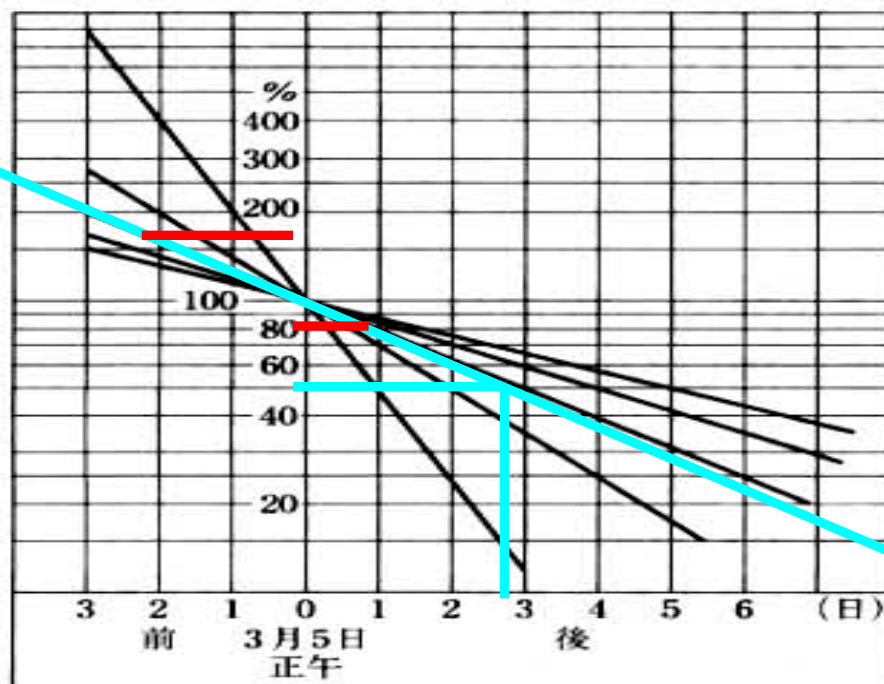


【問題 4-12】（平成 13）

3月3日正午に入荷した ^{201}Tl -塩化タリウムの放射能が3月5日正午の時点で148MBqであった。使用日時は3月6日正午である。

次のグラフを用いて求めた入荷時点および使用時点の放射能〔MBq〕はどれか。



入荷時点

使用時点

- | | | |
|----|-----|-----|
| 1. | 592 | 74 |
| 2. | 296 | 104 |
| 3. | 237 | 118 |
| 4. | 207 | 126 |
| 5. | 196 | 130 |

^{201}Tl の半減期は 約3日

半減期3日を示すグラフを使って

入荷日(2日前)、

使用時(1日後)の放射能を推定。

2日前 約 160%

1日後 約 80%

$$148 \times 1.6 = 237$$

$$148 \times 0.8 = 118$$

解答 3

半減期 Half life $T_{1/2}$

$$N = N_0 \times (1/2)^{(t / T_{1/2})}$$

崩壊定数 λ

1秒間に原子核が崩壊する割合

$$dN/dt = -\lambda N$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$N_0/2 = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$$

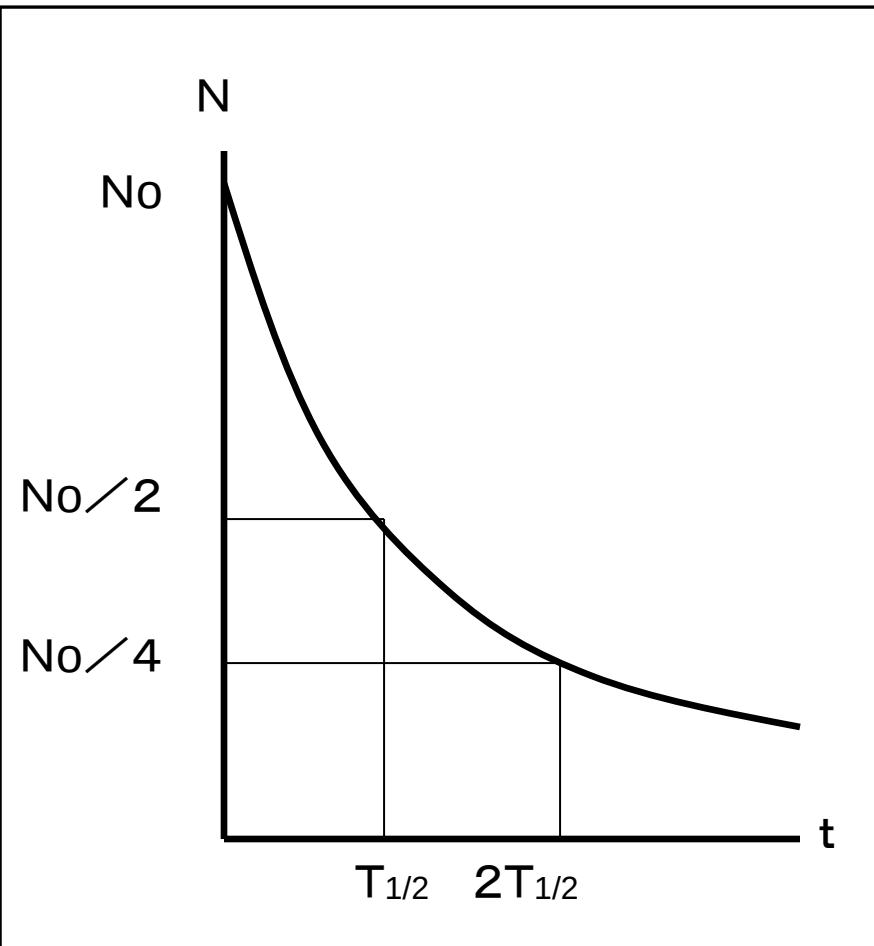
$$1/2 = e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$\text{Log}(1/2) = \text{Log}(e^{-\lambda T_{1/2}})$$

