

## 大型排気弁の開発

池田忠作、松坂幸彦、飯嶋一征、井筒直樹、梯友哉、斎藤芳隆、田村誠、濱田要、福家英之、吉田哲也

ISAS/JAXA

### 1. 概要

現在使用している排気弁は 1970 年代にモータ駆動方式が開発[1]されて後、改良を重ねながら飛翔実績を重ねてきたが、近年では使用する気球サイズが増大したため水平浮遊状態から排気して気球を緩降下させるためには長時間の排気が必要であった。そこで国内実験で主に用いられる B100、B300 型気球が水平浮遊している際に、排気時間 30 分以内で 1m/秒の下降に転じさせる能力を有することを目標として大型排気弁の開発を行った。上記目標を達成するには現行の排気弁の約 4 倍程度の排気量が必要となるが、開発した排気弁では弁蓋直径と弁蓋開のストローク長をほぼ倍増したため従来の約 4 倍の排気量を示す事が期待される。排気弁蓋を支える軸は現用の 1 軸から 2 軸に変更することで弁動作時の安定性を高め、弁閉時の弁蓋締め付け構造は現用型のコイルバネ方式ではなく板バネ方式とすることで弁蓋の締め付け力の均一化や安定性を高めた。本稿では開発の経緯および開発した大型排気弁の構造などについて述べる。排気量の実測と構造健全性の実証を目的に行った地上試験および性能評価については他を参照のこと[2]。

### 2. 開発の背景と開発目標

気球頭部に取り付けられ、ヘリウムガス排出の役割を担う排気弁は、気球の上昇速度の制御や水平浮遊からの降下に用いられる重要な装置であり、これまでも実験要求に応じたフライト提供のために利用されてきた。例えば長時間観測の要求を満たすためには図 1 に示すようなブーメラン飛翔[3, 4]と呼ばれる気球運用を行うが、ここでは排気弁操作により偏西風の強い高度で気球の上昇を一旦停止させて気球を遠方に飛翔させ、続いてパラスト投下による再上昇を行うことで長時間にわたる水平浮遊を実現している。

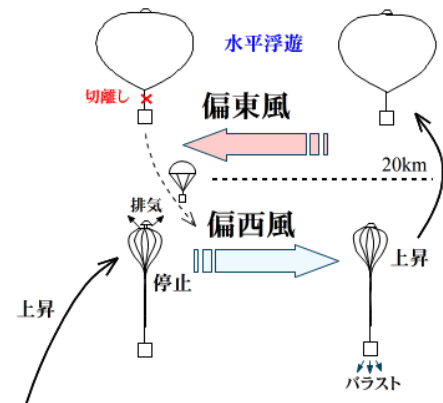


図 1 ブーメラン飛翔

一方、高度により風向風速が異なることを利用すると飛翔高度の制御により飛翔経路を制御することが可能になるため、排気弁操作による飛翔高度制御は回収可能な領域へ気球を誘導飛翔させる意味でも重要である。特にゴンドラを切り離す前、高高度での水平浮遊中に排気弁操作で気球を降下させれば、回収地点へ誘導飛翔させるために都合の良い風向の高度を選ぶことが可能になるため、回収ミッションをさらに安全、確実に行うことにつながる。しかし、近年では観測器の重量化に伴い使用する気球も大型化したため、現行の排気弁を用いて高高度から気球を降下させるためには長時間の排気が必要であった。排気に長時間を要すると実運用に適さないため、排気操作に対する気球の応答性を高めるために排気量を増大した新しい排気弁の開発に着手することになった。

現在使用されている排気弁は直径約 320mm のお椀型をした弁蓋を直流モータで駆動するリニアアクチュエータにより上下方向にスライドさせる構造で、弁蓋が全開したときの開口部面積はおよそ 460 cm<sup>2</sup>

