

## SMILE+実験のシステム概要

吉川慶、谷森達、高田淳史、水村好貴、古村翔太郎、岸本哲朗、竹村泰斗、谷口幹幸、中村優太、小野坂健、齋藤要、黒澤俊介<sup>A</sup>、身内賢太郎<sup>B</sup>、澤野達哉<sup>C</sup>、濱口健二<sup>D</sup>、窪秀利、京大理、<sup>A</sup>:東北大 NICHe、<sup>B</sup>:神戸大理、<sup>C</sup>:金沢大数物、<sup>D</sup>:NASA GFSC

### 1. MeV ガンマ線天文学と SMILE-II+実験

天文学において数百 keV から数十 MeV までの MeV ガンマ線観測は、核反応による元素合成[1]、活動銀河核やガンマ線バーストにおける粒子加速[2][3]、ブラックホール近傍の強い重力場[4]などの天体現象を解明する手段となると期待されている。しかし、雑音除去と撮像の技術的困難さから観測が最も遅れている波長帯である。その困難を打破するために、我々は電子飛跡検出型コンプトンカメラ ETCC の開発してきた。ETCC は粒子識別、コンプトン運動学テストによる雑音除去能力と鋭い point spread function を持ち、将来の衛星観測のための優れた検出器の候補である。2006 年に小型 ETCC を気球に搭載し、大気・宇宙拡散ガンマ線を観測することで、気球高度での健全動作とガンマ線以外の雑音除去能力を実証した(SMILE-I 実験)[5]。現在、地上較正実験から予想される検出感度と、上空での実測の検出感度を比較するため、2018 年 4 月にオーストラリアでの気球実験を計画している(SMILE-II+実験)[6]。観測対象天体は、銀河中心電子・陽電子対消滅線と、かに星雲であり、 $5\sigma$ 以上の検出感度を目指している。そのために、プロトタイプとして稼働していた ETCC[7]を改良し、シンチレータ増強、ガス圧増加、高エネルギー電子の検出により、511 keV での有効面積  $2\text{ cm}^2$  を実現する[8]。また、両天体ともに高度 39 km 付近での 5 時間以上の観測が必要である。観測視野内に入るように約 24 時間の飛行を行う(図 1)。

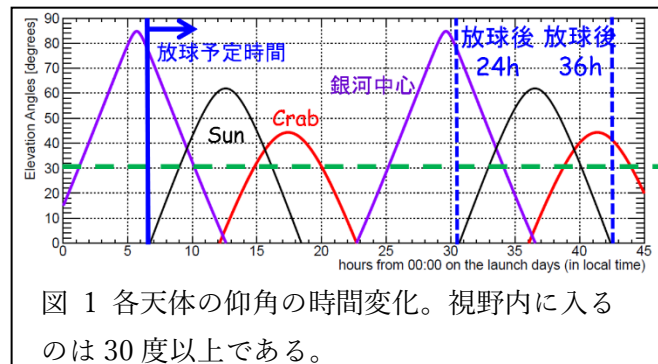
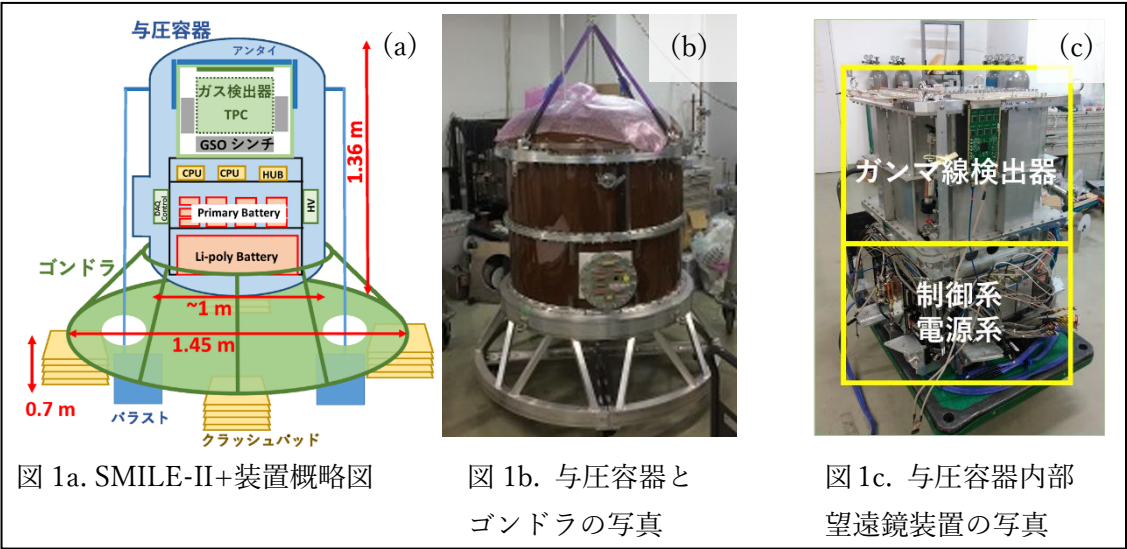


