

GRAINE 計画： 2018 年豪州気球実験に向けた 与圧容器ゴンドラ準備状況

名古屋大学	○ 小宮山将広, 大塚直登, 河原宏晃, 駒谷良輔, 小松雅宏, 佐藤修, 鳥井茉莉, 長縄直崇, 中野敏行, 中村光廣, 中村悠哉, 西尾晃, 丹羽公雄, 宮西基明, 森下美沙希, 森島邦博, 吉本雅浩, 六條宏紀
愛知教育大学	児玉康一
ISAS/JAXA	池田忠作, 濱田要
岡山理科大学	伊代野淳, 松川秋音, 山本紗矢
神戸大学	青木茂樹, 高橋覚, 尾崎圭太, 呉坪健司, 柴山恵美, 鈴木州, 立石友里恵, 中村崇文, 中村元哉, 原俊雄, 松田菖汰, 松本明佳, 丸嶋利嗣, 水谷深志, 薮美智, 山田恭平

1 はじめに

天体での粒子加速に伴い生じるガンマ線は、磁場の影響を受けず空間を直進するため、宇宙の高エネルギー現象を研究する上での重要なプローブとなる。GeV 帯のガンマ線観測は、2008 年に打ち上げられたフェルミ衛星が全天観測を行い、3000 以上ものガンマ線天体を検出した。フェルミ衛星の観測結果からガンマ線による天体の観測数は大幅に向上した。さらに、それまでの GeV 帯のガンマ線観測実験と比較して高い角度決定精度を持ち、各天体のイメージング画像の高解像度化にも成功した。しかし、ガンマ線天体観測においてはまだ課題が残っている。一つはフェルミ衛星の検出器構造ではガンマ線の偏光観測が不可能という点である。もう一つは、フェルミ衛星によって観測された天体のおよそ 3 割が他の波長域との対応が取れない未同定天体であるという事である。このような未同定天体は拡散成分や天体が複雑に密集している銀河面領域に集中しており、この帯域の観測は他波長域に比べて角度分解能が劣っているために天体の分離が上手く出来ていない。そのためガンマ線天体観測において、統計量の改善だけでなく観測データの質的な向上が求められている。

2 GRAINE 計画

GRAINE 計画は優れた空間分解能をもつ飛跡検出器である原子核乾板からなるエマルション望遠鏡を気球に搭載し宇宙ガンマ線の精密観測を行う計画である。原子核乾板は 10 MeV～数 10 GeV ガンマ線が乾板内で起こす電子対生成反応を精密測定する事で、フェルミ衛星と比較して 1 桁近く優れた角度分解能を実現し、ガンマ線の直線偏光に対する感度も持つ。エマルション望遠鏡は、コンバータ、タイムスタンプ、姿勢モニタからなる。コンバータは原子核乾板を 100 枚積層させたエマルションチェンバからなっており、コンバータで電子対生成反応の飛跡 (角度情報、エネルギー情報、偏向情報) を検出し、事象に対して、タイムスタンプで入射時刻を付与し、姿勢モニタの情報から天球に対する飛来方向を決定することができる。初めてのフライトである 2011 年の気球実験では、これらの運動試験を成功させ、気球高度におけるガンマ線の飛来方向の決定までの原理実証を成功させた。2015 年の豪州気球実験では、望遠鏡の大幅な改良や性能実証を達成した。2018

年豪州気球実験では、2015 年実験で未達成となったガンマ線天体 Vela pulsar からを有意に検出し、望遠鏡の総合的な性能実証を目指しており、現在様々な準備を進めている。

3 風船式与圧容器ゴンドラの開発

風船式与圧容器(図 1) はエマルジョンチェンバを真空パックする目的で、2015 年実験で初めて開発・導入した。真空パックのメリットは、平面性の確保、スリップ現象の防止、湿度の保持、フィルム保護などがあげられる。与圧容器が 100 hPa 以上の圧力を保持することで真空パックを十分に維持することができる。

我々の用いる風船式与圧容器は、内側のバルーン(天然ゴム)に空気を封入し、外側のシェル(合成繊維に樹脂をコーティングした膜材料)で押さえつける二重膜構造になっている(図 2)。気密膜とメインリングのパッキンにはシリコンゴムチューブを用いている。この手法で目標の圧力を保持することが再現性もかねて実証されている。2015 年実験では、フライト全時間帯において 100hPa 以上の圧力を保持することに成功した。

