

NPB2-4a 気球によるウインチを用いた準静的放球法の頭部立上げ法の確認試験

ISAS/JAXA	: 斎藤 芳隆、飯嶋一征、池田忠作、生田歩夢、森英之、水越慧太、水村 好貴、田村誠、山谷昌大、山田 和彦
東京工業大学院環境・社会理工学院	: 秋田 大輔
東海大学工学部	: 中篠 恭一
明治大学理工学部	: 松尾 卓摩
早稲田大学創造理工学部	: 石村 康生
長岡技術科学大学工学部	: 山田 昇
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
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 test of the quasi-static balloon launch method using winch with NPB2-4a balloon

Saito Yoshitaka, Iijima Issei, Ikeda Chusaku, Ikuta Ayumu, Mori Hideyuki, Mizukoshi Keita, Mizumura Yoshitaka, Tamura Makoto, Yamatani Masahiro, Yamada Kazuhiko, Akita Daisuke, Nakashino Kyoichi, Matsuo Takuma, Ishimura Kosei, Yamada Noboru, Kaho Takana, Fujiwara Masatomo, 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 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 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[5]。しかし、この試験において、スリット状の穴が二箇所発生していたことが判明し、気球頭部の立ち上げの際に発生したものと推測されている。そこで、頭部立ち上げをゆるやかに実施できるよう、気球の頭部をゴム気球で持ち上げる方法を発案し、その有効性を確認する実験を実施した。本論文では、その検証結果について報告する。

2 NPB2-4a 気球を用いた頭部立て上げ試験

2.1 対策の検討

気球頭部の立ち上げの際には 80 kg 程度の浮力をつめる必要がある。これは、排気弁を含む気球頭部の構造体の重量が 10 kg 程度あり、浮力が小さい状態で立て上げると、頭部が最上部に位置するのではなく、側面が最上部に位置する状態で安定してしまうため、それを避けるべく、この程度の浮力を付けてから立て上げる必要がある。一方でこの浮力をつめると気球が一気に立ち上がってしまう問題が発生する。そこで、あらかじめ

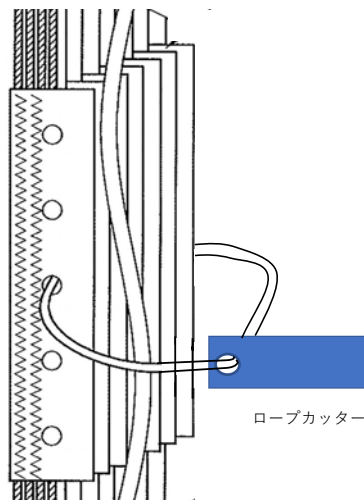


図 1: 左図: ネクタイ部の構造。予め穴ができるように編んだテフロン製ループテープを気球のロードテープに縫い付け、穴を通した紐でロードテープ同士を拘束する。右図: ネクタイ部のロードテープとテフロン製ループテープとの結合部の写真。テフロン製ループテープの穴をつらぬくようにロープを通し、ロードテープを拘束することでフィルムの広がりを防止する。開放時には、カッターを駆動する。

気球の頭部をゴム気球で持ち上げておき、気球の頭部の浮力と重量が釣り合う状況でガス注入することを考えた。

また、もう一つ、ミニカラーの締付け力が弱く、浮力が増すとカラーがずり落ちるという課題も発生していた。そこで、図 1 のように、気球皮膜の溶着部のロードテープに 30 cm のテフロン製ループテープ (予め、穴があるように編まれている) を縫い付け、その穴部にロープを通し、そのロープによってロードテープの動きを拘束することで、皮膜の移動も拘束することを考えた。ロードテープ一本にテフロンループテープを縫い付け、その穴に 300 ポンドのケブラーロープを通した試料を用意し、ロードテープとケブラーロープの引張強度を評価したところ、750 N 以上の強度を有することが確認された。気球皮膜に鉛直方向にかかる張力に対して、カラーを下方向にずらす力は 7%、輪状に通した紐にかかる力は 8% が働く。したがって、このネクタイ紐は 11 トンの浮力がかかってはじめて、ずれたり、破断したりすると考えられ、得られた強度は 1 トンの浮力を想定したシステムとしては十分な強度である。フィルムに沿って上方向に移動させる力が働くの大きさは既存のカラーで十分に保持し、移動を抑制できる力である。以後、この構造をネクタイと呼ぶことにする。なお、ロープの開放は、ロープカッターによって実施する。

2.2 頭部立て上げ試験

こういった方法で頭部立て上げを準静的に行えること、および、ずり落ちないカラーが実現できることを確認する試験を 2023 年 8 月 22 日に大樹航空宇宙実験場 JAXA 格納庫内で実施した。供試品に用いた NPB2-4a 気球は、2023 年に実施した模擬放球試験で利用した NPB2-4 気球から剥した網、極部金具を再利用したもので、気球頭部側 10 m の皮膜を新規に製作し、取り付けたものである。頭部から 5 m 地点、および、9 m 地点にネクタイを取り付け、5 m 地点のネクタイ紐には 300 ポンドのケブラーロープを、9 m 地点のネクタイ紐には 2500 ポンドのケブラーロープを用いた。前者は、従来のカラーと同様に、気球に充填したガスが拘束点よりも下に広がらないために利用し、後者は、気球をアンカーへと結束する目的で利用した。

