

平成18年 国家試験

問題 54 PETで正しいのはどれか。2つ選べ。

1. 陽電子の飛程が長いと空間分解能が改善する。
2. BGOはNaI(Tl)と比較してエネルギー分解能が高い。
3. 2D収集は3D収集と比較して感度が低い。
4. 計測する放射線のエネルギーは核種によらず一定である。
5. 投与量と偶発同時計数率は逆比例する。

解答 3, 4

陽電子消滅 (annihilation)

陽電子を放出する核種の近傍において、陽電子と電子が結合し、1対の0.511 MeVのガンマ線を互いに反対方向に放出すること。

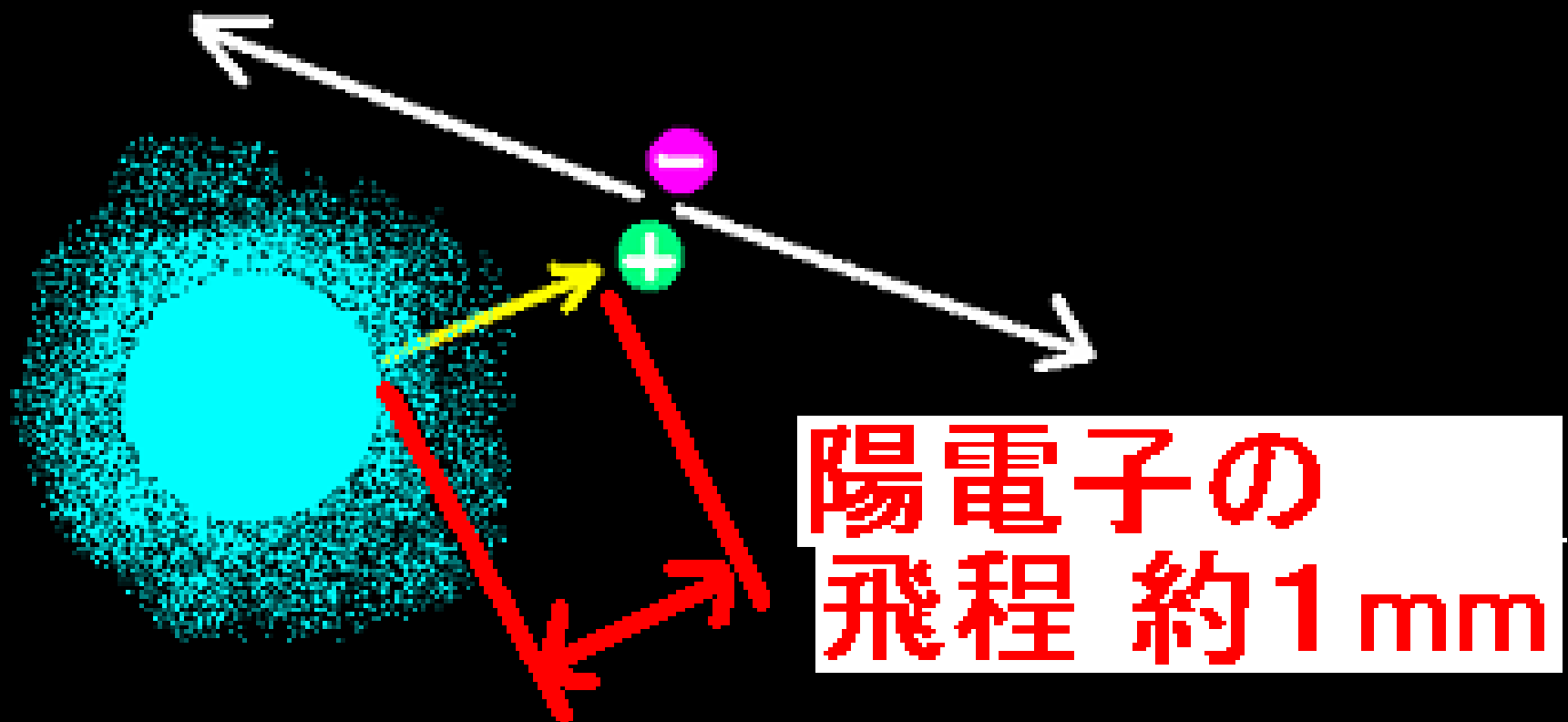


表 3・6 おもな PET 検出器用シンチレータ

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 511 keV の消滅放射線に対する値。

密度の高い(重い)結晶ほど、高エネルギーγ線と相互作用を
起こしやすい(線減弱係数が大きく、光りやすい。感度が高い)。

光の減衰時間が短い結晶ほど数え落しが少ない(計数率直線性がよい)。

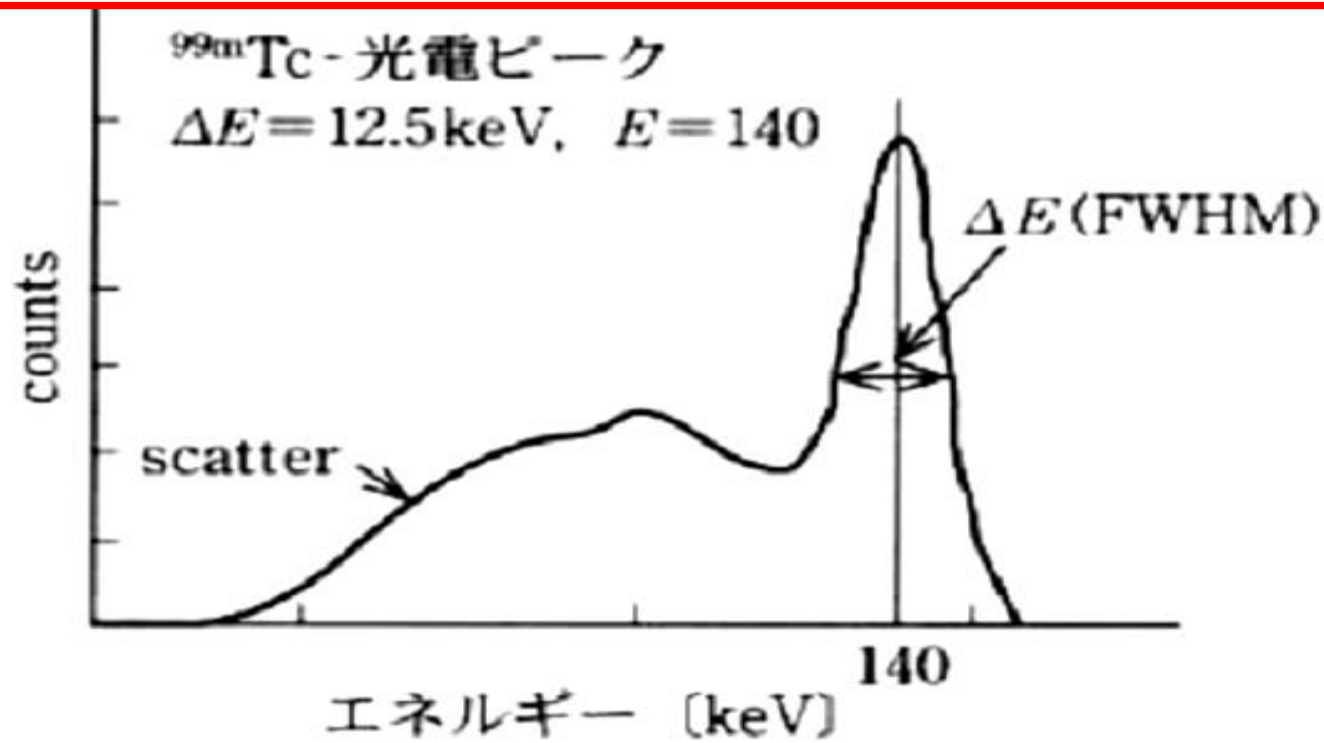
数年前のPETには、BGOが使用されていたが、
最近のPETには、GSO、LSOが使用されている。

$$\text{エネルギー分解能} = \Delta E / E$$

エネルギー分解能の値は小さいほど

エネルギー分解能は良い(高い)。

エネルギー分解能が良いと、コンプトン散乱線の除去が容易になり画質が向上する。



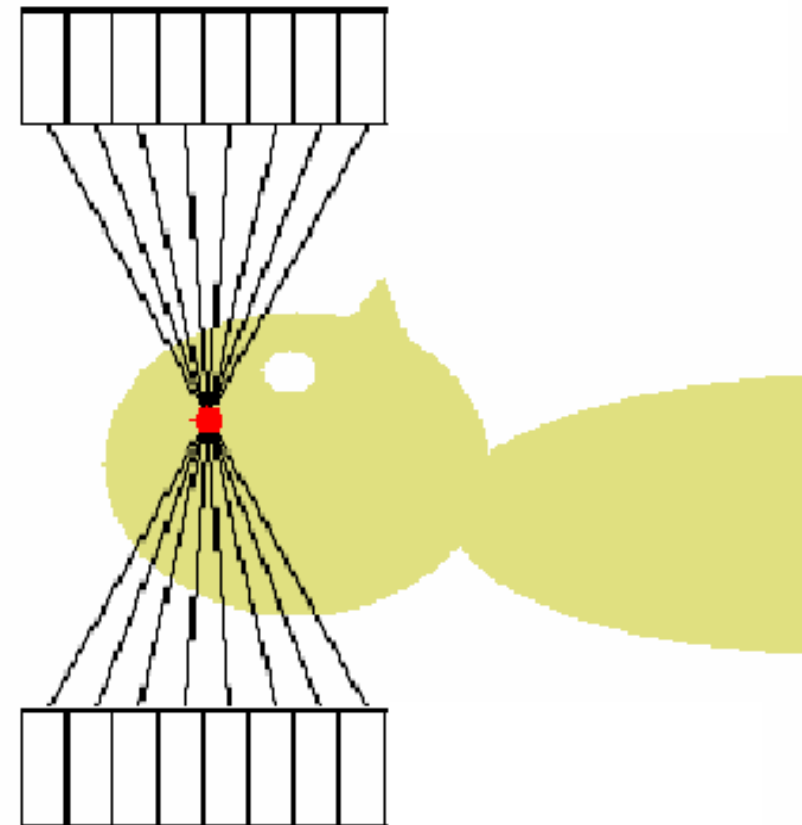
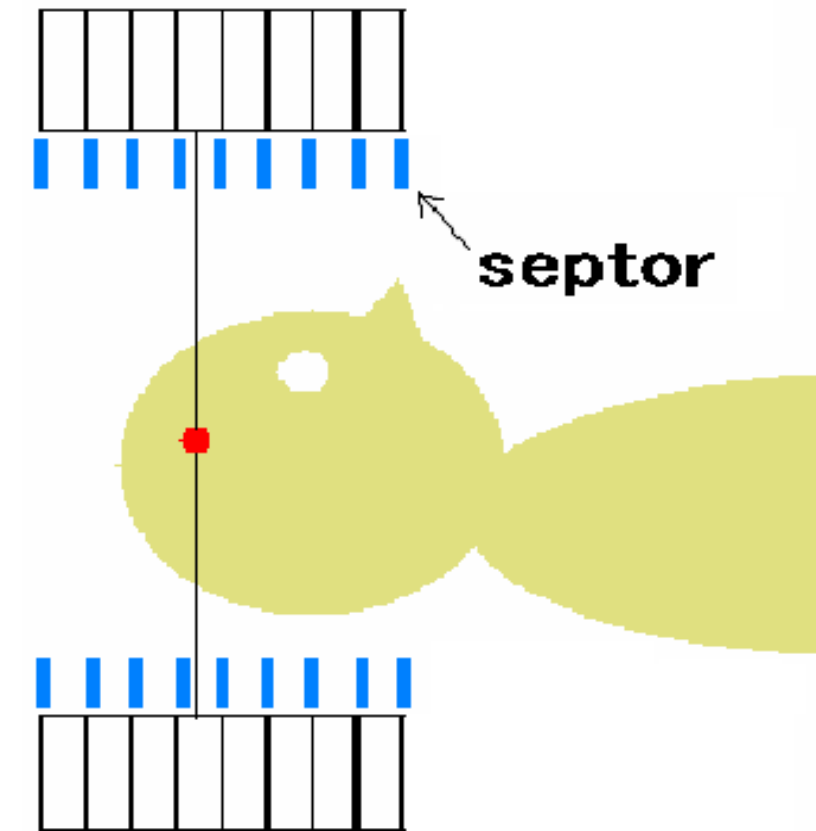
0.511 MeV の光子に対するシンチレータの特性で、BGO に比して LSO に特徴的なのはどれか。

