

平成 26 年度技術士試験「原子力・放射線部門」対策講座

平成 25 年度技術士一次試験「原子力・放射線部門」

— 専門科目の解説 —

一般社団法人 日本原子力学会 教育委員会 技術者教育小委員会 監修

はじめに

平成 25 年 10 月 14 日に、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 147 名が受験し、84 名が合格（合格率 57.1%）している。平成 25 年度の技術士第一次試験は、基礎、適性、専門の 3 科目から構成され、総て択一式問題であった。試験のレベルは、「共通科目」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」は同学部の専門教育程度とされている^[1]。本稿では、「専門科目」の 35 問について、問題と解答の解説を示すものである。なお、平成 25 年度から「共通科目」は「基礎科目」に統合され、科目数は従来の 4 科目から 3 科目に減少した。

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 22 年度から平成 25 年度の間、分野別設問数を表 1 に、各設問の概要を表 2 に示す（平成 22 年度から 25 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 より、分野毎の設問数は、平成 22 年度以降ほぼ同じであり、原子力からは 15 問～16 問、放射線からは 14 問、エネルギーからは 5～6 問である。従って、平成 26 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ことから、原子力・放射線に関する広い知識が必要である。なお、第一次試験の「専門科目」の解答時間は 2 時間で、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。合否判定基準についても平成 25 年度から変更されており、「基礎、適性、専門の 3 科目の各々の得点が 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 26 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、表 1 に示すように、平成 22 年度は 14 問、平成 23 年度は 12 問、平成 24 年度は 14 問、平成 25 年度は 10 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、解答に時間のかかる計算問題は敬遠されがちであるが、全体に占める割合から避けて通れるものではない。また、簡易な電卓の持込が許されており、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り、正解できたことが計算結果の数値から確認し易いというメリットもあるので、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。なお、過去の問題と類似の出題も散見されることから、事前に過去問題をしっかり解いて理解しておくことが望ましい。

1. 原子力分野

原子力分野においては、表 2 に示すように、平成 25 年度は、炉物理(4 問)、運転・保守(2 問)、工学的安全性・設計(5 問)、核燃料サイクル(2 問)、材料(1 問)、核セキュリティ(1 問)及び法令(1 問)の合計 16 問が出題された。原子力分野からの出題数は、平成 22 年度以降、15～16 問とほぼ同数である。例年、多少の変化はあるものの、炉物理、プラント設計、運転制御からの出題が多くを占める傾向は変わらないと考えられるので、これらに関する初等テキストにより、基礎知識と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][7]}で社会的関心の高いキーワードを抽出しておき、ATOMICA^[8]等で知識を整理しておくことが望ましい。

2. 放射線分野

放射線分野では、表 2 に示すように、平成 25 年度は、放射線の基礎(6 問)、放射線防護(4 問)、被ばく管理(3 問)及び放射線利用(1 問)の合計 14 問の出題となっている。出題範囲及び内容は前年度と比較して大きな変化はないが、放射線に関連した基礎的な理論や現象を問う出題が増加している。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^{[9][10]}や問題集^[11]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、表 2 に示すように、平成 25 年度は合計 5 問が出題されている。全体的な出題傾向は前年度から大きく変わっていない。主要国の各電源割合、1 人当たりの CO₂ 排出量の推移、地球環境問題への取り組み、CO₂ クレジット購入費用の算出問題など、我が国や世界のエネルギー事情に関する広い範囲から出題されている。この分野の対策としては、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、ATOMICA^[8]等で知識を整理しておく事が望ましい。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][7]}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通しておくことが望ましい。

参考文献

- [1] 「平成 26 年度技術士第一次試験実施大綱」, 科学技術・学術審議会技術士分科会
http://www.engineer.or.jp/c_topics/002/attached/attach_2984_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] 「過去問題 (第一次試験)」, 公益社団法人日本技術士会 試験・登録情報
http://www.engineer.or.jp/c_categories/index02021.html
- [4] 「原子力がひらく世紀」, 社団法人日本原子力学会編
- [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」, 旧原子力安全委員会
http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/hakusyo/hakusyo_kensaku.htm
- [7] 「エネルギー白書」, 経済産業省資源エネルギー庁
<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/>
- [8] 「原子力百科事典」 ATOMICA
<http://www.rist.or.jp/atomica/atomica.html>
- [9] 「放射線概論」, 通商産業研究社
- [10] 「放射線取扱の基礎」, 日本アイソトープ協会
- [11] 「放射線取扱主任者試験問題集 第 1 種」, 通商産業研究社

表 1 平成 25 年度「専門科目」の分野別設問数

分野	平成 22 年度			平成 23 年度			平成 24 年度			平成 25 年度		
	正誤空白	計算	計	正誤空白	計算	計	正誤空白	計算	計	正誤空白	計算	計
原子力	10	5	15	11	5	16	11	5	16	13	3	16
放射線	7	7	14	8	6	14	7	7	14	9	5	14
エネルギー	4	2	6	4	1	5	3	2	5	3	2	5
合計	21	14	35	23	12	35	21	14	35	25	10	35

表 2 平成 25 年度「専門科目」の設問分野と概要

設問	分類	概要	計算問題	
Ⅲ-1	原子力	炉物理		
Ⅲ-2		工学的安全性, 設計	ペレット内部の半径方向の温度分布	
Ⅲ-3		工学的安全性, 設計	燃料損傷時の事象進展	
Ⅲ-4		炉物理	バックリング	
Ⅲ-5		炉物理	4 因子公式	
Ⅲ-6		工学的安全性, 設計	原子力利用活動における安全目標	
Ⅲ-7		運転・保守	出力に必要な燃料棒体数の算出	○
Ⅲ-8		炉物理	核分裂により発生するエネルギーの換算	○
Ⅲ-9		工学的安全性, 設計	軽水炉及び高速炉に関する適切な記述の選択	
Ⅲ-10		工学的安全性, 設計	冷却材喪失事故に起因する放射能放出の確率論的安全評価	○
Ⅲ-11		運転・保守	BWR 及び PWR の反応度制御方式	
Ⅲ-12		材料	原子炉材料	
Ⅲ-13		核燃料サイクル	核燃料サイクル関連施設	
Ⅲ-14		核燃料サイクル	わが国の放射性廃棄物に関する記述	
Ⅲ-15	放射線	放射線の基礎		
Ⅲ-16		放射線の基礎	⁶⁰ Co 線源の放射能	○
Ⅲ-17		放射線の基礎	中性子照射終了時の放射能を表す式	
Ⅲ-18		放射線の基礎	⁹⁰ Sr と ⁹⁰ Y の放射化学分離	
Ⅲ-19		放射線の基礎	β 線と物質との相互作用	
Ⅲ-20		放射線の基礎	γ 線の質量減弱計数	
Ⅲ-21		放射線防護	放射線計測器の原理	
Ⅲ-22		放射線防護	γ 線場の空気吸収線量率	○
Ⅲ-23		放射線防護	GM 計数装置の標準偏差	○
Ⅲ-24		放射線防護	⁶⁰ Co 線源による被ばく線量	○
Ⅲ-25		被ばく管理	放射線被ばくによる DNA 損傷と修復	
Ⅲ-26		被ばく管理	人体への放射線影響	
Ⅲ-27		被ばく管理	自然放射線による被ばく	
Ⅲ-28		放射線利用	放射線利用	
Ⅲ-29	エネルギー	発電機及びヒートポンプからなるシステムの総合効率	○	
Ⅲ-30	原子力	法令	原子力基本法	
Ⅲ-31		核セキュリティ	わが国の核セキュリティ	
Ⅲ-32	エネルギー	エネルギー	主要国の発電電力量に占める各電源の割合	
Ⅲ-33		エネルギー	1 人当たり実質国民総生産と 1 人当たりの CO ₂ 排出量の推移	
Ⅲ-34		エネルギー	地球環境問題への取り組み	
Ⅲ-35		エネルギー	LNG 調達に必要な燃料購入費用と CO ₂ クレジット購入費用	○

