

機関番号：82502
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2009～2010
 課題番号：21700515
 研究課題名（和文） 結晶形状の工夫による DOI-PET 検出器の高性能化の研究
 研究課題名（英文） Investigation of a high performance DOI-PET detector by using the scintillation crystals cut as triangular prisms
 研究代表者
 稲玉 直子（INADAMA NAOKO）
 独立行政法人放射線医学総合研究所・分子イメージング研究センター・研究員
 研究者番号：10415408

研究成果の概要（和文）：

がんの診断や早期発見などに有力な手段である陽電子断層撮像法（PET）でより正確な画像を得るために必要な 3 次元放射線位置検出器（depth-of-interaction: DOI 検出器）において、検出器に用いる結晶の形状を変えるという新しい着眼点により性能を向上させた。この手法により、世界の他のグループでは 2、3 分割分の位置分解能であるのを、8 分割にまで分解能を向上することができた。また本手法はどの結晶にも応用できるという普遍性をもつ。

研究成果の概要（英文）：

Positron emission tomography (PET) is a powerful tool in the diagnosis and early detection of cancer. The depth-of-interaction (DOI) detector which provides a radiation detected location 3-dimensionally plays an important role for a PET scanner to have an accurate image. In this study, I developed a DOI detector having high position resolution by a new standpoint, that is, changing the shape of detector crystals. With this method I could attain the position resolution of 8 divisions in the DOI detector whereas other research groups attained the resolutions of 2 or 3 divisions. The method can be also applied to any kind of detector crystals.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：PET 検出器、LGSO 結晶、シンチレータ、DOI 検出器

1. 研究開始当初の背景

(1) 前置き

体内の機能を画像化する陽電子断層撮像法（PET）は、がんなどの診断や早期発見、アルツハイマー病などの病態の解明の研究や神経受容体の振舞いなどの脳機能研究に有力な手段として用いられている。PET 装置性

能への要求は、感度と解像度をともに高くすることである。データの蓄積が多いほど（高感度）、また信号から得られる線が細かいほど（高解像度）画像が鮮明になり、得られる情報がより正確になる。従来技術ではそれらの両立が難しく、解像度のみが追求されることもあるが、データの蓄積から薬剤の分布を画

像化する PET では解像度のみを追求しても感度が低いと集積箇所が統計ノイズに埋もれ判別できなくなる。感度と解像度の両立は、PET 検出器内で放射線を検出した位置を 3 次元的に求められる 3 次元放射線位置検出 (depth-of-interaction: DOI) の技術により初めて可能となった。

(2) 本研究の位置付け

PET 検出器は、放射線と相互作用をすると発光するシンチレーション結晶にその光を感知する受光素子を結合させた構造が一般的である。DOI 検出器では、結晶部が細かな結晶素子の 3 次元配列となっており、結晶素子が細かいほど感度と解像度は向上するが結晶素子の識別は困難になる。

国内外で研究されている DOI 検出法は、ほとんどは 2 層、3 層の DOI 方向の識別である。我々のグループでは、結晶配列内に挿入する反射材の工夫により 4 層、そして波形弁別法と 4 層識別法を組み合わせることで 8 層の DOI 識別が可能であることを示した。しかし、波形弁別法を利用するこの方法では 2 種類のシンチレーション結晶を用いることが必要であり、使用できる結晶の組み合わせに制限があった。今回、どのようなシンチレーション結晶にも対応できるように単一結晶での 8 層の DOI 識別を試みた。

2. 研究の目的

PET 検出器の結晶配列部の反射材挿入位置を工夫することにより 4 層分の DOI 識別を可能とした以前の研究成果に、通常四角柱である結晶素子の形状を三角柱とする新しい発想を加えて DOI 検出器を多層化することで、PET 用検出器の更なる高性能化を実現する。

3. 研究の方法

我々のグループで提案した 8 層 DOI 検出の原理を実験的に証明し、検出器を試作する。

(1) 4 層 DOI・2 層 DOI 検出器の原理

図 1 a) に 4 層 DOI 検出器の原理を示す。結晶の識別は、放射線を一樣照射したときに検出したイベントの位置演算の結果得られる 2 次元 (2D) ポジションヒストグラム上で行う。4 層 DOI 検出器では、4 層分のシンチレーション結晶素子配列内の一部の反射材が抜かれ空気層となっている。一般の検出器ではすべての結晶素子間に反射材が入っていて、シンチレーション光は発光した結晶素子の真下から位置弁別型光電子増倍管 (PS-PMT) に入射するため、結晶素子が等間隔に配列されているのに対応し 2D ポジションヒストグラム上の結晶応答も等間隔に並ぶ。しかし結晶素子間の反射材を抜くと、シンチレーション光が隣の結晶素子にも広がるため、結晶応答

