

## 平成 25 年度の大気球実験概要

JAXA 宇宙科学研究所 吉田 哲也

平成 25 年度の大気球実験は、北海道大樹町での第一次気球実験における気球システムの不具合発生のために、年度内全ての大型気球の放球を見送ることとなり、実験グループの皆様にはたいへんご迷惑をおかけすることとなった。結果として、今年度は小型気球 4 機による 3 実験を実施するにとどまった。本稿では、国内実験の経緯について報告すると同時に、平成 26 年度に計画するオーストラリアでの気球実験の準備状況について俯瞰する。

### 国内気球実験

昨年 11 月の第 23 回大気球研究委員会において、平成 25 年度に実施すべき国内気球実験として、理学観測 3 実験、工学実証 2 実験、微小重力実験 1 実験が採択され、大気球実験室による超薄膜高高度気球飛翔性能試験と併せて、合計 7 実験が計画された。このうち 4 実験は、昨年度の第二次気球実験で天候不良のため実施できなかった実験であった。

第一次気球実験は、5 月 7 日から大樹航空宇宙実験場において実施された。表 1 に実験結果概要を示した。

BS13-02/03 実験では、地表付近から上部成層圏にかけてのオゾン高度分布と大気重力波等によるその微細構造の観測を目的として、電気化学式(ECC)オゾンゾンデと光学オゾンゾンデの 2 種類のオゾン観測器を用いてオゾン、風速、気温、気圧の精密観測を行った[1]。なお、BS13-03 に高度 30 km 以上で測定精度が良い光学オゾンゾンデを搭載し、一方高度 30 km 以下で非常に高い精度を持つ ECC オゾンゾンデを 50 分ほど先行して放球した BS13-02 ゴム気球に搭載した。また今回は、光学オゾンゾンデには小型の分光器を搭載し、オゾン以外に二酸化窒素等も測定できるよう改良した。今回の観測では両観測器とも良好に作動し、高度 43 km の上部成層圏領域までの観測に成功した。上部成層圏のオゾンを直接測定できる観測器は他にはなく、これらの領域のオゾン変動を調べる貴重なデータを得ることができた。また、今回の観測により地上から上部成層圏までの広い領域での大気重力波のパラメータ導出が可能となる。二酸化窒素に関しても、今後の解析により実際に成層圏の二酸化窒素が測定できたかどうかを検証するための貴重なデータが取得できた。

BS13-04 実験は、皮膜に網をかぶせるという新

表 1 平成 25 年度第一次気球実験飛翔概要

放球日時	実験番号	目的	高度	飛翔時間
5 月 15 日	BS13-02	成層圏オゾン・大気重力波・二酸化窒素の観測	32.0 km	2 時間 17 分
	BS13-03		43.0 km	2 時間 53 分
5 月 25 日	BS13-04	皮膜に網をかぶせたスーパープレッシャー気球の飛翔性能評価	24.7 km	3 時間 32 分
6 月 5 日	B13-01	大気球を利用した微小重力実験(燃焼実験)	ロープカッター誤動作のため 放球中止	
	B13-02	気球搭載望遠鏡による惑星大気観測	B13-01 不具合原因究明のため 見送り	
	B13-03	火星探査用飛行機の高高度飛行試験		

表 2 平成 25 年度第二次気球実験飛翔概要

放球日時	実験番号	目 的	高度	飛翔時間
9 月 20 日	BS13-08	超薄膜高高度気球飛翔性能試験	53.7 km	3 時間 07 分
	B12-04	成層圏大気のクライオサンプリング	B13-01 不具合原因究明のため 見送り	

しい手法を用いたスーパープレッシャー気球開発の一環として行われたもので、皮膜にかかる張力を抑えた設計の有効性の確認を目指した[2]。この手法では、原理的には軽量で高い耐圧性能を実現することが可能であるが、昨年度の飛翔試験では 400 Pa の耐圧性能を実証するに留まっていた。今回の飛翔試験により、微小なヘリウムガスの漏れが存在した可能性があるものの、成層圏飛翔時の低温環境において 4,000 Pa 以上の耐圧性能を有することが確認できた。これは、気球の構成要素である皮膜と網の双方が体積 300,000 m<sup>3</sup> の大型気球で要求される強度を有することが確認できたことを意味する。また、飛翔中には、日照に対するスーパープレッシャー気球の応答特性、及び、タンデム気球システムの飛翔特性に関するデータを取得することにも成功した。