1. 線減弱係数が大きい。
2. 相対発光量が小さい。
3. 発光減衰時間が長い。
4. 実効原子番号が小さい。
5. エネルギー分解能が良い。

3次元(3D)収集は、2D収集に比べ、感度は5倍。

短時間で良好な画像を収集できるが、

散乱線は3倍で、定量性の精度が低下する。

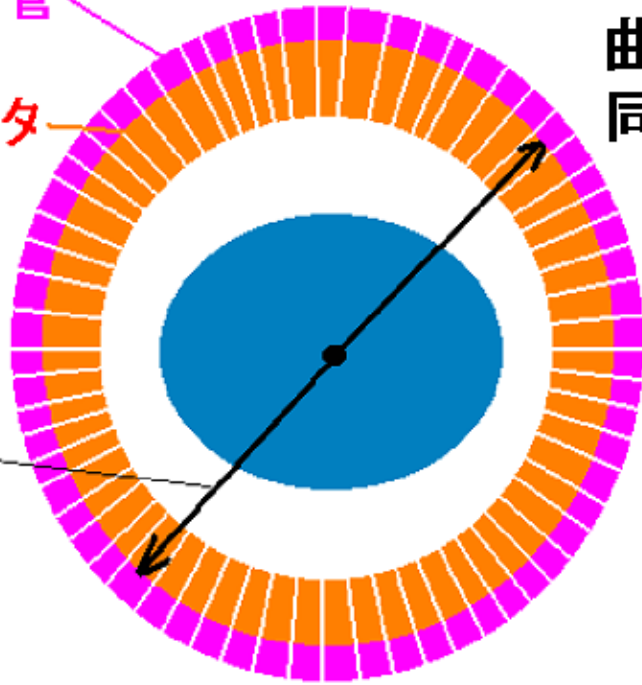


PETにも散乱線のアーチファクトがあり、
2D収集よりも3D収集の場合で散乱線成分が約5倍多くなる。
様々な散乱補正法が考案されている。

光電子増倍管

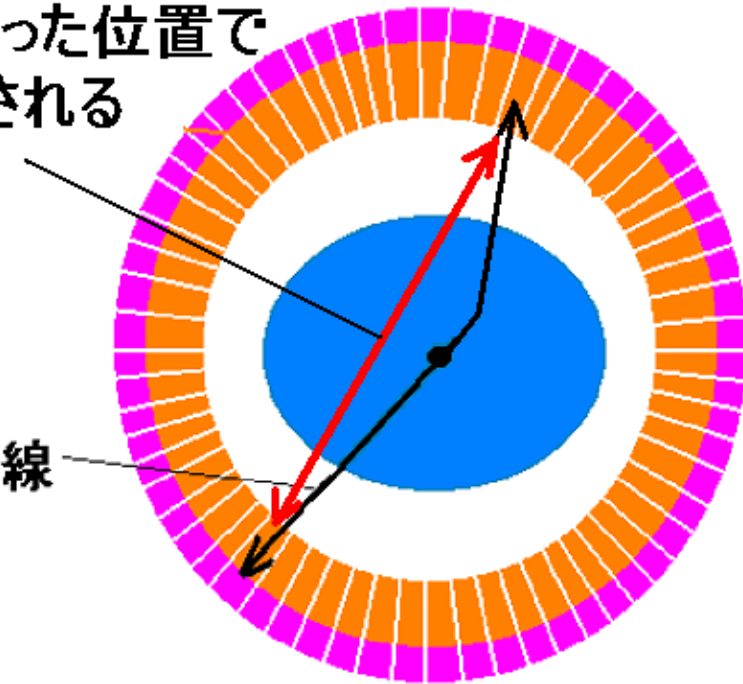
シンチレータ

ガンマ線



コンプトン散乱などで
ガンマ線の軌跡が
曲がると誤った位置で
同時計数される

ガンマ線



偶発同時計数による測定誤差は、

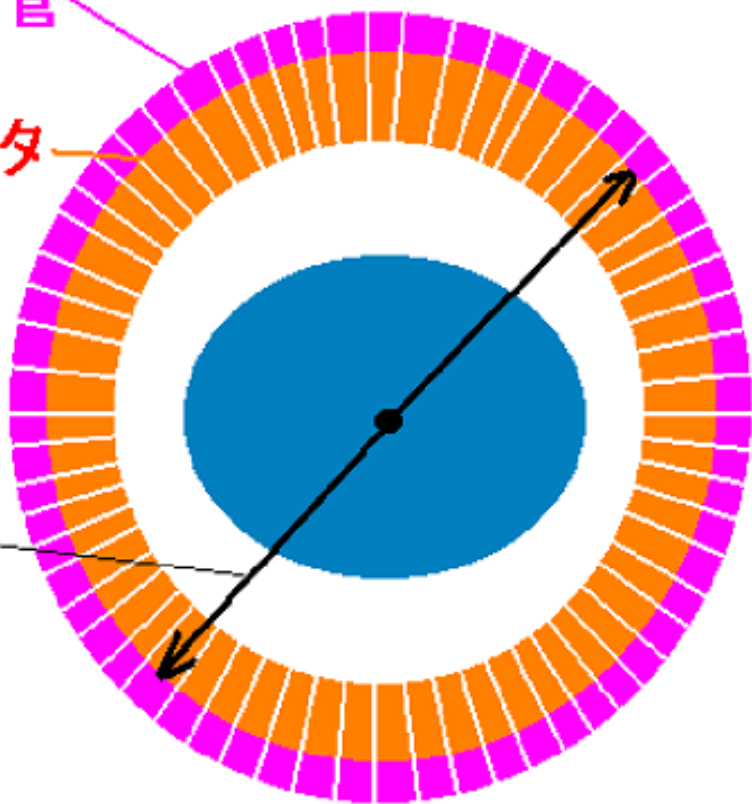
2D収集よりも3D収集の場合で多くなる。そのため、

3D収集では、投与放射エネルギーが多すぎると逆に画質が悪化する。

光電子増倍管

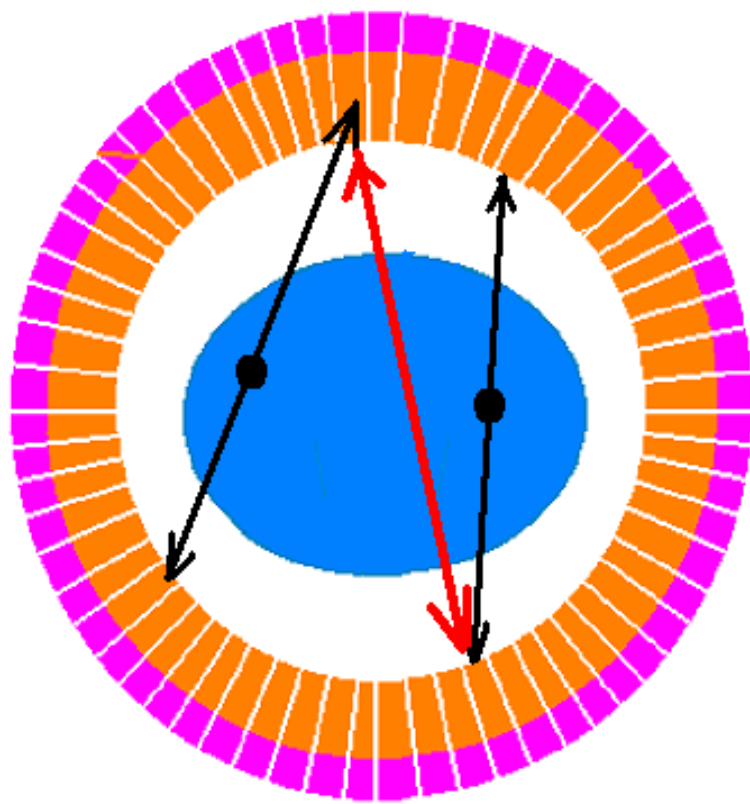
シンチレータ

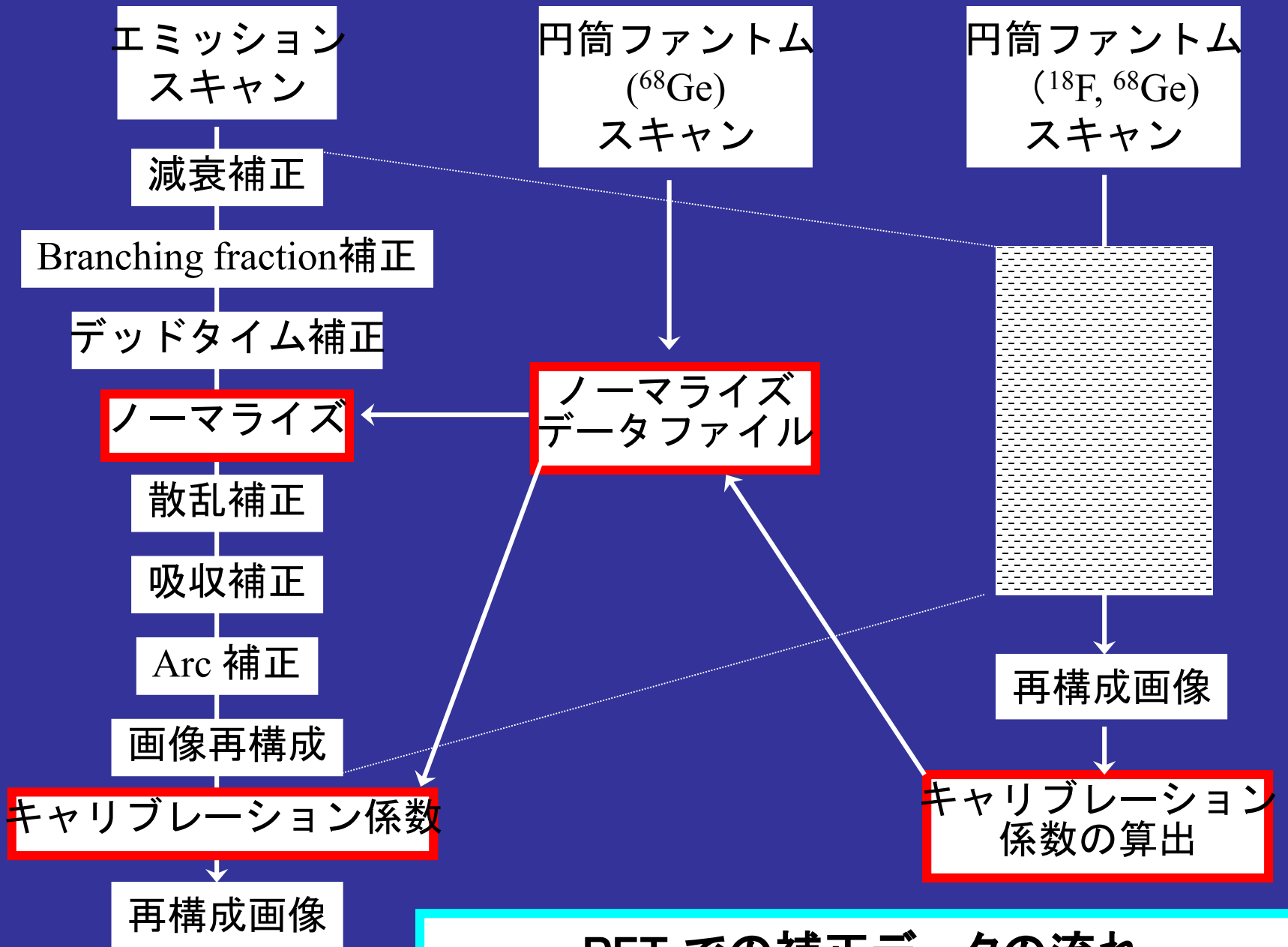
ガンマ線



偶発同時計数

Random Error





PET での補正データの流れ

日常業務でのPET装置の管理

• ブランクスキャン

検出器の異常を見つけるためにも
始業前に**毎日**実施する。

• キャリブレーション

2週間に1度程度は行った方が良い。

• ノーマライズ

ディテクタ（検出器）異常時、交換時
に必要。

3ヶ月に1度くらいは行った方が良い。

ブランクスキャン

始業前に毎日実施する。

トランスミッションデータの補正に用いる空気の吸収係数を得るために行う。

ブランクスキャンは、トランスミッション用ロッド線源を使って毎日実施する。

検出器の異常を確認するため、ブランクスキャンのサイノグラムを目視点検する。

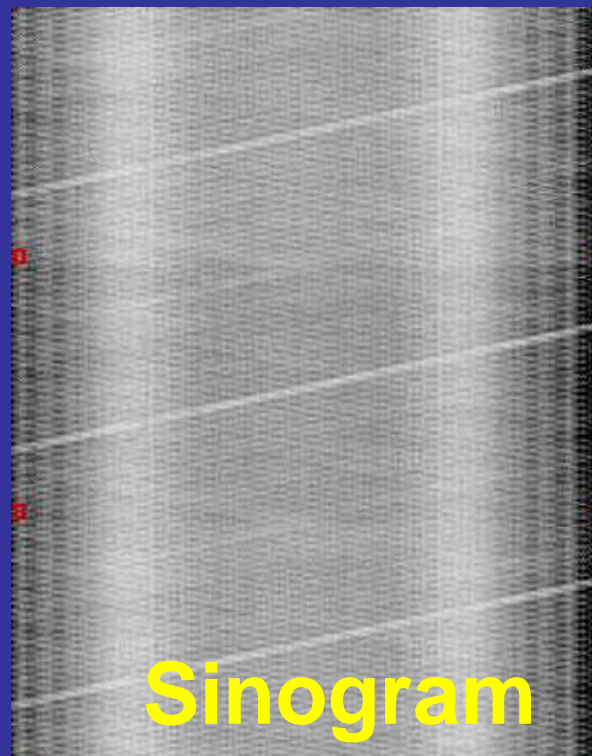
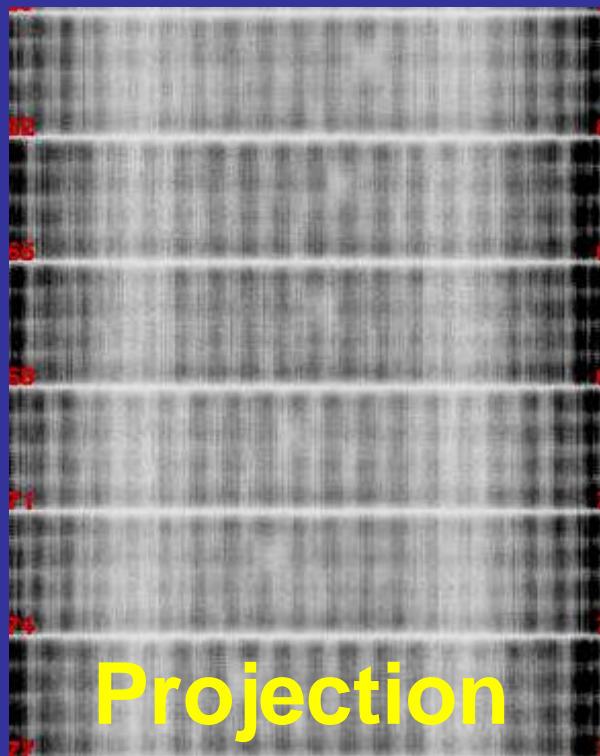
始業前に毎日実施する作業（Daily QC）

