

D-Egg検出器FATシステム

2021年2月24日(水)

田中 彰

共同実験者：Yonghyun Kim

目次

I. 研究背景・目的

II. 原理

III. 実験

- 実験方法（セットアップ、解析）
- 実験結果

IV. 考察

V. 結論

1. 研究背景・目的

我々の研究室では、D-Egg光検出器を用いてニュートリノの測定を行う準備をしている。

その準備の一つにFATと呼ばれるものがあり、D-Eggを運用するためには必要となる。

FAT (Final Acceptance Test)

実験器具を実際に動作させる前に行う
正確性などを確かめる性能試験

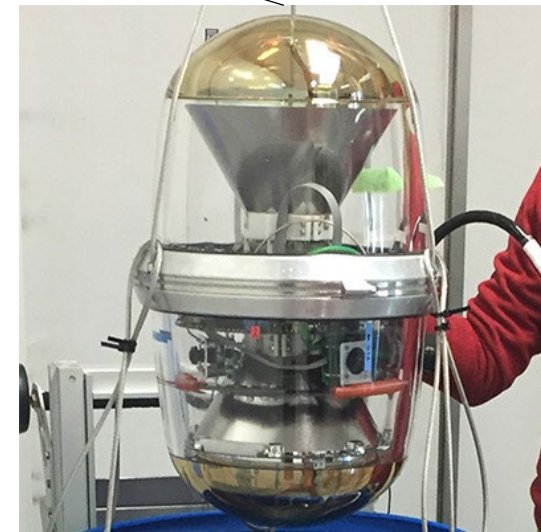


図1 D-Egg光検出器 [1]

1. 研究背景・目的

D-EggはPMT（光電子増倍管、photomultiplier tube）が上下についており、様々な方向から飛んでくる微弱な光を検出することができる。そのため、D-EggのFATは上からの光と下からの光に対して行う必要がある。

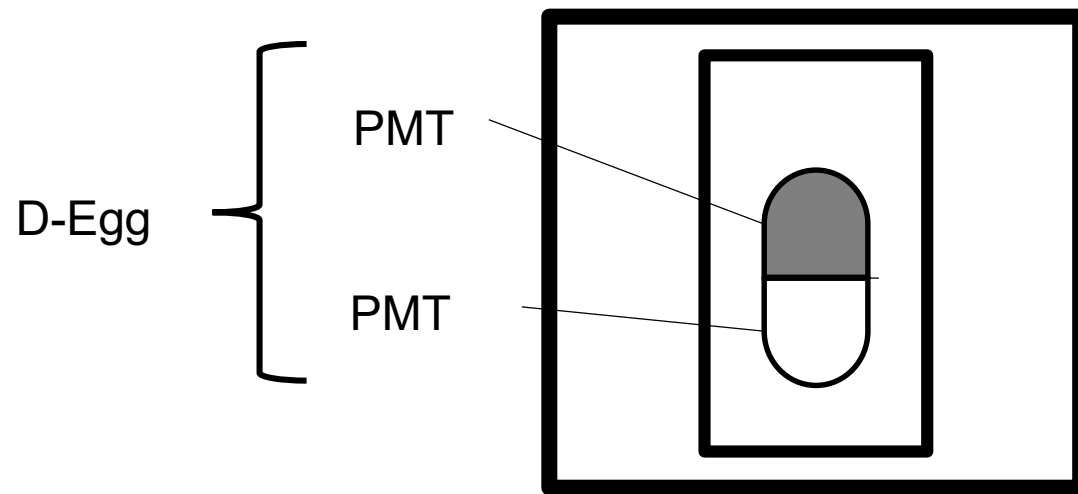


図2 D-Egg

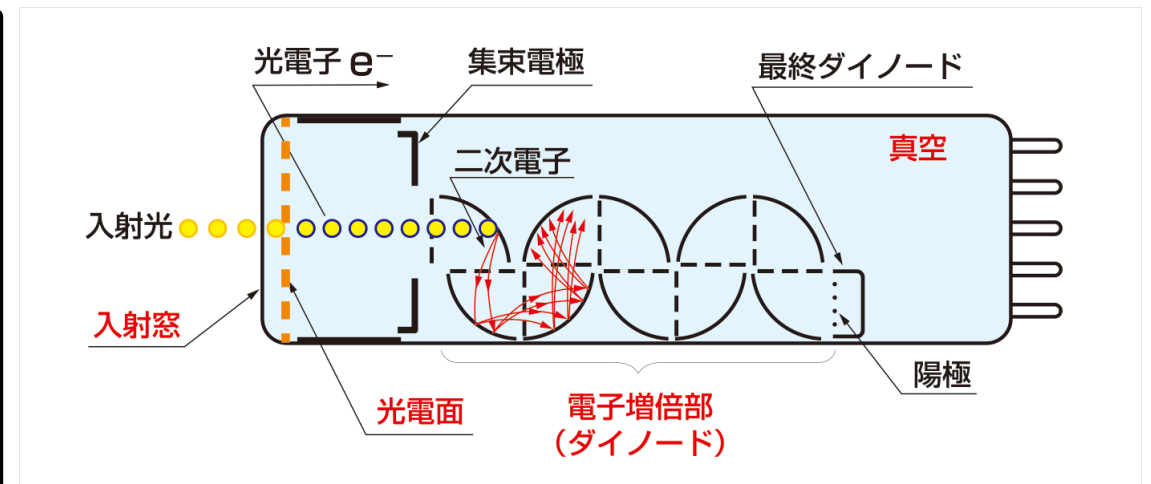


図3 PMTの内部構造 [2]

