

《技術報告》

カドミウム亜鉛テルライド半導体検出器を使用した 小型ガンマカメラの性能評価

大竹 英則* 樋口 徹也** 竹内 康直*** 流王 英樹***
 神保 昌夫*** 松原 國夫* 小山 一郎* 織内 昇**
 井上登美夫**** 遠藤 啓吾**

要旨 化合物半導体カドミウム亜鉛テルライド (CdZnTe) を使用した小型のガンマカメラ (eZ-SCOPE AN) の基本性能を評価した。この小型ガンマカメラは 256 個の半導体を有し、個々の半導体ごとの電気信号を 1 画素のデータとして画像を作成する。1 つの半導体素子の大きさは、1.85 mm × 1.85 mm、2 mm ごとに 16 × 16 列に配置されている。

NEMA (National Electrical Manufacturers Association) 法を参考に、固有エネルギー分解能、計数率特性、総合均一性、総合感度、総合空間分解能を測定した。また個々の半導体素子はそれぞれが検出器となるため、隣接するピクセルへの影響を求めた。

固有エネルギー分解能は FWHM で 5.7% であった。計数率特性は 17 kcps から 1,285 kcps まで測定したが最高計数率は観測されず、20% 計数損失は 1,021 kcps で認められた。総合均一性は高感度コリメータ装着時で 1.3% であった。総合感度は線源をコリメータに密着した状態で、高分解能コリメータ装着時では 33,330 cpm/MBq、高感度コリメータ装着時では 766,767 cpm/MBq であった。総合空間分解能 FWHM は線源 コリメータ距離 0 cm で 2.0 mm、線源 コリメータ距離 3 cm では 2.2 mm であった。

(核医学 39: 549-553, 2002)

I. はじめに

近年、放射性同位元素によるセンチネルリンパ節の検出手術に応用するナビゲーションサージェリーが注目されている¹⁾。また、乳癌や副甲状腺腫で表在臓器の病変やリンパ節転移をシンチグラフィで検出するには、小病変を確実に検出で

きる高分解能ガンマカメラが有用である。これらの臨床的必要性から 2 mm 角半導体検出器を用いた、高感度、高分解能の小型ガンマカメラが開発された。本論文では NEMA 規格²⁾ を参考に本装置の基本性能を検討し、その臨床応用の可能性を考察した。

II. 対象および方法

本装置は、検出器の寸法が 1.85 × 1.85 mm 角・5 mm 厚のカドミウム亜鉛テルライド (CdZnTe) の半導体検出器を 2 mm ごとに 16 × 16 列配列した小型ガンマカメラ (eZ-SCOPE AN、安西メディカル社製) である (Fig. 1)。

基本構成はプローブユニット、タングステン製平行多孔コリメータ、メインユニット、データ処

* 群馬大学医学部附属病院放射線部

** 同 核医学教室

*** 安西メディカル株式会社

**** 横浜市立大学医学部放射線医学教室

受付：14 年 3 月 4 日

最終稿受付：14 年 8 月 19 日

別刷請求先：前橋市昭和町 3-39-15 (☎ 371-8511)

群馬大学医学部附属病院放射線部

大竹 英 則

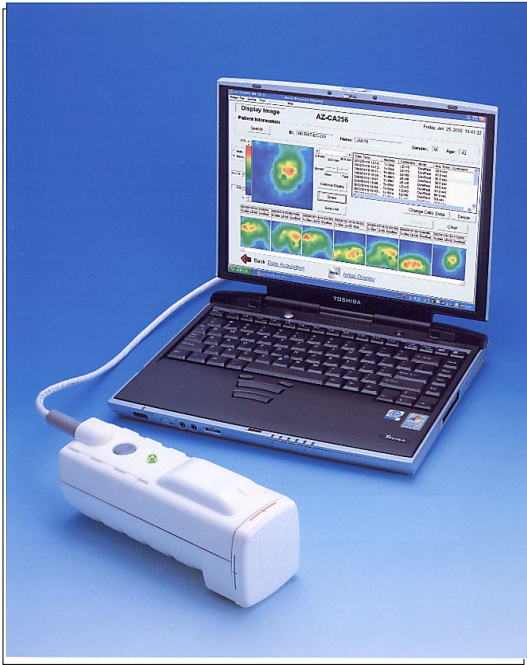


Fig. 1 Gamma camera (eZ-SCOPE AN).

