



# MEG II実験陽電子タイミングカウンターのための パルスレーザーを用いた時間較正システムの構築

東京大学理学系研究科物理学専攻  
中尾光孝, 他MEGIIコラボレーション  
+ 九大の方々

日本物理学会2015年秋季大会(26aSN-2)



東京大学  
THE UNIVERSITY OF TOKYO

# Contents

## MEG II 実験 Timing Counter の時間較正

- ❖ MEG II 実験検出器
- ❖ カウンター間の時間較正
- ❖ 本研究の目的

## Laser Calibration

- ❖ Laser Calibrationの全体像
- ❖ Laser Calibration Systemのインストール
- ❖ Laser Calibrationのチェック項目

## Laser Calibrationの 実現へ向けた テストと展望

- ❖ Laser Calibration Test Setup
- ❖ 解析手法
- ❖ ファイバー接続の再現性
- ❖ カウンターを立てた状態での安定性
- ❖ 今後の予定

# Contents

## MEG II 実験 Timing Counter の時間較正

- ❖ MEG II 実験検出器
- ❖ カウンター間の時間較正
- ❖ 本研究の目的

## Laser Calibration

- ❖ Laser Calibrationの全体像
- ❖ Laser Calibration Systemのインストール
- ❖ Laser Calibrationのチェック項目

## Laser Calibrationの 実現へ向けた テストと展望

- ❖ Laser Calibration Test Setup
- ❖ 解析手法
- ❖ ファイバー接続の再現性
- ❖ カウンターを立てた状態での安定性
- ❖ 今後の予定

Xenon Calorimeter  
SiPM readout

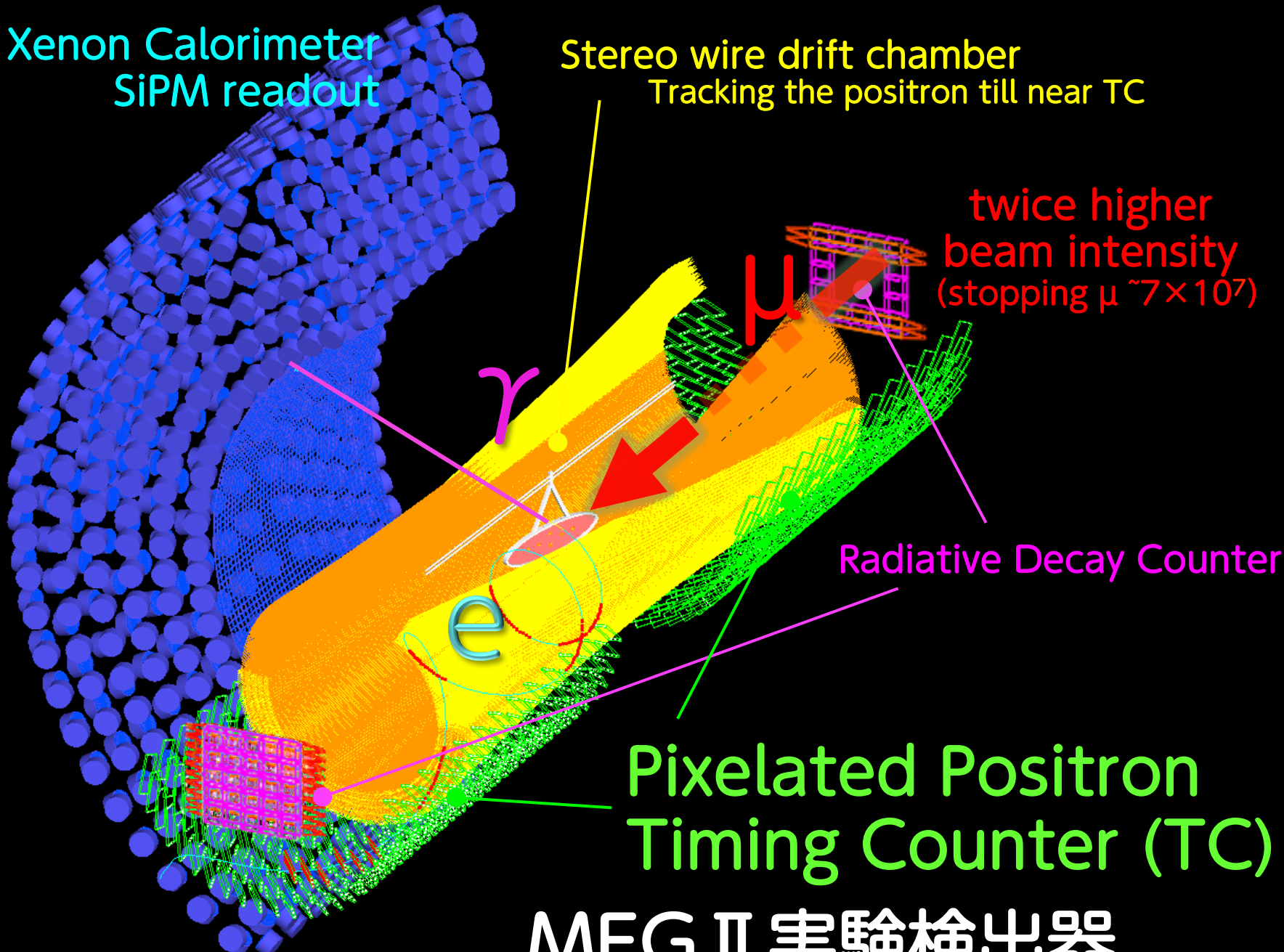
Stereo wire drift chamber  
Tracking the positron till near TC

twice higher  
beam intensity  
(stopping  $\mu \sim 7 \times 10^7$ )

Radiative Decay Counter

Pixelated Positron  
Timing Counter (TC)

MEG II 実験検出器





# カウンター間の時間較正

時間較正

- 512個のカウンターは時間のオフセットをもっているので、30psの精度で時間を合わせる必要がある。
- ガンマ線検出器との時間合わせはミュオン輻射崩壊( $\mu \rightarrow e \gamma \nu \nu$ )を用いて行う。
- カウンター間の時間較正にはMichel CalibrationとLaser Calibrationという2つの独立な方法を用いて行う。

## Michel Calibration

- MEG II 実験のメインのBGである、Michel崩壊( $\mu \rightarrow e \nu \nu$ )の陽電子を利用する。
- カウンターのヒット情報からクラスターをつくり、軌跡を再構成し、データカットを行う。
- 得られた軌跡毎にカウンターのTOFを計算する。
- 以下の $\chi^2$ を最小化するような、時間オフセットをカウンター毎に計算する。

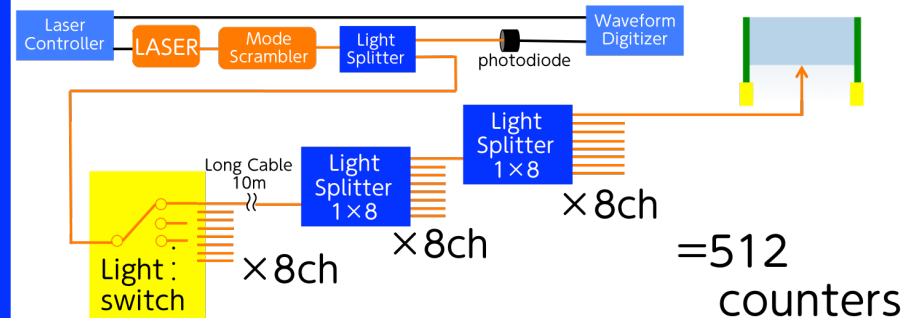
$$\chi^2 = \sum_i^{N_{ev}} \sum_j^{N_{hit}} \left( \frac{(T_{ij} - (T_{0i} + TOF_{ij} + \Delta T_j))}{\sigma} \right)^2$$

