

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 24 日現在

機関番号：13601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24659561

研究課題名(和文)超小型半導体光センサーと新型シンチレータによる次世代SPECT

研究課題名(英文)Next Generation of SPECT using ultra small photon detectors and new type of Scintillators

研究代表者

小寺 克茂(KOTERA, Katsushige)

信州大学・理学部・研究員

研究者番号：60448074

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：放射線源を体内に投与し、外からその放射線を検出する方法は心筋や脳の血流診断にとって非常に有用である。単一光子放射断層撮影法(SPECT)は投与放射線源の取り扱いが容易などの利点をもつが、位置分解能に改善の余地がある。そこで本法では1mm(半値幅2.4mm)の分解能を目指した。従来は数mmの位置分解能である。

従来法では大きなシンチレータに放射線が入射して発する複数光子を、複数の光電子増倍管で測定し、光子数重心より位置を求める。本法では、1mm×1mm断面積に区切ったシンチレータにこれと同サイズの光検出器を一対一対応で装着し、目的の位置分解能を達成した。

研究成果の概要(英文)：Detection of radiative photons from dosed isotope in a body is efficient way for the diagnosis by measuring blood flow, measuring metabolism of tissues and so on. Although the single photon emission computer tomography (SPECT) has advantage that it does not use radio isotope which is difficult to get and to handle, there is a room to improve the spatial resolution.

In this study we established 1 mm (FWHM 2.4 mm) spatial resolution whereas a few mm resolution was usual method, by using a 1 mm x 1 mm photon sensor attached on each scintillator crystal having 1 mm x 1 mm cross-section, whereas a large scintillator crystal is read out by several photo-multiplier tubes and position of incident radiation is calculated as the gravitational center of mass of detected photons in usual methods.

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：内科系臨床医学，放射線科学

キーワード：SPECT 単一光子放射線断層撮影 位置分解能 コリメータ PPD MPPC LSO YSO

1. 研究開始当初の背景

被験者の体内に放射線源を投与し、この放射線源から放出される光子(ガンマー線)を被験者の外部から測定することにより、その代謝挙動、血流などを調べ、心筋症や脳血管障害、がんなどを診断する方法がある。その一つが単一光子放射線断層撮影法(SPECT)である。体内の線源から光子は全方向に放出されるが、この装置では検出器に入射する光子の方向を、検出器前面のコリメータで制限する。そしてこれによって線源位置を特定し、二次元象を得る。線源が一光子反応でよく、入手しやすいという利点がある一方、二光子が直線上に放射されることを位置測定に利用する陽電子断層撮影法(PET)にくらべて精度が劣る。

「3. 研究方法」で示すように、SPECTの従来の方法では、コリメータの背後に大面積のシンチレータを置き、さらにその背後に複数の光電子増倍管(PMT)を配置する。コリメータを経てシンチレータに到着した放射線(一光子)は複数の測定可能な低エネルギー光子に変換され、PMTはその数を測定する。そして元の光子の入射位置は、複数個のPMTの位置を、それぞれで検出された光子数で重み付けして平均して求められる(重心法)。位置分解能は半値全幅(FWHM)で~4 mmである。

一方この10年間に、センサー面積 1 mm x 1 mm という超小型の半導体光センサーの開発にめざましいものがあった。このセンサーを使えば、従来の重心法に変わる高分解能 SPECT の実現が可能であると我々は考えた。

2. 研究の目的

SPECTの位置分解能を改善するため、シンチレータの断面積をコリメータの穴の大きさまで小さくし、それぞれのシンチレータに超微細半導体光検出器(Pixelized Photon Detector; PPD)を取り付ける;この方法を検証する。特に本研究ではシンチレータをコリメータ内に挿入してしまうことにより、シンチレータとライトガイドでのシンチレーション光子の拡散をなくし、これによる位置分解能低下を抑制する。

3. 研究の方法

図1に示した従来の方法ではシンチレータとライトガイドの厚みがSPECT装置の位置分解能を劣化させる。これに対して、図2に示す本方法では本質的にシンチレータの厚み(図2では分割されたシンチレータの長さ)は位置分解能の劣化をもたらさない。

