

平成22年 6月17日現在

研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19360385
 研究課題名(和文) 空気抵抗を減少させた成層圏用大型耐圧薄膜構造物の研究
 研究課題名(英文) Study of Large-Scaled Thin Membrane Structure with a Drag-Reduced Shape in the Stratosphere
 研究代表者
 井筒 直樹 (IZUTSU NAOKI)
 独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部・助教
 研究者番号：90184639

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、既存の上部成層圏用飛翔体と比較して空力的に有利な新しいタイプのスーパープレッシャー気球を実現することにある。そのため、すでに実用化の入り口まで到達している通常型スーパープレッシャー気球の形状であるローブドパンプキン構造の設計を応用して、アスペクト比を任意にとれる「俵型」気球を考案し、4種類のスケールモデルの製作および屋内試験を行った。

研究成果の概要(英文)：The objective of the study is to realize a new type of super pressure balloon of which air-drag is expected to be smaller than that of a conventional stratospheric scientific balloon. Using a lobed-pumpkin structure of design for normal super pressure balloons that will be realized in a very near future, so-called 'tawara' type of super pressure balloon, of which aspect ratio can be variable, was designed. Four scaled super pressure balloons were manufactured and they were tested indoors.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	5,600,000	1,680,000	7,280,000
2008年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
2009年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
年度			
年度			
総計	15,000,000	4,500,000	19,500,000

研究分野：気球工学

科研費の分科・細目：総合工学，航空宇宙工学

キーワード：宇宙航空工学，気球，膜構造物

1. 研究開始当初の背景

(1) 現在、高度 35km 以上の上部成層圏に滞空して科学観測を行う手段は、科学観測用気球のみである。この種の気球は、厚さ 20 μ m 以下の非常に薄いポリエチレンフィルム等

により作られており、その容積は最大 1,000,000m³、吊り下げることのできる観測器の重量は最大数トンにもなり、きわめてコストパフォーマンスの高い観測手段であるが、以下の2つの大きな問題をかかえ続けて

いる。

排気口のあるゼロプレッシャー気球 (ZPB) では、日中に上昇した浮揚ガスの温度が日没時に低下し浮遊高度が下がる。飛行高度を維持するため、毎夜、相当量のバラスト投下が必要となり、数日以上の飛行を実現するためには、極域のような特別な環境を求めるしかない。

気球の飛行制御の手段は、あらかじめ搭載したバラストの投下および浮揚ガスの排気操作による高度変更という間接手段のみであり、事実上不可能である。

(2) 第1の問題については、排気口がなくバイアス圧力をもつスーパープレッシャー気球 (SPB) を実現すれば、昼夜における高度変化を最小限にとどめることが可能になり、バラストを搭載する必要もなくなる。我々は、大型の SPB を実現するために 'lobed-pumpkin' 型気球を考案し、実用化に向けて開発および試験を重ねている。

(3) 第2の問題により、たとえ SPB が実用化され長時間飛行が可能になったとしても飛行経路の不確定性という大きなリスクが存在する。ZPB の場合でも、飛行制御が困難なことにより運用上大きな制限が発生する。

(4) 第2の問題を解決する唯一の手段は、成層圏の風に逆らった飛行を可能にする推進装置を装備したパワードバルーンしかない。ところが、気球の体積は非常に大きく空力的に不利な自然型と呼ばれる形になっており、この巨大な物体を経路変更するだけの有効な推力を、積載可能な重量範囲内で求めるのは事実上不可能である。

2. 研究の目的

本研究は、空気抵抗が小さくなるような細長い形状の大型 SPB を重量増を伴わずに実現することにある。そのために、すでに実用化の入り口まで到達している lobed-pumpkin 型気球の設計技術を応用した新しい気球形状を考案する。そして、設計の妥当性を確認するために、実際にスケールモデルの製作を行い、同時に製造手法の確立を行う。