1. 研究背景・目的

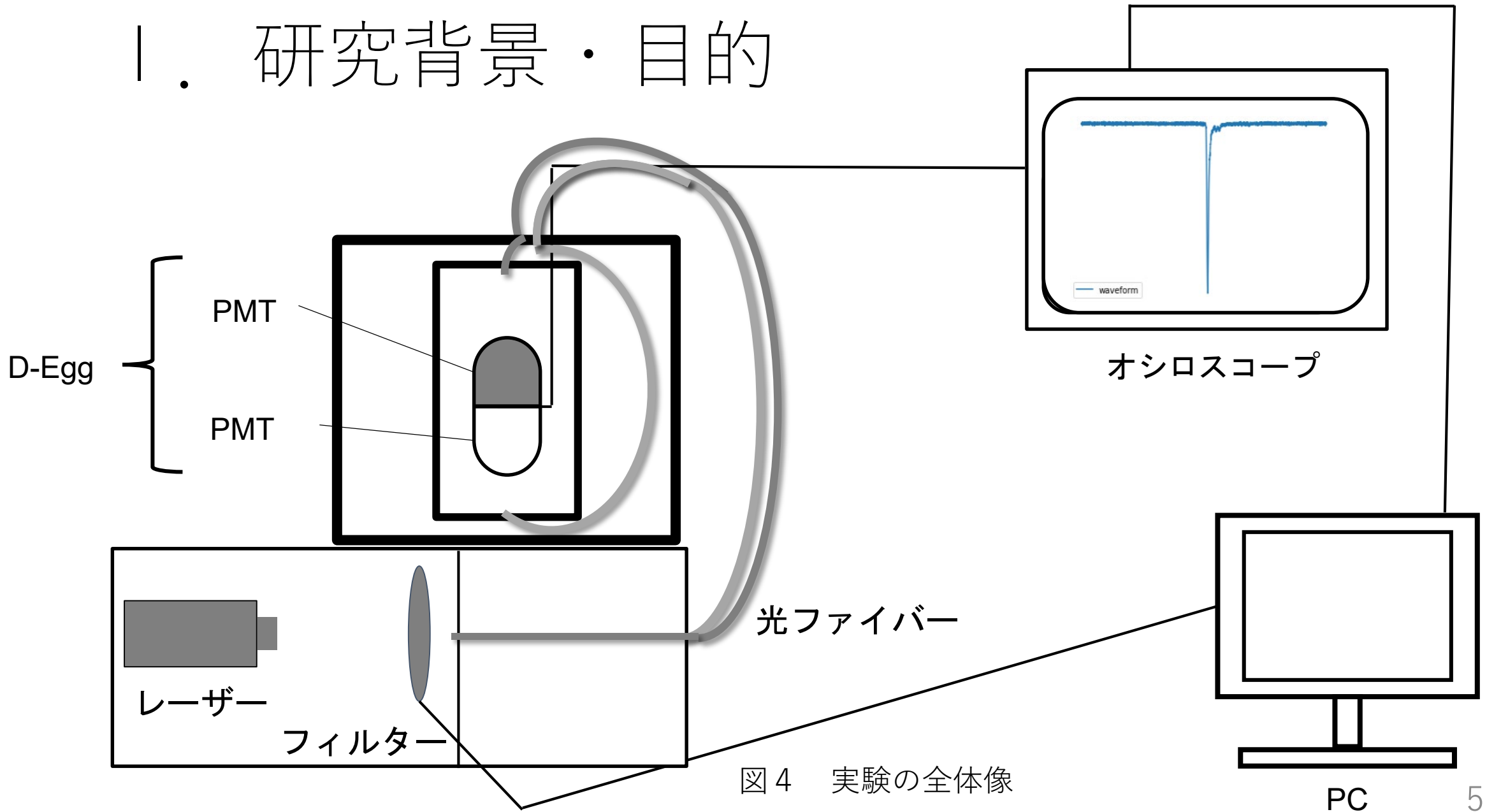


図4 実験の全体像

1. 研究背景・目的

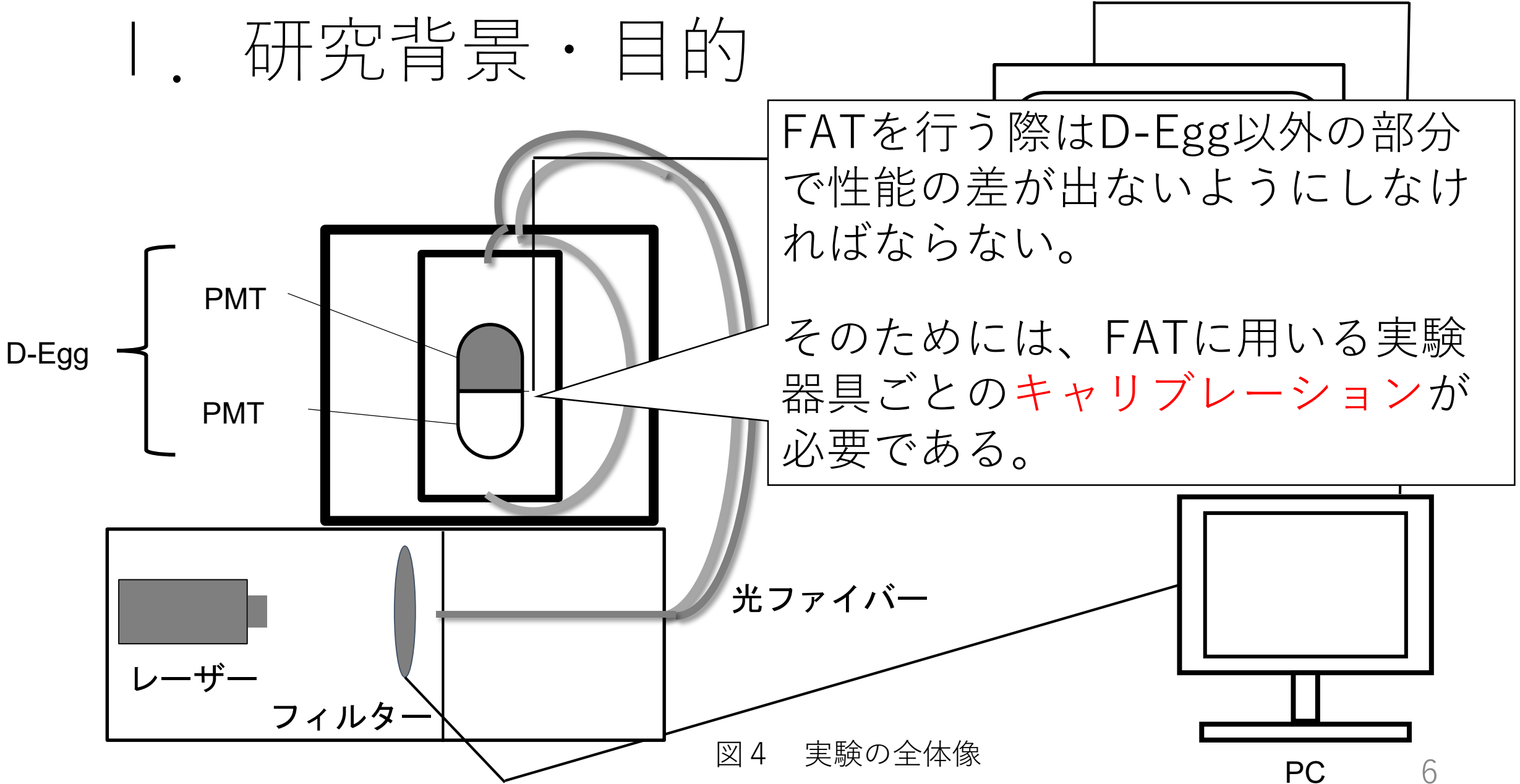
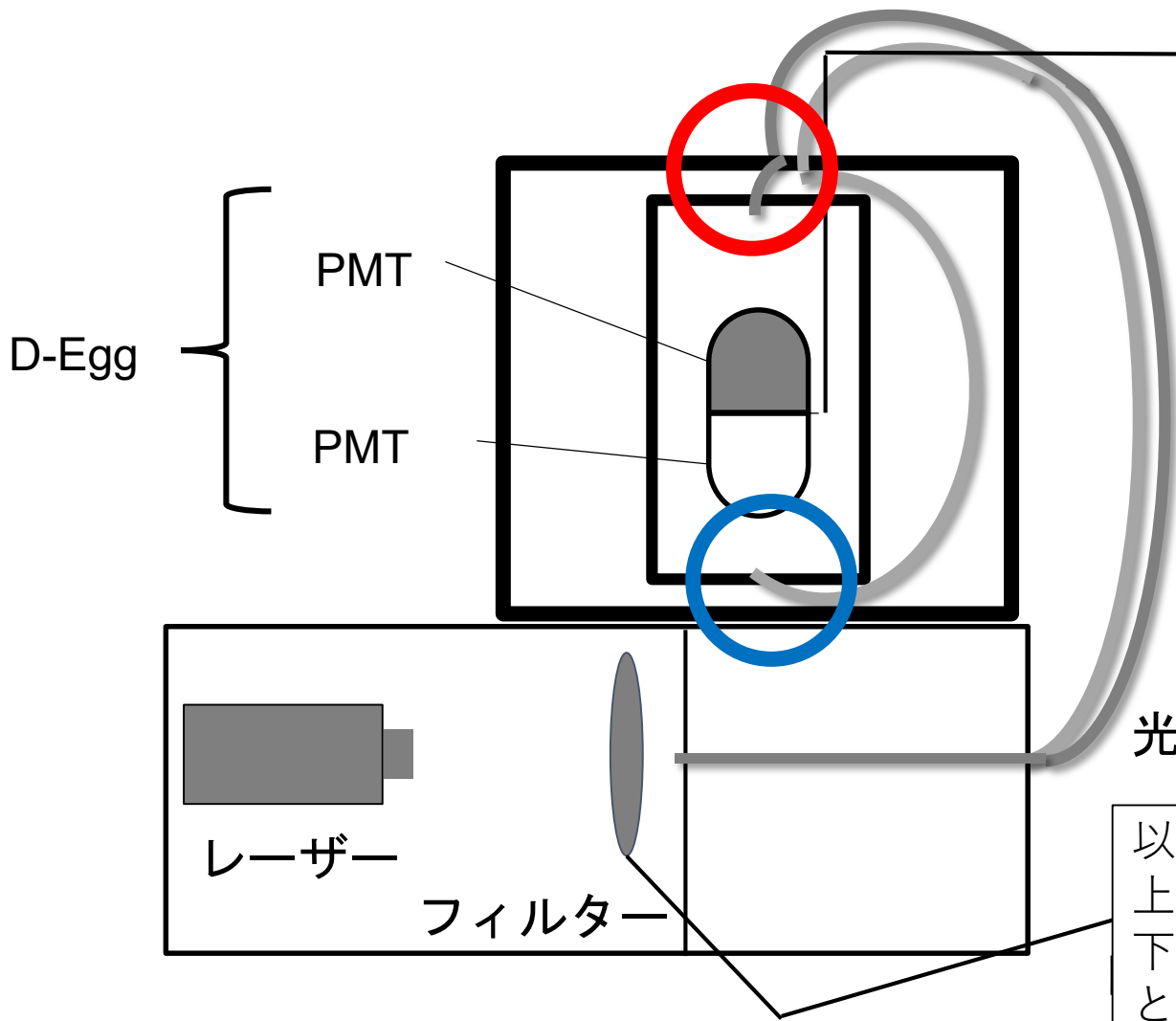


図4 実験の全体像

1. 研究背景・目的



本実験では、FATの際に用いる光ファイバーを研究対象とし、光ファイバーを使い光量を測定したときに検出器が示す値を比べ、キャリブレーションを行うことで**正しくFATを行えるようにする**ことが目的である。

