

主任者 コーナー

“今こそ復習！” 主任者の基礎知識 —「もっと基礎を、ここが肝」編—

第4回 物理の話題（2）

上養 義朋

「物理の話題（1）」では、原子と原子核、原子番号と質量数、原子核の結合エネルギー、 α 線、 β 線などについて解説を試みた。今回は放射線取扱主任者の守備範囲からはやや外れるが、核分裂をキーワードに、原子炉についても触れる。

核分裂の非対称性

天然のウランには、 ^{238}U が99.27%， ^{235}U が0.72%， ^{234}U が0.0055%存在するが，商業用に稼働している水冷却の原子炉で核分裂するのは主に ^{235}U である。重水でない普通の水を使う軽水炉では，天然ウランのままの存在度では原子炉は臨界（連鎖反応が一定の割合で続く状態）にならないので， ^{235}U を3%から5%程度に濃縮した燃料が使われている。

^{235}U の核分裂によって生じた平均エネルギー約2 MeVの高速中性子は，主に軽水中の水素との衝突によって熱中性子に減速され，再び ^{235}U に吸収されて核分裂を起こす。 ^{235}U の熱中性子による核分裂では，2個の核分裂生成物（fission product：FP）が生じるとともに，高速中性子が2個から3個放出される。すなわち，



もし発生する中性子が2個で，2個のFPが同じ場合は， ^{117}Pd が生じることになる。しかし実際の熱中性子による核分裂はこのように対称ではなく，図1に示すように，質量数95近辺と138近辺に2つの山を持つ，非対称に分裂

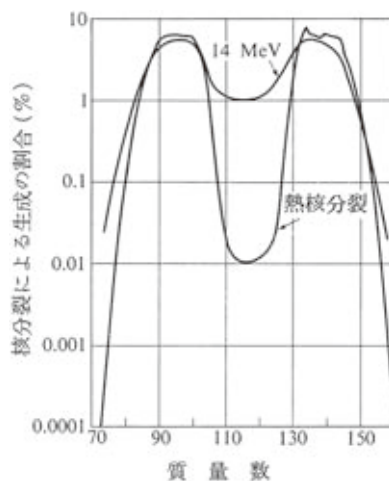


図1 核分裂収率の質量数分布²⁾
値を全て合算すると200%になる（「J.R. Lamarsh（著），武田充司，仁科浩二郎（訳），原子炉の初等理論（上），吉岡書店，p.131（1974）」から引用）

する。図の縦軸は対数で表されているので，中央近辺の収率は極端に少ない。

仮に2個のFPの質量数が95と138であり，陽子数もその割合で分配されるとすれば，生成するFPは $^{95}_{38}\text{Sr}$ と $^{138}_{54}\text{Xe}$ になる。安定なSrの質量数は最大88，Xeのそれは136であるから，

一般に FP は中性子過剰核である。核分裂による生成核種のほとんどが β^- 壊変するのはこのためである。例えば質量数 95 の核分裂生成物は最終的に $^{95}_{42}\text{Mo}$ に、質量数 138 の核分裂生成物は最終的に $^{138}_{56}\text{Ba}$ に壊変して安定になる。

東京電力(株)福島第一原子力発電所事故（以下“事故”）によってたくさんの種類の放射性核種が環境中にばらまかれたが、原発の近傍を除いて、現在見られる核種はほとんど ^{134}Cs と ^{137}Cs に限られる。 ^{137}Cs は、 ^{235}U の熱中性子による核分裂で、直接及び β^- 壊変の結果、最終的に 6.2% 生成される¹⁾。一方 ^{134}Cs は、文献 1) などの収率の表を見ても値がない。すなわち、核分裂によって直接的にはほとんど生成されないのである。これは質量数 134 の核分裂生成物が生成されても、原子番号が 1 つ上の ^{134}Xe が安定核種なため、 β^- 壊変が、 ^{134}Xe で止まってしまうからである。 ^{134}Cs は、質量数 133 の様々な核分裂生成物が β^- 壊変し、安定な ^{133}Cs が蓄積した後、原子炉中の熱中性子の捕獲反応 [$^{133}\text{Cs}(n, \gamma)^{134}\text{Cs}$] によって生成される。事故によってばらまかれた ^{134}Cs と ^{137}Cs の放射能はほぼ 1 対 1 であったが、これは核燃料の燃焼度と炉心の中性子束のバランスによって、たまたまこのようになったにすぎない。また ^{134}Cs の生成過程から、大気中核実験によるフォールアウトには ^{134}Cs は見られない。

^{134}Cs を除き、事故発生以来問題となった核種のほとんどは、核分裂によって直接生成される。それぞれの核分裂収率は、 ^{90}Sr : 5.78%, ^{131}I : 2.89%, ^{132}Te : 4.30%, ^{133}Xe : 6.70% である¹⁾。

原子炉の崩壊熱

原子炉が運転中は、発熱のほとんどは核分裂生成物の運動エネルギーが元である。しかし連鎖反応が停止した後でも、核分裂生成物の大半は放射性であり、それらが相当量のエネルギー

を、 β 線、 γ 線の形で放出するため、炉心は発熱を続ける。電気出力が 100 万 kW (1 GW) の原子炉（熱効率を 33% と仮定して熱出力は 3 GW）を T 秒間運転し、停止して t 秒後の発熱は、近似的に次式で表される²⁾（ボルスト・ホイラーの式。停止後約 1 秒から 10^6 秒の間で適用可能）。

$$P(t, T) = 200 \times [t^{-0.2} - (t+T)^{-0.2}] \text{ (MW)}$$

図 2 に、 T を 1 年間としたときの変化をグラフで表した。すなわち停止直後では、運転中の約 6% もの発熱がある。今回の事故は、地震による原子炉の停止後、1 時間以上遅れて津波によって引き起こされたと考えられる。仮に停止後 1 時間 15 分後 (4,500 秒) とすれば、発熱は運転中の約 1% に下がっていたはずであるが、それでも 1 時間に約 50 トンもの水を蒸発させる。

核分裂生成物から放出される中性子

核分裂生成物の ^{87}Br は、半減期 55.6 秒で β^-

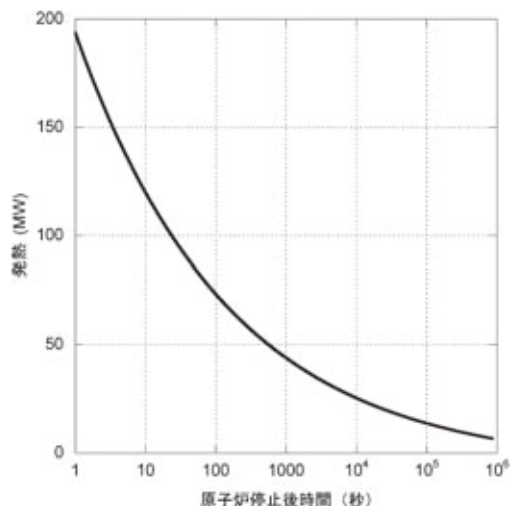


図 2 電気出力 100 万 kW で 1 年間運転した原子炉（熱効率 33%）停止後の発熱量の変化

壊変するが、2.6%の割合で、 β^- 壊変の後に更に中性子を放出する。このように、核分裂に遅れて放出される中性子を遅発中性子、放出する核を先行核という。先行核の半減期は1秒以下～数十秒の範囲であり、放出される全中性子に対する遅発中性子の割合も0.7%程度であるが、この遅発中性子の存在が原子炉の制御を容易にしている。

核分裂 → 減速 → ^{235}U に吸収 → 核分裂という中性子サイクルに着目した場合、初めの核分裂数に対する、次の核分裂数の比を増倍率という。増倍率が正確に1であるときが臨界状態である。核分裂と同時に放出された中性子が、減速されて次の核分裂を起こすまでの時間は極めて短い。そのため、もしすべての中性子が核分裂と同時に放出されるのであれば、増倍率がわずかでも1を超えると、原子炉の出力は急上昇して暴走する。しかし実際は遅発中性子があるため、次の核分裂数が増えるまでに時間が掛かり、出力はゆっくりと上昇する。原子爆弾では、遅発中性子の分を超えて増倍率が大きくなるように作られているため、一瞬で出力が大きくなって核爆発を起こすのである。

核分裂生成物に吸収される中性子

核分裂生成物の中には、 ^{135}Xe や ^{149}Sm のように、それぞれ 2.7×10^6 バーン、 4.0×10^4 バーンと極めて大きな熱中性子吸収断面積を有するものがある。

^{135}Xe は、核分裂によって直接生成される割合は少なく、ほとんどは ^{135}I の娘核として生じる。すなわち、(カッコ内は半減期)



原子炉運転中は、 ^{135}Xe はその大きな断面積で中性子を吸収して消費されることによって量が抑えられているが、停止すると吸収反応によ

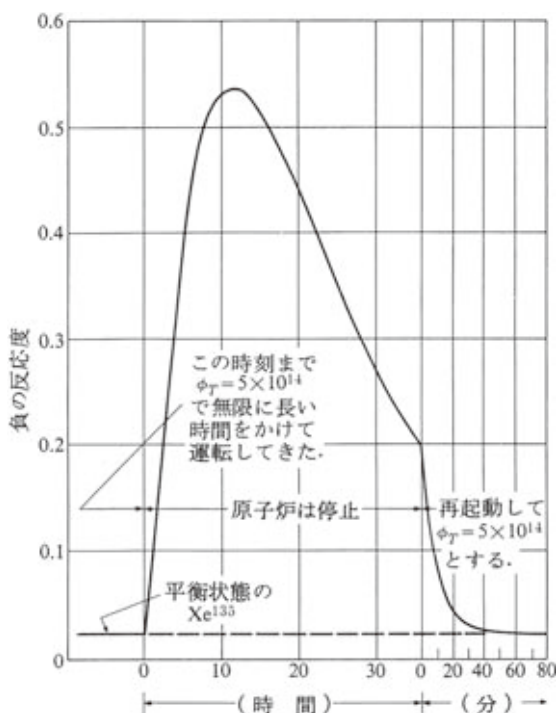


図3 原子炉停止後の ^{135}Xe 量の変化と、再起動した後の変化²⁾

^{135}Xe の量は負の反応度として与えられている。商業用の原子炉の熱中性子束 ϕ_T は $4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 程度であり、 ^{135}Xe の影響は図よりも小さい(「J.R. Lamarsh (著)、武田充司、仁科浩二郎(訳)、原子炉の初等理論(上)、吉岡書店、p.705(1974)」から引用)

る減少がなくなるため、急激に量が増える。その様子を図3に示す。原子炉の制御棒を抜いても上げられる反応度(大まかには、増倍率を1から上げる割合と考えてよい)は限られているため、原子炉を停止して数時間経過すると、ビルドアップした ^{135}Xe の妨害作用のため、数十時間再起動できないことがある。しかし一旦起動すると、熱中性子によって ^{135}Xe の量は急速に減少するため、それに合わせて制御棒を挿入していく必要がある。

^{149}Sm は ^{149}Pm の娘核種として生成する。

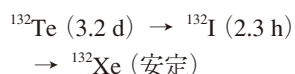
主任者 コーナー



^{149}Sm の半減期は極めて長いので、ビルドアップした後は ^{135}Xe のように減少することはない。ただし妨害作用は ^{135}Xe ほど強くはなく、再起動が不可能にはならない。

放射性壊変による線量の変化

事故直後は ^{131}I による影響が大きかったが、比較的 γ 線強度の高い半減期 2.3 時間の ^{132}I も観測された。 ^{132}I は核分裂によって直接生成されることは少なく、親核種の ^{132}Te が 4.3% の収率で生成され、次の壊変系列を経る。



この系列は過渡平衡と呼ばれる放射平衡状態を形成する。初めに ^{132}Te が 1 MBq 存在し、 ^{132}I がなかったと仮定した場合のそれぞれの放射能、総放射能の変化を図 4 に示す。 ^{132}Te は時間とともに単調に減衰するが、 ^{132}I は一旦 ^{132}Te の壊変によるビルドアップで増加し、親核種の放射能よりも若干大きくなり、その後は ^{132}Te の半減期に従って減衰する。

これらの線源から 1 m の距離における実効線量率 ($\mu\text{Sv/h}$) を同じ図に太い線で示す。 ^{132}Te の実効線量率定数 (単位: $\mu\text{Sv/h} \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{m}^2$; 以下も同じ) が 0.0375 であるのに対し、 ^{132}I のそれは 0.301 と大きいので、線量率の変化は ^{132}I の放射能の変化に近い。

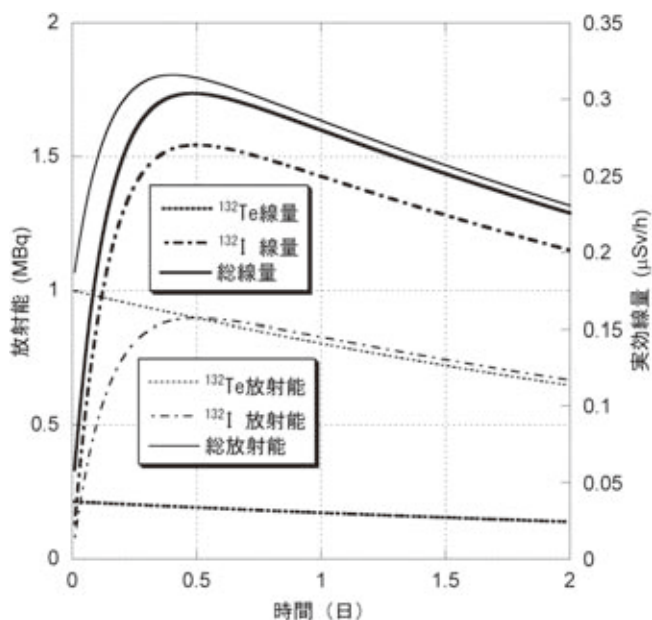


図 4 ^{132}Te と ^{132}I の放射能 (細線) と、それらによる線量率 (太線) の変化

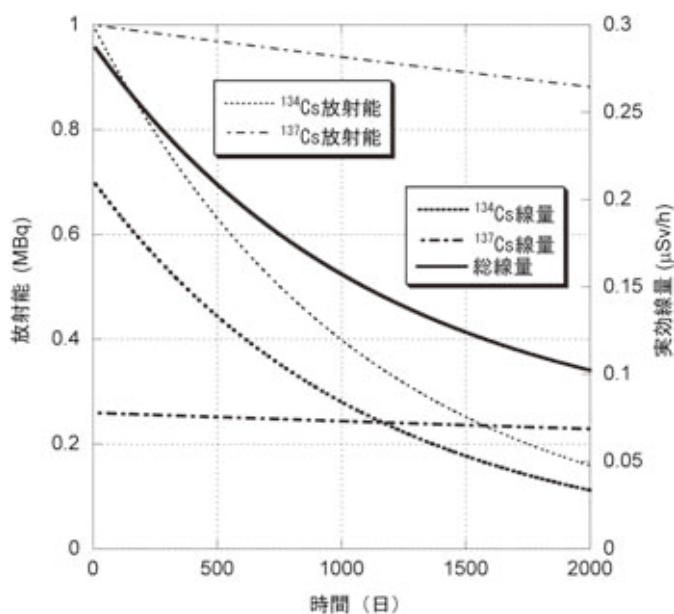


図 5 ^{134}Cs と ^{137}Cs の放射能 (細線) と、それらによる線量率 (太線) の変化

Ge 検出器などを用いて核種分析をしたとき、このような放射平衡を示す核種の場合、減衰補正には特に注意を要する。測定された核種の半減期が短くても、減衰は親核種の半減期に従うためである。測定された核種の誤った半減期でさかのぼり補正をすると、とんでもない過大評価をすることになる。

現在事故の影響で環境中に残っている放射性核種は主に ^{134}Cs と ^{137}Cs である。これらの半減期と実効線量率定数は、それぞれ 2.06 年と 0.211, 30.2 年と 0.0779 (放射平衡に達している $^{137\text{m}}\text{Ba}$ の寄与を含む) である。事故で放出された放射能はほぼ 1 対 1 であったことを念頭

に、それぞれの放射能が初めに 1 MBq ずつ存在した場合の、放射能 (細線) と線量率 (太線) の変化を図 5 に示す。線量率の減衰は初めのうちは比較的早いですが、数年経過して ^{134}Cs の寄与が小さくなってくると、減衰は遅くなる。

