

気球系姿勢運動の計測と過渡状態の解析

莊司泰弘 (大阪大学), 飯嶋一征 (宇宙航空研究開発機構)

Measurement and Analysis of Transient Attitude Motion of Balloon Flight System with Piggy-back Loggers

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

Abstract

本発表では、2019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。また、これまでに取得したデータの解析から、気球系の姿勢運動減衰にかかる減衰トルク推定の取り組みについて簡単に紹介する。本研究では2020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

一般に制御系の設計を行う際には、制御対象のダイナミクスや外乱に対する理解が必要である。その点で気球ゴンドラの指向制御系設計におけるダイナミクスモデルの検討や外乱力の数値的なデータの蓄積は不足している。近年特に問題となるのが、気球の高度調整終了後、ゴンドラの姿勢が静定するまでに要する時間である。高精度な指向制御を要する気球望遠鏡では、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する。しかし、気球の高度が変化する間は、周囲の気流による外乱が作用し、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、ミッションの成否を左右する。

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]。また、実際にピギーバックによる飛翔実験を行い評価した[2]。本研究では、気球フライトシステムの姿勢運動減衰特性に焦点を当てて解析を進めている[3]。本発表では、2019年のキャンペーンで行った気球実験結果を報告し、現在進めている姿勢運動解析について報告する。また、来年以降の気球実験についての展望を述べる。

2. 2019年度実験

2019年はB19-02[]に対する1実験を行った。この実験はB17-02実験とほぼ同様のフライトシステム構成を有し、フライトパターンもほぼ同様であった。そのため、B17-02実験と比較することで、気球系各部の姿勢運動の再現性等が評価できると期待される。B19-02実験は、2019年7月6日に放球され、およそxx分間の水平浮遊の後、パラシュート降下、太平洋上で回収された。搭載された6台の姿勢ロガーは全て回収された。回収後の検査において、カッター直下に設置した1台に少量の海水の浸入と基板上コネクタ端子の腐食が認められたほかは、正常であった。浸水した1台についても筐体には目立った外傷はなかったことから、ふたの止水部の処理が不十分であったことが疑われる。大学に持ち帰った後、基板上コネクタの交換が行われ、正常に動作することが確認された。

回収されたデータロガーが収集したデータの初期解析は10月末時点で6台中5台が進行中であり、コネクタの換装を行った個体は作業準備中である。得られたデータの一例を図に示す。図はゴンドラと気球頭部の加速度ベクトル、磁場ベクトル、角速度ベクトルの各成分を示す。横軸は放球からの経過時間である。一見したところ、B17-02の運動よりも加速度や角速度の振動が小さく、比較的静穏なフライトであったとみられる。今後詳細な解析と検討を進める。

