

## NPB2-4 気球を用いた準静的な立上げによる新しい放球方法の検証

ISAS/JAXA	:	斎藤 芳隆、水村 好貴、山田 和彦
東京工業大学院環境・社会理工学院	:	秋田 大輔
早稲田大学創造理工学部	:	石村 康生
湘南工科大学	:	加保 貴奈
北海道大学大学院地球環境科学	:	藤原 正智
東海大学工学部	:	中篠 恭一、古田 竜也
明治大学理工学部	:	松尾 卓摩
長岡技術科学大学工学部	:	山田 昇
藤倉航装(株)	:	五十嵐 優、橋本 紘幸
松嶋技術士事務所	:	松嶋 清穂

## Verification of a new quasi-static launching method using NPB2-4 balloon

Saito Yoshitaka, Mizumura Yoshitaka, Yamada Kazuhiko, Akita Daisuke, Ishimura Kosei, Kaho Takana, Fujiwara Masatomo, Nakashino Kyoichi, Furuta Tatsuya, Matsuo Takuma, Yamada Noboru, Igarashi Yutaka, Hashimoto Hiroyuki and Matsushima Kiyoho

## 1 はじめに

我々は、高張力繊維でできた菱形の目の網を薄いフィルム製の気球皮膜にかぶせる手法(はっさく型)[1]を用いて、長時間飛翔が可能なスーパープレッシャー気球の開発を進めてきた。この方法を用いると、目の細かい網を使うことでフィルムへの要求強度が下がるため、フィルムを薄くして重量を減らし、気球を軽量化することが可能となる。2010年の小型気球の地上試験から開発をはじめ、以後、順次大型化させ、2019年には体積 $6,400\text{ m}^3$ の気球の地上膨張試験で $740\text{ Pa}$ の耐圧性能を確認するに至った[2]。2020年7月14日には、地上試験で確認されている各開発要素の総合試験、および、飛翔時の特性評価を目的とし、体積 $2,000\text{ m}^3$ のNPB2-3気球の飛翔性能試験を実施した[3]。しかし、放球直後から所期の上昇速度が得られない問題が発生した。回収された気球皮膜を調査したところ、刃物で切り付けたような直線的でかつ縁に伸びがある特異なスリット状の穴が数100個存在していることが見出された。この穴を再現する条件を検討し、網線が $10\text{ m/s}$ 強の高速で皮膜に衝突した際に衝撃破壊によって発生した可能性があることがわかった。

我々は、2021年より、この課題を解決するべく、放球時に気球が衝撃を受けない放球方法の開発を進めている[4]。2022年3月に模擬装置を用いて開発した方法を検証し、2022年9月には2020年に飛翔試験を実施した気球と気球保持部以外は同一の気球を用いた模擬放球試験を実施し、この方法の有効性を確認した。本論文では、新しい放球方法、および、その検証結果について報告する。

## 2 カラー部を保持する準静的な放球方法

気球への衝撃を避けるには、気球の位置を、ガスづめ時の低い位置からランチャー台車の直上へと、張力のバランスを保ったまま、準静的に移動させることが必要である。そこで、カラーを取り付ける部分で気球を保持し、保持した場所をロープで制御しつつ移動させ、最終的にはランチャー台車の直上に移動させることを考えた。しかし、通常、気球のカラー取付部に特異な構造があるわけではなく、カラーは気球を圧迫することでその位置を保っているに過ぎない。したがって、カラーを保持することで気球にかかる浮力を保持することは極めて困難である。そこで、気球皮膜の溶着部に入っているロードテープの上にもう一本、ロードテープを重ねて溶着し、その端部を束ねてリング状に加工し、それを保持することとした。公称強度 $200\text{ LBS}$ のロードテープを $2\text{ m}$ に渡り重ねつけると、ロードテープで破断するようになることを確認し、余裕を見て $3\text{ m}$ 重ねて溶着することとした。保持部の構造を図1に示す。