参考文献

- 1) アイソトープ手帳 11 版, 日本アイソトープ協会, p.126 (2011)
- 2) J.R. Lamarsh (著), 武田充司, 仁科浩二郎 (訳), 原子炉の初等理論 (上), 吉岡書店, p.134, p.705 (1974)

(独立行政法人理化学研究所
仁科加速器研究センター)

中国・四国支部だより

平成 25 年度中国・四国支部主任者研修会 印象記

坂口 修一

平成 25 年 9 月 13 日(金)の 13 時より 17 時まで、広島大学医学部第 4 講義室（広島市南区霞 1-2-3）において第 19 回中国・四国支部主任者研修会が開催された。この研修会は例年開催されているが、昨年度は中国・四国支部委員会が中心となって年次大会の実行委員会を組織したため休会だったので、2 年振りの開催となった。今回の参加者は 34 名を数えた。

1. 放射線安全行政の動向，南山力生氏（原子力規制委員会原子力規制庁放射線対策・保障措置課放射線規制室）

まず、原子力規制庁が発足した後に文部科学省からの諸事務の移管が平成 24 年 9 月と平成 25 年 4 月の 2 段階で行われたこととその概要、また緊急時の通報連絡先が原子力規制委員会原子力規制庁原子力防災課事故対処室となった旨の話があった。

続いて放射線障害防止法に基づく諸申請の審査基準やその標準処理期間（例えば使用の許可であれば 90 日間）について、立入検査の対象となる事業所並びに立入検査の年間計画について、また放射化物の管理についてはその概要並びに経過措置中の対応や放射線障害予防規程に追加すべき事項などについて話があった。

最後に最近のトラブル事例の紹介があり、安全文化涵養の重要性が示された。最新の話は何うことのできる貴重な機会であった。



図 1 研修会場の様子

2. 環境試料測定における試料調製方法および注意点，桧垣正吾氏（東京大学アイソトープ総合センター）

福島第 1 原子力発電所事故の後に環境中に飛散した放射性物質については様々な測定が行われている。桧垣氏は、特に地表面の土壌サンプルの採集と測定を手がけており、その経験から、放射性 Cs, Sr の放射線測定時に注意すべき点、試料の調製並びに測定時の補正の方法についての話があった。

また、放射能測定シリーズ No.16「環境試料採取法」にのっとり行った試料採取や試料調製作業の具体例のほか、大気浮遊塵、水試料の測定についても言及があり、これから測定を新たに始めるような方々にも大いに参考になる話であった。

その他、平常時の測定には正確性が大切であるが、緊急時の測定には迅速性が求められるなどその性格の違いについて、また緊急時測定試料についてどこまで均一化を行う必要があるかという問題並びにその解決案についての話があった。

3. 自然放射能線源による放射線教育—実践に向けて—、河野孝央氏（核融合科学研究所）

河野氏は約8年にわたり自然放射能線を素材とした教育用の放射線源の開発を手がけており、その作成方法と放射線教育での使用例についての話があった。

放射線教育を行う際には何らかの放射線源があれば大変便利であるが、校正用の密封小線源であっても紛失や破壊のおそれがあるため使いがたいこと、しかしながら、よく知られているとおり我々の周囲にはKClなど放射線を出す天然の物質があることに着目し、それらを原材料として放射線源とする方法（材料を秤量の後、乳鉢で微細粉末化し、型枠に入れて圧縮成形）を開発したとの話があった。

また、その線源を活用して研究所の見学に訪れた高校生などへの放射線教育の事例紹介があり、この方法により製作した模擬線源を使用した表面汚染測定や放射線防護の3原則を実感させる実験、また測定を分担し、スクリーン上でデータ整理を行うなど、実験を30分程度の短

時間で行わせる工夫について示された。

4. 放射線管理とバイオセーフティー、山田雅夫氏（岡山大学大学院医歯薬学総合研究科）

山田氏の放射線安全管理経験と自らの専門であるウィルス研究に関わる安全管理についてその類似点と相違点についての話がされた。

まずそれぞれについて規制する法体系、原子力基本法/放射線障害防止法と感染症法（感染症の予防及び感染症の患者に対する医療に関する法律）の紹介と比較があった。感染症法の起源は明治30年代と早い時期に制定されたものの、病気の取扱いの規定のみの期間が長く、平成18年の改正によりようやく病原微生物の管理が法制化されたことが示されたほか、施設基準、放射線取扱主任者/病原体等取扱主任者、記帳義務など規制のアナロジーが論じられた。

また、感染症対策において念頭に置かれるバイオセーフティの原則として病原性微生物の封じ込めについての話は放射線における管理区域に類似すること、また異なる部分として感染症が人体にダメージを与える仕組みと防護の方法、更には新種の感染症に対するリスク認識にも話は及んだ。最後に放射線であっても病原性微生物であっても、正に怖がることの難しさとそのことの大切さが示された。

（山口大学大学研究推進機構
総合科学実験センター RI 実験施設）

2013 年製薬放射線研修会に参加して

辰巳 奇男

製薬放射線コンファレンス (PRC) は、製薬・農業・食品などの分野における放射線及び放射性同位元素の安全管理と利用促進を目的に製薬関係者を中心に設立され、以後 20 年にわたり積極的に活動をされています。東京電力 (株) 福島第一原子力発電所の事故の際には放射線量測定をはじめとするボランティアとして多くの方が参加され、また、文部科学省の依頼を受けて会員の各社から測定器を 100 台余り貸与されたそうです。この PRC が主催する“2013 年製薬放射線研修会”が 6 月 27、28 日に、JR 京都駅からほど近い京都テルサを会場として開催されました。毎年魅力的な趣向がこらされ、今年はどのような企画がと心ワクワク会場へと向かいました。受付でいつもどおり資料が満載された、関係者の苦労が偲ばれる要旨集を受取り会場へと入りました。では、簡単にではありますがその様子を紹介します。

特別講演 1 「最近の放射線規制の動向について」

放射線管理の監督官庁が文部科学省から原子力規制委員会へ完全に移行したが、これに伴い、何が変わったのか、管理の方法や具体的手続きなどはどうかなどは業務に直結しているので誰もが関心が高い点であろう。これらを中心に江田和由氏 (原子力規制庁) から、①原子力規制委員会への所掌事務の変更、②放射線障害防止法の改正、③最近のトラブル事例について

の講演がありました。その後、座長の杉山和幸氏 (文部科学省) により会場との活発な議論が交わされ大変有意義でした。我々にとって関係が深いのは、耳慣れない“事故対処室”で、ここは事故等の発生時や地震時の通報などの第 1 報の連絡すべき部署とのこと。さらに、法令報告事項か否かの判断、報告のタイミング等についての見解を述べられ、事故発生、発見時には直ちに連絡するという従来の認識に変わることが改めて示されました。障害防止法関係の新しい様式は、原子力規制委員会のホームページにアップされています。旧様式との主な相違は、宛先が原子力規制委員会となっている点です。最後に、最近のトラブル事例として、自転車の籠からの放射線の検出、土中配管からの漏洩、J-PARC での放射線発生装置の事故が説明されました。

特別講演 2 「情動的意志決定の分子神経イメージング」

近年、PET や SPECT などの普及により *in vivo* イメージングの手法が様々な研究領域で応用されています。高橋英彦先生 (京都大学医学研究科) の講演は、ヒトが“迷い”のある行動を強いられた際の脳内物質の濃度、動態を分子イメージングの手法を用いて解明されている研究の紹介でした (写真 1)。これにより、これまで数値解析が困難であった精神医学に対しても定量的な判断が下せるようになり、①実生活



写真 1 高橋英彦先生



写真 2 丹羽太貫先生

においての意思決定や、情動といった主観的な精神活動に対しても分子イメージングや経済学のツールで客観的に評価できる、②意思決定や情動に障害のある神経疾患のあるヒトに対して客観的な評価が可能となり、このような疾患に対する新薬開発の道もある、とされていました。心が数値化できるという手法に驚かされるとともに、今後の研究の発展が期待されます。

特別講演3「生活丸ごとの放射線防護～福島 の事故が人々にもたらしたもの」

東京電力(株)福島第一原子力発電所事故直後から文部科学省放射線審議会会長として原子力災害の対策を先導され、今は福島県に居を移されて福島県立医科大学特命教授として活動が続けられている丹羽太貫先生による、“福島の実状”“復興の実現”を中心とした熱のこもった講演でした(写真2)。盛りだくさんの内容で、とてもその全てをお伝えすることはできませんが、かいつまんで紹介します。一部にある内部被ばくへの過度な健康影響に対する危険性の指摘に対しては、被ばく線量が同じであれば内部被ばくも外部被ばくもリスクは同じであることを明快に説明くださいました。また、マスコミ

による情報は多くの人々が真実だと捉えてしまう場合が多いが、NHKが平成23年12月27日にテレビで放送した「追跡！真相ファイル：低線量被ばく 揺らぐ国際基準」では、意図的誤訳や虚偽の主張など明らかにミスリードが存在していると指摘されました。これに対してICRPや丹羽先生をはじめ専門家諸氏がNHK及び放送倫理番組向上機構に速やかに抗議されたとのことでした。報道に対して専門家が適切に意思表示をすることは非常に大切であると感じました。“福島を守る”の話題では、福島の何をどのように守るか述べられました。放射線による健康リスクの低減は徐々にではあるが達成されつつあるのに比べて、人々の生活リスクすなわち、個人の平穏なる生活、雇用、地域コミュニティ、健全なる教育環境は、復興し守られているとは言えないとし、復興を遅らせ地域を苦しめている大きな要因が、政府が定めた食品と除染の基準にあることが示されました。科学的根拠と乖離した食品基準値、そしてより低い自主基準で運用される現状、天文学的金額が今後も投入される大規模除染等々、今一度基準の在り方とお金の使い道を再考しなければ、福島そして日本の将来は厳しいものになると示唆

主任者 コーナー

されました。講演の終盤及び質疑応答では、復興の立ち遅れには、明治時代以来の一極集中による地方疲弊が底流にあることを指摘されて、住民が熱意と責任を持って地方を復活させる復興でなければ成り立たないこと、お年寄りと壮年が頑張り、子供たちにベストな教育を施してキュリオシティ（好奇心）と心身を健やかに育む最大限の努力を継続することが、大震災の復興には欠かせないと結ばれました。

交流会

交流会は、特別講演の講師の方々も参加され、そこかしこで活発に各先生方との意見交換が交わされていました。楽しそうな様子がPRCのホームページにアップされています。交流会の紹介はそちらに譲りますので是非ご覧ください。

施設見学会

研修会の2日目の施設見学会では、用意された専用バスに乗り、午前中にけいはんな学研都市の“（独）日本原子力研究開発機構関西光科学研究所”及び“きつづ光科学館ふおとん”を訪問しました。光科学研究所では、見学に先立ち照射細胞解析研究グループの鹿園直哉先生から放射線の生物影響についてクラスターDNA損傷の研究を中心に1時間ほど講演がありました。細胞に対する放射線作用の分子メカニズムをどのように解明していくかなど最先端の研究の紹介の後、施設を見学しました。主な設備としては強レーザー場科学研究、高強度場科学研究、ペタワットレーザー、X線レーザーの4実験室があり、そこで新型レーザー素子の開発などの基礎研究と生体分子機能解析への応用などの応用技術の研究が行われているとのことでした。どの実験室もX線発生装置やレーザービーム発生装置を中心にビームラインが広大な部



写真3 見学会集合写真

屋いっばいに張り巡らされていて圧巻でありました。続いて、併設されている“きつづ光科学館ふおとん”へと移動しました。名前のとおり、子供向けに光の基本的な性質から最先端の光の利用技術までを分かりやすく展示している施設ですが、大人でも十分楽しめると感じました。午後は再び専用バスに乗り込み、奈良の新名物“芳飯弁当”をいただきながら伏見へと向かいました。経済産業省より近代化産業遺産に指定されている月桂冠大倉記念館では伝統的な日本酒の製造工程を見学し、引き続いて十石舟で三栖閘門へ。三栖閘門は、水位差がある宇治川と濠川との間を船で通行できるように建設されたもので、規模は小さいもののパナマ運河と同様の原理により両河川の船の通行を可能にするものでした。近くに住んでいながら初めての伏見見学で、いろいろな新発見があり、先人たちの苦勞と偉大さに感銘を受けました（写真3）。

最後に、今回も魅力たっぷりの2日間を計画していただきました実行委員の方々に感謝申し上げます。2014年度は東京近辺で開催されとのこと。どのような企画がされているのか今から楽しみにしております。

（近畿大学ライフサイエンス研究所）

高度救命救急センターで活躍する主任者 思わぬダイエット効果にニコリ！



この人：東海大学医学部附属病院 山下高史氏

この人、こんな所

インタビュー担当：放射線安全取扱部会広報委員会
小野孝二（東京医療保健大学）

小野：はじめに、所属施設について紹介をお願いします。

山下：東海大学医学部附属病院は1975年に神奈川県伊勢原市に開設されました（写真1）。2006年にリニューアルを行い、ICU（集中治療室）・CCU（冠疾患集中治療室）32床、手術室22室を備えた診療科35、病床数804床の特定機能病院です。リニューアルの際にはE-ICU（救急専用の集中治療室）・E-HCU（救急専用重症治療室）と熱傷センターを有した高度救命救急センターを開設しており、神奈川県湘南・県央・県西部から山梨県・静岡県の一部に

かかる広範囲の救急患者を三次救急医療施設として受け入れています。高度救命救急センターの救急車受入台数は年間7,000台以上にのぼり、日本一の受入実績をマスコミ報道されたこともあります。さらに、岡山県の川崎医科大学附属病院とともに1999年から全国に先駆けてドクターヘリのテスト運用を開始し、2002年からは本格運用を行い、その実績は年間300例にもなります。また、海上保安庁の要請で洋上救急を行うこともあります。その際は、海上自衛隊厚木基地まで向かい、基地からは自衛隊の飛行艇で現地まで向かいます。太平洋上で操業している漁船からの要請で出向いた際は、救助に向かった医師や看護師の救急スタッフが真っ黒に日焼けした顔で戻ってきたことを今でも覚えています。

小野：洋上救急とはすごい！ 皆さんいろんなところで活躍されているんですね。日々の救急業務状況についてお聞かせください。

山下：昼夜を問わず救急患者が搬送されてくるため、休診日や夜間帯の業務量も少なくありません。そのため、我々放射線技師も休日は5名、夜間は3名で病院棟（本院）や高度救命救急センターのポータブル撮影からMRIや血管撮影といった高度な検査までを24時間体制で対応しています。また、高度救命救急センター内には一般撮影室、128列CT室1部屋ずつと



写真1 東海大学医学部附属病院外観

主任者 コーナー

“MRXO (Magnetic Resonance X-ray Operation suit)” という 1.5T MRI 室と手術可能な Angio 室が扉 1 枚で隔てられた手術システムが構築されています (写真 2)。この MRXO は Angio 室内での手術中に血管撮影はもちろんのこと、扉を開け、レールで繋ぐことで寝台ごと MRI 装置内へ移動させることができ、術中の迅速な MRI 検査を可能としたシステムです。このシステムは主に脳腫瘍手術で使用されており、脳腫瘍をまわりの正常な神経を残しながら、最大限取り去ることを可能としています。さらに本院には一般撮影装置 4 台、乳房撮影装置 1 台、パントモグラフ撮影装置 1 台、X 線透視装置 3 台、CT 4 台、MRI 5 台、Angio 4 台、リニアック 2 台、腔内照射装置 1 台等で、中でも dual source CT が 2 台、3T MRI が 2 台、高度救命救急センターも合わせた全ての一般撮影装置やポータブル撮影装置には FPD 導入など、装置に関しては非常に恵まれていると実感しております。

小野：正しく、高度救命救急センターとしての設備・体制が整備されていますね。所属スタッフの人数と業務配置について教えてください。

山下：当院の放射線技師は放射線技術科に所属



写真 2 MRXO

し、臨時を含め 67 名とかなりの大所帯です。日勤業務は 3 つの部門に分かれており、その中で人員配置や休みの調整を行っています。内訳は、一般撮影・CT・救急部門 23 名、MRI・X 線 TV・健診部門 22 名、血管撮影・放射線治療・核医学部門 21 名となっています。さらに当科では、検査被ばく量を測定する“被ばく管理 W.G (ワーキンググループ)”，装置のメンテナンスについて管理する“装置管理 W.G”，HIS や RIS といった院内の情報インフラを管理する“システム W.G”などが立ち上げられています。この W.G のメンバーは各部門の新人からベテランまでが選出されており、ここで決定された事項は即座に日常業務へ反映される仕組みとなっているので、各自が責任感を持って取り組んでいます。また W.G では普段一緒に仕事をしない他部門の後輩技師と接することができるという大きな利点があります。実はこちらの成果の方が大きいのではないかと感じています。

