GRAINE 計画：オーストラリア実験準備状況 2

神戸大　○水谷深志、青木茂樹、尾崎圭太、小坂哲矢、柴山恵美、鈴木州、高橋覚、立石友里恵、田輪周一、原俊雄、山田恭平

愛知教育大　児玉康一

ISAS/JAXA　斎藤芳隆、田村啓輔、濱田要、吉田哲也

宇都宮大　佐藤禎宏、手塚郁夫

岡山理科大　伊代野淳

名古屋大学　石黒勝己、河原宏晃、北川暢子、駒谷良輔、小松雅宏、さこ隆志、佐藤修、鈴木和也、中竜大、中塚祐司、長縄直崇、中野敏行、中村光廣、丹羽公雄、宮西基明、森島邦博、吉田純也、吉本雅浩、六條宏紀

1. はじめに

高エネルギー荷電粒子と分子雲などの相互作用によって放射されるガンマ線の観測は宇宙における高エネルギー現象を理解するために重要な役割を演じる。現在、宇宙ガンマ線観測をリードしているのは Fermi-LAT である。Fermi-LAT はこれまでに 2000 近くのガンマ線源を発見した。しかし、その一方で 3 割が他波長との対応がとれない未同定天体であること、角度分解能の不足など新たな問題が浮上してきている。宇宙ガンマ線観測の分野では未同定天体の解明、空間構造の精密観測、エネルギースペクトルの詳細観測、偏光観測などを行える次世代のガンマ線望遠鏡が望まれている。

2. GRAINE 計画

我々は原子核乾板からなるエマルション望遠鏡を科学観測気球に搭載し、宇宙ガンマ線の精密観測・偏光観測を目的とした実験を GRAINE(Gamma Ray Astro-Imager with Nuclear Emulsion)として推進している。エマルション望遠鏡は最も緻密な飛跡検出器である原子核乾板を用いて対生成後の電子対の飛跡を記録することで、Fermi-LAT に対して投影角で 1 桁程度の角度分解能の向上が図れる。また、散乱を受ける前の電子対の方位角を測定することで直線偏光を測定できる次世代のガンマ線望遠鏡である。コンバーター、タイムスタンパー、カロリーメーター、姿勢モニターからなるエマルション望遠鏡の連動試験及び気球高度におけるガンマ線検出から到来方向の決定までの原理実証試験を 2011 年度に成功させた。現在はエマルション望遠鏡の性

This document is provided by JAXA.

能実証をするべく Vela pulsar をターゲットとしたフライトを 2015 年に控えており、準備を進めている。

3. 多段シフター動作試験

科学気球に搭載されるエマルション望遠鏡は回転・振り子運動などにより天球に対する姿勢を時々刻々と変化させる。天球に対する姿勢はスターカメラによって再構成するが、ガンマ線の貫通時の姿勢を決定するには貫通時の時刻が必要となる。そのために開発された機構が多段シフターである。多段シフターは複数のステージを異なる周期で駆動させることで時刻毎に独立な位置関係を作り出す。それぞれのステージに貼付けられたフィルムを貫通したトラックをステージ間で再構成し、ステージ間で生じるトラックの位置ずれ情報からステージの位置関係を再現してトラック貫通時の時刻を得る仕組みである。多段シフターは極めて単純な構造で大規模な読み出し回路や高電圧を必要としない。また、低運動量の粒子に対してもタイムスタンプを行うことができ、大面積化も容易であるなど、気球実験・ガンマ線観測に最適な特徴を持つ。口径面積 125cm^2 の多段シフター 1 号機が 2011 年フライトに導入され、正常に動作し気球高度でのタイムスタンプに成功した。2015 年フライトでは Vela pulsar の結像を目指す。天体結像のための統計を稼ぐために口径面積 30 倍、観測時間 16 倍の多段シフター2 号機を開発した。

