

平成 21 年 6 月 3 日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19700427
 研究課題名（和文） ガンマ線トラッキング同時計数型 PET 装置の基礎研究
 研究課題名（英文） Feasibility study of high sensitive PET scanner using gamma-ray tracking
 研究代表者
 吉田 英治 (YOSHIDA EIJI)
 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：50392246

研究成果の概要：

Positron Emission Tomography (PET) 装置はガンの診断や神経伝達物質の画像化など高度な臨床や生体機能の解明に欠かせないツールになっている。また小動物を使った遺伝子発現などの分子イメージングの分野でも今後主導的な役割となることが期待されている。そのため、より高感度で信号対ノイズ比 (S/N) が高い PET 装置が求められている。本研究は PET 装置におけるノイズ成分である偶発・散乱同時計数の割合を低減することで PET 装置の S/N を改善するために、結晶内多重散乱に対して消滅放射線の入射方向を大まかに特定することで偶発同時計数の低減する手法及び 3 次元検出器を用いて上層（被検者に近い方）のシンチレータを散乱線の吸収体とみなすことによって下層のエネルギーウィンドウを広げ、装置感度を高める手法 (DEEW 法) を検討した。256 チャンネルの位置弁別方光電子増倍管の出力を独立して読み出せる検出器系によるモンテカルロによるシミュレーションの結果では約 8 割の結晶内多重散乱の識別能を達成した。全身用 GSO-PET 装置を模擬したシミュレーションの結果から、DEEW 法を用いれば 10 から 25% の感度向上を見込めることが期待される。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,800,000	0	1,800,000
2008 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,600,000	240,000	2,840,000

研究分野：核医学画像診断装置

科研費の分科・細目：

キーワード：PET、散乱同時計数、偶発同時計数、多重散乱、空間分解能

1. 研究開始当初の背景

Positron Emission Tomography (PET) 装置はガンの診断や神経伝達物質の画像化など高度な臨床や生体機能の解明に欠かせないツールになっている。また小動物を使った遺

伝子発現などの分子イメージングの分野でも今後主導的な役割となることが期待されている。そのため、より高感度で信号対ノイズ比 (S/N) が高い PET 装置が求められている。

1 対の消滅ガンマ線を 3 次元的に検出する 3D-PET では、被検体の近傍に検出器を大立体角に配置することでガンマ線の検出効率を高め、感度を飛躍的に向上することができる。しかしながら、同時計数の検出器ペアが増大することで偶発同時計数や散乱同時計数といったノイズ成分も増大するため、得られる画像の S/N が頭打ちになる傾向がある。そのため、真の同時計数の感度を向上しながら、偶発や散乱同時計数を低減する技術が必要とされている。

偶発同時計数はタイムウィンドウを狭めることで、散乱同時計数はエネルギーウィンドウを狭めることで、それぞれ低減することができるが、時間分解能やエネルギー分解能は主としてシンチレータ結晶によって決まるため、性能の大幅な改善には限界がある。消滅ガンマ線の検出時間差を利用して画像の S/N を改善する Time Of Flight (TOF) 方式の PET も提案されているが、高速かつ高感度なシンチレータ結晶が存在しないため実用化に至っていない。また TOF の効果は体型の大きな人に限られ、日本人を対象とした臨床や小動物に応用することが難しい。

また検出器内のコンプトン散乱を利用してガンマ線の入射方向を推定するコンプトンカメラも研究されているが、感度とエネルギー分解能を両立させる検出器の開発が困難な上、入射方向の推定精度に限界があるため、シングルガンマ線のみでは高分解能かつ高感度な画像を得ることが難しいのが現状である。

2. 研究の目的

本研究は PET 装置におけるノイズ成分である偶発・散乱同時計数の割合を低減することで PET 装置の S/N を改善する手法を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

これまでに、検出器内で複数回の相互作用した事象（結晶内多重散乱）に対して消滅放射線の入射方向を大まかに特定することで偶発同時計数の低減する手法を提案した。しかしながら、結晶内多重散乱に関する情報を取得するためには微細な結晶素子に対して独立した検出素子が必要とされる。本研究では主成分分析 (PCA) を用いてブロック検出器における結晶ブロック内での多重散乱の識別方法を検討した。256 チャンネルの位置弁別方光電子増倍管の出力を独立して読み出せる検出器系 (図 1) を想定して、出力データに統計的クラスタリングの手法を多重散乱識別に用いた。また、汎用の PET 装置シミュレータと検出器シミュレータを組み合わせることによって消滅放射線の発生から検出器内での光の振る舞いまでをシミュレ

