



GAPS用TOFシンチレーションカウンタの開発



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

○ General Anti-Particle Spectrometer(GAPS)気球実験

GAPS気球実験は長期間の南極周回気球フライトによって、宇宙線中に極微量含まれると考えられている低エネルギーの反重陽子を観測することによりダークマターを間接的に探索し、初期宇宙の未知の物理現象に迫ることを主目的としている日米欧の国際共同実験計画である。2020年の第1回フライト実現を目指して現在準備を進めている。

○ 気球に搭載する検出器

TOFプラスチックシンチレーションカウンタ

- 幅: 16cm
- 長さ: 1.6m~1.8m
- 厚さ: 5mm
- 材質: EJ200(BC408相当)
- ・内外二層
- ・ライトガイドを介して両端から光電子増倍管(PMT)で信号を読み出す

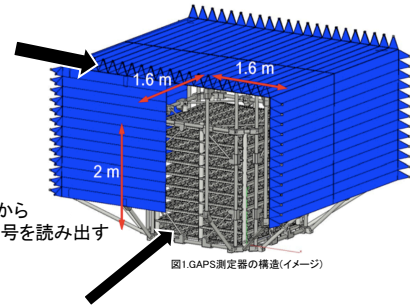


図1.GAPS測定器の構造イメージ

Si(Li)半導体検出器

○ TOFシンチレーションカウンタの位置付け

TOFシンチレーションカウンタは以下の役割を担う。

- $0.2 < \beta < 0.6$ の低エネルギー粒子に対する大面積立体角のトリガー生成
- エネルギー損失(dE/dx)の測定
- 速度 β の測定(反陽子と反重陽子の識別、時間分解能 < 0.5ns)
- PMTの読み出し信号の時間差による通過位置の測定
- 到来方向の測定
- 二次生成粒子の検出
- Veto生成

Si(Li)半導体検出器で得られる情報と組み合わせて粒子の同定を行う。

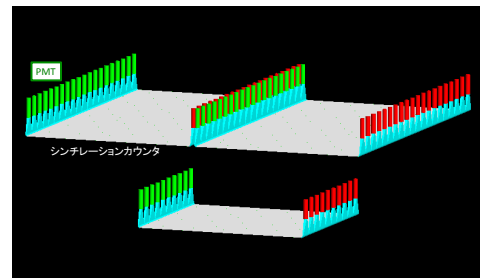


図2.TOFシンチレーションカウンタのジオメトリ(抜粋)

○ ライトガイドの形状による性能の違いの検証

● 研究目的

- ✓ 2012年のBBM動作実証時からのステップアップとして、入射粒子の“弁別精度の向上”とより多くの宇宙線を捕らえるための“大型化”の双方を狙っている
 - シンチレータで発生した光をPMTまで届ける役割を持つライトガイド(LG)の形状の最適化が必要不可欠
- ✓ 先行研究(シミュレーション)ではPMTに届く光子数はLGの曲率に大きく影響しないという結果
 - 先行研究結果の確認とLGの形状の最適化を行う

● シミュレーションと実モデルによる比較

- ✓ LGの形状により検出される光電子数等に違いが生じるか検証
 - シンチレータに対して垂直に曲げたLG(curve型)、曲げずに接着したLG(straight型)(図3)
- ✓ シンチレータを長尺にしすぎると光量が減り性能が低下すること、シンチレータを分割するとLGにより検出有効面積が減るなどのトレードオフの検証

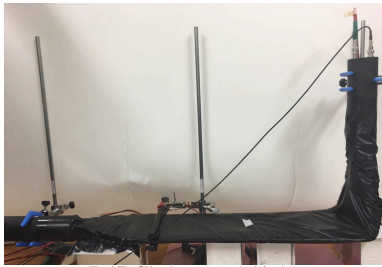


図3.実際に評価したシンチレーションカウンタ

- シンチレータ寸法500mm×160mm×5mmのモデルを作成(図3、図4)
- 両端には形状の異なるLG
- LGの形状による差を調べるため、実モデルでは宇宙線 μ 粒子で光電子数や時間分解能を測定

