

令和元年6月5日現在

機関番号：82502

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K08708

研究課題名(和文) コンプトンカメラ型PET装置の基礎的検討

研究課題名(英文) Feasibility study of Compton PET scanner

研究代表者

吉田 英治 (Eiji, Yoshida)

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所 計測・線量評価部・主幹研究員(定常)

研究者番号：50392246

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：PET検出器はバランスのとれた非常に高い性能を有しているが、コンプトンカメラの手法を取り入れてガンマ線の相互作用位置をトラッキングすることで更なる性能向上が可能である。発光素子としてGAGGシンチレータ、受光素子としてMPPCを用いた散乱部を試作し、既存の吸収部と組み合わせることで積層型トラッキング検出器を試作し性能を評価した。散乱部は0.9 mm角のシンチレータを十分識別でき、検出器全体で15%のエネルギー分解能を得た。本検出器はシングルガンマ・イメージングにおいても生体計測に十分利用可能な性能を期待できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

コンプトンカメラはすでに天体や環境放射能の測定において応用されているが、医療利用に関しては検出効率が最大の欠点となっているのが現状である。開発した検出器を用いてコンプトンカメラの技術を補助的に利用することで従来のPETでは利用できなかった入射角度という新たな情報を利用してPET計測の更なる性能向上に寄与するものと期待できる。また、PETの技術をコンプトンカメラに応用することで高感度なシングルガンマ・イメージングにつながると期待する。

研究成果の概要(英文)：PET detectors have high performance of sensitivity and spatial resolution. PET detectors can be further improved by tracking the interaction of gamma ray by using Compton camera. In this work, we developed the new Compton tracking PET detector. This detector consist of the scatterer part of the GAGG array and the MPPC array and the absorber part of the GSO array and the PS-PMT. For scatterer part, 0.9 mm scintillator can be identified easily and energy resolution was 15%. The developed detector promises high performance for single gamma based medical imaging.

研究分野：核医学

キーワード：PET コンプトンカメラ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

非侵襲的に体内の薬剤分布を画像化できる PET 装置はポジトロンからの消滅放射線を被検者の周囲にリング上に配置したガンマ線検出器で同時計数することによって高感度計測が可能な技術である。PET 用検出器は 511 keV のガンマ線に特化することで検出効率、エネルギー分解能、時間分解能等においてバランスのとれた非常に高い性能を有し、日進月歩で性能向上が図られているが、原理的にシングルガンマのイメージングはできない。一方、シングルガンマ・イメージング手法としてコンプトンカメラが環境分野等で注目されている。コンプトンカメラは多段の半導体検出器を用いてそれぞれの検出器で検出された位置と付与したエネルギーからコンプトン運動方程式によって放射線の入射方向を特定するが、高価な半導体検出器を必要とし、単体の検出器では検出効率が悪く、分布を持つような対象には余り適さない。近年、PET 用として十分な性能を有し、従来の PET 用シンチレータよりも高いエネルギー分解能を有する GAGG シンチレータや光電子増倍管と同等の性能を有する半導体受光素子 (ガイガーモード APD: G-APD) が開発され、コンプトンカメラ型 PET 装置の実現可能性は高まっていると考えられる。GAGG は性能面では従来から用いられる Si 等の半導体検出器に対して劣るがコスト面でのメリットがあると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では積層型トラッキング検出器を用いたコンプトンカメラ型 PET 装置を新たに提案する。PET 用検出器はバランスのとれた非常に高い性能を有しているが、コンプトンカメラの手法を取り入れてガンマ線の相互作用位置をトラッキングすることで更なる性能向上が可能である。本研究では散乱部と吸収部からなる積層型トラッキング検出器を開発し、モンテカルロ・シミュレーションによってコンプトンカメラ型 PET 装置の実現可能性を検討することを目的とする。積層型トラッキング検出器を利用することによって、従来の PET 装置では実現不可能なシングルガンマ・イメージングを実現するための基礎的データを取得する。

3. 研究の方法

はじめに、コンプトンカメラ型 PET の仕様を検討するためにモンテカルロによるシミュレータを構築した。積層型トラッキング検出器の散乱部は GAGG シンチレータを用い、吸収部は既存の GSO-PET 装置をベースにコンプトンカメラ型 PET 装置を模擬した。また、本システムを用いてコンプトンカメラとしての性能予測を実施した。

次に、シミュレータによって決定した仕様に基づき積層型トラッキング検出器プロトタイプの開発を実施した。最後に、積層型トラッキング検出器プロトタイプの性能評価を行った。

4. 研究成果

受光素子として 0.9 mm 角の GAGG シンチレータと受光素子として MPPC を用いた散乱部 (図 1) を作成し、GSO シンチレータ及び光電子増倍管からなる吸収部と組み合わせることで積層型トラッキング検出器を試作した。散乱部は 0.9 mm 角の GAGG を十分識別でき、検出器全体で 15% のエネルギー分解能を達成した。