1. 2 kg のゴム気球 (TA-2000) に 10 kg の浮力のヘリウムガスをつめ、気球頭部へと結索した (図 2)。
2. 気球へとガスを注入し、頭部側から順に気球を立て上げた (図 3~4)。
3. 頭部側 9 m のネクタイ取付部まで気球が立ち上がったところで、第一カラーを開放した (図 5、6)。
4. さらにガスを注入し、65 kg の浮力が注入された状態でガスづめを終了した (図 7)。なお、カラー線の経験式から予想されるカラー位置 9 m のガス量は 71 kg である。

5. 排気弁を開いて気球を緩やかに降下させて回収した。
6. 気球皮膜の損傷を目視で確認した。

回収した気球を調査したところ、指で引っ張ったようなフィルムが伸ばされた傷、および、一か所の穴(頭部から 1.5 m 地点、大きさ 1 cm 程度)は見出されたものの、スリット状の傷は存在しなかった。これらの傷は、放球、あるいは、回収後の気球の取扱い作業の過程で皮膜を手で引っ張ってしまったことによるものと考えられた。また、ネクタイと頭部からの距離が近い場所において、紐が擦ったことによるフィルムの損傷が存在しないことも確認された。、ゴム気球で頭部を吊り上げてからガスを注入し、ネクタイを用いてガスを頭部側に閉じ込め、ガス注入後、ウインチを用いて準静的に気球を立ち上げることで、皮膜の衝撃破壊は防止できることがわかった。

3 まとめと将来計画

2021 年に実施したウインチを用いた準静的な放球法の試験では、頭部立て上げ時に皮膜が損傷する課題が発生しており、その対策として気球頭部をゴム気球で吊り上げからガスを注入する方法を考案した。2023 年 8 月 22 日に、NPB2-4 気球の頭部側 10 m に皮膜をつけた供試品 (NPB2-4a 気球) を用いてこの方法での試験を実施し、スリット状の穴の発生が完全に防げることを確認した。これにより、皮膜に網をかぶせた気球の放球方法として、ゴム気球で気球頭部を吊り上げた後にヘリウムガスをつめ、第二保持点にとりつけたロープをウインチで繰り出すことによって、衝撃破壊を起こすことなく、放球する目途がついた。

今後、2024 年には、NPB2-4 と同型の気球による耐圧性能試験を日本で実施し、この放球方法の有効性の最終確認とすると共に、飛翔環境下での 500 Pa の耐圧性能の評価実験を実施する。さらなる大型化には気密性を確保する方法を確立すること、座屈変形による耐圧性能への影響を評価する方法を確立すること、が重要である。今後、こういった手法の確立を進めると共に、開発された気球の地上試験、および、海外での実験も視野にいった飛翔性能試験を実施し、性能が確認された気球により科学実験を実施しつつ気球の改良を進め、さらなる大型気球の開発を進める予定である。

謝辞

本実験の実施、機材の準備にあたっては、大気球実験グループの支援を受けた他、ISAS/JAXA の福家英之さん、有限会社コスモスハートのみなさま、藤倉航装株式会社の柏木颯人さん、丸由工材株式会社の津久井悟志さんにお世話になりました。本研究の一部は、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
- [5] 斎藤 芳隆、他、2022 年度大気球シンポジウム集録、isas22-sbs-027、2022



図 2: 気球頭部へのゴム気球のとりつけ。



図 3: ガス注入に伴い、気球頭部が持ちあがる。



図 4: カラーより上には十分なガスが詰められる。



図 5: カラー開放準備。ロープカッターを引く。

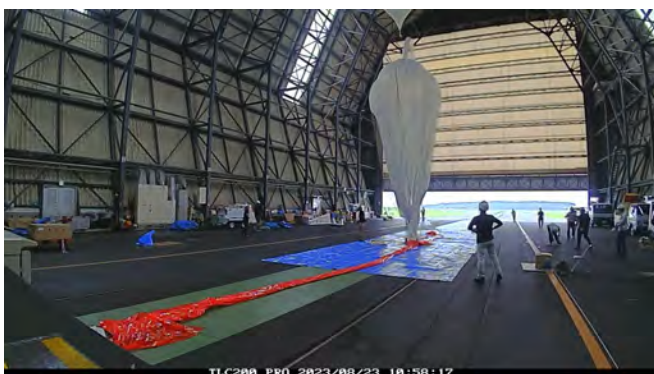


図 6: カラー開放直後。



図 7: ガス注入完了。撤収開始。