図 1 各天体の仰角の時間変化。視野内に入るのは 30 度以上である。

### 2. 実験装置の概要

ここでは装置の全体像、通信系、電源系について述べる。図 1a が装置の概略図であり、図 1b、図 1c が実際の写真である。容器内に装置を入れることで、圧力を 1 気圧付近に保っている。容器内部では上段に検出器である ETCC 部分、下段に制御回路や電池などを配置している。ハウスキープング(HK)のために各種センサーを搭載している。外圧、与圧容器内部、検出器内部に圧力計、与圧容器内部に計 7 箇所圧力計、時刻・位置・方位角方向・仰角方向を得るための GPS アンテナ、仰角を得るための傾斜計、方位角を得るための磁場計がある。気球は B500 型を用いる予定であり、重量は表 1 のように割り当てられている。



望遠鏡装置部分を 500 kg 以下に抑えなければ、高度 39 km 付近での飛翔ができない。表 2 はこの装置の実測の値と、これから搭載予定のクラッシュパッド、アンタイカウンターの予定重量、および総計であり、これは要求値を満たす。

装置との通信には、アリススプリングスとロングリーチの 2 か所に地上局を設置し、送受信を行う。図 2 は通信系の概要を表している。地上局から送信するのは望遠鏡装置のコマンドである。地上局の CPU からコマンドを送信すると RS232C で JAXA 気球グループのシステムに送られる。気球搭載の気球グループシステムで受信し、RS232C を用いて CPU①に送られる。CPU①は司令塔の役割をしていて、望遠鏡装置の各部に命令を送る。望遠鏡内の通信にはイーサネットを用いている。データ取得には 2 台の CPU を使用して、検出器用回路と通信をする。CPU①から地上系への通信には 2 系統あり、6 kbps と 800 kbps の通信がある。低速通信では、CPU①が受信したコマンドの内容と検出計数率、HK センサーの値が送られる。高速通信では検出した事象のデータが約 1 秒に 1 度、1 事象分送信される。

