

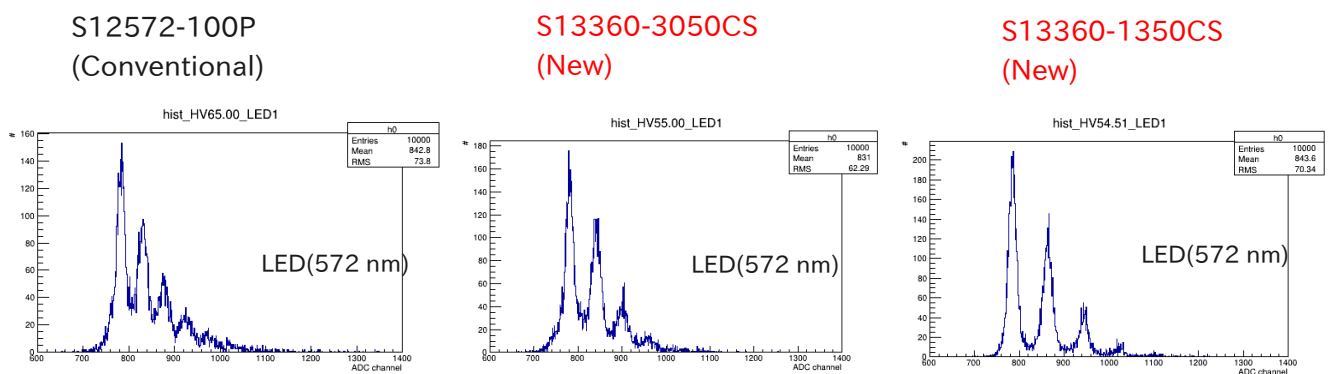
MPPC 比較測定

概要

従来型と新型 2 種類の MPPC の比較測定を実施した。LED 光源を用い、供給電圧と増幅率の関係、そして増幅率とノイズ比の関係、そして波長変換ファイバーを用いた光量比較測定では、光量を変えていき、MPPC と PMT の光量比を調べた。この報告書はそれらの結果を示す。

1. 従来型と新型 MPPC

従来型として S12572-100P は有効面積 3 x 3 mm²、ピクセル数 900 個、ピクセルピッチ 100μm をもつ。2015 年 4 月に浜松ホトニクス社は新型 MPPC:S13360 シリーズを発表した。従来型と比較して、低雑音、低クロストーク、低アフターパルスを唱っている。我々独自に比較測定を行い、PET 装置アップグレード、粒子識別装置アップグレードの推定する。



Effective area	3 mm x 3 mm	3 mm x 3 mm	1.3 mm x 1.3 mm
Pixel pitch	100 μm	50 μm	50 μm
Pixel 数	900	3600	667

図1. 新型および従来型 MPPC の ADC 分布、有効面積、ピクセルピッチ、ピクセル数のリスト

千葉大が入荷した MPPC は S13360-1350CS, -3050CS, -6050CS, -6050PE の計4種類だ。型番の 4 桁中の前2桁は有効面積の一辺を、後2桁はピクセルピッチ幅を示し、そして最後の英語は CS はセラミック型、PE は表面実装型を示す。

2. MPPC の供給電圧と増幅率、ダークノイズの関係

まず従来型と新型 2 種類 -1350CS と -3050CS について HV-Gain と Gain-Noise の関係を EASIROC モジュールを使用して調べた。-6050CS と -6050PE は EASIROC の ADC では有意に離散ピークが現れず、読み出し方法を後で考えることにする。LED 光源を当て、0, 1, 2 ... p.e.と離散ピークの幅から増幅率を導き、供給電圧との関係を、そして LED 光源を当てないときのノイズ比と供給電圧との関係も調べる。LED 光源を当てたときのそれぞれの ADC 分布を図 1 に示す。これらの ADC は離散的なピークが現れていることが確認できる。このペダスタルピークの平均値を M_{ped} 、隣のピーク平均値は M とすると増幅率 μ は以下の式で表せる。

$$\mu(V) = \frac{(M - M_{ped})C_{MPPC}C_{ADC}}{|e|}$$

ここで、 V は供給電圧[V]、 C_{MPPC} は静電容量[pF]、 C_{ADC} は EASIROC モジュールの変換係数[mV/ADC]、 e は素電荷 1.60×10^{-19} C を示す。ちなみに S12572-100P、S13360-1350CS、-3050CS の静電容量はそれぞれ 320 pF、60 pF、320 pF である。図 2 に示すように、HV-Gain は従来型および新型ともに良い線形性をもつ。従来型の供給電圧 65V に比べて新型は供給電圧 55V と低い設計である。測定精度は直線でフィッティングした関数との差から導いき(図 3)、3%未満の精度が得られた。

