

J-PARC E69 実験

(WAGASCIプロジェクト)における 高速応答シンチレータの性能評価と シミュレーションによる荷電粒子の 運動方向同定能力の評価

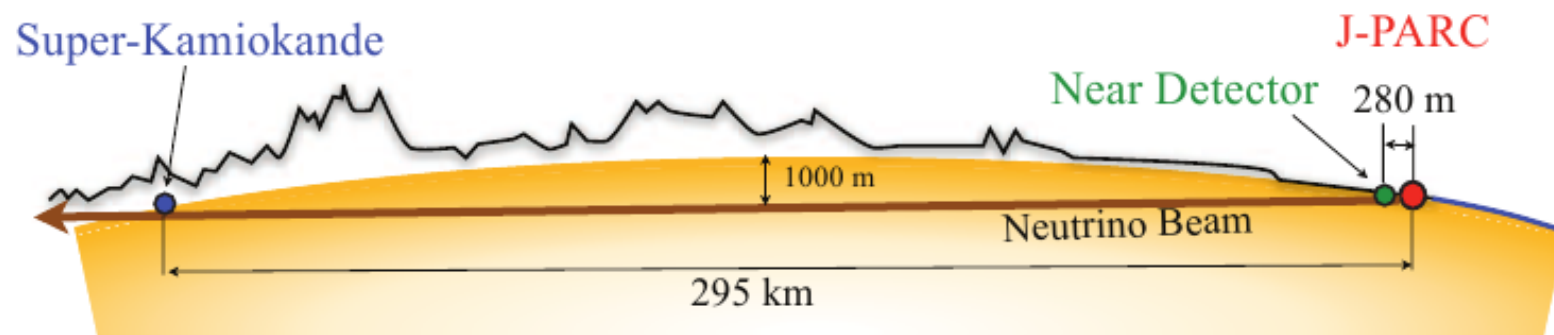
横浜国立大学 理工学部
数物・電子情報系学科 物理工学EP
南野研究室 1664272 山本健介

目次

- はじめに
 - T2K実験
 - J-PARC E69 実験
 - ミューオンの運動方向同定
- 高速応答シンチレータの性能評価
- シミュレーションによる運動方向同定能力の評価
 - WAGASCI検出器とSide-MRDのみ
 - TOFカウンタを追加
 - Side-MRDをアップグレード
- まとめ

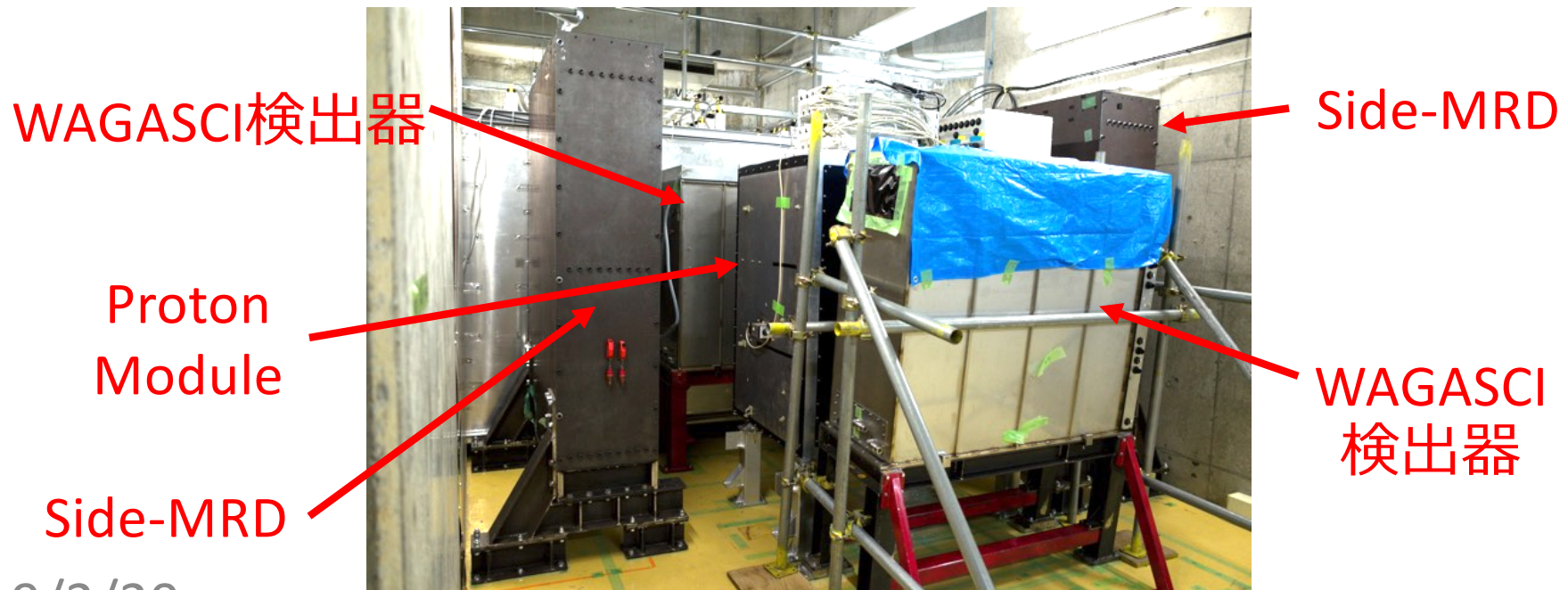
T2K実験

- T2K (Tokai-to-Kamioka) 実験：ニュートリノ振動現象を研究する長基線ニュートリノ実験
- T2K実験はニュートリノと標的原子核との反応断面積に大きな系統誤差をもつ
- 標的原子核は、
 - 前置検出器 (ND280)：プラスチック、水
 - 後置検出器 (スーパーカミオカンデ)：水

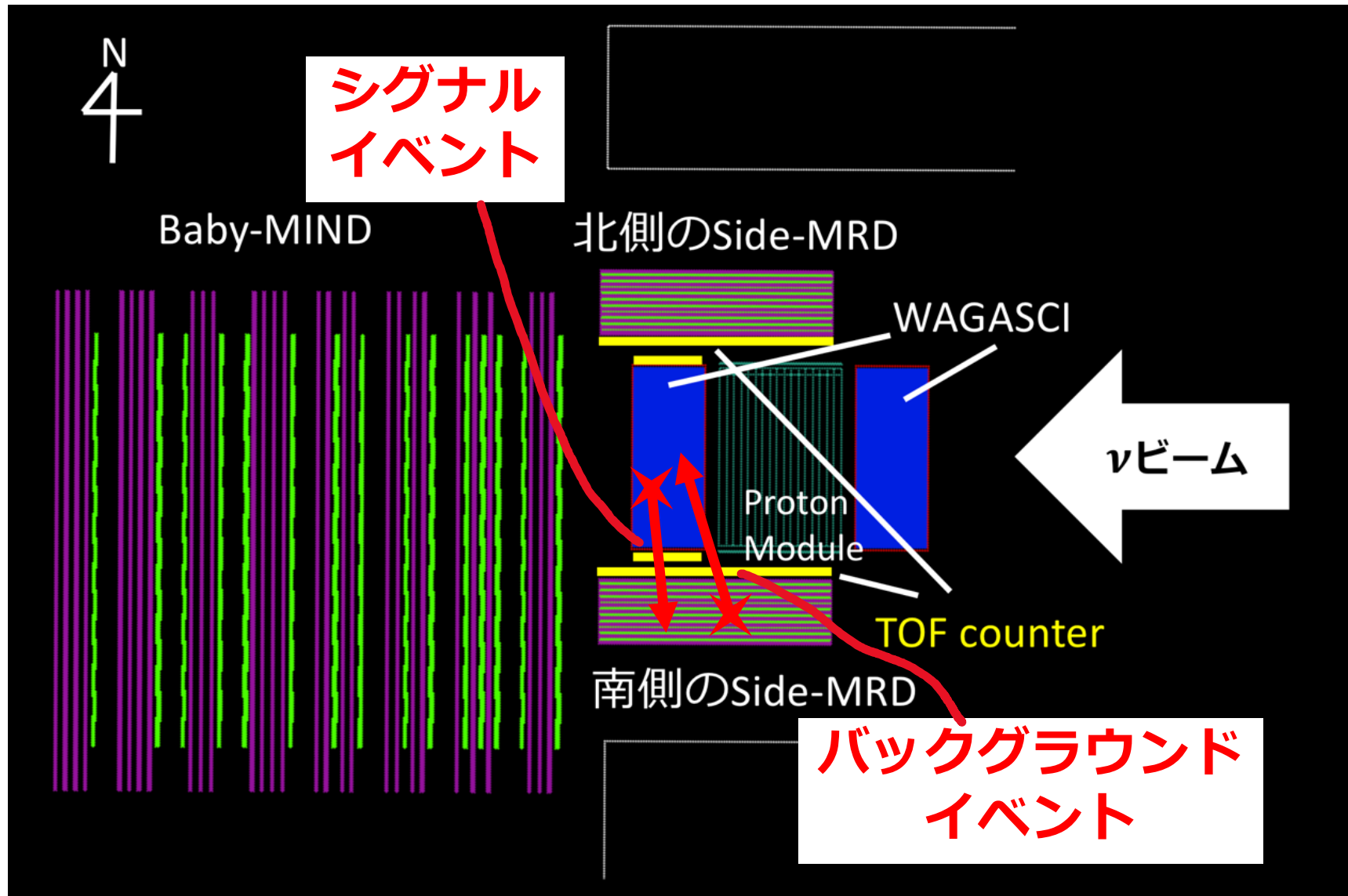


J-PARC E69 実験

- J-PARC E69 実験 (WAGASCIプロジェクト)：水とニュートリノの反応断面積の精密測定のためにデザイン
- WAGASCI検出器： ν 標的かつ荷電粒子検出器
- Side-MRD：大角度方向に出た μ の運動量を測定

