

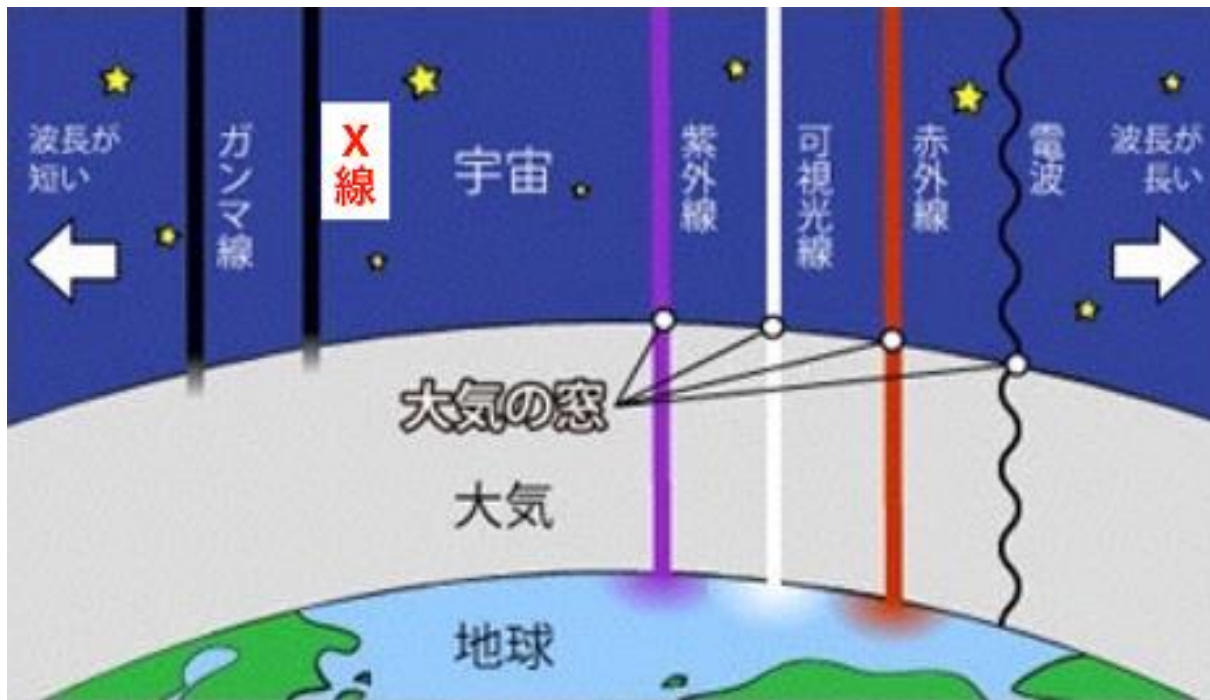
XRPIX2b の 時間分解能の測定

天野雄輝 石和卓真

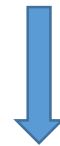
第1章 インTRODダクシヨN

X線測定の意義と問題

X線を測定することで宇宙に存在するほとんどの天体を観測することができる



しかし大気圏
で遮断
されてしまう



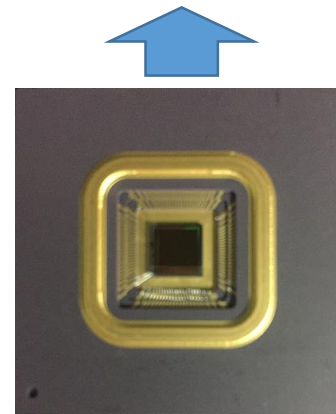
大気圏外での
観測へ！

大気圏外での X 線の測定

大気圏外での運用に
適した検出器を開発！



http://www.jaxa.jp/projects/sat/astro_h/images/astro_h_main_001.jpg



従来の検出器 CCD とその問題点

一定時間の露光後に全 pixel
読み出す



時間分解能が悪い(数秒程度)



