

SMILE 10 :

次期気球実験SMILE-IIへの 気球システムの設計と開発状況

澤野 達哉



谷森達, 窪秀利, 身内賢太郎,
水本哲矢, Parker Joseph,
岩城智, 中村輝石, 松岡佳大, 古村翔太郎, 佐藤快,
高田淳史^A, 岸本祐二^B, 坂東信尚^C, 福家英之^C,
上野一樹^D, 株木重人^E, 黒澤俊介^F

京大理, 京大生存圏研^A, KEK^B, ISAS/JAXA^C,
理研^D, 東海大医^E, 東北大金属研^F

Outline

- ▶ **MeVガンマ線観測**
- ▶ **検出器シミュレーション**
 - シンチレータ配置の最適化
 - TPC容器軽量化
- ▶ **気球システム開発**
 - 電源システム開発
 - 姿勢制御システム開発
- ▶ **まとめ**

MeV γ -ray Science

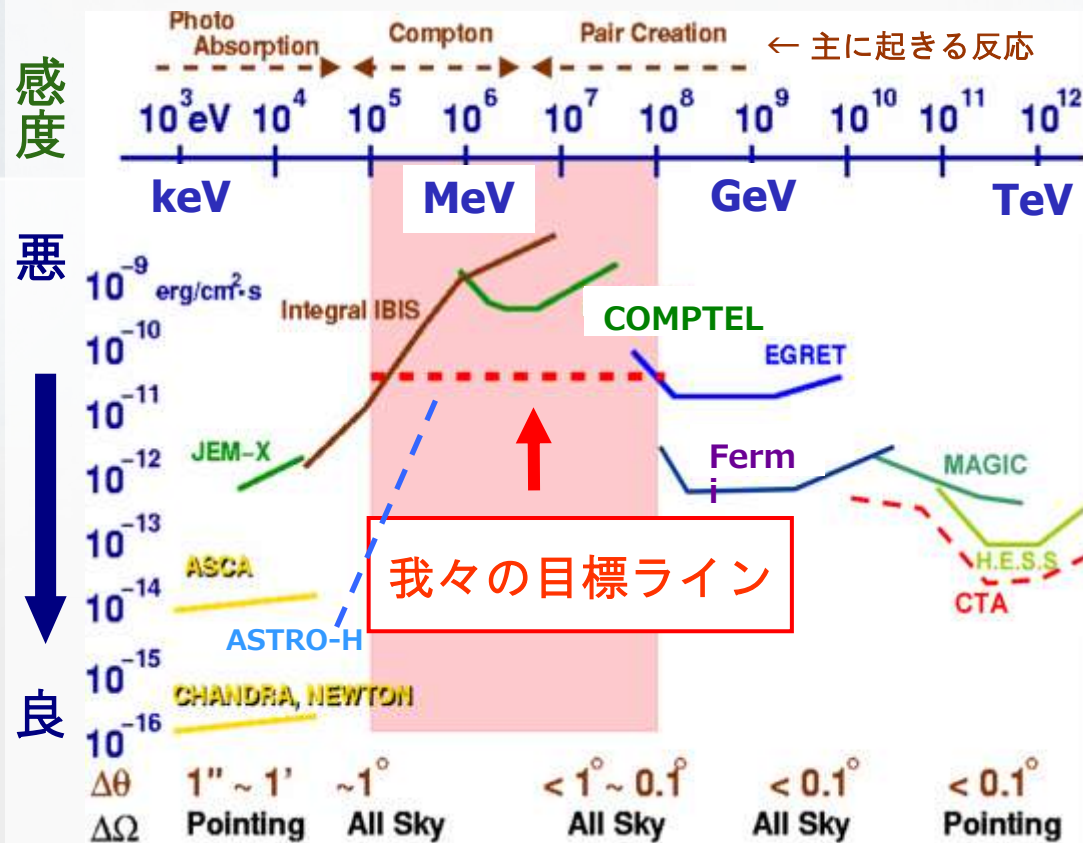
天文学的意義

- ✓ 宇宙線起源
- ✓ 加速機構問題
- ✓ leptonic or hadronic
シンクロトロン放射
逆コンプトン放射
 π^0 崩壊
- ✓ 元素合成
核ガンマ線 ^{26}Al , ^{44}Ti

地球物理学的意義

- ✓ 地球近傍で $\sim\text{MeV}$ まで電子加速、極域への降り込み
- ✓ 高エネルギー粒子の大気への影響
相対論的電子の降り込み(Relativistic Electron Precipitation, REP)
からの制動放射(REP-burst)

X \cdot γ 線観測装置のエネルギーバンドと感度



諸問題に立ち向かうにはMeVガンマ線観測技術の確立が必要

Electron-Tracking Compton Camera (ETCC)

