

令和6年度技術士試験「原子力・放射線部門」対策講座

令和5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－

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

1. はじめに

令和5年11月26日に、原子力・放射線部門を含む20の技術部門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68名が受験し、44名が合格している（合格率64.7%）。一次試験の科目は、基礎、適性、専門の3科目であり、今年度も変更はされていない^[1]。基礎科目及び専門科目の試験の程度は、4年制大学の自然科学系学部の専門教育課程修了程度とされている。本解説は、原子力・放射線部門での受験を考えておられる方のために、「専門科目」について、昨年度実施された試験の問題について解答の解説を含む参考情報を提供し、受験生の勉強に役立てるために作成したものである。

2. 専門科目の試験内容

第一次試験の試験方法は表1に示す通りで、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]。

原子力・放射線部門の専門科目の出題範囲は、「原子力、放射線、エネルギー」の3つの分野が規定されており^[2]、試験時間は2時間で、50点満点の試験である。例年、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、合否判定基準については50%以上の得点とされる。したがって、合格するためには選択した25問のうち13問以上に正解する必要がある。

3. 専門科目の出題傾向と対策

令和5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。

表2に各問題の出題概要、分野区分、問題形式の区分を示した。過去の試験問題が日本技術士会のホームページに掲載されているが、問題の構成等に余り大きな変化はない。

解答に当たっての注意事項として、全35問から任意の25問を選択してマークシートの番号を塗りつぶして解答することとなるが、26問以上解答した場合には失格となるので十分注意すること。

解答に当たっては、まず一通りの問題に目を通し、13問以上得点を獲得できるよう25問を選択することが必要である。また、計算問題は、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が多く、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。正誤問題については、誤った解答はどこが間違っているのかも含めて覚えておくことで、より多くの問題に対応できるようになるため、その点に留意して解答を確認するとよい。

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（少なくとも直近5年分）をし

っかり解いて理解しておくことが望ましい。この際、原子力・放射線に関する幅広い基礎知識，専門知識が求められるため，すべての問題に取り組むことで，13 問以上得点を獲得できる可能性が高くなる。第一次試験の過去問は技術士会ホームページの試験・登録情報^[3]などに掲載されている。その他，参考文献 [4]～[14]についても参照されたし。

(1) 原子力分野

原子力分野においては，表 2 に示すように，主に原子炉に関係する問題として，炉物理（5 問），原子炉（9 問），その他燃料サイクル（1 問），放射性廃棄物（1 問），核物質管理（1 問）の分野からの出題がみられる。問題数としては，35 問中 17 問と全体の約半分を占める。多くの問題は，原子力百科事典 ATOMICA 等に記載されているレベルの知識があれば解ける問題であり，関連する知識について初等テキストなどを利用してしっかり学習しておきたい。計算問題も出題されているが，考え方さえ理解できれば，それほど複雑なものはない。

(2) 放射線分野

放射線分野では，放射線の基礎（7 問），放射線利用（2 問），放射線計測（4 問），放射線防護（1 問）が出題されており，幅広く出題されている。問題数は 35 問中 14 問であり，原子力分野の問題に比べるとやや少なめであるが，毎年 10 問以上出題されている。問題の傾向としては，放射線に関連した基礎的な理論や現象を問う問題が多く，第 1 種放射線取扱主任者試験と共通する内容を多く含むことから，第 1 種放射線取扱主任者試験対策として市販されている参考書等を利用するとよい。

(3) エネルギー分野

エネルギー分野では，35 問中 4 問の出題となっている。このうち，ウラン資源の問題は原子力の分野に含めても良いかも知れないが，直接的なものではなくエネルギー資源の問題として整理した。再生可能エネルギーに関するもの，GX 基本方針に関するものなどが問われており，エネルギー政策に係る計画、白書等に広く目を通しておくことが望ましい。

【主な参考文献】

- [1] 「技術士第一次試験実施大綱」, 科学技術・学術審議会, 技術士分科会試験部会
https://www.engineer.or.jp/c_topics/008/008191.html
- [2] 公益社団法人 日本技術士会 HP 「技術士第一次試験の科目」
https://www.engineer.or.jp/c_topics/000/000289.html
- [3] 公益社団法人日本技術士会 HP 「過去問題（第一次試験）」
https://www.engineer.or.jp/c_categories/index02021.html
- [4] 日本原子力学会 HP 技術士関連情報
<http://www.aesj.net/gijyutsushi>
- [5] 「原子力がひらく世紀」, 一般社団法人 日本原子力学会編
- [6] 「原子力白書」, 原子力委員会
<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/hakusho/index.htm>
- [7] 「原子力規制委員会 年次報告」
<https://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/kettei/06/05.html>
- [8] 「エネルギー白書」, 経済産業省資源エネルギー庁
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/>
- [9] 「原子力百科事典」 ATOMICA
<https://atomica.jaea.go.jp/>
- [10] 「放射線概論」, 通商産業研究社
- [11] 放射線技術学シリーズ「放射線計測学」, OHM 社
- [12] 原子力教科書「原子炉物理学」, 「放射線利用」, 「原子炉動特性とプラント制御」, 「原子炉設計」, 「原子力保全工学」, 「原子力プラント工学」, 「原子力熱流動工学」, OHM 社
- [13] 「軽水炉燃料のふるまい」, 原子力安全研究協会
- [14] 「軽水炉発電所のあらまし」, 原子力安全研究協会 他

表 1 第一次試験の試験方法

問題の種類	回答時間	配点	合否決定基準
I 基礎科目 科学技術全般にわたる基礎知識を問う問題	1 時間	15 点満点	50%以上の得点
II 適性科目 技術士法第四章の規定の遵守に関する適性を問う問題	1 時間	15 点満点	50%以上の得点
III 専門科目 当該技術部門に係る基礎知識及び専門知識を問う問題	2 時間	50 点満点	50%以上の得点

表2 令和5年度「専門科目」の専門分野と概要

設問	分野／分類	概要	正誤 空白	計算 問題	
Ⅲ-1	原子力	炉物理	熱中性子によるウランの核分裂	○	
Ⅲ-2		炉物理	ウランの核分裂エネルギー		○
Ⅲ-3		原子炉	核燃料（軽水炉）	○	
Ⅲ-4		炉物理	バックリング	○	
Ⅲ-5		原子炉	原子炉減速材	○	
Ⅲ-6		原子炉	PWR と BWR の運転・制御	○	
Ⅲ-7		原子炉	原子炉材料の経年劣化	○	
Ⅲ-8		原子炉	原子力発電所の PID 制御	○	
Ⅲ-9		原子炉	原子炉注水システムの信頼性	○	
Ⅲ-10		原子炉	熱伝達（気液二層流）	○	
Ⅲ-11		炉物理	遅発中性子	○	
Ⅲ-12		原子炉	深層防護	○	
Ⅲ-13		原子炉	原子炉材料の高温挙動	○	
Ⅲ-14		炉物理	増倍係数	○	
Ⅲ-15	放射線	放射線計測	気体の電離	○	
Ⅲ-16		放射線計測	シンチレータ	○	
Ⅲ-17		放射線計測	中性子計測	○	
Ⅲ-18		放射線の基礎	γ 線/X線と物質の相互作用	○	
Ⅲ-19		放射線の基礎	阻止能	○	
Ⅲ-20		放射線計測	計数率		○
Ⅲ-21		放射線の基礎	放射性壊変	○	
Ⅲ-22		放射線の基礎	半減期		○
Ⅲ-23		放射線防護	放射線の人体への影響	○	
Ⅲ-24		放射線利用	陽子加速（エネルギー）		○
Ⅲ-25		放射線の基礎	放射平衡	○	
Ⅲ-26		放射線利用	がんの診断、治療	○	
Ⅲ-27		放射線の基礎	放射性物質の性質	○	
Ⅲ-28		放射線の基礎	線量率		○
Ⅲ-29	原子力	核燃料サイクル	製錬、転換、濃縮、再処理	○	
Ⅲ-30		放射性廃棄物	放射性廃棄物処分とクリアランス	○	
Ⅲ-31		核物質管理	原子力の平和利用と核物質管理	○	
Ⅲ-32	エネルギー	エネルギー政策	再生可能エネルギー	○	
Ⅲ-33		エネルギー政策	CO ₂ クレジット		○
Ⅲ-34		資源	天然ウラン生産量	○	
Ⅲ-35		エネルギー政策	GX 実現に向けた基本方針	○	

Ⅲ 次の35問題のうち25問題を選択して解答せよ。(解答欄に1つだけマークすること。)

Ⅲ－1 熱中性子による ^{235}U の核分裂に関する次の記述のうち、不適切なものはどれか。

- ① 発生するエネルギーの80%以上が、核分裂片の運動エネルギーである。
- ② 核分裂生成物の生成確率である核分裂収率の総和は2.0となる。
- ③ 即発中性子は、平均エネルギー約2MeVの高速中性子である。
- ④ 1回の核分裂反応に伴い発生する中性子数は、平均で約2.4個である。
- ⑤ 核分裂断面積は、1eV以下では中性子のエネルギーの逆数にほぼ比例する。

【解答と解説】

正解（不適切なもの）は⑤

- ① 適切。
- ② 適切。
- ③ 適切。
- ④ 適切。
- ⑤ 不適切。核分裂断面積は、1eV以下では中性子のエネルギーの平方根に反比例する。

【参考文献等】

[1] 原子力百科事典 ATOMICA 「ウラン 235 の断面積の図」

https://atomica.jaea.go.jp/data/fig/fig_pict_03-06-01-03-11.html

[2] 原子炉物理（シリーズ：現代核科学の基礎）「第2章 中性子と物質の反応」 日本原子力学会

https://rpg.jaea.go.jp/else/rpd/others/study/text_data/text_aesj/Chap_02_20200317.pdf

Ⅲ-2 次の記述の、に入る数値として、最も近い値はどれか。

1gの ^{235}U の核分裂により発生するエネルギーは、約MW日に相当する。ただし、 ^{235}U 原子1個の核分裂によって発生するエネルギーを200MeV、 $1\text{eV}=1.6\times 10^{-19}\text{J}$ 、アボガドロ数を 6.0×10^{23} とする。