である。図2に現用の排気弁の構造と外観及び主なスペックを示した。図3に現用の排気弁を用いて水平浮遊中の気球を1m/秒の降下速度に転ずるまでに必要な排気時間を示すが、満膨張体積が100,000 m<sup>3</sup>、300,000 m<sup>3</sup>および500,000 m<sup>3</sup>のB100、B300、B500 気球を使用すると、それぞれの場合に必要な初期排気時間は約40分、100分、150分であることがわかる。今回排気弁を開発するに当たっては、「水平浮遊中の気球を実運用可能な時間内で降下させる能力を有すること」を念頭に置いたが、水平浮遊から排気弁操作で気球を降下させる運用は、回収可能な領域の制限が厳しい日本での気球実験で主に必要とされることから、過去8年間の国内実験で利用実績のないB500を除いたB300気球までを当面の対応範囲とした。実運用上許容できる排気時間は実験時の状況により異なるため一概には定められないが、おおよその目安として1m/秒の降下開始までの時間を30分以内と見積もった。上述したようにB300気球に要する排気時間は約100分であることから、開発する排気弁では排気能力を約4倍に増大する必要があることになる。

以上のことから、新規に開発する排気弁への開発目標として以下の2点を掲げた。

- ・排気量は従来の4倍程度とする事
- ・当面の国内実験での最大吊り下げ重量1000kgで運用する際に気球頭部にかかる圧力差により蓋が開かない事

また、動作部は安定、確実な動作を行うため、十分な実績のある現用の駆動部構造を基本とすることとした。

### 3. 大型排気弁の構造

開発した大型排気弁の構造とスペックを図4に示した。挿入写真a,bは気球に装着した大型排気弁の開と閉状態、写真cはアクチュエータ駆動部内部の様子、写真dは2本のアクチュエータに固定した板バネの状態である。現用構造との主な変更点を以下に示す。

#### 3.1 弁の直径とストローク長

排気量はおよそ排気の開口部面積と比例するため、4倍の排気能力を獲得するには開口部面積を4倍

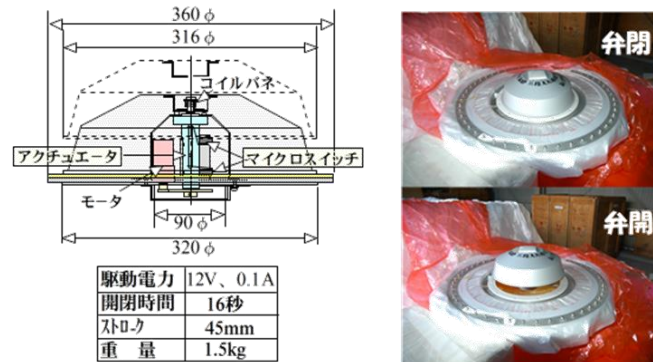


図2 現用排気弁の外観と構造及びスペック

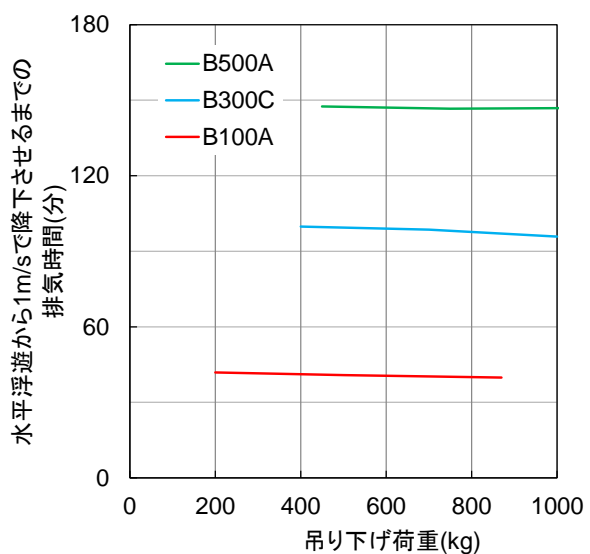


図3 現用の排気弁を用いて水平浮遊中の気球を1m/sで降下させるために必要な初期排気時間

に増やす必要がある。実効的な開口部は弁開時に弁蓋外周と台座の間に生じる隙間に相当するため、開口部面積は弁蓋の円周と弁蓋の開閉ストローク長の積である。弁蓋の駆動方式としては現用型で実績を重ねたリニアアクチュエータを利用することにしたため、まずストローク長を現行の約2倍の86mmとしたアクチュエータを試作し、十分安定した動作が得られることを確認した。また蓋の直径は従来の約2倍の680mmとした。これにより現行の排気弁の開口部面積456cm<sup>2</sup>の約4倍にあたる1,836cm<sup>2</sup>の開口部面積を確保することが出来た。この弁の直径は従来のB500型気球の弁座に収まるサイズでありB500サイズの弁座がそのまま使用可能になる。B100やB300型の気球にもB500型の弁座を使うことで問題無く大型排気弁は取付け可能である。

