

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：82502

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24601019

研究課題名(和文)フレキシブルPET装置開発のための独立型DOI検出器の開発

研究課題名(英文)Feasibility Study of an Axially Extendable Multiplex Cylinder PET

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・主任研究員

研究者番号：50392246

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：PET装置の体軸視野は一般的に約20cmであり、全身を撮像する際には複数のベッド位置での測定が必要となる。一方、マイクロドーズ試験等においては全身を一括で測定できるPET装置が切望されている。本研究では測定対象部位ごとに体軸視野を可変可能な積層視野可変型PET装置を考案した。検出器はシンチレータと半導体受光素子を積層した独立型3次元検出器から構成され、検出器の各層を体軸方向にスライドさせることで従来と同程度の量のシンチレータで体軸視野の拡張が可能になる。また独立型3次元検出器を試作し、192 psという非常に高い時間分解能を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：Current clinical PET scanners have a 20 cm axial field-of-view (FOV). These scanners image the whole body using six or more bed positions. We designed an axially extendable multiplex cylinder (AEMC) PET scanner to provide high versatility for clinical and research studies using semiconductor photo-sensor based, depth-of-interaction (DOI) detectors. The AEMC-PET scanner consists of multiple independent and laminated detector rings using the DOI detectors. The AEMC-PET scanner can extend the axial FOV as each stacked detector ring can be slid sideways. We expect the designed AEMC-PET scanner will provide high versatility in applications such as for measuring whole-body tracer uptakes while keeping the continuous axial FOV; as well, the scan time for static images will be reduced for a comparable number of detectors as conventional PET scanners. Also, we developed prototype detector using the digital photon counters. The developed detector had high energy resolution of 192 ps.

研究分野：核医学画像診断装置

キーワード：PET 3次元検出器

1. 研究開始当初の背景

PET装置は放射性薬剤を用いて非侵襲的に体内の薬剤分布を画像化できることからガン診断や脳機能研究等に用いられている。また、薬剤の体内での時間的分布の変化を追跡できることから分子イメージング等の生体機能の解明に欠かせないツールになっている。PET装置は約3cm厚の有感領域(シンチレータ)を持つガンマ線検出器を被験者の周囲にリング上に配置して薬剤から発生する1対の511 keVガンマ線を検出する事で検出器を結ぶ線状(同時計数線)に線源の位置を特定する。現在のPET装置のリング長は約20cmであり一度に画像化できる範囲は限られているため被験者全体の薬剤の時間的分布の変化を計測する事はできない。また、約3cm厚の有感領域は斜めに入射するガンマ線に対して空間分解能を劣化させてしまうため、リング直径は80cm程度の装置が一般的である。空間分解能と感度を高めたリング直径の小さい頭部等の局所撮像装置も開発されているが専用装置になってしまう。一方、マイクロドーズ試験等においては全身を一括で測定できるPET装置が切望されているが、コスト面等から実現できていない。

2. 研究の目的

本研究では測定対象部位ごとに体軸視野を可変可能なPET装置の実現可能性についてモンテカルロ・シミュレーションを元に検討した。考案した積層視野可変型PET装置はシンチレータと半導体受光素子であるSiPMを積層した独立型3次元検出器から構成され、3次元検出器の各層を体軸方向にスライドさせることで従来と同程度の量のシンチレータで体軸視野の拡張が可能になる。また、積層視野可変型PET装置では非常に長い同時計数線を取得することから、飛行時間差(time-of-flight: TOF)による装置の性能向上が従来のPET装置よりも期待できる。独立型3次元検出器としては単一光子からトリガーが可能なデジタルSiPMを用いて単層の検出器を試作し、評価した。

3. 研究の方法

(1) 積層視野可変型PET装置

積層視野可変型PET装置(図1)は独立型3次元検出器(図2)のそれぞれの層を独立にスライドさせることにより任意の体軸視野を設定できる。それぞれの体軸視野における物理的特性をモンテカルロ・シミュレーションによって評価した。図1に示すように、検出器のスライド方法は、1,2層目と3,4層目を逆方向にスライドさせ、1層目(4層目)は2層目(3層目)の2倍の移動量とした。各層が完全に分離すればOpenPETとなる。模擬したPET装置の基本パラメータを表1に示す。最も単純な系として点線源を視野中心においた場合と人体のサイズを模擬した180cmの線線源の感度を計算した。