- ① 1 ② 10 ③ 100 ④ 1,000 ⑤ 10,000

【解答と解説】

正解は①。

1g の ^{235}U は $1/235\text{mol}$ だから、原子数は $1/235\times 6.0\times 10^{23}$ 個

したがって核分裂により発生するエネルギーは

$$1/235\times 6.0\times 10^{23}\times 200\times 10^6\times 1.6\times 10^{-19}=8.1\times 10^{10}\text{J}=0.94\text{ MW 日}$$

【類似問題】

・ R3 Ⅲ-11

Ⅲ－3 我が国に導入されている加圧水型軽水炉（PWR）と沸騰水型軽水炉（BWR）で使用されている核燃料に関する次の記述のうち、適切なものはどれか。

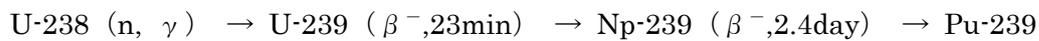
- ① ^{235}U 濃縮度を 20%以上に高めた濃縮ウランが用いられている。
- ② ^{238}U が中性子捕獲したのち α 壊変を繰り返すと ^{239}Pu が生成する。
- ③ 燃料棒にはアルゴンガスが封入されている。
- ④ 燃料棒の被覆管にはステンレス鋼が用いられている。
- ⑤ 一部の燃料ペレットに可燃性毒物であるガドリニアを混入している。

【解答と解説】

正解は⑤。

① 不適切。濃度を 3～5%に高めた濃縮ウランを用いる。

② 不適切。 α 壊変ではなく β 壊変。



③ 不適切。熱伝達のよいヘリウムガスが封入されている。

④ 不適切。ジルコニウム合金製。

⑤ 適切。

【参考文献等】

[1] ラマーシュ：「原子炉の初等理論（上）」 1974.6

[2] テキスト「核燃料サイクル」（4-1. 「軽水炉燃料（プルサーマルを含む）」原子力学会再処理・リサイクル部会）

Ⅲ-4 バックリングに関する次の記述のうち、不適切なものはどれか。ただし k_{∞} は無限増倍率、 M^2 は移動面積、 ϕ は中性子束とする。

- ① 原子炉方程式 $\nabla^2 \phi + B^2 \phi = 0$ を満足する B^2 は形状バックリングである。
- ② 外挿距離を含む一辺の長さ a の立方体の形状バックリングは $3(\pi/a)^2$ で与えられる。
- ③ 形状バックリングが大きい炉心ほど、炉心からの中性子漏れは小さい
- ④ 臨界方程式 $k_{\infty}/(1+M^2 B^2) = 1$ を満足する B^2 を、材料バックリングという。
- ⑤ 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。

【解答と解説】

正解は③。

- ① 適切。
- ② 適切。
- ③ 不適切。

例えば、球の場合、半径を r とすると形状バックリング（幾何学的バックリング）は $(\pi/r)^2$ で表され、 r が小さいほど大きい。形状バックリングが大きいほど、炉心からの中性子の漏れは大きい。

- ④ 適切。
- ⑤ 適切。

【参考文献等】

- [1] ラマーシュ：「原子炉の初等理論（上）」1974.6
- [2] 原子力百科事典 ATOMICA 「原子炉物理の基礎（2）中性子増倍率と転換、増殖（03-06-04-02）」
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_03-06-04-02.html

【類似問題】

・R1（第2回目：再試験） Ⅲ-5

Ⅲ－５ 次の表は、３つの減速材（軽水、重水、黒鉛）の減速・拡散の特性（ ξ ：１回の衝突当たりのエネルギーの平均対数減衰率、など）を示した表である。これを参考にして、次の記述のうち、不適切なものはどれか。

	軽水	重水	黒鉛
ξ	0.93	0.51	0.16
減速能 $\xi\Sigma_s$ (cm ⁻¹)	1.5	0.18	0.063
減速比 $\xi\Sigma_s/\Sigma_a$	70	2100	170
拡散係数 D (cm)	0.18	0.85	0.92
拡散距離 L (cm)	2.88	100	50
フェルミ年齢 (cm ²)	33	120	350

- ① 熱中性子の一番透過しやすい減速材は軽水である。
- ② 散乱に対する平均自由行程の一番短い減速材は軽水である。
- ③ １回の散乱当たり失うエネルギーの一番大きい減速材は軽水である。
- ④ 移動面積 M^2 (migration area) の一番大きい減速材は重水である。
- ⑤ 熱中性子の巨視的吸収断面積の一番小さい減速材は重水である。

【解答と解説】

正解は①。

- ① 不適切。

一番透過しやすい減速材は黒鉛。拡散係数 D が最も大きい減速材が透過しやすい（中性子が媒質中を移動しやすい）と言えるため。

- ② 適切。

平均自由行程 λ は巨視的全断面積 Σ_t の逆数で表され、巨視的全断面積 Σ_t は巨視的吸収断面積 Σ_a と巨視的散乱断面積 Σ_s の和で得られる。

どの減速材も、巨視的吸収断面積 Σ_a は巨視的散乱断面積 Σ_s に比べて十分小さいため、巨視的全断面積 Σ_t は巨視的散乱断面積 Σ_s とほぼ等しい。

$$\Sigma_s \text{ (軽水)} = 1.5/0.93 = 1.61$$

$$\Sigma_s \text{ (重水)} = 0.18/0.51 = 0.35$$

$$\Sigma_s \text{ (黒鉛)} = 0.063/0.16 = 0.39$$

平均自由行程の大きさの順は上記の逆となり、軽水 < 黒鉛 < 重水

- ② 適切。 ξ の大きさから一番大きいのは軽水。

- ③ 適切。移動面積 M^2 は核分裂によって生じた高速中性子が減速して熱中性子になるまでの拡散距離の２乗に相当する「フェルミ年齢」と「熱中性子の拡散距離の２乗」との和であるから、移動面積が一番大きいのは重水。

- ⑤ 適切。

巨視的吸収断面積 Σa は

$$\Sigma a \text{ (軽水)} = 1.5/70 = 0.021$$

$$\Sigma a \text{ (重水)} = 0.18/2100 = 8.6 \times 10^{-5}$$

$$\Sigma a \text{ (黒鉛)} = 0.063/170 = 3.8 \times 10^{-4}$$

重水 < 黒鉛 < 軽水

【類似問題】

・ H30 III-2

Ⅲ－6 我が国に導入されている加圧水型軽水炉（PWR）と沸騰水型軽水炉（BWR）の運転・制御に関する次の記述のうち、適切なものはどれか。

- ① PWR では、制御棒吸収材として銀・インジウム・カドミウム合金を用いた、燃料集合体間の隙間に挿入する十字型制御棒が使用される。
- ② BWR では、再循環流量を調整することにより、炉心内の冷却材の密度変化に伴う中性子吸収の変化を利用して、原子炉の出力を制御することができる。
- ③ BWR では、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、燃焼に伴う反応度変化を補償する。
- ④ BWR で用いられる燃料集合体に導入されているウォーターロッドには、核分裂反応が起こりにくい燃料集合体断面中央部での、中性子減速効果を高める役割がある。
- ⑤ PWR や BWR には自己制御性があり、これは主としてドップラー効果やボイド効果、減速材温度効果による、反応度変化を促進する効果である。

【解答と解説】

正解は④。

- ① 不適切。十字型制御棒は BWR のもの。棒状の制御棒を束ねたクラスタ型
- ② 不適切。BWR は再循環流量を調整して出力制御する点は正しいが、冷却材の密度変化に伴う中性子「吸収」の変化ではなく、中性子「減速」が適切。
- ③ 不適切。BWR では、沸騰水型軽水炉では一次冷却水が水と蒸気の二相流となり、溶解物が析出する可能性があるのでケミカルシムは行わず、再循環流量の調整等によって出力制御を行う。
- ④ 適切。
- ⑤ 不適切。自己制御性の説明であり、負のフィードバックであるため、反応度変化を「促進」ではなく、「抑制」が適切。

【参考文献等】

- [1] 原子力百科事典 ATOMICA 「沸騰水型原子炉（BWR）」
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_02-01-01-01.html
- [2] 原子力百科事典 ATOMICA 「PWR の炉心設計」
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_02-04-02-01.html
- [3] 原子力百科事典 ATOMICA 「原子力発電プラント（BWR）の制御」
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_02-03-06-01.html
- [4] 原子炉物理（シリーズ：現代核科学の基礎）「第10章 原子炉の炉心設計」 日本原子力学会
https://rpg.jaea.go.jp/else/rpd/others/study/text_data/text_aesj/Chap_10_20200317.pdf

【類似問題】

・R4 Ⅲ-6

Ⅲ－7 原子力発電所の機器・建造物の損傷や経年劣化事象に関する次の記述のうち、不適切なものはどれか。

- ① コンクリート建造物の経年劣化事象の代表例では、コンクリート中の水酸化カルシウムと大気中の二酸化炭素との反応によってコンクリートの pH が表面から徐々に低下し、鉄筋の保護機能が失われ、鉄筋が腐食して膨張し、コンクリートのひび割れが生じる。
- ② 粒界型応力腐食割れは、溶接熱影響による材料の鋭敏化、高溶存酸素の水環境、高引張応力の 3 要因がある一定の条件を満たした場合に発生し、結晶粒界に沿って割れが進展する。
- ③ 蒸気と液滴が混在する蒸気系配管において、加速された液滴が配管壁面に衝突して発生する大きな衝撃力によって、その配管表面の酸化膜あるいは母材そのものが浸食される現象が液滴衝撃エロージョンで、流れの変化が大きい配管部位で発生しやすい。
- ④ 流れ加速型腐食は、水単相流若しくは管壁に液膜が形成されるような水・蒸気二相流の流動条件において、管壁近傍の流れによって母材の酸化・溶解が促進されて、腐食が加速する減肉現象で、流れの乱れが小さい直線部の配管で主に発生する。
- ⑤ 電気・計装設備に用いられるケーブルでは、熱や放射線等によって絶縁部に使用されているゴムやプラスチック等が時間経過とともに変質して絶縁低下が生じる。発電機や変圧器では、通電により内部で発生する熱等によって同様の絶縁低下が生じる。

