

# 自社製プラスチック気球の飛行特性評価

## Evaluation of the flight characteristics of the plastic balloons

○棧敷和弥（株式会社岩谷技研）

岩谷圭介（株式会社岩谷技研）

及川明人（株式会社岩谷技研）

### 概要

当社はプラスチック気球を用いた有人宇宙旅行を目指し、開発を進めている。有人宇宙旅行事業の実現にあたり、自社製の気球の飛行特性を理解することは飛行経路の予測、飛行中の気球の制御において重要となる。本稿では現在実施しているプラスチック気球の飛行特性調査の中から放球試験と上昇特性の調査について述べる。

### 1.試験装置、試験条件

代表的な試験機体の構成を図 1 に示す。実験では気球のサイズや、取り付ける機材、ペイロード重量、ヘリウムガスの充填量等を変更し、打上から回収までの飛行経路を取得した。気球天頂部には開放弁を設けており、飛行終了時は弁を開放してヘリウムガスを排出することで降下を開始する。

放球作業は気球にヘリウムガスを封入した後、図 2 のように複数人で気球を立ち上げて保持した後、放球している。飛行中の経路データ、上空の気温、気圧等の気象データは明星電気社のラジオゾンデ (iMS-100) または社内で開発している無線基板によって取得した。試験条件を表 1 にそれぞれ示す。

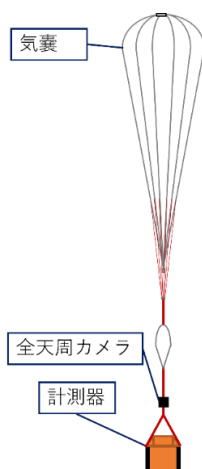


図 1 試験装置構成



図 2 放球作業の様子

表 1 試験条件

試験番号	①	②	③
試験日	2021/5/25	2022/2/4	2022/2/4
放球地点	沖縄県宮古島市	福島県相馬市	福島県相馬市
気球直径[m]	7.0	4.0	4.0
パネル数	14	8	8
気球重量[kg]	4.10	3.59	3.41
He 量[Nm3]	10.5	10.5	8.40
試験番号	④	⑤	⑥
試験日	2022/5/24	2022/6/7	2022/6/7
放球地点	福島県南相馬市	沖縄県宮古島市	沖縄県宮古島市
気球直径[m]	4.0	7.0	7.0
パネル数	8	16	16
気球重量[kg]	5.75	13.2	13.2
He 量[Nm3]	17.5	28.0	28.0

### 3.結果・考察

代表的な試験結果の例として試験番号①の結果について説明する。図 3 に実際の飛行経路、図 4～6 に取得した上空の温度および圧力、高度の時間履歴、上昇・沈下速度の時間履歴を示す。①の試験では沖縄県宮古島市より直径 7m の気球を放球した。放球時刻は 9:00、飛行終了時刻は 10:31 であり、到達高度は 20,795m であった。気球の上昇速度は地上付近で 3.2m/s 程度であったが、上昇するにつれ速度が増加し、最大で 6.0m/s まで到達していた。飛行終了後は直ちにガスが排出され、降下を開始した。着水地点は放球地点より水平距離で 49 km の地点であった。各条件における到達高度と地上付近の上昇速度は表 2 の通りである。

実験で確認した気球の上昇速度の変化に関しては、当社でこれまで実施してきたゴ

ム気球の放球試験においても同様に上昇速度が飛行中に変化することを確認している。上記のゴム気球の上昇速度の変化は気温の逆数との間にかなり強い相関関係があることが分かっている。飛行中のある時点において気球の上昇速度は次式で表現できる。

$$v = v_s \frac{1/T_s}{1/T} \quad (1)$$

ここで  $T$  は気温、 $T_s$  は地表の気温、 $T$  は気温、 $v_s$  は地表付近における気球の上昇速度である。プラスチック気球においても同様の傾向が表れるものと仮定し、上昇特性を予測することを試みた。まず、地表付近の気球の上昇速度  $v_s$  は Dines の公式<sup>1</sup>によると