$$\text{Log}2 = 0.693 = \lambda T_{1/2}$$

半減期 $T_{1/2}$ と崩壊定数 λ が反比例することを、理解して下さい。

半減期の長い核種は、放射能 (λN) が弱い。



ガンマカメラ

体内のガンマ線放出薬剤の
分布(シンチグラム)を
撮像する装置



骨シンチグラフィ

Bone scintigraphy

リン酸にガンマ線放出RIを
標識した薬剤の分布図。
骨転移に強く分布。

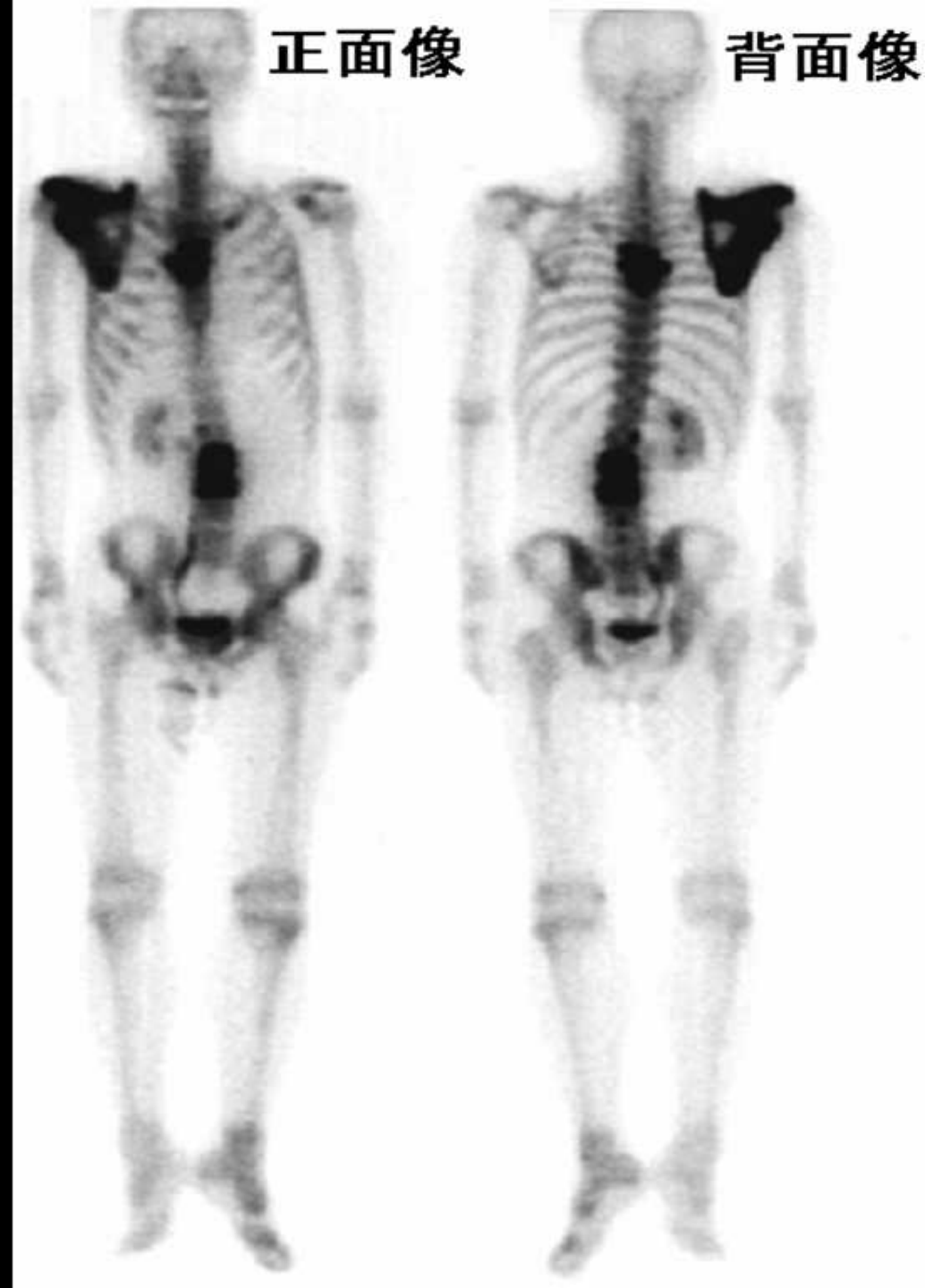
肺癌の骨転移症例。

右肩甲骨、胸椎、腰椎

Bone metastases

尿中への排泄が多いので

尿路、膀胱が描画されている。



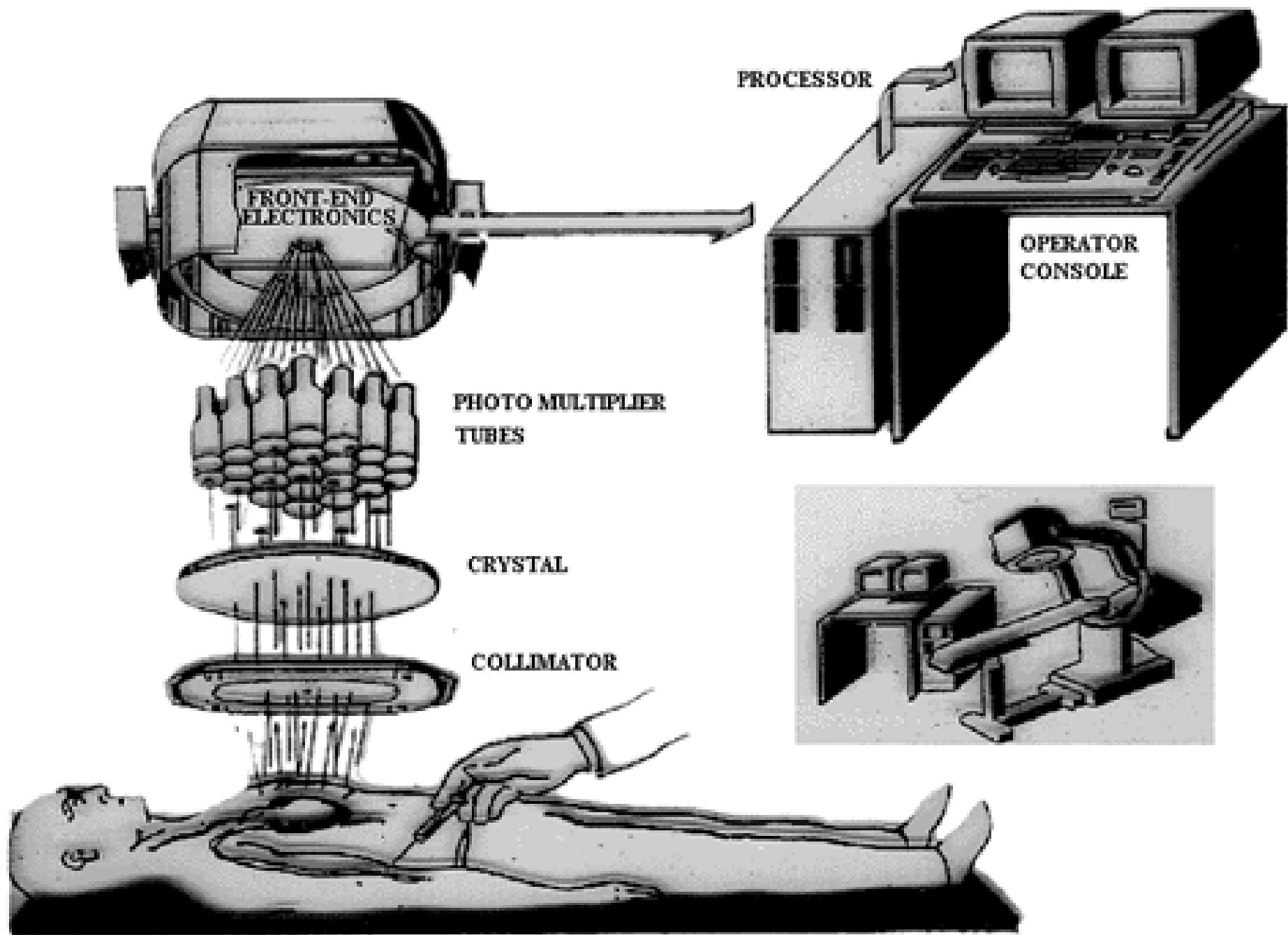
【問題 4-27】（平成 15）

ガンマカメラ検出部を構成しないのはどれか。

1. コリメータ
2. ライトガイド
3. CRT モニタ
4. 光電子増倍管
5. シンチレータ

〔注解〕 3. CRT モニタは画像表示装置の構成機器である。他はすべてガンマカメラ検出部の構成機器である。

シンチレーションカメラ（シンチカメラ、ガンマカメラ）とは、シンチレーション検出器を用いる RI カメラの総称で、単結晶のアンガー形カメラと多結晶のベンダー形カメラ（オートフルオロスコープ）がある。一般的にはよく普及している前者を指す。