小野：W.G は非常に興味深い取り組みですね。人の風通しを良くする役割も果たしているように感じます。山下さんの日常の業務内容を教えてください。

山下：私が担当している核医学検査室は PET/CT1 台、SPECT/CT1 台、ガンマカメラ 2 台の計 4 台を使用しています。スタッフは放射線科医 2 名、看護師 2 名、看護助手 1 名、事務 1 名、放射線技師 4 名の計 11 名です。この体制の中、私は、2012 年に核医学専門技師を取得し、現在は技師の責任者として、日々の業務を行っています。主任者業務に関しては、東海大学では放射線管理センターが併設されており、こちらの方で大学や関連施設の放射線業務従事者の健康や放射線管理を行っています。そのため、病院内の主任者業務は放射線治療や核医学施設の線源管理や放射線管理センターの補助業

務が主な業務となります。そういった意味ではしっかりとした組織と感じています。現在、私は病院内では主任者に任命されていないので、いつも技師である先輩の主任者に気楽な立場で色々な書類の作成をお願いしているのですが、やはり日常業務との兼務は大変そうです。

小野：PET/CT 検査に使用する ^{18}F -FDG のデリバリー数は神奈川県で最多と伺いましたが。

山下：はい。そのとおりです。神奈川県下において、デリバリーで PET 検査を行っている施設は 7 施設ほどあり、東海大は 1 番出荷数が多い状況です。2010 年の検査開始以来、検査件数は右肩上がりです。現在、1 日平均 11 件ほどの検査を実施しております。これは同時期に早期胃癌以外の悪性腫瘍全てと保険適用が拡大したことが大きいと思われます。また、2012 年の保険改定で治療の効果判定が保険適応となったことから、最近では 2 度目の検査を受診される方、更には 3 度目の方と、がん診療においてはなくてはならない検査法として定着してきました。そのため、今後も検査数のニーズは更に増加していくことが予測されます。しかし、デリバリーであるため、これ以上の検査数の対応は厳しいのが現状です。その理由として、検査薬である ^{18}F -FDG の問題が挙げられます。

^{18}F -FDG は 1 日 3 回、9:30、12:30、15:30 の検定時間の 1 時間前に届けられます。しかし、 ^{18}F の半減期は 110 分であるため、1 度に大量に届けられても検査する前に減衰してしまうので、1 検定でできる検査数は限られてきます(写真 3)。当院においては、1 検定 5 件が限界と考えていますが、5 件目はかなり減衰しているため、よく考えて運用する必要があります。加えて設備増設も装置や待機室の設置場所の問題のため、簡単にはできません。核医学検査室の責任者に就任したばかりなのに、早くも難問にぶつかってしまい、毎日が苦悩の日々です。



写真 3 デリバリーで届けられる ^{18}F -FDG



写真 4 マラソン大会のスタート前

こういった状況をふまえてか、米国の ^{18}F -FDG デリバリーは指定した時間に指定した量になるように PET 施設に届けられると聞きます。このようなシステムが日本に導入されれば、悩みが 1 つ解決するのですが……。

小野：米国の ^{18}F -FDG デリバリーシステムは施設のニーズに対応しているんですね。

最後に趣味について紹介してください。

山下：最近の趣味はジョギングです。2 年前にある酒の席で知り合いからマラソン大会に誘わ

主任者 コーナー

れたのがきっかけです。その場では、酒も手伝い、社交辞令で軽い気持ちで口約束をしてしまったのですが、その方が私のマラソン大会への参加準備を勝手に進めていて、逃げられない状況となったため、反強制的状況下で始めることとなりました（写真4）。これまで、運動らしいことをしていなかったこともあってか、最初のうちはすぐに膝が痛くなったものですが、今

では10kmのジョギングを週2ペースで行うなど、自分でも驚くほど続いています。その成果もあって、体重も8kg近く減少しました。私にとって、いいメタボ対策となっております。

小野：マラソンに誘ってくれた知人の方には感謝ですね。本日はお忙しいところありがとうございました。

主任者コーナーの編集は、放射線安全取扱部会広報専門委員会が担当しています。

【広報専門委員】

上養義朋（委員長）、池本祐志、小野孝二、川辺 陸、鈴木朗史、桧垣正吾、宮本昌明、吉田浩子

第 55 回 第 2 種放射線取扱主任者試験問題と解答例

(試験年月日 平成 25 年 8 月 23 日)

法 令

放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律（以下「放射線障害防止法」という。）及び関係法令について解答せよ。

次の各問について、1 から 5 までの 5 つの選択肢のうち、適切な答えを 1 つだけ 選び、注意事項に従って解答用紙に記入せよ。

問 1 放射性同位元素に関する次の文章の A ～ D に該当する語句について、放射線障害防止法上定められているものの組合せは、下記の選択肢のうちどれか。

「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律第 2 条第 2 項の放射性同位元素は、放射線を放出する同位元素及びその化合物並びにこれらの A （機器に装備されているこれらのもの B 。）で、放射線を放出する同位元素の数量及び濃度がその C ごとに原子力規制委員会が定める数量（以下「下限数量」という。）及び濃度 D ものとする。」

A	B	C	D
1 認証機器	を含む	区分	以上の
2 含有物	に限る	区分	を超える
3 含有物	を含む	種類	を超える
4 認証機器	に限る	種類	以上の
5 認証機器	を含む	種類	を超える

〔解答〕

3

注) 令第 1 条（放射性同位元素）

問 2 密封された放射性同位元素の使用の許可を受けようとする者が、原子力規制委員会に提出する申請書に記載しなければならない事項として、放射線障害防止法上定められているものの組合せは、次のうちどれか。

A 使用の場所

解答例は(公社)日本アイソトープ協会放射線安全取扱部会が解答の一案として作成したものです。

主任者 コーナー

- B 使用の目的及び方法
- C 放射性同位元素を貯蔵する施設の位置、構造、設備及び貯蔵能力
- D 廃棄の場所及び方法

1 ABC のみ 2 ABD のみ 3 ACD のみ 4 BCD のみ 5 ABCD すべて

〔解答〕

1

注) 法第3条(使用の許可)第2項

- A: 正 法第3条第2項第4号
- B: 正 法第3条第2項第3号
- C: 正 法第3条第2項第6号
- D: 誤 規定なし。

問3 許可又は届出の手続き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の組合せはどれか。

- A 1個当たりの数量が10テラベクレルの密封された放射性同位元素のみを業として賃貸しようとする者は、賃貸事業所ごとに、原子力規制委員会の許可を受けなければならない。
- B 表示付特定認証機器のみを業として販売しようとする者は、販売所ごとに、あらかじめ、原子力規制委員会に届け出なければならない。
- C 表示付認証機器のみを認証条件に従って使用しようとする者は、工場又は事業所ごとに、かつ、認証番号が同じ表示付認証機器ごとに、あらかじめ、原子力規制委員会に届け出なければならない。
- D 1個当たりの数量が下限数量の2,000倍の密封された放射性同位元素であって機器に装備されていないもののみを使用しようとする者は、工場又は事業所ごとに、原子力規制委員会の許可を受けなければならない。

1 ACD のみ 2 AB のみ 3 BC のみ 4 D のみ 5 ABCD すべて

〔解答〕

4

注) 法第3条(使用の許可)、法第4条(販売及び賃貸の業の届出)、令第3条(使用の許可の申請)

- A: 誤 法第4条第1項「事業所ごと」という規定はない。「許可を受けなければならない」という規定はなく、届出である。
- B: 誤 法第4条第1項ただし書き 表示付特定認証機器を業として販売するものについては、届出の必要はない。
- C: 誤 法第3条の3第1項 使用の開始の日から30日以内に届け出なければならない。
- D: 正 法第3条第1項、令第3条第1項、令第3条第2項

問4 表示付認証機器の使用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の組合せはどれか。ただし、表示付認証機器について認証条件に従った使用、保管及び運搬をする場合とする。

- A 表示付認証機器使用者は、当該表示付認証機器の使用をするときは、使用の開始の日から30日以内に、原子力規制委員会に届け出なければならない。
- B 表示付認証機器届出使用者は、表示付認証機器に係る届け出た事項を変更したときは、変更の日から30日以内に、その旨を原子力規制委員会に届け出なければならない。

- C 届出使用者は、新たに表示付認証機器の使用をするときは、あらかじめ、その旨を原子力規制委員会に届け出なければならない。
- D 表示付認証機器使用者は、当該表示付認証機器の使用をするときは、あらかじめ、放射線障害予防規程を作成し、原子力規制委員会に届け出なければならない。
- 1 ABC のみ 2 AB のみ 3 AD のみ 4 CD のみ 5 BCD のみ

〔解答〕

2

- 注) 法第3条の2(使用の届出), 法第3条の3(表示付認証機器の使用をする者の届出), 法第21条(放射線障害予防規程), 法第25条の2(表示付認証機器の使用等に係る特例)
- A: 正 法第3条の3第1項
- B: 正 法第3条の3第2項
- C: 誤 法第3条の2第1項, 法第3条の3第1項 使用の開始の日から30日以内に届け出なければならない。
- D: 誤 法第21条第1項, 法第25条の2第1項 表示付認証機器の使用に対しては適用されない。

問5 次のうち、放射性同位元素を業として販売しようとする者(表示付特定認証機器を業として販売する者を除く。)が、あらかじめ、原子力規制委員会に届け出なければならない事項として、放射線障害防止法上定められているものの組合せはどれか。

- A 販売所の所在地
- B 放射性同位元素の種類
- C 氏名又は名称及び住所並びに法人にあっては、その代表者の氏名
- D 貯蔵施設の位置、構造、設備及び貯蔵能力

1 ABC のみ 2 ABD のみ 3 ACD のみ 4 BCD のみ 5 ABCD すべて

〔解答〕

1

- 注) 法第4条(販売及び賃貸の業の届出)第1項
- A: 正 法第4条第1項第3号
- B: 正 法第4条第1項第2号
- C: 正 法第4条第1項第1号
- D: 誤 規定なし。

問6 貯蔵施設の技術上の基準に関する次の記述のうち、放射線障害防止法上定められているものの組合せはどれか。

- A 貯蔵室には、放射性同位元素を入れる耐火性の容器を備えること。
- B 貯蔵室は、その主要構造部等を耐火構造とし、その開口部には、建築基準法施行令第112条第1項に規定する特定防火設備に該当する防火戸を設けること。
- C 貯蔵施設のそばに、ふた等外部に通ずる部分には、さくその他の人がみだりに立ち入らないようにするための施設を設けること。

主任者 コーナー

D 貯蔵箱は、耐火性の構造とすること。

1 A と B 2 A と C 3 B と C 4 B と D 5 C と D

〔解答〕

4

注) 則第 14 条の 9 (貯蔵施設の基準)

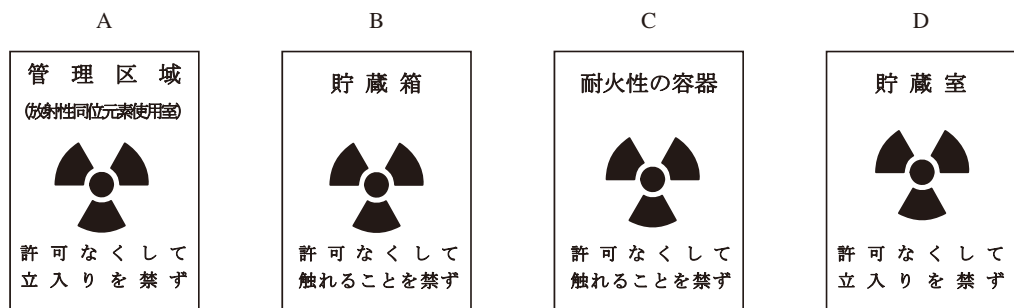
A : 誤 則第 14 条の 9 第 2 号

B : 正 則第 14 条の 9 第 2 号イ

C : 誤 則第 14 条の 9 第 5 号, 則第 14 条の 9 第 6 号 貯蔵施設のとりま, ふた等外部に通ずる部分には, かぎその他の閉鎖のための設備又は器具を設けること。管理区域の境界には, さくその他の人がみだりに立ち入らないようにするための施設を設けること。

D : 正 則第 14 条の 9 第 2 号ロ

問 7 次の標識のうち, 放射線障害防止法上定められているものの組合せはどれか。ただし, この場合, 放射能標識は工業標準化法の日本工業規格によるものとし, その大きさは放射線障害防止法上で定めるものとする。



1 A と C 2 A と D 3 B と C 4 B と D 5 C と D

〔解答〕

4

注) 則第 14 条の 7 (使用施設の基準), 則第 14 条の 9 (貯蔵施設の基準)

A : 誤 則第 14 条の 7 第 1 項第 9 号による別表 「管理区域」の文字の真下に「放射性同位元素使用室」の文字を記入する標識はない。

B : 正 則第 14 条の 9 第 7 号による別表

C : 誤 規定なし。

D : 正 則第 14 条の 9 第 7 号による別表

問 8 使用施設の技術上の基準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の組合せはどれか。ただし, 密封された放射性同位元素を固定して取り扱う場合とする。

A 100 ギガベクレルの密封された放射性同位元素を使用する室の通常人が出入りする出入口には, 使用をする場合にその旨を自動的に表示する装置を設けなければならない。

B 下限数量の 1,000 倍以下の密封された放射性同位元素を使用する室は主要構造部等を耐火構造とす

ること、又は不燃材料で造ることを要しない。

C 使用施設は、地崩れ及び浸水のおそれの少ない場所に設けなければならない。

D 使用施設内の人が常時立ち入る場所において、実効線量が1ミリシーベルト毎週以下とするために必要な遮蔽壁その他の遮蔽物を設けなければならない。

1 ABCのみ 2 ABDのみ 3 ACDのみ 4 BCDのみ 5 ABCDすべて

〔解答〕

4

注) 則第14条の7(使用施設の基準), 平成12年10月23日科学技術庁告示第5号(放射線を放出する同位元素の数量等を定める件)第10条(遮蔽物に係る線量限度), 第11条(自動表示装置に係る放射性同位元素の量), 第13条(主要構造部等を耐火構造とすること等を要しない放射性同位元素の数量)

A: 誤 則第14条の7第1項第6号, 平成12年10月23日科学技術庁告示第5号第11条 400ギガベクレル以上のとき設けなくてはならない。

B: 正 則第14条の7第1項第2号, 則第14条の7第4項, 平成12年10月23日科学技術庁告示第5号第13条

C: 正 則第14条の7第1項第1号

D: 正 則第14条の7第1項第3号イ, 平成12年10月23日科学技術庁告示第5号第10条第1項

問9 次のうち、許可使用者の許可証に記載される事項として、放射線障害防止法上定められているものの組合せはどれか。

A 使用の方法

B 使用の目的

C 許可の条件

D 許可の年月日及び許可の番号

1 ABDのみ 2 ABのみ 3 ACのみ 4 CDのみ 5 BCDのみ

〔解答〕

5

注) 法第9条(許可証)第2項

A: 誤 規定なし。

B: 正 法第9条第2項第3号

C: 正 法第9条第2項第7号

D: 正 法第9条第2項第1号

問10 1個当たりの数量が37メガベクレルの密封されたカリホルニウム252を装備した中性子水分計1台を使用している者が、中性子水分計による土壌中の水分の質量の調査の目的のために事業所の外において一時的に使用の場所を変更して使用する場合に、あらかじめ、原子力規制委員会に対してとるべき手続き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。なお、カリホルニウム252の特別形放射性同位元素等である場合の数量(A_1 値)は、0.1テラベクレルである。また、その下限数量は10キロ

