

## 管理技術 I

放射性同位元素による放射線障害の防止に関する管理技術 I  
(法律別表第 1 に掲げる課目 (2) ~ (6) 及び (7) を含む)

試験が始まる前に、このページの記載事項をよく読んでください。裏面以降の試験問題は、指示があるまで見てはいけません。

1 試験時間 : 10:00~11:45 (1 時間 45 分)

2 問題数 : 5 題 (15 ページ)

3 注意事項 :

- ① 机の上に出してよいものは、受験票、鉛筆又はシャープペンシル (HB 又は B)、鉛筆削り、消しゴム、時計 (計算機能・通信機能・辞書機能等の付いた時計は不可) に限ります。
- ② 計算機 (電卓)、定規及び下敷きの使用は認めません。
- ③ 不正行為等を防止するため、携帯電話等の通信機器は、必ず、電源を切ってカバン等の中に入れてください。
- ④ 問題用紙の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁又は解答用紙の汚れなどに気付いた場合は、手を挙げて試験監督員に知らせてください。なお、試験問題の内容に関する質問にはお答えできません。
- ⑤ 試験終了の合図があったら、ただちに筆記用具を置いてください。  
なお、試験監督員が解答用紙を集め終わるまで、席を離れてはいけません。
- ⑥ 問題用紙は持ち帰っていただいて結構です。
- ⑦ 不正行為を行った者は、受験を中止させ、退場を命じます。

4 解答用紙 (マークシート) の取扱いについて :

- ① 解答用紙を折り曲げたり汚したりしないでください。また、記入欄以外の余白及び裏面には、何も記入しないでください。
- ② 筆記用具は、鉛筆又はシャープペンシル (HB 又は B) を使用してください。また、記入を訂正する場合は、消しゴムできれいに消してください。
- ③ 解答用紙の所定欄に氏名・受験地・受験番号を忘れずに記入してください。特に、受験番号は受験票と照合して間違えないよう記入してください。
- ④ 解答は、1 つの問いに対して、1 つだけ選択 (マーク) してください。2 つ以上選択している場合は、採点されません。

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 集団的影響  | 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(トロトラス)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 |         |        |

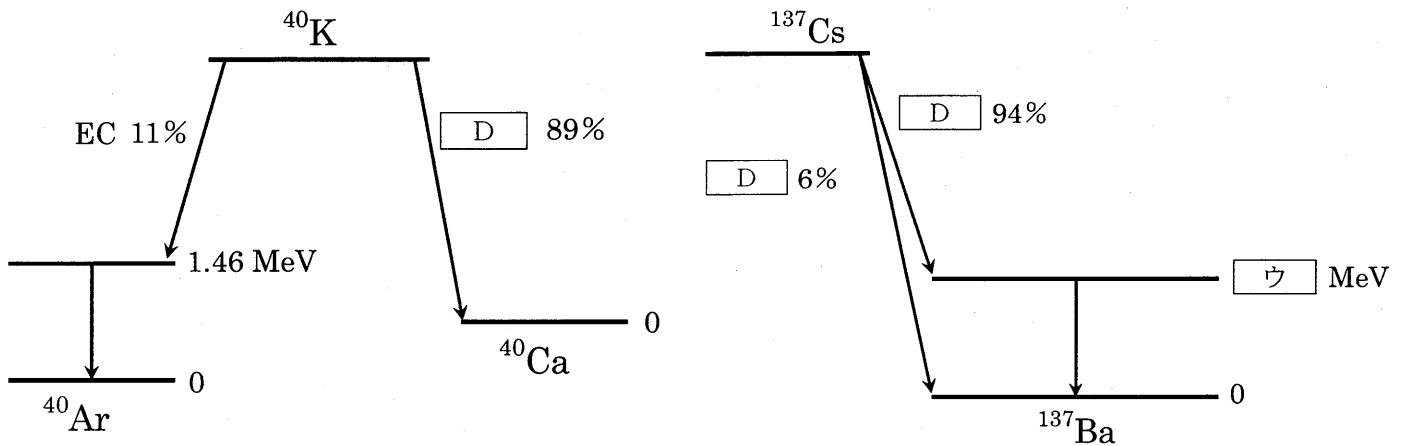
<P~Sの解答群>

- |        |           |         |         |
|--------|-----------|---------|---------|
| 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 |         |         |

