

卒業論文概要書

Graduation Thesis Summary

Date of submission: 01 / 27 / 2025

所属学科 Department	応用物理学科	氏名 Name	呂 膺昊	学籍番号 Student ID number	1Y21B097-4
研究題目 Title	大面積 2 次元 MPPC アレイを用いた スペクトラル CT システムの構築と初期性能評価			指導教員 Advisor	片岡 淳

【研究背景・目的】

Photon Counting CT (PCCT) は、エネルギー閾値を設けて超えた光子を数える検出方式の CT である。従来のエネルギー積分型で失われていたエネルギー情報を取得できるだけでなく、電気ノイズを完全に除去することで被曝線量を大幅に低減できる点で注目されている。我々のグループでは高速シンチレータと MPPC を用いた PCCT を開発し、単素子から始まり、16ch、64ch とシステムを拡張してきた。

現在の 64ch 一次元システムでは、第一世代型セットアップでの CT 撮影に約 1 時間を要し、この長時間撮影が動物実験での薬剤動態イメージングの実施を制限している。一方、第三世代型セットアップでは撮影時間を数十秒に短縮できるが、取得できる画像は 1 スライスのみであり、さらにチャンネル間のばらつきによるリングアーチファクトの発生という問題点がある。

そこで、本研究では大面積の 2 次元センサと新たな信号読み出しシステムを用いた簡便かつ高精度な PCCT システムの構築とその初期性能評価を行った。

【16×64ch PCCT システム】

センサは 16×64ch の YGAG シンチレータアレイ (1×1×1mm³ ピッチ) と同寸法の MPPC を組み合わせたシンチレーション検出器である。信号処理モジュールは 1024ch XPC-ASIC モジュール(浜松ホトニクス)を用いた。²⁴¹Am と ¹³³Ba を閾値スイープ測定することでスペクトルを取得し、各ピークからコンパレータ閾値 DAC とエネルギーの線形性を確認した。

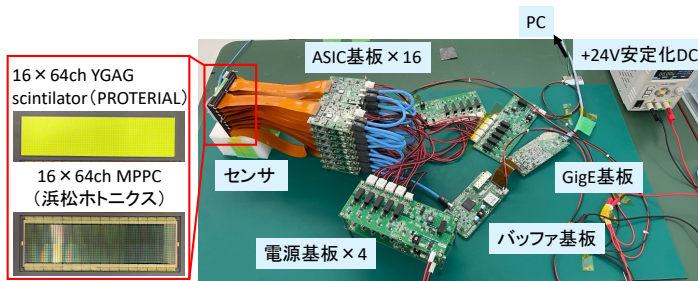


図 1 装置の構成

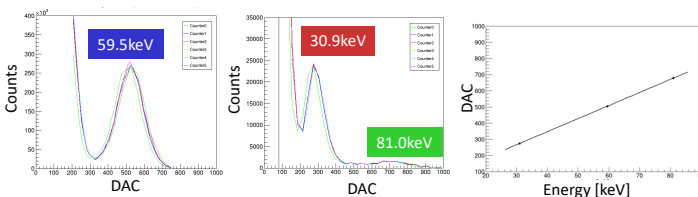


図 2 ²⁴¹Am(左図)と ¹³³Ba(中図)のスペクトルとコンパレータ閾値 DAC の線形性(右図)

【エネルギー校正精度評価】

初期性能評価として、64ch (ASIC 基板 1 枚) を用いてエネルギー校正を実施した。59.5keV と 30.9keV の 2 点を基に線形補正パラメータを算出し、ASIC 基板搭載の EEPROM に書き込むことで、EEPROM と MCU を介したエネルギー-keV 単位でのデータ取得を可能とした。エネルギー-keV で閾値スイープしたスペクトルを用い、ch および counter ごとの校正精度を評価した結果、従来の 64ch 一次元システムに比べてエネルギー校正の精度が向上したことを確認した。また、エネルギー分解能と均一性の改善も見られた。

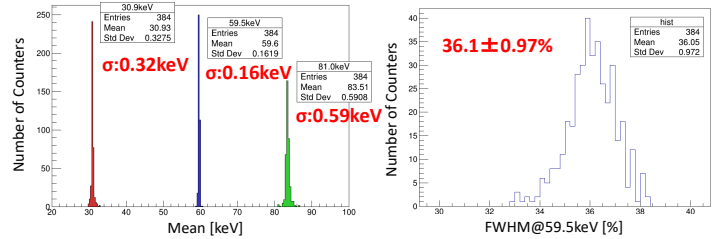


図 3 エネルギー校正精度(左図)とエネルギー分解能のばらつき(右図)

表 1 64ch LSI と 1024ch XPC-ASIC の性能比較

	1o@30.9keV	1o@59.5keV	1o@81.0keV	FWHM@59.5keV
64ch LSI (M.Arimoto et al., 2023)	0.75keV	0.45keV	0.97keV	40.5 ± 1.5%
1024ch XPC-ASIC	0.32keV	0.16keV	0.59keV	36.1 ± 0.97%

【カウントレート試験】

X 線の管電流を変化させてレート耐性を調べたところ、従来のシステムと同程度の 4.5Mcps/mm² を得ることができた。

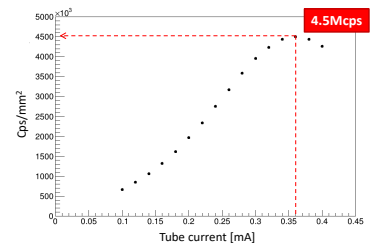


図 4 カウントレート

【まとめと今後の展望】

本研究では、2 次元センサと新しい信号処理モジュールを用いて PCCT システムを構築し、スペクトル取得を行った。その結果、従来システムと比較してエネルギー情報の取得精度が向上していることを確認した。これにより、物質弁別精度の向上、リングアーチファクトの低減、CT 値均一性の向上などが期待される。

今後は、全チャンネルでの信号読み出しを実現し、CT 画像の取得を目指すとともに、高時間分解能(数十秒)での薬剤動態イメージングに挑戦する。さらに、検出器の高精細化 (0.5mm ピッチ) により空間分解能の向上を図る予定である。