

GAPS気球実験におけるトリガースキームの検討

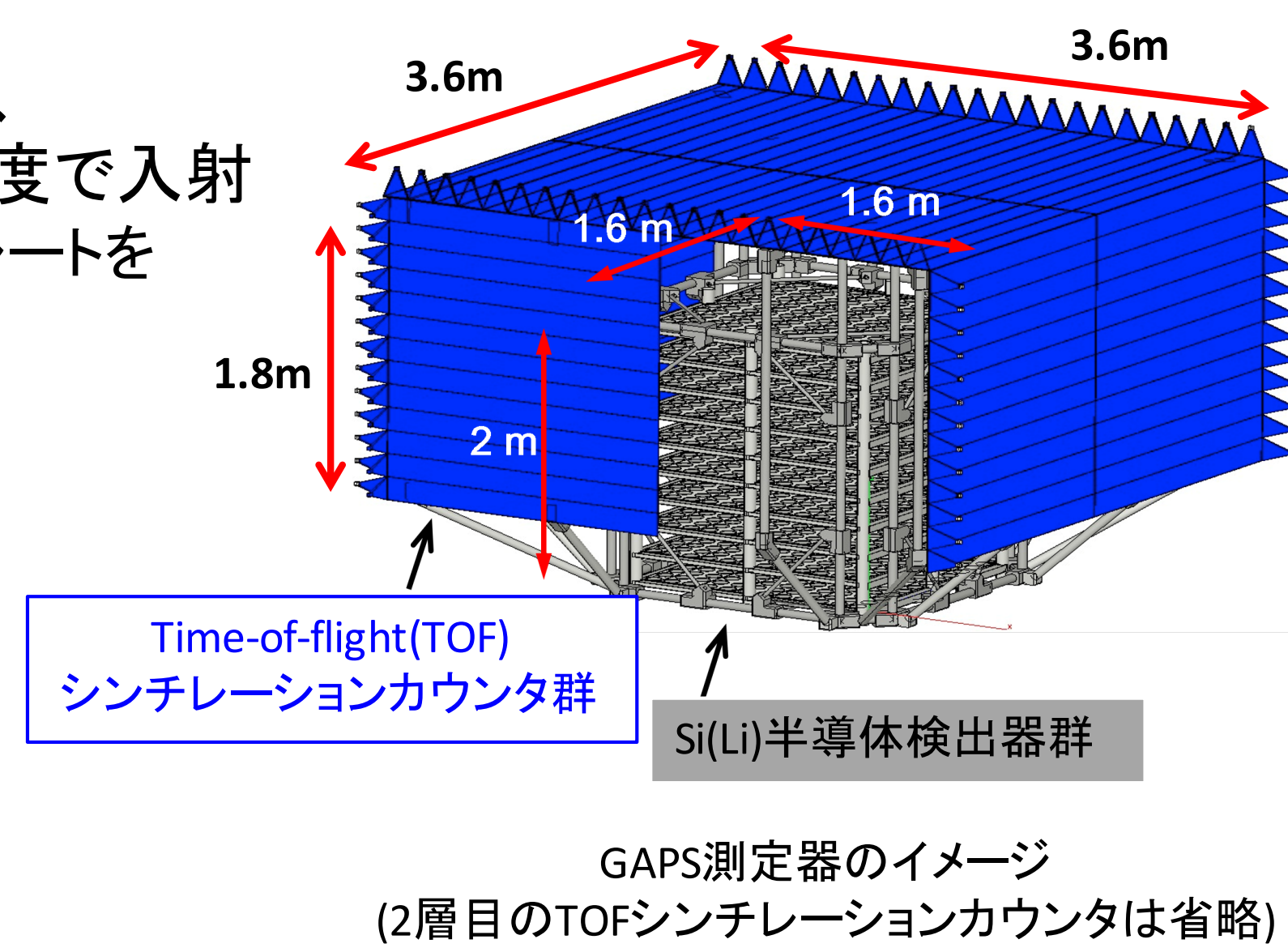
蓑島温志(青学大・院), 大塚壮平(青学大・学), 小財正義(ISAS/JAXA), 清水雄輝(神奈川大),
竹内崇人(青学大・学), 橋本岳(青学大・院), 福家英之(ISAS/JAXA), 吉田篤正(青学大),
吉田哲也(ISAS/JAXA), 渡邊翼(青学大・院), 和田拓也(青学大・院)