ーションできる環境を構築し、結晶内多重散乱が空間分解能に与える影響を検討した。

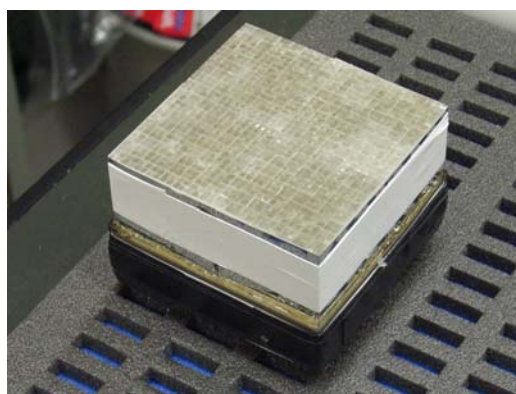


図 1 256 チャンネル読み出しの 3 次元検出器

前述の偶発同時計数低減手法は検出器内でのガンマ線の分布を解析する必要があり検出器の高度化が必須である。そこで本研究では 3 次元検出器を用いて上層（被検者に近い方）のシンチレータを散乱線の吸収体とみなすことによって下層のエネルギーウィンドウを広げ、装置感度を高める手法（DOI-dependent extended energy window: DEEW 法）を開発した。(図 2) 従来のエネルギーウィンドウ法ではウィンドウを広げて感度を上げてそれ以上にノイズが増えてしまうため、画質は逆に悪くなってしまふ。DEEW 法はノイズの増加を低減しつつ感度を上げるため画質改善に寄与できる。

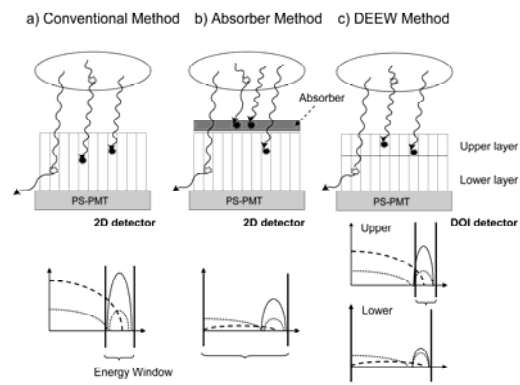


図 2 DEEW 法と従来法の比較

4. 研究成果

256 チャンネルの位置弁別方光電子増倍管の出力を独立して読み出せる検出器系によるモンテカルロによるシミュレーションの結果では約 8 割の結晶内多重散乱の識別能を達成した。(図 3) また、256 チャンネルの位置弁別方光電子増倍管の 192 チャンネル分の独立読み出しシステムを構築し、実測データに本手法を適用した結果、実測データに対し

でも取得されたデータから結晶内多重散乱成分を識別できることを確認した。

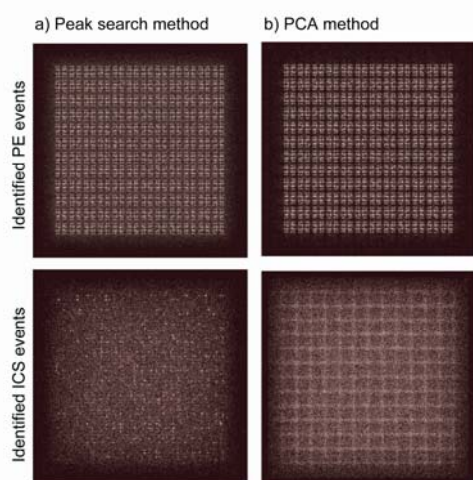


図 3 シミュレーションによる光電吸収 (PE) と結晶内多重散乱 (ICS) の識別。a) Peak Search:簡便法、 b) PCA

PET 装置を模擬できるシミュレータを用いて小動物 PET 装置を模擬した系で結晶内多重散乱が空間分解能に与える影響を検討した。結晶内多重散乱は視野中心においては半値幅にはほとんど影響を及ぼさないが、視野中心を離れるほど空間分解能を劣化させる傾向が見られた。1/10 幅においては線源位置に関係なく 2 割程度空間分解能が劣化した。結晶内多重散乱を取り除けば空間分解能が少し改善するが感度が大幅に低減されるため PET 装置の高感度計測を生かすためには結晶内多重散乱成分も利用することが望ましいと考えられる。

全身用 GSO-PET 装置を模擬したシミュレーションの結果から、DEEW 法を用いれば 10 から 25%の感度向上を見込めることが期待される。実行原子番号が低いシンチレータではコンプトン散乱の確率が高いため GSO 等の実効原子番号が高いシンチレータよりも高い感度向上が見込める。LaBr₃を用いた全身用 PET 装置を模擬したシミュレーションを行った結果、DEEW 法を用いれば 40%以上の感度向上が確認できた。

