

# 気球搭載用成層圏大気採取装置

本田 秀之・伊藤 富造

(1982年6月2日受理)

## Balloon-Borne Stratospheric Air Sampling System

By

Hideyuki HONDA and Tamizo ITOH

**Abstract:** A balloon-borne stratospheric air-sampling system for measurement of the trace gases  $\text{CFCl}_3$ ,  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , and for analysis of  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ , is described.

The system consists of six sampling cylinders, sample inlet line, motor-driven valves, and control electronics.

Particular consideration is paid to the problem of contamination, and various techniques are used.

The construction features and operating techniques are given. Preliminary results of the first sampling experiment are also presented.

### 1. ま え が き

筆者らは以前より大気球に小型の質量分析器を搭載し、成層圏大気の微量成分の *in situ* 分析を続けてきたが [1] [2], 昭和 55 年度からは MAP (中層大気国際協同観測計画, 1982~1985) に向け、ハロカーボン類, 二酸化炭素, 炭素の同位体比等の分析を目的とした, グラブサンプリング法による成層圏大気の採取及び実験室での分析方法 [3] [4] [5] の開発にとりかかった。

昭和 55 年度には装置の試作及び三陸大気球実験場での飛揚を行なったが, 残念ながら大気導入口の一部およびゴンドラ捲下機の不具合のため大気採取実験としては不満足な結果しか得られなかったが, 回収には成功しその後の実験のための指針となる貴重な経験を得ることができた [6] [7] [8]。

昭和 56 年度はそれらの不具合の改良, その他にも種々改良加え装置を再設計し, 製作した。装置は容積 30 l の試料採取容器 6 本, バルブ及びその駆動機構, 制御回路, 試料導入系等で構成され, 装置全体はアルミニウム製容器内に密封されている。1981 年 9 月 2 日三陸大気球実験場より飛揚し, 高度 5 点 (27 km, 26 km, 22 km, 21 km, 18 km) での試料

採取に成功し、その日のうちに無事回収された。実験室での分析も順調に行なわれ、一応の結果を得た [9] [10].

ここでは試料採取装置の詳細と資料の汚染対策について述べる。

## 2. 試料採取装置の開発経過

昭和54年度後半からシステム的设计にとりかかり、図2-1のような構成を考えた。超高真空中に排気した容積20lのバルブ付試料採取容器は4本である。また導入系にも  $V_i$ 、 $V_o$  2ヶのバルブが付いており、これらのバルブはモーターで駆動される。導入口はガラス封じし、配管は高真空中に排気されており、地上あるいは気球上昇中に導入系配管内が汚染されることを防いでいる。制御回路系によりバルブの開閉が制御される。ゴンドラは二重構造になっており、外枠は120 cmW×110 cmD×135 cmHで、85 cmW×75 cmD×65 cmHの内枠をスプリングにより吊下げるようにした。内枠は気密ではあるが耐圧には作っていないため、上昇、下降時にはVentバルブを開け内外圧を等しくしている。なおこのゴンドラの総重量は64 kgであった。

1981年5月31日、B<sub>s</sub>-101による実験では、試料採取は次のような手順で行なった。水平浮遊状態にはいった後、約1時間ゴンドラのガス出しを行なった。その後Ventを閉じ、導入口のガラス封じを割り  $V_i$ 、 $V_o$  を開け、FANを回し導入系配管内の気体をその高度の外気で置換させた。しばらく後  $V_o$  を閉じ、容器のバルブを開け外気の採取を行なった。この操作を2回行ない、高度2点でそれぞれ2本の容器に試料の採取を行なった。なお採取は気球、パラシュート類からの放出ガスによる汚染防止のため、気球を緩降下させながら行なった。しかし、この実験は残念ながら成功とは言えず、いくつかの問題点があった[8]。一つは採取された気体の圧力が当初予定したもの（採取を行なった高度の気圧）に比べ一

