

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：82645

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26630448

研究課題名(和文)対流圏界面観測用超小型タンデム気球の開発

研究課題名(英文)Development of an ultra-small tandem balloon system for tropopause observation

研究代表者

齋藤 芳隆 (Saito, Yoshitaka)

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・准教授

研究者番号：50300702

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、日昇、日没時に対流圏界面を上下に移動しながら数週間に渡り飛翔し続ける気球実験システムを開発することであった。体積100立方メートルの小型ゼロプレッシャー気球と体積10立方メートルのスーパープレッシャー気球を連結したタンデム気球システムで実現できることを定量的に示し、最重要要素である気球開発、および、見通し限界の制限のない衛星通信システムの構築を行った。最終的には、体積10立方メートルで3kgと非常に軽い気球で、10,000 Paの耐圧性能を達成し、ガス漏れが十分小さいことを確認すると共に、イリジウム衛星を用いた小型通信システムを構築する成果をあげた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research was to develop a balloon experiment system which keeps flying for several weeks while moving up and down the tropopause at sunrise and sunset. First, we quantitatively showed that the system can be realized by a tandem balloon system connecting a small zero-pressure balloon with a volume of 100 cubic meters and a super-pressure balloon with a volume of 10 cubic meters. Then, we developed the most important element, the super-pressure balloon, and also the satellite communication system. Finally, we successfully developed a 10 cubic meters super-pressure balloon with pressure resistance performance of 10,000 Pa, a very light weight of 3 kg and almost no gas leakage. We also established a compact communication system using Iridium satellites.

研究分野：気球工学

キーワード：科学観測気球 スーパープレッシャー気球 タンデム気球 対流圏界面 イリジウム通信 膜構造物
網

1. 研究開始当初の背景

提案者(斎藤)らは、気球の研究者であり、昼夜の浮力変動がなく長時間飛翔可能な軽いスーパープレッシャー気球を開発しており、体積 10 m^3 で $6,280 \text{ Pa}$ の耐圧を飛翔性能試験で実証するに至っていた。また、提案者(藤原)らは、地球大気の大局的な循環の理解を最終目標とし、赤道域で生じている対流圏から成層圏への大気の流入を理解するため、インドネシアにおいて、ゴム気球を打ち上げ、風によって流れる同一大気を追いかけ、その水蒸気量の変化を測定する実験を行っていた。一つの気球で観測できるのは、一箇所の高度プロファイルに過ぎないため、大気塊の移動に合わせて異なる地点において次々と気球を打ち上げていた。しかし、打ち上げ可能な地点が限られていること、大量の気球と搭載機器が必要となることから観測に極めて大きな制限がかかっていた。

この実験にスーパープレッシャー気球と通常用いられているゼロプレッシャー気球とを連結した気球を利用すれば、大気と共に飛翔し、朝夕に対流圏界面を横切るように上下運動するため、その成分の時間変化を計測できるようになり、実験に質的な変化をもたらすことができると考えられ、本研究を開始した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、日昇、日没時に対流圏界面を上下に移動しながら数週間に渡り飛翔し続ける気球実験システムとして、体積 100 m^3 のゼロプレッシャー気球と体積 10 m^3 のスーパープレッシャー気球を連結することで長時間飛翔を可能にし、人工衛星経由の通信により見通し限界を越えた通信を可能にした搭載重量 3 kg のシステムを構築することである。

3. 研究の方法

本研究におけるキーテクノロジーは、軽量で高い耐圧性能を有するスーパープレッシャー気球と、人工衛星を用いた通信システムである。それぞれ、以下のように進めた。

(1) スーパープレッシャー気球の開発

提案者(斎藤)らは、高張力繊維で編んだ菱形の目の網を、気球にかぶせることで耐圧性能を高める手法を考案し、実証してきた。これで高耐圧が発揮できるのは、皮膜の曲率半径を網の目のサイズ程度に制限し効率よく圧力を網線へと伝えられるためであり、網の目を細かくするほど皮膜への要求強度は小さくなる。本タンDEM気球システムに必要なスーパープレッシャー気球は体積 10 m^3 で使用耐圧 $5,000 \text{ Pa}$ 、かつ、ガス漏れがない気球である。これを、以下のように開発した。

