

世界最高高度を飛行するスーパープレッシャー気球の開発

研究代表者	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	
	齋藤 芳隆（さいとう よしたか）	研究者番号：50300702
研究課題情報	課題番号：25H00411	研究期間：2025年度～2029年度
	キーワード：スーパープレッシャー気球、科学実験用大気球、大気重力波、膜構造物	

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

気球は様々な科学実験が安価に実施できる飛行体として宇宙科学を根本で支える飛行体である。気球の最大の弱点である飛行時間の制限は、昼夜の温度変化に伴う圧力変動に耐えて体積を一定に保つスーパープレッシャー気球によって解消されるが、現状の気球は飛行高度が低いのが難点であり、軽量化が必要である。我々は、耐圧性能、気密性能、放球法に関して、独自の新規技術を開発し、軽いスーパープレッシャー気球を開発する目的を立てた。すなわち、皮膜に高強度繊維の網をかぶせることにより耐圧性能を、薄膜皮膜の二層化により気密性能を、ウインチを用いて準静的に放球することで放球時の衝撃を回避した。本研究では、これらの技術を開発させ、世界最高高度を飛行するスーパープレッシャー気球を開発することで抜本的に不足する宇宙への輸送手段を補強し、最先端の科学実験が迅速に実施できる世界をつくる。

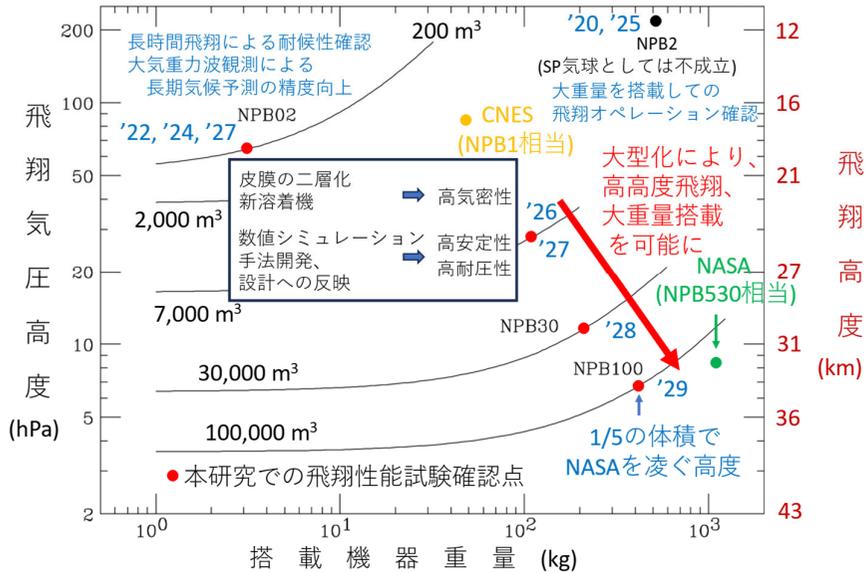


図1 搭載機器重量と飛行高度の関係。体積と表面積の関係から、大きい気球ほど高い高度を飛行可能である。気密性能、耐圧性能を確保しつつ、大型化を進め、世界最高高度を飛行するスーパープレッシャー気球を開発する。

●研究の背景

飛行体を用いて大気の上層に検出器を置くことではじめて可能となる研究がある。当初は天文、宇宙線などの限られた分野での利用にとどまっていたが、学問の進化に伴ってより大型の実験装置が必要になったり、様々な分野の研究が立ち上がるようになってきている。一方で、大気圏外への輸送技術の発展は限定的であり、分野ごとの実験サイクルが長引き、人材育成のサイクルが機能しにくくなった。気球は低予算で迅速に新しい実験が実施可能な飛行体として宇宙科学の根本を支えてきた。しかし、研究が進むにつれて、より科学的に興味深い成果を得るためには、長時間の観測が不可欠となり、従来の気球では対応が難しくなってきた。また、超小型衛星では重い実験装置を飛行させることが困難である。数100 kgの装置を安価に長時間飛行させることができるスーパープレッシャー気球の登場が待ち望まれていた。

