

気球搭載望遠鏡による惑星大気観測

田口 真(立教大学理学部)・山元夢摘(立教大学大学院理学研究科)

吉田和哉・坂本祐二・中野壽彦・藤村亮介・Steve Battazzo(東北大学大学院工学研究科)

荘司泰弘(宇宙科学研究所大気球実験室)

高橋幸弘(北海道大学大学院理学研究院)

1. 目的

我々は望遠鏡による光学観測を通じて惑星大気・プラズマの研究している。しかし、国内外の大型望遠鏡はマシンタイムが限られる上に、シーイングや天候不良のため満足な観測ができない状況である。そこで高度 30 km 以上の成層圏では、大気が安定しているうえに大気密度が地上の 1/100 以下になるため、地上と比較してシーイングが格段に向上することに着目した。口径 200 mm クラスの小望遠鏡でも回折限界の角度分解能が達成できれば、地上の大口径望遠鏡に引けをとらない空間分解能で観測が期待される。極域成層圏では天体を 24 時間以上にわたって連続に観測可能なウィンドウが存在する。このようなメリットを生かし、極域成層圏に光学望遠鏡を浮遊させ、惑星表面の連続観測によって惑星大気・プラズマの物理を研究することを目的とする。

2011 年度の第一次気球実験でシステム性能を確認するためのフライトを予定していたが、開発の遅れからフライトを断念した。本稿では開発の遅れの原因の一つとなった電源系の不具合について、詳細に報告する。システムの詳細については 2010 年度以前の本シンポジウム集録を参照されたい。

2. 電源系の不具合と改修計画

表1にリチウムイオン電池の仕様を、現状の電源系のブロック図を図1に示す。電力はフライト時は太陽電池(PV)から、放球前は外部安定化電源から供給される。上空でゴンドラの姿勢が太陽指向で安定して太陽電池からの電力供給が得られるようになる前は、リチウムイオン電池によって電力が供給される。太陽電池電力から負荷電力を除いた残りは、放電したリチウムイオン電池の電力を 28 V の定電圧でフローティング充電をする電力として使われる。回収時の安全性に考慮して、電源出力はコマンドによって ON/OFF 可能である。

表1. リチウムイオン電池仕様

項目	値
メーカー	ENAX
型番	ENB-LM25
公称容量(セル単体)	25.0 Ah
定格電圧(セル単体)	3.7 V
構成	7直列2並列
公称容量(全体)	50 Ah
定格電圧(全体)	25.9 V

2011 年 7 月 15 日からシステム熱真空試験を実施した。電源系は真空槽内に設置し、真空槽外にいた外部電源から気球用充電器に電源を供給した。太陽電池パネルは接続していない。

大気圧下で -60°C まで温度を下げ2時間放置した。これは大樹町多目的航空公園から放球後、対流圏界面の少し上空で沖へ出すオペレーションを模擬している。異常は見られなかった。次に、観測高度 32 km の条件を模擬して、-40°C まで上昇させ、気圧を 6 mmHg まで下げた。しばらくしたところで、急に外部電源の電流供給リミット 5 A に達し、出力電圧も低下したため、試験を中止した。常温常圧に戻し、気球用充電器とリチウムイオン電池の状態を調べたところ、均等化回路内でリチウムイオン電池の過充電を防止するバイパス用のメタルクラッド抵抗が破損していた。原因はバイパス抵抗の定格容量が発熱量に対して余裕がなかったことと、低圧下での十分な放熱対策が施されていない点にある。そこで、バイパス用抵抗を