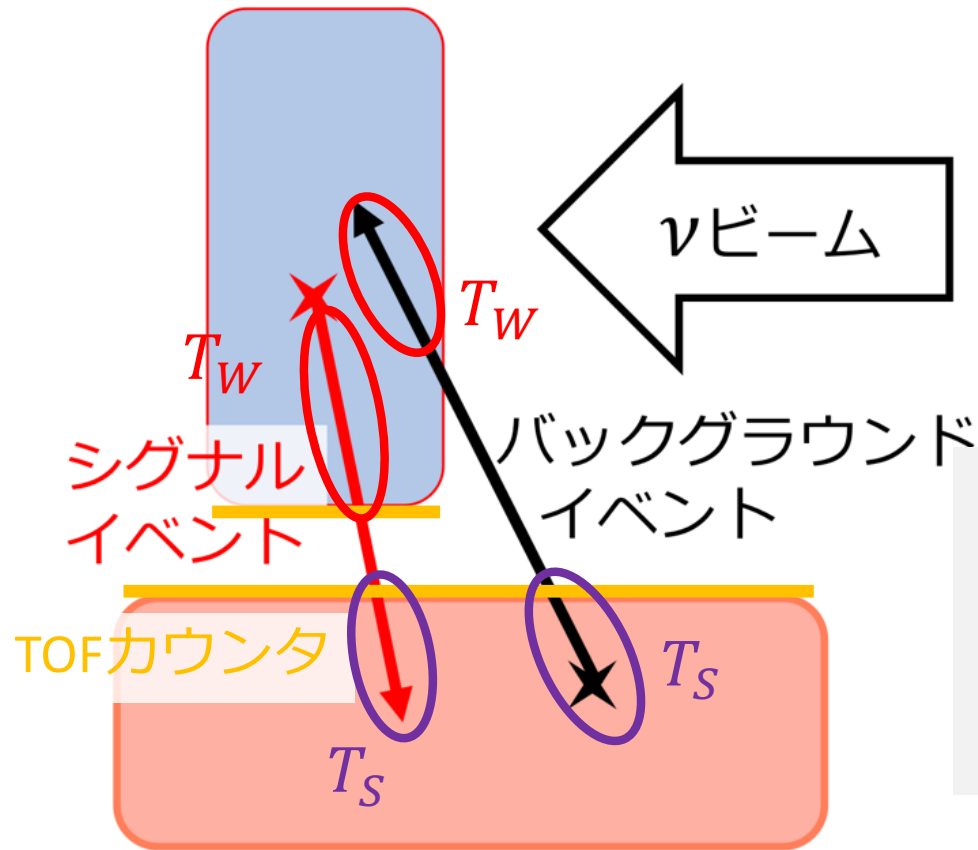


μ の運動方向の同定



TOF: Time Of Flight

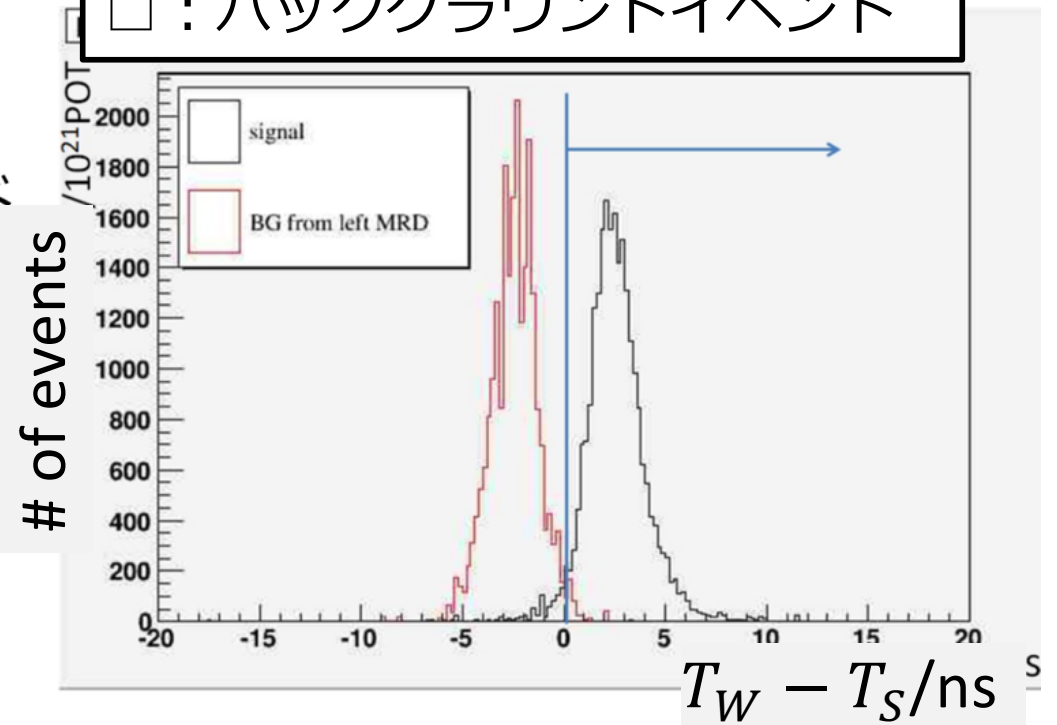
下流側のWAGASCI検出器



✕ : ニュートリノ反応

$$\mu \text{ の TOF } \leftrightarrow T_W - T_S$$

