

気象観測気球を用いる高高度観測システムの開発

—滑空回収が可能な気球による新しい上空観測—

1. 背景

約 80 年前に始まった気球による上空の気象観測網は現在世界 1,300 箇所に広まり、毎日 2,600 個の気球により気象予報、航空機の運航計画そして気候変動の監視等の日常生活に直結した重要なデータを社会に供給し続けてきた。これらの気象観測用気球はヘリウムや水素を充填したゴム気球と小型軽量の気象観測用測定器と降下用のパラシュートを備えた簡素な装置で構成され、かつ人の手で扱うことのできる極めて低コストの上空観測手段である。加えてこれらの気球は簡易な構造ながらも旅客機の巡航高度よりもはるかに高い成層圏(高度 11km~50km)に、数キログラムの装置を搬送できる高いポテンシャルを持つ。ただし、これら従来の気象観測気球に吊り下げられる観測装置は無線電波で計測値を送信するため、回収を前提としない「使い捨て装置」として運用されてきた。

一方、2010 年頃から主に民間でホビー、エンターテインメントまたは教育機関における教材・学術研究等を目的として比較的重量のある装置をゴム気球で放球する例が増えてきている。これらの活動では搭載カメラで撮影した高高度の映像や特殊なセンサーで得られた観測データを「地上で回収すること」を前提としている。特に気球による映像撮影はまるで宇宙空間から撮影されたかのようなインパクトのある映像を低コストで撮影することができるので、これまで世界中でユニークな取り組みが行われてきた。しかし、重量のあるこれらの装置類を無制御のパラシュートで回収するためには、刻々と変化する上空気流に対して地上側でパラメータを調整して対応するほかに落下地点を変更することができない。これら一連のパッシブな航路変更による気球運用では、特に地理的な条件から人口密集地の多い日本においては回収コストが非常に大きくなるため、実用・応用用途での気球利用や、より高価な装置を搭載して行う定常的、高頻度な上空観測に高いハードルが立ちはだかっていた。

2. 目的

このプロジェクトは、安価かつ高性能でありつつも、気象観測用途以外での活用が進まなかったゴム気球を、効率的・汎用的な上空観測手段に転用するために、気球に搭載可能なアクティブな降下制御機構をもつ「滑空回収ユニット」および「地上管制システム」を新たに開発し、回収可能な低コスト気球観測を実現すること、そして気球による新たな上空観測手段の普及拡大を目指すものである。また、事業期間中実際に気球放球を伴う実証実験を通して開発システムの優位性、新規性を検証し、開発と実験により得られた結果を元に具体的なユーザーニーズの聞き取りを通して市場開拓を進めていくことを目的とした。

3. 開発の内容

未踏アドバンス事業期間中に実現したプロトタイプを図 1 に示す。プロトタイプは気球に搭載して飛翔させる「気球搭載ユニット」および、地上において気球の状況をリアルタイムに把握し、制御を行うための「地上管制システム」の 2 つの要素で構成される。なお、気球自体は従来の気象観測気球用途で量産されている安価なゴム気

球をそのまま用いる。機械構造および、制御用の電装システムは要素機械部品を除いてすべてオリジナルで設計を行った。

また気球、地上間通信ではインターネット回線経由での制御は行えないので IoT 用途で用いられる LPWA モジュールを使用した。遠隔制御には高頻度の双方向通信が必要となるが、LPWA は通信帯域を抑えることにより長距離の無線通信を実現しているためリアルタイム制御には本来向かない無線伝送規格である。しかし、パケット構成から検討し通信データ量を削減することで直接通信による遠距離無線制御を可能にした。なお、これら新しい気球システムの実装に当たっては関連法規に関する調査を実施しすべてクリアになった状態で実装を進め、特許出願も行った。

また、未踏アドバンス事業期間中に、宮崎県延岡市において実際に気球を用いる開発システムの実証実験を実施した(図 2)。

【確認できた成果】

- 前例のないパラfoil(柔軟翼)式の滑空制御型観測装置を気球によって高度 6,000m まで引き上げ、風速換算 38m/s、外気温-10℃のシビアコンディション下で切り離しに成功した。
- リアルタイムで位置姿勢の監視を行い、海上着水後 11 分での回収に成功した。

【課題と改善】

- 切り離し後に翼前面が立ち上がらず、降下方向の制御移行に至らなかった。
- 搭載カメラ映像およびコントローラーに記録された制御履歴、モーター電力値から翼後端の引き下げ量が不足していたと考えられ、理想的な翼形状を成せなかったことが滑空に至らなかった主要因と考える。
- 作業性の改善および再現試験を行い来年度中の滑空実証を目指す。

