する。

【解答と解説】

正解は②

① 誤り。 ^{235}U の核分裂に伴う核分裂生成物の発生割合を下図に示すが、対称な核分裂 (^{235}U はほぼ半分に分裂する)、すなわち、110~125 の質量数を持つ核分裂生成物の生成割合は低く、90~100 及び 130~150 の質量数を持つ核分裂生成物の割合が多い。この傾向は、他の核種の核分裂でも同じである。

② 正しい。核分裂生成物は、中性子過多の核種が多く、1 個もしくはそれ以上の β^- 線を放出して、中性子を陽子に変えることで安定するものが多い (この傾向は核図表²⁾ などでも確認できる)。

③ 誤り。Am は Pu の中性子捕獲の後 β^- 崩壊により生成され、Cm は Am から生成されるため、Am、Cm ともに ^{235}U から直接生成されない。

④ 誤り。高速中性子による核分裂でも、② の回答と同じく、核分裂生成物は主に β^- 崩壊を起こす。

⑤ 誤り。中性子が低くなれば、逆に 110~120 の質量数を持つ核分裂生成物の発生割合は低くなる (下図の核分裂生成物収率曲線の谷間が深くなる)。

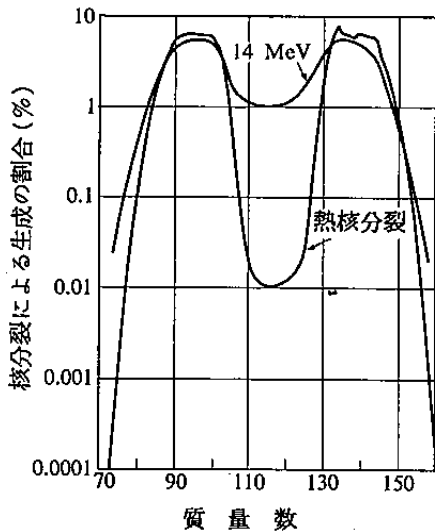


図 ^{235}U の核分裂に伴う核分裂生成物の発生割合¹⁾

参考文献

- 1) ラマーシュ著「原子炉の初等理論」上巻 p. 131、吉岡書店
- 2) JAEA 核データ評価研究グループのHP から核図表を閲覧できる
http://www.ndc.jaea.go.jp/index_J.html

【設問 16】 質量数が 131 の原子核から 364KeV の γ 線が放出される際に、その反動として原子核が受け取るエネルギー(反跳エネルギー)に最も近いものは次のうちどれか。ただし、1u(原子質量単位)に対応するエネルギーを 931.5MeV とする。

- ①0.05eV ②0.5eV ③5eV ④50eV ⑤500eV

【解答と解説】

正解は②

運動量保存の法則から、 γ 線放出後の原子核の運動量と γ 線の運動量の絶対値は等しい(方向は反対向き)。よって、 γ 線のエネルギーを E_γ 、光速を c 、 γ 線放出後の原子核の速度を v 、原子核の質量数を m とすると、 $\frac{E_\gamma}{c} = Mv$ となる。よって、反跳エネルギーは、

$$\frac{1}{2} Mv^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{E_\gamma^2}{Mc^2} \text{ となり、}$$

$$Mc^2 = 131 \times 931.5 \text{ MeV} = 122026.5 \text{ MeV} \text{ から } \frac{1}{2} Mv^2 = 0.54 \text{ eV}$$

となる。

【設問 17】 放射性核種に関する次の記述のうち、正しいものはどれか。

- ① ^{14}C は、半減期約 5,700 年で β^- 壊変し、 ^{14}N になる。
- ② ^{90}Sr は、半減期約 29 年で β^+ 壊変し、 ^{90}Y になる。
- ③ ^{131}I は、半減期約 8 日で β^+ 壊変し、 ^{131}Te になる。
- ④ ^{134}Cs は、半減期約 30 年で β^- 壊変し、 ^{134}Ba になる。
- ⑤ ^{220}Rn は、半減期約 3.8 日で α 壊変し、 ^{216}Po になる。