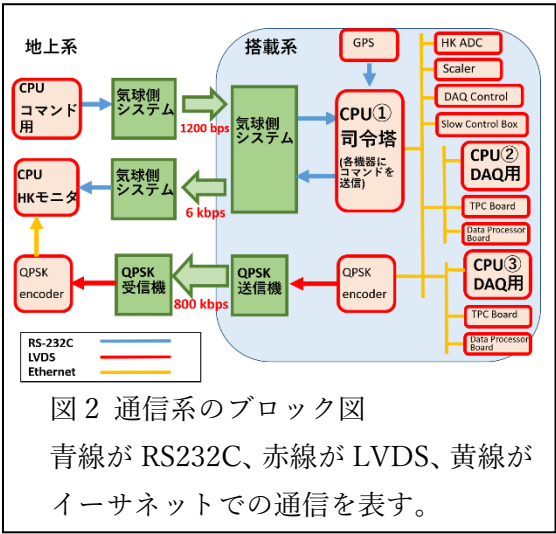
文字化けでの意図しないコマンドが送られることを防ぐため、コマンドの実行には 2

表 1 予定重量。単位は kg

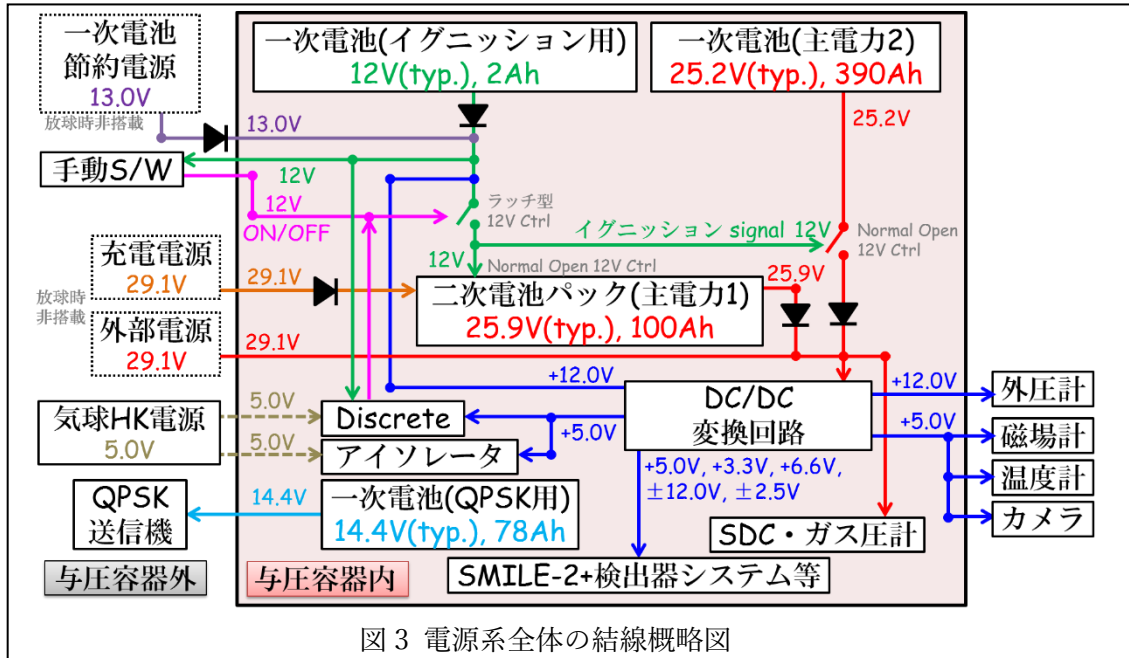
気球	900.0
望遠鏡	500.0
気球HK	60.0
荷姿冗長系	75.0
バラスト	337.0
吊り下げ	972.0
総計	1872.0

表 2 望遠鏡部分の重量。単位は kg

実測		444.6
搭載予定	クラッシュパッド	< 10
	アンタイ	< 20
総計		474.6



段階の指示を必要とする。まず、実行したいコマンドのセットを地上局 CPU から CPU①に送り、CPU①はセットされたことを地上局 CPU に送る。地上局 CPU で確認できた際に Execute コマンドを CPU①に送信し、実行に移す。