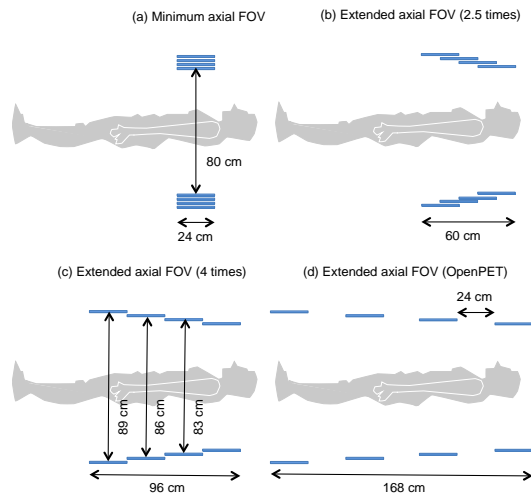


図1 積層視野可変型PET装置

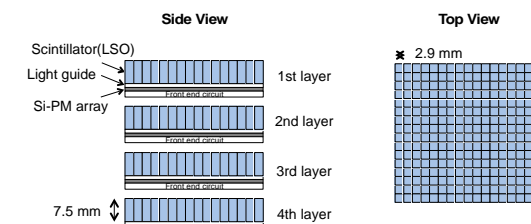


図2 独立型3次元検出器

表1 積層視野可変型PET装置の基本特性

Crystal material	LSO
Crystal size	2.9 × 2.9 × 7.5 mm ³
Number of crystals	16 × 16 × 4 (per detector)
Number of rings	48
Ring diameter	80 cm
Axial FOV	24 - 168 cm
Time resolution	1.4 ns
Energy resolution	15 %
Coincidence time window	6 ns
Energy window	400-600 keV

(2) 独立型3次元検出器試作

デジタルSiPMでは個々のPixelは3200個のガイガーモードAPDから構成され、光子を検出したAPDの数を入力する。トリガーは単一光子から可能である。シンチレータブロックは2.9 × 2.9 × 5 mm³のLGSOを8 × 8の単層アレイを1mm厚のライトガイドを挟んでデジタルSiPMに光学接続した。²²Na点線源を用いて結晶弁別、エネルギー分解能及び時間分解能を測定した。

(3) 検出器間散乱による感度向上手法

一方で独立型3次元検出器は厚みが薄いためコンプトン散乱によって一部のエネルギーしか付与せず検出器外に逃げる事象が増える(図3)。これらの事象は他の検出器との相互作用する検出器間散乱を引き起こす可能性が高い。検出器間散乱を分解能の劣化を低減しつつ利用することでPET装置の高感度化手法を開発した。

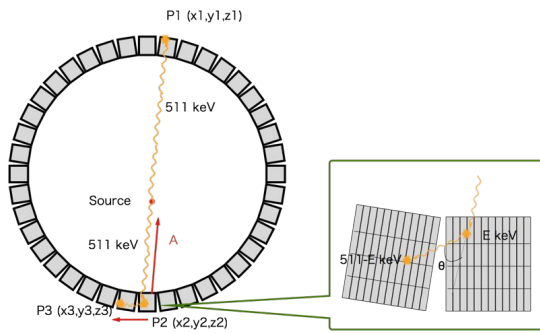


図3 検出器間散乱

4. 研究成果

(1) 積層視野可変型 PET 装置

図4と5に視野中心に点線源と180cmの線線源をおいた場合の感度を示す。点線源の場合、点線源は常に検出器リング内に配置されており、体軸延長による立体角向上よりもシンチレータが薄くなったことによる検出効率低下の効果が大きく、体軸視野を延長するに連れて感度は低下する。一方、人体のサイズを模擬した線線源は体軸視野を延長するに連れ、検出器リング内含まれる線線源の割合が高くなるため、感度は向上する。

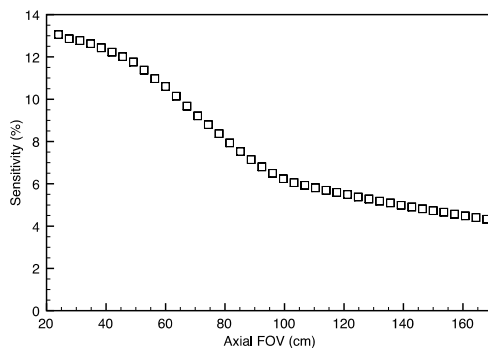


図4 点線源による体軸視野延長による感度の変化

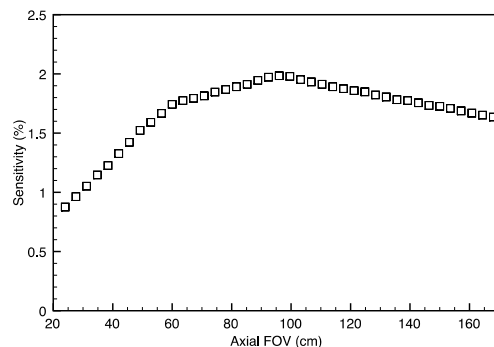


図5 180 cm 線線源による体軸視野延長による感度の変化

(2) 独立型3次元検出器試作

デジタル SiPM を用いた検出器の基本性能を測定した結果、本検出器は非常に高い結晶識別が可能であり12%及び192 ps の高いエネルギー分解能及び時間分解能が得られた。

