

成層圏気球における磁気トルカを用いた姿勢制御実験と排熱実験

松浦星河, 須藤路真, 矢津秀和, 田代和也, 長澤颯人, 野村優太, 加賀遼一朗, 酒見昇吾, 小田切勇樹, 黒木悠士郎, 大矢泰輝, 森本藍, 吉年晴真, 栗本壮, 長谷川拓翔, 牧尾陽向, 小川秀朗 (九州大学)

Attitude Control of Magnetic Torquers and Heat Exhaust Experiments in Stratospheric Balloon

Seiga Matsuura, Michimasa Suto, Hidekazu Yazu, Kazuya Tashiro, Hayato Nagazawa, Yuta Nomura, Ryoichiro Kaga, Shogo Sakemi, Yuki Odagiri, Yushiro Kuroki, Taiki Oya, Ai Morimoto, Haruma Yoshitoshi, Takeshi Kurimoto, Takuto Hasegawa, Hinata Makio, Hideaki Ogawa
(Kyushu University)

1 はじめに

我々は昨年度から成層圏気球を用いた実験をはじめ、高知県・福岡県・愛媛県で計3回の実験を行った。特に福岡県では落下予測範囲を海上にするために、10km 沖合に離れた洋上でフロートの上で放球を行った。初年度は安定した回収を目標に掲げ、実際に3回すべての放球実験において回収することに成功した。一方で、課題も見つかった。まずは、ペイロードの内部に熱がこもってしまい観測機器の一部が熱暴走によって破壊してしまったという問題である。特にペイロードの外装には断熱効果の高い発泡スチロールを用いていたため、内部温度は約60°Cまで上昇し、カメラ回りの機械を中心に途中停止した。次に、風の影響を受けてペイロードが回転してしまうという問題である。映像の撮影や無線での通信の際に影響が出てしまう恐れがあるためなるべく回転しない設計が求められる。

今年度は第1回目となる、えひめ南予共同気球実験に参加し、上で述べたような問題の解決を目標とし実験を行った。また、成層圏気球を長期間滞留させることを目標としており、上空でも安定して電力の提供を行うために、太陽光パネルをペ

イロード上面に搭載し、安定して発電を行えるかどうかの検証を行った。

2 設計

2-1 排熱機構

発泡スチロールの軽量さ、加工のしやすさは成層圏気球には最適であると考えているが、断熱効果が高く熱がこもってしまうという問題がある。そのため、図1で示す通り発泡スチロールの一部をくりぬき、そこにアルミ板を張り付けることによって排熱を行おうと考えた。



図1 アルミ板を張り付けたペイロード

2-2 姿勢制御装置

今回、姿勢制御には CubeSat などでも利用されている磁気トルカを利用しようと考えた。磁気トルカは装置自体も比較的単純で地上での実験も行いやすく、低コストのため採用した。磁気トルカの製作において、事前に実験を行い、その時の磁気の強さを参考にして具体的な巻き数などを設定した。以下に実験時に用いた磁気トルカの詳細を記す。

巻き数：20,000 回

層数：9 層

電圧：11.1V

抵抗：11.97Ω

芯にはφ8の45パーマロイ、長さ200mmを使用した。この装置では磁場が20,690A/mほど得られる。磁気トルカは磁気や熱を発生させるため、なるべく機器に影響を与えないように図2に示すようにペイロードの下部に設置した。



図2 搭載した磁気トルカ

2-3 太陽光パネル

今回搭載した電装部品を最低限動かすために必要な5Vを供給することが出来る、太陽電池モジュール2W SY-M2W（秋月電子通商）を用いた。また、今回は実験段階であるため、直接本体を制御している電装には接続せずに、LM3914 使用レベルメーターキット（秋月電子通商）を使用し、発電量のメーターをアクションカメラで撮影した。

3 実験結果

3-1 熱制御

ペイロード内部の温度変化を表3に示す。昨年度はペイロード内部の温度が最大で60°Cほどまで上がり、熱暴走によりカメラ等の一部の観測機器が停止したが、一部にアルミ板を採用した今回の実験では上空において、最大で-14°Cほどまでペイロード内部の温度を下げることに成功した。

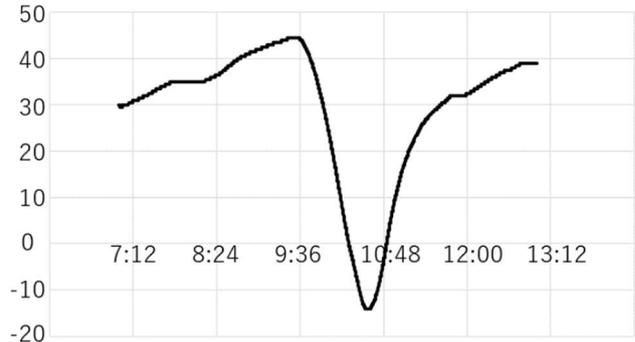


表3 ペイロード内部の温度変化

一方で、アルミ板を用いてしまうと地上での作業中に日光や外気温の影響を受けてペイロード内部の温度が45°Cほどまで上昇してしまうことがわかった。これを防ぐためには、地上時の作業は日陰で行う、金属面をなるべく太陽の方向に向けないなどの対策が必要であることがわかった。

今回の実験で、アルミ板を部分的にペイロードの壁面に採用すれば、ペイロード内の温度を下げる事が出来る事が出来たため、ヒーターと組み合わせることによってペイロード内部の温度を20°Cほどの適切な温度に保つことが可能であるということがわかった。

