

平成30年度 放射線取扱主任者試験

正 誤 表

試験日 試験区分	平成30年8月24日(金)
	1時限目 (10:00~11:45)
	第2種
課 目	管理技術 I
板書事項	7ページ 問3 I 印刷不鮮明 <ア~エの解答群> (正) 10 $7.0 \times 10^2$

## 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  
(規則別表第二に掲げる課目第二号から第六号及び第七号を含む)

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しまってください。
- 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結構です。
- ⑦ 不正行為を行った者は、受験資格を失ったものとみなし、試験室からの退出を命じます。また、試験終了後に不正行為を行ったことが発覚した場合、試験実施時にさかのぼり受験資格を失ったものとみなします。

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、所定の欄以外の余白には、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 解答用紙の所定の欄に 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、所定の欄に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、記号、数値又は数式を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

I 生体を含む全ての物質は、90種あまりの原子から成り立っている。原子は中心の原子核とその周りの電子から成る。原子核は、陽子と中性子からなり、正の電荷を持つ陽子の数によって原子番号がつけられている。陽子および中性子の質量は、いずれも電子の約□ア倍で、原子の質量はほぼ原子核の質量である。また、陽子の数と中性子の数の和を□Aという。□Aが同じ原子を□Bと呼ぶ。□A16の□Cの原子核は同数の陽子と中性子からなり、安定である。同じ陽子の数に対して異なる数の中性子を持つ原子を□Dと呼ぶ。

中性子は陽子よりわずかに質量が大きく、原子核外に存在すると半減期□イ秒で電子を放出して陽子に壊変する。この壊変が原子核中で起きると、原子番号が1大きくなるが□Aは変わらない。これを□Eと呼ぶ。

安定核の場合に比べて中性子数が少ない核ではクーロン力によるポテンシャルエネルギーが高くなるので、陽電子が放出される壊変が起こりうる。その例としては□ウがある。この核では、陽電子を放出せずに□Fを起こす場合がある。この際には□Gあるいはオージェ電子が放出される。

<アの解答群>

- |       |       |         |         |         |
|-------|-------|---------|---------|---------|
| 1 100 | 2 500 | 3 1,000 | 4 2,000 | 5 5,000 |
|-------|-------|---------|---------|---------|

<A～Dの解答群>

- |       |        |        |         |
|-------|--------|--------|---------|
| 1 原子数 | 2 原子核数 | 3 質量数  | 4 同素体   |
| 5 同位体 | 6 同重体  | 7 同陽子体 | 8 同中性子体 |
| 9 炭素  | 10 窒素  | 11 酸素  | 12 フッ素  |

<イの解答群>

- |       |        |      |       |       |
|-------|--------|------|-------|-------|
| 1 3.7 | 2 10.7 | 3 56 | 4 213 | 5 615 |
|-------|--------|------|-------|-------|

<E～Gの解答群>

- |         |                     |                     |        |
|---------|---------------------|---------------------|--------|
| 1 α壊変   | 2 β <sup>-</sup> 壊変 | 3 β <sup>+</sup> 壊変 | 4 γ線   |
| 5 EC壊変  | 6 内部転換              | 7 連続X線              | 8 特性X線 |
| 9 制動放射線 |                     |                     |        |

<ウの解答群>

- |                   |                    |                   |                   |                    |
|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1 <sup>14</sup> C | 2 <sup>22</sup> Na | 3 <sup>32</sup> P | 4 <sup>33</sup> P | 5 <sup>60</sup> Co |
|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|

II 原子核の周りの電子の波動関数は、次の 4 つの量子数で区別される。それらは、主量子数、  
 H  量子数、 I  量子数、スピン量子数で、それらを順に  $n$ 、 $\ell$ 、 $m_\ell$ 、 $m_s$ 、で表すと、次のよ  
うな性質・関係がある。

$$n=1, 2, 3, \dots$$

$$\ell=0 \text{ から } n-1 \text{ までの整数}$$

$$m_\ell=-\ell \text{ から } +\ell \text{ までの整数}$$

$$m_s=-1/2 \text{ または } +1/2$$

半整数のスピン量子数を持つ電子は、 J  粒子と呼ばれ、 K  の排他律によって全く同じ量  
子数を持つ電子は一つの原子につき一つしか存在できない。その結果、主量子数  $n$  の状態に許容で  
きる電子の数は、最大で エ  である。電子の軌道を記述するときには、主量子数が 1 の電子は K  
殻電子、3 のときは オ  殻電子と呼ぶ。より詳しく表記するときには、“2s”、“3d”、などと記述  
される場合がある。このとき、数値は主量子数を示すが、英小文字 s は、 $\ell=$  カ  の状態、d は  
 $\ell=$  キ  の状態を示す。K 殻電子の結合エネルギーは、最も基本となる水素原子の場合 13.6 eV  
であり、この値は原子番号 L  。