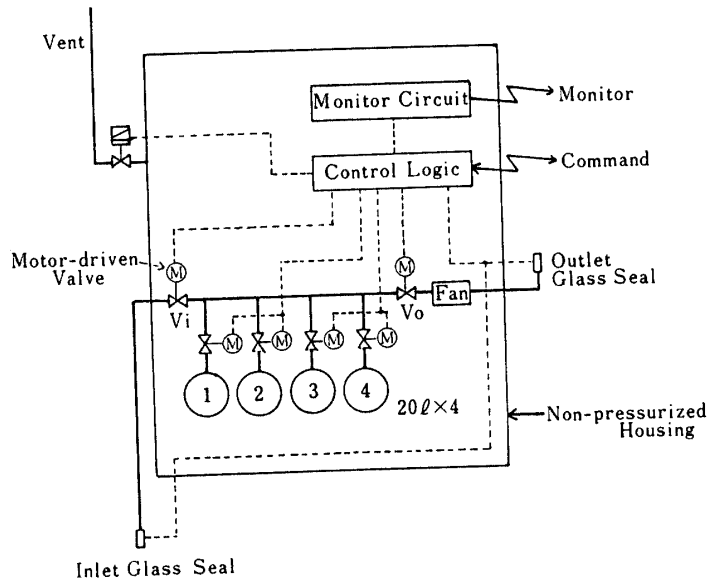


図 2-1 昭和55年度のシステムブロック図

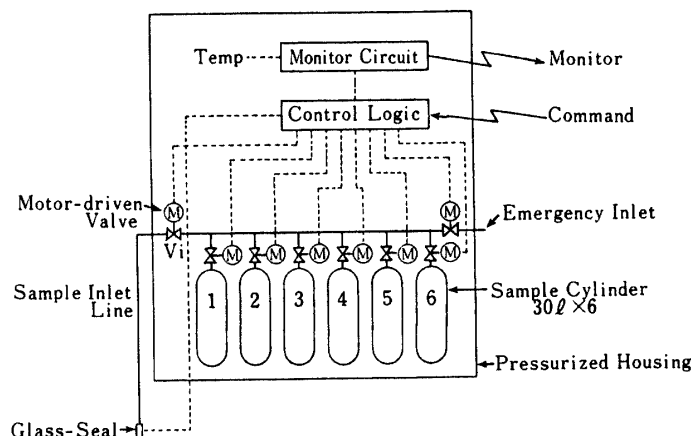


図 2-2 昭和 56 年度のシステムブロック図

桁近くも低かった点である。その原因は導入口のガラスが完全に割れなかったためと考えられた。ガラス割り機構を詳細に点検したところ、取付け具合によっては十分に動作せず、ガラスが完全に割れない可能性があることがわかった。もう一つは捲下げ機がほとんど動作しなかったため、気球から十分な距離をとることができず、採取した気体中から通常考えられているよりはるかに多量のヘリウムガスが検出されたことであった。そのほか、ゴンドラは周囲を薄いアルミ板で完全に覆い、装置からの放出ガスにより試料が汚染されないよう考慮し、かつ海上回収に対処したつもりであったが、海面に衝突した衝撃で一部破損し、内部に水がはいってしまった（幸い資料採取容器は破損せず海水による試料の汚染は避けることができた）。また、試料の分析結果をみると、 $\text{CO}_2$  が異常に多く検出され、その原因が導入系に入れた FAN のオイル等による汚染と考えられた。これは導入口のガラスが十分に割れず、配管内の換気が十分に行なわれなかったためであった。

昭和 56 年度は、昭和 55 年度の実験に基づき問題点を検討し、種々の改良を加えて新しい装置を設計、製作した。図 2-2 にブロック図を示す。主な変更点は次のとおりである。

- ①容器を 6 本にしたこと—採取点の数を増やし、より多くの高度での試料採取が可能になった。
- ②容器の内 1 本を配管部換気用のポンプに使うこと—試料が触れる部位には可能な限り汚染源になるようなものを置かないようにし、かつ迅速な換気が可能となった。
- ③予備の取入れ口を設けたこと—この実験では万一導入口が開かねば実験そのものが失敗に終るため、ガラス封じをしていない予備の導入口を設けた。本来の導入口のガラスが割れなかったことが確認されれば、予備の入口のバルブを開け、多少の汚染は覚悟の上で大気の採取を行なうことが出来るようにし、システムの信頼性の向上を図った。
- ④ゴンドラ自体を耐圧、気密構造のアルミ製容器にしたこと—装置（回路系の保温に用いている発泡スチロールなど）からの放出ガスによる資料の汚染を防ぐと共に、着水時の衝撃を緩和し、装置の水没も防ぐことができる。
- ⑤試料採取容器には化学的に内面処理を施したこと—後に詳しく述べるが、超高真空中に排気した容器の内壁は活性であるため、極微量のハロカーボン類は壁面に吸着され実際の存在量より少なく分析されてしまう。

その他の変更点をまとめ、表 2-1 に示す。なお観測機ゴンドラの総重量は 148 kg であった。

### 3. 各部の詳細

#### 3-1 試料採取容器

試料採取容器は直径 25 cm、長さ 74 cm のステンレス製で、容積は約 30 l である。CO<sub>2</sub> 濃度及び炭素の同位体比の測定には約 1 ISTP の大気が必要であるため、この程度の容積が必要となる。容器の口にはミニコンフラットフランジを溶接し、バルブとの接続、交換を容易にすると共に、次に述べる電解研磨時に電極を差し込める口径を確保した(図 3-1)。また製作途中(図 3-1 の①溶接前)で一度内面をバフ研磨後電解研磨を施した。なお、製作に当っては溶接は可能な限り容器の内側から行ない、脱脂あるいは洗浄にはハロカーボン類の分析に有害な有機溶剤は一切使わなかった。

製作終了後、リークテストを十分に行ない、真空もれのない事を確認しもう一度電解研磨にかけた。容器は 7 本作り、内 1 本は内面処理等の処理実験及び効果の確認試験に使い、残り 6 本をフライト用に使った。また 6 本のうち 3 本には 5-1) で詳述するように、化学的内面処理を施した。

バルブはニュープロ (NUPRO) 製ベローズシールバルブ、SS-6 BW-TSW を使い、両端にミニコンフラットフランジを溶接して使った。

容器は内部をアセトンで洗浄後、まず 15 時間程度ターボ分子ポンプで排気しその後 24

表 2-1 昭和55年度～56年度変更点一覧表

	1980年 [B <sub>s</sub> -101]	1981年 [B <sub>15</sub> -51]
サンプル容器数	SUS, 20 ℓ 4 ヶ	SUS, 30 ℓ 6 ヶ (内 1 ヶポンプ)
内面処理	なし	電解研磨 [6 ヶ/6 ヶ] シラン処理 [3 ヶ/6 ヶ]
バルブ	SS-4 BW(TSW), 3/8"	SS-6 BW-TSW, 1/2"
導入口長さ	真空引き後ガラス封じ ~ 1 m, 3/8"	真空引き後ガラス封じ, 予備あり ~ 4 m, 1/2"
導入配管の換気	ファン	サンプル容器 1 ヶをポンプに使う
ゴンドラ	サンプル時のみ気密化 簡易防水	気密 完全防水
回路系	個別 IC の組合せ	マイクロコンピュータ化
テレメータ	2 ch (モニタ)	3 ch (モニタ)
コマンド	3 ch [ 選択(16項目), 実行 ] [ ガラス割+落下 ]	4 ch [ 選択(16項目), 実行 ] [ (ガラス割+落下)×2 ]