ブランクスキャンデータで、検出器の感度のばらつきを確認。

前回データとの比較、検出器間の感度差の確認。

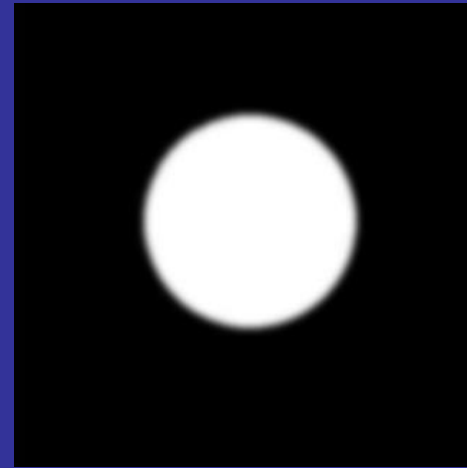
許容範囲を超える場合、まずノーマライズを実施し、

それでも改善しなければ、検出器の交換を検討する。

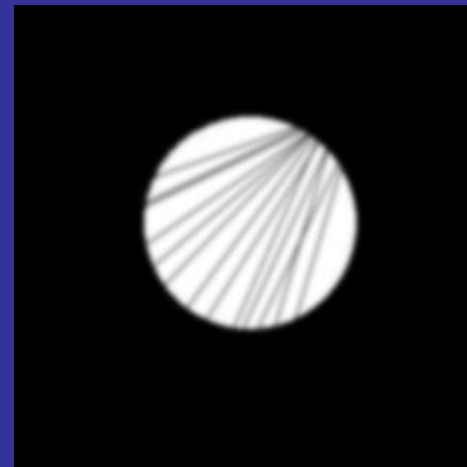


ディテクター（検出器）が故障した場合、
ブランクスキャンのサイノグラムに斜線が出現する。

正常



1つディテクタ
故障

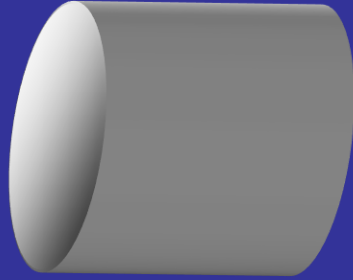


サイノグラム

再構成画像

キャリブレーション

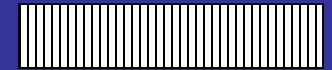
2週間に1度程度行う



ガントリーの中心に配置



径20cmのファントム
(放射能濃度が既知のもの)



再構成画像の値が本来の値(Bq/mL)になるように
キャリブレーションファクターを決める。

PET装置全体の感度

感度の低下をもたらすもの

- ・ 画像の値(Bq/mL)に誤差
- ・ 画像ノイズの増加

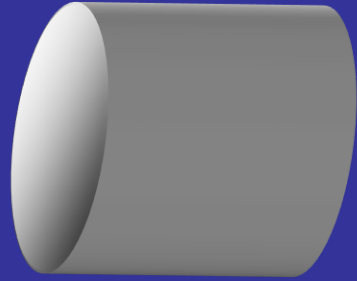
感度の変化をもたらすもの

- ・ ガントリ内温度変化

キャリブレーションスキャン

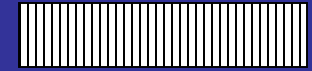
- ・ PETは放射能定量測定器
→ 定期的にキャリブレーションを行うのが望ましい
1回／2週間、適宜

ノーマライズの実施 検出器の感度差の補正 程度



径20cmの ^{68}Ge のファントム

3ヶ月に1回



ガントリーの中心に配置



2D, 3D 共別個に測定



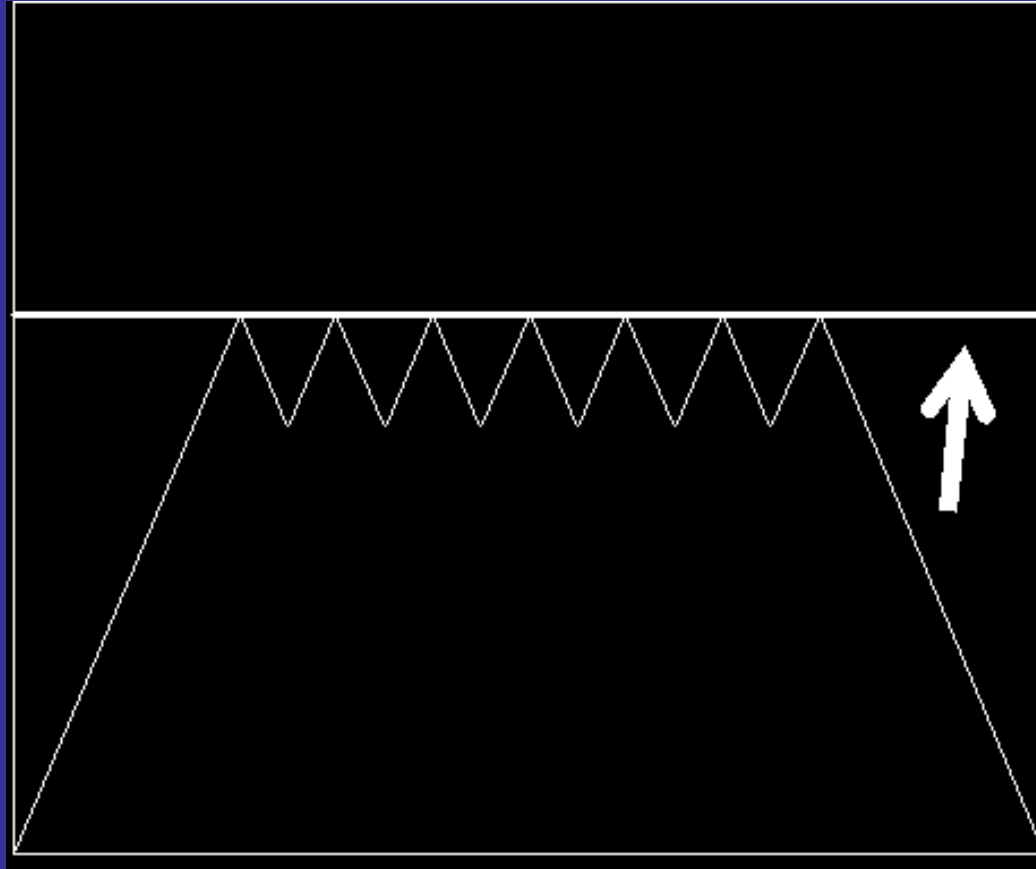
ノーマライゼーション補正は、クリスタル間の感度差を測定し、
得られた**補正マップ**を各エミッションスキャンに適用する。