分子を形成する化学結合や化学反応を考える際には、一般的に M  の軌道に入っている電子が  
重要となる。

<H~Kの解答群>

- |       |         |         |        |
|-------|---------|---------|--------|
| 1 転位  | 2 座標    | 3 磁気    | 4 方位   |
| 5 電子  | 6 ボーズ   | 7 ディラック | 8 フェルミ |
| 9 ベーテ | 10 クーロン | 11 パウリ  |        |

<エの解答群>

- |          |             |             |            |
|----------|-------------|-------------|------------|
| 1 $4n$   | 2 $n(n-1)$  | 3 $n^2$     | 4 $n(n+1)$ |
| 5 $2n^2$ | 6 $2n(n+1)$ | 7 $4n(n-1)$ |            |

<オの解答群>

- |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 L | 2 M | 3 N | 4 O | 5 P |
|-----|-----|-----|-----|-----|

<カ、キの解答群>

- |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 0 | 2 1 | 3 2 | 4 3 | 5 4 |
|-----|-----|-----|-----|-----|

<Lの解答群>

- |             |              |             |
|-------------|--------------|-------------|
| 1 とともに大きくなる | 2 にほとんど依存しない | 3 とともに小さくなる |
|-------------|--------------|-------------|

<Mの解答群>

- |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
| 1 K 殻 | 2 L 殻 | 3 最内殻 | 4 最外殻 |
|-------|-------|-------|-------|

問2 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。

Ⅰ 放射線によって起きる細胞の増殖死は、造血組織、リンパ組織、腸、皮膚、精巣、眼の□Aなど細胞分裂の盛んな細胞再生系組織で顕著であるため、これらの組織を構成している細胞は、一般に放射線感受性がきわめて高いとされている。細胞再生系組織では、構成細胞の起源となる□Bが分裂して、自己再生（複製）を行うとともに分化・成熟して分裂しない□Cとなる。□Cはやがて寿命が尽きて排除されるが、新たに分裂・分化した細胞で補充され、組織の恒常性は維持される。

これに対して、肝臓、腎臓、<sup>すい</sup>膵臓や□Dなど、通常は細胞分裂を停止しているが、部分切除等で機能障害に陥ると細胞分裂を始めるような組織を細胞休止系組織といい、その構成細胞は通常放射線感受性が低い。

成人では、□E、筋肉、骨など、構成細胞が分裂しない細胞非再生系組織があり、それらの細胞は放射線感受性がきわめて低い。しかし、成長期の子供では、これらの組織の中でも骨などは細胞分裂を継続中であるため、放射線感受性が高い。

< Aの解答群 >

- |       |      |      |       |
|-------|------|------|-------|
| 1 角膜  | 2 結膜 | 3 虹彩 | 4 毛様体 |
| 5 水晶体 | 6 網膜 |      |       |

< B、Cの解答群 >

- |        |        |         |        |
|--------|--------|---------|--------|
| 1 幹細胞  | 2 紡錘細胞 | 3 線維芽細胞 | 4 遊走細胞 |
| 5 間質細胞 | 6 移行細胞 | 7 機能細胞  | 8 支持細胞 |

< D、Eの解答群 >

- |                      |      |      |                    |
|----------------------|------|------|--------------------|
| 1 <sup>ぼうこう</sup> 膀胱 | 2 神経 | 3 脾臓 | 4 胸腺               |
| 5 甲状腺                | 6 卵巣 | 7 喉頭 | 8 <sup>のう</sup> 毛嚢 |

II 男性の生殖腺である精巣は代表的な再生系組織のひとつであり、精細管内で **B** の精原細胞が分裂して一次精母細胞となる。次いで、一次精母細胞は、DNA複製を伴う分裂と伴わない分裂の合計2回の分裂で完了する **F** を行い、染色体数が **ア** となる。このような二次精母細胞を経て精子細胞となり、成熟して精子になる。精原細胞と精母細胞は放射線感受性がきわめて高く、精巣への **イ** Gy以上の1回の急性被ばくで分裂が一時的に停止し、精子の **G** が減少するので、一時的不妊となるが、6.0 Gy以上の1回の急性被ばくではほとんどの精原細胞が死ぬため、永久不妊が起きるとされている。

一方、女性の生殖腺である卵巣での卵子の分化プロセスは精巣とは大きく異なり、胎生期には **B** の卵原細胞が盛んに分裂して一次卵母細胞にまで分化するが、出生時には分裂・分化を停止して卵胞を形成する（静止期）。その後、一次卵母細胞の **H** は減少する。思春期（性成熟）になると一次卵母細胞は、定期的に **F** を行って、二次卵母細胞を経て卵細胞となり、排卵され、受精した後に成熟卵子となる。従って静止期の一次卵母細胞は放射線感受性が低いが、思春期以降の成人女性の卵母細胞は放射線感受性が高く、卵巣への **ウ** Gy以上の1回の急性被ばくで一時的な不妊が、6.0 Gy以上の1回の急性被ばくで永久不妊がそれぞれ起きるとされている。

< F の解答群 >

- |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|
| 1 有糸分裂 | 2 増殖分裂 | 3 減速分裂 | 4 減数分裂 |
|--------|--------|--------|--------|