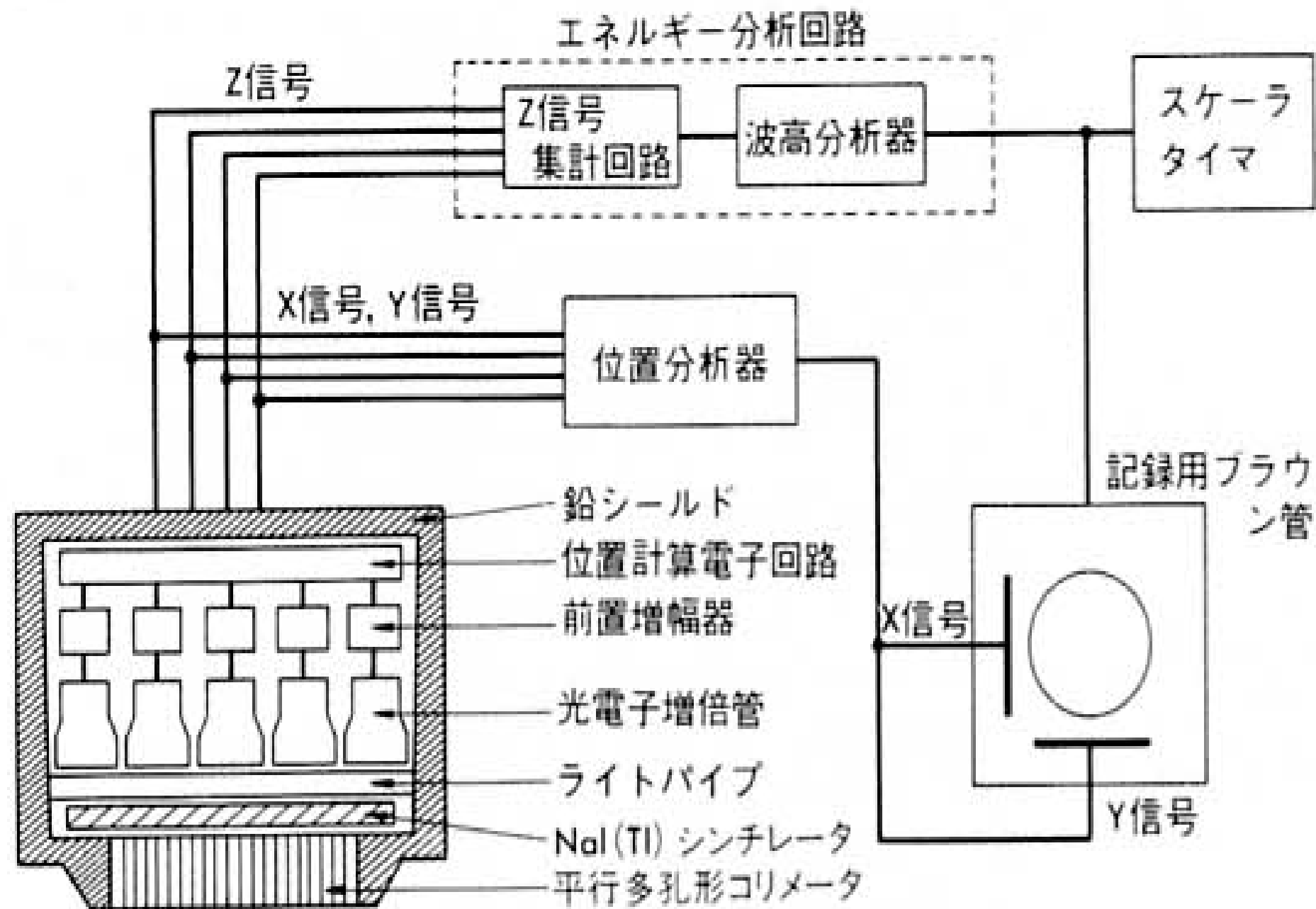


図 11-3 アンガー形カメラの構成図

1. シンチカメラ（アンダー形カメラ）

A. シンチカメラの構成

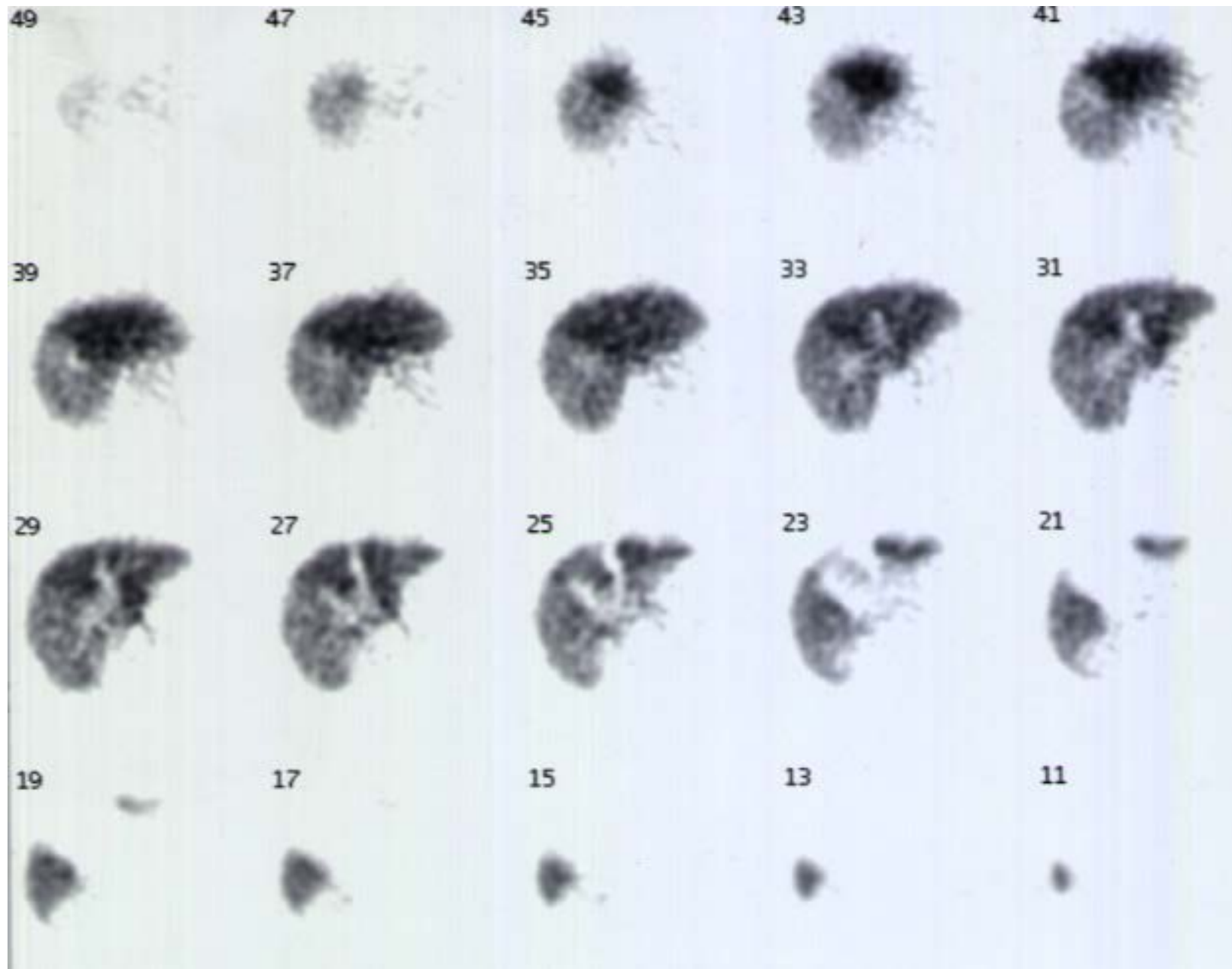
構成は、図 11-3 の通りであり、シンチレータは矩形または円で 11~20 インチ、厚さ 1.0~0.25 インチの NaI (Tl) の単結晶に、直径 3~2 インチの光電子増倍管 20~100 本を配す。この間には、各光電子増倍管の間隔に入射する光を反射してシンチカメラの均一性・直線性を向上させるためのライトパイプ（ライトガイド）がある。コリメータは、検査の目的に適したものを選択して交換し、検出器は任意の角度で撮像できるように上下、回転移動できる。

北大病院のガンマカメラ

カメラが対向して2台ついている
装置が標準型のガンマカメラ。
同時に正面像と背面像を撮影できる
ので検査時間の短縮に役立つ。



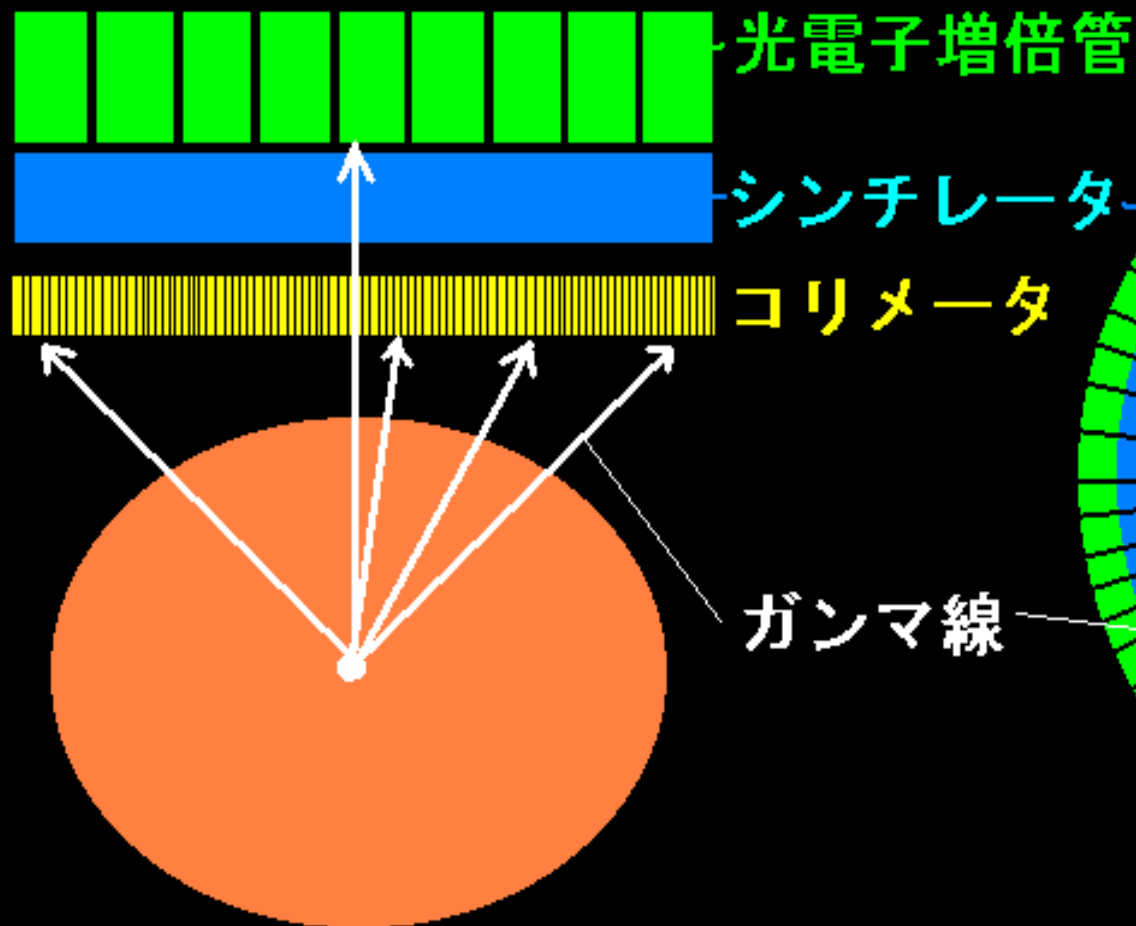
99m-Tc-GSA SPECT (断層像)



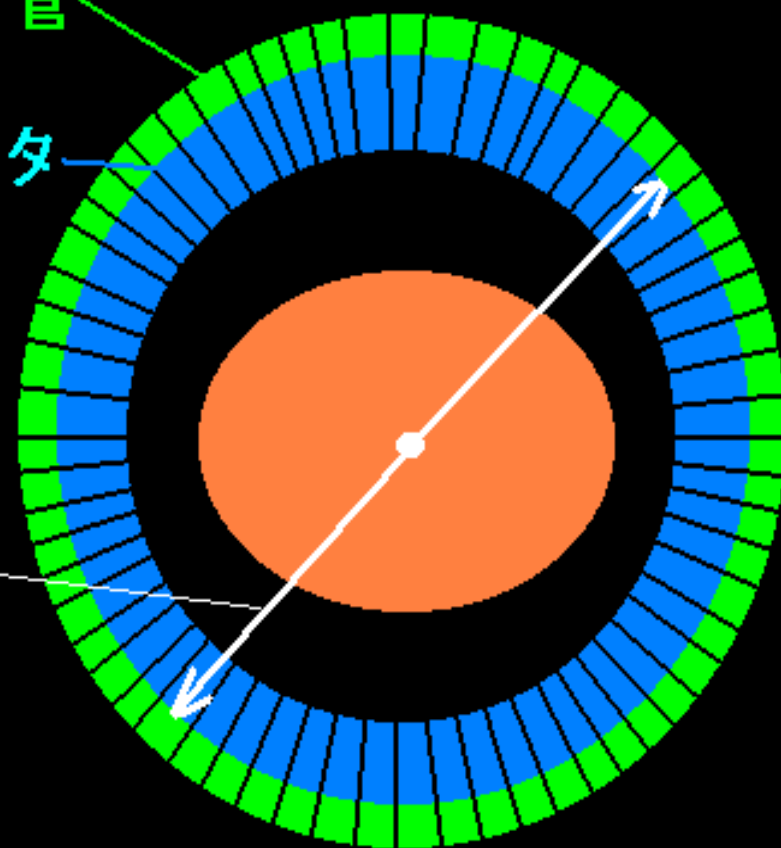
従来型のガンマカメラは、コリメータが必要。

PETカメラは、コリメータがないので高感度。

従来のシンチカメラ



P E T



ガンマカメラのコリメータ交換作業

検査に使用するRIのエネルギーに合わせて、低エネルギー型、中エネルギー型、高エネルギー型の3種類から選択して装着する。





ガンマカメラのコリメータ交換作業

コリメータは、鉛でできているので非常に重い。交換用の装置を用いて作業する。

低エネルギー用コリメータ
低エネルギー高分解能コリメータ
LEHRコリメータ
(160 keV 以下のガンマ線放出RI用)

薄いコリメータ。表面からは見えないが、
細かい穴が多数空いている。

Low Energy
High Resolution

中エネルギー用コリメータ
MEGPコリメータ
Middle Energy General Purpose
(160 keV から 300 KeVのガンマ線放出RI用)

中間のコリメータ。表面からは見えないが、
LEHRより大きい穴が多数あいている。

Medium Energy

SIEMENS

Siemens Medical Systems, Inc.