収集時間は、吸収補正に適した高品質の統計データを確保できる
ように十分なカウント数が必要。

2D収集と3D収集で個別に実施する必要あり。

スライス感度 Plane Efficiency

感度

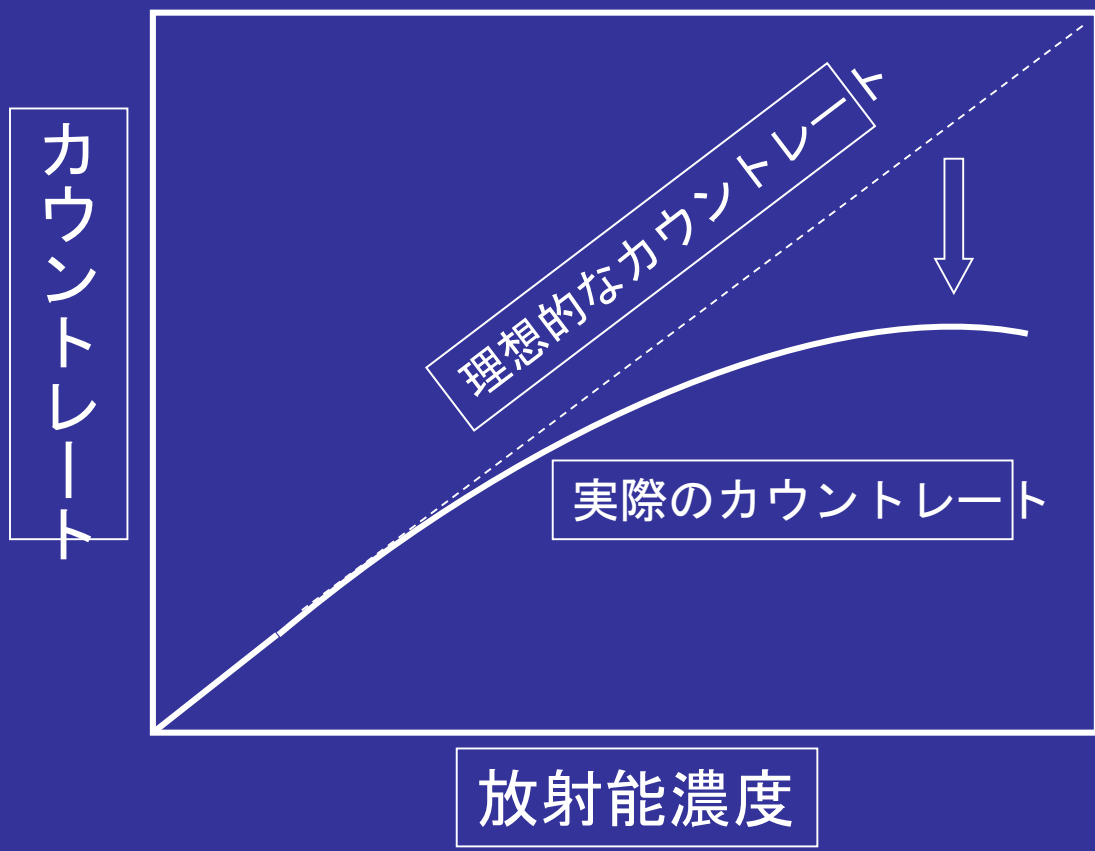


スライス番号

見た目に同じ
感度にする為
各スライス毎に
ファクタをかけ

デッドタイムとカウントレート

PET は感度が高いので、臨床で使用する放射能濃度でも
数え落しの影響が出る可能性がある。



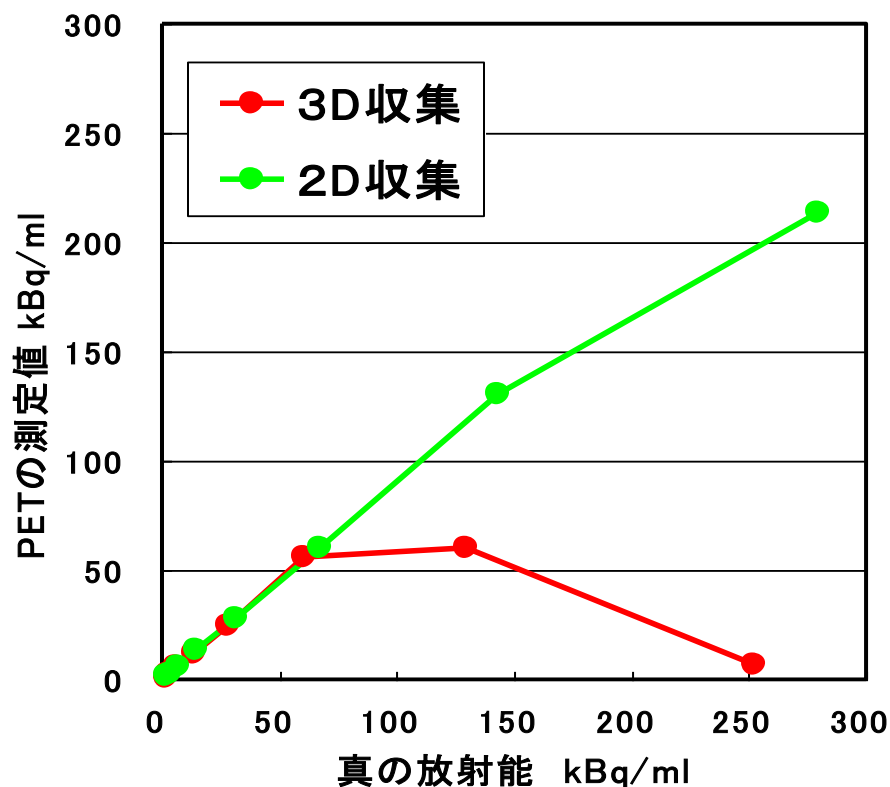
円柱ファントムに高濃度の ^{18}F 溶液を入れて

2時間おきに8回撮像し、計数率直線性を調べた。

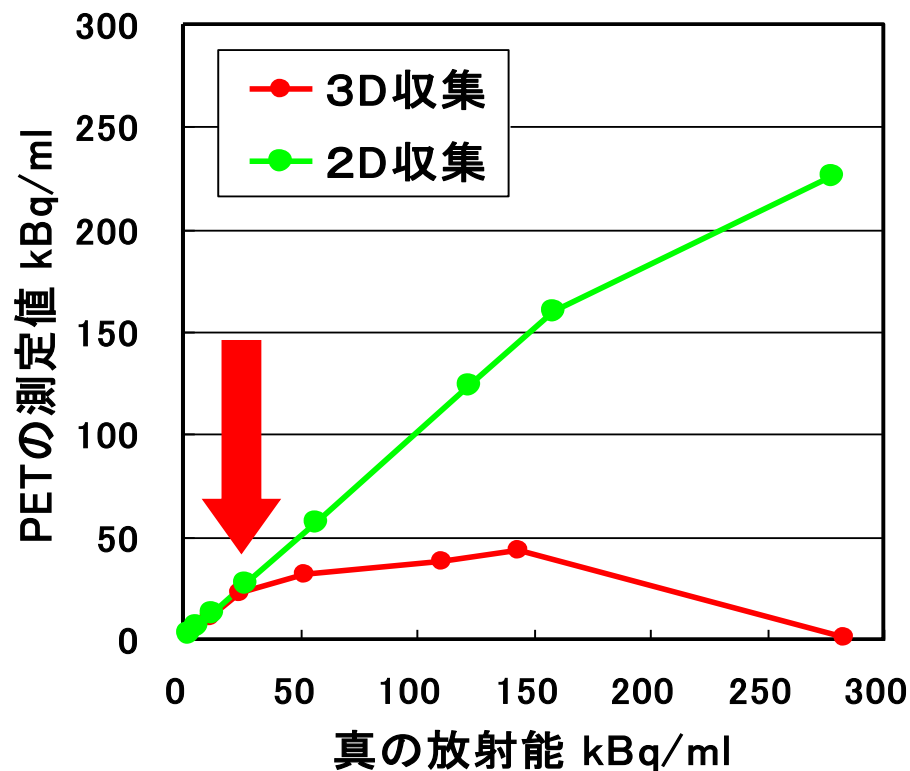
高分解能型PETであるSIEMENS HR+ では

25000Bq/mL 以上で計数率の直線性が崩れている。

SIEMENS ECAT 47



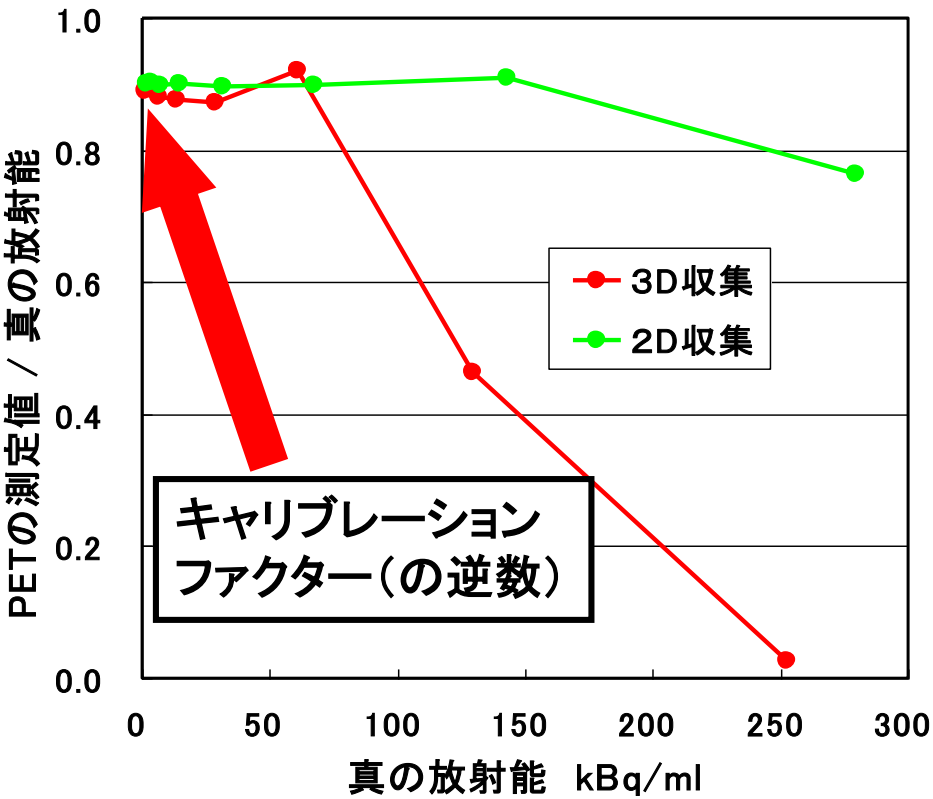
SIEMENS ECAT HR+



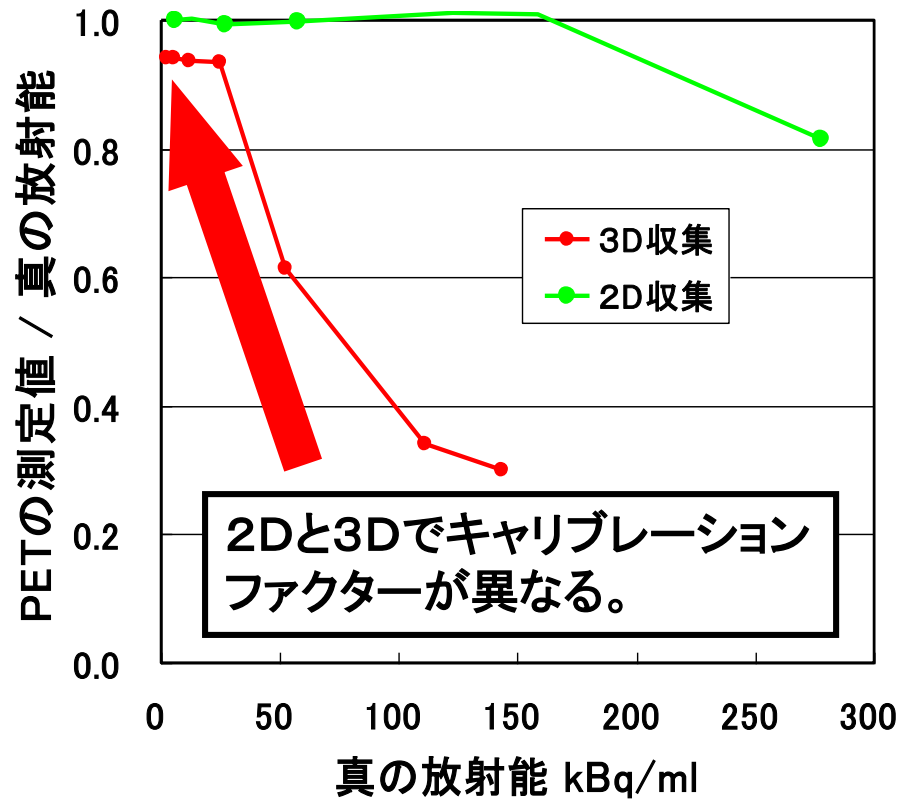
同じBGO結晶の装置でも計数率直線性がかなり異なっていた。

各PET装置で、計数率の直線性を調べておく必要がある。

SIEMENS ECAT 47

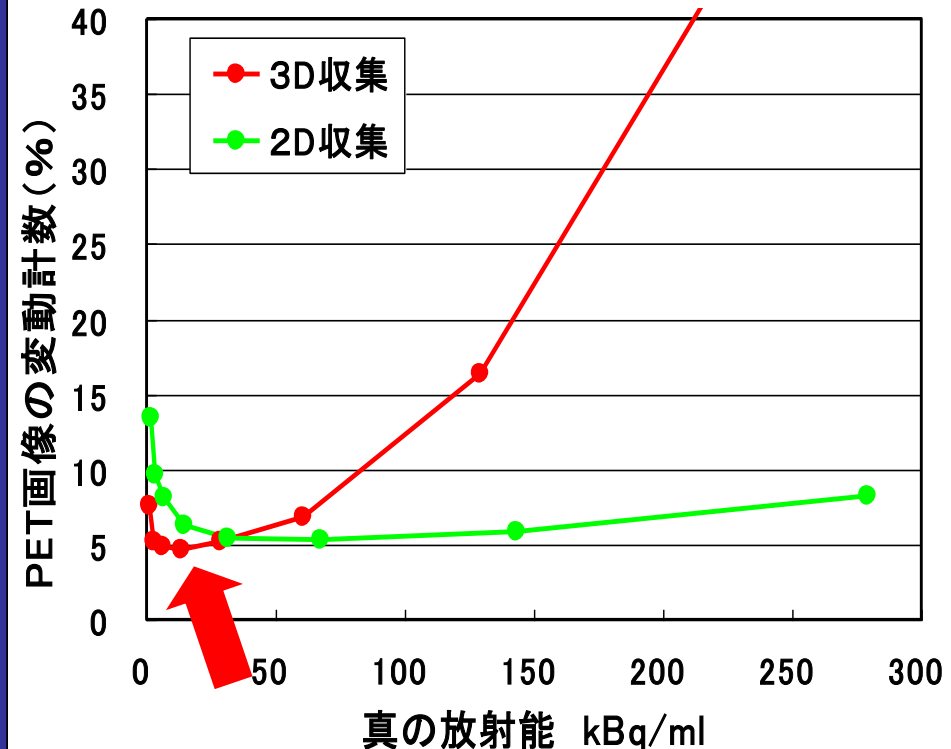


SIEMENS ECAT HR+

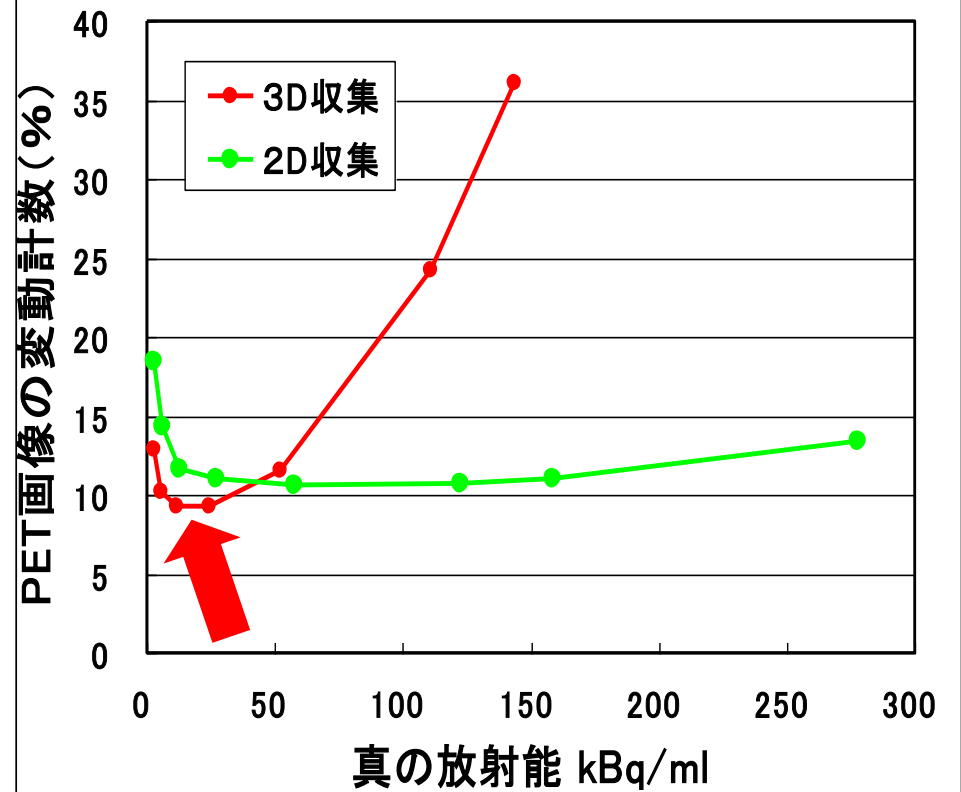


同じ円柱ファントムデータで、画像の均一性を調べた。
放射能濃度とカウント変動計数(標準偏差/平均)の関係。
3D収集では、低い放射能濃度でも画質が2Dより良好だが、
高い放射能濃度では画質が悪い。

SIEMENS ECAT 47



SIEMENS ECAT HR+



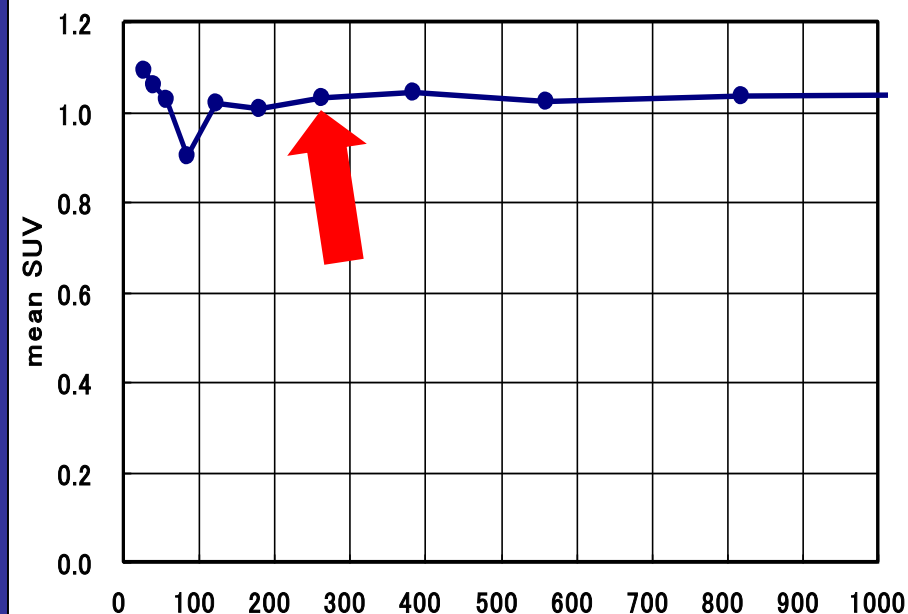
ALLEGROの メーカー推奨投与量 259MBq/50kg

を検証した。良さそうな気もする結果を得たが、

それ以下では画質が急に悪くなることも推測される。

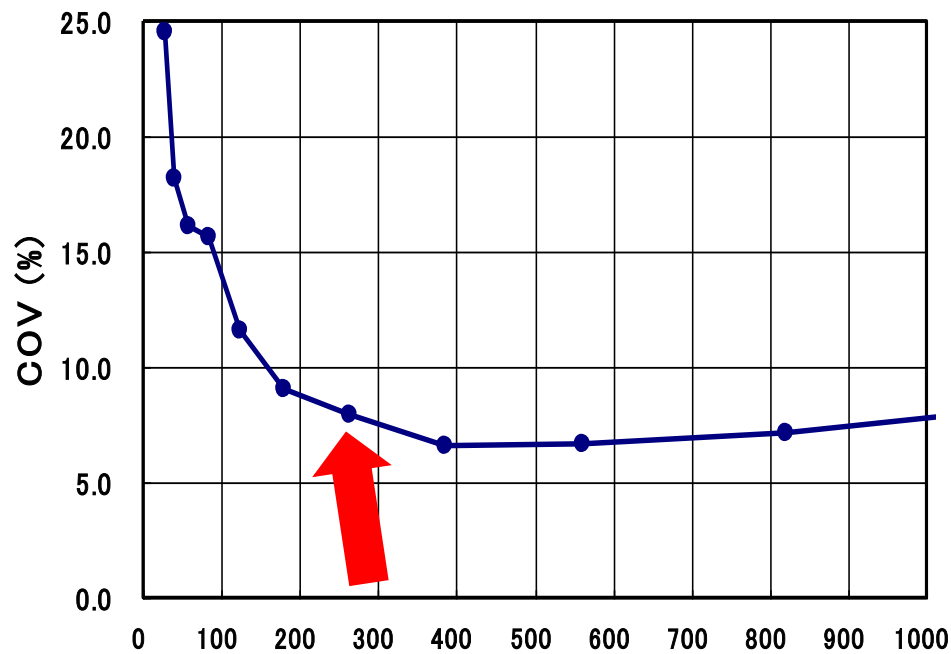
このようにして適切な投与量が推定できる。

mean SUV (SUV 1 円柱ファントム)



