

皮膜に網をかぶせた長時間飛翔用スーパープレッシャー気球の開発 (NPB7-1 気球地上試験)

宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所	:	斎藤 芳隆、山田 和彦
東海大学工学部	:	中篠 恭一
東京工業大学環境・社会理工学院	:	秋田 大輔、泉 芙由美
明治大学理工学部	:	松尾 卓摩
松嶋技術士事務所	:	松嶋 清穂
藤倉航装(株)	:	橋本 紘幸
ナカダ産業(株)	:	島津 繁之

1 はじめに

長時間(数カ月程度)飛翔できるスーパープレッシャー気球をゼロプレッシャー気球と同程度の体積/重量比で実現する開発を進めている。搭載重量 1 トン、飛翔高度 37 km を体積 30 万 m³ の気球で実現することが目標である。長時間飛翔気球は NASA でも開発が進められており、2015 年から 2017 年にかけてニュージーランドの気球基地から等緯度に地球を周回させる体積 53 万 m³ のスーパープレッシャー気球による 3 回の実験を実施している [1]。最高高度 34 km の飛翔を 2016 年には 46 日間、2017 年には 12 日間成功しているが、飛翔高度、および、飛翔時間の点に課題が残っている。

我々は高度 37 km を飛翔する気球を、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という新しい手法 [2] で実現しようとしてきた。2010 年より開発を開始し、2016 年、2017 年には、体積 2,000 m³、重量 54 kg の NPB2-1 気球、NPB2-2 気球の破壊圧がそれぞれ、1,040 Pa、1,020 Pa であることを検証するに至っている [3][4]。この破壊圧は、40 kg のペイロードを搭載し、高度 22 km を飛翔する際の要求値の倍に相当する。また、我々が最終目標としている体積 30 万 m³ の気球の要求仕様と比較すると、網線の安全率 2.1 倍、フィルムの安全率 10 倍が達成されており、その観点でも、十分に要求値を達成している。ただし、これは、常温での耐圧性能に基く話であって、低温で十分な耐圧性能があるのかは検証されておらず、また、支障なく放球できるか、大重量の吊り下げに問題がないか、といった課題は個々には実証されているものの、気球としての実証試験は未実施である。

そこで、2017 年に、同じ設計方針で体積 6,400 m³ の NPB7-1 気球を製作し、飛翔性能試験の実施を大樹航空宇宙実験場において試みたが、2017 年、および、2018 年には気象条件が適さないという理由で、2019 年度にはヘリウムガスの調達できないという理由で実験が実施されなかった。そこで、実験実施にあたっての制約条件を検討し、より現実的な実験計画として、以下のように飛翔実験を実施することとした [5]。

- 大樹航空宇宙実験場における実験は、耐圧性能のみを確認する実験とし、体積 2,000 m³ の気球 (NPB2-3) での実験とする。
- 水平浮遊時の特性を評価する実験は、体積 7,000 m³ の気球 (NPB7-2) を用いて豪州にて実施する。
- 豪州の実験に先立ち、地上試験により NPB7-1 気球の耐圧性能確認することで、飛翔時の安全性を確認する。

本講演では、NPB7-1 気球の地上試験結果について報告する。

表 1: NPB7-1 気球の諸元

気球番号	NPB7-1
形状	かぼちゃ型
容積 (m ³)	6,400
直径 (m)	26.5
全長 (m)	34.8
高さ (m)	15.9
ゴア数	32
最大ゴア幅 (mm)	2680 [†]
フィルム種類	10 μ m ポリエチレン
網線/ロープ強度 (N)	415
縦網線/ロープ数	3600
網交点間隔 (mm)	102
赤道ロープ間隔 (mm)	46
気球重量 (kg)	93.46