改善したい！

SOI 検出器

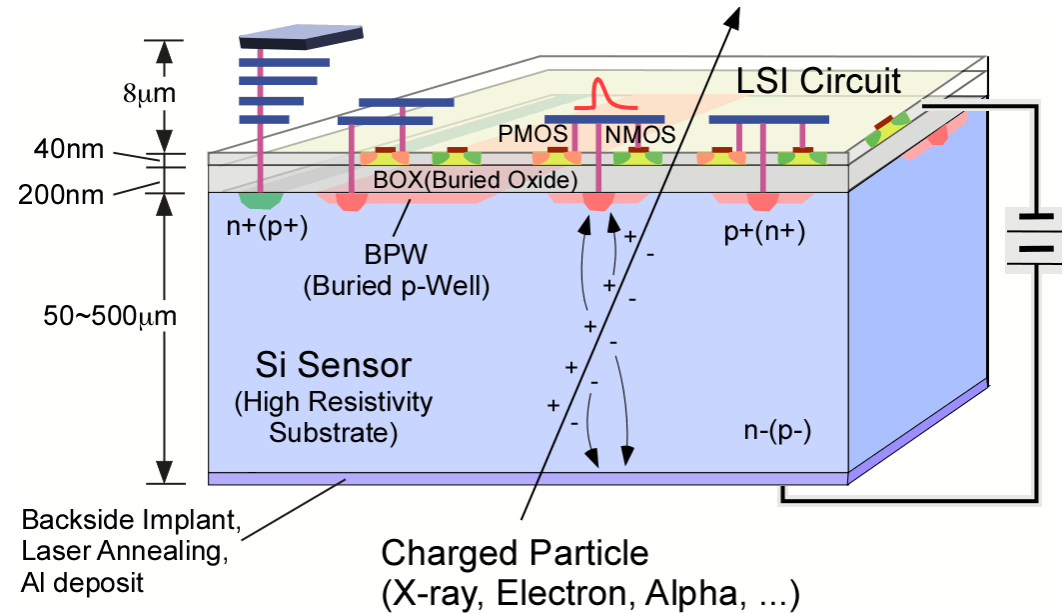
SOI (Silicon – On – Insulator) 技術
によって,

センサー, 読み出し部分が一体と
なった

半導体検出器

高速, 低消費電力であり, 放射線耐
性が高く

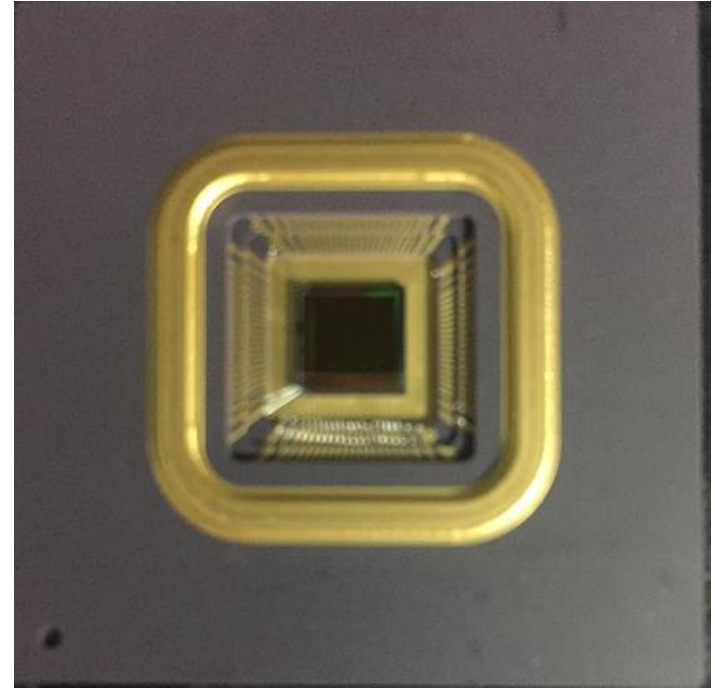
衛星軌道上での運用に
適している



XRPIX

KEK と京大が共同で
開発したX線天文学用の
SOIPIX であり、
イベント検出のタイミングと
位置情報を出力するトリ
ガー情報出力機能をもつ。

これにより従来の CCD で
は数秒程度だった時間分
解能が向上している



← 正確にはどのくらい
向上しているのだろうか？

第2章 実験

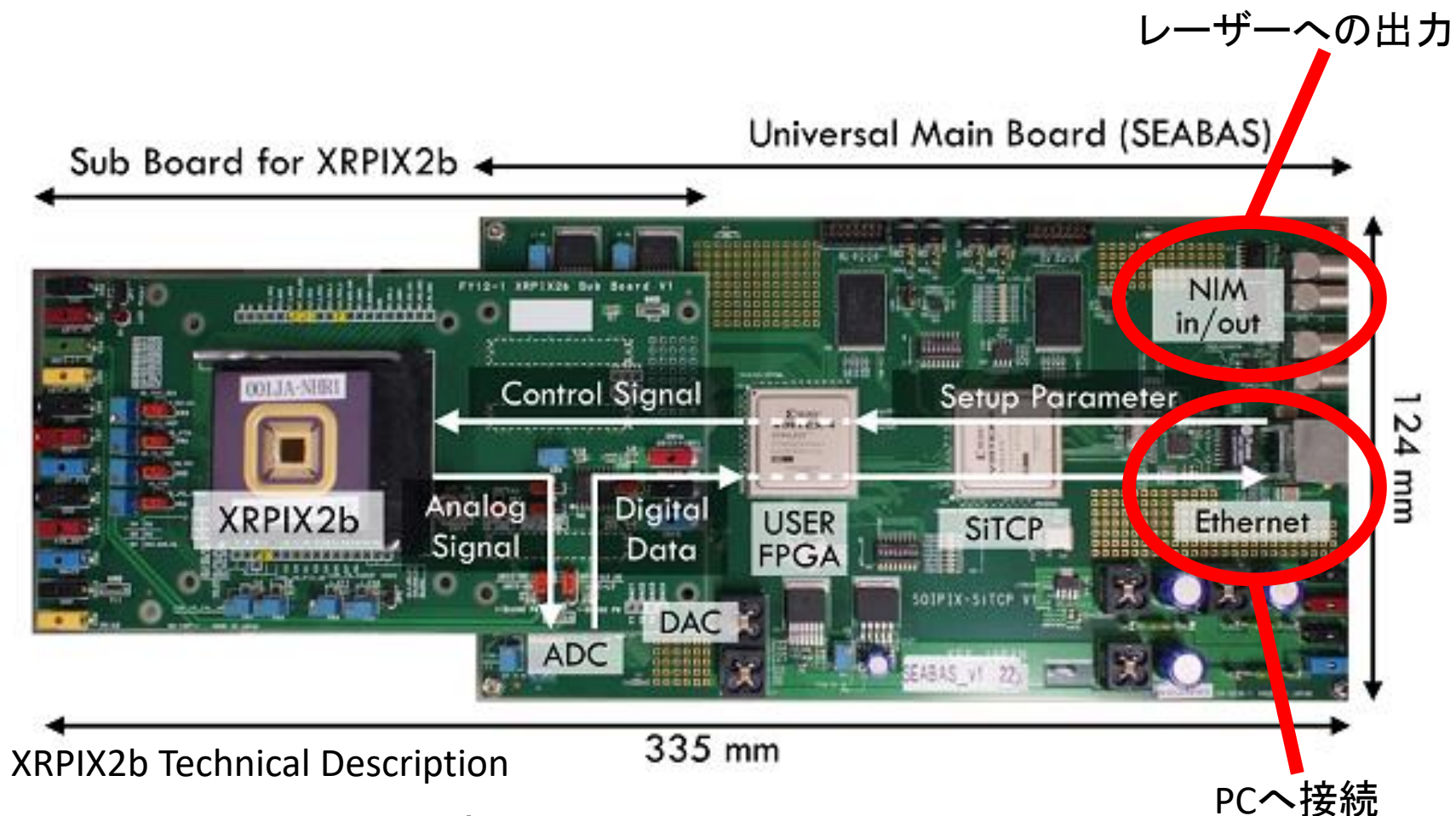
実験目的

そこで、今回の実験ではXRPIX の時間分解能の測定を行う



射出を制御可能なレーザーを用いて測定する

XRPIX の動作環境(読み出しボードの全体像)



用いる素子: XRPIX2b - FZ

FPGAとは

- 製造後に使用者が構成を設定できる集積回路
- XRPIX の制御からデータ取得までを担っている
- 本実験ではレーザーの射出も制御する



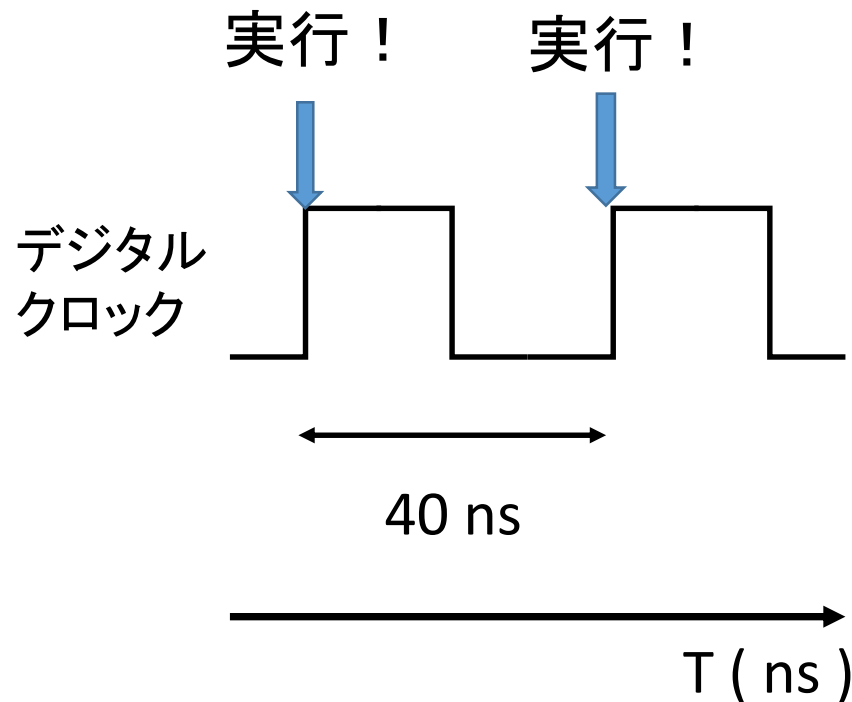
FPGAによる制御

使用したスクリプトの一部

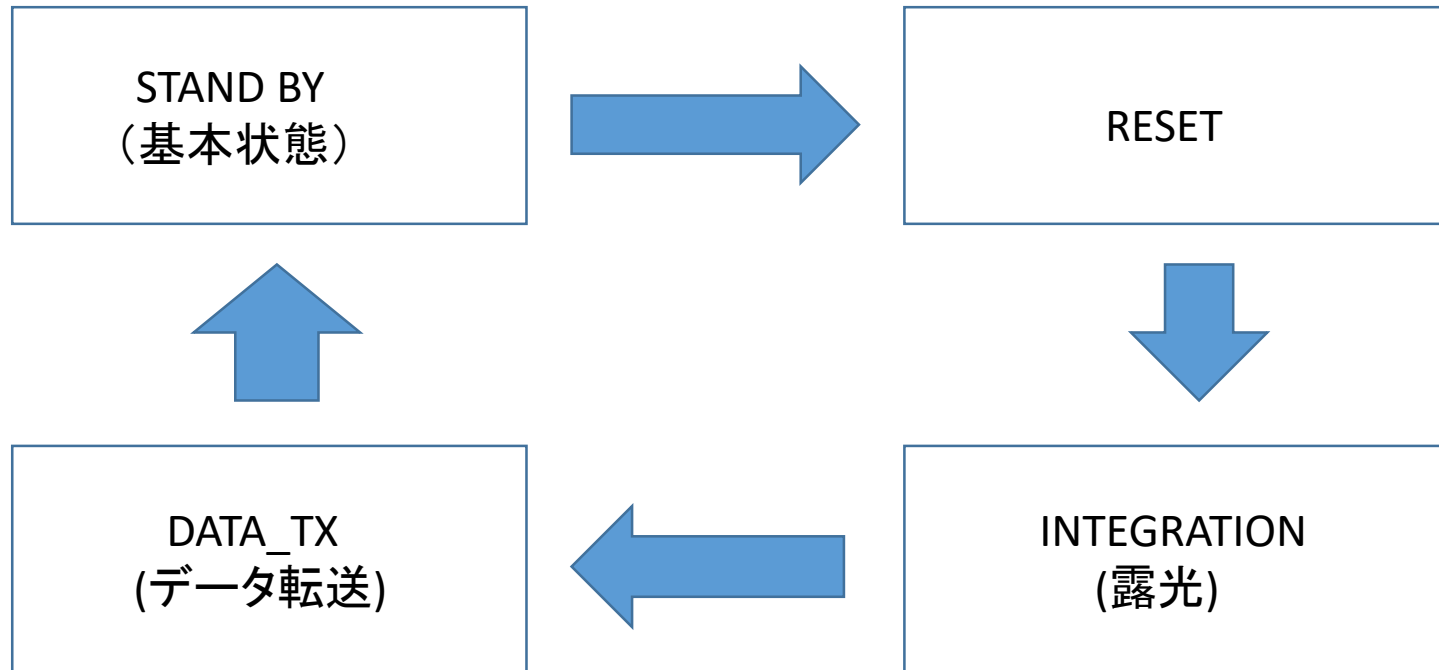
```
always@ ( posedge CLK25M ) begin
```

```
if ( ir_UserActive == 1'b0 | ~RSTn)  
begin  
    stt <= STANDBY  
  
    or_RST_PD_VRST <= 1'b1  
    .....
```

実行する内容



イベント読み出しの流れ



- 本実験においては振動数 25 MHz (周期 40 ns) のデジタルクロックに同期されたFPGA によって制御する

レーザーの射出の制御

```
556 end else if(int_cnt[31:0] > B_LASERT[31:0] && int_cnt[31:0] < E_LASERT[31:0]) begin
557     or_STORE <= 1'b1          ;
558     or_RST_CDS_VRST <= 1'b0  ;
559     int_cnt[31:0] <= int_cnt[31:0] + 32'b1  ;
560     detect_cnt[31:0] <= detect_cnt[31:0] + 32'b1  ;
561
562
563     or_EN_TRIG_OUT <= 1'b1          ;
564     or_RST_PD_VRST <= 1'b0        ;
565     or_RST_COMP1 <= 1'b0         ;
566     or_RST_COMP2 <= 1'b0         ;
567     or_RST_CDS_VTH <= 1'b0      ;
568     or_TxCntRst <= 1'b1         ;
569     or_LASER <= 1'b1           ;//tmp
570
571 end else begin
```