【解答と解説】

正解は①

- ① 正しい。
- ② ^{90}Sr は、 β^- 壊変し、 ^{90}Y になる。
- ③ ^{131}I は、 β^- 壊変し、 ^{131}Xe になる。
- ④ ^{134}Cs の半減期は約 2 年。
- ⑤ ^{220}Rn の半減期は約 55 秒。

【設問 18】 空気等価壁で作られた有効体積 1 リットルの空洞空気電離箱を γ 線照射場に置いたところ、 1.6×10^{-10} A の電離電流が測定された。この γ 線照射場の空気吸収線量率 [$\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$] に最も近い数値は次のうちどれか。ただし、空気の密度を $1.2 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、空気の W 値 (1 個のイオン対を生成するのに費やされる平均エネルギー) を 34eV、1eV を $1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ とする。

- ①0.016 ②0.16 ③1.6 ④16 ⑤160

【解答と解説】

正解は①

1.6×10^{-10} A の電離電流に相当するイオン対の生成率 N (1/s)、1 リットルの空気の質量 G (kg) はそれぞれ、

$$N = \frac{1.6 \times 10^{-10}}{1.6 \times 10^{-19}} = 1.0 \times 10^9 \text{ (1/s)}$$

$$G = 1000 \times 1.2 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^{-3} = 1.2 \times 10^{-3} \text{ (kg)}$$

となる。

空気吸収線量率 [$\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$] は、空気 1 kg の吸収線量率であるので、これを D とすると、

$$D = \frac{N \times 34 \times 1.6 \times 10^{-19}}{G} \times 3600 = 0.016$$

と計算できる。

【設問 19】 ある試料の放射能を GM 計数管で測定している。現在まで、30 分間の測定で 2,499 の計数値を得ている。この計数測定において相対標準偏差を 1% にするためには、さらにどれほどの測定時間が必要か。最も近い測定時間を次の中から選べ。ただし、GM 計数管の分解時間を 1.0×10^{-4} s とし、バックグラウンド計数及び試料の放射能の減衰は無視できるとする。

- ①10 分 ②30 分 ③90 分 ④270 分 ⑤810 分

【解答と解説】

正解は③

計数値 N 、標準偏差 σ とすると、相対標準偏差は、

$$\frac{\sigma}{N} = \frac{\sqrt{N}}{N} = \frac{1}{\sqrt{N}}$$

と表すことができる。これを 1% とするために必要な計数値は、

$$\frac{1}{\sqrt{N}} = 0.01$$

$$N = 10,000$$

と計算できる。30 分間の計数値が 2,499 であるので、これを 10,000 とするには、さらに約 90 分必要となる。

なお、分解時間は第 1 の放射線計測後に電界が回復し第 2 の放射線が計測できるようになるまでの時間であり、この間の数え落としの影響については、計数率 n (cps) の逆数と比較して十分小さいことから無視することができる。

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{2499/(30 \times 60)} = 0.72 \gg 1.0 \times 10^{-4}$$

【設問 20】 サーベイメータに関する次の記述のうち、正しいものはどれか。

- ① 端窓型 GM 計数管式サーベイメータで β 線放出核種に対する汚染検査を行う時には、金属キャップを取り付ける。
- ② 電離箱式サーベイメータは、GM 計数管式サーベイメータより

γ 線に対するエネルギー依存性が小さい。

- ③ NaI (Tl) シンチレーション式サーベイメータは、10keV 程度の低エネルギーX線に対しても十分に高い感度を有している。
- ④ 中性子用のサーベイメータ (レムカウンタ) は検出器に中性子電離箱が用いられ、 γ 線線量率の高い場所でも問題なく使用できる。
- ⑤ プラスチックシンチレーション式サーベイメータは、主に α 線用に用いられる。

【解答と解説】

正解は②

- ① β 線は金属で遮蔽されるため金属キャップは取り外す必要がある。
- ② 正しい。
- ③ NaI (Tl) シンチレーション式サーベイメータは 50keV 以下の γ 線(X線)の感度は低い。
- ④ 一般にレムカウンタの検出器はBF₃、He₃、シンチレーション検出器である。また、レムカウンタは γ 線にも感度を有しており、 γ 線線量率の高い場所では問題が生じる。
- ⑤ プラスチックシンチレーション式サーベイメータは、 β 線計測に用いられる。