概要

General Anti-Particle Spectrometer(GAPS)は、宇宙線中の反粒子の観測によるダークマター探査を目的とする国際共同実験である。系統誤差の少ない信頼できる観測のためにはデータ収集によるデッドタイムを適切に抑える必要がある。そのため、観測対象である微小な反陽子や反重陽子事象の効率的な取得と宇宙線陽子などの膨大なバックグラウンド事象の抑制を両立できるトリガーが必要となる。本発表では、トリガー条件の検討について報告する。

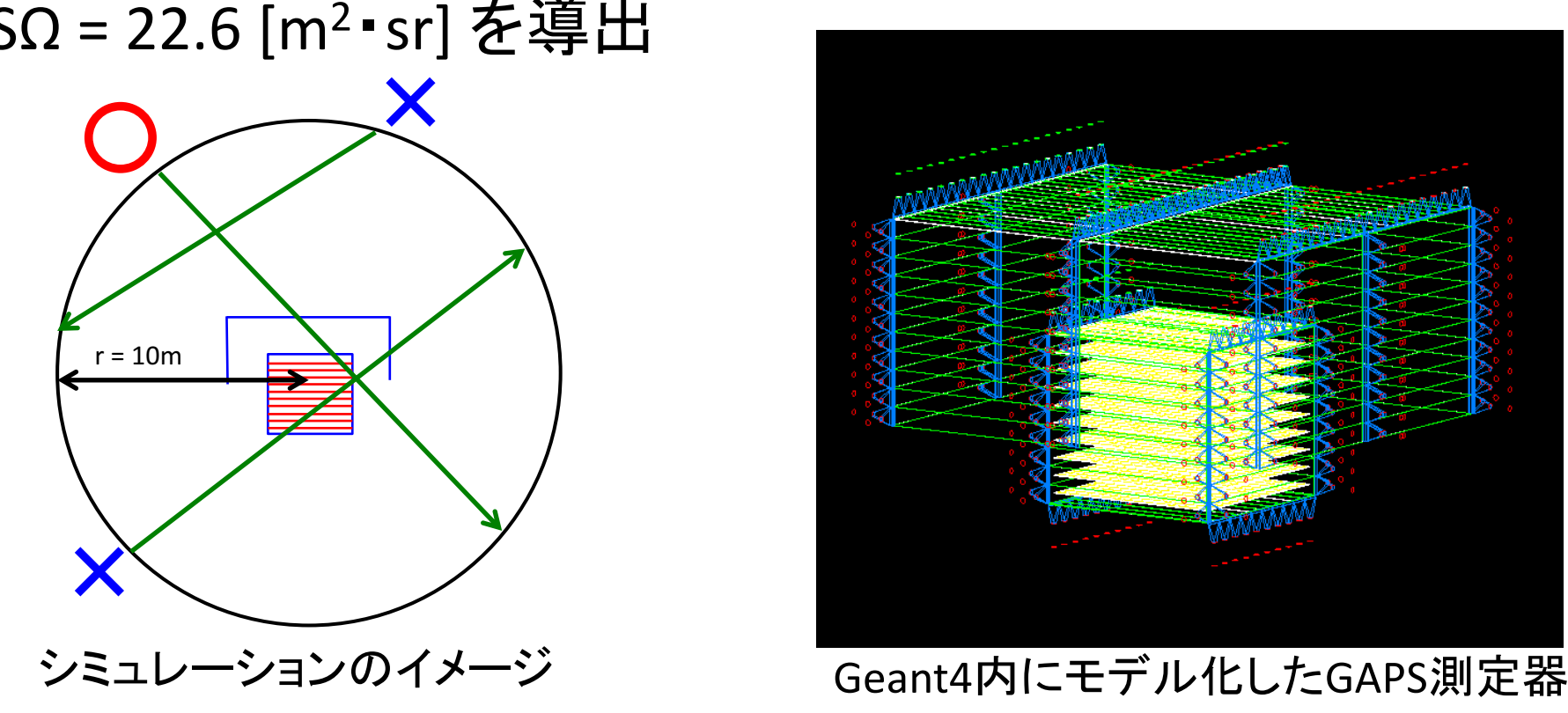
1. General Anti-Particle Spectrometer(GAPS)

