

2023 年度 医学物理士認定試験

記述式 物理工学系試験問題

試験時間 9:45 ~ 11:15 90 分間

注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いてはならない。
2. 問題冊子は1~13 ページまでの13 ページ、問題は5 科目各2 問の計10 問である。
3. 解答用紙は計3 枚で上部がのり付けされている。指示されたら丁寧に切り離しなさい。
4. 印刷不鮮明、ページの落丁、乱丁及び解答用紙の枚数不足、汚れ等に気付いた場合、解答中に解答用紙を破損した場合は、解答用紙を交換するので静かに手を挙げて監督員に知らせること。
5. 5 科目から3 科目、1 科目について1 問を選択し、合計3 問について解答すること。上記以外は無効となる。
6. 1 問につき解答用紙1 枚（表裏2 ページ）以内で解答すること。
7. すべての解答用紙に受験番号、氏名を記入し、解答した科目名と問題記号に○印を例のように描くこと。（例は、放射線診断物理学 問題 A について解答した場合である。）

受験番号および氏名の上に、点線に沿って保護シールを3 枚の解答用紙にそれぞれ貼り付けること。

科 目 名	放射線診断物理学	問題 記号	A	受 験 番 号	23-	氏 名
	核医学物理学					
	放射線治療物理学					
	放射線計測学 保健物理学/放射線防護学					

8. すべての解答用紙を回収するので、3 枚の解答用紙を机の上に置くこと。問題冊子は持ち帰ること。
9. 途中退出はできない。ただし、トイレや発病等の場合は、黙って手を挙げ、監督員の指示にしたがうこと。
10. 問題冊子の持ち出しはできない。
11. 受験番号と氏名を記載すること。

受験番号 23- 氏名 _____

以上

科目名 放射線診断物理学

問題 A IVR (interventional radiology) 用 X 線装置について以下の設問に答えよ。

設問 1 次の説明文の空欄 (a) ~ (e) に入る語句を記せ。

血管内を流れる血液の主成分は水であるので、そのままでは周辺部との X 線吸収差が小さく、血管を明瞭に描出することができない。そのため、血管内に (a) 造影剤を注入し、血管内壁の形状を画像化する。造影剤の注入前の画像を (b) と呼び、注入後の画像を (c) と呼ぶ。(b) と (c) の画像を (d) 変換した後にデジタル的に減算処理をすると、血管以外の器官が消去されて血管形状の診断が容易になる。この手技を (e) と呼ぶ。

設問 2 (d) 変換する理由を説明せよ。

設問 3 IEC60601-2-43 にて定められた C アーム式 IVR 用 X 線装置における患者照射基準点 (IVR 基準点) の位置はどこか。

設問 4 シングルプレーンと比較したバイプレーン IVR 用 X 線装置の利点を説明せよ。

科目名 放射線診断物理学

問題 B X線 CT 装置について以下の設問に答えよ。

設問 1 次の説明文の空欄 (a) ~ (d) に入る語句を記せ。

解析的 CT 画像再構成アルゴリズムにおいて、投影データの冗長性を利用した再構成があり、(a) と呼ばれている。これは、X線ビームによって得た投影データは、検出器と X 線焦点の位置を入れ替えて逆方向に照射された X 線ビームによって得た投影データと数学的に等価であることを利用しており、(b) と呼ぶ。平行投影の場合は、データ収集角度(回転角度)が 0 度 ~ (c) が必要である。ファンビーム投影の場合は、データ収集角度は、0 度 ~ (d) が必要となる。