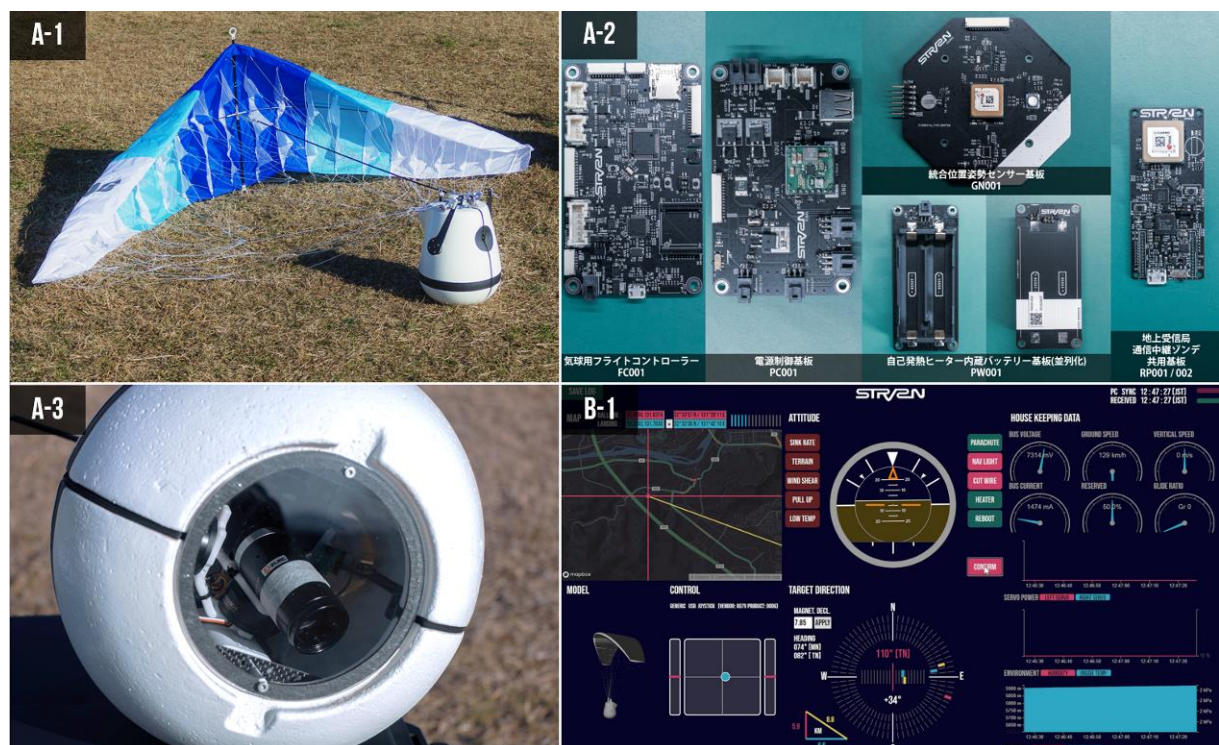


図 1 開発したプロトタイプ

A) 気球搭載型滑空回収ユニット

A-1 ユニット外観

気球から切り離され滑空回収されるユニット。従来の搭載装置の降下で使用されるパラシュートではなく、降下方向制御が可能なパラフォイル（柔軟翼）を装備しており、気球吊り下げ状態で安定搬送可能な独自の構造を有する。