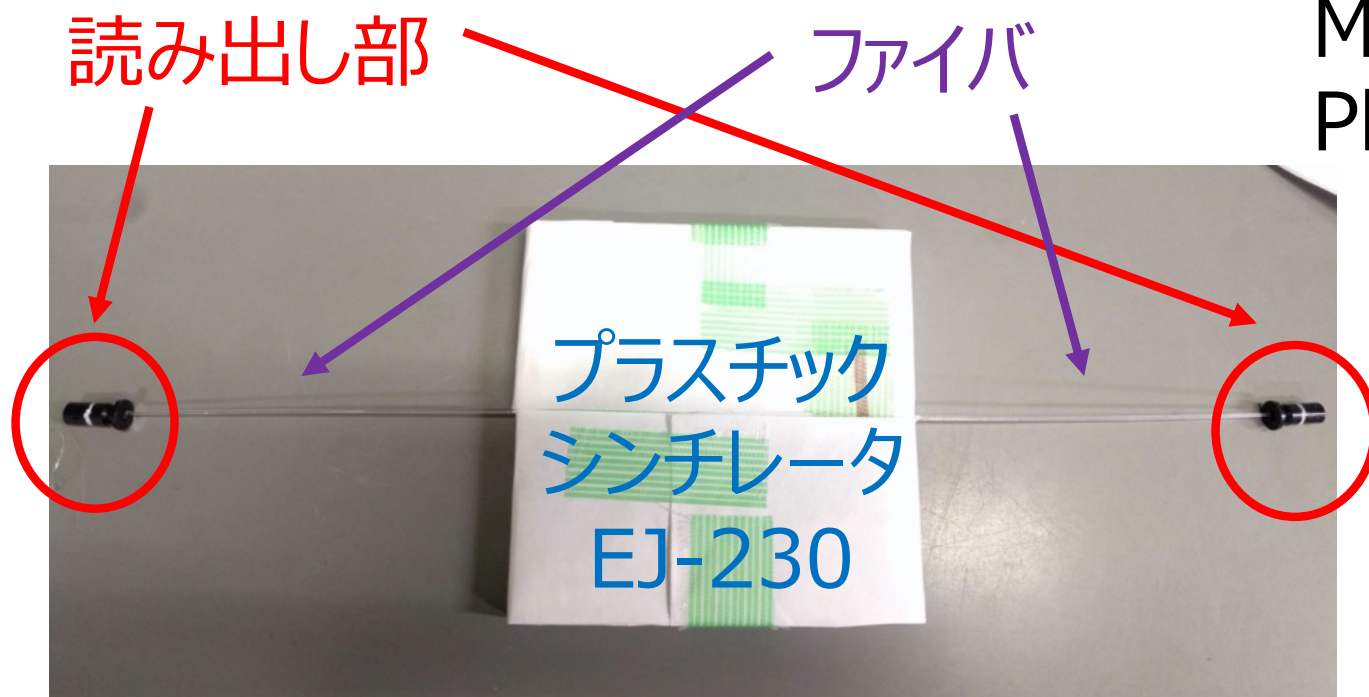
□ : シグナルイベント
□ : バックグラウンドイベント



シンチレータの性能評価

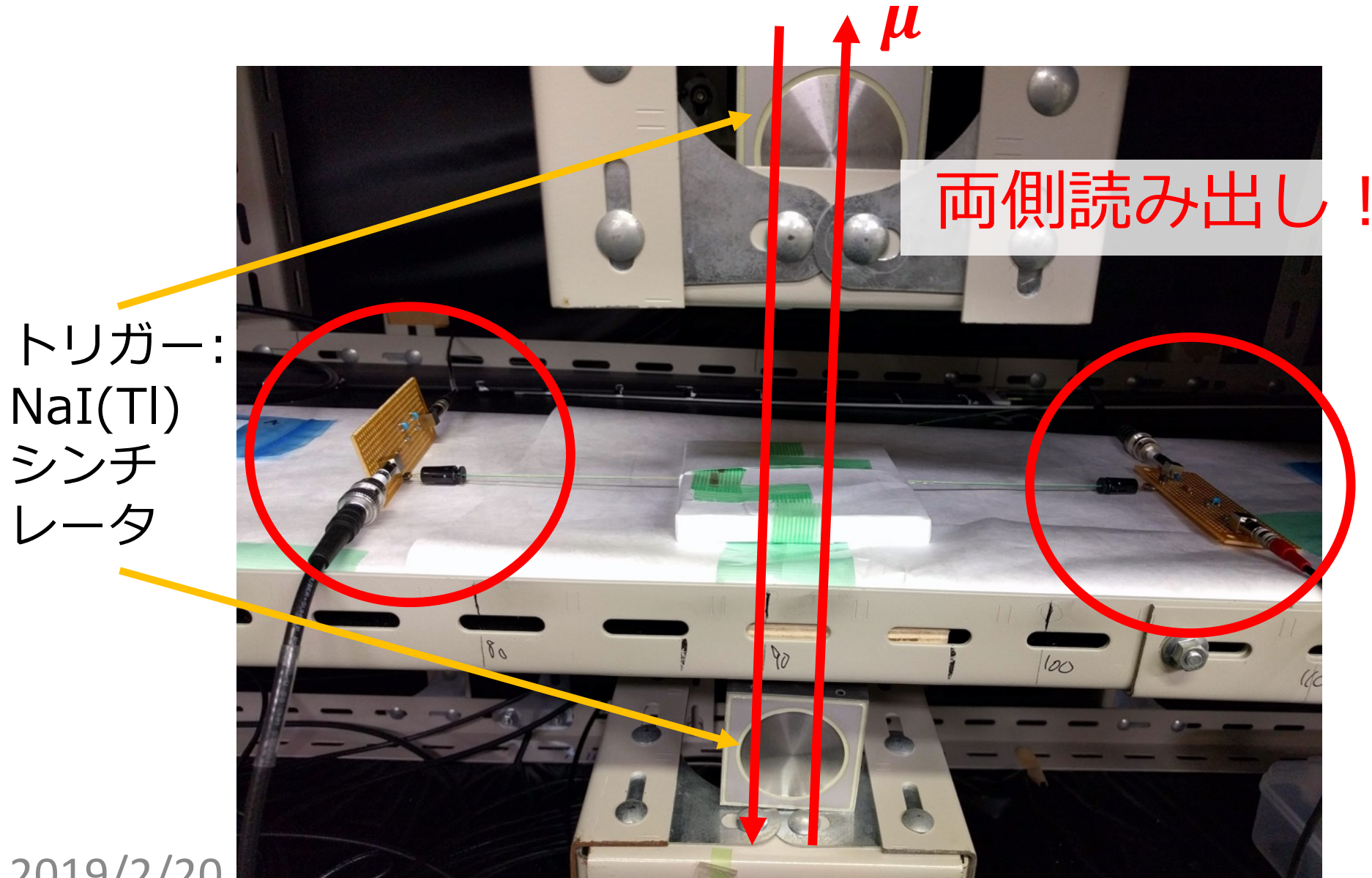
- 試験するシンチレータ：Eljen Technology社のプラスチックシンチレータEJ-230
- 光の読み出しには、半導体型光検出器MPPCもしくは光電子増倍管を用いた