【解答と解説】

正解は④。

- ① 適切。
- ② 適切。
- ③ 適切。
- ④ 不適切。曲がり管（エルボ）やオリフィス等の流れが大きく乱れる配管部位で主に発生する。
- ⑤ 適切。

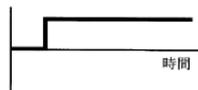
【参考文献等】

- [1] 原子力百科事典 ATOMICA 「応力腐食割れの発生・成長機構と研究動向（02-07-02-22）」
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_02-07-02-22.html
- [2] 原子力百科事典 ATOMICA 「原子力プラント流動高温水中における炭素鋼腐食（02-08-01-10）」
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_02-08-01-10.html
- [3] 原子力百科事典 ATOMICA 「原子力発電施設の高経年化対策と関連研究（06-01-01-12）」
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_06-01-01-12.html

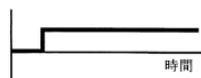
Ⅲ－8 次の記述の に入る図記号の組合せとして、適切なものはどれか。

原子力発電プラントで使用されている制御方式として PID 制御がある。この制御方式は比例要素，積分要素，及び微分要素で構成される。

偏差信号がステップ関数（問題図）である場合，比例要素，積分要素，及び微分要素の出力（時間特性）に対応する図は各 a b c である。これらを重ね合わせた結果として得られる PID 制御の出力（時間特性）は d となる。



問題図 偏差信号の時間特性



図A



図B



図C



図D



図E



図F



図G

- | | <u>a</u> | <u>b</u> | <u>c</u> | <u>d</u> |
|---|----------|----------|----------|----------|
| ① | 図C | 図B | 図D | 図F |
| ② | 図A | 図C | 図E | 図G |
| ③ | 図C | 図B | 図E | 図F |
| ④ | 図A | 図C | 図D | 図F |
| ⑤ | 図C | 図B | 図E | 図G |

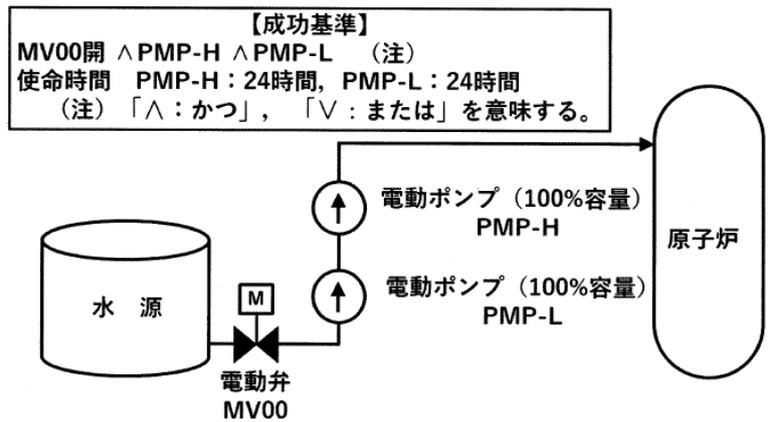
【解答と解説】

正解は②。

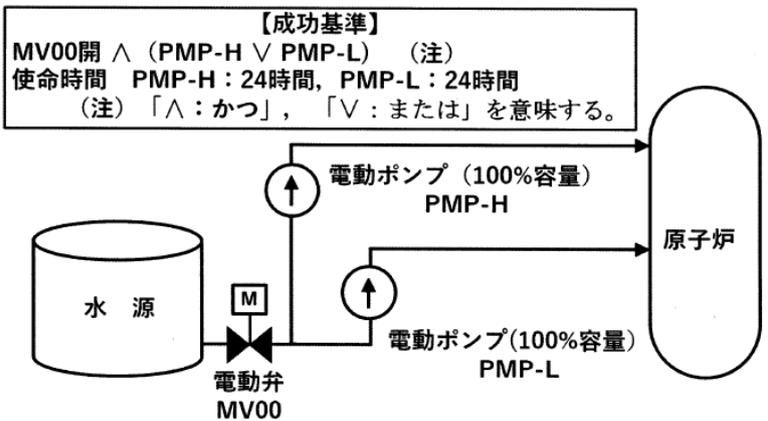
【参考文献等】

[1] 「原子力教科書 原子炉動特性とプラント制御」（岡芳明、鈴木勝男）第1版第1刷 P.52-P.56

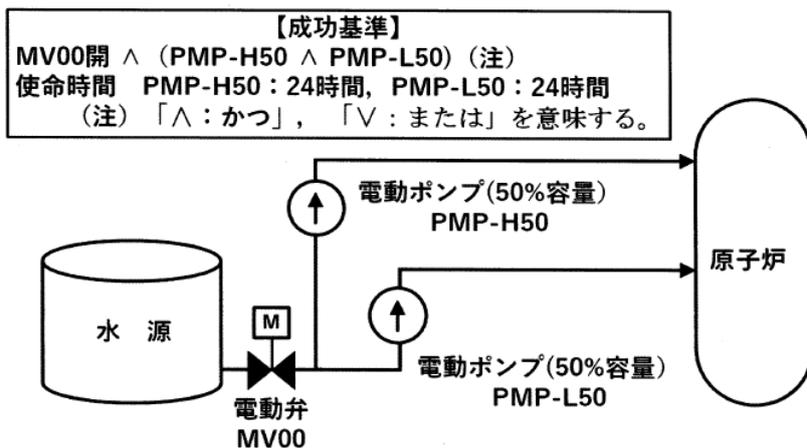
III-9 次の原子炉注水システムの非信頼度の大小関係として、適切なものはどれか。



原子炉注水システムA



原子炉注水システムB



原子炉注水システムC

【共通の仮定】

1. 水源は無限量を有し、枯渇、タンクの破損、タンク出口の閉塞は考慮しない。また、配管及び機器（電動弁及び電動ポンプ）の破損・リークは考慮しない。
2. 注水システムの成功基準（使命を達成する基準）を各図に示す。ポンプ容量について、100%とは機能達成にポンプ1台が必要であり、50%とはポンプ2台が必要であるとする。
3. 運転員等による回復操作は期待しない。
4. 定例試験等における系統・トレンの待機除外は考慮しない。
5. 信号、補機冷却水、電源等のサポート機能の喪失は考慮しない。
6. 系統を構成する機器の故障モード及び故障率は以下を想定する（記載のない故障モード及び故障率は考慮しないこと）。
7. 各システムのポンプは揚程等がことなるとし、多重化された機器とは見なせないため、共通原因故障は考慮しない。

機 種	想定する故障モード	故障率
電動弁	開失敗	6.8×10^{-5} (／demand)
電動ポンプ	起動失敗	1.2×10^{-4} (／demand)
電動ポンプ	継続運転失敗	8.1×10^{-7} (／h)

- ① 原子炉注水システムA > 原子炉注水システムB = 原子炉注水システムC
- ② 原子炉注水システムB = 原子炉注水システムA > 原子炉注水システムC
- ③ 原子炉注水システムC > 原子炉注水システムB = 原子炉注水システムA
- ④ 原子炉注水システムA = 原子炉注水システムC > 原子炉注水システムB
- ⑤ 原子炉注水システムB > 原子炉注水システムA = 原子炉注水システムC

【解答と解説】

正解は④。

成功基準が

システム A : MV00 開成功 かつ PMP-H 成功 かつ PMP-L 成功
 システム B : MV00 開成功 かつ (PMP-H 成功 又は PMP-L 成功)
 システム C : MV00 開成功 かつ (PMP-H50 成功 かつ PMP-L50 成功)

であり、

PMP-H 成功と PMP-H50 成功の確率は同じ (PMP-L も同様) であるため、成功確率は
 システム B > システム A = システム C

非信頼度の順はその逆となる。

【類似問題】

・ R4 III-9

Ⅲ-10 次の記述の□に入る語句の組み合わせとして、適切なものはどれか。

気液二相流には気相と液相の流量割合に応じて種々の流動様式がある。垂直加熱管下端から流入した液相単相の垂直上昇流の場合、管壁面からの加熱により連続的に相変化を生じ、垂直管下部から液相単相流、

□A流、□B流、□C流、□D流、□E流、気相単相流となる。

□A流では連続相である液相の中で□Aが分散して分布する。

□B流では□Aが成長し、ほぼ流路口径と等しくなる。

□C流は□B流での大きな□Aの分裂により生じる。

さらに、気相割合が増加すると流路中心部は気相で占められ、加熱壁面上に液膜が生じる□D流となる。

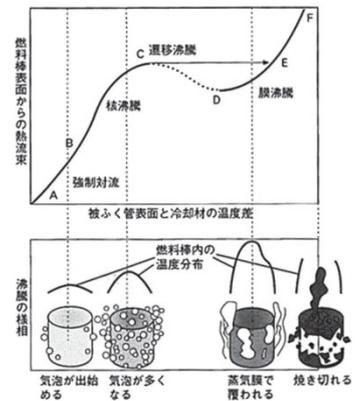
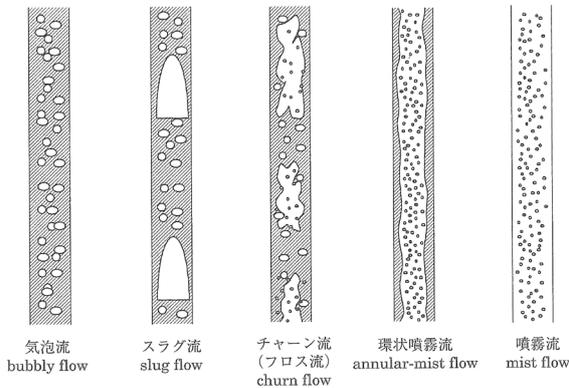
□E流では、気相が連続相となり、その中を液滴が分散して流れる。

	A	B	C	D	E
①	気泡	スラグ	チャーン	環状	噴霧
②	スラグ	噴霧	気泡	チャーン	環状
③	気泡	チャーン	スラグ	環状	噴霧
④	スラグ	気泡	チャーン	噴霧	環状
⑤	気泡	チャーン	スラグ	噴霧	環状

【解答と解説】

正解（適切なもの）は①。

垂直管内の代表的な流動様式は以下の図のようなものである。



参考図：燃料棒の熱伝達の様相 [2]

図 垂直管内気液二相上昇流の代表的な流動様式[1]

