

新型ロードテープ気球の飛行試験

田村 誠, 飯嶋 一征, 池田 忠作, 井筒 直樹, 小財 正義, 斎藤 芳隆,
 梯 友哉, 佐々木 彩奈, 福家 英之, 松坂 幸彦¹, 吉田 哲也
 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

Flight demonstration of a balloon using a new load tape

Makoto Tamura, Issei Iijima, Chusaku Ikeda, Naoki Izutsu, Masayoshi Kozai, Yoshitaka Saito,
 Yuya Kakehashi, Ayana Sasaki, Hideyuki Fuke, Yukihiko Matsuzaka¹, and Tetsuya Yoshida
 Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency

1. はじめに

ロードテープは気球の吊り下げ耐荷重を増強するために気球の縦方向(経線方向)に取り付けられるものである。成層圏を飛行する大気球の製作において、気球に重い観測器を吊り下げるためには強度が強く伸びのないロードテープが必要で、これまでは外国製の製品を使用しているのが現状である。昨年度の大気球シンポジウムでは、新規開発により軽量化した全く新しいタイプの国産ロードテープを使用した気球を製作し、地上試験を行った結果を報告した[1]。本稿では、今年度の気球実験にて実施した容積5,000m³の新型ロードテープ気球の飛行性能試験の結果について報告する。

2. 気球のロードテープ

現在、大重量の観測器を飛行させる大気球には、ガラスやポリエステルのような低伸度の繊維を集めた紐をポリエチレンフィルムでラミネートした形の外国製ロードテープが使用されている。テープには、レーダーヤーンと呼ばれる金属繊維で作られた0.3mmφ位のしなやかな導電線が入っており、レーダー反射板としての機能も持つ。図1に示すように、気球はリーフ状のポリエチレンフィルムを熱溶着によってフィルム同士を繋ぎ合わせることで製作される。フィルムの溶着の時、同時にロードテープと補強テープ(ポリエチレン)もフィルムの上下に這わせ、一緒に熱溶着される。従って、気球はリーフ状の2枚の重なったフィルム的一端をロードテープと補強テープで挟んだ形で溶着され、次々同様に貼り合わさった球体となっている。観測器の重量は気球の縦方向に装着したロードテープの強度で保持され、ロードテープの紐の装着本数を多くすればより重い観測器の吊下げが可能となる。

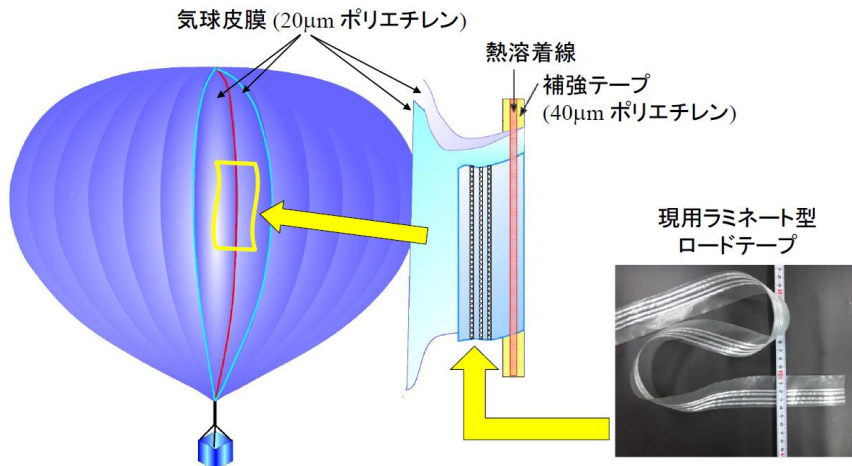


図1：気球の模式図

3. 新型ロードテープ開発の経過

図2に新型ロードテープの構造を示す。低伸度の繊維としてケブラー繊維を編んで作った帯紐を使用している。ケブラー帯紐に溶着しろを付加するために、縦糸にポリエチレン糸とナスロン(レーダ反射材としての金属撚糸)を追加し、横糸をポリエステル糸にしてケブラー糸とナスロン、ポリエチレン糸を編み込んだ構造になっている。縦糸のポリエチレン糸は太さ0.1mmで、低密度ポリエチレンで作られ気球本体フィルムと同じ溶着温度(140°C程度)である。一方で、横糸にはポリエチレンより融点の

¹ 平成29年3月31日付で退職

高いポリエステル糸を使用することで熱溶着後も強度が保持され、テープが溶着線に沿って裂けにくくなっている[2].

