

機関番号：32675
 研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20390332
 研究課題名（和文） 半導体検出器によるスタティックデータ収集形高分解能 SPECT システムの開発
 研究課題名（英文） Development of a high resolution SPECT with a static data acquisition system with semiconductor detectors
 研究代表者
 尾川 浩一（OGAWA KOICHI）
 法政大学・理工学部・教授
 研究者番号：00158817

研究成果の概要（和文）：本研究では、半導体検出器を用いたスタティックデータ収集形の SPECT システムを実現する事を目的として、データ収集法および再構成法をシミュレーションによって確立した。また、この有効性を確認するための心筋 SPECT 用データ収集装置ならびに頭部 SPECT 用データ収集装置のプロトタイプ機を製作し、有効性を検証した。

研究成果の概要（英文）：To develop a new SPECT system with a static data acquisition using semiconductor detectors, a data acquisition method and image reconstruction method were developed with a simulation study. The validity of these methods was confirmed with a newly developed myocardial SPECT system and brain SPECT system with CdZnTe semiconductor detectors.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
20年度	2,100,000	630,000	2,730,000
21年度	6,900,000	2,070,000	8,970,000
22年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
年度			
年度			
総計	14,000,000	4,200,000	18,200,000

研究分野：医用画像工学、核医学、放射線計測

科研費の分科・細目：放射線科学

キーワード：SPECT、半導体検出器、空間分解能

1. 研究開始当初の背景

本研究では現在の SPECT 装置が抱える以下の問題点を解決するために、常温で使用可能な半導体検出器を利用するものとした。

(1) SPECT 装置の空間分解能は 7~8mm 程度であり、これはシンチレーション検出器におけるガンマ線の検出過程に依存するものであるが、ピクセル（画素）毎に、光子を計数する半導体型検出器では、1~2mm の空間分解能が達成できる。

(2) シンチレーション検出器はエネルギー分解能が低い、半導体検出器はガンマ線のエネルギーを直接電気信号に変換しているために、エネルギー分解能が向上し、この結果、再構成画像のコントラストが改善する。

(3) シンチレーション検出器による SPECT 装置は大型であるが、半導体検出器は、入射ガンマ線を直接電気信号に変換するため、回路部分の集積化が可能であり、大変コンパクト

なガンマカメラシステムを実現することができる。

本研究ではこのような半導体検出器の利点を最大限に生かした、ガンマカメラの回転運動によるデータ収集を伴わないスタティックデータ収集によるSPECTシステムを実現する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、従来のシンチレーション検出器に代わって常温使用可能な CdZnTe 半導体検出器を用いることで、高い空間分解能（3~4mm の腫瘍の検出）、高いエネルギー分解能（6%程度）、かつコンパクトさを生かした検出器を実現し、これを3次元的に多数個、配列することで検査時間を短縮した、SPECT システムのプロトタイプを作ることである。

3. 研究の方法

以下の研究項目にそって研究を進めた。

- (1) 半導体検出器の製作（データ収集部の設計）および検出器の基本性能の評価と改良
- (2) 心筋 SPECT システムの画像再構成アルゴリズムの開発
- (3) コリメータの設計、製作（パラレルホール型）
- (4) 1ブロックの半導体検出器による SPECT システムの実装と基礎実験
- (5) 複数ブロックの半導体検出器による SPECT システムの設計
- (6) 複数ブロックの半導体検出器による SPECT システムの実装と基礎実験（心筋用）
- (7) シミュレーションと実験による再構成画像の比較
- (8) 複数ブロックの半導体検出器による SPECT システムの実装と基礎実験（頭部用）
- (9) シミュレーションと実験による提案手法の有効性の確認

(10) 臨床応用に対する検討

(11) 研究成果報告書の作成

4. 研究成果

本研究では、半導体検出器を用いた心筋 SPECT 評価用試作機、および脳 SPECT 評価用試作機を作成し、これを用いたデータ収集方法、画像再構成手法などの評価を行った。なお、使用した CdZnTe 半導体モジュールは 40mm×40mm、画素サイズ 2.6mm×2.6mm、厚さは 5mm である（図 1 参照）。



