

修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 01/08/2013

専攻名 (専門分野) Department	物理及応用物理	氏名 Name	加藤卓也	指導 教員 Advisor	片岡 淳 印 Seal
研究指導名 Research guidance	放射線応用 物理学研究	学籍番号 Student ID number	5311A021-1 CD		
研究題目 Title	MPPC を用いた超高解像度小動物用 PET 装置の開発				

【はじめに】

PET (Positron Emission Tomography:陽電子断層撮影) は消滅 γ 線を使用した断層撮影装置であり、癌の早期発見能力に優れている。近年では PET の位置分解能 (数 mm) を補うため、MRI (Magnetic Resonance Imaging:核磁気共鳴画像、位置分解能 <1 mm) と PET を併用して使う研究が行われている。しかしながら、PET に一般的に使われている光電子増倍管は磁場耐性が無く MRI との併用が困難である。

その解決方法の一つとしては磁場耐性のある半導体光検出器を用いることである。小型な半導体素子を用いることによって PET そのものの位置分解能向上にも期待ができる。我々の研究室では、APD (Avalanche Photodiode) を使った PET 装置の開発を過去に行い、位置分解能 0.9 mm を達成することに成功した。しかし、APD はゲインが <100 と低く、CSA (Charge Sensitive Amplifier) のような積分型のアンプを使用しなければならぬため、時間分解能は 3.1 ns と良くなく、次世代 PET 技術の一つである ToF (Time of Flight) 測定において不利であることが分かった。

そこで我々が着目したのは MPPC (Multi-Pixel Photon Counter) という半導体光検出器である。MPPC は多数のガイガーモード APD を二次元状に配列したもので、ガイガーモードで動作するため非常に高いゲイン (10^5 - 10^6) を持っている。そのため、CSA を通さずに直に信号を読み出すことができ、APD の利点を継承しつつも高い時間分解能が期待できる。

【センサーヘッドの開発】

本研究では PET 装置のための γ 線カメラ部に、浜松ホトニクス社が開発した大面積 4×4 モノリシック MPPC アレイを使用した (図 1 左)。モノリシックのアレイは各チャンネルのゲインなど特性がよく揃っており、チャンネル間のギャップも小さいので充填率を高くすることができる。また、この MPPC アレイは 3 面バッタブルなので、PET 装置のように複数の検出器を並べるときに有利である。

シンチレータは大光量、高速応答かつ γ 線阻止能の高い Ce:LYSO を選択した。PET 装置の位置分解能向上を図るため Ce:LYSO を 0.5 mm 角まで微細加工した (図 1 中)。抵抗分割回路を用いて重心演算による読み出しを行った所、 0.5 mm ピッチのピクセルを明確に分離することができた (図 1 右)。

662 keV のエネルギー分解能は 14.3% (FWHM) で、 ^{22}Na 点線源の 511 keV 消滅 γ 線を用いた時間分解能評価では 493 ps (FWHM) を達成することができた。これらの結果から、MPPC は PET 装置の検出器として、十分な性能を持っていることを確かめることができた。

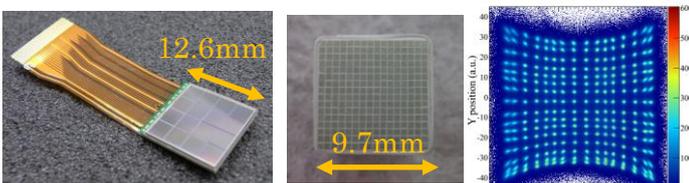


図 1. 本研究で使用した MPPC アレイ (左) と 0.5 mm 角 LYSO シンチレータアレイ (中)、またその読み出し結果 (右)。

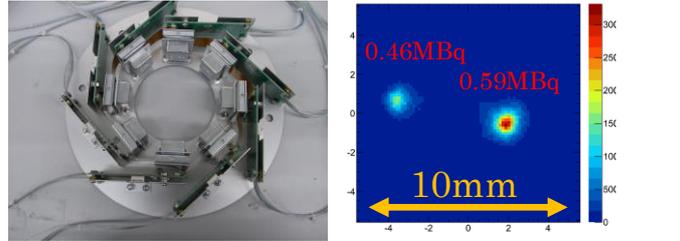


図 2. 組み上げた 8ch ユニットの MPPC-PET 装置 (左)。2つの ^{22}Na 点線源のイメージング結果 (右)。

【PET 装置の性能評価】

このセンサーヘッドを直径 70 mm のガントリー上に 8 つ配置し、小動物用 PET 装置を組み上げて、性能評価を行った (図 2 左)。現状では検出器数が少なく隙間が空いているので、このガントリーを 15° ずつ回転させ 3 回測定したデータを足し合わせるによって、隙間の補完を行った。

まず、このガントリーを使用して、 ^{22}Na 点線源によるイメージング評価を行った。MLEM (Maximum Likelihood Expectation Maximization) 画像再構成を用いた評価では、視野中心で 0.9 mm (FWHM) の位置分解能を達成した。また、2つの ^{22}Na 点線源を置いた場合にも画像再構成ができており、その線源強度も正確に反映できていることを確かめた (図 2 右)。

次にマウスに ^{18}F -NaF を投与して頭部の断層撮影し、実際の臨床実験を行った。 ^{18}F -NaF は骨に集積する薬剤で、これをマウスに 67.6 MBq 投与し、130 分後に測定を行った。その結果、マウスの頭蓋骨の構造を撮影することができた (図 3)。

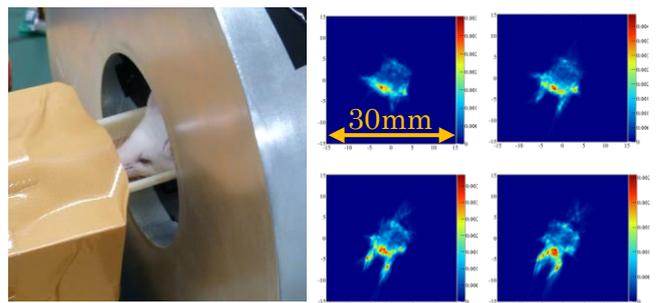


図 3. ^{18}F -NaF を投与したマウスの頭部断層撮影結果

【まとめ】

本研究では MPPC アレイを用いて小動物用 PET 装置の開発を行った。 0.5 mm 角の微細シンチレータを使うことによって 0.9 mm の高解像度を達成し、 ^{22}Na 点線源、マウスの頭部などのイメージングにも成功した。しかし、現状では検出効率の問題で再構成画像の S/N 比が良くないため、今後は検出器数を増やす必要がある。さらに、ToF 測定などの次世代技術を組み込んだ PET 装置の開発を行っていきたい。

研究業績

- 日本物理学会 (口頭発表) 3 件
- 国際発表: The 8th of HSTD in Taiwan (Oral)
- 国際学会: IEEE NSS/MIC 2012 (Poster)
- T. Kato, et al., NIMA 638 (2011) 83
- T. Kato, et al., NIMA 699 (2013) 235