理装置(ノート型パーソナルコンピュータ)である。データ処理装置にはデータ処理用ソフトを搭載した。有効視野は 32×32 mm, プローブユニット重量は約 800 g (コリメータの重量は除く) で手持ち操作が可能な小型・軽量ガンマカメラである (Table 1)。

今回 NEMA 規格を参考に評価した試験項目は, 1. 固有エネルギー分解能, 2. 計数率特性, 3. 総合均一性, 4. 総合感度, 5. 総合空間分解能, 6. 隣接するピクセルへの影響の 6 項目であった。

1. 固有エネルギー分解能

過テクネチウム酸ナトリウム (^{99m}Tc) 溶液 50 MBq を 10 ml パイアルに封入し, コリメータをはずした検出面より垂直 64 cm (20 FOV) の位置に設置した。測定エネルギーは 50 keV から 160 keV まで変化させて測定を行った。測定条件は測定エネルギーを $\pm 1\%$ のウィンドウ幅とし, 測定時間は 120 秒とした。

測定したトータルカウントは, 時間減衰補正を

Table 1 Basic specifications

Sensor	CZT semiconductor based detector
Number of pixels	$16 \times 16 = 256$ pixels (2 mm pitch)
Pixel size	2×2 mm
View field	32×32 mm
Type of collimator	High resolution collimator High sensitivity collimator
External dimensions	Approx. $73 \times 77 \times 212$ mm
Radionuclide	γ ray
Measuring energy	71 (^{201}Tl) ~ 364 (^{131}I) keV
Weight	Approx. 800 g (exclusive of collimators)

行い, 補正トータルカウントを得た。

補正トータルカウントを測定時間 120 [sec] で割り, 計数率を得た。

2. 計数率特性

^{99m}Tc 溶液 6,216 MBq を 10 ml パイアルに封入し, コリメータをはずした検出面より垂直 64 cm に設置した。

測定エネルギー 140 keV に対しウィンドウ幅を $\pm 100\%$ とし, 0.5 mm 厚銅板により減衰させ 50 枚 (銅板 25 mm 厚) まで測定した。さらに, 24 時間後にも同様に測定した。

3. 総合均一性

^{99m}Tc 溶液 222 MBq を 100×100 mm のフラットソースファントムに封入した。高分解能コリメータ前面に接触させた位置にフラットソースファントムを設置した。測定条件は測定エネルギー 140 keV, ウィンドウ幅 -10% ~ +5% の非対称で, トータルカウント 2,560,000 カウントに達するまで測定した。得られた 265 ピクセルのカウント値のうち UFOV にあたる中央部 14×14 ピクセル内の各ピクセルのカウント値を比較し, 最大カウント値と最小カウント値を選び出し, 9 点スムージング処理を行い, 下記の計算式により総合積分均一性 [%] を求めた。

$$A = 100 \cdot (\text{Max} - \text{Min}) / (\text{Max} + \text{Min})$$

A: 総合積分均一性 [%]

Max: 最大カウント値 [count]

Min: 最小カウント値 [count]

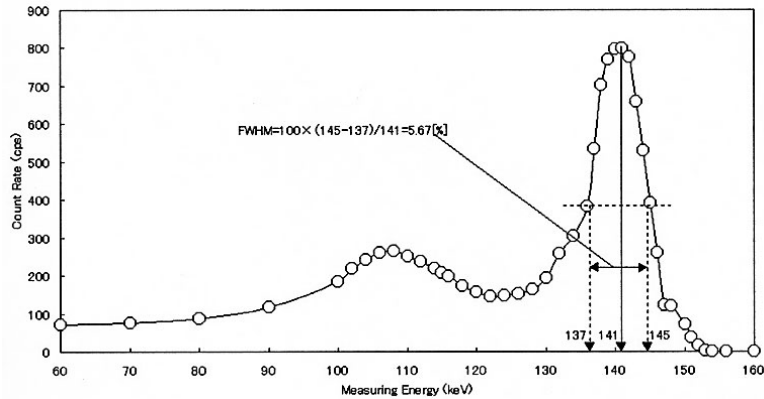


Fig. 2 Energy resolution.

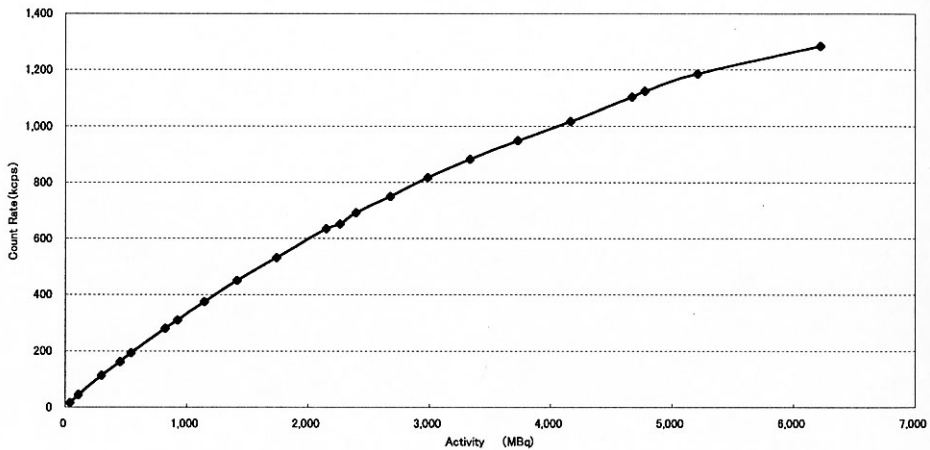


Fig. 3 Count rate performance.