測定時間      計算した時間  
カウンターに固有の時間オフセット

- すでにビームテストのデータを用いて確かめられた(西村,日本物理学会2014年秋季大会19pSG4)。

## Laser Calibration

- 同じ光源から全カウンターにパルスレーザーを同時照射する。
- 以下の点で、Michel Calibrationと相補的な方法である。
  - 場所依存がない
  - データを貯める必要がない
  - 時間オフセットをモニターできる



# 本研究の目的

目的

- カウンター間の時間の較正手法である Laser Calibration システムを構築すること。

## Michel Calibration

- MEG II 実験のメインのBGである、Miche l崩壊( $\mu \rightarrow e \nu \nu$ )の陽電子を利用する。
- カウンターのヒット情報からクラスターをつくり、軌跡を再構成する。
- 得られた軌跡毎にカウンターのTOFを計算する。
- 以下の $\chi^2$ を最小化するような、時間オフセットをカウンター毎に計算する。

$$\chi^2 = \sum_i \sum_j^{N_{ev} N_{hit}} ((T_{ij} - (T_{0i} + TOF_{ij} + \Delta T_j) / \sigma))^2$$

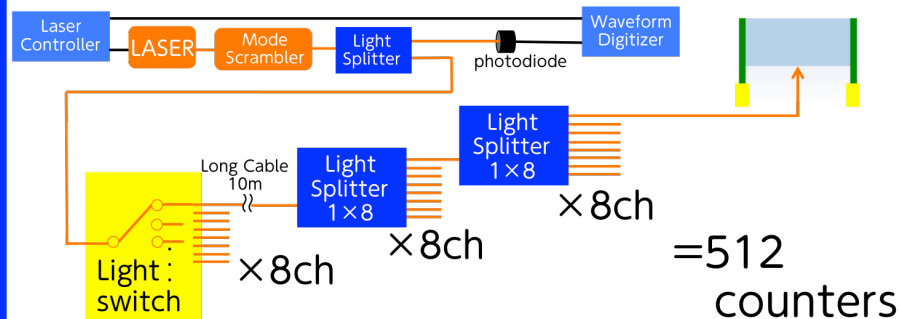
測定時間 (測定時間)      計算した時間 (計算した時間)

カウンターに固有の時間オフセット (カウンターに固有の時間オフセット)

- すでにビームテストのデータを用いて確かめられた(西村,日本物理学会2014年秋季大会19pSG4)。

## Laser Calibration

- 同じ光源から全カウンターにパルスレーザーを同時照射する。
- 以下の点で、Michel Calibrationと相補的な方法である。
  - 場所依存がない
  - データを貯める必要がない
  - 時間オフセットをモニターできる



# Contents

## MEG II 実験 Timing Counter の時間較正

- ❖ MEG II 実験検出器
- ❖ カウンター間の時間較正
- ❖ 本研究の目的

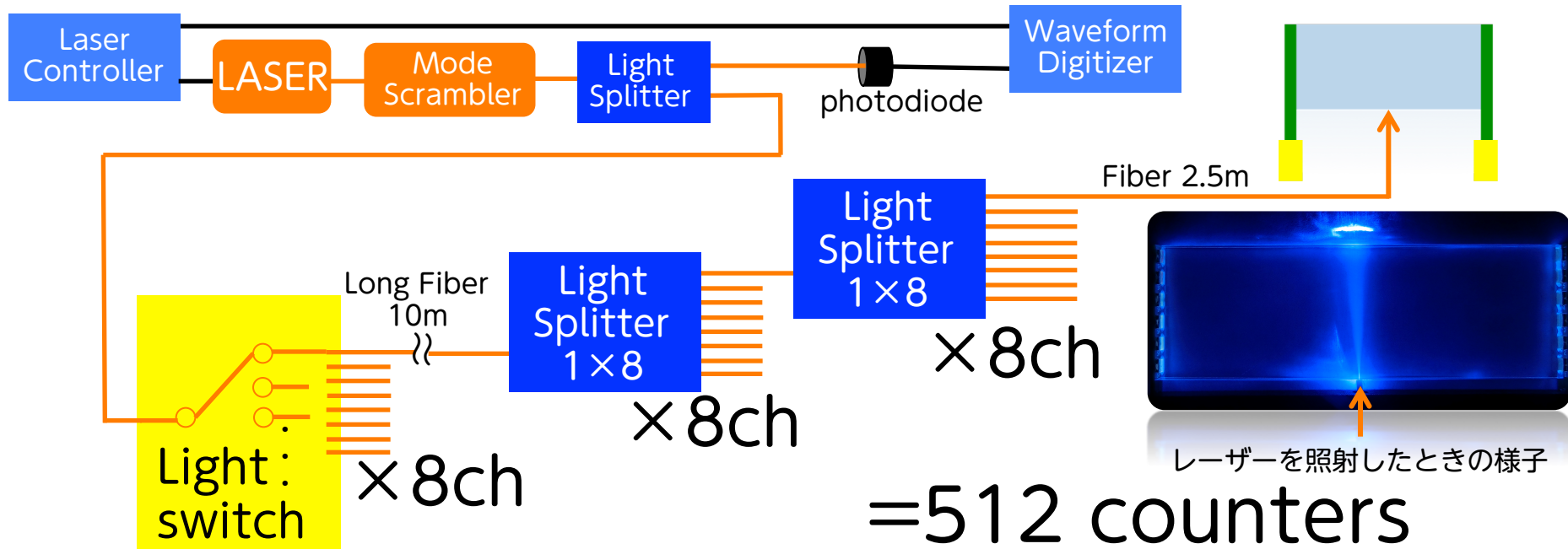
## Laser Calibration

- ❖ Laser Calibrationの全体像
- ❖ Laser Calibration Systemのインストール
- ❖ Laser Calibrationのチェック項目

## Laser Calibrationの 実現へ向けた テストと展望

- ❖ Laser Calibration Test Setup
- ❖ 解析手法
- ❖ ファイバー接続の再現性
- ❖ カウンターを立てた状態での安定性
- ❖ 今後の予定

# Laser Calibrationの全体像



- レーザー源としてPICOSECOND LIGHT PULSER PLP-10(浜松ホトニクス社)を用いる。

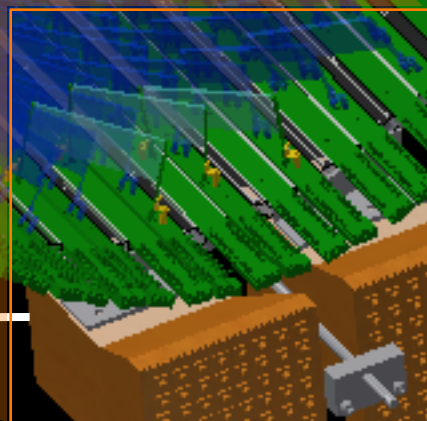
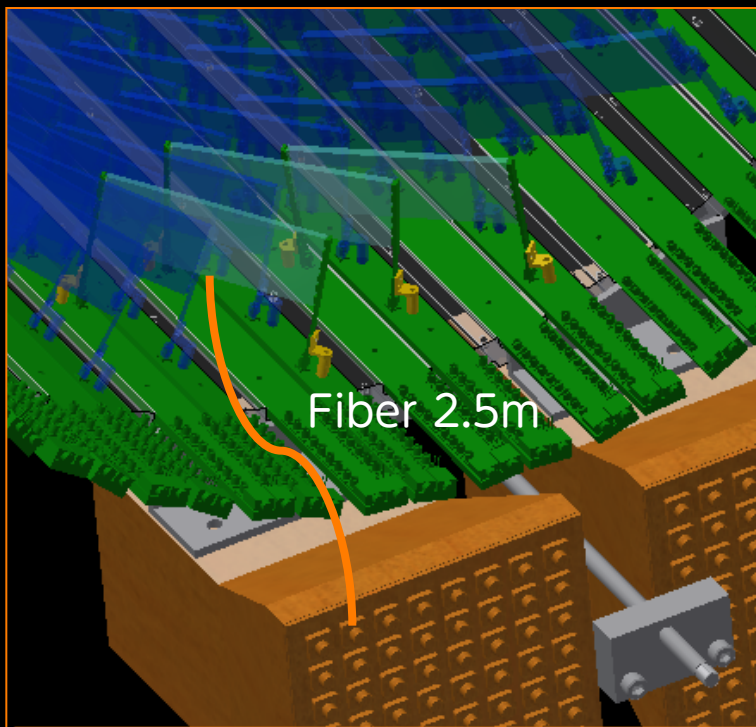