6 月 5 日早朝には B13-01 実験の実施に向けた放球準備作業を実施したが、午前 4 時 11 分頃気球を放球する際に、気球部と搭載機器部間の切離しロープカッターが誤動作した。切離し検知機構による排気弁の開放と気球引裂き機構による気球頭部の破壊により切離し直後に浮力を失った気球部は、大樹航空宇宙実験場がある大樹町多目的航空公園の敷地内に着地した。本不具合は、気球の飛翔安全に関わる可能性がある事象であり、原因究明及び対策に時間を要することが判ったため、予定していた残りの実験[3-5]の実施を見送ることとした。また、第二次気球実験についても、不具合対策や地上検証試験の準備に一定の時間を必要とすることから、大型気球の飛翔に適した 8 月下旬までに十分な対策を講じることが困難であると判断し、第二次気球実験で予定していた B13-04 実験[6]を含めて本年度予定していた全ての大型気球による実験を見送ることとなった。

こうして第二次気球実験では、小型気球 1 機の飛翔のみの計画となったが、B13-01 実験での不具合原因の究明と対策の有効性確認のための地上検証試験や、後述するオーストラリア実験で用いる予定の QPSK 高速テレメトリのゴム気球による飛翔性能試験なども実施するために 8 月 26 日より大樹航空宇宙実験場で行った。BS13-08 実験は、世界で最も薄い気球用フィルムである厚さ 2.8 μm のポリエチレンフィルムを用いて製作された超薄膜高高度気球の飛翔性能試験を目的として実施した [7]。この気球は満膨張体積 80,000 m<sup>3</sup>(直径 60 m)の超薄膜高高度気球で、放球 2 時間 42 分後に高度 53.7 km に達した。本実験で達成した到達高度は、平成 14 年 5 月に宇宙科学研究所が放球した超薄膜高高度気球(厚さ 3.4 μm のポリエチレンフィルム製、満膨張体積 60,000 m<sup>3</sup>)の到達高度 53.0 km を越えるものであり、無人気球の到達高度世界記録を更新したこととなる。本実験により、厚さ 2.8 μm のポリエチレンフィルムを用いた超薄膜高高度気球の設計・製作・放球の一連のプロセスの妥当性を実証することができた。

### **B13-01 実験で発生した不具合**

6 月 5 日の B13-01 実験で発生した不具合は、その後のテレメトリデータの精査などの結果、気球部と搭載機器部間の切離しロープカッターの誤動作のみならず、気球バスシステムを構成する FPGA の予期しないリセットや、電源電圧・電流モニタの異常など多岐にわたって異常が起きていたことが確認された[8]。

ロープカッターの誤動作を生じさせた直接的な原因は、今年度から飛翔実験に供した新規開発の気球バスシステムを構成する半導体フォト

MOS リレーの短絡故障であり、この IC の開封検査により、静電気放電(ESD)による破壊である可能性が強く示唆された。今般の気球バスシステムの新規開発にあたっては、搭載システムの耐衝撃性の向上と部品枯渇への対応のために、メカニカルリレーを半導体リレーに置き換えてきた。このため、メカニカルリレーでは極めて大きかった ESD 耐性が失われて、ESD 対策がなされていない半導体リレーが破壊に至ったものである。同時に発生した FPGA のリセットも ESD によるノイズが原因と考えられる。

ポリエチレン気球の放球にあたり静電気がさまざまな不具合の原因となることはこれまでも指摘されており、日本でも過去いくつかの不具合が報告されてきた。気球バスシステムの新規開発にあたっては、当然 ESD 対策を考慮しなければならないところであったが、設計の観点から抜け落ちてしまっていた。その他、小型・軽量化を図るあまりに、回路上のグラウンドの処理が不適切であるところもあり、気球立上げ時に生じた静電気によりさまざまな不具合事象が誘発されたものと推定される。

第二次気球実験期間中に、これらの不具合の原因究明と対策の妥当性検証を目的とした地上検証試験を実施し、不具合の原因がポリエチレン気球の立ち上げ時に発生した静電気の放電に伴う電子回路の故障によると考えて無矛盾であり、当該電子回路に静電気放電破壊対策を講じることで再発を防止できることを確認した。本対策により、平成 26 年度より大型気球による実験を再開する所存である。

## **国際協力**

国内で実施困難な長時間気球実験を実現するために、国外での飛行機会の確保が不可欠となっており、昨年度よりオーストラリアでの気球実験の可能性の検討を開始している。本年 3 月には、候補となる実験グループによるアリススプリングスの視察を行い、また放球場に設置した小型気象観測装置とドップラーソーダによる連続観測

を開始した。さらに、オーストラリアで気球実験を実施するために必要な実施取決め(MOU)やオーストラリアに設置されている NASA の施設の利用するための書簡取決め(LOA)も宇宙科学研究所科学推進部の協力を得て締結された[9]。

