

2019年気球実験における水素ガスを用いたゴム気球実験実施報告（1）

飯嶋一征、池田忠作、田村誠、吉田哲也、大気球実験グループ ISAS/JAXA

1. はじめに

宇宙科学研究所大気球実験グループでは気球への充填ガスとして現在ヘリウムを用いている。昨今、ヘリウムガス海外生産拠点の情勢から日本国内への輸入量が大幅に減少した。その影響により国内でのガス供給量が厳しく制限されるに至った。ガス単価も1.5倍以上急騰し、今後の供給量回復の見込みは現時点において見通しがたたない状況である。2019年実験では大型気球5基および小型気球(ゴム)2基の実験が計画されたが、結果的には、気球グループが調達できたヘリウムガスは大型気球5実験分のうち1実験分のみであった。また、ガス供給不足下で国内に輸入される液化ヘリウムは蒸発を考慮し、あえて圧縮ガスで貯蔵される為、国内のあらゆる種類の貯蔵容器・トレーラーが不足していたこともガス調達の困難さを倍加した。

そこで気球グループでは、今後も起こりえるヘリウムガス供給不足に対応すべく、代替ガスとして水素ガス利用の可能性の検討を開始した。

2019年度実験では水素ガス利用の足掛かりとして、まずは小型気球実験のゴム気球2基を対象に実験を行った。本稿では、実際に水素ガスを用いて放球したBS19-01、BS19-02実験を基に構築した新規水素ガス充填システムの基本構成について報告する。実際の機器の使用方法、充填オペレーションについては参考文献[1]を参照されたい。

2. 水素利用の検討

ヘリウムから水素ガスを用いることで従来の不活性ガスから可燃性ガスへの取扱いへと変わる。水素の最小着火エネルギーは可燃性ガスの中では最も小さい部類に入り、空気と一定の割合で混合されると燃焼爆発する。過去の水素爆発事故を見ると、着火源は静電気放電が多い。それゆえに、実験設備機器の接地、人体の帯電防止等の静電気対策は入念に行うことが必須である。また、設備面の対策のみならず、運用上の取扱いについても十分に気をつける必要があり、安全に取扱うため水素ガスを「漏らさない」「漏れを検知する」「滞留させない」ことを常に留意する。

今回、水素ガスの使用にあたって安全を確保すべく、2019年はその第一歩としてゴム気球2基の実験を対象に、安全審査員や水素取扱いに卓越した有識者のご意見、アドバイス等を基に専用の水素ガス充填システムの構築を行った(表1)。

3. 小型気球水素ガス充填システムの基本構成

充填系は余分な作業が生じないよう極力シンプルな構造にすることを心掛けた。ゴム気球への充填は従来と同じくガス量を直接電子秤で到達浮力まで計測する方法を踏襲し、水素ガス滞留の危険性が少なく通風の良い屋外での充填作業とした。使用する機器は電子秤を含め全て防爆仕様を用意した。充填系配置図を図1に示す。

水素ガス容器は入手性が良く、取扱いが容易な容積47L 高圧ガスボンベを利用し、使用する本数は各総浮力に応じた必要最低本数とした。ボンベ貯蔵場所は防雨、着火源との距離、充填位置、残水素排気位置を踏まえて格納庫横の屋外にコンクリ土台を施工し、可燃性ガス対応のシャッター付きボンベ収納庫を新設した

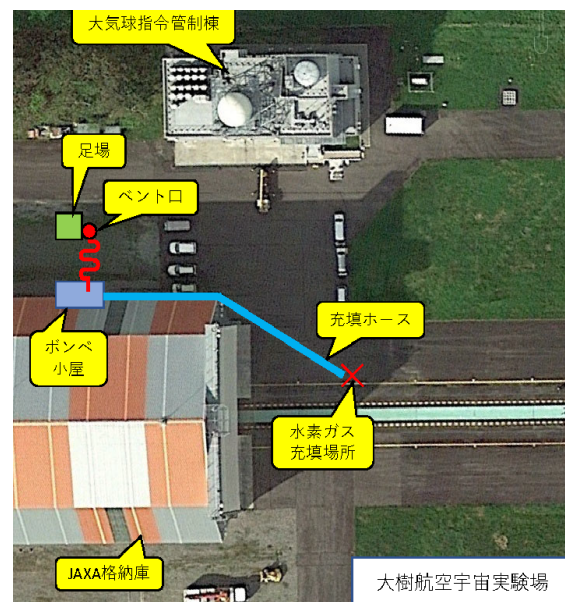


図1. 充填系配置図

(図 2)。収納庫内には水素ガスボンベ 3 本、置換用窒素ガスボンベ 1 本を固定できるボンベ架台が備わっており、BS19-02 で使用する集合配管はこの架台に取り付ける。収納庫は実験後に撤収するため地面と着脱可能となっている。