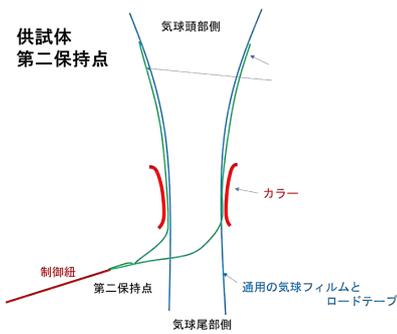


図 1: 第二保持点部構造。

図 2: 供試体。

図 3: 第二保持点から気球尾部での吊り下げに移行。

### 3 模擬装置を用いた放球方法の確認

放球方法に問題ないことを確認するため、気球のカラー部を模擬した供試体を図2のように製作し、浮力をつける代わりに、上下を反転させ、錘を吊すことでそれを模擬した。この供試体に700 kgの錘を吊り下げ、第二保持点での吊り下げから、気球尾部の第一保持点での吊り下げへと移動させる試験を2022年3月25日に株式会社南クレーンモータープールにて実施した。図3にその様子を示す。荷重の移行が吊り紐の繰り出しによって問題なく可能であること、第二保持点が十分な強度を有することが確認された。ただし、カラーの締付け部において、気球の皮膜が損傷を受けることが見出された。これは、荷重に移行に伴って網が移動し、皮膜を傷つけたものと考えられる。そこで、カラー締付け部の皮膜には、網との間に20 μmフィルムを3枚挿入し、保護することとした。

### 4 NPB2-4 気球を用いた模擬放球試験

気球への応力を減らした新しい放球方法の確認試験を2022年9月2日に、大気航空宇宙実験場にて実施した。本実験では、B20-03 実験と同体積(2,000 m<sup>3</sup>)のスーパープレッシャー気球に同浮力(660 kg)をつけて、この準静的な放球法を適用して、気球の立上げを実施した後、気球からガスを抜いて回収し、気球への損傷状態を調査した。気球は、通常の荷姿によって大型放球装置に結索すると共に、安全紐、引き倒し紐も重量物に結索し、吊り紐破断による気球飛翔のリスクに対して、二重冗長の対策を施した。

ウインチは、定格荷重3トンのトーヨーコーケン社製マイティー・プラー MAW-40H10(S)を豪州台車上に固定して用いた。放球作業は以下のように実施した。

1. 気球の頭部側を箱から出して展開する。
2. 気球の尾部を大型放球装置に結合されている荷姿、安全ロープと結索する。
3. 気球の第二保持部を豪州用跳ね上げローラー台車に取り付けたウインチからのロープと結索する。
4. 気球へとカラー、および、ミニカラーを取り付ける。
5. 気球へとヘリウムガスを注入する。
6. ガスが詰められるにつれて、頭部たてあげ(図5a、b)、ミニカラーの開放、を順次実施し、総浮力660 kgのヘリウムガスの注入を完了する(図5c)。
7. ウインチからロープを繰り出し、大型放球装置直上に気球を立てあげる(図5d~g)。
8. 気球の第二保持部分離カッターを駆動し、ウインチからのロープと気球を分離する(図5g)。
9. カラーを開放する(図5h)。
10. 排気弁、および引裂機構によってガスを放出し、気球を降下させる。
11. 降下した気球の皮膜の調査を行い、B20-03 実験と同様の切り傷の有無を調査する。

