

ダブルコンプトン効果を利用した 放射線検出器の開発

甲南大学工学部物理学科

宇宙粒子研究室

学籍番号：10961053

増田 啓佑

目次

- 1 実験の目的
- 2 ダブルコンプトン効果
- 3 特定用途向け専用 IC (ASIC)
 - 3-1 フロントエンド ASIC (SPACIROC)
 - 3-2 小光量用光子計数部
- 4 実験の方法
 - 4-1 使用した実験装置
 - 4-2 オシロスコープ
 - 4-3 ファンクションジェネレータ
 - 4-4 マルチチャンネル光電子増倍管 (MAPMT)
- 5 行った実験とその結果
 - 5-1 テストパルスを用いた SPACIROC の実験
 - 5-2 閾値電圧設定用 DAC linearity
 - 5-3 $1/3p. e$ の決定
 - 5-3-1 測定結果
 - 5-4 LED の光量測定方法
 - 5-4-1 実験装置
 - 5-4-2 測定結果
 - 5-5 光照射によるテストボードの試験方法
 - 5-5-1 測定結果
- 6 考察
- 7 謝辞

1 実験の目的

本実験では、ダブルコンプトン効果を利用した放射線測定器の開発の一環として、64ピクセルマルチチャンネル光電子増倍管(MAPMT)からの信号を読み出すための集積回路SPACIROCの一部の機能試験を目的とする。

2 ダブルコンプトン効果

γ 線は粒子のように振舞う性質があり、電子にぶつくと散乱する。この場合、散乱した γ 線のエネルギーは入ってきたときより、電子に与えた分小さくなり方向も変わる。この現象をコンプトン効果という。

たたき出された電子は γ 線からエネルギーをもらい、シンチレータの中で励起状態になる。励起状態になった電子は、与えられたエネルギーを捨て、基底状態に戻る。この際に、光を放出する。

図1のように上のシンチレータでコンプトン効果を起こした γ 線が方向を変え、再び下のシンチレータに入りコンプトン効果を起こす。それぞれのシンチレータから出た光子をMAPMTで捕らえ、電気信号を電子回路で読み出す。入ってきた光子の二つ位置を求めることにより、 γ 線の飛来方向がわかる。

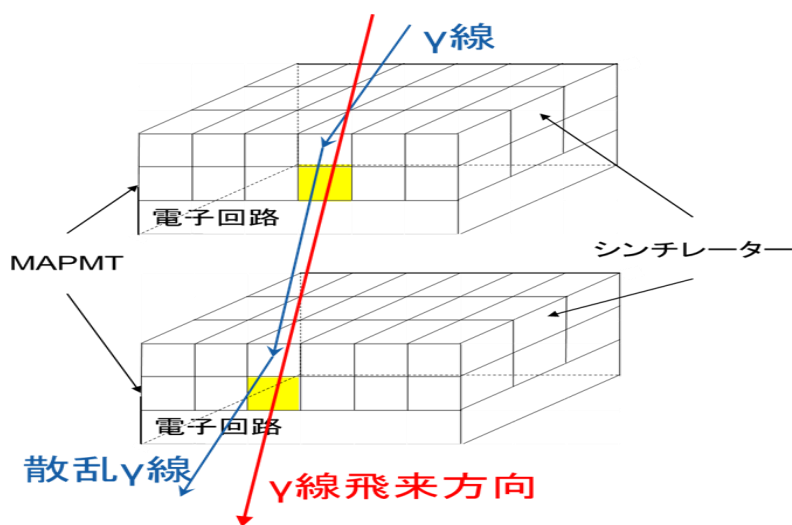


図1：ダブルコンプトン検出器の概念図

3 特定用途向け専用 IC(ASIC)

3-1 フロントエンド ASIC(SPACIROC)

ASIC とは特定の用途向けに複数機能の回路を1つにまとめた集積回路のことである。その新型のASICであるSPACIROC (Spatial Photomultiplier Array Counting and Integrating ReadOut Chip) は、64ch のマルチチャンネル光電子増倍管の信号を読み出すために設計された。