Int_cnt : 露光時間に対応するカウント

or_LASER : 信号 " LASER " としてアウトプットされる
レーザーの射出を制御

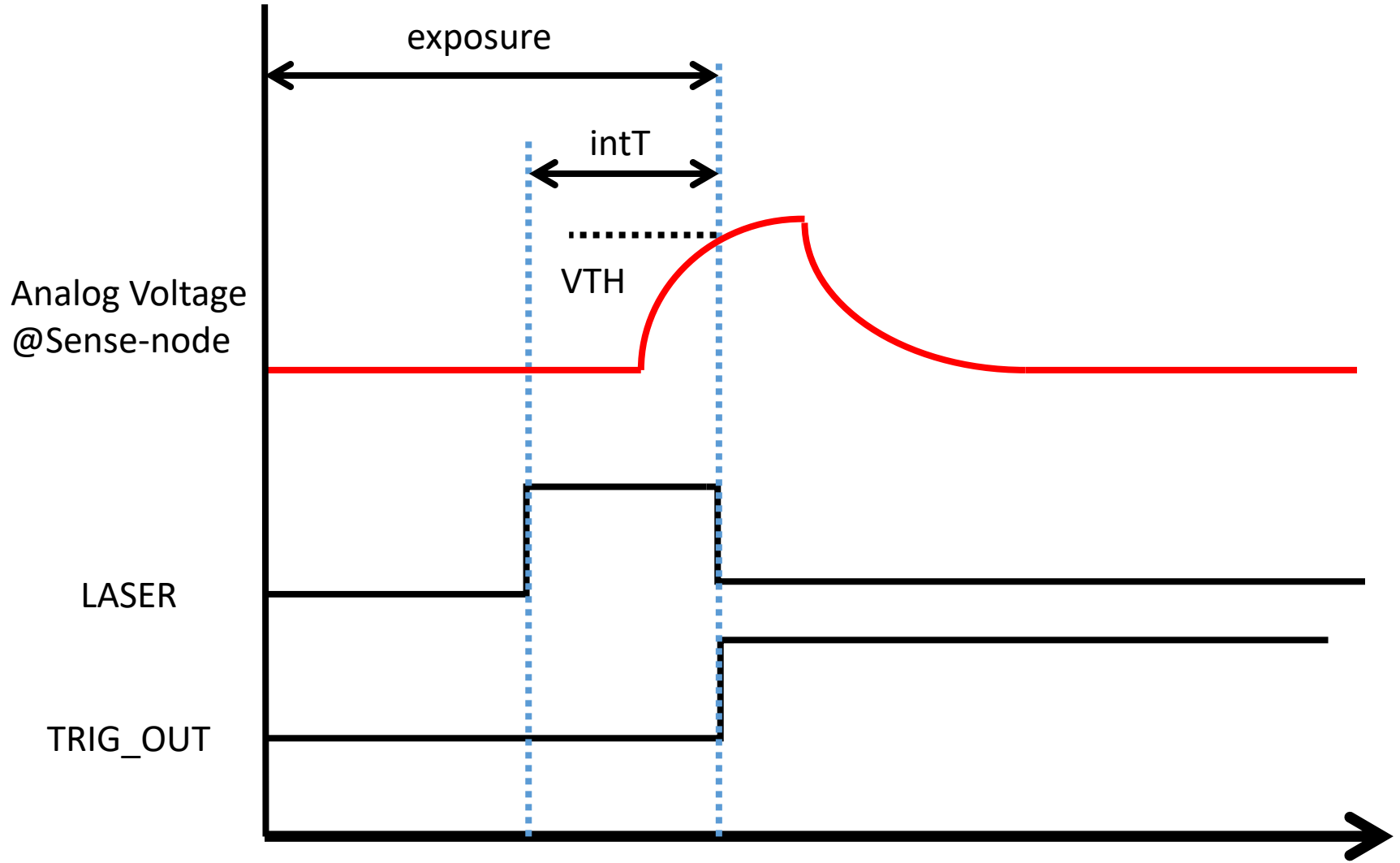
データの取得と“intT”の定義

```
491 INTEG: begin // State : Integration
492   if(tmp_trig_out[2:0] == 3'b011 && DAQ_MODE == DAQ_EVNTDRVN && int_cnt[31:0] != INTT[31:0]) begin
493     tmp_time_cnt[47:0] <= time_cnt[47:0]      ;
494     if(int_cnt[31:0] > B_LASERT[31:0]) begin
495       tmp_detect_cnt[31:0] <= detect_cnt[31:0] - B_LASERT[31:0]      ; //tmp
496     end else begin
497       tmp_detect_cnt[31:0] <= 32'b11111111111111111111111111111111      ; //tmp
498     end
499
500     or_LASER <= 1'b0      ;//tmp
501     loop_cnt[7:0] <= 8'b0      ;
502     int_cnt[31:0] <= 32'b1      ;
503   end
```

Int_cnt > B_LASERT
の時のみ

Int_cnt - B_LASERT = intT
を転送する

実験の設定



intT : 今回計測する時間

t

使用するレーザー(MLXGP-D13-650-5)についての注意

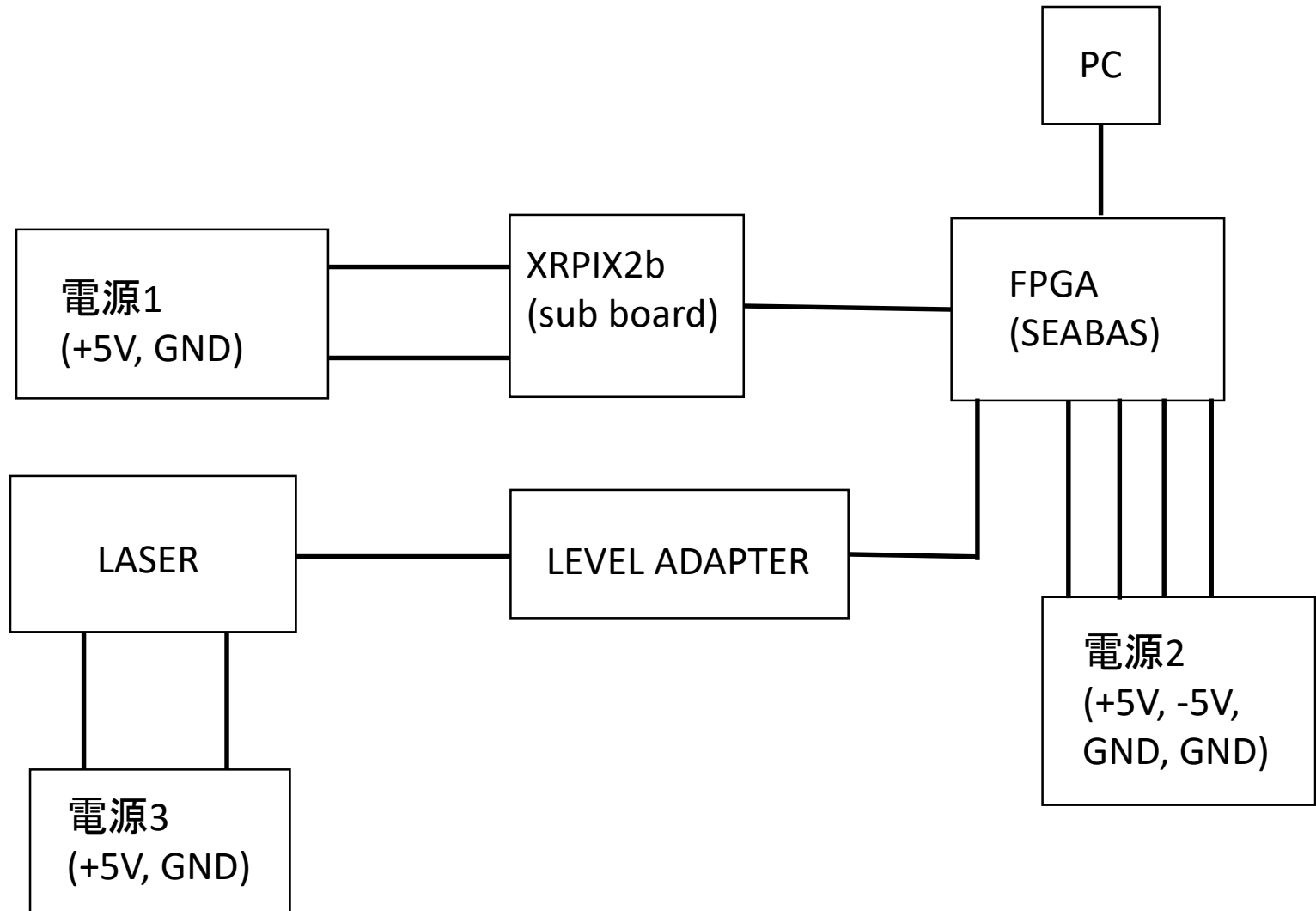
- 立ち上がり遅れ約 $200 \mu\text{s}$ 以下
- 立下り遅れ $100 \mu\text{s}$ 以下
- TTLの入力により出力 (強)/(弱)の切り替えが可能
(完全に出力を OFF にすることはできない)

- TTL入力が 0V の時の弱い光が出ている状態を
「出力 (弱)」の状態と呼ぶことにする

実験方法のまとめ

- レーザーの射出をFPGAで制御する
- レーザー射出の信号 (信号名: LASER) が HIGH になってから、イベント検出のトリガー信号 (信号名: TRIG_OUT) が HIGH になるまでの時間 (intT) を測定する。