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 4 件)

- ①. E. Yoshida, K. Kitamura, F. Nishikido, K. Shibuya, T. Hasegawa, T. Yamaya, N. Inadama, H. Murayama, “Feasibility study of a highly sensitive LaBr₃ PET scanner based on the DOI-dependent extended-energy window”, Nuclear

Instruments and Methods in Physics Research Section A, Vol. 594, pp. 363-365, 2009, 査読あり

- ②. E. Yoshida, K. Kitamura, K. Shibuya, F. Nishikido, T. Hasegawa, T. Yamaya, C. Lam, N. Inadama, H. Murayama, “A DOI-Dependent Extended Energy Window Method to Control Balance of Scatter and True Events”, IEEE Transactions Nuclear Science, Vol. 55, pp. 2475-2481, 2008, 査読あり
- ③. E. Yoshida, T. Yamaya, M. Watanabe, K. Kitamura, A. Kobayashi, T. Hasegawa, T. Obi, H. Haneishi, M. Fukushi, H. Murayama, “Design and initial evaluation of a 4-layer DOI-PET system: the jPET-D4”, Japanese Journal of Medical Physics, Vol. 26, pp. 131-140, 2007, 査読あり
- ④. E. Yoshida, K. Kitamura, Y. Kimura, F. Nishikido, K. Shibuya, T. Yamaya, H. Murayama, “Inter-crystal scatter identification for a depth-sensitive detector using support vector machine for small animal PET”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, Vol. 571, pp. 243-246, 2007, 査読あり

[学会発表] (計 7 件)

- ①. E. Yoshida, K. Kitamura, F. Nishikido, K. Shibuya, T. Hasegawa, T. Yamaya, N. Inadama, H. Murayama, “Feasibility study of a highly sensitive LaBr₃ PET scanner based on the DOI-dependent extended-energy window”, 8th International Conference on Position Sensitive Detectors, 2008. 9. 4, Scotland
- ②. 吉田英治, 北村圭司, 錦戸文彦, 澁谷憲悟, 長谷川智之, 山谷泰賀, 村山秀雄, “実効原子番号の低い無機シンチレータを用いた高感度PET装置の検討”, 第 95 回日本医学物理学会学術大会, 2008. 4. 4, 横浜
- ③. 吉田英治, 北村圭司, 錦戸文彦, 澁谷憲悟, 長谷川智之, 山谷泰賀, 村山秀雄, “エネルギーウィンドウの最適化による頭部用PET試作機 jPET-D4 の性能向上”, 春季第 55 回応用物理学会学術講演会, 2008. 3. 30, 新橋
- ④. 吉田英治, 北村圭司, 錦戸文彦, 澁谷憲悟, 長谷川智之, 山谷泰賀, 村山秀雄, “高感度PET装置のための検出深さ位置とエネルギーを利用した散乱線除去法の検討”, 第 47 回日本核医学会総会, 2007. 11. 5, 仙台

- ⑤. E. Yoshida, K. Kitamura, K. Shibuya, F. Nishikido, T. Hasegawa, T. Yamaya, H. Murayama, “A DOI-Dependent Extended Energy Window Method to Control Balance of Scatter and True Events”, 2007 IEEE Nuc. Sci. Sympo. & Med. Imag. Conf, 2007.10.30, Hawaii
- ⑥. 吉田英治, 北村圭司, 錦戸文彦, 澁谷憲悟, 長谷川智之, 山谷泰賀, 村山秀雄, “DOI拡張エネルギーウィンドウ法による高感度PET装置の検討”, 第68回応用物理学学会学術講演会, 2007.8.4, 北海道
- ⑦. 吉田英治, 山谷泰賀, 北村圭司, 村山秀雄, “小動物PET用DOI検出器における結晶内多重散乱の影響の検討”, 第25回日本医用画像工学会, 2007.7.20, 筑波

〔産業財産権〕

○出願状況 (計1件)

名称: エネルギーと位置情報を利用した放射線検

出方法及び装置

発明者: 吉田英治, 澁谷憲悟, 山谷泰賀, 村山秀雄, 北村圭司

権利者: 放医研、島津製作所

種類:

番号: 国際出願番号 PCT/JP2007/066940

出願年月日: 平成19年8月30日国際出願

国内外の別:

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉田 英治 (YOSHIDA EIJI)

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: 50392246