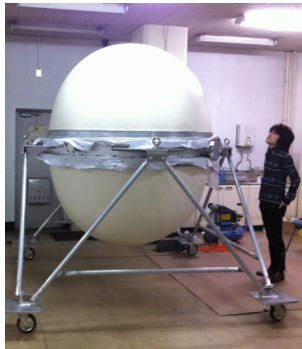


図 1: 2015 年気球実験で用いた与圧容器ゴンドラ

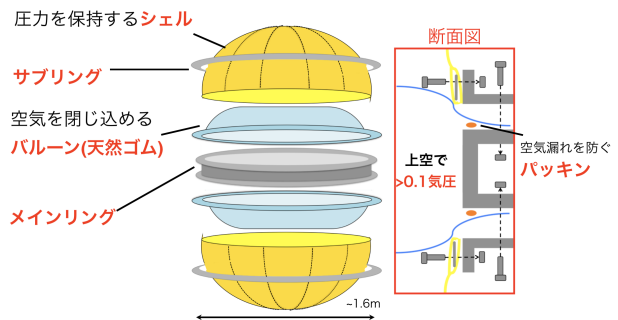


図 2: 風船式与圧容器の構造

3.1 2018 年気球実験用与圧容器ゴンドラの新規製作

2018 年気球実験用与圧容器ゴンドラ(図 3、図 4) は、2015 年実験で用いた与圧容器ゴンドラの基本的な構造を踏襲して製作した。さらなる改良点がいくつか存在する。

2015 年モデルの形が「球」であるのに対して、2018 年モデルの形は「繭」に変更した。これは、今後の科学観測実験用の大型・大面積のガンマ線望遠鏡では、さらに伸ばしたシリンダー型を想定しているためである。

ゴンドラの形状が繭型になったことによって、シェルにかかる最大張力は大きくなる。2015 年モデルではシェルにかかる張力が 120 N/cm であるのに対して、2018 年モデルでは 266 N/cm であり、より強度が強いものに改良する必要がある。また、2015 年モデルのシェルは、高温(45℃以上)で溶着部が剥がれることがわかっており、これを回避するために断熱用のシェルを外側に追加した。これによって張力のかかる内側のシェルの温度変化は抑えられたが、全体の重量が増えてしまった。

2018 年実験に耐えられる素材を太陽工業株式会社と共同開発し、その性能評価を行った。60℃の高温と-70℃の低温で 665 N/cm(安全率 2.5)以上の張力に耐えられる膜材料を選定し、2018 年実験のシェルに採用した。

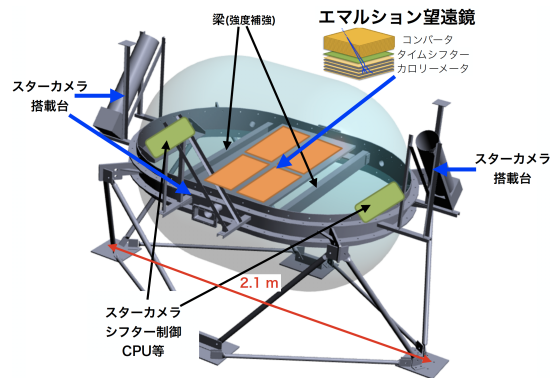


図 3: 2018 年モデルの概要



図 4: 2018 年モデルの実物

3.2 リーク性能試験

JAXA 相模原キャンパスの大型恒温槽で与圧容器ゴンドラのリーク試験を行った。

3.2.1 常温試験

常温 (+20 °C) でのリーク性能の結果を図 5 に示す。常温での 2018 年モデルの結果 (赤色プロット) は 2015 年モデルの結果 (緑色プロット) と同等のリーク性能を示した。10 時間スケールの実験におけるリーク結果から、目標である 24 時間 100 hPa はクリアできたといえる。

3.2.2 環境試験

低温 (-40 °C) と高温 (+60 °C) でのリーク性能の結果を図 6 に示す。青色プロットが低温、赤色プロットが高温の環境試験の結果である。どちらも目標である 24 時間 100 hPa はクリアできたといえる。