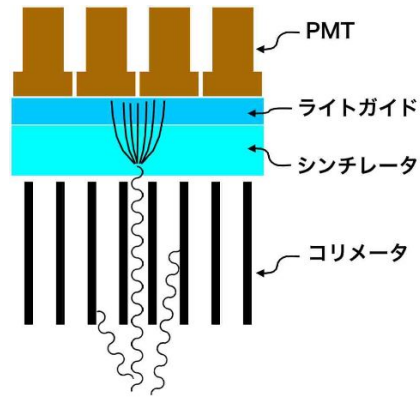


図1. 従来の SPECT の概念図。シンチレーション光を一度シンチレータ内で拡散させ、その光量を複数の PMT で測定する。

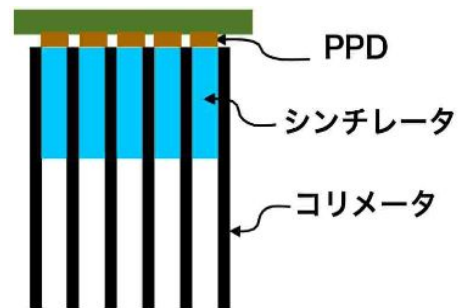


図2. 本研究でその性能を検証する SPECT 装置の概念図。

研究の第一段階として、モンテカルロシミュレーションにより、コリメータの穴の大きさ、長さ、壁の厚み、シンチレータの長さを変化させて計算機実験を行い、これらのパラメータについて妥当な値を予測した。そしてこの結果を参考にして 10 x 10 穴の鉛コリメータを作った。図3はコリメータの写真である。このさいコリメータの長さは長めに

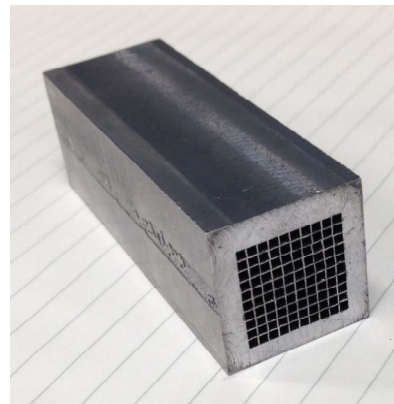


図3. 実験に供した 10 x 10 穴の鉛コリメータ。穴の断面積は 1.2 mm x 1.2 mm、壁の厚みは 0.18 mm、全長 60 mm である。

設定し、シンチレータと PPD の間に光ファイバを入れることによってシンチレータの挿入深さを換え、実質上コリメータ長可変な実験を行えるように工夫した。

光ファイバを使う理由はもう一つある。PPD のパッケージは現在のところ $2.45 \text{ mm} \times 1.9 \text{ mm}$ であり、これで $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ セルのアレイをつくることはできない。現在、 $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ の PPD が 8×8 隙間無く並んだアレイ製品は既にあるが、 $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ は近い将来の製品となる。そこで図 4(上)のように、光ファイバを使って $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ セルの 3 行 3 列アレイを実現した。図 4(下)は基板にはんだ付けされた PPD の 3 行 3 列アレイである。

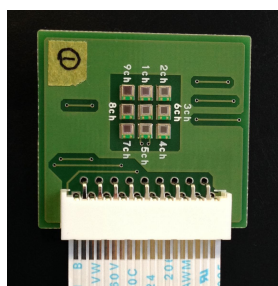
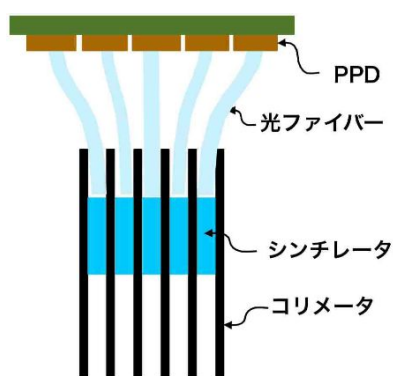


図 4 . 上)シンチレータと PPD を光ファイバでつないだ実験装置 . 下)基板にはんだ付けされた PPD 9 個 .