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  $^{40}\text{K}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  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  $^{40}\text{K}$  は  $^{40}\text{Ar}$  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  $^{40}\text{Ar}$  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  $^{40}\text{Ca}$  となる。この図から分かるように  $^{40}\text{K}$  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。

$^{137}\text{Cs}$  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。 $^{137}\text{Cs}$  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 $\alpha$ | 2 $\beta^-$ | 3 $\beta^+$ | 4 $\gamma$ |
| 5 $\delta$ | 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  $^{137}\text{Cs}$  線源から放出される  $\gamma$  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  $\boxed{\text{G}}$  MeV である。この線源からの  $\gamma$  線光子と物質との相互作用で最も起きやすいのは  $\boxed{\text{H}}$  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  $\boxed{\text{H}}$  電子と呼ばれる。光子のエネルギーが減少してくると  $\boxed{\text{I}}$  の断面積が大きくなる。 $\boxed{\text{I}}$  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  $\boxed{\text{J}}$  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  $\boxed{\text{K}}$  が放出される。これらのエネルギーは  $\boxed{\text{I}}$  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。

$\boxed{\text{H}}$  散乱及び  $\boxed{\text{I}}$  は分子のイオン化を起こすが、 $\boxed{\text{H}}$  散乱や  $\boxed{\text{I}}$  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  $\gamma$  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。空气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  $\boxed{\text{L}}$  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 オーージェ電子 |
| 5 $\gamma$ 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、が発生する。そのエネルギーの最大値は keV となる広いエネルギースペクトルをもつ。この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が見られる。60 keV 付近に見られる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。

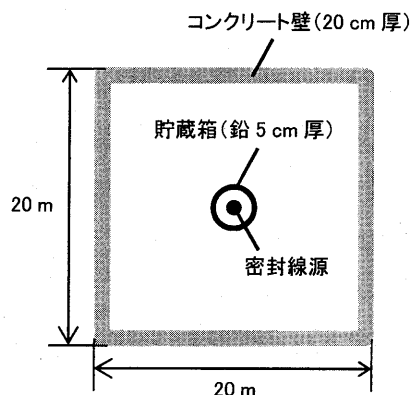
<M~Oの解答群>

- |          |              |          |              |
|----------|--------------|----------|--------------|
| 1 陽電子    | 2 $\gamma$ 線 | 3 制動 X 線 | 4 $\delta$ 線 |
| 5 特性 X 線 | 6 紫外線        | 7 30     | 8 50         |
| 9 120    | 10 200       |          |              |

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<sup>137</sup>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。



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
<sup>60</sup> Co	$3.1\times 10^{-1}$	$8.3\times 10^{-2}$	$3.4\times 10^{-1}$
<sup>137</sup> Cs	$7.8\times 10^{-2}$	$5.6\times 10^{-3}$	$2.6\times 10^{-1}$

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 $\mu\text{Sv}$	B $\mu\text{Sv}$
	線源保管時	C $\mu\text{Sv}$	D $\mu\text{Sv}$
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 G mSv、管理区域境界における実効線量が3月間につき H 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 $6.8 \times 10^{-5}$ | 2 $6.8 \times 10^{-4}$  | 3 $3.4 \times 10^{-3}$ | 4 $6.1 \times 10^{-3}$ |
| 5 $1.2 \times 10^{-2}$ | 6 $6.8 \times 10^{-2}$  | 7 $1.0 \times 10^{-1}$ | 8 $5.0 \times 10^{-1}$ |
| 9 $7.5 \times 10^{-1}$ | 10 $9.8 \times 10^{-1}$ | 11 $2.0 \times 10^0$   | 12 $1.0 \times 10^1$   |
| 13 $1.9 \times 10^1$   | 14 $9.8 \times 10^1$    | 15 $2.4 \times 10^2$   |                        |

<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、 $^{137}\text{Cs}$  密封線源を  $^{60}\text{Co}$  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  $\boxed{\text{I}}$  mSv、管理区域境界における実効線量で3月間につき  $\boxed{\text{J}}$  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、 $^{60}\text{Co}$  密封線源の放射能を  $\boxed{\text{K}}$  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  $\boxed{\text{L}}$  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、 $^{60}\text{Co}$  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  $\boxed{\text{M}}$  年後に実施することとなる。なお、 $^{60}\text{Co}$  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	$3.4 \times 10^{-4}$	2	$7.2 \times 10^{-4}$	3	$1.8 \times 10^{-3}$	4	$5.4 \times 10^{-3}$
5	$2.6 \times 10^{-2}$	6	$8.3 \times 10^{-2}$	7	$1.5 \times 10^{-1}$	8	$5.8 \times 10^{-1}$
9	$9.1 \times 10^{-1}$	10	$1.5 \times 10^0$	11	$2.0 \times 10^0$	12	$2.5 \times 10^0$
13	$2.0 \times 10^1$	14	$3.0 \times 10^1$	15	$4.0 \times 10^1$		