8397110/1

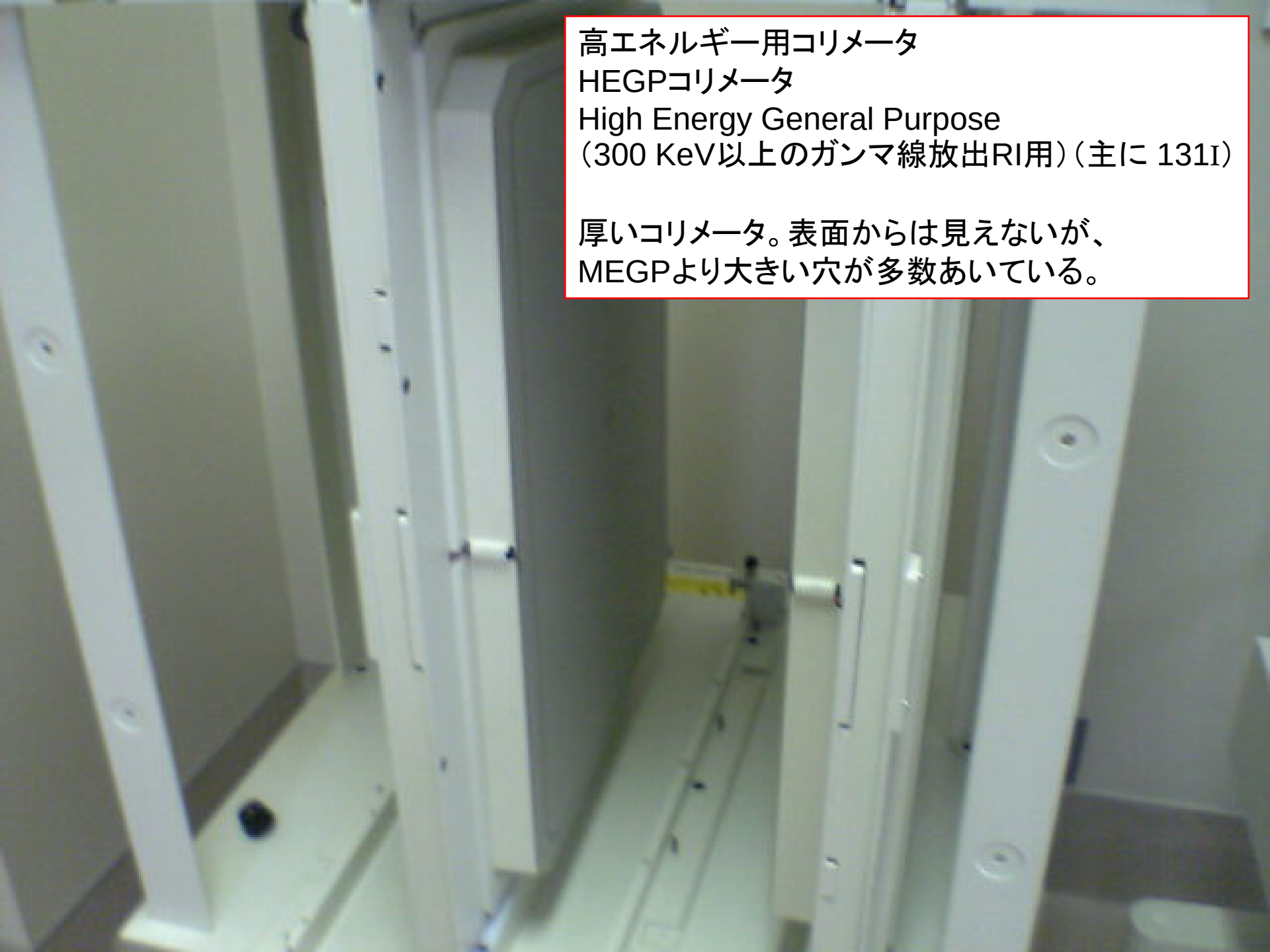
S/N

PART

01186

Open Endings, Model 80190

Medium Energy



高エネルギー用コリメータ

HEGPコリメータ

High Energy General Purpose

(300 KeV以上のガンマ線放出RI用)(主に ^{131}I)

厚いコリメータ。表面からは見えないが、
MEGPより大きい穴が多数あいている。

低、中、高エネルギー用コリメータが
ガンマカメラの横に常備されている。



RIのガンマ線エネルギーに合わせて
適切なコリメータに交換する。



コリメータをガンマカメラからはずす作業



コリメータをはずしたガンマカメラ。
丸のマークは、光電子増倍管の位置を示す。



核医学検査は、患者からガンマ線が出るので撮影中は、放射線が遮蔽された作業室で患者を鉛ガラスの窓から観察しながらリモートで装置を操作。



脳SPECT専用の装置
ガンマカメラが3台入っているので
コリメータも3枚必要。
三角形状態になっている。





脳SPECT専用の装置
この ふざけた被験者は、私。
撮影時間は20分。
新機種が入ると、まず私が
被験者になっていた。

【問題 4-28】（平成 11）

ガンマカメラについて正しいのはどれか。

- a. シンチレータは 1 時間に 1°C の温度変化があると破損の危険がある。
- b. 光電子増倍管の調整は均一性に影響する。
- c. 位置計算方式には遅延線方式と抵抗マトリックス方式とがある。
- d. コリメータは一般に焦点形が使用される。
- e. 時間分解能は $200\ \mu$ 秒程度である。

- | | | |
|---------|---------|---------|
| 1. a, b | 2. a, e | 3. b, c |
| 4. c, d | 5. d, e | |