< ア の解答群 >

- |      |      |      |       |
|------|------|------|-------|
| 1 2倍 | 2 同数 | 3 半数 | 4 1/4 |
|------|------|------|-------|

< イ、ウ の解答群 >

- |        |        |        |       |       |
|--------|--------|--------|-------|-------|
| 1 0.01 | 2 0.05 | 3 0.15 | 4 0.2 | 5 0.3 |
| 6 0.4  | 7 0.5  | 8 2.5  |       |       |

< G の解答群 >

- |     |      |      |      |
|-----|------|------|------|
| 1 数 | 2 比重 | 3 容積 | 4 長さ |
|-----|------|------|------|

< H の解答群 >

- |         |     |       |       |
|---------|-----|-------|-------|
| 1 核細胞質比 | 2 数 | 3 表面積 | 4 大きさ |
|---------|-----|-------|-------|

III 母親の胎内で胎児が被ばくすることを胎内被ばくという。胎児は放射線感受性がきわめて高いが、胎内被ばくで生じる障害の種類は発生段階により異なる。

精子と卵子の合体後、卵管から下りてきた受精卵（胚）が子宮内膜に接着し定着するまでの時期（着床 **I** ; 受精後（胎生）8日まで）に被ばくすると、胚の **J** により産まれてくる子の数が減少する。

着床後、細胞の分裂・分化が進み、臓器・組織ができてくる時期（器官形成期；胎生9日～60日）に被ばくすると、さまざまな奇形（先天異常）が生じることが動物実験で知られているが、原爆で

胎内被ばくした胎児の調査では **K** のみが認められている。

各臓器・組織がさらに細胞数を増やして発育を続ける時期（胎児期；胎生60日～出生まで）に被ばくと、胎生25週までの被ばくで **L** が、また胎生40週までの被ばくで発育遅延がそれぞれ起きる可能性があり、原爆で胎内被ばくした胎児の調査で有意に認められている。

胎内被ばくでは放射線防護上、上述したような発生段階にある組織の細胞死が原因で起きる **M** に加えて、胎生期のすべての時期の被ばくで、体細胞や生殖細胞に遺伝子突然変異や染色体異常が生じることにより **N** が起きる可能性も考慮すべきである。

**N** のうち、胎内被ばくによる発がんについては、英国オックスフォードの小児がんサーベイで、母親の腹部等の **O** で受けた胎内被ばくと15歳までに発症する小児がん（白血病及び固形がん）の発生率との間には相関が認められているが、これに対する反論も報告されている。また、原爆で胎内被ばくした胎児の発がん及び遺伝性（的）影響についても調査が続けられているが、これまでに統計学的に有意な影響は認められていない。

従って、胎内被ばくによる発がん及び遺伝性（的）影響について統一的な結論は現時点で得られていないが、ICRP2007年勧告では、集団全体と成人とを比較した結果、リスクは発がんが集団全体のおおよそ **エ** 倍、遺伝性（的）影響で **P** レベルにあると推測されている。

< I の解答群 >

- |      |      |      |      |
|------|------|------|------|
| 1 前期 | 2 中期 | 3 後期 | 4 末期 |
|------|------|------|------|

< J の解答群 >

- |        |        |      |      |
|--------|--------|------|------|
| 1 分裂遅延 | 2 活性低下 | 3 萎縮 | 4 死亡 |
|--------|--------|------|------|

< K、L の解答群 >

- |         |          |        |         |
|---------|----------|--------|---------|
| 1 末端肥大症 | 2 多発性硬化症 | 3 小頭症  | 4 てんかん  |
| 5 精神神経症 | 6 精神遅滞   | 7 精神発作 | 8 統合失調症 |

< M、N の解答群 >

- |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|
| 1 特発性疾患 | 2 器質性疾患 | 3 間欠的障害 | 4 確定的影響 |
| 5 多発性疾患 | 6 機能性疾患 | 7 持続的障害 | 8 確率的影響 |

< O の解答群 >

- |        |         |         |         |
|--------|---------|---------|---------|
| 1 X線診断 | 2 電子線治療 | 3 核医学診断 | 4 陽子線治療 |
|--------|---------|---------|---------|

< エ の解答群 >

- |       |     |     |      |
|-------|-----|-----|------|
| 1 1.5 | 2 3 | 3 5 | 4 10 |
|-------|-----|-----|------|

< P の解答群 >

- |      |        |      |
|------|--------|------|
| 1 高い | 2 ほぼ同じ | 3 低い |
|------|--------|------|

