

新型国産ロードテープの実用化開発

宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所
 松坂幸彦 飯嶋一征 池田忠作 井筒直樹 梯 友哉
 齊藤芳隆 田村 誠 濱田 要 福家英之 吉田哲也
 三産業（株）山野和猛
 モリト（株）香田翔光
 井上リボン工業（株）井上豊彰

Development of a ribbon-type load tape for scientific balloons

Yukihiko Matsuzaka, Issei Iijima, Chusaku Ikeda, Naoki Izutsu, Yuya Kakehashi
 Yoshitaka Saito, Makoto Tamura, Kaname Hamada, Hideyuki Fuke, Tetsuya Yoshida

ISAS/JAXA
 Kazutake Yamano
 Mikuni Ind. LTD
 Kouda Tatsuki
 Morito CO., LTD.
 Toyoaki Inoue
 Inoue Ribon Ind.

1. はじめに

大重量気球の製作には、気球皮膜用ポリエチレンフィルムはもちろんロードテープも必要不可欠な材料である。気球に吊下げられる観測機器重量は、気球の経線方向に取付けたロードテープの強度で保持している。2011年度の大気球シンポジウムで、従来のラミネート型のロードテープに代わる、世界にはない全く新しい発想のロードテープの開発報告[1]をした。この報告では、日本古来の織物機を使った編み込み方式の極めてユニークな新しいタイプのロードテープを紹介した。世界にはない、日本独自に開発したもので、ロードテープの国産化も期待できた。新しいタイプのロードテープの大きな特徴は、従来のラミネート型に比べ単位長さ当たりの重量が軽い、張力強度を容易に変えられることにある。輸入品に頼らず、自国での生産が出来ることも大きな利点の一つである。新しいタイプのロードテープの実用化にはいくつかの課題が残されていた。これらの課題の克服により大重量気球用ロードテープとしての実用化が可能になったと言える。ここでは新しいタイプのロードテープの実用化に向けた開発について報告する。

2. 課題の克服

大きな課題には、図1に示したように熱溶着部端に沿って、ロードテープが切れやすいこと、また気球フィルムの溶着強度が従来の半分程度しか得られないことがあった。これらの課題解決の対策について記述する。



図1 ロードテープの剥離

2.1 新型ロードテープの構造改良

観測器を飛行させる大重量気球には、観測器を吊り下げるために気球の縦方向に高張力、低伸度の繊維紐が入ったロードテープと呼ばれるものが装着される。従ってロードテープの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2は課題が残った新しいタイプのロードテープの構造を示している。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を追加し、ケブラー帯紐の横糸をポリエチレン糸を編み込んだ構造になっている。ナスロンは電波を反射するレーダヤーン用である。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℃程度)である。課題として、この構造のロードテープでは熱溶着部端に沿ってテープが切れやすいことがわかった。これはメッシュ構造による強度の低下が原因と思われた。気球への直接的な影響は

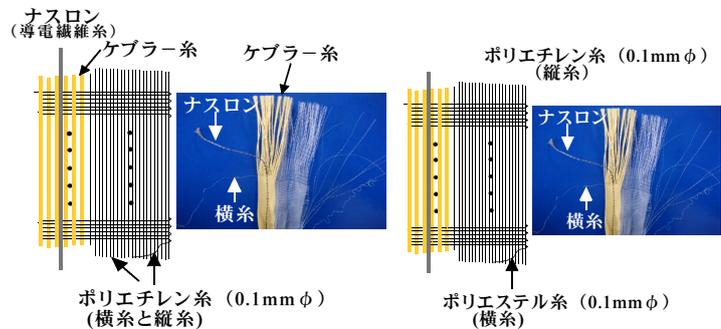


図2 ロードテープの構造

図3 対策構造

少ないと思われたが、放球時のロードテープの剥がれは気球皮膜への不均一な張力が加わる可能性があるため対策が必要とされた。対策として、図3のように横方向に編み込まれたポリエチレン糸を、融点の高いポリエステル糸に変えて編み込むことを考えた。ポリエステルはポリエチレンの熱溶着温度より高いため、ポリエステルの強度が保持され熱溶着端に沿っての切れ安さが無くなることを想定した。この対策は期待通りの結果を得ることができた。