MPPC: Multi-Pixel Photon Counter



シンチレータの性能評価

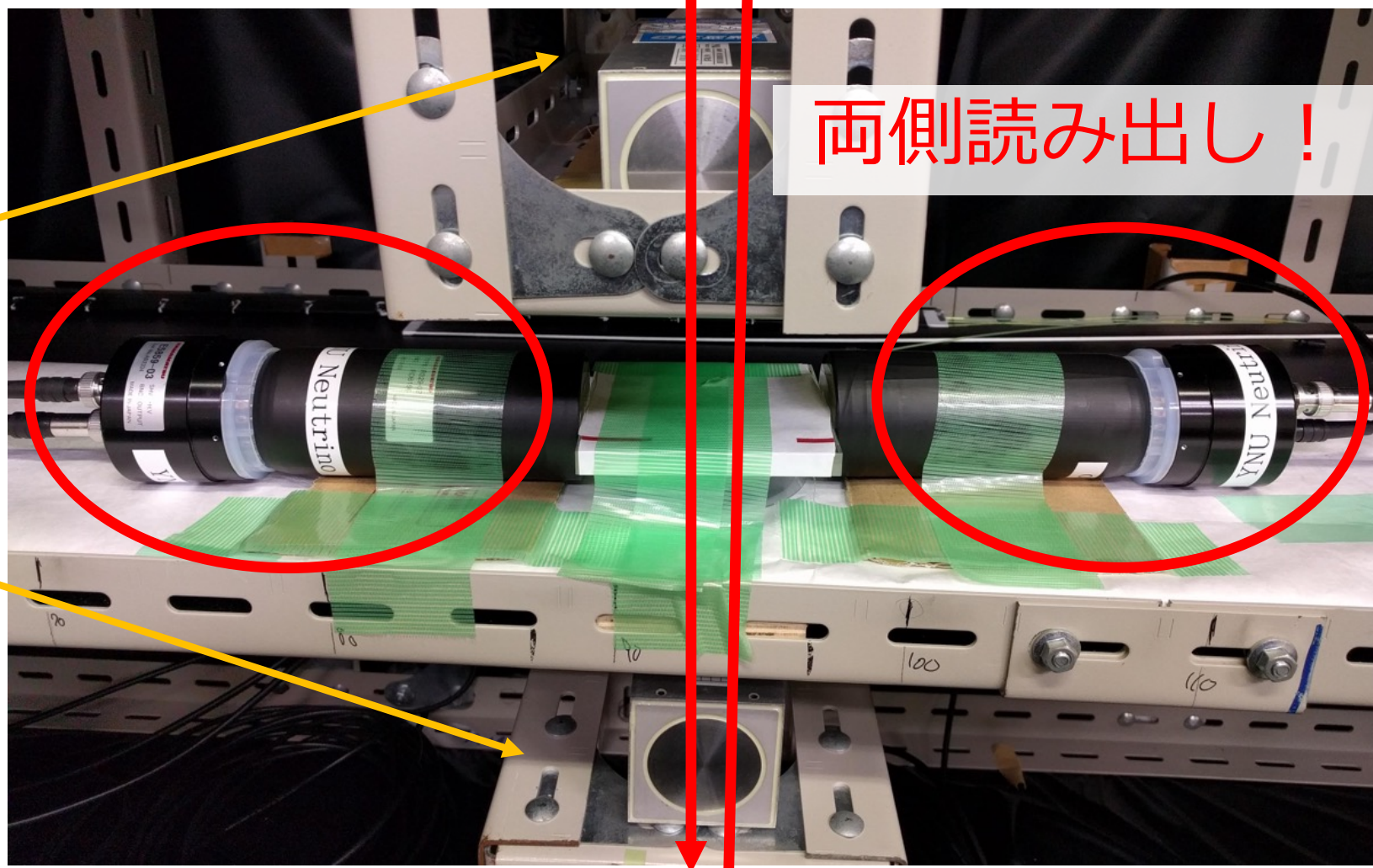
- MPPPC+波長変換ファイバ



シンチレータの性能評価

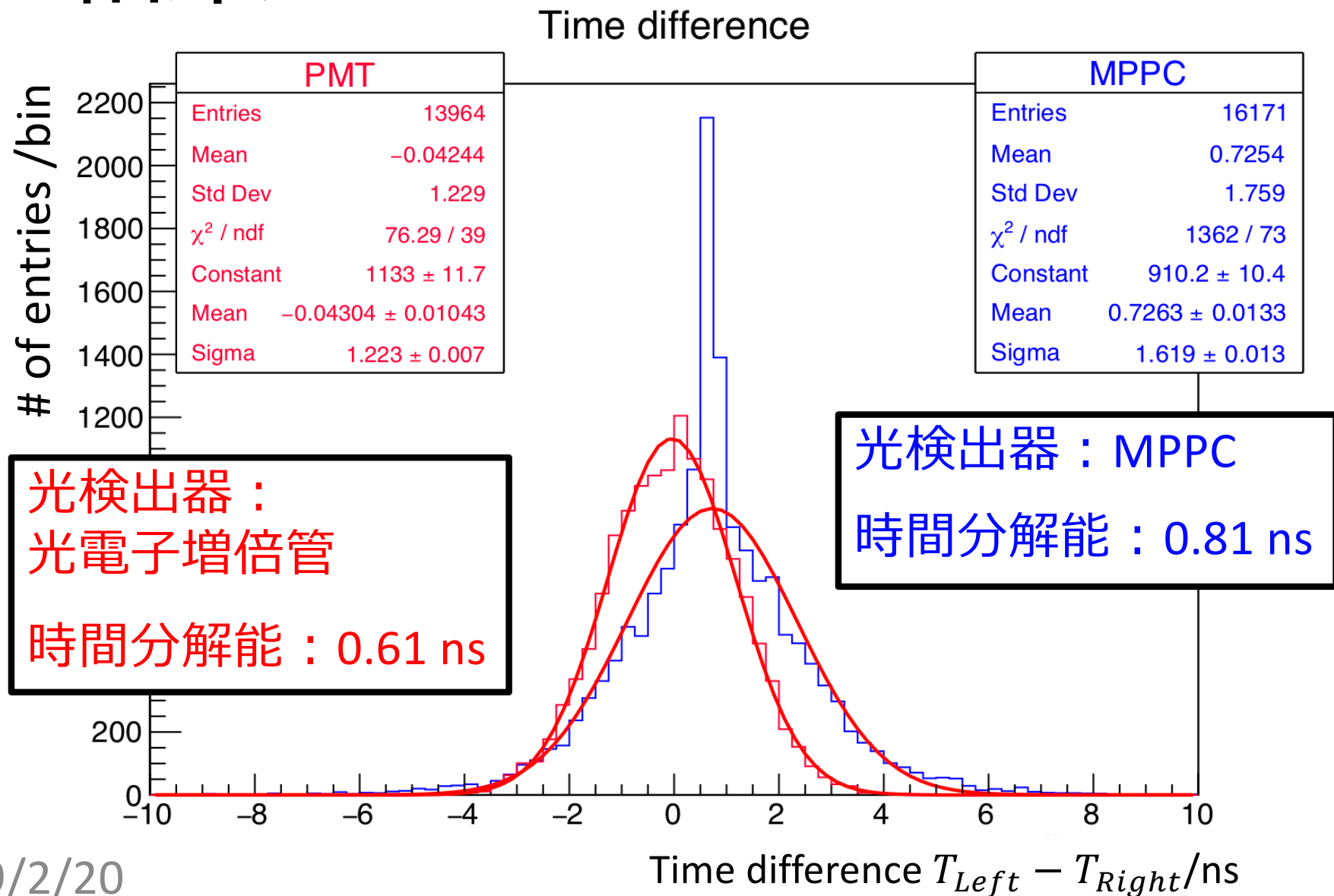
- 光電子増倍管

トリガー:
NaI(Tl)
シンチ
レータ



シンチレータの性能評価