- Wavelength 405 nm (浜松ホトニクス社HPより)
- Wavelength FWHM < 10 nm
- Pulse duration typ. (max) 60 (100) ps

- 同じ光源から全てのカウンターにレーザーを同時照射する。
- 十分な光量を確保するため、Light Switchによって切り替え、1回に64カウンターずつ校正を行う。
- 各カウンターの時間オフセットをレーザーの時間を基準にして求める。



# Laser Calibration System のインストール



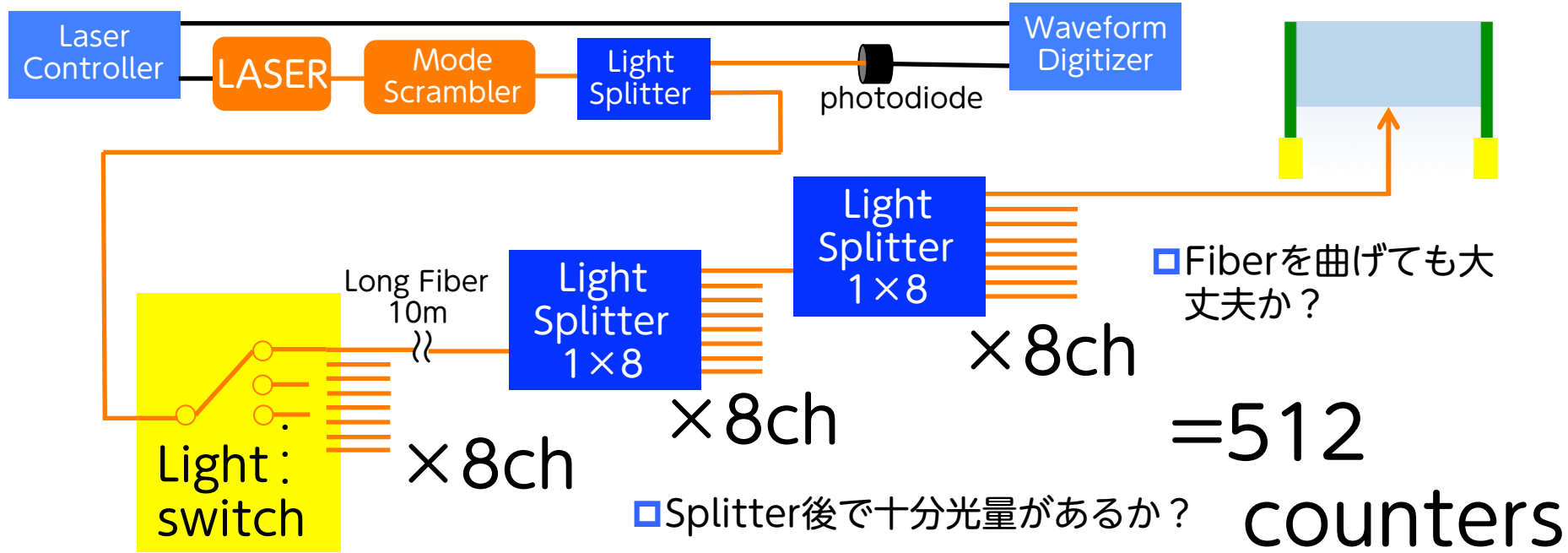
ビームエリア外より

Long Fiber  
10m

Light Splitter Holder

# Laser Calibration チェック項目

□ Laserの安定性



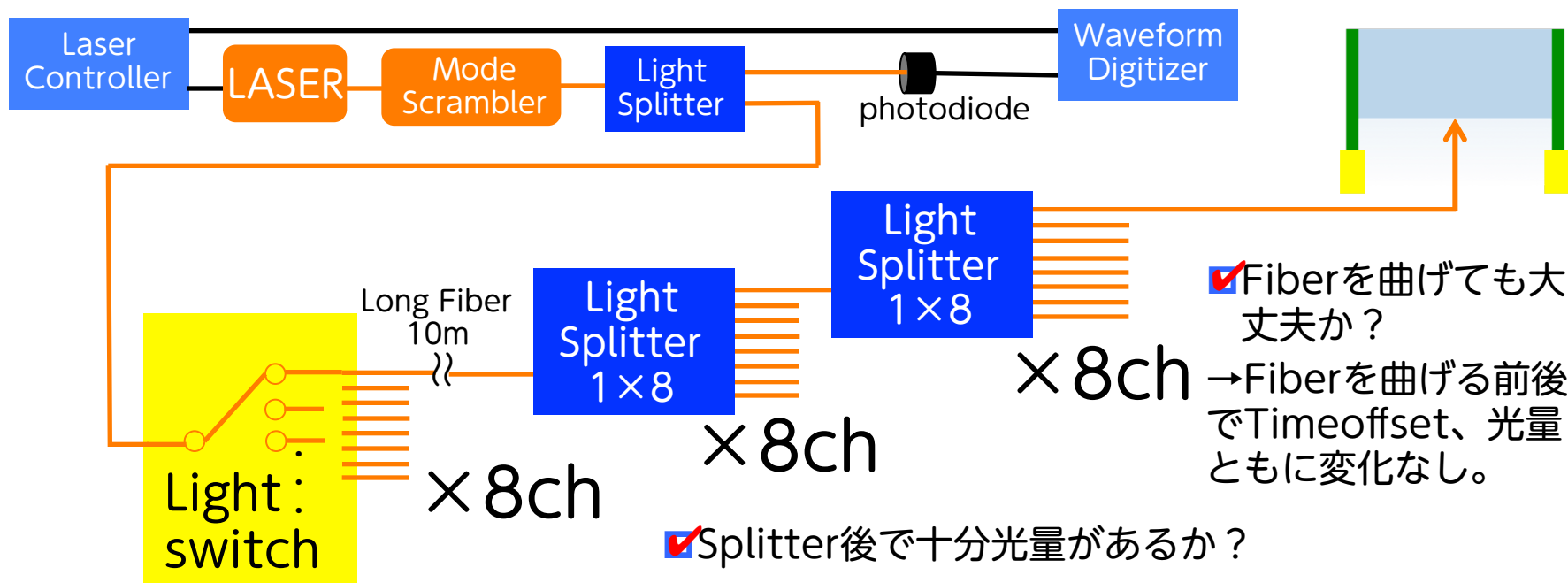
□ Light switchがうまく機能するか？

