

## 2004年南極周回気球実験

飯 嶋 一 征<sup>1</sup>・斎 藤 芳 隆<sup>1</sup>・井 筒 直 樹<sup>1</sup>・川 崎 朋 実<sup>1</sup>・松 坂 幸 彦<sup>1</sup>  
並 木 道 義<sup>1</sup>・太 田 茂 雄<sup>1</sup>・鳥 海 道 彦<sup>1</sup>・山 上 隆 正<sup>1</sup>・海老原 裕 輔<sup>2</sup>  
江 尻 全 機<sup>2</sup>・門 倉 昭<sup>2</sup>・佐 藤 夏 雄<sup>2</sup>・山 岸 久 雄<sup>2</sup>・片 寄 祐 作<sup>3</sup>  
富 田 祐 基<sup>3</sup>・藤 井 森<sup>4</sup>・村 上 浩 之<sup>5</sup>・内 山 貞 幸<sup>6</sup>・紺 野 祐 司<sup>6</sup>

## Polar Patrol Balloon in 2004

By

Issei IJIMA<sup>1</sup>, Yoshitaka SAITO<sup>1</sup>, Naoki IZUTSU<sup>1</sup>, Tomomi KAWASAKI<sup>1</sup>,  
Yukihiko MATSUZAKA<sup>1</sup>, Michiyoshi NAMIKI<sup>1</sup>, Shigeo OHTA<sup>1</sup>, Michihiko TORIUMI<sup>1</sup>,  
Takamasa YAMAGAMI<sup>1</sup>, Yusuke EBIHARA<sup>2</sup>, Masaki EJIRI<sup>2</sup>, Akira KADOKURA<sup>2</sup>,  
Natsuo SATO<sup>2</sup>, Hisao YAMAGISHI<sup>2</sup>, Yusaku KATAYOSE<sup>3</sup>, Yuki TOMIDA<sup>3</sup>,  
Mori FUJII<sup>4</sup>, Hiroyuki MURAKAMI<sup>5</sup>, Sadayuki UCHIYAMA<sup>6</sup>, Yuji KONNO<sup>6</sup>

**Abstract** : Four Polar Patrol Balloon (PPB) experiments were performed in Syowa station as a project in the 44th Japan Antarctic Research Expedition (JARE44) from 2002 to 2003. Unfortunately, two of the four balloons including the one for the cosmic electron observation were not successful due to the incorrect action of the command system caused by static electricity in the dry Antarctic climate. We retried another experiment for cosmic electron observation in 2004, as a project in the JARE45. To support these experiments, we developed a new housekeeping system including communication device using the Iridium satellite network, a power management system using solar batteries and an auto-level controller to maintain the balloon altitude. We launched a balloon for the cosmic electron observation on January 4, 2004 in Syowa station. It flew 13 days around the Antarctica and all the housekeeping system worked well during the flights as we expected. Fruitful scientific results are expected.

---

<sup>1</sup>宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部

<sup>2</sup>国立極地研究所

<sup>3</sup>横浜国立大学

<sup>4</sup>芝浦工業大学

<sup>5</sup>立教大学

<sup>6</sup>クリアパルス株式会社

## 概 要

1984年より国立極地研究所，宇宙科学研究本部，関係大学機関らが中心となり，高緯度地域における気球による長時間科学観測の可能性について南極周回気球PPB（Polar Patrol Balloon）実験が検討されてきた．第44次南極地域観測隊夏季オペレーションにおいてはPPB4機が放球された．宇宙物理観測1機（宇宙電子観測，PPB7号機），地球物理観測3機（オーロラとそれに伴う変動観測，PPB8，9，10号機）である．その内のPPB7号機とPPB9号機はコマンドデコーダーの誤作動により切り離しカッターが働き，気球と観測器が切り離されるという事故が発生した．PPB7号機は放球直前に，PPB8号機は高度15kmに達した時点でカッターが働いた．地球物理観測PPB8号機，PPB10号機は昭和基地より無事に放球され，2～3週間にわたる観測を行うことができた．無傷のまま地上に残ったPPB7号機は日本に持ち帰り，再び同じような事故が発生しないように誤作動の原因調査・改良を行い，第45次夏季南極プロジェクトで再び放球することになった．

本稿では第45次PPB実験の改良点，飛翔結果，HKデータ解析結果を述べる．また，放球設備，Heガス注入量，放球作業は第44次PPB実験と同様であり，詳細は既に2004年度大気球研究報告に紹介されているのでここでは割愛した．

**重要語：**長時間科学観測，南極周回気球，PPB用HKシステム



図1 昭和基地におけるPPB7号機放球作業



## 1. はじめに

44次南極実験におけるPPB4機のうち2機（PPB7, PPB9）は切り離しカッターの誤作動により、観測に至らなかった。

2002年12月30日、宇宙線観測を目的とするPPB7号機が11:24(L.T.)に放球された。放球直後、メインカッターが誤作動を起こし、観測機は地上に取り残され、気球のみが上昇した。

また、PPB9号機は2003年1月6日、10:35(L.T.)に放球され、順調に上昇したが、高度16.5kmで観測器は下降を始めた。気球隊員が「しらせ」のヘリコプターで観測器着地点まで飛び、現状を確認したところ、気球と観測ゴンドラを結ぶメインロープがパラシュートの上で切断されていた。切り離しカッターの誤作動が原因と判明した。その後、地上に残された観測器を使って調査が行われたが、現地では誤作動原因の特定には至らなかった。

44次気球隊員が日本に帰国後、PPB実験中におきたカッター誤作動の原因究明のため、コマンドに強力な電波をあてるなどの綿密な調査を行った結果、原因はカッターコマンドデコーダーの静電気ノイズによるものと判明した。静電気シュミレータを用いた試験では、コマンドデコーダー内のリレーを作動するためのモノステーブルマルチIC(型式：74HC4538)が、3 kVの放電ノイズで誤作動を起こし、5 kV以上では2～3chの複数の同時誤作動を生じた。45次PPB実験を安全、確実に成功させるために、回路、装置の静電対策を行い、不具合を起こしたモノステーブルICを用いない方式のデコーダーに変更した。45次での観測器切り離し方法は信頼性を高め、安全回路付ダブルトーンコマンド、イリジウム電話によるカッターコマンドが導入され、12日間の誤動作防止用の長時間タイマー、10時間経過後も気球が高度20km以下に滞在している時にカッターが動作するスクイープタイマーが搭載された。HKシステムの変更箇所とともに次章に改良点の詳細を示す。



図2 地球物理観測器用PPB8, PPB9, PPB10

## 2. 第45次PPB実験に向けてのHKシステム改良点

44次PPB実験で得たHKデータ解析の結果に基づいて、以下の点を改良した。

### 2.1. 太陽電池による電力供給システム

観測が2週間以上におよぶ長時間飛行をするPPB実験では、従来のリチウム一次電池のみでなく太陽電池とニッケル金属水素電池を併用した電源供給システムが搭載されている。図3に電力供給概念図を示す。図中の太線は気球の基本制御用のリチウム一次電池による供給、太点線はPIシステム用の太陽電池による供給を示す。

44次PPB実験では電源供給システムは良好に動作したが、日没で二次電池を使用し電圧が低下した時に、気球が降下し二次電池の温度が低下し、日の出後に十分な充電ができなかった。このため、45次では二次充電電池の電圧が13.0V以下になった場合に、トリクル充電から標準充電モードに切り替わるようにした。また、自己放電を補完する目的のトリクル充電電流を従来の20mAから160mAに増やすことで、充電システムをより確実なものにした。