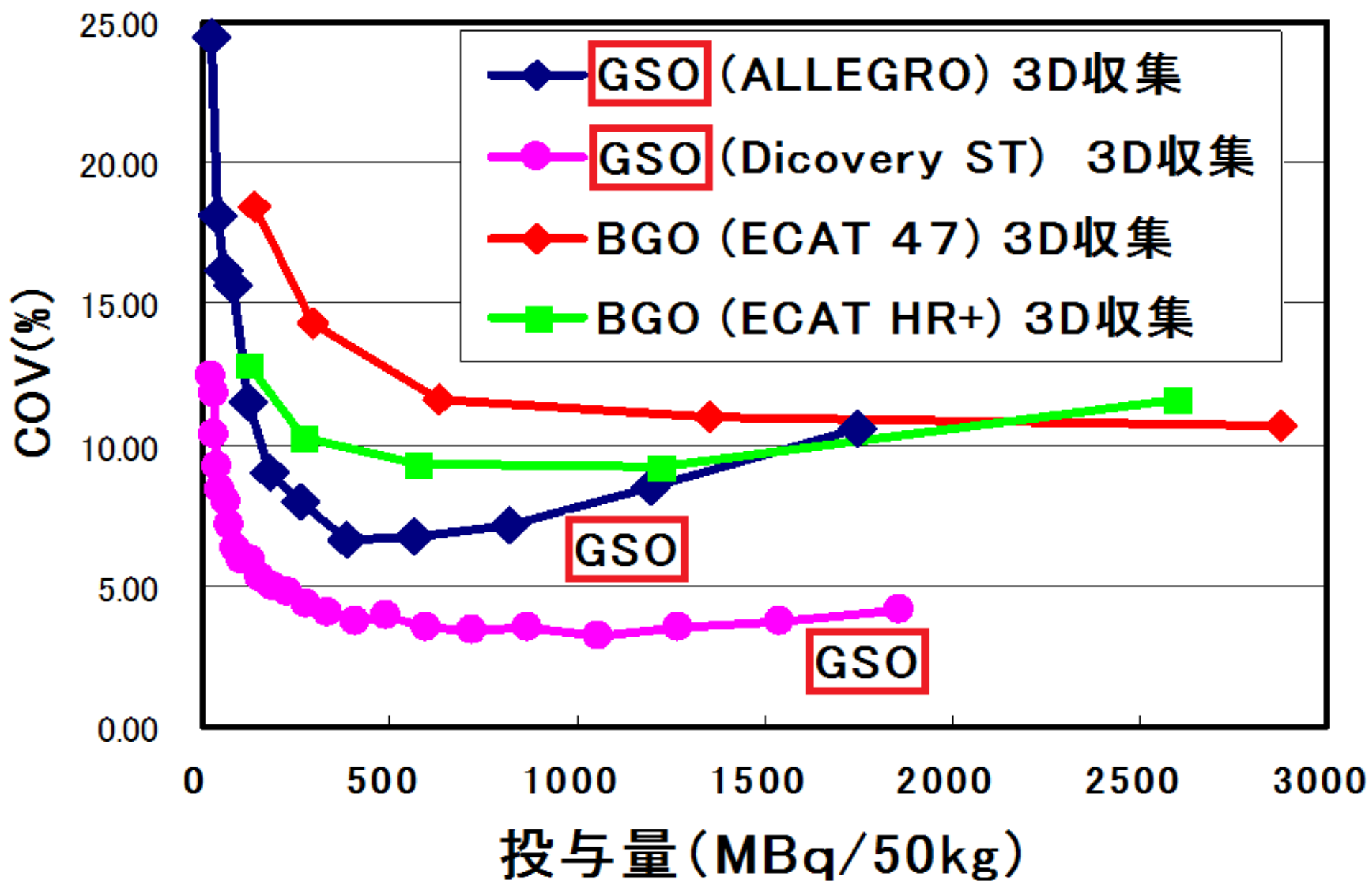
投与量 (MBq/50kg) (メーカー推奨259MBq)

COV (mean/sd) (SUV1 円柱ファントム)



投与量 (MBq/50kg) (推奨259MBq)

投与量とCOUNT変動計数



【問題 4-76】 (平成 14)

SPECT 装置と PET 専用装置とで共通するのはどれか。

- a. 光電子増倍管
- b. 平行多孔コリメータ
- c. 同時計数回路
- d. BGO シンチレータ
- e. 波高分析器

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

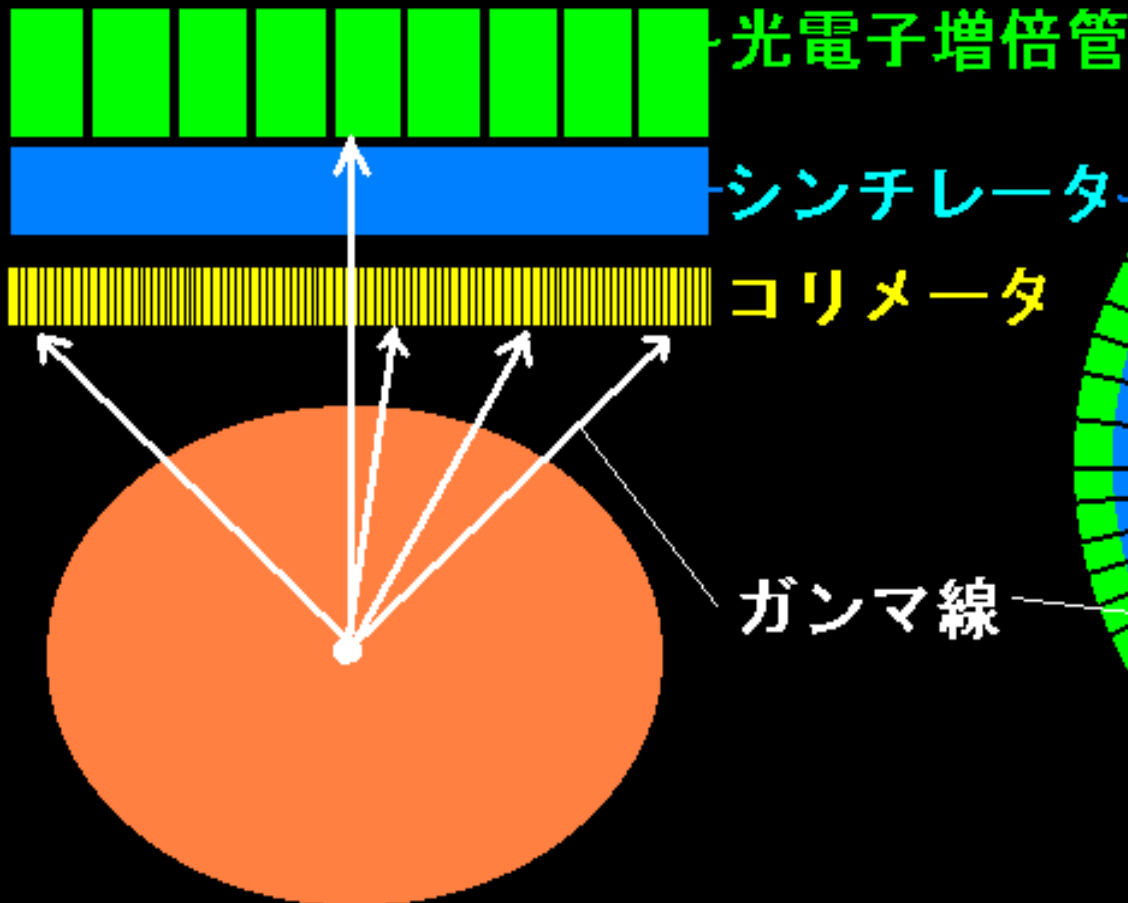
〔注解〕 a. 光電子増倍管, e. 波高分析器は, SPECT 装置と PET 専用装置に用いる。

b. 平行多孔コリメータは SPECT 装置, c. 同時計数回路は PET 専用装置, d. BGO シンチレータは PET 専用装置にそれぞれ用いる。

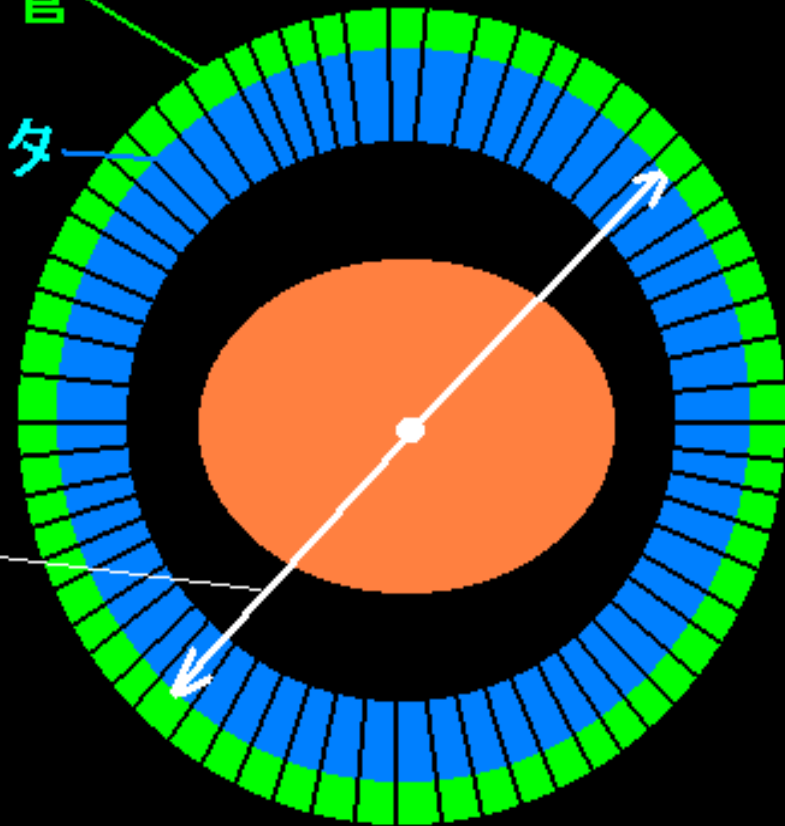
PETカメラは、コリメータがないので高感度。

同時計数された1対の γ 線入射信号を画像データに使うのでバックグラウンド(散乱線などの不要な成分)が少ない。

従来のシンチカメラ



PET



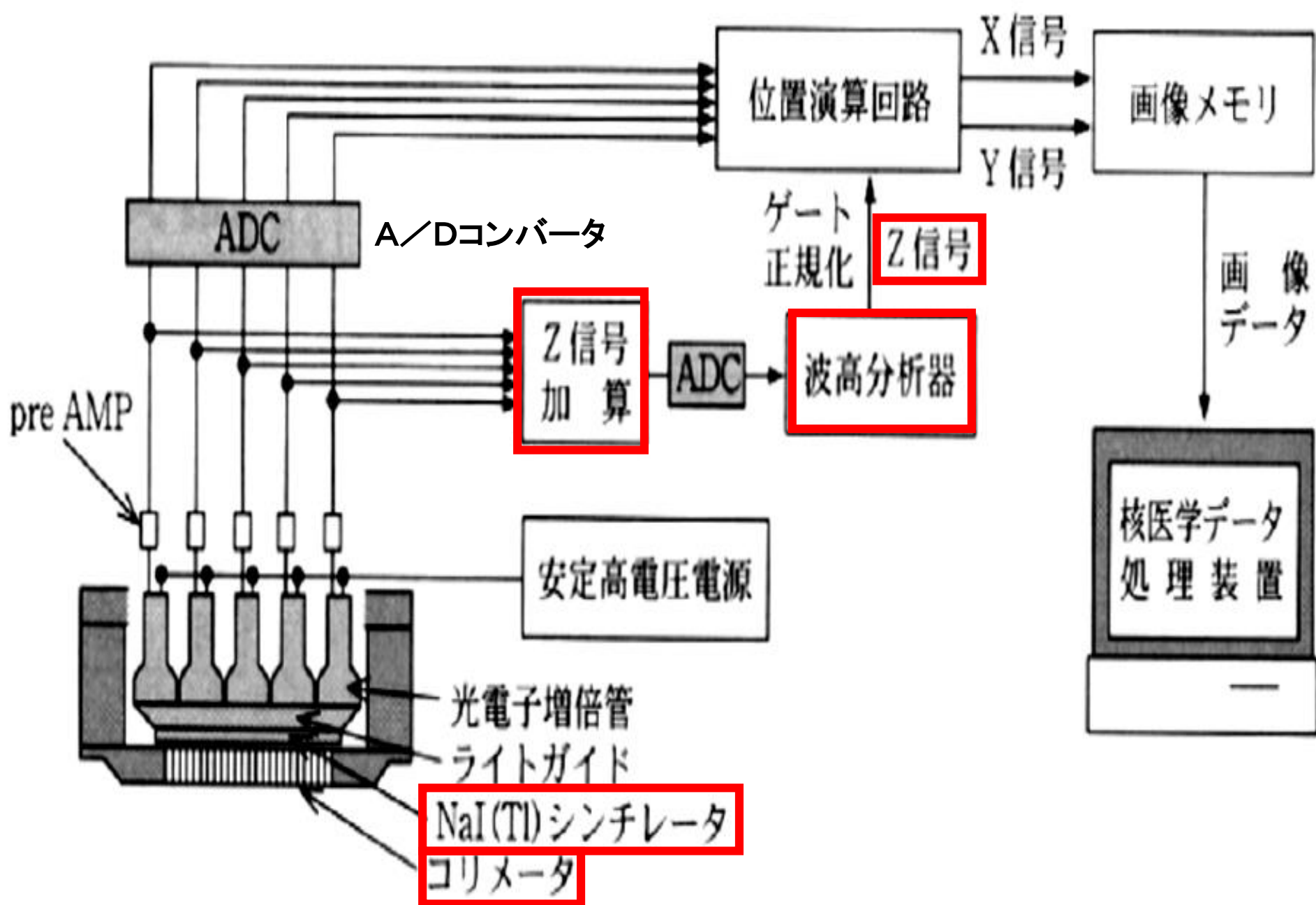


図 3・2 フルデジタルシンチカメラの構成

【問題 4-78】（平成 11）

PET 装置について誤っているのはどれか。

1. 0.511 MeV の消滅放射線を測定する。
2. 小型サイクロトロンで生産された ^{15}O を利用する。
3. 同時計数回路を用いればコリメータなしで撮像できる。
4. 単検出器を回転させてデータを収集する。
5. SPECT と兼用できる装置が開発されている。