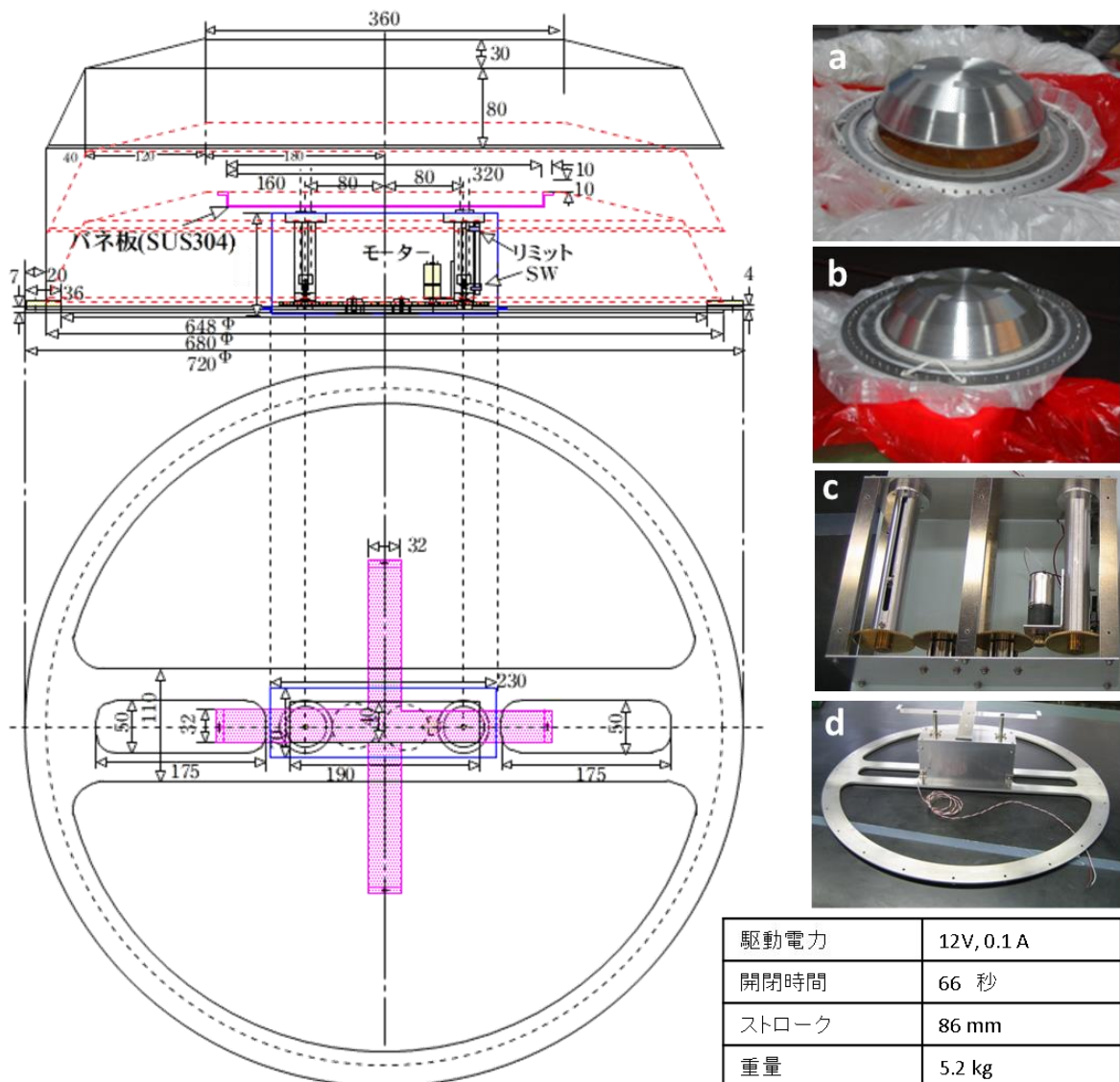


図4 大型排気弁の外観、構造とスペック。弁開閉の様子、駆動部内部の様子、および板バネ構造をa-dに示す。

### 3.2 アクチュエータの増設

従来の排気弁は弁蓋を1本のリニアアクチュエータが支える構造であったが、弁直径とストロークが増大したため、アクチュエータ1本だと弁開閉時やガス排気時に弁蓋状態が不安定になる恐れがあった。