以降、
上からの光を測定する光ファイバーを**Topファイバー**、
下からの光を測定する光ファイバーを**Bottomファイバー**と呼ぶ

II. 原理

PMTの光電面で同一の光子数に対して生成される光電子数は常に一定ではなく、ゆらぎをもつ。このばらつきはポアソン分布に従う。

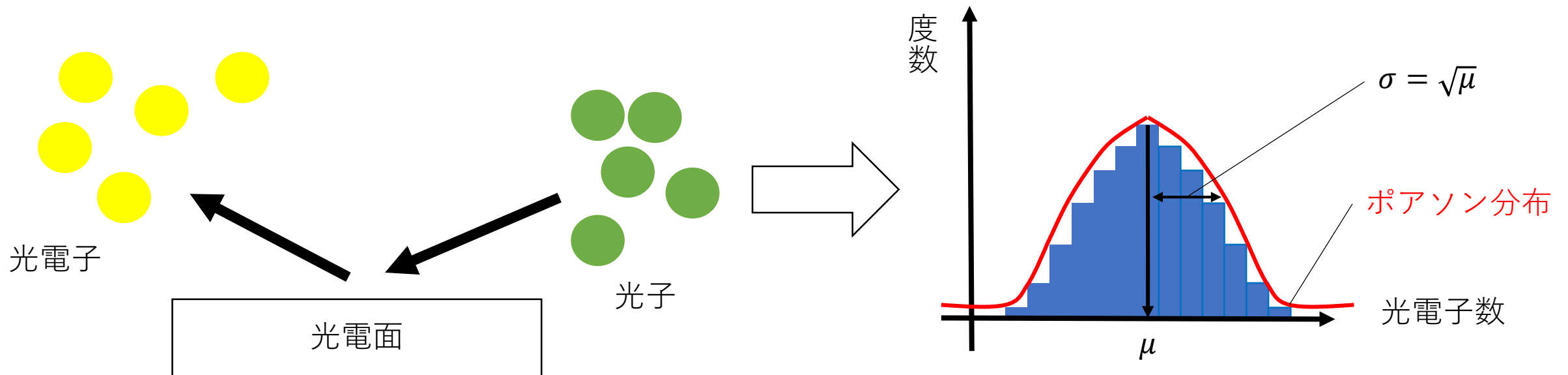


図5 光電効果

図6 光電子数のヒストグラム

II. 原理

光電子数のヒストグラムや平均 μ を比較し、TopファイバーとBottomファイバーから得られた光電子数の比を求めることでキャリブレーションを行う。

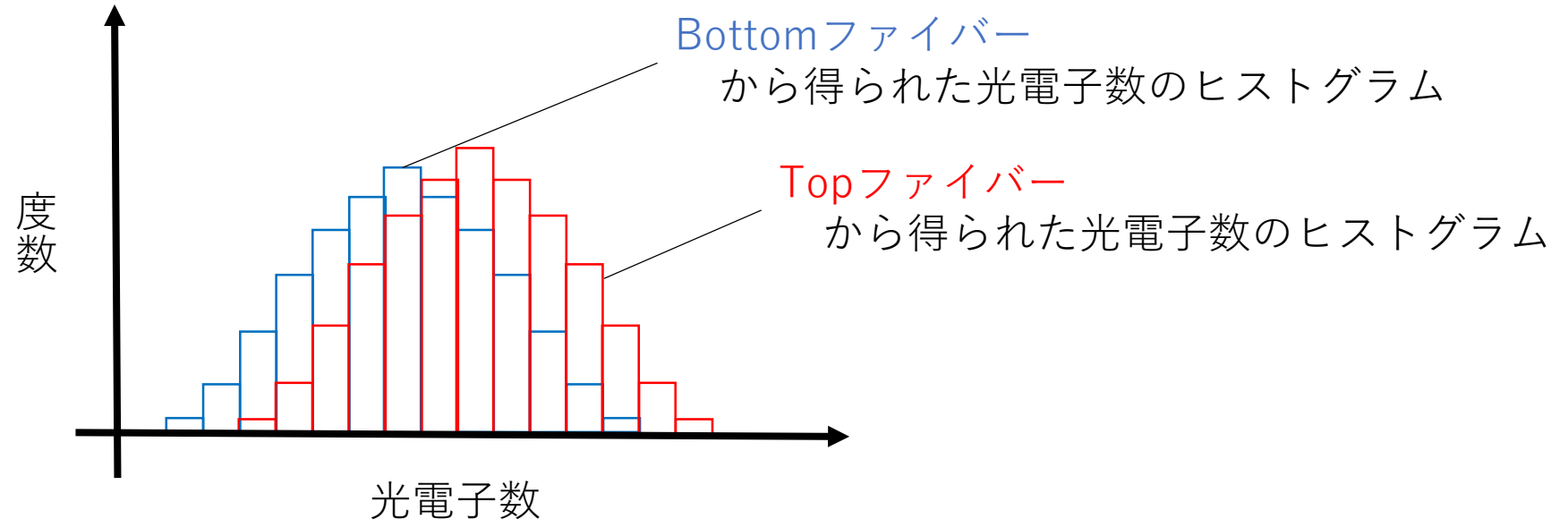


図7 二つの光電子数のヒストグラム

III. 実験

- 実験方法（セットアップ、解析）
- 実験結果

II. 実験 (セットアップ)

