

薄膜高高度気球の引き裂き装置

井筒直樹¹, 飯嶋一征¹, 梯 友哉¹, 加藤洋一¹, 斎藤芳隆¹, 佐藤崇俊¹, 莊司泰弘¹
田中茂樹², 濱田 要¹, 福家英之¹, 松坂幸彦¹, 松嶋清穂², 吉田哲也¹

¹宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所, ²藤倉航装株式会社

1 はじめに

引き裂き装置は気球の飛翔を終了させるための重要な機構であり、確実な動作が求められる。通常の大気球に取り付けられている引き裂き装置は、これまでに何度か改良を重ねることにより確立されている[1]。一方、薄膜高高度気球は、気球本体フィルムが非常に薄く、吊り下げるペイロードが 3kg 以下と非常に軽いことが特徴である。その引き裂き装置は、軽い力で引き裂くことができ、気球本体に影響を与えないことが求められ、完全に確立された方式にはなっていない。実際に、2011 年に飛翔した BS11-06 において、高度 14.7km のあまり膨張していない状態ではあるが、引き裂き機構が作動した際に、動作が不完全で十分に引き裂くことができず降下速度が遅かった[2]。そこで、薄膜高高度気球の引き裂き装置を抜本的に改良するために、方式の見直しを行い、改良後の試験用供試体を用いた地上試験を実施した。その結果について報告する。

2 引き裂き装置の問題点と改良

通常の大気球の引き裂き装置は、図 1 に示すように、気球頭部のゴアに貼られた強度のある逆 V 字型の引き裂きテープ (25mm 幅のフィラメントテープ) を、切り離した観測器の自重で引っ張り、気球フィルムを引き裂く構造になっている[1]。そのため、引き裂きテープの頂点 (通常、気球頭部から約 3m の位置) には、引き裂きテープ (通常、全長は 6m)、気球シェルおよびキャップフィルムの全体を挟むように、引き裂きボタンと呼ばれる金属製のボタンが取り付けられている (図 2)。このボタンに結合された引き裂き紐は、気球の内側にそって気球下部まで配置され、気球下部で気球の外側に取り出されて最終的に荷姿の頭頂部に接続される。自由落下を始めたゴンドラの方で気球は瞬時に大きく裂ける (図 3) ことにより破壊され、観測器より若干速い速度で降下する。なお、引き裂き装置は 1 系統のみであるが、気球頭部に装着されている排気弁を全開にしてから引き裂き動作を行うことにより、気球が降下することが保証されている。

これまでの薄膜高高度気球の引き裂き装置の構造を図 4 に示す。引き裂き機構は、引き裂きテープに紐でつながれた 300g の錘を気球頭部から落下させ、その勢いで頭部パネルを引き裂く錘引き裂き方式[3]、引き裂きテープに紐でつながれた観測器を切り離すことにより、その自重で頭部パネルを引き裂くゴンドラ分離引き裂き方式 (大気球と同種の方式であるが、観測器と気球が分離しないように引き紐を折り返してある)、の 2 系統を装備している。引き裂きテープは、気球本体に負荷をかけないようにゴア溶着線にそって配置された I 字型になっており、引き裂きボタンはなく、引き裂き紐が直接引き裂きテープに接続されている。また、引き裂きテープは、気球フィルムの補修にも使用されるポリエチレン低温接着テープを用いている。この方式は、気球本体に歪みを発生させないことを目的としているが、引き裂きテープの強度が高くないため引き裂き中に切れる可能性があること、直線状の引き裂きであるため開口部が小さくなる欠点がある。

引き裂き装置を改良するにあたって、ゴンドラ自重引き裂きにより気球を大気球と同じように

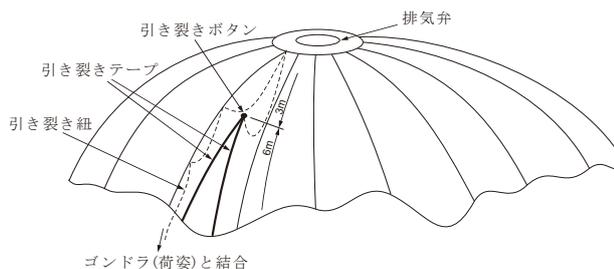


図 1 通常型(大型)気球の引き裂き装置の構造

速やかに破壊できること、錘引き裂きにより気球降下を確認できる程度に破壊できること、が求められた。そこで、(1) I型引き裂きを大型気球同様の逆V字型引き裂きとし、軽量の引き裂きボタンを取り付ける、(2) 引き裂きテープを12mm幅のフィラメンテープと25mm幅のポリエチレン低温接着テープの重ね合わせに変更、(3) 引き裂きテープにそって引き裂かれることを確実にするための引き裂きガイド(25mm幅ポリエチレン低温接着テープ)を引き裂きテープの全長にそって貼り付ける、改良を実施した(図5)。なお、引き裂きボタンの位置は頭部から3m、引き裂きテープの長さは6mであり、通常型気球の場合と同じとしている。