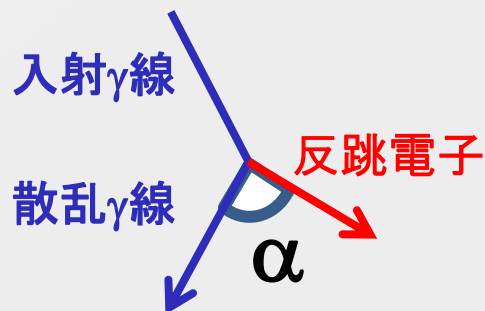
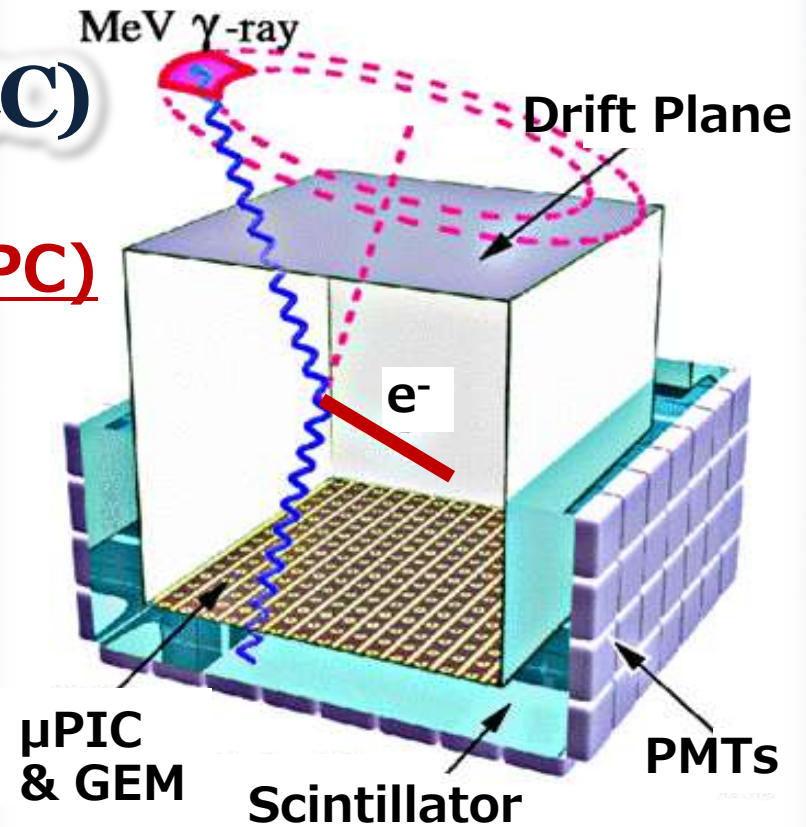
Time Projection Chamber (TPC)

- ✓ 反跳電子検出
- ✓ エネルギー & 3次元飛跡

Scintillation Camera

- ✓ 散乱 γ 線検出
- ✓ エネルギー & 吸収点

- ✓ 光子毎にエネルギーと到来方向を決定
- ✓ 広視野 $\sim 3\text{str}$
- ✓ 運動学を利用したBackground除去



$$\cos \alpha_{\text{geo}} = \vec{g} \cdot \vec{e}$$

Compton scattering

$$\cos \alpha_{\text{kin}} = \left(1 - \frac{m_e c^2}{E_\gamma}\right) \sqrt{\frac{K_e}{K_e + 2m_e c^2}}$$

nucleus recoil, proton-induced γ ,
 2γ , random coincidence

SMILE

Sub-MeV gamma-ray Imaging Loaded-on-balloon Experiment

(10cm) ^3MeV γ 線カメラ 0.1~1 MeV
気球@三陸 35km 4時間

動作実証 宇宙拡散 γ ・大気 γ 線測定
(2006年9月に実施)



(30cm) ^3MeV γ 線カメラ 0.1~1 MeV
気球 35km, 2-3時間, 大樹町

長期運用システムの動作実証 2012

極周回気球 40km, ~2週間, スウェーデン キルナ
明るい天体 REP-burstの観測 2013~



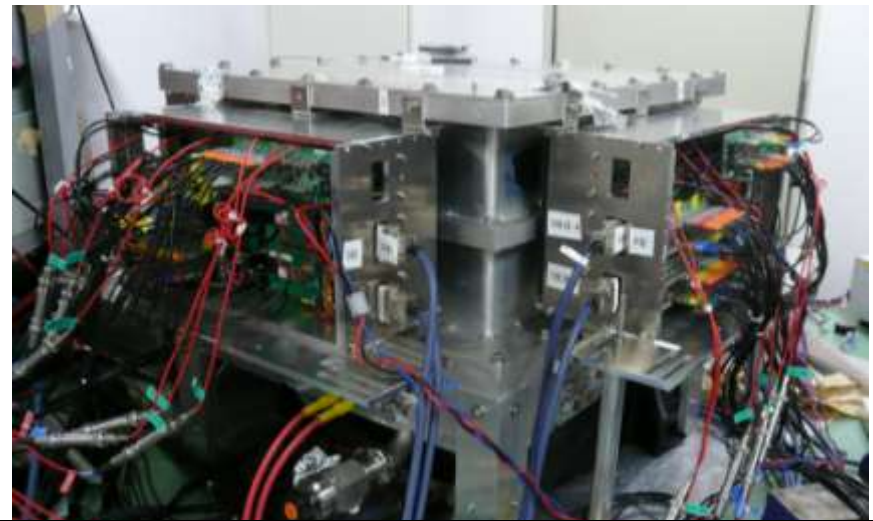
(40cm) ^3MeV γ 線カメラ 0.1~10 MeV
極周回気球

明るい天体 REP-burstの観測 2014~



(50cm) ^3MeV γ 線カメラ 0.1~30 MeV
衛星 ~数年間

全天サーベイ



SMILE-II (30cm) $^3\text{ETCC}$ プロトタイプ

感度向上へ向けた開発

- ✓ シミュレータによる検出器最適化 (本講演)
- ✓ データ取得システムの改良 (佐藤講演 17aSX-4)
- ✓ TPC飛跡検出アルゴリズムの改良 (古村講演 17pSH-2)
- ✓ 姿勢制御(本講演)

長期フライトシステムの開発

- ✓ 省電力化 (岩城講演 17pSH-3, 佐藤講演)
- ✓ 電源システムの開発(本講演)