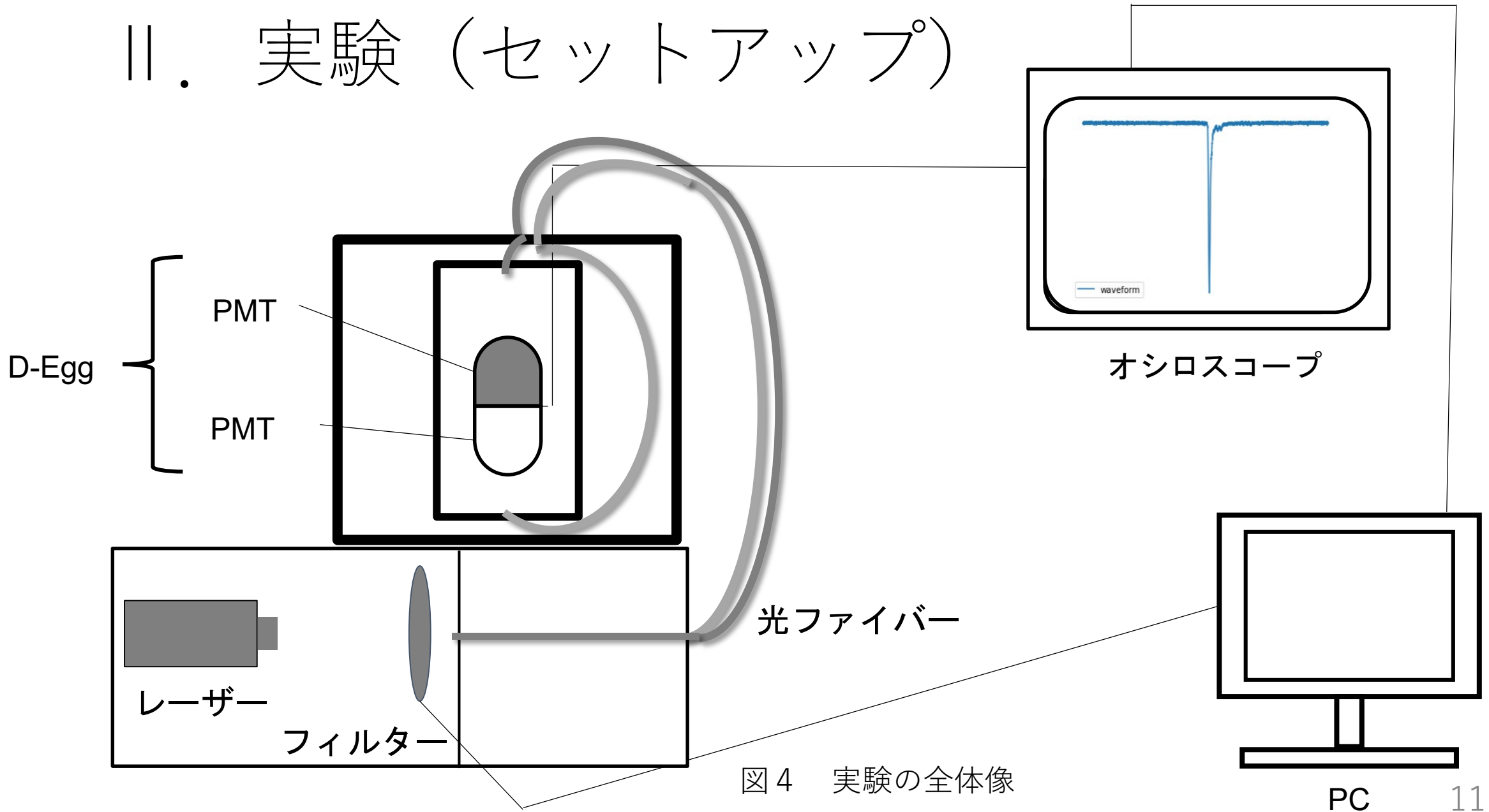


図4 実験の全体像

II. 実験 (セットアップ)

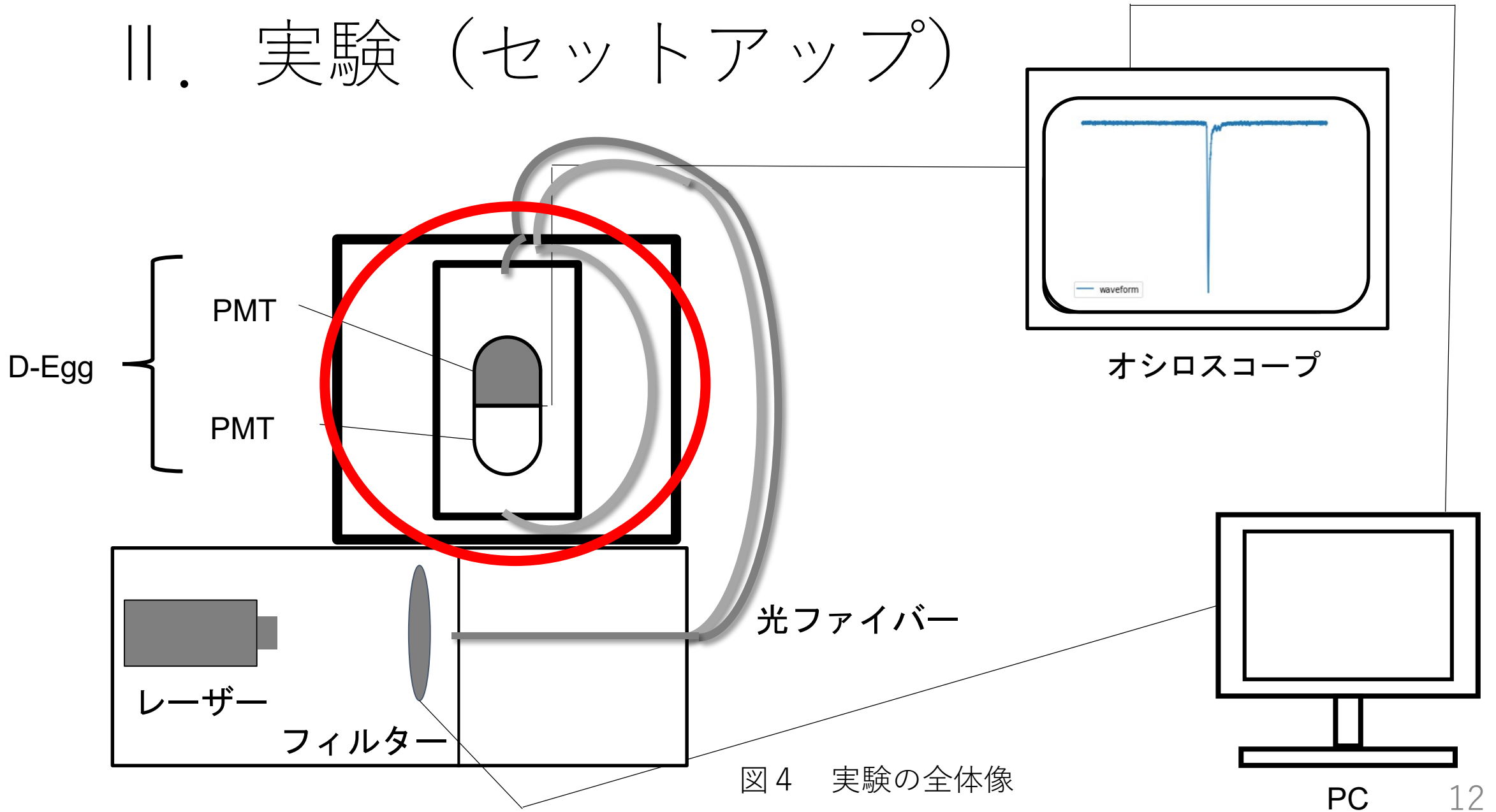


図4 実験の全体像

III. 実験（セットアップ）

BOX

1. BOXの上面と下面の中心に穴をあけ、そこに向け光が入るようにそれぞれ面にTop・Bottomファイバーを設置、調節をする。

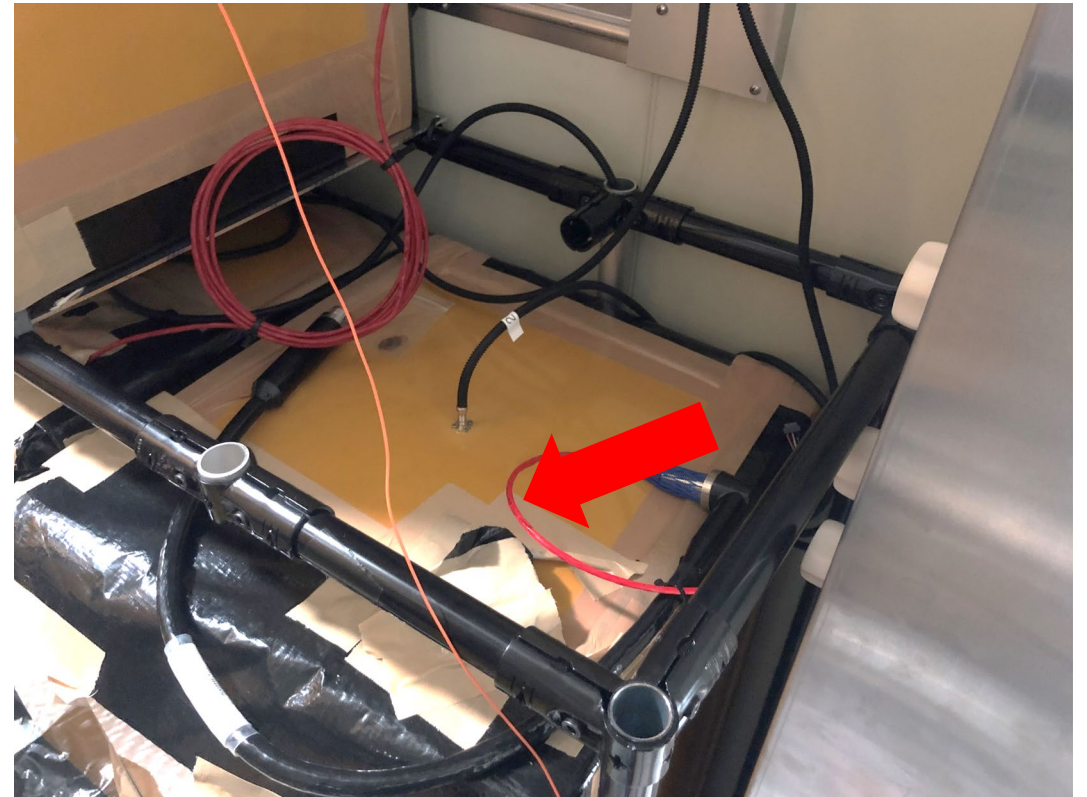


図8 箱とファイバー

III. 実験（セットアップ）

BOX

2. ファイバーからの光が垂直に入るように、キャリブレーション用のD-Eggのプロトタイプ（以降、Half D-Eggと呼ぶ）を設置する。下向きにしてBottomファイバーの測定をした後、同じHalf D-Eggを上向きに設置しTopファイバーの測定を行う。