配管内残水素ガスの実験場での放出については、放出口を建物や建物の貫通孔(換気口)から可能な限り離す必要がある。大気放出の条件として、放出口は高所かつ着火源が周囲に無く通風の良い開けた場所に設置する必要がある。そこで、格納庫横の屋外の前述の条件を満たす位置に、先端に放出口を取り付けた水素ベントスタック (地上高さ約 8m) を構築した(図 3)。ベント管は 4 段に組まれた工事用足場のひとつの柱に垂直に固定し、背圧ができる限り下がるように SUS 製 1 インチ管を使用した(図 4、表 2)。放出口は開口部面積をベント管の径より大きくし、排気抵抗をできる限り下げ、雨水や鳥・虫の侵入を避けられる防雨傘およびメッシュサイズ金網を取り付けた(図 5、表 2)。

ゴム気球と充填金具からの水素ガス漏れを防ぐ為、充填金具はセットする各ゴム気球口径に合わせた口径のものを複数製作し、金具間での漏れが無いよう、ゴム気球をセットする棒部に水素配管を直接接続した(図 6、8)。また、ゴム気球に流れ込む水素ガスの静電気対策として、一般的にプリンタなどに使われている除電構造を利用し、図 7 に示す放電針をガス噴出口の管中心に向けて突出させ取り付けした。

ボンベ収納庫内にセットされる集合配管は同時に水素ガスボンベ 3 本、窒素ガスボンベ 1 本を接続でき、ボンベごとに開閉バルブおよび逆止弁がついている。ゴム気球へは減圧弁を直接操作して 2 次圧を調整しながら水素ガス充填する。減圧弁上部下部に 1 基ずつある放出弁を個別に操作することにより 1 次圧側、2 次圧側の配管内残水素ガスをベントスタックへ放出することが可能である(図 9、10、表 2)。



図 2. ボンベ収納庫

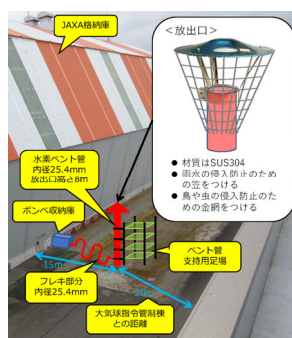


図 3. ベント配置

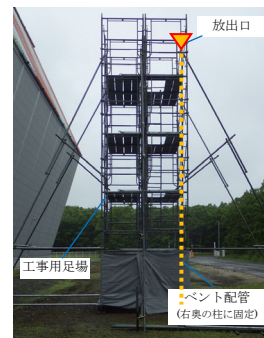


図 4. ベントスタック外観

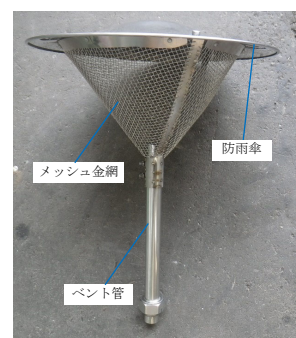


図 5. ベントスタック放出口



図 6. 水素用ゴム気球充填金



図 7. 上図：充填金具(棒部)
下図：放電針

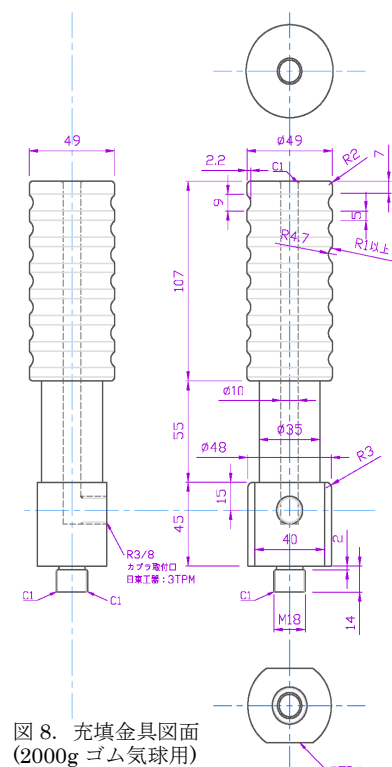


図 8. 充填金具図面
(2000g ゴム気球用)