# Laser Calibration チェック項目

## Laserの安定性

→Laser装置の電源を入れて200分以上たってから測定を行う。

どのようにしてファイバーをカウンターに固定するか？



Fiberを曲げても大丈夫か？

→Fiberを曲げる前後でTimeoffset、光量ともに変化なし。

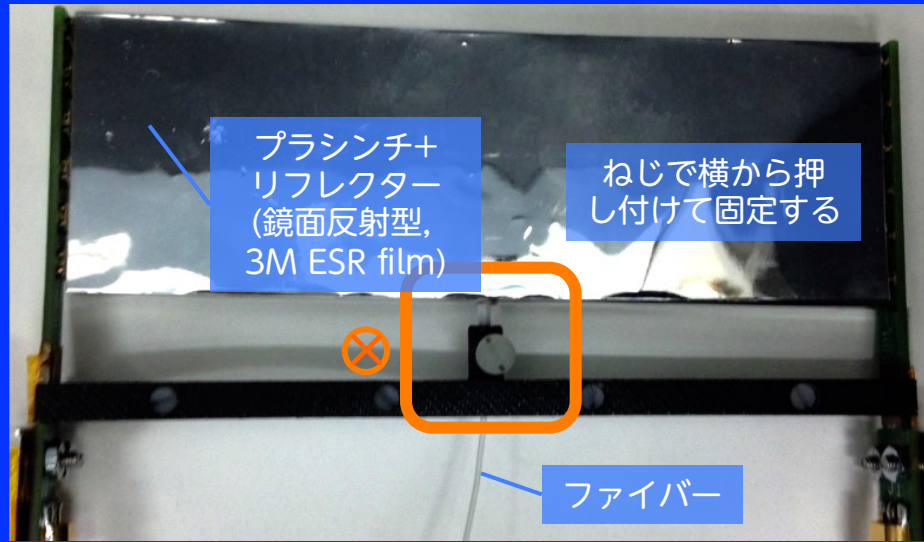
Splitter後で十分光量があるか？

Light switchがうまく機能するか？

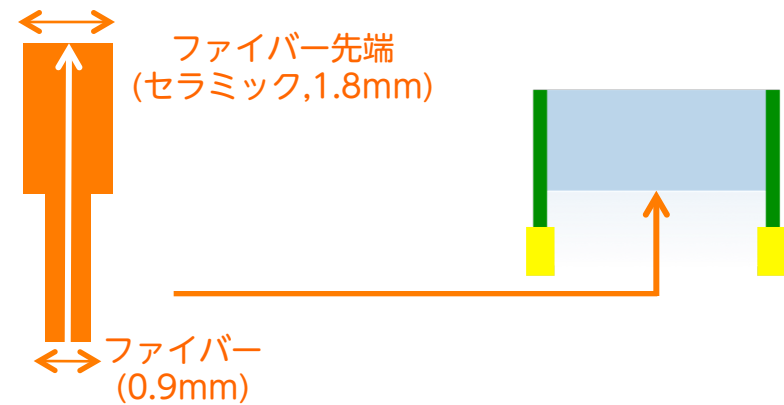
→10月中旬よりテスト予定。

# Laser Calibration チェック項目

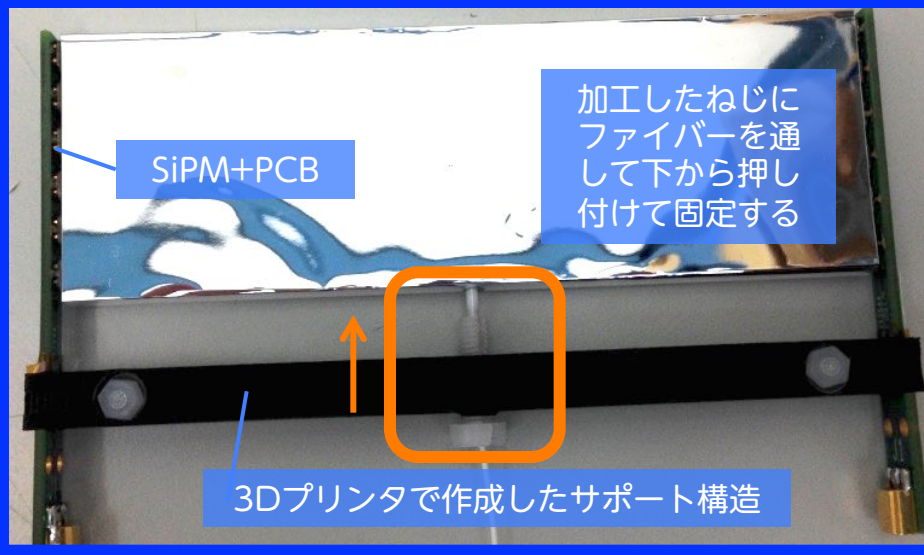
ファイバー固定方法(案1:横ねじ型)



□どのようにしてファイバーをカウンターに固定するか？



ファイバー固定方法(案2:縦ねじ型)



