

マルチアノード光電子増倍管による PET の試み

信州大学理学部物理科学科
高エネルギー物理学研究室

03s2015e

砂田良基

目次

1章 はじめに

1.1 目的

1.2 PET とは

1.3 PET の原理

2章 実験装置

2.1 光電子増倍管

2.2 シンチレータ

2.3 DISCRIMINATOR

2.4 GATE GENERATOR

2.5 ADC

2.6 SCALLOR

3章 実験

3.1 光電子増倍管の HV 設定

3.2 マルチアノード光電子増倍管の各 ch の性能評価

3.3 遅延時間の設定

4章 結果・考察

4-1 結果

4-2 課題

1章 はじめに

1-1 目的

マルチアノード光電子増倍管を用いて簡易的な PET 装置を作成し、今後の発展的な実験を行うためのノウハウを得る。

1-2 PET とは

PET とは Positron Emission Tomography の略であり、医療やスポーツ科学の分野で用いられている放射線利用画像診断装置である。放射線を用いる画像診断装置には X 線診断装置(レントゲン)、X 線 CT 装置などがあるが、PET がこれらと決定的に異なる点は放射線源が被験者の体内にあるという点である。

PET 検査では被験者に陽電子放射性薬剤を投与し、その薬剤から放出された陽電子が体内の電子と結合したときに発する γ 線(消滅放射線)を検出して薬剤の体内分布を画像化する。陽電子放射性薬剤にはいくつか種類があり、検査の目的によって使い分ける。例えばガン細胞の発見を目的とするときは F18 - フルオロデオキシグルコース(F18 - FDG)という薬剤を用いる。F18 - FDG はブドウ糖の類似体で糖代謝が活発なガン細胞に集積される。よって薬剤の体内分布を画像化したとき、分布密度の高い部位はガン細胞であると判断できる。

PETの利点はその画像の見やすさである。実際の画像を見ると素人目にも分かるほどガン細胞の位置が鮮明に示されていた。またPET検査は一度に全身を検査でき、被験者の放射線被曝量も少ない。PETは診察者だけでなく、被験者にもやさしい装置であるといえ有用性も高い。

1-3 PETの原理

1-2で述べたようにPET検査では陽電子放射性薬剤を用いる。薬剤から放出された陽電子は原子を電離させることでエネルギーを失ってゆく。陽電子は0.1mmの飛程の間にほぼ完全に運動エネルギーを失い電子と衝突しガンマ線を2つ放出する。このガンマ線のエネルギーは電子の静止質量エネルギーに相当する0.511[MeV]である。1対の γ 線は運動量保存則により互いに180度反対方向に進むので、被験者の周囲に設置した円環状の検出器のうち、ある2つの検出器が同時に反応する。よって反応した2つの検出器を結ぶ直線状に線源が存在することになる。このイベントを多数集めることで様々な方向からの投影データを作成し薬剤分布を画像化する。

2章 実験装置

2.1 光電子増倍管

光電子増倍管とは光信号を電気信号に換えて出力する装置である。通常的光電子増倍管は装置1つに対して1つの信号しか読み出しができないが、今回実験に使用したマルチアノード光電子増倍管は入射窓が16分割されており、1つの入射窓に対して独立にアノードが設けられているため1つの装置で16の信号を一度に読み出すことができる。