Optimization of Arrangement of Scintillation Camera

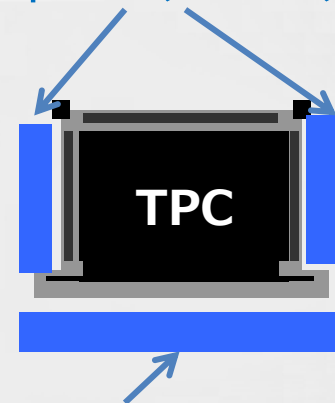
ETCCフライトモデルの電力制限
 ⇒搭載可能シンチレーションカメラ数
216個 (プロトタイプ108個)

開発した(30cm)³ ETCCフルシミュレータ※
 を用いてシンチレータ&PMTの配置を最適化

※2010年秋季岸本講演(11pSG-11)

2x3 MA-PMTs
 =1 unit

側面シンチレータ



底面シンチレータ

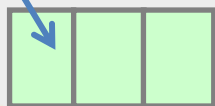
プロトタイプ

底面: **36 PMTs**

側面: **18x4 PMTs**

108 PMTs

1 unit

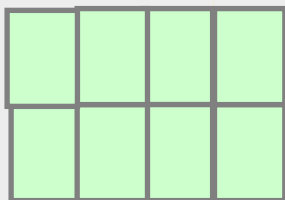


側面重視モデル

底面: **24 PMTs**

側面: **48x4 PMTs**

**TPCの側面
全体を覆う**