3 地上試験とその結果

最初に、改良後の引き裂き装置の引き裂き力が改良前と同程度であることを確認する試験を行った。供試体は、2.8 μ m厚シェルに2.8 μ m厚キャップを重ねたFBVT80A型気球を想定した。図6のようにゴア溶着線を地面に固定し、引き紐を13cm/sの一定速度で上に引く時の力を測定した結果、従来とほぼ同じ初期引き裂き力13N、継続引き裂き力5~13Nを得た。また、引き裂きガイドが継続引き裂き力を小さくかつ一定に保つために重要であることを再確認した。ガイドテープがない場合で試験すると2倍以上の力が必要であることが確認された。測定結果は薄膜高高度気球の観測器の自重(2~3kg)より小さいため、引き裂き力としては十分である。

次に、実際の引き裂きを模擬した動引き裂き試験を実施した。上記試験と同様に試験用ゴアを地面に固定し、たるんだ引き紐が滑車を通して接続された錘を落下させて、滑車にかかる荷重をロードセルで計測するとともに、引き裂き長さを調べた。紐のたるみ(錘の自由落下距離)は4mおよび実機と同じ8mとした。結果を表1に示す。



図2 通常型気球の引き裂き装置



図3 実際の引き裂き動作

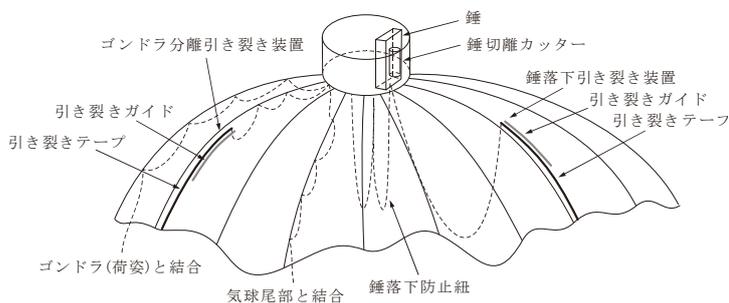


図4 薄膜高高度気球の引き裂き装置の構造

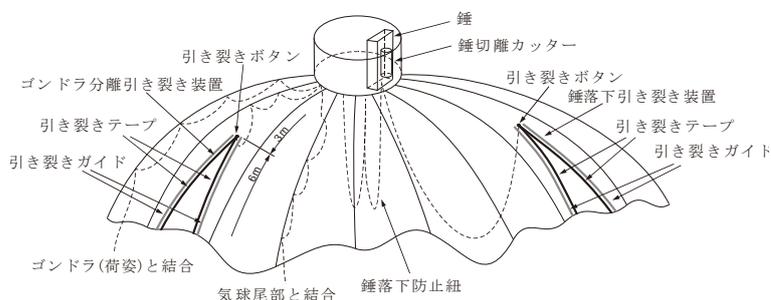


図5 改良後の引き裂き装置の構造



図6 引き裂き力の測定

表 1 動引き裂き試験の結果

模擬気球型式	フィルム構成 (μm)	自由落下距離 4m		自由落下距離 8m	
		引き裂き距離(m)	引き裂き力(N)	引き裂き距離(m)	引き裂き力(N)
FBT5B	6.0	0.97	16	0.96	24
FBU30B	3.4	1.24	15	1.11	23
FBVT80A	2.8+2.8	1.10	18	1.33	23

自由落下距離が大きくなると、引き裂き力も増加しているが、引き裂き長さは同程度であった。これは、滑車の位置が固定されていたために、引き裂くに従って引き裂き方向が変わり斜めになったためと推定される。実際には、自由落下距離の増加にともない引き裂き長さも増大するはずである。

新しい引き裂き装置によって、気球の(耐圧)性能に影響しないことを確認するために、引き裂き装置を取り付けたパネルを含む直径 0.9m、全長 10m のシリンダー気球を製作・加圧し、耐圧が従来の引き裂き装置の場合と同等であることを確認する試験を実施した(図 7)。表 1 に示したいずれの型式の気球についても、破壊時の圧力差は従来方式とほぼ同じ値であった。

次に、実際の引き裂き動作を確認するために、スケールモデル気球を製作して引き裂き動作試験を実施した。使用した気球は、FBVT80A と同じフィルム構成で容積を $1,000\text{m}^3$ と小さくした気球である(表 2)。引き裂き試験は大樹航空宇宙実験場の格納庫内で実施した。この供試体では、気球が小さいため、錘引き裂きの引き紐長を実機の 8m から 7m に変更した(錘の落下を防ぐための安全紐の長さは 13.5m で実機と同じ)。また、格納庫の高さ制限から、ゴンドラ自重引き裂きの実質引き紐全長をぎりぎりまで短く 25m とした。試験は、気球をヘリウムガスで立て上げた後に、空気により満膨張させた後に実施した(図 8)。

まず、錘を落下させて引き裂き距離を測定したところ、約 4m であった(図 9)。この長さは前記の動引き裂き試験により得られた値よりかなり大きい。この差は、フィルムの引っ張り方向が自由であること、また、フィルムが垂れ下がるため実際の自由落下距離は 7m に 4m を加えた約 11m と大きいことによると考えられる。錘は安全紐が伸びた状態で落下が止まった。