マルチアノード光電子増倍管の入射窓のスケールを図1に示す。

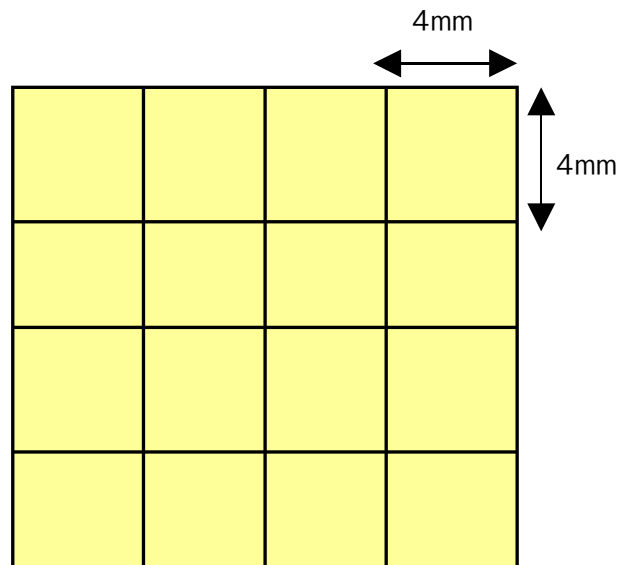


図1. マルチアノード光電子増倍管の入射窓のスケール

2.2 シンチレータ

今回の実験では光電子増倍管を2つ用いた。マルチアノード光電子増倍管にはプラスチックシンチレータを、もう一方の光電子増倍管(以下光電子増倍管A)にはCsIシンチレータをセットした。

1 プラスチックシンチレータ

プラスチックシンチレータは有機シンチレータの一種で蛍光減衰時間が

2~4ns と短く、早い計数をする場合に適している。実験では直径 3mm、厚さ 1 cm の円柱形のものを使用した。ただし、H.V 設定と遅延時間を決定するときは 2cm×2cm、厚さ 4cm のシンチレータを用いた。

2 Csl シンチレータ

Csl シンチレータは無機シンチレータに分類されるシンチレータである。蛍光減衰時間は $0.5\mu\text{s}$ 程度でプラスチックシンチレータに比べて長い。実験では 4cm×4cm、厚さ 3cm のものを使用した。

2.3 DISCRIMINATOR

しきい値を設定することで入力信号を選別する装置。しきい値を超えた信号はデジタル信号に変換されて出力される。

2.4 GATE GENERATOR

信号の幅や、出力するタイミングを調節する装置。

2.5 ADC

ゲートパルスが入力されている間に入ってきたアナログ信号を積分し、その面積の大きさに応じた信号を出力する装置。

2-6 SCALLOR

入力されたデジタルパルスをカウントする装置。

3章 実験

3-1 各 ch の性能評価

マルチアノード光電子増倍管の ch は全て一様な性能を持っているわけではない。ここで各 ch の性能評価を行う。各 ch から信号を読み出しセルフトリガーで ADC 分布をとる。得られた ADC 分布の mean を性能評価の指標とする。説明を簡単にするため、図 2 のようにピクセルに番号を振る。