2.2 熱溶着強度の低下対策

図4のような従来の気球製作方法の場合、現用の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、新しいタイプのロードテープでは表1に示したように、熱溶着温度が130度から150度の範囲で引張強度が半分以下になる結果となった。この原因として、編み込みによるメッシュ構造により熱溶着部に鋸歯状のギザギザができ引張強度の低下が起こっていると推察した。この対策として、図5に示したように幅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との間に追加挿入することでメッシュ構造のギザギザが緩和され強度も増加すると考えた。図5の方法で熱溶着を行った3個の引張試験サンプルについて行った引張試験結果を表2に示した。結果から現用のロードテープと変わらない引張強度となっており、期待した強度低下対策の効果が得られていることがわかった。

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ため、作業上の困難性が見込まれた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することとした。

常温での引張試験に加え、-40℃の低温下での引張強度試験を行った。試験は株式会社三井化学分析センターに依頼した。試験に用いた新型ロードテープはPEモノフィラメント型と呼ばれ、表2で得られた結果も同型のロードテープである。引張試験のサンプルは3個とし、引張速度は藤倉航装(株)の引張速度と同じ100mm/分とした。

試験で得られた測定結果を表3に示した。試験結果より、引張降伏強さは30.9MPa、引張強さは51.3MPaであった。この引張強度はフィルム皮膜厚さ20μmで常温の倍程度の強度であり、従来の引張強度と変わりがなかった。また伸びについては、590%程度で、従来と同程度の伸びである。引張強度及び伸びについては、3サンプルの中で1サンプルが槽内最大測定長さまで破壊しなかったため2サンプルでの平均値とした。

2.3 気球製作装置への機能追加

新型国産ロードテープを用いた気球製作には図6のように、新型ロードテープと気球皮膜フィルムとの間に補強テープを掃引する必要がある。このため気球製作装置に補強テープの自動掃引機能を持たせた。写真1は従来の気球製作装置である。写真2は新型ロードテープ用に改良した気球製作装置で、ロードテープと気球皮膜フィルムとの間に補強テープを導くガイドと補強テープ巻枠を装備した。この機能により、これまでの気球製作と変わらない作業手順で気球製作が可能となった。写真3は新型ロードテープを使った

表1 図4の溶着部引張強度

	溶着温度				
	20℃	129℃	138℃	142℃	149℃
気球フィルム	6.35N/cm				
現用ロードテープ			5.90N/cm		
新しいタイプ		2.75N/cm	3.0N/cm	2.95N/cm	2.55N/cm

藤倉航装(株) 提供データ

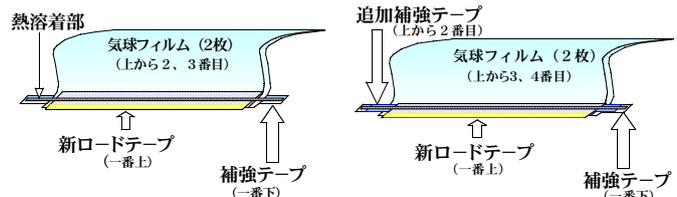


図4 従来の気球製作方法 図5 引張強度低下対策

表2 引張強度低下後の熱溶着部引張強度

気球フィルム溶着強度6.35N/cm 現用ロードテープ溶着強度5.90N/cm

溶着温度138℃	溶着強度 (N/cm)			
	サンプル1	サンプル2	サンプル3	平均
新しいタイプ	5.2	6.2	6.3	5.9

藤倉航装(株) 提供データ

表3 -40℃での引張試験測定結果

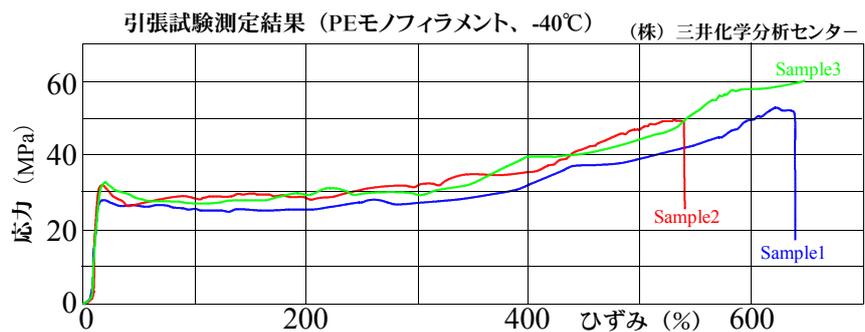
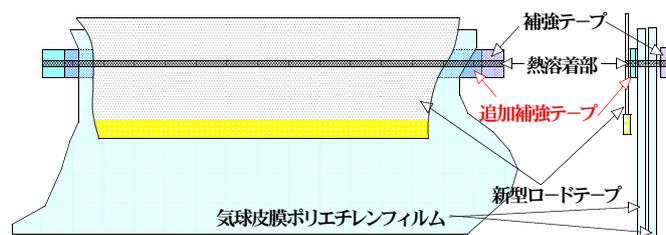