主任者 コーナー

ベクレルであり、かつ、その濃度は、原子力規制委員会の定める濃度を超えるものとする。

- 1 許可使用に係る変更の許可を必ず受けなければならない。
- 2 届出使用に係る変更の届出をしなければならない。
- 3 許可使用に係る使用の場所の一時的変更の許可を受けなければならない。
- 4 届出使用に係る使用の場所の一時的変更の届出をしなければならない。
- 5 許可使用に係る使用の場所の一時的変更の届出をしなければならない。

〔解答〕

5

注) 法第3条（使用の許可）、令第3条（使用の許可の申請）第1項より、許可使用に該当する。

法第10条（使用施設の変更）第2項かつこ書、同第6項、令第9条（許可使用に係る使用の場所の一時的変更の届出）第1項第5号、平成12年10月23日科学技術庁告示第5号（放射線を放出する同位元素の数量等を定める件）第3条（使用の場所の変更の都度許可を要しない数量等）、平成3年11月15日科学技術庁告示第9号（使用の場所の一時的変更の届出に係る使用の目的を指定する告示）より、許可使用に係る使用の場所の一時的変更の届出に該当する。

問11 密封された放射性同位元素の使用の基準に関する次の記述のうち、放射線障害防止法上定められているものの組合せはどれか。

- A 使用施設又は管理区域の目につきやすい場所に、放射線障害の防止に必要な注意事項を掲示すること。
- B 正常な使用状態においては、遮蔽壁その他の遮蔽物を用いることなく放射線による被ばくを十分に低くすること。
- C 移動させて使用する場合には、使用後、その放射性同位元素について紛失、漏えい等異常の有無を目視により点検すること。
- D 管理区域には、人がみだりに立ち入らないような措置を講じ、放射線業務従事者以外の者が立ち入るときは、放射線業務従事者の指示に従わせること。

1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとC 5 CとD

〔解答〕

3

注) 則第15条（使用の基準）

- A：正 則第15条第1項第11号
B：誤 規定なし。
C：誤 則第15条第1項第14号 放射線測定器により点検する。
D：正 則第15条第1項第12号

問12 次のうち、特定設計認証を受けることができる放射性同位元素装備機器として、放射線障害防止法上定められているものの組合せはどれか。なお、これらの機器はその表面から10センチメートル離れた位置における1センチメートル線量当量率が1マイクロシーベルト毎時以下であるものとする。

- A 集電式電位測定器
- B ベータ線吸収式粉じん計

- C エアロゾル中和器
D 熱粒子化式センサー

1 AとC 2 AとD 3 BとC 4 BとD 5 CとD

〔解答〕

2

注) 法第12条の2(放射性同位元素装備機器の設計認証等), 令第12条(特定設計認証), 平成17年7月4日文科科学省告示第93号(放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行令第12条第1項第3号の放射性同位元素装備機器を指定する告示)

A: 正 平成17年7月4日文科科学省告示第93号第1号

B: 誤 規定なし。

C: 誤 規定なし。

D: 正 平成17年7月4日文科科学省告示第93号第2号

問13 許可使用に係る使用の場所の一時的変更の届出の際, 届書に添えなければならない書類として, 放射線障害防止法上定められているものの組合せは, 次のうちどれか。

- A 一時的に使用する放射性同位元素の取扱いに従事する者の氏名を記載した書面
B 使用の場所及びその付近の状況を説明した書面
C 放射線障害を防止するために講ずる措置を記載した書面
D 使用の場所を中心とし, 管理区域及び標識を付ける箇所を示し, かつ, 縮尺及び方位を付けた使用の場所及びその付近の平面図

1 ABCのみ 2 ABDのみ 3 ACDのみ 4 BCDのみ 5 ABCDすべて

〔解答〕

4

注) 則第11条(許可使用に係る使用の場所の一時的変更の届出)第2項

A: 誤 規定なし。

B: 正 則第11条第2項第1号

C: 正 則第11条第2項第3号

D: 正 則第11条第2項第2号

問14 密封された放射性同位元素の保管の基準に関する次の記述のうち, 放射線障害防止法上定められているものの組合せはどれか。

- A 貯蔵施設には, その貯蔵能力を超えて放射性同位元素を貯蔵しないこと。
B 放射性同位元素の保管中これをみだりに持ち出さないようにするため, 貯蔵室には, 放射線取扱主任者免状を有する者以外の者を立ち入らせないこと。
C 貯蔵施設の目につきやすい場所に, 放射線障害の防止に必要な注意事項を掲示すること。
D 機器に装備されている放射性同位元素の保管は, 貯蔵箱に入れ, かつ, 貯蔵室において行うこと。

1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

〔解答〕

2

主任者 コーナー

注) 則第 17 条 (保管の基準)

- A : 正 則第 17 条第 1 項第 2 号
- B : 誤 規定なし。
- C : 正 則第 17 条第 1 項第 8 号
- D : 誤 規定なし。

問 15 A 型輸送物に係る技術上の基準に関する次の記述のうち、放射線障害防止法上定められているものの組合せはどれか。

- A 表面に不要な突起物がなく、かつ、表面の汚染の除去が容易であること。
- B 容易に、かつ、安全に取り扱うことができること。
- C 周囲の圧力を 60 キロパスカルとした場合に、放射性同位元素の漏えいがないこと。
- D 表面から 1 メートル離れた位置における 1 センチメートル線量当量率の最大値が 10 ミリシーベルト毎時を超えないこと。

1 ABC のみ 2 ABD のみ 3 ACD のみ 4 BCD のみ 5 ABCD すべて

〔解答〕

1

注) 則第 18 条の 5 (A 型輸送物に係る技術上の基準)

- A : 正 則第 18 条の 5 第 1 号 (則第 18 条の 4 第 3 号)
- B : 正 則第 18 条の 5 第 1 号 (則第 18 条の 4 第 1 号)
- C : 正 則第 18 条の 5 第 5 号
- D : 誤 則第 18 条の 5 第 8 号 100 マイクロシーベルト毎時を超えないこと。

問 16 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の組合せはどれか。ただし、中性子線による被ばくはないものとする。

- A 実効線量は、1 センチメートル線量当量とすること。
- B 皮膚の等価線量は、70 マイクロメートル線量当量とすること。
- C 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。
- D 手、足等の末端部の等価線量は、3 ミリメートル線量当量とすること。

1 ABC のみ 2 ABD のみ 3 ACD のみ 4 BCD のみ 5 ABCD すべて

〔解答〕

1

注) 則第 20 条 (測定) 第 4 項第 5 号、平成 12 年 10 月 23 日科学技術庁告示第 5 号 (放射線を放出する同位元素の数量等を定める件) 第 20 条 (実効線量及び等価線量の算定)

- A : 正 平成 12 年 10 月 23 日科学技術庁告示第 5 号第 20 条第 1 項第 1 号
- B : 正 平成 12 年 10 月 23 日科学技術庁告示第 5 号第 20 条第 2 項第 1 号
- C : 正 平成 12 年 10 月 23 日科学技術庁告示第 5 号第 20 条第 2 項第 2 号
- D : 誤 規定なし。

問 17 放射線の量の測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の組合せはどれか。

- A 作業を開始する前の放射線の量の測定は、必要と認める場合に限り行うこと。
- B 作業を開始した後であつては、下限数量を超え、かつ、下限数量に 1,000 を乗じて得た数量以下の密封された放射性同位元素のみを取り扱うときの放射線の量の測定は、6 月を超えない期間ごとに 1 回行うこと。
- C 70 マイクロメートル線量当量率が 1 センチメートル線量当量率の 10 倍を超えるおそれのある場所においては、70 マイクロメートル線量当量率の測定を行うこと。
- D 作業を開始した後であつては、事業所等の境界の放射線の量の測定は、1 年を超えない期間ごとに 1 回行うこと。

1 A と B 2 A と C 3 A と D 4 B と C 5 C と D

〔解答〕

4

注) 則第 20 条 (測定) 第 1 項

- A : 誤 則第 20 条第 1 項第 4 号 作業を開始する前に 1 回行う。
- B : 正 則第 20 条第 1 項第 4 号ハ
- C : 正 則第 20 条第 1 項第 1 号
- D : 誤 則第 20 条第 1 項第 4 号 「1 年を超えない期間ごとに 1 回」の規定はない。

問 18 次のうち、密封された放射性同位元素のみを使用する許可使用者が、放射線障害予防規程に記載すべき事項として、放射線障害防止法上定められているものの組合せはどれか。

- A 放射線取扱主任者の代理者の選任に関すること。
- B 放射線障害を受けた者に対する補償に関すること。
- C 使用施設等の変更の手続きに関すること。
- D 放射線管理の状況の報告に関すること。

1 A と B 2 A と C 3 A と D 4 B と D 5 C と D

〔解答〕

3

注) 則第 21 条 (放射線障害予防規程) 第 1 項

- A : 正 則第 21 条第 1 項第 1 号の 3
- B : 誤 規定なし。
- C : 誤 規定なし。
- D : 正 則第 21 条第 1 項第 11 号

問 19 教育訓練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の組合せはどれか。ただし、対象者には、教育及び訓練の項目について十分な知識及び技能を有していると認められる者は、含まれていないものとする。

- A 放射線業務従事者に対する教育及び訓練は、初めて管理区域に立ち入る前及び管理区域に立ち入った後であつては 1 年を超えない期間ごとに行わなければならない。
- B 取扱等業務に従事する者であつて、管理区域に立ち入らないものに対する教育及び訓練は、取扱等

主任者 コーナー

業務を開始する前及び取扱等業務を開始した後にあつては1年を超えない期間ごとに行わなければならない。

- C 見学のために管理区域に一時的に立ち入る者に対しては、教育及び訓練を行うことを要しない。
D 取扱等業務に従事する者であつて、管理区域に立ち入らないものに対する教育及び訓練の項目に「放射線の人体に与える影響」の項目が含まれる。

1 ABCのみ 2 ABDのみ 3 ACDのみ 4 BCDのみ 5 ABCDすべて

〔解答〕

2

注) 則第21条の2(教育訓練)第1項

A: 正 則第21条の2第1項第2号

B: 正 則第21条の2第1項第3号

C: 誤 則第21条の2第1項第5号 当該者が立ち入る放射線施設において放射線障害が発生することを防止するために必要な事項について施す。

D: 正 則第21条の2第1項第4号イ

問20 放射線業務従事者の健康診断の方法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の組合せはどれか。

- A 初めて管理区域に立ち入る前に行う健康診断のうち、問診は、放射線の被ばく歴の有無について行うこと。
B 初めて管理区域に立ち入る前に行う健康診断のうち、末しょう血液中の色素量又はヘマトクリット値、赤血球数、白血球数及び白血球百分率に関する検査は、医師が必要と認める場合に限り行うこと。
C 初めて管理区域に立ち入る前に行う健康診断のうち、皮膚についての検査又は検診は、医師が必要と認める場合に限り行うこと。
D 管理区域に立ち入った後、1年を超えない期間ごとに行う健康診断のうち、眼についての検査又は検診は、医師が必要と認める場合に限り行うこと。

1 ABCのみ 2 ABのみ 3 ADのみ 4 CDのみ 5 BCDのみ

〔解答〕

3

注) 則第22条(健康診断)第1項

A: 正 則第22条第1項第5号ロ

B: 誤 則第22条第1項第6号イ 初めて管理区域に立ち入る前に、検査を行わなければならない。

C: 誤 則第22条第1項第6号ロ 初めて管理区域に立ち入る前に、検査又は健診を行わなければならない。

D: 正 則第22条第1項第6号ハ

問21 放射線障害を受けた者又は受けたおそれのある者に対する措置に関する次の文章の A ~ C に該当する語句について、放射線障害防止法上定められているものの組合せは、下記の選択肢のうちどれか。

「放射線業務従事者が放射線障害を受け、又は受けたおそれのある場合には、放射線障害又は放射線障害を受けたおそれの程度に応じ、管理区域への立入時間の短縮、の禁止、放射線に被ばくする
業務への配置転換等の措置を講じ、必要なを行うこと。」

A	B	C
1 取扱い	おそれのない	保健指導
2 立入り	おそれの少ない	保健指導
3 取扱い	おそれの少ない	保健指導
4 立入り	おそれのない	健康診断
5 取扱い	おそれの少ない	健康診断

〔解答〕

2

注) 則第 23 条（放射線障害を受けた者又は受けたおそれのある者に対する措置）第 1 号

問 22 次のうち、許可使用者が備えるべき帳簿に記載しなければならない放射線施設の点検に関する事項として、放射線障害防止法上定められているものの組合せはどれか。

- A 点検の実施方法
- B 点検を行った者の氏名
- C 点検に使用した機器の名称
- D 点検の結果及びこれに伴う措置の内容

- 1 ACD のみ 2 AB のみ 3 AC のみ 4 BD のみ 5 BCD のみ

〔解答〕

4

注) 則第 24 条（記帳）第 1 項第 1 号

- A：誤 規定なし。
- B：正 則第 24 条第 1 項第 1 号ヨ
- C：誤 規定なし。
- D：正 則第 24 条第 1 項第 1 号ヨ

問 23 密封された放射性同位元素のみを使用する法人である許可使用者が、その許可に係る放射性同位元素のすべての使用を廃止し、廃止の届出をした後、廃止の日に保存していた記録のうち、原子力規制委員会が指定する機関に引き渡さなければならない記録として、放射線障害防止法上正しいものの組合せはどれか。ただし、この届出に係る法人が、引き続き許可届出使用者又は許可廃棄業者として当該記録を保存しないものとする。

- A 放射線施設の点検の記録
- B 教育訓練の結果の記録
- C 放射線業務従事者の受けた放射線の量の測定結果の記録
- D 健康診断の結果の記録

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

主任者 コーナー

〔解答〕

5

注) 則第 26 条 (許可の取り消し, 使用の廃止等に伴う措置) 第 1 項第 9 号

- A : 誤 規定なし。
- B : 誤 規定なし。
- C : 正 則第 26 条第 1 項第 9 号
- D : 正 則第 26 条第 1 項第 9 号

問 24 密封された放射性同位元素 (表示付認証機器等に装備されているものを除く。) の譲渡し, 譲受け等の制限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の組合せはどれか。

- A 許可使用者がその許可証に記載された種類の放射性同位元素を, その許可証に記載された貯蔵施設の貯蔵能力の範囲内で借り受けた。
- B 届出賃貸業者がその届け出た種類の放射性同位元素を, 他の届出賃貸業者から譲り受けた。
- C 届出販売業者がその届け出た種類の放射性同位元素を, 輸出した。
- D 届出使用者がその届け出た種類の放射性同位元素を, 輸出した。

1 ABC のみ 2 ABD のみ 3 ACD のみ 4 BCD のみ 5 ABCD すべて

〔解答〕

5

注) 法第 29 条 (譲渡し, 譲受け等の制限)

- A : 正 法第 29 条第 1 号
- B : 正 法第 29 条第 4 号
- C : 正 法第 29 条第 3 号
- D : 正 法第 29 条第 2 号

問 25 所持の制限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の組合せはどれか。

- A 届出使用者は, その届け出た種類の放射性同位元素をその届け出た貯蔵施設の貯蔵能力の範囲内で所持することができる。
- B 許可を取り消された許可使用者は, その許可を取り消された日に所持していた放射性同位元素を, 許可を取り消された日から 3 月間, 所持することができる。
- C 届出賃貸業者は, その届け出た種類の放射性同位元素を運搬のために所持することができる。
- D 届出販売業者から放射性同位元素の運搬を委託された者は, その委託を受けた放射性同位元素を所持することができる。

1 ABC のみ 2 ABD のみ 3 ACD のみ 4 BCD のみ 5 ABCD すべて

〔解答〕

3

注) 法第 30 条 (所持の制限), 則第 28 条 (所持の制限)

- A : 正 法第 30 条第 2 号
- B : 誤 法第 30 条第 6 号, 則第 28 条 30 日間, 所持することができる。
- C : 正 法第 30 条第 3 号

D：正 法第 30 条第 11 号

問 26 危険時の措置に関する次の文章の A ～ C に該当する語句について、放射線障害防止法上定められているものの組合せは、下記の選択肢のうちどれか。

「第 33 条 許可届出使用者等は、その所持する放射性同位元素若しくは放射線発生装置又は放射性汚染物に関し、地震、火災その他の災害が起こったことにより、 A のおそれがある場合又は A が発生した場合においては、直ちに、原子力規制委員会規則で定めるところにより、 B なければならない。