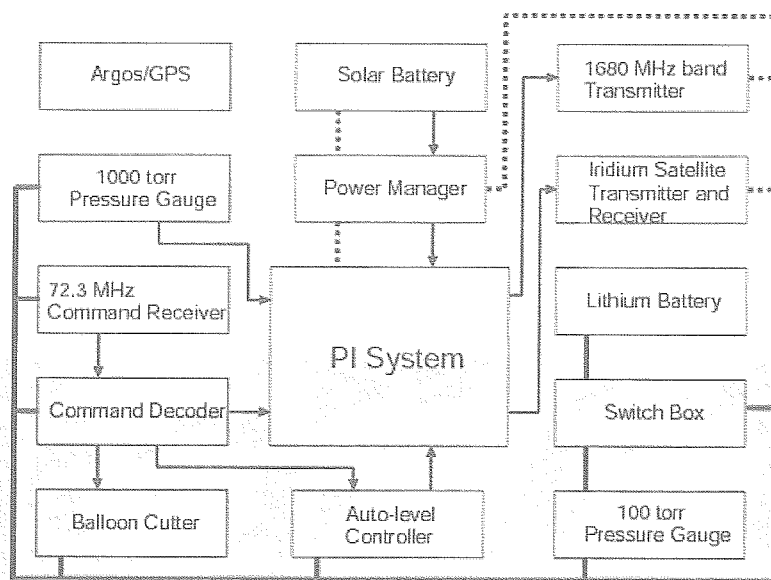


図3 HKシステム概要

### 2.2. イリジウム衛星を用いたデータ伝送システム、テレメトリー、ARGOS-GPS

PPB実験の場合、気球が電波の届かない範囲を飛行するためテレメータによる送信データを昭和基地で直接受信することができない。このためPPB実験ではPIデータ取得のため、通信衛星であるイリジウム衛星を用いたデータ伝送システムが使われている。データ伝送の途中で回線切断が生じた場合は、3分ほど待って再度回線接続に行き、途中で途切れたデータの頭から伝送をやり直す方式が取られた。データ通信記録は、日本の極地研究所のPC上に記録した。44次でのイリジウム通信システムはデータ解析の結果、2.35kbpsの転送速度をもっており、公称のイリジウム通信速度2.4kbpsとほぼ一致する値であった。45次PPB実験においてもひきつづき使用することにした。また、テレメータによる観測データ転送も行った。テレメータは日本での気球実験に用いられている1680MHz帯の送信機を使用した。観測データは64kbpsのbi-Phase信号をFM変調し常時送信した。但し、送信電力は1Wに増強した。

また、観測ゴンドラに搭載されているARGOS-GPSは、ほかのテレメトリーシステムとは完全に独立したもので、気球の飛行状態を知るためのものである。GPS受信機で取得した位置、高度情報はARGOS送信機を用いて送信し、NOAA衛星を介して転送され、数時間後にはインターネットで入手することができるシステムである。

このシステムでは30分ごとに位置および高度データが更新され、過去8回分のデータを送信する。電源は一ヶ月



以上もつようになっていて、第45次PPB実験では1600MHz帯送信機、ARGOS-GPS送信機に関するシステム変更は行っていない。

### 2.3. オートレベルコントローラー

南極の夏の時期でも気球の飛翔が低緯度に流れると日没があり気球高度が低下するため、バラストを投下し気球高度を一定に保つ必要がある。気球が昭和基地からのコマンドが届かない範囲を飛翔するため、自動的にバラストを投下する装置がオートレベルコントローラーである。44次では、バラスト投下高度を気球の水平浮遊高度から700m下に設定したため、太陽高度が下がりはじめた時点から気球が徐々に降下するのに対応してすぐにバラストを投下してしまった。その結果、バラストの消費量が多くなり、10日前後で全てのバラストを落しきってしまった。その問題点を改善するために、バラスト投下高度を最高高度から2kmさがった (=最低気圧 $\times$ 1.34となった) 時点でバラスト投下を行うよう変更した。

### 2.4. HK用ゴンドラ

電源供給システムをゴンドラ下部の工学ゴンドラに移したために、ゴンドラの高さを40cmから45cmにした(図4)。44次では現地で観測器用ゴンドラと工学ゴンドラとを積み上げたが、45次では現地での作業簡素化のため、一体化して南極へ輸送した。またバラストも日本で搭載し、湿気を防ぐためにバラスト弁をシリカゲルで塞いで持っていた。太陽電池パネルは現地で取り付けた(図5)。



図4 PPB7号機工学側側面



図5 PPB7号機太陽電池パネル装着後

### 2.5. 切り離し装置の改良

カッターコマンド誤動作の原因究明の結果、回路が静電気の放電パルスにより誤作動したことがわかった。このため、切り離し装置の改良を行った。図6の切り離し装置系統図、図7に気球荷姿図を示す。ダブルトーンコマンドのカッターコマンドを安全に動作させるため、カッター安全回路を導入した。切り離しコマンドを受信後、5秒でタイマーがスタートし、その後、40秒後から10秒以内に同じ切り離しコマンドが受信された場合のみ動作する様にした。また、コマンドの誤動作でカッター作動準備が始動しても、禁止コマンド項目を送信することでカッターコマンドをキャンセルできるようにした。イリジウム衛星を用いたカッターコマンドも導入した。これは、カッター1コマンドを受信した後、30分以内にカッター2コマンドを受信した場合のみ動作するものである。カッターは、カッター2コマンドが到来後、一分間経過した後に10秒間カッターに電圧がかかり、作動するようになっている。また、カッター1とカッター2の受信順序が異なる場合は動作しないし、誤作動でカッター1コマンドが受信状態になっても、30分以内にカッターリセットコマンドを送信することによってこれをリセットすることができる。これらのダブルトーンコマンド、イリジウムカッターコマンドは、長時間タイマーが内蔵されており、12日間経過しないと動作しないようにした。また、実験終了を確実なものにするために、スクイブタイマーカッターを導入した。これは電源投入から10時間経過した後高度が20kmよりも低い場合に切り離しカッターが動作す

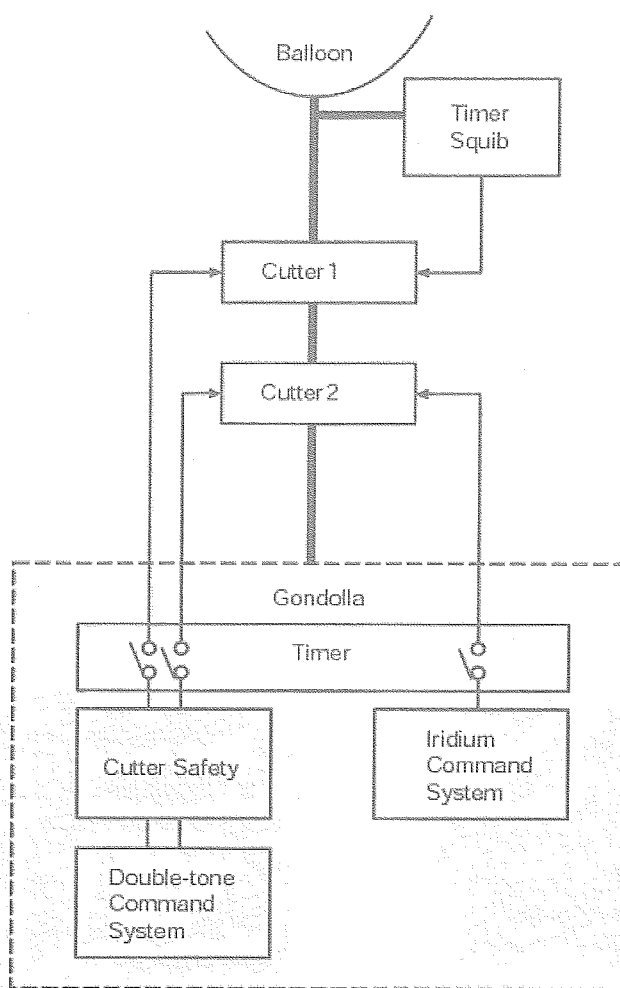


図6 気球切り離しカッター装置系統図

表1 コマンド項目

ダブルトーンコマンド	
ch	項目
1ch	カッター
2ch	バラスト投下, カッターコマンドリセット
3ch	PI用High EnergyとLow Energy切換え
4ch	全データダウンロード
5ch	未使用
6ch	カッター
イリジウムコマンド	
名称	項目
カッター1	カッター動作準備
カッター2	カッター動作実行
カッターリセット	カッター動作準備状態とりやめ