図6 気球製作フィルム配置



気球製作試験の様子である。

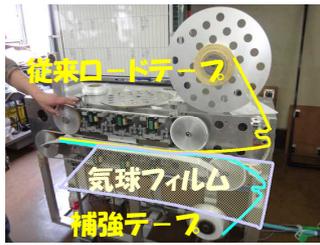


写真1 従来の気球製作装置

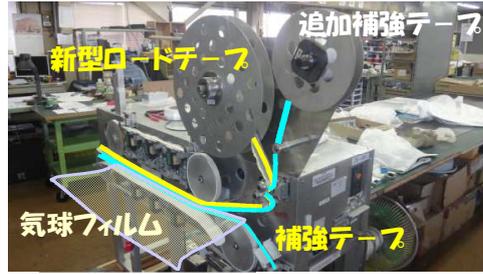


写真2 新型ロードテープ用装置



写真3 気球製作試験

3. 新型国産ロードテープの諸元

大重量気球用ロードテープとして実用化が可能となった新型ロードテープの主な諸元を現用のラミネート型のロードテープ（300LBS）と比較した形で表4に示した。これまで外国からの輸入に頼っていたロードテープは国産化が可能になった。新型ロードテープはこれまでのロードテープ製法とは全く異なった斬新な製作方法であり、世界でも注目されるユニークなロードテープになると思っている。編み込みの製作手法から、図7に示したようにロードテープの中のケブラー帯の幅、厚み、配置等は自由に変更が可能であり、大重量気球に必要な吊下げ強度を得るために必要最低限を満たす最適化したロードテープの設計も可能である。

表4 新型ロードテープと現用ロードテープの比較 藤倉航装(株)データ

	破断強度 (N)	質量/m (グラム)	補強テープ質量/m (グラム)	備考
新型ロードテープ	1848	3.767	2.118 (2枚分)	補強テープ込みでも現用の70%程度
300LBS現用品	1830	7.414	1.059	

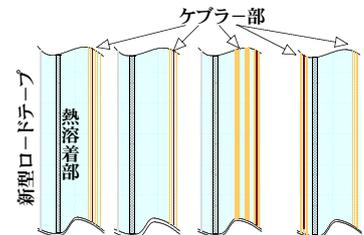


図7 ケブラー部の様々な配置

新型ロードテープと現用のロードテープを重量で比較してみる。例えば、B5（容積5,000m³）、B100（容積100,000m³）及びB500（容積500,000m³）気球でロードテープを50本入れた場合の重量比較は表5のようになる。

大きな気球になるほど重量差は大きく、B500では20kg以上の重量差が生じることがわかる。気球重量の軽量化は観測器重量が同じ場合、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観測機器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。価格面で輸入ロードテープと比較した場合、現状では2倍程度輸入品より高いが、試作過程の段階であり近い将来同価格か安価が見込まれる。

表5 ロードテープ重量の違い

	B5	B100	B500
新型ロードテープ	11.8kg	27.6kg	47.0kg
300LBS現用品	16.9kg	39.8kg	67.8kg

4. 新型ロードテープ気球の地上試験

気球の性能を確認するため、新型ロードテープを使った容積5,000m³の気球を製作し、地上試験を行った。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による枕割試験、気球頭部及び尾部構造の規定値による荷重負荷試験を行った。枕割り試験結果では、加圧破壊時破壊強度が応力換算で11MPa以上であることが確認され、気球頭部、尾部構造についても従来構造の仕様を満たすことが確認された。地上試験の目的は、従来の放球作業手順を新型ロードテープ気球で行い気球への損傷や破壊が起こらないことの検証試験である。総浮力は吊下げ観測器重量が400kgに相当する500kgとした。B5D気球の最大吊下げ重量は520kgである。製作した新型ロードテープ気球の主な諸元を表6に示した。地上試験のフローチャートを図8に示した。ヘリウムガス注入後まもなく気球製作の過程でできたと思われる小さな傷や穴が数カ所発見され、低温テープによ

表6 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
尾部クリーブ試験荷重	1,100kg
頭部クリーブ試験荷重 (1本当たり)	37.4kg
最大吊下重量	520kg
気球重量	43.74kg