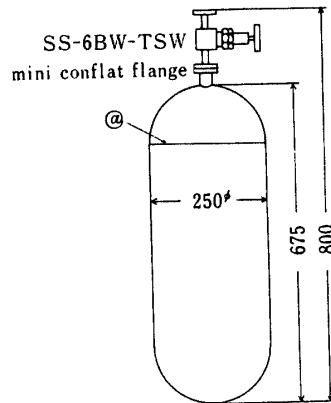


図 3-1 試料採取容器

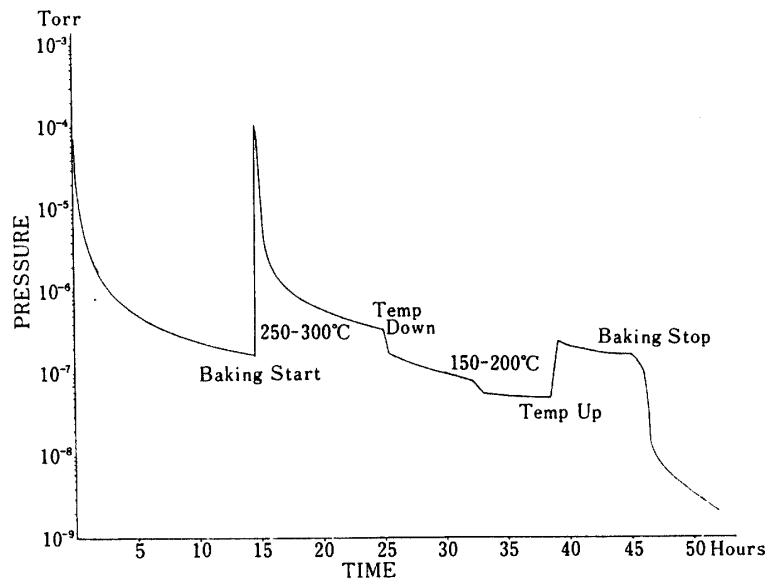


図 3-2 試料採取容器の排気経過の一例 (容器No.5)

時間 250°~300°C でベーキングを行ないながら排気した。ベーキング終了後も引きつづき 15 時間余り排気を行ない、 $1 \times 10^{-8}$  Torr 以下の真空度になったことを確認した(図 3-2)。

### 3-2 試料導入系及びガラス割り機構

導入系は Gondola 外、Gondola 内の配管に分けられる。Gondola 外の配管は、長さ約 1 m、内径 1/2" のステンレス製フレキシブルホース (SWAGELOK, SS-8 HO-6-L 8) 4 本を継いだ。その先端には、ガラスステンレスパイプ変換 (CAJON, G 304-8-GM-3) をガラス部の先端を封じて接続した。Gondola 内のマニホールは 1/2" のステンレスパイプに T 継手 (CAJON, SS-8-VTBW-3) とミニコンフラットフランジを溶接して作った(図 3-3)。なお、導入系のホースは放球時にじゃまになり、先端のガラス封じ部がショック等で割れる心配もあり、Gondola の周囲に巻きつけておき水平浮遊状態にはいつて十分 Gondola のガス出しを行なった後、地上からのコマンドで下方にたれ下げるように

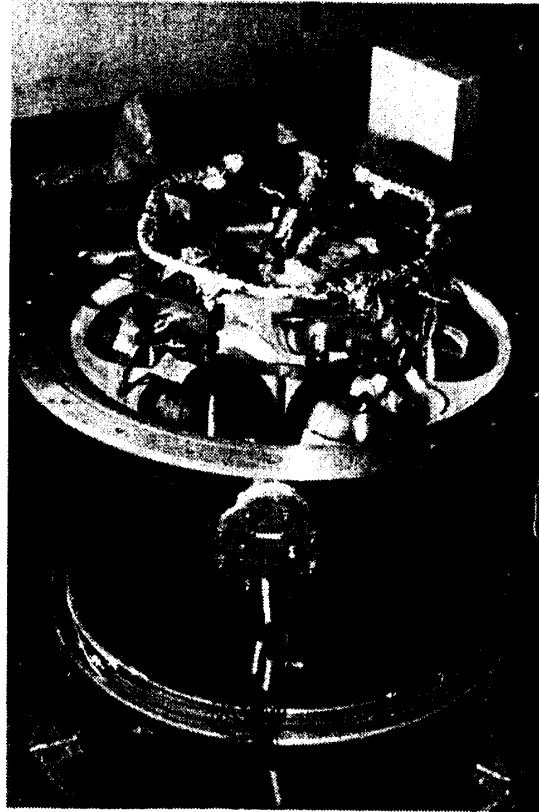


図 3-3 ゴンドラ内の配管（ベーキングのためのアルミホイールが巻きつけてある）とバルブ開閉機構

した。

導入口の開口は、以前から採用しているバネで動く刃でガラスを割る機構を使った。これは刃を固定しているステンレスワイヤをワイヤカッタで切り、バネで刃を動作させるようになっており、これは地上からのコマンドで実行する。ガラスが割れると同時にこの機構は導入口から切離されるようにガラス部に取付ける。なお、信頼性向上のため、独立に2系統用意した（図3-4）。

### 3-3 バルブ開閉機構

バルブ開閉機構は、モータ、ウォーム及びホイール、ポテンシヨメータ、チョツパ、フォトインタラプタで構成されている（図3-5）。今回使用したバルブ（SS-6 BW-TSW）はバルブ軸を回転させ開閉するタイプのもので、開閉につれバルブ軸が数mm 出入りする。市販のウォームホイールでは、この軸の移動を吸収できないため、特殊なギヤを切って使った。モーターはオリンパス精機のDCモーター（CL-4 B）を使った。その特性を表3-1に示す。モーターの仕様のうちでは特にトルクが問題である。今回使用したバルブの開閉には通常10~20 kg-cm、最大40 kg-cmのトルクがあれば十分であるので、ギヤ付きモーターに必要なとされるトルクはウォームギヤ比（1/40）、そこでのロス（1/2）等を考慮に入れると約1 kg-cmあればよい。このギヤ付きモーター（CL-4 B-U 120）は瞬時には4 kg-