問3 次のI、II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。

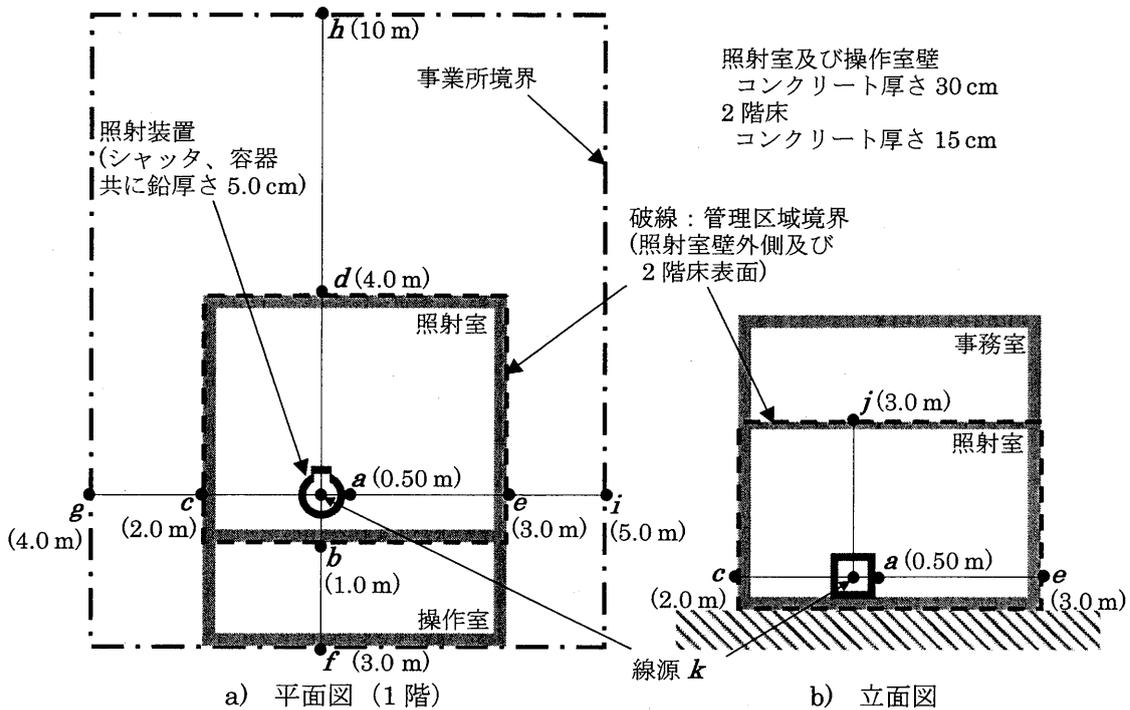


図1  $\gamma$ 線照射施設の平面図及び立面図  
(評価点と共に示す距離は、線源  $k$  からの距離である。)

I ある事業所では、コンクリート2階建ての建屋の1階に、照射室と操作室をもつ $\gamma$ 線照射施設を有している(図1)。本施設には $^{137}\text{Cs}$ 密封線源(10 GBq)1個だけを装備する照射装置(シャッタ、容器共に鉛厚さ5.0 cmの遮蔽を備えたもの、以下「照射装置」という。)が設置されている。シャッタ開放時の鉛容器の照射孔は評価点  $d$  方向に向いており、ビームは十分にコリメートされ、水平に照射される。照射室及び操作室の外壁及び部屋間の壁はコンクリート厚さ30 cm、2階床はコンクリート厚さ15 cmである。照射装置のシャッタ操作は操作室から行われ、線源使用時(シャッタ開放)は照射室内には立ち入らない。線源保管時(シャッタ閉鎖)には作業者は線源  $k$  から0.50 mまで近づくことができる(評価点  $a$ )。評価点  $b \sim e$  及び  $j$  は管理区域の境界上、評価点  $f \sim i$  は事業所の境界上にある。図1において評価点と共に示す距離は、線源  $k$  からの距離である。なお、2階には事務室がある。

ここで、人が常時立ち入る場所における作業者の1週間当たり最大となる実効線量、並びに管理区域及び事業所の境界における3月間当たり最大となる実効線量を次の表の値を用いて評価する。

核種	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 5.0 cm	コンクリート 15 cm	コンクリート 30 cm
$^{137}\text{Cs}$	$7.8\times 10^{-2}$	$5.6\times 10^{-3}$	$3.5\times 10^{-1}$	$4.6\times 10^{-2}$

評価時間は、人が常時立ち入る場所においては1週間につき40時間、管理区域の境界においては3月間につき500時間、事業所の境界においては3月間につき2,184時間とする。また、線源の使用時間は1週間当たり最大40時間、3月間当たり最大500時間とし、使用していないときは保管しているものとして評価する。なお、散乱線及びスカイシャインの影響は考えないものとする。

線量評価にあたっては、線源使用時及び線源保管時を考慮して行う必要がある。人が常時立ち入る場所における作業者の実効線量が最大となる地点は、 時における評価点  であり、1週間につき   $\mu\text{Sv}$  となる。この値は、法令で定める人が常時立ち入る場所における線量限度である1週間につき   $\mu\text{Sv}$  を超えない。次に、管理区域の境界における実効線量が最大となる地点は、 時における評価点  であり、3月間につき   $\mu\text{Sv}$  となる。この値は、法令で定める管理区域の設定に係る実効線量である3月間につき   $\mu\text{Sv}$  を超えない。また、事業所の境界における実効線量が最大となる地点は、評価点  であり、  $\mu\text{Sv}$  となる。この値は、法令で定める事業所の境界における線量限度である3月間につき   $\mu\text{Sv}$  を超えない。

