

放射線科学

シリコンフォトマル (Si-PM) を用いた PET 装置の開発

山本 誠一

最近の PET 装置開発における比較的大きなトピックスとしては、新しい光センサーであるシリコンフォトマル (Si-PM) が開発されたことがあげられます。Si-PM は利得が光電子増倍管 (PMT) と同程度に高いうえに、時間応答に優れるので PET 装置の時間分解能を向上できる利点があると考えられています。現状 500 ピコ秒程度の PET 装置の時間分解能が 300 ピコ秒台に向上でき、全身撮像画像の画質が向上するものと期待されます。また Si-PM はデジタル信号処理を行いやすく、センサーの信号を、アナログ信号処理をほとんど経ずに直接デジタル信号に変換することもでき、フィリップス社はこのような Si-PM を開発し、デジタル Si-PM と名付けて製品化を進めているようです。

Si-PM は半導体光センサーであり、静磁場の影響を受けないことから、PET/MRI 一体型装置用の光センサーとしても注目されています。GE はすでに Si-PM を光センサーに用いた PET/MRI 一体型装置を開発済みで、日本国内にも導入予定があると聞いています。Si-PM の価格も以前に比べ下がり、一方でセンサーとしての性能は徐々に上がっているようで、今後さらに PET 装置に利用される機会が増し、PET 装置の性能向上に寄与する可能性があります。

Si-PM には超高分解能 PET 装置を開発できる利点があります。Si-PM の素子サイズは PMT に比べ小さく、シンチレータサイズを小型化することで高分解能を達成できます。ここでは最近開発した、小動物用 Si-PM 超高分解能 PET 装置[1]を簡単に紹介したいと思います。この装置開発では、1 mm以下のシンチレータを Si-PM のアレーと組み合わせ PET の空間分解能の向上を試みました。開発した小動物用 Si-PM 超高分解能 PET 装置に用いた Si-PM アレーの写真を図 1 (A) に、それを用いて開発した PET 装置の検出器の写真を図 1 (B) に示します。検出器は 0.5mmx0.7mmx5mm の LYSO シンチレータを平面方向に 11 個、体軸方向に 13 個配置したシンチレータブロック 2 セットを多少複雑なライトガイドを介して、4x4 に配置した Si-PM アレー (1 チャンネルのサイズは 3mmx3mm) に光学結合しています。ガンマ線による LYSO の発光はシンチレータの中を通り、角度の付いた光ファイバー製のライトガイドに到達し、そこでわずかに角度が変わり、位置の情報を保持したままスリット型ライトガイ