【参考文献等】

[1] 原子力教科書「原子力熱流動工学」（秋本肇ほか）第1版第1刷 p.123

[2] 一般社団法人 日本機械学会「機械工学事典（熱工学）」

<https://www.jsme.or.jp/jsme-medwiki/doku.php?id=c10>

Ⅲ－１１ 次の記述の□に入る語句又は記号の組合せとして、適切なものはどれか。

核分裂反応後に 2 ないし 3 個の中性子が放出される。この中性子の大部分は核分裂直後に放出されるが、ごくわずかな割合の中性子が時間遅れを持って放出される。時間遅れを持って中性子を放出する核分裂生成物の 1 つに ^{87}Br がある。この核は β -壊変をして励起状態の□Aに壊変する。

壊変によって作られた核は、通常、 γ 線を放出して基底状態の核となるが、□Aの場合は以下の過程により中性子を放出する。

- Aは、魔法の数 (Magic Number) 50 よりも中性子数が 1 個多いため、51 番目の中性子の結合エネルギーが非常に□Bなる。
- ^{87}Br からの β -壊変による□A (励起状態) は、上記の結合エネルギーより□C励起状態になる場合がある。
- A (励起状態) に対して、 γ 幅 (Γ_γ) より中性子幅 (Γ_n) が□Dので、□A (励起状態) の一部は γ 線を放出せず、中性子を放出する。

このような過程による中性子放出は ^{87}Br の半減期で支配されるため、中性子放出は ^{87}Br の半減期をもって起こるようにみえる。

	A	B	C	D
①	^{87}Kr	大きく	高い	小さい
②	^{87}Se	小さく	低い	大きい
③	^{87}Kr	大きく	低い	小さい
④	^{87}Se	大きく	低い	小さい
⑤	^{87}Kr	小さく	高い	大きい

【解答と解説】

正解は⑤。

原子核の持っている陽子又は中性子の個数が魔法数 (2, 6, 8, 14, 20, 28, 50, 82, 126) である場合、その核は特に安定であるとされる。 ^{87}Br は遅発中性子の先行核として知られ、 ^{87}Kr に β 崩壊した後、その一部は中性子を放出し、安定な核 (^{86}Kr) に変化することが知られている。

【参考文献等】

[1] ラマーシュ, 原子炉の初等理論 (上), 吉岡書店, 1974

Ⅲ－１２ 深層防護の概念に基づく安全設計に係る次の記述の□に入る語句の組合せとして、適切なものはどれか。

同一の機能を有する同一の性質の系統又は機器が 2 つ以上あることを□A□という。同一の機能を有する異なる性質の系統又は機器が 2 つ以上あることを□B□そして、共通要因によって同時にその機能が損なわれないよう、2 つ以上の系統又は機器が、想定される環境条件及び運転状態において、物理的方法その他の方法によりそれぞれ互いに分離することを□C□という。

深層防護の概念との関係を整理すると、□A□、□B□、□C□は、深層防護の概念に基づいた、ある防護レベルの□D□を高めるための手段であり、

このうち□C□は□A□、□B□が効果を発揮するための前提条件である。

そして□E□は□A□の適切性を確認するための 1 つの手段である。

	A	B	C	D	E
①	多重性	多様性	独立性	信頼性	単一故障基準
②	多様性	多重性	独立性	可用性	単一故障基準
③	独立性	多重性	多様性	信頼性	分解点検
④	独立性	多様性	多重性	信頼性	分解点検
⑤	多重性	独立性	多様性	可用性	単一故障基準

【解答と解説】

正解（適切なもの）は①。

【参考文献等】

[1] 一般社団法人 日本原子力学会 標準委員会技術レポート「原子力安全の基本的考え方について 第 I 編 別冊 深層防護の考え方」

https://www.aesj.net/document/tr005anx-2013_op.pdf

Ⅲ－１３ 沸騰水型軽水炉(BWR)のシビアアクシデント時に燃料棒や制御棒などが溶融する場合の高温挙動のうち、(a)ステンレス鋼の融点、(b)ジルカロイの融点、(c)ステンレス鋼と炭化ホウ素(B₄C)の間で溶融が始まる温度(共晶温度)を高いものから順に並べたものとして適切なものはどれか。

- ① (a) > (b) > (c)
- ② (a) > (c) > (b)
- ③ (b) > (a) > (c)
- ④ (b) > (c) > (a)
- ⑤ (c) > (b) > (a)

【解答と解説】

正解(適切なもの)は③。

(a) ステンレス鋼の融点 1720K,

(b) ジルカロイ被覆管の融点：2030K,

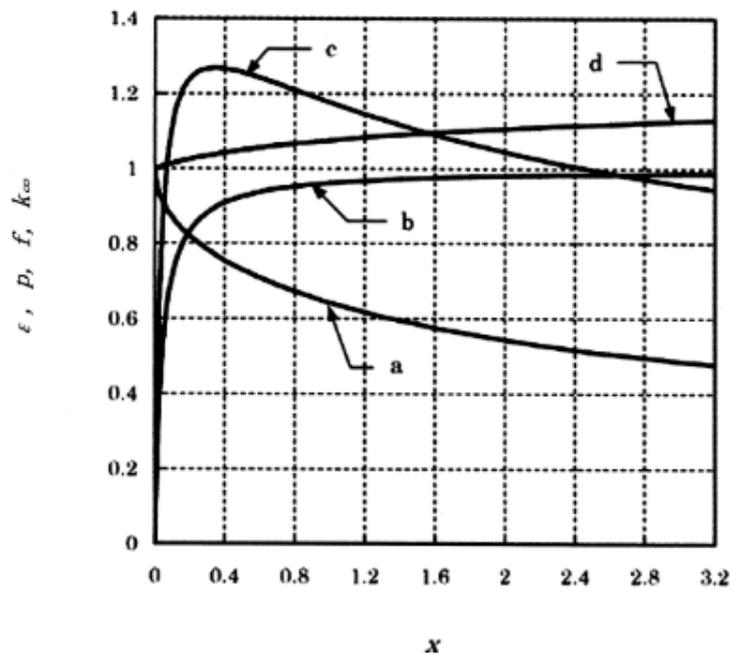
(c) ステンレス鋼と炭化ホウ素(B₄C)の間で溶融が始まる温度(共晶温度) 1447K

【参考文献等】

- [1] 藤城俊夫,「福島第一発電所の原子炉燃料に何が起こったか炉心露出事故時の燃料のふるまい」,日本原子力学会誌, Vol. 53、 No. 8 (2011), (財)高度情報科学技術研究機構
- [2] 山野秀将他,「炭化ホウ素とステンレス鋼の共晶溶融反応試験後の材料分析」,日本機械学会論文集
- [3] 日高昭秀,「B₄C 制御材がシビアアクシデント時の炉心溶融過程及びヨウ素やセシウムの化学系に与える影響」,日本原子力学会和文論文誌(2015), advance Publication by J-stage, doi:10.3327/taesj.J14.021

Ⅲ-14 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)、 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わせとして、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。



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

【解答と解説】

正解は④。

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。

【類似問題】

Ⅲ－１５ 気体の電離を利用した放射線検出器（ガス入り検出器）に関する次の記述のうち、不適切なものはどれか。

- ① ガス入り検出器は、放射線がガス中を通過する際に起こす電離作用を利用して動作する。
- ② ガス入り検出器はその動作領域で名前を付けられており、再結合領域、電離箱領域、比例領域、制限比例領域、ガイガーミュラー領域、放電領域の 6 つの領域で使用される。
- ③ 比例計数管は比例領域で動作し、計数管内で電荷増幅が起こるが、計数管内ガスに付与されたエネルギーに比例した出力信号がえられる。
- ④ ガイガーミュラー計数管は、ガイガーミュラー領域で動作し、どの種類の電離性放射線に対しても使用できる。
- ⑤ 電離箱は電離箱領域で動作し、比例計数管と異なり電荷増幅は起こらないものの、ガスに付与されたエネルギーに比例した出力信号がえられる。

【解答と解説】

正解は②。

①適切：

放射線などの作用により中性の原子または分子の軌道電子が可逆的に引離され、原子または分子がイオン化される現象である電離は一次電離と二次電離があり、一次電離は電子、陽子、 α 粒子などの荷電粒子による直接電離であり、二次電離は物質と放射線（X線、 γ 線、中性子、直接電離の結果生じた電子線による場合もある）との相互作用で放出された荷電粒子により二次的に電離されるものである。気体中の電離作用を利用した放射線検出器には、電離箱、比例計数管、GM管の3種があり、これらの検出器の相違点はそれぞれの電離過程が異なることである。

②不適切：

再結合領域では、電場が弱いためにできたイオンが、それぞれの電極に到達する前に再結合を起こして中性原子となり、電離電流に寄与しなくなる確率が高い。

①で示したとおり、気体中の電離作用を利用した放射線検出器には、電離箱、比例計数管、GM管の3種があり、それぞれ動作領域は、電離箱領域、比例領域、ガイガーミュラー領域となる。以下ガス入り検出器のパルス波高値と印加電圧例（電圧によって動作領域が分かれる）を図に示す。

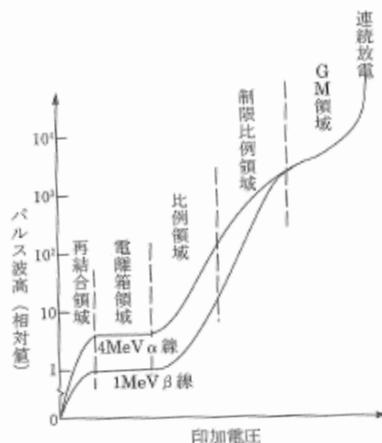


図 ガス入り検出器のパルス波高値と印加電圧の例
（電圧によって作動領域が分かれる）

③④⑤適切：図参照

【参考文献等】

[1] 通商産業研究社「放射線概論」

[2] 原子力百科事典 ATOMICA 「電離」

https://atomica.jaea.go.jp/dic/detail/dic_detail_1100.html

Ⅲ－16 放射線検出器に利用されるシンチレータに関する次の記述のうち、不適切なものはどれか。

- ① NaI (Tl) は γ 線の測定に適する。
- ② ZnS (Ag) は α 線の測定に適するが、スペクトル測定に不向きである。
- ③ LaBr₃ (Ce) は γ 線のエネルギー分解能に優れており、バックグラウンドのすぐ上でスペクトルを測定するような低計数率の場合に適する。
- ④ 液体の有機シンチレータは、測定試料をシンチレータと混合して、 α 線や β 線の測定に用いるのが一般的である。
- ⑤ 有機シンチレータは平均原子番号が低いため β 線の検出に適している。

