

# GRAINE 次期気球実験に向けた大面積、長時間、高時間分解能 を実現する新型多段シフターの開発

○小田美由紀<sup>1</sup>、青木茂樹<sup>1</sup>、高橋覚<sup>1</sup>、山本知己<sup>1</sup>、他 GRAINE collaboration<sup>1,2,3,4,5</sup>  
神戸大学<sup>1</sup>、愛知教育大学<sup>2</sup>、ISAS/JAXA<sup>3</sup>、岡山理科大学<sup>4</sup>、名古屋大学<sup>5</sup>

## 1. はじめに

宇宙ガンマ線の観測は、加速起源の探索や高エネルギー事象の理解に役立つ。私たちはエマルジョンフィルムを用いた気球搭載型望遠鏡による宇宙ガンマ線精密観測計画(GRAINE 計画)を推進している。これまで 2011 年に原理実証実験、2015 年と 2018 年に性能実証実験を終えた。次期気球実験では大面積望遠鏡による科学観測を予定し、現在それに向けた準備が進められている。

## 2. GRAINE 計画と多段シフター

エマルジョンフィルムは写真フィルムの一  
種であり、荷電粒子の飛跡を銀粒子の連なり  
として三次元的に捉えることのできる検出器  
である。1 $\mu$ m 以下という高精度で飛跡を記録  
でき、薄くて大面積化しやすいため、古くか  
ら素粒子実験で用いられてきた。しかし現像  
するまで飛跡を記録し続ける積分型検出器で  
あるため、どの飛跡がいつ来たものか分から  
ない。

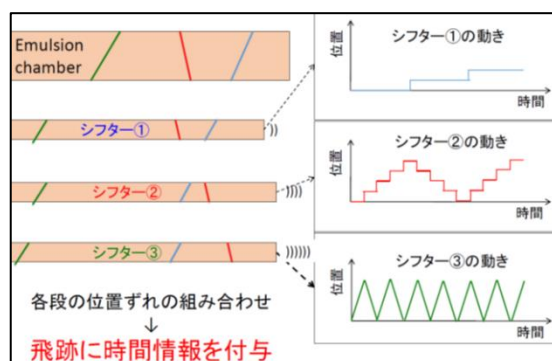


図 1.多段シフター概念図

そこで、GRAINE では独自に開発した「多段シフター」(図 1)を用いて飛跡に時間情報を付与している。多段シフターはエマルジョンフィルムを搭載した複数段をアナログ時計のようにそれぞれ独立な周期で動かすことにより、時間に固有な段の位置関係を作り出す機構である。フィルムを現像した後、一つ一つの飛跡を再構成させることで再現される段の位置関係から飛跡の到来時刻を知ることができる。

GRAINE では今までの気球実験において、ステンレスでできたステージ板を金属のガイドレールに挟み込み駆動させる「ステージ駆動型多段シフター」を用いてきた。(図 2) それぞれの気球実験における多段シフターの実績については参考文献を参照したい。

エマルジョン望遠鏡を用いた科学観測において大統計観測を実現するためには、検出器の大面積化、駆動時間の拡大、高時間分解能が必須である。しかし、従来のステージ駆動型をそのまま大規模化すると気球に搭載できる重量を大きくオーバーしてしまう。そこで、多段シフターには大幅な軽量化が求められた。また高い時間分解能で長時間正確なタイムスタンプができるようにするため、段間のギャップを埋めるといった工夫も必要となった。そこで多段シフターは「ローラ駆動型」へと大きくモデルチェンジした。

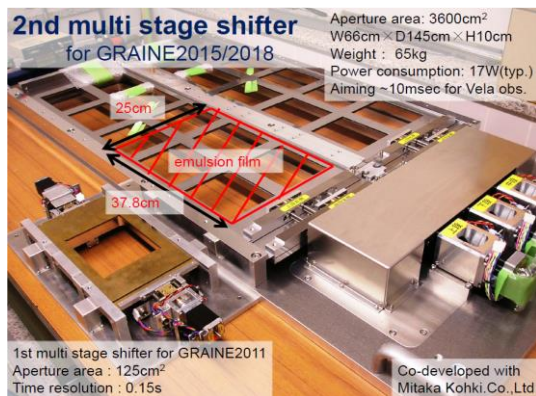


図 2.GRAINE2011(手前)、2015、2018(奥)で使われたステージ駆動型多段シフター



図 3.ローラ駆動型多段シフター単段型プロトタイプ

### 3. ローラ駆動型多段シフター

ローラ駆動型多段シフターはフィルムを保護しているラミネート紙にあらかじめマージンを設けて置き、そこにローラに取り付けて巻き取るようにしてフィルムをシフトさせる。フィルムが自重でたわまないよう