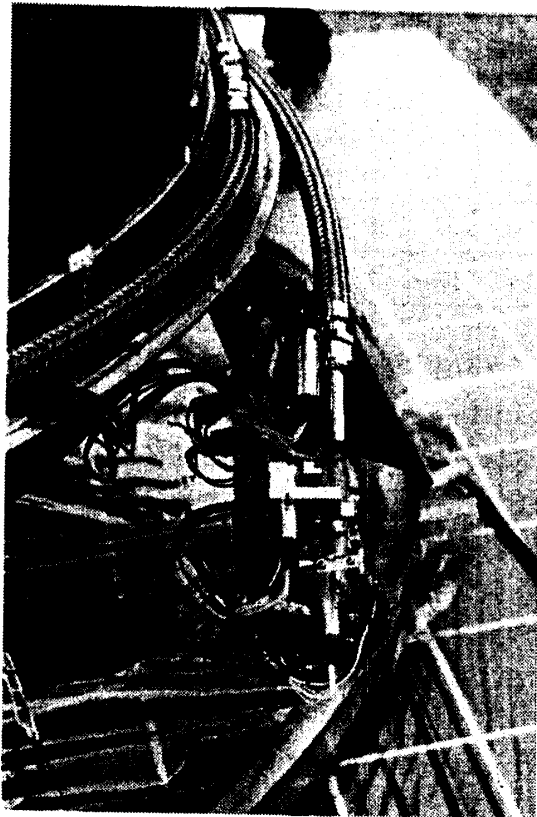


図 3-4 導入系ホースとガラス割り機構の取付け

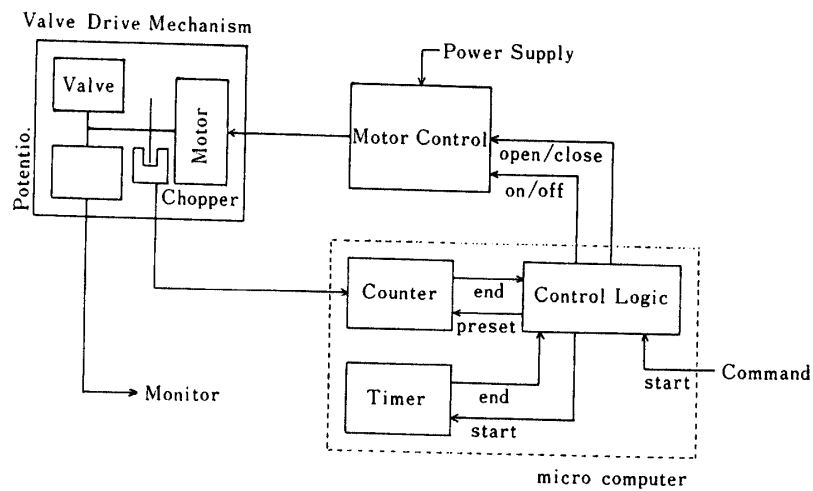


図 3-5 バルブ開閉機構とその制御系ブロック図

cm のトルクが出せ、これ以上ギヤ比を大きくすれば開閉に時間がかかり過ぎるため、この型を採用した。なおモーター、ギヤ共低温特性を保證するためバルーン仕様 (CL-4 BY-U 120 Y) のものを使った。

初めバルブはトルクレンチを用いて閉め、その状態でこの機構を取付ける。コマンドに

表3-1 モーター (CL-4B) とギヤヘッド付モータ (CL-4B-U120) の特性

型式	定格電圧 V	無負荷		定格負荷			ギヤ比	出力 W	瞬時最大トルク g-cm	慣性モーメント g-cm <sup>2</sup>	時定数 Sec	重量 g
		電流 mA	回転数 rpm	電流 mA	回転数 rpm	トルク g-cm						
CL-4B	12	36	6000	195	4800	30		1.48	150	3.4	0.014	105
CL-4B-U120	12	36	148	179	120	1 K	40.5	1.23	4 K	3.4	0.014	230

より制御回路が動作しモーターが回転すると、それに比例してフォトインタラプタよりパルスが出る。これをカウントし決められた値になるまで回し続け停止させる。これでバルブは開いた状態で停止していることになる。閉める時にはモーターを逆転させパルスをカウントするが、開ける時より数パルス余分にカウントし停止させる。すなわち、開ける前の位置より少し増締めするわけである。これはここで使用しているバルブがオールメタルであるため、確実な閉めを保障するため必要である。

ポテンシオメーターはバルブ軸に接続されており、単にバルブの開閉状況をアナログ的にモニタするために使っているのみである。図3-3にこの機構をバルブに取付けた様子を示す。

なお、この機構を開発するにあたって種々の方式を検討した。たとえば、モータを動作させる時間で開閉を制御する案、それに加えてトルク（電流の変化）の検知を組合せる案、電磁クラッチを用いる案等を検討した。しかしこれらの案はいずれもバルブが完全に開閉できる保証はなく、電源電圧、周囲温度、モータやバルブ等の個体差により微調が必要で