【解答と解説】

正解（不適切なもの）は③。

① 適切：

ガンマ (γ) 線測定装置として、微量のタリウム (Tl) を含むヨウ化ナトリウム (NaI) の結晶からなるシンチレーション検出器を通称 NaI (Tl) シンチレータと呼んでいる。NaI (Tl) の結晶に γ 線が入射すると両者の相互作用（光電子効果、コンプトン散乱、電子対創性）によって二次電子が NaI (Tl) 結晶物質を励起し、励起状態が定常状態に戻る時、分子がシンチレーションと呼ばれる閃光を発生する。この光を捕え、光電子増倍管と組み合わせて、放射線の量を電流パルスにおきかえ、放射線測定器として用いる。光の強さは、結晶内で二次電子が失ったエネルギーに比例することから入射 γ 線のエネルギーや強度に関するスペクトル情報が得られる。

② 適切：

ZnS (Ag) は、多結晶の粉末としてしか利用できないため、透明度が低い。このため薄い膜に使用が限定され、飛程の長い β 線や γ 線には不向きである。 α 線サーベイメータに利用され、高い検出効率、バックグラウンド計数のほとんどない高性能なものが市販されている。 α 線のスペクトル測定には Si 表面障壁型半導体検出器がよく使用され、核種同定に有効である。

③ 不適切：

LaBr₃ (Ce) シンチレータは高エネルギー分解能かつ高速応答でありながら、高い検出効率を有している非常に性能の良い放射線検出器である。しかし、LaBr₃ (Ce) の結晶中には放射性核種 (¹³⁸La, Ac 系列核種) が含有されており、自己放射能に起因するバックグラウンドが存在するというデメリットがあるため、低計数率での測定には適さない。

④ 適切：

有機液体シンチレータは、測定試料を直接シンチレータに溶かし込む内部線源液体シンチレーション計数法として発達した。この方法では幾何学的検出効率は 100% であり、 β 線測定の際に問題となる線源による自己吸収、後方散乱、検出器の窓による吸収などの問題が解決される。

⑤ 適切：

有機シンチレータは、アントラセン、スチルベンなどの芳香族分子結晶体、またはこれらをプラスチックあるいは有機液体中に溶解した混合物をシンチレータとして用いたもの。励起および発光は分子自体によって行われ、その減衰時間は 1×10^{-8} 秒程度で短い。いずれも主に炭素と水素から成り、平均原子番号が低いので β 線の検出に適している。発光効率の大きいアントラセンなどは、透明な大型結晶が作りにくい。一方、その効率は 40～50%であるが、プラスチックシンチレータは極めて加工性に富んでいるので、任意の形状のものが得られる。液体シンチレータは低エネルギーの β 線を効率よく検出できるので、 ^3H や ^{14}C 等の測定に広く用いられている。

【参考文献等】

[1]原子力百科事典 ATOMICA 「NaI (Tl) シンチレーション検出器」

https://atomica.jaea.go.jp/dic/detail/dic_detail_1626.html

[2] 通商産業研究社「放射線概論」

[3]第 62 回応用物理学会春季学術講演会 講演予稿集

LaBr₃:Ce シンチレータにおける波形解析を用いた アルファ崩壊自己放射能除去方法の研究開発
小川原 亮, 石川 正純 (北海道大)

[4]原子力百科事典 ATOMICA 「有機シンチレータ」

https://atomica.jaea.go.jp/dic/detail/dic_detail_682.html

Ⅲ－１７ 中性子検出又は中性子エネルギー測定に関する次の記述のうち、不適切なものはどれか。

- ① 高速中性子検出の最も一般的な方法は中性子の弾性散乱反応に基づくものであり、入射中性子は運動エネルギーの一部を散乱核に与えて反跳原子核を発生する。
- ② 通常、水素含有シンチレータで発生する反跳陽子の飛程はシンチレータの寸法に比べ長いため、そのすべてのエネルギーをシンチレータに付与する。
- ③ 陽子反跳テレスコープは、有機分子で構成されたラジエータから放出される反跳陽子の放出方向とエネルギーから、入射中性子のエネルギーを算出する。
- ④ 様々な直径の球形ポリエチレン減速材の中心に中性子検出器をおいたものをボナボールと呼び、いくつかの直径の球を組合せることにより、簡単な中性子スペクトロメータとすることができる。
- ⑤ 検出効率が中性子のエネルギーに依存しない検出器を平坦応答中性子検出器と呼び、最もよく用いられているのがロングカウンタである。

【解答と解説】

正解（不適切なもの）は②。

① 適切：

② 不適切：

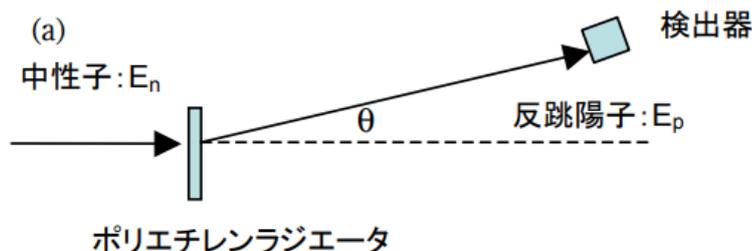
「反跳陽子の飛程はシンチレータの寸法に比べ短く、そのためシンチレータ内ですべてのエネルギーを付与することになる。」が正しい。

一般的に液体シンチレータは、測定したい最大エネルギーの中性子により水素の弾性散乱から生成する反跳陽子の液体シンチレータ中で飛程を基に、その大きさを決め、中性子による反跳陽子の液体シンチレータ中での飛程は短い。

また、反跳陽子の飛程に関する知識がなくとも、「飛程が寸法に比べて“長い”と、その全エネルギーをシンチレータに“付与しない”」、「飛程が寸法に比べて“長い”と、全エネルギーの“一部分だけ”を付与する」ことになり、文章表現からも本選択肢が不適切であることが分かる。

③ 適切：

高エネルギー中性子のフルエンス測定には、主には水素原子核を含有したポリエチレンラジエータを利用した反跳陽子カウンターテレスコープが使用されている。反跳陽子カウンターテレスコープは、中性子と水素との弾性散乱反応によって生成される反跳陽子を後方に設置したガス比例計数管、シンチレーション検出器や半導体検出器などで測定するものである。



④ 適切：

含水素減速材（ポリエチレン、パラフィンなど）中の水素の弾性散乱により、入射中性子エネルギーを熱エネルギー領域まで減速させて、減速材中心部においた熱中性子検出器により検出するものである。減速材の厚さをいくつか変えて測定し、その応答関数の違いを利用して、エネルギースペクトルを得る。

⑤ 適切。

【参考文献等】

- [1] JAERI-Tech 2002-041 広帯域エネルギー中性子モニタ用検出器の開発（共同研究） 金 ウンジュ
他 日本原子力研究所
- [2] ICRU REPORT 49 Stopping Powers and Ranges for Protons and Alpha Particles
INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS
- [3] 産総研計量標準報告 Vol. 6, No. 3 技術資料 多目的中性子利用に対する中性子標準開発と中性子計測技術に関する調査研究 松本 哲郎
- [4] RADIOISOTOPES, 39, 536-546 (1990), 応用放射線エネルギー分析法 (15) VI. 中性子線のエネルギー分析法とその応用 (1) 中村尚司 東北大学サイクロトロンラジオアイソトープセンター

Ⅲ－１８ X線又は γ 線が物質に入射した場合の相互作用に関する次の記述のうち、不適切なものはどれか。なお、光子のエネルギーは物質の電離エネルギーに比べて十分大きいものとする。

- ① 電子対生成は、光子が突然消滅し、代わりに電子と正の電荷を持った電子（陽電子）とが1個ずつ出現するように見える現象である。
- ② コンプトン効果では、光子と衝突する軌道電子は自由電子と見なすことができる。
- ③ 原子1個当たりのコンプトン効果が起こる確率は、原子内の軌道電子数、すなわち吸収物質の原子番号に比例する。
- ④ 光電効果では、入射光子のエネルギーが吸収物質の軌道電子に完全に吸収され、電子は自由電子としてたたき出される。
- ⑤ 光電効果は、確率は低いものの自由電子に対しても引き起こされる。

【解答と解説】

正解（不適切なもの）は⑤。

- ① 適切：電子対生成は、 1.022MeV 以上のエネルギーを持つ光子が原子核の近くを通過したときに、クーロン力により光子が消滅し、電子と陽電子を生成する現象である。
- ② 適切：コンプトン効果では、光子と衝突する軌道電子を静止した自由電子と見なすことができる。
- ③ 適切：コンプトン効果の起こる確率（断面積）は、吸収物質の原子番号（ Z ）に比例する。
- ④ 適切：光電効果では、入射光子のエネルギーが軌道電子に吸収されて消滅し、代わりに軌道電子を自由電子として放出する。
- ⑤ 不適切：光電効果は自由電子に対しては発生しない。

【参考文献等】

[1]通商産業研究社「放射線概論」

Ⅲ－19 非相対論的速度の重荷電粒子の吸収物質中での阻止能に関する次の記述のうち、適切なものはどれか。ただし、重荷電粒子の速度は、吸収物質の原子の軌道電子の速度に比べて十分大きいものとする。

- ① 阻止能は吸収物質の原子番号にほぼ正比例する。
- ② 阻止能は重荷電粒子の速度の2乗にほぼ正比例する。
- ③ 阻止能の単位は $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ である。
- ④ 阻止能は重荷電粒子の電荷の2乗にほぼ反比例する。
- ⑤ 阻止能は吸収物質の単位体積中の原子数にほぼ反比例する。

【解答と解説】

正解（適切なもの）は①。

重荷電粒子と吸収物質との相互作用において、放射阻止能 (S_{rad}) については通常無視できる。一方、衝突阻止能 (S_{col}) については、以下のベーテの式にて表される（ただし、非相対論速度の粒子においては、 $\left\{ \ln \frac{2mv^2}{I(1-\beta^2)} - \beta^2 \right\}$ の部分の変化は少なくなる）。

$$S_{\text{col}} = \frac{z^2 e^4}{4\pi\epsilon_0^2 m v^2} n Z \left\{ \ln \frac{2mv^2}{I(1-\beta^2)} - \beta^2 \right\}$$