設問と解説

以下に、25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解答を示す。

Ⅲ 次の35問題のうち25問題を選択して解答せよ。

Ⅲ- 1 軽水炉の運転に伴う燃料の燃焼に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 燃焼により核分裂生成物が増加すると、中性子の吸収反応が増えるため、原子炉に負の反応度が加わる。
- ② 燃焼初期の余剰反応度を抑えるために、燃料集合体に部分的に組み込んだり燃料物質に混ぜたりする中性子吸収材を可燃性毒物という。
- ③ サイクル末期炉心から取り出される使用済み燃料の平均燃焼度を取出し燃焼度という。
- ④ 非核分裂性核種が中性子を捕獲吸収し、核分裂性物質が生成される過程を転換という。
- ⑤ 核分裂により生成される核種の生成確率を核分裂収率と呼び、その総和は1.0である。

【解答と解説】

正解は⑤である。

- ①正しい。
- ②正しい。可燃性毒物はBWRにおいては燃料の中に、PWRにおいては燃料の中又は制御棒の位置に装荷される中性子吸収材で、燃焼の進行につれ中性子吸収能力が低下する。BWRではガドリニウム、PWRではガドリニウムとホウ素が代表的である。
- ③正しい。
- ④正しい。1個の核分裂性物質が失われて、1個の核分裂性物質が新しく生まれる状況を転換比1という。
- ⑤誤り。2体核分裂が大半なので、総和は約2となる。

Ⅲ- 2 半径 R 、長さ L の燃料ペレットが核分裂により一様に発熱しているとする。発熱密度を S 、ペレットの表面温度を T_0 、ペレットの熱伝導度を k とする。ペレット内部の中心から r の位置における半径方向温度分布 $T(r)$ を表す式として、最も適切なものはどれか。ただし、ペレットの長さ L は十分長く、その両端の影響はないものとする。

- ① $T = T_0 + \frac{SR^2}{4k} \left\{ 1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right\}$
- ② $T = T_0 - \frac{SR^2}{4k} \left\{ 1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right\}$
- ③ $T = T_0 + \frac{SR^2}{4k} \left\{ 1 - \left(\frac{R}{r} \right)^2 \right\}$
- ④ $T = T_0 - \frac{SR^2}{4k} \left\{ 1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right\}$
- ⑤ $T = T_0 + \frac{SR^2}{4k} \left\{ 1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right\}$

【解答と解説】

正解は①である。

円柱の熱伝導を考える。熱伝導方程式は、動径方向に流れる熱量を Q 、熱伝導率を k 、断面積を A とすると、式(1)で定義される。

$$Q = -kA \left(\frac{dT}{dr} \right) \dots (1)$$

発熱密度が S なので、位置 r の熱量 Q 及び断面積 A は、

$$Q = S \pi r^2 L, A = 2 \pi r L \dots (2)$$

で与えられる。式(1)を式(2)を用いて変形すると、式(3)となる。

$$dT = -(S/2k) r dr \dots (3)$$

表面温度は T_0 なので、 $r = R$ で $T = T_0$ の境界条件を用いて式(3)を解くと

$$T - T_0 = -S/4k (r^2 - R^2) = SR^2/4k (1 - r^2/R^2)$$

となり①を得る。

また、正解を簡易的に導く方法も併せて紹介する。 T は T_0 より大きいので、第2項が減算の②と④を除外。 T は $r=0$ で最大、 $r=R$ で最小となるので③を除外。発熱量の積分が温度であり、発熱量が一樣なときの温度は二次関数となるので、⑤を除外。

Ⅲ- 3 軽水炉の冷却材が失われる事故時には、燃料被覆管の損傷並びに燃料ペレットの熔融などによって核分裂生成物が放出される。原子炉燃料の温度が徐々に上昇することに伴って、核分裂生成物が放出されるまでに起きる現象は、

- (ア) 内圧による燃料被覆管破損、
- (イ) 二酸化ウラン融解、
- (ウ) 急激なジルコニウム-水反応、
- (エ) 崩壊熱で昇温し燃料揮散、

である。それらの発生順序として最も適切なものはどれか。

- ① ウ → エ → ア → イ
- ② ア → ウ → イ → エ
- ③ ア → イ → ウ → エ
- ④ ア → エ → ウ → イ
- ⑤ ウ → ア → エ → イ

【解答と解説】

正解は②である。

(ア) は冷却材喪失事故時事に発熱と冷却の能力のバランスが崩れることに起因する事象。燃料棒の内圧はある時点で炉内圧力より大幅に高くなり、また、燃料被覆管の機械強度は温度上昇に伴い低下するため、燃料被覆管は膨れ変形し破裂する。

(イ) 二酸化ウラン燃料の融点は約 2800℃。

(ウ) は燃料被覆管が高温になると被覆管中のジルコニウムが冷却材(水)と反応し水素が発生する事象。この反応は、被覆管温度が高温(約 900℃以上)になると反応割合が大きくなる。

(エ) 崩壊熱除去に失敗して燃料が熔融すると、二酸化ウラン燃料及び被覆管内に閉じ込められていた揮発性のセシウムやガス状になった放射性物質が放出される。

Ⅲ- 4 バックリングに関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 臨界方程式 $\frac{k_{\infty}}{1 + M^2 B^2} = 1$ を満足す B^2 を、材料バックリングという。
- ② 外挿距離(又は反射体節約)を含む3辺の長さ (a, b, c) の直方体炉心の形状バックリングは $B = \left(\frac{\pi}{a} \right)^2 + \left(\frac{\pi}{b} \right)^2 + \left(\frac{\pi}{c} \right)^2$ で与えられる。
- ③ 材料バックリングと形状バックリングが等しいとき、臨界となる。
- ④ 拡散方程式 $\nabla^2 \phi + B^2 \phi = 0$ を満足する B^2 は、形状バックリングで

ある。
⑤ 形状バックリングが大きい炉心ほど、炉心からの中性子の漏れは少ない。

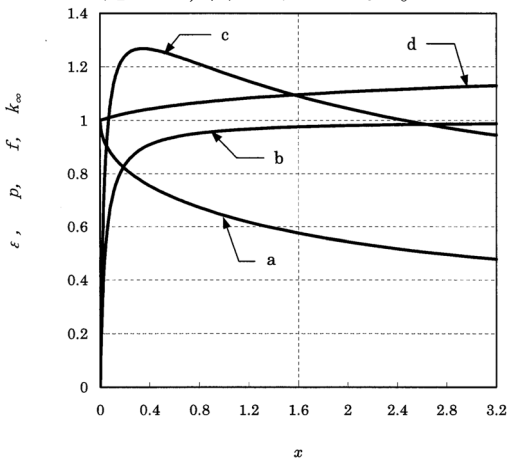
【解答と解説】

正解は⑤である。

- ①正しい。
- ②正しい。
- ③正しい。
- ④正しい。
- ⑤誤り。形状バックリングが大きい炉心ほど、炉心からの中性子の漏れは大きい。

III- 5 下図は、低濃縮ウランと水との均質な混合物について、横軸をウランと水との混合割合 x (ウランの原子個数密度/水の分子個数密度) とし、4因子公式 ($k_{\infty} = \epsilon p f \eta$) に用いられるパラメータ、 ϵ (高速核分裂効果)、 p (共鳴吸収を逃れる確率)、 f (熱中性子利用率) 及び k_{∞} (無限増倍率) を表した曲線である。