るものである。また、コマンドは44次で使用した簡易PCMコマンドから静電気による誤作動を起こさない6チャンネルのダブルトーンコマンドを用いた。コマンド項目は、1. カッター、2. バラスト、3. PI用のHigh&Low Energy切換え、4. 全データダウンロード、5. 未使用、6. カッターである。表1にコマンド項目を示す。

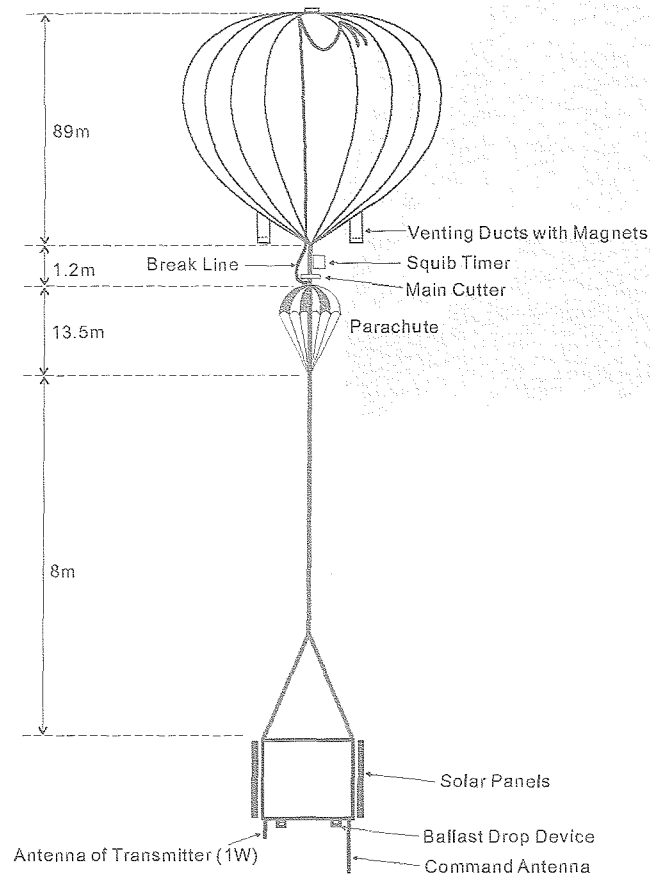


図7 PPB7号機飛翔荷姿



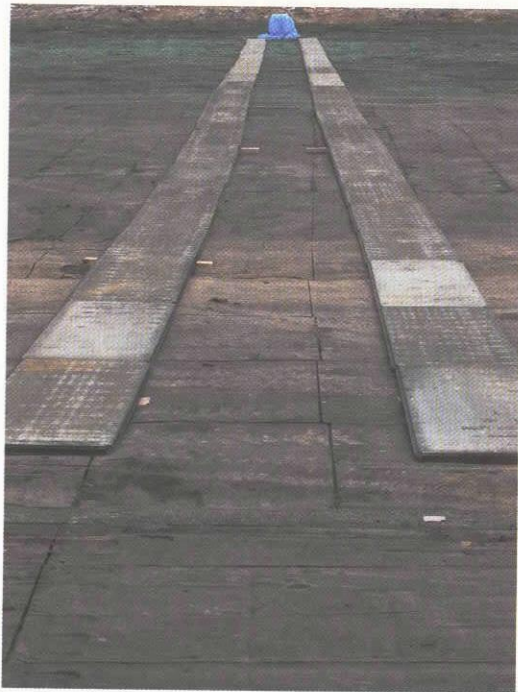


図8 放球フィールド

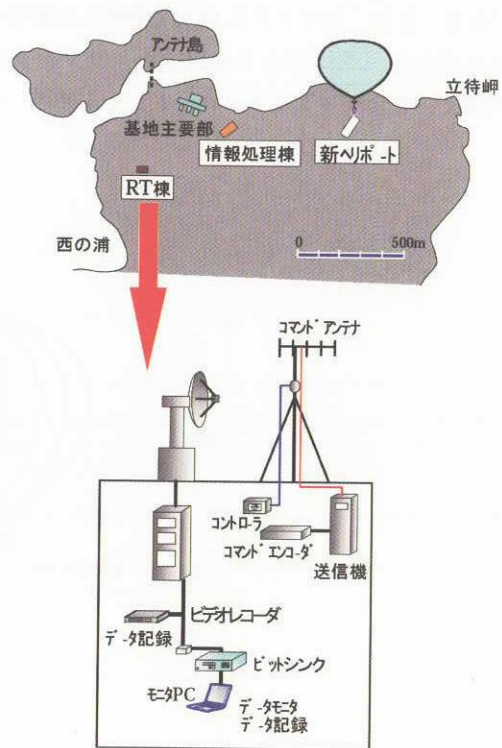


図9 昭和基地での受信設備

### 3. 第45次放球オペレーション

第45次観測隊員は2003年11月28日に日本を発ち、同年12月17日に「しらせ」ヘリにより昭和基地入りした。翌日から実験機材搬入が開始された。観測器の組み立ておよび室内チェックはCヘリポート脇の第2廃棄物保管庫で行われた。放球場となるCヘリポートには、キャタピラローラー車が地面を荒らさないように、アルミ板を敷き(図8)、放球装置、Heガスボンベカードル計54基を設置し(図10, 11)。同時にRT棟(テレメータ棟)の準備、観測器噛合せも順調に進み放球体制は整ったものの、地上風速の強い日が続き、当初の放球予定日より6日遅れて

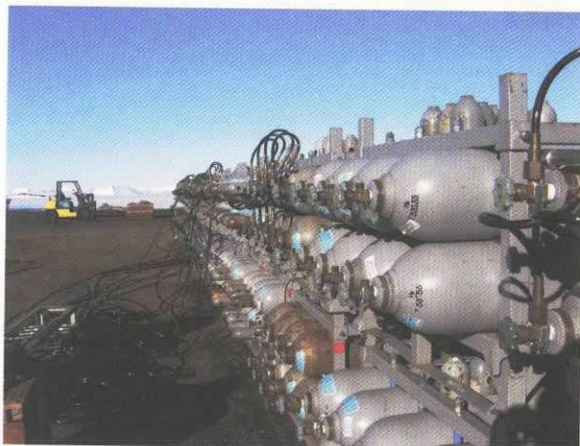


図10 Heガスボンベカードル



図11 PPB7放球作業



2004年1月4日にPPB7号機は放球された。昭和基地での実施作業日程を他の気球実験とともに表2に示す。

44次では1600MHz帯テレメトリーを昭和基地（日本）、ロデラ基地（イギリス）で受信したが、今回は昭和基地のみの受信体制をとった。昭和基地での受信設備概念図を図9に示す。