具体的には、

- 固定方法に再現性があるか？
  - カップリングとして何を用いるか？
  - 長期間のRunのための安定性はあるか？
- に注目してテストを行った。



# Contents

## MEG II 実験 Timing Counter の時間較正

- ❖ MEG II 実験検出器
- ❖ カウンター間の時間較正
- ❖ 本研究の目的

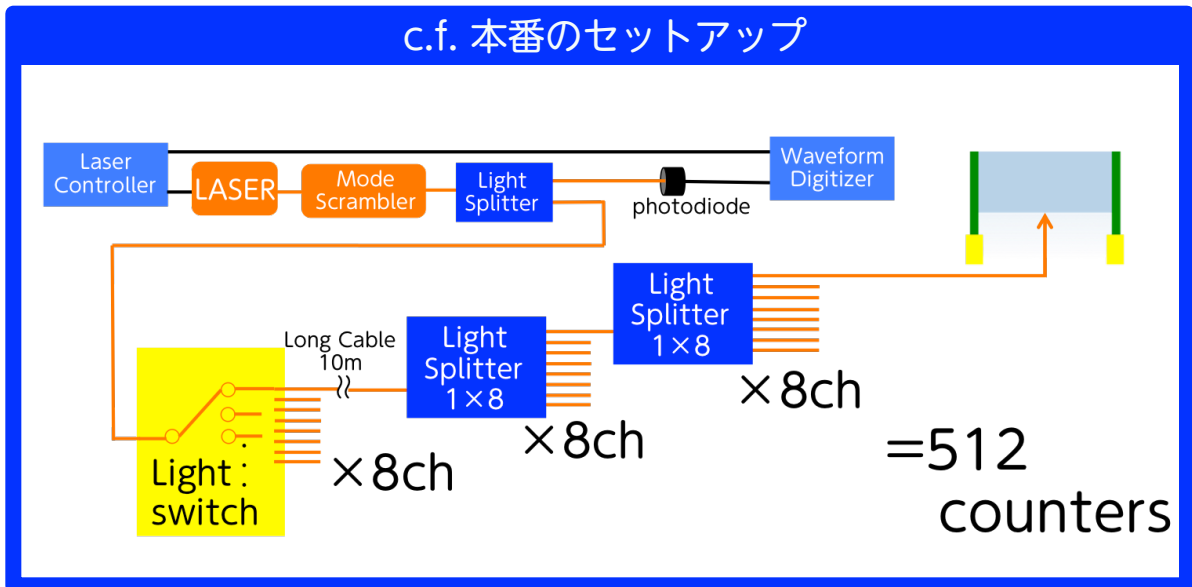
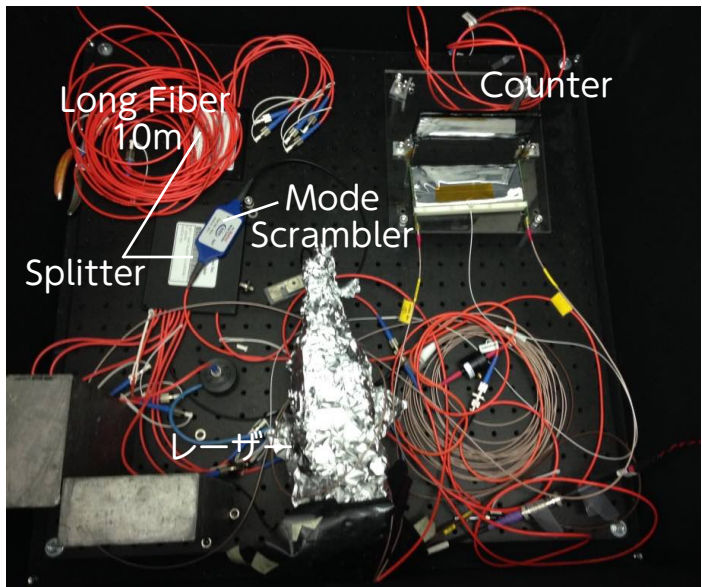
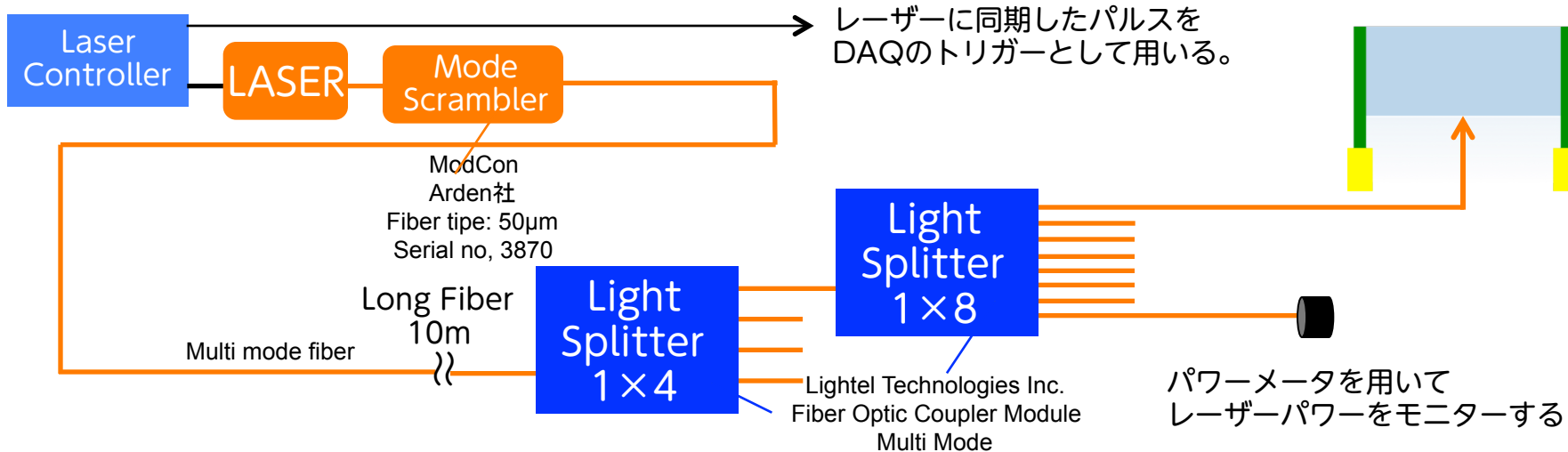
## Laser Calibration

- ❖ Laser Calibrationの全体像
- ❖ Laser Calibration Systemのインストール
- ❖ Laser Calibrationのチェック項目

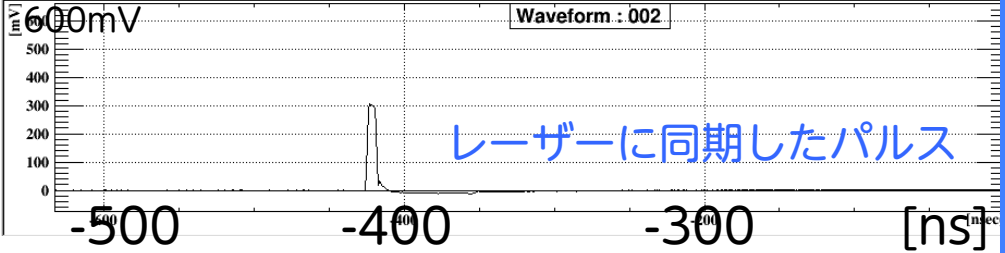
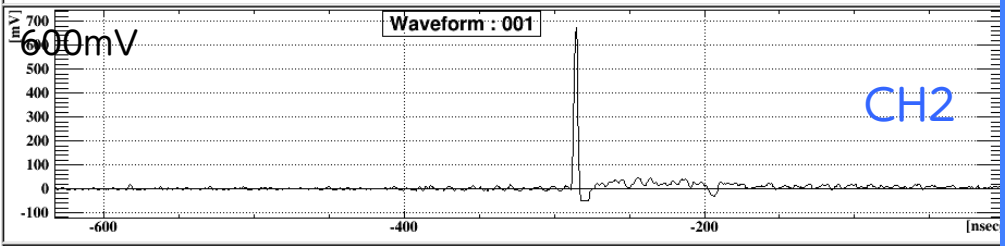
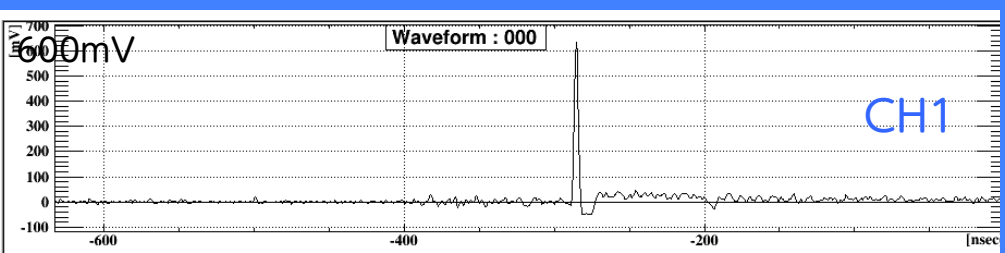
## Laser Calibrationの 実現へ向けた テストと展望

- ❖ Laser Calibration Test Setup
- ❖ 解析手法
- ❖ ファイバー接続の再現性
- ❖ カウンターを立てた状態での安定性
- ❖ 今後の予定

# Laser Calibration Test Setup



# 解析手法

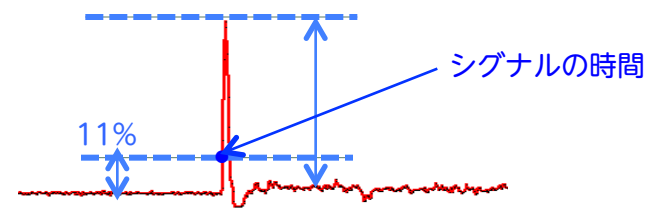


取得した波形

日本物理学会2015年秋季大会(26aSN-2)