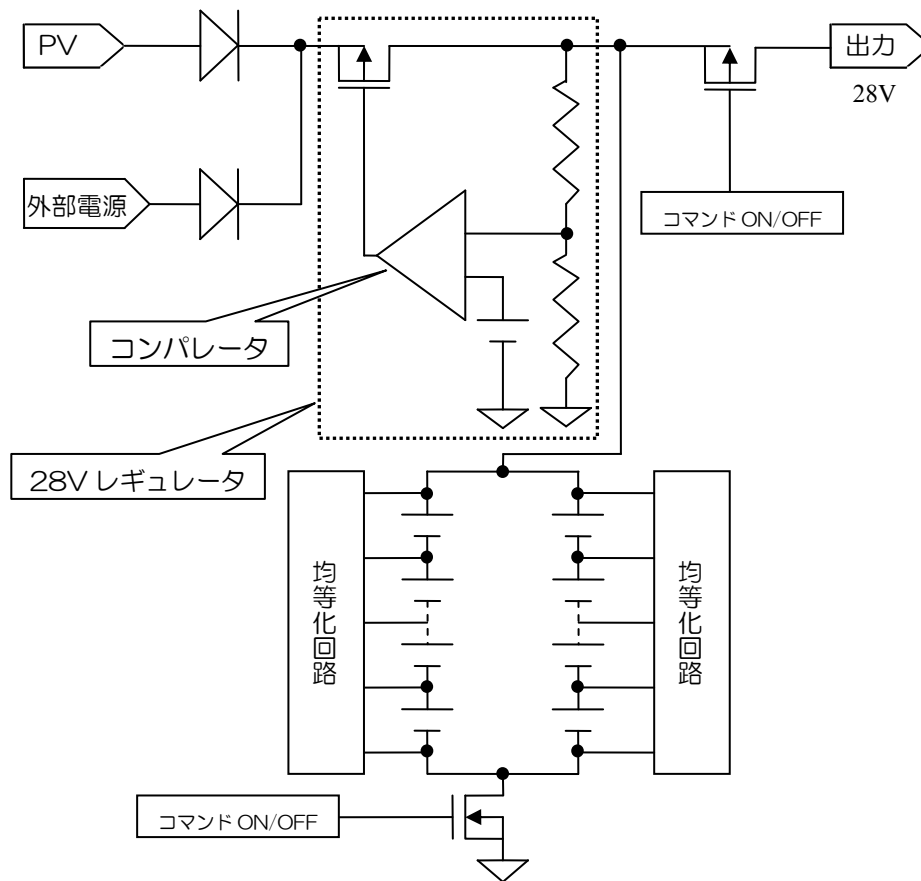


図1. 現状の電源系ブロック図。

25W-1Ω から 50W-0.5Ω に変更し、抵抗の放熱性を上げるため、取付面に液状シリコンを塗布した。

7月30日から2回目の熱真空試験を実施した。前回の試験で破損した抵抗には、太陽電池及び外部電源が繋がれていない状態では電流は流れない。外部電源を接続して試験を行い、また同じ抵抗の不具合を起こすと、その時点でフライトが中止とせざるをえない。設計上はリチウムイオン電池の容量だけで、大樹町でのシステム性能検証フライトの電力は賅えるはずである。そこでまず、外部電源を接続せず、リチウムイオン電池だけを接続して試験を行うこととした。1回目と同じ温度プロファイルで-60℃まで温度を下げ2時間放置した後、-40℃、6 mmHg に設定した。全機器を ON した後、予想外に早く約 8 分でバス電圧が 19 V 台に落ちたので、電池の過放電を避けるために試験を中断した。しかし、その後、外部電源からの充電を試みたが、電圧が回復しなかった。

低温においてリチウムイオン電池のセル個体特性のバラツキが大きくなった場合、2 並列の電池間の電流バランスがくずれることがある。同様に直列接続のセル電圧もバラツキ度合いが大きくなり充電完了セルと未完了セルが混在する状態になる。また表2に実測値を示すように温度の低下とともにリチウムイオン電池の容量は低下する。今回の試験時の現象は、低温下で放電モードで試験を継続した結果、容量不足のセルが予想よりもかなり早く過放電に陥って回復不能な損傷を受けたと推定される。

表2. リチウムイオン電池の容量 [Ah]

電池 No.	温度 [°C]			
	-40	-30	-20	20
1	15.3	27.5	33.2	42.1
2	10.7	27.6	33.2	41.9
3	18.7	26.8	32.8	42.9