が光の広がる方向に移動する。したがって、結晶応答は反射材を抜いた部分で互いに近寄り、その分反射材が存在する部分に空間ができる。その空間に他の結晶素子配列の応答が位置するように工夫することで、結晶素子配列を積層してもすべての結晶応答を重なりなく 2D ポジションヒストグラム上に表すことができる。

図 1 b) に 2 層 DOI 検出器の原理を示す。通常用いられる四角柱状結晶素子を 2 分して三角柱状にすると、結晶応答は 2 つの三角柱型結晶素子の位置に対応した場所、つまり分割した線の両側に位置する。2 つの四角柱状結晶素子を異なる対角線で 2 分すると結晶応答は異なる方向に分かれるため、結晶素子を積層しても応答が重ならず判別可能となる。

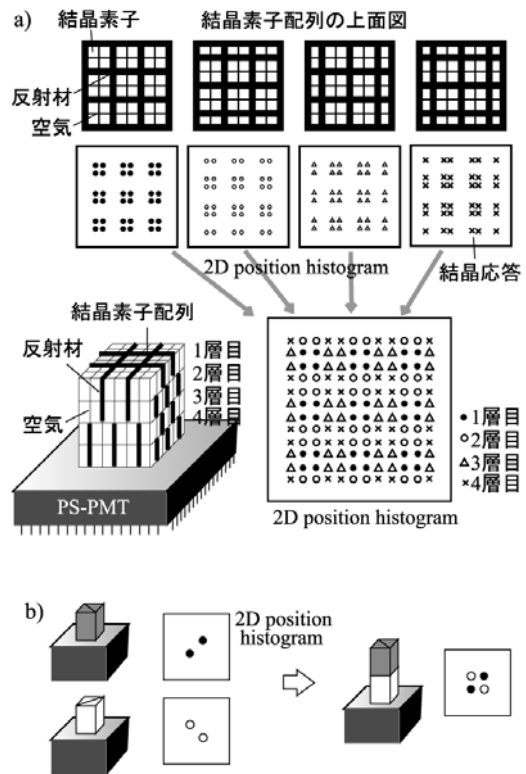


図 1 a) 4 層 DOI 検出器の原理。b) 2 層 DOI 検出器の原理。

(2) 8 層 DOI 検出器の原理

8 層 DOI 検出は、4 層 DOI 検出器の 1 つの四角柱状結晶素子を DOI 方向に 2 分し、さらにそれぞれ異なる対角線で三角柱状に分割することにより可能となる。図 2 に 8 層 DOI 検出器の構造を示す。また、2D ポジションヒストグラムを 4 層 DOI 検出器との比較で示す。4 層 DOI 検出器の 1 つの結晶素子が上下に 2 分され、さらにそれぞれが三角柱型に 2 分されるため、1 つであった結晶応答が 4 つに分かれる。対応する結晶応答を四角の囲みで示

す。

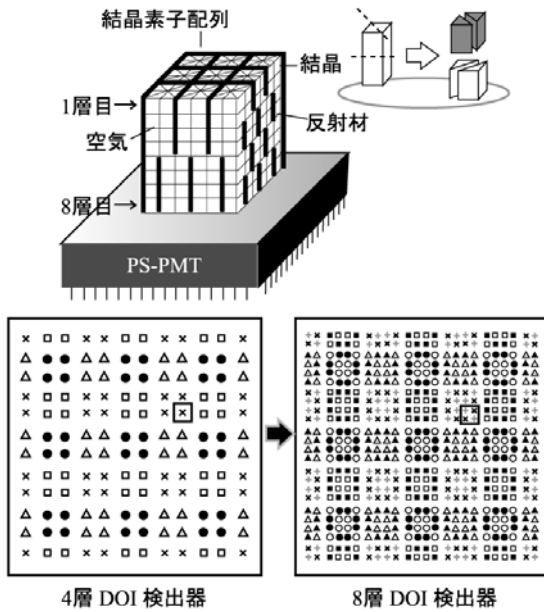


図2 8層 DOI 検出器の原理

4. 研究成果

(1) 放射線の全体照射による性能評価

図3a)に、 γ 線の一様照射で得られた2次元ポジションヒストグラムを示す。結晶応答を原理通りの位置に表し8層の識別を行うことができた。結晶応答と対応する結晶の例を図3b)に、各層中央の結晶素子の波高分布を図4に、その分布から導かれる光量の相対値とエネルギー分解能を表1に示す。図3a)で、上層の結晶応答が広がり結晶素子の識別能が劣化しているが、図4に見られるように上層の結晶素子では得られる光量が少ないことが原因と思われる。空気より屈折率が結晶に近い光学接着剤を層間に用いることにより改善される可能性がある。また、端の結晶素子の識別のためのさらなる最適化の必要性も示している。