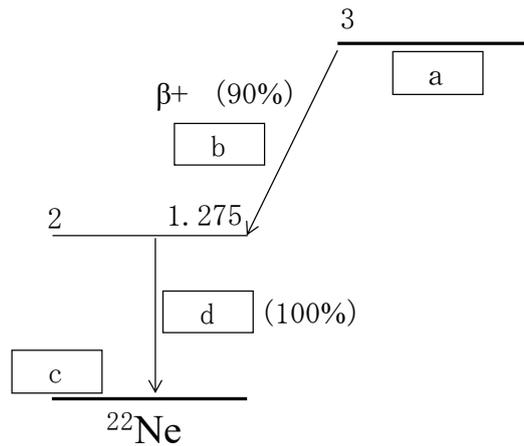
設問 2 上記で述べた投影データの冗長性を利用した CT 再構成では、投影データが冗長(1回)に収集されるのに対して、残りの部分は1回だけしか収集されておらず、そのまま冗長性を利用すると画像が正しく再構成できない。この問題の原因と、それに対して画像を正しく再構成するための対応を2つ述べよ。

設問 3 上記で再構成された CT 画像の画質の特徴と、その理由と原因をあわせて3つ述べよ。

科目名 核医学物理学

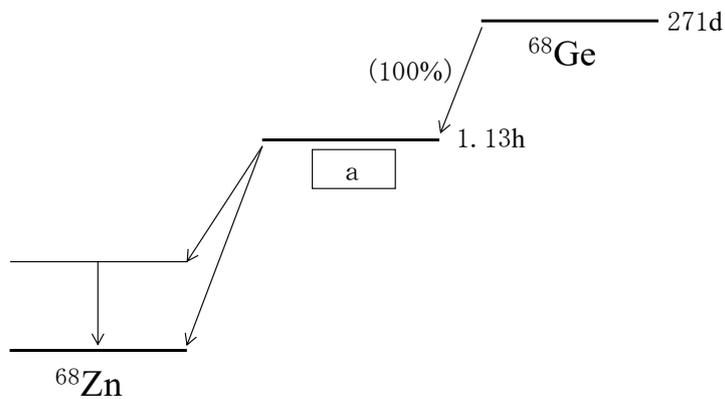
問題 A 核医学イメージング装置の物理特性評価について以下の設問に答えよ。

設問 1 下に示す壊変図について (1) ~ (5) の間に答えよ。



- (1) にあてはまる元素記号と質量数を記せ。
- (2) にあてはまる壊変について、英語略称、英語名称、日本語名称、壊変率をそれぞれ記せ。
- (3) にあてはまる数字とその意味を記せ。
- (4) この放射性同位元素の用途とその理由を記せ。
- (5) で放出される放射線の名称とエネルギー、また、(4) の評価に与える影響について記せ。

設問 2 下に示す壊変図について (1) ~ (4) の間に答えよ。



- (1) にあてはまる元素記号と質量数を記せ。
- (2) この放射性同位元素の用途とその理由を記せ。
- (3) ^{68}Ge と核種 の間に成り立つ関係を漢字 4 文字で記せ。また、十分な時間が経過したのち、核種 の放射能 A_2 と ^{68}Ge の放射能 A_1 の間に成り立つ関係式を記せ。
- (4) A_1 と A_2 の初期値をそれぞれ 100 MBq、0 MBq とするとき、両放射能について 600 日までの時間変化をグラフに図示せよ。

科目名 核医学物理学

問題 B ガンマカメラに関して以下の設問に答えよ。

設問 1 次の説明文の空欄 (a) ~ (d) に入る語句を記せ。

ガンマカメラは、シンチレータと (a) 配列の (b) からなる検出器部と解析部で構成される。体内から放出された γ 線がシンチレータと相互作用すると蛍光が発せられ、それを複数の (b) で検知し、解析部ではその信号の強弱から (c) を割り出し、被写体の投影画像に変換される。シンチレータの前面に設置されるコリメータは、 γ 線の入射に指向性を持たせる役割があり、空間 (d) の向上につながる。