- 宇宙線に微量に含まれるとされる低エネルギー反粒子(特に反重陽子、反陽子)の観測を通してダークマターを間接的に探査
- 南極周回長時間気球(3フライト・合計105日間)を使用
- 10層のSi(Li)半導体検出器と2層のTime-of-flightシンチレーションカウンタ群から構成
- GAPSのターゲットとしている低エネルギー領域では、バックグラウンド(宇宙線陽子など)が測定器へ高頻度で入射
 - GAPSのデータ収集系の処理能力を考慮し、トリガーレートをおよそ1kHz程度に抑制したい
- 効率良く稀少な反重陽子・反陽子イベントを選別できるトリガーが必要不可欠
 - トリガー生成によるデッドタイムを抑制できるシンプルなトリガー条件が必要
 - 応答が遅いとされるSi(Li)からの情報を使わずシンチレータ群からだけの信号を使用



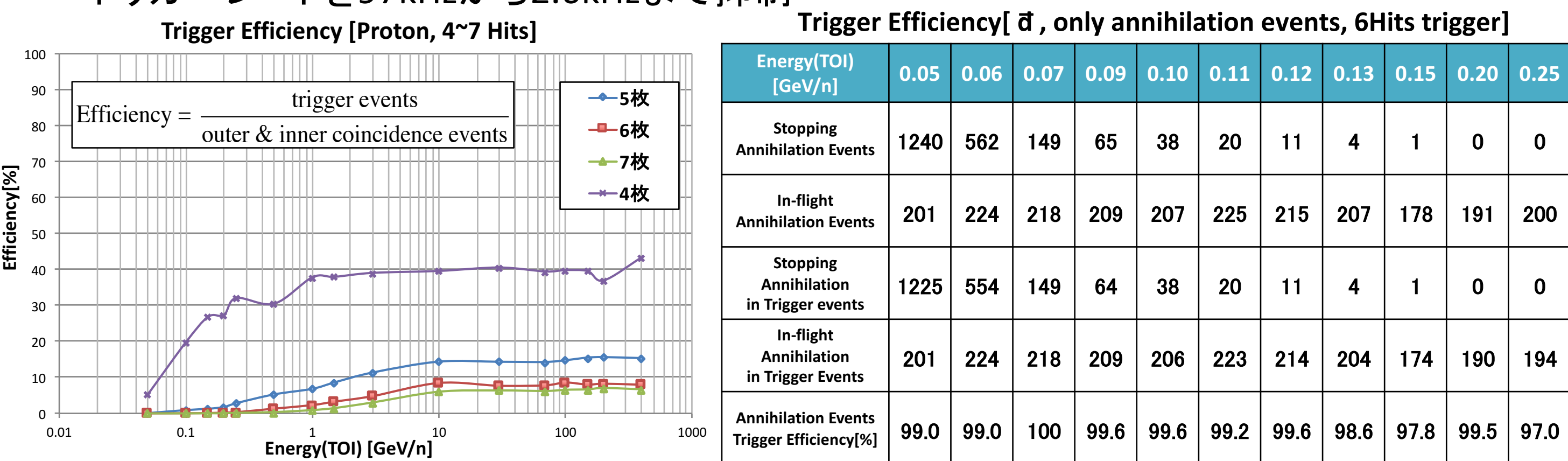
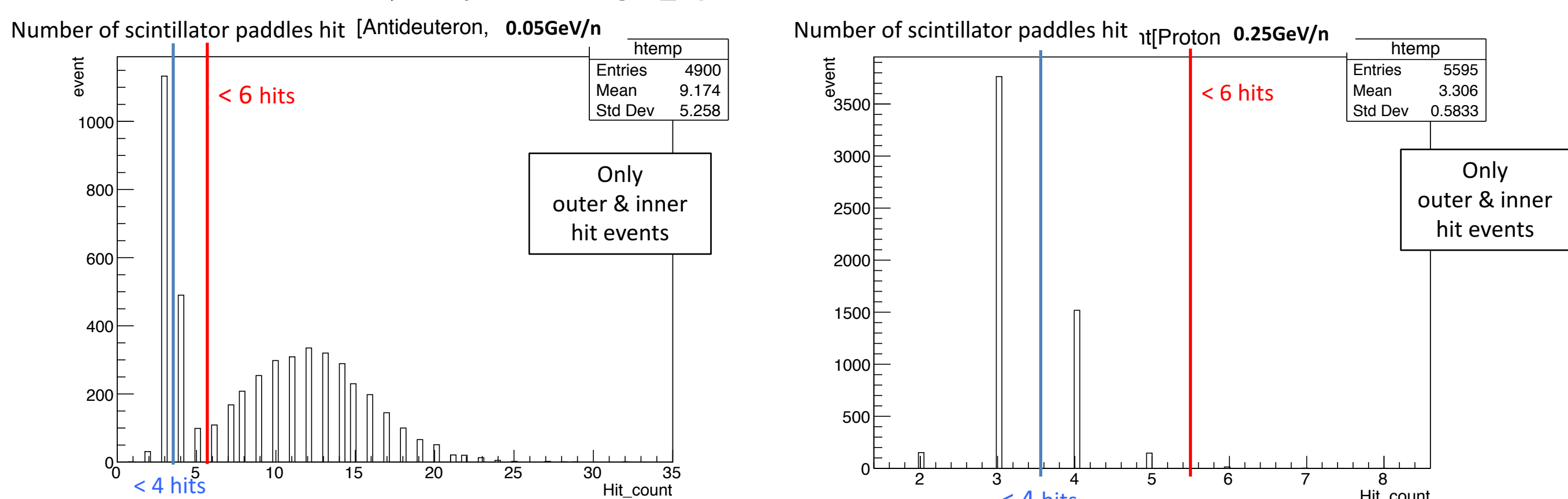
2. 幾何学的SΩ・トリガーレートの推定