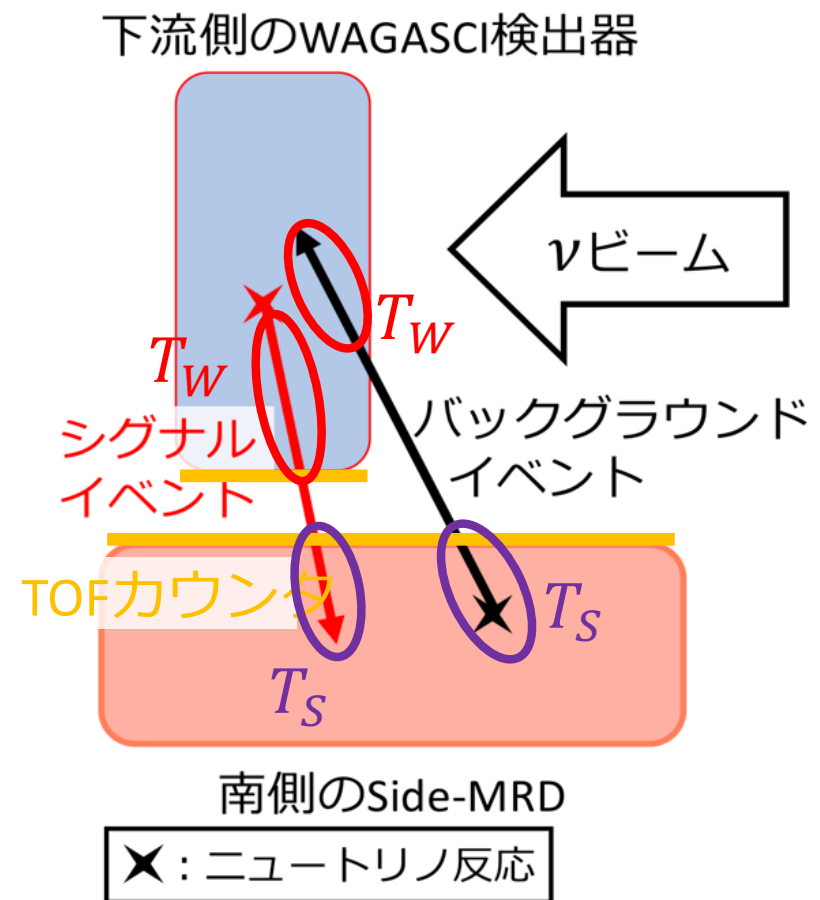
- 結果



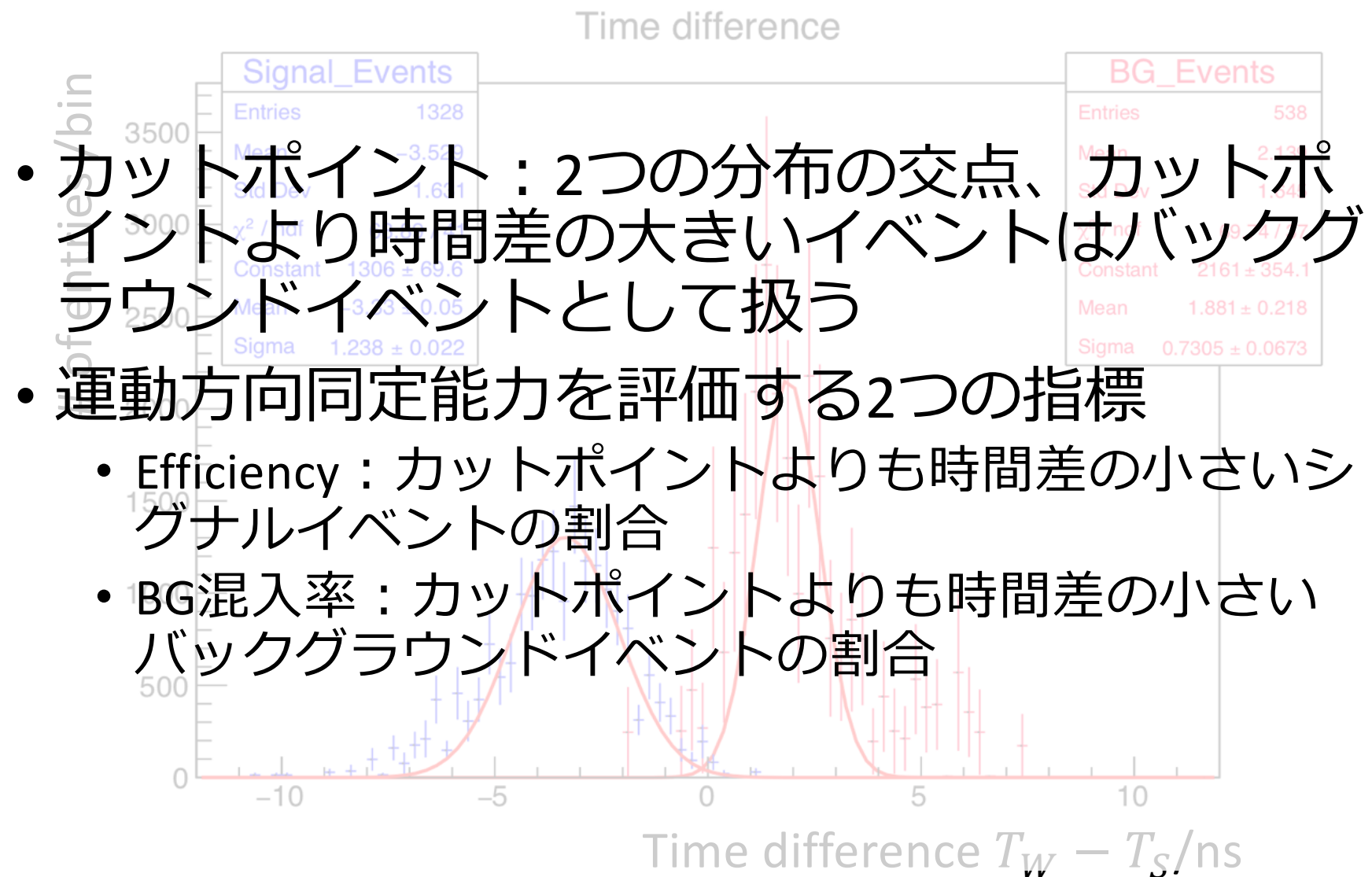
シミュレーションによる 運動方向同定能力の評価

- Geant4 : CERNを中心に開発され、粒子が物質中を通過する際に生じる相互作用過程などを正確にシミュレーションするソフトウェアパッケージ
- Geant4でJ-PARCの前置検出器ホールB2フロアを再現