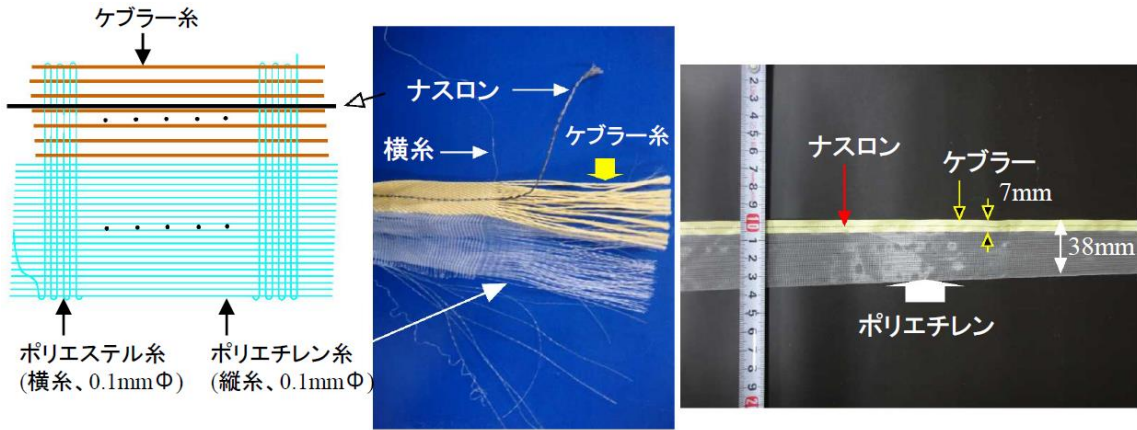


図 2：新型ロードテープの構造

従来の気球製作方法の場合、現用ロードテープを用いた熱溶着部の引張強度が 5.90N/cm に対して、新型ロードテープでは熱溶着温度が 130~150℃の範囲で引張強度が半分以下になる結果となった。この対策として、図 3 のように幅 30mm、厚さ 40μm のポリエチレン補強テープをロードテープと気球皮膜フィルム間に追加挿入することで、常温および-40℃の低温下での引張強度・伸びが現用ロードテープと同程度となった。従来の気球製作法に比べると補強テープの追加が必要となるが、気球製作装置を改良することにより、従来の気球製作と変わらない作業性を確保できている。新型ロードテープの主な諸元を現用ロードテープ (300LBS) と比較した形で表 1 に示す。

表 1：新型ロードテープと現用ロードテープの比較

	破断強度 (N)	質量 (g/m)	溶着時に必要な補強テープ質量 (g/m)
新型ロードテープ	1848	3.767	2.118 (2枚分)
現用ロードテープ (300LBS)	1830	7.414	1.059

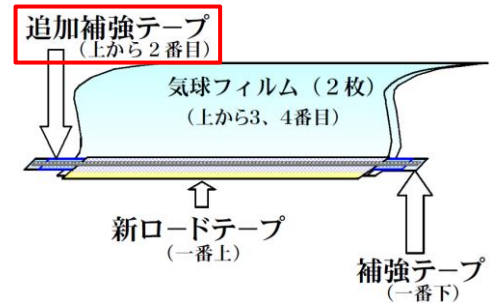


図 3：気球製作方法

昨年度、新型ロードテープを用いた容積 5,000m³の気球を製作し、従来の放球作業手順によって気球への損傷や破壊が起らないことを検証するための地上試験を行った。また、気球製作のための確認試験として、実機と同一フィルム構成・同一溶着方法による直径 0.8m 以上のシリンダー型気球を用いて加圧破壊を行う枕割試験、気球頭部及び尾部構造の規定値による荷重負荷試験も行い、現用ロードテープ気球と同等以上の仕様を満たすことが確認された。地上試験は総浮力を 500kg とし、気球へのヘリウムガスの充填、カラーの装着、気球の屋外移動、気球の立ち上げまで従来の放球手順で作業を進め、気球に損傷等の問題が無いことを確認した。