ϵ_0 : 真空の誘電率

z : 荷電粒子の原子番号 (= 荷電粒子の電荷)

e : 電気素量

m : 電子の質量

v : 荷電粒子の速度

n : 物質の 1cm^3 中の原子数

Z : 物質の原子番号

I : 原子の平均励起エネルギー

β : v/c (c は光速)

- ① 適切：上式より、重荷電粒子の衝突阻止能は吸収物質の原子番号 (Z) に比例することがわかる。
- ② 不適切：上式より、不適切。「速度の2乗にほぼ正比例する。」→反比例する。
- ③ 不適切：阻止能の単位は、 J/m や MeV/cm などが用いられる。
- ④ 不適切：上式より、不適切。「電荷の2乗にほぼ反比例する。」→正比例する。
- ⑤ 不適切：上式より、不適切。「原子数にほぼ反比例する。」→正比例する。

【参考文献等】

[1]通商産業研究社「放射線概論」

Ⅲ－２０ 点線源から離れた位置に検出器を置き放射線を測定したところ、４分間で４００カウント計数した。また、バックグラウンド計数は８分間で１２５カウントであった。正味の計数率の標準偏差[cpm]として、最も近い値はどれか。なお、線源の減衰は無視できるものとする。

- ① 27 ② 23 ③ 6.4 ④ 5.2 ⑤ 4.8

【解答と解説】

正解（最も近い値）は④。

点線源からの計数値を N 、計数時間を t 、バックグラウンドの計数値を N_b 、計数時間を t_b とすると正味の計数率の標準偏差 σ は、

$$\sigma = \sqrt{\frac{N}{t^2} + \frac{N_b}{t_b^2}} = \sqrt{\frac{400}{4^2} + \frac{125}{8^2}} \cong \sqrt{27} \cong 5.2$$

よって、最も近い値である④が正解となる。

【参考文献等】

[1]原子力百科事典ATOMICA「放射線測定の統計的誤差」

https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_09-04-03-18.html

Ⅲ－２１ 放射性壊変に関する次の記述のうち、不適切なものはどれか。

- ① β^- 壊変では、原子核から電子が放出され、子孫核種の原子番号は 1 増加するが、質量数は変わらない。
- ② α 壊変で放出される α 粒子は ${}^4\text{He}$ の原子核であり、子孫核種の原子番号は 2 減少し、質量数は 4 減少する。
- ③ 原子核が高いエネルギー状態から低いエネルギー状態に移る際に光子 (γ 線) が放出される。この光子の代わりに電子が放出される現象を内部転換という。
- ④ 軌道電子捕獲とは、原子核が軌道電子を捕獲することにより起こる壊変過程で、特性 X 線あるいはオージェ電子が放出されるが、子孫核種の原子番号、質量数は変わらない。
- ⑤ 自発核分裂では、重い原子核が自発的に分裂する現象のことで、分裂に伴い核分裂片と中性子及び γ 線が放出される。

【解答と解説】

正解（不適切なもの）は④。

軌道電子捕獲とは、「原子の中の原子核が軌道電子を捕獲し、核内の陽子がこれと反応して中性子に変わり、原子番号が 1 つ小さい、つまり陽子の数が一つ少なく質量数の同じ別種の原子核に変わる現象 [1]」をいう。よって、問題文の「子孫核種の原子番号は変わらない」という部分が不適切である。

【参考文献】

[1] 原子力百科事典 ATOMICA 「軌道電子捕獲」

https://atomica.jaea.go.jp/dic/detail/dic_detail_821.html

Ⅲ－２２ ^{235}U （半減期 7.0 億年）の ^{238}U （半減期 45 億年）に対する現在の存在比（ ^{235}U 存在量／ ^{238}U の存在量）は 0.007 である。今から 45 億年前における存在比に最も近い値はどれか。なお、 $2^{1/7}=1.10$ とする。

- ① 0.03 ② 0.06 ③ 0.30 ④ 0.60 ⑤ 1.20

【解答と解説】

正解は③。

^{235}U は半減期が 7.0 億年なので、45 億年で $(1/2)^{45/7}$ になる。逆に、45 億年前は現在の $2^{45/7}$ 倍存在したことになる。同様に、 ^{238}U は 45 億年前には、現在の 2 倍存在していたことになる。

^{235}U （現在）／ ^{238}U （現在）=0.007 だから、45 億年前の存在比を α とすると、 α は、

$$\alpha = 0.007 \times 2^{45/7} / 2^1 = 0.007 \times 2^{38/7} = 0.007 \times 2^5 \times 2^{3/7} = 0.007 \times 32 \times (1.10)^3 \doteq 0.298 \doteq 0.30$$

【参考文献等】

[1] 通商産業研究社「放射線概論」

【類似問題】

・R4 Ⅲ-15

Ⅲ－２３ 放射線の人体への影響又は防護に関する次の記述のうち、適切なものはどれか。

- ① 放射線防護の最適化の原則は、被ばくする可能性、被ばくする人の数、及びその人たちの個人線量の大きさを、経済的・社会的な要因は考慮せずに、できる限り低く保つことである。
- ② 組織加重係数は、確定的影響（組織反応）による放射線損害に対する個々の臓器・組織の寄与を表すように決められている。
- ③ ヒトの細胞は、放射線により一方の染色体の DNA に 2 本鎖切断が生じてても、修復する機構を有している。
- ④ 確率的影響は、被ばく線量が増加するにつれて、発生頻度が増加するとともに、症状が発生した際の重篤度も高くなる。
- ⑤ 実効線量は、同じ放射線環境下で同一の作業をした場合でも、個人の身長や体重の違いにより、異なった値となる。

【解答と解説】

正解（適切なもの）は③。

- ① 不適切：防護の最適化の原則は、「経済的・社会的な要因を考慮に入れながら合理的に達成できる限り低く被ばく線量を制限すること[1]」であるので不適切。
- ② 不適切：組織加重係数は、確率的影響による放射線障害に対する個々の臓器の寄与を表すように決められている[2]。
- ③ 適切：[3]
- ④ 不適切：確率的影響は、線量の増加で影響の重篤度は変わらず発生確率だけが増加するとみなされる[4]ので不適切。
- ⑤ 不適切：実効線量は、男女別の標準ファントムの等価線量の平均で計算されるもの[5]で、個人によるものではないことから不適切。

【参考文献】

[1]原子力百科事典 ATOMICA 「ICRP によって提案されている放射線防護の考え方」

https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_09-04-01-05.html

[2]原子力百科事典 ATOMICA 「組織荷重係数」

https://atomica.jaea.go.jp/dic/detail/dic_detail_1910.html

[3]原子力百科事典 ATOMICA 「DNA 修復」

https://atomica.jaea.go.jp/dic/detail/dic_detail_2773.html

[4]原子力百科事典 ATOMICA 「放射線の確定的影響と確率的影響」

https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_09-02-03-05.html

[5]ICRP Publication 103 国際放射線防護委員会の 2007 年勧告（日本語訳） 社団法人日本アイソトープ協会 https://www.icrp.org/docs/P103_Japanese.pdf

Ⅲ－２４ 2MV の電圧を発生するファン・デ・グラーフ型加速器で陽子を加速する。ビーム電流 $1.6 \mu\text{A}$ で、1 分間、加速した陽子を標的に入射した時に、標的に与えられるエネルギー[J]で最も近い値はどれか。ただし、加速された陽子は、標的内で全エネルギーを失うものとする。また、素電荷は $1.6 \times 10^{-19}\text{C}$ とする。

- ① 3 ② 10 ③ 19 ④ 100 ⑤ 190

【解答と解説】

正解は⑤。

$1.6 \mu\text{A}$ の電流値は $1.6 [\mu\text{C/s}]$ であり、陽子の素電荷は $1.6 \times 10^{-19} [\text{C}]$ なので、1 秒当たりに 1×10^{13} [個]の陽子が入射することになる。2MV の電圧で加速された陽子の持つエネルギーは 2MeV なので、陽子の持つエネルギーは陽子 1 個あたり $2 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} [\text{J}]$ となる。

したがって、1 秒当たりの陽子ビーム全体のエネルギーは

$$2 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} [\text{J}] \times 1 \times 10^{13} [\text{個}] = 3.2 [\text{J}]$$

と計算でき、60 秒間では 192 [J]となるため、⑤の 190 が最も近い値となる。

Ⅲ－２５ 次の放射性核種の組合せのうち、前者を親核種、後者を子孫核種とする親子関係が成立し、かつ放射平衡が成立する組合せとして、適切なものはどれか。ただし括弧内は半減期である。

- ① ${}_{32}^{68}\text{Ge}$ (2.7×10^2 日) と ${}_{31}^{68}\text{Ga}$ (68分)
- ② ${}_{90}^{230}\text{Th}$ (7.5×10^2 日) と ${}_{88}^{224}\text{Ra}$ (3.7日)
- ③ ${}_{55}^{140}\text{Cs}$ (64秒) と ${}_{56}^{140}\text{Ba}$ (13日)
- ④ ${}_{42}^{99}\text{Mo}$ (66時間) と ${}_{43}^{99}\text{Tc}$ (2.1×10^5 年)
- ⑤ ${}_{79}^{198}\text{Au}$ (2.7日) と ${}_{81}^{198}\text{Tl}$ (5.3時間)

【解答と解説】

正解（適切なもの）は①。

以下の２点を用いて適切なものを絞り込むことができる。

- ・親子関係の推測： α 壊変及び β 壊変における親核種と子孫核種間の質量数と原子番号の差
- ・２核種間の半減期の差：親核種よりも子孫核種の半減期が短い場合に放射平衡になりえる。

以上から、

- ① 適切：
- ② 不適切：質量数が 6，原子番号が 2 減少していることから親子関係になり得ない。
- ③ 不適切：２つの核種は親子関係（ β -壊変）だが、親核種の方が子孫核種よりも半減期が短いため、放射平衡にはならない。
- ④ 不適切：２つの核種は親子関係（ β -壊変）だが、親核種の方が子孫核種よりも半減期が短いため、放射平衡にはならない。
- ⑤ 不適切：質量数が変わらず、原子番号のみが 2 増加していることから直接の親子関係になり得ない。