SPACIROC は検出された光子をカウントする小光量用光子計数部と電荷から時間への変換を行う大光量用計数部の2つの機能をもった、専用の集積回路である

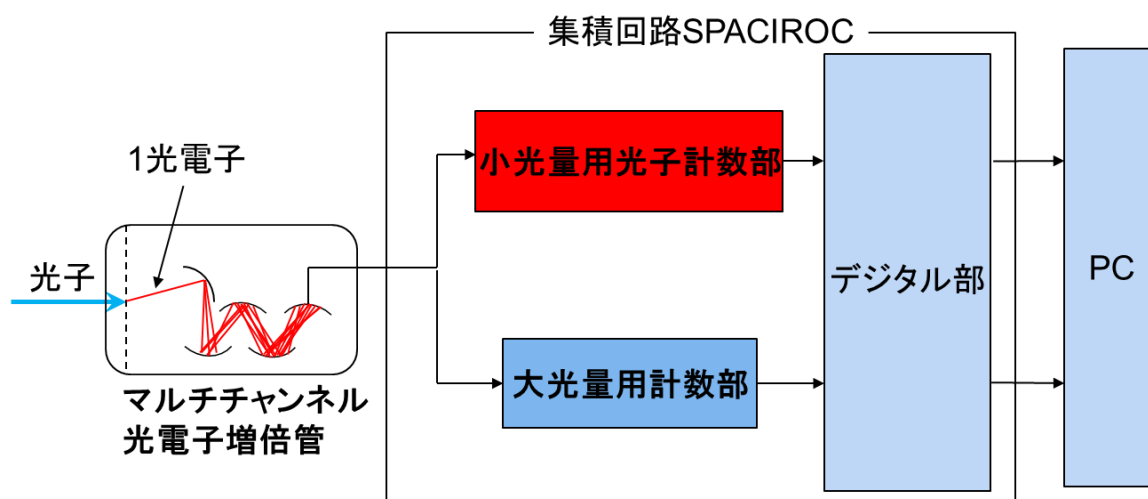


図 2 : SPACIROC のブロック図

3-2 小光量用光子計数部

小光量用光子計数部は光電子増倍管のアノードからきた信号を処理するための64のチャンネルが使われる。その信号はプリアンプ、Shaperを通りコンパレータに送られる。

小光量用光子計数部のアナログ部分は3つの異なるコンパレータ出力(Trig_PA、Trig_FSU、Trig_VFS)をもち、3つのコンパレータ出力はデジタルブロックへ送られる。

小光量用光子計数部はコンパレータで入力信号と比較される閾値電圧を設定するためのDACをもつ。

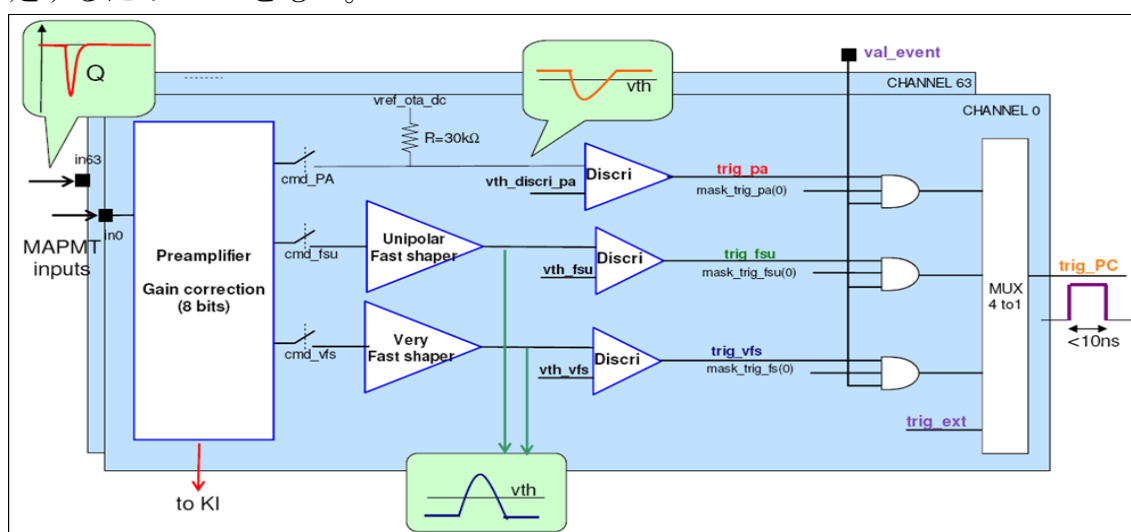


図3：小光量用光子計数部のブロック図

- Trig_PA : Preamplifier から直接来る信号のトリガ。
- Trig_FSU : Unipolar Fast Shaper からの信号のトリガ。
- Trig_VFS : Very Fast Shaper からの信号のトリガ。

