

気球系姿勢運動計測：2022 年実験報告

莊司泰弘（金沢大学），飯嶋一征（宇宙航空研究開発機構）

Measurement and Analysis of Attitude Motion of Balloon Flight System: 2022 Experiment Report

Yasuhiro Shoji (Kanazawa University), Issei Iijima (JAXA)

Abstract

本発表では、2022 年度気球実験でピギーバックとして実施された気球系姿勢運動の計測について、実験結果を報告する。本研究では 2023 年度もピギーバック実験を申請しており、今後の計画について述べる。

1. はじめに

成層圏気球ではミッションによってゴンドラの姿勢（指向）制御がしばしば必要とされる。その制御系設計では、長くゴンドラのみを制御対象としてきた。しかしゴンドラは剛体とは言え、気球フライトシステム全体から見れば、巨大な気球と長大な吊り紐の先端にある質点とみなせ、気球や吊り紐の運動の影響が非常に強い。実際に気球や吊り紐をダイナミクスモデルに組み込む場合、気球フライトシステムは腕がねじれる剛体振り子として記述できる。しかし、外乱力の数値的なデータの蓄積が不足しているため、ゴンドラに搭載する姿勢アクチュエータのサイジングや性能予想に必要な振動振幅の増減は経験則に頼ってきた。従来はある程度ゴンドラの姿勢運動が小さいことを前提に指向制御系を設計してきた。気球の高度が変化する間は、周囲の気流によるとされる外乱力が作用し、ゴンドラの姿勢運動が大きくなることが知られており、しばしば指向制御系の制御可能範囲を超える。フライトの制約から水平浮遊時間が短い場合や、同じ観測対象を時間等間隔に撮影したい場合、または高精度な指向制御を必要とする場合などは、ゴンドラの姿勢運動と静定に要する時間の見積もりが、ミッション成立性を左右する。力学的にも、このような外乱力の大きさを決める要因は興味深く、多数のデータに基づいて検討される必要がある。

著者らは、成層圏気球フライトシステム各部の姿勢運動を時間領域で明らかにし、従来の振動モード解析だけでなく運動の減衰特性や外力の推定を目指している。これまでに本研究で必要な、気球フライトシステムの各部の姿勢運動の直接計測デー

タを得るための手法を開発した[1, 2]。その後 2021 年までに 6 実験のデータを取得し、データ解析を勧めている[3-5]。本発表では、2022 年のキャンペーンで行った気球実験結果を報告する。また、来年以降の気球実験についての展望を述べる。

2. 2022 年度実験の概要

2022 年は B22-07[6]に対する 1 実験を行った。この実験は B15 型（満膨張体積 15,000 m³）の気球によるフライトであった。B15 型は比較的小型の気球である。近年の JAXA 国内気球実験では B5 型（満膨張体積 5,000 m³）から B30 型（同 30,000 m³）が多く運用されており、その中では中程度のサイズに位置づけられる。図 1 に示す全 6 箇所に姿勢ロガーを搭載した。

B22-07 実験は、2022 年 6 月 6 日に JAXA 大気航空宇宙実験場より放球され、高度 27km においておよそ 1 時間 15 分の水平浮遊の後、太平洋上に降下し回収された。搭載された 6 台の姿勢ロガーは全て回収された。

回収後の外観検査の結果、図 1(5)に示す放球板直上に設置した個体に海水の浸入によるコネクタの軽微な損傷が認められた以外、大きな損傷、重大な浸水はなかった。(5)のコネクタ損傷も、これまでどおりコネクタの交換により普及が十分に可能な範囲であり、ほぼ無傷で回収できた。

しかし 10 月末日現在、データの回収ができていない。従来と同様の方法でデータの回収を試みたところ、複数のロガーとの通信に異常が発生しており、原因が不明である。ロガーの運用

状況並びに回収のためのデータ通信以外の挙動に異常は認められないため、データ通信部分に何らかの異常が発生している可能性がある保存されているとみられるデータを失わないよう、慎重に原因の究明を進めているため、データ全体の回収にはなお時間を要する。データを回収できた後、改めて報告する。

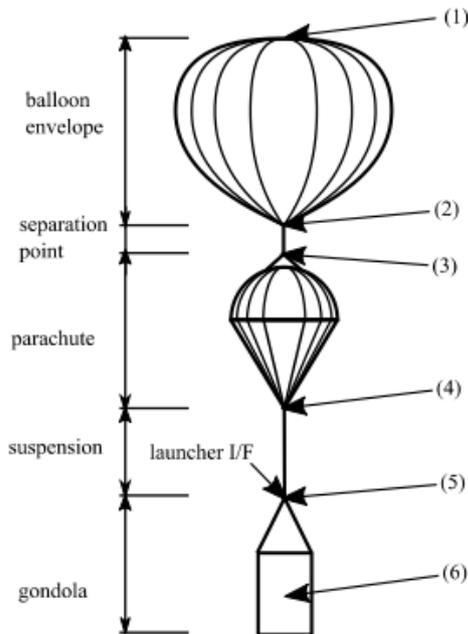


図1：気球フライトシステムの模式図と通常姿勢ロガー設置位置

3. 2023年度以降の計画

本研究では、2023年度以降もこれまでに行ってきたピギーバック実験と同様にデータを収集する計画である。2022年度実験で1実験を行ったことで、2017年の1回目実験以降〇〇例のデータを収集してきた。順調に計測例を増やすことができた一因として、本実験が計測対象とする気球フライトシステムを制限せず、全てのフライトシステムを対象としてきたことが挙げられる。しかし結果的に、ラダー形吊り紐を有する気球フライトシステムに対する実験が今日まで実施できていない。