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16

図 2.ch 番号

線源に Na を用いて 1~16 の全ての ch で ADC 分布をとった。測定回路を図 3 に示す。

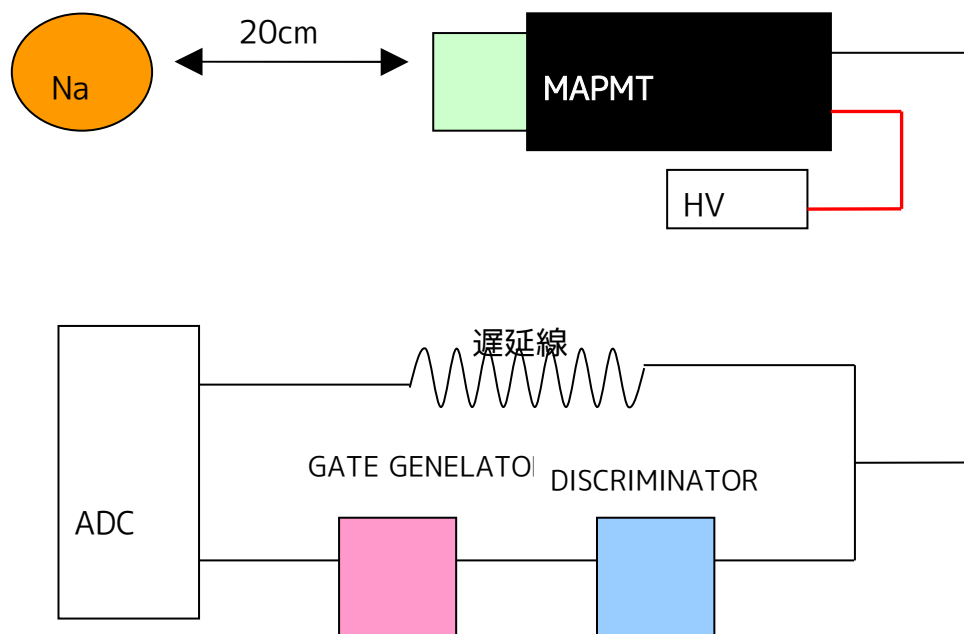


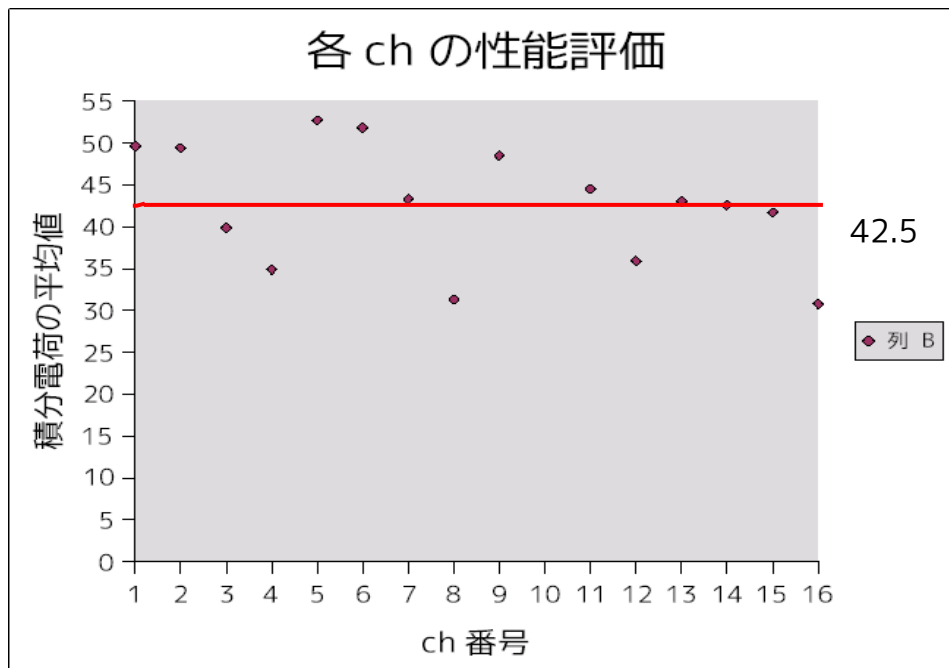
図 3.各 ch 評価の測定回路

各 ch の mean の値を表 1 に示し、そのグラフをグラフ 1 に示す。

表 1 . 各 ch の mean

ch 番号	mean
1	49.6
2	49.4
3	39.9
4	34.9
5	52.7
6	51.8
7	43.3
8	31.3

ch 番号	mean
9	48.5
10	42.6
11	44.5
12	35.9
13	43.0
14	42.6
15	41.7
16	30.8



グラフ 1.各 ch の mean

mean は ch5 で最大値 52.7 をとり、ch16 で最小値 30.8 をとる。mean の平均値は 42.5 であるから、ch の違いによる gain の違いは平均値から ±25% 以内である。

3-3 遅延時間の設定

ADC による測定を行うには、光電子増倍管 A のパルス(ゲートパル)とマルチアノード光電子増倍管のパルスが同時に ADC に入力されなければならない。と

ところが、マルチアノード光電子増倍管は光電子増倍管 A に比べ高速応答することと、プラスチックシンチレータに比べ CsI シンチレータは反応が遅いという二つの理由により光電子増倍管 A のパルスはマルチアノード光電子増倍管のパルスより遅れて出力される。さらに光電子増倍管 A のパルスは DISCRIMINATOR、GATEGENERATOR 等のモジュールを通過することでも遅れる。そこで 2 つのパルスのタイミングを合わせるためマルチアノード光電子増倍管と ADC の間に遅延線を入れる必要がある。