4. 総合感度

^{99m}Tc 溶液 24 MBq の直径 10 mm の円形線源を用い、高分解能コリメータ、高感度コリメータについて、コリメータに密着した状態で 60 秒間測定した。測定エネルギー 140 keV ウィンドウ幅は - 10% ~ + 5% の非対称とした。さらに円形線源を 5 cm に離れた位置で同様に測定した。

5. 総合空間分解能

内径 1 mm、長さ 40 mm のガラス製ヘマトクリット管に ^{99m}Tc 溶液 4 MBq を封入した線源を 2 本用意し、0.2 mm 厚 10 × 10 mm のアクリル板に 10 mm 離れた位置で平行に接着した。この

アクリル板を、高分解能コリメータ前面に接触させた位置と 3 cm 離れた位置で測定した。測定条件は、測定エネルギー 140 keV、ウィンドウ幅は - 10% ~ + 5% の非対称とし、180 秒測定した。

6. 隣接するピクセルへの影響

底部に 1 mmφ のピンホールを有するバイアルシールドに ^{99m}Tc 溶液 37 MBq を封入したバイアルを装着した。高分解能コリメータ、高感度コリメータについてピンホール線源をコリメータに密着し、照射したピクセルのカウントが 10,000 カウントに達するまで測定した。ピンホール線源は任意の 10 箇所置き測定した。照射したピクセル

Table 2 System sensitivity

Type of collimator	Distance between source and collimator	Sensitivity (cpm/MBq)
High resolution collimator	In contact (0 cm)	33,330
	5 cm	32,471
High sensitivity collimator	In contact (0 cm)	766,767
	5 cm	763,913

Table 3 Measuring of between pixels

Type of collimator	Ratio	
	First pixels	Second pixels
High resolution collimator	0.68%	0.26%
High sensitivity collimator	1.08%	0.32%

ルの X 方向に隣接する 2 つのピクセル (照射したピクセルの近位を第 1 ピクセル, その隣を第 2 ピクセルとした) のカウントを求め, 計 20 ピクセルのカウントの平均値を求め, 照射したピクセルのカウントを 100% とし, それぞれの比を算出した。

III. 結 果

1. 固有エネルギー分解能

固有エネルギー分解能は FWHM で 5.7% であった (Fig. 2)。

2. 計数率特性

計数率特性は 17 kcps から 1,285 kcps まで測定したが最高計数率は観測されず, 20% 計数損失は 1,021 kcps で認められた (Fig. 3)。

3. 総合均一性

総合積分均一性は高分解能コリメータで 1.3% であった。

4. 総合感度

線源をコリメータに密着した状態で, 高分解能コリメータ装着時では 33,330 cpm/MBq, 高感度コリメータ装着時では 766,767 cpm/MBq であった。コリメータ線源間を 5 cm にした状態では, 高分解能コリメータ装着時では 32,471 cpm/

MBq, 高感度コリメータ装着時では 763,913 cpm/MBq であった (Table 2)。

5. 総合空間分解能

各線線源の FWHM は, 線源 コリメータ距離 0 cm で, 2.1 mm および 1.9 mm であり, 総合空間分解能は 2 mm となった。線源 コリメータ距離 3 cm で, 2.3 mm および 2.1 mm であり, 総合空間分解能は 2.2 mm となった。

6. 隣接するピクセルへの影響

隣接する半導体素子への影響は, 高分解能コリメータ装着時, 第 1 ピクセルが 0.68%, 第 2 ピクセルが 0.26% で, 高感度コリメータ装着時, 第 1 ピクセルが 1.08%, 第 2 ピクセルが 0.32% となり, 隣接する半導体素子への影響はほとんど見られなかった (Table 3)。

