

平成 28 年度 委託研究開発成果報告書

I. 基本情報

事業名： (日本語) 医療分野研究成果展開事業 先端計測分析技術・機器開発プログラム
(英語)

研究開発課題名： (日本語) コンプトン TOF-PET ハイブリッドカメラの開発
(英語) Development of Compton TOF-PET Hybrid-Camera

研究開発担当者 (日本語) 東京大学 助教 島添 健次
所属 役職 氏名： (英語) The University of Tokyo, Assistant Professor, Kenji SHIMAZOE

実施期間： 平成28年8月10日 ～ 平成29年3月31日

分担研究 (日本語) 高性能 CeBr₃ 結晶のピクセルアレー化
開発課題名： (英語) Development of production technology of CeBr₃ scintillator arrays

研究開発分担者 (日本語) 株式会社 C&A 代表取締役 鎌田 圭
所属 役職 氏名： (英語) C&A corporation, President, Kei KAMADA

分担研究 (日本語) 高性能 TOT-ASIC の開発
開発課題名： (英語) Development of a High Performance ToT-ASIC

研究開発分担者 (日本語) 沖縄科学技術大学院大学学園 研究員 織田忠
所属 役職 氏名： (英語) Okinawa Institute of Science and Technology Graduate University
Postdoctoral Researcher, Tadashi ORITA

分担研究 (日本語) 多核種同時撮像試験
開発課題名： (英語) Examination of simultaneous imaging of multiple PET and SPECT
tracers using clinical current apparatus

研究開発分担者 (日本語) 東京大学医学部附属病院 講師 高橋美和子

II. 成果の概要（総括研究報告）

和文

本研究の開発目的は多核種イメージング及び高い時間分解能を有するコンプトン TOF-PET ハイブリッドカメラを開発することである。本目的達成のため薄い1層目及び厚い2層目からなる高分解能シンチレータピクセルアレーを用いたコンプトンカメラ、PET の両機能を同時に実現可能なリング型を新たに考案し、PET/SPECT 核種の多核種同時イメージングの機能を有するカメラの開発を行う。具体的には本年度は下記のコンプトンカメラ PET ハイブリッドカメラの製作、CeBr₃結晶の高性能化、ピクセルアレー化、高性能 TOT-ASIC の開発、多核種同時撮像試験にかかる研究開発を行い計画どおり進捗している。

(1) コンプトン PET ハイブリッドカメラの製作

本年度は試作機として 3mm 角の HR-GAGG アレーを用いたモジュールを作成し SiPM と接合することでハイブリッドカメラ用のプロトタイプ検出器モジュールの製作を行った。開発した検出器モジュールを用いて、¹⁸F-FDG および ¹¹¹InCl₃ の非密封線源の撮像試験を行い、陽電子放出核種である FDG に関しては PET 及びコンプトンカメラでの撮像に成功した。また ¹¹¹In に関してはコンプトンカメラで撮像に成功し、考案した検出器構造を用いて両核種が撮像であることを明らかにした。またコンプトンカメラおよび PET の画像再構成のため、2層構造の層間の検出事象によりイベントを選別し、それぞれを再構成するソフトウェアの開発を行った。

(2) CeBr₃ 結晶の高性能化、ピクセルアレー化

H28 年度は 1 インチサイズの結晶育成を行い、エネルギー分解能及び時間特性評価を行った。またプロトタイプ検出器用に GAGG シンチレータを用いたシンチレータアレーを作成し MPPC とのアッセンブリを行い東京大学に供給した。CeBr₃ 単結晶の作成は石英封止ブリッジマン法を用いた。各種粉末原料を調合し 9N アルゴン雰囲気下で石英アンブルに投入し封止し無色透明の 1 インチφの単結晶が得られた。¹³⁷Cs 線源による 662keV ガンマ線照射による放射線応答評価を行い 72000photon/MeV の発光量および 3.8%@662keV のエネルギー分解能を確認した。また 2.1ns(0.2%), 19.2ns (99.8%)の蛍光寿命を示した。今年度時点で目標とした 3%台のエネルギー分解能を達成し、既報と同程度の蛍光寿命を確認した。また低価格化の検討として酸化セリウムからの臭化セリウム原料の合成の検討もすすめた。またプロトタイプ用として GAGG シンチレータアレーを作成し供給した。

(3) 高性能 TOT-ASIC の開発

本研究でターゲットとしているコンプトン TOF-PET カメラの実現には、高い時間分解能およびエネルギー分解能を両立可能な低消費電力の特定用途向け専用集積回路(ASIC)が必要である。本年度は時間分解能 100ps を達成するための 64ch の MPPC からの信号読出用の ASIC の設計およびレイアウトを行い、TSMC-CMOS 0.25μm プロセスを用いた製造を行った。

