

宇宙線反粒子探索 GAPS 計画に向けたラジエータ飛行試験 (2019 年度-1)

小財正義^A, 岡崎峻^A, 福家英之^A, 吉田哲也^A, 西城大^A, 河内明子^B, 近藤愛実^B, 竹内崇人^C,
E. Martinez^D, N. Saffold^D, F. Gahbauer^D, C.J. Hailey^D, W. Craig^E, J. Olson^F

^AISAS/JAXA, ^B東海大, ^C青学大, ^DColumbia Univ., ^EUC Berkeley, ^FHeliospace

1. はじめに

GAPS (General Antiparticle Spectrometer) は宇宙線反粒子の高感度観測を目的とした国際共同実験である。2021 年末に NASA 南極周回長時間気球を用いて観測を実施する。GAPS の中核を担うシリコン検出器の冷却のため、我々は低電力かつ軽量の冷却システムの開発を進めている。冷却システムに使用される低温ラジエータの技術実証のため、ラジエータのスケールモデルを気球ペイロードに搭載し、飛行試験を実施した。

試験はアメリカ New Mexico 州 Fort Sumner での NASA/CSBF 気球実験を利用して 2018 年と 2019 年の 2 度にわたり実施した。ここでは 2019 年度試験の全体報告を行う。

2. 試験の目的と背景

GAPS ではシリコン検出器の発熱をヒートパイプによってラジエータパネルまで輸送し、宇宙空間へ輻射放熱する。検出器を約 -40°C まで冷却することが求められ、ラジエータを約 -55°C まで冷却する必要がある。気球実験としては前例のない低温ラジエータである。ラジエータの熱収支において、輻射放熱量はラジエータが低温になるほど低下し、大気での対流熱伝達の寄与が相対的に大きくなる。ラジエータ設計のために、気球フライト高度 (30 km 以上) の希薄大気での対流熱伝達を明らかにし、低温ラジエータの技術実証を行う必要がある。

2012 年に JAXA 大気球実験を利用し pGAPS (prototype-GAPS) のフライトが実施された[1,2]。冷却システムの性能実証試験としてヒートパイプ及びラジエータのスケールモデルが搭載された。極低温化を狙ったものではなく水平浮遊高度でのラジエータ温度は 10°C 前後であったが、測定データから対流熱伝達モデルの検証などが行われた[3]。

気球飛行環境での低温ラジエータの熱収支を高精度で検証するため、我々はラジエータのスケールモデルの気球飛行試験を実施した。大樹町での JAXA 大気球実験では気球 VLBI 実験への相乗り機会を頂き準備を進めたが、飛行機会に恵まれなかった。米国では Fort Sumner での NASA/CSBF 気球実験への相乗りが認められ、2018 年 9 月 8 日夕方に放球された。気球に不具合があり、水平浮遊に到達することなく夜間に着地したものの、低温ラジエータの最低限の実証には成功した[4]。2019 年度、日中・水平浮遊中 (定常状態) のデータを取得するべく、Fort Sumner 気球実験での再試験を実施した。

3. 試験の概要

簡素化のため、ラジエータテストシステムは電氣的に独立な構成とし、メイン実験のペイロードに相乗りするピギーバック実験とした。実験装置は構造物 (ラジエータ、断熱材、支持用アルミフレーム) のほか温度センサ、ロガー、バッテリーから成る (図 1 a)。無線通信は使用せず、フライト後にロガーを回収し、記憶メモリからデータを取得する。ラジエータを反太陽方向へ向けるため、メインペイロードが方位制御機能を持っている必要がある。飛行条件は、日中・反太陽方向に方位制御・高度 30 km 以上での水平浮遊連続 2 時間以上 (温度平衡までの約 1 時間含む)、である。

表 1 : 実験経過

8/12	Fort Sumner 着
8/13	実験場入り、安全講習
8/14-15	搭載品補修、改良、組立
8/16	ラジエータテストシステム準備完了
8/19-20	メインゴンドラ噛合せ 放球レディ
8/23	放球トライ 航跡予測が悪く中止
8/24	放球トライ 地上風条件悪く中止 放球チャンス待ち
9/21	放球トライ 地上風条件悪く中止
9/23	放球、フライト、着地
9/24	CSBF スタッフが ゴンドラにアクセス ピギー等回収
9/25	ピギー等実験場に到着 搭載品の状態確認 データ回収
9/26	帰国へ向けて Fort Sumner 出発