【設問 21】 外部被ばくによる実効線量及び等価線量の算定に関する次の記述のうち、放射線障害防止法上、正しいものはどれか。

- ① 実効線量は1センチメートル線量当量又は70 マイクロメートル線量当量の大きい方とする。
- ② 皮膚の等価線量は、70 マイクロメートル線量当量とする。
- ③ 眼の水晶体の等価線量は、1 ミリメートル線量当量とする。
- ④ 妊娠中である女子の腹部表面の等価線量は、70 マイクロメートル線量当量とする。
- ⑤ 手先及び足先の等価線量は、3 ミリメートル線量当量とする。

【解答と解説】

正解は②

- ① 実効線量は1センチメートル線量当量で算定される。
- ② 正しい。
- ③ 眼の水晶体の等価線量は1センチメートル線量当量又は70 マイクロメートル線量当量のうち、適切な方とすることとされている。(放射線を放出する同意元素の数量等を定める件 (H12.10.23 科技庁告示第5号) の第20条2項二号に記載あり)
- ④ 妊娠中である女子の腹部表面の等価線量は、1センチメートル線量当量で算定される。
- ⑤ 手先及び足先の等価線量は、70 マイクロメートル線量当量で算定される。

【設問 22】 次の量と国際単位系 (SI) で表した単位の組合せのうち正しいものはどれか。

- ① 線減弱係数 — $m^2 \cdot kg^{-1}$
- ② 線エネルギー付与 — $m^4 \cdot s^{-2}$
- ③ 放射線加重(荷重)係数 — kg^{-1}
- ④ 空気カーマ — $m^2 \cdot s^{-2}$
- ⑤ 電子ボルト — $kg \cdot m \cdot s^{-2}$

【解答と解説】

正解は④

- ① 線減弱係数は、 γ 線などが物質中を通過する際に減衰する割合を示す係数であり、単位は m^{-1} となる。
- ② 線エネルギー付与は、荷電粒子の飛跡に沿って単位長さ当りに局所的に与えられるエネルギー量であり、単位は $J/m = kg \cdot m \cdot s^{-2}$ となる。
- ③ 放射線加重(荷重)係数は、器官・組織の吸収線量から等価線量を算出するために用いる器官・組織のミクロ的にみたエネルギー吸収の仕方による障害の起こし易さの係数である。したがって、単位はない。
- ④ 空気カーマは、X線等の非荷電粒子によって空気の単位質量あたりから放出される電子等の荷電粒子の初期エネルギーの総和として定義されるもので、単位は $Gy = J/kg = m^2 \cdot s^{-2}$ となる
- ⑤ 電子ボルトは、電子が1Vの電位差で得るエネルギーであり、単位は $J = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$ となる。

【設問 23】 物理学的半減期が12日、生物学的半減期が24日の放射性核種を1.0MBq 誤って飲み込んでしまった場合、12日後に体内に残留する放射能として最も近い値は次のうちどれか。

- ①180kBq ②250kBq ③350kBq ④500kBq ⑤700kBq

【解答と解説】

正解は③。

放射性物質の体内量の減少は、(1)放射性崩壊による物理的減衰と(2)排泄機構による生物学的減少の2つに支配される。この両者による放射性物質の体内量の減少をあわせて表したものを有効半減期 T_{eff} といわれ、物理学的半減期 T_a 及び生物学的半減期 T_b との関係は次式で表される。¹⁾

$$1/T_{eff} = 1/T_a + 1/T_b$$

故に、 $T_a=12$ 、 $T_b=24$ とおけば、 $T_{eff}=1/12+1/24=3/24=1/8$ より有効半減期は8日となる。

1.0MBqの放射線核種は8日後には④の500kBqに、16日後には②の250kBqに減衰する。従って、12日後には両者の間の数値となり、その候補は③ひとつしかないので③350kBqが正解である。