図 1 半導体検出器ユニットと検出器モジュール

(1) 心筋 SPECT 評価用試作機

データ収集部の設計および検出器ユニットの基本性能の評価後、任意角度でのデータ収集が可能な図 2 の心筋 SPECT 評価用試作機を製作した。



図 2 心筋 SPECT 評価用試作装置

この装置では、それぞれ 20 個のモジュールを搭載した 2 台の検出器を用い、厚さ 40mm、孔径 2.5mm（六角形状）のパラレルホールコリメータを検出器の前面に設置してデータの収集を行うものである。モンテカルロシミ

シミュレーションの結果から、これらの仕様を決定し、実際に収集されたデータとシミュレーションで得られたデータを比較検討した。データ収集では、図3に示したように3次元の任意の角度から得られた12個の投影データを、3個ずつ4つのサブセットにして、OS-EM法によって画像再構成を行った。シミュレーションならびに実験ファントムとしては、空間分解能ならびにコントラスト分解能を調査できるホットロッド、コールドロッドファントムを使用した。実験では放射性同位元素として $Tc-99m$ を利用した。図4は実験で得られた心筋ファントムのデータを用いた再構成画像である。任意角度のS/Nの大きな投影データをサブセット化することで従来の1/5の投影方向数のデータから、厳密な吸収、散乱、開口補正を再構成式に組み込む事によって、従来とほぼ同等の画質の再構成画像を得る事に成功した。

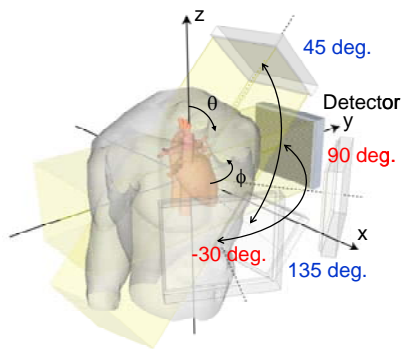


図3 心筋 SPECT データ収集領域

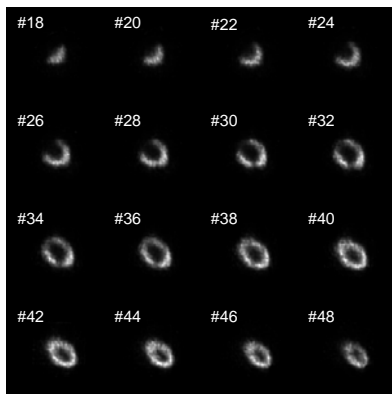


図4 心筋 SPECT ファントムの再構成画像

(2) 脳 SPECT 評価用試作機

研究開始時点では、前述した半導体検出器モジュールを頭部に対して半球状に取り囲むタイプの試作機の開発を目指していたが、種々の状況変化より、最終的に3台の検出器を六角形状のガントリーの3面に置いて、それぞれ3個のピンホールを用いてデータを収集する形状に変更した(図5)。ピンホールの数を1検出器あたり3個としたのは、感度を向上させるためであり、両側の2個のピンホールはそれぞれ中心軸を内側に 8° 傾けて効率的にデータを収集できるようになっている(図6)。