図中の a, b, c, d の曲線に該当するパラメータの組合せとして、最も適切なものはどれか。ただし、4因子のうち η (中性子再生率) は一定として、図には示していない。



	a	b	c	d
①	p	f	k_{∞}	ϵ
②	ϵ	p	f	k_{∞}
③	k_{∞}	ϵ	p	f
④	f	k_{∞}	ϵ	p
⑤	f	p	k_{∞}	ϵ

【解答と解説】

正解は①である。

ϵ は高速及び熱領域核分裂による核分裂中性子数を熱領域核分裂による核分裂中性子数で割ったもので1より大きい。 p は共鳴吸収を逃れて熱中性子になる確率で、水の分子個数密度が大きくなり減速効果が大きくなるほど (x が小さくなるほど) p は大きくなる。 f は、熱中性子が燃料以外のもの (減速材や構造材) に吸収されずに燃料の吸収断面積を原子炉内のすべての物質による吸収断面積で割ったものであるから、1以下であり、混合割合 x が大きくなると次第に大きくなる。 $k_{\infty} = \epsilon p f \eta$ である。これらの条件を満たす答えは①となる。

III- 6 原子力利用活動における安全目標に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 原子力を利用する事業活動には、将来を含めた人類のエネルギー源の確保や、医療、工業、農業など幅広い分野の放射線利用等による便益がある一方、広範囲にわたる放射性物質の放散等を伴う事故が発生する可能性という、国民の健康や社会環境に大きな影響を及ぼすリスクが潜在することは否定できない。
- ② 世界の原子力安全関係者は、TMI 事故やチェルノブイリ事故の経験を貴重な教訓として、発電用原子炉施設における、設計で想定した事象を大幅に超えて炉心の重大な損傷に至る事象 (シビアアクシデント) のリスクを抑制することが重要と認識した。
- ③ 原子力安全規制活動によって達成し得るリスクの抑制水準として、確率論的なリスクの考え方をを用いて示す安全目標を定め、安全規制活動等に関する判断に活用することが、一層効果的な安全確保活動を可能とする。
- ④ 安全目標は、原子力発電事業者が目指すべき原子力発電所の安全性の目標であり、国が定める規制基準とは関係がない。
- ⑤ 事業者は、自らが行うリスク管理活動を、安全目標を参照して計画・評価することにより、規制当局の期待に応える活動をより効果的かつ効率的に実施することができる。

【解答と解説】

正解は④である。

- ①正しい。なお、リスクを抑制するための取り組み、すなわち、事業者による安全確保、国による安全規制は、例えば、原子炉施設の場合には、異常発生防止、異常の拡大防止と事故への発展防止、放射性物質の異常な放出防止、の3段階の安全対策を講じるという多重防護の考え方を基本としている。
- ②正しい。事故の経験を教訓として、施設の設備の誤動作や誤操作の発生時にいくつもの安全装置が作動しないことによる災害の発生可能性とその影響の大きさを推定し、それからシビアアクシデントのリスクを定量化する確率論的安全評価手法 (PSA) が開発されてきている。
- ③正しい。
- ④誤り。「安全目標は、原子力安全規制活動の下で事業者が達成すべき、事故によるリスクの抑制基準を示す定性的目標と、その具体的水準を示す定量的目標で構成するものとし、発電用原子炉施設について線量目標値が定められている平常運転時のリスクは対象としない」^[12]とされている。
- ⑤正しい。安全目標を策定することによる利益である。

【参考文献】

[12] 「安全目標に関する調査審議状況の中間とりまとめ」、原子力安全委員会 安全目標専門部会
<http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/mokuhyo/h1512.pdf>

III- 7 ある発電用原子炉に直径1cm、燃料部長さ4mの燃料棒を使うことにした。原子炉の熱出力を3,000 MW、平均熱流速を600kW・m²とすると、この原子炉に必要な燃料棒の本数に最も近い数値はどれか。

- ① 2,500 ② 5,000 ③ 10,000 ④ 20,000 ⑤ 40,000

【解答と解説】

正解は⑤である。

平均熱流束に燃料棒1本の表面積を掛けると燃料棒1本当りの発熱量が得られる。原子炉の熱出力を燃料棒1本の発熱量で割ると、原子炉に必要な燃料棒の本数が得られる。

$$3,000(\text{MW}) / (0.01(\text{m}) \times \pi \times 4(\text{m}) \times 600(\text{kW} \cdot \text{m}^2)) \div 40,000(\text{本})$$

III-8 次の記述の、□に入る数値として最も適切なものはどれか。ただし、ウラン235原子1個の核分裂によって発生するエネルギーを200MeV、 $1\text{eV}=1.6 \times 10^{-19}\text{J}$ 、アボガドロ定数を $6.0 \times 10^{23}\text{mol}^{-1}$ とする。また、石油1リットル当たりの発熱量を $4 \times 10^7\text{J}$ とする

1gのウラン235の核分裂により発生するエネルギーは、約□キロリットルの石油の燃焼により発生するエネルギーに相当する。

- ① 2 ② 4 ③ 5 ④ 6 ⑤ 8

【解答と解説】

正解は①である。

1gのウラン235の核分裂により発生するエネルギー(J)は以下。

$$(1/235) \times 6 \times 10^{23} \times 200 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} = 8.17 \times 10^{10}(\text{J})$$

これを石油1リットル当たりの発熱量 $4 \times 10^7\text{J}$ で割ると、1gのウラン235の核分裂により発生するエネルギーに相当する石油の量が得られる。

$$8.17 \times 10^{10} \div 4 \times 10^7 = 2.04 \times 10^3(\text{リットル})$$

III-9 我が国の沸騰水型軽水炉、加圧水型軽水炉、及び高速増殖原型炉(もんじゅ)に関する次の記述のうち、最も適切なものはどれか。

- ① 加圧水型軽水炉の蒸気発生器、高速増殖原型炉の蒸気発生器(蒸発器と過熱器)は、いずれも原子炉格納容器の外に設置されている。
- ② 高速増殖原型炉の一次冷却系統の冷却材はナトリウム、二次冷却系統の冷却材は水である。
- ③ 沸騰水型軽水炉、加圧水型軽水炉、及び高速増殖原型炉の熱効率は、いずれも33~35%程度に設計されている。
- ④ 沸騰水型軽水炉、加圧水型軽水炉、及び高速増殖原型炉の制御棒は、いずれも駆動力が喪失した場合でも重力で落下するように、炉心の上部から挿入する設計を採用している。
- ⑤ 発電しているときの原子炉圧力は、高い方から加圧水型軽水炉、沸騰水型軽水炉、高速増殖原型炉の順になる。