設問 2 ガンマカメラに用いられる NaI(Tl) シンチレータの利点と欠点をそれぞれ 2 つ以上記せ。

設問 3 シンチレータの厚さは通常何 cm 程度か記せ。また、それを決めている要因について 2 つ以上述べよ。

設問 4 コリメータが孔の形状が円筒形の平行多孔型であるとし、孔の直径が 2 mm、高さが 40 mm の場合、シンチレータ面から距離 10 cm での測定範囲の大きさを求めよ。

設問 5 ガンマカメラによる被写体計測において、散乱線の発生源を場合分けし、それぞれにおける散乱線除去の方法を述べよ。

科目名 放射線治療物理学

問題 A 陽子線治療における多くの治療計画では、治療計画用 CT 画像を撮影し、CT 値を水に対する陽子線阻止能比に変換した上で線量計算を行う。それらの変換では、予め作成された CT 値-陽子線阻止能比テーブルが用いられる。以下の設問に答えよ。

設問 1 物質 X の相対電子密度を有効数字 2 桁で求めよ。ただし、物質 X および水の質量組成比および物理密度は表 1 に示す通りとする。

表 1

	H	C	N	O	P	Ca		
原子番号	1	6	7	8	15	20		
質量数	1.0079	12.011	14.006	15.999	30.973	40.08		
材質	質量組成比						物理密度 [g/cm ³]	平均励起 エネルギー [eV]
物質 X	0.034	0.156	0.042	0.438	0.103	0.227	1.92	117.81
水	0.1119	0	0	0.8881	0	0	1	78.73

設問 2 物質 X の陽子線阻止能比を有効数字 2 桁で求めよ。

ただし、陽子線の阻止能比は以下の式で与えられ、 $\beta^2 = 0.135$ とする。また、平均励起エネルギーは表 1 に示す、必要であれば設問 1 の結果、 $2m_e c^2 \beta^2 / (1 - \beta) = 159 \text{ keV}$ 、 $\ln(1.35) = 0.3001$ 、 $\ln(2.02) = 0.7030$ 、 $\ln(10) = 2.302$ を用いて良い。

$$\rho_s = \rho_e \frac{\ln \left[\frac{2m_e c^2 \beta^2}{I_X (1 - \beta^2)} \right] - \beta^2}{\ln \left[\frac{2m_e c^2 \beta^2}{I_{\text{water}} (1 - \beta^2)} \right] - \beta^2}$$

ここで、 ρ_s は陽子線阻止能比、 ρ_e は相対電子密度、 $m_e c^2$ は電子の静止質量エネルギー、 β は光速に対する陽子の速さ、 I_X は物質 X の平均励起エネルギー、 I_{water} は水の平均励起エネルギーとする。

設問3 前立腺をターゲットとする対向二門照射の陽子線治療を考える。二門は、それぞれ単門でターゲット内に均一な線量分布を形成する **Single Field Uniform Dose (SFUD)** で、ターゲット中心の線量比は 1:1 とする。あらゆるマージンを付けずにターゲットに対して均一な処方線量が与えられ、ターゲット周辺の線量は可能な限り下げるような治療計画を作成した。もし、CT 値-陽子線阻止能比変換テーブル起因の誤差によって治療計画時に陽子線阻止能比が全て 10% 低く算出されていた場合、実際の線量分布はターゲット内およびターゲット外についてどのようなになるか、理由を含めて述べよ。特にターゲット内については定量的に述べよ。

科目名 放射線治療物理学

問題 B 線量分布評価について以下の設問に答えよ。

設問 1 同じ線量評価位置 \mathbf{r} における測定線量と基準線量の差分を $A(\mathbf{r})$ とする。 $A(\mathbf{r})$ は線量勾配が急峻な領域における線量分布評価指標として重要ではないことが多い。その理由を説明せよ。

設問 2 線量評価位置 \mathbf{r} における基準線量と等しくなる測定線量の位置のうち、 \mathbf{r} との距離が最小となる位置での距離を $B(\mathbf{r})$ とする。 $B(\mathbf{r})$ は線量勾配が緩やかな領域における線量分布評価指標として重要ではないことが多い。その理由を説明せよ。