< 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  $^{60}\text{Co}$  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、、時間、があるが、本作業では、被ばく防護上、による防護よりもによる防護の方が効果的である。これは、による防護の効果が $\gamma$ 線のによって異なり、 $^{60}\text{Co}$ からの $\gamma$ 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、による被ばく防護の観点から、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 トング     | 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  |

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 | 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  く、蛍光の減衰時間は  い。

無機シンチレータのうち、 $\gamma$ 線の測定に最もよく用いられているのは  である。この結晶を用いた検出器のエネルギー分解能は、 $^{137}\text{Cs}$ 線源の $\gamma$ 線に対し、一般的に  %である。最近では  よりもエネルギー分解能が格段に優れた  を用いたシンチレーション検出器も使われ始めた。また、 は白い粉末で、 $\alpha$ 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  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  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  く、 $\gamma$ 線エネルギーのシンチレータへの付与は主として  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 $\text{CdWO}_4$         | 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       | 10 大     | 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、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、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を含むシートが一般的に用いられている。を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計数し、換算係数を用いて中性子による 1 cm 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 |

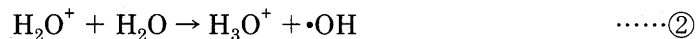
問5 次のⅠ～Ⅲの文章の□の部分に入る最も適切な語句、記号又は数値を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。なお、解答群の選択肢は必要に応じて2回以上使ってもよい。

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  $\text{H}_2\text{O}^+$  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(・)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  $\text{e}_{\text{aq}}^-$  で表される。

一方、励起された水分子( $\text{H}_2\text{O}^*$ )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  $\text{e}_{\text{aq}}^-$ 、 $\text{H}_3\text{O}^+$ 、 $\cdot\text{OH}$  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  $e_{aq}^-$ 、 $H_3O^+$ 、 $\cdot OH$  及び  $\cdot H$  の組合せで様々な反応が起きる。その例として、反応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  $\boxed{G}$  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  $\boxed{H}$  剤として働く。また、 $\cdot H$  は強い  $\boxed{I}$  剤であり、不飽和結合への  $\boxed{J}$  反応などを生じる。また、 $\cdot OH$  は強い  $\boxed{K}$  剤であり、 $\boxed{L}$  の引き抜き反応などを生じる。 $\cdot OH$  や  $\boxed{F}$  などを合わせて  $\boxed{M}$  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 $H_2O_2^{2-}$ | 3 $\cdot H_2O_2^+$ | 4 $H_2 + O_2$ |
|------------|-----------------|--------------------|---------------|

<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 $\pi$ 電子 | 8 水素     |
| 9 炭素 | 10 オゾン | 11 三重項酸素   | 12 活性酸素種 |

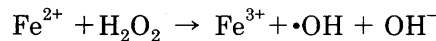
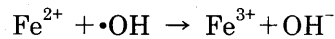
Ⅲ 放射線化学反応における反応生成物の収率を表すのに G 値がよく用いられる。G 値は、物質に吸収された放射線のエネルギー  当たりに生ずる原子・分子の個数である。

例えば、<sup>60</sup>Co 線源による γ 線照射では、系が均一になった時点の・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  が重なり合うため、・OH の G 値は  なる。一方、⑥の反応によって生成される、 のような分子生成物の G 値はこれとは逆の傾向を示す。

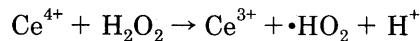
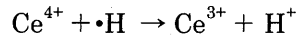
なお、G 値を SI 単位系 [mol・J<sup>-1</sup>] で表記すると、G=1 は、約  $1.0 \times 10^{\text{P}}$  [mol・J<sup>-1</sup>] である。ただし、1 eV =  $1.6 \times 10^{-19}$  J、アボガドロ数を  $6.0 \times 10^{23}$  とする。

また、硫酸酸性水溶液中における鉄イオンの  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  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  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  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 ブラッグ・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