【解答と解説】

正解は⑤である。

①誤り。高速増殖原型炉の蒸発器及び加熱器は格納容器の外に設置されているが、加圧水型軽水炉の蒸気発生器は原子炉格納容器内に設置されている。

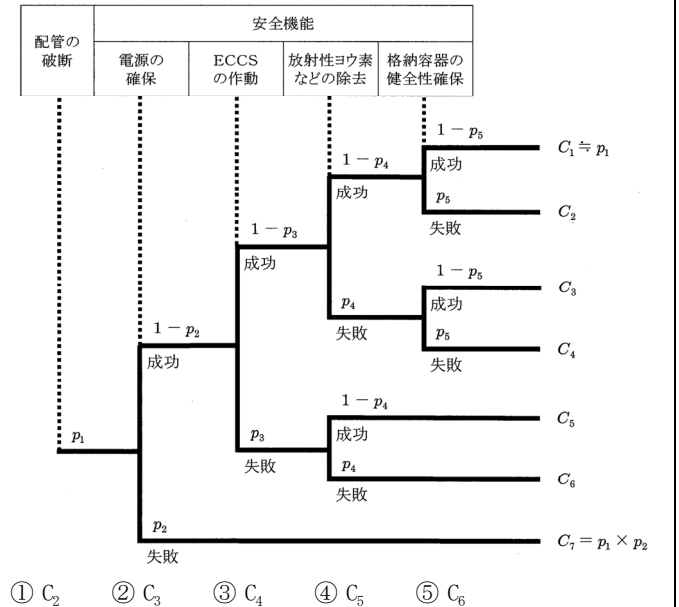
②誤り。高速増殖原型炉の一次系及び二次系とも冷却材はナトリウムである。

③誤り。軽水炉の熱効率は約33~35%、高速増殖原型炉の熱効率は約40%である。

④誤り。加圧水型軽水炉及び高速増殖原型炉の制御棒は炉心上部から、沸騰水型軽水炉の制御棒は炉心下部により挿入される。

⑤正しい。加圧水型軽水炉の原子炉圧力は約15MPa、沸騰水型軽水炉は約7MPa、高速増殖原型炉は約0.1MPaである。

III-10 下図は、軽水炉の冷却材喪失事故に起因する放射能放出の確率論的安全評価に関する簡単なイベントツリーである。シーケンスの事象の年当たりの発生頻度 $C_2 \sim C_6$ のうち、最も大きいものはどれか。ただし、 p_1 は配管破断の年当たりの発生頻度、 $p_2 \sim p_5$ はそのときに各安全機能が作動しない確率であり、 $p_2=2 \times 10^{-3}$ 、 $p_3=1 \times 10^{-3}$ 、 $p_4=3 \times 10^{-3}$ 、 $p_5=2 \times 10^{-3}$ とする。



【解答と解説】

正解は②である。

- ① $C_2 = p_1 \times (1-p_2) \times (1-p_3) \times (1-p_4) \times p_5$
- ② $C_3 = p_1 \times (1-p_2) \times (1-p_3) \times p_4 \times (1-p_5)$
- ③ $C_4 = p_1 \times (1-p_2) \times (1-p_3) \times p_4 \times p_5$
- ④ $C_5 = p_1 \times (1-p_2) \times p_3 \times (1-p_4)$
- ⑤ $C_6 = p_1 \times (1-p_2) \times p_3 \times p_4$

$p_1 \times (1-p_2)$ 以下は共通なので(以下、Pとする)、この項以下の値を概算すると、 $C_2 = P \times 2 \times 10^{-3}$ 、 $C_3 = P \times 3 \times 10^{-3}$ 、 $C_4 = P \times 6 \times 10^{-6}$ 、 $C_5 = P \times 1 \times 10^{-3}$ 、 $C_6 = P \times 3 \times 10^{-6}$ で、 C_3 が最大となる。

III-11 沸騰水型軽水炉(BWR)と加圧水型軽水炉(PWR)の反応度制御方式に関する次の記述のうち、最も適切なものはどれか。

- ① PWRでは燃焼に伴う反応度の補償は、主に冷却材に混ぜるホウ素濃度を調整するケミカルシムによって行う。
- ② PWRではホウ素濃度が炉心下部で高くなるので、軸方向の出力分布にわずかな歪が生じる。そこで燃料棒の濃縮度にわずかな差をつけて、これを補償している。
- ③ BWRでは炉心の上部で蒸気が発生するので軽水による中性子吸収効果が減り、軸方向の出力は上部で高くなる。そこで上部に濃縮度の低い燃料ペレットを使うことで、これを抑えている。
- ④ BWRでは出力の調整を制御棒だけで、燃焼に伴う反応度の補償を冷却材流量の調整だけで行う。
- ⑤ PWR、BWRともに中性子インポートランスの高い炉心中央部の出力が、周辺部よりできるだけ高くなるように設計する。

【解答と解説】

正解は①である。

- ①正しい。PWRの反応度制御方法には制御棒とケミカルシムの2

種類があるが、燃焼に伴う反応度の補償はケミカルシムで行う。PWRでは炉心で蒸気が発生しないため冷却材流量の調整では反応度を補償できない。また、ボイド率の軸方向分布がないので、軸方向で濃縮度を変化させない。

②誤り。1次冷却材中のホウ素濃度を制御しているので、ホウ素濃度は炉心下部で高くならない。

③誤り。BWRでは、炉心上部で蒸気が発生すると中性子束が減速しないので出力が下がるため、上部に濃縮度の高い燃料ペレットを配置する。

④誤り。BWRでは、出力の調整と燃焼に伴う反応度補償のいずれの目的にも、制御棒の引き抜き・挿入と再循環流量の増減調節の両方を用いる。

⑤誤り。PWRもBWRも、ともに中性子インポートランスの高い炉心中央部の出力が周辺部より高くなりすぎないように、炉内の燃料配置を工夫している。

III-12 原子炉材料に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

① 原子炉冷却材配管などの応力腐食割れを防止するために、(1)炭素含有量の低い鋼材の使用、(2)冷却材中の溶存酸素濃度の抑制、(3)溶接残留応力の抑制などが重要である。

② 原子炉圧力容器の破壊確率の変化を監視するために、原子炉内部に試験片を挿入して中性子を照射し、これを運転年数に応じて計画的に取り出し脆性遷移温度の評価を行う。

③ 材料の引張強度以下であっても、繰り返し荷重を受けることで微小すべりがき裂に進展して成長し、やがて疲労破壊することを防ぐために、構造部材の設計では繰り返し応力の大きさと回数に注意が必要である。

④ 原子炉構造材料の非破壊検査の方法として、浸透探傷試験、放射線透過試験、超音波探傷試験、シャルピー衝撃試験などが用いられる。

⑤ 供用期間中の点検で構造部材に欠陥が発見された場合には、その欠陥の進展による設備の将来の健全性を予測し、現時点での補修・取替の可否、継続使用する場合の補修・取替時期を評価する。

【解答と解説】

正解は④である。

①正しい。BWRでは、低炭素鋼(SUS316L等)使用後もまれに応力腐食割れ(SCC)の事例がみられる。また、PWRでも管台溶接部のNi基合金等で、1次系水環境条件下での応力腐食割れ(PWSCC: Primary Water SCC)が顕在化し損傷事例が出ている。このため予防保全工法として、検査技術の開発やピーニング工法等の残留引張り応力の緩和策がとられている。

②正しい。圧力容器の造られる低合金鋼(体心立方晶の金属)である。この結晶系の金属は、通常の使用温度で十分粘りを有していても、低温になると脆くなり脆性破壊が生ずる。

③正しい。

④誤り。シャルピー衝撃試験は試験片を破壊する破壊試験である。

⑤正しい。健全性評価制度(維持基準)である。

III-13 我が国の核燃料サイクル関連施設に関する次の記述のうち、最も適切なものはどれか。

① ウラン濃縮施設では、隔壁を透過するときの $^{235}\text{UF}_6$ ガスと $^{238}\text{UF}_6$ ガスの分子の運動速度の差を利用するガス拡散法を採用している。

② 再転換施設では、ウラン濃縮施設で製品として得られた六フッ化ウラン(UF_6)を、燃料として用いられる八三酸化ウラン(U_3O_8)に還元している。

③ 軽水炉用の燃料製造(成型加工)施設では、ウラン粉末を圧縮成形して円筒状の成形体とし、次に研削工程により寸法を整えて、最後に高温で焼結してペレットを製造する。

④ 使用済燃料中間貯蔵施設(青森県むつ市)では、使用済燃料をプール水中に設置されたラック(金属製の枠組み)に収納して貯蔵する湿式貯蔵を採用している。

⑤ 再処理施設では、燃料を溶かした溶液から溶媒抽出によりウランとプルトニウムを分離する。

【解答と解説】

正解は⑤である。

①誤り。我が国のウラン濃縮では、遠心分離法が採用されている。

②誤り。燃料として用いられる二酸化ウラン(UO_2)に酸化される。

③誤り。ペレットは、粉末→成形→焼結→研削の順に製造される。

④誤り。使用済燃料中間貯蔵施設(青森県むつ市)では、使用済燃料を金属製キャスクに収納して貯蔵する乾式貯蔵が採用されている。

⑤正しい。分離した後に、再度ウランとプルトニウムを混合して脱硝し、製品化する。

III-14 我が国の放射性廃棄物処分に関する次の記述のうち、最も適切なものはどれか。

① 再処理工場で分離された高レベル廃棄物は、溶融プラスチックに溶かし込んで固めてプラスチック固化体とする。これを40年間程度地上で貯蔵保管して崩壊熱を下げた後、深地層に処分する計画である。