2 前項の事態を発見した者は、直ちに、その旨を C 又は海上保安官に通報しなければならない。」

A	B	C
1 破損、漏えい等	応急の措置を講じ	警察官
2 破損、漏えい等	健康診断を実施し	消防官
3 放射線障害	応急の措置を講じ	警察官
4 放射線障害	健康診断を実施し	消防官
5 放射線障害	健康診断を実施し	警察官

〔解答〕

3

注) 法第 33 条（危険時の措置）第 1 項，第 2 項

問 27 次のうち、第 2 種放射線取扱主任者免状を有する者を放射線取扱主任者として選任することができる事業者として、放射線障害防止法上正しいものの組合せはどれか。

- A 密封されていない放射性同位元素のみを販売する届出販売業者
 B 10 テラベクレルの密封された放射性同位元素のみを賃貸する届出賃貸業者
 C 密封されていない放射性同位元素のみを使用する許可使用者
 D 10 テラベクレルの密封された放射性同位元素のみを使用する許可使用者

1 A と B 2 A と C 3 B と C 4 B と D 5 C と D

〔解答〕

1

注) 法第 34 条（放射線取扱主任者）第 1 項

A：正 則第 34 条第 1 項第 3 号

B：正 則第 34 条第 1 項第 3 号

C：誤 則第 34 条第 1 項第 1 号 第 1 種放射線取扱主任者免状を有する者から選任

D：誤 法第 12 条の 8 第 1 項，令第 13 条第 1 項，法第 34 条第 1 項第 1 号 第 1 種放射線取扱主任者免状を有する者から選任

問 28 密封された放射性同位元素のみを使用している事業所において、放射線取扱主任者が海外出張のためその職務を行うことができなくなったが、この間も放射性同位元素を継続して使用することとした。この事業所における、放射線取扱主任者の代理者の選任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の組合せはどれか。

主任者 コーナー

- A 出張の期間が5日間であったので、放射線取扱主任者の代理者の選任は行わなかった。
 B 出張の期間が30日間であったので、出張の開始日に放射線取扱主任者の代理者を選任したが、原子力規制委員会への届出は出張の開始日の10日後だった。
 C 出張の期間が10日間であったので、出張の開始日に放射線取扱主任者の代理者を選任したが、その旨の届出は行わなかった。
 D 出張の期間が2ヶ月間であったので、出張の開始日に放射線取扱主任者の代理者を選任し、同日その旨を原子力規制委員会に届け出た。
- 1 ABCのみ 2 ABのみ 3 ADのみ 4 CDのみ 5 BCDのみ

〔解答〕

5

注) 法第37条(放射線取扱主任者の代理者)第1項, 則第33条(放射線取扱主任者の代理者の選任等)

- A: 誤 法第37条第1項 代理者を選任しなければならない。
 B: 正 法第37条第1項, 法第37条第3項
 C: 正 法第37条第1項, 則第33条第4項
 D: 正 法第37条第1項, 法第37条第3項

問29 定期講習に関する次の文章の A ~ C に該当する語句について、放射線障害防止法上定められているものの組合せは、下記の選択肢のうちどれか。

「許可届出使用者、届出販売業者、届出賃貸業者及び許可廃棄業者のうち原子力規制委員会規則で定められているものは、 A に、原子力規制委員会規則で定める B ごとに、原子力規制委員会の登録を受けた者が行う A の C の講習を受けさせなければならない。」

- | <input type="text"/> A <input type="text"/> | <input type="text"/> B <input type="text"/> | <input type="text"/> C <input type="text"/> |
|---|---|---|
| 1 放射線取扱主任者 | 施設区分 | 放射線取扱主任者免状を更新するため |
| 2 放射線取扱主任者 | 期間 | 資質の向上を図るため |
| 3 放射線取扱主任者 | 資格 | 放射線取扱主任者免状を更新するため |
| 4 放射線業務従事者 | 施設区分 | 技能の向上を図るため |
| 5 放射線業務従事者 | 時間数 | 資質の向上を図るため |

〔解答〕

2

注) 法第36条の2第1項(定期講習)

問30 報告の徴収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の組合せはどれか。

- A 表示付認証機器届出使用者は、放射性同位元素の盗取又は所在不明が生じたときは、その旨を直ちに、その状況及びそれに対する処置を30日以内に原子力規制委員会に報告しなければならない。
 B 許可使用者は、放射性同位元素の使用における計画外の被ばくがあったときであって、当該被ばくに係る実効線量が、放射線業務従事者にあつては5ミリシーベルトを超え、又は超えるおそれのあるときは、その旨を直ちに、その状況及びそれに対する処置を10日以内に原子力規制委員会に報告しなければならない。
 C 届出使用者は、放射線業務従事者について実効線量限度若しくは等価線量限度を超え、又は超える

おそれのある被ばくがあったときは、その旨を直ちに、その状況及びそれに対する処置を10日以内に原子力規制委員会に報告しなければならない。

D 特定放射性同位元素を使用している許可使用者は、毎年3月31日に所持している特定放射性同位元素について、同日の翌日から起算して6月以内に原子力規制委員会に報告しなければならない。

1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

〔解答〕

3

注) 則第39条 (報告の徴収)

A：誤 則第39条第1項第1号 10日以内に報告しなければならない。

B：正 則第39条第1項第7号

C：正 則第39条第1項第8号

D：誤 則第39条第6項 3月以内に報告しなければならない。

管 理 技 術 I

問 1 次の I、II の文章の [] の部分に入る最も適切な語句を、それぞれの解答群から 1 つだけ選べ。

I 放射線影響は、放射線に被ばくしたヒト個人に現れる [A] と、被ばくしたヒトの子孫に現れる [B] とに大別される。[A] は、さらに被ばく後数週間以内に症状が現れる [C] と、数ヶ月から数年あるいは何十年も後になって発症する [D] とに分けられる。[C] は、受ける放射線の種類、線量や全身被ばくか、局所被ばくかなどで障害の程度が異なる。一方、[D] には、眼の水晶体が混濁する [E] や放射線被ばく後 1 年以上を経て発症する [F] などの疾患が含まれる。[A] のすべてではないが、細胞が放射線による損傷を受けて死ぬために起こり、ある線量（しきい線量又はしきい値）以上の被ばくで影響が現れるものを、[G] という。[G] は、被ばく線量が増えると [H] が増す。

また、[A] の中には、全身あるいは局所の被ばくにより体細胞に遺伝子の変化が生じ、長い潜伏期間を経て現れる悪性腫瘍がある。悪性腫瘍や、被ばくした親の生殖細胞（精子及び卵子）に生じた遺伝子の変化が子や孫の世代に伝達されて現れる先天異常などの [B] は、線量が高くなるほど、その頻度（発生率）も高くなることから、[I] という。[I] は、現在の放射線防護の基本理念では、100 あるいは 200 ミリシーベルト未満の低線量でもしきい値のない [J] な線量効果関係が前提となっている。

<A～F の解答群>

- | | | | | |
|------------|---------|----------|-------------|------------|
| 1 集団の影響 | 2 身体的影響 | 3 組織障害 | 4 細胞損傷 | 5 遺伝性(的)影響 |
| 6 白内障 | 7 晩発障害 | 8 心血管系疾患 | 9 急性障害 | 10 持続的影響 |
| 11 特発性心筋炎 | 12 緑内障 | 13 劇症肝炎 | 14 アトピー性皮膚炎 | |
| 15 加齢性黄斑変性 | | | | |

<G～J の解答群>

- | | | | | |
|----------|--------|---------|---------|---------|
| 1 確率的影響 | 2 相乗効果 | 3 相加的影響 | 4 確定的影響 | 5 直線的 |
| 6 シグモイド的 | 7 感受性 | 8 重篤度 | 9 釣り鐘型 | 10 U 字型 |

II 放射線被ばくの様式は、身体の周りにある線源からの放射線に被ばくする [K] と、食物摂取、気道からの吸入あるいは皮膚からの吸収や創傷などを通じて体内に入った放射性物質が、特定の臓器・組織に沈着して放出する放射線に被ばくする [L] とに大別される。

ヒトの [K] による発がんの代表的な事例として、広島、長崎に投下された原子爆弾からのガンマ線及び中性子線に被ばくした原爆被爆者にみられている悪性腫瘍がある。これらの悪性腫瘍には、被ばく後数年から 10 年位で多発した [M] と、その後ほぼ半世紀以上にわたって増え続けている乳がん、消化器がんなどの [N] がある。原爆被爆者の追跡調査の結果によると、これまでのところ、100 あるいは 200 ミリグレイ未満の低線量でがんの [O] は統計的に有意なものとは認められ

ていない。

ヒトの[L]による発がんの代表的な事例として、気体状放射性ラドンとその子孫核種の微粒子を吸入したウラン鉱山などの鉱夫に発症した[P]，時計文字盤女工と呼ばれる集団に発症した放射性ラジウムの経口摂取による[Q]，放射性トリウムを含む造影剤（トトロラスト）を投与された退役軍人などに発症した[R]などがある。近年では，1986 年のチェルノブイリ原発事故で放出された放射性ヨウ素を牛乳などを通じて摂取した子供や青年に発症した[S]，旧ソ連のマヤーク核兵器工場作業者に発症したプルトニウムの吸入被ばくによる[P]や[Q]などが有名である。

<K～O の解答群>

- 1 白血病 2 固形がん 3 外部被ばく 4 早期発生 5 内部被ばく
6 過剰発生 7 自然発生 8 進展性 9 退縮性 10 炎症性疾患

<P～S の解答群>

- 1 胃がん 2 皮膚がん 3 鼻咽頭がん 4 甲状腺がん 5 白血病
6 肺がん 7 肝臓がん 8 骨肉腫 9 腎臓がん 10 神経芽細胞腫

【解答】

- I [A]－2 [B]－5 [C]－9 [D]－7 [E]－6 [F]－8
[G]－4 [H]－8 [I]－1 [J]－5

注) F：心筋梗塞などの心血管系疾患は原爆被ばく者の放射線被ばくによる身体的影響の一つとして原爆症認定の基準の1疾患として認められている。2011 年，国際放射線防護委員会（ICRP）は，最新の疫学的知見に基づき，放射線による心血管系疾患のしきい線量を白内障と同じ 0.5 Gy としている。

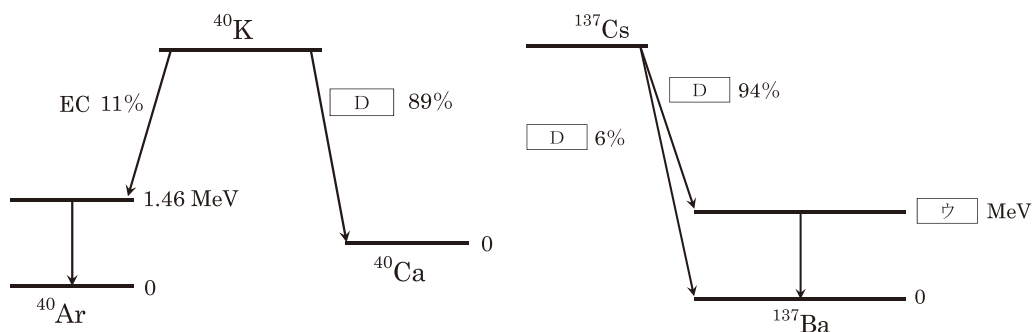
- II [K]－3 [L]－5 [M]－1 [N]－2 [O]－6 [P]－6
[Q]－8 [R]－7 [S]－4

注) N：肺がん，胃がん，肝臓がん，大腸がん，乳がん，子宮がん等の形のある臓器に塊となって発生するがんのこと

問2 次のⅠ～Ⅲの文章の[]の部分に入る最も適切な語句，記号又は数値を，それぞれの解答群から1つだけ選べ。

Ⅰ 下の図は ^{40}K 及び ^{137}Cs の壊変図式である。図中の EC は原子核による [A] が起きることを意味し，この型の壊変が起きると原子番号は [ア] だけ変化して ^{40}K は ^{40}Ar となる。水平な線の右に記した数字は原子核のエネルギー準位を示しており，壊変の過程で生成した ^{40}Ar の [B] にある原子核は，[C] 線を放出して安定状態となる。一方，[D] 壊変が起きると ^{40}Ca となる。この図から分かるように ^{40}K は全壊変数に対して 89% の割合で [D] 線を，11% の割合で [C] 線を放出するとともに，EC に伴う [E] 線を放出する。

^{137}Cs の場合には 100% が [D] 壊変となるが，その壊変には [イ] 形式あり，観測される [D] 線のスペクトルは両者の重ね合わせとなる。 ^{137}Cs 線源から放出される [C] 線は，[D] 壊変後に 94% の割合で生成する [F] 原子核の準安定な状態から放出され，そのエネルギーは [ウ] MeV である。



<A~Eの解答群>

- 1 α 2 β^- 3 β^+ 4 γ 5 δ 6 X 7 IT 8 軌道電子捕獲
9 内部転換 10 基底状態 11 励起状態

<Fの解答群>

- 1 Sr 2 Co 3 Xe 4 Ba

<アの解答群>

- 1 -2 2 -1 3 +1 4 +2

<イの解答群>

- 1 1 2 2 3 3

<ウの解答群>

- 1 0.66 2 1.13 3 1.33 4 1.46

II ^{137}Cs 線源から放出される γ 線のエネルギーは、電子対生成に必要なしきい値より低いので、電子対生成を起こさない。ちなみに電子対生成のしきい値は電子の静止エネルギーの2倍で約 G MeVである。この線源からの γ 線光子と物質との相互作用で最も起きやすいのは H 散乱である。この相互作用の結果、光子のエネルギーの一部は電子に与えられるので、光子のエネルギーは減少する。この過程で発生する二次電子は H 電子と呼ばれる。光子のエネルギーが減少してくると I の断面積が大きくなる。 I では、軌道電子が光子のエネルギーを吸収して飛び出し、軌道には空孔が生じる。放出された電子の運動エネルギーは、光子の全エネルギーから、軌道電子の J を減じた値となる。

内殻軌道に生じた空孔は、より外殻の軌道にある電子によって埋められる。この過程によって余剰となった二つの軌道間の差分エネルギーによって、特性X線あるいは K が放出される。これらのエネルギーは I が起きた原子の種類（元素）及びその化学結合状態によって厳密に決まっているので、エネルギースペクトルの計測から元素分析が可能となる。

H 散乱及び I は分子のイオン化を起こすが、 H 散乱や I に伴って発生する二次電子の方が、それらの飛跡に沿って、より多くのイオン化を引き起こすので、X線や γ 線などの光子放射線によるイオン化などの作用はこれらの二次電子によって引き起こされると考えてよい。空気中で生成するイオン対の総数に比例した電荷量から光子放射線場の強度を測定する目的で作られたのが L 式サーベイメータである。

<G~Jの解答群>

- 1 0.51 2 0.66 3 1.02 4 1.33 5 トムソン 6 ベーテ
7 コンプトン 8 クライン 9 光電効果 10 電子対生成 11 制動放射
12 エネルギー損失 13 角運動量 14 束縛エネルギー 15 ジュール熱

<K, Lの解答群>

- 1 光電子 2 陽電子 3 内殻電子 4 オージェ電子 5 γ 線 6 紫外線
7 電離箱 8 GM管 9 シンチレーション

Ⅲ 高速で運動する電子が物質中に入射すると、物質を構成する電子や原子核とのクーロン相互作用によって減速する。この急激な減速によって光子が発生する。200 kVの管電圧で加速された電子がタングステンの陽極（対陰極）に衝突すると、Mが発生する。そのエネルギーの最大値はN keVとなる広いエネルギースペクトルをもつ。このMのスペクトルに加えて、標的となった金属元素（この場合はタングステン）に依存する鋭いピークをもつOが見られる。60 keV付近に見られるOは入射電子によってタングステンのK殻電子がたたき出されてK殻電離が起き、そこに外殻の電子が落ち込むことによって発生するので、蛍光X線とも呼ばれる。

<M~Oの解答群>

- 1 陽電子 2 γ 線 3 制動X線 4 δ 線 5 特性X線 6 紫外線
7 30 8 50 9 120 10 200

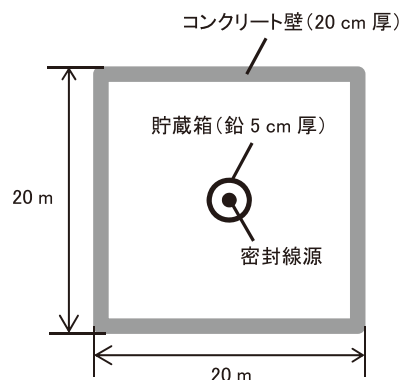
〔解答〕

- I A - 8 B - 11 C - 4 D - 2 E - 6 F - 4
ア - 2 イ - 2 ウ - 1
II G - 3 H - 7 I - 9 J - 14 K - 4 L - 7
III M - 3 N - 10 O - 5