〔注解〕 4. PET 装置の検出器は単検出器でなく、BGO や BaF_2 の検出器を数十～数百個リング状に配置する。

1, 2, 3, 5 の PET についての記述はいずれも正しい。

^{18}F 110 min

$^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$

^{15}O 2.04 min

$^{14}\text{N}(d,n)^{15}\text{O}$, $^{15}\text{N}(p,n)^{15}\text{O}$

^{11}C 20.4 min

$^{14}\text{N}(p,\alpha)^{11}\text{C}$

^{13}N 9.97 min

$^{12}\text{C}(d,n)^{13}\text{N}$, $^{16}\text{O}(p,\alpha)^{13}\text{N}$



サイクロトロン

住友重工

CYPRIS HM-18

陽子(p)および
重水素原子核(d)の
加速が可能

2ヘッド型SPECT用ガンマカメラで、陽電子消滅で放出された1対のガンマ線を同時計数で検出する装置の開発が数年前まで行われていたが、シンチレータがNaIなので、密度が軽く、高エネルギー γ 線と相互作用を起こしにくい(線減弱係数が小さく感度が低い)ので、画質が悪く、実用性に乏しいため現在はあまり研究開発されていない。



【問題 4-79】（平成9）

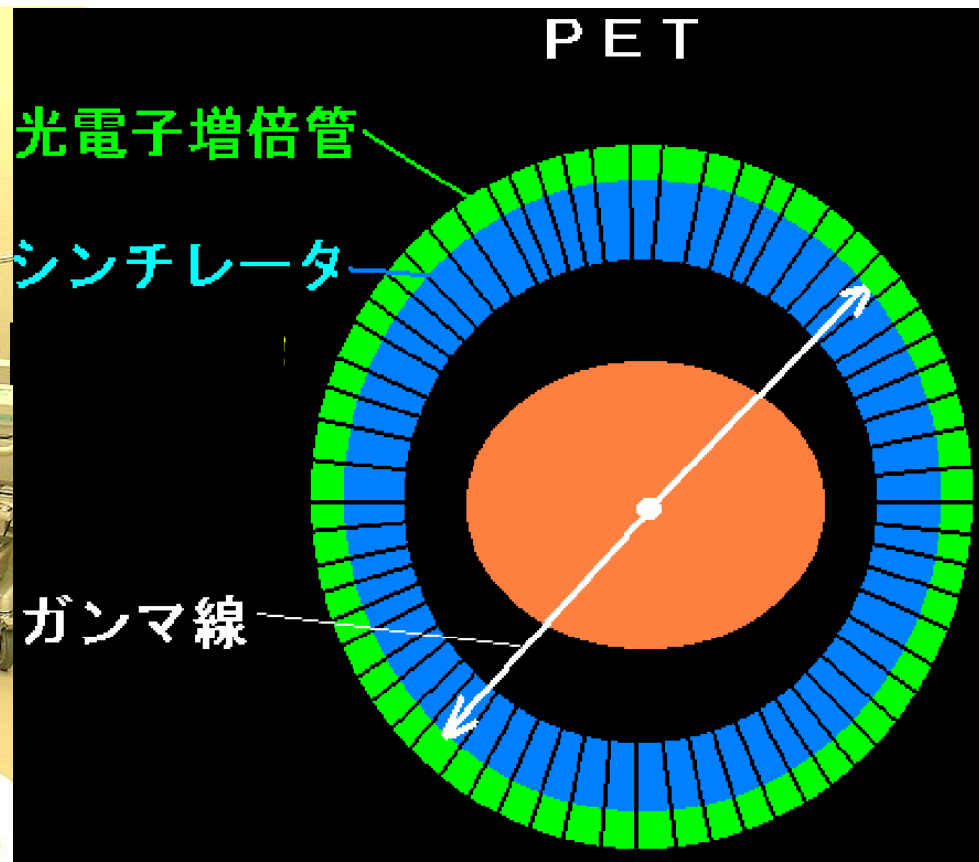
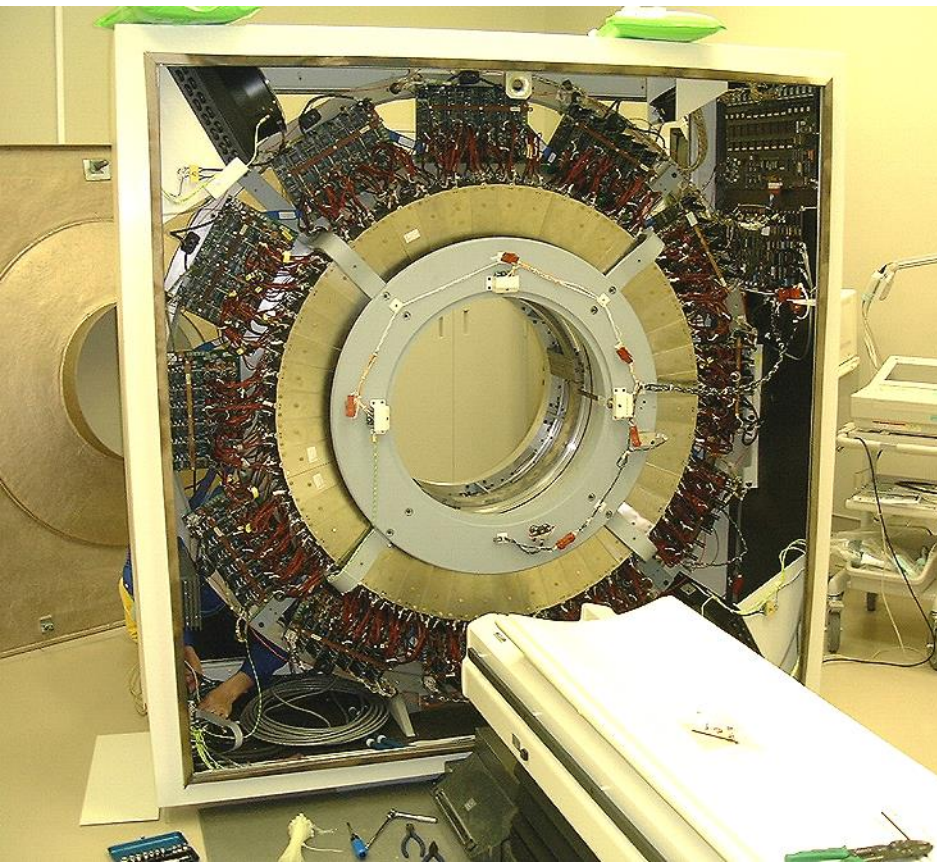
ポジトロンCTについて誤っているのはどれか。

1. 陽電子の消滅放射線を同時計測する。
2. 解像力は検出素子の大きさ（幅）で制限される。
3. SPECTより正確に定量できる。
4. SPECTより解像力が劣る。
5. 検出器にはBGOが使用される。

〔注解〕 ポジトロンCTは陽電子放出核種をトレーサとして用い、検出器を対向させ同時計数で γ 線を検出し、一定角度ごとの投影データを収集し断層像を得るイメージ装置である。検出器には現在 $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ （BGO）シンチレータが用いられている。特性として標識代謝物質の体内分布、生理機能検査、定量性はSPECTより優る。

PETのシンチレータは、SPECTカメラとは異なり、数センチ径程度の小さいシンチレータが輪状に配列されている。

シンチレータの径が小さいほど、ガンマ線検出の位置情報を正確に取得できるので、再構成画像の解像度が向上する（半値幅FWHMが小さくなる）。



【問題 4-80】 (平成 13)

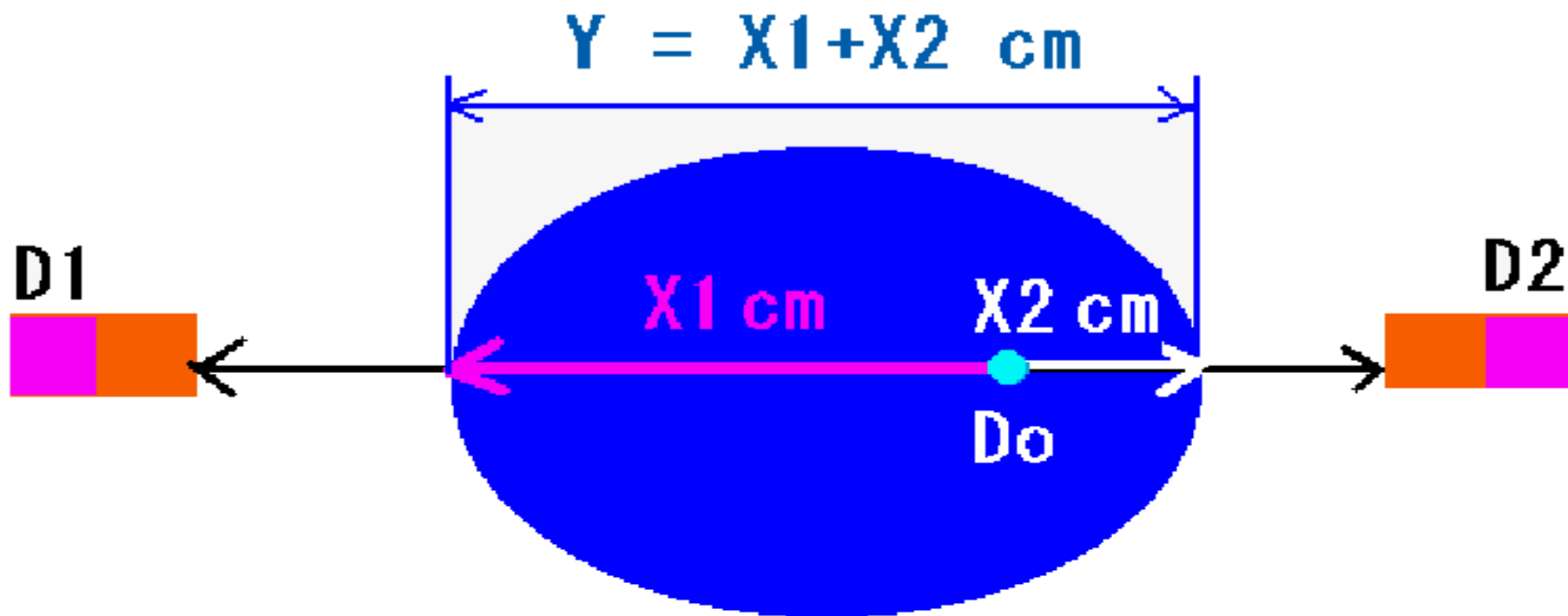
PET で誤っているのはどれか。

1. 消滅放射線を測定する。
2. 専用機のシンチレータは NaI (Tl) である。
3. 同時計数によってデータを収集する。
4. 使用する放射性医薬品の半減期は短いものが多い。
5. トランスミッションスキャンで吸収補正が可能である。