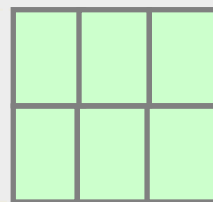


底面重視モデル①

底面: **72 PMTs**

側面: **36x4 PMTs**

**側面中央上下を
重点的に覆う**

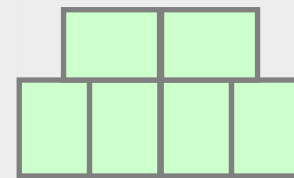


底面重視モデル②

底面: **72 PMTs**

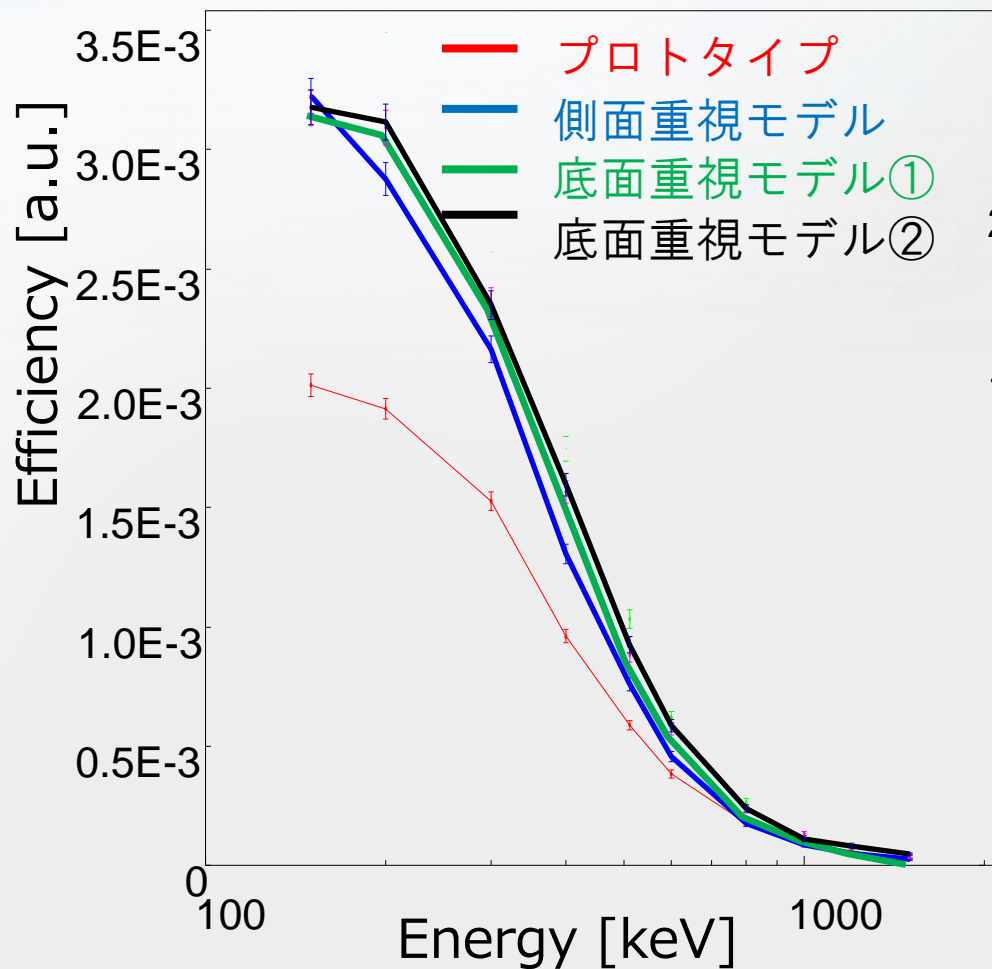
側面: **36x4 PMTs**

**側面下部の左右を
重点的に覆う**

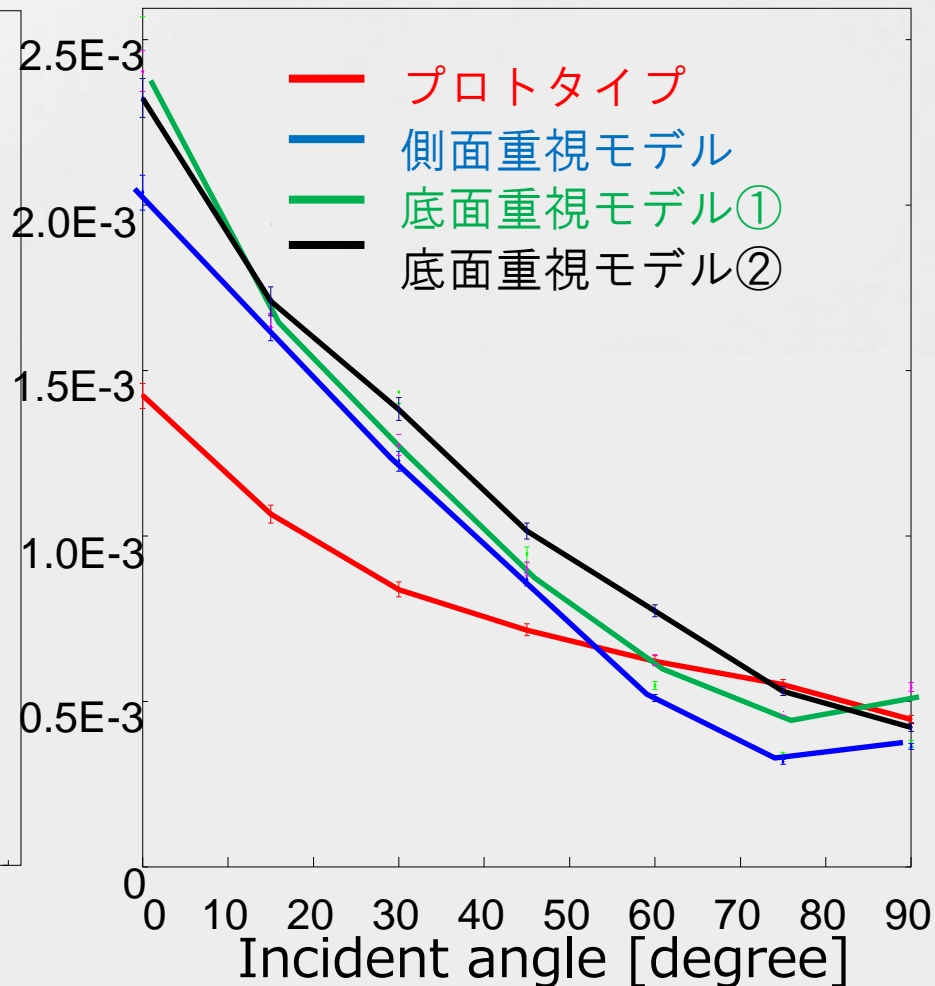


Calculated Efficiency for Each Arrangement

0度入射に対する検出効率



300keVに対する検出効率

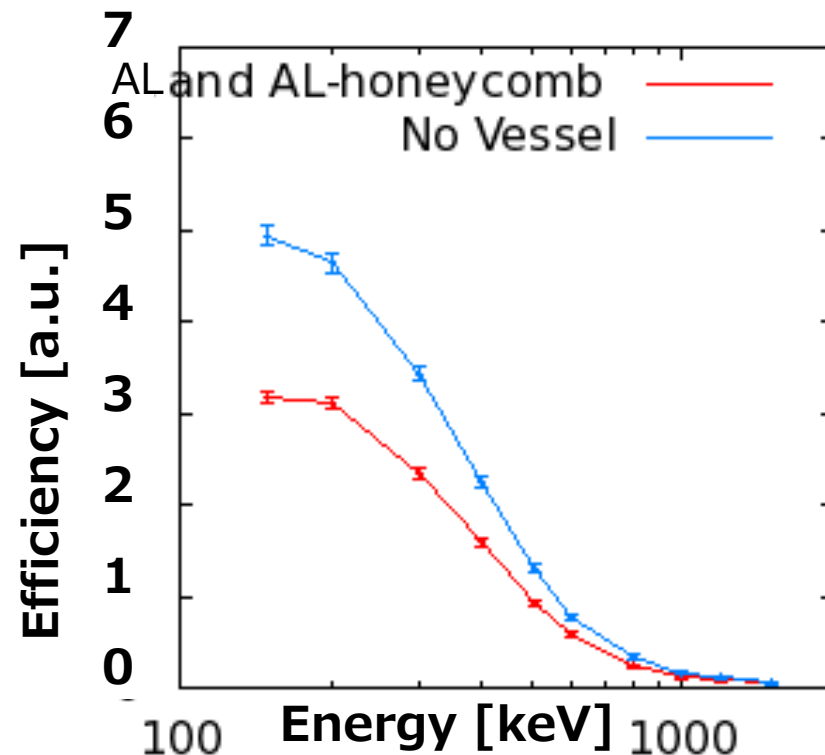
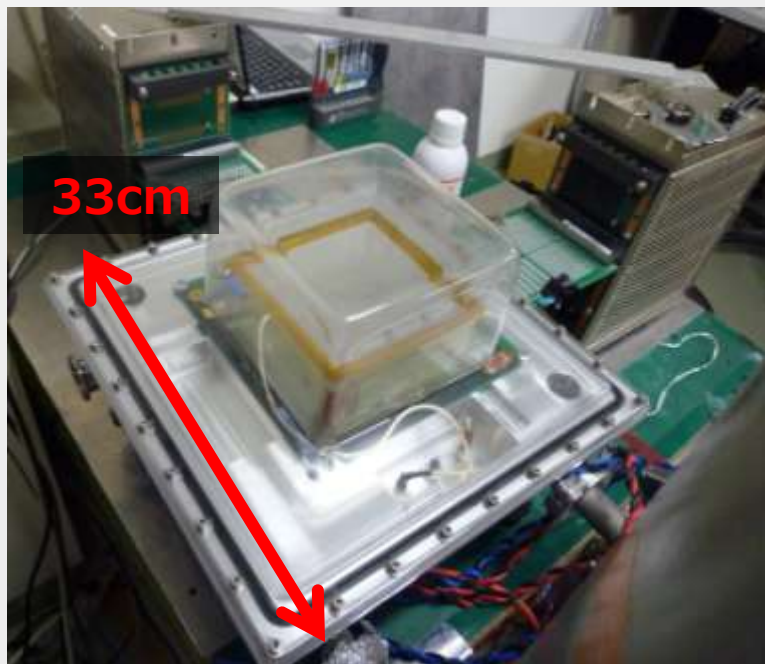