4 実験の方法

4-1 使用した実験装置

本実験では、以下の実験装置を使用した。

- ・オシロスコープ
- ・ファンクションジェネレータ
- ・光電子増倍管

これらの装置について、以下で説明する。

4-2 オシロスコープ

オシロスコープは入力された信号を波形として表示することのできる計測器である。

本実験では、ファンクションジェネレータからの信号を1chとし、SPACIROC からくるアナログ信号を2chとした。

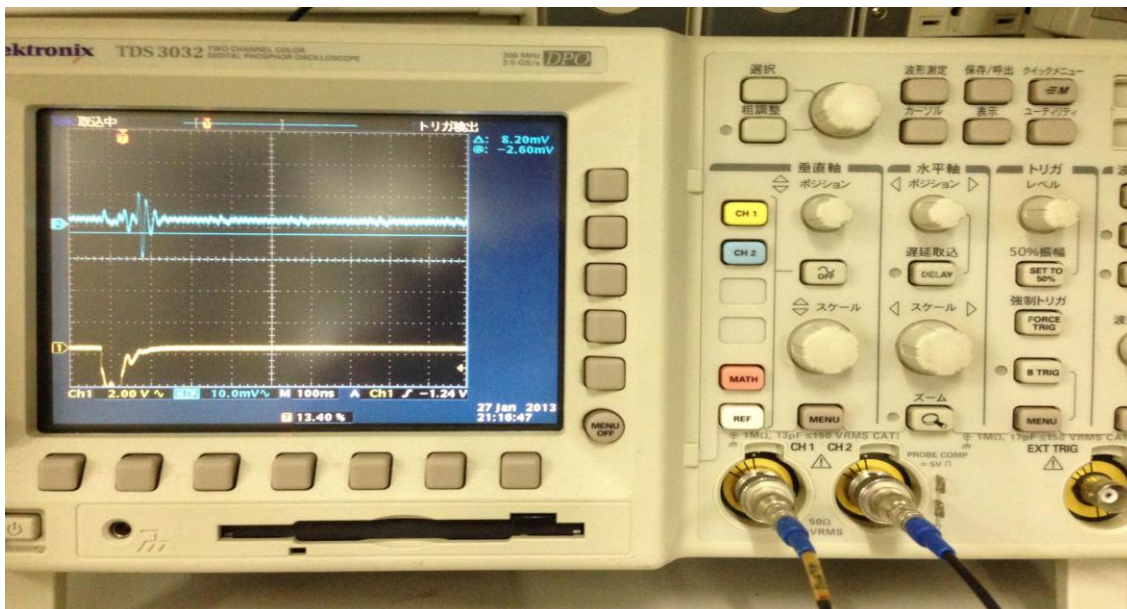


図4：オシロスコープ

4-3 ファンクションジェネレータ

任意の波形を外部に出力する事のできる機器である。

本実験では、2つの用途として使用した。

1つは、SPACIROCテストボード接続し、直接テストパルスを出力させた。

この時の、ファンクションジェネレータの設定は、最大電圧0V、最小電圧-16mVである。

もう1つは、青色LEDに接続し、パルス波形を送ることで、光量の調整を行った。

この時の、ファンクションジェネレータの設定は、最大電圧0V、最小電圧-3.5Vで、波形は、Pulseである。



図 5 : ファンクションジェネレータ

4-4 マルチチャンネル光電子増倍管(MAPMT)