【参考文献】

[1]原子力百科事典 ATOMICA 「原子核物理の基礎 (2) 原子核の壊変」

https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_03-06-03-02.html

Ⅲ－26 がんの診断又は治療に関する次の記述のうち、不適切なものはどれか。

- ① 粒子線治療では、陽子線や炭素線の物質中でのエネルギー付与分布がブラッグ曲線となることを利用し、体深部の病巣に多くのエネルギーを与えてがんを治療する。
- ② PET では、 ^{18}F などの陽電子放出核種で標識された放射性化合物を体内に投与し、腫瘍細胞に選択的に取り込まれた放射性化合物から体外に放出された γ 線を検出して診断する。
- ③ ^{131}I を含むヨウ化ナトリウムを投与し、甲状腺組織に選択的に取り込まれた ^{131}I の壊変に伴い放出される β 線、 γ 線を利用して、がんの治療や診断を行う。
- ④ BNCT では、あらかじめホウ素化合物を投与し、腫瘍細胞内に選択的に取り込まれたホウ素と体外から照射した中性子との核反応で発生する陽子及び反跳リチウム原子核によってがんを治療する。
- ⑤ ガンマナイフでは、100 個以上の線源からの γ 線が体深部の病巣に焦点を結ぶように設計されており、病巣に多くのエネルギーを与えてがんを治療する。

【解答と解説】

正解（不適切なもの）は④。

- ① 正しい。体の表面から入った陽子や炭素線は粒子のエネルギーに応じて特定の深さのところエネルギー付与がピークに達して止まる性質があり、このピークは「ブラッグピーク」と呼ばれる。このため、粒子のエネルギーを調整することにより腫瘍細胞に大きなエネルギーを与えることができる。
- ② 正しい。PET は ^{18}F などから放出された陽電子が周囲の電子と対消滅する際に 2 つのガンマ線が逆方向に放出される。このガンマ線を周囲に配置した検出器により測定することにより腫瘍細胞の位置を特定する検査法である。
- ③ 正しい。 ^{131}I が放出する β 線は到達距離が非常に短く体内の組織中で約 0.5mm しか到達しないため、腫瘍細胞周囲の正常組織にはほとんど放射線が到達しない。
- ④ 誤り。BNCT ではホウ素による $^{10}\text{B}(\text{n}, \alpha) ^7\text{Li}$ 反応を用いるため、発生するのは陽子ではなく α 線である。
- ⑤ 正しい。陽子線や炭素線はブラッグピークを持つため腫瘍細胞のみに集中照射が容易なのに対して、ガンマ線は透過力が高くブラッグピークを持たないため周囲の正常細胞へ与える影響が大きい。このため、虫眼鏡で光を集めるように多方向からの γ 線が体深部の病巣に焦点を結ぶようにすることで周囲の正常細胞への影響を抑えつつ病巣に多くのエネルギーを与えてがんを治療する。

【参考文献等】

[1] 原子力教科書「放射線利用」（工藤久明）第 1 版第 1 刷 p.249－p.264

Ⅲ－２７ 次の (A) ～ (D) のうち、 ^{90}Sr と ^{137}Cs にともに当てはまる記述の組合せとして、適切なものはどれか。

- (A) ウランの核分裂生成物である。
- (B) 骨に集まりやすい核種である。
- (C) アルカリ土類金属である。
- (D) 半減期は約 30 年である。

- ① (A) と (B)
- ② (A) と (C)
- ③ (A) と (D)
- ④ (B) と (C)
- ⑤ (B) と (D)

【解答と解説】

正解（不適切なもの）は③。

- (A) 適切。
- (B) ^{90}Sr は骨に集まりやすいが、 ^{137}Cs は全身に分布する。
- (C) ^{90}Sr はアルカリ土類金属であるが、 ^{137}Cs はアルカリ金属である。
- (D) 適切。

Ⅲ－２８ 深さ 3m のプールの底に、200TBq (200×10¹²Bq) の ⁶⁰Co 線源が沈んでいる。線源直上で水面から上方 1m の位置において、30 分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、建屋壁面などからの散乱γ線は無視できるものとし、⁶⁰Co の実効線量率定数は 0.31 μSv・m²・MBq⁻¹・h⁻¹、⁶⁰Co γ線の 3m の水に対する実効線量透過率は 3.6×10⁻⁷ とする。

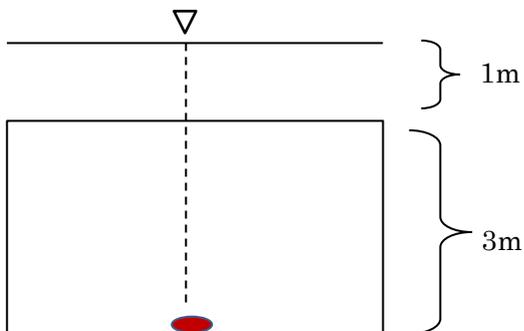
- ① 0.70 ② 1.2 ③ 1.4 ④ 2.5 ⑤ 2.8

【解答と解説】

正解は①。

下図のような状況を想定しているものと理解される。30 分の作業であること、実効線量率定数の単位に注意して、計算すると以下のとおりとなる。

$$200 \times 10^{12} / 10^6 \times 0.31 \times (1/4)^2 \times 3.6 \times 10^{-7} \times 30 / 60 \approx 0.71 [\mu \text{Sv}]$$



【参考文献等】

- ・アイソトープ手帳（第 10 版）,アイソトープ協会,2009,

[類似問題]

- ・R4 Ⅲ-25

Ⅲ－２９ 我が国での軽水炉の核燃料サイクルに関する次の記述のうち、不適切なものはどれか。

- ① ^{235}U を 3～5%程度に濃縮したウランと使用済燃料を再処理して得られるプルトニウムの混合酸化物を MOX 燃料として軽水炉に用い、熱中性子によってプルトニウムを燃焼させる方法を、プルサーマルと呼んでいる。
- ② ピューレックス法による再処理工程は、脱被覆、硝酸への燃料溶解、清澄・調整、共除染、ウランとプルトニウムの分配、ウランの精製及びプルトニウムの精製、再処理の結果発生する高レベル放射性廃液のガラス固化やオフガス処理等の工程から構成される。
- ③ 転換は同位体分離による ^{235}U の濃縮を行う前にウラン精鉱を濃縮処理に適した六フッ化ウランに変換する工程であり、再転換は六フッ化ウランを燃料ペレットに使われる二酸化ウランに変換する工程である。
- ④ 再処理によって回収されたウランを回収ウランといい、回収ウランの濃縮においては、天然ウランに含まれていない ^{232}U , ^{235}U の存在、 ^{234}U 濃度が天然ウランより大きいことによる同位体組成の変化等の影響を考慮する必要がある。
- ⑤ フロントエンドには、軽水炉に装荷する核燃料の原料となるウラン鉱石の採鉱から燃料集合体を製造するまでの工程が含まれており、バックエンドには、使用済燃料の再処理からガラス固化、地層処分及び回収物質の再利用までの工程が含まれる。

【解答と解説】

正解（不適切なもの）は①。

- ① MOX 燃料は、再処理で回収された酸化プルトニウムと天然ウランまたは同じく再処理で回収された減損酸化ウランと混ぜて作った燃料である。
- ② 適切。
- ③ 適切。
- ④ 適切。
- ⑤ 適切。

【参考文献等】

- [1] 原子力百科事典 ATOMICA 原子力用語辞書「MOX 燃料」
https://atomica.jaea.go.jp/dic/detail/dic_detail_99.html

Ⅲ－３０ 我が国の放射性廃棄物の処理・処分に関する次の記述のうち、不適切なものはどれか。

- ① 放射性廃棄物の処分は、将来世代に過度の負担を強いることなく、現在及び将来の人々と環境を潜在的な放射線リスクから防護し、そのリスクが受け入れられるレベルに低減するまでの間、放射性廃棄物を生活環境から隔離することが基本である。
- ② 原子炉の炉内構造物や制御棒の低レベル放射性廃棄物は、トレンチ処分として浅い地中に処分され、高レベル放射性廃棄物は地層処分として地下300メートル以深に処分される。
- ③ 使用済燃料中の核分裂生成物の大部分が含まれる放射能レベルの高い廃液は、ホウケイ酸ガラスとともに高温のガラス溶融炉に供給され、ガラスと放射性物質とを均質な溶融ガラスとした後、ガラス固化体とされる。
- ④ 原子力発電所で発生する低レベル放射性廃棄物のうち、可燃物を焼却した灰や使用済樹脂等をセメント等でドラム缶に固形化したものを均質・均一固化体といい、機器等の金属類をモルタル等で固形化したものを充填固化体という。
- ⑤ クリアランスとは、物質中に含まれる微量の放射性物質に起因する線量が自然界の放射線レベルと比較して十分小さく、人の健康に対するリスクが無視できることから、当該物質を放射性物質として扱う必要のない物として規制の対象から外すことをいう。

【解答と解説】

正解（不適切なもの）は②。

- ① 適切。
- ② 不適切。原子炉の炉内構造物や制御棒は、トレンチ処分ではなくよりピット処分する。ピット処分は、天然バリアの覆土層が数 m 程度の厚さを持つ浅地層（浅地中）に人工構築物（コンクリートピット）を設けて埋設処分する方法をいう。
また、最終処分法の法案審議において、原子力委員会などでの地下数百 m よりも深い地層に処分するとの考え方や米国などの諸外国における処分計画の深度が地下 300m よりも深いことなどを踏まえて、地層処分は、地下 300m を最低限必要な深さと定義している。
- ③ 適切。
- ④ 適切。
- ⑤ 適切。クリアランス制度は、原子力施設の運転や廃止措置に伴って発生する廃棄物のうち、放射性物質の放射能濃度が低く、人への健康影響がほとんどないと考えられているものについて、国の許可・確認を得て一般の廃棄物として再利用又は処分できる制度である。

【参考文献等】

- [1] 電気事業連合会 低レベル放射性廃棄物の種類と処理
https://www.fepc.or.jp/nuclear/haikibutsu/low_level/shori/index.html
- [2] NUMO 包括的技術報告書 概要編 P9
<https://scct.numo.or.jp/GeoCom2/faces/project/view.xhtml>
- [3] 電気事業連合会 クリアランス制度
<https://www.fepc.or.jp/nuclear/haishisochi/clearance/index.html>