設問 3 線量差と位置ずれを合成して線量分布を評価するガンマ解析では、ガンマ値 $\Gamma(\mathbf{r}_m, \mathbf{r}_r)$ を以下のように定義する。

$$\Gamma(\mathbf{r}_m, \mathbf{r}_r) = \sqrt{\frac{r^2(\mathbf{r}_m, \mathbf{r}_r)}{\Delta d^2} + \frac{\delta^2(\mathbf{r}_m, \mathbf{r}_r)}{\Delta D^2}}$$

ここで、 \mathbf{r}_m 、 \mathbf{r}_r はそれぞれ測定線量分布と基準線量分布における評価点、 $r(\mathbf{r}_m, \mathbf{r}_r)$ は評価点間の距離、 $\delta(\mathbf{r}_m, \mathbf{r}_r)$ は線量差、 Δd 、 ΔD はそれぞれ位置ずれ、線量差に対する許容値である。以下の式により $\gamma(\mathbf{r}_r)$ を評価し、評価点 \mathbf{r}_r における合格もしくは不合格を判定する。

$$\gamma(\mathbf{r}_r) = \min\{\Gamma(\mathbf{r}_m, \mathbf{r}_r)\} \forall \{\mathbf{r}_m\}$$

図に測定線量分布と基準線量分布を示す。 Δd を 3 mm、 ΔD を基準線量分布の最大値の 3%として、位置 \mathbf{r}_0 における $\gamma(\mathbf{r}_0)$ を求め、その値がガンマ解析の合格、不合格どちらと判定されるか述べよ。なお、評価においてデータ間を補間する必要はなく、各マス目の数値はマス目の中心を評価点とした線量を表しており、測定線量分布と基準線量分布の評価点位置は一致しているものとする。

	1 mm				
97	94	100	99	95	1 mm
96	105	104	94	96	
101	96	96	104	99	
98	103	95	103	100	
100	102	95	105	103	

測定線量分布

	1 mm				
100	100	100	100	100	1 mm
100	100	100	100	100	
100	100	100 (r_0)	100	100	
100	100	100	100	100	
100	100	100	100	100	

基準線量分布

設問4 ガンマ解析による線量分布評価において生じ得るヒューマンエラーを2つ挙げて説明せよ。

科目名 放射線計測学

問題 A NaI(Tl)シンチレータと光電子増倍管を接続したシンチレーション検出器によるガンマ線計測について以下の設問に答えよ。

設問 1 次の説明文及び概略図の空欄 (a) ~ (h) に入る語句を記せ。

シンチレータが発する微弱な光は光電子増倍管の (a) で電子に変換される。生成した電子は集束電極に導かれながら高電圧によって (b) され、(c) に衝突すると複数の電子が放出される。衝突過程の繰り返しを経て増幅された電子が (d) に到達すると電気信号として出力される。光電子増倍管の後段で増幅・整形された電気信号のパルス (e) とシンチレータが吸収した放射線のエネルギーは概ね (f) 関係にある。そこで、ガンマ線のエネルギーが既知の (g) を複数用いれば、(e) スペクトルの (h) チャンネルをシンチレータが吸収した放射線のエネルギーに換算することができる。

設問 2 ガンマ線の全エネルギーがシンチレータに付与されるイベントを考える。測定するガンマ線のエネルギーを 300 keV から 1 MeV に変えたとき、検出器の固有効率[%]とエネルギー分解能[%]はどのように変化するか。それぞれ 70 文字程度で理由を付けて答えよ。

設問 3 小型サイクロトロンを用いて 10 分前に生成した ^{11}C (半減期 20 分) をシンチレーション検出器で 10 分間測定したところ、511 keV ガンマ線が 4.0×10^7 カウントだけ計測された。本測定系において測定試料から放出される 1 本の 511 keV ガンマ線が 1% の確率で検出されるとき、 ^{11}C の生成数を求めよ。ただし、 ^{11}C の生成過程における小型サイクロトロンの照射時間及び測定におけるバックグラウンドは無視できるものとする。