セットアップ図



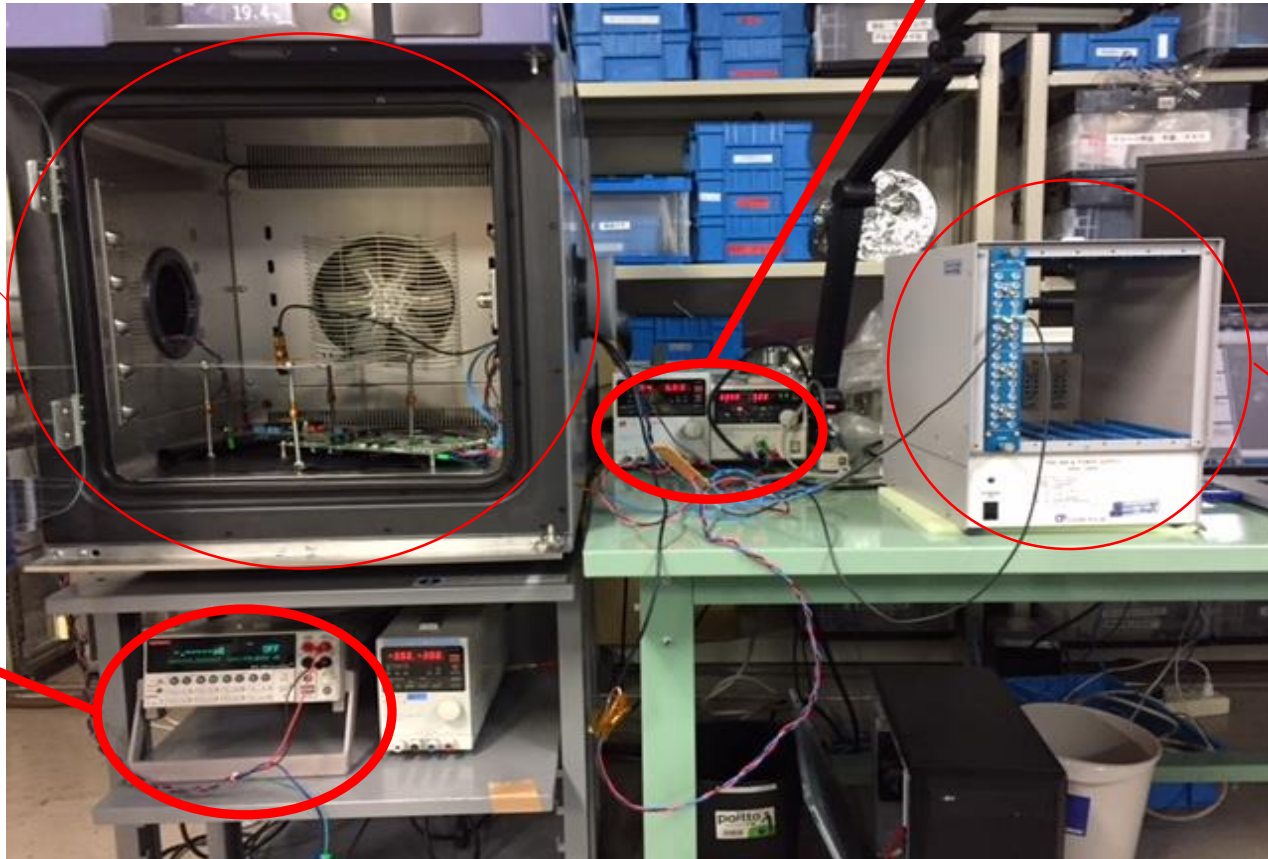
セットアップ

電源2, 3

レーザー、
読み出し
ボード

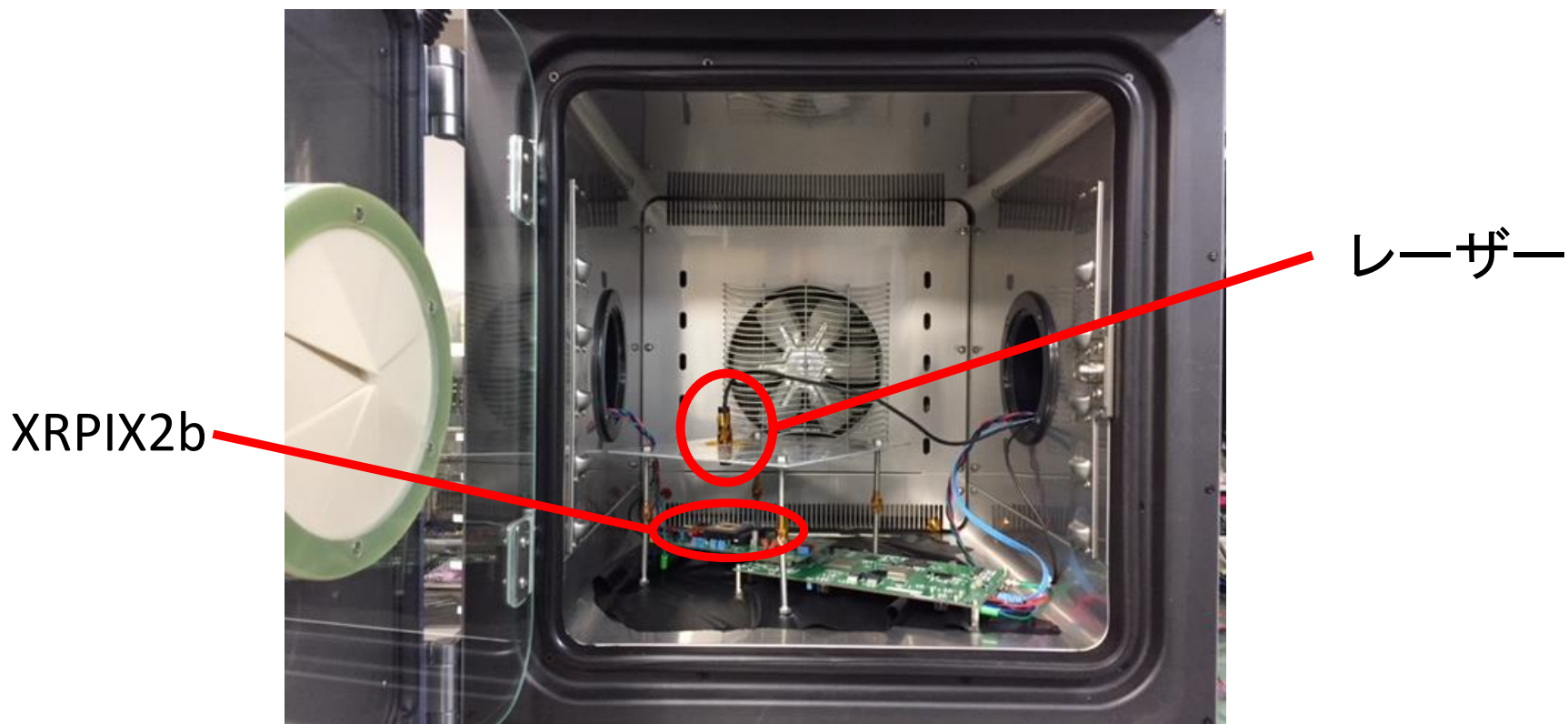
電源1

LEVEL
ADAPTER



実験手順 1

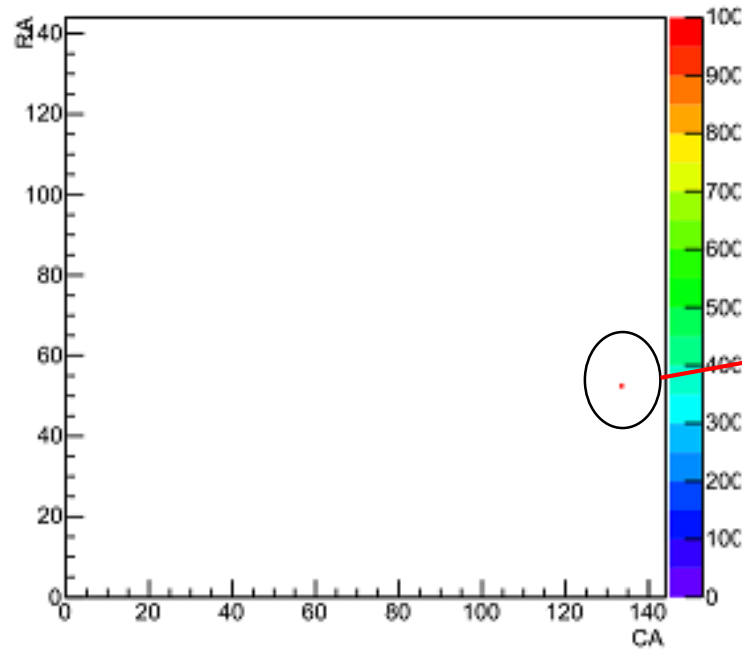
- バックグラウンドを減らすために恒温槽にレーザー, sub board (XRPIX2b), SEABAS (FPGA) を入れ 0 °C に冷却する。これは遮光もかねている