電源系の概略図を図 3 に示す。装置の大部分に供給する主電力源は二つある。一つ目は二次電池パック EPC100-7(エジソンパワー社)であり、電圧 25.2 V、容量 390 Ah が典型値である。安全対策として、ステータスマニター、過充電放電時の遮断機能、充電・放電ラインにダイオードを挿入している。二つ目は一次電池 LSH-20(Saft 社)の 7 直列を 30 並列したものであり、電圧 25.9 V、容量 100 Ah が典型値である。安全対策として、5 A のヒューズを電池が内蔵し、また 1 直列につき 1 つダイオードを挿入している。二次電池から優先で DC/DC 変換回路に供給し、装置各所の電力をまかなう。装置の消費電力は実測 190 W と搭載予定のアンタイシールドが 20 W で合計 210 W である。電池には温度特性があり、20℃で 44.7 時間、0℃で 36.1 時間、-10℃で 31.3 時間、-20℃で 25.4 時間、電力を供給することができる。

### 3. 熱環境試験

装置の運用環境としては、地表で昼間に数時間の噛み合わせ試験、地表で深夜に数時間の放球リハーサル、そして本番の放球実験がある。地表での実験では、二次電池を使用して、実験後に充電できるので、健全動作できることが重要である。放球実験では、放球 2-3 時間前から装置に電源を入れておく必要があり、測定は前述の通り 24 時間以上を予定しているので、計 27 時間以上の測定できる必要がある。また同様に健全動作することも重要である。ここでいう健全動作とは、例えば回路が熱暴走や停止しないなどである。実際に SMILE-I の熱環境試験では低温で CPU が停止したことがあり、熱関係を見直したことがある。

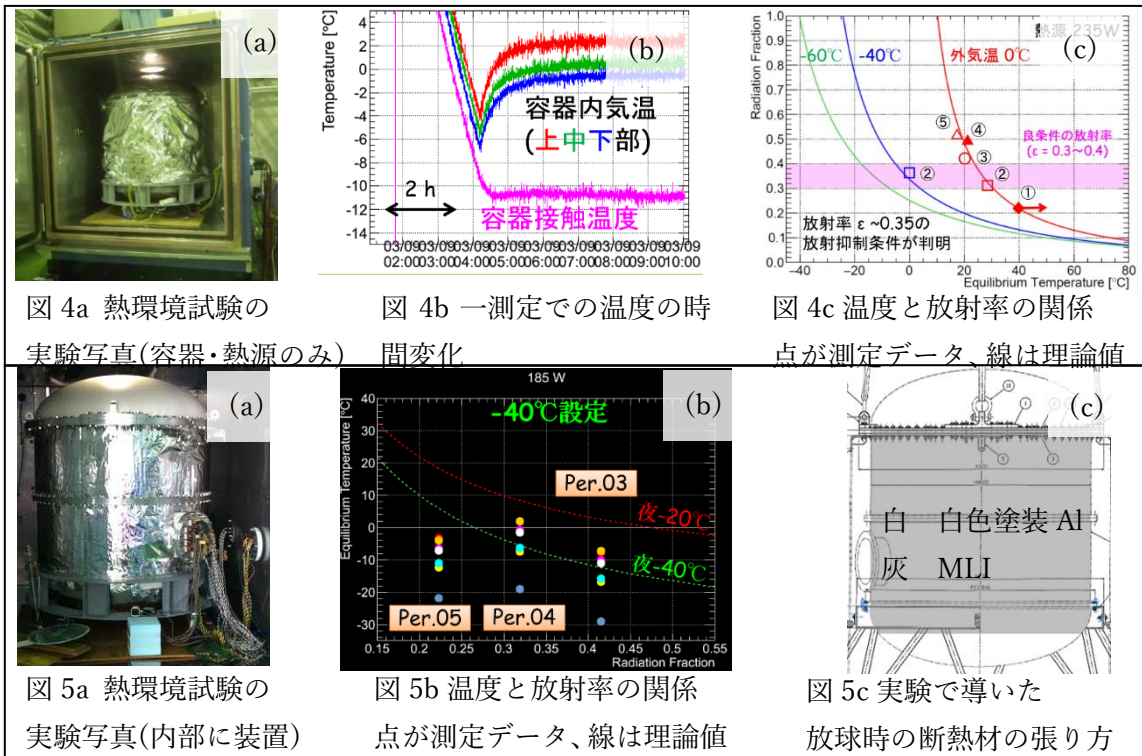


図 4a 熱環境試験の実験写真(容器・熱源のみ)