3-2 姿勢制御

今回の実験では先ほど述べた太陽光発電用のレベルメーターを撮影するカメラの画角内に磁気トルカが起動しているかどうかを知らせるためのLEDを搭載していた。しかし、アクションカメラの操作ミスによって録画が開始されておらず、動作の確認をすることが出来なかった。また、後述

するが、電装が飛行中に停止してしまい、磁気トルカが起動していたかどうかのログを残すことが出来なかった。そのため、今回の実験では磁気トルカの効果を評価することは出来なかった。

3-3 発電

先ほども述べた通り、人為的なミスによってカメラでの撮影に失敗し、レベルメーターの確認をすることが出来なかった。そのため、太陽光パネルについても評価することが出来なかった。しかし、地上での実験の段階において、晴れた日であれば 5V 以上の発電を確認することが出来た。そのため、成層圏での利用も十分に可能であると考えている。

4 その他の問題と考察

4-1 落下場所

今回の放球実験ではレベルメーターを撮影するためのカメラとは別に、風景を撮影するためのアクションカメラをペイロード上部に搭載していた。そちらのカメラでは撮影することが出来ていたため、放球後何秒後に成層圏気球が破裂したかを確認することが出来た。事前のシミュレーションだと約 2800 秒で陸側に戻される風に乗る、約 3500 秒後に割れる予定であったが、実際には約 2670 秒後に破裂してしまった。破裂する時間がシミュレーションよりもかなり早くなってしまったため、陸側に戻される風に乗ることが出来ず、落下予測よりもより陸地から離れた場所に落下してしまった。この原因について、地上で成層圏気球を膨らませた際に、表面に細かい傷が入ってしまったからではないかと推測している。

4-2 電装の停止

今回の放球実験では放球直後にデータのダウンリンクが停止した。この原因について、無線の指向性と電装の停止の二つの要因について検討したが、搭載していた LoRa 無線機 (RM-92A) は過去

の放球でも運用実績があり、使用環境もその際とあまり変わらなかったため、このことが直接的な原因ではないと判断した。そのため、放球直後に無線が停止したのは電装が停止してしまったからであると考えている。実際、回収時に電装は停止しており、ログも残っていなかった。電装が放球直後に停止してしまった理由については次の 2 つの原因を考えている。

原因 1：ペイロードを密閉してから放球するまでに時間がかかり、内部に熱がこもってしまった。

原因 2：放球直後の揺れが大きく、電装に大きな衝撃が加わってしまった。

原因 1 について、表 3 でも示した通り最大で 45°C 付近までペイロード内部の温度が上昇している。特に電装はアルミ板付近にあったため、その周辺温度はより高いものであったと考えられる。原因 2 について、実際に回収した際、電装基板やバッテリーなどが固定していた位置よりも大きく動いてしまっていた。これが放球直後の揺れか着水時の衝撃によるものであるかどうかは定かではないが、放球時に大きくペイロードが揺れていたことは目視でも確認できた。原因究明には至っていないが、原因 2 が有力であると考えている。

5 課題と今後の開発

この放球実験を通して、解決しなければならない課題が多く見つかった。まずは、電装の固定である。今回のペイロードは設計上ネジ固定をすることが難しく、テープ等での固定であったため想像以上の衝撃に耐えることが出来なかった。設計段階から固定のこともしっかり考え、ネジ固定をできるようにするべきであると感じた。次に、LoRa 無線の電波強度の問題である。過去に運用実績があった LoRa 通信機であったため過信しすぎていたところもあったため、本当に成層圏気球に

適切なものかどうかを改めて判断して、場合によってはより電波強度の強い無線機を導入しようと考えている。そして次に、成層圏気球が想定よりも早く割れてしまったということについてである。今後の作業では傷が入らないように細心の注意を払い、作業に取り組みたいと考えている。最後に、GPSに高度制限がかかってしまい、10km以上ではGPSの値を取得できないという問題である。このことについては昨年度の放球実験から課題として挙げられていたが、解決に至らなかった。しかし、今回の共同実験での技術交流会において、他団体の方からアドバイスをいただき、解決への糸口が見えた。

以上が、今回の放球実験を通して見つかった主な課題である。次の放球実験ではこれらの課題について、解決策を見つけ実行したいと考えている。また、アルミ板を用いた排熱機構の有用性が示されたため、ヒーターと組み合わせ、ペイロード内の温度を一定に保つ機構などを作っていきたいと考えている。それに加え、地上からのコマンドによる成層圏気球とペイロードの切り離し機構の実現やリーフィング機構の導入を目標としたい。

6 まとめ

今回の放球では、アルミ板を用いた排熱機構の有用性などの有意義なデータを取得することが出来た。一方で、放球直後に電装が停止してしまうなどの問題も生じた。また、打ち上げまでの作業においてもトラブルが多々あり、打ち上げ経験の少なさを痛感した。

今後の開発では、今回の実験で起きたトラブルに真摯に向き合い、解決策を練っていきたい。また、地上局からのコマンドによる成層圏気球の切り離しやパラシュートへのリーフィング機構の導入などに挑戦していきたい。

7 謝辞

今回は共同実験の運営に携わった方々や、気球実験を行う他団体の皆様など様々な方々からのご協力のもと実験を行うことが出来た。この場を借りて改めて御礼を申し上げる。

8 参考文献

- [1] Cambridge University Spaceflight Landing Predictor, <http://predict.habhub.org/>