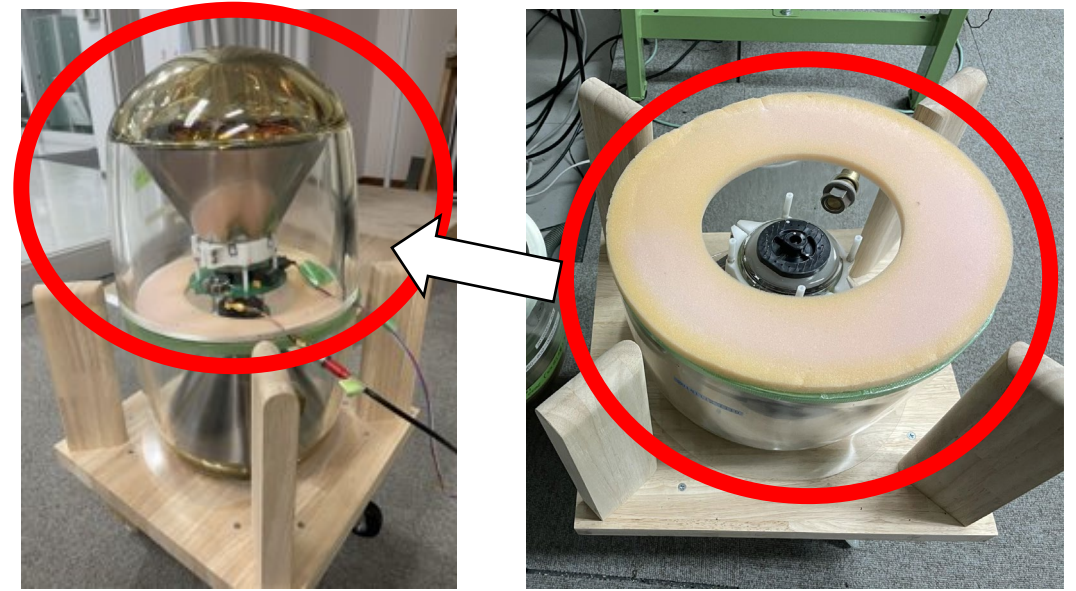


図9 上向きと下向きに設定したHalf D-Egg

III. 実験 (セットアップ)

BOX

3. Half D-Eggを箱の中に入れ、外部から余計な光(ノイズ)が入らないように遮光テープで封をする。
4. PMTを動作させるために電圧をかける。

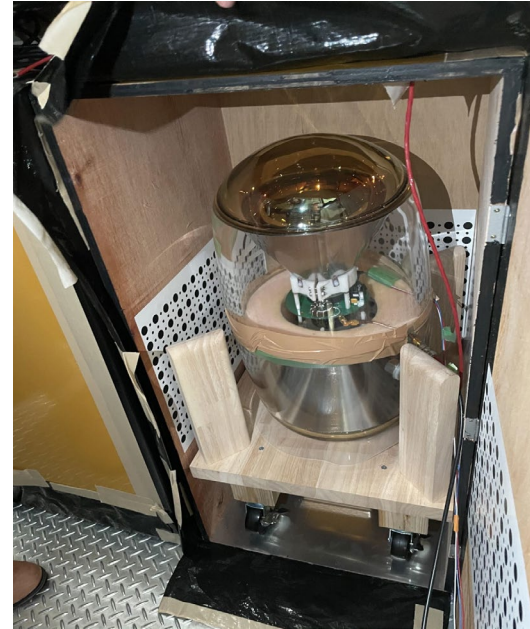


図10 箱にいれたHalf D-Egg

II. 実験 (セットアップ)

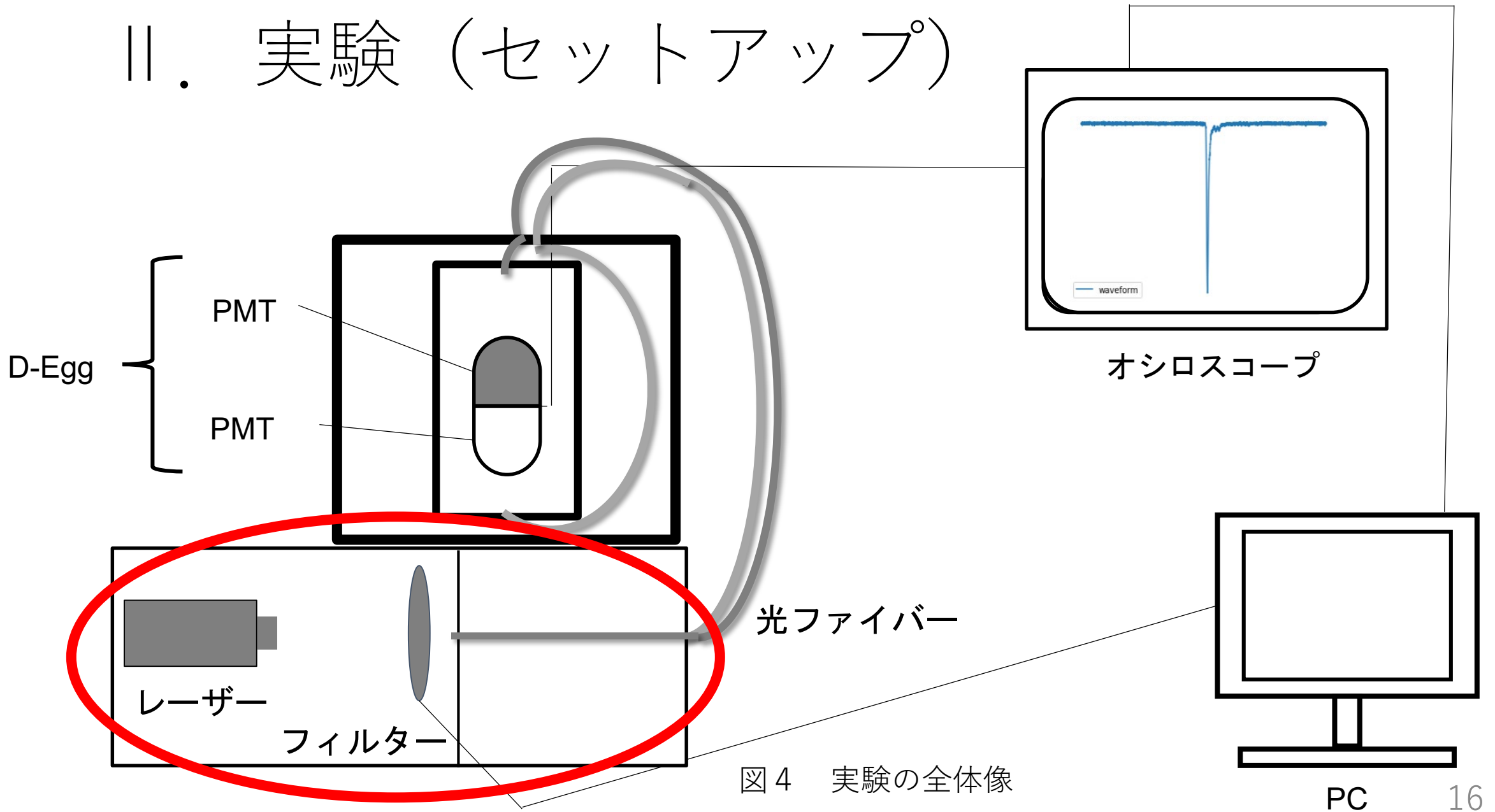
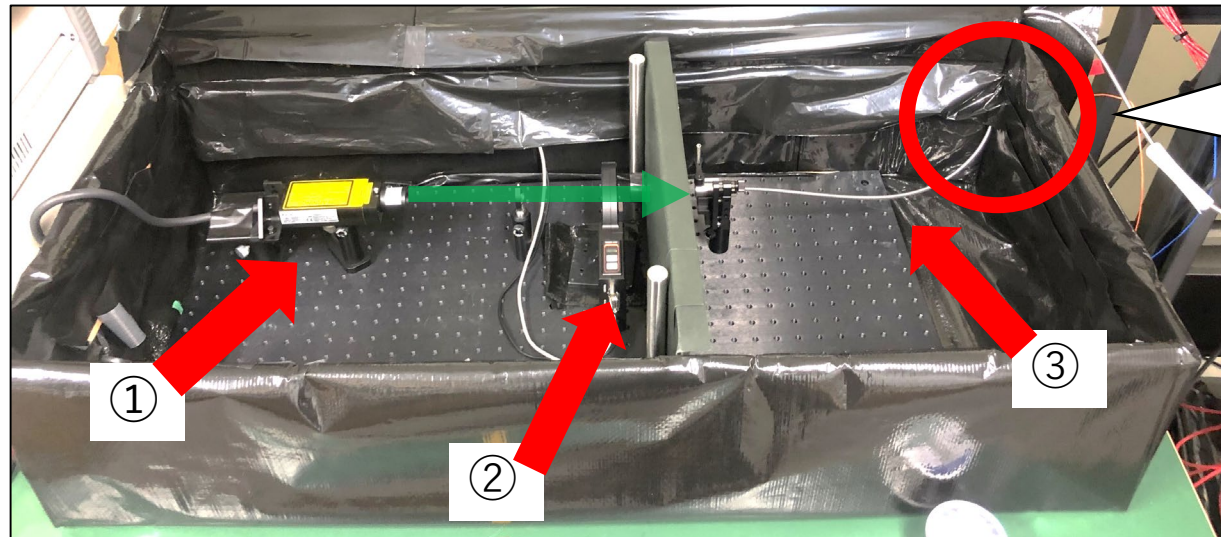


図4 実験の全体像

III. 実験 (セットアップ)

レーザーBOX

5. Half D-Eggへの光の供給はレーザーを使用する。①レーザーからでた光を②フィルターで光量を調節し、③光ファイバーを通過した後、Top・Bottomファイバーに運ばれる。



この先からTop・Bottomファイバーに分かれる

図11 レーザーとフィルターの配置

II. 実験 (セットアップ)

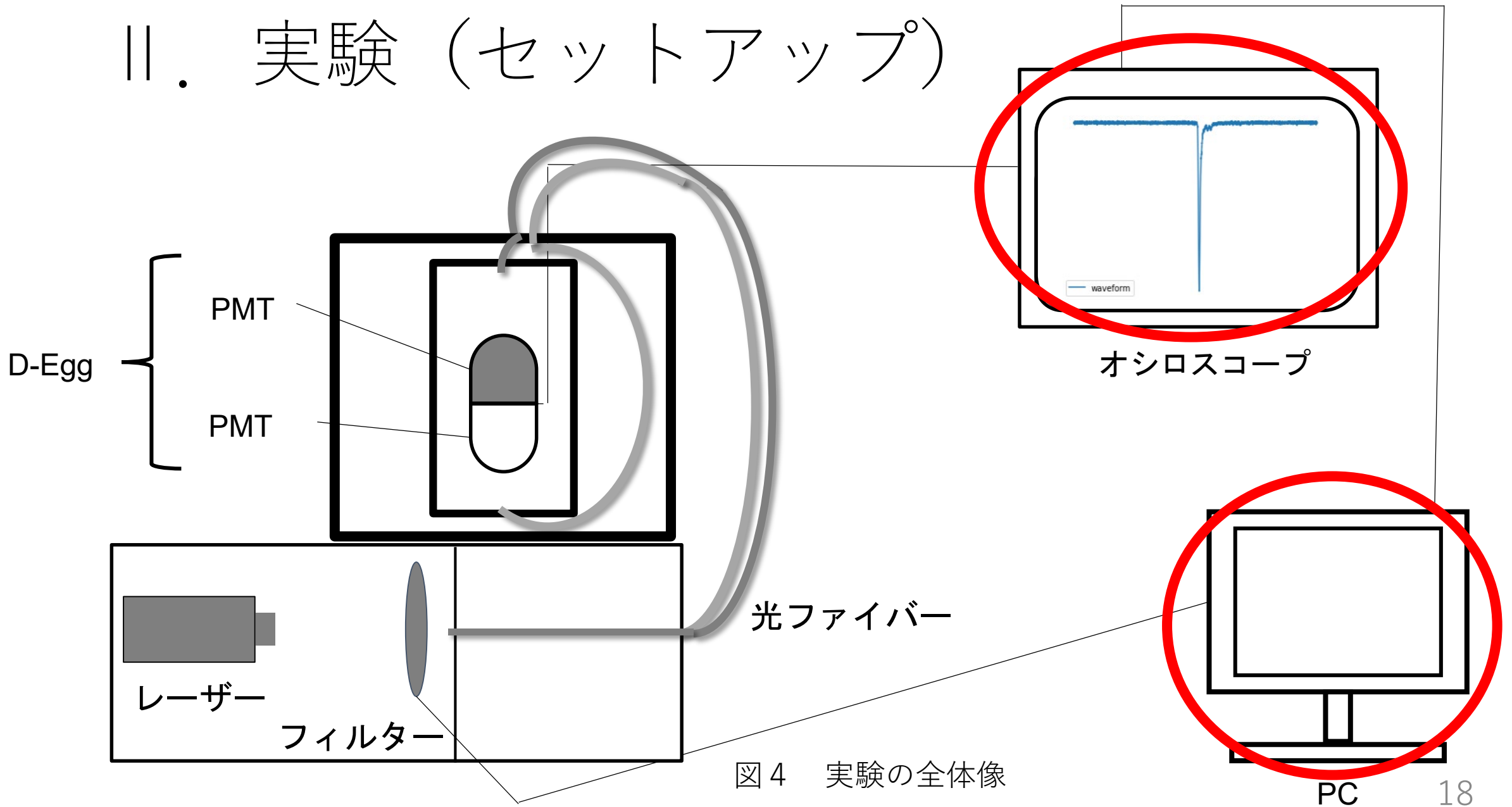


図4 実験の全体像

III. 実験（セットアップ）

オシロスコープ・PC

7. オシロスコープで波形を確認して、波形が最大かつ画面からはみ出ないように波形の場所と大きさを手動で調節する。
8. PC上のプログラミングでイベント回数を調節し測定を行う。今回は一万回波形を取得する。