また、図 2 に示すように本検出器を用いて多重リング (散乱部の直径 20 cm、吸収部の直径 66 cm) を想定した ^{137}Cs のシングルガンマ・イメージングのシミュレーションを実施した結果、線源と散乱部の距離が 2 cm において約 4 mm の空間分解能を得ることができた (図 3)。

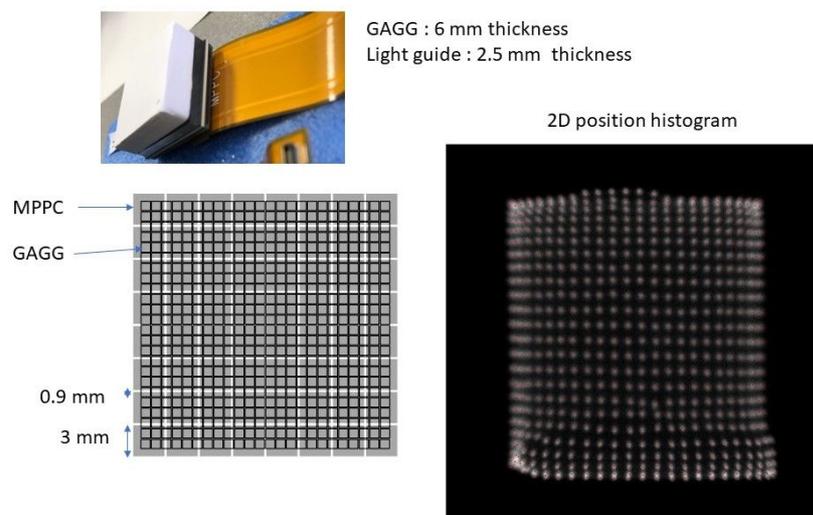


図 1 散乱部

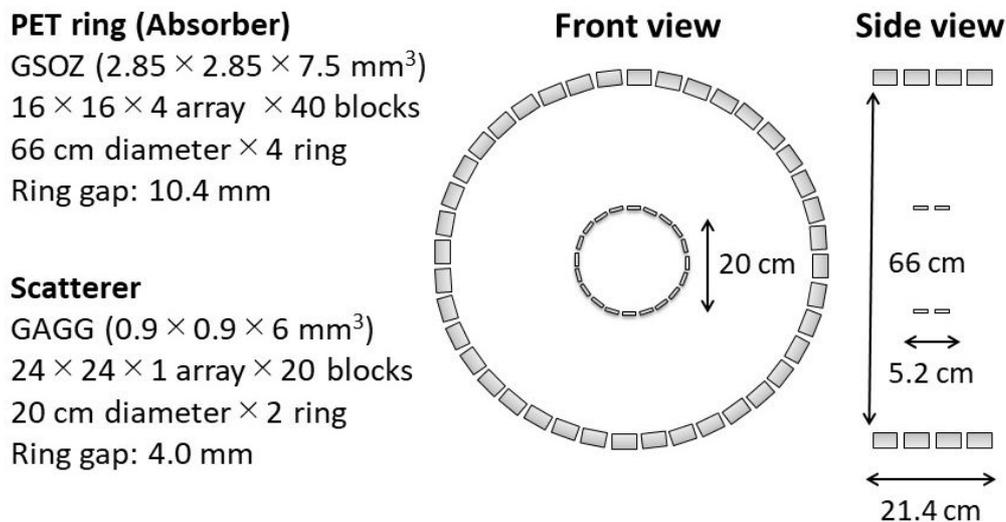


図2 模擬したコンプトンカメラ型 PET

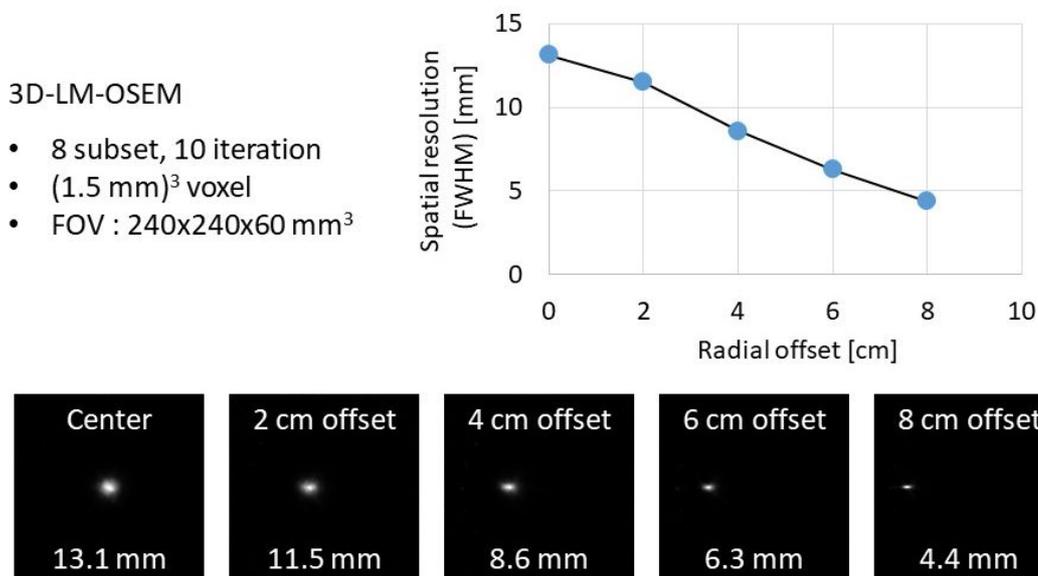


図3 シングルガンマ・イメージング

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 12 件)