IV. 考 察

本装置は 1.85 mm 角・5 mm 厚の半導体素子を 2 mm ごとに 256 (16 行×16 列) 個有し, それぞれの素子が電気信号を出力する。これを素子ごとにマイクロコンピュータで加算し, 放射能分布を画像化するものである。したがって今回は NEMA 法に準じて基本性能を評価したが, NEMA 法は大視野のアンガー型ガンマカメラを対象としており, 今回の評価には適さない項目があった。総合感度の測定は直径 10 cm の円線源を用いるが, 本装置は有効視野 32 mm 角であるため, 本検証では直径 10 mm の円線源を用いた。成田ら³⁾による従来の NaI(Tl) 単結晶シンチレーションカメラ ZLC-7500 (Siemens 社製) と CsI(Tl) 多結晶シンチレーションカメラ Digirad 2020tc Imager™ (Digirad 社製) の結果と比較すると, 固有エネルギー分解能に関しては, 10.1% (ZLC-7500), 12.8% (2020tc) に対し, 半導体検出器を使用した本装置は明らかに優れていた。計数率特性に関しては, 最高計数率が 200 kcps (ZLC-7500), 261 kcps (2020tc) に対し, 今回, 1,285 kcps までの計数率では最高計数率を求めることができなかった。20% 計数率損失は, 140 kcps (ZLC-7500), 211 kcps (2020tc) に対し, 本装置では

1,021 kcps と優れた結果を得た．この原因として，従来のシンチレーションカメラがガンマ線エネルギーを蛍光に変えてから光電子増倍管で電気信号に変換して位置演算をしているのに対し，本装置ではガンマ線のエネルギーを直接電気信号に変換するため，シンチレータの発光減衰時間や電子回路(位置演算回路など)の特性が除かれているためと考えられた．総合積分均一性についても半導体検出器一つ一つの感度の均一性が高いことが読み取れた．総合感度は 4,833.9 cpm/MBq (ZLC-7500) , 3,270.8 cpm/MBq (2020tc) に対し，約 10 倍から 150 倍であったことから，非常に感度が高いことが分かった．さらに総合分解能も 2.0 mm と優れており，線源 コリメータ位置 3 cm でも FWHM の劣化はほとんど見られなかった．半導体検出器はそれぞれのピクセルが独立しており，

隣接するピクセルへの影響はほとんどなかった．

V. 結 語

eZ-SCOPE AN は，優れた基本性能を有する小型半導体ガンマカメラである．今後その特性を生かした臨床応用が期待される．

文 献

- 1) Borgstein PJ, Pijpers R, Comans EF, Diest PJ, Boom RP, Meijer S: Sentinel Lymph Node Biopsy in Breast Cancer: Guidelines and Pitfalls of Lymphoscintigraphy and Gamma Probe Detection. *J Am Coll Surg* 1998; 186: 275–283.
- 2) Performance Measurements of Scintillation Cameras: NEMA standards, 1994; Publ. No. NU1&2.
- 3) 成田浩人, 川井田洋一, 大下 崇, 伊藤太之, 土田大輔, 福光延吉, 他: 半導体検出器多結晶シンチレーションカメラ Digirad 2020tc Imager™ の性能評価．*核医学* 2001; 38: 355–362.

Summary

Evaluation of Efficiency of a Semiconductor Gamma Camera

Hidegori OTAKE*, Tetsuya HIGUCHI**, Yasunao TAKEUCHI***, Hideki RYUO***, Masao JIMBO***, Kunio MATSUBARA*, Ichiro KOYAMA*, Noboru ORIUCHI**, Tomio INOUE**** and Keigo ENDO**

*Division of Clinical Radiology, Gunma University Hospital

**Department of Nuclear Medicine, Gunma University School of Medicine

***Anzai Medical Corporation

****Department of Radiology, Yokohama City University School of Medicine

We evaluation basic characteristics of a compact type semiconductor gamma camera (eZ-SCOPE AN) of Cadmium Zinc Telluride (CdZnTe). This new compact gamma camera has 256 semiconductors representing the same number of pixels. Each semiconductor is 2 mm square and is located in 16 lines and rows on the surface of the detector.

The specific performance characteristics were evaluated in the study referring to NEMA standards; intrinsic energy resolution, intrinsic count rate performance, integral uniformity, system planar sensitivity, system spatial resolution, and noise to the neighboring pixels.

The intrinsic energy resolution measured 5.7% as

FWHM. The intrinsic count rate performance ranging from 17 kcps to 1,285 kcps was evaluated, but the highest intrinsic count rate was not observed. Twenty percents count loss was recognized at 1,021 kcps. The integral uniformity was 1.3% with high sensitivity collimator. The system planar sensitivity was 33,330 cpm/MBq with high resolution collimator and 766,767 cpm/MBq with high sensitivity collimator. The system spatial resolution (FWHM) was 2.0 mm and 2.2 mm when the distance between source and collimator was 0 cm and 3 cm respectively.

Key words: CdZnTe, Semiconductor, NEMA, Midget camera, Sentinel lymph node.