実験手順 2

レーザーを電源に繋がずに検出をおこない
反応が起きる pixel (bad pixel)を mask する

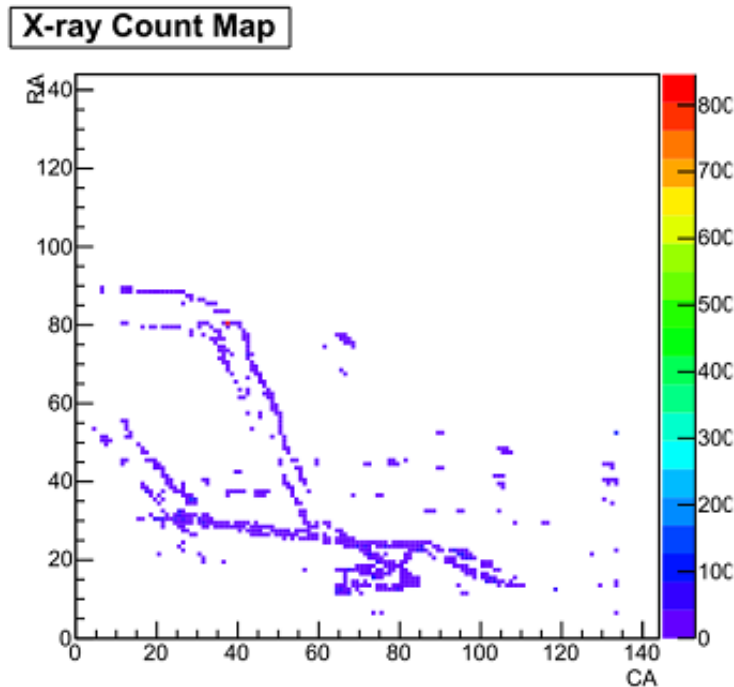
X-ray Count Map



この pixel のみ
反応している。

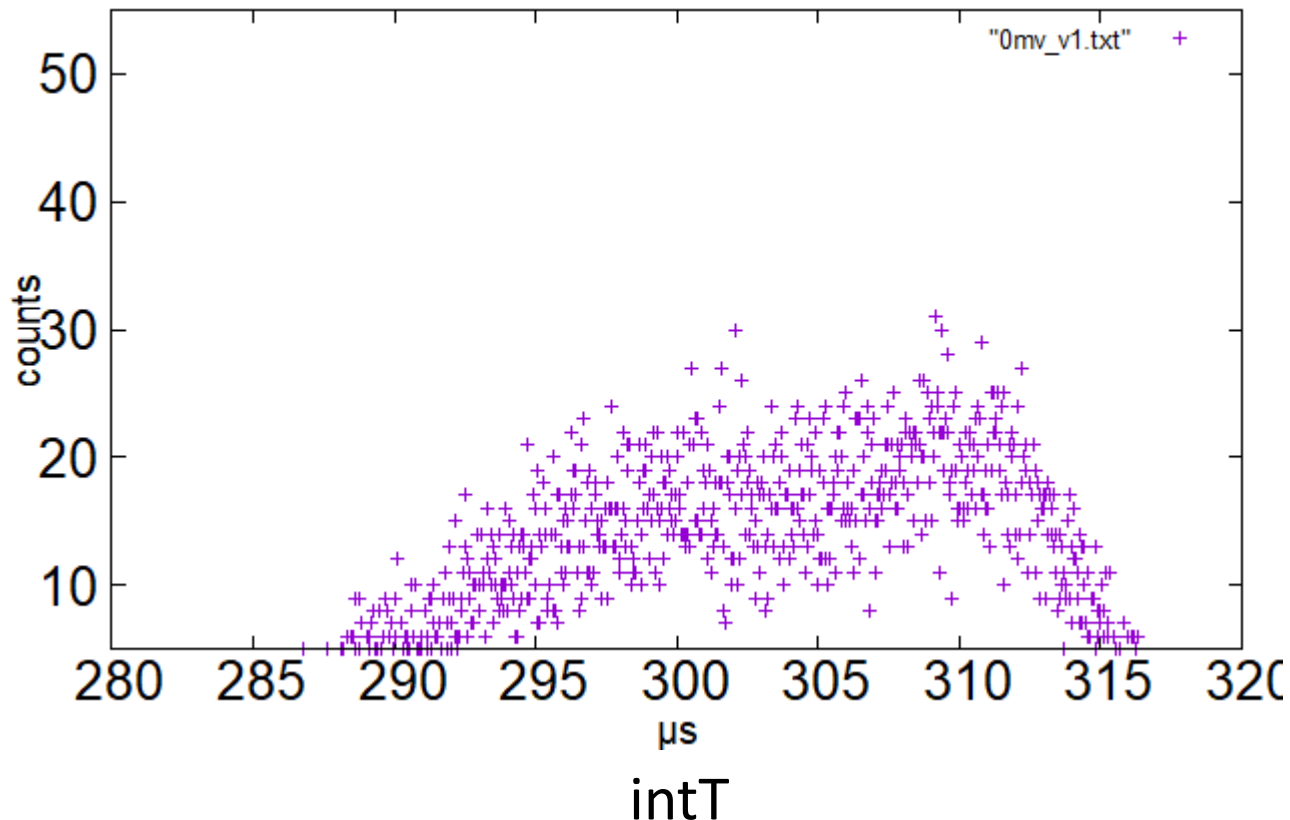
実験手順 3

- レーザーを電源に繋ぎイベントが検出されること、レーザーの位置をずらすことで反応するpixelが変わることを確認する



実験手順 4 (予備実験)

- 出力 (弱) の際の射出光の入射時刻を確かめるために、レーザーの TTL 制御の端子を電源の GND (0V) に接続し計測を行う



実験手順 5 (本実験)

- レーザーの射出時間を露光開始から $1-11 \mu s$, $10-20 \mu s$, $20-30 \mu s$ と変化させ, それぞれについて VTH (素子のthreshold)の値を $550mV$, $750mV$, $950mV$ と変化させる
- これを場所を変えて行う
 - Place1(RA94-95,CA35)
 - Place2(RA65-67,CA56,66)

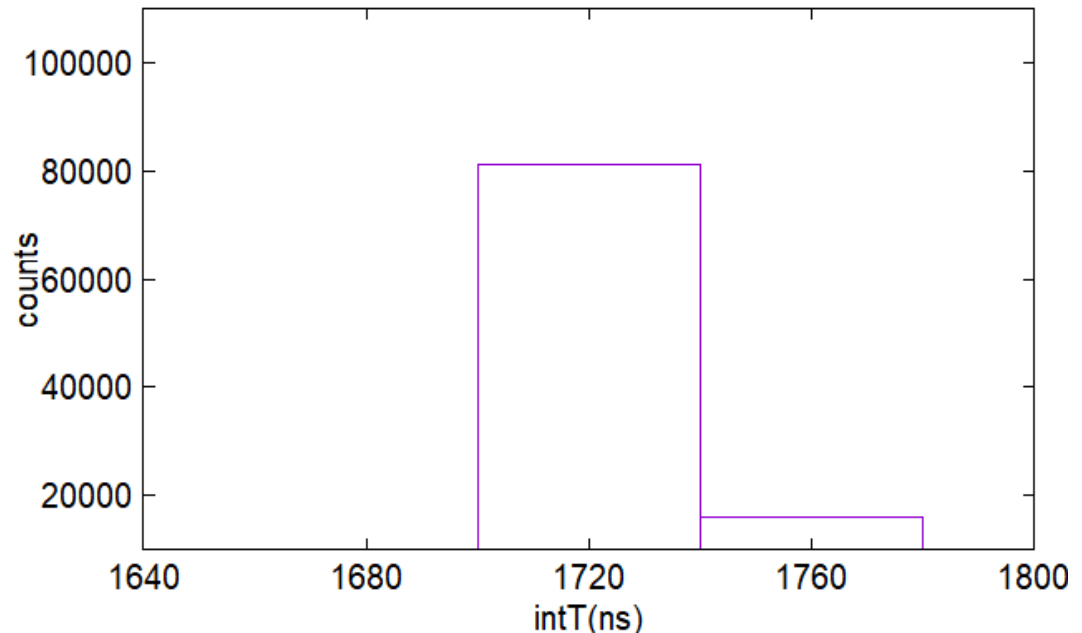
実験結果

・以下の2通りの方法で時間分解能を計算した。

1.intTのヒストグラムから、以下の式に従って**分散量**として時間分解能 Δt を計算する。

$$\Delta t(hist) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (intT_i - \overline{intT})^2} \quad (N=100000)$$

Place1 THV 550mV
1-11 μ s

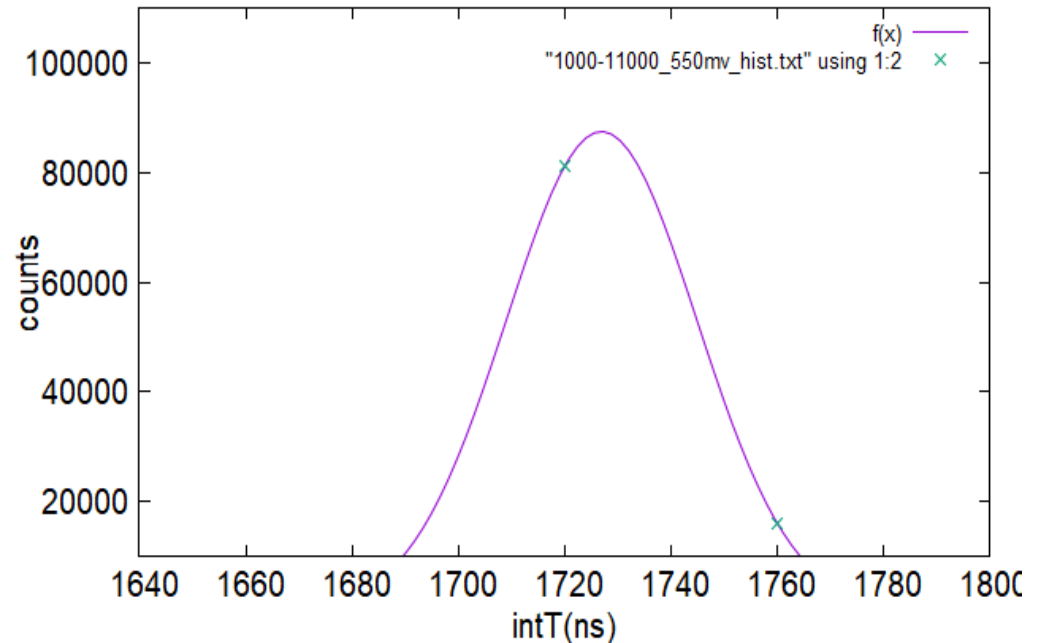


実験結果

2.intTのヒストグラムを gnuplot により以下の **gauss関数** でフィッティングして、連続量として時間分解能 Δt を計算する。

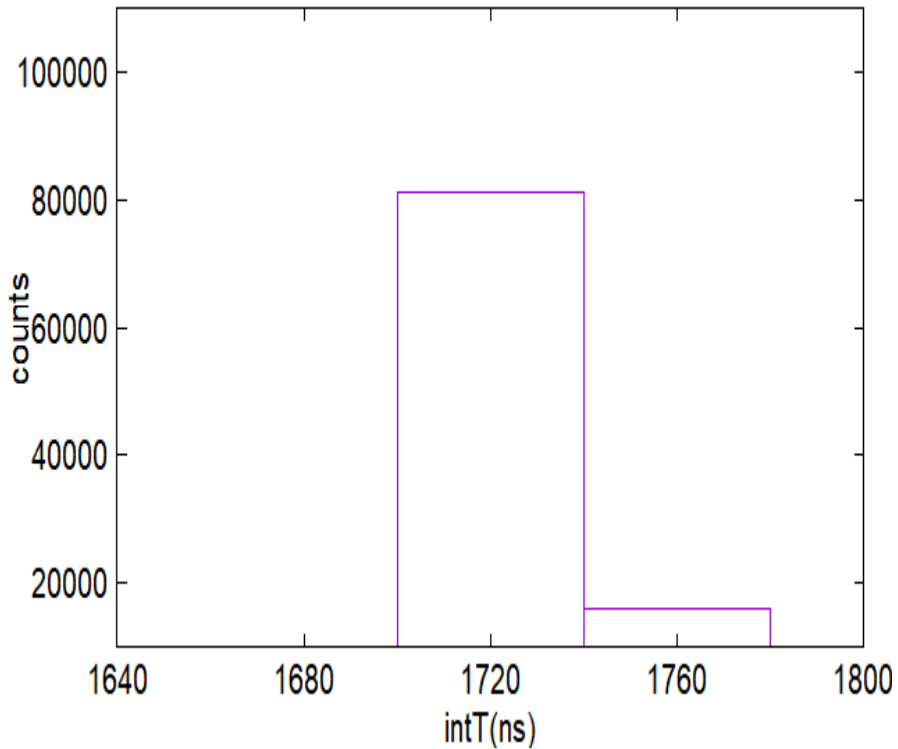
$$F(intT) = A \exp\left(-\frac{(intT - \overline{intT})^2}{2(\Delta t(gauss))^2}\right)$$