気球吊り紐の様態は、1本吊りと複数本吊り(ラダー形)に大別される。ラダー形は気球とゴンドラを2本の平行なロープで接続する。気球に対してゴンドラが回転すると2本のロープがよじれあわさってし

まう。これを防ぐため、2本のロープ間に剛な棒を一定間隔で配置する。鉛直に伸びる2本のロープの間を多数の棒がつなぐ形状が梯子に見えることから、ラダー(形)と呼ばれる。2本のロープの間隔を広くすることで吊り紐全体のねじれ剛性を高くすることができる[7]ため、JAXAの気球実験では主にゴンドラの方角制御を必要とする実験に対して適用される。世界的にはミッションによらず常にラダー形を適用することもあり、たとえばNASAはラダーの吊り紐それぞれを複数本の金属ワイヤーとしている。

本研究は最終的にゴンドラの姿勢制御系設計に資する情報を収集することを目的としている。しかし、これまでに姿勢制御を必要とする実験がきわめて少なかったため、あるいは条件が整わず実施されなかったことが続いたため、ラダー形吊り紐を有する気球フライトシステムが飛翔しなかった。

来年度以降はこの状況を打開するため、姿勢制御を必要としない実験においてもラダー形吊り紐を適用することをJAXAに要望する。

この方法は、本来ラダー形吊り紐を必要とする、ゴンドラ姿勢制御を行う気球フライトシステムの姿勢挙動計測を行うよりも、質の良いデータを収集できると期待される。ゴンドラが姿勢制御、特に方位角制御を行うと、制御反力が吊り紐や気球にも伝達し、気球フライトシステム全体の姿勢運動に影響しうる。ゴンドラの姿勢制御結果を正しく把握できれば、姿勢制御の影響を後解析によって取り除きフライトシステムの姿勢運動のみを取り出すことは可能であると考えられ、従来はその方針で準備をしてきた。もし、ゴンドラの姿勢制御機能を有しないフライトシステムにラダー形吊り紐を適用して計測実験を行うことができれば、得られるデータの解析はより容易になり、ゴンドラ姿勢制御系設計の際に有用な知見を与えると期待される。

4. おわりに

本発表では、2022年に行われたピギーバック実験について実験結果を報告した。昨年に続きB100型気球のフライトデータを得ることができた。ロガーの不具合によって一部収集できなかったデータがあり、今後詳細に解析する。

さらなるサンプル収集のため、2021年国内気球実験においてピギーバックとして実験を実施することを希望する。また、近い将来予定される豪州実験を含む今後の実験において、より質

の高いデータを取得するため、2022年度に新型ロガーを投入する。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 19K04256 の助成を受けたものです。また実験は宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所が提供する大気球による飛翔機会を利用させていただきました。飛翔実験準備、実施に際しては、B22-07 実験の研究代表者および大気球実験班から多くの支援を頂きました。この場を借りて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 莊司 泰弘,, Kwak SeungJo : 飛翔中の気球系挙動測定システムの開発とピギーバック実験提案, 大気球シンポジウム: 平成 28 年度, isas16-sbs-031, 2016 年
- 2) 莊司 泰弘, 飯嶋 一征: ピギーバックによる気球系各部の In-situ 姿勢計測結果と今後の展開, 大気球シンポジウム: 平成 29 年度, isas-17-sbs-007, 2017 年
- 3) Shoji, Y.: Study on Transient Deformation of a Balloon Flight System based on Distributed Attitude Measurements of the Components, Proc. 32nd ISTS, 2019-m-18, Fukui, Japan, June 2019.
- 4) 莊司 泰弘, 飯嶋 一征: 気球系姿勢運動の計測と過渡状態の解析, 大気球シンポジウム: 2019 年度, isas19-sbs-011, 2019 年
- 5) 莊司 泰弘, 飯嶋 一征: 気球系姿勢運動の計測と解析, 大気球シンポジウム: 2020 年度, isas20-sbs-026, 2020 年
- 6) 大気球実験 B22-07 の実施終了について [気球工学実験 (新バラスト搭載法の飛翔試験)], JAXA 宇宙科学研究所ウェブサイト, <https://www.isas.jaxa.jp/topics/003087.html>, 2022 年 6 月 6 日掲載, 2022 年 10 月 31 日閲覧
- 7) Y. Shoji, K.Kitamura, K.Yamada: A Low-cost Azimuthal Control Method for Stratospheric Balloon Gondolas, Trans. JSASS, Vol.16(2018), No.7, ISTS Special Issue, p. 644-650.