・気球を製作し、膨張、ガス漏れ試験により、ガス漏れの発生箇所を探索すると共に、耐圧性能を評価する。

・上の結果を踏まえ、対策を施した気球を製作し、再度上記実験を実施し、 $10,000 \text{ Pa}$ の耐圧性能と十分小さなガス漏れ量となるまで試行を繰り返す。

(2) 衛星通信システムの開発

イリジウム衛星通信システムは、多数の低軌道周回衛星を用いた双方向の通信システムであり、気球と地上局との通信を、見通し限界に依存せずに行なうことができる。これを利用して以下のシステムを開発する。

・イリジウムショートバースト通信を可能にする 9603 型 SBD モジュールを利用し、RS232C インターフェースをもつ軽量、小型、低消費電力の通信モジュールを開発する。

・市販の気象ゾンデを改良し、直接波によるデータ伝送に変えて、上による通信を可能にする。

4. 研究成果

(1) スーパープレッシャー気球の開発

$20 \mu\text{m}$ 厚のポリエチレンフィルムを用いた気球を製作し、耐圧性能 $10,020 \text{ Pa}$ を示すことが確認された(図1、論文)。耐圧性能は



図1 100,20 Pa 印加時の気球

十分だったが微小なガス漏れが、気球頭部の溶着部分に存在することが確認された。気球の極部には多数のフィルムが集まり、重なりあっているところの溶着の不具合によるものであった。構造を見直し、ガス漏れ試験を実施したところ、60 時間にわたり一定の差圧を保つことが確認され、ガスバリア性についても十分な性能を有することが確認された。以上により、所期の仕様を有するスーパープレッシャー気球が開発されたことを確認した。

上記の開発の過程では、以下の成果も得られた。

・タンDEM気球システムにおけるスーパープレッシャー気球への要求耐圧性能の定量

- 化(論文、)
- ・ポリエチレンフィルムのガス透過量の定量化(論文)
 - ・実験によるガス漏れ量と穴の大きさの関係の確立と半定量的なモデル化(論文)
 - ・網を気球にミシンで固定する方法の確立(論文)
 - ・大気圧の変化の気球内外差圧への影響
 - ・フィルム熱溶着部の性能評価
 - ・摩擦の小さい網の開発
 - ・タンデム気球によって開かれる新しい実験の可能性の検討(論文)

(2) 衛星通信システムの開発

図2のように、通信用モジュールを製作した。



図2 イリジウム衛星通信モジュール

衛星経由での通信が可能であることが確認された(論文)。

また、気象ゾンデの改良も行い、データをRS232C出力できることが確認されている。2017年には、大気放射計をゾンデと結合させ、大気放射計のデータをRS232C信号で出力するモジュールを他気球実験のゴンドラに搭載し、飛翔試験での実証を行う予定である。

上記の開発の一環として、以下の成果も得られた。

- ・タンデム気球実験に利用できる雲粒子ゾンデの開発(論文)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計7件)

Fujiwara, M., T. Sugidachi, T. Arai, K. Shimizu, M. Hayashi, Y. Noma, H. Kawagita, K. Sagara, T. Nakagawa, S. Okumura, Y. Inai, T. Shibata, S. Iwasaki, and A. Shimizu "Development of a cloud particle sensor for radiosonde sounding", Atmospheric Measurement Techniques, 9, 5911-5931, doi:10.5194/amt-9-5911-2016, 2016, 査読有

<http://www.atmos-meas-tech.net/9/5911/2016/>

齋藤 芳隆、「皮膜に網をかぶせた長時間

飛翔用スーパープレッシャー気球の可能性」第30回大気圏シンポジウム集録、VI-4、2016、査読無

<https://repository.exst.jaxa.jp/dspace/bitstream/a-is/591435/1/SA6000062032.pdf>

齋藤 芳隆、山田 和彦、藤原 正智、「対流圏界面観測用超小型タンデム気球の開発と飛翔試験の提案」、平成28年度大気圏シンポジウム集録、isas16-sbs-2016、2016、査読無

<https://repository.exst.jaxa.jp/dspace/bitstream/a-is/575992/1/SA6000057020.pdf>