また、別の方法として、半減期 $X_{1/2}$ の放射線核種の x 日後の減衰比 I/I_0 は次式で表される。この関係から直接、12日後の減衰を求めることができる。

$$I/I_0 = \exp(-\mu x)$$

ただし、 $\mu = \ln 2 / X_{1/2}$ である。

$$I/I_0 = \exp(-\mu x) = \exp(-1.5 \ln 2) = \exp(\ln 2^{-1.5}) = 2^{-1.5} = 1/2^{1.5} = 1/(2 \times 1.414) = 0.3536$$

となる。

減衰した放射能は、354kBqであり、③が最も近い。

参考文献

- 1)放射線概論(第1種放射線試験受験用テキスト)、通商産業研究社、飯田博美編

【設問 24】 1PBq (1×10^{15} Bq) の密封された⁶⁰Co線源が空気中に置かれている場合、線源から4km離れた位置での実効線量率 [$\mu Sv \cdot h^{-1}$] として最も近いものは次のうちどれか。ただし、高度による空気の密度の変化や地面の影響は無視する。⁶⁰Coの実効線量率定数は $0.31 \mu Sv \cdot h^{-1} MBq^{-1} \cdot m^2$ 、⁶⁰Coに対する空気の半

価層に密度を乗じた値は $12\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 、空気の密度は $1.2\times 10^{-3}\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ とする。また、 2^{10} はおおよそ 10^3 である。

- ① 2×10^{-11} ② 2×10^{-8} ③ 2×10^{-5} ④ 2×10^{-2} ⑤ 2×10^1

【解答と解説】

正解は①。

空気の半価層は、次式で求まる。¹⁾

$$12[\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}]/1.2\times 10^{-3}[\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}] = 10^4[\text{cm}] = 100[\text{m}]$$

よって、半価層を用いると、4km離れた位置での減衰は、 $4000[\text{m}]/100[\text{m}] = 40$ より、 $2^{10}\approx 10^3$ として、 $(1/2)^{40}$ 倍 = $(1/10)^{12}$ 倍となる。

4km離れた位置での実効線量率は、次式で表される。

$$1\times 10^9[\text{MBq}]\times 0.31[\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}\text{MBq}^{-1}\cdot\text{m}^2]/(4000[\text{m}])^2/10^{12} = 1.938\times 10^{-11}[\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}]$$

従って、実効線量率は①が最も近い。

参考文献

- 1)放射線概論(第1種放射線試験受験用テキスト)、通商産業研究社、飯田博美編

【設問25】放射線利用機器と使用する密封放射線源の例を示した

(a)～(d)について、正しい組合せはどれか。

- (a) 厚さ計(鉄鋼用) — ^{55}Fe
 (b) 硫黄計 — ^{137}Cs
 (c) 非破壊検査装置 — ^{192}Ir
 (d) 水分計 — ^{252}Cf

- ① aのみ ② cのみ ③ b, d ④ c, d ⑤ a, b, d

【解答と解説】

正解は④。^{1), 2)}

- (a) 誤り。鉄鋼用厚さ計の例としては、赤熱した圧延中の厚板(4.5～100mm厚さ)に対し、 $1.11\text{TBq}(30\text{Ci})$ の ^{137}Cs の γ 線を利用する。また、8mm厚さ以下の冷延工程の鋼板に対し、 ^{241}Am のX線及び γ 線を利用して厚さを測定する。
 (b) 誤り。大気汚染問題に対処するため、重油などの燃料油の硫黄分の濃度を ^{241}Am や ^{55}Fe のX線及び γ 線を利用して測定する。
 (c) 正しい。非破壊検査には、 ^{192}Ir 及び ^{60}Co の γ 線源が用いられる。
 (d) 正しい。中性子の散乱における減速及び透過減衰の割合は水素の場合、他の元素に比し著しく大きいので、減速されて生じる熱中性子の数の測定あるいは高速中性子の透過率の測定によって物質中の水素または水分量を知ることができる。製鉄所において溶鉱炉へ装入するコークス及び焼ホッパの壁面あるいは挿入孔で ^{252}Cf の中性子源が水分計として用いられている。

参考文献:

- 1)ATOMICA、「RIの工業計測用の厚さ計、密度計、水位計などへの利用統計(08-04-02-06)」
 2)放射線概論(第1種放射線試験受験用テキスト)、通商産業研究社、飯田博美編

【設問26】放射線滅菌や食品照射には高エネルギー密封 γ 線源が使われる。 $100\text{PBq}(1.0\times 10^{17}\text{Bq})$ の ^{60}Co 線源の発熱量として最も

近い値は次のうちどれか。ただし、 ^{60}Co の1変換当たり発生するエネルギーは2.6MeVとし、1eVは $1.6\times 10^{-19}\text{J}$ とする。

- ① 160mW ② 16W ③ 420W ④ 42kW ⑤ 160kW

【解答と解説】

正解は④。

発熱量は次式で表される。

$$1.0\times 10^{17}\times 2.6\text{MeV}\times 1.6\times 10^{-19}\text{J}/10^{-6}\text{MeV} = 4.16\times 10^4\text{W} = 41.6\text{kW}$$

^{60}Co 線源の発熱量は④が最も近い。

【設問27】短時間の γ 線全身被ばくによって生じるヒトの確定的影響について、正しいものは次のうちどれか。

- ① リンパ球の減少が現れるのは、おおよそ0.1Gyである。
 ② 白内障が現れるのは、おおよそ0.2Gyである。
 ③ 皮膚に紅斑が現れるのは、おおよそ0.5Gyである。
 ④ 脱毛が現れるのは、おおよそ1Gyである。
 ⑤ ほとんどのヒトは7Gyの被ばくによって死亡する。

【解答と解説】

正解は⑤。

確定的影響には、しきい線量がある。しきい線量は影響が現れる最低の線量をいうが、放射線防護上は被ばくを受けた人の1～5%に影響が現れる線量としている。

- ① 誤り。リンパ球の減少が現れるのは、0.25Gy以上。
 ② 誤り。白内障が現れるのは、2.5Gy以上の1回照射または10Gy以上の分割照射。
 ③ 誤り。皮膚の紅斑は3～6Gy。
 ④ 誤り。脱毛は3Gy以上。
 ⑤ 正しい。ヒトが死亡するのは7～10Gy。

参考文献

- 1)放射線概論(第1種放射線試験受験用テキスト)、通商産業研究社、飯田博美編

【設問28】内部被ばくに関する次の記述のうち、正しいものはどれか。

- ① 同じ放射線の放射性物質を経口摂取した時の実効線量は、核種だけに依存し化学形によらない。
 ② 放射性物質の体内への取り込み経路は、経口摂取と吸入だけである。
 ③ 体内に摂取された ^{90}Sr は筋肉に集まる。
 ④ 内部被ばくでは放射性物質から放出される γ 線は体外に逃れてしまうため、 γ 線による被ばくの寄与は考慮されていない。
 ⑤ 成人に対する預託実効線量とは、放射性物質を摂取した時から50年間にわたる実効線量の積算値である。

【解答と解説】

正解は⑤。

- ① 誤り。実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則の規定に基づく線量限度等を定める件」(H13.3.21 経産省告示第187号)別表第2に示すように、同核種においても化学形が異なれば実効線量は異なる場合がある。これは、化学形によって、摂取後の体内での挙動(組織等への取り込まれ方)や代謝が異なるからである。

- ② 誤り。経路は経口摂取、吸入及び経皮侵入である。傷のない正常な皮膚は大部分の放射性物質に対して障壁として働くが、皮膚に傷がある場合は侵入しやすくなる。
- ③ 誤り。⁹⁰Srは骨に沈着する。
- ④ 誤り。内部被ばくでは、α線、β線は飛程が短いことから放射線のエネルギーすべてが体内で吸収される。このため、体外被ばくの場合に比べ、α線放出核種及びβ線放出核種の重要性が高いといわれている。しかし、被ばく量評価においては、γ線も評価されている。
- ⑤ 正しい。預託実効線量とは、放射性物質を摂取した時から成人に対して50年、子供に対しては70歳までの期間の実効線量の積算値をいう。