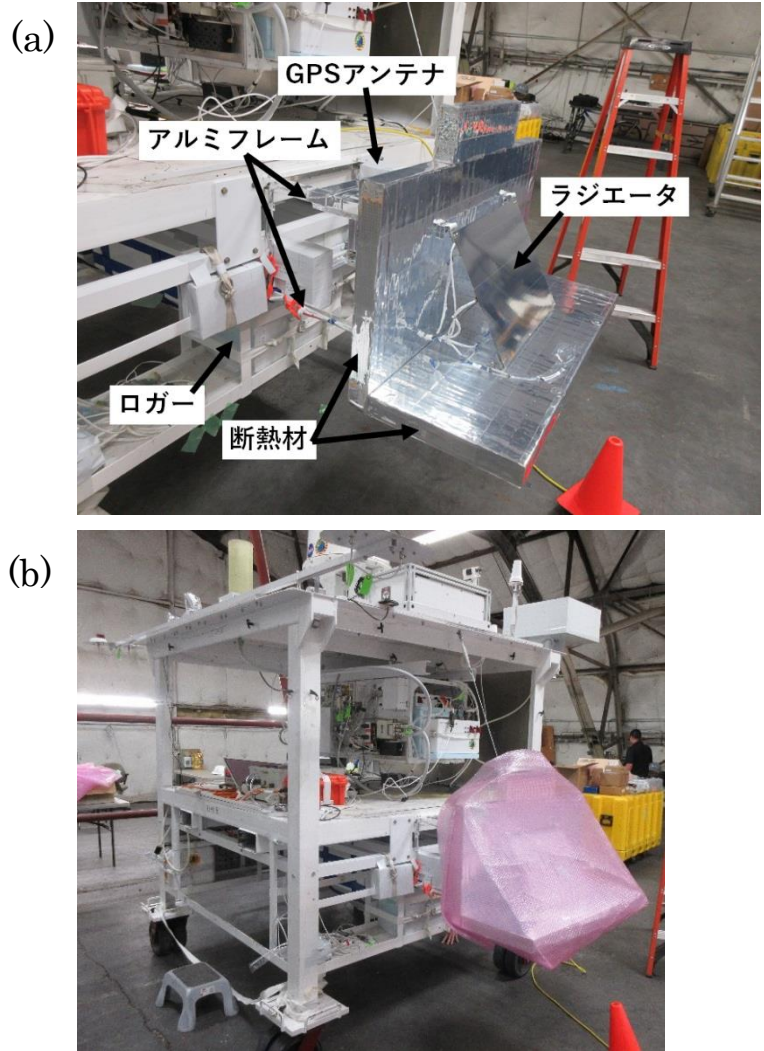


図 1:(a) ラジエータテストシステムと (b) 組立中の LDB Test ゴンドラ。写真(b)においてラジエータと断熱材は保護用バブルラップ（ピンク色）でカバーされている。