底面重視モデル②を採用 プロトタイプ比 **~1.7倍** for 300keV, 0度入射

Optimization of material of TPC vessel

TPCガス封じ切り容器

- ✓ アルミ製容器での散乱による損失
30 - 40% for 200-300 keV
- ✓ 樹脂製容器による軽量化を検討
1.5気圧耐圧



10cm角TPCの軽量容器を試作した
✓PET樹脂製、2mm厚
✓従来のアルミ製フランジで密封

Expected Significance for Crab

検出器

- ✓ (30cm)³ETCC, 216PMTs
- ✓ シンチレータ配置：底面重視モデル②
- ✓ TPC封入ガス：CF₄混合ガス, 1気圧
(M. Takahashi+ 2010)

バックグラウンド

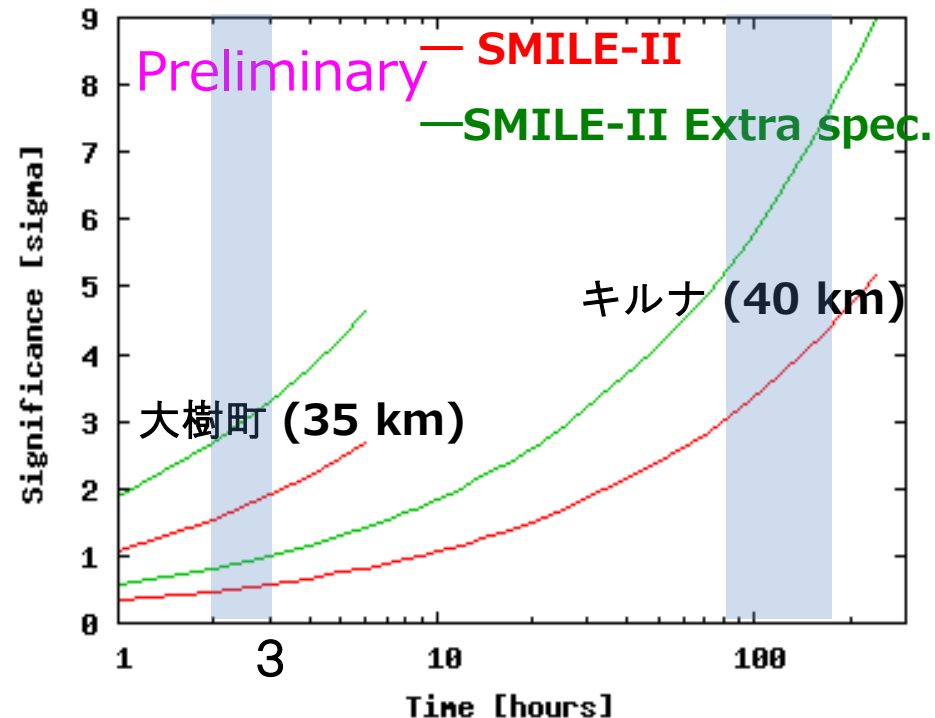
- ✓ Lingモデル(1975)をべきで100keVまで拡張
- ✓ キルナでのバックグラウンドは大樹町の5倍を仮定

開発項目(右図の緑)

- ✓ ガス圧：1.5atm
- ✓ 軽量TPC容器の使用

$$Significance = \frac{S}{\sqrt{S+2B}}$$

S : Crabからの光子数
B : バックグラウンドの光子数



大樹町：大型ETCC搭載気球システムの動作実証
キルナ：天体観測
により段階的なミッション遂行を目指す

Power Supply for SMILE-II

電池 (SMILE-I: 1次電池)

- ✓ 2次Liポリマー電池: EdisonPower, 24V, 200Ah
- ✓ 太陽電池: Sunpower, 仰角固定, 1500W / 12m² (Max.)
⇒ 総消費電力450W, 24時間運用に対応
- ✓ 通信系、電源制御系にバックアップの1次電池

電圧変換 (SMILE-I: レギュレータ)

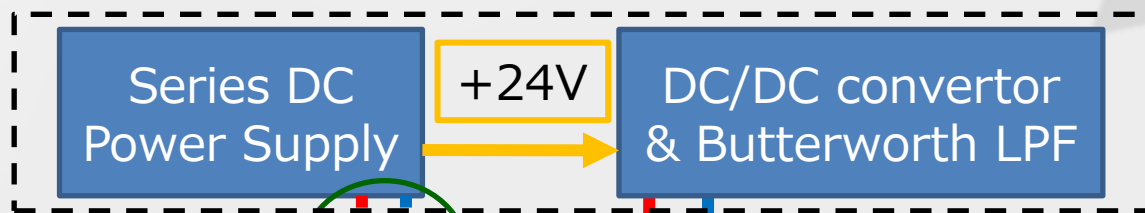
- ✓ DC/DC: COSEL, SFS30243R3, Eff. 91%(Typ.)
- ✓ LPF: Butterworth 3次