このことから本施設は、法令に定める線量限度以下とするために必要な遮蔽を有していることが分かる。

ここで、2階にある事務室を、宿舍（人が居住する区域）として利用することを考える。評価時間を3月間当たり2,184時間としたとき、評価点  $j$  における実効線量は   $\mu\text{Sv}$  となる。この値は、法令で定める事業所内の人が居住する区域における線量限度である3月間につき   $\mu\text{Sv}$  を超える。この場合、線量限度以下とするための遮蔽物の設置などを検討する必要がある。

< A～Eの解答群 >

- |        |        |       |       |        |
|--------|--------|-------|-------|--------|
| 1 線源使用 | 2 線源保管 | 3 $a$ | 4 $b$ | 5 $c$  |
| 6 $d$  | 7 $e$  | 8 $f$ | 9 $g$ | 10 $h$ |
| 11 $i$ | 12 $j$ |       |       |        |

< ア～エの解答群 >

- |                       |                     |                     |                     |
|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 $5.1\times 10^{-1}$ | 2 $2.1\times 10^0$  | 3 $6.8\times 10^0$  | 4 $8.1\times 10^0$  |
| 5 $1.2\times 10^1$    | 6 $2.6\times 10^1$  | 7 $9.0\times 10^1$  | 8 $1.0\times 10^2$  |
| 9 $2.5\times 10^2$    | 10 $7.0\times 10^2$ | 11 $8.3\times 10^2$ | 12 $1.0\times 10^3$ |
| 13 $1.2\times 10^3$   | 14 $1.3\times 10^3$ | 15 $2.5\times 10^3$ |                     |

<オ～クの解答群>

- |    |                   |    |                   |    |                   |    |                   |
|----|-------------------|----|-------------------|----|-------------------|----|-------------------|
| 1  | $2.3 \times 10^0$ | 2  | $3.4 \times 10^0$ | 3  | $6.8 \times 10^0$ | 4  | $1.8 \times 10^1$ |
| 5  | $2.8 \times 10^1$ | 6  | $8.5 \times 10^1$ | 7  | $1.9 \times 10^2$ | 8  | $2.3 \times 10^2$ |
| 9  | $2.5 \times 10^2$ | 10 | $3.0 \times 10^2$ | 11 | $3.8 \times 10^2$ | 12 | $9.2 \times 10^2$ |
| 13 | $1.0 \times 10^3$ | 14 | $1.3 \times 10^3$ | 15 | $2.0 \times 10^3$ |    |                   |

II 本施設では、放射線業務従事者の外部被ばくによる線量を測定するためにOSL線量計、場所の放射線の量の測定に電離箱式及びNaI(Tl)シンチレーション式の $\gamma$ 線用線量当量率サーベイメータを用いている。

OSL線量計は、放射線照射された **F** を **G** で刺激することにより生じる輝尽発光を利用した線量計であり、特徴として、繰り返し読取りが可能であり、さらに反復利用が可能である。

電離箱式サーベイメータは、放射線と **H** との相互作用で生じた **I** を測定することで放射線を計測する。検出器壁材にプラスチックなど実効原子番号が **H** と等価な材質を用いることで、広いエネルギー範囲に対して良好な特性をもつ。

NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータは、放射線とシンチレータとの相互作用で生じた蛍光を **J** でパルス状の電気信号に変換して計数することで放射線を計測する。**K** 付近のエネルギーの $\gamma$ 線における線量率当たりの計数率が極端に高くなるが、パルスの高さに対する重み付け関数を用いて計数率から線量率に換算することで、**L** を改善したものが多く市販されている。

<F、Gの解答群>

- |   |         |   |         |   |          |
|---|---------|---|---------|---|----------|
| 1 | 硫酸鉄     | 2 | リン酸塩ガラス | 3 | 酸化アルミニウム |
| 4 | ヨウ化セシウム | 5 | ポリエステル  | 6 | フッ化リチウム  |
| 7 | 熱       | 8 | 可視光     | 9 | 赤外線      |

<H～Jの解答群>

- |    |        |    |         |    |            |
|----|--------|----|---------|----|------------|
| 1  | PRガス   | 2  | 空気      | 3  | Qガス        |
| 4  | プロパンガス | 5  | 発光ダイオード | 6  | 電界効果トランジスタ |
| 7  | 光電子増倍管 | 8  | 磁場      | 9  | 電気抵抗       |
| 10 | 電離電流   | 11 | 電子なだれ   | 12 | 電気放電       |

<Kの解答群>

- |   |        |   |         |   |         |   |         |
|---|--------|---|---------|---|---------|---|---------|
| 1 | 40 keV | 2 | 100 keV | 3 | 300 keV | 4 | 600 keV |
| 5 | 1 MeV  |   |         |   |         |   |         |