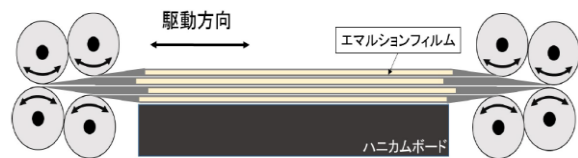


図 4.ローラ駆動型シフター概念図

に、最下面には平面性の補償されたハニカム板を設置し、段間は限界まで接近させて駆動させる。金属のステージ板とガイドレールがなくなったことにより大幅な軽量化を達成し、ギャップも 500um 以内につめることができるようになる。

ローラ駆動型シフターの研究開発は 2017 年から始まり、単段型プロトタイプ(図 3)を用いた駆動試験が卒業生によって進められた。私は、更なる軽量化のために中身の空いた中空ローラを用いて駆動試験を行った。その際、従来の平歯ギアに加えて弾性変形を利用したハーモニックギアを用いて詳細な理解を進めた。

単段型プロトタイプでローラ駆動型が実行可能であることが分かったため、装置をさらに大規模化した多段型プロトタイプ(図 3)を用いて駆動試験を行った。

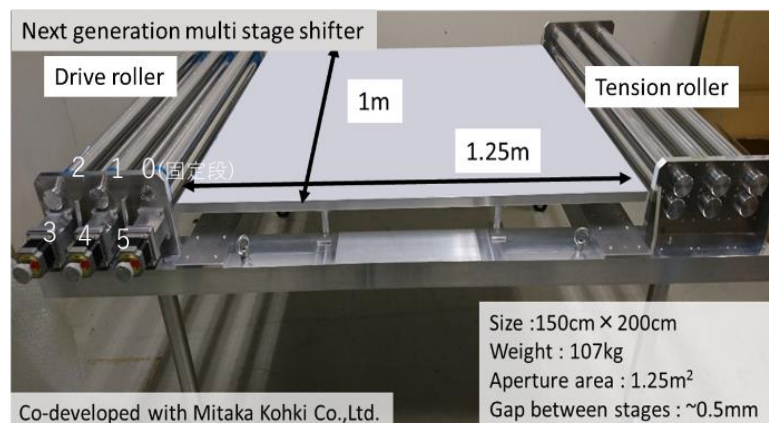


図 5.ローラ駆動型シフター多段型プロトタイプ

多段型プロトタイプの場合は単位面積あたりにして従来のステータ駆動型の半分の重量であり、一番上を固定段とした計 6 段分のローラからなる。モータのついているローラを Drive roller と言い、向かい側のローラを Tension roller と呼んでいる。Tension roller には巻きばねが付いており、ラミネート紙をピンとはる方向に常にテンションをかけ続ける。モータにパルスを送り Drive roller が駆動するとラミネート紙を介して Tension roller が追従していく。

#### 4. 多段型プロトタイプ駆動試験

ラミネート紙一枚を用いて各段で基礎的な駆動試験を行った。モータと Drive roller 間の減速機構には平歯ギア(ギア比 1/312.5)を用いた。測定の際には、エンコーダを用いてローラの回転角を測定した。図 6 に試験のセットアップを示す。

駆動オペレーションを図 7 に示す。上段は 200 $\mu\text{m}$ 、下段は 100 $\mu\text{m}$  の step 駆動で折り返しの最初はバックラッシュ改善のために 1mm 進ませる。すなわち上段 1stroke で 50step、下段 1stroke で 150step となり、下段の 1stroke ごとに上段が 1step 進む。今回は上段を 3 番ローラ、下段を 4 番ローラとして駆動試験を行った。

飛跡を再構成し、タイムスタンプするためには上段の各 step での停止精度と、上段 1stroke 内での下段の駆動再現性が必要になる。GRAINE2018 でのシフター飛跡再構成精度は $\sim 5\mu\text{m}$  であるためこれを目標値にして駆動試験を行う。