- 簡単のため、下流側のWAGASCI検出器と南側のSide-MRDのみを考える

$$\mu\text{のTOF} \leftrightarrow T_W - T_S$$

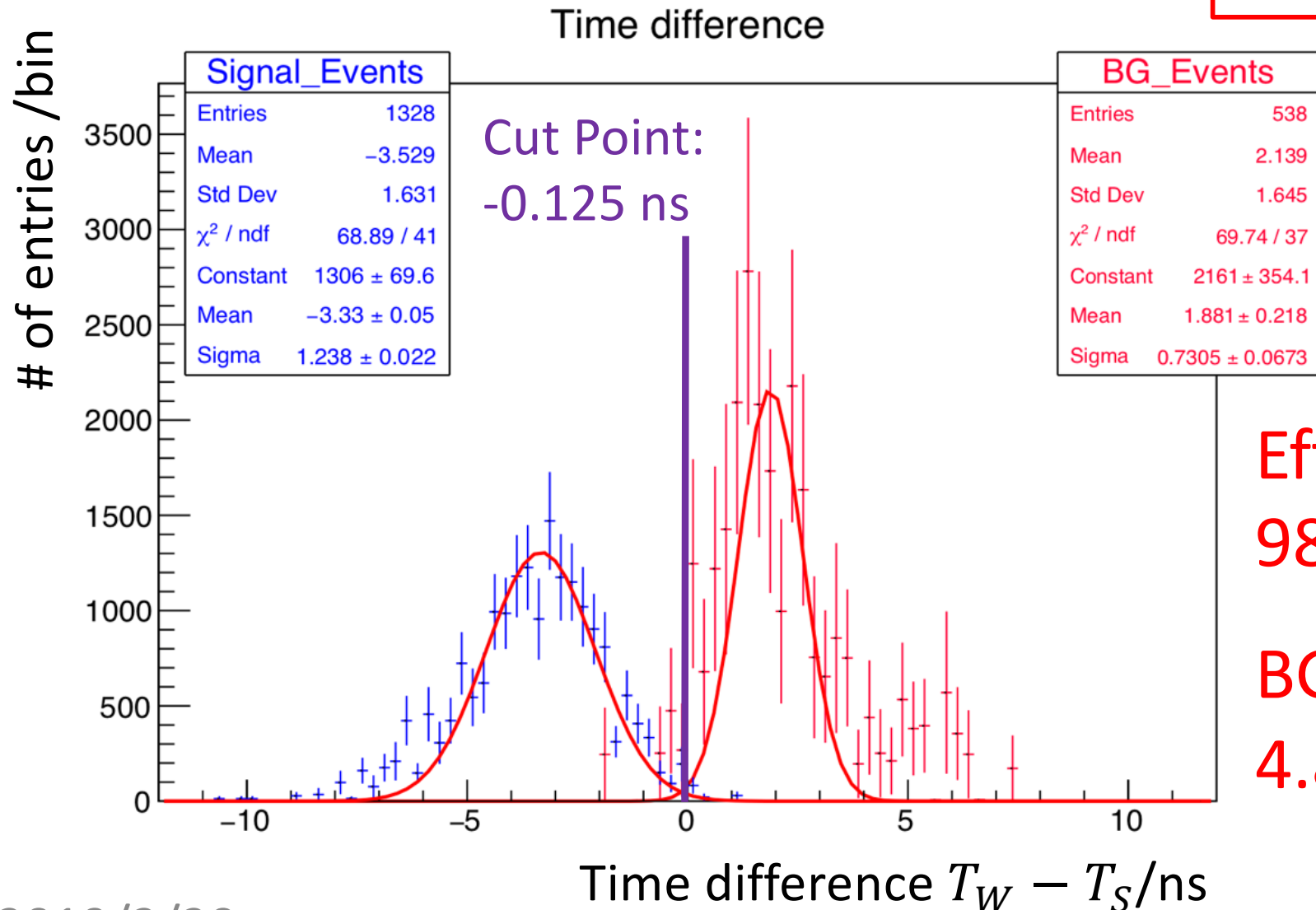


シミュレーションによる 運動方向同定能力の評価



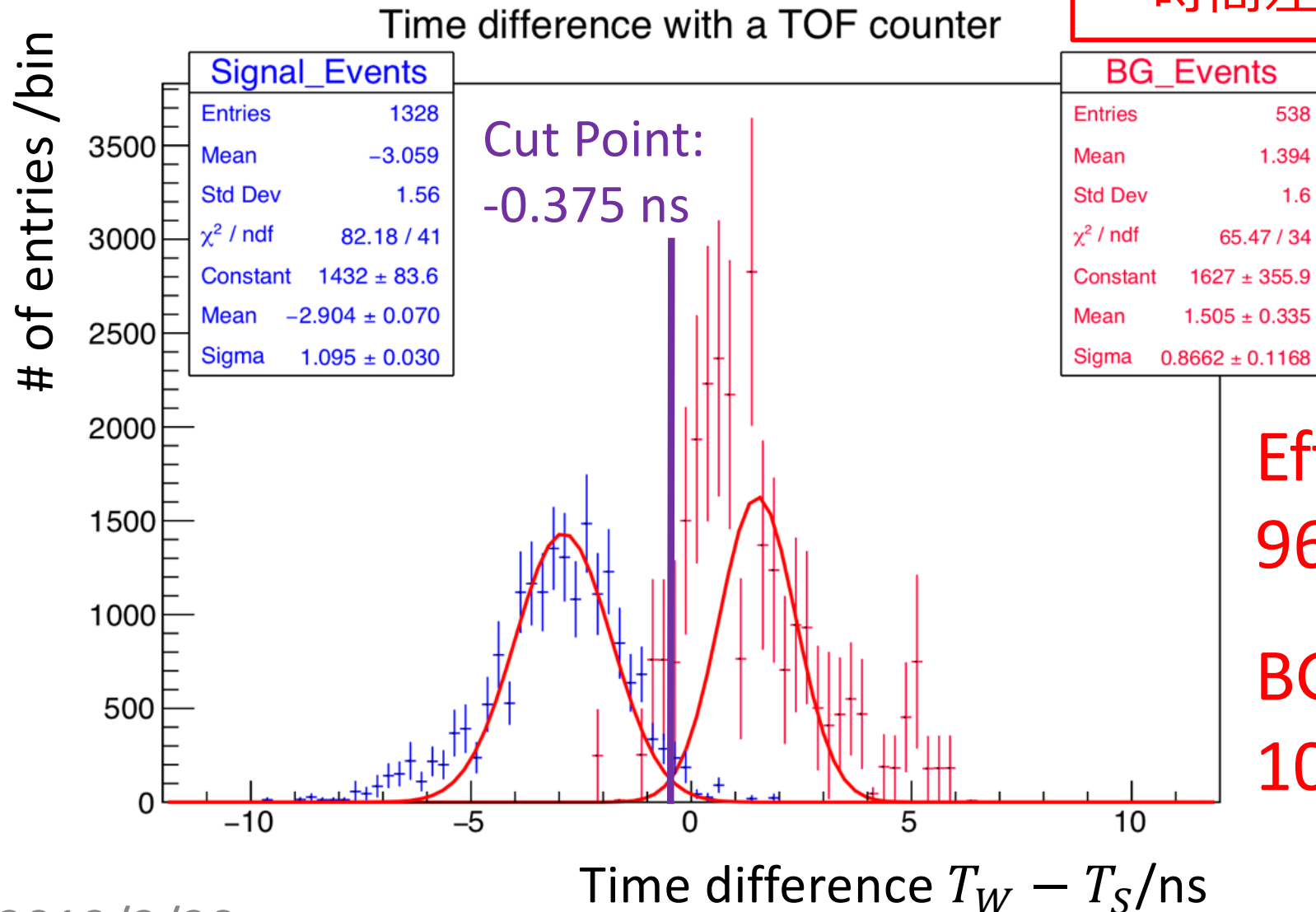
シミュレーションによる 運動方向同定能力の評価 - WAGASCIとSide-MRDのみ