$$v = K \frac{L^{1/2}}{Q^{1/3}} \quad (2)$$

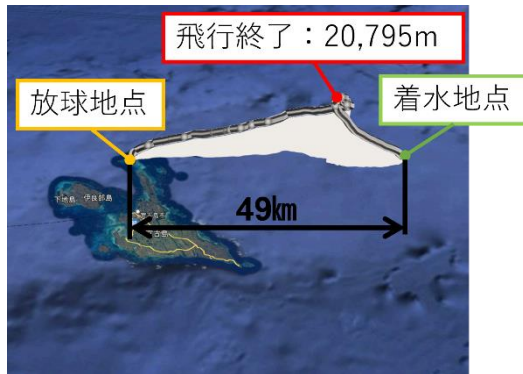


図 3. 飛行経路\_\_試験番号①

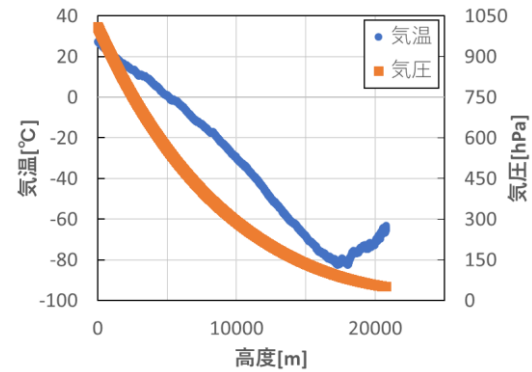


図 4 気温分布と圧力分布\_\_試験番号①

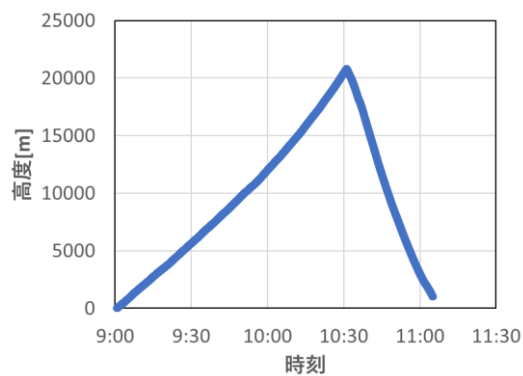


図 5 高度変化\_\_試験番号①

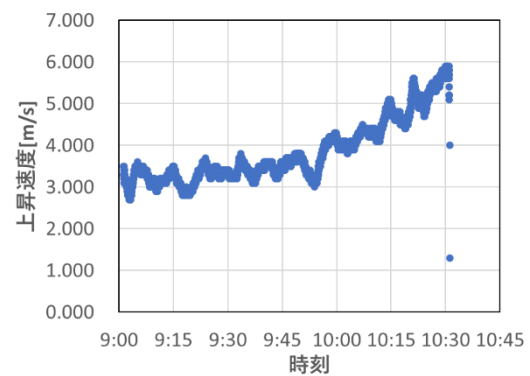


図 6 上昇速度\_\_試験番号①

表 2 試験結果

試験番号	①	②	③
到達高度[m]	20,795	12,441	13,232
地上付近の上昇速度[m/s]	3.20	2.58	2.47
試験番号	④	⑤	⑥
到達高度[m]	9,036	13,386	17,867
地上付近の上昇速度[m/s]	3.06	3.11	2.86

で表される。ここで  $K$  は気球形状によって決定される定数であり、 $L$  は気球の余剰浮力、 $Q$  は気球の総浮力である<sup>2</sup>。試験結果より得られた  $K$  を用いて地表付近の上昇速度  $v_s$  を算出した。

試験番号①について、(1)、(2)式を用いて高度毎の上昇速度を計算した。試験結果から得られた気球の高度および上昇速度の時

間履歴と計算結果を比較したところ、図7、図8が得られた。図7より、プラスチック気球の上昇過程を定性的に表現できることが分かった。一方で、図8を見ると上昇速度の時間変化について、定性的な変化を表現できているものの、飛行終了付近において計算した上昇速度が小さくなり、試験結果と乖離していることが分かった。これは

気球が飛行開始から 80 分経過したところで逆転層を通過し、気温が上昇する影響が(1)式の計算に反映されたためである。

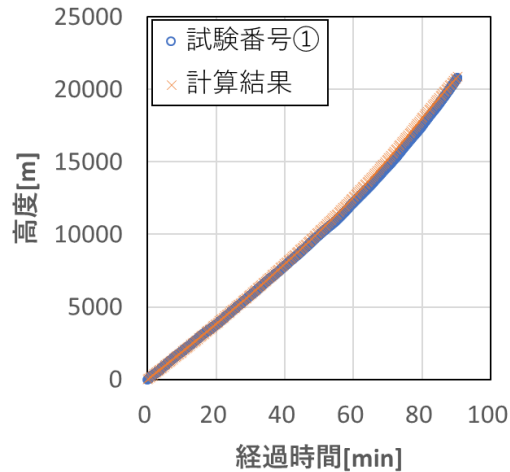


図7 高度の比較

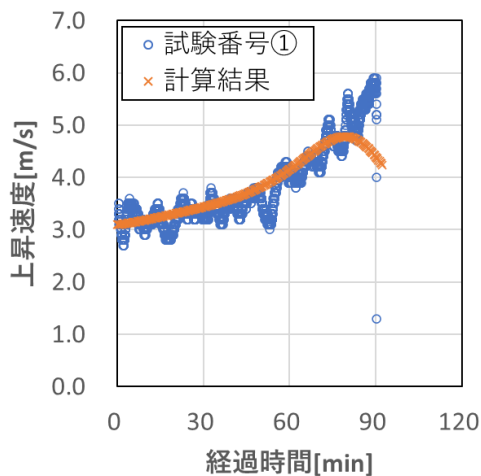


図8 上昇速度の比較

気温変化と上昇速度の変化の関係に関しては現在も調査中であるが、上昇中に速度が変化する要因としては気嚢内ヘリウムガスの断熱膨張による温度低下、環境温度の変化、太陽ふく射、気球の被膜を通しての外気との熱交換の影響が考えられるため、気

嚢内ガス温度の実測が必要である。西村ら<sup>3</sup>によると気温と気嚢内ガスの温度の差 $\Delta T_B$ によって余剰浮力は

$$L' = L - \frac{\Delta T_B}{T} W$$

だけの低下をもたらす。ここで W は総重量である。上式によれば、今後ペイロード重量増加に伴い、余剰浮力は低下するため、気球が減速する現象を確認できると考えられる。

#### 4.今後の計画

高高度の飛翔試験を継続的に実施し、飛行特性調査を引き続き行う。この際、ペイロード重量も増加し、上昇速度への影響を評価したい。また、気嚢内ガスの温度変化を計測し、気球内外の熱収支の確認、上昇速度への影響を評価する。

併せて、ガスの放出に応じたプラスチック気球の下降特性を明らかにし、飛行経路予測の高精度化を進めていく。

#### 参考文献

1. J.S. Dines, Rate of ascent of pilot balloons, Q. J. R. Met. Soc., vol. 39, 1913
2. 今井、気球の上昇速度について、気象集誌第2輯、32巻7-8号、1954
3. 西村、上層における気球動作の温度効果について、東京大学宇宙航空研究所報告、9巻1\_B号、1973