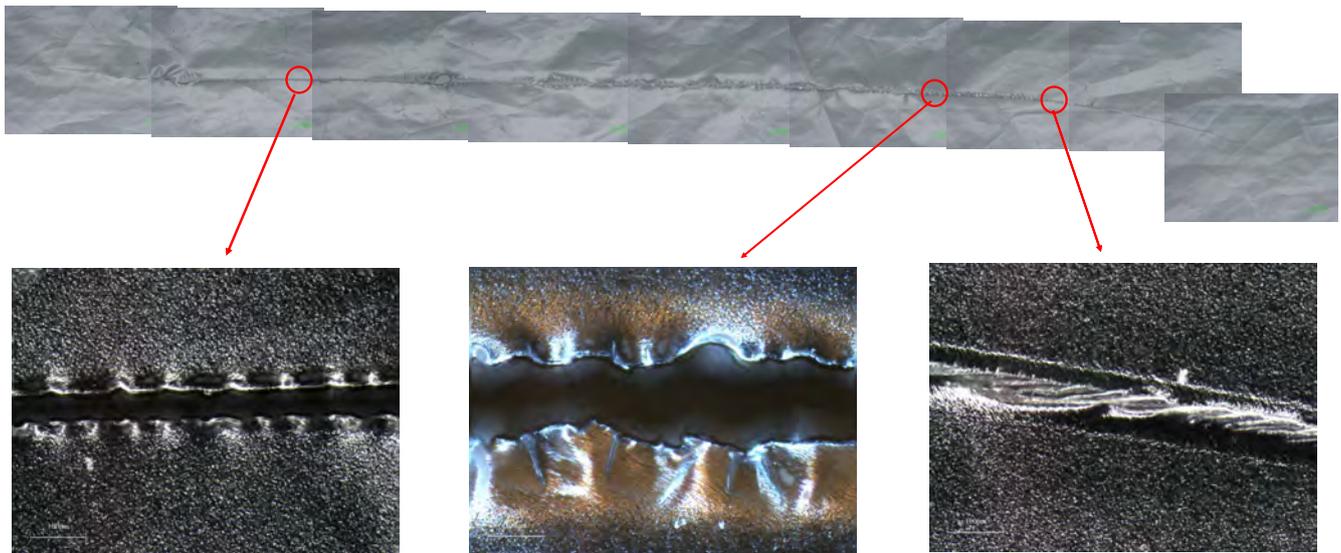


図 4: NPB2-4 気球皮膜から見出された傷。傷の全長は 3 cm 程度、下の拡大図は左下のスケールが 100  $\mu\text{m}$ 。

回収した気球の調査の結果、長さ 3 cm 程度のスリット状の穴が二箇所、存在することがわかった。図 4 にその一つの写真を示す。B20-03 実験で見られたのと同様に、縁に延された跡があり、衝撃破壊によって発生したものと考えられる。また、これらに傷は完全に破断に至っていない部分が残っており、衝突速度が小さかった可能性が示唆される。これらの穴は、いずれも 3 番パネルの頭部側 3.8 m の地点に 10 cm 程度離れて存在しており、3 番パネルは頭部立上げの際に天頂側に位置していた。気球の映像からは、ウインチによる立上げの際よりも頭部立上げの際の方が皮膜に応力がかかったと推定されることから、頭部立上げの際に網が皮膜を叩いたことで発生した可能性が高いと考えられ、気球頭部の立てあげの際に、急速に立上げすぎたことが問題、と考えている。今後、予め頭部をゴム気球で吊り下げおく、といった対策を検討したい。また、回収した気球のカラー取付部の気球皮膜に損傷があることも確認されたが、回収作業時に傷付けた可能性もあり、フィルム保護の有効性までは確認できなかった。

本実験により、ウインチを用いた気球の繰り出し作業は滞りなく実施できることが確認された。今後、頭部の立上げ方法などの改良を行い、来期には、飛翔試験に挑戦する予定である。

## 謝辞

NPB2-4 気球の模擬放球試験にあたっては、大気球実験グループの支援を受けました。本研究は、ISAS/JAXA 宇宙工学委員会戦略的開発研究を受けて推進しています。

## 参考文献

- [1] 斎藤 芳隆、他、宇宙航空研究開発機構研究開発報告 JAXA-RR-010-03, pp. 21-40, 2011
- [2] 秋田 大輔、他、2020 年度大気球シンポジウム集録、isas20-sbs-022、2020
- [3] 斎藤 芳隆、他、宇宙航空研究開発機構研究開発報告 JAXA-RR-21-003、pp.1-34,2022
- [4] 斎藤 芳隆、他、2021 年度大気球シンポジウム集録、isas21-sbs-009、2021



a) 頭部の立てあげ中。



b) 頭部の立てあげ完了。



c) ガス注入完了。



d) ウインチ繰り出し開始。



e) ウインチ繰り出し中。



f) さらに、ウインチ繰り出し。



g) ウインチ繰り出し完了、制御紐切り離し。



h) カラー開放前と後

図 5: NPB2-4 気球を用いた模擬放球試験。