〔注解〕 2. PET のシンチレータは BGO が用いられる。

1, 3, 4, 5 の記述はいずれも正しい。

PETは、Transmission画像で吸収補正を行うので定量性が良い。



$$D_1 = D_0 \exp(-\mu X_1)$$

$$D_2 = D_0 \exp(-\mu X_2)$$

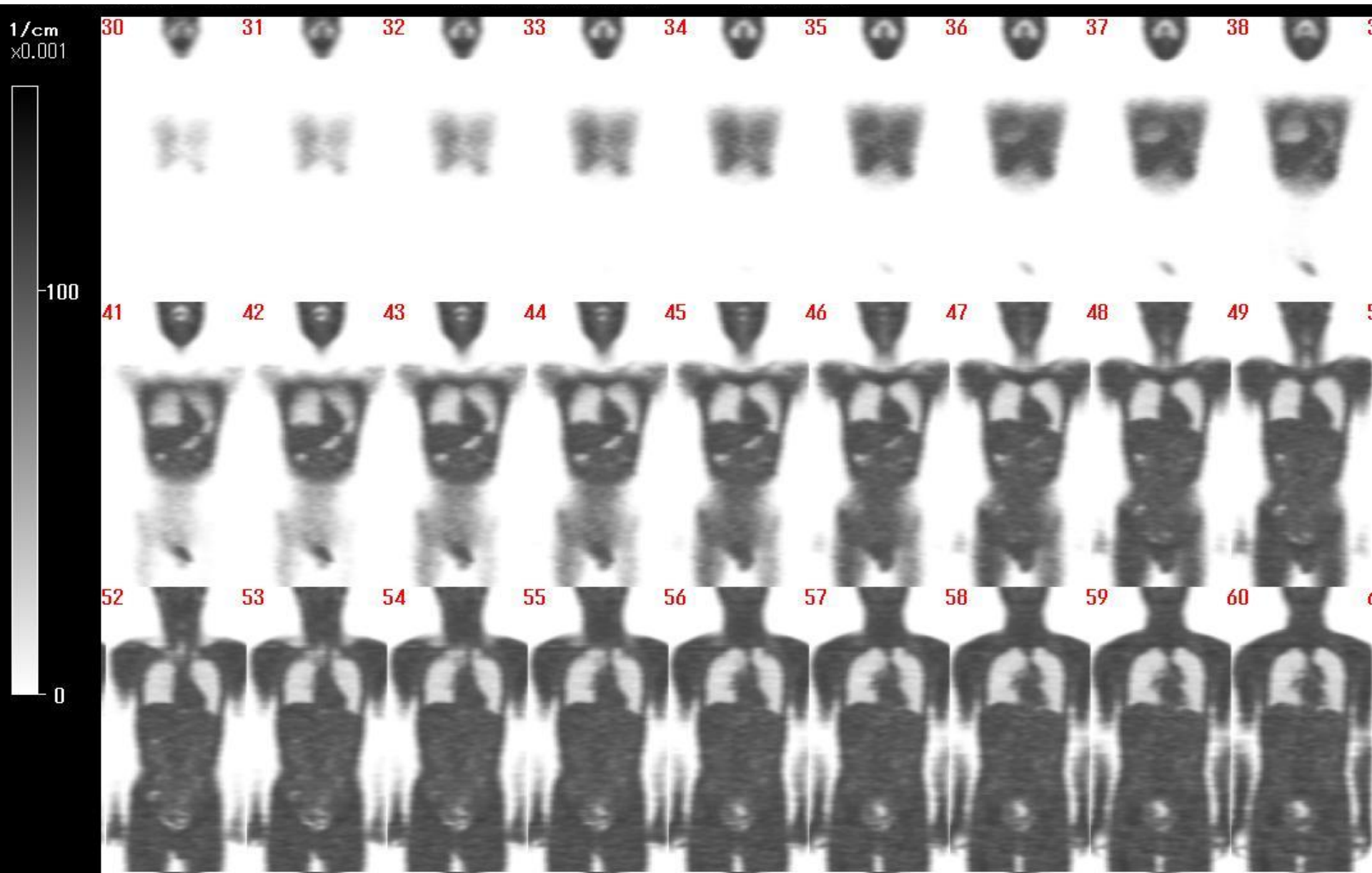
$$D_1 D_2 = D_0 D_0 \exp(-\mu (X_1 + X_2))$$

$$D_0 = \sqrt{D_1 D_2 \exp(\mu Y)}$$

^{68}Ge Transmission image

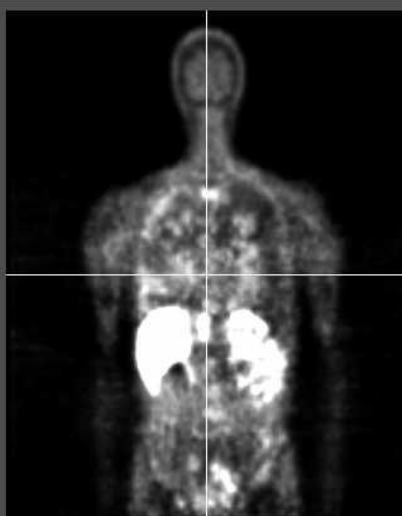
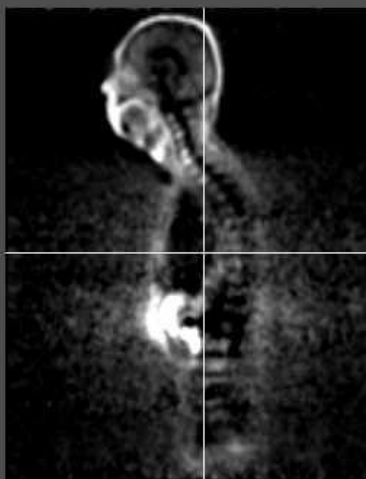
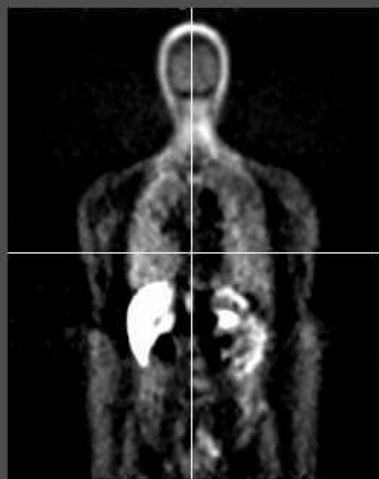
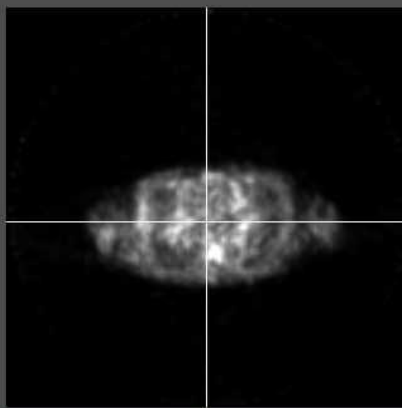
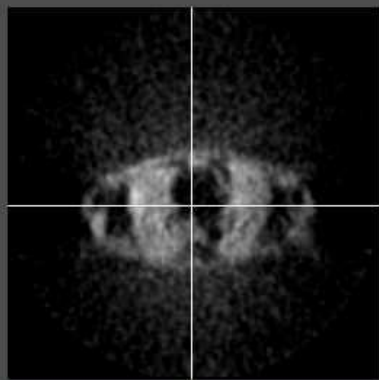
放射線を吸収する物体の分布像

μ の分布図 $\mu(x,y,z)$



エミッション画像 (吸収補正なし)

吸収補正あり (エミッション画像に トランスミッション画像で補正)



	Tra.	Sag.	Cor.
Position	[80	No [64	Px [69
Distance	[404.2	mm [324.4	mm [350.1

	Tra.	Sag.	Cor.
Position	[80	No [64	Px [69
Distance	[432.5	mm [324.4	mm [350.5

【問題 4-81】 (平成 15)

PET で誤っているのはどれか。

1. 短半減期であれば核種を問わず使用できる。
2. 検出器に BGO を使用する。
3. 同時計数によって画像を得る。
4. 定量評価には散乱・吸収の補正が必要である。
5. 3D 収集が可能である。

〔注解〕 1. PET に使用する核種は陽電子を放出する β^+ 壊変核種である。

2, 3, 4, 5 の記述は, いずれも PET に関する事項で正しい。

SPECT が PET より優れている点はどれか。
2つ選べ。

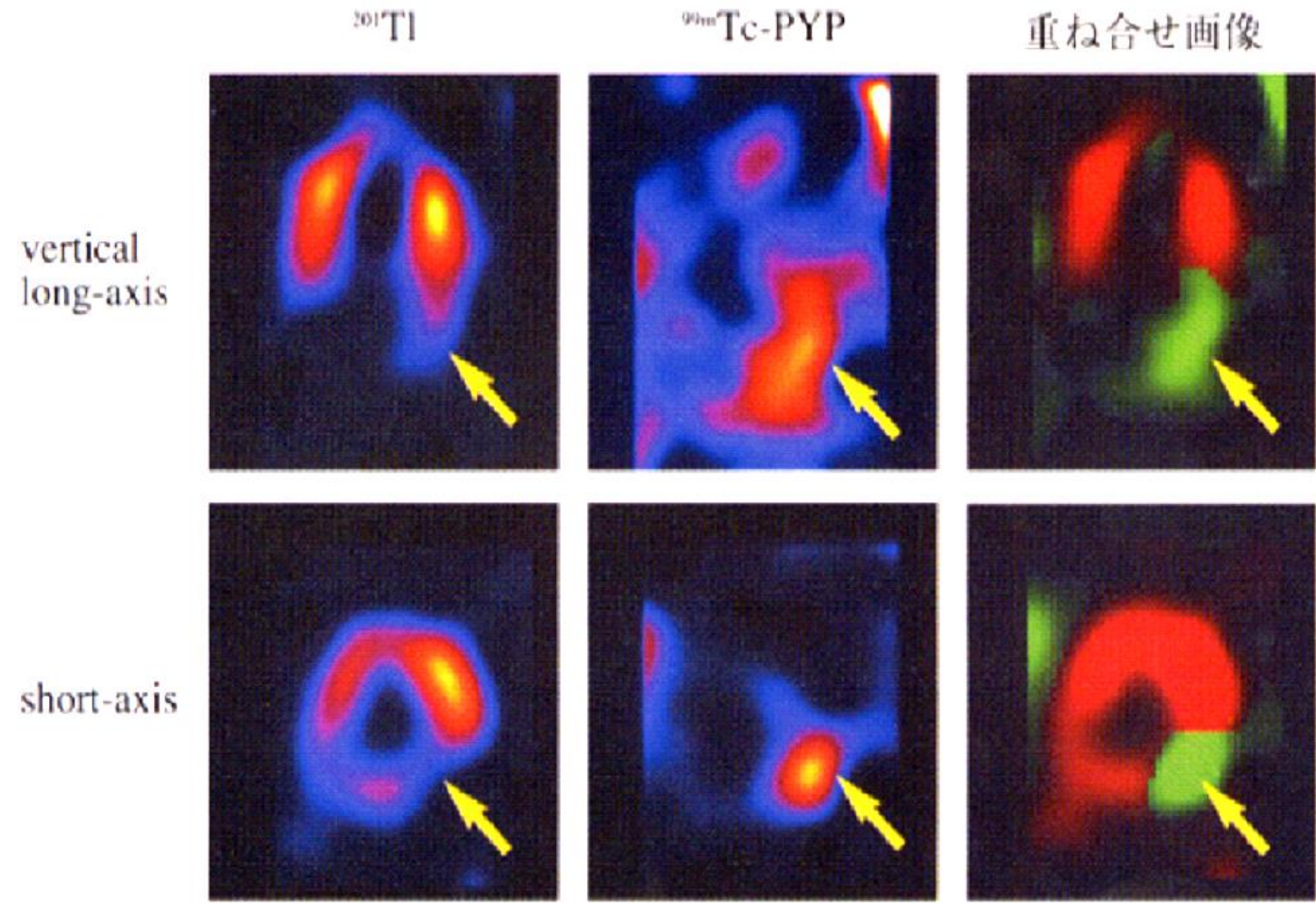
1. 定量性が良い。
2. 空間分解能が良い。
3. 吸収補正が容易である。
4. 検査室の遮へいが容易である。
5. 2核種同時収集が可能である。

関係のない組合せはどれか。

1. 統計誤差 ————— 収集カウント
2. 散乱線除去 ————— コリメータ
3. 核種のエネルギー ————— 波高分析器
4. 2核種同時収集 ————— 同時計数回路
5. 時間放射能曲線 ————— 関心領域 (ROI) 設定

^{99m}Tc の γ 線は主に 141 keV、 ^{201}Tl の γ 線は主に 71 keV なので
同時収集が可能。ともに160keV以下。低エネルギー用コリメータ。