- トリガーレートの導出に必要な幾何学的SΩを推定
 - Geant4を用い測定器をモデル化、周囲に球面を定義し等方に入射
 - 発射粒子数Nに対する入射粒子数nの比n/Nを求める事で、幾何学的SΩ = 22.6 [m²・sr]を導出
- 幾何学的SΩからトリガーレートを推定
 - 任意の地点の宇宙線スペクトルを計算できるEXPACSを利用し、南極・気球高度・太陽活動極小期のスペクトル(0.001~400GeV/n)を計算
 - 宇宙線の構成粒子のうち、特にフラックスの高い陽子・ヘリウム・電子のトリガーレートを検証(C, Oは、陽子に比べ4桁以上低いため影響は少ない)
 - 陽子: 約97kHz, ヘリウム: 約6.3kHz, 電子: 約22kHzと推測



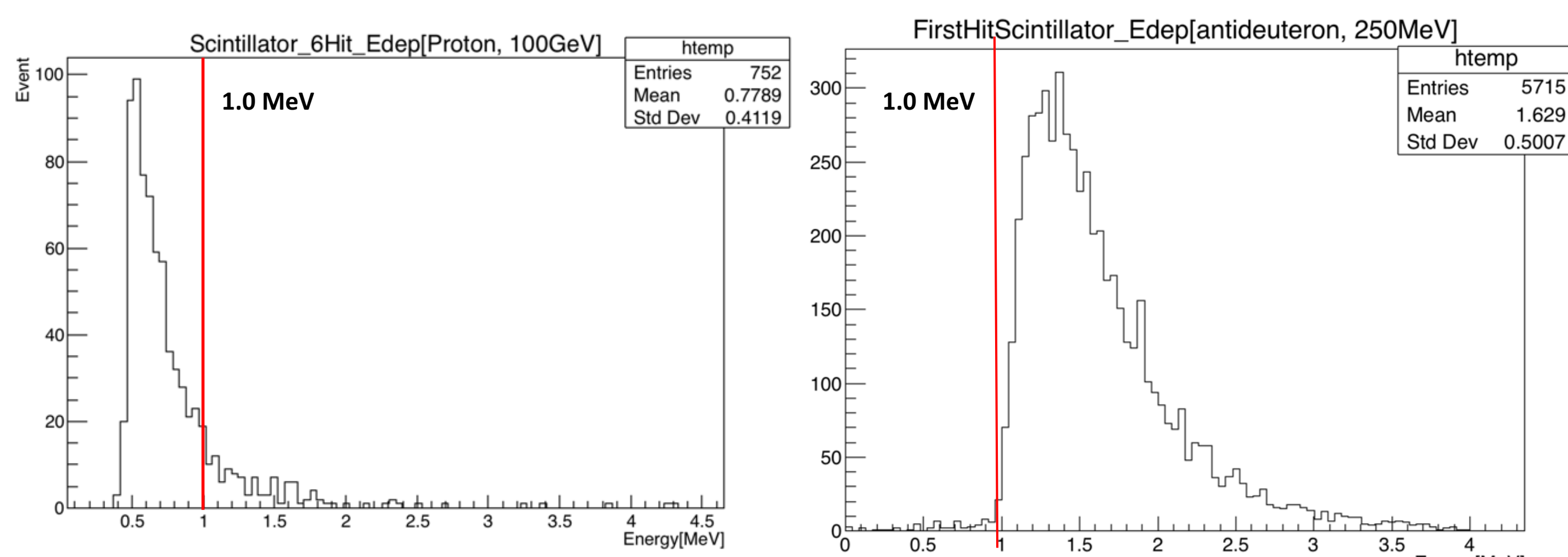
3. シンチレータのヒット数を用いたトリガー条件

- シンチレータでの粒子のヒット数を利用
 - 低エネルギー反粒子は、測定器内で対消滅を起こした際、二次粒子が等方的に広がってシンチレータでのヒット数が増える事を活用