〔注解〕 b. ガンマカメラの光電子増倍管の調整は均一性に影響する。

c. シンチレーションの発光位置を検出する位置計算方式には遅延線方式と抵抗マトリックス方式がある。

a. シンチレータの温度変化の制限は1時間に 3.3°C 以内とされている。

d. コリメータは一般に平行多孔型が使用される。

e. 時間分解能は 5μ 秒程度である。

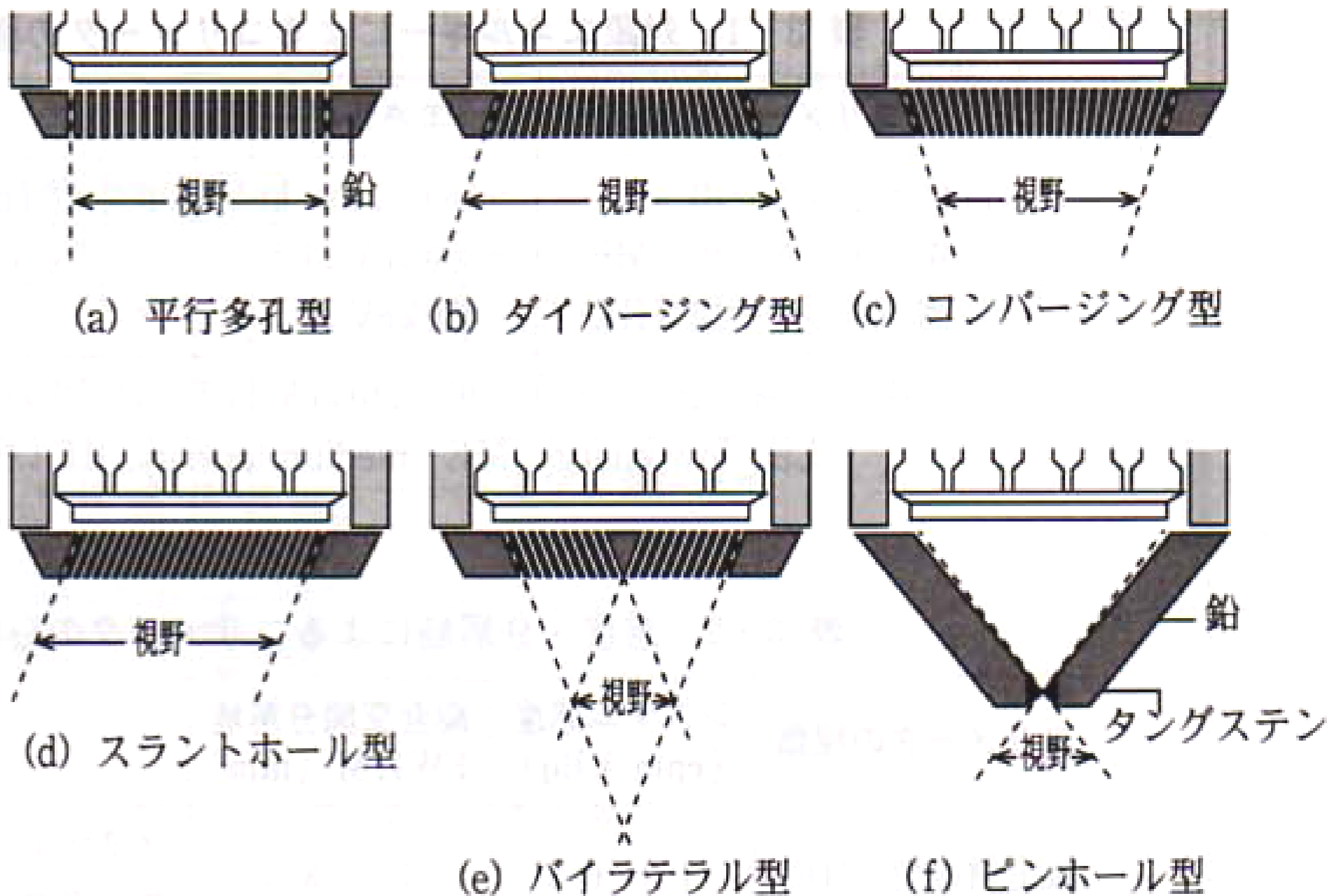


図 3・4 コリメータの断面と視野

B. イメージングの原理

コリメータを通過した γ 線がシンチレータとの相互作用により、その場所で閃光（シンチレーション）を発生する。この光は光電子増倍管に入射して、入射光に比例したパルス信号を作る（発光点に近い光電子増倍管ほど大きいパルス信号を生じる）。検出器からの信号は X, Y, Z の信号であり、複数の光電子増倍管からの信号を電氣的に判別した X-Y 信号（位置信号）および Z 信号（エネルギー信号）により記録用ブラウン管（CRT）上に光のスポットとして再現し、これを CRT フィルムなどの感光材料に露光して像を得る。位置信号を作る回路には、抵抗マトリクス方式と遅延電線方式がある。

最近のカメラでは、検出器からの信号 (X, Y, Z) をデジタル化 (A/D コンバータ) して処理するデジタルカメラが一般的である。デジタル化することにより感度補正・直線性補正・エネルギー補正が実時間で可能となり高性能化した。また、検出器数も SPECT、全身撮像が短時間で行える大視野の 2 検出器形が主流で、3 検出器形、4 検出器形のものもある。

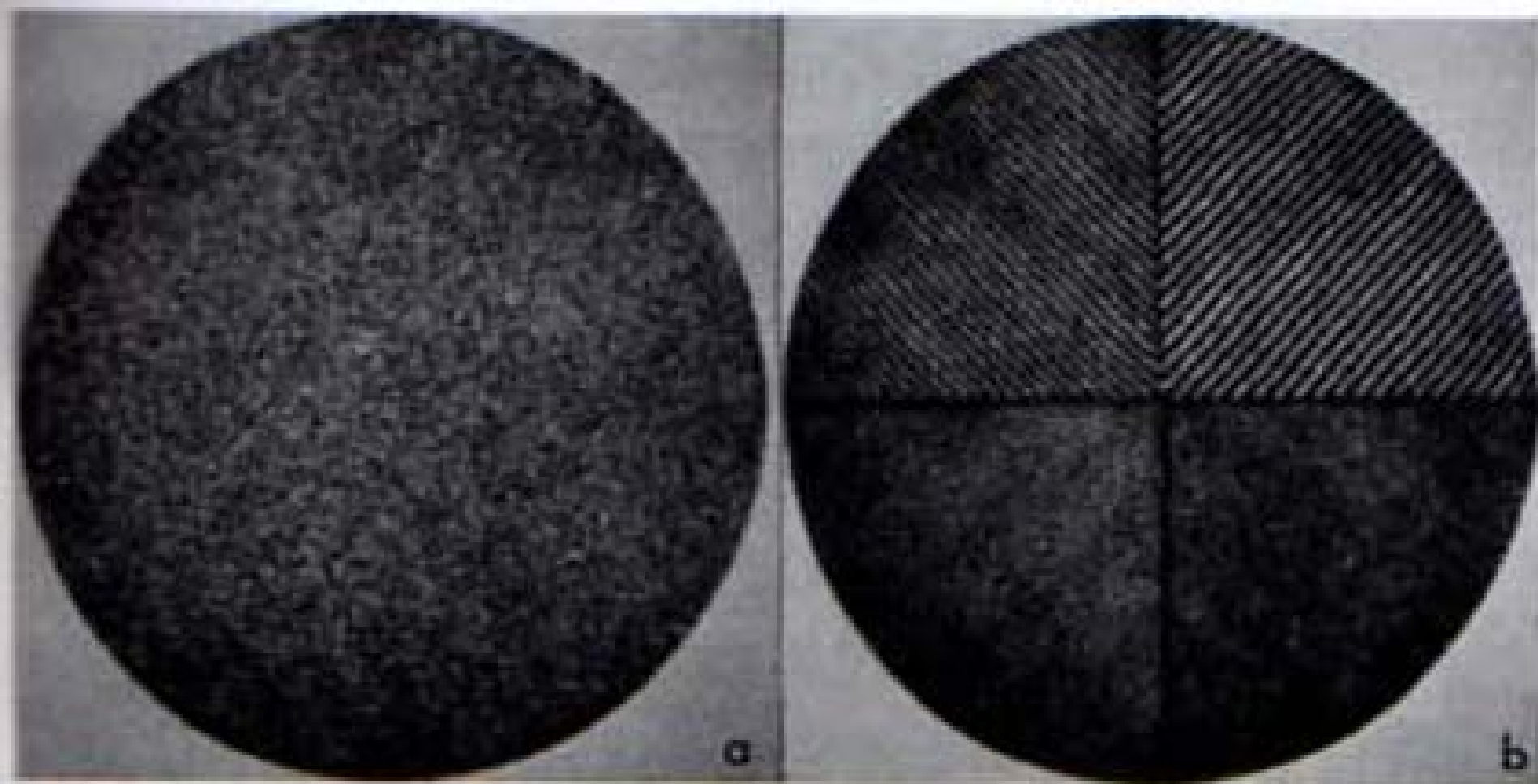


図 11-5 均一性(a)および解像力(b)の評価イメージ

シンチカメラには均一性・分解能・感度などの基本性能がよいことが望まれ、またこれらを維持するために性能管理が重要である。評価方法には NEMA 法などがある。**ガンマカメラの性能管理は、国家試験に良く出る。**

1) 均一性：総合均一性はコリメータを装着した状態で ^{99m}Tc などで満たした平面（フラッド）ファントムを用いて行い、固有均一性はコリメータを除いた状態で点線源を用いて行う。可視的または定量的に評価（図 11-5 a）する。

2) 分解能：総合分解能の測定には線線源によるLSF測定，固有分解能の測定には点線源と鉛スリットによるLSF測定をする．また鉛バーファントムによる可視評価(図11-5b)も一般的である．

3) 感度： ^{99m}Tc などの既知量の線源を用いて種々のコリメータ毎に評価する．

4) **直線性(画像歪)**：鉛スリットとマルチチャンネルアナライザーによる定量的評価，鉛バーファントムによる可視的評価（図 11-5 b）がある。

5) **計数率特性**：コリメータを除いた状態で，既知の線源を増加させるか，銅吸収板の数を変えた時の計数率を測定し，計数率の追随性および 10 % または 20 % の計数損失を起こす計数率を評価する。

6) **エネルギー分解能**：エネルギーの異なる二核種によりマルチチャンネルアナライザーを校正して測定する。

7) **その他**：複数ウィンドウ位置表示，イメージ縮小率，有効視野などの評価項目がある。

【問題 4-29】（平成 12）

放射線計測モジュールシステムに関係ないのはどれか。

1. リニアアンプ
2. プリアンプ
3. マイクロデンシトメータ
4. レートメータ
5. パルス波高分析器

〔注解〕 放射線計測装置システムに関係ないものは3のマイクロデンシトメータ（マイクロホトメータ）である。本装置は顕微鏡的光学系を使用し、平行光線をフィルムの微小面積に当て、透過光の濃度を光電子増倍管で測定し、資料フィルムの黒化度を測定する装置で放射線計測とは関係ない。