5. 飛行試験計画

地上試験で使用した新型ロードテープ気球と同一仕様の気球を用いて、気球の飛行性能を確認することを目的とした飛行試験を、今年度の第一次気球実験の B17-04 号機として計画した。気球の主な仕様を表 2 に、B17-04 号機の構成を表 3 に示す。飛行試験では吊下げ重量を 400kg 程度として放球し、予定到達高度 25km で約 10 分程度の水平浮遊を行った後、気球を切り離して飛行試験を終了する計画とした。観測器には飛行中の気球を映像でモニタするための ITV 装置を搭載した。新型ロードテープの使用が従来気球からの設計変更となるため、飛行安全および海上保安への対応として以下の条件が設定された。

- 放球予定日時の風向・風速に基づく気球の予測飛行経路が放球後 15 分以内に海上へ到達していること。(放球直後の飛行異常時に陸上への降下リスクを下げる)

- 飛翔異常時の降下予定海域外への降下に対しても確実に回収が行えるよう、遠距離回収船を準備すること。

表 2：新型ロードテープ気球の諸元

気球型式名	B5D
容積	5,000m ³
ゴア数	27
新型ロードテープ数	27
頭部	弁座型
尾部	B'型尾部金具
尾部強度試験荷重	2,040kg
最大吊下げ重量	520kg
気球重量	45.65kg

表 3：B17-04 重量構成表

項目	重量 or 浮力
気球 (排気弁含む)	47.2kg
気球尾部搭載機器	3.0kg
パラシュート・荷姿	23.0kg
観測器	67.0kg
バラスト	300.0kg
総重量	440.2kg
自由浮力 (13%)	57.2kg
総浮力	497.4kg

6. 飛翔試験結果

平成 29 年 6 月 24 日の午前 3 時 33 分に大樹航空宇宙実験場より新型ロードテープ気球の飛翔試験 (B17-04) を放球した。気球は毎分およそ 330m の速度で上昇し、放球から 1 時間 30 分後に実験場東方約 50 km の太平洋上において高度約 24.8 km で水平浮遊状態に入った。図 6 に示すように、飛翔中の気球に異常な高度変化等は見られず、良好な飛翔結果が得られた。その後、午前 6 時 9 分に指令電波により気球と観測器の切り離しを行い、気球は実験場南東約 20km の降下予定海域内に緩降下し、午前 6 時 50 分までに回収船によって回収された。



図 4：気球の放球作業 (左) と放球時 (右) の様子

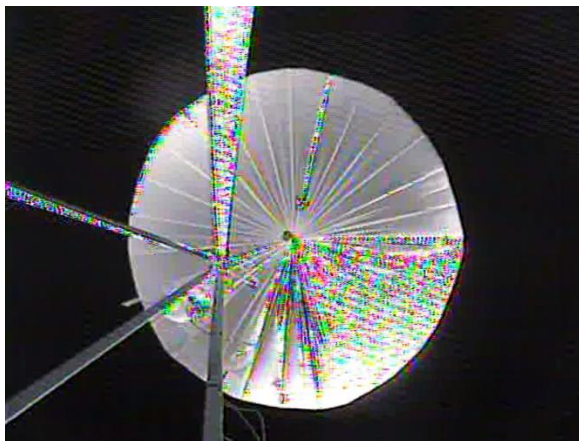


図 5：水平浮遊時の気球 (ITV カメラ映像)