科目名 放射線計測学

問題 B 発光現象を利用した固体線量計について以下の設問に答えよ。

設問 1 蛍光ガラス線量計、光刺激ルミネセンス線量計、熱蛍光線量計の測定原理について、それぞれ 200 字程度で説明せよ。

設問 2 個人線量計としての蛍光ガラス線量計、光刺激ルミネセンス線量計、熱蛍光線量計について、測定精度、エネルギー依存性、読み取り回数、フェーディングの有無、前処置の有無、等の観点から比較せよ。

科目名 保健物理学/放射線防護学

問題 A 医療法施行規則において、2020 年以降診療用放射線に係る安全管理が求められ、放射線診療に従事する者に対する安全利用のための研修、放射線診療を受ける者の被ばく線量の管理及び記録その他の診療用放射線の安全利用を目的とした改善のための方策の実施が求められている。以下の設問に答えよ。

設問 1 放射線診療に従事する者に対する安全利用のための研修の対象となる職種に関して次の空欄（ a ）～（ g ）に入る語句を記せ。

- (1) (a) 責任者
- (2) 放射線診療を (b) する医師及び歯科医師
- (3) (c) 等を行う医師及び歯科医師
- (4) (d) 科医師
- (5) (e)
- (6) (f) 等を取り扱う薬剤師
- (7) 放射線診療を受ける者への (g) 等を実施する看護師等

設問 2 研修の内容として必要な項目について、次の空欄（ h ）～（ l ）に入る語句を記せ。

- (1) 患者の (h) の基本的な考え方に関する事項
- (2) 放射線診療の (i) に関する事項
- (3) 患者の医療被ばくの防護の (j) に関する事項
- (4) 放射線の (k) その他の放射線診療に関する事例発生時の対応等に関する事項
- (5) 患者への (l) に関する事項

設問 3 線量管理の具体的な手順について、①最適化の基準となる指標、②自施設の代表値の決定方法、③基準値より高かった際の対応方法と④実施の頻度を示せ。

科目名 保健物理学/放射線防護学

問題 B 米国放射線防護審議会 (NCRP) や AAPM 等から骨盤部 X 線撮影における生殖腺への遮蔽具を廃止する声明が 2021 年に出された。以下の設問に答えよ。

設問 1 NCRP の声明で主張されている生殖腺遮蔽具を廃止する科学的な正当性について、次の空欄 (a) ~ (e) に入る語句を記せ。

- (1) (a) のリスクは、以前推定されていたよりもはるかに小さいと考えられている。
- (2) 最近の X 線撮影技術の進歩により、生殖腺防護が開始された 1950 年代より 90% 以上骨盤への線量が (b) した。
- (3) (c) への線量は、遮蔽具により減衰されない体内の (d) による寄与が大きい。
- (4) (c) の位置は (e) が大きく、ほとんどの状況で生殖腺遮蔽具の使用は被ばくによるリスクの (b) に大きく貢献しない。

設問 2 生殖腺の遮蔽具を使用する際の診療上の問題となる可能性のある事項を 2 点挙げよ。

設問 3 施設の方針として生殖腺遮蔽の廃止を実施する決定をした際の、患者やその家族への説明について施設で準備しておく事項について、次の空欄 (f) ~ (i) に入る語句を記せ。

- (1) 検査前後に患者が見ることのできる、ガイドラインに準拠した (f) やメッセージ発信用資料を作成する。
- (2) 患者と介護者からの (g) とその回答について、まとめを箇条書きで作成しておく。
- (3) 患者等から質問を受けた際の対応者への案内の明確な (h) を定めておく。
- (4) 丁寧で効果的な (i) を行う。