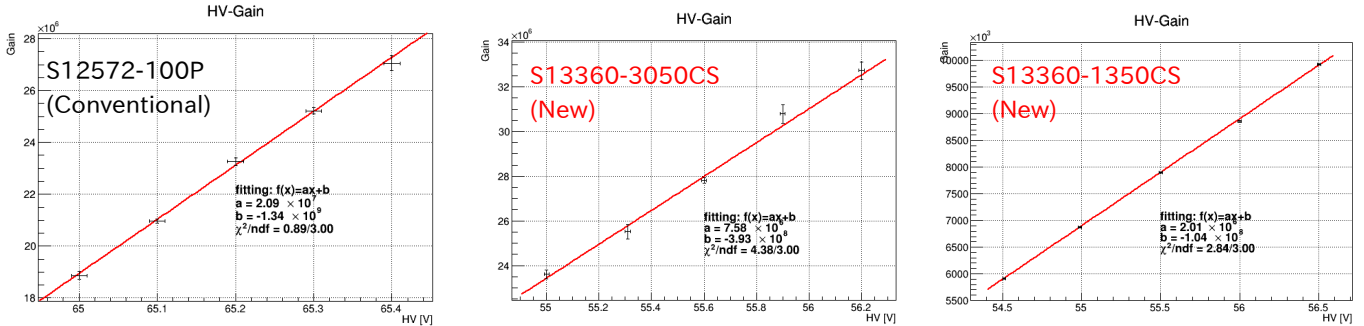


図2. 新型および従来型 MPPC の供給電圧と増幅率の関係

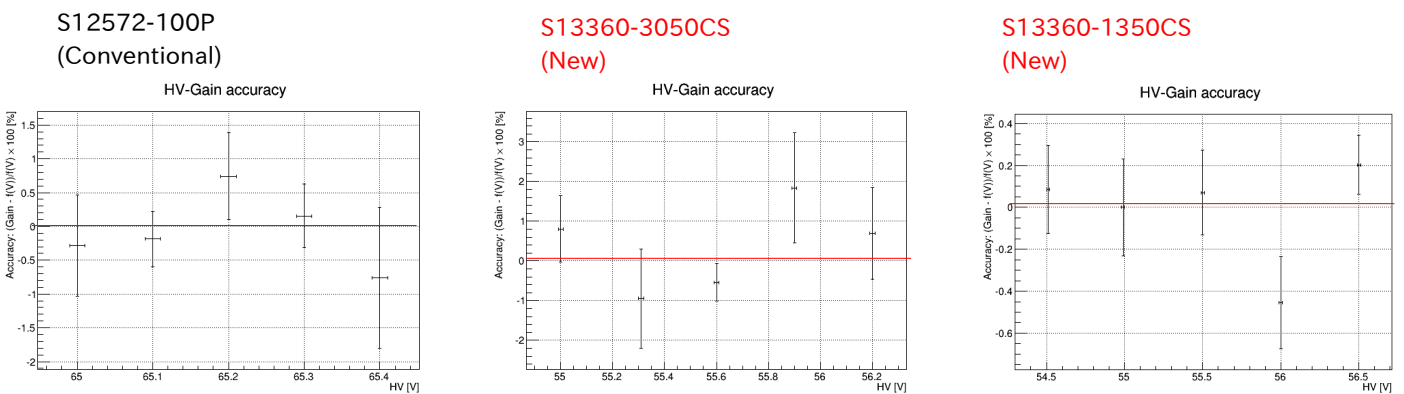


図3. 新型および従来型 MPPC の供給電圧と増幅率の測定精度

LED 光源を消したときの MPPC の ADC 分布からあるしきい値を超えた事象比から増幅率とノイズ比の関係を plot した(図 4)。測定結果として 0.5, 1.5, 2.5 p.e. をしきい値にした plot は従来型と新型を比較して 0.5 p.e. しきい値では -3050CS は 80% へ、1.5 p.e. は約半分へ、2.5 は 1 桁ノイズが落ちた。-1350CS は増幅率が異なるが、ノイズは 1 桁落ちていた。