光が金属にぶつかる、表面から電子が放出される。この電子のことを光電子という。

光が光電面に入ると光電子が発生する。真空管の中で電極に高電圧をかけて電子を加速すると、ダイノードに衝突した電子がさらに何個かの電子を電極からたたき出す。

この加速のための電極を互い違いに何段か重ねたものが光電子増倍管である。

光電面とダイノードと陽極の間にかけている高電圧に引き寄せられて、電子のなだれを起こす。陽極に集められた電子が電気信号として検出される。

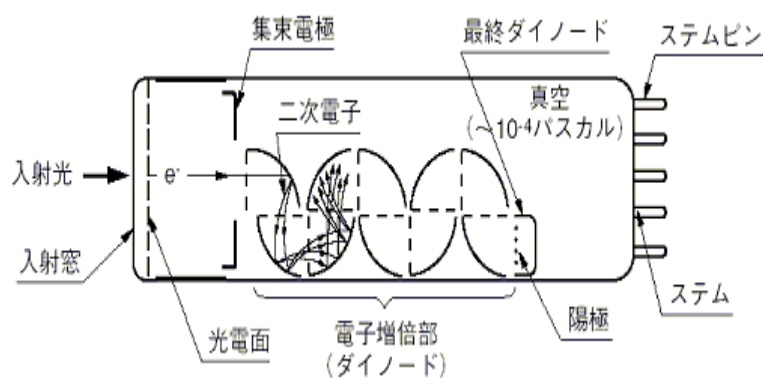


図 6: 光電子増倍管

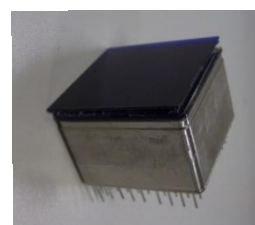


図 7: 今回使用した MAPMT

5 行った実験とその結果

5-1 テストパルスを用いた SPACIROC の実験

テストパルスはファンクションジェネレータを使い SPACIROC に入力される。テストパルス入力端子と SPACIROC の間には 10pF のコンデンサーがあり、 $Q=CV$ の関係式があり電荷量に変換されている。