表2 気球実験作業日程

2003年12月	
17日（水）	「しらせ」よりヘリ第2便で昭和基地に入る
18日（木）	気球実験用緊急物資搬入開始
19日（金）	物資開梱，Cヘリポート養生板敷設，RT棟アンテナ取り付け
20日（土）	物資搬入，PPB7号機（宇宙線観測器）に太陽電池パネルを取り付け
21日（日）	テスト気球用ゴンドラ嚙合せ，Heカードルの配管
22日（月）	テスト気球用ゴンドラ再嚙合せ，残りのHeカードル32基搬入
23日（火）	8:00(L.T.)よりテスト気球放球作業開始，10:00(L.T.)テスト気球放球
24日（水）	PPB7号機日本との嚙合せ，回収気球用観測器RTとの嚙合せ
25日（木）	PPB7号機4枚目の太陽電池パネル取り付け，カラーカッター取り付け，回収気球用観測器嚙合せ
26日（金）	8:00(L.T.)より回収用気球放球作業開始，11:18(L.T.)回収用気球1号機放球
27日（土）	10:55(L.T.)第1回高高度気球放球，回収用観測器中身のみヘリで回収
28日（日）	PPB7号機RT棟と嚙合せ，回収物品の整理
29日（月）	地上風速4～5.5m/secのためPPB7号機放球延期
30日（火）	地上風速5～7m/secのためPPB7号機放球延期
31日（水）	地上風速5～6m/secのためPPB7号機放球延期
2004年01月	
01日（金）	「しらせ」で1日休養
02日（土）	地上風速7～10m/secのため放球延期
03日（日）	PPB7号機，8:00(L.T.)放球作業開始，嚙合せ中にバラスト弁の片側が動作せず放球中止，午後地上風速5m/sec以下に下がらず放球延期
04日（月）	地上風速午前中10m/sec程度から午後に向けて低くなる，14:00(L.T.) PPB7号機放球作業開始，18:57(L.T.)にPPB7号機放球
05日（火）	8:00(L.T.)より回収用気球2号機放球作業開始，10:42(L.T.)回収用気球2号機放球，15:35(L.T.)「しらせ」ヘリによる2号機観測器をスリングで回収
06日（水）	9:00(L.T.)第2回高高度気球放球作業開始，10:38(L.T.)第2回高高度気球放球
07日（木）	第3回高高度気球準備，Heカードル配管撤去
08日（金）	第2廃棄物保管庫，RT棟，ランチャー保管のための養生，撤収作業
09日（土）	9:00(L.T.)第3回高高度気球放球作業開始，10:23(L.T.)第3回高高度気球放球
10日（日）	実験機材撤収作業
<p>回収用気球はクライオジェニック法による成層圏大気の採集実験である。 高高度気球は南極上空の成層圏オゾンの観測を目的に行なわれた。</p>	

#### 4. 第45次PPB実験結果

高エネルギー宇宙線観測用のPPB7号機は日本にて環境試験、改良を行い、2004年1月4日18:57分(L.T.)に昭和基地より放球された。放球作業は第44次隊から7名、45次隊から11名の計18名の人々によって遂行された。気球概要を表3に放球タイムスケジュールを表4に示す。放球時は地上風速が4m/sec、上空70m～100m付近の風速が6m/secと強く、放球作業は難航したが無事に放球された。日本の極地研究所、昭和基地RT棟の受信データも正常であった。気球は毎分330mの速度で正常に上昇し、放球後約2時間で34.6kmの観測高度に達して水平浮遊状態に入った。オートバラストコントローラーは正常に働き、気球は高度35km程度で推移した。図12に飛翔航跡図を、図13に高度曲線を示す。44次で生じたカッター誤作動は発生せず、気球は順調に南極大陸を周回していたが、放球後13日目に気球が破壊し海上へ降下した。南極大陸を半周程度回ったところで実験は終了した。気球が完全周回できなかった理由は、放球時期が遅れたため気球飛行速度が、当初予定した時速40km～45kmより遅い時速30km～35kmであったこと、また、気球飛行経路が低緯度側に約5度ずれたために、地上日没の影響を受け、当初予定した1日当たりのバラスト投下量2%（全重量の）が3%～3.5%となり、16日間分搭載していたバラストを11日間で消費してしまったためであった。また、終了前日は、気球が地上日没によって高度を下げ、更に上空日没を受けることで、高度が9km降下し、日の出とともに再上昇したが、気球の激しい上下運動により、気球が満膨張になる直前に破壊を起こしたためであった。破壊の原因としては、図24に示すように地上風が強く放球作業中に気球がもまれ、気球皮膜の一部が伸びたために弱い箇所が発生したためと考えている。バラスト消費量は図15に示す通り、一日に3～4%消費したことになる。

太陽の方位角と仰角を図16に示す。これによるとPPB7号機は放球後3日目から地上日没を受け、12日目には上

表3 気球概要

	PPB7('02)	PPB7('04)
気球容積	100,000m <sup>3</sup>	100,000m <sup>3</sup>
気球全長	89.0m	89.0m
気球重量	270.0kg	263.9kg
観測器重量	244.0kg	246.4kg
バラスト	225.0kg	230.0kg
総重量	739.0kg	756.1kg
自由浮力	12%	12%
放球日(UTC)	2002/12/30	2004/01/04
放球時間(UTC)	08:20	15:57
地上温度	-1.8°C	1.2°C
地上気圧	991.8hPa	983.9hPa
地上風速	1.9m/s	4.0m/s
地上風向き	45度	30度
Heガスボンベ本数	160本	160本
初期ガス圧	133.5kg/cm <sup>2</sup>	135.4kg/cm <sup>2</sup>
最終ガス圧	20.1kg/cm <sup>2</sup>	18.3kg/cm <sup>2</sup>
初期ガス温度	0.7°C	5.6°C
最終ガス温度	-8.3°C	-11.5°C
ランチャー浮力	560.0kg	580.0kg
到達高度	—	34.6km

空日没の影響も受けたことが分かる。二次電池の電圧、充電電流の様子を図17に示す。この図より、放球後12日目に日没の影響を受け、二次電池が使用され、日の出と共に充電モードに入り、改良された論理にしたがって順調に再充電された様子が見てとれる。太陽電池からの電力供給は図18に示すように一定しており、PIに対して安定した電圧を供給していたことがわかる(図19)。図20に示すように太陽電池温度は昨年同様に最大100℃におさまっていた。また、観測装置の温度も、図21, 22, 23に示す通り、20℃から70℃を推移していた。

現在、南極周回気球実験で得られた観測データは関係大学、研究機関で解析を行っているところである。

表4. PPB7号機放球タイムスケジュール

実験日：2004年1月4日
放球場：南極昭和基地Cヘリポート
地上テレメータ受信：昭和基地RT棟
11:58 UT RT棟との囀合せ、PI&工学囀み合わせ終了、地上風が弱くなるまで待機
12:55 太陽電池パネル接続、日本との囀合せ、イリジウムカッター試験
13:01 外部電源外し、太陽電池のみで電源供給する
13:37 ガス注入のための作業開始
13:45 長時間タイマーオン
13:50 気球展開
14:04 ランチャー線取り付け、安全ベルト取付け、気球頭部増し締め、終了
14:24 カラー線取り出し終了
14:39 ガス注入開始
14:48 気球頭部立上げ
15:04 ガスガイド交換、ガス注入60%
15:07 ガス注入再開
15:23 ガス注入終了、ガスガイド切り離し
15:25 QLPCデータ保存開始、気球立上げ開始
15:30 VHSビデオ記録開始(3倍モード)
15:34 気球立上げ終了、ランチャー浮力600kg(横風あり)
15:41 ゴンドラ台車ごと移動
15:50 安全ベルト解除、風が弱まるのを待つ
15:57 カラーカット、カラー展開確認後直ちに放球 (放球時、太陽電池パネル4面のうち1面が地面に衝突)
16:00 高度1,066m
16:05 2,706m
16:35 11,965m
17:06 20,600m
17:36 29,528m
17:56 34,000m (放球後約2時間後、34.6kmで水平浮遊に突入)