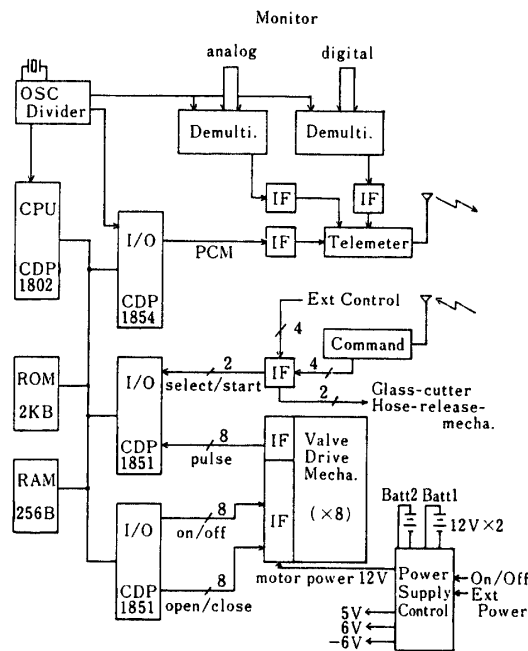


図 3-6 制御回路のブロック図



あるため、トラブルが生じた時簡単に交換できないなどの問題がある。また電磁弁や空気操作弁もあるが、一般に形状、重量が大きくなり、前者は高温のベーキングに不向きであり、後者は作動気体の選択、排気及びそれを制御するためのバルブシステムが必要で、装置が複雑になるなどの問題があり、現在の方式に落ちついた。

### 3-4 回路系

制御回路は 1) CPU 部, 2) モニタ及びテレメータインターフェース部, 3) コマンドインターフェース部, 4) バルブ開閉機構制御部, 5) 電源制御部より成り立っている(図 3-6)。

#### i) CPU 部

CPU 部は RCA の CMOS 8 ビットプロセッサ, CDP 1802 を使った。2 キロバイトの EPROM (2716) に制御プログラムを書込み、ワーク領域には 256 バイトの RAM (MWS 5101×2) を使った。コマンド処理及びデジタル伝送処理は、割り込みによりそれぞれの処理プログラムに制御が移される。その他の時間は CPU はアイドル状態(割り込み待ち)にあり、何もしていない。またハードウェア簡略化のため、タイマ及びバルブ開閉機構からのパルスのカウント共ソフトウェアで行なっている。この様にソフトウェアに比重をかけるようにし、システムの動作、機能に柔軟性をもたせた。

#### ii) モニタ, テレメータインターフェース部

テレメータは 3 チャンネル使用しており、各部の動作モニタ及びハウスキーピングのデータを、アナログ的、デジタル的に送っている。

アナログチャンネルには 18 項目あり、各部の温度、バルブ付属のポテンシオメータ出力など、デジタルチャンネルには 19 項目あり、各バルブ開閉機構のモーター電源の ON/OFF、開閉方向など、PCM チャンネルでは CPU の内部レジスタの内容等を送っている。前二者は約 2 分で 1 サイクル伝送され、後者は約 60 ボーの伝送スピードである。

#### iii) コマンドインターフェース部

コマンドは 5 チャンネル使った。それらは実行コマンド選択、実行開始指示、導入口のガラス割及び導入ホースの落下は独立に 2 系統、及び CPU リセットである。

実行コマンド選択を受けると、実行項目発生用のカウンタをインクリメントし、CPU に対しコマンドを受けたことを知らせ、その項目をテレメータデータに載せる。実行開始指示は CPU に対し割り込みをかけ、現在の実行項目の処理ルーチンに制御が移される。なおこのコマンドを受け指示された項目の実行が終了するまで新しい実行開始コマンドは受け付けないようにし、誤操作を防止している。ガラス割りコマンドは、直接ワイヤカット作動用のリレーを駆動するようにした。リセットコマンドは、CPU や入出力用 IC 及びワークエリアの初期設定をするもので、フライト中にトラブルが生じた場合にも使用することがある。

#### iv) バルブ開閉制御部

バルブは合計 8 ヶ使っているため、開閉機構は 8 台ある。それらはパラレルインターフェース IC を通して CPU により制御される。CPU はそれらを独立に制御できるが、同時に 2 ヶ以上動作させることはできない(ハード上は可能であるがソフトでの対応はしていない)。

選択項目が試料採取のとき実行開始コマンドを受け取ると、CPUに割り込みがかかりその処理ルーチンに制御が移される。まず開けるべきバルブの開閉方向(open/close)設定用リレーをopenにセットし、そのモータ電源用リレーをonしモータを回転させる。するとフォトインタラプタよりパルスが出力されるため、それをあらかじめ決められた数カウントし、モータ電源をOFFする。ここでソフトウェアタイマをスタートさせるが、この時間は資料の採取高度によりあらかじめ決め、プログラムしておく。一定時間経過後、開閉方向をcloseにしモータ電源を再びONし、決められたパルス数をカウントして電源をOFFする。なおこのパルス数は開けるときのパルス数よりいく分多くしてあるのが、この機構の特徴である。これら一連の動作は、実行開始コマンドを1回打つのみですべて機上でマイクロコンピュータ制御により自動的に行なわれる。

#### v) 電源制御部

電源制御部は12V、3AHの電池(A200-6V-3.0Ah-S)2ヶ、安定化電源回路、DC/DCコンバータ、外部ON/OFF制御用リレー等で構成されている。電池は回路用とモータ用が完全に独立にあり、また回路上も分離しモータ回転時のノイズの混入を防いでいる。

テレメータインターフェースに用いたOPアンプとEPROM、その他インターフェースに用いたいくつかのトランジスタを除いて、他はすべてCMOS ICを使ったため、回路系の全消費電流は約90mAであった。

#### vi) ゴンドラ

ゴンドラは大きさ1000φ×1300Hの総アルミ製で、気密、耐圧構造のものを作った(図3-7)。それには二つ理由があり、その一つは内部に収納されている装置や保温材などからのアウトガス対策であり、もう一つは海上回収に備えてである。