【問題 4-30】（平成 11）

ガンマカメラについて誤っているのはどれか。

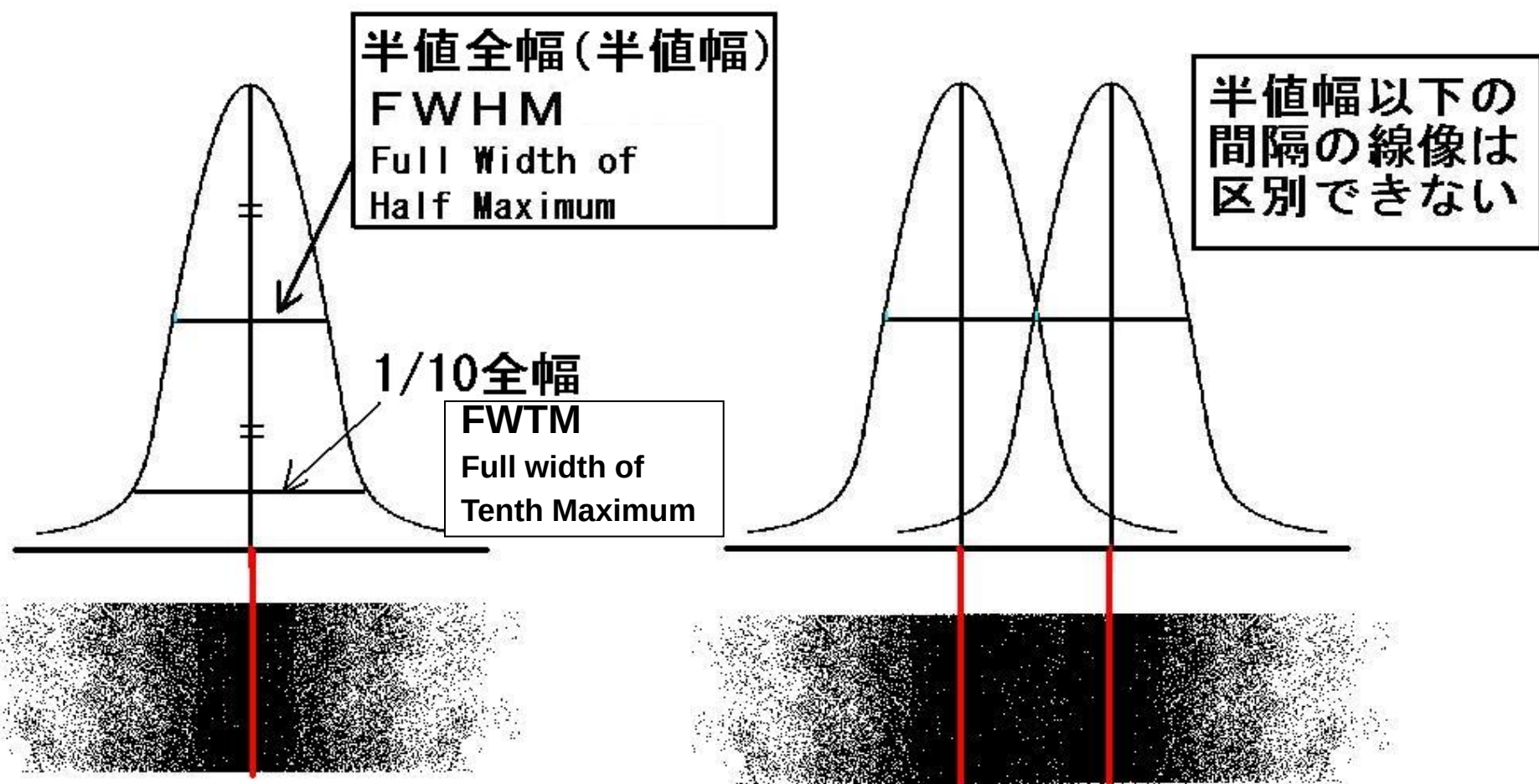
1. 放射性医薬品から放出される γ 線を計測する。
2. シンチレータの材質に NaI (Tl) が用いられる。
3. 空間分解能を半値全幅と $\frac{1}{10}$ 全幅とで表す。
4. 固有分解能の値は総合分解能の値より小さい。
5. デジタル方式からアナログ方式へ移行している。

〔注解〕 ガンマカメラはデジタル方式で処理されている。

1, 2, 3, 4 の記述はいずれも正しい。

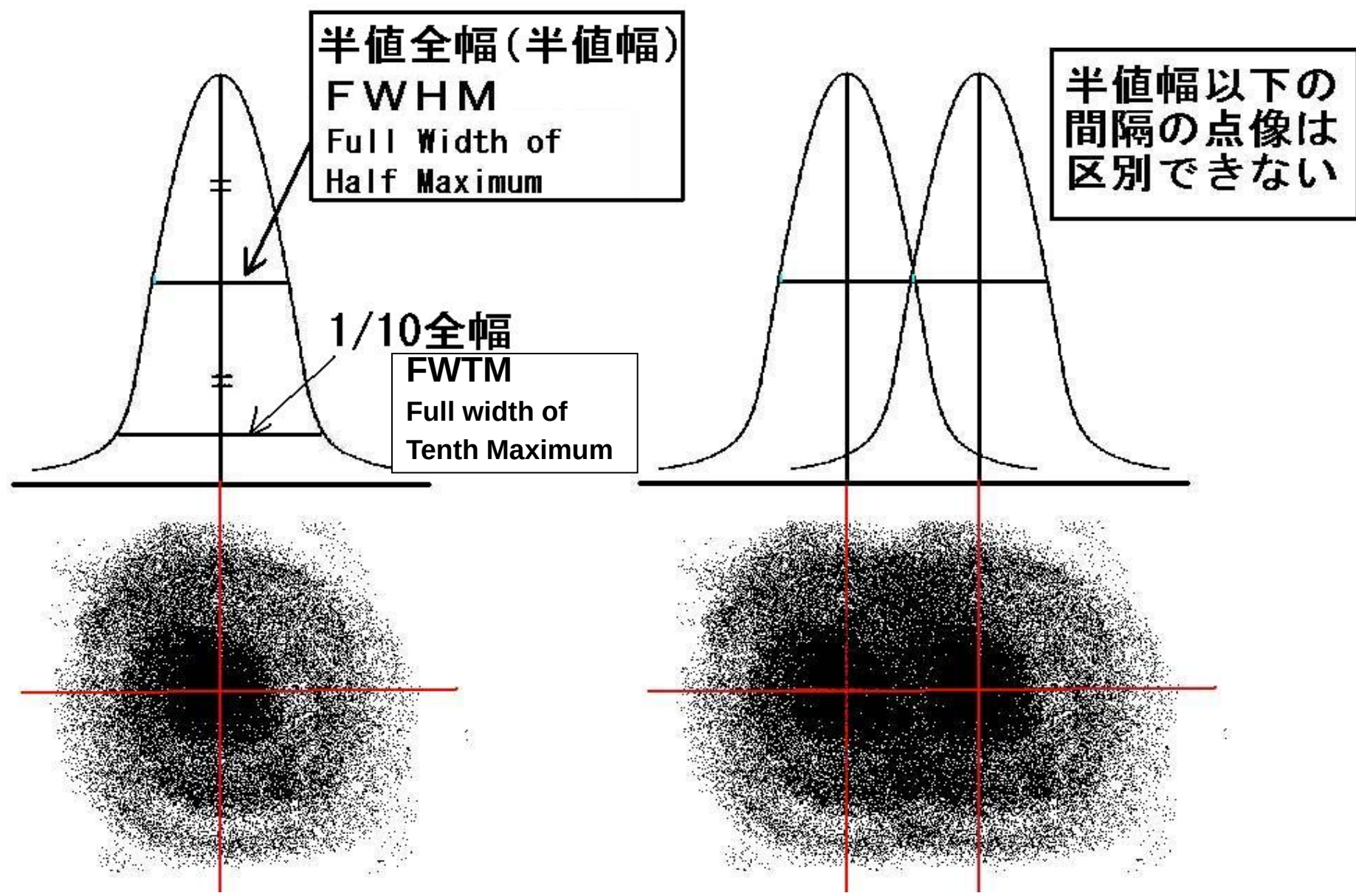
Line Spread Function (LSF) 線ひろがり関数

線像を撮像した画像の濃度分布



Point Spread Function (PSF) 点ひろがり関数

点像を撮像した画像の濃度分布



ガンマカメラの空間分解能について正しいのはどれか。

1. コリメータの厚さが厚いほど低い。
2. コリメータの穴径が小さいほど低い。
3. シンチレータの厚さが厚いほど高い。
4. 半値幅(FWHM)は百分率(%)で表す。
5. 被写体 - コリメータ間距離が大きいほど低い。

ガンマカメラは、患者を接近させないと画像がぼける。
(空間分解能が低くなる)

半値幅FWHMの単位は、mm

コリメータ内の穴が長いほど、小さいほど、
分解能は良くなる(画像が鮮明になる。)