Ⅲ－３１ 核不拡散について説明した次の記述の□に入る語句の組合せとして、適切なものはどれか。

我が国は、国内にあるすべての核物質が核兵器等に転用されていないことを確認するため、国際原子力機関（IAEA）との保障措置協定を受け入れている。これに基づき、国内の核物質が核兵器等に転用されることを適時に探知し、これを抑止するため、以下に示す活動が実施されている。

第一に、□aが施設へ出入りする核物質の量をその都度、正確に測定するとともに、施設内かの核物質の在庫量を適時把握し、核物質の収支を確認する□bである。第二に、核物質が密かに移動されていないことを確認するために、封印や監視カメラを取り付けて核物質の移動を監視するための封じ込め・監視である。第三は、核物質及び原子力活動が保障措置協定の規定に従って使用され、実施されていることを確認するため、不定期に国及びIAEAが実際に原子力施設に立ち入って調査する□cである。

	a	b	c
①	事業者	収支管理	査察
②	事業者	計量管理	査察
③	事業者	計量管理	監査
④	国	収支管理	監査
⑤	国	計量管理	監査

【解答と解説】

正解は②。

保障措置とは、核物質が平和目的だけに利用され、核兵器等に転用されないことを担保するために行われる検認活動のことを言い、「計量管理」「封じ込め・監視」「保障措置検認（監査）」の活動からなる。

(1) 計量管理

原子力事業者は、原子力等規制法に基づき、施設で核物質を取扱う場所を定め、その区域で一定期間に搬入・搬出される核物質の増減、現在の核物質の在庫の量を管理し、国へ報告する。

(2) 封じ込め・監視

国及びIAEAは、核物質が密かに移動されていないことを確認するため、核物質が入れられた容器の蓋や原子力発電所における燃料の出入り口等に「封印」又は「監視カメラ」を取り付け、常時核物質の移動を監視している。

(3) 保証措置検認（査察）

国及びIAEAの査察官が実際に原子力施設に立ち入り、査察活動を行う。

【参考文献等】

[1]文部科学省 原子力科学技術委員会 核不拡散・各セキュリティ作業部会

https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/076/attach/1354354.htm

Ⅲ－３２ 「令和３年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書 2022）」における我が国の再生可能エネルギーに関する次の記述のうち、不適切なものはどれか。

- ① 我が国は世界第３位の地熱資源量を有しているにもかかわらず、地下の開発に係る高いリスクやコスト、地元の理解や開発から発電所の稼働に至るまでに 10 年を超える期間を要するといった課題により、地熱発電導入量は世界第 10 位にとどまっている。
- ② 未開発の一般水力の平均発電能力（包蔵水力）は 7,203kW と小規模であり、開発地点の奥地化も進んでいることから、発電原価が他の電源と比べて割高となり、開発の大きな阻害要因となっている。
- ③ 我が国におけるバイオディーゼル利用においては、欧米等のようにナタネやパーム等の原料栽培から商業的に取り組む形ではなく、使用済みの植物油（廃食用油等）を回収・再利用する形が依然として主流である。
- ④ 2012 年に開始した固定価格買取制度の効果により、非住宅分野での太陽光発電の導入は急拡大し、太陽電池の国内出荷量は 2014 年度に過去最高を記録した後も増加傾向が続いている。
- ⑤ 日本の風力発電導入量は 2021 年末時点で世界第 21 位であるが、これは日本は諸外国に比べて平地が少なく地形も複雑なこと、電力会社の系統に余裕がない場合があること等、風力発電の導入が進みにくい事情による。

【解答と解説】

正解（不適切なもの）は④。

問題文の選択肢の内容は、エネルギー白書第 1 章 3 節一次エネルギーの動向に記載の内容であり、①～③、⑤については、97～100 ページにかけて記載された内容そのままであり、適切である。

① 適切。

② 適切。

③ 適切。

④ 不適切。問題文前半は、エネルギー白書に記載のとおりで正しい。2014 年に太陽電池の国内出荷量は過去最高を記録したが、その後太陽光発電の買取価格が引き下げられたこと等により、2015 年度以降の出荷量は減少傾向となった旨が記述されている。なお、「過去最高」の後、「増加傾向が続いている」との表現は日本語的にも違和感のあるものであり、エネルギー白書の内容を知らずとも正解できそうな問題である。

⑤ 適切。エネルギー白書では 2020 年末時点として、記載のある内容そのものとなっている。

Ⅲ－３３ 約70%の設備利用率で運転されている電気出力100万kWの原子力発電所の年間発電電力量は約6,100GWh(約 2.2×10^{16} J)である。この原子力発電所の代替として、設備利用率100%のLNG火力発電所で1年間発電するものとする。このために必要な費用はLNG調達に必要な燃料購入費用とCO₂クレジット購入費用である。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)として、最も近い値はどれか。計算の条件は以下の通りである。

LNG火力発電所の熱効率：50%

輸入LNGの重量単位当たり熱量：54.5MJ/kg

輸入LNG価格：30米ドル/MBtu ※2022年12月時点でのデータ

(注：Btu=British Thermal Unit, 1Btu=1,060J) 1米ドル=130円

輸入LNG1トン当たりのCO₂排出量：2.7tCO₂

CO₂クレジット購入費用(Jクレジット費用)：2,700円/tCO₂

- ① 480 ② 880 ③ 1,680 ④ 2,480 ⑤ 3,280

【解答と解説】

正解は③。

必要なLNG燃料の総量を w (kg)とすると

$$w \times 54.5 \times 10^6 \times 0.5 = 6100 \times 10^9 \times 3600 \div 2.2 \times 10^{16} \text{ (J)}$$

であるから、必要なLNG燃料は $w \div 8.1 \times 10^8 \text{ kg}$ 。単価がBtuなのでBtuに換算すると

$$8.1 \times 10^8 \text{ (kg)} \Rightarrow 8.1 \times 10^8 \times 54.5 \times 10^6 / 1060 \text{ (Btu)} \div 2 \times 2.2 \times 10^{16} / 1060 \div 4.2 \times 10^{13} \text{ (Btu)}$$

LNG価格が30ドル(1ドル130円)なので、燃料費は $130 \times 30 \times 4.2 \times 10^{13} / 10^6$ (円) = 1620(億円)

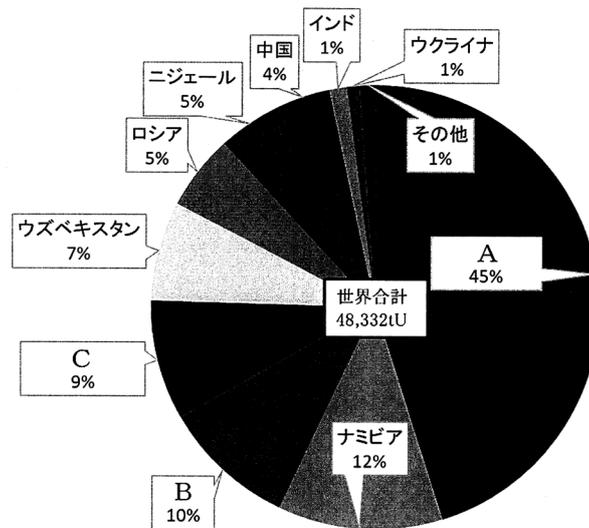
CO₂排出量は、 $8.1 \times 10^8 / 10^3 \times 2.7$ (t) $\div 2.2 \times 10^6 \text{ t}$ となり、

CO₂クレジット購入費用は、 $2.2 \times 10^6 \times 2700$ (円) $\div 59$ (億円)

1620億円と59億円を合わせて約1680億円となる。

本問、計算過程で同じ数値が出てくるため、混乱しないよう一つひとつの計算値の意味を整理しながら、落ち着いて解答する必要がある。

Ⅲ－３４ 2021年の天然ウラン国別生産量シェアのうち、A、B、Cに当てはまる国名の組合せとして、適切なものはどれか。



天然ウラン国別生産量のシェア (2021年)

	A	B	C
①	カザフスタン	カナダ	オーストラリア
②	カナダ	カザフスタン	オーストラリア
③	カザフスタン	カナダ	米国
④	カザフスタン	オーストラリア	南アフリカ
⑤	カナダ	オーストラリア	米国

【解答と解説】

正解は①。

カザフスタン : 21,819ton

ナミビア : 5,753ton

カナダ : 4,693ton

オーストラリア : 4,192ton

【参考文献等】

[1] ウラン生産量 (国別) 参考: World Nuclear Association

<https://resource.ashigaru.jp/rank/uraniump1.html>

Ⅲ－３５ 「GX 実現に向けた基本方針～今後 10 年を見据えたロードマップ～」(令和 5 年 2 月)における原子力の取組に関する記述のうち、に入る語句の組合せとして、最も適切なものはどれか。

既存の原子力発電所を可能な限り活用するため、現行制度と同様に、「運転期間は a 年、延長を認める期間は b 年」との制限を設けた上で、 c による厳格な安全審査が行われることを前提に、一定の停止期間に限り、追加的な延長を認めることとする。

あわせて、六ヶ所再処理工場の竣工目標実現などの核燃料サイクル推進、廃炉の着実かつ効率的な実現に向けた知見の共有や資金確保等の仕組みの整備を進めるとともに、最終処分の実現に向けた国主導での国民理解の促進や自治体等への主体的な働き掛けを抜本強化するため、文献調査受入れ自治体等に対する国を挙げての支援体制の構築、実施主体である d の体制強化、国と関係自治体との協議の場の設置、関心地域への国からの段階的な申入れ等の具体化を進める。

	a	b	c	d
①	60	20	原子力委員会	日本原子力研究開発機構
②	40	20	原子力規制委員会	原子力発電環境整備機構
③	40	30	原子力安全推進協会	原子力発電環境整備機構
④	40	30	原子力規制委員会	国際廃炉研究開発機構
⑤	30	40	原子力安全推進協会	原子力発電環境整備機構

【解答と解説】

正解は ②。

【参考文献等】

[1] 「GX 実現に向けた基本方針～今後 10 年を見据えたロードマップ～」の P. 7-8。

https://www.meti.go.jp/press/2022/02/20230210002/20230210002_1.pdf