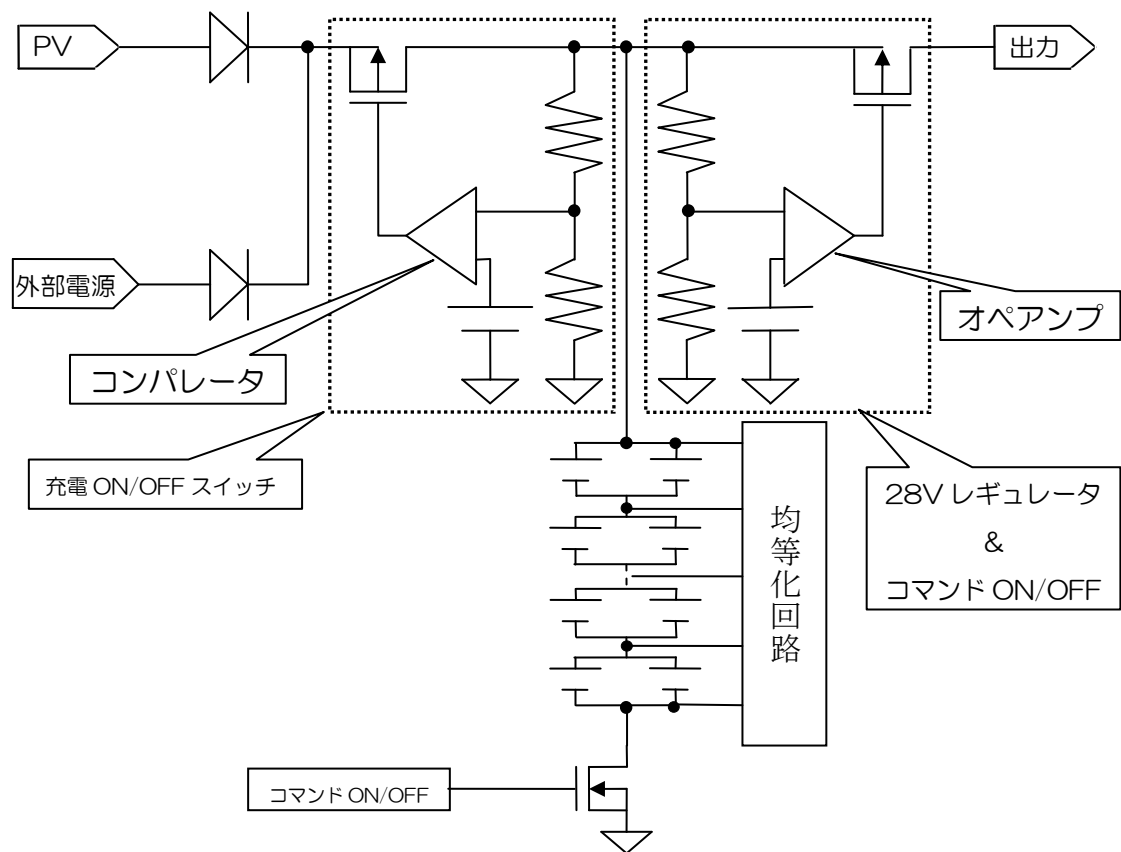


図2. 改修後の電源系ブロック図。

現在検討している電源系の改善策を図2に示す。リチウムイオン電池は現在使用しているタイプと同じものを使用する。太陽電池・外部電源(定電流モード)は、ON/OFF スイッチを介して、リチウムイオン電池及び負荷に電力供給される。リチウムイオン電池が満了レベルに達すると充電スイッチは OFF になる。この状態ではリチウムイオン電池からの電力供給のみでの運転になる。リチウムイオン電池電圧が下がると再び充電スイッチが ON になる。均等化回路を改善して全セルの電圧バランスを取りながら充電をする。リチウムイオン電池は2 並列×7 直列として、セル間のアンバランスのリスクを押さえる。

また、温度低下による容量低下を抑えるために、ヒータの取り付けと断熱材による保温をする。ヒータ電力としては太陽電池電力のうち、現在は捨てている、負荷電力と充電電力の残りを利用する。その他に、リチウムイオン電池温度モニターの追加、電流モニター電圧をアイソレーションアンプを介して出力、筐体の強化などの改良を施す。