Photo Multiplier

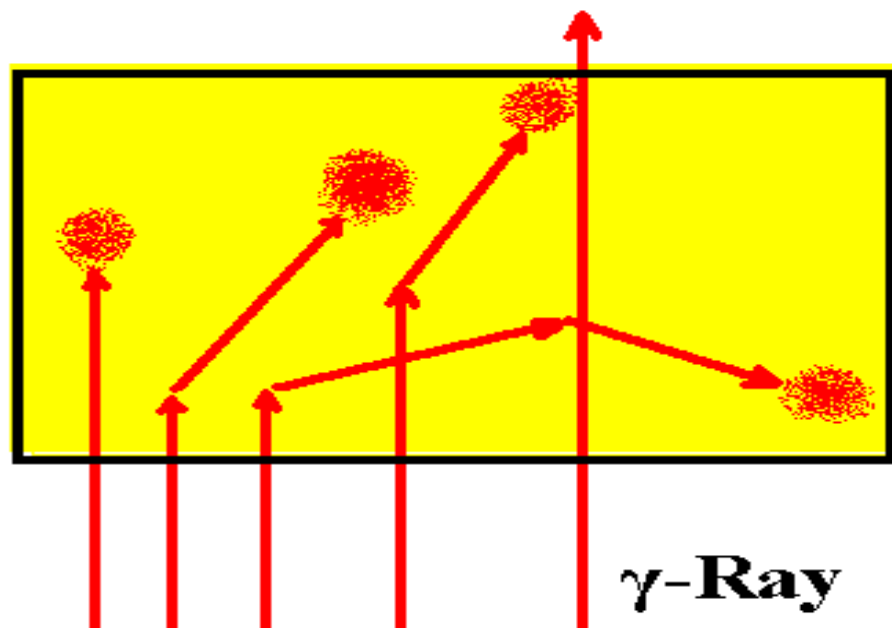
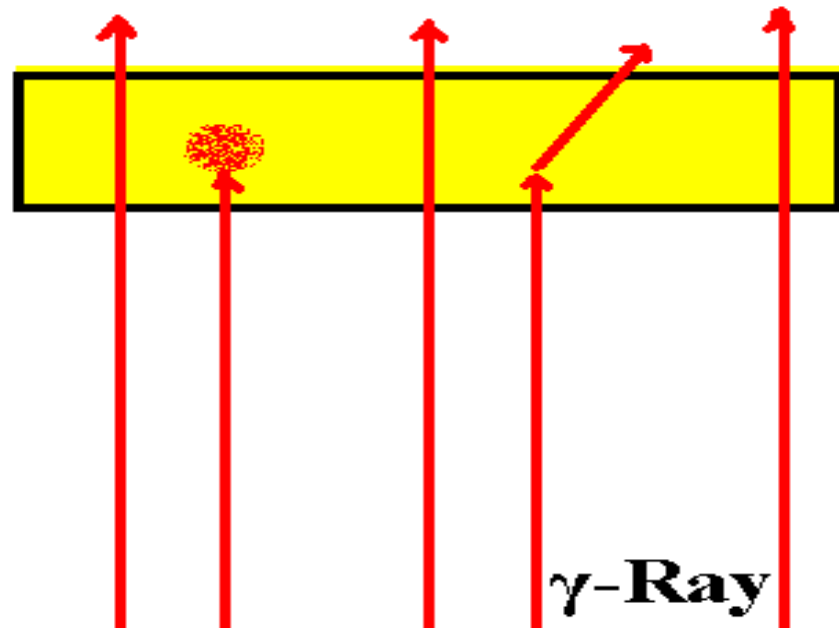


Photo Multiplier



シンチレータ(NaI)が厚いと、感度が良くなる。
(発光量が増える)

シンチレータ(NaI)が薄いと、分解能が良くなる。
(散乱後の発光が減るので、画像がぼけない)

【問題 4-31】（平成 12）

ガンマカメラの画像収集経路で正しいのはどれか。

1. コリメータ→光電子増倍管→シンチレータ→位置計算回路
2. コリメータ→シンチレータ→光電子増倍管→位置計算回路
3. シンチレータ→光電子増倍管→コリメータ→位置計算回路
4. シンチレータ→コリメータ→光電子増倍管→位置計算回路
5. 光電子増倍量→シンチレータ→コリメータ→位置計算回路

〔注解〕 ガンマカメラの画像収集経路で正しい構成は明らかに 2 である。

【問題 4-32】（平成 14）

ガンマカメラの固有性能試験に含まれないのはどれか。

1. 均一性
2. 空間分解能
3. エネルギー分解能
4. 回転中心のずれ
5. 複数ウィンドウの像のずれ

〔注解〕 4. ガンマカメラの固有性能試験に回転中心のずれは含まれない。

1. 均一性, 2. 空間分解能, 3. エネルギー分解能, 5. 複数ウィンドウの像のずれは, いずれも固有性能試験に含まれる。

ii) エネルギー分解能

光電ピークが鋭いほどエネルギーは正確に求められる。γ線エネルギーが近接している場合、別々のものとして識別できる最短幅をエネルギー分解能といい、光電ピーク的位置 E_P とピーク計数率の1/2のところのピーク幅 ΔE_P (半値幅) より (図1・7), 次のように計算される。

$$\text{エネルギー分解能} = (\Delta E_P / E_P) \times 100 [\%] \quad (1 \cdot 37)$$

一般的な NaI(Tl) シンチレーションカウンタは8~10%, シンチカメラで10%

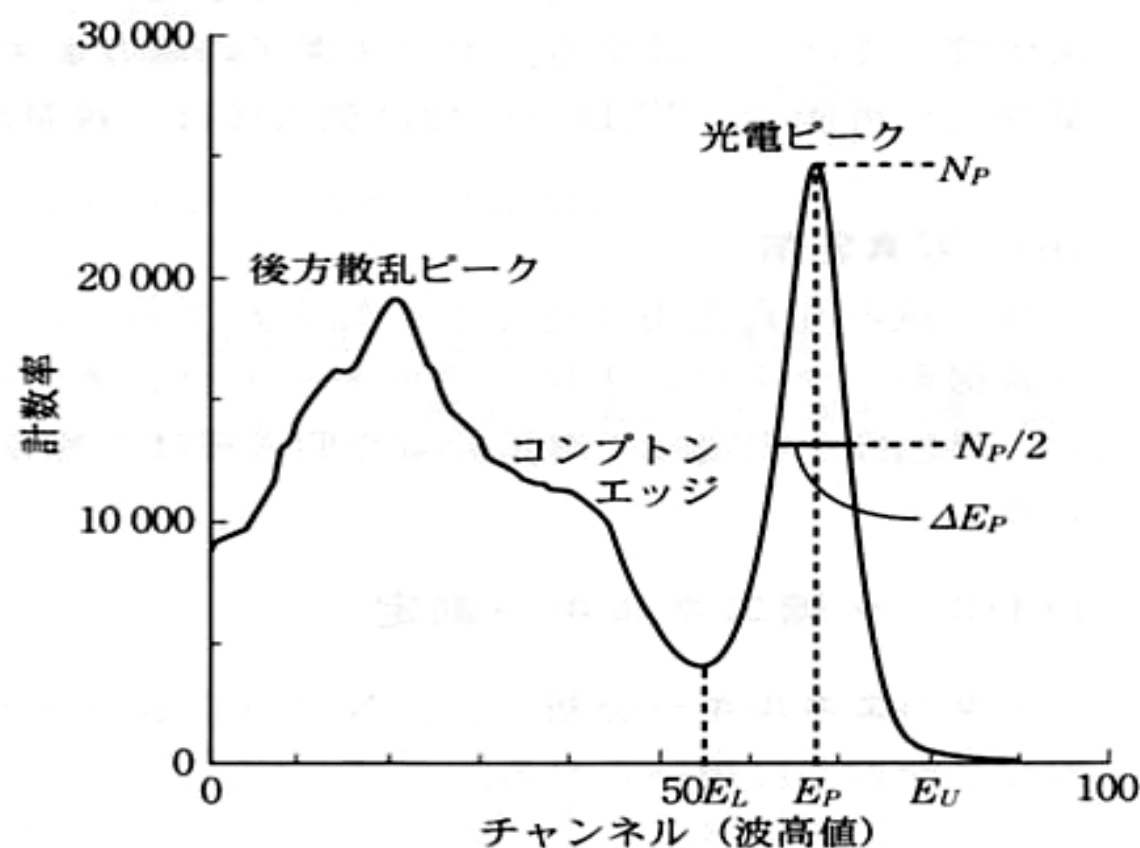


図 1・7 ^{137}Cs からの γ 線 (662 keV) のエネルギースペクトル

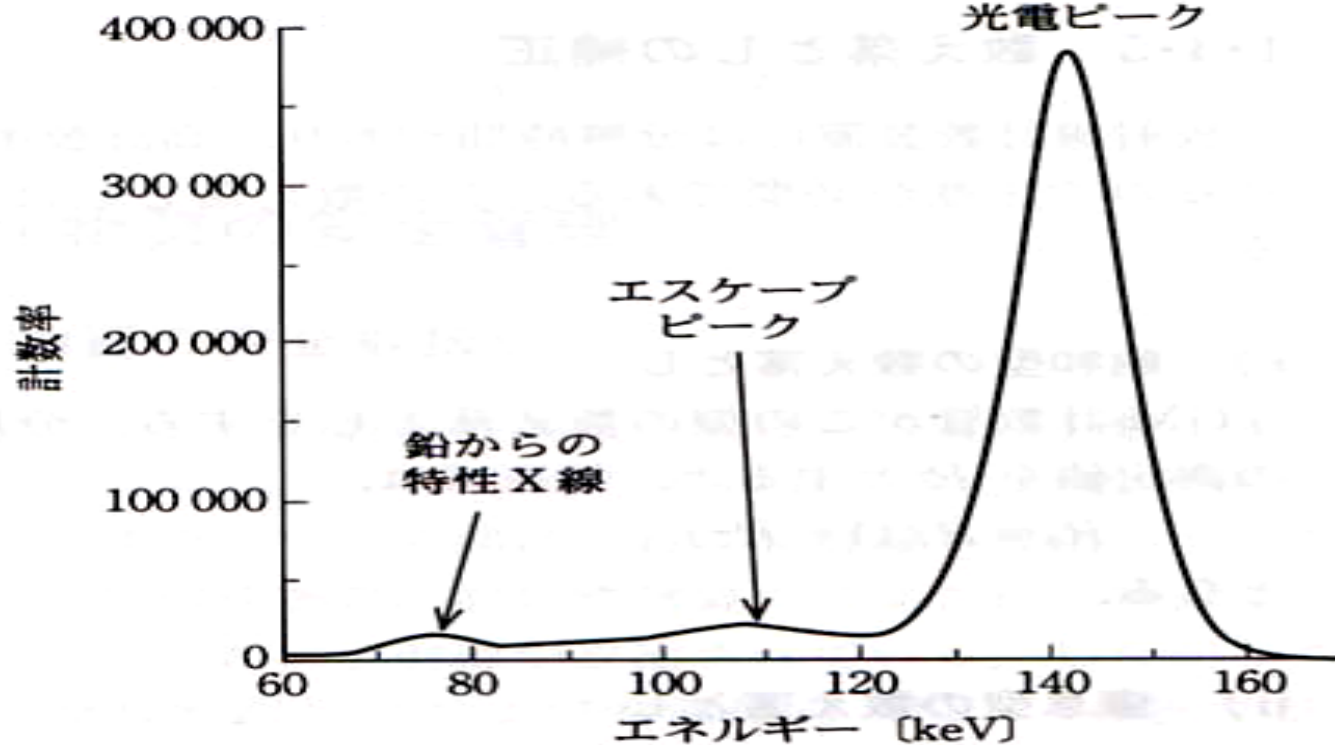


図 1・8 ^{99m}Tc からの γ 線 (140 keV) のエネルギー
スペクトル
(シンチカメラ, 吸収・散乱体なし)