遅延時間の調整は次のように行った。遅延線を 20nsec ずつ増やしながらか ADC 分布をとり、その中で最もよくマルチアノード光電子増倍管からの信号が見えるものを遅延時間に設定した。なお、光電子増倍管 A における DISCRIMINATOR のスレッシュホールドは 60mV とし、ゲートパルス幅は 140nsec とした。図 4 に遅延時間の測定回路を示す。

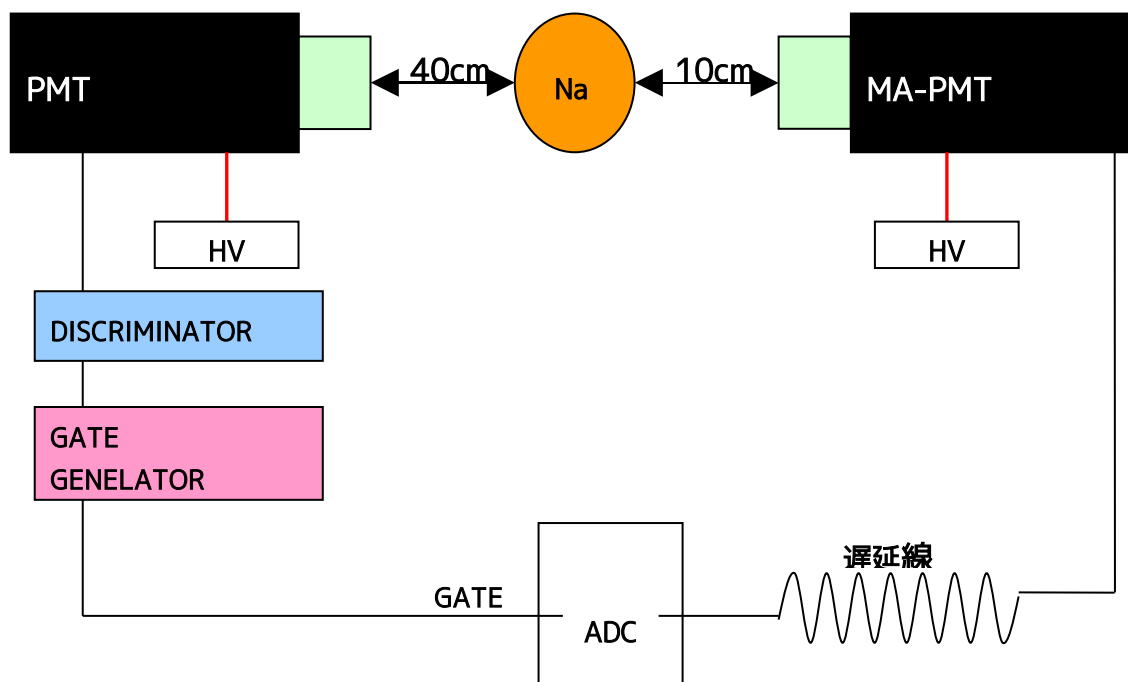
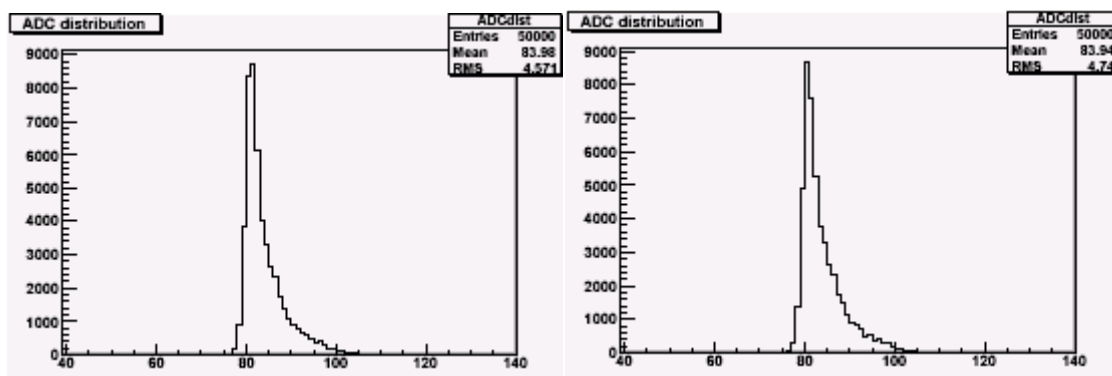


