

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放球方法の開発

ISAS/JAXA	: 齋藤 芳隆、山田 和彦
東海大学工学部	: 中篠 恭一
東京工業大学院環境・社会理工学院	: 秋田 大輔
明治大学理工学部	: 松尾 卓摩
早稲田大学創造理工学部	: 石村 康生
長岡技術科学大学工学部	: 山田 昇
湘南工科大学	: 加保 貴奈

Development of a new launching method for the super-pressure balloon with a diamond shaped net for long duration flight

Saito Yoshitaka, Yamada Kazuhiko, Nakashino Kyoichi, Akita Daisuke,
Matsuo Takuma, Ishimura Kosei, Yamada Noboru, Kaho Takana

1 はじめに

我々は、高張力繊維でできた菱形の目の網を薄いフィルム製の気球皮膜にかぶせる手法(はっさく型)[1]を用いて、長時間飛行が可能なスーパープレッシャー気球の開発を進めてきた。この方法を用いると、目の細かい網を使うことでフィルムへの要求強度が下がるため、フィルムを薄くして重量を減らし、気球を軽量化することが可能となる。2010年の小型気球の地上試験から開発をはじめ、以後、順次大型化させ、2019年には体積 $6,400\text{ m}^3$ の気球の地上膨張試験で 740 Pa の耐圧性能を確認するに至った[2]。2020年7月14日には、地上試験で確認されている各開発要素の総合試験、および、飛行時の特性評価を目的とし、体積 $2,000\text{ m}^3$ のNPB2-3気球の飛行性能試験を実施した[3]。気球は放球直後から所期の上昇速度が得られず、さらに速度の低下が見られたため、パラストを投下して 5 m/s 以上の上昇速度を維持した後、安全な海域に到達した時点で、破壊機構を駆動し、気球を降下させた。得られた気球の映像からはガス漏れが発生したことが判明しており、また、スプーラー解放直前まではロードセルによって測定されたスプーラーにかかる上向き張力に変化がなく、放球直後の上昇速度が予測よりも小さかったことから、ガス漏れはスプーラー解放直後に発生したことが判明している。回収された気球の調査により、気球皮膜には刃物で切り付けたような直線的でかつ縁に伸びがある特異なスリット状の穴が数100個存在していることが見出された。この穴を再現する条件を検討し、網線が 10 m/s 強の高速で衝突した際に衝撃破壊によって発生した可能性があることがわかった。

昨年度の大気球シンポジウムでは、皮膜を二層にし、膨張に伴ってずれるように製作することで、穴が発生したとしても、漏れを防ぐこととし、放球試験によってその効果を検証すること(第1案)を提案していた[4]。また、網の上からもう一層の皮膜をかぶせ、網と皮膜を一体として移動するように改良することで、本体皮膜への損傷を低減すること(第2案)も検討した。本気球の対策は、大気球専門委員会下のレビュー会でも議論がなされ、皮膜が網で損傷を受けない放球方法を検討すること(第3案)が推奨された。これらの三案を比較すると、第1案、第2案が気球の重量を増やす提案であるのに対して、第3案はその問題がないことがメリットである。また、第3案は放球試験ではなく、個別の要素試験で放球時の気球への影響を評価することで、十分安全に飛行試験を実施できる可能性もある。しかし、損傷を与えない放球方法は知られておらず、新規に開発する必要がある。まず、これまでに実施されてきた放球方法を放球時の気球の変形、という観点から調査することで開発の方向性を探り、それを踏まえて新しい放球方法、および試験方法の検討を行った。

2 既知の放球方法とその際の気球変形

現在のISAS/JAXAの放球法は、スライダ放球装置を用いたセミダイナミック放球法[5]である。スプーラーで跳ね上げた後、気球が変形したのが今回の問題の原因と考えられる。