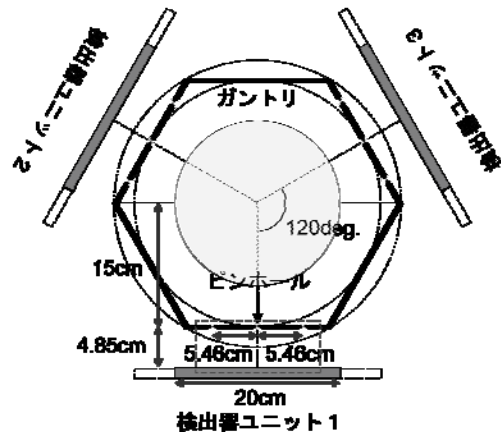


図5 マルチピンホール脳 SPECT システムの構造

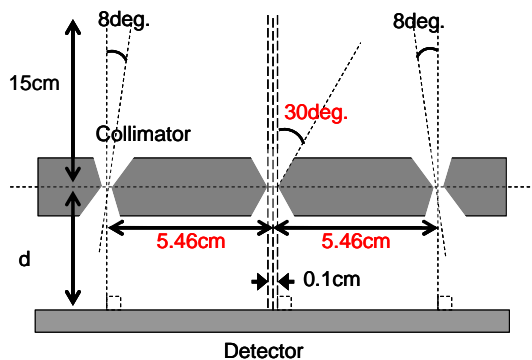


図7 ピンホールの断面図

さらに、投影方向数を増加させるために、ガントリーにウォブリング機構を付加した。すなわち、微小角度回転することを可能にした。また、当初スタティックのデータ収集を目指していたが、検出器が3方向から頭部を取り

囲む構造のため、絶対数としての投影方向数が不足する。そこで、ガントリと検出器を共に特定角度回転可能な構造とした。これらの機構並びに仕様はシミュレーションより決定した。作成した脳 SPECT 評価用試作機を図 8 に示す。

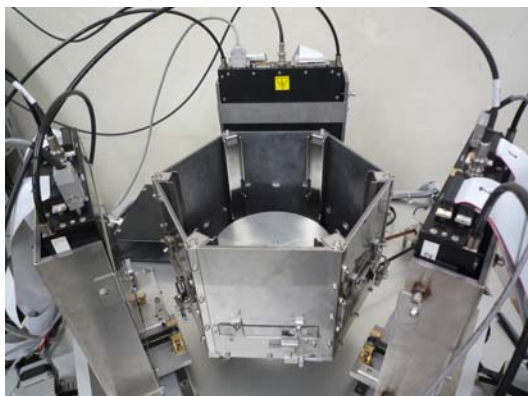


図 8 脳 SPECT 評価用試作装置

このようなマルチピンホール投影データからの画像再構成に関しては、投影データの吸収、散乱、開口補正ならびに感度補正を OS-EM 法に組み込む方法を開発した。ここでの画像再構成のパラメータは、検出器の回転回数、ガントリのウォブリングの回数となるが、ホットロッド、コールドロッドファントムおよび脳ファントムを用いて再構成した結果を図 9 に示す。図 9 で用いた投影データはモンテカルロ法によって計算したピンホール投影データである。この図の例は、光子数 100M 個、検出器回転 3 回、ウォブリング 7 回の例である。ホットロッド、コールドロッドファントムでは上部セクタから時計回りに、4, 5, 6, 7, 10, 12mm の直径のロッドとなっている。この図から 5mm のロッドの映像化に成功している事がわかる。また、脳ファントムでも良好な再構成画像が得られている事がわかる。また、図 8 の装置を用いた実験は、装置の設計、製造、調整に時間がかかり、納期が遅れた事や東北地方太平洋沖地震の

影響などによって、本報告書の提出期限内に終了する事ができなかったが、引き続き実験を実施し、成果発表を行う予定である。実機での評価は残念ながらできなかったが、試作機と同一のジオメトリで行ったシミュレーション結果では、従来の頭部 SPECT 画像の空間分解能よりも高い性能が出ている事が明らかとなった。

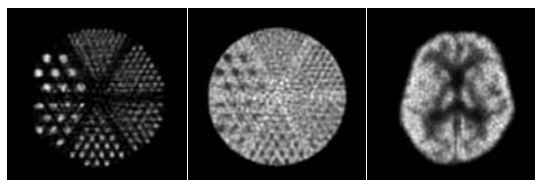


図 9 再構成画像 (左よりホットロッド、コールドロッド、脳ファントム)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