1. Yusuke Okumura, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Mikio Suga, Naoki Kawachi, Katia Parodi, Taiga Yamaya, Sensitivity improvement in ^{44}Sc whole gamma imaging: simulation study, 2018 IEEE Nuc. Sci. Sympo. & Med. Imag. Conf, 2018.11.15
2. Sodai Takyu, Eiji Yoshida, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Munetaka Nitta, Kei Kamada, Katia Parodi, Taiga Yamaya, Development of the 4-Layer GAGG DOI Detector for a Scatterer of Compton Camera, 2018 IEEE Nuc. Sci. Sympo. & Med. Imag. Conf, 2018.11.15
3. Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Kotaro Nagatsu, Hideaki Tashima, Yusuke Okumura, Mikio Suga, Naoki Kawachi, Kei Kamada, Peter G. Thirolf, Katia Parodi, Whole gamma imaging (WGI) concept: demonstration of ^{44}Sc triple gamma imaging, 2017 World Molecular Imaging Congress Program Schedule and Abstract Book, LBA 24, 2017., Philadelphia USA, 2017.9.14.
4. 奥村勇介, 吉田英治, 田島英朗, 菅幹生, 河地有木, Katia Parodi, 山谷泰賀, “新しいコンプトン PET 装置の 3 ガンマイメージングシミュレーション”, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会, 福岡, 2017.9.7.

5. Taiga Yamaya, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Yuuto Nagao, Mitsutaka Yamaguchi, Naoki Kawachi, 酒井 真理, Yusuke Okumura, Mikio Suga, Katia Parodi, "Whole gamma imaging concept: feasibility study of triple-gamma imaging", 第 113 回日本医学物理学会学術大会, 日本医学物理学会, 2017-04-13
6. 奥村勇介, 菅幹生, 田島英朗, 酒井真理, 山口充孝, 長尾悠人, 河地有木, 山谷泰賀, 吉田英治, Whole gamma imaging concept: Compton-PET imaging simulation for positron emitters Whole gamma imaging コンセプト : PET 核種に対する Compton-PET 装置の空間分解能評価、第 113 回日本医学物理学会学術大会, 日本医学物理学会, 2017-04-13
7. E. Yoshida, H. Tashima, C. S. Levin, K. Parodi, T. Yamaya, "Sensitivity and Spatial Resolution Simulation of a PET-Compton Insert Imaging System", 2016 IEEE Nuc. Sci. Sympo. & Med. Imag. Conf, M04D-10, Strasbourg, France, Oct. 30 – Dec. 6, 2016.
8. J.Jiang, E.Yoshida, H.Tashima, K.Shinohara , M.Suga, T.Yamaya, "Geant4 Simulation Study of a Compton-PET imaging system using advanced 3D positioning detectors", 第 111 回日本医学物理学会学術大会, 神奈川, 2016.4.14-17.
9. 篠原滉平, 菅幹生, 吉田英治, 田島英朗, Jiang Jianyong, Ahmed Abdella Mohammednur, 山谷泰賀 : "多層検出器を用いたコンプトン PET の実現可能性の検討", 日本医用画像工学会 JAMIT フロンティア 2016, 那覇、2016.1.19-20
10. E. Yoshida, H. Tashima, F. Nishikido, M. Nitta, K. Shimizu, T. Inaniwa, T. Yamaya, "Development of a Whole-Body Single-Ring OpenPET for in-Beam Particle Therapy Imaging", 2015 IEEE Nuc. Sci. Sympo. & Med. Imag. Conf, M4CP-314, SanDiego, USA, Dec. 1 – Dec. 7, 2015.
11. 吉田英治, 田島英朗, 山谷泰賀 : 高感度コンプトン PET に向けた基礎的検討、第 110 回日本医学物理学会学術大会、札幌、2015.9.18-20.
12. Eiji Yoshida, Taiga Yamaya, Hideaki Tashima, Atsushi Tsuji, Kotaro Nagatsu, Mitsutaka Yamaguchi, Naoki Kawachi, Yusuke Okumura, Mikio Suga, and Katia Parodi, "Whole gamma imaging (WGI) concept: simulation study of triple-gamma imaging", J Nucl Med 2017 58:152, Society of Nuclear Medicine Annual Meeting, Denver, USA, 2015.6.10-14.

〔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：
 国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 取得年：
 国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。