核医学検査で使用する
RIの
 γ 線または特性X線の
エネルギー

^{125}I	27 keV(EC)
^{67}Ga	93 keV
^{99m}Tc	140 keV
^{123}I	159 keV
^{131}I	365 keV

【問題 4-33】（平成 15）

ガンマカメラの性能試験に関係ないのはどれか。

1. 視野均一性
2. 空間分解能
3. エネルギー分解能
4. 方向依存性
5. 遮へいの能力

〔注解〕 4. ガンマカメラの性能試験に放射線の入射方向による感度が異なる方向依存性は関係ない。

1. 視野均一性, 2. 空間分解能, 3. エネルギー分解能, 5. 遮へい能力はいずれもガンマカメラの性能試験に関係する。

【問題 4-34】（平成 10）

ガンマカメラの性能評価に関係のないのはどれか。

1. 空間分解能
2. 均一性
3. エネルギーウィンドウのずれ
4. 直線性
5. 実効エネルギー特性 ← **X線の光電効果**

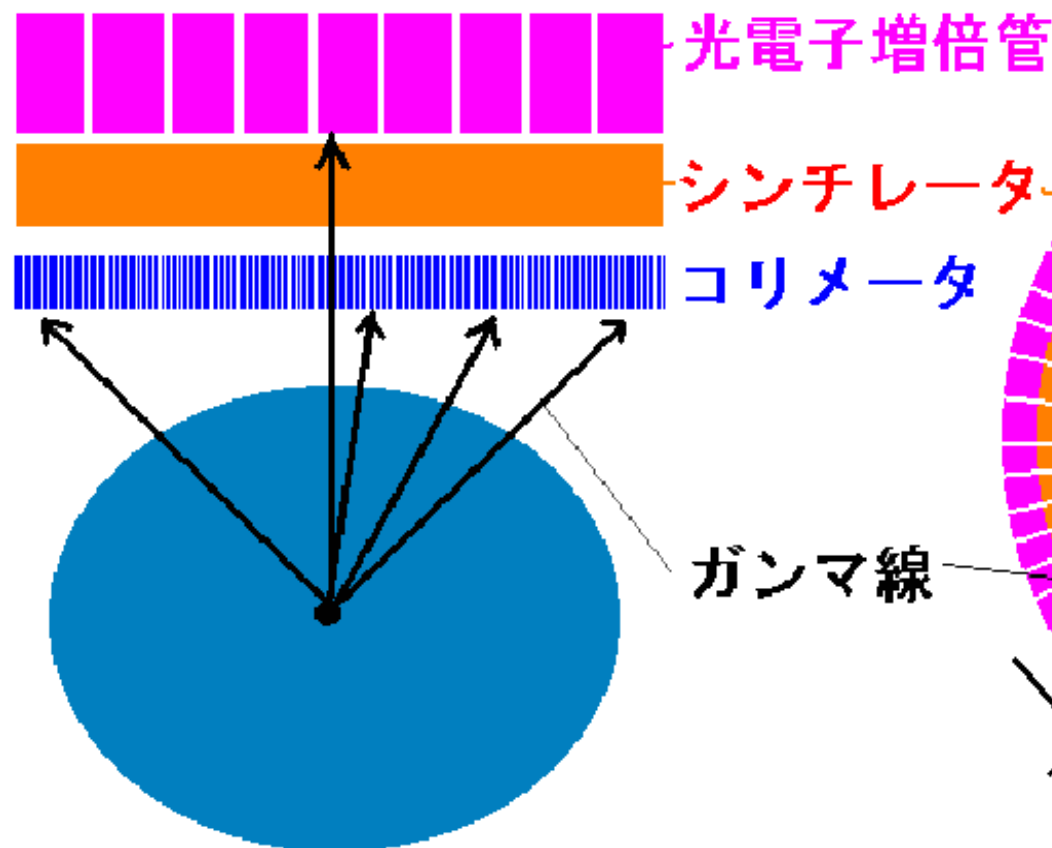
〔注解〕 5. エネルギー特性は放射線量測定において、各種の放射線検出器が測定する放射線エネルギーの変化と共に感度の異なる現象である。

PET 装置の性能で誤っているのはどれか。

- a. 検出器素子が小さいほど空間分解能が良くなる。
- b. 視野中心から遠ざかると空間分解能が悪くなる。
- c. リング径が大きくなると空間分解能が良くなる。
- d. 相対発光量は BGO より LSO のほうが少ない。
- e. 同時計数分解時間が短いほど計数率特性が良い。

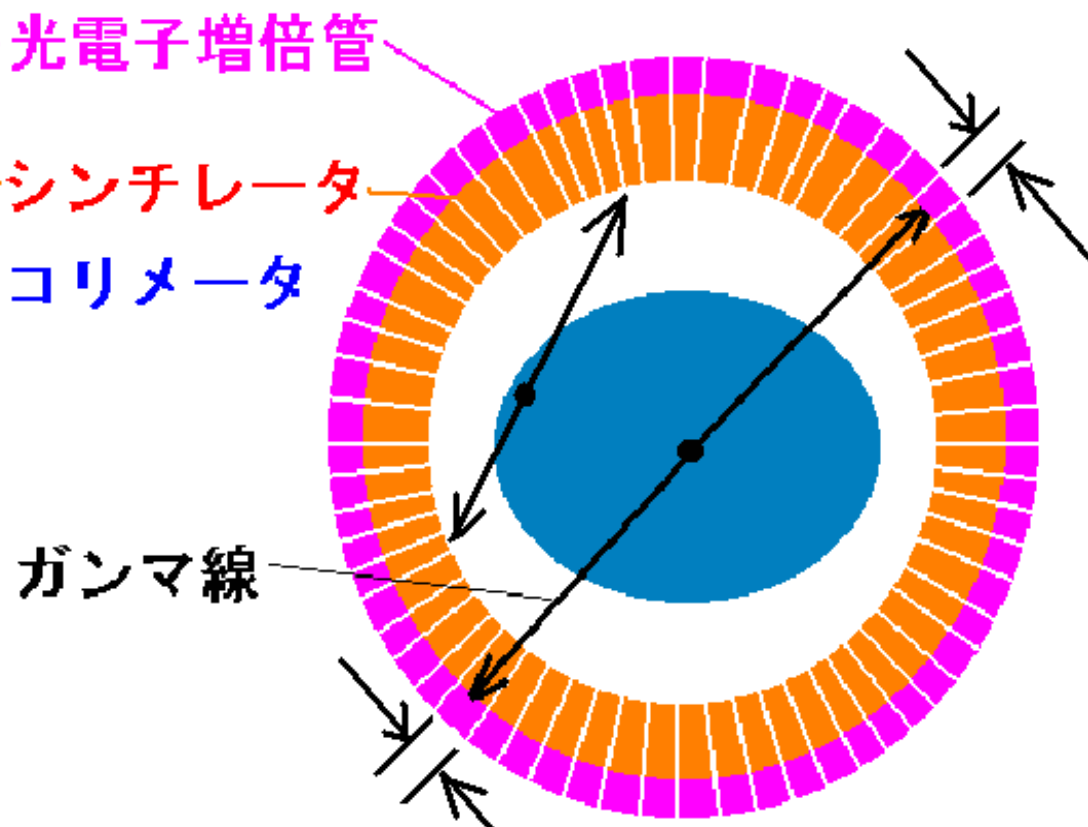
1. a、b 2. a、e 3. b、c 4. c、d 5. d、e

従来のシンチカメラ



SPECTとは逆に、
PETは画像の中心部ほど
分解能が良い。
(辺縁部からの γ 線はシンチレータ
に垂直に入射しないので検出効率
が悪い)

PET



PET装置の分解能は
シンチレータが小さいほど
向上する。

PETのリング径と分解能は
無関係

表 3・6 おもな PET 検出器用シンチレータ

シンチレータ	NaI (NaI : Tl)	BGO (Bi ₄ Ge ₃ O ₁₂)	LSO (Lu ₂ SiO ₅ : Ce)	GSO (Gd ₂ SiO ₅ : Ce)	BaF ₂
実効原子番号	51	74	66	59	54
密度 (g/cm ³)	3.7	7.1	7.4	6.7	4.9
減弱係数 (cm ⁻¹)	0.34	0.92	0.87	0.66	0.48
発光量 (相対値)	100	10	75	18	8
光の減衰時間 (nsec)	230	300	40	30~60	0.8
エネルギー分解能 (%)	8	18	12	8	—

(注) 減弱係数は 511keV の消滅放射線に対する値。

LSOは発光量が多い。 BGOは発光量が少ない。

光の減衰時間が短いLSO、GSOは数え落しが少ない。

(同時計数分解時間が短い。 計数率直線性がよい。)

GSO, LSOはエネルギー分解能が良い。

(コンプトン散乱成分を除去しやすいので、分解能が向上する。)