参考文献

- 1) 放射線概論(第1種放射線試験受験用テキスト)、通商産業研究社、飯田博美編

【設問 29】 日本にある原子力発電の総設備容量は、4,884.7万kW(2010年12月末現在)である。この原子力発電の設備に関する次の記述のうち、正しいものはどれか。

- ① 日本にある火力発電の総設備容量よりも大きい。
- ② 沸騰水型軽水炉(BWR)の総設備容量は、加圧水型軽水炉(PWR)のそれよりも大きい。
- ③ フランスにある原子力発電の総設備容量よりも大きい。
- ④ この総設備容量の出力を人間の力に置き換えると、大人で10億人以上になる。ただし、1馬力(1PS=0.735kW)の力を出すのに必要な大人の数は10人とする。
- ⑤ 夏場(7月から9月)は半分以上の設備が、電力需要の変動に合わせて出力を調整する運転をしている。

【解答と解説】

正解は②。

- ① 誤り。日本にある火力発電総設備容量は、14,626万kW(2009年12月末現在:資源エネルギー庁ホームページより)である。
- ② 正しい。BWRは2,857万kW、PWRは1,937万kW。(2009年3月末現在:経済産業省ホームページより)
- ③ 誤り。フランスの原子力発電総設備容量は6,613万kW。(2005年10月11日:原子力委員会、原子力政策大綱より)
- ④ 誤り。 $(4884.7 \times 10^4 / 0.735) \times 10 = 6.6 \times 10^8$ = 約7億人。
- ⑤ 誤り。原子力発電設備は原則、出力調整運転を行わない。火力及び水力発電設備を用いて、電力需要の変動に合わせて出力調整運転を行う。

【設問 30】 電力送電と電力系統に関する次の記述のうち、誤っているものはどれか。

- ① 送電線による熱損失は電流の2乗に比例するため、電圧を2倍にすれば理論的にみた送電損失は4分の1になる。
- ② 交流の利点は、変圧器によって電圧を自由に変えられることである。変圧器の原理は、ファラデーの電磁誘導理論によるもので、コイルの巻線比を変えるだけで電圧を変化させることができる。
- ③ 日本では原子力発電所で発電された電気は、最初に超高圧送電所に送られ、その後、一次変電所、二次変電所、配電変電所を経て

電圧を逐次下げることで需要家に送られている。

- ④ 電力需要を予測して発電所の最も経済的な運用計画を立て、各発電所に対して日負荷曲線に対応した適切な出力を指令する役割は、中央給電指令所で行われている。
- ⑤ 日本には東日本の50Hz系統と西日本の60Hz系統がある。両系統の電力は、周波数変換所によって量的に制限なく相互に送れるように連系されている。

【解答と解説】

正解は⑤。

現在の変換容量は100万kW。今年の東日本大震災において、東北地方の発電所が地震により損傷したため、西日本から電力供給ができないか検討されたが、周波数変換所の容量制限があるため十分な電力供給ができなかった。¹⁾

参考資料

- 1) 平成23年4月1日中日新聞ウェブサイト
http://www.chunichi.co.jp/article/shizuoka/shizu_area/shizu_earthquake/list/2011/CK2011040102000134.html

【設問 31】 原子力発電プラント(軽水炉)は、ランキンサイクルと呼ばれる熱サイクルで構成されている熱機関である。軽水炉の熱サイクルに関する次の記述のうち、正しいものはどれか。

- ① ランキンサイクルは、2つの等温変化と2つの断熱変化によって構成されている。
- ② ランキンサイクルは閉サイクルであり、その作動媒体は常に水蒸気の状態である。
- ③ 蒸気タービンの入口温度が高いほど熱効率は高くなり、入口温度は600℃以上になっている。
- ④ 気水(湿分)分離器は、原子炉の熱で発生する水蒸気に含まれる水分を、蒸気タービンに注入する前に除去する装置である。
- ⑤ 復水器の圧力を低くする(真空度を良くする)と、熱効率が低下する。