② 英仏へ委託した再処理に伴い発生した高レベル廃棄物は、一部のものが既に日本へ海上輸送により返還されており、六ヶ所村の原子燃料サイクル施設で埋設が始まっている。

③ 原子力発電所の運転に伴い発生する低レベルの放射性固体廃棄物は、現在、埋設処分場の立地を全国から公募している段階であり、将来処分場が決まるまで、すべて発電所内で厳重に保管されている。

④ 放射線防護に係る規制の枠組みに入っている放射性物質を含むもののうち、それによる放射線量が十分に低く、放射線防護の規制対象から外してよいとする判断基準をクリアランスレベルと呼ぶ。

⑤ 原子炉を解体して出てくる放射性廃棄物のうち、炉心近傍で使われた材料や制御棒などは、再処理工場から出る高レベル廃棄物よりも深い地中に埋設処分される計画である。

【解答と解説】

正解は④である。

①誤り。プラスチックではなくガラスが正しい。

②誤り。返還された高レベル廃棄物ガラス固化体は原子燃料サイクル施設で埋設ではなく工学的に貯蔵されている。

③誤り。原子力発電所の運転に伴い発生する低レベルの放射性固体廃棄物は、現在、六ヶ所村の原子燃料サイクル施設において埋設されている。

- ④正しい。クリアランスレベルの定義。
 ⑤誤り。原子炉を解体して出てくる放射性廃棄物のうち、炉心近傍で使われた材料や制御棒などは、高レベル放射性廃棄物の地層処分よりは浅く、浅地層処分よりは深く埋設される計画である。

III-15 次の記述の、に入る数値として最も適切なものはどれか。ただし、光速を $3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ 、素電荷を $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ とする。
 ターミナル電圧 1.2MV のバンデグラフを用いて電子を加速した。加速後の電子の質量は静止質量 ($9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$) の約 倍となる。
 ① 1.0 ② 1.2 ③ 2.2 ④ 2.4 ⑤ 3.4

【解答と解説】

正解は⑤である。
 算出方法を下記に示す。
 素電荷 q (C) を 1 (V) で加速したときに得るエネルギーは 1 (eV) であり、
 $1 \text{ (eV)} = q \text{ (C)} \times 1 \text{ (V)} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ (J)} \dots (1)$
 となる。また、ターミナル電圧 1.2 (MV) による加速で電子が受けたエネルギーを E (MeV) とすると、
 $E = 1.2 \text{ (MeV)} \dots (2)$
 となる。また、質量とエネルギーの等価性より、電子の静止質量 m_0 (kg)、加速後の電子の質量 m (kg)、光の速度 c (m/s) とすると、
 $E + m_0 c^2 = m c^2 \dots (3)$
 となるので、式(3)より、
 $m/m_0 = 1 + E/m_0 c^2 \dots (4)$
 このとき、電子の質量エネルギー $m_0 c^2$ (MeV) は、
 $m_0 c^2 = 9.1 \times 10^{-31} \times (3.0 \times 10^8)^2 \text{ (J)} \dots (5)$
 となるので、式(4)に式(1)、式(2)及び式(5)を代入すると、
 $m/m_0 = 1 + (1.2 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}) / (9.1 \times 10^{-31} \times (3.0 \times 10^8)^2)$
 $= 3.344$

III-16 8年前に購入した⁶⁰Co線源の現在の放射能は30MBqである。購入時の放射能 (MBq) に最も近い値はどれか。ただし、⁶⁰Coの半減期を5.3年とする。
 ① 75 ② 85 ③ 90 ④ 95 ⑤ 105

【解答と解説】

正解は②である。
 期間 t 経過後の放射能 $A(t)$ と購入時の初期放射能 A_{init} 、半減期 $t_{1/2}$ の関係は以下の式で表される。

$$A(t) = A_{init} \left[\frac{1}{2} \right]^{t/t_{1/2}}$$

 上式に $t=8$ 、 $t_{1/2}=5.3$ 、 $A(t)=30$ を代入して A_{init} について解けば良い。

III-17 ある標的物質に中性子を照射することによって放射性核種Aが生成される。照射終了時の放射能を表す式として、最も適切なものはどれか。ただし、中性子束を ϕ 、照射時間を t 、標的物質の原子数を n 、核反応の断面積を σ 、放射性核種の壊変定数を λ とする。
 ① $n\sigma\phi\lambda t$ ② $n\sigma\phi e^{-\lambda t}$ ③ $n\sigma\phi e^{-\lambda t}/t$
 ④ $n\sigma\phi(1 - e^{-\lambda t})$ ⑤ $n\sigma\phi(1 - e^{-\lambda t})/t$

【解答と解説】

正解は④である。
 放射性核種の生成量の時間変化を表す微分方程式は、

$$dA/dt = n\sigma\phi - \lambda A$$

となる。これをAについて解くと、

$$A = n\sigma\phi(1 - e^{-\lambda t})/\lambda$$

が得られる。放射能は放射性核種の量Aと壊変定数 λ の積で求められるので、正解の④が導かれる。

III-18 ⁹⁰Sr と ⁹⁰Y の放射化学分離に関する次の記述の、に入る語句の組合せとして最も適切なものはどれか。
 無担体の⁹⁰Srのみを含む水溶液中にはβ崩壊によって娘核種の⁹⁰Yが次第に生成してくる。この溶液に、非放射性的のSrとYを担体として加えたのち、にすると、⁹⁰YはYとともに水酸化物として沈殿し、⁹⁰SrはSrとともに水溶液中に残るため、⁹⁰Srと⁹⁰Yを分離することができる。もし、非放射性的のSrを加えない場合には、⁹⁰Srはになりやすく、Yの水酸化物に取り込まれる可能性がある。この現象をという。また、⁹⁰Srを溶液中に残すために加えたSrのことをと呼んでいる。

	a	b	c	d
①	アルカリ性	ラジオソルト	共沈	保持担体
②	酸性	ラジオソルト	共沈	スカベンジャ
③	酸性	イオン	ミキソグ	保持担体
④	アルカリ性	酸化物	ミキソグ	スカベンジャ
⑤	アルカリ性	イオン	共沈	スカベンジャ

【解答と解説】

正解は①である。
 水酸化物 (OH) の沈殿を生じることからにはOH濃度が高くなる「アルカリ性」が入る。よって②と③は除外される。を知っていれば直ちに正解を選択できるが、そうでない場合には、沈殿を生成する際に他の物質を取り込むことを「共沈」ということがわかると、④を除外することができる。「スカベンジャ」とは他の物質を取り込むことを言うのでは「保持担体」が正しく、①の正解を選択することができる。

III-19 β線と物質との相互作用に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。
 ① 物質を電離し、電子・イオン対を生成する。
 ② 制動放射線は、プラスチックよりも鉛の方が多く発生する。
 ③ β線の物質中の飛跡は、直線とみなすことができる。
 ④ β⁺線は、運動エネルギーを失うと2つの消滅放射線を正反対の方