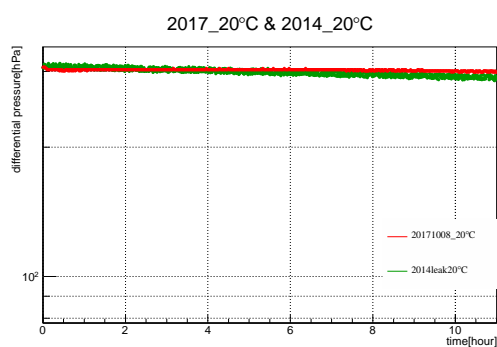


図 5: +20 °C でのリーク性能

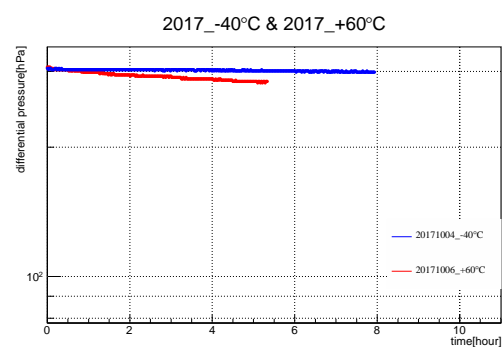


図 6: -40 °C、+60 °C でのリーク性能

3.2.3 低温対策の強化

2018 年実験ではフライトが夜間にまで及ぶことが想定され、より低温耐性を強化することを目指している。2015 年モデルの環境試験では、 -60°C でリーク性能が急激に低下する結果が得られている。これは、パッキン材に用いているシリコンゴムチューブおよびその他の部分のシリコンゴム O リングが $-50^{\circ}\text{C} \sim -60^{\circ}\text{C}$ でガラス転移し、弾性が失われることが原因と考えられる。2018 年実験では -60°C でのリーク性能の改善を目指し、パッキン材の選定を行った。本実験ではこれまで使用していたシリコンゴムとフロロシリコン系のゴム素材 (トーホーポリマー株式会社製、以降フロロシリコンゴム) についてダンベル型試験片用意した。恒温槽に入れた試験片を $10\text{mm}/\text{min}$ の速度で伸ばしていき、その張力を測定した。シリコンゴムとフロロシリコンゴムの結果をそれぞれ図 7 と図 8 に示す。シリコンゴムが -60°C から弾性を失うのに対して、フロロシリコンゴムは -80°C 環境でも 20°C と同様の弾性を示すことを確認した。これをパッキン材に用いることで、 -60°C の低温環境でも、常温と同等のリーク性能を維持することが期待されており、現在その性能試験を行っている。

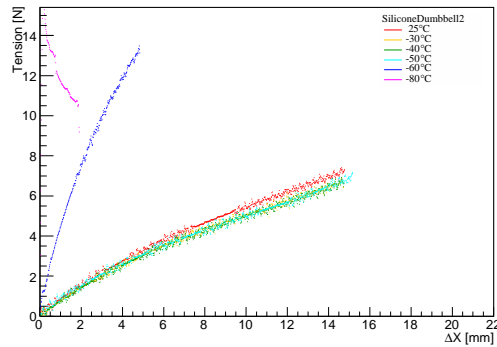


図 7: シリコンゴムの低温試験結果

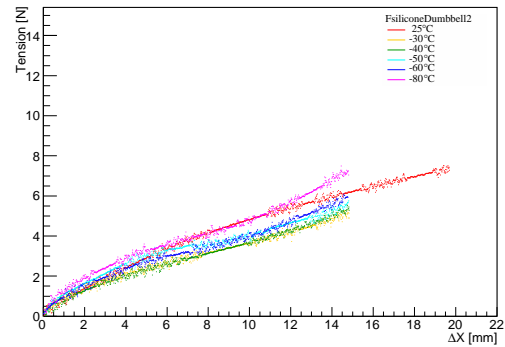


図 8: フロロシリコンゴムの低温試験結果

4 まとめ

2018 年気球実験に向けて、実績のある 2015 年モデルの風船式圧容器ゴンドラを部分的に改良した 2018 年モデルを新規作成した。また、そのリーク性能の環境試験を行い、24 時間 100hPa 以上の目標値をクリアした。今後、低温対策のさらなる強化を進める。

参考文献

- GRAINE collaboration (エマルシヨンガンマ望遠鏡グループ),
2004-2017 年度大気球シンポジウム報告
- Acero, F., et al., Jan. 2015. Fermi Large Area Telescope Third Source Catalog.
arXiv:1501.02003v1 [astro-ph.HE]