Place1 THV 550mV
1-11 μ s

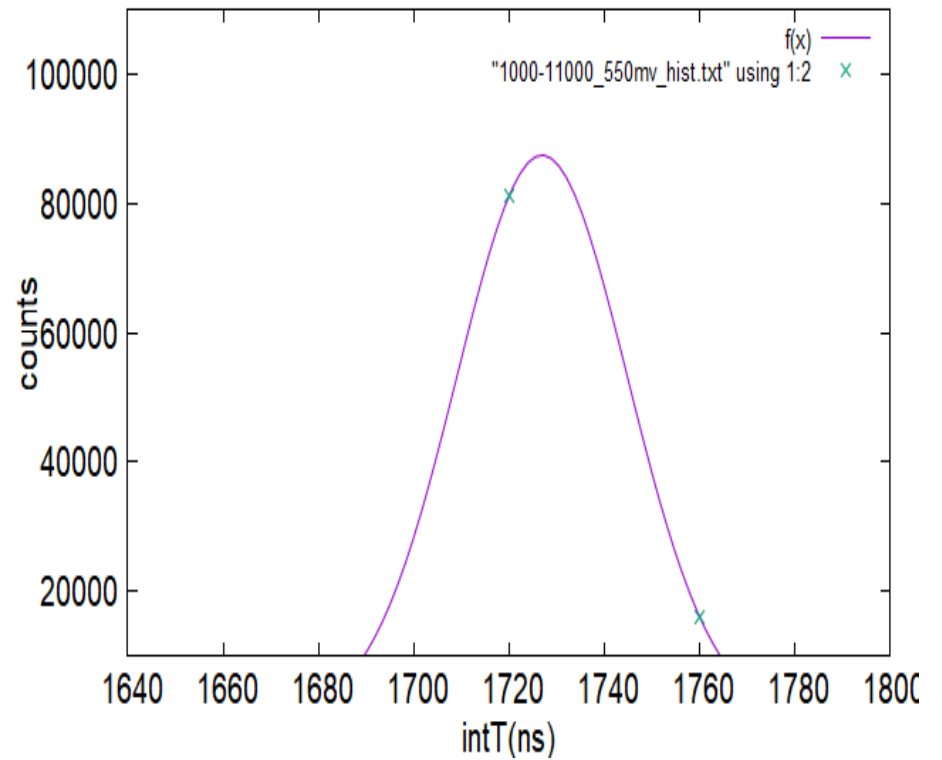


実験結果

Place1 THV 550mV 1-11 μ s の時間分解能



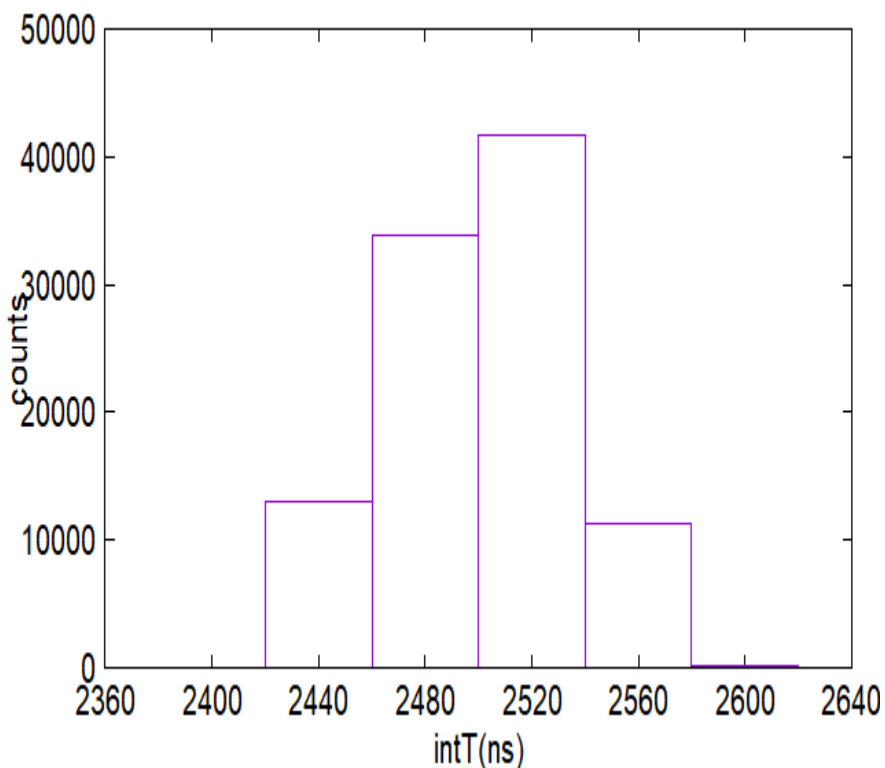
Δt (hist) = 16.6 ns



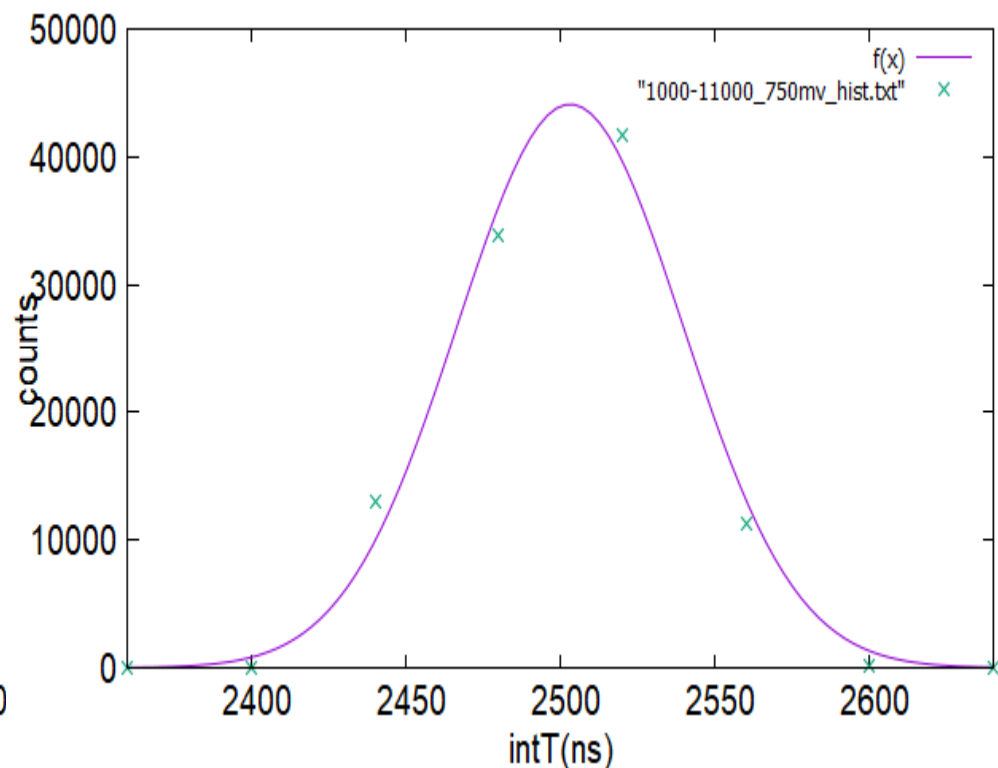
Δt (gauss) = 17.9 ns

実験結果

Place1 THV 750 mV 1-11 μ sの時間分解能



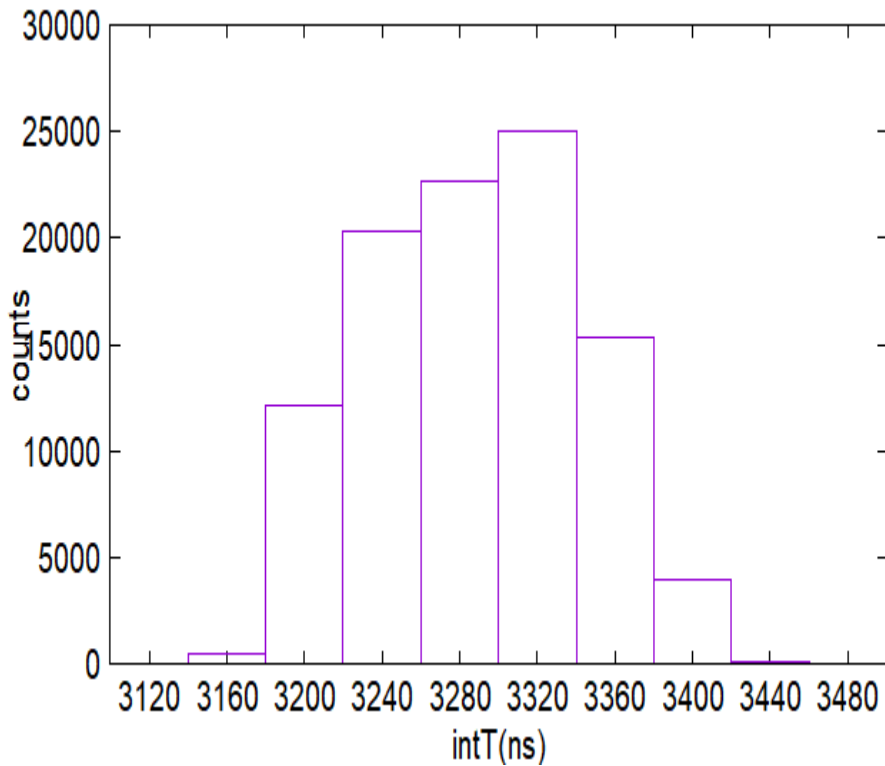
Δt (hist) = 32.7 ns