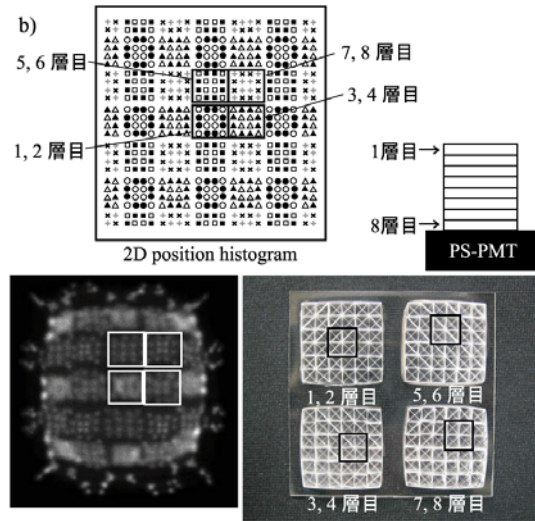
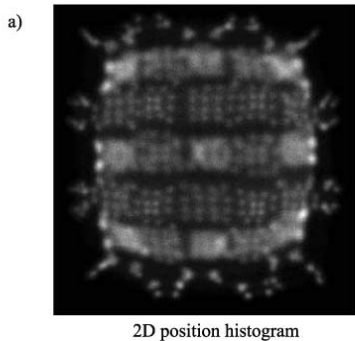


図3 a) 8層 DOI 検出器への γ 線一様照射により得られた2次元ポジションヒストグラム。b) 結晶応答と結晶素子の対応。

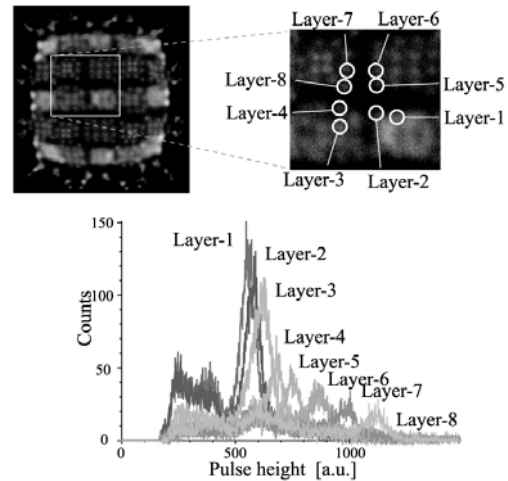


図4 各層中央の結晶素子の波高分布。

表1 各層中央の結晶素子の光量の相対値とエネルギー分解能

	Layer-1	2	3	4	5	6	7	8
Full energy peak [a.u.]	0.50	0.52	0.55	0.61	0.68	0.78	0.88	1.00
Energy resolution [%]	15.7	15.8	18.1	14.9	15.3	15.8	13.5	11.3

(2) 層ごとへの放射線照射による性能評価
図5は各層に側面から γ 線照射を行った結果得られた2次元ポジションヒストグラムである。各層の結晶応答が原理通りの位置に現れていることがわかる。上層のヒストグラムが下層と比べ縮んでいるのは、光が受光素子に届くまでに広がるためと思われる。この傾向は、以前行った波形弁別による8層 DOI 検出器においても見られたため、結晶の形状に起因す

るものではないと考えられる。そして、この傾向は、特に端の結晶の識別を劣化させる原因となっている。

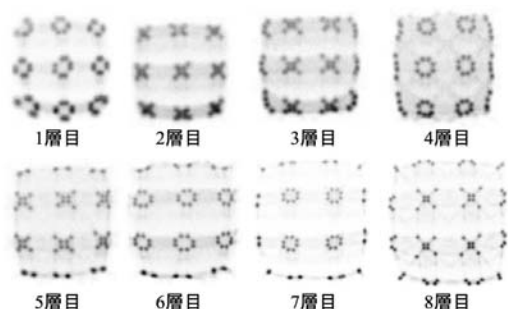


図5 8層 DOI 検出器の各層への γ 線照射により得られた2次元ポジションヒストグラム。

(3) 結論

結晶素子の形状を変えることで単一のシンチレータで8層分のDOI検出を行うことができることを実験により確認した。PMTから最も離れた上層で結晶素子識別の劣化が見られたが、層間物質の検討により改善できると思われる。

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3件)

- ① 稲玉直子、PET検出器における三角柱状シンチレーション結晶を用いた8層DOI検出法、第99回日本医学物理学会学術大会、2010年4月11日、パシフィコ横浜(神奈川県)
- ② 稲玉直子、PET検出器における8層DOI検出法、第57回応用物理学関係連合講演会、2010年3月19日、東海大学(神奈川県)
- ③ 稲玉直子、Proposal of a 8-Layer DOI Detector Composed of Same Scintillation Crystal Elements、IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference、2009年10月30日、Hilton Disney World Hotel (Orlando Florida)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

稲玉 直子 (INADAMA NAOKO)

独立行政法人放射線医学総合研究所・分子イメージング研究センター・研究員

研究者番号：10415408

(2) 研究分担者 ()

研究者番号：

(3) 連携研究者 ()

研究者番号：