アメリカのNASAやブラジル、インド等で広く実施されているのが、ダイナミック放球法である(図1)。セミダイナミック放球法との大きな違いは、ゴンドラを保持しているクレーン車が自由に水平面を移動できるこ



図 1: NASA によるダイナミック放球法での放球 [6]。



図 2: CNES による補助気球を用いた放球 [7]。

とで、風に合わせて位置を動かすことが可能な点である。しかし、放球時にスプーラーを解放し、その際に気球が大きく変形することに变りはない。CNES では、実験装置を別の気球で浮かせ、飛翔後にその気球を切り離す方法での放球が実施されている (図 2)。この方法でも本体の気球は放球時にスプーラーから解放され、大きく変形することになる。

日本での放球方法の変遷を振り返ってみる。1980 年代には、図 3 のように固いローラーで気球を押さえるスタティック放球法が利用されていた [8]。この方法では、このローラーで現在のカラー位置を保持し、そこを解放して一気に放球していた (図 3 上)。後に、ローラーで気球の下部を保持し、気球頭部側にはカラーを設け、ローラーによって徐々に立ち上げる方法 (図 3 下) が検討されたり、気球尾部にとりつけられたロープによって、気球の上昇をを制御し、荷姿に張力がかかった後に放球する方法 (図 4) [9] も検討されている。前者の方法では気球は変形することになるが、後者の方法 (新立ち上げ放球法) では、ローラーによる保持を解放しロープに張力がかかるようになるまでの一瞬は気球が変形しうるものの、その他は変形しない。その後、日本の放球は、固いローラーで気球の尾部を保持する方法から、気球の尾部をランチャーに固定する方法へと進化し、さらに、セミダイナミック放球法 [10] が利用されるようになり、大樹町に移動後、現在のスライダ放球装置を用いた方式 [5] が用いられるようになった。気球の保持方法の変更は、気球の大型化に伴ってローラーでの保持が困難になったためである。また、セミダイナミック放球法のメリットは、ローラーでの立ち上げ時間を短縮し、突風による気球破壊のリスクを低減されること、および、ローラーが気球の尾部側を圧迫するため、大浮力の気球の場合に尾部のフィルムに空気が残っていた場合に圧迫によりそれが破裂して皮膜に穴をあけるリスクが避けられることにあった。

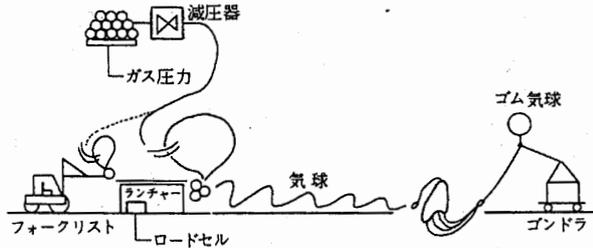
気球の変形を防ぐという点では、新立て上げ放球法が最も理想に違いが、保持部の切り替えの際に気球が変形することと、気球尾部をローラーがしごくこと、の二点が課題である。

3 新しい放球方法の提案

放球時に気球が衝撃を受けるのは、スプーラー解放に伴って、張力のバランスが一時的に崩れ、気球各部が急激に移動するためである。したがって、これを防止するには、張力のバランスを保ったまま、準静的に気球の位置をガスづめ時の低い位置から、ランチャー台車の直上へと移動させることが要求される。そこで、カラー部で気球を保持し、保持した場所をロープで制御しつつ移動させ、最終的にはランチャー台車の直上に移動させることを検討している。図 5 にその手順を示す。

この方法では、従来、気球を低い位置に保持するために用いてきたスプーラーに変えて、カラーによる圧迫で気球を保持している。しかし、この方法で保持できるのか、一部の網線、あるいはロードテープに力が加わった際にそれが移動して皮膜への損傷が発生しないか、は明らかではなく、今後、水モデル試験による性能評価により、具体的な保持方法を検討する予定である。並行して、カラーの圧迫だけでは保持できないことも想定し、気球本体に二重にロードテープを溶着してとりつけ、そのロードテープで保持することも検討している。