(3) 検出器間散乱による感度向上手法

結晶内散乱による高感度化手法におけるシミュレーションによる検証の結果、実行原子番号が低いシンチレータほど感度向上効果が高く、検出器の深さ識別能が高いほど測定誤差を低減できることが分かった。

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)

E. Yoshida, I. Somlai-Schweiger, H. Tashima, S. I. Ziegler, T. Yamaya, "Parameter optimization of a digital photon counter coupled to a four-layered DOI crystal block with light sharing", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, Vol. 62, 2015 (in press).

E. Yoshida, H. Tashima, and T. Yamaya, "Sensitivity booster for DOI-PET scanner by utilizing Compton scattering events between detector blocks," *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A*, vol. 763, no. C, pp. 502–509, Nov. 2014.

E. Yoshida, Y. Hirano, H. Tashima, N. Inadama, F. Nishikido, H. Murayama, H. Ito, and T. Yamaya, "Feasibility Study of an Axially Extendable Multiplex Cylinder PET," *IEEE Trans Nucl Sci.*, vol. 60, no. 5, pp. 3227–3234, 2013.

E. Yoshida, H. Tashima, Y. Hirano, N. Inadama, F. Nishikido, H. Murayama, T. Yamaya, "Spatial resolution limits for the isotropic-3D PET detector X'tal cube", *Nucl. Instr. Meth. A*, Vol. 728, 107–111, 2013.

(学会発表)(計 9 件)

E. Yoshida, I. Somlai-Schweiger, H. Tashima, S. I. Ziegler, T. Yamaya, "Optimization of Digital SiPMs Coupled to a Four-Layered DOI Crystal Block with Light Sharing", 2014 IEEE Nuc. Sci. Sympo. & Med. Imag. Conf, M19-115, Seattle, USA, Dec. 10 – Dec. 15, 2014.

吉田英治, 田島英朗, 山谷泰賀: 検出器間散乱を用いた DOI PET 装置の高感度化手法の開発、第75回応用物理学関係連合講演会、札幌、2014.9.18.

吉田英治, 田島英朗, 山谷泰賀: 検出器間散乱を用いた DOI-PET 装置の高感度化手法の開発、第106回日本医学物理学学会学術大会、神奈川、2014.4.10-13.

吉田英治, 田島英朗, 伊藤 浩, 山谷泰賀: コンプトン散乱を用いた PET 装置の高感度化手法の開発、第53回日本核医学会学術総会、福岡、2013.11.10

吉田英治, 品地哲弥, 田島英朗, 羽石秀昭, 伊藤 浩, 山谷泰賀: アキシシャルシフト型シングルリング OpenPET の性能評価、第53回日本核医学会学術総会、福岡、2013.11.10

E. Yoshida, H. Tashima, T. Yamaya, "Sensitivity Booster for DOI-PET by Utilizing Compton Scattering Events Between Detector Blocks", 2013 IEEE Nuc. Sci. Sympo. & Med. Imag. Conf, M16-14, Souel, South Korea, Oct. 26 – Dec. 2, 2013.

吉田英治, 平野祥之, 田島英朗, 稲玉直子, 錦戸文

彦, 村山秀雄, 伊藤 浩, 山谷泰賀: 体軸視野サイズ可変型の新しい PET 装置の提案、第 105 回日本医学物理学会学術大会、神奈川、2013.4.11-14.

E. Yoshida, Y. Hirano, H. Tashima, N. Inadama, F. Nishikido, H. Murayama, H. Ito, T. Yamaya, "Feasibility Study of an Axially Extendable Multiplex Cylinder PET", 2012 IEEE Nuc. Sci. Sympo. & Med. Imag. Conf, M12-5, Anaheim, USA, Oct. 30 – Dec. 3, 2012.

吉田英治, 平野祥之, 田島英朗, 稲玉直子, 錦戸文彦, 村山秀雄, 伊藤 浩, 山谷泰賀: 体軸視野サイズ可変型の新しい PET 装置の提案、第 105 回日本医学物理学会学術大会、神奈川、2013.4.11-14.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉田英治 (Eiji Yoshida)

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・主任研究員

研究者番号：50392246

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：