3. 実験計画

現在、電源系の改修と並行してゴンドラ(図3)の組み立て、各コンポーネントの機能確認を実施している。2011 年中にゴンドラの姿勢制御、目標天体のポインティ

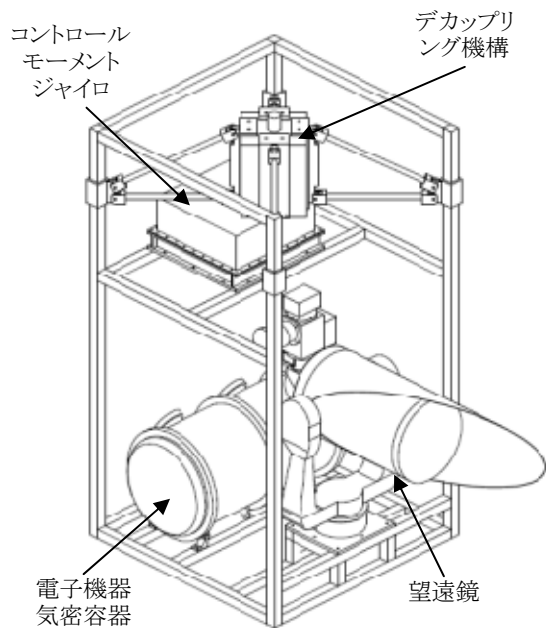


図3. ゴンドラの外観図。

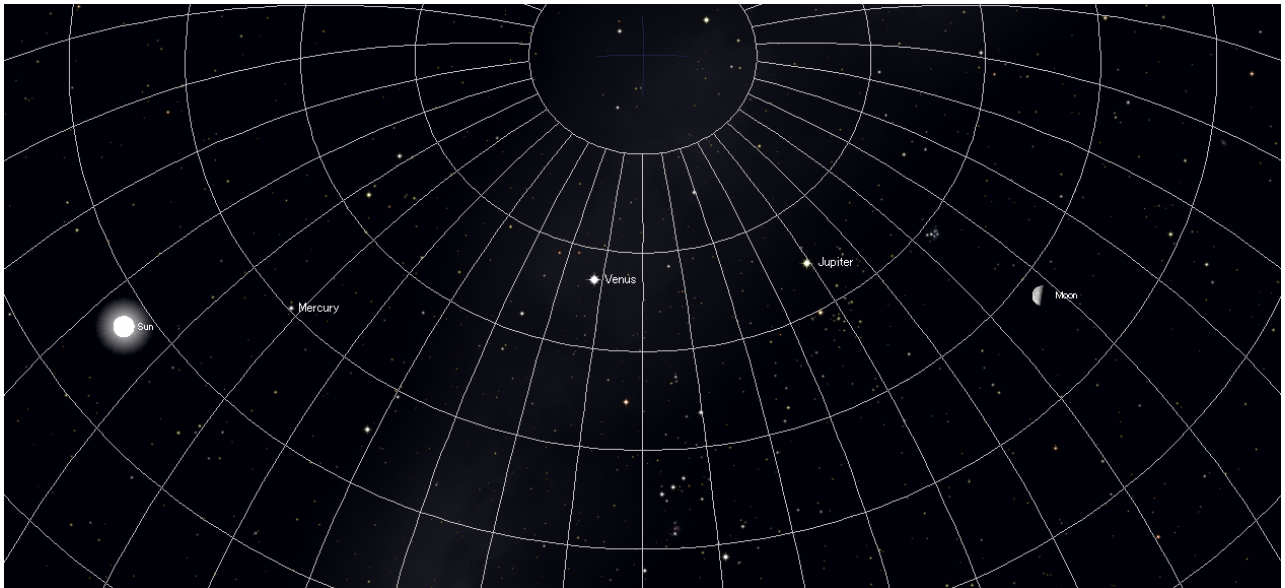


図4. 2012年8月10日08:00:00JSTにおける太陽、惑星、月の位置関係。

ング試験を完了させる。電源系は11月末までに改修し、12月には電源単体及びシステム全体の熱真空試験を実施する予定である。

2011年度予定されていた気球実験が中止になったことで、次の観測好機は2012年8月となった。2012年5-6月は金星が内合に近く、木星は外合に近いので観測に適さない。図4は2012年8月10日08:00:00JSTにおける太陽、惑星、月の位置関係を表す。金星は西方最大離角に近く、観測の好機である。また、木星も比較的近くに見えており、木星も観測対象となる。金星を視野に捉えて、システムの機能・性能を確認した後、時間の余裕があれば木星を捉えることを目標とする。

2013年度以降、北極での本格的実験を計画している。2011年度の予算で、新しいカセグレン式望遠鏡を製作する。口径は400mm、合成焦点距離は16000mmとなる予定である。