向に放出する。

- ⑤ エネルギーの高いβ線では、空気中の最大飛程が5mを超える場合がある。

【解答と解説】

正解は③である。

- ①は正しい。通過経路にある原子を励起したり電離して、電子-陽イオン対を生成する。
 ②は正しい。電子の制動放射性によるエネルギー損失は電子のエネルギーに比例し、物質衝突の場合その原子の原子番号の2乗にほぼ比例する。
 ③は誤り。物質に入射したβ線は長い距離を直進することはまれで、軌道電子や原子核との電気的な相互作用によって散乱を繰り返して、進行方向がしばしば大きく変化する。
 ④は正しい。陽電子は、物質中で減速して物質中の電子と結合して2本の0.511MeVの消滅ガンマ線を反対方向に放出して消滅する。
 ⑤は正しい。³Hのように最大エネルギーの小さいβ線(18keV)では、空気中の最大飛程は約0.5cmと小さいが、⁹⁰Yのβ線(最大2.3MeV)では約10mと相当の長さを飛ぶ。

III-20 単一の元素からできている物質に対するγ線の質量減弱係数に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 光電効果による質量減弱係数は、物質の原子番号の4乗にほぼ比例する。
 ② コンプトン効果による質量減弱係数は、物質の原子番号にほぼ比例する。
 ③ 電子対生成による質量減弱係数は、γ線エネルギーが高くなるとともに増加する。
 ④ 鉛に対する質量減弱係数は、約88keVにK吸収端と呼ばれる不連続点を持つ。
 ⑤ 鉛に対する質量減弱係数は、4MeV付近で最小値を示す。

【解答と解説】

正解は②である。

- ①は正しい。
 ②は誤り。コンプトン効果による反応断面積は電子数のみに依存するため物質の原子番号に比例する。質量減弱係数は原子量で割るため、物質の原子番号にほぼ依存しない。
 ③は正しい。
 ④は正しい。
 ⑤は正しい。

III-21 次のうち、放射線計測に関する組合せとして最も適切なものはどれか。

	放射線検出器	原理	測定機能
①	比例計数管	気体の電離	波高分析器
②	GM計数管	蛍光作用	前置増幅器
③	シンチレーション検出器	電子・正孔対の生成	振動容量型電位計
④	半導体検出器	固体の電離	分光光度計
⑤	フック線量計	温度変化	光電子増倍管

【解答と解説】

正解は①である。

GM計数管は、気体の電離を利用した比例計数管である。パルスは増幅器を通ったあと波高分析器を通り、ある決められた波高を超えると計数される。シンチレーション検出器は、振動容量型電位計は使用しない。半導体検出器は、電子・正孔対の生成、フック線量計は、イオン形成を利用して測定を行う。

【参考文献】

[9] 「放射線概論」, 測定技術 (通商産業研究社発行)

III-22 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線場に置いたところ、 $3.0 \times 10^{-12} \text{A}$ の電離電流が得られた。このγ線場の空気吸収線量率 ($\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$) に最も近い数値はどれか。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のエネルギー)を34eV、素電荷を $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ とする。

- ① 1×10^{-7} ② 3×10^{-6} ③ 3×10^{-4} ④ 1×10^{-2} ⑤ 3×10^{-1}

【解答と解説】

正解は③である。

算出方法を下記に示す。

毎秒生成されるイオン対数を $N(1/\text{s})$ 、電気素量を $e(\text{C})$ とすると、

$$N = 3.0 \times 10^{-12} / e$$

となる。また、1リットル中の空気の質量を $G(\text{kg})$ 、空気の密度を $\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$ とすると、

$$G = \rho \times 10^3 \times 10^{-3}$$

となる。空気線量率を $D(\text{Gy}/\text{h})$ とすると、 D は空気1kgの吸収線量率であり、また、空気中で毎秒吸収されるエネルギーは $N \times W$ 値で求められるので、

$$\begin{aligned} D &= N \times W \text{ 値} \times 3600 / G \\ &= (3.0 \times 10^{-12} / e) \times (34 \times e) \times 3600 / (\rho \times 10^3 \times 10^{-3}) \\ &= 3.0 \times 10^{-12} \times 34 \times 3600 / (1.2 \times 10^{-3}) \\ &= 3.06 \times 10^{-4} (\text{Gy}/\text{h}) \end{aligned}$$

III-23 ある試料をGM計数装置を用いて5分間計測したところ1,800カウントであった。また、この装置でバックグラウンドを10分間測定したら1,000カウントであった。この試料に対する正味計数率は260cpmであるが、その標準偏差(cpm)に最も近い値はどれか。なおcpmは毎分の計数率を表す単位である。

- ① 9 ② 16 ③ 21 ④ 50 ⑤ 80

【解答と解説】

正解は①である。

試料及びバックグラウンドの計数値を C 及び C_b 、計数時間を t 及び t_b とすると、正味の計数率 $(C/t - C_b/t_b)$ のもつ計数誤差 σ_n は、式(1)で示すことができる。

$$\sigma_n = \sqrt{[(\sqrt{C}/t)^2 + (\sqrt{C_b}/t_b)^2]} = \sqrt{(C/t^2 + C_b/t_b^2)} \dots \text{式(1)}$$

式(1)に下記の数値を代入して σ_n を算出する。

項目	計数時間	計数値	計数率と誤差
試料	$t (=5 \text{分})$	$C (=1800)$	$X/t \pm \sqrt{X}/t$
バックグラウンド	$t_b (=10 \text{分})$	$C_b (=1000)$	$X_b/t_b \pm \sqrt{X_b}/t_b$

$$\sigma_n = \sqrt{(1800/5^2 + 1000/10^2)} = \sqrt{(72+10)} \approx 9$$

【参考文献】

[9] 「放射線概論」, 通商産業研究社

III-24 深さ3mのプールの底に、100TBq (100×10^{12} Bq) の ^{60}Co 線源が沈んでいる。水面から1m上方の位置において3時間の作業をする場合、予想される被ばく線量 (μSv) に最も近い値はどれか。ただし、 ^{60}Co の実効線率定数は $0.31 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 ^{60}Co γ 線の3mの水に対する実効線量透過率は 3.6×10^{-7} 、プール壁からの γ 線の反射は無視できるとする。

- ① 0.70 ② 1.2 ③ 2.1 ④ 3.7 ⑤ 8.4

【解答と解説】

正解は③である。

算出過程を下記に示す。

$$100\text{TBq} = 100 \times 10^6 \text{MBq}$$

$$100 \times 10^6 \times 0.31 \times 3(\text{h}) \times 3.6 \times 10^{-7} / 4^2 \approx 2.09$$

III-25 放射線被ばくによって引き起こされるDNA損傷と修復に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① DNAの損傷には、塩基の架橋、一本鎖切断、二本鎖切断などがある。
 ② 二本鎖切断は一本鎖切断より起こりにくい。
 ③ ヒトの細胞は、除去修復や組換え修復などのDNA損傷を治す能力を有している。
 ④ 一本鎖切断は切断端どうしを結合させて修復されるが、この場合修復エラーが起こりにくい。
 ⑤ 二本鎖切断は修復されないため、細胞死(アポトーシス)が起き、突然変異は起きない。

【解答と解説】

正解は⑤である。

- ①は正しい。
 ②は正しい。
 ③は正しい。
 ④は正しい。
 ⑤は誤り。二本鎖切断も修復される。修復されない場合は突然変異が起こる。DNAの損傷が細胞にとって致命的な場合、細胞死が起こる。

【参考文献】

[4] 「原子力がひらく世紀」, 第4章4.1 放射線影響発生のしくみと現れ方, 社団法人日本原子力学会編

III-26 人への放射線影響に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 被ばく線量と影響の発生頻度の関係から、確率的影響と確定的影響に分類される。
 ② しきい線量とは、確定的影響が現れる最小の線量である。
 ③ 確定的影響では、被ばく線量が大きくなると重篤度が増す。
 ④ 妊娠中に被ばくした胎児に現れる影響は遺伝的影響である。
 ⑤ 確率的影響には、発がんや遺伝的影響が含まれる。