齋藤 芳隆、山田 和彦、藤原 正智、「対流圏界面観測用超小型タンデム気球の開発 II」、第29回大気圏シンポジウム集録、V-4、2016、査読無

<https://repository.exst.jaxa.jp/dspace/bitstream/a-is/563604/1/SA6000051030.pdf>

齋藤 芳隆、山田 和彦、藤原 正智、「対流圏界面観測用超小型タンデム気球の開発」、平成27年度大気圏シンポジウム集録、isas15-sbs-027、2015、査読無

<https://repository.exst.jaxa.jp/dspace/bitstream/a-is/556225/1/SA6000044027.pdf>

永田 靖典、柳瀬 眞一郎、山田 和彦、「小型飛翔体実験におけるイリジウム衛星通信の活用とデータ配信システムの開発」、平成27年度大気圏シンポジウム集録、isas15-sbs-012、2015、査読無

<https://repository.exst.jaxa.jp/dspace/bitstream/a-is/556265/1/SA6000044012.pdf>

齋藤 芳隆、山田 和彦、藤原 正智、「対流圏界面観測用超小型タンデム気球の開発」、第28回大気圏シンポジウム集録、p-8、2014、査読無

http://www.isas.jaxa.jp/j/researchers/symp/2014/image/1208_proc/P-8.pdf

[学会発表](計10件)

齋藤 芳隆、「皮膜に網をかぶせた長時間飛翔用スーパープレッシャー気球の可能性」、第30回大気圏シンポジウム講演、2016/12/5~6、宇宙航空研究開発機構相模原キャンパス(神奈川県相模原市)

齋藤 芳隆、山田 和彦、藤原 正智、山田 昇、「対流圏界面観測用超小型タンデム気球の開発と飛翔試験の提案」、平成28年度大気圏シンポジウム講演、2016/11/1~2、宇宙航空研究開発機構相模原キャンパス(神奈川県相模原市)

齋藤 芳隆、山田 和彦、藤原 正智、「対流圏界面観測用超小型タンデム気球の開発 II」、

第 29 回大気圏シンポジウム講演、2016/3/7
～8、宇宙航空研究開発機構相模原キャンパス
(神奈川県相模原市)

齋藤 芳隆、山田 和彦、藤原 正智、「対流
圏界面観測用超小型タンデム気球の開発」、平成 27
年度大気球シンポジウム講演、2015/11/5～6、
宇宙航空研究開発機構相模原キャンパス(神奈川県相模原市)

永田 靖典、柳瀬 眞一郎、山田 和彦、「小
型飛翔体実験におけるイリジウム衛星通信の
活用とデータ配信システムの開発」、平成 27
年度大気球シンポジウム講演、2015/11/5～6、
宇宙航空研究開発機構相模原キャンパス(神
奈川県相模原市)

齋藤 芳隆、山田 和彦、藤原 正智、「対流
圏界面観測用超小型タンデム気球の開発」、第
28 回大気圏シンポジウム講演、2014/12/8、
宇宙航空研究開発機構相模原キャンパス(神
奈川県相模原市)

齋藤 芳隆、「皮膜に網をかぶせた SP 気球
の開発」、スーパープレッシャー気球研究会講
演、2014/9/29、宇宙航空研究開発機構相模原
キャンパス(神奈川県相模原市)

齋藤 芳隆、「NASA による長時間飛翔実験」、
スーパープレッシャー気球研究会講演、
2014/9/29、宇宙航空研究開発機構相模原キ
ャンパス(神奈川県相模原市)

藤原 正智、「CNES による SP 気球利用」、
スーパープレッシャー気球研究会講演、
2014/9/29、宇宙航空研究開発機構相模原キ
ャンパス(神奈川県相模原市)

藤原 正智、「インドネシアにおけるクライ
オサンプリング実験」、スーパープレッシャー
気球研究会講演、2014/9/29、宇宙航空研究開
発機構相模原キャンパス(神奈川県相模原市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

齋藤 芳隆 (SAITO Yoshitaka)
宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・
准教授
研究者番号：50300702

(2) 研究分担者

藤原 正智 (FUJIWARA Masatomo)
北海道大学・地球環境科学研究科・准教授
研究者番号：00360941
山田 和彦 (YAMADA Kazuhiko)
宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・
助教
研究者番号：20415904