

# 卒業論文概要書

CD

2010年01月提出

学籍番号 1G06K097-8

所属学科	応用物理	氏名	松田 英憲	指導員	片岡 淳 印
研究題目	APDを用いた高速・高解像度 PET モジュールの開発				

## 【はじめに】

PET (Positron Emission Tomography : 陽電子断層撮影)はブドウ糖を過剰に摂取するガン細胞の特徴を利用し、ガンの集積位置を特定する撮像法である。多くの場合、ブドウ糖の一部を放射性同位体に置き換えた薬剤 F18-FDG(フルオドデオキシグルコース)が用いられる。F18は $\beta$ +崩壊を起こす放射性核種であり、陽電子-電子対消滅による $\gamma$ 線対を生成するため、これらの到来方向から線源の位置を特定できる。これまでPETの光センサーとしてPMT(光電子増倍管)が用いられてきたが、大型のガラスバルブは構造的に弱く、強磁場中では動作しない。PMTをAPD(アバランシェ・フォトダイオード)に置き換えることで、MRI(核磁気共鳴装置)とも共存可能な「次世代型」PETモジュールを開発する。APDは半導体内部に増幅機能を持ち、量子効率が高く、またピクセルの微細化が容易である。従来PETで用いられてきた光分配方式(集光方式)を取り払い、ピクセルサイズを現行の5mmから1mm程度まで小型化することによってPETの検出器限界であるサブミリオーダー(1mm以下)の分解能を目指す。本研究では16×16pixel(256ch)のシンチレータ(LYSO)+APDアレーのセンサー部分、APD読み取りに特化した多チャンネル高速処理アナログLSIを開発し、これらを組み合わせた1ペア2ユニットのPET装置を作成し1mm以下の放射性核種点線源を用いてイメージング及び性能評価を行った。

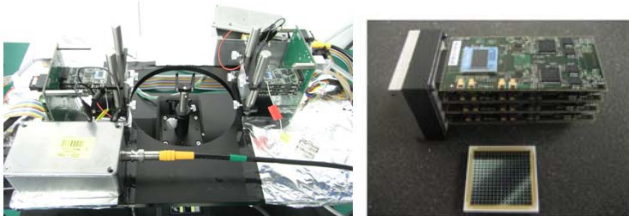


Fig.1 開発した評価システム(左)と APD-PET モジュール(右)

## 【方法】

LSI から出力される位置や時間情報をデジタル信号に変換し、後段のFPGA(Field Programmable Gate Array)にて信号を統括し、放射性核種からのイベント判定を行う同時計数回路へとデータフォーマットを定義してやる必要がある。本論文ではハードウェア記述言語であるVerilog-HDLを用いてデジタル信号処理回路構成を行った。位置や時間などの情報は8bit デジタル信号に変換され同時計数回路に転送される。同時計数回路では膨大に入力されるデータから対向するPETモジュールに同時にヒットしたものを線源からのイベントであると判定しリストモードデータとしてPCに出力する。PCに保存されたデータにソフトウェア処理にて16×16pixelの二次元アレー化を施し、イメージングや画像再構成を行う。また個々のチャンネルにセンサーの発光量やLSIの信号増幅部におけるオフセットやゲインに起因する固有のばらつきがあるためLabVIEWを用いてこれらの計測・制御を行った。

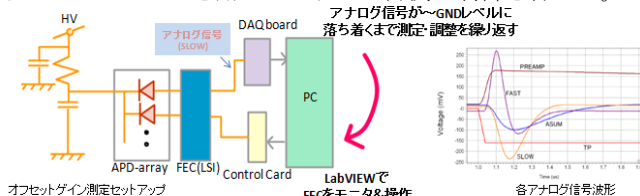


Fig.2 LSI 制御システム構成

## 【結果】

Fig.3(左上)は対向する検出器間を150mm径リングに設定し直径0.25mmのNa22点線源を動径方向にずらすことによって線源位置が特定されているかどうかを示すものである。実線は線源を中央、破線は動径方向に5mmずらしたときの線源分布である。線源の分布をフィッティングして位置の解析を行った結果、中心から4.87mmシフトしており十分に線源の位置の特定が行えている事が分かった。これを踏まえ、線源を動径にずらし0~180°まで18°ピッチで計11回の走査を行い、多方向からの投影データを収集した。Fig.3(右上)は各方向( $\theta$ )からの投影データを投影面(y)にプロットしたものである。これらの投影データにフィルタ処理を施し、逆投影を行うことによって画像を再構成できる(Fig3.下)。

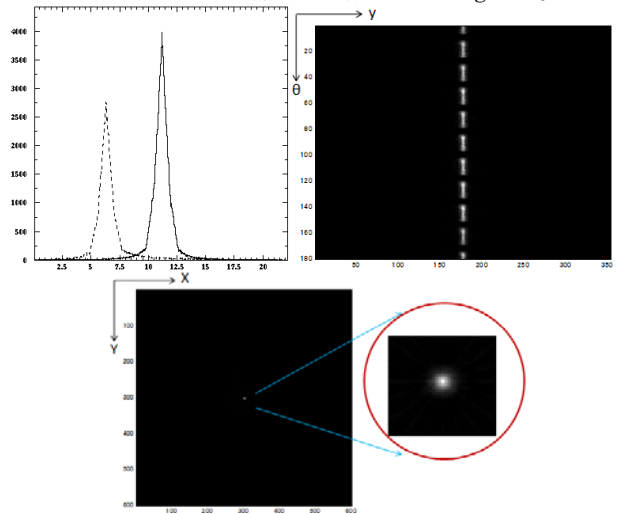


Fig.3 Na22 点線源の(左上)線源分布、(右上)投影データ、(下)再構成画像

画像再構成の結果、線源を中央に配置した場合では空間分解能(FWHM)はX=0.94mm、Y=0.87mm、動径方向に1mmずらした場合、X=1.33mm、Y=1.24mm、5mmずらした場合、X=1.29mm、Y=1.00mmと中央ではサブミリの分解能を達成し、5mmの視野でも1.3mm程度の分解能が得られることが分かった。現状でAPDを用いてサブミリ分解能を得た例は他になく、世界的に見てもトップレベルの成果と言える。

## 【考察】

線源を中央に配置した場合では現行のPETの約5倍の解像度である1mm以下を達成することに成功した。これはPETの理論限界に匹敵する究極の解像度である。しかしながら、現状では2ユニットのAPD-PETモジュールのみで画像を取得しているため、線源を中心からずらすと感度が低くなることは否めない(Fig.3 左上)。また、センサー内でガンマ線が吸収される位置の不定性から視野の端ほど解像度が悪くなるのがシミュレーションからも示唆される(DOI 不定性: Depth of Interaction)。DOI不定性は現行のPETが抱える共通の問題であり、たとえば異なるシンチレータを多層にすること、3次元のマトリックスに置き換えることなど様々な提案がされている。APDは半導体ゆえに素子自体が極めて薄く、シンチレータの間に挟みこむなど全く新しい検出器構造をとることも期待される。本研究ではPETの次世代化にむけて、非常に有意義かつ斬新な一歩が得られたと言える。