【解答と解説】

正解は④。¹⁾

- ① 誤り。ランキンサイクルには、ヒータによる水の飽和温度までの加熱過程があるため、等温変化と断熱変化だけで構成されない。
- ② 誤り。ランキンサイクルには、蒸気が復水器で冷却される過程がある。
- ③ 誤り。ランキンサイクルの熱効率は、蒸気温度と圧力が高いほど、また復水器の圧力が低いほど大きくなるが、軽水炉での蒸気タービン入口温度は、約270~280℃であり、600℃以上にはならない。
- ④ 正しい。
- ⑤ 誤り。③の記載参照。

参考資料

- 1) 日本機械学会機械実用便覧改訂第6版p595及びp649等。

【設問 32】 日本における電源の運用について、次のうち、発電量が最も小さいものはどれか。

- ① 発電効率が40%の石炭火力発電で発電したとき100万トンの石炭が使われた。ただし、石炭の発熱量は26,000kJ・kg⁻¹とする。
- ② 発電効率が55%のLNG複合発電で発電したとき50万トンのLNG

http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=01-07-05-08
<http://www.asahi.com/international/update/1005/TKY201110050105.html> 等。

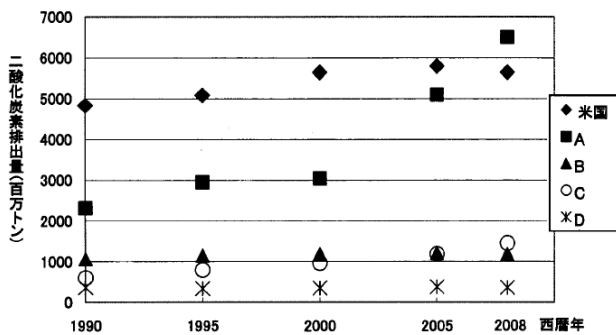
が使われた。ただし、LNGの発熱量は $54,400\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ とする。
 ③ 発電効率が33%の軽水炉で発電したとき1トンのウラン235が核分裂に使われた。ただし、ウラン235の原子1個の核分裂によって有効に取り出せるエネルギーを190MeVとし、1MeVは $1.6\times 10^{13}\text{J}$ とする。また、アボガドロ数を $6.0\times 10^{23}\text{mol}^{-1}$ とする。
 ④ 1MWの風力発電1,000基を設置したら、平均設備利用率が15%で1年間稼働した。
 ⑤ 4kWの太陽光発電を10万軒の家庭の屋根に設置したら、平均設備利用率が12%で1年間稼働した。

【解答と解説】

正解は⑤。

- ① $26000\text{kJ/kg}\times 10^6\text{ton}\times 10^3\text{kg/ton}\times 0.4=1.0\times 10^{13}\text{kJ}$
- ② $54400\text{kJ/kg}\times 5\times 10^5\text{ton}\times 10^3\text{kg/ton}\times 0.55=1.5\times 10^{13}\text{kJ}$
- ③ $1\text{ton}\times 10^6\text{g/ton}/(235\text{g/mol})\times 6\times 10^{23}/\text{mol}\times 190\text{MeV}\times 1.6\times 10^{-13}\text{J/MeV}\times 0.33=2.6\times 10^{16}\text{kJ}$
- ④ $1000\text{基}\times 1\text{MW}\times 10^3\text{kW/MW}\times (365\times 24\times 3600)\text{s}\times 0.15=4.73\times 10^{12}\text{kJ}$
- ⑤ $10^5\text{軒}\times 4\text{kW}\times (365\times 24\times 3600)\text{s}\times 0.12=1.5\times 10^{12}\text{kJ}$

【設問33】 下図は、1990年から2008年までの二酸化炭素排出量の推移を国別に示したものである。この図におけるA, B, C, Dの国の正しい組合せは次のうちどれか。



(出典：日本エネルギー経済研究所「エネルギー・経済統計要覧2011」より作成)

- | | A | B | C | D |
|---|------|------|-----|------|
| ① | 中国 | 日本 | インド | フランス |
| ② | 中国 | フランス | インド | 日本 |
| ③ | フランス | 中国 | 日本 | インド |
| ④ | インド | 日本 | 中国 | フランス |
| ⑤ | インド | フランス | 中国 | 日本 |