【解答と解説】

正解は④である。

- ①は正しい。
 ②は正しい。
 ③は正しい。
 ④は誤り。放射線の影響は、被ばくした人に起こる「身体的影響」とその人の子孫に生じる「遺伝的影響」とに大別される。身体的影響には、出生前の胎児被ばくに伴う影響も含まれる。
 ⑤は正しい。

【参考文献】

[4] 「原子力がひらく世紀」, 第4章4.5 胚および胎児の放射線影響, 社団法人日本原子力学会編

III-27 「原子放射線の影響に関する国連科学委員会 (UNSCEAR)」の報告書(2008年)に基づく、自然放射線による全世界平均の被ばくに関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 実効線量の全世界平均は、 2.4mSv/年 である。
 ② 大気上層では、地上に比べて外部被ばくの線量は低い。
 ③ 内部被ばくは、主としてラドンの吸入や ^{40}K の経口摂取によるものである。
 ④ 外部被ばくは、主として宇宙線や大地からの放射線によるものである。
 ⑤ 大地からの放射線は、主として ^{40}K 、ウラン系列核種、トリウム系列核種によるものである。

【解答と解説】

正解は②である。

- ①は正しい。
 ②は誤り。地上15km~20kmのところ、二次宇宙線の強さは大きくなり、地上に近づくにつれて減少する。つまり、大気上層では地上に比べて外部被ばく線量は高くなる。
 ③は正しい。
 ④は正しい。
 ⑤は正しい。

【参考文献】

[4] 「原子力がひらく世紀」, 第4章3.2 自然放射線による被ばく, 社団法人日本原子力学会編

III-28 放射線利用の事例に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① ウリミバエ等の害虫を駆除するために、放射線で不妊化する方法が利用されている。
 ② 燃焼排ガスの脱硝、脱硫をするために、中性子照射が利用されている。
 ③ イネの品種を改良するために、 γ 線照射が利用されている。
 ④ ジャガイモの発芽を抑制するために、 γ 線照射が利用されている。
 ⑤ 発砲ポリエチレンを製造するために、放射線による架橋反応が利用されている。

【解答と解説】

正解は②である。

- ①は正しい。実用事例。
 ②は誤り。脱硫には中性子照射ではなく電子線照射が利用される。
 ③は正しい。実用事例。

- ④は正しい。実用事例。
⑤は正しい。実用事例。

【参考文献】

[4] 「原子力がひらく世紀」, 社団法人日本原子力学会編
[13] 「実用例：電子ビーム照射による化石燃料の燃焼排ガスの脱硫・脱硝技術」
(<http://www.rada.or.jp/database/home4/normal/ht-docs/member/synops/018019.html>)

III-29 下図のような発電機とヒートポンプからなるシステムを考える。発電機からは、Eの入力に対して0.4×Eの電力が発生し、このうちのYの電力によりヒートポンプ（成績計数=6）を駆動することによりZの熱を発生する。また、残りの電力量をXとすると、システムの総合効率eを $e=(X+Z)/E$ と定義する。さて、このシステムの負荷の熱電比（Z/X）の値が2であるときの総合効率eはいくらか。なお、ヒートポンプの成績計数はZ/Yである。

① 0.3 ② 0.5 ③ 0.7 ④ 0.9 ⑤ 1.1

【解答と解説】

正解は④である。
ヒートポンプは、冷媒により熱交換を行い、低温の物体から熱を吸収し、高温部へくみ上げるシステムであり、高いエネルギー利用率を実現できることが特徴である。問題内で定義されている関係を用い、電力量Xは電力0.4×EとYを用いると、以下となる。
 $X=0.4E-Y$ (1)
ヒートポンプの成績係数（Z/Y）は6、システムの負荷の熱電比（Z/X）は2であるので、以下となる。
 $Z/Y=6$ (2)
 $Z/X=2$ (3)
X、Y及びZは(1)と(2)及び(3)の関係から、以下となる。
 $X=0.3E, Y=0.1E, Z=0.6E$ (4)
システムの総合効率 $e=(X+Z)/E$ は、(4)を代入すると以下となる。
 $e=0.9$

III-30 原子力利用の基本的考え方は「原子力基本法」の第1条及び第2条に示されている。これらの条文について、下記の□に入る語句の正しい組合せはどれか。
(目的)
第一条 この法律は、原子力の研究、開発及び利用（以下「原子力利用」という。）を推進することによって、将来におけるエネルギー資源を確保し、□aの進歩と産業の振興とを図り、もって人類社会の□bと国民生活の水準向上とに寄与することを目的とする。
(基本方針)
第二条 原子力利用は、平和の目的に限り、安全の確保を旨として、□cな運営の下に、□dにこれを行うものとし、その□eを

公開し、進んで国際協力に資するものとする。
2 前項の安全の確保については、確立された国際的な基準を踏まえ、国民の生命、健康及び財産の保護、環境の保全並びに我が国の安全保障に資することを目的として、行うものとする。

	a	b	c	d	e
①	科学技術	発展	自主的	民主的	技術
②	学術	福祉	民主的	自主的	成果
③	学術	発展	自主的	民主的	成果
④	科学技術	福祉	民主的	自主的	技術
⑤	科学	発展	自主的	民主的	技術

【解答と解説】

正解は②である。
原子力基本法は、日本の原子力政策の基本方針を定めた法律で、1955年12月19日に制定された。原子力基本法は、基本方針として、原子力の研究、開発、および利用は平和に限り、安全の確保を大前提として民主的な運営のもと自主的に行うものとしている。また、その成果を公開し、進んで国際協力に資するものとしている。この基本方針は「公開」「自主」「民主」の三原則で保証されている。

【参考文献】

[14] 「原子力基本法」
(<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S30/S30H0186.html>)

III-31 我が国の核セキュリティを維持する必要性及び目的について述べた次の文章の、□に入る語句の組合せとして最も適切なものはどれか。
原子力の研究、開発及び利用においては、核物質及びその他の□a並びにこれらを使用した施設が利用されている。こうした利用にあたっては、核物質、その他の□a、その関連施設及びその輸送を含む関連活動を対象にした盗取、妨害破壊行為等の□b又は□cによって人の生命、身体、財産、社会及び環境が□dことがないようにすべきである。

	a	b	c	d
①	核燃料物質	テロ行為	故意の違反行為	破壊される
②	放射性物質	テロ行為	偶発的事故	脅かされる
③	核燃料物質	犯罪行為	偶発的事故	破壊される
④	放射性物質	犯罪行為	故意の違反行為	脅かされる
⑤	核燃料物質	犯罪行為	偶発的事故	脅かされる

【解答と解説】

正解は④である。
核セキュリティとは、「核物質、その他の放射性物質、その関連施設及びその輸送を含む関連活動を対象にした犯罪行為又は故意の違反行為の防止、探知及び対応」であり、具体的には、テロリスト等による核物質や放射線源の悪用が想定される以下の4つの驚異が現実のものとならないようにとられる措置のことをいう。
・核兵器の盗取
・盗取された核物質を用いた核爆発装置の製造
・放射性物質の発散装置の製造
・原子力施設や放射性物質の輸送等に対する妨害破壊行為

【参考文献】

[15] 「核セキュリティの確保に対する基本的な考え方について」、
平成23年9月13日 原子力委員会決定
http://www.nsr.go.jp/archive/nc/about/kettei/kettei110913_1.pdf

III-32 下表は2009年におけるアメリカ、イギリス、フランス、中国、ドイツ、日本の発電電力量と発電電力量に占める各電源（石油、石炭、LNG、原子力、水力、再生可能エネルギー（地熱・風力・可燃再生・廃棄物の合計；以下「再エネ」という。))の割合を示したものである。表中のA～Eに該当する電源の組合せとして、最も適切なものはどれか。