3. 研究の方法

(1) 非線形弾性の性質をもつ薄膜とファイバーを用いて実現する巨大な薄膜構造物である気球の設計手法を確立するためには、実際にスケールモデルを製作し試験を行う必要がある。その際、製造工程や作業性も十分に検討する必要がある。

(2) 本研究においては、以下の順で研究を行った。

目的とする形状と所定の耐圧性能を有する SPB の設計原理の構築と検討を行う。

最終的な飛行体の目標となる仕様を決定し、試験用のスケールモデルの種類を決定する。

耐圧性能を実証するための小型スケールモデルの製作と試験を行う。

気球の膨張過程を調べるための中型スケールモデルを製作し試験を行う。

気球細部の測定が可能な大型スケールモデルを製作し膨張試験を実施する。

以上の試験結果を総合し、最終的な設計手法および製造工程を確立し、その確認のため、飛行試験が可能な大きさの気球を製作する。

表1に各気球の諸元を示す。

表 1

モデル番号	#1	#2	#3	#4
気球容積 (m ³)	19	190	1,000	5,000
直径 (m)	2.9	5.8	11.6	20.9
ゴア数 縦ロープ数	24	48	40	72
全長 (m)	5.6	12.6	20.8	32.9
円筒部 長さ (m)	1.6	4.6	4.6	5.5
横ロープ数	7	13	6	7
アスペクト比	1.15	1.4	1	0.86
最大試験 圧力 (Pa)	7,340	200	600	-

4. 研究成果

(1) 新しい SPB のデザイン

図1は通常の lobed-pumpkin 型 SPB の外観を示し、その形状はロードロープの長さによって一意に定まる。この気球の赤道部断面形状をそのまま延長した図2に示すような新しい形状の気球を考える。この時、ゴアの形状は図3に示すように中央部にゴア幅の変化しない部分を付け加えた形状となる。

新たに付け加えられた部分 (図2で破線で示した領域) は概略円筒状になり、lobed-pumpkin の赤道部でゴアがロープ間で外側に張り出して小さな曲率半径を形成している構造をそのまま継承している。このため、シリンダー部を縦断しているロードロープ (縦ロープ) が本来の半径位置に留まるように拘束する必要がある。具体的には、各縦ロープ間の距離を拘束する横ロープを気球の外側からまわし縦ロープとの交点を結合する (図4)。この結果、新しく付け加えたシリンダー部の皮膜には、それ以外の部分と

同様に縦横両方向に余剰が生じ、小さな曲率半径を有するバルジが形成される。

このような lobed-cylinder 構造を持つ俵型気球では、気球の容積を増加させても、シリンダー部の長さの変更で対応することができ、ゴア数・縦ロープ数を変更する必要がない。また、気球の容積を増加させても、気球直径を変更する必要がなく総張力が変わらないため、縦ロープの強度は同じままで太くなることもない。頭部・尾部に集まるロープ数を変更する必要がないため、アンカーリングの直径や強度も同一でよく重量増加がなく、頭部・尾部の重量軽減に寄与する。

気球容積を変更しても、ゴアの形状は途中のシリンダー部に相当する長さが増えるだけのため、本来のパンプキン部分の縦横比は変わらず、張り出しを形成するための周方向の余剰や縦ロープとの間の短縮率に同じ設計値を適用することができる。すなわち、気球容積を変更した場合でも ZPB のように設計の信頼性が継承される。また、lobed-pumpkin 型気球と異なり、最終形状が一意に定まるため気球の正常展開を妨げる要素がないことが期待される。

俵型気球では、アスペクト比（気球の全高／直径）を大きくすることによって、ZPB と比較して空気抵抗を大きく減らすことが可能になると考えられ、ZPB では実現が難しかったパワードバルーンへの道が開ける。これまでの気球では不可能であった飛翔経路の積極的な制御が可能になれば、飛翔の安定性および安全性を向上させることが可能となり、飛翔機会の増加に寄与すると考えられその利点は非常に大きいと考えられる。