その他、 ^{201}Tl (心筋血流)と ^{123}I -BMIPP (脂肪酸; 心筋障害で低下)
との2核種同時収集も臨床でよく実施される。



心筋の ^{201}Tl 分布は心筋血流、 ^{99m}Tc -PYP (ピロリン酸) 分布は急性心筋梗塞

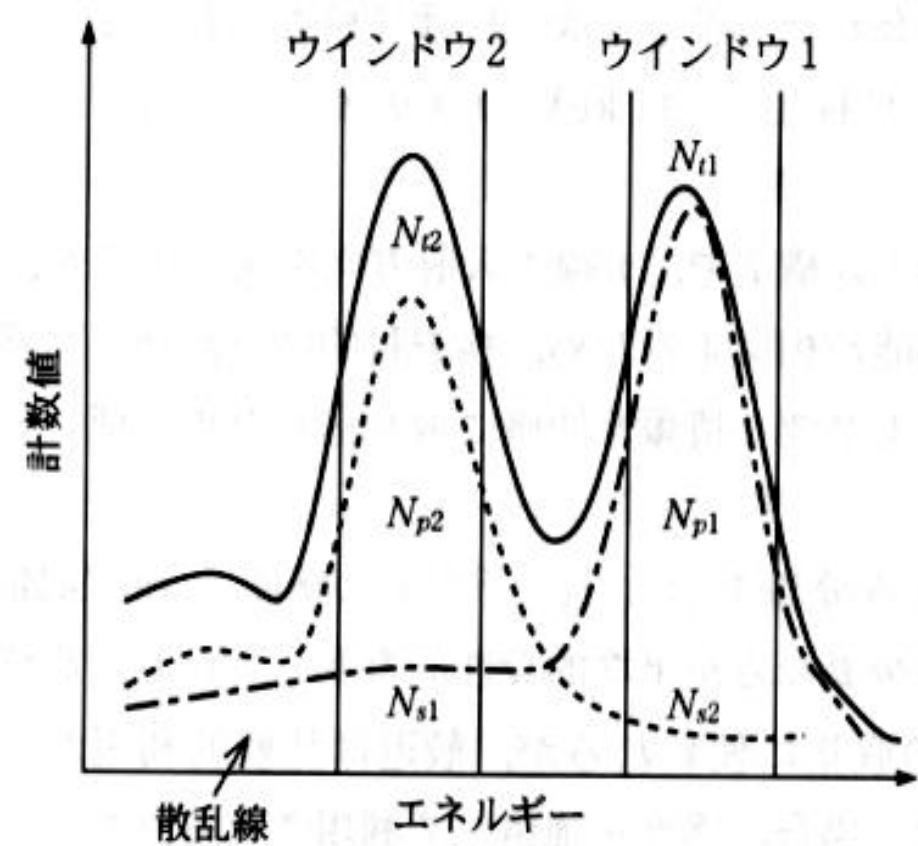


図 4・22 クロストーク補正

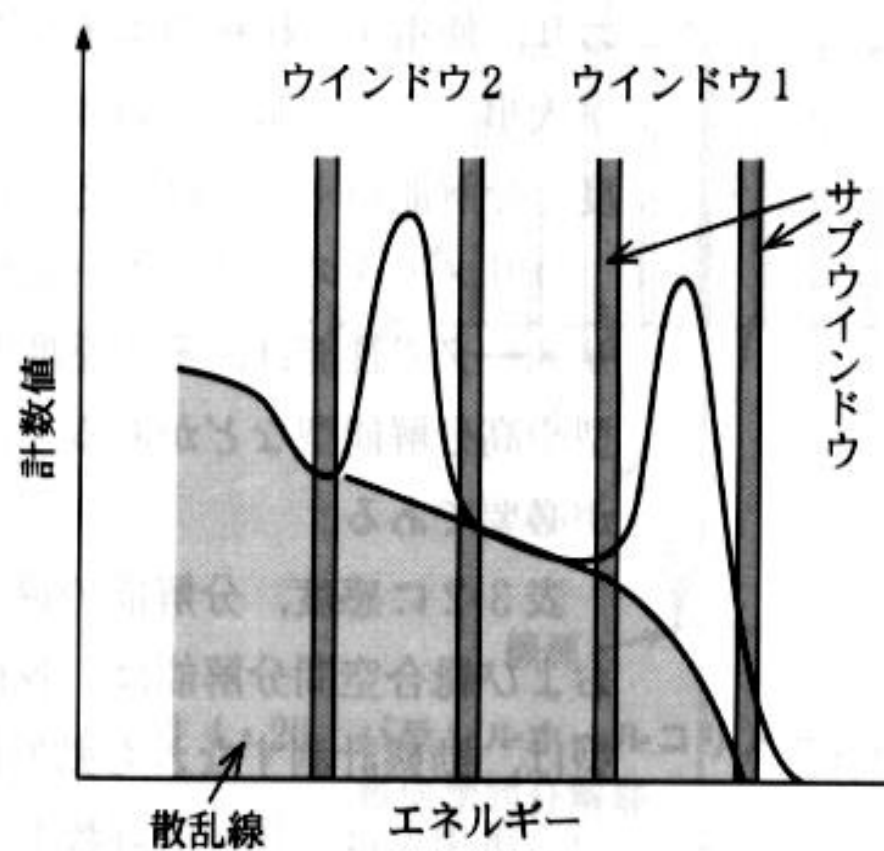


図 4・23 2核種同時収集の散乱線補正

γ 線エネルギーの異なる2核種を同時に収集すると図中実線で示すスペクトルとなる。これは互いのウインドウ内に散乱成分やほかのエネルギー成分を含んでしまう。これを事前に1核種ごとに互いに相手のウインドウ内に漏れ込む γ 線の比率を求めておき、2核種同時収集データよりその比率で減算するものである。

^{123}I と組み合わせて 2 核種同時収集に用いられる頻度の高い核種はどれか。

1. ^{67}Ga 4. ^{131}I 2. $^{81\text{m}}\text{Kr}$ 5. ^{201}Tl 3. ^{111}In

^{123}I 159keV

^{67}Ga 93,185,300 keV

^{111}In 171keV

^{131}I 365keV

^{201}Tl 71keV

院内製造の ^{18}F -FDG 合成に必要な装置・設備はどれか。

a. 自動注入装置

b. 自動合成装置

c. ホットラボ室

d. サイクロトロン

e. ^{68}Ge - ^{68}Ga ジェネレータ

1. a、b、c

2. a、b、e

3. a、d、e

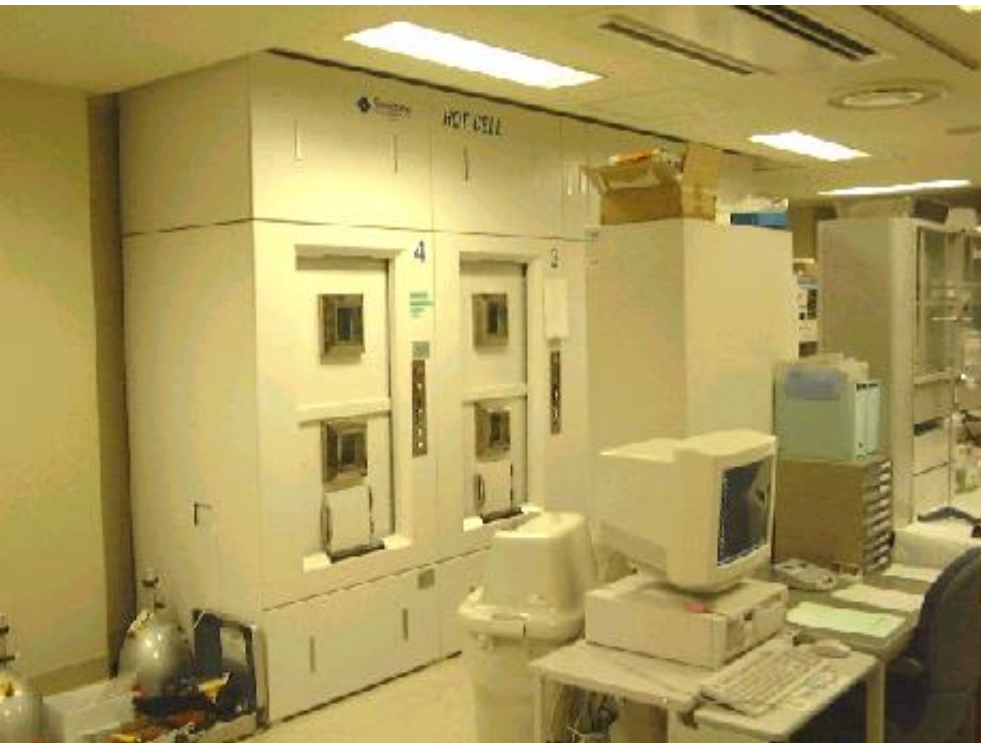
4. b、c、d

5. c、d、e

ホットラボ 自動合成装置

サイクロトロンで製造した ^{18}F 、 ^{11}C などの陽電子放出核種を用いてFDGやメチオニンなどの分子を合成する部屋。

従事者の被曝を防止するために、自動合成装置が装備されている。陽電子放出核種は半減期が短いので院内に設置する必要がある。



自動注入装置

従事者の被曝を防止するための装置。
装備されているほうが望ましい。
北大病院に最近入った。
従事者は、患者に注射針を刺入する
作業のみ実施し、高エネルギー γ 線を
十分に遮蔽する厚い鉛容器に蓄えられた
放射性薬剤を、必要な投与量を自動で注入する。



$^{68}\text{Ge} - ^{68}\text{Ga}$ ジェネレータ

$^{68}\text{Ge} - ^{68}\text{Ga}$ は、放射平衡の核種。半減期271日。
 ^{68}Ga は陽電子放出核種で、
PETのトランスミッション用線源の ^{68}Ga を院内で合成する装置。
旧式のPETでは、 ^{68}Ge から ^{68}Ga をミルクキングして用意していたが、
現在のPETでは、 ^{68}Ge が金属容器に封入された状態で
PET装置内部に標準装備され、約1年おきに新品と交換する。
ほとんどのPET施設では $^{68}\text{Ge} - ^{68}\text{Ga}$ ジェネレータは不要。

核医学検査で従事者が注意すべき点について誤っているのはどれか。

- a. 妊娠は相対的禁忌である。
- b. 投与後は鉛衝立で被ばく防止に努める。
- c. 投与直後は管理区域内のトイレを使用させる。
- d. 入院患者は一般病棟で放射性医薬品を投与してよい。
- e. 放射能汚染された紙おむつは一般ゴミとして廃棄できる。

1. a、b 2. a、e 3. b、c 4. c、d 5. d、e

2005年 国家試験

解答 5

放射性薬剤の投与は管理区域内に限定されていたが、最近、集中治療室(ICU、CCU)での投与が許可された。一般病室での放射性薬剤投与は現在でも禁止されている。

被曝(mSv) 全身 1mSvで、10万人に1人、癌で死亡。

核医学検査による胎児被曝は、3～6mSv 程度。

胎児への危険性はほとんど無いが、妊娠中の患者に

無用な心配を与えないために、(これが臨床では重要)

絶対必要と考えられる場合以外には検査を避けたほうが賢明。

201-Tl 心筋(111MBq)	26	(睾丸 62 腎 60)	胎児 6)
67-Ga (74MBq)	9	(骨髄 13 大腸 15)	胎児 6)
99m-Tc-MDP骨(740MBq)	6	(骨 47 膀胱 37)	胎児 4.5)
18-F-FDG (185MBq)	3.5	(膀胱 20 心臓 10)	胎児 3)

CT 10 ~ 100 ~

血管造影 7 ~ 10 (1分で皮膚0.5)

胃、消化管造影 3

放射線被曝の遺伝的影響

被曝者の次世代における性比、発育、発癌頻度、死亡率の異常、奇形、染色体異常。

動物実験では放射線被曝が遺伝的影響を起こすことが確認されている。

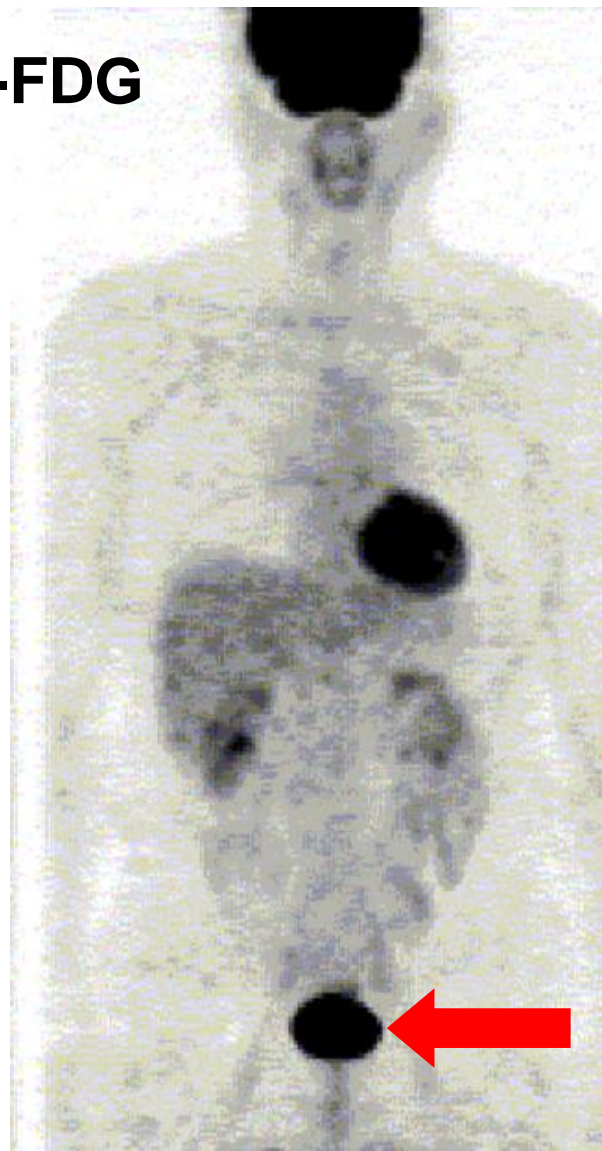
1mSvで、25万人に1人が遺伝的影響を残すとされていたが、

原爆被曝者の調査では、遺伝的影響の有意な増加は確認されていない。

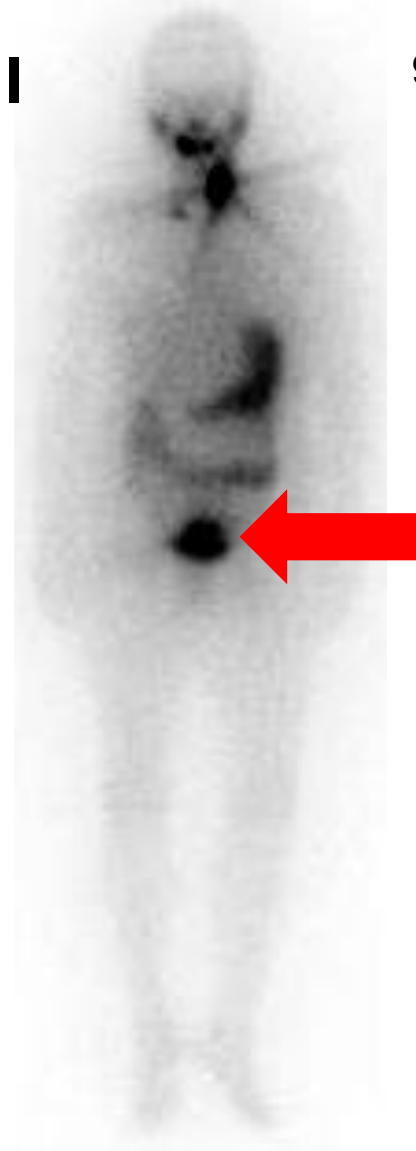
遺伝子レベルの調査が現在進行中である。

放射性薬剤の多くは投与直後から尿中に排泄されるので、
投与直後の排尿は、希釈槽に一旦貯留される管理区域内のトイレを
使用してもらおう。 オムツも放射能汚染物として扱われる。

^{18}F -FDG



^{131}I



$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP