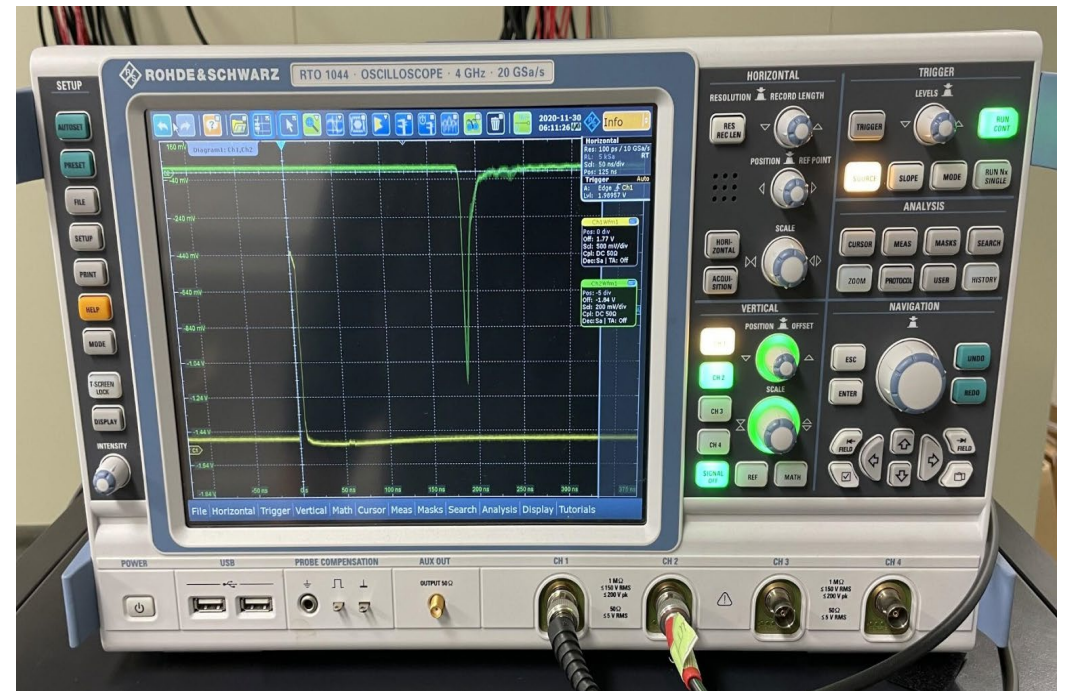


図12 波形を出力したときのオシロスコープ

III. 実験

イベント回数：0~9999

event_id	time	waveform
0	0	-6.800000e-09 0.002040
1	0	-6.720000e-09 0.009945
2	0	-6.640000e-09 -0.005866
3	0	-6.560000e-09 0.009945
4	0	-6.480000e-09 0.009945
...
4995	0	3.928000e-07 0.002040
4996	0	3.928800e-07 0.002040
4997	0	3.929600e-07 0.002040
4998	0	3.930400e-07 0.002040
4999	0	3.931200e-07 0.002040

図13 実験で得られるデータ

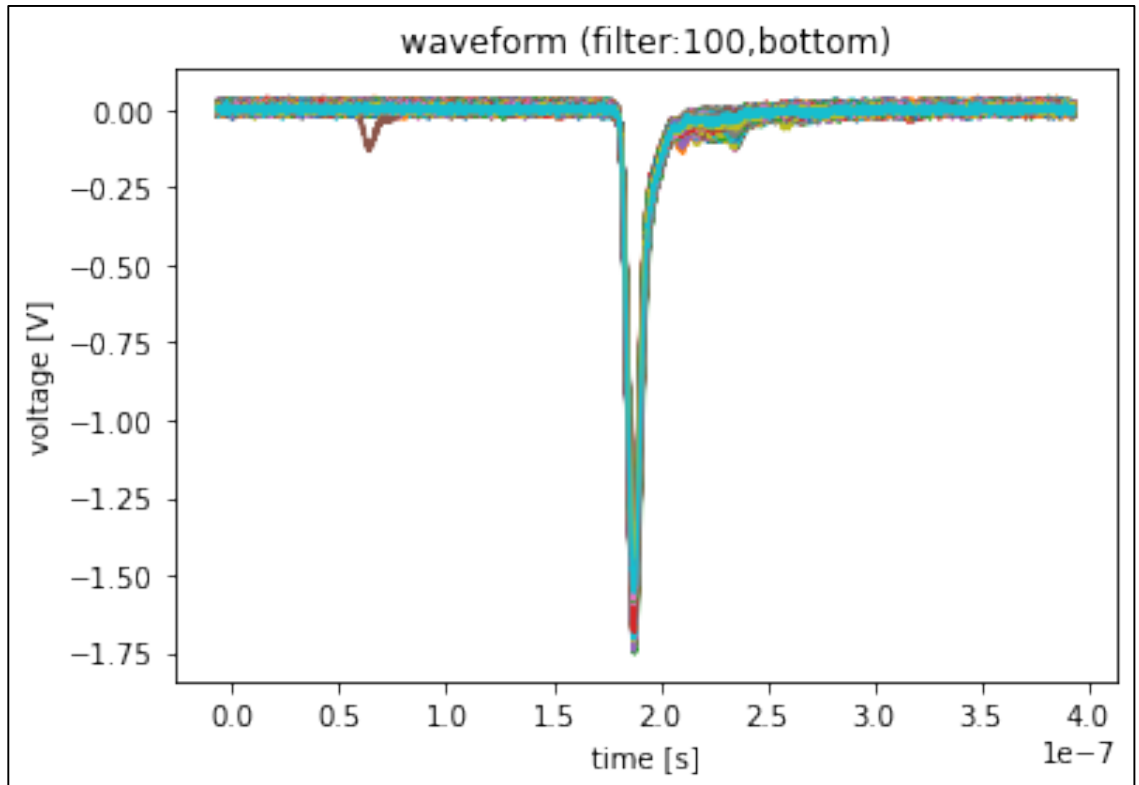


図14 横軸：時間 (time) のグラフ
縦軸：電圧値(waveform)

III. 実験 (解析)

1. 電圧値を時間で積分することで電気量を求める。このとき、ノイズを除去して、レーザーから得られた波形だけを積分するようになる。

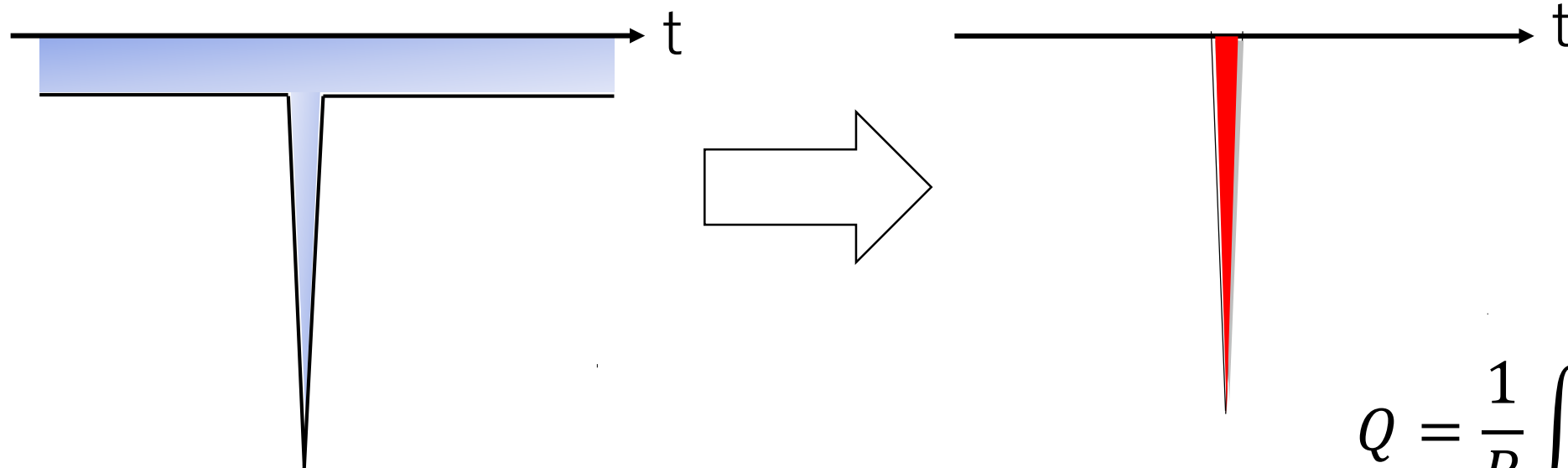


図15 ノイズの除去

$$Q = \frac{1}{R} \int V(t) dt$$

III. 実験 (解析)

2. フィルター0.1%の時は光が非常に微弱であるため、光電子1個得られる ($PE = 1$) 程度である。この時の電気量から理論式を用いて増幅率を決める。

$$PE \times e \times G = Q$$
$$G = \frac{Q_1}{e \times PE} = \frac{Q_1}{e \times 1}$$

G : 増幅率
 e : 電気素量
 Q : 全電荷
 PE : 光電子数

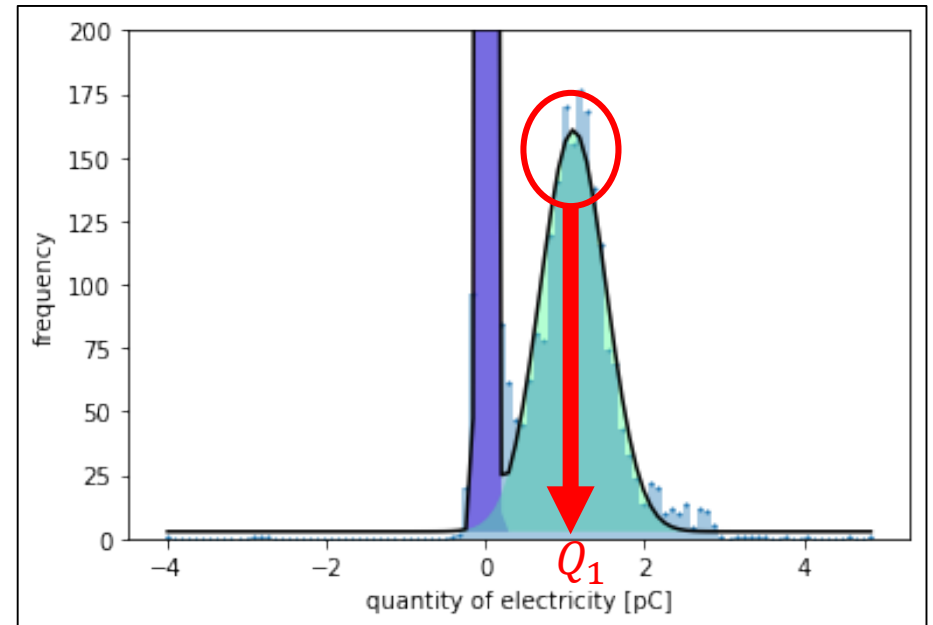
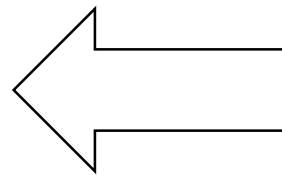