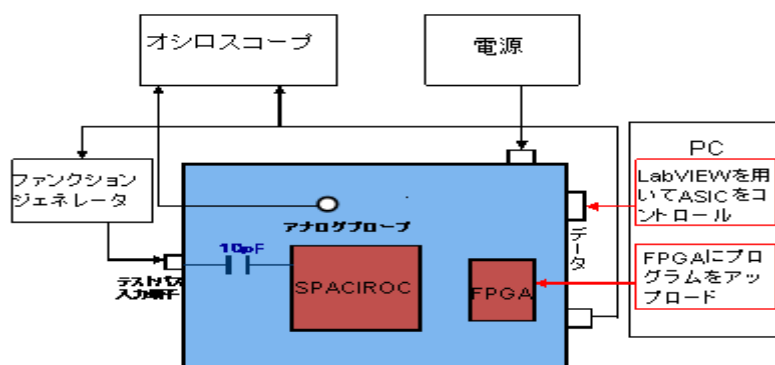


図 8 : テストパルスを用いた SPACIROC の実験の実験装置概略図

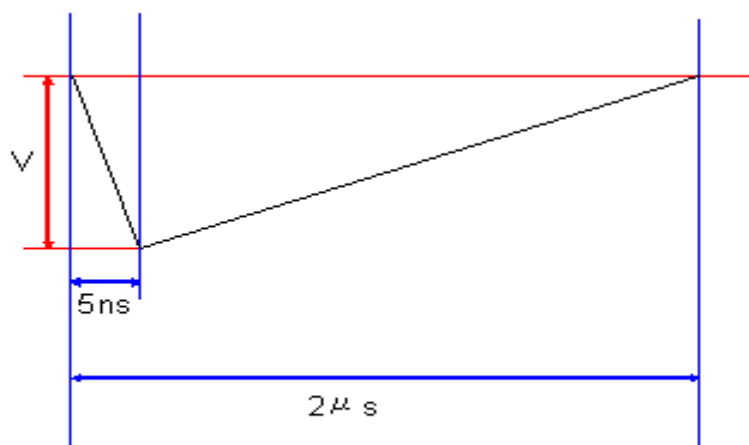


図 9 : 入力信号 Short Pulse

5-2 閾値電圧設定用 DAC linearity

SPACIROC にある閾値電圧設定用 DAC の linearity を測定した。

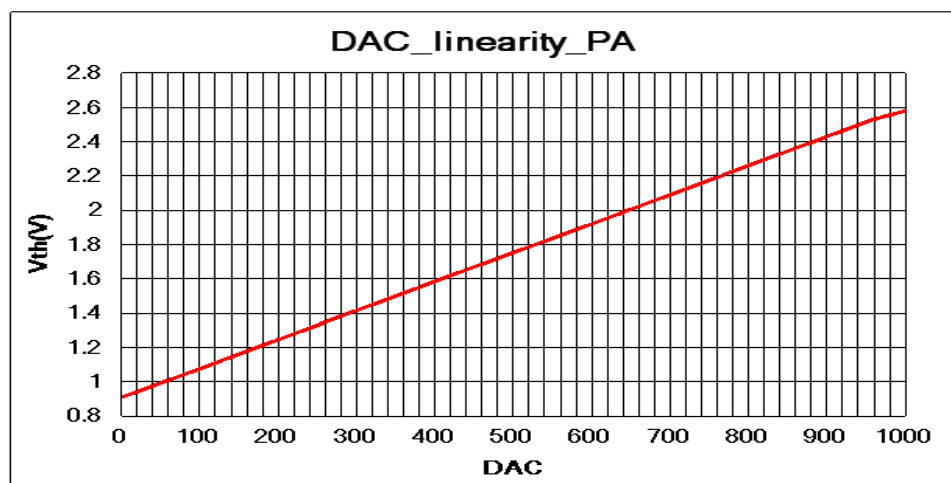


図 9 : Trig_PA の DAC linearity

DAC は線形性を持っていることを確認した。

5-3 1/3p.e の決定

閾値電圧を決定するために 1/3p.e を測定した。

テストパルス进行测试ボードに入力し、1p.e、1/3p.e。ペDESTALを計る。
LabVIEWでGTUを10000に設定する。

測定を開始すると、図10のような、DAC値に対するカウント数の関係を表したグラフが表示される。