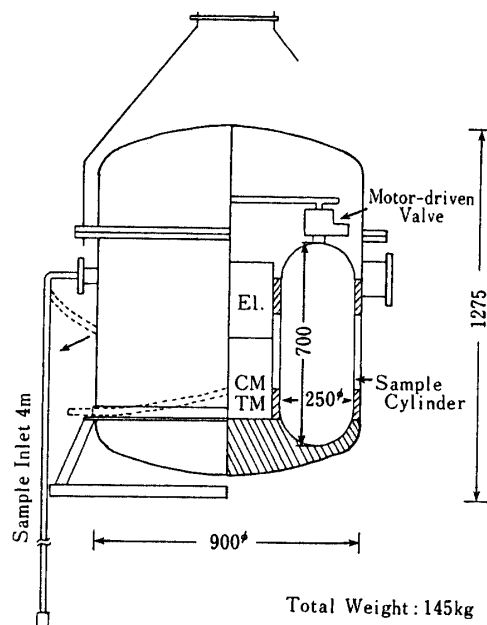


図 3-7 ゴンドラ

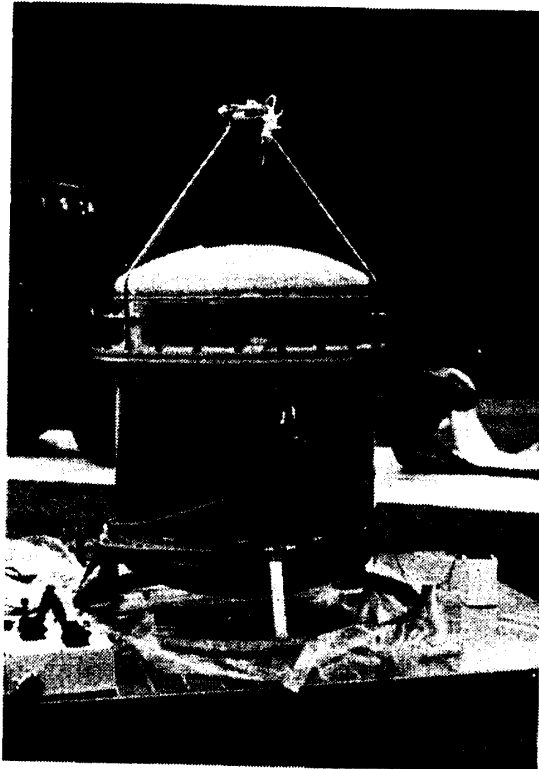


図 3-8 放球直前のゴンドラ

ゴンドラは本体とふたの二つに分かれ、その間はバイトンのOリングで密封する。本体側面には大小2ヶのフランジがあり、それぞれワイヤカッタ及び外部制御端子用、主導入口及び予備の導入口のパイプ取付用に使っている。脚にはキャスターを付け、通常の場合の移動に便利なようにした。

#### 4. サンプルングレート

長い配管を通して資料の採取を行なうため、その配管部のコンダクタンスを知り、バルブの開閉時間を決定する必要がある。配管は途中が曲がっていたり、バルブがそう入されているため計算により求めることが困難であるため、次の様な実験を行なった。

実際にフライトで使う試料採取装置を使い、小型チェンバ内を試料採取を行なう予定の高度の気圧に調整し、試料採取容器のバルブを開け、容器内の圧力変化をレコーダに記録した。なお、その間小型チェンバ内の圧力が一定になる様に調整した。試料採取容器のバルブ操作は、その時点では駆動回路等が完成しておらず、手動で短時間に全開させることにより行なった点が実際のフライト時とは異なっている。

図 4-1 は外気圧(小型チェンバ内の圧力)と試料採取容器内の圧力が外気圧と比較して、バルブを開けてからの時間によりどの様に変化したかを示している。この実験結果により、バルブの開放時間(完全に開いた状態で停止している時間)は十分余裕をもたせ、高度 27, 26 km は 40 秒, 22, 21 km は 30 秒, そして 18 km は 20 秒とした。なお、バルブが開き始

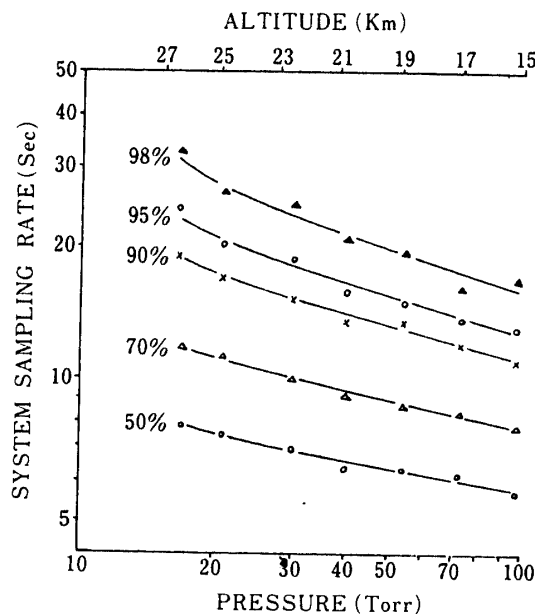


図 4-1 サンプルングレートの実験結果

図中の％は (資料採取容器の圧力/外気圧)×100 を表わす。

めてから開放の状態になるまでに約 50 秒，閉まるまでにまた 50 秒必要なため，試料採取時間としては十分と考えている。

## 5. 汚 染 対 策

微量成分あるいは活性な物質を取扱う場合には，それが何らかの原因により本来の量より増加あるいは減少するのが一般的であり，そのようなことが起こったとき汚染されたという。今回の実験の場合には，汚染源として試料採取容器，バルブ及び導入系配管，ゴンドラ，排気系，気球本体及びパラシュート類などが考えられる。ここでは，それら各々に施した対策を述べる。

### i) 試料採取容器

容器の製作途中では 3-1 で述べたように，バフ研磨後一旦電解研磨を施した。製作完了後もう一度電解研磨を施し，溶接やバフ研磨による表面の荒れを十分にとった。なお，製作途中あるいは製作終了後においても，ハロカーボン類分析に有害であるため，洗浄には有機溶剤は一切用いなかった。