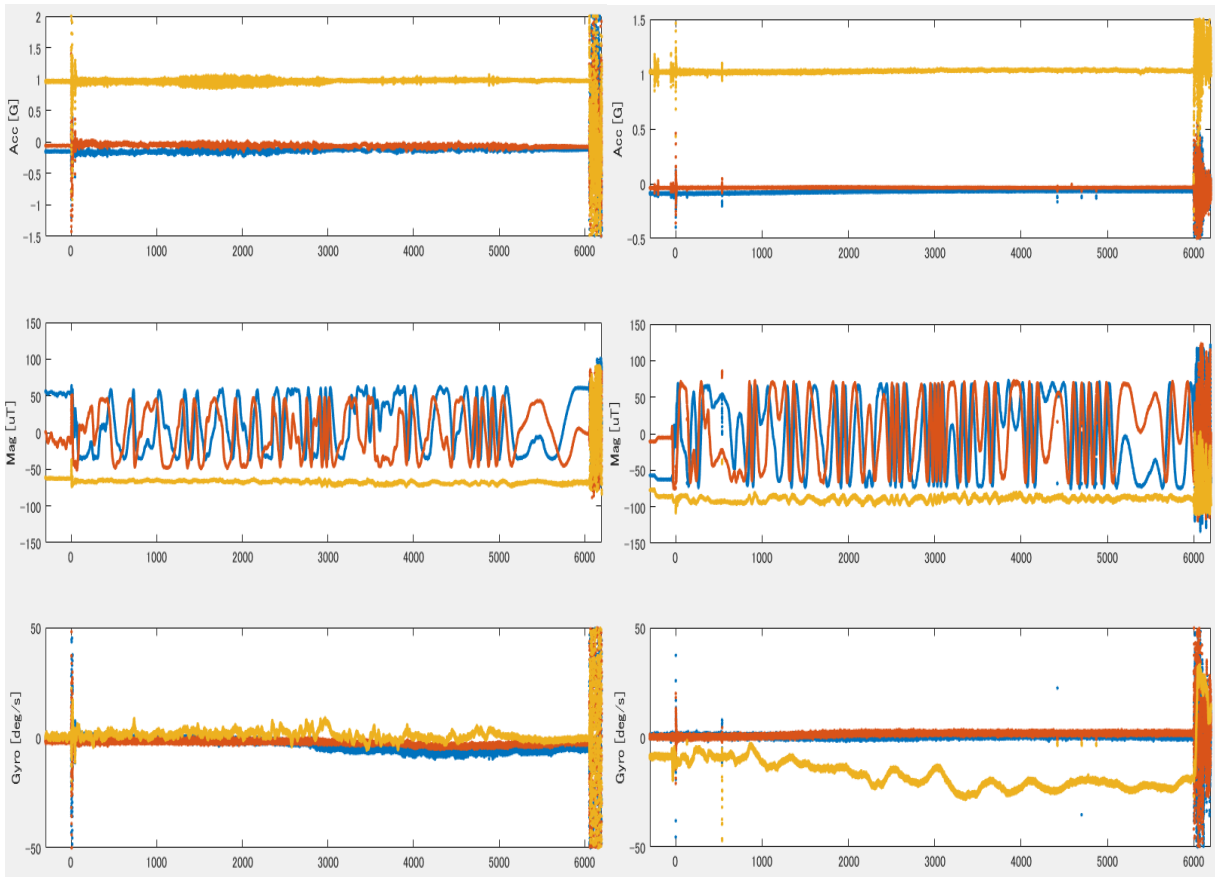


図1：B19-02の姿勢ロガーデータ（左上：頭部加速度，左中：頭部磁場，左下：頭部角速度，右上：ゴンドラ加速度，右中：ゴンドラ磁場，右下：ゴンドラ角速度，横軸は放球からの経過時間[s]）

3. 2017年度実験のデータ解析[3]

気球ミッションの計画においてしばしば姿勢運動が静定するまでに要する時間の予測が重要となる。本研究ではフライトデータのうち、水平浮遊に移った直後から始まる姿勢運動の減衰の様子から、気球系に作用する減衰トルクの推定を行った。なおここで紹介する結果は、文献[3]の抜粋である。

気球系のモデルを図のような振子系とし、気球頭部のピッチまたはロール運動の減衰から減衰トルクを推定した。図にB17-02の気球頭部ピッチ角の時間変化を示す。黒線はセンサの高度を示す。Xtime=5400秒頃に気球の高度上昇が止まると、オレンジで示されるピッチ角の振動振幅が減少する。振幅の減少率は直線状に推移しているように見える（青破線）ことから、減衰を摩擦モデルとして摩擦トルクを296 Nmと

推定した。今後同規模であるB30型、異なるサイズの気球の姿勢運動を同様に解析し、減衰トルクの発生メカニズムを検討する。

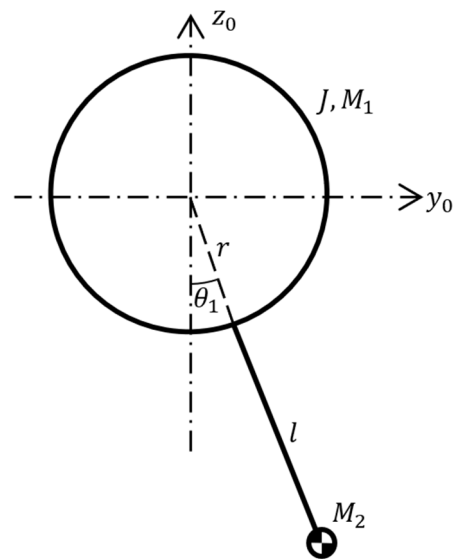


図2 ダイナミクスモデルの概略図

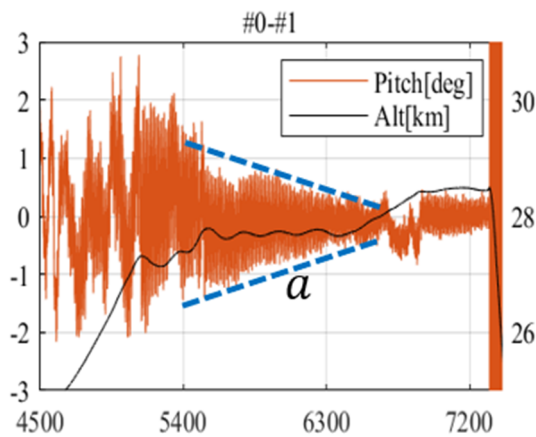


図3 B17-02気球頭部の姿勢運動（ピッチ角）

4. 今後の計画

本研究では、2020年度およびそれ以降の気球実験でもこれまでと同様にデータを収集する計画である。一方、現在使用可能なデータロガーは予備を含めて2実験分のみである。これまでの運用から、各年度1次実験で各年度の計画全機の準備をする必要があるため、最大で4~5機分同時にフライトレディにしなければ、データの取りこぼしが発生する。そのためデータロガーのさらなる追加が必要である。また、最初にデータロガーを開発してから4年が経過し、センサやマイコンなど入手が困難な電子部品が出てきた。そこでこれまでの運用で得た知見を反映した後継機の開発に取り組んでいる。2020年度実験では、従来機を使用したデータの収集と並行して、後継機の電波干渉試験、フライト試験等を計画する。

5. おわりに

本発表では、2019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。また現在進めている姿勢運動解析について報告し、得られたデータから姿勢運動が減衰するときに系に作用するトルクの推定結果を紹介した。

さらなるサンプルの収集をするために、2020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。

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行機を利用させていただきました。姿勢ロガー開発にあたっては、JAXA 大気球グループから多くの助言を頂きました。また、飛行実験準備、実施に際しては、各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 : 飛行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.