- (1) H. Iida, K. Ogawa, “Comparison of a pixilated semiconductor detector and a non-pixelated scintillation detector in pinhole SPECT system for small animal study,” *Annals of Nucl. Med.*, Vol.25, pp.143-150, 2011 (査読あり)
- (2) K. Ogawa, Y. Ozaku, Y. Nyui, M. Fukushi, “New myocardial SPECT system with CdZnTe semiconductor detectors,” *Conf. Rec. on IEEE Nucl. Sci. Symp. Med. Imag. Conf.*, 2010, CD-ROM (査読あり)
- (3) K. Ogawa, M. Muraishi, “Feasibility Study on an Ultra-High-Resolution SPECT With CdTe Detectors,” *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 57, No.1, pp.17-24, 2010 (査読あり)
- (4) K. Ogawa, T. Ishikawa, K. Shuto, H. Kobayashi, T. Nakahara, N. Shigematsu, “Development of a prototype semiconductor gamma-camera system,” *Conf. Rec. on IEEE*

Nucl. Sci. Symp. Med. Imag. Conf., pp. 3597-3601, 2009 (査読あり)

(5) T. Ishikawa, K. Ogawa, K. Shuto, S. Makino, N. Motomura, H. Kobayashi, "Evaluation of a semiconductor gamma-camera with CdZnTe detectors," Proceedings of the 5th KOREA-JAPAN Joint Meeting on Medical Physics, CD-ROM, 2008 (査読あり)

(6) K. Ogawa, T. Ishikawa, K. Shuto, N. Motomura, H. Kobayashi, "Performance of semiconductor gamma-camera system with CdZnTe detector," Proceedings of IFMBE, vol.22, pp.829-831, 2008 (査読あり)

[学会発表] (計 11 件)

(1) 尾川浩一、他：“任意の回転角、傾斜角でデータ収集可能な心筋 SPECT の開発”、第 50 回日本核医学会学術総会, 2010/11/11-13 (さいたま市)

(2) 小作祐太、尾川浩一、他、“2 台の半導体検出器を用いた心筋 SPECT システムの提案”、第 100 回日本医学物理学会学術大会, 2010/9/24-25 (東京)

(3) 尾川浩一、“SPECT における半導体検出器の利用”、第 854 回放射線診療研究会、2010/4/19 (東京)

(4) 五明和也、宝珠山祐亮、尾川浩一：“GPU を用いた OS-EM 法の高速度化”、第 99 回日本医学物理学会学術大会, 2010/4/9-11 (横浜)

(5) 宝珠山祐亮、尾川浩一：“マルチピンホール SPECT システムの開発”、第 99 回日本医学物理学会学術大会, 2010/4/9-11 (横浜)

(6) 尾川浩一、他 4 名：“CdZnTe 半導体を用いたガンマカメラシステムの開発”、第 49 回日本核医学会学術総会, 2009/10/1-3 (旭川)

(7) 飯田浩一、尾川浩一：“ピンホール SPECT におけるピクセル型検出器と非ピクセル型

検出器の比較”、第 98 回日本医学物理学会学術大会, 2009/9/17-19 (京都)

(8) 宝珠山祐亮、尾川浩一：“SPECT における散乱線補正法の比較”、第 28 回日本医用画像工学会大会, 2009/8/4-5 (名古屋)

(9) 尾川浩一：“CdTe 半導体検出器を用いた超高分解能ガンマ線イメージング”、第 48 回日本核医学会学術総会, 2008/10/24-26 (千葉)

(10) 尾川浩一、他 3 名：“CdZnTe 半導体を用いた高エネルギー分解能のガンマ線検出器の開発”、第 48 回日本核医学会学術総会, 2008/10/24-26 (千葉)

(11) 斎藤裕太、尾川浩一：“心筋 SPECT における新しいデータ収集システムの開発”、第 27 回日本医用画像工学会大会, 2008/8/5-6 (東京)

[その他]

ホームページ等

<http://www.ip.k.hosei.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

尾川 浩一 (OGAWA KOICHI)

法政大学・理工学部・教授

研究者番号：00158817