従来の放球



気球立て上げ放球

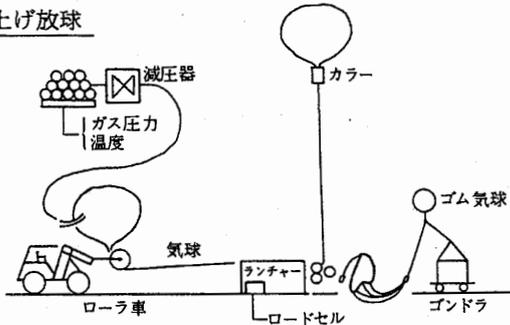


図 3: 立て上げ放球法 [8]。

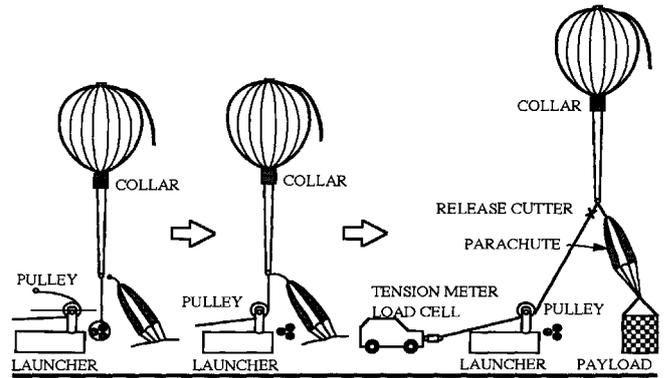


図 4: 新立て上げ放球法 [9]。

また、制御索と荷姿との干渉も気にかかる場所であり、大気球実験グループのランチャー班に協力を求め、よりよい方法を探りたい。放球方法が開発された後には、NPB2-3 気球と同型の気球の飛翔性能試験を実施する予定である。

謝辞

本研究の一部は、ISAS/JAXA 宇宙工学委員会戦略的基礎開発研究、科研費 (課題番号 17H01352) を受けて推進しています。

参考文献

- [1] 斎藤 芳隆、他、宇宙航空研究開発機構研究開発報告 JAXA-RR-010-03, pp. 21-40, 2011
- [2] 秋田 大輔、他、2020 年度大気球シンポジウム集録、isas20-sbs-022、2020
- [3] 斎藤 芳隆、他、宇宙航空研究開発機構研究開発報告 JAXA-RR、2022、投稿中
- [4] 斎藤 芳隆、他、2020 年度大気球シンポジウム集録、isas20-sbs-024、2020
- [5] 福家 英之、他、宇宙航空研究開発機構研究開発報告 大気球研究報告 JAXA RR-08-001, pp.1-34, 2009
- [6] <https://www.nasa.gov/feature/wallops/2017/nasas-super-pressure-balloon-takes-flight-from-new-zealand>
- [7] <https://stratocat.com.ar/news20170410-e.htm>
- [8] 秋山 弘光、他宇宙科学研究所報告 特集:大気球研究報告 第 4 号, 1982
- [9] Nishimura, J., et al. Adv. Space Res, 13, 2, pp.63-66, 1993
- [10] 並木 道義、他宇宙科学研究所報告 特集:大気球研究報告 41, pp.25-34, 2001