オーストラリアでの気球実験で使用する放球装置、ヘリウムガス供給装置の開発も進み、本年度中に完成の見込みである[10]。さらに、長時間飛行実現の要となる移動地上局の 1 号機が完成し、残り 3 式も製作に取り掛かっている[11]。また、実験で使用予定の 800 kbps QPSK 高速テレメトリシステムの開発も進め、試作した送信機をゴム気球で飛行させ、ビットエラーレートなどの性能を飛行環境において検証した。

一方で、第一次気球実験での不具合原因の究明をうけて、これから対策を講じた改修型バスシステムの製作を行うため、来年度少なくとも 1 機は国内で大型気球を放球し、新しいバスシステムの健全性を確認する必要があると考えている。そのため、当初計画した平成 26 年 4~6 月にオーストラリア実験は見送り、同年 10~12 月に実施する方向で調整を進めている。

## **開発研究**

薄膜高高度気球開発は本年度の飛行性能試験の実施で一定の成果を得られた。今後の方向性としては、より薄いポリエチレンフィルムでより大きな気球を開発し、さらなる高高度を目指すことも考えられるが、当面は薄膜高高度気球の搭載重量の増大を図り、到達高度は若干犠牲となるものの、より宇宙科学実験に使いやすい気球への転換を図りたい。このためには、気球そのものの開発研究に加えて、航空法上の重気球への要求を満足するために、小型軽量の ATC トランスポンダの調達や気球システムの二重化などの技術開発も必要となる。

超長時間飛行を目的とした俵型圧力気球の開発では、本年度大樹町の JAXA 格納庫内でポリエチレンフィルムを用いた小型モデルの地上膨張

試験を実施した[12]。これまで開発してきたBH25フィルムを用いた圧力気球では、気球破壊時にフィルムが細かく飛散し、着水時に気球が海没し回収できないことから、海洋汚染の観点で実験実施への関係機関の理解を得ることが極めて困難である。そこで、海上で回収可能な圧力気球として、通常の気球と同じポリエチレンフィルムを用いた俵型圧力気球を開発したものである。本地上膨張試験においてポリエチレンフィルムとダイニーマロープを用いたポリエチレン気球は適切に膨張・展開し、所期の耐圧性能を示した。これにより、今後ポリエチレン俵型気球により高頻度で圧力気球の飛行性能試験を実施できる目途を得た。

ユーザインターフェースが明確で使いやすいテレメトリコマンドシステムの開発も、搭載系バスシステムの不具合を除いて順調に進んでおり、本年度中に予定したすべての更新を完了する見込みである[8,11]。

## まとめ

気球バスシステムの新規開発において、ESDに関する短慮のために本年度のすべての大型気球による実験を見送ることとなり、実験準備を進めてこられた実験グループの皆様に深くお詫びしたい。宇宙科学研究所では今回の不具合原因究明に留まらず、関連する大気球実験のシステム開発の技術課題、リスクの抽出と、その解決法の妥当性の検討を目的としたタスクチームを設置しており、タスクチームの報告を生かして確実な実験運営を図っていきたい。

昨年度の大気球シンポジウム開催直後の平成24年10月20日に、日本の大気球実験を長い間リードしてこられた山上隆正先生が逝去された。

2.8 $\mu$ m厚ポリエチレンフィルムを用いた超薄膜高高度気球の開発は、まさに山上先生が執念を燃やされたテーマであった。ようやく先生にご報告できる成果を挙げられたことを励みに、来年度以降の大気球実験に取り組んでく所存である。

## 参考文献

- [1] 村田 功 他, スペクトル取得型光学オゾンゾンデによる成層圏オゾン高度分布観測, 本シンポジウム
- [2] 齋藤 芳隆 他, 皮膜に網をかぶせた長時間飛行用スーパープレッシャー気球の開発 (BS13-04 実験), 本シンポジウム
- [3] 大山 聖 他, 火星探査飛行機の高々度飛行試験計画(その3), 本シンポジウム
- [4] 菊池 政雄 他, 大気球を利用した微小重力燃焼実験, 本シンポジウム
- [5] 田口 真 他, 気球搭載望遠鏡による惑星大気観測—B13-02 気球実験報告—, 本シンポジウム
- [6] 青木 周司 他, 平成 26 年度成層圏大気クライオサンプリング実験計画, 本シンポジウム
- [7] 齋藤 芳隆 他, 薄膜高高度気球(BVT80 型)による世界最高高度記録の更新, 本シンポジウム
- [8] 梯 友哉 他, 新テレメトリコマンドシステムの開発, 本シンポジウム
- [9] 濱田 要 他, オーストラリア実験の準備状況, 本シンポジウム
- [10] 飯嶋 一征 他, オーストラリア実験用放球設備の開発, 本シンポジウム
- [11] 佐藤 崇俊 他, 移動観測局の開発及び大樹実験場-副系アンテナの更新, 本シンポジウム
- [12] 井筒 直樹 他, 俵型気球の開発と応用, 本シンポジウム