グラフのピークを1p.eとし、カウントが減り始めた部分をペDESTALとする。この1p.eとペDESTALの1/3の部分をも1/3p.eとする。

これを12ch分行った。

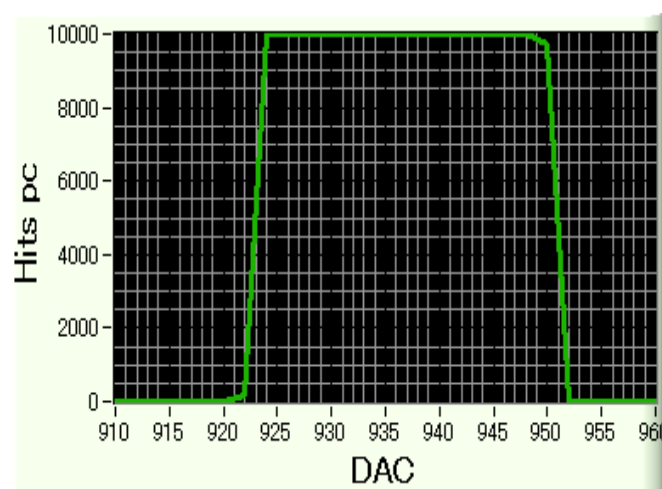


図10 : LabVIEWで見たDAC値に対するカウント数の関係のグラフ

5-3-1 測定結果

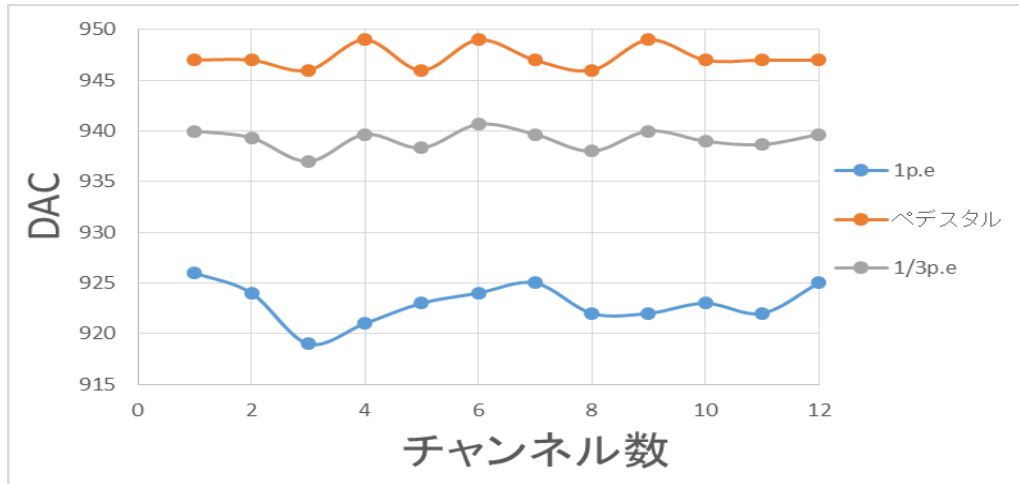


図 11 : チャンネル数に対する DAC 値の関係のグラフ

グラフより 940 を 1/3p.e とし、今後の実験を行う。

5-4 LED の光量測定方法

SPACIROC の光子計数部の動作確認として、光量と出力の関係を求める。

5-4-1 実験装置

青色 LED を発光させて、VEGA のパワーメーターで光量を計った。

VEGA に設定する波長は、465nm である。

実験の方法は、暗箱に設置した VEGA から 100mm 離れたところから、青色 LED が一様に当たるようにした。青色 LED にはファンクションジェネレータを接続し、図 13 のようなパルス波形を送り、入力電圧変化させることで光量を調整した。