超高真空まで排気すると容器の内壁は活性化され，ここに外気が導入されればその中に含まれる物質のあるものは壁面に吸着され，あるものは反応を起こし分解される。特に微量成分であるハロカーボン類は吸着されやすいことが報告 [5] されており対策が必要となる。そこで 2～3 の化学的処理法を検討した結果シラン処理を行なうことに決定した。

シラン処理の手順は次のようなものである。HMDS (Hexamethyldisilazane,  $(\text{CH}_3)_3\text{SiNH}_2$ ) 約 0.5 ml を真空に排気したバルブ付容器内にゆっくり拡散させた後室温で一昼夜放置，さらに 50°C に温める。これをソープションポンプで  $10^{-2}$  Torr 程度まで排

気後一旦バルブを閉じ、150°Cで30分間加熱した。その後再び $10^{-3}$ Torrまで排気後、150°Cでベーキングしながらターボ分子ポンプで一晩高真空に排気した。

なお、この様な処理をすることにより同時に分析しようとする他の成分に影響がないことも重要で、その点についても十分検討した。容器6本中3本に処理を施し、ハロカーボン類分析用に供することにした。CO<sub>2</sub>に関しては、その量が比較的多く安定であるため、特に処理は行なわなかった。

## ii) バルブ，導入系配管

試料が触れる部分は全てステンレスを使い、配管の接続及びバルブにもハロカーボン類分析に有害な高分子（たとえばバイトン）のOリング等は一切使っていない。バルブはシラン処理した容器に付いているもの以外には処理を施していない。配管部は開口後ポンプ（容器の1本をポンプがわりに使用）で換気が行なわれ、技術的問題などもあり特に内面処理は施さなかった。

導入系の入口はガラス封じしてあり、放球前や気球上昇中に付近の大気により配管内が汚染されないようにしている。導入系配管は実験室で一応組立て、ターボ分子ポンプで排気しながら10時間程度ベーキングを行ない、真空封じして三陸の実験場に運んだ。ゴンドラの輸送の都合上、ゴンドラ外の導入系配管を取付けたままでは不便なため、三陸で最終的に組立てるとき一旦大気にさらさねばならない。そのため、組立てた後またベーキングしながら数時間ソープションポンプで排気した。

導入系のゴンドラ外のホースは約4 mあり、上空で入口のガラスを割ると同時にゴンドラへの固定を解き、たれさげるようになっている。これはゴンドラから導入口を出来るだ

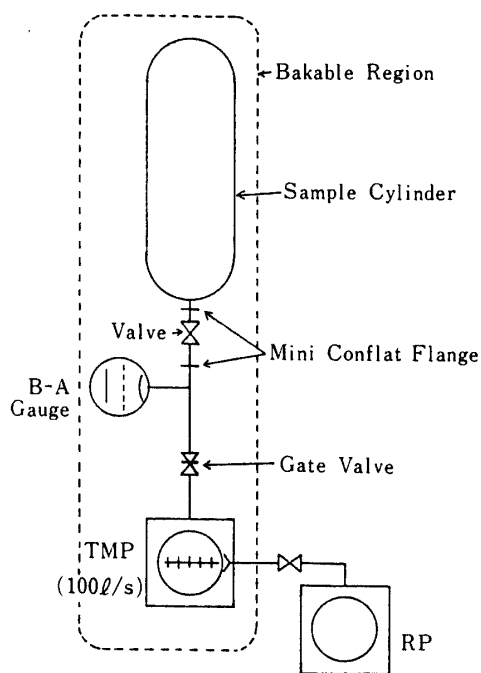


図 5-1 試料採取容器の排気系

け離すためである。

### iii) ゴンドラ

ゴンドラとしてはアルミニウム製の耐圧、気密構造の容器を製作し使用した。これは一つは内部の装置及び保温材等からのアウトガス封じ込めであり、もう一つは海上で回収するため防水が必要であるからである。ゴンドラは本体、ふた及び脚より成立っており、本体とふたの間はバイトンのOリングで気密が保たれる構造になっている。配管の出口及び内部回路と外部の機器との接続のためのフランジがそれぞれ1ヶずつ設けられており、この部分もOリングを使って気密を保つようにしている。

放球前にゴンドラ周囲及び吊金具、導入ホース、脚、コマンドアンテナ、配線コード等十分にエチルアルコールでふいた。また脚に取付けてあるキャスターもはずした。十分に乾燥させた後は、放球直前までビニールシートで覆い、素手で触れないよう注意し、ゴミなどの付着を防止した。

テレメータ送信器は通常発泡スチロールの箱の中に納められているが、これも使わずむき出しのまま脚部からひもでつり下げた。

### iv) 排気系

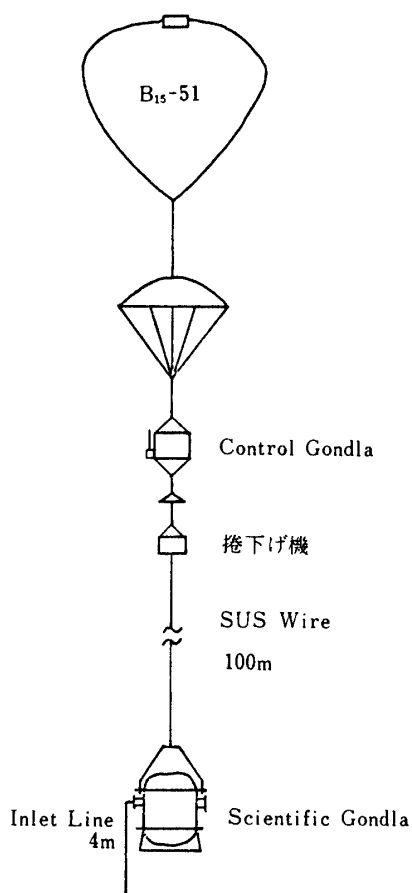


図 5-2 荷姿

試料採取容器の排気には、図5-1に示すようなターボ分子ポンプ系を用いた。この系も真空ゲージがガラス製であること、ゲートバルブにバイトンのOリングが使っているほか、全てステンレス製である。試料採取容器の真空度は、図に示す部分に取付けたB-Aゲージで測定した。容器、バルブ及びポンプとの接続変換部は、マントルヒーターとシーズヒーターにより350°Cまでベーキングが可能である。