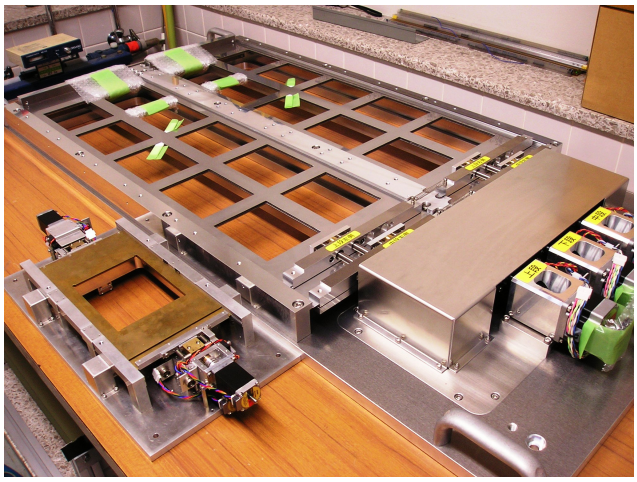


図 1.多段シフター1 号機と 2 号機

3-1.低温特性

2015 年フライトの目的である Vela pulsar の結像を達成するために多段シフターに要求される最低限の性能は“-40℃、0.1 気圧において 24 時間正常に動作すること”である。低温では常温に比べて、モーターの出力トルクは低下し、ステージを駆動するのに必要な負荷トルクは増大

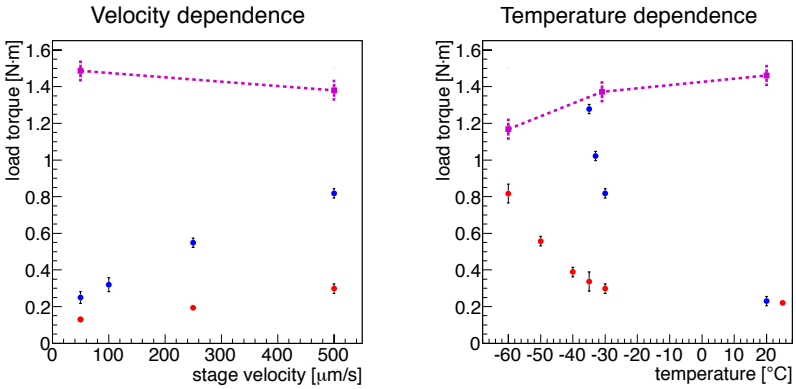


図 2.多段シフター負荷トルク低温特性

This document is provided by JAXA.

することが予想される。その結果、負荷トルクが出力トルクを上回るとモーターは脱調しステージは動かない。このような事態をさけるために、大気球実験室所有の恒温恒圧槽を借用しモーターの出力トルク及びステージ負荷トルクの実測を行った。実測結果を図 1 に青いプロットで示す。図 2 の左図は負荷トルクの速度依存性を示しており、測定温度は-30℃である。右図は温度依存性を示しており、500μm/s で測定した。この結果からステージの駆動速度が速く、駆動温度が低いほど、負荷トルクが増大することがわかる。併せて、モーターの出力トルクを点線で示している。これらの結果から-40℃環境では 500μm/s でステージを動かすことができないことがわかる。負荷増大の原因はリニアガイド及びボールねじに使用されているグリスである。負荷を減少させるために低温特性がより良いグリスへ変更し、再度負荷トルクを測定した。結果を図 2 に赤いプロットで示す。グリスを変更したことで-60℃でも 500μm/s で駆動させることができるようになったことを確認した。

3-2.つなぎ精度

多段シフターによるタイムスタンプの時間分解能はδt=δdx/v で表される。ここでδdx は中段ステージから下段ステージへのつなぎ精度、v は下段ステージの駆動速度である。3-1 でステージの駆動速度を速くすることについて述べた。ここではつなぎ精度を改善させる試みについて述べたい。シフターでのフィルムのつなぎ精度はフィルムに記録されたトラックの外挿距離の影響が支配的である。よって、フィルム間のギャップを詰めるために、最下段ステージを 2mm から 1mm に薄くし、出来た隙間を利用してフィルムをはりつけた。これにより中段-下段間のギャップは 1/1.6 に小さくなり、つなぎ精度も同程度改善した。