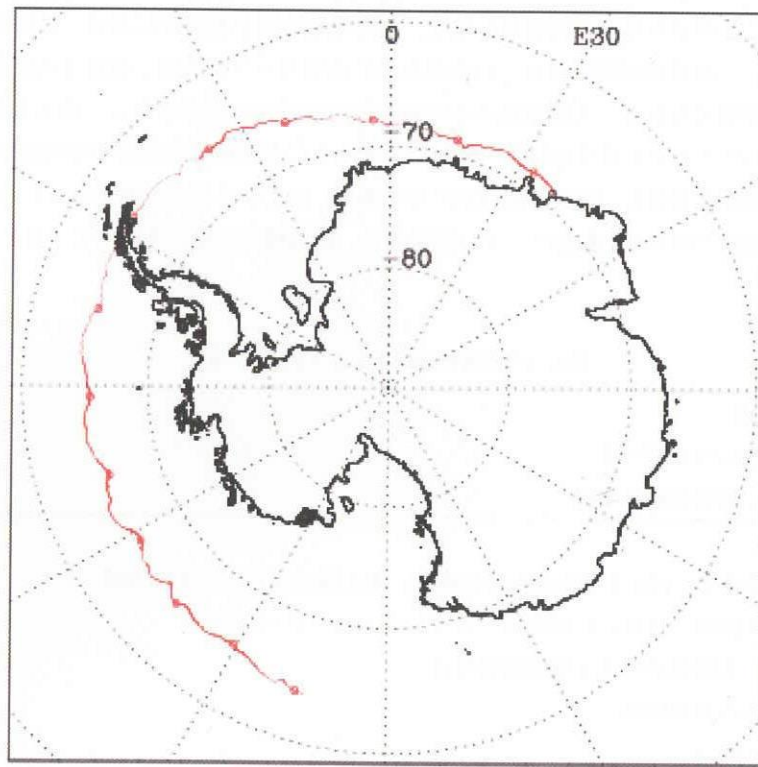


図12 PPB7号機 航跡図

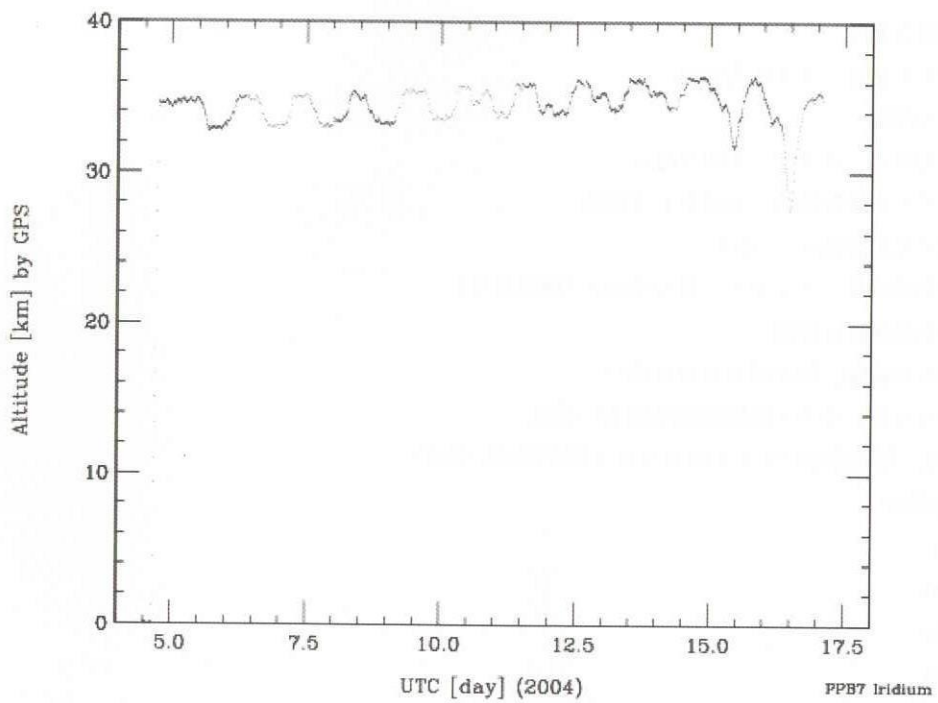


図13 PPB7号機 高度曲線

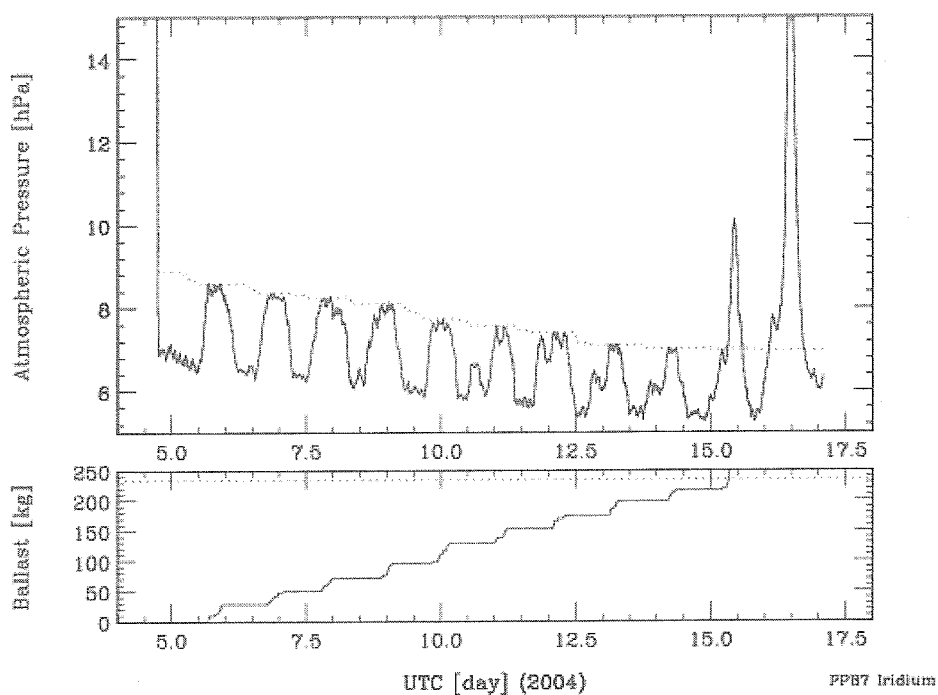


図14 PPB7号機 オートレベルによるバラスト投下

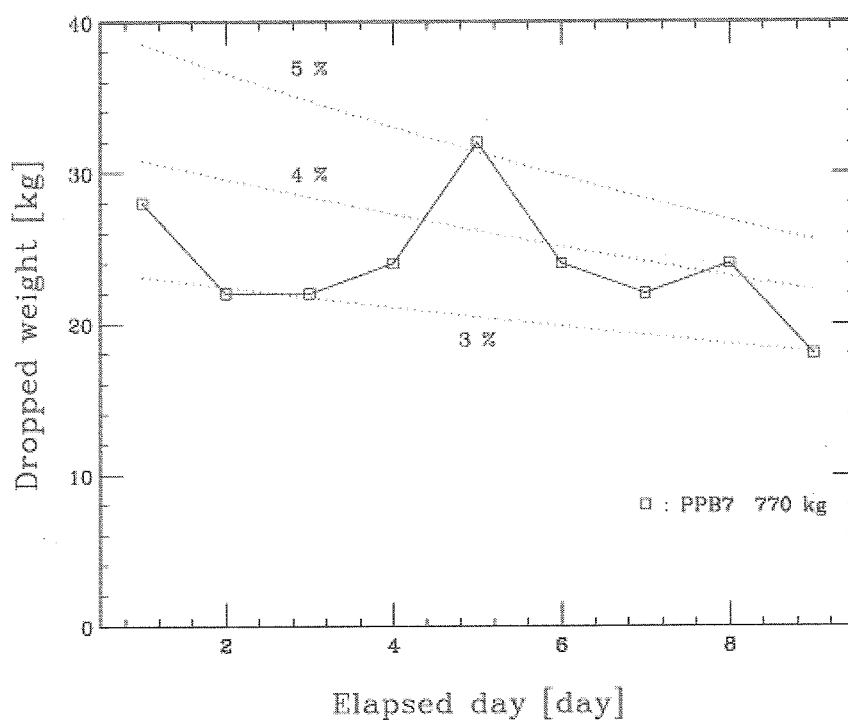


図15 PPB7号機 バラスト投下量

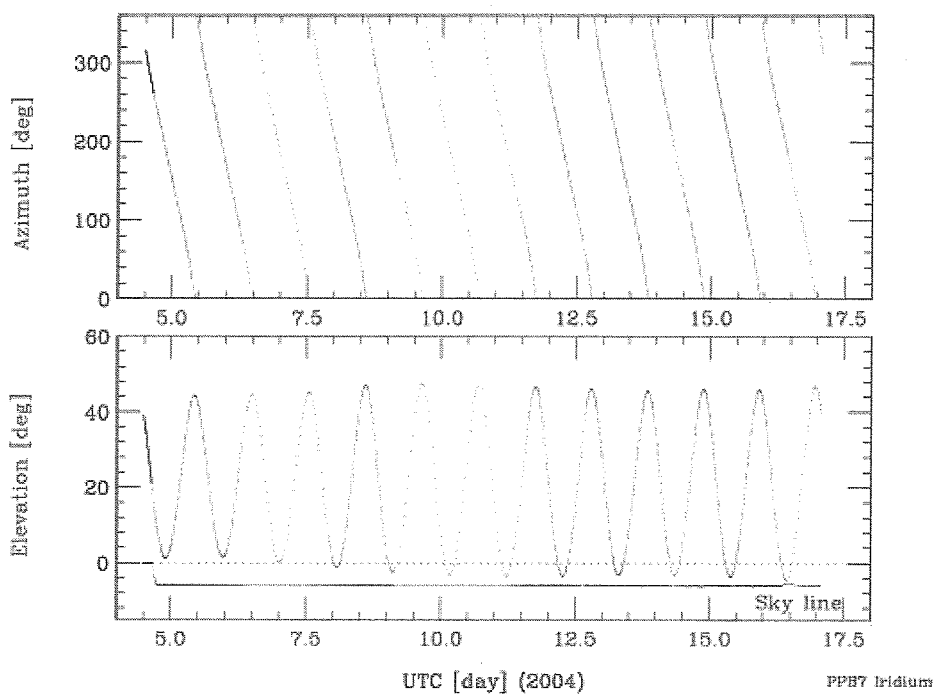


図16 太陽の方位角と仰角

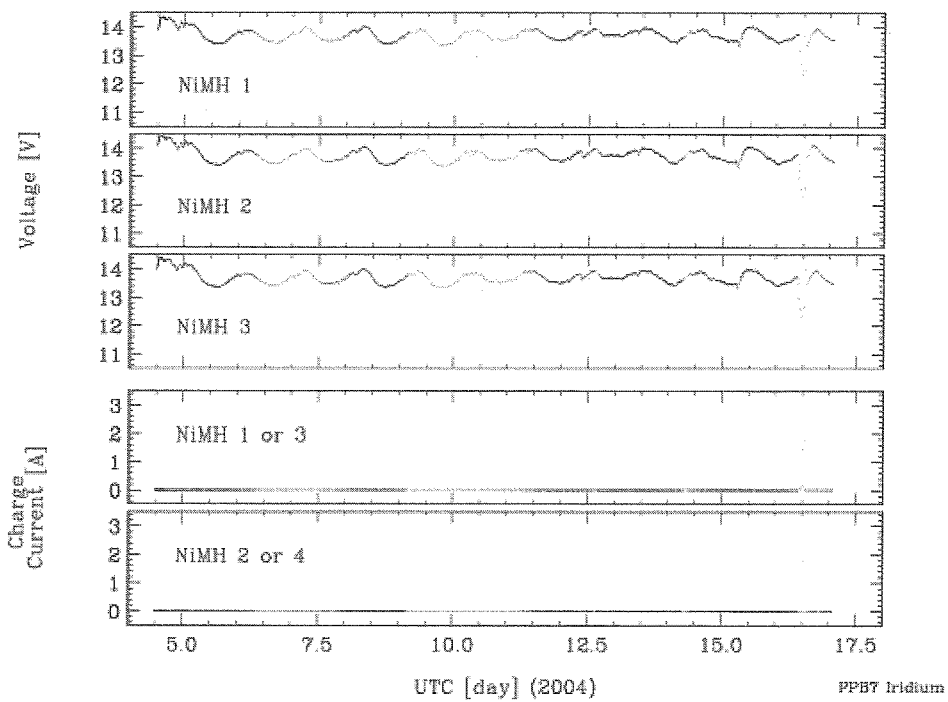


図17 二次電池の電圧と電流



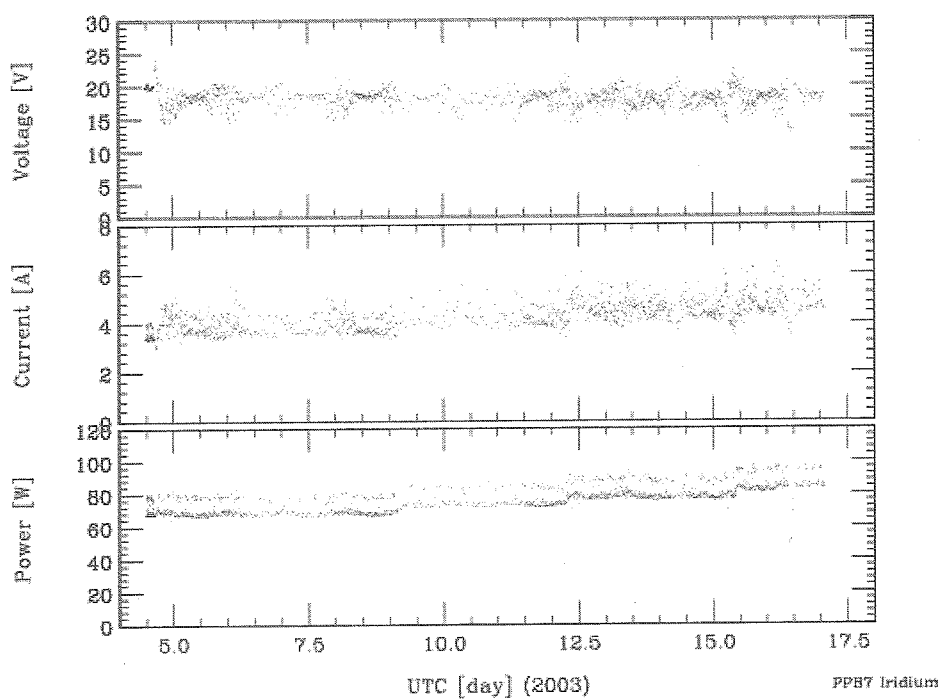


図18 太陽電池による電力供給

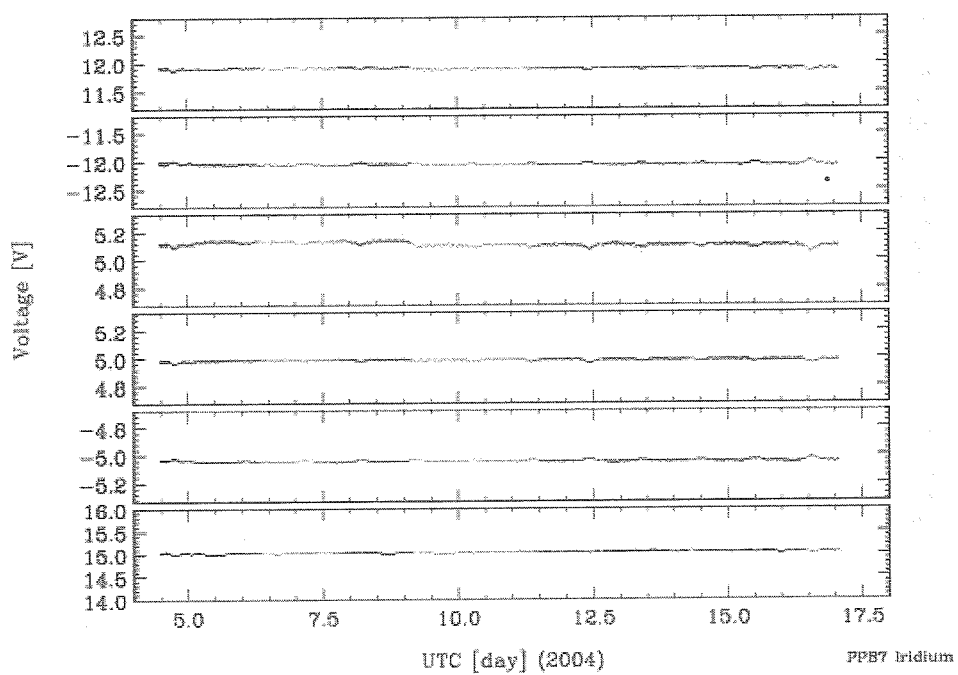


図19 PIへの電力供給

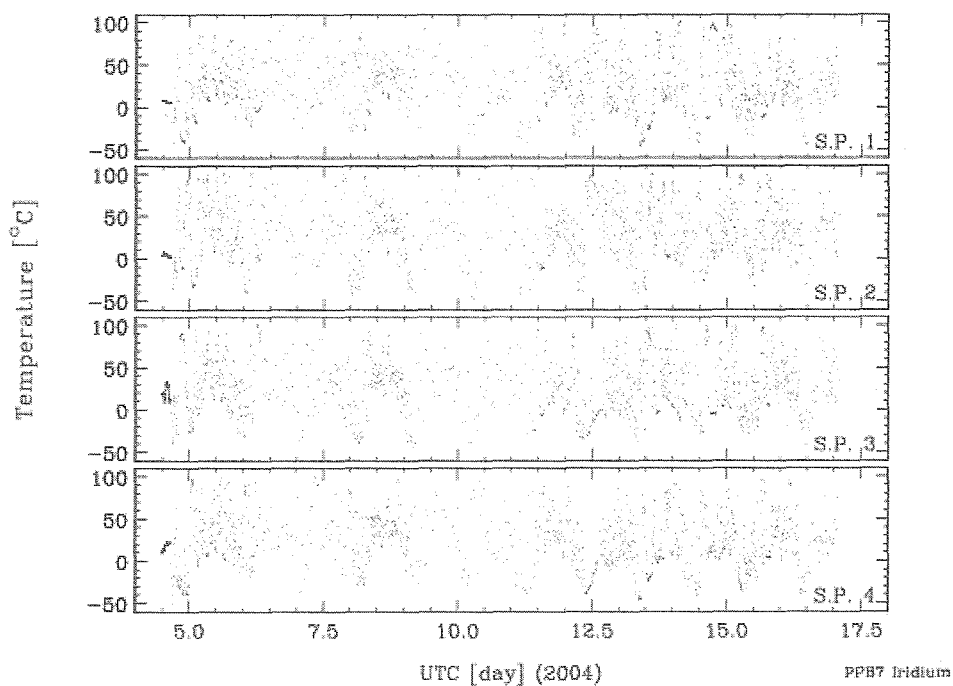


図20 太陽電池パネルの温度

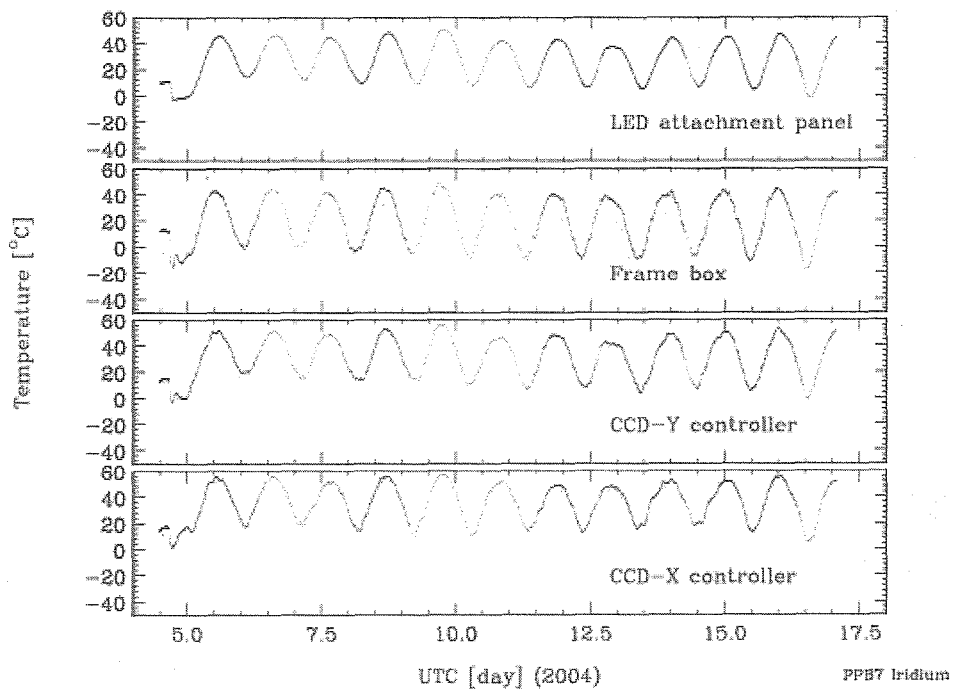


図21 各部温度

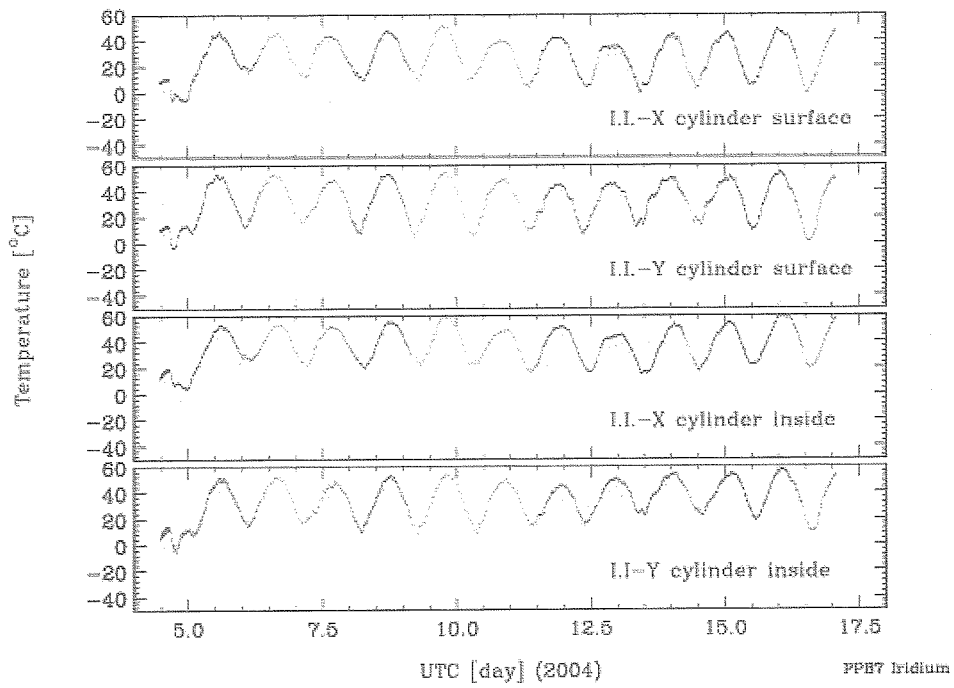


図22 各部温度