ドに導かれます。シンチレータの光は Si-PM アレーで電気信号に変換され、電子回路で重心演算されます。

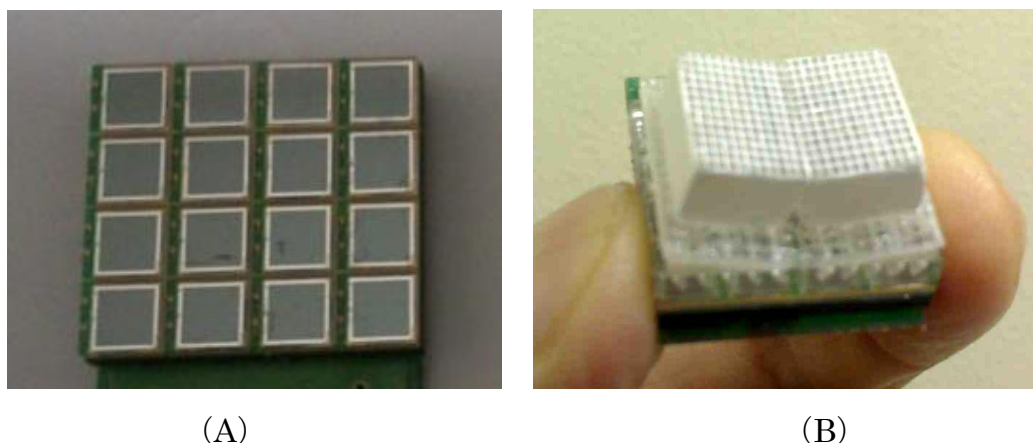


図1 小動物用 Si-PM PET 装置に用いた Si-PM アレー (A) と検出器 (B) の写真

図2 (A) に開発した検出器で得られた LYSO ブロックの 2 次元位置ヒストグラムを示します。11x13 に配置した LYSO ブロック内の 0.5 mm サイズのピクセルをほぼ完全に弁別できています。また図2 (B) に開発した検出器で得られた LYSO ブロックの 662keV ガンマ線に対するエネルギースペクトルを示します。シンチレータサイズが極めて小さいにも関わらず、優れたエネルギー分解能が得られました。

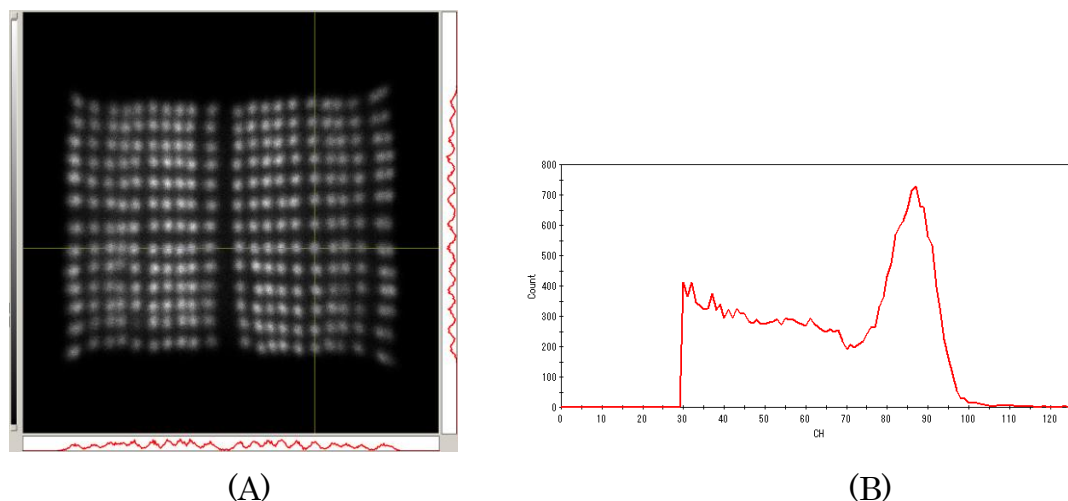
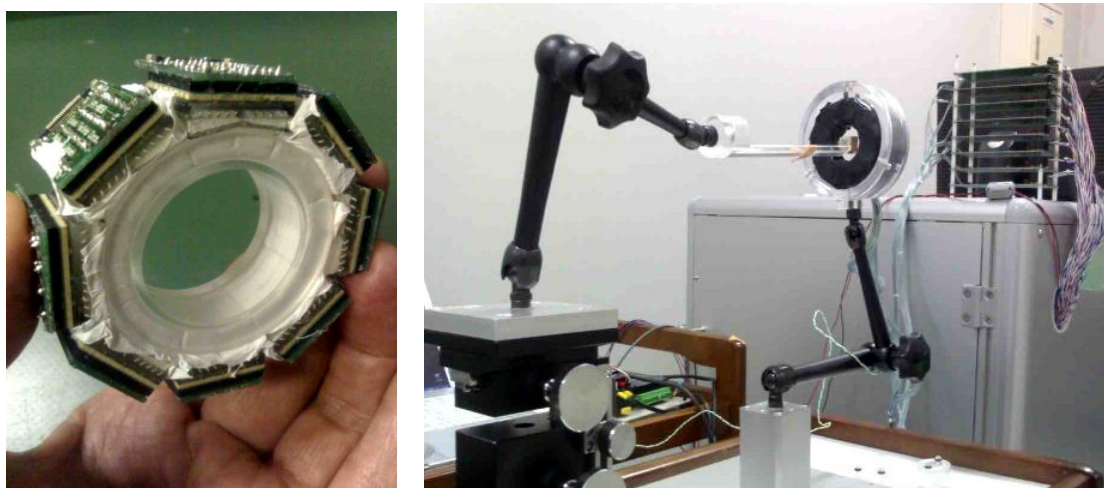