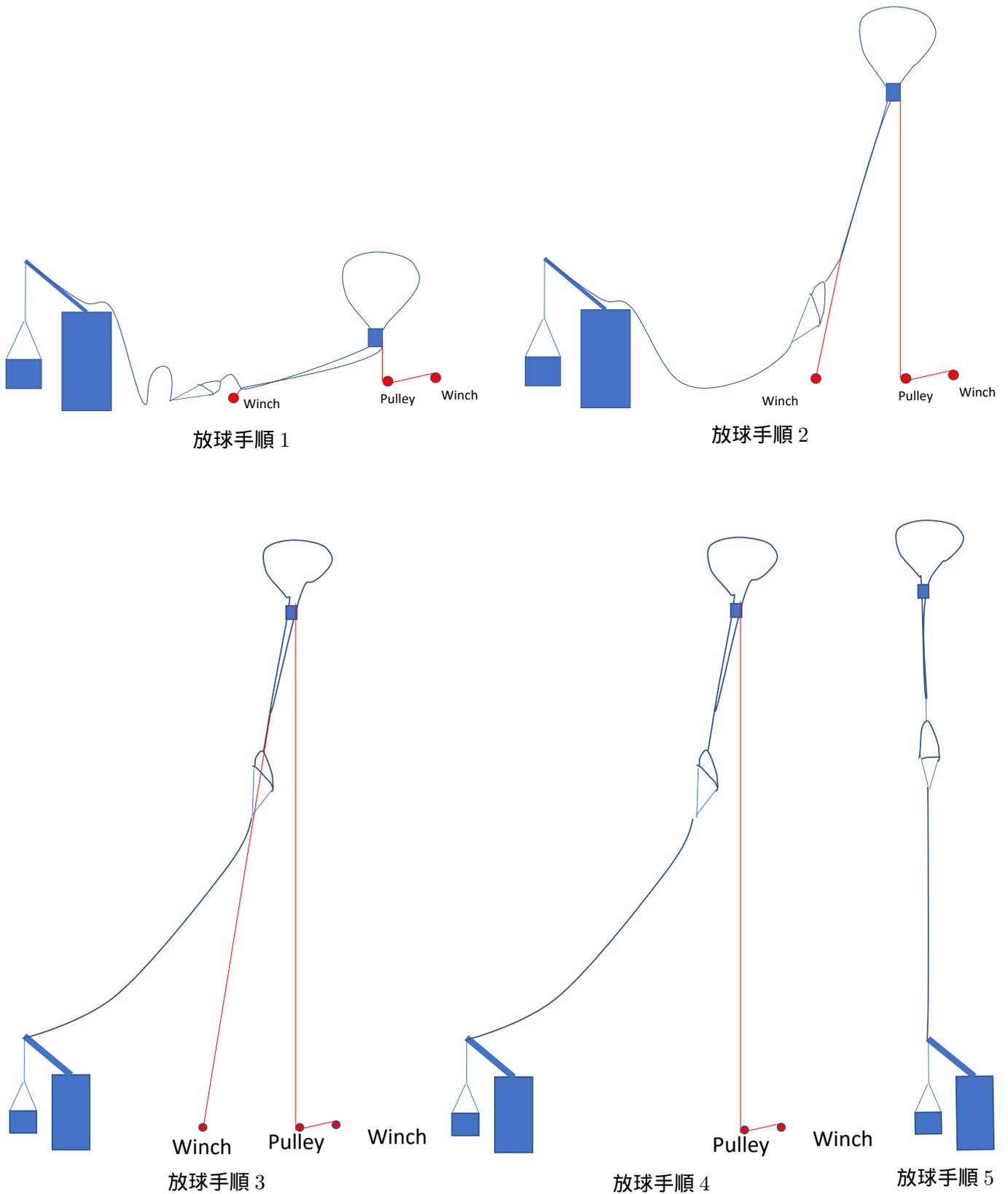


図 5: 気球を変形させないで準静的に放球する方法案。放球手順 1: 気球をカラーで圧迫し、カラーに取り付けたロープで保持しつつガス詰めを行なう (左上図)。放球手順 2: ウインチでロープを繰り出して気球をたてあげる。尾部側が不安定にならないように、別のロープで保持し、そのロープも繰り出す (右上図)。放球手順 3: 荷姿伸展完了 (左下図)、放球手順 4: 気球尾部を保持していたロープの切り離し後 (中央下図)、放球手順 5: カラーにつけていたロープの切り離し後 (右下図)。