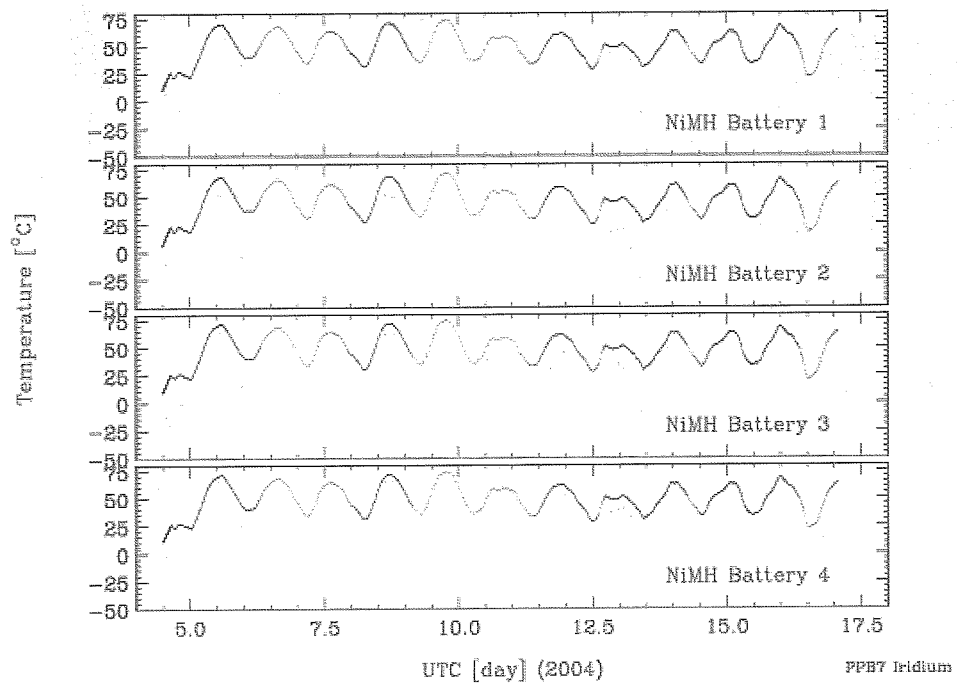


図23 二次電池の温度



## 5. おわりに

第44次PPB実験で不具合の原因となった南極特有の乾燥した大気でおこる静電気放電に対処するため、PPB7号機は国内で搭載機器、HKシステムの精密な環境試験、改良が行われた。第45次南極地域観測夏季オペレーションで、PPB7号機は無事に放球され、南極大陸を半周した。HKデータの解析の結果、改良したシステムは期待通りの動作をした。実験目的は高エネルギー宇宙電子を観測し、その加速および伝播の機構を解明することであり、観測データの解析結果が期待される。PPB実験では容積100,000m<sup>3</sup>という大型気球の放球にも成功し、第45次では計7機の気球の放球に成功した。今回のPPB実験成功により、ますます南極における長時間観測の道が開かれ、有益な科学観測が行われていくことが期待される。

## 謝 辞

この南極周回気球実験は国立極地研究所が宇宙科学研究本部との共同実験として実施されたもので、長年この計画から実施までに尽力された国立極地研究所、宇宙科学研究本部の関係各位に感謝の意を表します。また、昭和基地においての放球作業を担当してくださった第44次、第45次南極観測隊の方々に感謝いたします。さらに、観測器の製作、気球の製作、放球装置の製作、およびその他アクセサリーの製作に尽力くださった各関係会社の皆様に心より感謝の意を表します。

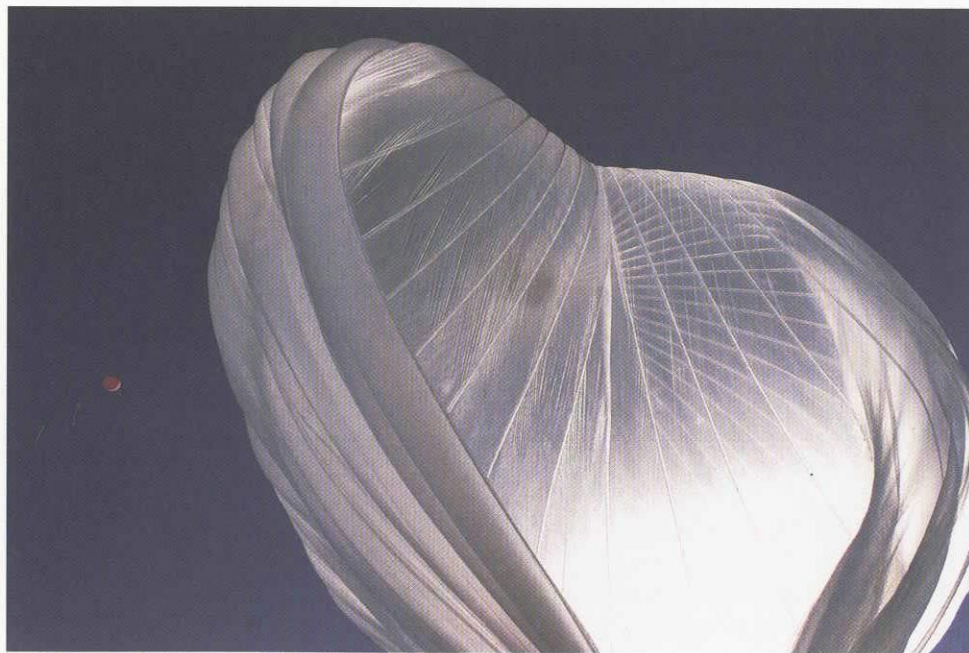