- ヒット数の閾値を4~7枚のパターンで試行
 - 下図から閾値が6枚以上になると、陽子イベントのトリガー効率は大きく変化しないことが分かる
 - 反重陽子イベントを取り除かないようにするため、ヒット数の閾値6枚を採用
- 反重陽子の対消滅イベントを97%以上トリガーしつつ、陽子(0.001GeV~400GeV)のトリガーレートを97kHzから2.6kHzまで抑制



4. シンチレータのエネルギー損失を用いたトリガー条件

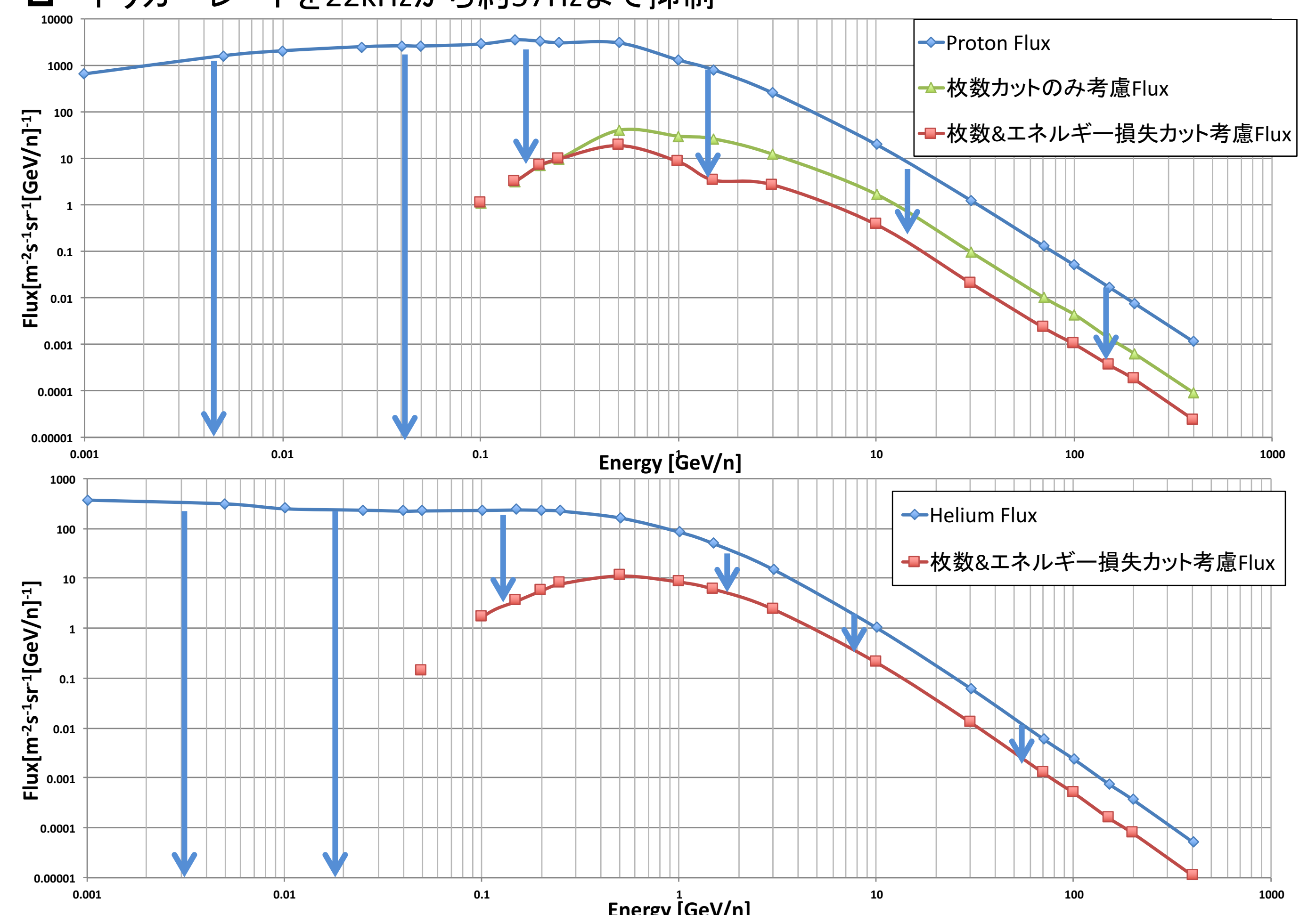
- ヒット数を用いたトリガー条件で取り除けなかったイベントをさらに抑制するため、1層目のシンチレータのエネルギー損失を利用
 - 観測対象となる0.05~0.25GeV/nの反重陽子・反陽子が最も低くなる0.25GeV/nでのエネルギー損失を求め、反重陽子・反陽子イベントがトリガーできる閾値を考慮
 - 6枚以上シンチレータにヒットしてしまっ陽子のエネルギー損失を確認
 - シンチレータでのエネルギー損失が、1.0MeV以下に分布