表1.シミュレーションと試作モデルの測定結果の比較

		シミュレーション	実モデル
curve型	count数	120.6 ± 0.4	92.7 ± 0.2
	時間分解能(ns)	0.17	0.510
straight型	count数	121.1 ± 0.4	97.2 ± 0.2
	時間分解能(ns)	0.15	0.489

- ✓ 値に多少の差はあるが、シミュレーションと実モデルともにstraight型の方がやや高性能という傾向は一致
 - Geant4で設定した物理過程(レイトレーシング)の妥当性を確認した
 - 時間分解能が要求されるものに達していないのはトリガー用PMTの時間分解能が不十分であったことが影響

- ✓ straight型の方が若干性能が良いが、curve型は空間充填率の高さが魅力
 - 今後行うフルスケールのシミュレーションも加味して最終決定する予定

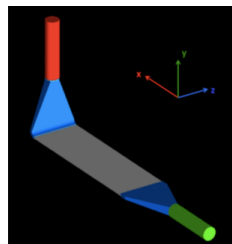


図4.Geant4の仮想空間内でモデル化したカウンタのジオメトリ(図3のGeantモデル)

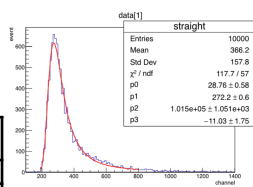


図5.straight型のLGのPMTのバルス波高分布(実モデル)

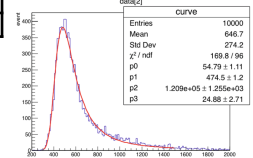


図6.curve型のLGのPMTのバルス波高分布(実モデル)
※両型とも同HV値で測定、meanの差はゲインが異なることに由来

○ 実モデルによる性能評価

● 実モデルでの性能評価の開発状況

- ✓ 実際の測定により近づけるため、シンチレーションカウンタを2層並べての評価試験
- ✓ 読み出しPMTの口径を絞っての性能比較試験も実施予定

○ Geant4によるシミュレーションでの性能評価

● 検出器内で起こるハドロン相互作用の設定

- ✓ 低エネルギー(~300MeV)程度の領域に適したPhysics Listを選択
 - 算出されるcross sectionが実験値と一致することは確認済
 - 今後詳細なシミュレーションを実施予定

● フルシミュレーションに向けて

- ✓ シンチレーションカウンタ(緑)、Si(Li)半導体検出器(黄色)を図7のように配置
- ✓ シンチレーションカウンタ間の距離は1000mmに設定
 - Si(Li)半導体検出器は12個×12個×10層
 - 相互作用の実装を含め、コーディングを開発中

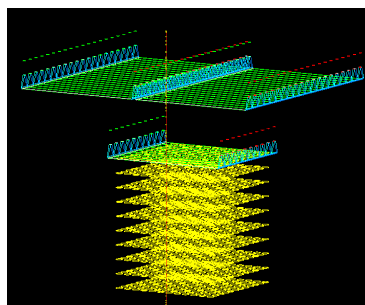


図7.仮想空間内での、Si(Li)検出器まで含めた測定器のジオメトリ

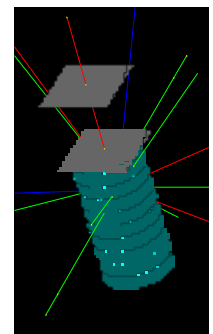


図8.TOF(2層)とSi(Li)に反陽子を入射した際の反応例

○ まとめと今後の展望

● Geant4によるシミュレーション

- ✓ シンチレーションカウンタの詳細な寸法は今後シミュレーションと実モデルの評価によって、最適化する
- ✓ Physics Listの設定の最適化

● 実モデルによる評価

- ✓ 500mm×160mm×5mmのシンチレーションカウンタを作成、評価
 - シンチレータ長1500mmのモデルを用いた比較試験を実施中
 - 読み出しセンサの光電面積を変えての比較試験も実施予定

● PMTのキャリブレーションシステムの開発

- ✓ 400~500本のPMTを較正するためのシステムを開発中

○ PMTのキャリブレーションシステムの開発

- ✓ 実機では400~500本のPMTを1年余の期間に較正する必要が生じると見込まれる
 - 現在、それを見越したキャリブレーションシステムを準備中