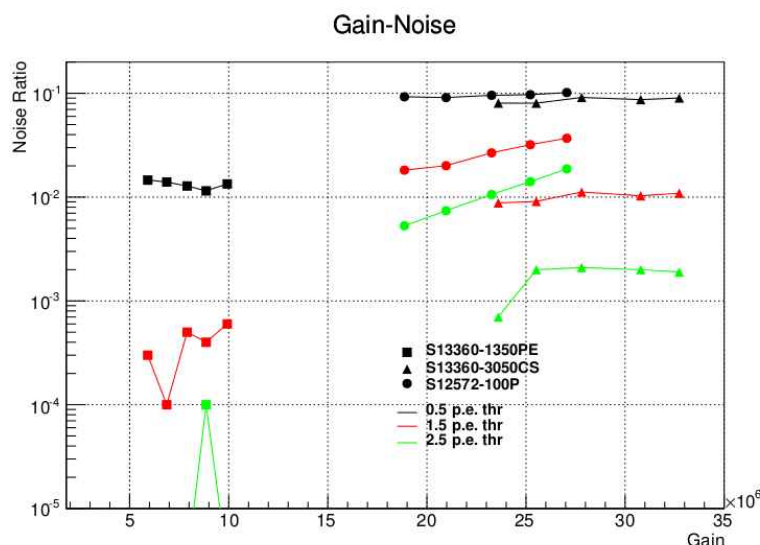


図3. 新型および従来型 MPPC の供給電圧と増幅率の測定精度

MPPC のダークノイズはピクセル数に依存している。従来型のピクセル数 900 個とくらべて新型のピクセル数は 3600 に増えているにも関わらず、ノイズはあまり変わらないもしくは少し抑えられた。また -1350 と -3050 のピクセルは同質で、式(1)より増幅率と静電容量の関係、そしてピクセル数に比例関係があることから、増幅率の空白領域はつながる可能性がある。

3. 波長変換ファイバーによる PMT 光量比較測定

波長変換ファイバー(WLSF)は側面から LED 光源を吸収し、等方的に再発光、全反射条件を満たした光を末端まで伝搬する。LED 光源はちょうど PMT と MPPC の中心に設置することで、LED 光源が不安定でも同じ波長スペクトラム、同じ光量がそれぞれに入射されることが保証できると考えた。波長変換ファイバー(Y-11)には吸収波長領域からピーク 470 nm の LED 光源を使用され、R-3 には 572 nm の LED 光源を使用される。