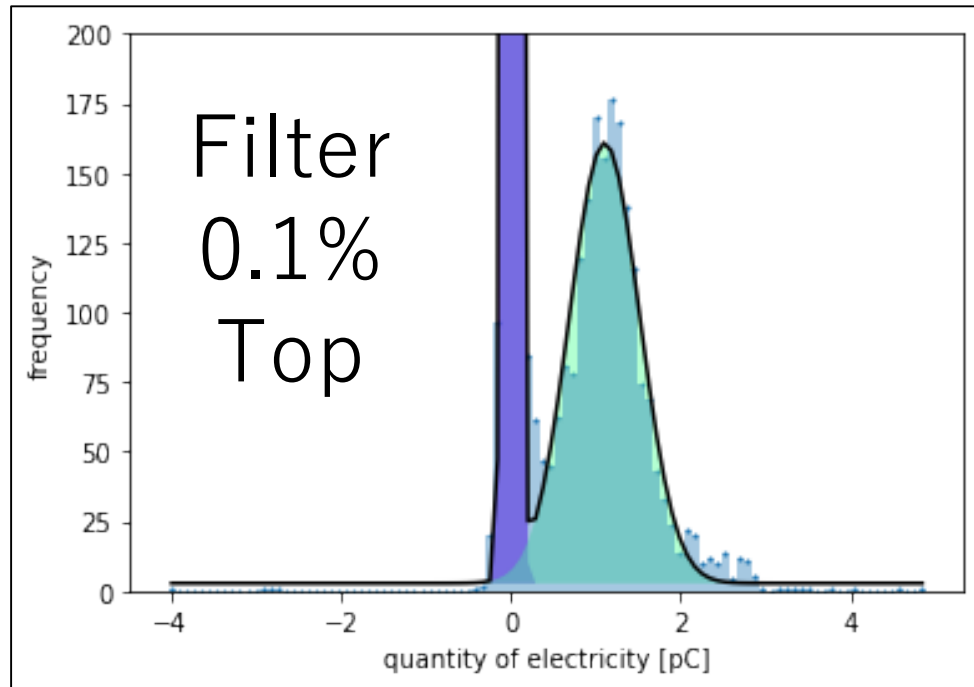
図16 増幅率の決定

III. 実験（解析）

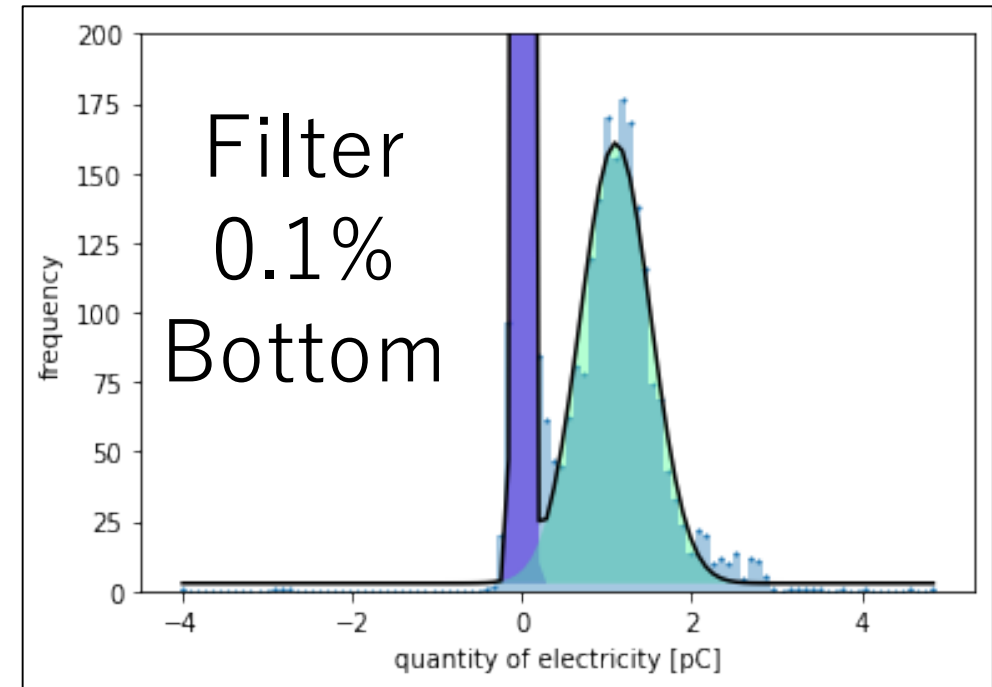
3. 求めた増幅率を用いて各フィルターにおけるTopファイバーとBottomファイバーから得られた光電子数の平均を比較して比率を求める。その比率を用いてグラフを調節して、ヒストグラムが一致しているかを調べる。

$$\text{比率} = \frac{\text{Bottomファイバーの}PE\text{の平均}}{\text{Topファイバーの}PE\text{の平均}}$$