次に模擬ゴンドラを切り離してゴンドラ自重引き裂きを試みた。格納庫の高さ制限にあわせて引き紐の長さをできるだけ短くしたが、それでも落下距離が不足し、引き裂きが始まった時点でゴンドラが着地してしまった。落下可能高さは 27m ほどあったが、引き紐の伸



図 7 シリンダー(耐圧)試験

表 2 試験気球の諸元

容積(m^3)	1,000
ゴア数	71
シェル	$2.8\ \mu\text{m}$, 18.8m
キャップ	$2.8\ \mu\text{m}$, 11m
直径(m)	13.14
高さ(m)	11.14
質量(kg)	6.82
模擬ゴンドラ(kg)	2.00
総浮力(kg)	13.25



図 8 満膨張状態の試験気球

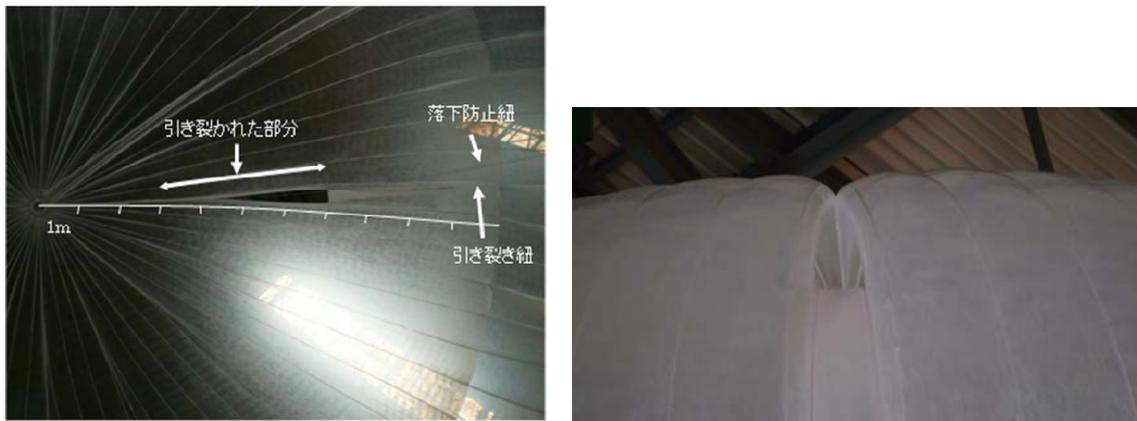


図9 錘引き裂き試験の結果

表3 錘引き裂きによって推定される浮力減少率

模擬気球型式	フィルム構成 (μm)	総重量 (kg)	高度 (km)	差圧 (Pa)	浮力減少率 (%/s)	-1m/s に達するまでの時間 (min)
FBT5B	6.0	17.5	40	0.55	0.130	0.5
FBU30B	3.4	27.0	49	0.25	0.030	2
FBVT80A	2.8+2.8	41.0	54	0.20	0.013	5

び、引き裂きパネルの下方方向への引っ張り、ゴンドラが地面まで落ちずに緩衝台上に着地したことなどの複合要因による。ただし、引き裂きは正常であったため、錘引き裂きの結果とあわせると、300g の錘より十分に重い 2kg のゴンドラであり、十分な落下距離があるため、通常の大気球同様の瞬時に気球破壊に至るような大きな引き裂き動作(図3)が行われるものと考えている。

錘引き裂きによる引き裂き長さ 4m の場合の実質的な開口面積は約 0.3m^3 である。このときの頭部差圧から推定される計算上の浮力変化率は約 3g/s となる。実際にロードセルによって浮力の変化率を測定したところ 2g/s であった。この計算を実機に当てはめると表3に示す結果となり、水平浮遊状態から降下速度 1m/s に達するまでの時間(浮力を 4% 失うまでの時間で計算)が推定できる。計算結果は、FBVT80A 型気球の場合でも錘引き裂きにより 5 分程度で 1m/s の降下速度が得られることを意味する。これは、気球の飛行を終了させるためのバックアップとしての最低限の機能を満たしていると考えられる。また、錘引き裂きでもかなりの長さを引き裂けることがわかったため、実機では、落下防止紐の長さを 13.5m から 16.5m に変更することとした。

4 おわりに

今回実施した引き裂き装置の改良により、薄膜高高度気球の飛行終了機構は、より信頼度の高いものになったと考えられる。地上での各種の試験およびスケールモデルによる動作試験により確実に十分な引き裂き能力があることを確認した。これらの結果を受けて、今年度に製作した 2 機の薄膜高高度気球に本装置を搭載し、実機での性能を確認する予定であったが、どちらの気球も飛行機会がなく動作試験は実施できなかった。来年度の飛行において動作試験を実施したいと考えている。

参考文献

- [1] 加藤洋一, 他: 平成 20 年度大気球シンポジウム, 45-48, 2008.
- [2] 斎藤芳隆, 他: 平成 23 年度大気球シンポジウム, isas11-sbs-033, 2011.
- [3] 鳥海道彦, 他: 平成 15 年度大気球シンポジウム, 31-34, 2003.