

半導体光増幅素子を用いた革新的次世代PET技術の開発実証

Development of an innovative PET technique using
Geiger-mode APDs for future medical application

片岡 淳 (KATAOKA JUN)

早稲田大学・理工学術院・准教授



研究の概要

我が国における生活習慣病として癌（ガン）・心臓病・脳血管疾患は三大疾病とよばれ、中でも癌の致死率は男女ともに筆頭の位置を占めている。癌の早期発見にむけ、本研究では革新的半導体イメージセンサーMPPCを用いて次世代PET技術(MRI, TOF, DOI-PET計測)の開拓を目指す。これにより分子イメージング研究の活性化と産業界への迅速なフィードバックをはかる。

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：画像診断システム、PET、光半導体増幅素子（MPPC）

1. 研究開始当初の背景

癌の治癒率向上には、何よりもまず早期にこれを発見することが不可欠となる。PET（陽電子断層撮影）は癌の活性度に応じた機能画像を与え有効な手段になり得るが、従来のPET装置は大型で解像度も悪く（5-10mm程度）、早期の発見が難しい。PET自体の解像度・画質を向上することが必要であるが、PMT（光電子増倍管）を用いた旧態依然の装置では大幅な改善は難しく、PET装置そのものにブレークスルーが切望されてきた。

2. 研究の目的

本研究では近年注目を集める半導体光増幅素子MPPCを積極的に導入し、次世代PET装置の鍵となる三つの技術を実証する。すなわち1) サブミリに迫る究極の解像度の達成とDOI(Depth-of-Interaction)技術の実験的検証 2) 強磁場下でのMRI併用を目指した耐磁場センサーシステムの構築 3) 超高速LSIの導入による時間分解能の改善とTOF技術への応用を試みる。

3. 研究の方法

新規に開発した大面積MPPCアレーと微細シンチレータ、超高速LSIを用いた独自のMPPC-PETユニットを製作し、これを用いた検証・臨床実験によりPET装置としての性能を詳細に評価する。次世代PETとしての計測手法の確立は勿論、今後生ずるであろう問題点や課題を同時に明らかにする。

4. これまでの成果

MPPC-PET開発のための要素技術として(1)大面積MPPCアレー (2)0.5mm角までの微細シンチレータアレーの製造と確立(3)16ch超高速アナログLSIの開発等を行った。とくにLSIについては単体で200psec程度の優れた時間応答を示し、MPPC単素子及びLYSOシンチレータと組み合わせた評価でも491psec(FWHM)を達成している。対向ユニットを用いたガンマ線の実測結果では、70mm離れた二つの線源が時間(TOF)情報だけで明確に分離した。さらに、シンチレータ内におけるガンマ線の反応位置を3次元的に求める新規手法(図1)を確立し、二件の特許出願を行った(特願2011-289480, 2012-157920)。本技術は2012年度の先端技術大賞(特別賞)を受賞した。薄い半導体素子ゆえの特長を生かした計測法で、これを用いれば、

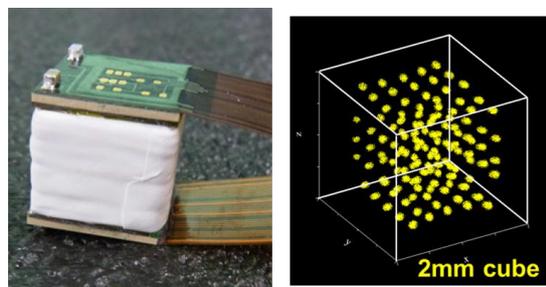


図1: (左) 薄型MPPC2枚を用いた3次元ガンマ線検出器 (右) 662 keVガンマ線を照射時の、実測によるDOI位置決定 (この図は2mmの精度でx, y, z3次元位置を特定した様子)

ガンマ線の DOI 測定も 1mm の精度で可能となる。また、今後はコンパクトかつ高感度なガンマカメラ（コンプトンカメラ）の構築等、様々な放射線計測への応用が期待できる。