	アメリカ	イギリス	フランス	中国	ドイツ	日本
石油	1.2	1.2	1.1	0.4	1.6	8.8
A	22.8	44.4	3.9	1.4	13.5	27.4
B	4.0	5.8	2.7	0.8	14.9	2.9
C	45.5	28.5	5.3	78.8	43.9	26.8
D	6.6	1.4	10.6	16.7	3.2	7.2
E	19.9	18.6	76.4	1.9	23.0	26.9
発電電力量	41.7	3.7	5.4	37.0	5.9	10.4

(単位%、発電電力量は千億kWh) 【IEA, Energy Balances2011より作成】

	A	B	C	D	E
①	石炭	LNG	再エネ	水力	原子力
②	原子力	LNG	水力	再エネ	石炭
③	LNG	再エネ	石炭	水力	原子力
④	再エネ	水力	原子力	石炭	LNG
⑤	水力	石炭	LNG	原子力	再エネ

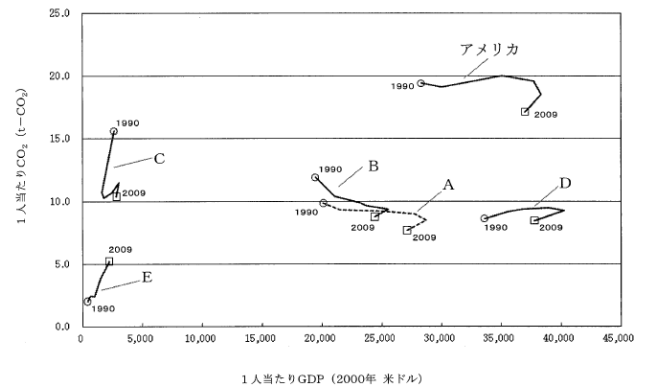
【解答と解説】

正解は③である。
出展が明示されているので参照されたい。また、各国のエネルギー動向は「エネルギー白書」^[7]等を参照のこと。このような問題を考える際には、まず、明確な事項に基づいて選択を行う。フランスは原子力発電への依存度が高いことから、「E」は「原子力」が該当するので選択枝は①か③のいずれか。また、中国は石炭火力への依存度が高いことから、「C」は石炭が該当するので正解は③となる。なお、本問題については、東日本大震災前（2009年）の統計であるため、日本における原子力の割合が近年と状況が異なっていることに注意。

【参考文献】

[7] 「エネルギー白書」、経済産業省資源エネルギー庁
<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/>

III-33 下図は、1人当たり実質国民総生産（GDP：2000年米ドル基準）と1人当たり二酸化炭素排出量の1990年（○）から2009年（□）までの推移について、アメリカ、イギリス、ドイツ、ロシア、日本、中国を国別に比較したものである。図中のA～Eに該当する国の組合せとして、最も適切なものはどれか。



【エネルギー・経済統計要覧 2012より作成】

- | | A | B | C | D | E |
|---|------|------|------|------|-----|
| ① | イギリス | ドイツ | ロシア | 日本 | 中国 |
| ② | ドイツ | 日本 | 中国 | イギリス | ロシア |
| ③ | 日本 | ドイツ | 中国 | イギリス | ロシア |
| ④ | 日本 | イギリス | ロシア | ドイツ | 中国 |
| ⑤ | ドイツ | 日本 | イギリス | ロシア | 中国 |

【解答と解説】

正解は①である。
縦横軸は両方とも1人当たりであることに注意。日本は京都議定書の基準年である1990年から目立ったCO₂排出量の削減が無いことがCO₂排出量の漸増に表れている。イギリスやドイツは、GDPは上昇するが、CO₂排出量が減っており、地球温暖化対策に対する取り組みが見られる。ロシアは、冷戦終結後の景気低迷の影響が見られ、GDPとCO₂排出量が、しばらくの間ともに減少している。中国は人口が多いためGDP、CO₂排出量ともに少なく見えるが、国別比較において、特に近年は他の国の状況と遜色はない。また、中国以外の各国はアメリカと同様に2008年のリーマンショックによる景気減速の影響もみられる。

III-34 地球環境問題への取組みに関する次の記述について、最も不適切なものはどれか。

- ① 「持続可能な開発」という用語が広く認識されたきっかけは、1987年ブルントラント委員会が公表した「我ら共有の未来（Our Common Future）」と言われている。
- ② 「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」は、1988年に国連環境計画と世界気象機関によって設立され、地球温暖化に関する最新の科学・技術・社会経済情報を検証している。
- ③ 2011年に気候変動枠組み条約第17回締約国会議（COP17）が南アフリカ共和国ダーバンで開催され、京都議定書後の枠組みに関し合意を目指した交渉が行われたが、継続協議となった。
- ④ クリーン開発メカニズム（CDM）の実施に様々な課題があるため、日本政府はCDMと並行して二国間オフセット・クレジット制度に関する

る取り組みを進めている。

⑤ 温室効果ガス削減に向け、1990年代以降欧州各国を中心に環境関連税制の見直し・強化が進んでいる。欧州連合（EU）では2005年から域内における排出量取引制度も始まった。

【解答と解説】

正解は③である。

- ①は正しい。
- ②は正しい。
- ③は誤り。COP17で京都議定書後の枠組みが合意された。
- ④は正しい。
- ⑤は正しい。

III-35 稼働率70%で運転されている100万kWの原子力発電所の年間発電量は約6,100GWh（約 5×10^{15} cal）である。この原子力発電所の代替として、LNG火力発電所を1年間動かすとする。このためには、LNG調達に必要な燃料購入費用とCO₂排出量をオフセットするCO₂クレジット購入費用が必要となる。このとき、燃料購入費用とCO₂クレジット購入費用の合計（億円）に最も近い値はどれか。ただし、LNG火力発電所の熱効率は50%、LNGの発熱量は 1.3×10^{10} cal/t、LNGのCO₂排出係数は 2.0×10^{-4} g-CO₂/cal、LNGの価格は50,000円/t、CO₂クレジット価格は500円/t-CO₂とする。

- ① 200
- ② 300
- ③ 400
- ④ 500
- ⑤ 600

【解答と解説】

正解は③である。

題意に基づいて計算を行う。

LNG火力発電所での発電量は、（LNGの発熱量×燃料の量×熱効率）となるため、 5×10^{15} calの年間発電量を賄うために必要な燃料の量は、以下となる。

$$\begin{aligned} \text{燃料の量} &= 5 \times 10^{15} / 1.3 \times 10^{10} \times 0.5 \\ &= 7.7 \times 10^5 \text{ t} = 7.7 \times 10^{11} \text{ g} \end{aligned}$$

CO₂排出量は、（LNGの発熱量×燃料の量×CO₂排出係数）となるため、以下となる。

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{排出量} &= 1.3 \times 10^{10} / 10^6 \times 7.7 \times 10^{11} \times 2.0 \times 10^{-4} \\ &= 2.0 \times 10^{12} \text{ g-CO}_2 \\ &= 2.0 \times 10^6 \text{ t-CO}_2 \end{aligned}$$

以上から、燃料購入費用とCO₂クレジット購入費用は以下となる。

$$\begin{aligned} \text{燃料購入費用} &= \text{燃料の量} \times \text{LNGの価格} \\ &= 7.7 \times 10^5 \text{ t} \times 50,000 \text{ 円/t} \\ &= 385 \text{ 億円} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{クレジット購入費用} &= \text{CO}_2 \text{排出量} \times \text{CO}_2 \text{クレジット価格} \\ &= 2.0 \times 10^6 \text{ t-CO}_2 \times 500 \text{ 円/t-CO}_2 \\ &= 10 \text{ 億円} \end{aligned}$$

合計は、 $385 + 10 = 395$ 億円 ≈ 400 億円