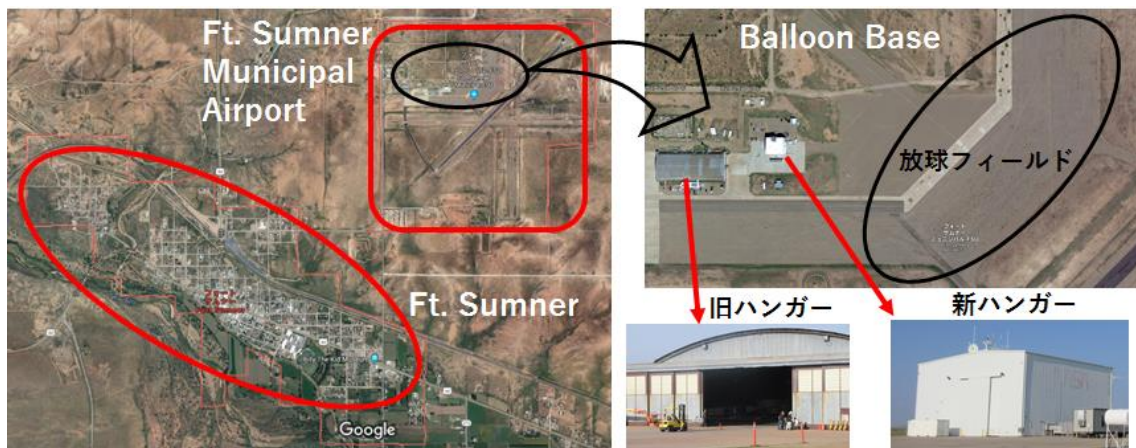


図 2 : Fort Sumner 市街地、NASA/CSBF 実験場 (Balloon Base)、その中の旧ハンガーと新ハンガー。©Google Map

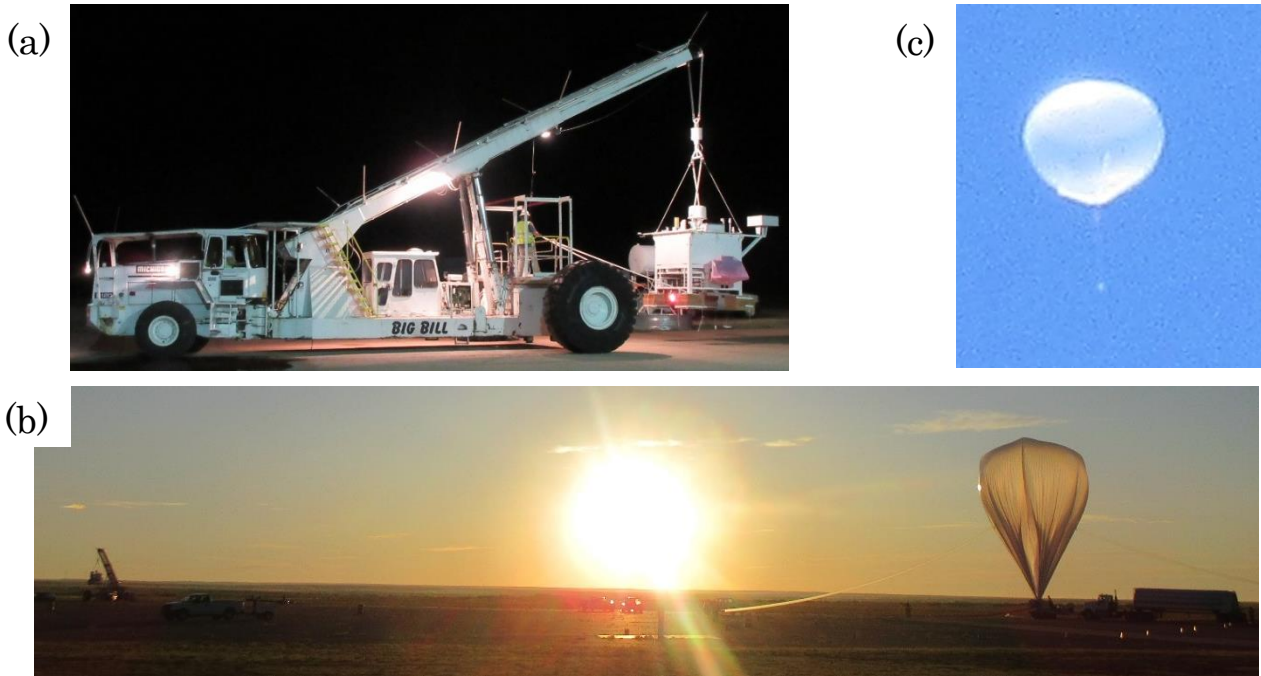


図3 : (a) 放球車で放球フィールドへ運ばれる LDB Test ペイロード
 (b) ガス入れ中の気球、荷姿、ペイロード
 (c) フライト中の気球、荷姿、ペイロード

4. 実験経過

2019年8月12日に Fort. Sumner 入りした。メインペイロード（図1b）は”LDB Test 実験”と昨年度（”SIFT 実験”）から名称が変わっていたが、現地で確認したところ SIFT 実験とほぼ同じのことだった。LDB Test 及びそのピギー実験のために、旧ハンガー（図2）内の1室があてがわれた。

2018年度実験ではフライト・着地・回収後、搭載品への大きなダメージが無かったので、再実験を見越してそれらを実験場にデポしておいた。今回実験場へ着いてその保管状況を確認したところ、劣化は見られなかった。メインゴンドラ的设计が昨年度とほぼ同じで、ゴンドラフレームも昨年度フライト品の使い回しだったため、断熱材や支持体を作り直す必要も無かった。若干の補修や改良を行い、8月16日に動作確認まで終えて我々の準備は終了した。2018年度実験ではペイロード回収へ同行し、着地後の搭載品を目視チェックした。その際、断熱材表面に貼付した銀蒸着テフロンテープが端からめくれている様子が見られたので、今年度はテープの端を接着剤で補強した。

メインゴンドラも噛合せ、感度試験、吊り試験を終えて8月20日には放球レディとなった。しかし、飛翔時間予測やリスク評価値、地上風、放球優先度などの条件が揃わず、放球チャンスを得るまでに1ヶ月程度待機することとなった。9月23日午前8時ようやく放球された（図3）。西への4時間のレベルフライトののち、Albuquerque 市街や山岳地へ到達する前に切離された。日中・反太陽方向制御・高度38 km以上の水平浮遊で2時間以上のデータを得ることができた（図4）。

着地点は Albuquerque の東の外れで Fort Sumner からの距離は近かったが、クレーン車でアクセスできない山の上であった。放球翌日に CSBF スタッフが徒歩でアクセスし、各ピギーバック搭載品など人力で運べるものを回収した。翌々日には Fort Sumner へ運びこまれ、我々のデータを回収することができた。銀蒸着テフロンテープの剥がれを含め搭載品の損傷も殆ど無く、全飛翔時間を通じて健全な状態でデータ取得できたことを示していた。