- ①
- ②
- ③
- ④

- 各波形について、Heightの一定の割合のところをシグナルの時間とする (constant fraction time)。



- CH1の時間( $t_1$ )、CH2の時間( $t_2$ )、レーザー同期パルスの時間( $t_{sync}$ )を得る。

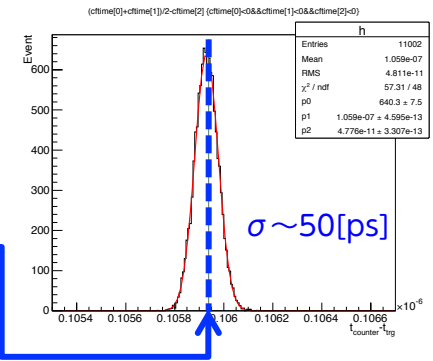
- カウンターのヒット時間( $t_{hit}$ )は、

$$t_{hit} = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

- カウンターの時間オフセット( $t_{offset}$ )は、

$$t_{timeoffset} = \frac{t_1 + t_2}{2} - t_{sync}$$

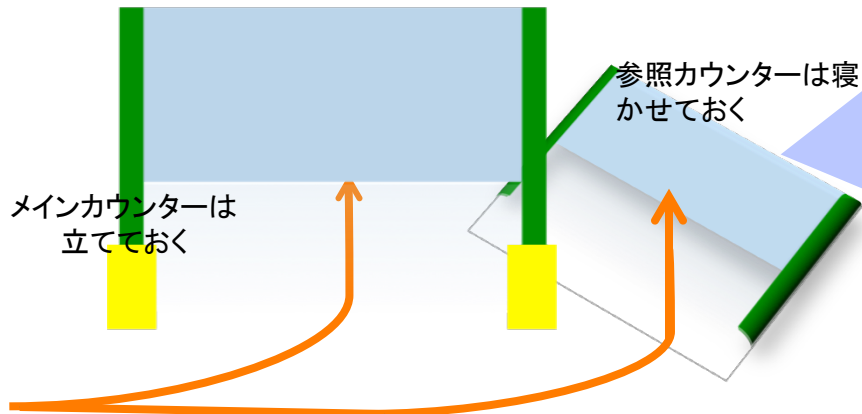
で、これをガウシアンでフィッティングする。



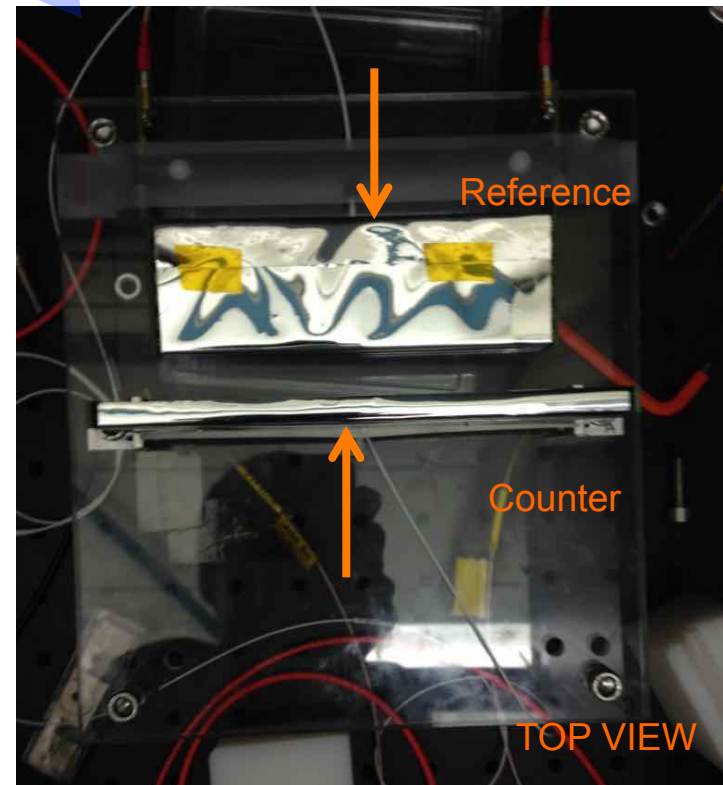
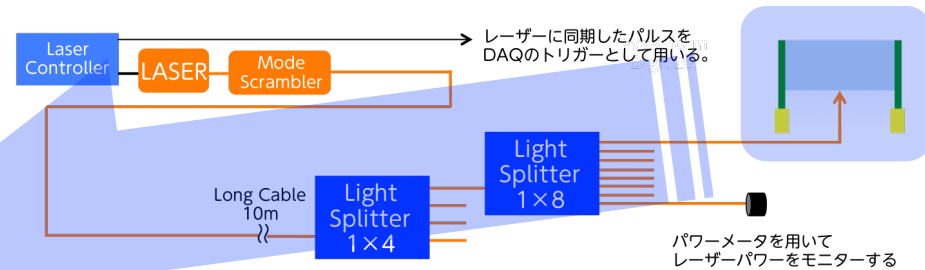
カウンターの時間オフセット

# 再現性テスト

## Concept



- ファイバーとカウンターのカップリングを次の2つで比較する。
  - 光学グリスなし
  - 光学グリスあり
- 抜き差しを繰り返し、時間オフセットのばらつきをみる。
- 温度変化やレーザーパワーによる変化を相殺するため、メインカウンターと参照カウンターの時間オフセットの差に注目する。
- 要請されるばらつきは  $\sigma < 30\text{ps}$