問3 次のⅠ～Ⅲの文章の の部分に入る最も適切な語句又は数値を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

ある研究所で60 MBqの ^{137}Cs 密封線源を1個所有し、使用室内に備え付けられている貯蔵箱（鉛5 cm厚）に保管している。線源使用時には、貯蔵箱から取り出して使用室内の指定された場所（貯蔵箱の上）で使用している。使用室は天井を含めてコンクリート壁（厚さ20 cm）で囲まれており、その外壁を管理区域境界としている。

人が常時立ち入る場所における実効線量の評価時間は、1週間につき40時間（1日につき8時間×5日）とし、管理区域境界における実効線量の評価時間は3月間につき500時間とする。また、散乱線は無視できるものとし、その他の評価条件は以下に示す値とする。



主任者 コーナー

1) 線源からの距離

評価地点	線源使用時	線源保管時
人が常時立ち入る場所	0.5 m	0.5 m
管理区域境界	10 m	10 m

2) 実効線量率定数及び実効線量透過率

線源	実効線量率定数 [$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$]	実効線量透過率	
		鉛 5 cm	コンクリート 20 cm
^{60}Co	3.1×10^{-1}	8.3×10^{-2}	3.4×10^{-1}
^{137}Cs	7.8×10^{-2}	5.6×10^{-3}	2.6×10^{-1}

I 現在の線源の使用状況における評価地点での実効線量を整理すると、下表のとおりとなる。

		人が常時立ち入る場所	管理区域境界
1 時間当たりの実効線量	線源使用時	A μSv	B μSv
	線源保管時	C μSv	D μSv
1 週間の最大実効線量		E mSv	—
3 月間の最大実効線量		—	F mSv

法令で定める実効線量は、人が常時立ち入る場所における実効線量が 1 週間につき mSv 、管理区域境界における実効線量が 3 月間につき mSv であり、評価結果は法令に定める実効線量を下回っている。なお、最大実効線量の評価における線源の使用時間は、評価時間の値を用いるものとする。

<A～F の解答群>

- 1 6.8×10^{-5} 2 6.8×10^{-4} 3 3.4×10^{-3} 4 6.1×10^{-3} 5 1.2×10^{-2}
 6 6.8×10^{-2} 7 1.0×10^{-1} 8 5.0×10^{-1} 9 7.5×10^{-1} 10 9.8×10^{-1}
 11 2.0×10^0 12 1.0×10^1 13 1.9×10^1 14 9.8×10^1 15 2.4×10^2

<G, H の解答群>

- 1 0.25 2 0.5 3 0.75 4 1.0 5 1.2 6 1.3 7 1.5 8 2.4
 9 2.5 10 20 11 50 12 100 13 120 14 250

II 今後、この研究所では、 ^{137}Cs 密封線源を ^{60}Co 密封線源 50 MBq に交換して使用することを計画している。この場合の最大実効線量は、人が常時立ち入る場所における実効線量で 1 週間につき mSv 、管理区域境界における実効線量で 3 月間につき mSv となり、前者は法令に定める実効線量を超える。

法令に定める実効線量を超えないためには、使用時間（40 時間）を変えない場合、 ^{60}Co 密封線源の放射能を MBq 以下にする必要がある。また、線源の放射能（50 MBq）を変えない場合は、1 週間の最大使用時間を 時間以内に制限する必要がある。この研究所では、検討の結果、最大使用時間を制限することとした。

また、 ^{60}Co 線源の放射能が 10 MBq まで減衰したら、交換する計画である。このため、線源の交換はおおよそ M 年後に実施することとなる。なお、 ^{60}Co の半減期は 5.3 年、 $\ln 2$ 、 $\ln 5$ をそれぞれ 0.69、1.6 とする。

<I~K の解答群>

- | | | | | | | | | | |
|----|----------------------|----|----------------------|----|----------------------|----|----------------------|----|----------------------|
| 1 | 3.4×10^{-4} | 2 | 7.2×10^{-4} | 3 | 1.8×10^{-3} | 4 | 5.4×10^{-3} | 5 | 2.6×10^{-2} |
| 6 | 8.3×10^{-2} | 7 | 1.5×10^{-1} | 8 | 5.8×10^{-1} | 9 | 9.1×10^{-1} | 10 | 1.5×10^0 |
| 11 | 2.0×10^0 | 12 | 2.5×10^0 | 13 | 2.0×10^1 | 14 | 3.0×10^1 | 15 | 4.0×10^1 |

<L の解答群>

- | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|----|---|----|---|----|---|----|
| 1 | 3 | 2 | 5 | 3 | 8 | 4 | 13 | 5 | 15 | 6 | 21 | 7 | 32 |
|---|---|---|---|---|---|---|----|---|----|---|----|---|----|

<M の解答群>

- | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|----|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|----|
| 1 | 1.8 | 2 | 2.3 | 3 | 4.0 | 4 | 5.3 | 5 | 7.1 | 6 | 8.4 | 7 | 9.2 | 8 | 10 |
| 9 | 12 | 10 | 17 | | | | | | | | | | | | |

Ⅲ ^{60}Co 密封線源の貯蔵箱からの取り出し作業における外部被ばく対策について考える。外部被ばく防護の三原則には、 N、時間、 O があるが、本作業では、被ばく防護上、 N による防護よりも O による防護の方が効果的である。これは、 N による防護の効果が γ 線の P によって異なり、 ^{60}Co からの γ 線の場合、作業員が装着する一般的な防護具では、防護の効果が小さいためである。よって、本作業では、 O による被ばく防護の観点から、 Q を用いることが簡便かつ有効な外部被ばく対策となる。

<N~Q の解答群>

- | | | | | | | | | | | | |
|----|-------|---|------|---|---------|----|--------|----|-----------|---|-------|
| 1 | 距離 | 2 | 速度 | 3 | 遮蔽 | 4 | 除染 | 5 | 鉛入り防護エプロン | 6 | 半面マスク |
| 7 | トンゲ | 8 | ゴム手袋 | 9 | 放射線加重係数 | 10 | 組織加重係数 | 11 | エネルギー | | |
| 12 | 再浮遊係数 | | | | | | | | | | |

〔解答〕

- I A - 13 B - 5 C - 7 D - 1 E - 9 F - 4
 G - 4 H - 6

注) A：人が常時立ち入る場所で線源 (^{137}Cs) を使用した場合、鉛の容器から出して使うため遮蔽無しで 0.5m の距離での 1 時間当たりの実効線量 [μSv] を求めればよい。よって、以下の式で求めることができる。

$$\begin{aligned} \text{1 時間当たりの実効線量 } [\mu\text{Sv/h}] &= 7.8 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 60 [\text{MBq}] / (0.5)^2 [\text{m}^2] \\ &= 18.7 [\mu\text{Sv/h}] \end{aligned}$$

注意：式の両辺の単位が一致するように式を立てる。

B：管理区域の境界で線源 (^{137}Cs) を使用した場合は、1 時間当たりの実効線量 [μSv] は距離 10 m でコンクリート (20 cm) の遮蔽を考慮する。よって、以下の式で求めることができる。

$$\begin{aligned} \text{1 時間当たりの実効線量 } [\mu\text{Sv/h}] &= 7.8 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 60 [\text{MBq}] \times 2.6 \\ &\quad \times 10^{-1} / (10)^2 [\text{m}^2] \\ &= 1.22 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv/h}] \end{aligned}$$

C：線源 (^{137}Cs) 保管時の人が常時立ち入る場所での実効線量 [μSv] なので、A の実効線量に鉛 (5 cm) の実効線量透過率 (5.6×10^{-3}) を掛ければよい。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 時間当たりの実効線量 } [\mu\text{Sv/h}] &= 5.6 \times 10^{-3} \times 18.7 [\mu\text{Sv/h}] \\ &= 0.1047 [\mu\text{Sv/h}] \end{aligned}$$

D：線源（ ^{137}Cs ）保管時の管理区域境界での実効線量 $[\mu\text{Sv}]$ なので、Bの実効線量に鉛（5 cm）の実効線量透過率（ 5.6×10^{-3} ）を掛ければよい。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 時間当たりの実効線量 } [\mu\text{Sv/h}] &= 5.6 \times 10^{-3} \times 1.22 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv/h}] \\ &= 6.83 \times 10^{-5} [\mu\text{Sv/h}] \end{aligned}$$

E：1週間（40時間）の最大実効線量 $[\mu\text{Sv}]$ は、線源使用時のAの1時間当たりの実効線量 $[\mu\text{Sv/h}]$ に40時間（8時間×5日）を掛ける。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 週間（40時間）の最大実効線量 } [\mu\text{Sv}] &= 18.7 [\mu\text{Sv/h}] \times 40 [\text{h}] \\ &= 748 [\mu\text{Sv}] = 0.75 [\text{mSv}] \end{aligned}$$

F：管理区域境界の3月間の最大実効線量 $[\mu\text{Sv}]$ は1日当たりにつき8時間居たとして、3月間500時間と考える。よって、Bの1時間当たりの実効線量 $[\mu\text{Sv/h}]$ に500時間を掛ける。

$$\begin{aligned} 3 \text{ 月間（500時間）の最大実効線量 } [\mu\text{Sv}] &= 1.22 \times 10^{-2} [\mu\text{Sv/h}] \times 500 [\text{h}] \\ &= 6.1 [\mu\text{Sv}] = 6.1 \times 10^{-3} [\text{mSv}] \end{aligned}$$

II I－12 J－5 K－13 L－4 M－9

注) I： ^{137}Cs 線源を50 MBqの ^{60}Co 線源に交換した場合の1週間の実効線量 $[\mu\text{Sv}]$ は、AとEと同じように考えればよい。よって、以下の式から求められる。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 週間（40時間）の最大実効線量 } [\mu\text{Sv}] &= 3.1 \times 10^{-1} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 50 [\text{MBq}] \\ &\quad \times 40 [\text{h}] / (0.5)^2 [\text{m}^2] \\ &= 2480 [\mu\text{Sv}] = 2.48 [\text{mSv}] \end{aligned}$$

J：BとFと同じように考える。よって、以下の式から求められる。

$$\begin{aligned} 3 \text{ 月間（500時間）の最大実効線量 } [\mu\text{Sv}] &= 3.1 \times 10^{-1} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 50 [\text{MBq}] \\ &\quad \times 500 [\text{h}] \times 3.4 \times 10^{-1} / (10)^2 [\text{m}^2] \\ &= 26.35 [\mu\text{Sv}] = 2.6 \times 10^{-2} [\text{mSv}] \end{aligned}$$

K：使用時間40時間で、法令に定める実効線量（1000 μSv ）以下にするための ^{60}Co 線源の放射能 $[\text{MBq}]$ は、以下の式で求めることができる。

$$^{60}\text{Co} \text{ 線源の放射能 } [\text{MBq}] = (1000 [\mu\text{Sv}] / 2480 [\mu\text{Sv}]) \times 50 [\text{MBq}] = 20.16 [\text{MBq}]$$

L：50 MBqの ^{60}Co 線源を使用する場合、法令に定める実効線量（1000 μSv ）以下にするための1週間当たり使用時間は、以下の式で求めることができる。

$$\begin{aligned} 1000 [\mu\text{Sv}] &= 3.1 \times 10^{-1} [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 50 [\text{MBq}] \times X [\text{h}] / (0.5)^2 [\text{m}^2] + 3.1 \times 10^{-1} \\ &\quad [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 50 [\text{MBq}] \times (40 - X) [\text{h}] \times 8.3 \times 10^{-2} / (0.5)^2 [\text{m}^2] \\ 1000 &= 62 X + 205.84 - 21.08 X \\ (62 - 5.146) X &= 1000 - 205.84 \\ X &= 13.96 [\text{h}] \end{aligned}$$

通常、被ばく線量を計算する場合は、管理区域（作業室）の立入時間を週40時間として計算する。そのため、密封線源使用時間以外の時間も被ばく線量を考慮する必要がある。

しかし、密封線源を使用する場合は、密封線源を使用する以外は作業室及び管理区域に立ち入らないとする立入時間制限を設ける場合も想定できる。そのため、作業室に居る時間を密封線源使用時間と考える。その場合は、週40時間から使用時間を差し引いた時間の実効線量を

考慮する必要はない。

よって、次式より、5 の 15 時間も正解となり得ると考えられる。

$$(1000 [\mu\text{Sv}]/2480 [\mu\text{Sv}]) \times 40 [\text{h}] = 16.1 [\text{h}] > 15 [\text{h}]$$

M：次式を用いて計算する。

$$A = A_0 (1/2)^{t/T}$$

A：t 時間経過後の放射能，A₀：最初の放射能，T：⁶⁰Co の半減期，t：経過時間

$$10 [\text{MBq}] = 50 [\text{MBq}] \times (1/2)^{t/5.3}$$

$$1/5 = (1/2)^{t/5.3}$$

両辺を対数にすると

$$-\ln 5 = -\ln 2 \times t/5.3$$

$$-1.6 = -0.69 \times t/5.3$$

$$t = 12.29 [\text{年}]$$

Ⅲ [N] - 3 [O] - 1 [P] - 11 [Q] - 7

注) ⁶⁰Co は 1.173 MeV と 1.333 MeV の非常に高エネルギーの γ 線を出す。そのため、通常の防護具での遮蔽は期待出来ない。そのため、線源と距離をとることが被ばく防護上、重要である。

問 4 放射線の検出器は、主に、電離を利用する検出器、発光を利用する検出器、飛跡の生成を利用する検出器の 3 種類に大別される。次の I ～ Ⅲ の [] の部分に入る最も適切な語句、記号又は数値を、それぞれの解答群から 1 つだけ選べ。

I 荷電粒子による気体の電離を利用する放射線検出器の一つに比例計数管がある。荷電粒子の電離作用によって作られた電子（一次電離電子）は、気体分子と衝突しながら陽極に向かって移動していくが、計数管の中の電界がある値以上になると、次の衝突までの間に十分なエネルギーを得て気体分子を電離するようになり、さらに、この二次電離過程で作られた電子もまた気体分子を電離するようになる。このようにして次々と電子の増殖が起きる現象は [A] と呼ばれる。こうした [A] が起きるような高い電界を得るため、比例計数管の陽極には [B] が用いられている。[A] は比例計数管の [C] で起きるので、一次電離電子は作られた場所によらず同じ倍率で増殖する。このことにより、比例計数管では、個々の荷電粒子が計数管内で生成する一次電離電子の数に比例したパルス波高を得ることができる。

半導体検出器もまた荷電粒子による電離を利用する放射線検出器の一つである。荷電粒子が半導体検出器の検出部を通過するとき、その飛跡に沿って [D] が生成する。[D] を 1 個生成するのに要する平均エネルギーは、ゲルマニウムの場合、約 3 eV であり、気体における W 値のおおよそ [E] である。このことが、半導体検出器において良好な [F] の得られる理由の一つとなっている。

<A～C の解答群>

- | | | | | |
|------------|---------|----------|-----------|---------|
| 1 電磁カスケード | 2 ガス増幅 | 3 放電 | 4 電子増感 | 5 細い金属線 |
| 6 薄い金属膜 | 7 太い炭素棒 | 8 金属製円筒 | 9 陰極のすぐ近く | |
| 10 陽極のすぐ近く | 11 内部全体 | 12 電極の両端 | | |

<D～F の解答群>

- | | | | |
|---------|-----------|-----------|----------|
| 1 ラジカル対 | 2 電子-イオン対 | 3 電子-陽電子対 | 4 電子-正孔対 |
|---------|-----------|-----------|----------|

主任者 コーナー

- 5 100分の1 6 10分の1 7 10倍 8 100倍 9 検出効率
10 温度安定性 11 微分直線性 12 エネルギー分解能

Ⅱ 発光を利用する放射線検出器の一つにシンチレーション検出器がある。この検出器に用いられるシンチレータは、無機シンチレータと有機シンチレータとに大別される。一般的に前者は後者に比べ発光効率が G く、蛍光の減衰時間は H い。