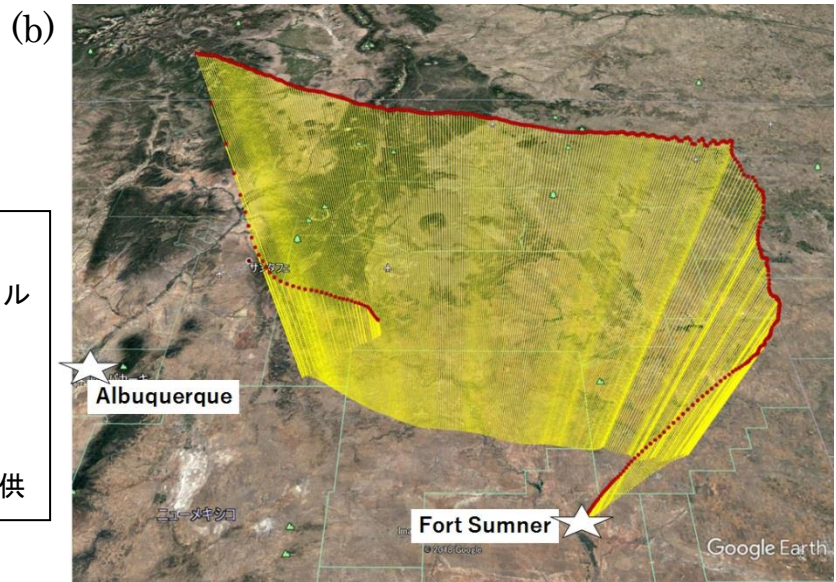
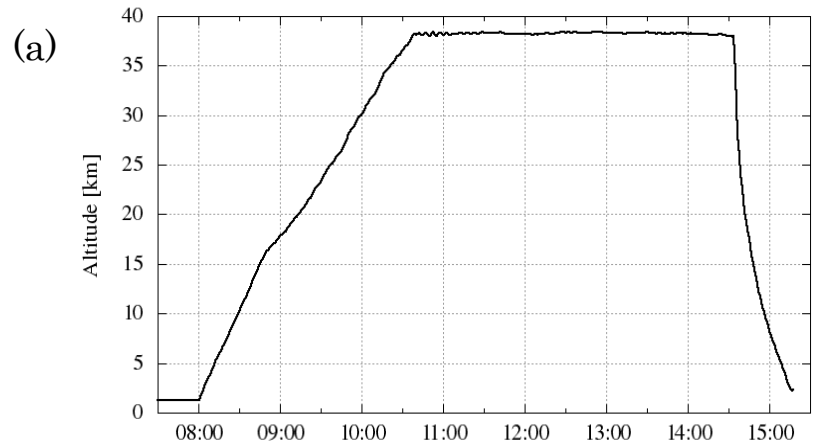


図 4

(a) 気球飛翔高度の時刻プロファイル
(現地ローカル時刻; MDT)

(b) 気球飛翔航跡の 3D 俯瞰図
(©Google Earth)

いずれも気球 GPS 座標は CSBF 提供

5. まとめ

GAPS 用低温ラジエータの気球飛翔高度での熱収支を明らかにするため、ラジエータスケールモデルの飛翔試験を実施した。米国 Fort Sumner での NASA/CSBF 気球実験にピギーバック実験として参加し、日中・反太陽方向制御・高度 30 km 以上での水平浮遊 2 時間以上という所期のフライトデータを得る事ができた。ラジエータの温度測定データは水平浮遊中約 -60°C まで達しており、低温ラジエータを実現可能であることを示している。熱収支の詳細な解析を現在実行中である[5]。

謝辞

実験に協力を頂きました VLBI 気球実験チーム、ISAS 山田和彦研究室、NASA/BPO LDB Test 実験チーム、NASA/CSBF の関係各位に感謝申し上げます。本研究の一部は科研費(JP17H01136)、JAXA 小規模計画経費の各経費を受けて実施しました。

参考文献

- [1] S.A.I. Mognet et al., 2014, The prototype GAPS (pGAPS) experiment, *NIM A* **735**, 24-38.
- [2] H. Fuke et al., 2014, The pGAPS experiment: An engineering balloon flight of prototype GAPS, *Adv. Space Res.* **53**, 1432-1437.
- [3] H. Fuke et al., 2017, Balloon flight demonstration of an oscillating heat pipe, *JAI* **6:2**.
- [4] 岡崎 他, 2018, 宇宙線反粒子探索 GAPS 計画に向けたラジエータ飛翔試験, 2018 年度大気球シンポジウム, isas18-sbs-008.
- [5] 岡崎 他, 2019, 宇宙線反粒子探索 GAPS 計画に向けたラジエータ飛翔試験(2019 年度-2), 2019 年度大気球シンポジウム.