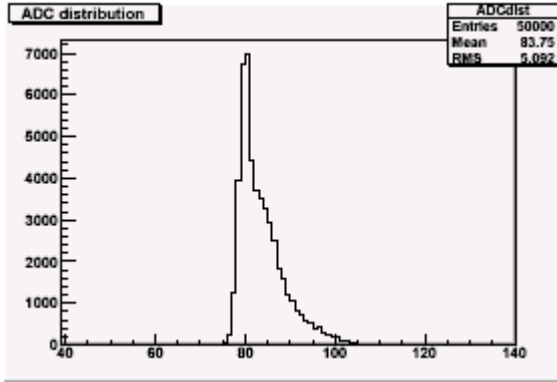
図 3 . 遅延時間設定回路

実験により得られた ADC 分布を示す。

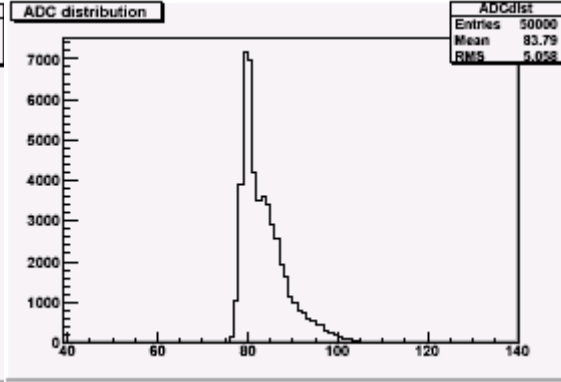


遅延時間 20nsec

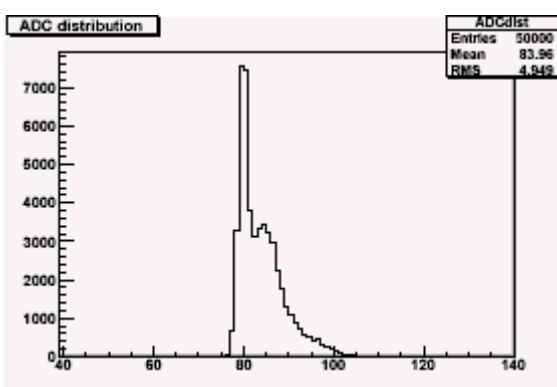
遅延時間 40nsec



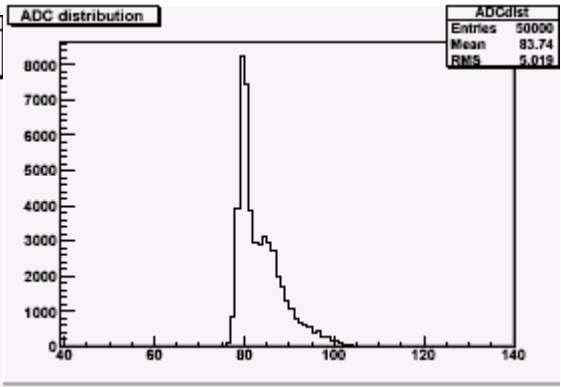
遅延時間 60nsec



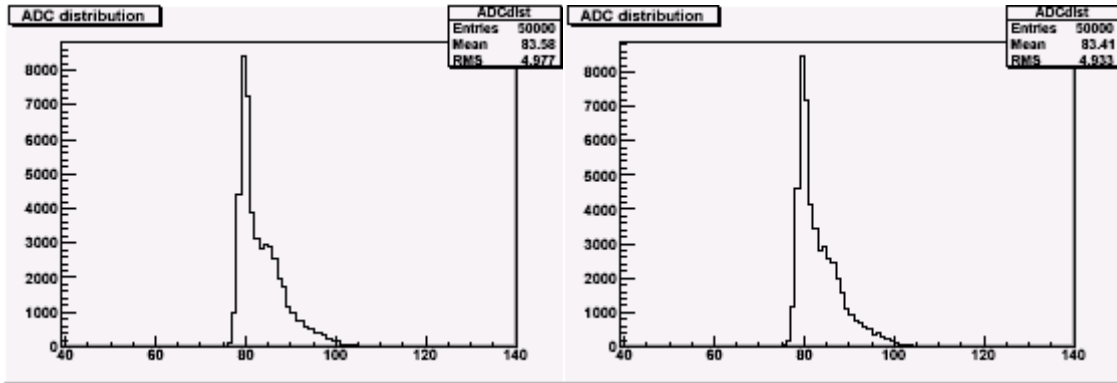
遅延時間 80nsec



遅延時間 100nsec

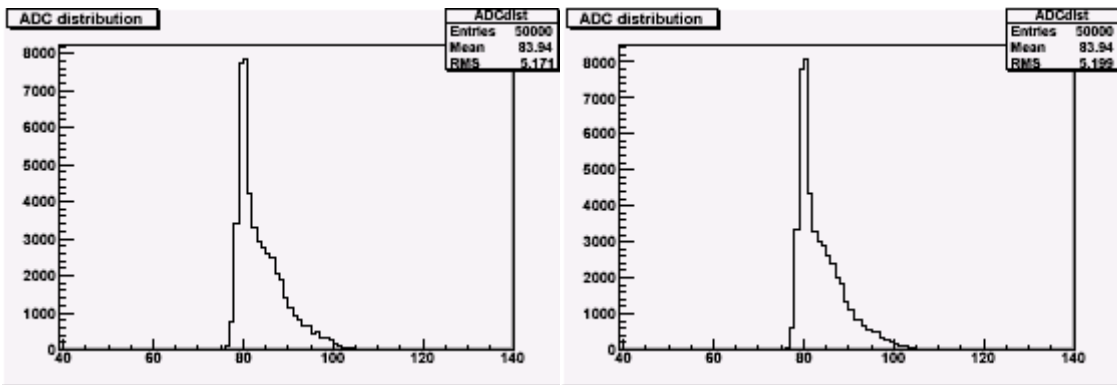


遅延時間 120nsec



遅延時間 140nsec

遅延時間 160nsec



遅延時間 180nsec

遅延時間 200nsec

ADC 分布をみると遅延時間 100nsec としたときが最もよくゲートパルスとタイミングが合っていることがわかる。

4章 結果と課題

4-1 結果

今回の実験ではマルチアノード光電子増倍管を用いて簡易的な PET 装置を作成した。

作成した装置でマルチアノード光電子増倍管の各 ch の性能評価を行ったところ±25%程度 gain にばらつきがみられた。gain の低かった ch については discriminator のスレッシュホールドを下げる、アンプを通すなどの対応が必要である。

線源をはさんで対向する位置に置いた光電子増倍管 A とマルチアノード光電子増倍管で同時計数をするために遅延時間の設定実験を行った。その結果、遅延時間を 100nsec にすると二つの光電子増倍管の信号が同時に ADC に入力されることが分かった。

4-2 課題

今回はプラスチックシンチレータをマルチアノード光電子増倍管にセットして実験を行った。しかしプラスチックシンチレータは γ 線と相互作用を起こす確率が低いため、測定に時間がかかるという難点があった。これを改善するためには、より相互作用を起こしやすい密度の大きなシンチレータ (LSO、BGO 等)

を用いる必要がある。

より正確なデータを得るには集光率を上げることも重要である。これはシンチレータと光電子増倍管を光学グリスを用いて接合することで改善が可能である。

謝辞

卒業研究にあたりご指導いただいた竹下先生、長谷川先生、魚住氏に深く感謝いたします。また院生や研究室の皆様にも大変お世話になりました。一年間

本当にありがとうございました。