- 陽子を取り除きつつ、反重陽子・反陽子をトリガーするため、1層目のエネルギー損失の閾値を1.0MeVを採用

5. トリガー条件込みでのトリガーレートの推定

- 上記の両トリガー条件を同時に使用した際の各粒子のトリガー効率を推定
 - 反重陽子(0.05~0.25GeV/n): 対消滅イベントのトリガー効率を約96~99%を保持
 - 反陽子(0.05~0.25GeV/n): 対消滅イベントのトリガー効率は約72~87%程度に減少
 - 反重陽子に比べ、対消滅した際のシンチレータのヒット数が低い事が起因
 - 陽子(0.001~400GeV/n): 97%以上のイベントを排除し、トリガーレートを約3%以下に抑制できる見込み
 - トリガーレートを97kHzから約600Hzまで抑制
 - ヘリウム(0.001~400GeV/n): 79%以上のイベントを排除し、トリガーレートを約21%に抑制できる見込み
 - トリガーレートを6.3kHzから約490Hzまで抑制
 - 1枚目のエネルギー損失が陽子に比べ高くなる点、高エネルギーになるにつれ非弾性衝突による粒子の散乱が多くなりシンチレータのヒット数が増える点の2点が起因
 - 電子(0.001~400GeV/n): 96%以上のイベントを排除し、トリガーレートを約4%以下に抑制できる見込み
 - トリガーレートを22kHzから約57Hzまで抑制



6. まとめと今後

- Geant4内でGAPS測定器をモデル化、幾何学的SΩを見積もった
- シンチレータのヒット数・エネルギー損失を利用したトリガー条件を検討し、トリガーレートを見積もった
 - トリガー条件: シンチレータのヒット数 > 5 && 入射した際のエネルギー損失 > 1.0 MeV
 - 陽子: 97 kHz → 600 Hzまで抑制
 - ヘリウム: 6.3 kHz → 490 Hzまで抑制
 - 電子: 22 kHz → 57Hzまで抑制
 - 反重陽子: 対消滅イベントを96%以上トリガーすることを確認
 - 反陽子: 対消滅イベントを72%以上トリガーすることを確認
- さらなるトリガー条件の最適化
 - ヘリウムによるバックグラウンドとなるイベントを抑制
 - ヒットパターンや時間差などの情報の活用