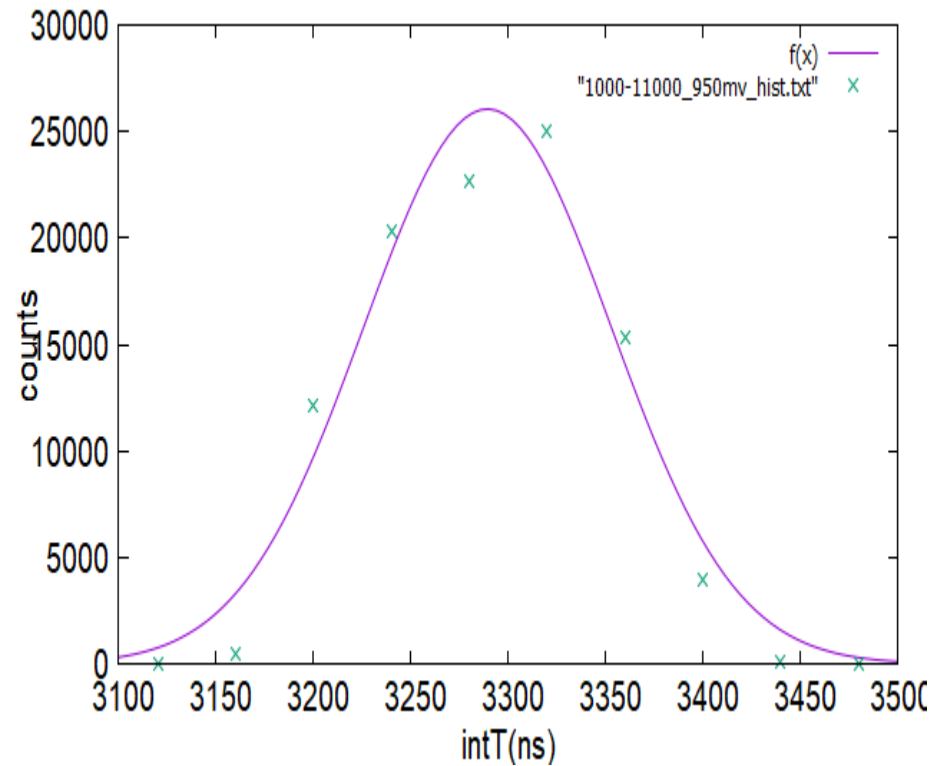
Δt (gauss) = 36.6 ns

実験結果

Place1 THV 950 mV 1-11 μ sの時間分解能



Δt (hist) = 55.4 ns



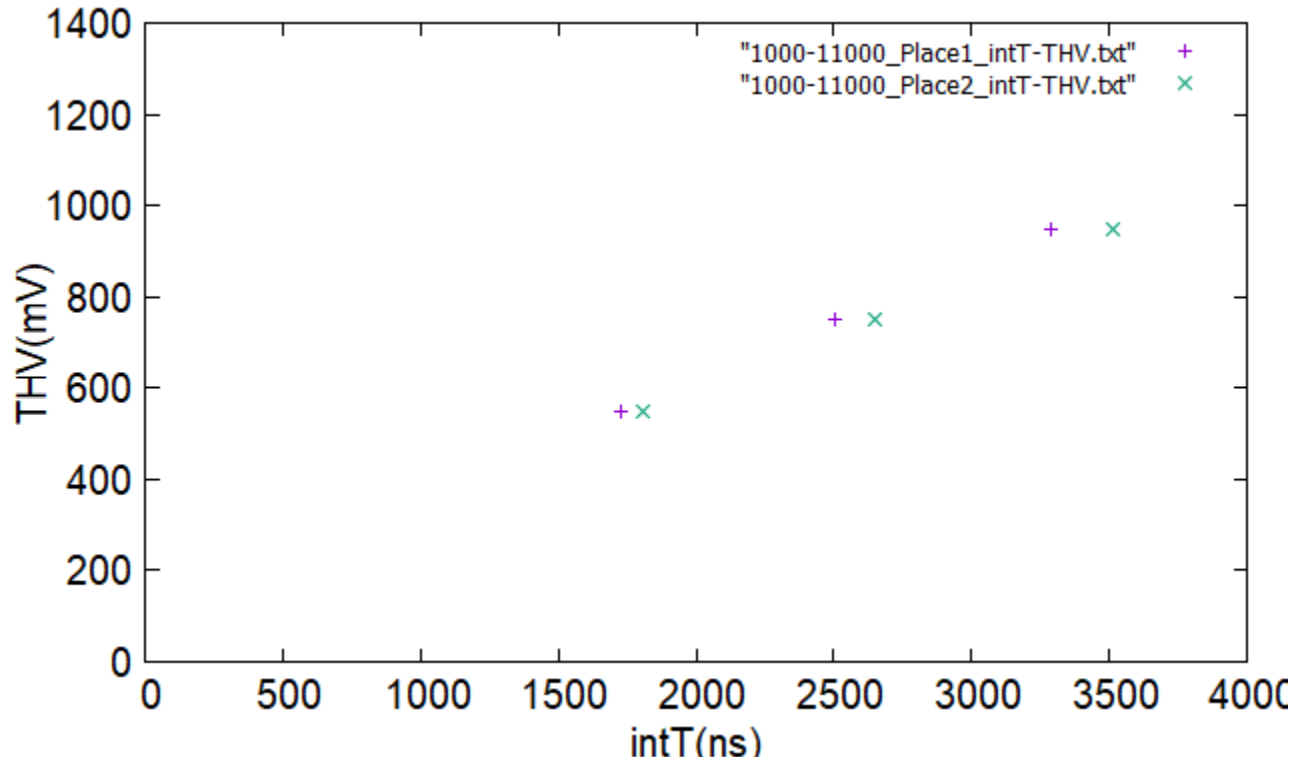
Δt (gauss) = 63.7 ns

実験結果まとめ

① THV を大きくすると、intT の値が大きくなった。

これは、レーザーの出力が立ち上がりから徐々に大きくなることによるものであると思われる。

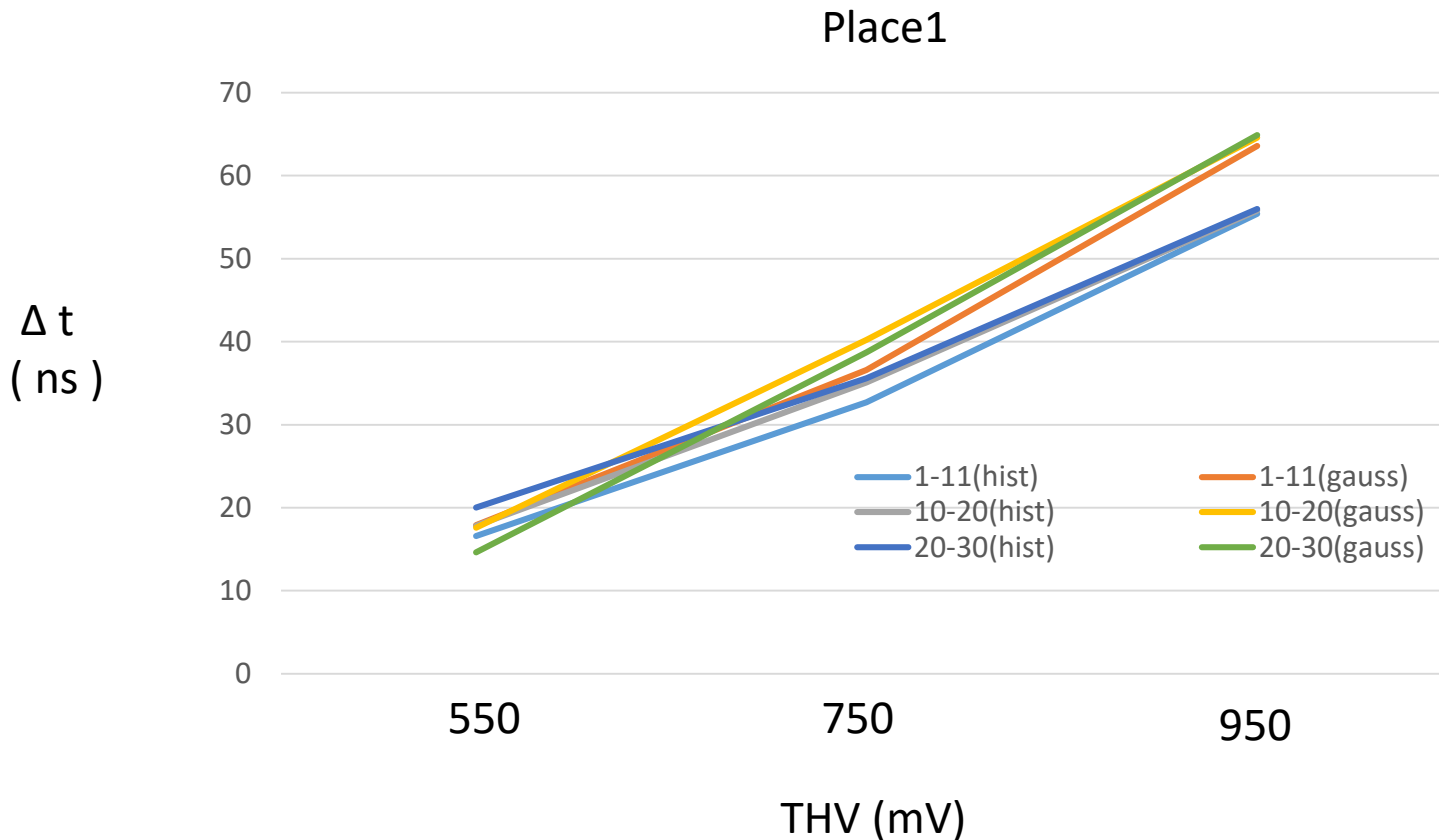
逆にこのことは、XRPIX がレーザー光を検出できているという判断材料にもなる。