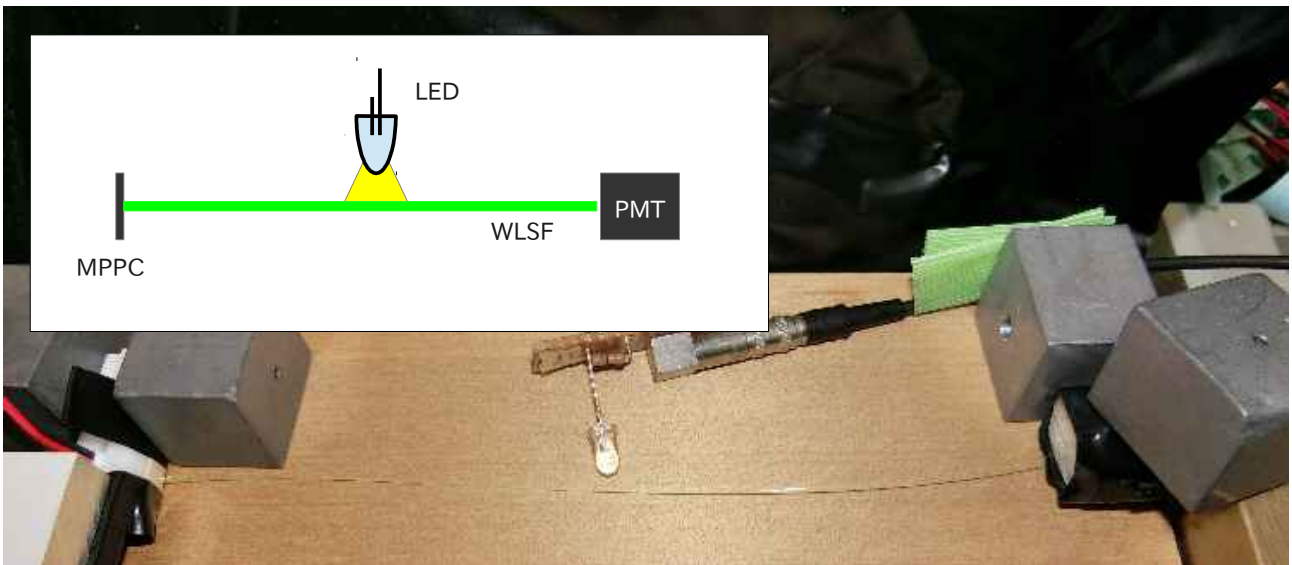
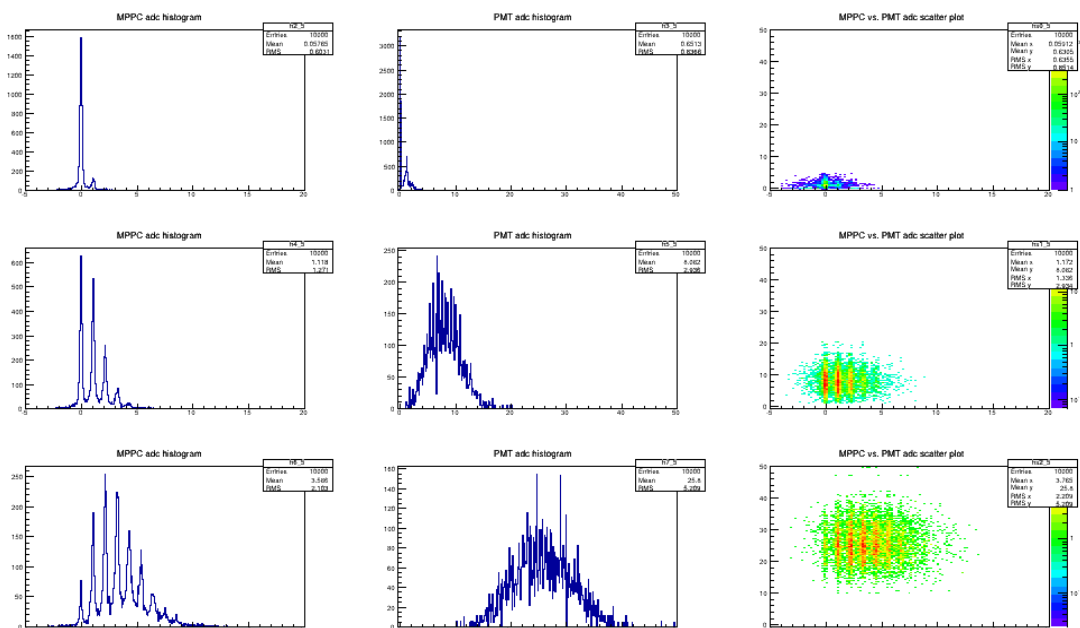


図4. 波長変換ファイバーを用いた MPPC と PMT 比較測定セットアップ

図5に MPPC と PMT それぞれの光電子数分布を示す。これら MPPC と PMT はそれぞれ EASIROC と CAMAC ADC において光電子数の校正を済ませている。3 種類の MPPC(S12572-100P, S13360-1350CS, S13360-3050CS)、2 種類の PMT (R9880U-210, R9880U-20: LED はそれぞれの感度波長に適用されている)を使用し、計 6 種類の関係を図6に示す。どれも良い線形成を示す。