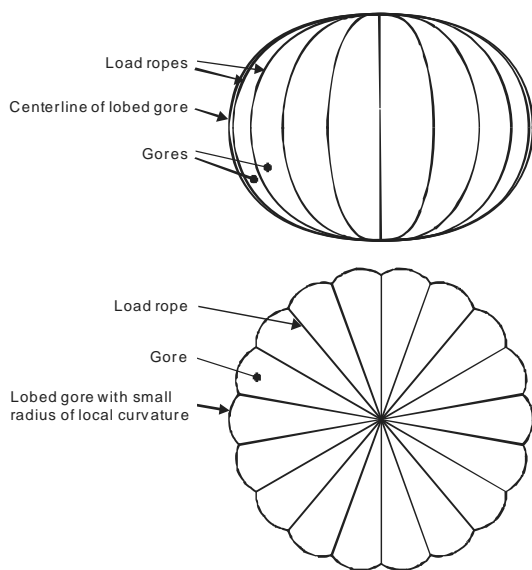


図 1

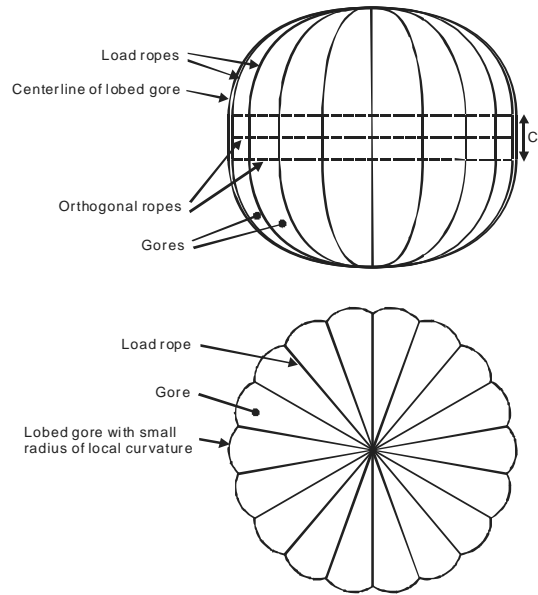


図 2

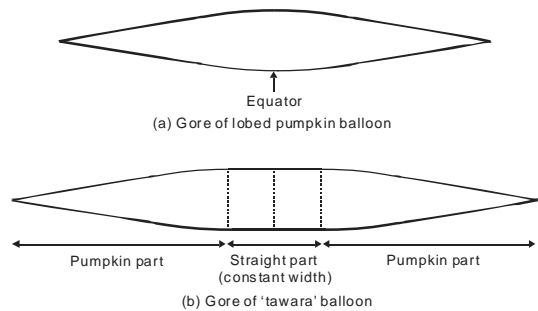


図 3

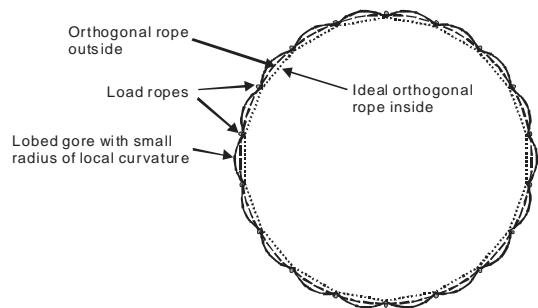


図 4

(2) 試験結果

最初に、直径約 3m の 1 号機を用いて、俵型気球の耐圧性能を求める試験を行った（図 5）。その結果、差圧 7,340Pa にて気球の肩の部分のフィルムが破断して破壊に至った。同じ直径の通常型 SPB の場合は 6,700Pa 以上の耐圧がある。この試験により、俵型 SPB が通常型 SPB と同等の耐圧性能を持つことが確認

された。

次に、横ロープが気球膨張程で正しく機能することを確認する目的で、直径約6mの2号機を製作し、ヘリウムガスで自立させながら最後まで膨張させる試験を行い(図6)、問題なく展開・膨張することを確認した。