III. 実験 (結果)



$$Q_1 = 1.062 \text{ [pC]}$$
$$\rightarrow G = 0.6630 \times 10^7$$



$$Q_1 = 1.112 \text{ [pC]}$$
$$\rightarrow G = 0.6939 \times 10^7$$

図17 増幅率の決定

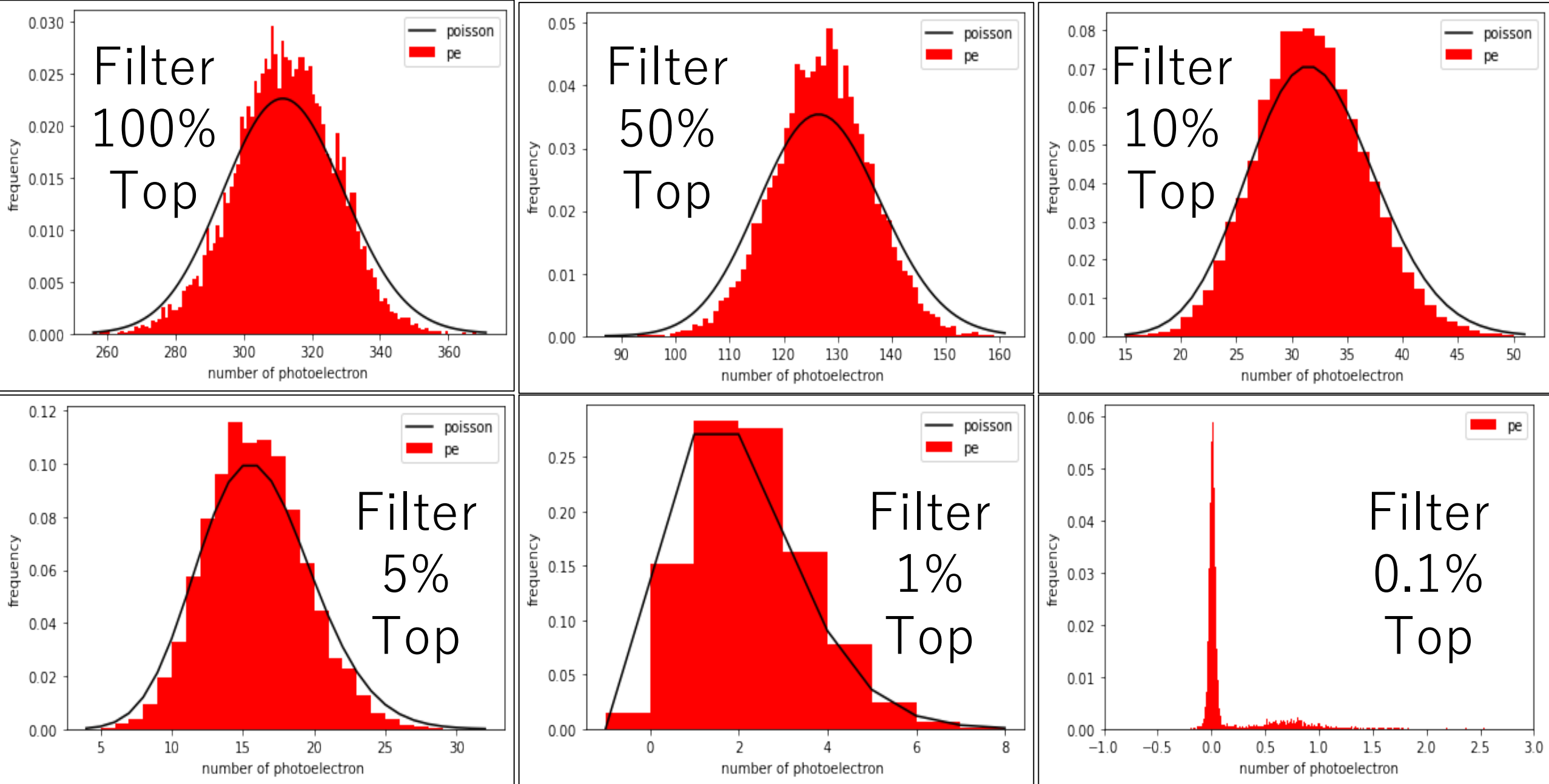


図18 Topファイバーの各フィルターにおけるPEのヒストグラム

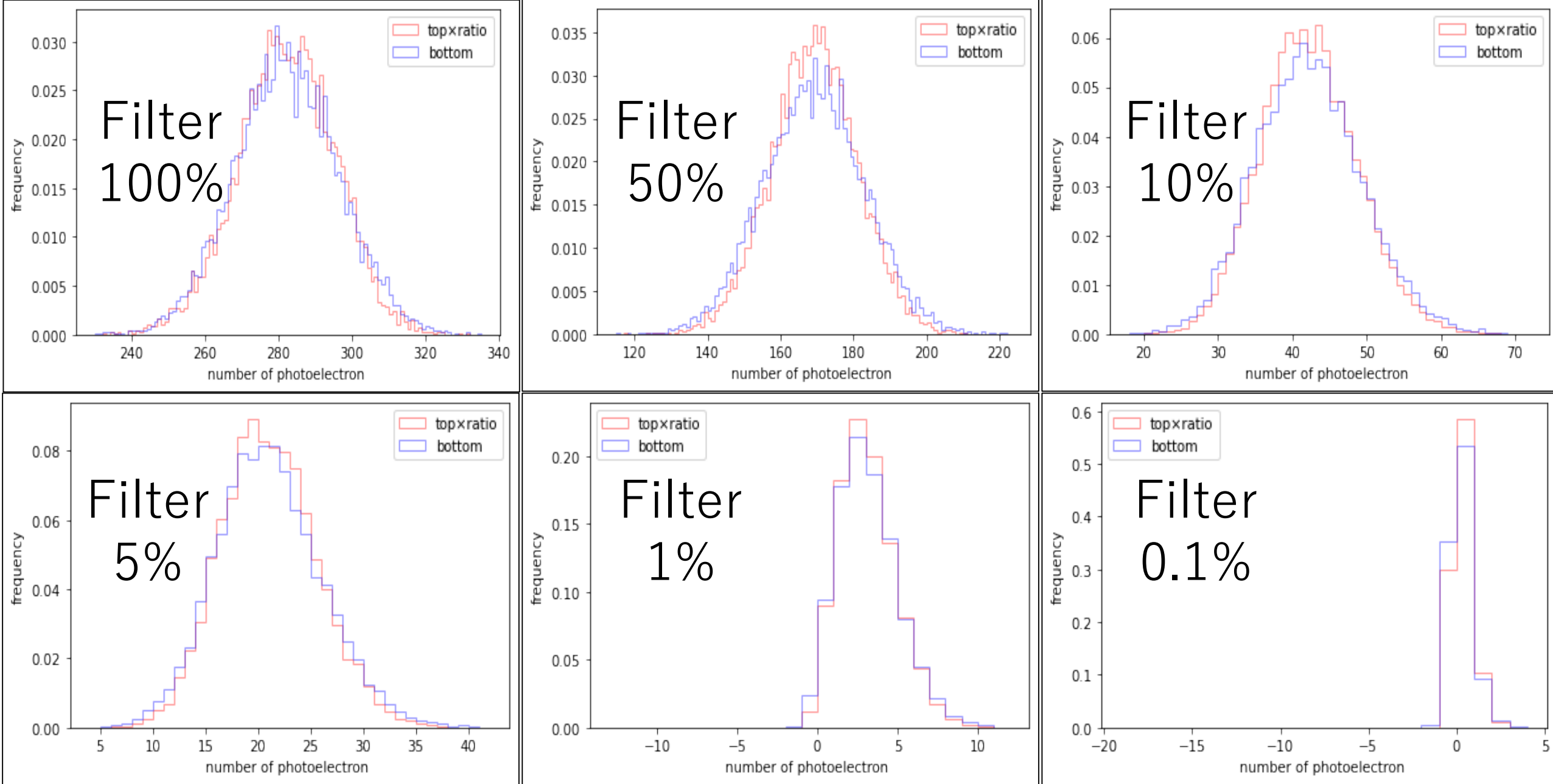


図19 各フィルターにおけるキャリブレーション

III. 実験 (結果)

表1 各フィルターにおけるキャリブレーション

	top		bottom
フィルター(%)	平均	比率 (bottom/top%)	平均
100	313.3	90.02	282.1
50	192.5	87.83	169.1
10	48.11	87.68	42.18
5	24.07	87.31	21.02
1	3.493	89.97	3.142
0.1	0.2344	100.0	0.2344

IV. 考察

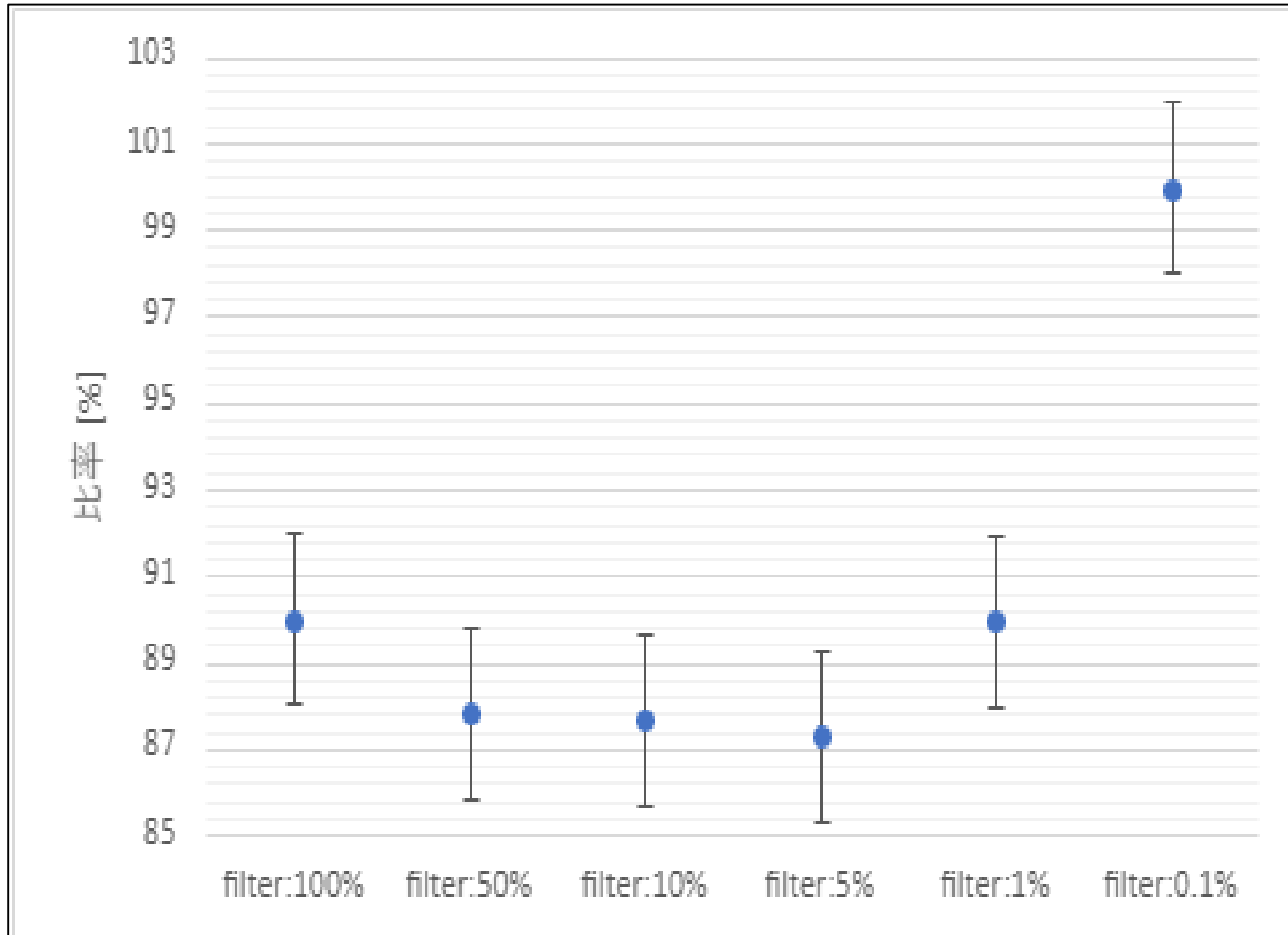


図20 横軸フィルター、縦軸比率のグラフ

表2 比率の誤差

filter (%)	最小 (%)	比率 (bottom/top%)	最大 (%)
100	88.22	90.02	91.82
50	86.03	87.83	89.63
10	85.88	87.68	89.48
5	85.51	87.31	89.11
1	88.17	89.97	91.77
0.1	98.20	100.0	101.8

IV. 考察

- Topファイバーから得られている光電子数の方が多い
- 同じような比率が得られるはずが、誤差を含めたとして0.1%の時は他のフィルターの時と一致しなかった。

IV. 考察

0.1%の時だけ異なる比率が出てしまった原因

- ファイバー以外の実験器具の不具合
 - ←各フィルター同じ実験器具を使用しているため考えにくい
- Top・Bottomファイバーの増幅率の決定
 - = ヒストグラムのビンの決め方
 - ←増幅率が変われば全フィルターにおける光電子数が変わるため考えにくい
- キャリブレーションの方法
 - = Bottomファイバーの光電子数の平均をTopファイバーのそれで割る

V. 結論

- FATを行う際、本実験で得られた比率を参照することで純粋なD-Eggの性能の差を比較することができる。
- フィルター0.1%の時はファイバーによる差が小さい。

参考文献

[1]ハドロン宇宙国際研究センター「IceCube検出器 | ニュートリノ天文学」 <<http://www.icehap.chiba-u.jp/icecube/detector/index.html>> 21/2/19

[2]浜松ホトニクス「PMTについて」
<https://www.hamamatsu.com/jp/ja/product/optical-sensors/pmt/about_pmts/index.html> 21/2/19

・吉田泰三（1982）『物理学実験』 学術図書出版社