る補修を行ったがほぼ正常にフローチャートに沿った試験を行うことができた。気球荷姿構成については図9に示した。図に示したように放球プレート上に配置した測定レンジ2tonのロードセルにより浮力の確認を行った。確認点としては、スプール開放前後の浮力の状態、カラー解放後の浮力の状態、気球の損傷状態等である。気球の損傷状態については、気球頭部からカラー下3m位までの気球を目視確認した。カラーについては本来のカラー位置とその下2mの位置の2箇所に着し、カラー位置の1個を外すことで気球への影響を調べた。2tonのロードセルで得られた計測値を図10に示した。計測結果より確認点で浮力の減少は見られず、新型国産ロードテープ気球の安全性が検証できたと考えている。図11はスプール開放してからのロードセル値を示した。スプールを開放後気球が立上がり、約7秒後に総浮力の1.5倍程度の最大張力が加わっているのがわかる。

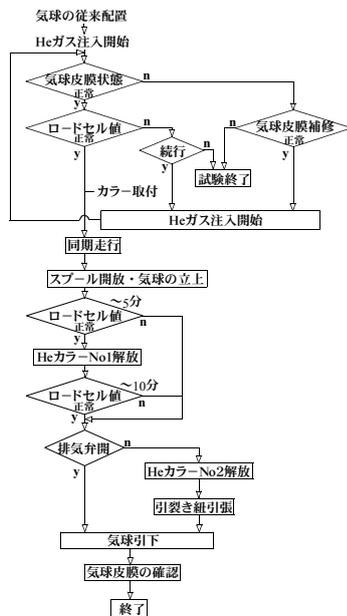


図8 地上試験フローチャート

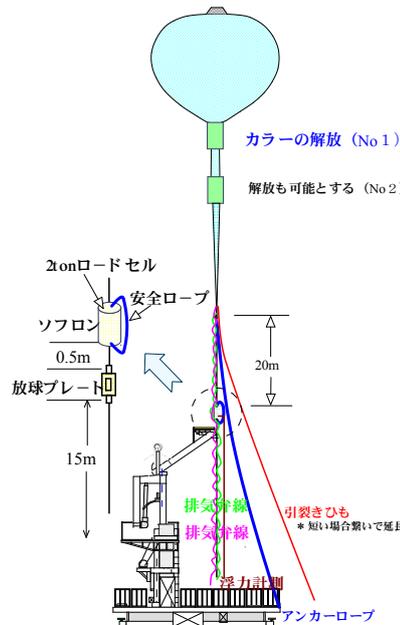


図9 気球荷姿構成

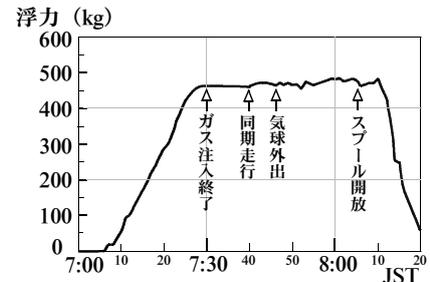


図10 ロードセル計測値

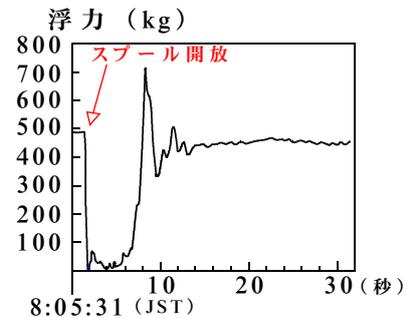


図11 スプールの開放後の計測値

写真4は新型ロードテープ気球の頭部、写真5は同期走行時、写真6はスプールの開放時、写真7は気球が放球装置上に立上がり、リリースピンを外せば放球される状態である。



写真4 気球頭部



写真5 同期走行



写真6 スプールの開放



写真7 放球直前

5. おわりに

世界にはない日本独自の編み込み方式の新しいタイプのロードテープの開発を進めてきた。この新型ロードテープが抱えた実用化への課題を克服したことで、新型ロードテープを用いた容積5,000m³の大重量気球第1号機を製作し、地上放球試験の結果から観測気球としての性能を十分検証できたと考えている。新型ロードテープの国産化が可能になったことにより、気球製作材料のほぼ100%が国産化されたことになる。来年度には新型ロードテープ気球の飛行試験を行い性能を確認する予定である。将来、最適化された効率的な新型国産ロードテープ気球を設計し、観測気球として数多く放球され、良い観測成果が得られることを期待したい。

参考文献

[1]松坂 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年