実証実験の第一段階としてコリメータ 3 行 3 列にシンチレータ結晶として Lutetium Oxyorthosilicate (LSO) を挿入し、 ^{57}Co 線源から来る 122 keV 光子数を測定した。これによって本装置に写像能力があることを確認するが、一列に 3 つのセルでは位置分解能を計測できない。そこで次にシンチレータを 1 行 9 列に並べかえ、おなじく ^{57}Co 線源からの光子数を計測し、計測数の位置依存性から位置分解能を算出した。

用いた ^{57}Co 線源は日本アイソトープ協会製 1 MBq 線源である。線源容器は内径 3 mm 、長さ 5 mm の円筒形である。LSO は NaI, BGO に代わる高密度、高発光のシンチレータとして期待されている。PPD としては浜松ホトニクス株式会社製 MPPC (S12571-050P) $40 \text{ pixel}/1 \times 1 \text{ mm}^2$ を用いた。コリメータはヨシザワ LA 株式会社製である。

4 . 研究成果

(1) シミュレーションによる結果 .

SPECT で多く用いられる線源が放出する光子のエネルギーは 140 keV である。 $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ のコリメータで 140 keV 光子の位置測定をする場合、コリメータの壁厚は

コリメータ長 40 mm : 0.06 mm

コリメータ長 30 mm : 0.12 mm

であればよいということが分かった。本研究ではコリメータ作成技術から最薄となる 0.18 mm とした。

140 keV 光子を十分に止めることができる長さは LSO 結晶の場合、 5 mm であることがシミュレーションから分かった。後にのべるように LSO 結晶のバックグラウンドを嫌い、Yttrium Oxyorthosilicate (YSO) を使うことも考えられるが、YSO の場合 20 mm 必要となることが分かった。

(2) 実証実験

LSO の光量測定

LSO シンチレータと PPD の間に光ファイバを介さずに 122 keV 光子が発生するシンチレーション光量を測定し、得られた光量のヒストグラムを図 5 に示した。シンチレーション光はノイズ(左のピーク)から十分に分離されている。

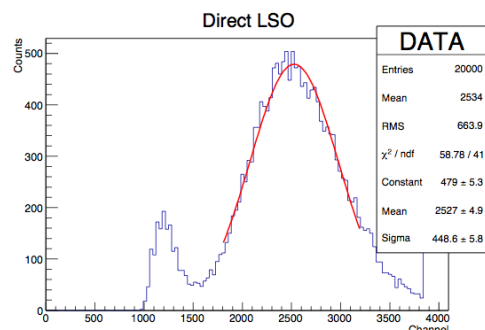


図 5 . 122 keV 光子の LSO によるスペクトル .

次にシンチレータと PPD の間に光ファイバを介したときに得られるヒストグラムを図 6 に示す。図 5 と図 6 では横軸のスケール

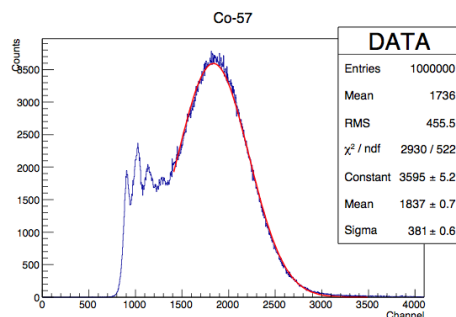


図 6 . 122 keV 光子のスペクトル . ただし LSO 結晶と PPD は光ファイバで介されされている .

がちがうが、図5のピークは67.5光子、図6のピークは14.6光子に対応していることを確認した。ファイバを介すことによって光量が20%までに減少し、低光子側(左側)からノイズの侵入がみられる。しかし条件検討の実験のためにはファイバを介しても十分な光量がある事が分かった。また、あくまでも本装置の最終形態では図5のように十分な光量が保障されることが確認できた。

3行3列検出器

図7は3行3列検出器の上に線源を通過させたときの光子検出頻度であり、本検出器が線源の移動を捕らえていることがわかる。ただし、一列に3セルの測定では位置分解能を測定できない。そこで次に、検出器セルの並びを変えて位置分解能を測定する。