DC/DC&LPF

37cm

Series DC Supply

SMILE-II prototypeで試験



地上での供給

μ-PICアナログノイズレベル

Series DC供給 400 ns

10 mV

↔

DC/DC & LPF

Attitude Control for SMILE-II

姿勢制御

仰角

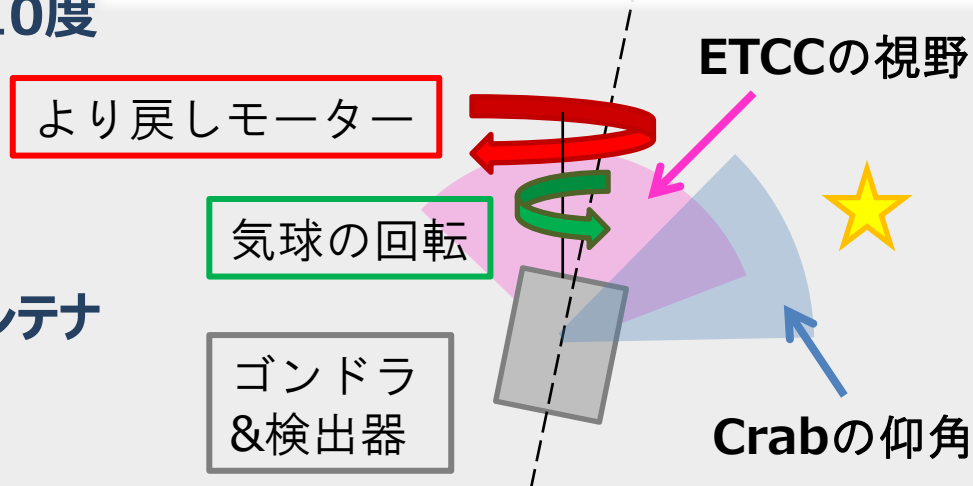
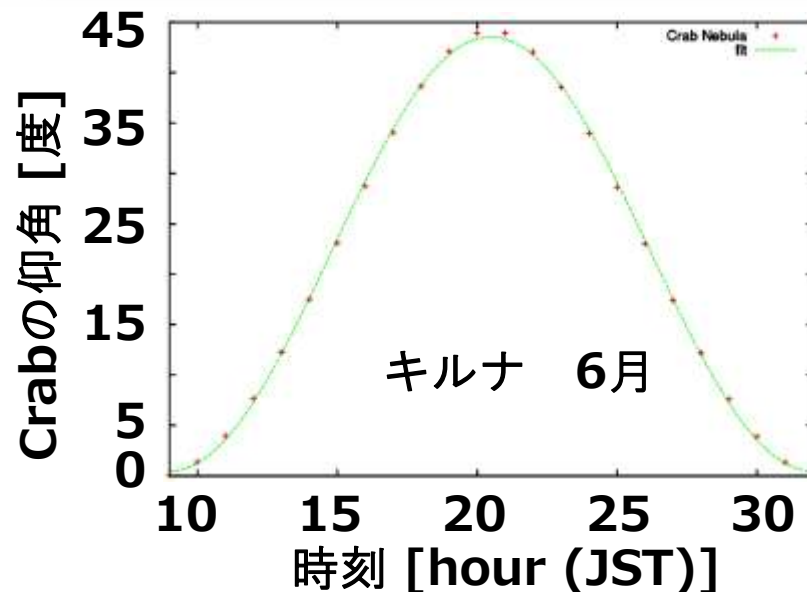
- ✓ Crab: 0-45 度 in キルナ
- ✓ ETCCの視野(FWHM) ~ 120度
- ✓ 地面からのAlbedoバックグラウンド
⇒ 10-20度天頂から傾斜、角度固定

方位角

- ✓ 気球は回転する
- ✓ Crabを視野に入れる 精度60度
- ✓ 太陽電池の充電の効率 精度 5-10度
⇒より戻しモーターを用い
5 -10 度程度の精度で制御