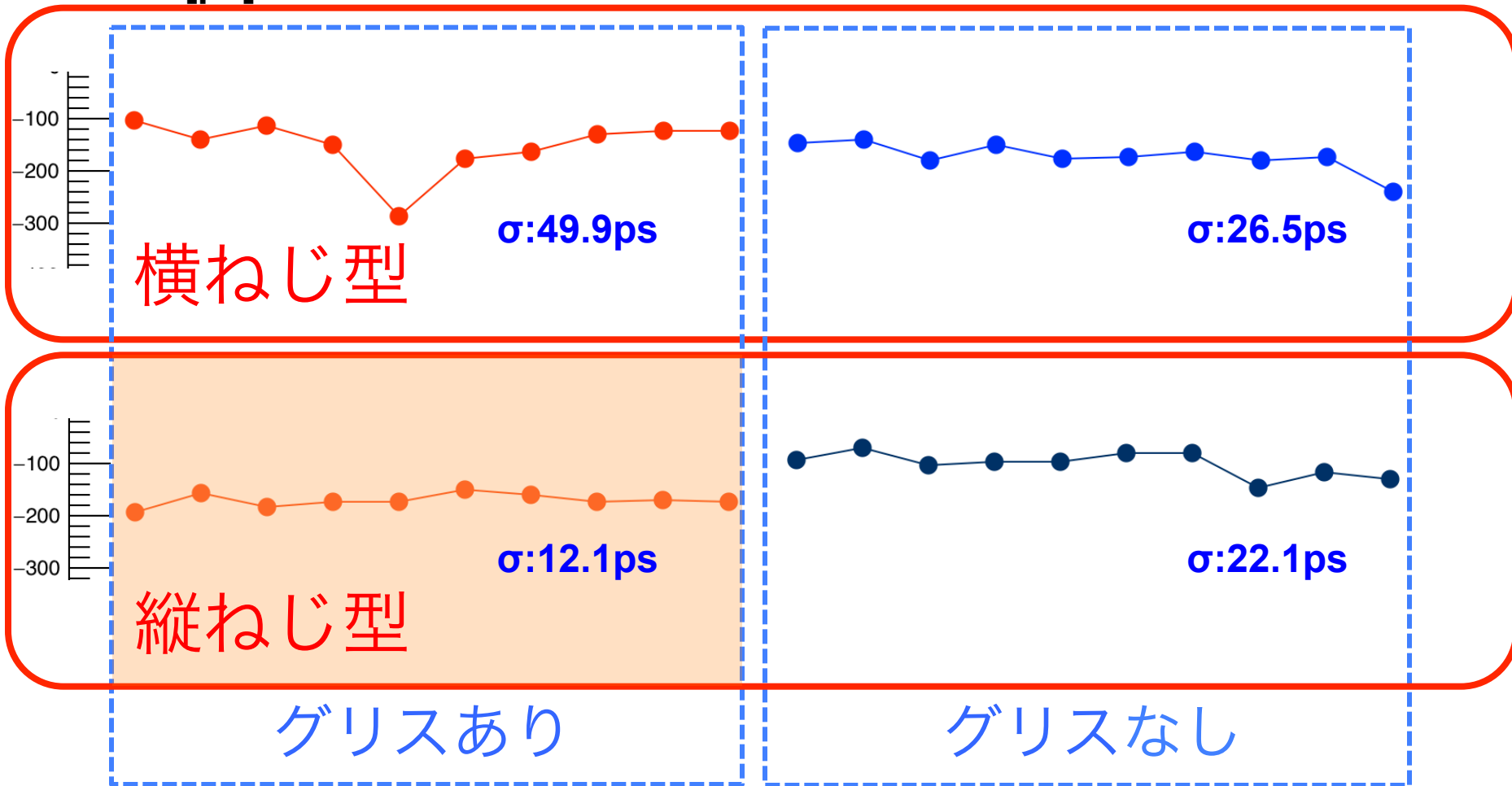




# [結果]再現性テスト

Counter:立てる  
Reference:寝かせる

Timeoffset[ps]

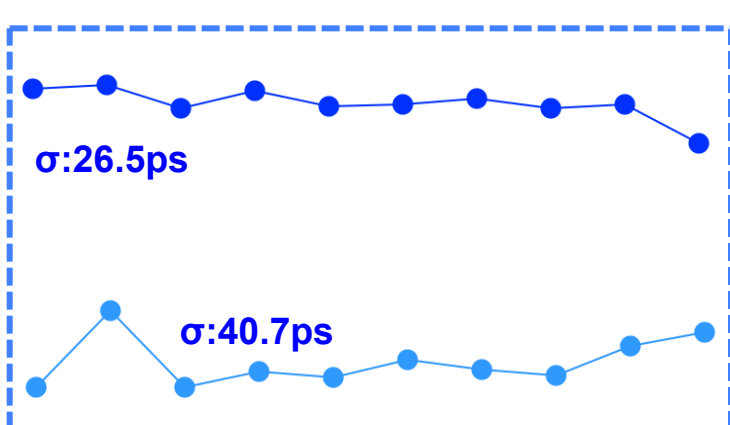
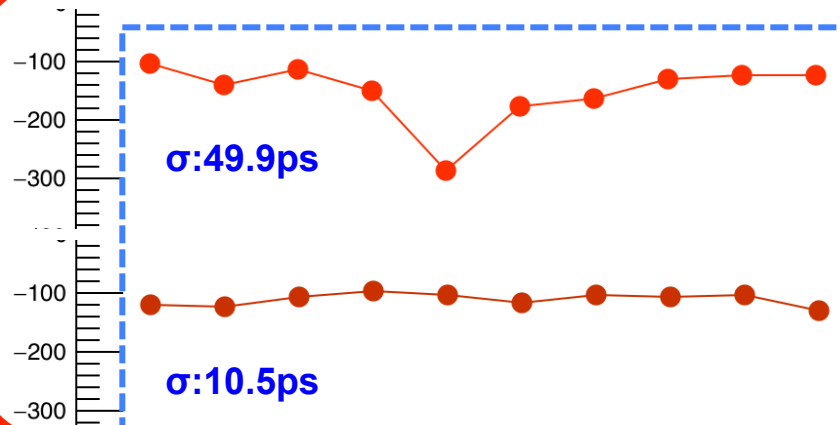


● 再現性・カップリングという観点では、「縦ねじ型・グリスあり」が最善である。

# [結果]再現性テスト2

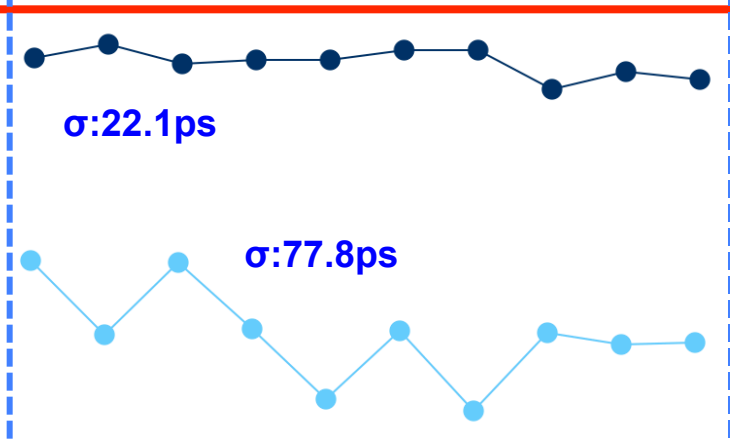
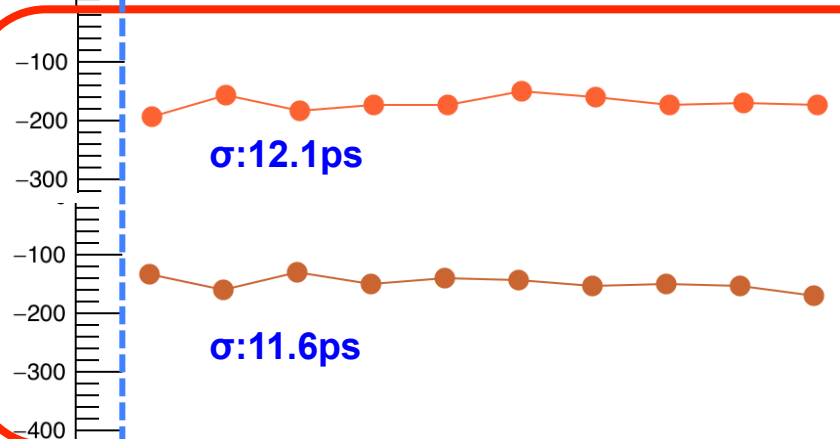
横ねじ型

Timeoffset[ps]