●皮膜に網をかぶせる方式のスーパープレッシャー気球

スーパープレッシャー気球はCNESが高度18kmを飛行する球形の気球を、NASAは高度33.5 kmを飛行させる気球を開発し、運用している。一方、日本にとっては発展途上の技術である。NASAの気球も気密性に難があり、高度もこれまでの気球と比較すると低い。我々は2010年に皮膜に網をかぶせることで、軽いスーパープレッシャー気球が製作できる可能性に気づき、原理実証実験から開始し、次第に大型化させつつ、必要な要素技術の獲得を重ねてきた。それには、質量あたりの強度に優れた網の開発、網と網の結合方法、網の端部の処理方法といった気球の製作技術や、網を皮膜にかぶせた気球の破壊圧が変形しやすさで決まること（図2のように座屈によって破壊）や、理想形状の解析的理解（図3）、といった気球形状の安定性の理解、放球時に皮膜が網を叩いて衝撃破壊することを避ける打ち上げ方法の開発などがある。これまでの研究により、大型気球を理解し、製作・運用するための準備が整ったと考えている。



図2 座屈して変形しながら破壊する気球。

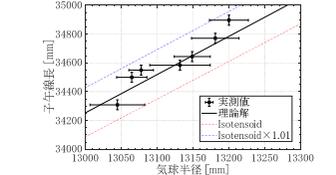


図3 気球形状の計算値と実測値の一致。

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●軽いスーパープレッシャー気球の製作方法は？

同一重量で最高高度を飛行するスーパープレッシャー気球は、どのような構造・材料で作られるべきか？単純な球形と比べて、子午線（地球儀の縦線方向）に沿ってローブを配置し、その間に皮膜を膨らませた“ローブパンキン型”（図4）の方が優れている。これは皮膜よりもローブのほうが質量当たりの強度（比強度）が高く、それをうまく活用できているためである。我々はさらにそれを積極的に応用できる、網をかぶせる方式に挑戦している。これは、ローブを斜めにかけたローブパンキン型である（図5）。ローブパンキン型には変形して破裂するモード（座屈モード、図6）があることが知られており、この破壊はローブの角度を傾けるほど発生しにくくなるが、体積あたりの重量は増してしまう。数値シミュレーション手法を開発し、それにより最適条件を探ることで、軽量かつ耐圧性能に優れた大型気球の理想形状を導き出す。並行して、皮膜間の流路閉塞を利用して気密性を高める二重皮膜構造や、気密性を損なわず熱溶着できる新たな溶着機を開発を進め、理想形状の気球の具現化を目指す。

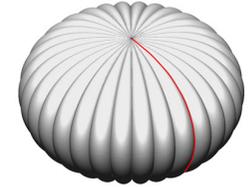


図4 ローブパンキン型気球。

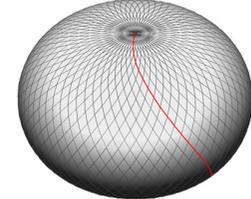


図5 皮膜に網をかぶせた気球。

本研究では皮膜に網をかぶせる新手法により、NASAは体積53万m³の気球でも達成している高度を凌駕する体積10万m³の気球を製作し、飛行試験でよりそれが可能であることを実証する予定である。これに先立ち、小型気球の飛行試験や地上試験を通じて、設計・製作手法の妥当性を確認する。飛行試験における確認ポイントは図1の赤丸に示した。体積200m³の気球は、長時間飛行に関する課題の予備的把握のみならず、南極における大気重力波観測にも活用される予定である。



図6 座屈するローブパンキン型気球。

●軽いスーパープレッシャー気球が拓く未来

こういった軽い気球が実用化されれば、天体ガンマ線観測、赤外線観測や宇宙線観測といった地球周回衛星で実施されてきた科学実験を低予算で実施できたり、上層大気や気象の常時モニタリング観測などの新しい科学観測のプラットフォームを提供したりすることが可能となる。我々は、2022年、および、2024年に、日本ではじめてとなるスーパープレッシャー気球を用いた科学観測実験を実施した。これは、南極の上層大気に滞在しつづけるメリットを生かして大気重力波観測を実施したもので、周回衛星には不可能な実験である。この実験は、体積200m³と極小の気球を利用し、高度18 km に搭載重量3 kg を飛行させたにすぎないが、本研究で大型の気球が開発されることで、より多くの科学分野で、新しい発見や挑戦ができるようになる。