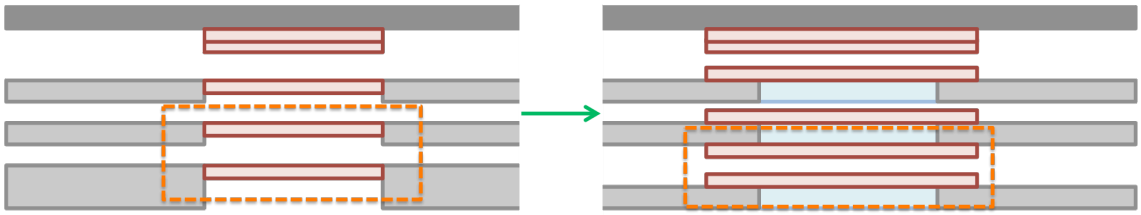


図 3.ステージつなぎ精度補正

3-3.繰り返し位置再現性

多段シフター2 号機では 3 段あるステージの内、中段と下段ステージは周期的に同じ動きを繰り返す。そのため、繰り返しの動作の再現性が重要である。特に下段ステージの再現性は時刻情報の分解能に直結する。これを確かめるため、再現性をエマルションフィルムで評価した。下段ステージを周期的な動作を繰り返し、周期間のステージ位置のばらつきを再現性として評価した結果を図 4 に示す。緑のプロットは常温常圧、赤の

This document is provided by JAXA.

プロットは低温低圧環境で評価した結果である。常温常圧環境での結果は別にマイクロメーターで評価したシフターの機械的再現性と矛盾しない結果である。また、低温低圧環境での結果は常温常圧環境での結果と一致しており、多段シフターは低温低圧環境下でも十分な再現性を持つことを確認した。

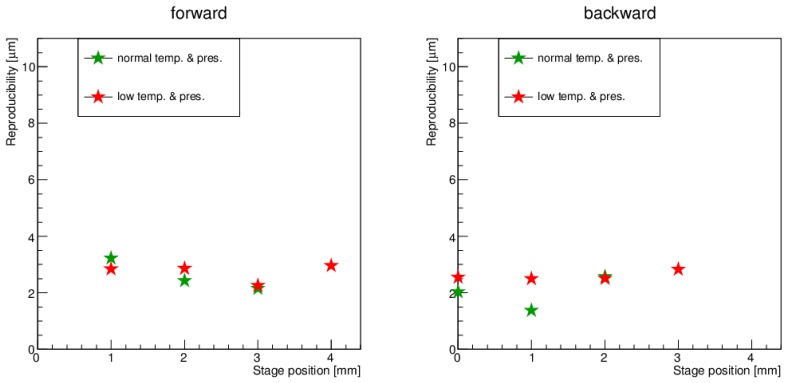


図 4.繰り返し位置再現性

4. シフター&カメラ連動試験

多段シフター2号機及び姿勢モニターであるスターカメラを気球につり下げるゴンドラに搭載し、連動試験を行った。シフター、スターカメラともに本番を想定した動作を正常に行った。また、シフターの駆動に合わせたLED点灯をスターカメラで撮影するというシフター-カメラ間の時刻同期手法を確立した。

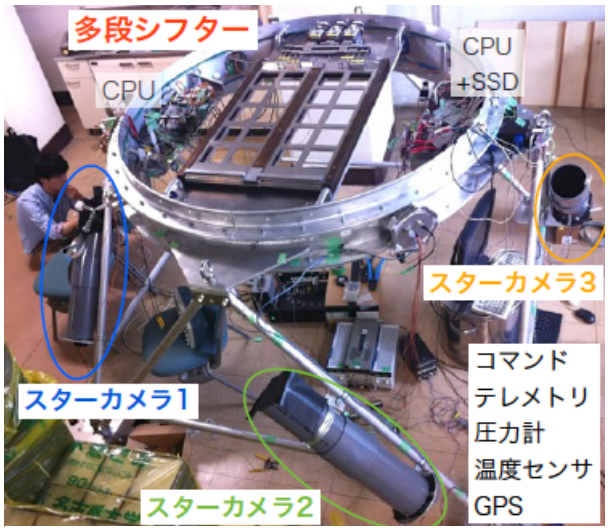


図 5.シフター&スターカメラ連動試験

5. まとめ

GRAINE計画は2015年にオーストラリアでVela pulsar観測試験を行う。この試験に向けて、多段シフター2号機の動作試験を行い、正常に動作する見通しを得るとともに、低温低圧環境下でも常温常圧環境下と遜色のない性能を発揮することを確認した。シフター及びスターカメラをゴンドラに搭載した連動試験も行い、フィルムを搭載するのみのところまで準備を進めている。今後、気球グループとの噛み合わせ試験を済ませ、フライトレディとなる。

This document is provided by JAXA.