十分な
運動方向
同定能力



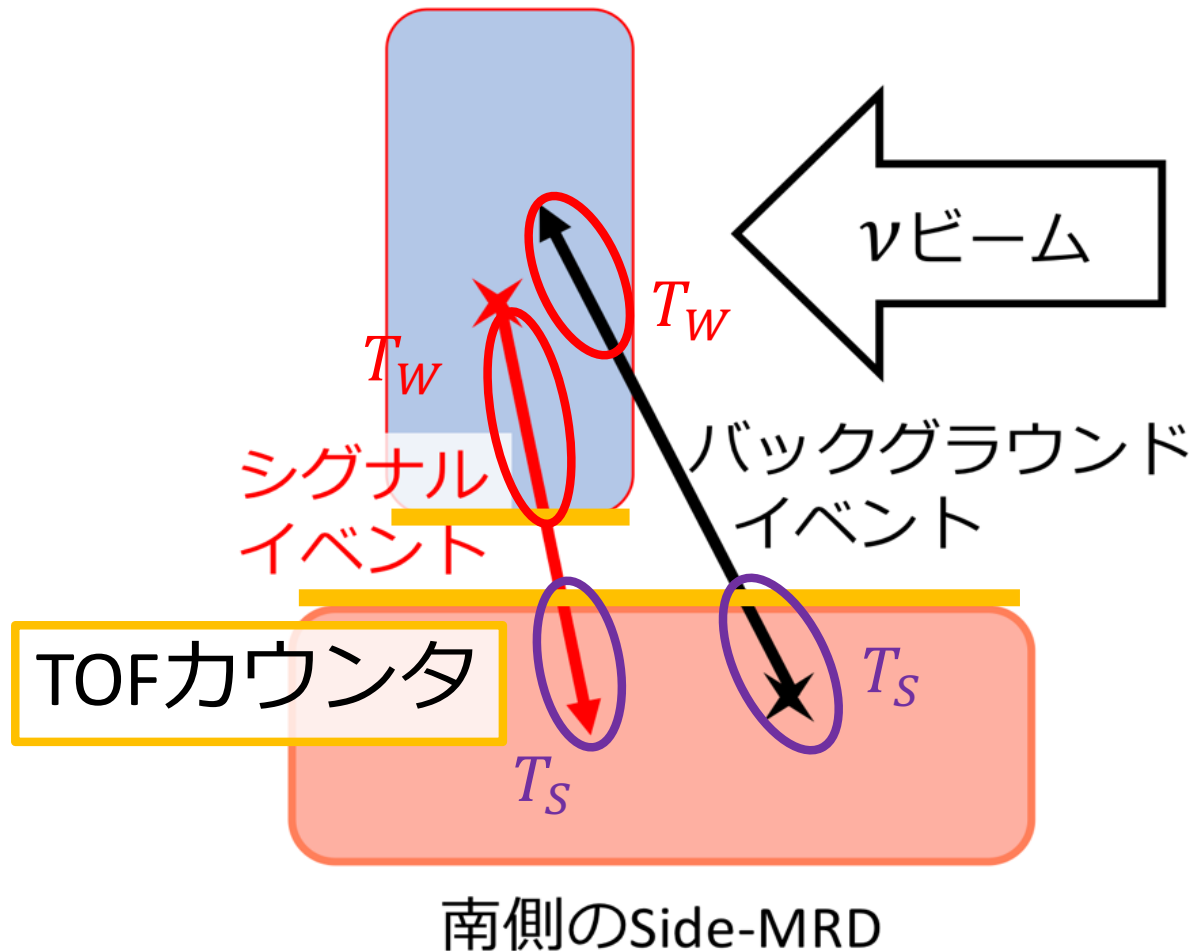
シミュレーションによる 運動方向同定能力の評価 - TOFカウンタを追加

能力が悪くなった
← シグナルイベント
とBGイベントの
時間差が短縮



シミュレーションによる 運動方向同定能力の評価 - TOFカウンタを追加

下流側のWAGASCI検出器



能力が悪くなった
← シグナルイベント
とBGイベントの
時間差が短縮

TOFカウンタによっ
て時間平均が 0 ns に
寄っている

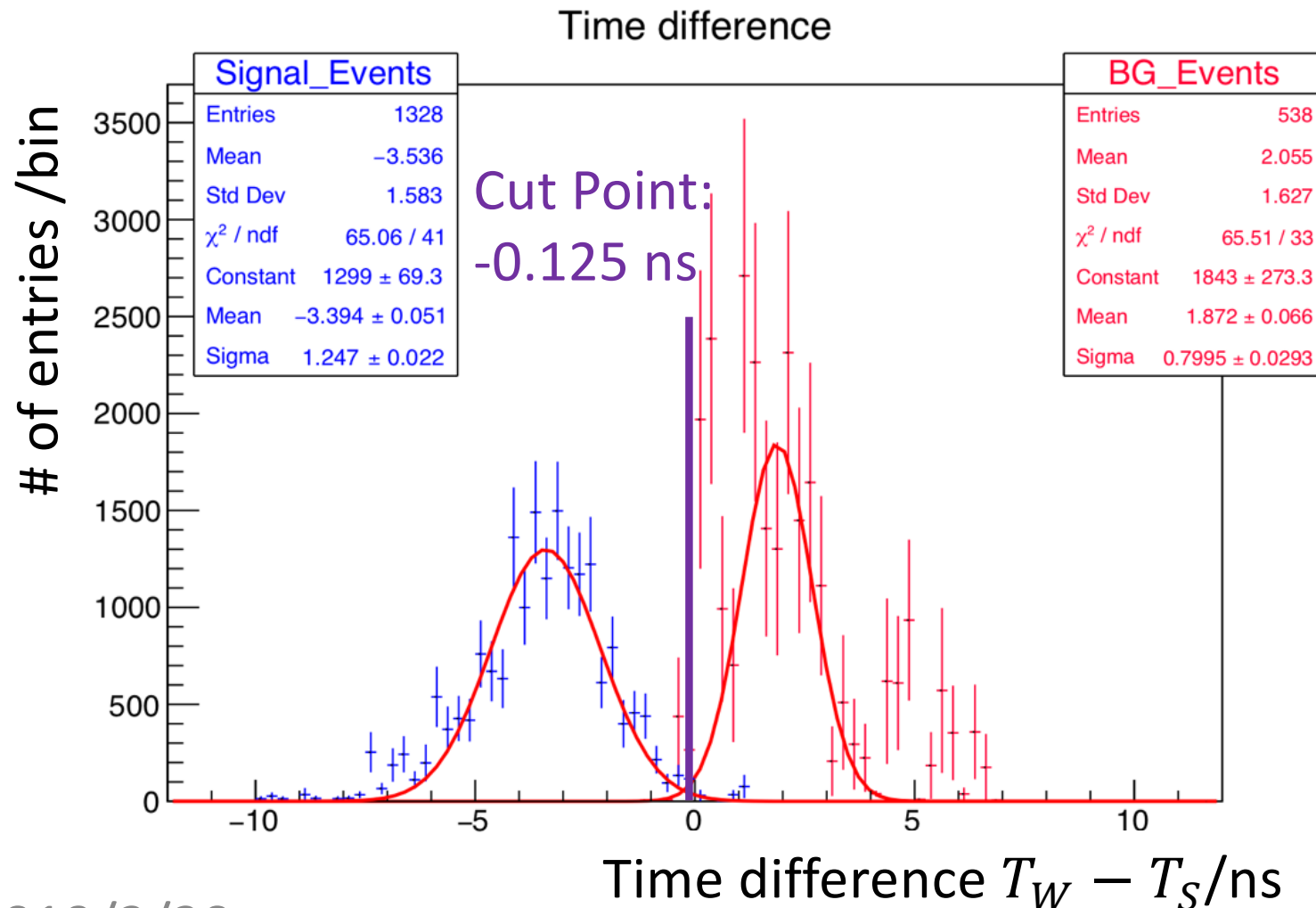
Efficiency:
96.6%

BG 混入率:
10.6%

シミュレーションによる 運動方向同定能力の評価 - Side-MRDをアップグレード

能力の向上
← 各イベントの
時間差のばら
つきが減少

(EJ-230をSide-MRDのシンチレータとして用いる)



Efficiency:
98.6%

BG 混入率:
2.8%

まとめ

- 高速応答シンチレータの時間分解能は、
 - 波長変換ファイバと光検出器にMPPCを用いたとき 0.81 ns となった
 - ファイバを介さず、光検出器に光電子増倍管を用いたとき 0.61 ns となった
- シミュレーションにより、
 - 現状のWAGASCI検出器とSide-MRDでも十分な運動方向同定能力をもつことがわかった
 - TOFカウンタを追加することでは運動方向同定能力は向上しないことがわかった
 - Side-MRDのシンチレータをEJ-230にアップグレードすることで運動方向同定能力の向上が見込めることがわかった

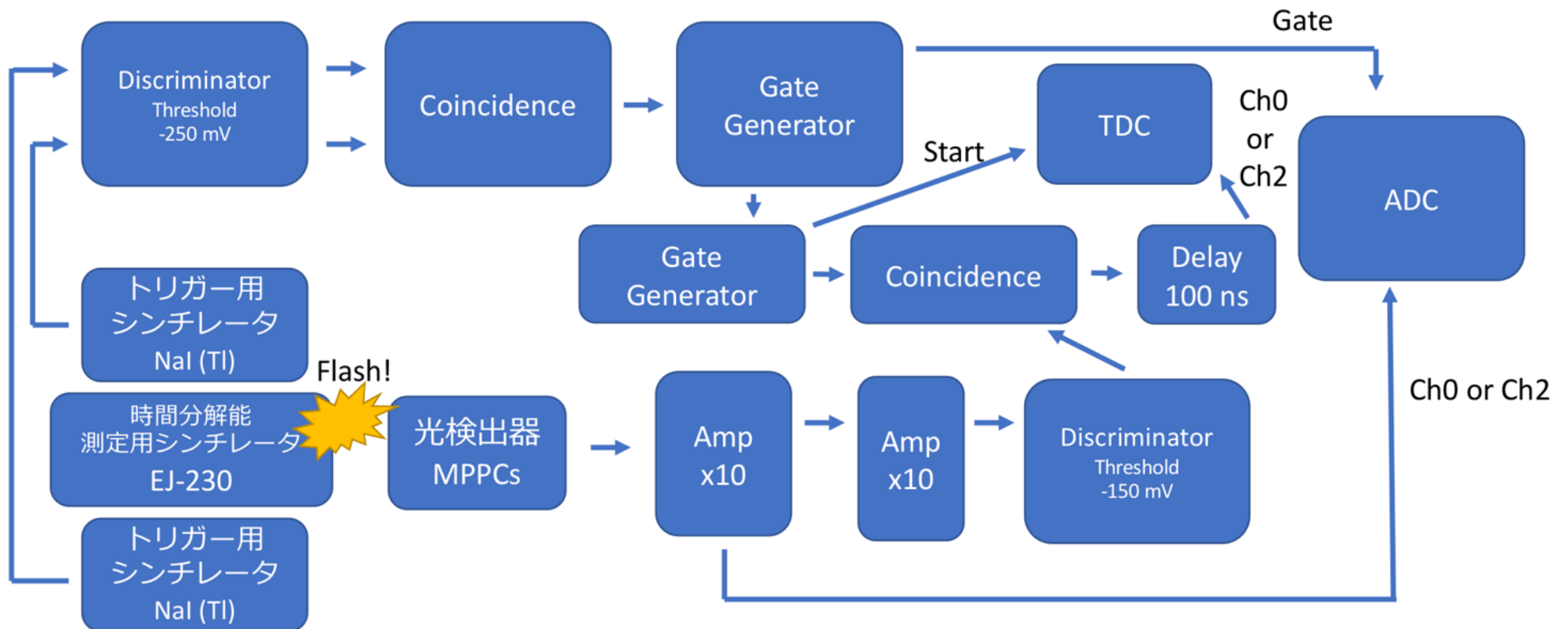
今後の展望

- シミュレーションによる運動方向同定能力の評価
 - ファイバ内の光の伝播などを考慮し、より実験に近いシミュレーションをおこなう
 - TOFカウンタの必要性を調べる
- 高速応答シンチレータ
 - 波長変換しないファイバとMPPCを用いた測定をおこなう
 - さらに時間分解能が良くなる見込み