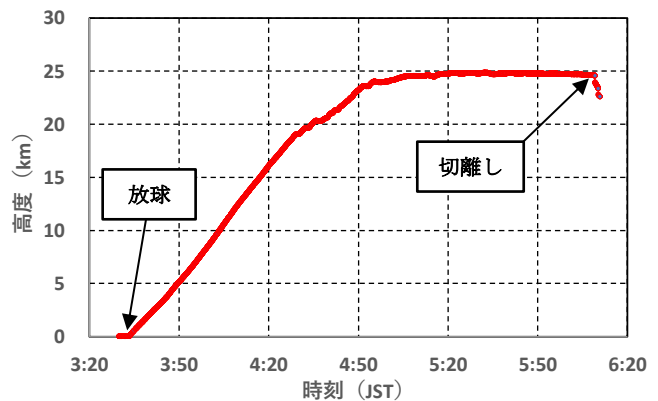


図 6：気球の高度変化

7. 新型ロードテープの展望

現用ロードテープに代わって新型ロードテープを適用した場合の効果を気球モデル別に見てみると、表4のようになる[3]。大きな気球になるほどロードテープの軽量化の効果は大きく、B500Bでは60kgの重量差が生じることがわかる。気球重量の軽量化は吊下げ重量が同じ場合、同じ容積の気球でもより高い高度での観測が可能になることや、観測高度が同じで良いなら吊下げ重量を増加できることになり、気球観測にとっては大きな利点と言える。加えて、新型ロードテープは気球頭部や尾部のロードテープ固定方法を従来の摩擦力保持からケブラー帯紐の張力での保持へ改良することで終端構造を簡素化し、保持力を増強しながら気球重量をさらに軽量化できる可能性もある。また、BT型(フィルム厚さ6 μ m)やBU型(フィルム厚さ3.4 μ m)といった薄膜型高高度気球には従来ロードテープが入っていないため、最大吊下げ重量が6kg程度と非常に小さい。高高度気球は気球重量をいかに抑えるかが重要であるため、これに軽量の新型ロードテープを適当な本数入れることで、気球重量の増加を最小限に抑えながら最大吊下げ重量の増加が可能となる。

表4：新型ロードテープ適用による効果

Balloon model number	Balloon volume [m ³]	Maximum suspending load [kg]	Thickness of body film [μ m]	Number of load tapes	Type of load tape [lbs]	Balloon weight [kg] w/ valve	Weight of load tapes [kg]
B5A	5,000	270 ⇒ (272)	10	27	200	39 ⇒ (37)	6 ⇒ (4)
B100A	100,000	870 ⇒ 884	20	73	300	300 ⇒ 286	45 ⇒ 31
B300C	300,000	1200 ⇒ 1227	20	101	300	640 ⇒ 613	89 ⇒ 62
B500A	500,000	1030 ⇒ 1069	20	120	300	880 ⇒ 841	130 ⇒ 91
B500B	500,000	2960 ⇒ (3020)	20	119	600	1300 ⇒ (1240)	201 ⇒ (141)
BT5A	5,000	6 ⇒ 18	6	7 / 28	100	12.5 kg 39.2 km ⇒ 13.4 kg 36.9 km	0 ⇒ 0.9
BU30B	30,000	6 ⇒ 18	3.4	12 / 51	100	23.0 kg 49.3 km ⇒ 25.7 kg 45.7 km	0 ⇒ 2.7
BU80	80,000	6 ⇒ 18	3.4	15 / 71	100	46.0 kg 52.4 km ⇒ 50.7 kg 50.0 km	0 ⇒ 4.7

8. おわりに

容積5,000m³の新型ロードテープ気球の飛翔試験を実施し、良好な飛翔結果が得られたことを報告した。この飛翔試験によって新型ロードテープ気球の健全性が確認されたことで、これまで輸入に頼っていたロードテープから国産のロードテープの利用が可能となり、ほぼ100%の国産気球の製造が可能になったと言える。

謝辞

新型ロードテープの開発・製造に携わって頂きました、三國産業(株)、モリト(株)、井上リボン工業(株)の皆様に深く感謝を申し上げます。

参考文献

- [1] 松坂 幸彦, 他, “新型国産ロードテープの実用化開発”, 平成28年度大気球シンポジウム, 2016.
- [2] 松坂 幸彦, 他, “新しいタイプのロードテープの開発”, 平成23年度大気球シンポジウム, 2011.
- [3] Hideyuki Fuke, “New load tape for balloons”, Scientific Ballooning Technology Workshop, Presentation Slide, 2017.