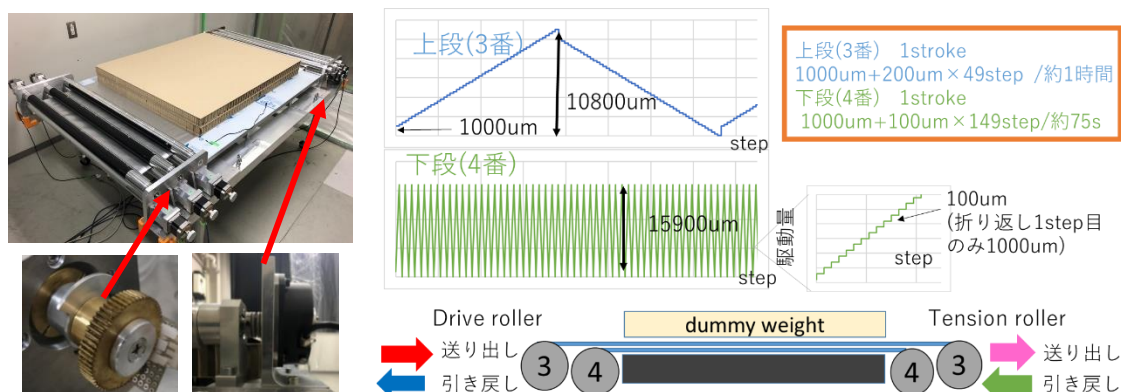


図 6. 駆動試験のセットアップ。 図 7. 駆動オペレーション。今回は上下段に 3.4 番ローラを用いた。

下段が 1step 進むごとに上下段の位置をエンコーダで取得している。上段の各 step について下段 1stroke 内(約 75 秒間)の駆動量標準偏差を求め停止精度とした。下段については、下段の各 step で上段 1stroke 内(約 1 時間)の駆動量標準偏差を求め再現性とした。図 8 に上段 1stroke 分(1 時間)の結果を示す。Drive roller、Tension roller の送り出しと引き戻しで色を分けており、下段のエントリー数はそれぞれ 150 となり、上段は下段の進行方向で分けているため、エントリー数はそれぞれ 25 になっている。上段 1stroke 内では、上段の停止精度も、下段の駆動量再現性も目標値を満たしていた。

図 9 に上段 12stroke 分の結果を示す。先ほどと同様に色わけし、下段のエントリー数はそれぞれ  $150 \times 12\text{stroke} = 1800$ 、上段のエントリー数は  $25 \times 12 = 300$  である。上段 12stroke 内では、上段の停止精度も、下段の駆動量再現性も目標値を満たしていた。Drive roller よりも Tension roller の精度が劣るように見えるのは、ラミネート紙の温度などによる伸びの影響が大きいためである。今回の駆動試験ではラミネート紙 1 枚のみであるが、実際は中にエマルジョンフィルムが入る。熱膨張の影響は小さくなることが考えられるが、フィルム搭載試験をしてみないとわからない。また、今回は各段の原点からの駆動量をデータに用いているが、飛跡再構成は相対的な位置関係を用いるため、絶対駆動精度  $5\mu\text{m}$  で十分であると考えている。

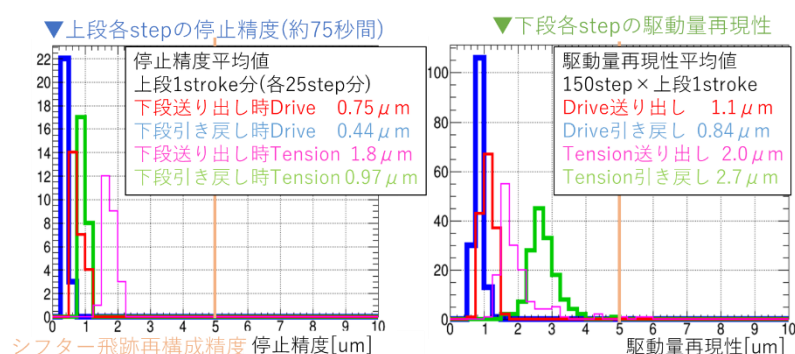


図 8.上段 1stroke 分の結果。(左)上段各 step 内停止精度(右)下段各 step の駆動量再現性。

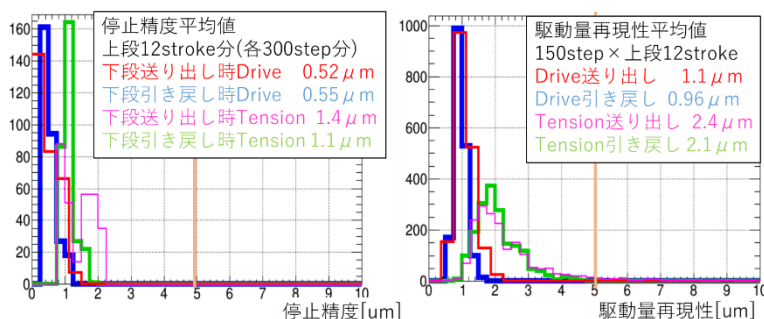


図 9.上段 12stroke 分の結果。(左)上段各 step 内停止精度(右)下段各 step の駆動量再現性。

## 5. まとめと展望

GRAINE 次期気球実験では大面積望遠鏡による科学観測を予定している。大面積、長時間、高時間分解能を実現するためシフターはローラ駆動型へとモデルチェンジをした。ローラ型多段シフター多段型プロトタイプによる連動試験によって、タイムスタンプできる可能性が示せた。今後 3 段での連動試験や、フィルム搭載試験などを進めるとともに、年度末からフライトモデルを用いて気球実験に向けた準備にとりかかる。

## 参考文献

- ・ GRAINE collaboration 2014-2019 年度大気球シンポジウム報告