表 1. 水素ガス充填系システムの主な検討事項

対策箇所		検討事項	対策内容
飛翔体	ゴム気球	ゴム気球の帯電	充填前に帯電防止のためゴム気球内外のタルク(白粉)を十分に除去
	荷姿	着火源	非防爆なので運用面に対応。ガス充填時には警戒区域外で作業
	観測器		
地上系	水素ガス系設備	水素ガス置場(実験場内での可燃性ガスの取扱い)	格納庫横の屋外にコンクリ土台を施工、屋根付き専用ボンベ収納庫を新設。防雨・着火源(半径 2m に着火源無きこと)・充填場所距離、安全距離を踏まえて位置を決定。ボンベ収納庫は地面と着脱式で実験後には撤収
		配管・充填機器の帯電防止(設備機器の接地、除電)	格納庫と同じアースに接地(接地抵抗 10Ω 以下)。充填金具およびボンベ収納庫内集合配管にアース線を接続 充填金具をゴム気球セット時のガス漏れ隙間が無いよう 600g、2000g ゴム気球の各口径に合わせて新規製作(図 7)。ガス噴出口に水素ガス帯電粒子の除電用の放電針を取付け ホース・バルブ・弁類は全て水素仕様
		水素ガスの大気排気制限(ベントスタック)	配管内残ガス排気用のベント管(管径 1inch)を設置。建屋外壁より 15m 以上、地上より 8m 以上の距離を確保しベント口位置を決定。ベント時は建屋の窓扉は全閉。落雷対策としてベント管塔部とフレキ部分は使用時以外は分離
		ガス漏れ検知(水素濃度のモニタ)	ポケット型水素ガス検知器、高感度水素ガス検知器を使用し、充填時の水素ガス漏れをモニタ(表 2)。ベント時は周辺建屋内、エアコン室外機等の屋外機器、ベントスタック周辺の地上などへの移流を考慮して検知器を要所に配置しモニタ
		人体の帯電防止	帯電防止服・帯電防止安全靴・帯電防止リストバンド(接地式)
		運用・作業	水素ガス取扱い作業・手順
その他	対外対応	<ul style="list-style-type: none"> ・水素ガス利用について大樹町役場への届出 ・第 2 種貯蔵所「高圧ガス可燃性ガス追加申請」を北海道十勝総合振興局へ届出 ・「水素ガスを充てんする気球の設置届出書」を大樹消防署へ届出 	

4. まとめ

今回の国内ヘリウムガス供給不足を背景に、将来的な代替ガスとして水素ガスを使用した気球実験の可能性の検討を始めた。

不活性ガスのヘリウムと違い、危険な可燃性ガスである水素ガスの利用について安全面や水素利用の制約の観点から様々な改修、対策を盛り込んだ。これが大型ポリエチレン気球となると水素化対策が今まで培った放球オペレーションの変更を余儀なくさせる。室内から屋外充填になると、気球フィルムはゴム気球よりも地上風によるダメージははるかに深刻になるし、静電気対策もゴム気球実験と比べたら大型気球放球システムはかなり大掛かりなものとなる。また、ゴム気球実験にはない海上回収時の気球フィルム内の残水素ガス処理についても十分な安全対策が必須である。水素利用についてはより安全に、従来以上の確実な放球に向けてまだまだ多くの検討事項があり、今後も水素利用の気球実験の可能性の検討を続けていく必要がある。

表 2. 各機器諸元

■水素ガス充填装置(集合配管)諸元

(※①～⑦配置は図9参照)

- ① 逆止弁 SUS316 4基 PS用
- ② 連結管 SUS316 4基 φ4×0.5t×1000L
- ③ 入口弁 SUS316 4基 4YH-MH-6.35
- ④ フィルター SUS3161基 FUFL-915-6.35-2μ
- ⑤ 減圧弁 SUS316 1基 NPR-1HLS(安全弁付)
- ⑥ 逆止弁 SUS316 1基 VUCL-941-6.35
- ⑦ 放出弁 SUS316 2基 4YH-MH-6.35

(高圧部の弁類は認定品とする)

設計圧力[MPa] P1:16.2 P2:1.0 P3:1.0

常用圧力[MPa] P1:14.7 P2:0.99 P3:大気圧

設計温度[°C] -10～+40

常用温度[°C] -10～+40

耐圧試験圧力[MPa] P1:20.3 P2:- P3:-

気密試験圧力[MPa] P1:16.2 P2:0.99 P3:0.99

入口ネジ H2:W22-14山(左) N2:W22-14山(右)