Counter:  
立てる

Counter:  
寝かせる



Counter:  
立てる

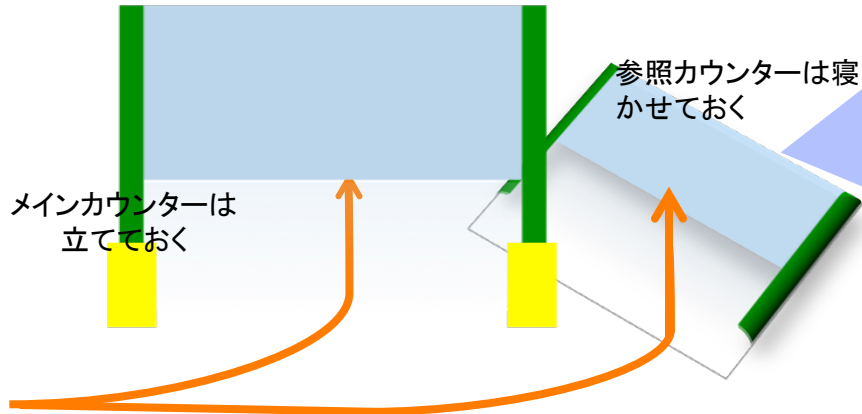
Counter:  
寝かせる

グリスあり

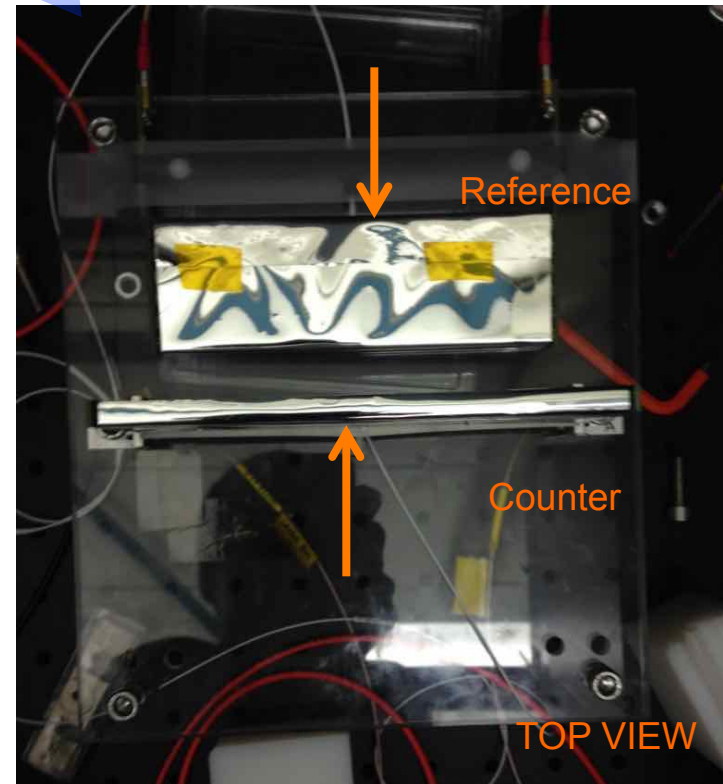
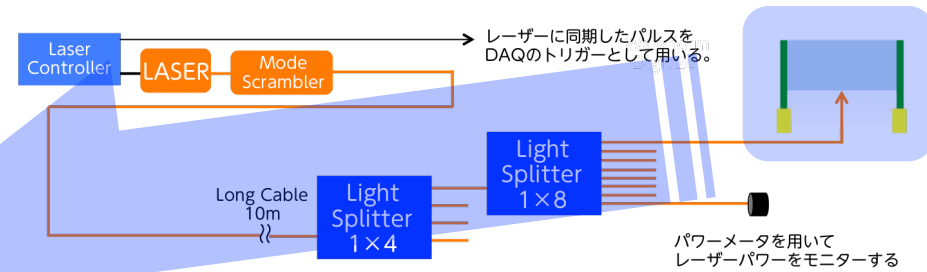
グリスなし 縦ねじ型

# 安定性テスト

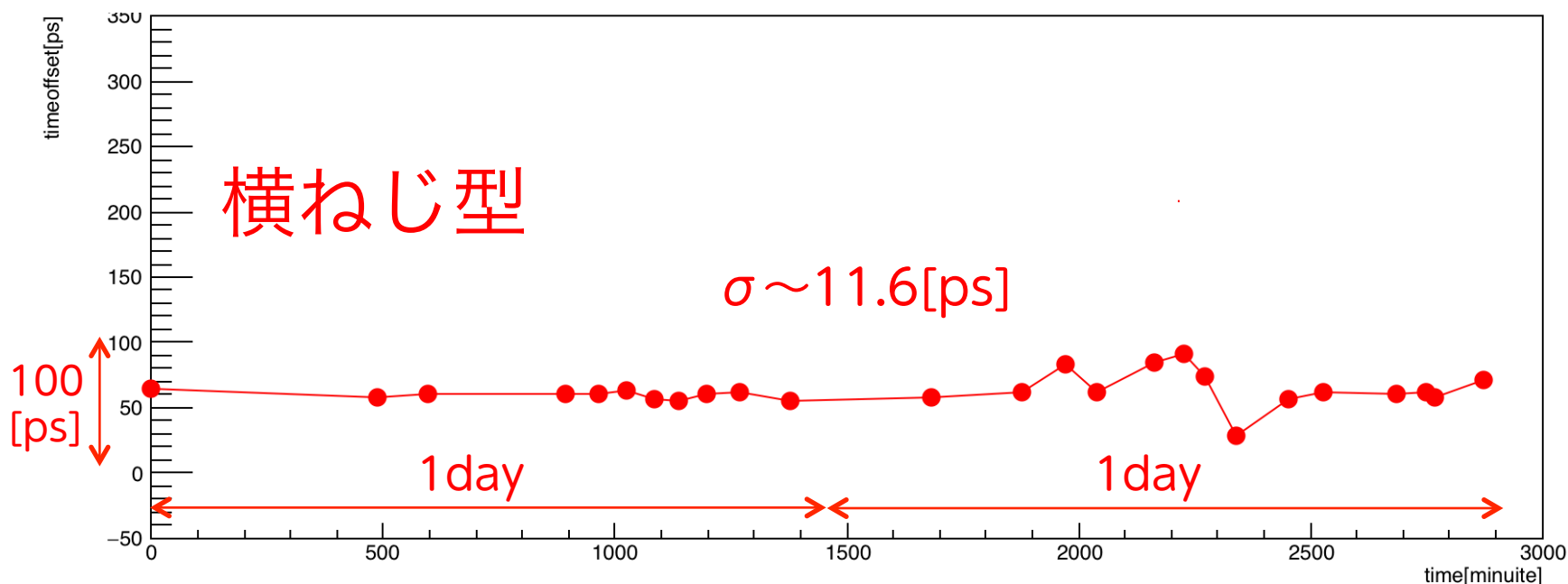
## Concept



- ファイバーとカウンターのカップリングは光学グリスなしで固定する。
- 抜き差しをせずに、1から2時間毎に時間オフセットを測定する。
- 温度変化やレーザーパワーによる変化を相殺するため、メインカウンターと参照カウンターの時間オフセットの差に注目する。
- 要請されるばらつきは  $\sigma < 30\text{ps}$



# [結果]安定性テスト



- 横ねじ型について、短期の安定性テストを行った。
- 2日間のばらつきは、12 [ps] (< 30 [ps]) で、カウンターは立てた状態で安定であるといえる。
- より長期の安定性は現在測定中である。
- 縦ねじ型の安定性については今後測定予定である。



# 今後の予定(Calibration for TC)

*We are here!*  
2015  
Engineering Run

- 10月中旬まで接続方法の追加テスト
- Light switchのテスト
- 10月中旬から実験ホールにTCをインストール
- レーザーシステムをインストール(64チャンネル)
- 複数の再現性・カップリング方式を同時に導入(16チャンネルずつなど)
- 12月からMichel Runを開始
- データを解析してMichel CalibrationとLaser Calibrationの整合性を確かめる
- Laser Calibrationのセットアップを確定
- Laser CalibrationのMass Production

2016 Engineering Run

Physics Data Taking

$\mu \rightarrow e \gamma$  Discovery

# Summary

## MEG II 実験 Timing Counter の時間較正

- ❖ MEG II 実験の512個のカウンター間の時間較正のために、Michel CalibrationとLaser Calibrationの2つの方法を検討している。

## Laser Calibration

- ❖ Laser Calibrationは同一の光源を用いて全カウンターに同時に入射し、各カウンターの時間オフセットを求める較正方法である。

## Laser Calibrationの 実現へ向けた テストと展望

- ❖ Laser Calibrationの実現に向けてファイバーとカウンターの接続方法のテストを行った。
- ❖ 「縦ねじ型・グリスあり」が接続方法の第一候補である。
- ❖ Engineering Runでの結果を踏まえて最終的なLaser Calibrationシステムを決定する。