位置&方位測定

- ✓ GPSコンパス <1度 with 1mアンテナ
- ✓ 傾斜計 < 1度
⇒ <1度の精度



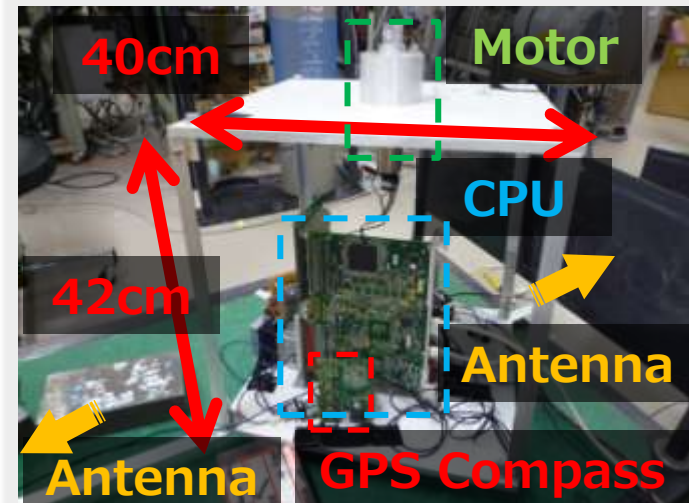
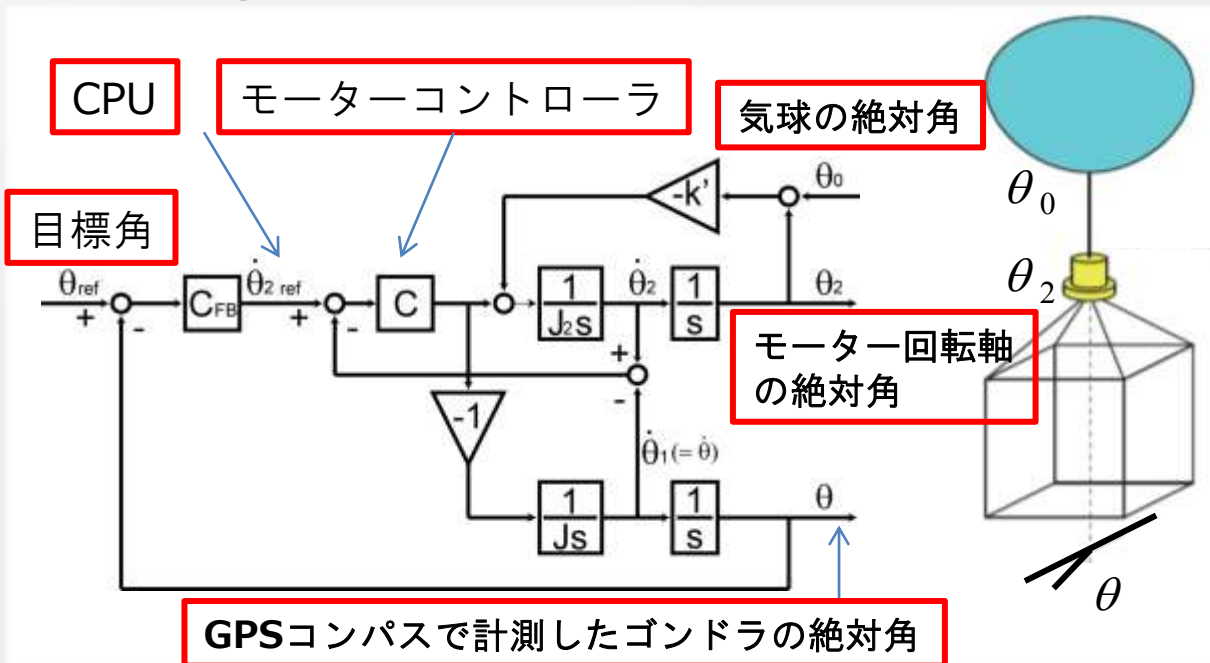
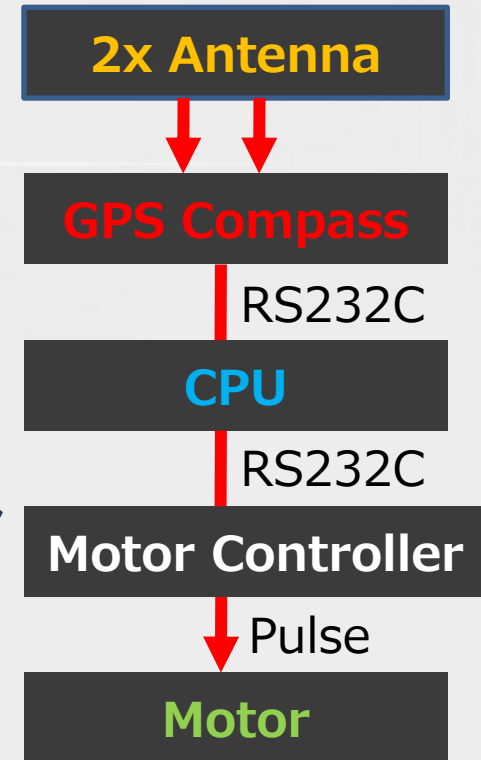
Setup of Prototype Attitude Control