実験結果まとめ

② THV を大きくすると、時間分解能が悪くなった。

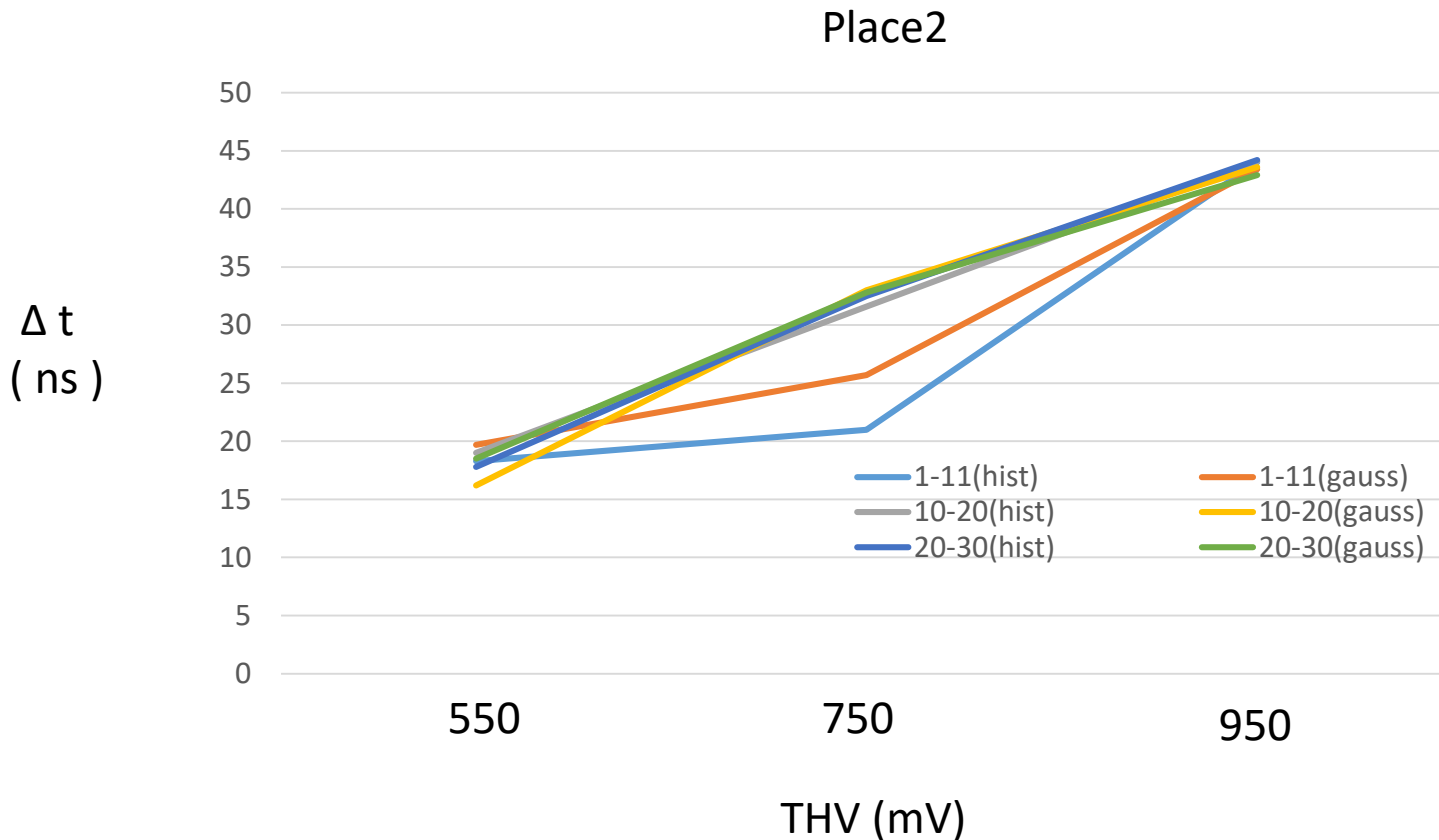
これは、レーザーの立ち上がり速度が一定ではないためであると考えられる。



実験結果まとめ

② THV を大きくすると、時間分解能が悪くなった。

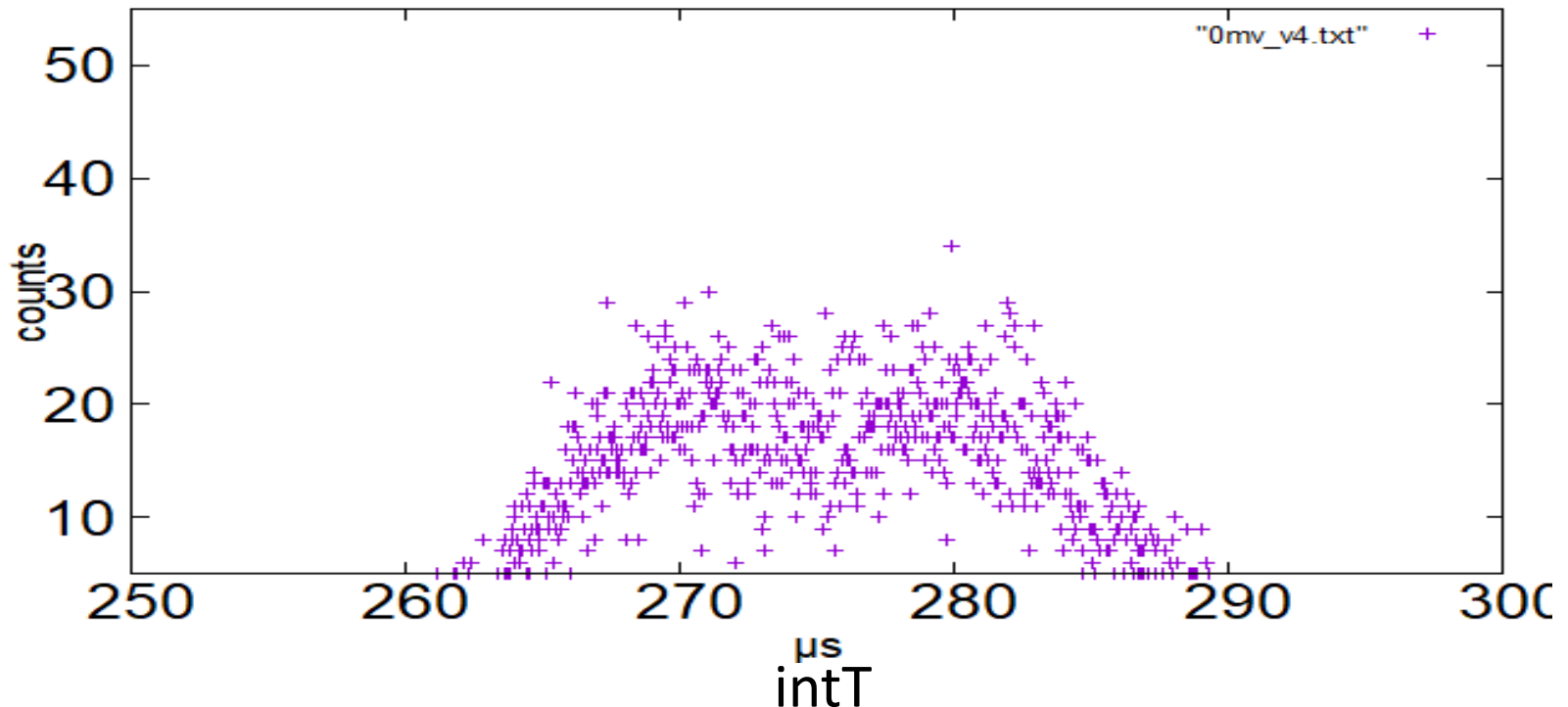
これは、レーザーの立ち上がり速度が一定ではないためであると考えられる。



追加実験

レーザーの射出時間が時間分解能に及ぼす影響を調べるために、Place3(RA86,CA22)において、レーザー射出時間を、下図の intT に近づけて追加実験を行った。

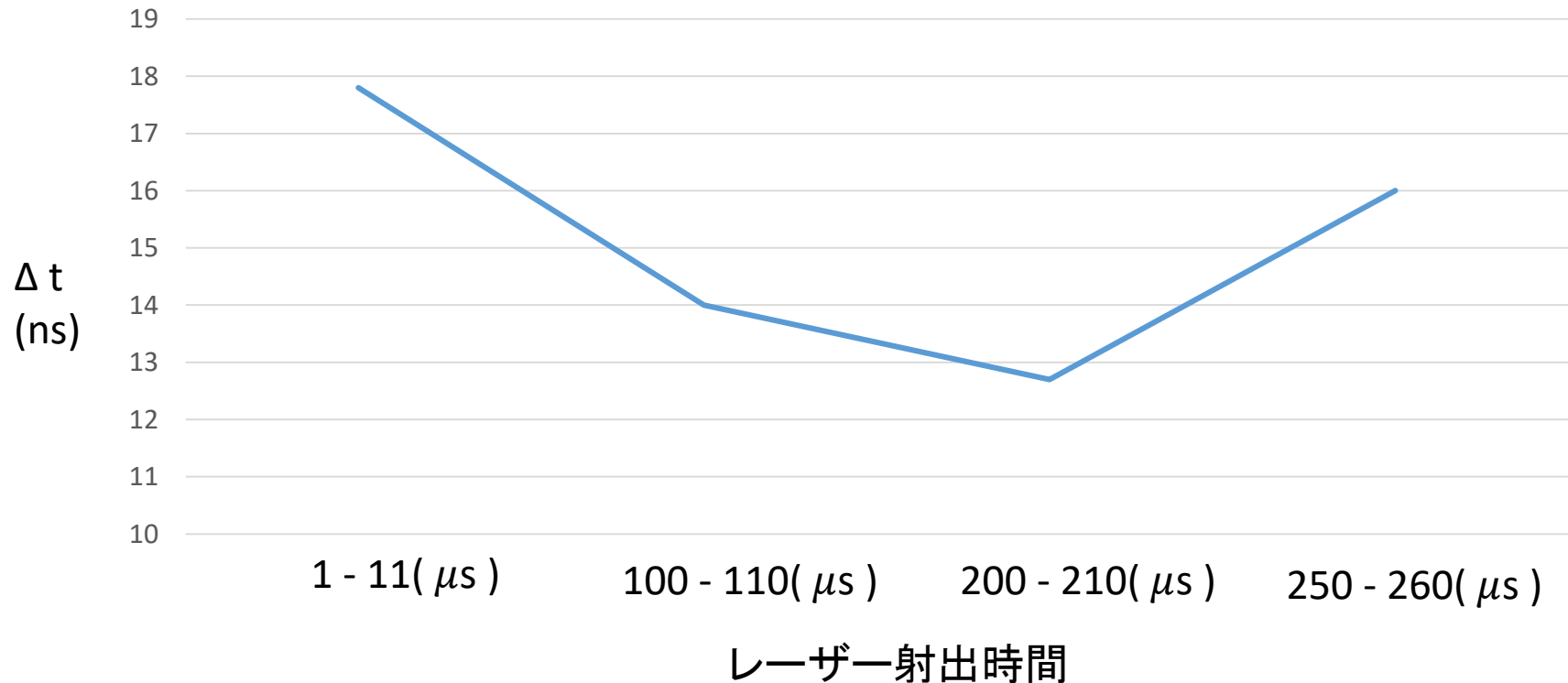
レーザー出力弱による intT



追加実験

レーザー射出時間による時間分解能への影響はそれほどみられなかった。

各レーザー射出時間における Δt



結論と今後の課題

結論： XRPIX2b の時間分解能は、
15-65 ns 以下であると測定された。

今後の課題：X線の入射に近いイベントを制御したり、同期させるクロックの振動数を増やすことで、より精度の高い時間分解能を求めていきたい。

ご清聴ありがとうございました。