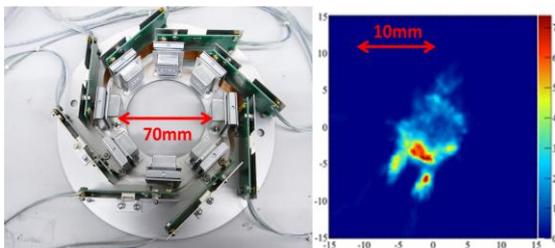


図 2：(左)本研究で開発した小動物用 MPPC-PET ガントリ。8unit から構成される (右)同装置で取得した、生体マウスの頭部画像

これら新規要素技術とあわせ、システムレベルの PET 装置の開発実証も進めている。具体的には、モノリシック MPPC アレーと微細シンチレータを組み合わせた汎用 MPPC-PET モジュールを多数製作し、8 ユニットを用いて内径 70mm の小動物用 MPPC-PET 装置 (ガントリ) を製作した。8 ユニットからの信号は独自に製作したデータ処理システムで重心演算してガンマ線吸収位置を計算し、また到来時間の同時性を調べる。取得したイメージの解像度は視野中心で 0.9mm(FWHM)と頗る良好な値が得られ、大阪大学医学部において脳ファントムや生体マウスを用いた臨床実験を行った。結果の一例を図 2 に示す。マウスの下顎の骨格が明瞭に見取れる。さらに、視野端での画像歪み改善のため 2 種類の異なるシンチレータ (LYSO, Ce:GAGG) を用いた波形弁別処理により、DOI 構成で解像度が 3 割程度向上することを確認した。

最後に、MPPC-PET ユニット二つを対向し、4.7T の小型動物用 MRI 中で動作させることで (1) MRI が PET 画像に与える影響 (2) PET が MRI に与える影響の双方を定量的に調べた。結果、PET 画像には何の悪化も見られず、MRI の S/N が僅か 5% 低下するだけで実用上は何の問題も生じないことが確認できた。

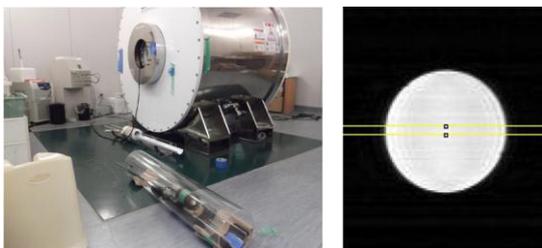


図 3：(左) 4.7T 小動物用 MRI と、MPPC-PET ユニット。神戸 BioView 株式会社にて実験 (右) PET 稼働中の MRI 画像。

5. 今後の計画

現在、MPPC アレーと LSI(ver.3)を組み合わせた試験システムを構築中であり、2 ユニットを用いた対向試験により、TOF 分解能および時間情報を用いた画像 S/N の向上を定量化する。MRI については、8ch ガントリを非磁化対策して同様な試験を行い、実際の MRI-PET の動作環境により近い状態で画像取得を行う。DOI 技術については、すでに 2 層 DOI で画像歪みの改善が実証されたが、今後は独自に開発した新規 DOI 測定法 (3 次元シンチレータ) をシステムに盛り込むことで、さらなる解像度の向上を測りたい。最終的に、MRI, TOF, DOI すべての技術を PET システム (小動物用) として検証することを目指す。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

【学術論文】

- ・ T.Kato, J.Kataoka, T.Nakamori et al., "A novel gamma-ray detector with sub-millimeter resolutions using a monolithic MPPC array with pixelized Ce:LYSO and Ce:GAGG crystals", NIM-A, vol. 699, pp.235-241, (2013)
 - ・ H.Matsuda, J.Kataoka, H.Ikeda et al., "Development of ultra-fast ASIC for future PET scanners using TOF-capable MPPC detectors", NIM-A, 699, pp.211-215, (2013)
 - ・ T.Miura, T.Nakamori, J.Kataoka et al., "Development of a scintillation detector using a MPPC as an alternative to an APD", Jour. of Inst, vol.7, C02036 (2012)
 - ・ T.Kato, J.Kataoka, T.Nakamori., "Development of a large-area monolithic 4x4 MPPC array for a future PET scanner employing pixelized Ce:LYSO and Pr:LuAG crystals", NIM-A, 638, p.83-91 (2011)
- 他 10 編

【受賞】

- ・平成 24 年度科学技術分野・文部科学大臣表彰 (若手科学者賞) : 片岡 淳
- ・第 26 回 (2012 年度) 独創性を拓く 先端技術大賞 (特別賞) 「PET 装置の高解像度化に向けた新規三次元位置検出器の開発」岸本 彩 (早大理工 M1) 指導教官: 片岡 淳

【特許】

- ・特願 2012-157920 「コンプトンカメラ」
- ・特願 2011-289480 「放射線検出器」
- ・特願 2011-231544 「携帯型放射線検出器」

ホームページ等

<http://www.spxg-lab.phys.waseda.ac.jp/>

<http://www.wise.sci.waseda.ac.jp/news/2012/20120726.html>