<Lの解答群>

- |   |        |   |          |   |          |  |  |
|---|--------|---|----------|---|----------|--|--|
| 1 | 線量率直線性 | 2 | エネルギー分解能 | 3 | エネルギー依存性 |  |  |
| 4 | 積分非直線性 |   |          |   |          |  |  |

問4 次のⅠ～Ⅲの文章の□の部分に入る最も適切な語句、記号、数値又は数式を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

Ⅰ 密封線源の産業利用には、大きく分けて、対象物質との相互作用による放射線強度等の変化から、その対象物質に固有の性質を評価するものと、放射線照射が対象物質にもたらす変化（照射効果）自体を利用するものがある。

前者の例として、コンクリート等の水分量の測定に□ア□の密封線源が使われることがあるが、これには、□ア□の放出する中性子が、水素原子核との□A□により、大きく減速されるという性質が利用されている。また、透過型厚さ計では、放射線が被測定物の厚さに応じて減衰する性質が利用されているが、例えば、0.01～1 mm 程度のプラスチックシートの厚さ測定には、この目的に適したエネルギーの□B□を放出する□イ□の密封線源が使われている。

一方、後者の例としては、じゃがいもへの□ウ□密封線源による高線量□C□照射による発芽防止が挙げられる。

<ア～ウの解答群>

- |                    |                    |                     |                    |                      |
|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|----------------------|
| 1 $^{18}\text{F}$  | 2 $^{24}\text{Na}$ | 3 $^{60}\text{Co}$  | 4 $^{63}\text{Ni}$ | 5 $^{85}\text{Kr}$   |
| 6 $^{99}\text{Mo}$ | 7 $^{131}\text{I}$ | 8 $^{210}\text{Po}$ | 9 $^{235}\text{U}$ | 10 $^{252}\text{Cf}$ |

<A～Cの解答群>

- |                    |             |              |         |
|--------------------|-------------|--------------|---------|
| 1 $\alpha$ 線       | 2 $\beta$ 線 | 3 $\gamma$ 線 | 4 特性X線  |
| 5 (n, $\alpha$ )反応 | 6 共鳴吸収      | 7 弾性散乱       | 8 非弾性散乱 |

II 密封 $\gamma$ 線源を安全に取り扱うためには、計算等により、あらかじめ線源周辺の空間の線量率分布を推定しておくことが重要である。

放射能  $A$  [MBq] の密封 $\gamma$ 線源から  $R$  [m] 離れた点の空気カーマ率  $K$  [ $\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ] は、線源カプセルや空気など周辺物質による吸収・散乱が無視できる場合、次の式で与えられる。

$$K = \frac{(10^6 \times 60 \times 60 \times 10^{-2} \times 1.602 \times 10^{-13}) \times A \cdot \sum_i \{ E_i \cdot P_i \cdot \mu_i \cdot \rho^{-1} \}}{D}$$

ここで、 $E_i$  は光子  $i$  のエネルギー [MeV]、 $P_i$  は光子  $i$  の放出割合 [%]、 $\mu_i$  は光子  $i$  に対する空気の E F、 $\rho$  は空気の密度 [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]、である。

光子との相互作用により生成した電子の G が無視できる場合には、空気カーマ率は、空気衝突カーマ率に等しいと考えてよく、かつ荷電粒子平衡が成り立つ場合には、H 率に等しいと考えてよい。

< D、E の解答群 >

- |                  |            |              |
|------------------|------------|--------------|
| 1 $\pi R^{1/2}$  | 2 $2\pi R$ | 3 $4\pi R^2$ |
| 4 $(4/3)\pi R^3$ | 5 阻止能      | 6 線エネルギー転移係数 |
| 7 カーマ係数          | 8 線減弱係数    |              |

< F の解答群 >

- |                                  |  |                                   |                   |
|----------------------------------|--|-----------------------------------|-------------------|
| 1 $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$  | 2 $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ | 3 $\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$ | 4 $\text{m}^{-1}$ |
| 5 $\text{MeV}\cdot\text{m}^{-1}$ |  |                                   |                   |

< G、H の解答群 >

- |                |          |        |        |
|----------------|----------|--------|--------|
| 1 $\delta$ 線生成 | 2 再結合    | 3 自己吸収 | 4 放射損失 |
| 5 1 cm 線量当量    | 6 空気吸収線量 | 7 照射線量 | 8 実効線量 |

Ⅲ 密封γ線源を取り扱う施設の放射線管理に使われている線量率測定用サーベイメータは、をモニタリングするための実用量であるの1時間当たりの値が表示されるように校正されている。の値は、例えば<sup>137</sup>Cs 密封線源に対しては、前方入射条件のの値のおおよそ倍である。

サーベイメータにはそれぞれに特徴があり、作業に適した種類のものを選ぶようにする。例えば、非破壊検査のように比較的高い線量率が予想される作業には式サーベイメータが適しており、一方、自然放射線レベルの線量率を精度よく測定する目的には、感度の高い式サーベイメータが適している。