A-2 専用コントロール基板

機体の制御や姿勢計測、電源供給、通信を行う電子基板オリジナル設計であり気球に最適化されている。

A-3 地表高解像度撮影用ジンバルカメラ（ユニット下面）

地表を高解像度かつ安定的に撮影するカメラユニット。電子制御により機体の揺動をキャンセルして撮影を行う。

B) 地上管制システム

B-1 気球制御用ソフトウェア

PC ブラウザ上で動作可能なソフトウェア。ラップトップ PC で動作し可搬のコンパクトな地上局システムを構成可能

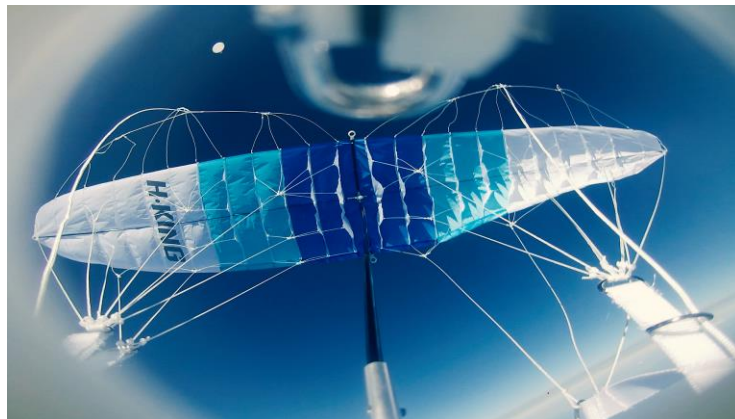


図 2 高度約 6,000m、時速 140km/h で気球から切り離される滑空回収ユニット

4. 新規性・優位性

【使い捨てから滑空回収へ】

今回開発した気球システムは搭載装置の降下方向をアクティブに制御するという点で従来のパラシュート回収方式の気球搭載装置に対して大きな優位性を持つ。例えば、パラシュート回収を行う気球実験で回収成功率を上げていくためには、放球前の気流予測およびそこから導かれる各種放球パラメータ（上昇・下降速度、最大高度など）を地上でいかに正確に再現できるかにかかっている。しかし、気流が予測値である以上、作業手順を順守しても予測降下地点と実降下地点を完全に一致させることはできない。また、実作業における人的ミスやばらつきは必ず発生するものであり、地上から気球に対して何らかの制御介入ができない場合、不測の事態に対処することができないという点で本質安全が不十分なシ

システムであるといえる。一方、今回開発した気球搭載装置のパラフォイルによる降下制御が実現すれば、気流予測と実際の航路とのずれを一定程度吸収できるほか、上空で不測の事態が発生したとしても複数の対処手段を地上もしくは自律的に講じることができるようになり気球運用の安全性と効率が大きく向上する。

【気球運用ジレンマの解消】

パラシュート回収方式でも航路の変化に追従して放球地点の場所を転換したり、日本であれば沿岸から十分に離れた海上に着水地点を設けたりすることで回収成功率と安全性を追求することは可能だが、この場合回収成功率を高めようとするほど運用効率が低下するため多大な労力とコストを要するジレンマに陥ることになる。一方、上空でのパラフォイル滑空と進路変更が可能になると地上側での放球地点転換作業や、細かいパラメータ調整を省くことが可能になり、回収地点の自由度も増すので、実験計画の策定に要するコストを大幅に圧縮することができる。

【低コスト・高頻度な上空観測の実現】

小型ゴム気球は数キログラムと装置の搭載重量が限られてはいるが、降下制御が可能となれば、装置を複数気球に分散搭載し、同時に多数放球したり、連続的に放球したりすることで従来、大型科学観測用気球（搭載重量数百キロ以上）を用いていた大規模な科学観測や面的（エリア）観測を一部代替できる可能性もあり、高高度観測技術におけるブレークスルーが期待できる。

5. 事業普及（または活用）の見通し

現在進めている具体的な観測アプリケーションには、高知工科大学で研究が行われている超低周波音波（インフラサウンド）の地上・観測ロケット複合観測に、新たに今回開発した気球観測システムを加える実験を計画している。なお、現在は個人事業主として活動しており、プロダクト立ち上げ前の創業初期のフェーズにあるため、今後の実証試験の規模、状況や外部連携の必要性に応じて法人化を検討する。プロジェクトの性質上、開発・実験費用、および実験人員を要するため、今後はクラウドファンディング等による資金調達を通じた柔軟な外部連携も検討している。

6. 期待される波及効果

低コストかつ高効率な気球観測システムの実現は、現在市場が拡大しつつある人工衛星観測技術、環境保全技術の精度向上にも大きく寄与する。人工衛星による地球観測は、宇宙空間から遠隔で地上もしくは特定高度レイヤーの観測を行うものであるが（リモートセンシング）、直接観測を行ったデータではないため取得データから特定の物理量を抽出するにはリファレンスとなる計測値や、復元アルゴリズムが必要である。このデータは例えば地上の現象であれば、地上観測点等からリファレンスを得ることができるが、上空においてリファレンスとなりえる精度の高い測定を行うにはコストがかかる。例えば台風の立体構造を計測するための上空観測用航空機の運用は観測一回当たり約 1,000~2,000 万円程度が必要と言われている。よって現時点では 3 次元の高精度リモートセンシングの実現は技術的にも経済的にもハードルが高い。

他方、現在世界に 1,300 ある気象観測気球網では、使い捨ての軽量測定器(数十から数百グラム)で観測を行うことができる「温度、湿度、気圧、風向、風速、(週一回のみ)オゾン」の取得にとどまっており、例えば、観測装置が大型化、重量化し安全に回収する必要のある温室効果ガスなどの濃度・分布測定器や、異常気象、災害発生時特有の地球挙動を推定、把握するに十分な計測機器を搭載した低コスト気球観測は実現していない。これらデータの積極的な取得は、特に昨今の国際社会で重要視されている「持続可能な開発目標」の実現プロセスにおいて、「地球資源と同様に、限られた人類のリソース」を「効果的かつ本質的な対策」に充てていくための重要な判断材料となり得る。その費用対効果の大小によっては今後の国家産業競争力そのものの命運を左右することにもつながりかねず、未踏領域の多い上空の精密な観測需要とともに、回収型気球観測システムの重要度は今後ますます大きくなっていくと考える。

7. イノベータ名（所属）

河野 紘基(フリーランス)

PJ サイト : stratovision (<https://strvsn.net/>)