(4) 多核種同時撮像試験

本開発装置の試作モジュールで、内径 1mm の毛細管に ¹¹¹In、¹⁸F をそれぞれ充填し、試作モジュールでデータを収集し、検出過程の調整を行い計測に成功した。

臨床機と同様に物理指標を算出するために、本開発装置用ファントムとして、2核種混合液、単

核種液、cold（水）をそれぞれ充填し、同時撮像できるように、スターファントムを模した3分割ファントムを設計・作成した。本年度計画はほぼ順調に達成された。

英文

The purpose of this research is the development of Compton TOF-PET hybrid camera visualizing multi-nuclides with good time resolution. For achieving this purpose, a new two-layer structure is adopted with a thin first layer and thick a second layer for consisting hybrid ring imaging system with the function of TOF (Time Of Flight)-PET (Positron Emission Tomography) and Compton imaging, which could have the capability of imaging of PET/SPECT nuclides at the same time. In this fiscal year, the following items are studied and developed, Fabrication of Compton TOF-PET Hybrid camera, Development of high-performance CeBr₃ scintillator and its array, Development of fast and energy resolving TOT-ASIC and Experiment of multi-nuclides imaging using developed detector. All items are progressed as scheduled.

(1) Fabrication of Compton TOF-PET Hybrid camera

In this fiscal year, HR-GAGG scintillator array coupled to SiPM array with the pitch of 3mm was fabricated and developed as a prototype detector for PET-Compton hybrid imager. The imaging experiment using ¹⁸F-FDG and ¹¹¹InCl₃ nuclides was executed. The nuclide of FDG of positron emitter was visualized by both PET system and Compton imaging system. The gamma-ray with the energy of 245 keV from ¹¹¹In was also visualized by a Compton imager. This shows the usefulness of two-layer hybrid camera for multi-nuclide PET/SPECT imaging. The software of classification of events within two layers and reconstruction was also developed to form the image of PET and Compton camera.

(2) Development of high-performance CeBr₃ scintillator and its array

In this fiscal year, the crystal with the size of 1inch diameter was grown and its energy resolution and timing characteristics was evaluated. Also the array of GAGG scintillator coupled to MPPC was fabricated and provided to the University of Tokyo. CeBr₃ single crystal was grown by the method of quartz encapsulated Bridgeman. Each raw material was prepared and encapsulated with the atmosphere of 9N Argon gas in quartz ampule and a transparent 1inch single crystal was fabricated. The response to radiation of fabricated crystals was evaluated by observing the signal from 662 keV gamma-ray from ¹³⁷Cs source and the light yield of 72000photon/MeV and the energy resolution of 3.8%@662keV was successfully confirmed. Also the decay time of 2.1 ns (0.2%) and 19.2ns (99.8%) was measured. The aim of this fiscal year was achieved by this result. For decreasing the cost of crystal, the fabrication from Cerium oxide was also tried. The array of GAGG was fabricated and provided as a prototype.

(3) Development of a High Performance ToT-ASIC

For achieving hybrid imager, both good energy resolution and timing resolution are required. A new 64channel ASIC for readout of MPPC with 100 ps time resolution was designed and fabricated using TSMC-CMOS 0.25μm process.

(4) Examination of simultaneous imaging of multiple PET and SPECT tracers using clinical current apparatus

For calculating the physical parameter, the new phantom with three domains was designed and fabricated. This phantom will be used for the evaluation of two-nuclide hybrid imaging in future. The experiment using ^{18}F and ^{111}In was also executed as scheduled.

III. 成果の外部への発表

(1) 学会誌・雑誌等における論文一覧（国内誌 0 件、国際誌 2 件）

1. Yoshino, M., Kamada, K., Shoji, Y., Yoshikawa, A., Shimazoe, K., Lipovec, A., ... & Ito, S. (2017). Development and performance evaluation of Time-over-Threshold based digital PET (TODPET2) scanner using SiPM/Ce: GAGG-arrays for non-invasive measurement of blood RI concentrations. *Journal of Instrumentation*, 12(02), C02028.
2. Yoshino, M., Kamada, K., Yasuhiro, S., Kurosawa, S., Yokota, Y., Ohashi, Y., ... & Yamamoto, S. (2017). Development of Eu: Srl 2 scintillator array for gamma-ray imaging applications. *IEEE Transactions on Nuclear Science*.

(2) 学会・シンポジウム等における口頭・ポスター発表

1. マイクロ引き下げ方を用いた CeBr_3 結晶の育成における育成条件の改善と Pr 添加効果 伊藤友樹、横田有為、黒澤俊介、Pejchal Jan、大橋雄二、鎌田圭、吉川彰、口頭 応用物理学会 2017 年 3 月 12 日

(3) 「国民との科学・技術対話社会」に対する取り組み

(4) 特許出願