図24 PPB7号機放球作業

## References

- [1] 斎藤芳隆, 他, 大気球シンポジウム, 2003
- [2] 藤井 森, 他, 大気球シンポジウム, 2003
- [3] 富田祐基, 他, 大気球シンポジウム, 2003
- [4] 並木道義, 他, 宇宙航空研究開発機構研究開発報告 (大気球研究報告), 2004
- [5] 藤井 森, 芝浦工業大学大学院修士論文, 2003
- [6] 斎藤芳隆 2003年度南極周回気球データ解析速報, 2004
- [7] 並木道義, 「南極で気球を揚げる」, 2004
- [8] N. Izutsu, Japanese Polar Patrol Balloon Experiments from 2002 to 2004, 2004
- [9] M. Ejiri, et al. Polar patrol balloon experiment in Antarctica, *Adv. Space Res.* 13, 127-130, 1993.
- [10] M. Ejiri, et al. Polar patrol balloon project in Japan, *Adv. Space Res.* 14, 201-209, 1994.
- [11] T. Nakazawa, et al. Variations of stratospheric trace gases measured using a balloon-borne cryogenic sampler, *Adv. Space Res.* 30, 1349-1357, 2002.
- [12] J. Nishimura, M. Fukunishi, et al. Feasibility Studies of Polar Patrol Balloon, *Adv. Space Res.* 5, 87-90, 1985.
- [13] J. Nishimura, et al. The improvement of the static launch method in Japan, *Adv. Space Res.*, 13, 63-66, 1993.
- [14] M. Yamanaka, K. Yamazaki, H. Kanazawa, Studies of Middle Atmosphere Dynamics under the Polar Patrol balloon (PPB) Project: Present Status and Future Plans, *Proc NIPR Sym. Upper Atmos. Phys.* 1, 65-74, 1998.
- [15] S. Torii, et al. Observations of high-energy electrons with the bets instrument and the future prospects, *Adv. Space Res.* 30, 1273-1282, 2002.