図 4b 一測定での温度の時間変化

図 4c 温度と放射率の関係  
点が測定データ、線は理論値

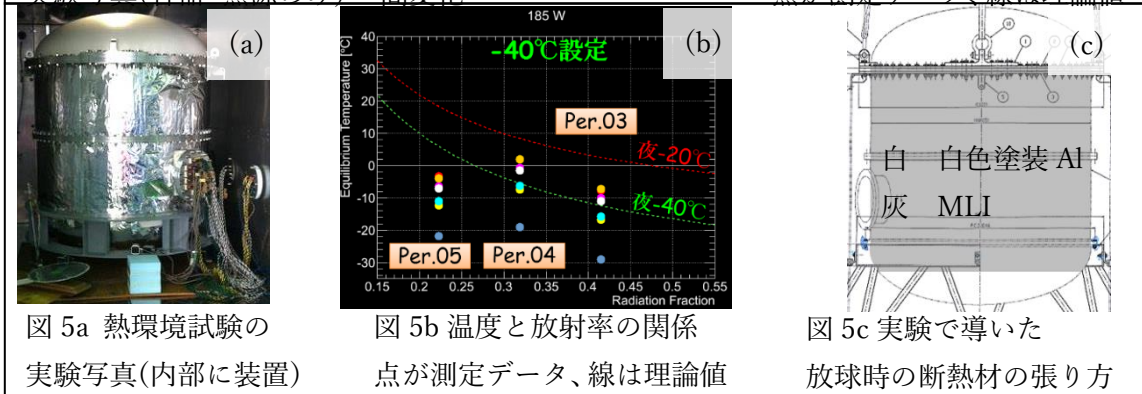


図 5a 熱環境試験の実験写真(内部に装置)

図 5b 温度と放射率の関係  
点が測定データ、線は理論値

図 5c 実験で導いた  
放球時の断熱材の張り方

与圧容器表面に巻く容器の放射率を実測するために、容器と熱源のみで恒温槽で実験を行った。図 4a が実験写真である。気圧を 3hPa にし、平衡温度を測定して(図 4b)、熱の流出入量から放射率を求めた(図 4c)。次に、望遠鏡装置(電池・アンタイなし)を与圧容器内部に入れて測定した(図 5)。約 25 時間の一つの測定(Per.03、Per.04、Per.05)で複数の点があるのは望遠鏡の各所の温度計で測定したからである。場所によって温度がちがうことが分かる。内部に装置があると温度が一様化されず、評価が難しいが、-40°C の環境で回路が連続稼働したことは実証された。また、電池を設置する位置の温度は-10°C であり、31.3 時間以上の稼働が可能であり、観測時間の要求を満たす。さらに太陽光による発熱で温度が上がるため、稼働可能時間は延びる。容器内が熱的一様かつ常に南中な場合、平衡温度 40°C であるが、平衡になるのに十時間以上かかるのでそこまで上がらない。もし上がる兆候があれば、対象天体が視野内にない昼に検出器電源を落とす。今後、詳細をつめる。

#### 参考文献

- [1] S. M. Matz., et al., Nature, 331, (1998) pp. 416-418.
- [2] C. M. Urry, & Padovani, P., PUB AST S P, 107, (1995) p. 803
- [3] M. S. Briggs, et al., ApJ, 524(1), (1999) pp. 82-91
- [4] M. McConnell, et al., A & AS, 120, (1996) pp. 149-152
- [5] A. Takada, et al., ApJ, 733(1), (2011) p. 13
- [6] 高田淳史, 他, 平成 29 年度大気球シンポジウム, isas17-sbs-024
- [7] T. Tanimori, et al., ApJ, 810(1), (2015) p. 28.
- [8] 竹村泰斗, 他, 平成 29 年度大気球シンポジウム, isas17-sbs-026