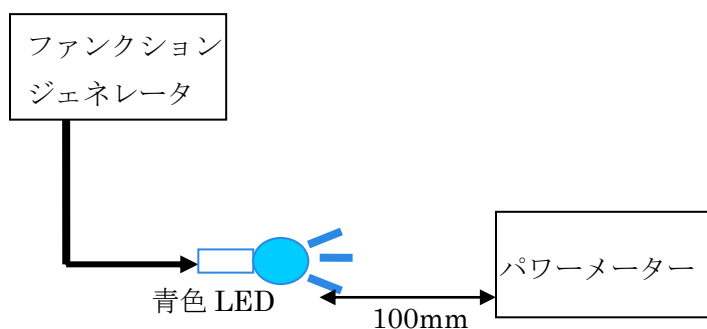


図 12 : LED の光量測定の実験装置概略図

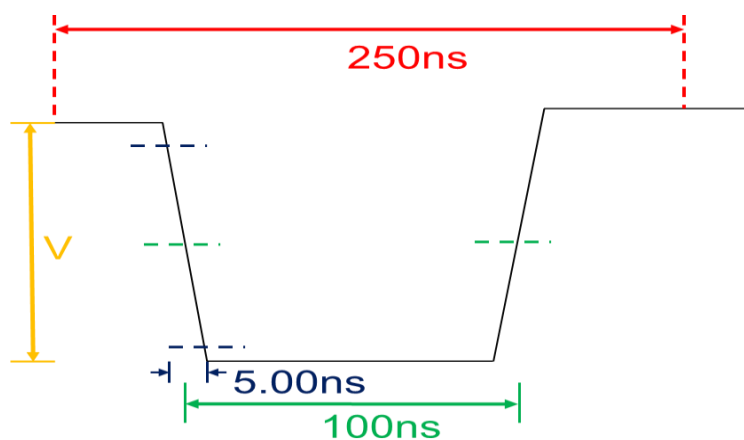


図 13 : LED への入力信号

5-4-2 測定結果

図 14 はファンクションジェネレータの入力電圧(V)と VEGA のパワーモニターに表示された、LED の光量(nW)の関係を示したグラフである。

LED の特徴として、電圧と光量に比例関係が無いことがわかっているが、そのことが確認できる。

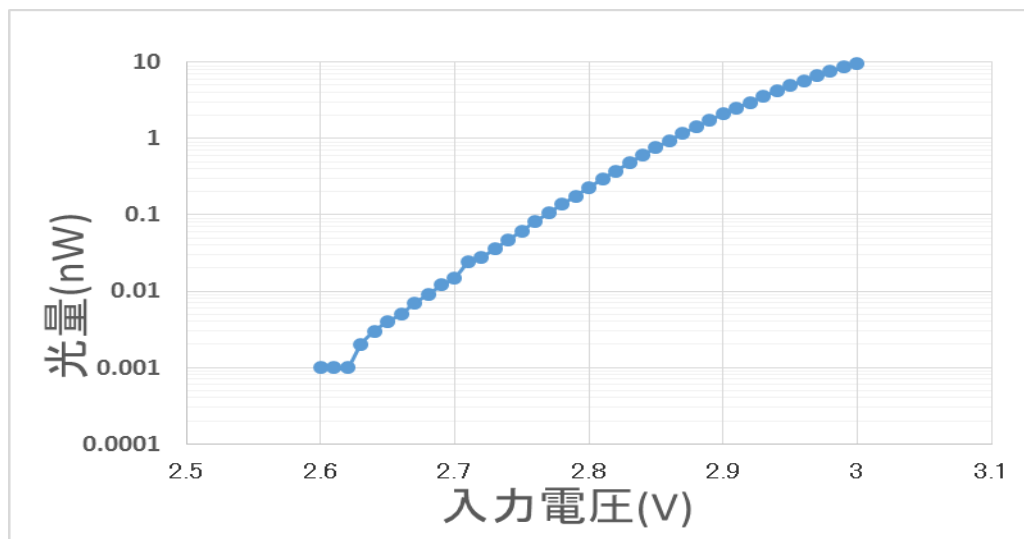


図 14 : 入力電圧に対する LED の光量の関係のグラフ

5-5 光照射によるテストボードの試験方法

テストボードを暗箱の中に設置し、テストボードに装着している光電子増倍管から 100mm 離れた位置に青色 LED を設置する。

LED にファンクションジェネレータからパルスを送り、入力電圧を変化させることで光量の調整を行う。

LabVIEW で先ほど測定した $1/3p.e$ の DAC 値に設定する。さらに、 $2.5\mu s$ 間隔の GTU を 1 万個送り

パワーメーターを使った実験のデータを下に光量に対するカウント数のグラフを作成する。

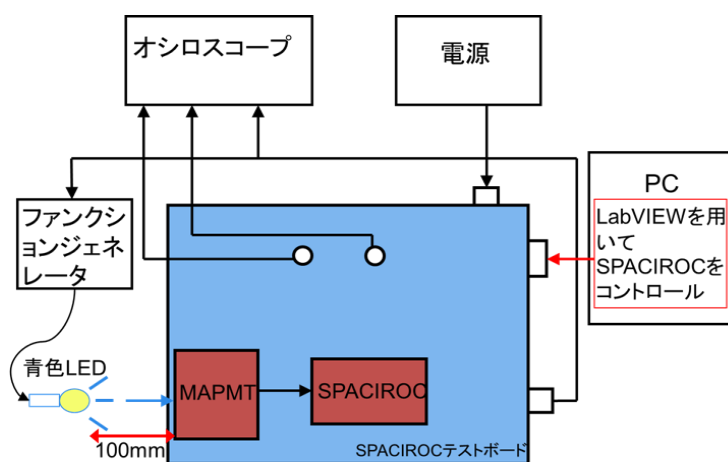


図 15 : テストボード試験の実験装置概略図

5-5-1 測定結果

図 16.17 は、LED の光量(nW)に対する光電子の計数率の関係を表したグラフで、それぞれ 64ch 分のデータとそこから 28,29,32,48ch をプロットしたものである。