線量率の測定に式サーベイメータを使用したときには、が長いことによる計数の数え落しを考慮しなければならない場合がある。たとえば、計数率が $10\text{ s}^{-1}$ のときに、線量率 $3.0\text{ }\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ を示す式サーベイメータで、指示値 $240\text{ }\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ が得られたとする。このサーベイメータのが $150\text{ }\mu\text{s}$ のとき、計数の数え落しにより、線量率は、 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ だけ過小評価されたと算出される。また、このサーベイメータの放射線検出部には、作動原理上、計数率がある値を超えると、計数率がという特性のあることも理解していなければならない。

<I、Jの解答群>

- |                         |             |             |
|-------------------------|-------------|-------------|
| 1 70 $\mu\text{m}$ 線量当量 | 2 3 mm 線量当量 | 3 1 cm 線量当量 |
| 4 預託線量                  | 5 空気カーマ     | 6 照射線量      |
| 7 実効線量                  | 8 空気吸収線量    |             |

<エ、オの解答群>

- |        |       |       |       |       |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| 1 0.84 | 2 1.2 | 3 2.2 | 4 3.2 | 5 4.2 |
| 6 25   | 7 29  | 8 33  | 9 37  | 10 41 |

<K~Nの解答群>

- |                         |            |                   |
|-------------------------|------------|-------------------|
| 1 $\text{BF}_3$ ガス比例計数管 | 2 GM 管     | 3 NaI(Tl)シンチレーション |
| 4 ZnS(Ag)シンチレーション       | 5 ガスフロー計数管 | 6 電離箱             |
| 7 減衰時間                  | 8 時定数      | 9 分解時間            |

<Oの解答群>

- |                     |                    |
|---------------------|--------------------|
| 1 急激に上昇し、連続放電に至る    | 2 上昇しなくなり、ほぼ一定値を示す |
| 3 不安定になり、上昇と低下を繰り返す | 4 低下し、計数の停止に至る     |

問5 高純度Ge半導体検出器によるγ線スペクトル測定に関する次のI～IIIの文章について、  
□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 ゲルマニウム (Ge) は炭素族 (14 族) 元素で、ケイ素よりも狭いバンドギャップ (約□ア eV) を持つ半導体である。純粋な結晶中では、隣接する 4 原子と共有結合を形成しているが、その価電子は放射線や熱等の外部刺激で容易に伝導帯へ遷移して伝導性を担う。また、電子が抜けたあとの□A も伝導性を担う。伝導性を担う電子や□A はキャリアと呼ばれる。

高純度 Ge 結晶を放射線計測に用いるには、熱励起を防ぐための冷却を要する。冷却材として主に□B が用いられるほか、電気冷却式も見られる。

放射線の検出には、結晶に高電圧を印加し、放射線入射で生じた電荷を収集する。結晶が冷却された状態で逆バイアス電圧を印加すると、キャリアのほとんど存在しない領域、すなわち□C を生じる。この領域は電気抵抗が極めて大きく、高電圧を印加しても漏れ電流が生じない。放射線入射で生じたキャリアは強い電場により再結合を免れ、各電極へ向けて移動する。このとき流れる電流を信号として読み出す。

<アの解答群>

- |       |       |       |        |        |
|-------|-------|-------|--------|--------|
| 1 0.7 | 2 3.7 | 3 5.5 | 4 34.0 | 5 35.5 |
|-------|-------|-------|--------|--------|

<A～Cの解答群>

- |           |          |             |
|-----------|----------|-------------|
| 1 N型領域    | 2 P型領域   | 3 アクセプター準位  |
| 4 液体窒素    | 5 液体ヘリウム | 6 エチレングリコール |
| 7 正孔      | 8 クーパー対  | 9 空乏層       |
| 10 格子間原子  | 11 光陰極   | 12 ドナー準位    |
| 13 ドライアイス | 14 陽電子   |             |

II 電流信号を読み出すために、結晶格納部に隣接して前置増幅器を設置する。前置増幅器は検出器と後段の主増幅器の **D** を整合し、検出器から信号を引き出して最大限の信号対雑音比で主増幅器へと伝送する。前置増幅器の入力段には、しばしば **イ** が用いられる。

主増幅器は積分回路で波形を整形し、検出器が受け取ったエネルギーに比例する波高を持つパルスに変換する。この積分時定数を短くすると計数率特性（スループット）は改善するが、弾道欠損により **E** は劣化する。また、主増幅器にはパルス波形のアンダーシュートやオーバーシュートを解消する **F** キャンセル機能、偶発的に重畳した信号を排除する **G** 除去機能、および **H** の変動を抑制する **H** レストアラ機能等が付随する。

主増幅器で整形したパルスの波高分布を **ウ** でヒストグラム化すると、検出器が受け取ったエネルギーのスペクトルが得られる。

<Dの解答群>

- |             |           |            |
|-------------|-----------|------------|
| 1 インダクタンス   | 2 インピーダンス | 3 カットオフ周波数 |
| 4 ダイナミックレンジ | 5 ファノ因子   | 6 ロジックパルス  |