無機シンチレータのうち、 γ 線の測定に最もよく用いられているのは I である。この結晶を用いた検出器のエネルギー分解能は、 ^{137}Cs 線源の γ 線に対し、一般的に J %である。最近では I よりもエネルギー分解能が格段に優れた K を用いたシンチレーション検出器も使われ始めた。また、 L は白い粉末で、 α 線の測定によく用いられている。

有機シンチレータは、有機結晶シンチレータ、液体シンチレータ、及び M シンチレータに大別される。有機結晶シンチレータの代表的なものは N であり、有機シンチレータのうちで発光効率は最も高い。有機シンチレータは、無機シンチレータに比べて一般的に実効的な原子番号が O く、 γ 線エネルギーのシンチレータへの付与は主として P 散乱によって生じる。

<G, Hの解答群>

- 1 低 2 高 3 短 4 長

<I~Lの解答群>

- 1 $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ 2 $\text{CaF}_2(\text{Eu})$ 3 CdWO_4 4 $\text{Gd}_2\text{SiO}_5(\text{Ce})$ 5 $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$
6 $\text{Lu}_2\text{SiO}_5(\text{Ce})$ 7 $\text{NaI}(\text{Tl})$ 8 $\text{ZnS}(\text{Ag})$ 9 0.2~0.4 10 0.6~1 11 2~4
12 6~10

<M~Pの解答群>

- 1 気体 2 エマルジョン 3 プラスチック 4 ガラス 5 アントラセン
6 キシレン 7 ジオキサン 8 ナフタレン 9 小さ 10 大き 11 トムソン
12 コンプトン 13 ラザフォード 14 ラマン 15 レイリー

Ⅲ 飛跡の生成を利用する検出器の一つである固体飛跡検出器が、中性子線量測定用の個人被ばく線量計に使用されている。通常、中性子との核反応などにより重荷電粒子を放出するコンバータ(ラジエータ)と、 Q などの固体飛跡検出器用プラスチックとの組合せから構成されている。コンバータ(ラジエータ)として、速中性子用には、 R を多く含むシートが、熱中性子用には、核反応により重荷電粒子を放出する S を含むシートが一般的に用いられている。 Q を T によって適切な条件で化学処理すると、重荷電粒子の飛跡に沿って生じた損傷が拡大され、エッチピットが現れる。このエッチピットの数进行数し、換算係数を用いて中性子による1cm線量当量が評価される。

<Qの解答群>

- 1 PET (ポリエチレンテレフタレート) 2 CR-39 (アリルジグリコールカーボネート)
3 TAC (三酢酸セルロース) 4 PVC (ポリ塩化ビニル)

<R~Tの解答群>

- 1 水素 2 ヘリウム 3 ベリリウム 4 ホウ素 5 炭素 6 窒素
7 酸素 8 フッ素 9 有機溶媒 10 フィルム現像液 11 強酸性水溶液
12 強塩基性水溶液

〔解答〕

I [A] - 2 [B] - 5 [C] - 10 [D] - 4 [E] - 6 [F] - 12

注) C: 電子は陰極から陽極に向かって加速し, 電子なだれが起こり, 陽極の近傍で最も電子が多く発生し, ガス増幅が起こる。

E: W 値とはイオン対を作るのに必要なエネルギーである。W 値は気体の種類によって異なり, 空気では 34 eV, Ar では 26 eV, He では 41 eV

II [G] - 2 [H] - 4 [I] - 7 [J] - 12 [K] - 5 [L] - 8
[M] - 3 [N] - 5 [O] - 9 [P] - 12

注) K: $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ は $\text{NaI}(\text{Tl})$ よりもエネルギー分解能が約 2 倍優れている。

III [Q] - 2 [R] - 1 [S] - 4 [T] - 12

注) Q: 固体飛跡検出用プラスチックとして CR-39 が知られている。

T: 水酸化ナトリウム (NaOH) や水酸化カリウム (KOH) のような強塩基水溶液を用いる。

問 5 次の I ~ III の文章の [] の部分に入る最も適切な語句, 記号又は数値を, それぞれの解答群から 1 つだけ選べ。なお, 解答群の選択肢は必要に応じて 2 回以上使ってもよい。

I 放射線が水に入射すると, 放射線のエネルギーが水分子に付与され, 水分子のイオン化や励起が生じる。

水分子のイオン化を表す反応式は,



である。反応①で生成した H_2O^+ は周囲の水分子と反応して,



となる。反応②で生成した「 $\cdot\text{OH}$ 」に付された点 ($\cdot$) はこの分子の持つ [A] 電子を示し, このような反応性の高い化学種を [B] と呼ぶ。一方, 反応①で生じた電子は, エネルギーを失うと, 水分子を引きつけて安定化する。この状態の電子は [C] 電子と呼ばれ, 記号 e_{aq}^- で表される。

一方, 励起された水分子 (H_2O^*) は,



の反応で, 酸素と水素の [D] 結合が切れて分解する。

反応①~③は 10^{-14} s 程度の時間で起きることが知られている。このように放射線を照射すると水溶液中には e_{aq}^- , H_3O^+ , $\cdot\text{OH}$ や $\cdot\text{H}$ が生成する。水分子へのエネルギー付与から 10^{-12} s 程度の時間が経過した段階では, これらの水分解生成物は, 空間的には数 nm の狭い領域内に分布していると考えられ, この局所領域を [E] と呼ぶ。[E] の間隔は, LET が高くなるほど狭まると考えられる。

<A~E の解答群>

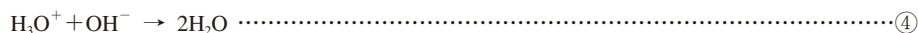
- 1 不對 2 自由 3 水和 4 オージェ 5 ラジカル 6 ホール
7 不飽和 8 イオン 9 水素 10 共有 11 ビルドアップ領域
12 スパー (スプール) 13 電子なだれ

II 水分解生成物の多くは化学的反応性に富む。水分解生成物同士はお互いに反応しつつ溶液内を拡散し, やがて系全体が均一になる。

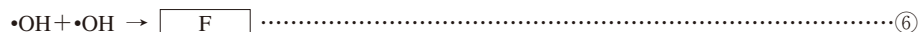
水溶液中に生じた e_{aq}^- , H_3O^+ , $\cdot\text{OH}$ 及び $\cdot\text{H}$ の組合せで様々な反応が起きる。その例として, 反応

主任者 コーナー

速度定数が大きい反応に、



がある。反応④は水に戻る反応である。また、水以外の中性分子が生成する反応の例として、



がある。なお、拡散による均一化はおおよそ $\boxed{\text{G}}$ s 程度の時間までに起きる。

ここで、水分解生成物の化学反応性について考えてみる。 e_{aq}^- と他の分子との反応は他の分子に対する電子の供与であるから、 e_{aq}^- は非常に強い $\boxed{\text{H}}$ 剤として働く。また、 $\cdot\text{H}$ は強い $\boxed{\text{I}}$ 剤であり、不飽和結合への $\boxed{\text{J}}$ 反応などを生じる。また、 $\cdot\text{OH}$ は強い $\boxed{\text{K}}$ 剤であり、 $\boxed{\text{L}}$ の引き抜き反応などを生じる。 $\cdot\text{OH}$ や $\boxed{\text{F}}$ など合わせて $\boxed{\text{M}}$ とも呼ぶ。なお、酸化剤とは相手を酸化する物質であり、自身は還元される（電子を得る）。還元剤とは相手を還元する物質であり、自身は酸化される（電子を失う）。

<F の解答群>

- 1 H_2O_2 2 $\text{H}_2\text{O}_2^{2-}$ 3 $\cdot\text{H}_2\text{O}_2^+$ 4 $\text{H}_2 + \text{O}_2$

<G の解答群>

- 1 10^{-10} 2 10^{-6} 3 10^{-2}

<H～M の解答群>

- 1 還元 2 酸化 3 中和 4 付加 5 重合 6 架橋 7 π 電子
8 水素 9 炭素 10 オゾン 11 三重項酸素 12 活性酸素種

Ⅲ 放射線化学反応における反応生成物の収率を表すのに G 値がよく用いられる。G 値は、物質に吸収された放射線のエネルギー $\boxed{\text{N}}$ 当たりを生ずる原子・分子の個数である。

例えば、 ^{60}Co 線源による γ 線照射では、系が均一になった時点の $\cdot\text{OH}$ の収率は 2.7 である。系が均一になるまでに、反応⑤などでラジカルがお互いを不活性化するが、この反応は水分解生成物の濃度積が大きいほど促進される。放射線の LET が高いほど $\boxed{\text{E}}$ が重なり合うため、 $\cdot\text{OH}$ の G 値は $\boxed{\text{O}}$ なる。一方、⑥の反応によって生成される、 $\boxed{\text{F}}$ のような分子生成物の G 値はこれとは逆の傾向を示す。

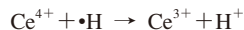
なお、G 値を SI 単位系 $[\text{mol} \cdot \text{J}^{-1}]$ で表記すると、 $\text{G}=1$ は、約 $1.0 \times 10^{\boxed{\text{P}}} [\text{mol} \cdot \text{J}^{-1}]$ である。ただし、 $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ 、アボガドロ数を 6.0×10^{23} とする。

また、硫酸酸性水溶液中における鉄イオンの $\boxed{\text{Q}}$ 反応の G 値（酸素飽和状態で 15.5）を利用する液体の化学線量計を $\boxed{\text{R}}$ 線量計（鉄線量計）と呼び、硫酸酸性水溶液中に溶解したセリウムイオンの $\boxed{\text{S}}$ 反応の G 値（2.45）を利用する線量計をセリウム線量計と呼ぶ。生成した各イオンの定量は、一般的に $\boxed{\text{T}}$ によって行われる。

なお、鉄線量計における化学反応として、



などがあり、セリウム線量計における化学反応として、



などがある。

<Nの解答群>

1 1 eV 2 100 eV 3 1 J 4 100 J

<Oの解答群>

1 大きく 2 小さく

<Pの解答群>

1 -9 2 -7 3 -4 4 0

<Q~Tの解答群>

1 酸化 2 還元 3 中和 4 ファラデー 5 フリッケ
6 ブラック・グレイ 7 ガラス 8 中和滴定 9 酸化還元滴定
10 イオンクロマトグラフィー 11 吸光度測定

〔解答〕

I A - 1 B - 5 C - 3 D - 10 E - 12
II F - 1 G - 2 H - 1 I - 1 J - 4 K - 2
 L - 8 M - 12
III N - 2 O - 2 P - 2 Q - 1 R - 5 S - 2
 T - 11

注) P : G=1 は 100 eV で変化を受ける原子が 1 つである。

$100 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-17} \text{ J}$ なので, 1 J 当たりの変化を受ける原子数は,

$$1 / 1.6 \times 10^{-17} = 6.25 \times 10^{16} \text{ [個]}$$

$1 \text{ mol} = 6.0 \times 10^{23} \text{ [個]}$ より,

1 J 当たり変化を受けるモル数 [mol] [mol/J] は,

$$6.25 \times 10^{16} / 6.0 \times 10^{23} = 1.04 \times 10^{-7} \text{ [mol/J]}$$

管 理 技 術 II

次の各問について、1 から 5 までの 5 つの選択肢のうち、適切な答えを 1 つだけ 選び、注意事項に従って解答用紙に記入せよ。

問 1 次の量と単位の関係のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A カーマ — $\text{J} \cdot \text{kg}$
 B 実効線量 — $\text{J} \cdot \text{kg}$
 C 照射線量 — $\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$
 D 粒子フルエンス — m^{-2}

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

〔解答〕

5

- 注) A : 誤 $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$
 B : 誤 $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$

問 2 放射平衡が成立し得る親核種－娘核種の組として、正しいものの組合せは、次のうちどれか。

- A $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ B $^{99\text{m}}\text{Tc} - ^{99}\text{Tc}$ C $^{137}\text{Cs} - ^{137\text{m}}\text{Ba}$ D $^{239}\text{Pu} - ^{235}\text{U}$

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

〔解答〕

2

注) 放射平衡は、親核種の半減期が娘核種の半減期より長い場合に成立する。

B : 誤 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の半減期は 6.02 時間， ^{99}Tc の半減期は 2.1×10^5 年である。

D : 誤 ^{239}Pu の半減期は 2.41×10^4 年， ^{235}U の半減期は 7.04×10^8 年である。

問 3 光子に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 質量はゼロである。
 B 運動量はゼロである。
 C エネルギーはゼロである。
 D 電荷はゼロである。

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

〔解答〕

3

注) B, C : 誤 エネルギー E の光子の運動量は E/c (c は光の速度) で与えられる。

問4 放射性核種を半減期の短い順に並べてあるものは、次のうちどれか。

- 1 ^{18}F < ^{137}Cs < ^{131}I < $^{99\text{m}}\text{Tc}$ < ^{90}Sr
- 2 ^{18}F < $^{99\text{m}}\text{Tc}$ < ^{131}I < ^{90}Sr < ^{137}Cs
- 3 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ < ^{18}F < ^{90}Sr < ^{137}Cs < ^{131}I
- 4 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ < ^{131}I < ^{18}F < ^{137}Cs < ^{90}Sr
- 5 ^{131}I < ^{90}Sr < ^{137}Cs < ^{18}F < $^{99\text{m}}\text{Tc}$

〔解答〕

2

注) それぞれの半減期は, ^{18}F : 110 分, $^{99\text{m}}\text{Tc}$: 6.02 時間, ^{131}I : 8.02 日, ^{90}Sr : 28.8 年, ^{137}Cs : 30.2 年である。

問5 光電効果に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A γ 線エネルギーが K 軌道電子の結合エネルギーよりも高い場合, K 軌道電子に対する断面積の方が, L 軌道電子に対するものよりも大きい。
- B 原子断面積は, γ 線エネルギーにほとんど依存しない。
- C 原子断面積は, おおよそ原子番号の 5 乗に比例する。
- D 光電子は, 連続エネルギー分布を示す。

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

〔解答〕

2

注) B: 誤 γ 線のエネルギーを E とすれば, 原子断面積はほぼ $E^{-3.5}$ に比例する。

D: 誤 (光電子のエネルギー) = (γ 線のエネルギー) - (軌道電子の結合エネルギー) であり, 連続分布ではない。

問6 β 線と物質との相互作用に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A β 線は, 物質の中で直進する。
- B β 線は, 物質の原子番号が大きいほど後方散乱しやすい。
- C β 線のエネルギーが高いほど, 制動放射によるエネルギー損失の寄与が大きい。
- D β 線の比電離は, 同じエネルギーの α 線の場合よりはるかに大きい。

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

〔解答〕

3

注) A: 誤 β 線は物質中をジグザグに進む。

D: 誤 β 線の比電離は, 同じエネルギーの α 線の場合よりずっと小さい。

問7 次の原子核のうち、速中性子との弾性散乱による反跳エネルギーの高いものから順に並べられているものはどれか。

- 1 ^1H > ^{10}B > ^{23}Na > ^{206}Pb
- 2 ^{10}B > ^{206}Pb > ^1H > ^{23}Na

主任者 コーナー

$$3 \quad {}^{23}\text{Na} > {}^1\text{H} > {}^{10}\text{B} > {}^{206}\text{Pb}$$

$$4 \quad {}^{206}\text{Pb} > {}^{10}\text{B} > {}^{23}\text{Na} > {}^1\text{H}$$

$$5 \quad {}^{206}\text{Pb} > {}^{23}\text{Na} > {}^{10}\text{B} > {}^1\text{H}$$

〔解答〕

1

注) 質量数が小さい原子核ほど反跳エネルギーは大きくなる。

問 8 ${}^{60}\text{Co}$ 線源から放出された γ 線のコンプトン散乱において、反跳電子の最大エネルギー [keV] に最も近い値は、次のうちどれか。