ノイズが入ったため計数率が異なるチャンネルもあるが、どのチャンネルもおおよそ比例関係であることがわかる。

また、28,29,32,48ch をプロットしたグラフから、計数率 1 でピークを迎えていることがわかる。

このグラフから、1p.e(1 光電子)をほぼ 100%計測できることがわかった。

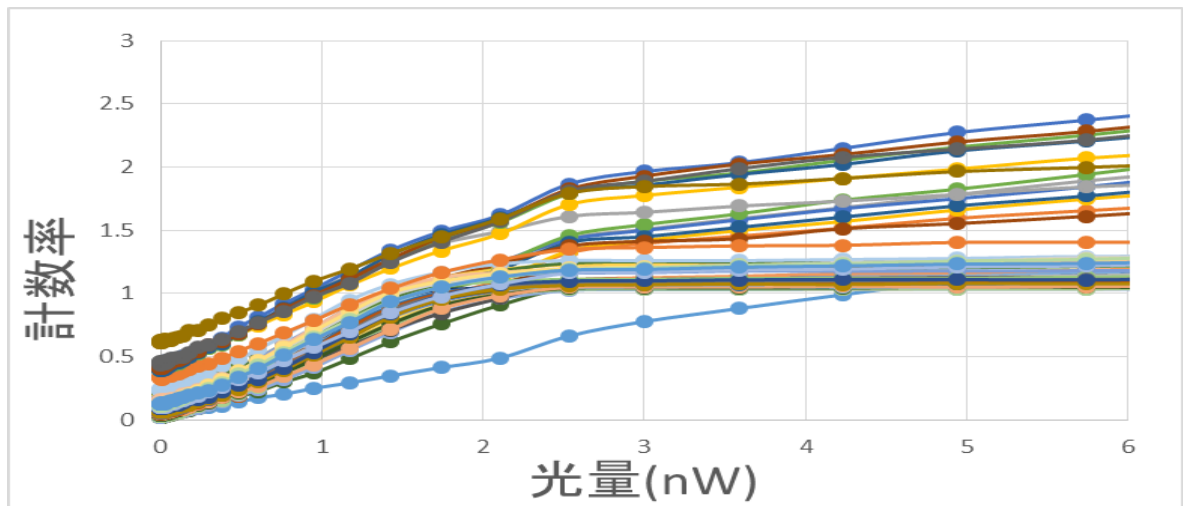


図 16 : 64ch 分の LED の光量に対する光電子の計数率の関係のグラフ

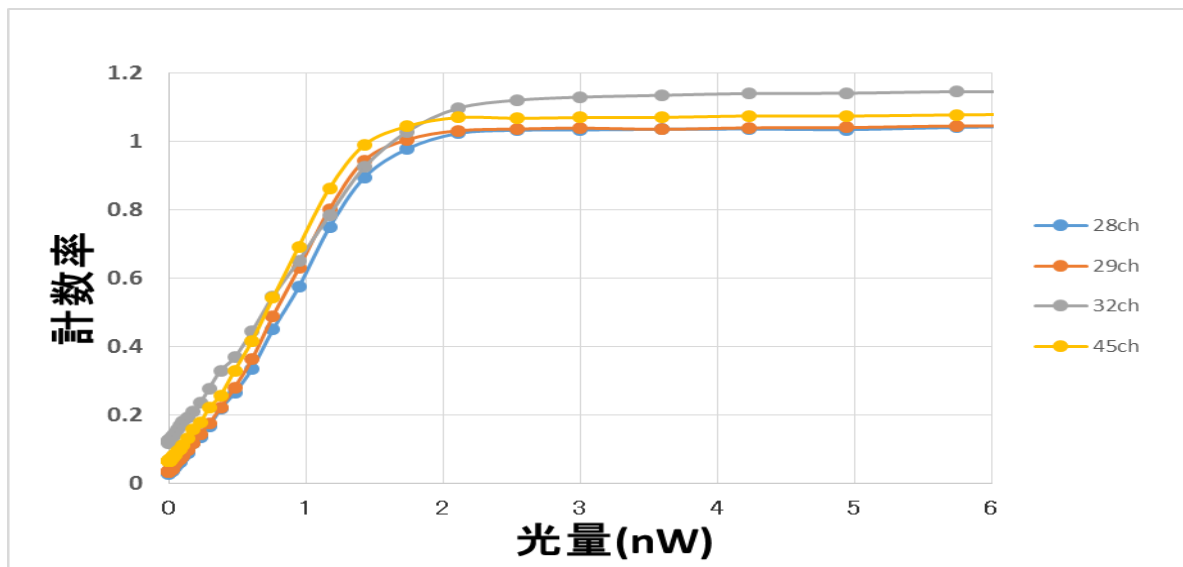


図 17 : 28, 29, 32, 45ch の光量に対する光電子の計数率の関係のグラフ

6 考察

今回使用した回路による実験の結果として、1 光電子がほぼ 100%検出できることがわかった。

これにより、この回路を使用したダブルコンプトン検出器による γ 線の飛来方向が測定できることが考えられる。

また、今回使用したマルチチャンネル光電子増倍管が小型であることから、小型のダブルコンプトン検出器が使用可能であると考えられる。

しかし、今回機能試験をした、小光量用光子計数部だけでは光量に限度があるため、大光量用計数部の機能試験を行う必要がある。

7 謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導を頂いた指導教員の梶野文義教授並びに山本常夏准教授に感謝致します。また、多くの知識や示唆を頂いた大学院生の方に感謝致します。そして、大学で学ぶ機会を与えてくれた両親にお礼申し上げます。

ありがとうございました。