このため開発した排気弁には図4に示したように、試作したアクチュエータを2本使用し、2軸での弁蓋保持構造とした。2本のアクチュエータの駆動は現用と同じく直流モータを用い、アクチュエータの同期を容易にするため単一モータから平歯車を介してアクチュエータを駆動する構造とした。

### 3.3 弁閉時の締め付け構造

弁閉時には気球の内部差圧により気球内部から蓋を押し上げる力が働くため弁蓋を弁座に押し付けておく必要がある。従来の排気弁ではアクチュエータ上部に設置したコイルスプリングの圧縮コイルバネ力により蓋を締め付けていたが、スプリング設置のための部品が必要で構造が複雑化することやバネ力の均一性が難しいことなどを考慮し、今回はコイルスプリングを用いずに弁蓋に取り付けた十字型のバネ板に直接2本のアクチュエータ軸を取り付ける構造とした。弁蓋は十字型のバネ板端部4か所で保持される構造のため、1軸で保持されていた現用の排気弁に比べて弁閉時に蓋が暴れにくい効果も期待できる。

表1 差圧により排気弁蓋にかかる力

| 総浮力<br>kg   | 弁蓋にかかる差圧<br>g/cm <sup>2</sup> | 蓋にかかる力<br>kg |
|-------------|-------------------------------|--------------|
| 1800        | 1.19                          | 4.3          |
| 弁蓋締め付け力(実測) |                               | 9 ~ 10 kg    |

## 4. 動作確認

### 弁閉時の弁蓋締め付け力

当面の国内実験における最大規模は吊り下げ重量 1000kg、B300 気球を使用した場合で総浮力は約 1800kg となる。この時地上で気球頭部にかかる差圧は 1.19g/cm<sup>2</sup> と算出されるため、排気弁蓋（面積 3630 cm<sup>2</sup>）に加わる力は 4.3kg となる（表1）。一方弁閉時の蓋を鉛直方向に引き上げて蓋に隙間が生じるときの力すなわち弁蓋締め付け力を実測したところ 9~10 kg であった。実際の放球ではスプーラ解放後の気球立上げ時に動的な力が加わり、最大で計算値の約 2 倍の力が 1 秒弱加わるが[5]、これにより弁蓋に隙間が生じても失われる浮力のごくわずかで影響は無視できるため、今回開発した大型排気弁は十分な締め付け力を有していることがわかった。

## 5. まとめ

現用型の排気弁の基本構造を踏襲し、弁閉時の開口部面積を約 4 倍にした大型排気弁を開発した。これにより排気に要する時間が従来の 4 分の 1 程度に短縮されることが期待されるため、これまで排気弁開からの応答時間が長く、コントロールが難しかった高高度からの気球の緩降下についても積極的にこなせるようになると考えている。実用化に向けては運用上いくつか課題が残っており、特に弁の開閉時間については短縮したほうがより運用しやすいため、現在の開閉時間の半分以下にする手段を検討し実運用化を目指す所存である。

## 参考文献

1. 松坂幸彦、狛豊 「排気弁」 大気球シンポジウム（昭和 52 年） pp93-101.
2. 井筒直樹、松坂幸彦、飯嶋一征、池田忠作、植本有海、梯友哉、小財正義、斎藤芳隆、田村誠、濱田要、福家英之、吉田哲也「大型排気弁の地上試験と性能評価」本シンポジウム
3. 西村 純他「ブーメラン気球」東京大学宇宙航空研究所報告 9(1-B), 1973, pp186-202.
4. 西村 純他「ブーメラン気球 II」東京大学宇宙航空研究所報告 10(1-B), 1974, pp125-146.
5. 井筒 直樹他「跳ね上げローラーによる気球立上げ地上試験」大気球シンポジウム（平成 7 年） pp5-8.