1 930 2 1,020 3 1,120 4 1,170 5 1,330

〔解答〕

3

注) γ 線の散乱角が 180° の時に反跳電子のエネルギーが最大になる。

(反跳電子の最大エネルギー)

$$= (\text{入射 } \gamma \text{ 線のエネルギー}) - (\text{散乱角度 } 180^\circ \text{ の散乱 } \gamma \text{ 線のエネルギー})$$

$$= 1.333 \text{ MeV} - 1.333 \text{ MeV} \div (1 + 1.333 \times 2 \div 0.511)$$

$$= 1.12 \text{ MeV}$$

問 9 各種放射線の水中での LET について、その値の低いものから順番に並んでいるのはどれか。

A 10 keV 電子 B 100 keV 電子 C ${}^{60}\text{Co}$ γ 線 D 1 MeV 陽子 E 10 MeV α 粒子

$$1 \quad A < B < C < D < E$$

$$2 \quad B < C < A < E < D$$

$$3 \quad C < B < A < D < E$$

$$4 \quad D < E < C < A < B$$

$$5 \quad E < D < B < C < A$$

〔解答〕

3

注) γ 線、電子線は低 LET 放射線であり、重粒子線は高 LET 放射線である。0.4~10 MeV の電子の LET は約 $0.2 \text{ keV}/\mu\text{m}$ で、エネルギーが小さくなるにつれて LET は増加する。10 keV の電子で LET は約 $2 \text{ keV}/\mu\text{m}$ 、 ${}^{60}\text{Co}$ γ 線はコンプトン電子が放出され約 $0.2 \text{ keV}/\mu\text{m}$ である。重粒子線については電荷数が大きいほど速度が小さいほど LET は大きくなる。10 MeV α 粒子は約 $55 \text{ keV}/\mu\text{m}$ 、1 MeV 陽子は約 $28 \text{ keV}/\mu\text{m}$ である。

問 10 電離箱で 8 pA の電流が得られた。このとき、電離箱の中で毎秒生成しているイオン対の個数として最も近い値は、次のうちどれか。ただし、電気素量は $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ とし、また、生成電荷は完全に電極に収集されるものとする。

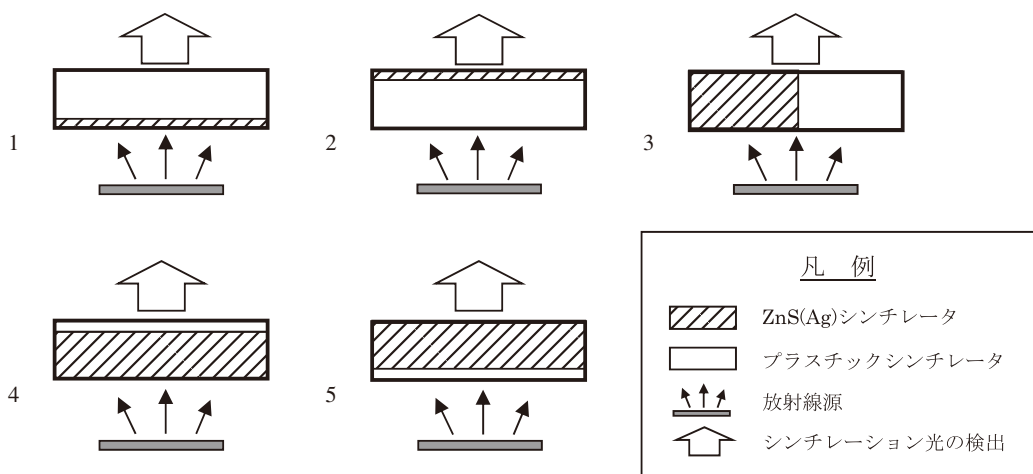
1 1×10^3 2 2×10^4 3 3×10^5 4 4×10^6 5 5×10^7

〔解答〕

5

注) $8 \text{ pA} = 8 \times 10^{-12} \text{ C 毎秒}$
 $= 8 \times 10^{-12} \div (1.6 \times 10^{-19}) \text{ イオン対毎秒}$
 $= 5 \times 10^7 \text{ イオン対毎秒}$

問 11 α 線と β 線を区別して測定できるホスウィッチ形シンチレーション検出器に用いられるシンチレータの構造として最も近いものは、次のうちどれか。



〔解答〕

1

注) α 線は検出器の表面部分の薄い ZnS(Ag)シンチレータで捉えられる。その蛍光は透明のプラスチックシンチレータを透過して測定される。 β 線は薄い ZnS(Ag)シンチレータ層を透過し、厚いプラスチックシンチレータで捉えられ同様に測定される。 α 線と β 線の区別は、蛍光信号の波高値及び減衰時間の違いから行われる。

問 12 統計誤差（相対標準偏差）が4%となる計数値は、次のうちどれか。

1 100 2 250 3 400 4 525 5 625

〔解答〕

5

注) 相対標準偏差は、 $1/\sqrt{N}$ (N は計数値) で表される。 $1/\sqrt{N}=0.04$ より $N=625$

問 13 次の放射線検出器と放射線の組合せのうち、出力信号に放射線のエネルギー情報を持たない場合はどれか。

- | | |
|-----------------|--------------|
| 1 Si 半導体検出器 | — α 線 |
| 2 比例計数管 | — 特性 X 線 |
| 3 GM 計数管 | — β 線 |
| 4 液体シンチレーション検出器 | — β 線 |

主任者 コーナー

5 NaI(Tl)シンチレーション検出器 — γ 線

〔解答〕

3

注) GM 計数管はガス増幅が飽和型で、入射 β 線による初期生成イオン対数に比例した電荷量を出力することができない。

問 14 密封線源とその線源を使用する際に携帯すべきサーベイメータの組合せとして、正しいものは次のうちどれか。

A ^{60}Co — ZnS(Ag)シンチレーション式

B ^{90}Sr — GM 管式

C ^{147}Pm — NaI(Tl)シンチレーション式

D ^{252}Cf — BF_3 比例計数管式

1 A と B 2 A と C 3 B と C 4 B と D 5 C と D

〔解答〕

4

注) A : 誤 ^{60}Co は $\gamma \cdot \beta$ 線源であり、ZnS(Ag)シンチレータは α 線検出用である。

C : 誤 ^{147}Pm は β 線源であり、NaI(Tl)シンチレータは γ 線検出用である。

問 15 高純度 Ge 半導体検出器による γ 線測定に関する記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

A エネルギー分析にマルチチャネル波高分析器を用いる。

B 複数の核種を同時に定量することができる。

C 電子対生成を起こすエネルギーの γ 線では全吸収ピークは観測されない。

D 主増幅器 (比例増幅器) の時定数は数 ms 程度である。

E 検出器が冷却されていない状態で高電圧をかけると、半導体結晶を損傷する。

1 A と B 2 A と C 3 B と D 4 C と E 5 D と E

〔解答〕

1

注) C : 誤 消滅放射線のエネルギー吸収によって全吸収ピークが十分に形成される。

D : 誤 時定数は数 μs 程度である。

E : 誤 漏れ電流が大きく検出器としては使用できないが、半導体結晶が損傷するまでには至らない。

問 16 個人被ばく管理に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

A 実効線量限度は、確定的影響に関する制限から定められている。

B 外部被ばくに係わる線量としては、3 mm 線量当量を測定する。

C 成人の内部被ばくに係わる線量としては、放射性同位元素の摂取後 50 年間における総線量を算定する。

D 外部被ばくに係わる線量と内部被ばくに係わる線量とを合算する。

1 A と B 2 A と C 3 B と C 4 B と D 5 C と D

〔解答〕

5

- 注) A : 誤 確定的影響ではなく確率的影響に関する制限から定められている。
 B : 誤 実効線量として 1 cm 線量当量, 皮膚の等価線量として 70 μm 線量当量を測定する。

問 17 ^{90}Sr 線源を 0.5 cm 厚の蓋付きの鉛容器に収納して, この容器の外側から GM 管式サーベイメータで測定したところ, バックグラウンドより有意に高い値が検出された。検出された放射線は, 次のうちどれか。

- 1 β 線
- 2 γ 線
- 3 β 線と制動放射線
- 4 制動放射線
- 5 β 線と γ 線

〔解答〕

4

- 注) ^{90}Sr (^{90}Y) の β 線の鉛中の最大飛程は約 1 mm と推定され, 鉛容器外への漏えい放射線は制動放射線である。Feather の実験式より, β 線の最大飛程 R [g/cm^2] は, $R=0.542 \times 2.28 - 0.133 = 1.10$ である。鉛中では, $1.10 [\text{g}/\text{cm}^2] \div 11.34 [\text{g}/\text{cm}^3] \div 1 \text{ mm}$

問 18 ICRP の 2007 年勧告における放射線加重係数と組織加重係数に関する次の記述のうち, 正しいものの組合せはどれか。

- A 光子と電子の放射線加重係数は同じ値である。
 B 陽子と α 粒子の放射線加重係数は同じ値である。
 C 組織加重係数の総和は 1 である。
 D 脳の組織加重係数は 0.01 である。
- 1 ACD のみ 2 AB のみ 3 AC のみ 4 BD のみ 5 BCD のみ

〔解答〕

1

- 注) B : 誤 陽子と α 粒子の放射線加重係数は, それぞれ 2 と 20 で, 異なる値である。

問 19 自然放射線による年間被ばく線量についての世界平均の値 (実効線量) が国連科学委員会 (UNSCEAR) の 2008 年報告に記載されている。値の大きい順に並んでいるのは, 次のうちどれか。

- A ラドン壊変生成物などの吸入による被ばく
 B 宇宙線による被ばく
 C 大地からの被ばく
 D カリウムなどの経口摂取による被ばく

- 1 $A > D > B > C$
- 2 $B > C > A > D$
- 3 $C > A > D > B$
- 4 $D > B > C > A$

主任者 コーナー

5 A > C > B > D

〔解答〕

5

注) A : 1.26 mSv B : 0.39 mSv C : 0.48 mSv D : 0.29 mSv である。

問 20 次の放射性核種のうち、紙を測定対象とした厚さ計によく利用されている核種はどれか。

1 ^{57}Co 2 ^{63}Ni 3 ^{85}Kr 4 ^{192}Ir 5 ^{252}Cf

〔解答〕

3

注) 数百 keV 程度の β 線源が利用される。 ^{85}Kr は半減期 10.8 年、放出 β 線は (0.687 MeV, 99.6%)、厚さの測定範囲は 10~130 [mg/cm²] である。

問 21 次の放射性核種のうち、壊変で γ 線を放出しないものの組合せはどれか。

A ^{14}C B ^{36}Cl C ^{90}Sr D ^{131}I E ^{241}Am

1 ABC のみ 2 ABE のみ 3 ADE のみ 4 BCD のみ 5 CDE のみ

〔解答〕

1

注) D : β 線と γ 線を放出する。

E : α 線と γ 線を放出する。

問 22 放射性同位元素利用機器と密封線源に関する次の組合せのうち、正しいものはどれか。

A レベル計 — ^{63}Ni , ^{241}Am

B 蛍光 X 線分析装置 — ^{55}Fe , ^{109}Cd

C 厚さ計 — ^{147}Pm , ^{241}Am

D 非破壊検査装置 — ^{60}Co , ^{192}Ir

E 密度計 — ^{57}Co , ^{68}Ge

1 ABC のみ 2 ABE のみ 3 ADE のみ 4 BCD のみ 5 CDE のみ

〔解答〕

4

注) A : 誤 ^{63}Ni は低エネルギーの β 線, ^{241}Am は α 線と低エネルギーの γ 線を放出する。レベル計にはもっと透過力のある γ 線源が必要である。

E : 誤 密度計には ^{60}Co や ^{137}Cs のようなもっとエネルギーの高い γ 線源が用いられる。 ^{57}Co は半減期が 271 日と短く, ^{68}Ge は放出光子のエネルギーが約 10 keV と低く, 共に不適である。

問 23 個人被ばく線量計に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

A 熱ルミネセンス線量計は、被ばく量を読み取ると、素子に蓄積された線量情報が失われる。

B OSL 線量計には、作業中に被ばく量が一定値に達した際に警報の鳴るものがある。

C 電子式線量計には、シリコン半導体検出器を利用したものがある。

D 蛍光ガラス線量計は、放射線照射によるガラスの着色濃度を読み取る。

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

〔解答〕

2

注) B : 誤 OSL 線量計は、線量測定用の特別なリーダー (読取器) が必要である。

D : 誤 蛍光ガラス線量計は、放射線照射によるラジオフォトルミネセンスを測定する。

問 24 次の組織・臓器の組合せのうち、放射線の致死感受性の高い順に並んでいるものはどれか。

- 1 リンパ組織 > 骨格筋 > 骨髄
 2 胃 > 卵巣 > 肝臓
 3 小腸 > 神経組織 > 胸腺
 4 骨髄 > 大腸 > 骨組織
 5 皮膚 > 脂肪組織 > 精巣

〔解答〕

4

注) 組織の放射線感受性は、造血組織 > 生殖線 > 消化管 > 体表・眼 > 内臓 > 骨, 筋肉等の支持組織 > 神経 の順番で高い。

問 25 胎内被ばくに関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 着床前期までに被ばくすると胚 (受精卵) の死亡が起こる。
 B 胎児期の被ばくにより奇形の発生率は高くなる。
 C 器官形成期の被ばくにより精神発達遅滞が起こる。
 D 確率的影響が発生する可能性がある。

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

〔解答〕

3

注) B : 誤 奇形は器官形成期の被ばくによって発生することが多い。

C : 誤 精神発達遅滞は胎児期の被ばくによって起こりやすい。

問 26 放射性核種の内部被ばくによる発がんに関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A ^{137}Cs は、全身に分布して多くのがんの原因となる。
 B ^{90}Sr は、骨に沈着しやすく骨腫瘍の原因となる。
 C ^{32}P は、骨や骨髄に沈着して骨腫瘍や白血病の原因となる。
 D ^{241}Am は、骨に沈着して骨腫瘍の原因となる。

- 1 ACD のみ 2 AB のみ 3 BC のみ 4 D のみ 5 ABCD すべて

〔解答〕

5

注) それぞれの集積部位のがんの原因となるおそれがある。ただし、 ^{137}Cs と ^{32}P については発がんとの因果関係は明確ではない。

主任者 コーナー

問 27 放射線被ばくによる確率的影響の原因に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A ゲノムの不安定性は発がんや遺伝性（的）影響の誘因となる。
- B 発がんは体細胞の突然変異が原因となって起こる。
- C 遺伝性（的）影響は被ばく線量が大きいと重篤度が増す。
- D 遺伝性（的）影響は生殖細胞の増殖死が引き金となって起こる。

1 A と B 2 A と C 3 A と D 4 B と C 5 B と D

〔解答〕

1

注) C：誤 遺伝性（的）影響では、重篤度は線量に依存しない。

D：誤 遺伝性（的）影響は、生殖細胞に生じた突然変異が原因で起こされる。

問 28 放射線被ばく後の細胞に起こり得る現象に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 細胞周期の分裂期で停止した状態となる分裂促進が観察される。
- B 被ばく後分裂を繰り返した子孫の細胞で突然変異頻度が上昇する現象の原因として、ゲノム不安定性が考えられる。
- C 照射された細胞の周囲にある照射を受けていない細胞にも影響を及ぼすバイスタンダー効果が観察される。
- D あらかじめ低線量の被ばくを受けると、一定の時間が経過した後の高線量被ばくに対して放射線抵抗性を示す適応応答が観察される。

1 ABC のみ 2 ABD のみ 3 ACD のみ 4 BCD のみ 5 ABCD すべて

〔解答〕

4

注) A：誤 細胞が照射されると、細胞分裂は一時的に遅延する。

問 29 放射線の間接効果に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 間接効果では、無機ラジカルよりも有機ラジカルの寄与が大きい。
- B 水の放射線分解によって生じた OH ラジカルの間接効果への寄与は少ない。
- C ラジカルスカベンジャーにより間接効果が減少する。
- D X 線照射された哺乳類細胞では、間接効果の方が直接効果より大きい。

1 A と B 2 A と C 3 B と C 4 B と D 5 C と D

〔解答〕

5

注) A, B：誤 有機ラジカルより OH ラジカルの間接効果への寄与が非常に大きい。

問 30 放射線による染色体異常に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 染色体の構造異常の一つである転座は安定型異常に分類される。
- B 染色体数の異常を起こす頻度は、染色体構造の異常を起こす頻度よりも多い。
- C 染色体異常の誘発頻度は、放射線の被ばく線量の推定に用いられる。
- D 染色体異常は細胞分裂を繰り返した子孫の細胞に引き継がれることはない。

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

〔解答〕

2

- 注) B : 誤 染色体の本数より構造の異常の方が高頻度で発生する。
D : 誤 染色体異常は細胞分裂を繰り返した子孫の細胞に引き継がれる。