図2 LYSO ブロックの 2 次元位置ヒストグラム (A) とエネルギースペクトル (B)

このブロック検出器 8 個をリング状に配置し、PET 検出器リングを構成した写真を図 3 (A) に示します。また開発した PET 装置の写真を図 3 (B) に示します。この PET 装置の空間分解能を計測した結果、0.75mm 程度であることが分かりました。また開発した PET 装置で撮像したマウスの断層画像を図 4 に示します。高い空間分解能で歪みの無い良好な PET 画像が得られました。



(A)

(B)

図 3 超高分解能 PET 装置の検出器リング(A)とそれを用いた PET 装置(B)

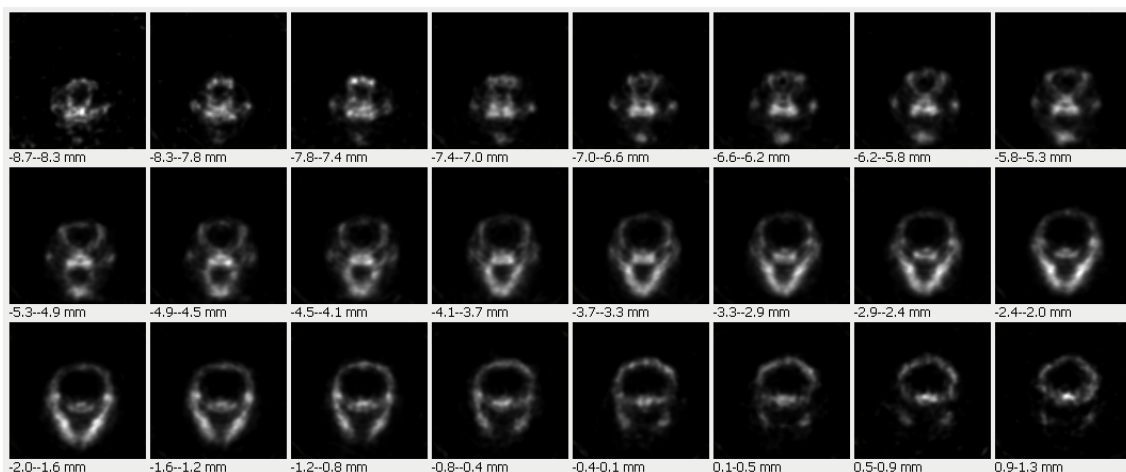


図 4 開発した PET 装置で撮像したマウスの断層画像 (F-18-NaF 投与後撮像)

このように Si-PM を用いて 0.75mm 程度の小動物用超高分解能 PET 装置の開発ができました。残念ながらヒト用でこれと同じ程度の空間分解能を有する PET 装置を可能かという、物理的な制約 (消滅ガンマ線の角度揺動) から不可能と考えられます。しかし検出器リング径の小さな PET 装置、例えば頭部用

PET装置であれば、現状よりかなり空間分解能の高いPET装置を開発できそうです。このようなヒト用超高分解能PET装置開発も今後の研究開発のテーマと考えています。

参考文献

[1] Yamamoto S, et al. Development of an ultrahigh resolution Si-PM based PET system for small animals. *Phys Med Biol.* 58(21):7875-88, 2013

(名古屋大学大学院医学系研究科教授, 医療技術学専攻医用量子科学講座)