バックアップ

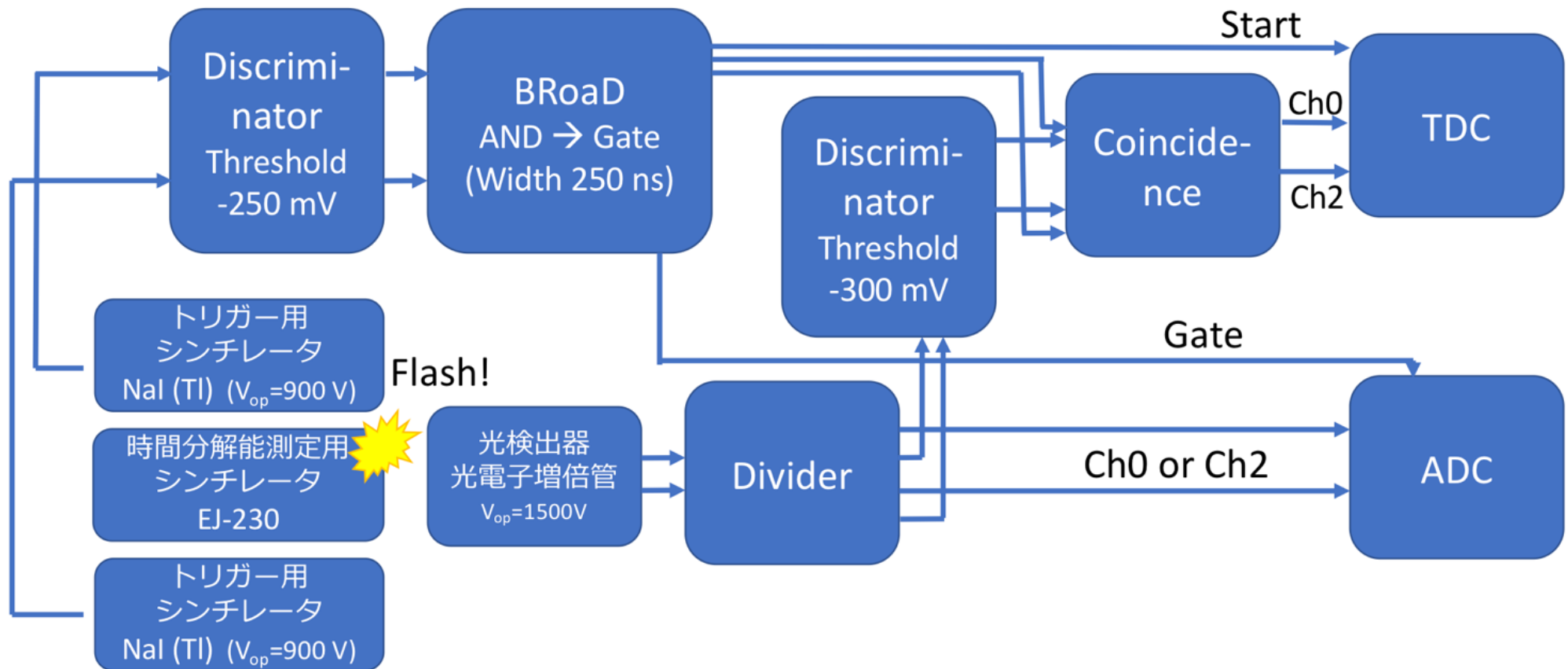
シンチレータの性能評価

- MPPC+波長変換ファイバ

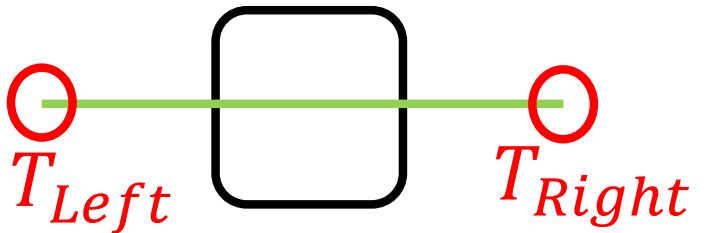


シンチレータの性能評価

- 光電子増倍管



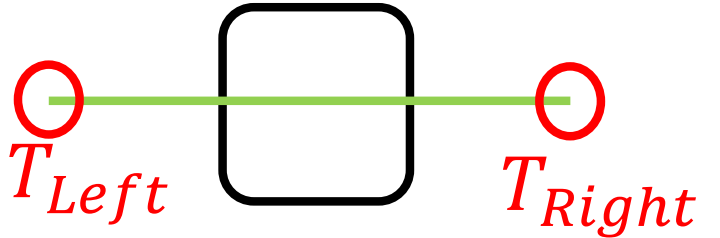
時間差と時間分解能

$T_{Left} - T_{Right}$ の分布を描くことで、

- ・時間分解能が求められる。それは左右それぞれの信号の読み出しにかかる時間によって、時間情報にばらつきが生じてしまうからである。

- ・この時間差で測定できるのは、シンチレータの分解能だけではなく、測定系すべて(ファイバの種類、MPPCなど)の時間分解能である。

時間差と時間分解能

$T_{Left} - T_{Right}$ の分布を描くことで、

・NaI(Tl)のような応答の遅いシンチレータでトリガーしても、応答の早いシンチレータの時間分解能を求められる。これは $T_{Left} - T_{Right}$ にはトリガーシンチレータの時間情報は入っておらず、測定したいシンチレータの時間分解能は、NaIのスタート信号に依存しないで測定できるからである。

時間分解能の計算

$$\sigma_{L-R} = \sqrt{\sigma_L^2 + \sigma_R^2} = \sqrt{2}\sigma_L \quad (\sigma_L = \sigma_R)$$

$$\sigma_L = \frac{\sigma_{L-R}}{\sqrt{2}}$$

$$\text{Time Resolution} = \frac{\sigma_L}{\sqrt{2}} = \frac{\sigma_{L-R}}{2}$$

σ_{L-R} : $T_L - T_R$ の分布の標準偏差

$\sigma_{L(R)}$: 左(右)側の読み出しのみの標準偏差

誤差伝播

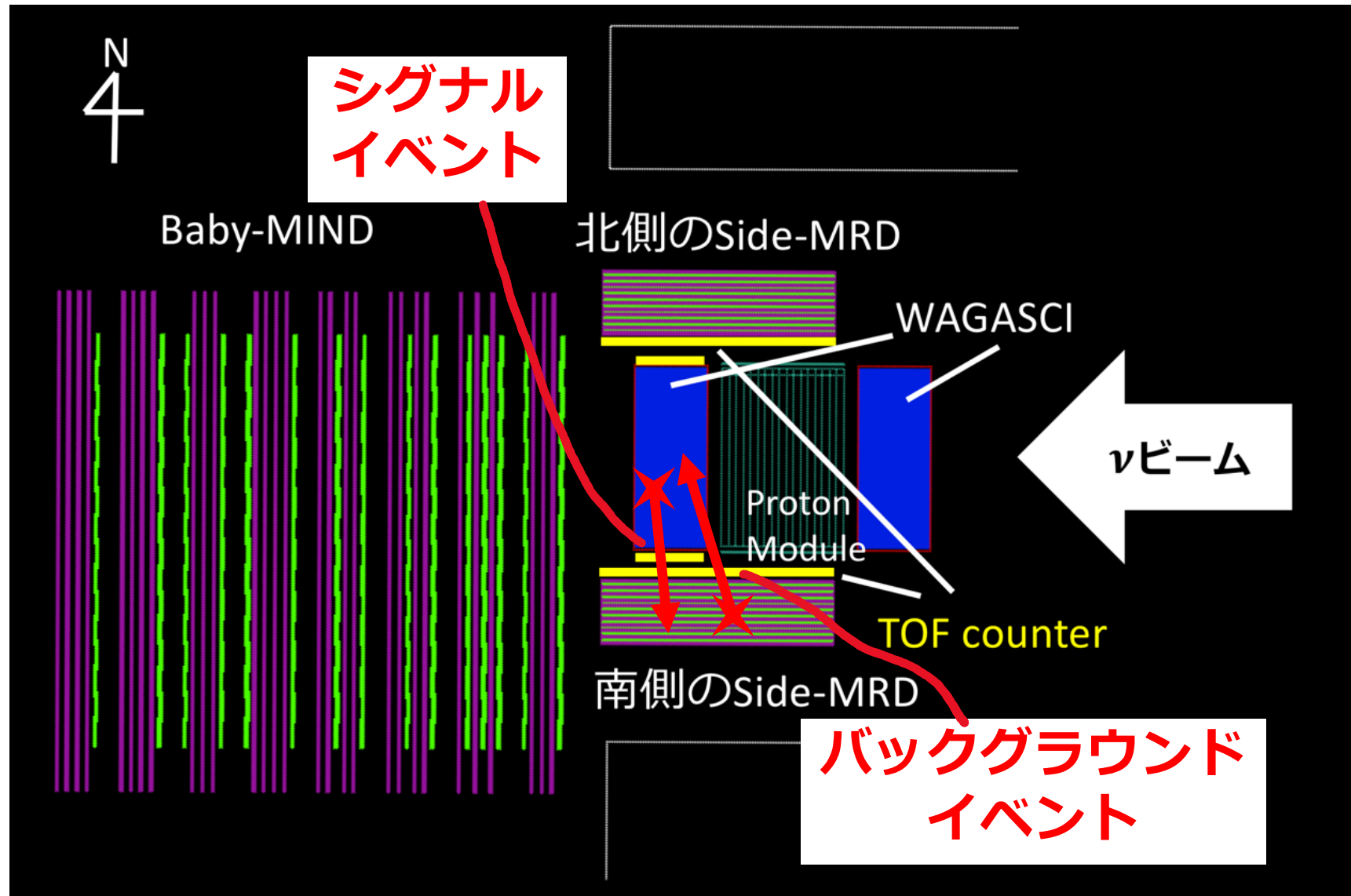
誤差伝播の基本の式： $\left(\frac{\sigma_u}{u}\right)^2 = \sum_i \left(\frac{\sigma_i}{i}\right)^2$

同じ種類のデータがN個あるとき、標準偏差は、

$$\sigma_N = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

で表される

シミュレーションによる 運動方向同定能力の評価



運動方向同定能力の評価

- WAGASCIとSide-MRDのみ

Cut Point	Efficiency	BG rate
-0.875 ns	95.1%	1.0%
-0.625 ns	96.9%	1.9%
-0.375 ns	97.7%	3.8%
-0.125 ns	98.2%	4.8%
0.125 ns	99.3%	9.6%
0.375 ns	99.7%	12.2%
0.625 ns	99.8%	16.8%
0.875 ns	99.8%	22.3%

運動方向同定能力の評価

- TOFカウンタを追加

Cut Point	Efficiency	BG rate
-0.875 ns	93.3%	4.8%
-0.625 ns	95.1%	7.7%
-0.375 ns	96.6%	10.6%
-0.125 ns	97.9%	16.3%
0.125 ns	98.9%	23.6%
0.375 ns	99.1%	32.1%
0.625 ns	99.3%	41.0%
0.875 ns	99.8%	49.3%

運動方向同定能力の評価

- Side-MRDをアップグレード

Cut Point	Efficiency	BG rate
-0.875 ns	96.2%	0.05%
-0.625 ns	97.4%	0.1%
-0.375 ns	97.9%	1.8%
-0.125 ns	98.6%	2.8%
0.125 ns	99.2%	10.3%
0.375 ns	99.4%	19.5%
0.625 ns	99.4%	23.3%
0.875 ns	99.4%	25.9%