この結果から傾きが同じ PMT を使って MPPC の量子効率の比較ができる。LED(470 nm)+WLSF(Y-11)において、S12572-100P で傾き 0.99 に対して、新型ではそれぞれ 0.21 と 0.60 が得られた。この結果から従来型よりも新型は検出効率が低いことを示す。本当に検出効率が従来型より悪化したのだろうか。MPPC の検出効率は供給電圧によって変化する性質をもつので、それぞれの供給電圧のオーバー電圧具合が違ったのだろうか。また、MPPC と波長変換ファイバーの接着具合が毎回異なることが原因なのではないか。新型は従来型より低クロストーク、低アフターパルスで、従来型でクロストークが高く評価していたものを新型では抑えていると考えたと説明ができるのではないか。

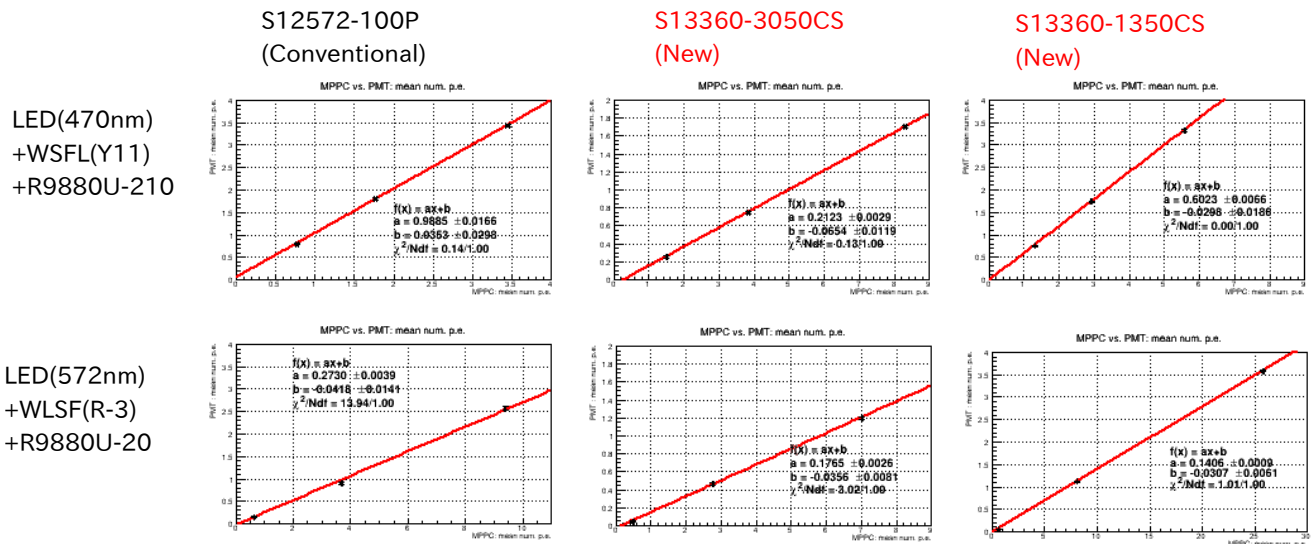


図6. PMT と MPPC の平均光電子数の分布

4. まとめ・今後の展望

従来型と新型 2 種類の MPPC の比較測定を実施した。供給電圧と増幅率は良い線形性を示し、ダークノイズはピクセル数に対して十分抑制されていることが確認された。波長変換ファイバーを用いた検出効率比較測定ではどれも良い線形成が見られたが、新型は従来型に比べて検出効率が低いもしくはクロストークが抑制されているかのどちらかの結果が得られた。

今後の展望:

1. 波長変換ファイバーを接続した検出効率・光量測定の追試験: MPPC と WLSF の接続時の再現性も踏まえて測定する必要がある。本当に新型 MPPC は検出効率が悪化したのか、それとも低クロストークなのかを確かめる。
2. 自作読み出し回路を用いて MPPC の CAMAC ADC/TDC の読み出しを可能にする。
3. 新型 MPPC を用いた PET の位置分解能測定