[†] 32 パネル中 30 パネル。他、2 パネルは 1,432 mm。

2 NPB7-1 気球の地上膨張試験

飛翔試験を実施する前に気球の耐圧性能を評価する目的で NPB7-1 気球の地上試験を実施した。供試品の諸元を表 1 に示す。

実験は、サンドーム福井¹において、2019 年 11 月 26~28 日に実施した。サンドーム福井はドーム状の屋根を持ち、気球を完全に吊り下げた状態から膨張させることが可能である (図 1)。高さ上下させることができるバトンから気球を吊り下げた後、気球に空気を詰めて膨張させた。図 2 は、200 Pa 加圧時の写真である。一晩、加圧状態のままとし、翌日、空気を注入して段階的に加圧し、気球を破壊した。気球の破壊時の写真を図 3 に示す。大きく変形しながら破壊したことがわかる。このような、上下に波打つ変形は、Nakashino, K. et al. (2017) で指摘されており [6]、座屈による不安定モードによる変形だと考えられる。

図 4、5 に大気圧と気球内部のガス圧との差圧の時間変化を示す。最大差圧は 740 Pa に達している。また、200 Pa に加圧した後、差圧は次第に小さくなっている。図 6 をみると夜間に気温が下がっており、大気圧は上昇していたことがわかる。これらは、いずれも差圧が減少する要因となっており、これらの効果を考慮することでガス漏れ量も把握することができる。

3 議論

今回の実験により、NPB7-1 気球の耐圧性能は 740 Pa であることが判明した。豪州実験では 300 Pa の差圧をかけて運用する予定であり、安全率は 2.5 倍と十分な安全率をもった実験となることが確認された。この耐圧性能は、高度 27 km に 70 kg のペイロードを搭載して飛翔させた際に安全率 2 が確保できる値でもある。

気球は大きく変形しながら破壊しており、差圧が大きくなると発現する不安定性があると考えられる。NPB2-2 気球においても同様の変形の結果破壊しているが、得られた耐圧性能 740 Pa は、NPB2-2 気球