<イ、ウの解答群>

- |                       |                        |
|-----------------------|------------------------|
| 1 PIN フォトダイオード        | 2 アバランシェフォトダイオード (APD) |
| 3 スペクトロスコーピーアンプ       | 4 時間波高変換器 (TAC)        |
| 5 電界効果トランジスタ (FET)    | 6 波形弁別器                |
| 7 マルチチャンネルアナライザ (MCA) | 8 レートメーター              |

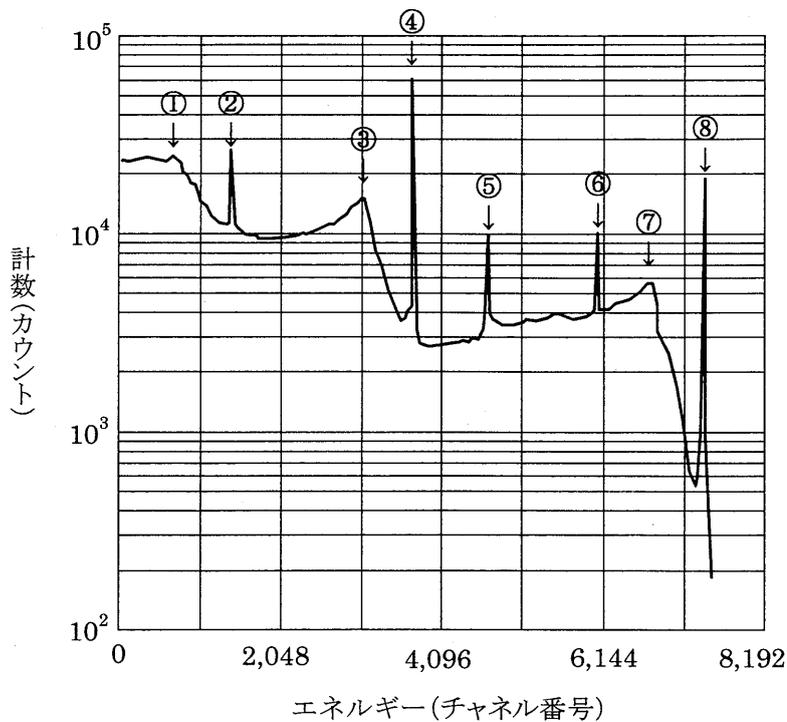
<Eの解答群>

- |            |      |         |
|------------|------|---------|
| 1 エネルギー分解能 | 2 感度 | 3 空間分解能 |
| 4 時間分解能    |      |         |

<F~Hの解答群>

- |            |              |           |
|------------|--------------|-----------|
| 1 アフターグロー  | 2 管電圧        | 3 グランドループ |
| 4 ジッター     | 5 パイルアップ     | 6 波高ウォーク  |
| 7 バックグラウンド | 8 ピーク対コンプトン比 | 9 ベースライン  |
| 10 ポールゼロ   | 11 ライズタイム    |           |

Ⅲ 次の図は、高純度 Ge 半導体検出器で測定した  $^{24}\text{Na}$  線源のエネルギースペクトルの例である。



この線源は、2種類のエネギーの $\gamma$ 線（いずれも 1.0 MeV 以上）を放出する。なお、グラフの横軸は  ウ  のチャンネル番号である。

スペクトル上のピーク①～⑧のうち、この2種類の $\gamma$ 線の全吸収ピークは、エネギーの低い方からピーク  エ  とピーク  オ  である。

$\gamma$ 線のエネギーが一定値を超えると、物質との相互作用で電子対生成を生じ、スペクトルには陽電子と関わりの深い構造が現われる。陽電子は生成地点近傍で電子と対消滅し、主に  I  の消滅放射線を2本生じる。この2本がともに検出器外へ逃れると、全吸収よりも  I  の2倍だけ低いエネギーが検出器に与えられ、ピーク  カ  として現われる（ダブルエスケープピーク）。また、1本のみが逃れると、全吸収よりも  I  だけ低い位置にピーク  キ  として現われる（シングルエスケープピーク）。

以上のことなどから、グラフ横軸の1チャンネルは  J  keV に相当する。この値から、ピーク②は検出器外部から入射した  K  の全吸収ピークと推定される。

<エ～キの解答群>

- |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 ① | 2 ② | 3 ③ | 4 ④ | 5 ⑤ |
| 6 ⑥ | 7 ⑦ | 8 ⑧ |     |     |

< I の解答群 >

- |            |           |           |            |
|------------|-----------|-----------|------------|
| 1 371 keV  | 2 511 keV | 3 662 keV | 4 1.02 MeV |
| 5 2.04 MeV |           |           |            |

< J の解答群 >

- 1 0.18                    2 0.37                    3 0.66                    4 1.33                    5 2.50

< K の解答群 >

- 1 宇宙線                    2 後方散乱光子                    3 消滅放射線                    4 制動 X 線  
5 特性 X 線