さらに、直径約12mの3号機の膨張試験を行った(図7, 8)。この気球では実機のゴア幅と同等の最大幅約1mのゴアを使用した。膨張後、圧力差200, 400, 600Paにおいて、ゴア各部の曲率半径およびフィルムの伸び、気球直径、気球高さ等の測定を行った。

以上の試験測定結果をもとに設計方法を修正して4号機の製作を行った。この気球の容積は約5,000m³で単独で飛翔可能な大きさとして設計を行った。これまでに確立された製造工程の確認も同時に行われ問題ないことが確認された。

(3) 以上の研究により、細長い形状を有する新しいSPBの設計方法が確立され、また、従来型のSPBと同等の耐圧性能を有することが確認された。

(4) 次の研究段階として、上部成層圏に最適化された推進装置を開発することにより、経路逸脱を防ぐための実効ある飛翔制御が可能になる。これにより現在の気球が持っていない能動的飛翔制御手段を獲得することになり、上部成層圏における科学観測にとって全く新しい世界が開けると考えられる。



図5



図6



図7

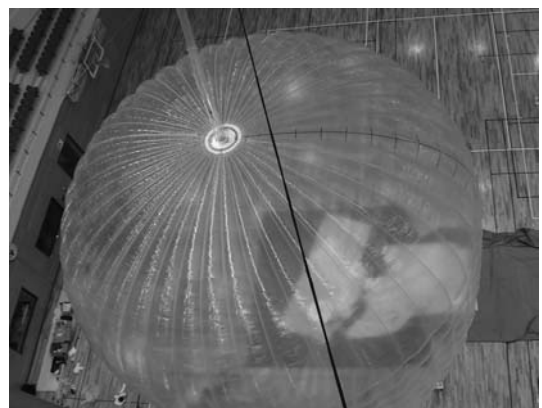


図8

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

Naoki Izutsu, et al. (16名中1番目), Development of a Super-Pressure Balloon with an Improved Design, Transactions of JSASS, 査読有, 2010

井筒直樹, 他 (18人中1番目), スーパープレッシャー気球の開発と試験, 宇宙航空研究開発機構報告, 査読有, JAXA-RR-07-009, 2008, 1-22

[学会発表] (計4件)

井筒直樹, 他, スーパープレッシャー気球の開発, 第47回飛行機シンポジウム, 2009年11月6日, 岐阜市

井筒直樹, 他, 俵型気球の飛行試験計画, 平成21年度大気球シンポジウム, 2009年10月1日, 相模原市

Naoki Izutsu, et al., Development of a Super-Pressure Balloon with an Improved Design, 27th International Symposium on Space Technology and Science, 2009/7/9, Tukuba

井筒直樹, 他, 新しい形状のスーパープレッシャー気球の開発, 平成20年度大気球シンポジウム, 2008年9月25日, 相模原市

[産業財産権]

○出願状況 (計3件)

名称: 耐圧大型膜構造物

発明者: 井筒直樹, 松嶋清穂

権利者: 宇宙航空研究開発機構, 藤倉航装株式会社

種類: 特許

番号: 特願 2008-184143

出願年月日: 2008年7月15日

国内外の別: 国内

名称: Pressure-tight large-scaled membrane structure

発明者: Naoki Izutsu, Kiyoho Matsushima

権利者: Japan Aerospace Exploration Agency, Fujikura Parachute Company Co., Ltd.

種類: 特許

番号: 12500629(US)

出願年月日: 2009年7月9日

国内外の別: 国外

名称: Pressure-tight large-scaled membrane structure

発明者: Naoki Izutsu, Kiyoho Matsushima

権利者: Japan Aerospace Exploration Agency, Fujikura Parachute Company Co., Ltd.

種類: 特許

番号: 09009101.8(EP)

出願年月日: 2009年7月13日

国内外の別: 国外

6. 研究組織

(1)研究代表者

井筒 直樹 (IZUTSU NAOKI)

独立行政法人 宇宙航空研究開発機構・宇

宙科学研究本部・助教

研究者番号: 90184639