¹<http://www.sankan.jp/sundome/>



図 1: バトンから吊り下げられた気球。



図 2: 満膨張となった NPB7-1 気球。



図 3: 変形しながら破壊する NPB7-1 気球。

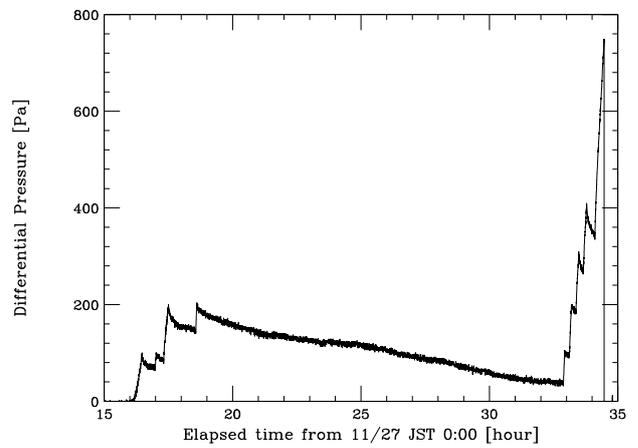


図 4: 気球の差圧の時間変化。

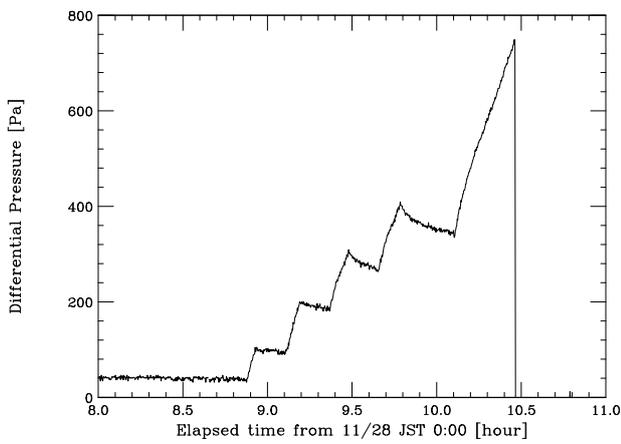


図 5: 気球の差圧の時間変化 (破壊時)。

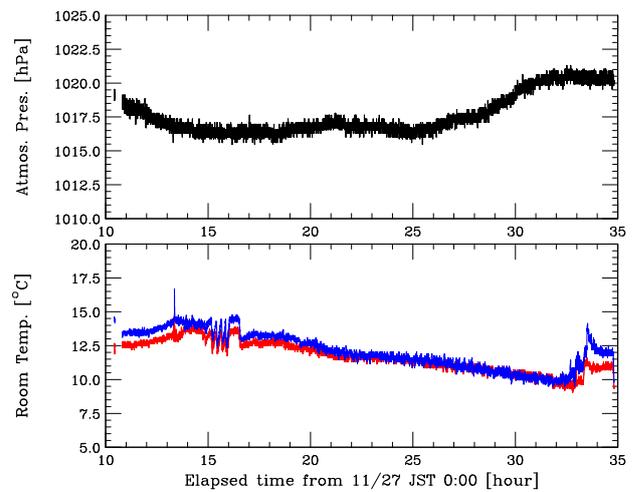


図 6: 大気圧と気温の時間変化。

で得られた値 1,020 Pa の 0.73 倍と小さくなっている。これらの気球の破壊時に網線にかかる平均的張力で比較すると NPB7-1 が 113 N なのに対し、NPB2-2 では 106 N と 1.07 倍とほぼ同一であり、網の張力が 110 N 程度となった時点で気球の形状安定性が破れて破壊することが示唆される。そうであるならば、開発の目標としている体積 30,000 m³ の気球における網の張力は 60 N であり、使用耐圧に対して 1.8 倍の安全率を有することとなる。より大型の気球の地上耐圧試験は困難であり、今後、数値シミュレーションによる安定性解析を実施し、この仮説を検証したい。

4 まとめと将来計画

豪州での飛翔性能試験を予定している気球とほぼ同体積の NPB7-1 気球の地上膨張試験を実施し、耐圧性能が 740 Pa であることが判明した。豪州実験では 300 Pa を印加して飛翔させる予定であり、2.5 倍の安全率をもって試験を実施できる。現在、NPB7-1 と同一の方針で体積 7,000 m³ の気球の製作を進めており、2021 年に豪州にて水平浮遊時の特性を評価する実験を実施する。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金基盤研究 (A) 「皮膜に網をかぶせた大型スーパープレッシャー気球に向けた基礎技術の開発」(課題番号 17H01352) の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Debora Fairbrother “Superpressure balloon”, Proc. 2017 Scientific Ballooning Technologies Workshop, 2017
- [2] 斎藤 芳隆、他、“菱目の網を被せたスーパープレッシャー気球”、JAXA-RR-010-03, pp. 21-40, 2011
- [3] 斎藤 芳隆、他、“皮膜に網をかぶせた長時間飛翔用スーパープレッシャー気球の開発 (大重量搭載用大型気球の開発)” 宇宙航空研究開発機構研究開発報告, JAXA-RR-016-08, pp.1-32, 2017
- [4] 斎藤 芳隆、他、“皮膜に網をかぶせた長時間飛翔用スーパープレッシャー気球の開発—新しい網と皮膜の結合方法の開発—” 宇宙航空研究開発機構研究開発報告 JAXA-RR-17-007, pp.1-13, 2018
- [5] 斎藤 芳隆、他、“皮膜に網をかぶせた長時間飛翔用スーパープレッシャー気球の実験計画” 2019 年度大気球シンポジウム集録、isas19-2bs-017, 2019
- [6] Nakashino, K. et al. “Super Pressure Balloon with Diamond-Shaped Net: A Numerical Study of its Structural Characteristics” Proc. of AIAA SciTech Forum, AIAA 2017-1117, 2017