ミニゴンドラによるモータ制御の動作試験

- ✓ FM GPSコンパス(Hemisphere社 VectorII)
- ✓ FMのトルク比1/50のモーター

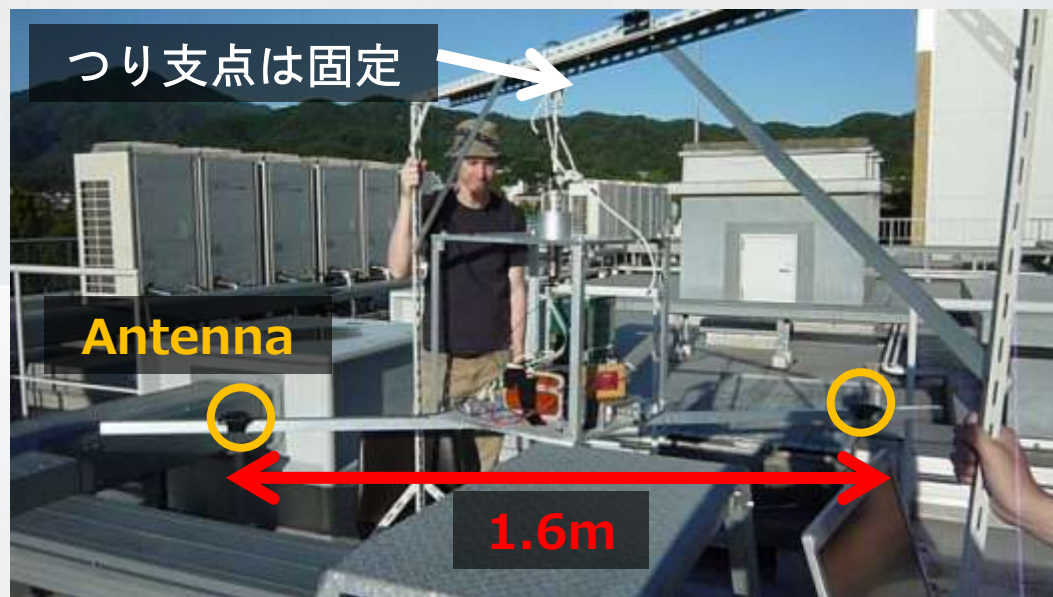
制御モデル

- ✓ ゴンドラと気球間で発生するねじれトルクを考慮したモデル (Bando+ 2010, balloon sympo.)
- ✓ フィードバック：PD制御

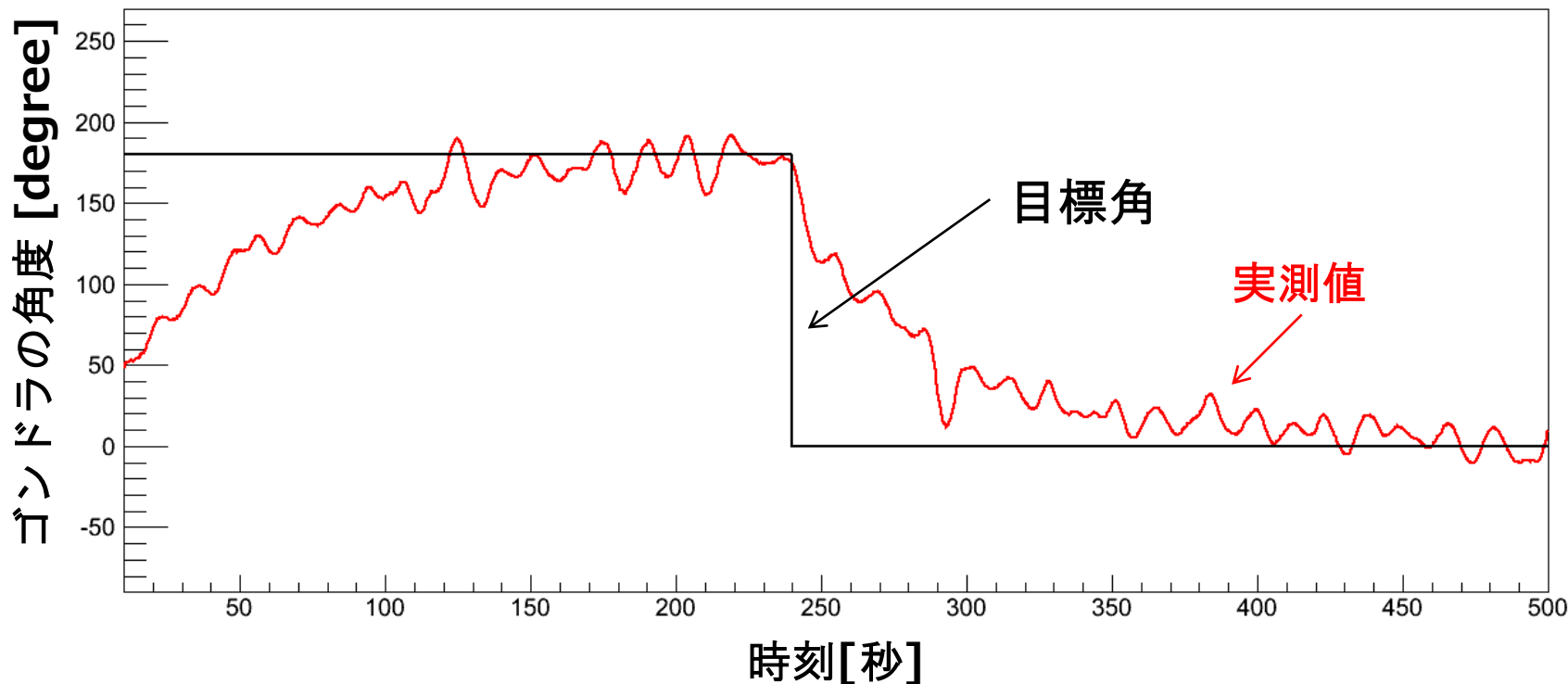


Logic Test Result

- ✓ 京大理学部5号館屋上で試験
- ✓ ミニゴンドラ&モーター制御でのロジック動作を確認
- ✓ 今後Scilabを用いたシミュレーションと比較



GPS_Angle



Summary & Future

MeVガンマ線観測気球実験SMILE-II

- ✓ イメージング実証のため検出器を~**20**倍に大型化
- ✓ Geant4シミュレーションによりシンチレータ配置を最適化
底面のみプロトタイプとの検出効率比 ~**1.7** for 300 keV, 0度入射

長期フライト対応電源システムの開発

- ✓ 太陽電池と2次電池を使用
- ✓ DC/DC & Butterworth LPF
による検出器読み出し回路への電源供給可能性を検証
Peak-to-peak <**10 mV**でSeries DC電源供給と同等のノイズレベル

感度向上へ向けた姿勢制御

- ✓ 方位角制御のみ
- ✓ ミニゴンドラを製作しロジック動作を確認

今後

- ✓ 電源充放電システムの設計
- ✓ 姿勢制御Scilabシミュレーションとの比較