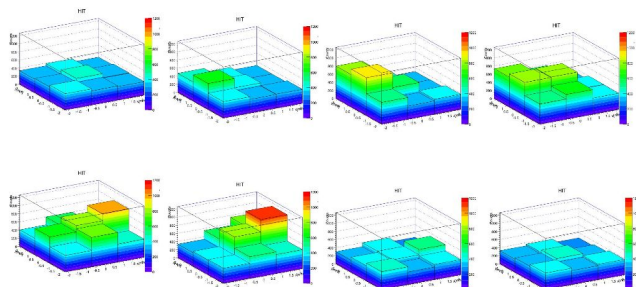


図7 .3行3列の検出器の上に線源を通過させた時の計数分布。左上の図から右へ、そして左下から右の図へ、線源もこの順序で左から右へ移動した。1ピクセル(ピンの)サイズは1.3 mm × 1.3 mm。

1行9列検出器

1行9列セルの検出器上に⁵⁷Co線源を置いたときの光子検出頻度を図8に示す。横軸は各セルの位置である。実曲線は正規分布関数でフィットしたときの結果である。正規分布の標準偏差は1.0 mmと観測され、すなわちFWHMは2.4 mmである。線源の直径が3 mmであることを考えると、装置の位置分解能はこれよりさらに小さいことは確実であり、本法の位置分解能がFWHM = 2.4 mm以下であることが証明された。

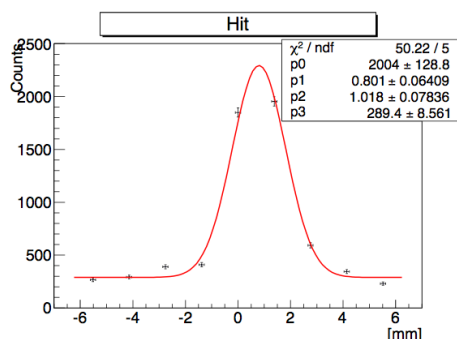


図8 .1行9列の検出器上に⁵⁷Co線源を置いて測定したときの計数分布。

(3)バイナリ化

図5により、LSOが発光する光子量は、装

置の基本ノイズから十分にはなれた検出閾値の設定を可能とすることが分かった。そして、従来法とちがい、光子の検出位置を算出するためにシンチレーション光子の数を計測する必要が無く、閾値を超えた信号を持つセルの位置情報のみを使って得た図が図7や図8である。このように本装置では各チャンネルに1ビットのバイナリ情報を取り扱うだけでよいことが確認できた。これによって読み出し回路の設計が非常に容易になる。

(4)バックグラウンド成分の認識

図8ではシグナルのピーク2300カウントに対して、300カウントのバックグラウンドが観測されている。Lutetiumは放射性同位体¹⁷⁶Luを含み、これがSPECTにとって88 keVと202 keVのバックグラウンド信号をつくる。図8ではS/N = 7でバックグラウンドは十分に低いと見えるが、医療現場で用いられる線源強度と患者と検出器の距離を考えると、LSOによるこのままの応用は厳しいと判断された。そこで、バックグラウンドが入っていないYSOによる検証を残され研究と考えている。

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)

〔学会発表〕(計1件)

迫邦洋, 小寺克茂, 竹下徹, 高エネルギー実験技術応用としてのコリメータ/シンチレータ一体型SPECT, 日本物理学会, 2014年3月30日, 神奈川県平塚市(東海大学)

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称: 放射線検出装置
 発明者: 小寺克茂, 竹下徹
 権利者: 国立大学法人信州大学
 種類: 特許
 番号: 特願2014-040716
 出願年月日: 2014年3月3日
 国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1)研究代表者

小寺 克茂 (KOTERA, Katsushige)
 信州大学・理学部・研究員
 研究者番号: 60448074

(3)連携研究者

竹下 徹 (TAKESHITA, Tohru)
 信州大学・理学部・教授
 研究者番号: 70154995

長谷川 庸司 (HASEGAWA, Yoji)
 信州大学・理学部・准教授
 研究者番号: 70324225