【解答と解説】

正解は①。

中国は、近年の経済成長で急激にCO₂排出量が増加しており、A、B、CおよびDは10億トン前後かそれ以下のグループにあるが、フランスは発電量の80%近くが原子力のため、もっともCO₂排出量が少なく、D。この組み合わせから①が選択できる。¹⁾

参考資料

- 1) 原子力百科事典 ATOMICA

【設問34】 次の記述の、に入る語句の組合せとして正しいものを選べ。

JCO事故をきっかけに、原子力災害対策の抜本的な強化を図るために制定された「原子力災害対策特別措置法(原災法)では、aに、原子力事業所ごとに、原子力防災組織の設置や原子力防災管理者の配置を求めるとともに、災害が発生した際には、bを本部長とする原子力災害対策本部の設置を求めている。

また、「原子力損害の賠償に関する法律」(原賠法)は、被害者の保護とcを目的として、原子力損害賠償制度の全般的な枠組みを定めたものであり、事業者の賠償責任の限度額はd。

	a	b	c	d
①	地方自治体	内閣総理大臣	被災地の復旧	定められていない
②	地方自治体	主務大臣	原子力事業の健全な発達	1,200億円である
③	地方自治体	内閣総理大臣	被災地の復旧	1,200億円である
④	原子力事業者	内閣総理大臣	原子力事業の健全な発達	定められていない
⑤	原子力事業者	主務大臣	被災地の復旧	定められていない

【解答と解説】

正解は④。

aは原災法第八条および第九条に記載。bは同法第十六条に記載。cは原賠法第一条に記載。dについては、規定がない。¹⁾

参考資料

- 1) 原子力災害対策措置法

<http://www.bousai.go.jp/jishin/law/002-1.html>

【設問35】 原子力の平和利用を推進するための枠組に関する次の記述のうち、誤っているものはどれか。

- ① 「核兵器の不拡散に関する条約」(核不拡散条約)は、核兵器保有国をこれ以上増やさず、核軍縮を進めるための条約であるが、核兵器保有の権利を有する国として、米国、英国、フランス、ロシア、中国、インド、パキスタンを認めている。
- ② 「原子力供給国グループ」は、原子力関連の資機材や技術の不法な輸出を防止することを、主な目的として設立された国際組織である。
- ③ 原子力の平和利用を確保するため、核物質が核兵器やその他の核爆発装置に転用されていないことを確認することが、「保障措置」の主たる目的である。
- ④ 保障措置の対象となる核物質、機器又は施設の使われ方が、保障措置協定の規定に従っていることを確認することを「検査」という。
- ⑤ 核物質の盗難や不法な移転、原子力施設及び輸送中の核物質に対する妨害破壊工作を未然に防ぎ、核物質が散逸することを防護することを「核物質防護」という。

【解答と解説】

正解は①。

核不拡散条約(NPT)は、核兵器国(米、露、英、仏、中)を定め、核兵器国以外への核兵器の拡散を防止することを目的としたものであり、締約国は190か国(2010年6月現在)。非締約国はインド、パキスタン、イスラエル。したがって①の内容は誤り。¹⁾

参考資料

1) 外務省ホームページ

<http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/kaku/npt/gaiyo.html>

執筆担当：日本技術士会（原子力・放射線部会）会員

夏目智弘（なつめ・としひろ）三菱重工業株 原子力事業本部 原

子力プラント技術総括部、技術士（原子力・放射線）

水戸 誠（みと・まこと）三菱FBR システムズ株 プラント設計

部、技術士（原子力・放射線）

北条公伸（ほうじょう・きみのぶ）三菱重工業株 原子力事業本

部 原子力製造総括部 原子力機器設計部、博士(工学)、PE、

技術士（機械、原子力・放射線）

金川昭宏（かながわ・あきひろ）三菱重工業株 原子力事業本部

原子力プラント技術総括部 原子力プラント設計部、技術士（原

子力・放射線）

田淵士郎（たぶち・しろう）三菱重工業株 原子力事業本部 原

子力プラント技術総括部 炉心技術部、技術士（原子力・放射

線）

的場一洋（まとば・いちよう）三菱重工業株 原子力事業本部 原

子力プラント技術総括部 炉心技術部、技術士（原子力・放射

線）