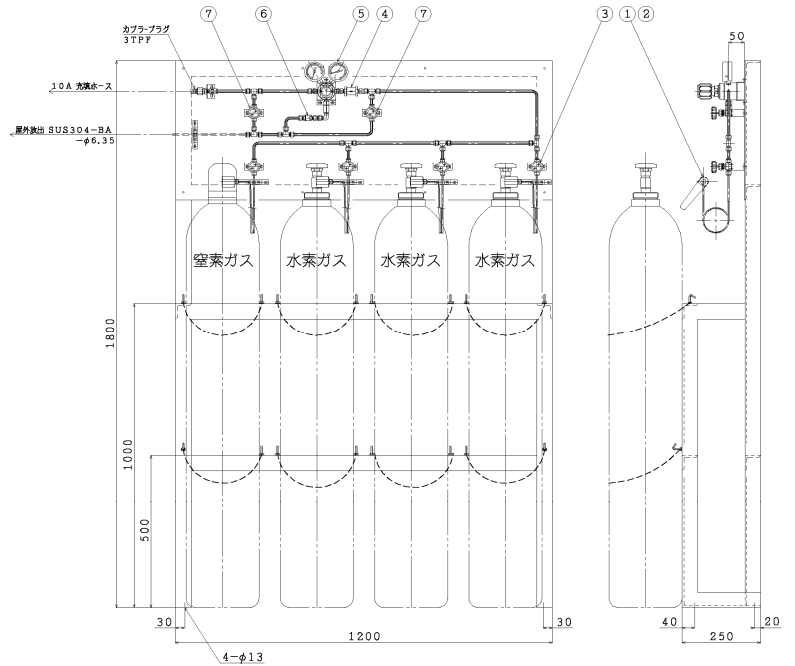


図 9. 水素ガス充填装置(集合配管)

■2次側ホース(50m)諸元

- ・1/2インチ帯電防止ガスホース Swagelok SS-TC8

■ベント管(SUS製)諸元

- ・Φ1inch管同士接続部 SS-1610-6
- ・集合配管1/4管との連結 SS-1610-6-4
- ・ベント管フレキホース Φ1inchホース SS-FJ16 Swagelok
- ・ベント管タワー部分 1inch SUS管 型番SS-T16 Swagelok

■放電針諸元

Φ2.0×25L 先端R0.1 テーパー長8mm 森田製作所

■水素ガス検知器、電位測定器のメーカ・型番

- ・ポケット型可燃性ガス検知器 XA-380-H2 新コスモス電機
- ・防爆タイプデジタル静電電位測定器 KSD-0108 春日電機
- ・高感度可燃性ガス検知器 XP-3160 新コスモス電機
- ・可燃ガス探知器XP-702III(XP-702-3) 新コスモス電機
- ・人体電位測定器 KSD-4100 春日電機

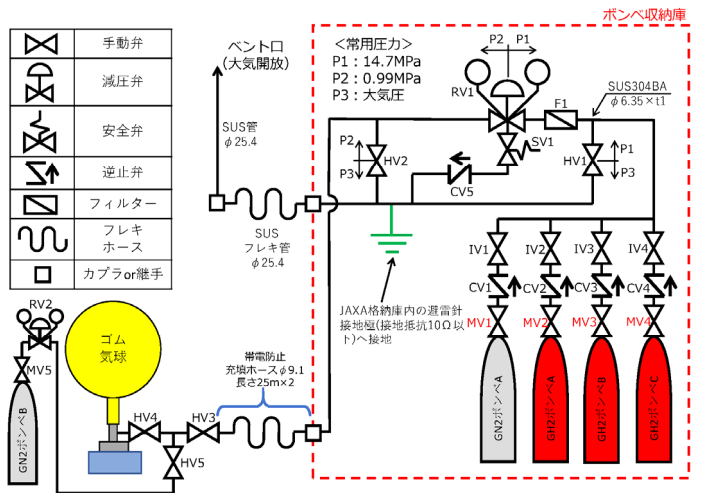


図 10. BS19-02 充填システム系統図

謝辞

本実験実施にあたって、成尾芳博氏には多大な支援を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 池田忠作, 他「2019年気球実験における水素ガスを用いたゴム気球実験実施報告(2)」大気球シンポジウム, 2019, isas19-sbs-019.
- [2] 阿部豊雄 「奨励賞を受賞して一高層気象観測研場での創意工夫」, 天気, 65(1), 51-54, 2018.