三陸で導入系配管を組立てた後の排気は、ソープションポンプ2台を用いて行なった。この部分はシーズヒーターにより100~150°Cまでのベーキングが行なえる。

このように排気にはオイルフリーになるよう、ロータリーポンプ、油拡散ポンプ等を使わず、また十分高温でベーキング可能なように排気系及び配管、資料採取装置に使用する部品等を選定した。

#### v) 捲下げ

気球本体、パラシュート、ロープなどは地表付近や上昇中に汚染物質を多量に付着したまま上空にいくことが考えられる。これらによる汚染を防ぐためには、これらから十分な距離をとることが効果的な方法であり、そのため捲下げ機を使った。これは気球と観測器ゴンドラの間に取り付け、放球後それに巻きつけてあるロープを伸ばし気球とゴンドラの距離をとることができる装置である。捲下げに使うロープはナイロン製にするとアウトガスの問題と、距離を十分にとれないということがあり、今回は4mmφ、100mのステンレスワイヤを使った。このワイヤの引張り強さは1ton以上あり重量は10kg程度である。これは事前にアセトンで脱脂し、その後脱ガスを行ない捲下げ機に巻きつけた。

#### vi) その他

気球が水平浮遊状態にはいったただちに試料採取操作を始めるのではなく、まず十分にゴンドラのガス出しを行う。また、試料採取は気球を緩降下させながら行なう。これはゴンドラ付近の大気が相対的に上方(ゴンドラから気球に向かう方向)に移動するようにし、導入口もゴンドラより下方に位置するよう導入系のホースをたれ下げることにより、採取

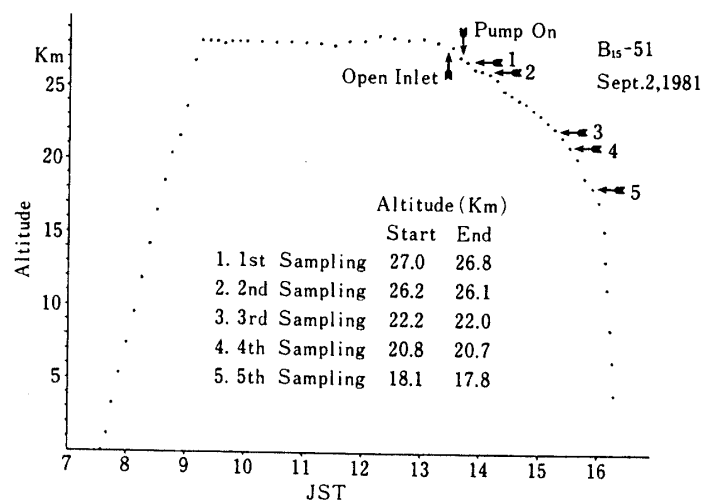


図 6-1 時間—高度曲線

される大気は気球、パラシュートやゴンドラなどからの放出ガスによる汚染を受けにくくなる。

また、導入口を開口直後に配管内に流入した外気は管壁との反応の可能性があるため、容器一本をポンプがわりに使い、導入系配管内の換気を行なうようにした。

## 6. 飛揚経過

グラブサンプリング装置を搭載した大気球 B<sub>15</sub>-51 は、1981年9月2日午前7時34分三陸大気球観測所から放球された。その時の高度時間線図及び航跡図をそれぞれ図6-1、6-2に示す。毎分300mの速さで上昇し、1時間40分後鮎ヶ崎沖60km、高度28kmで水平浮遊状態にはいった。その間、コマンドにより捲下げ機を作動させワイヤを伸ばした。東風が弱く水平浮遊の時間が長くなり、脱ガスが十分に行なえた。

13時間27分、導入口開口と導入パイプリリースのコマンドを打ち、両操作は正常に行なわれたことを確認した。13時30分気球の排気弁を開けるコマンドを打ち、毎分100mの速さで降下させた。13時32分入口バルブを開けるコマンドを打った。13時39分ポンプ動作のコマンドを打った。これらの操作はいずれも正常に行なわれたことがモニタ信号により確認された。その後13時45分高度27.0kmをはじめ、高度26.2km、22.2km、20.8km及び18.1kmでそれぞれ採取操作のコマンドを打ち、15時50分全ての操作は正常に終了した。

その後回収のための操作にはいり、16時5分気球よりゴンドラを切離し、16時25分ごろ鮎ヶ崎沖20kmに着水し、即座に回収船「はやちね」に引上げられた。

回収されたゴンドラを入念に点検したところ、脚部のアングルが着水時の衝撃で曲がっていたのみで、その他には全く異状は見られず、また内部の装置にも損傷はなく、このような構造にしたことの正しさが証明された。

各容器内の採取された気体の圧力を測定した結果を表6-1に示す。各圧力共バルーンマニュアルに記載されている気圧と比較し約一割低い値になっているが、これはゴンドラ内

表6-1 成層圏大気試料の採取時の条件

サンプル順	容器No.	内面処理	サンプル高度 [Km]	サンプル圧力 [mb] [BM]	備考
					バルブ開閉時間(sec)
1	#5	×	27.0-26.8	19.5 [20.6]	140 [50+40+50]
2	#1	○	26.2-26.1	20.1 [23.1]	
3	#6	×	22.2-22.0	39.4 [42.7]	130 [50+30+50]
4	#3	○	20.8-20.7	49.3 [52.8]	
5	#4	○	18.1-17.8	79.1 [83]	120 [50+20+50]

BM: Balloon Manual



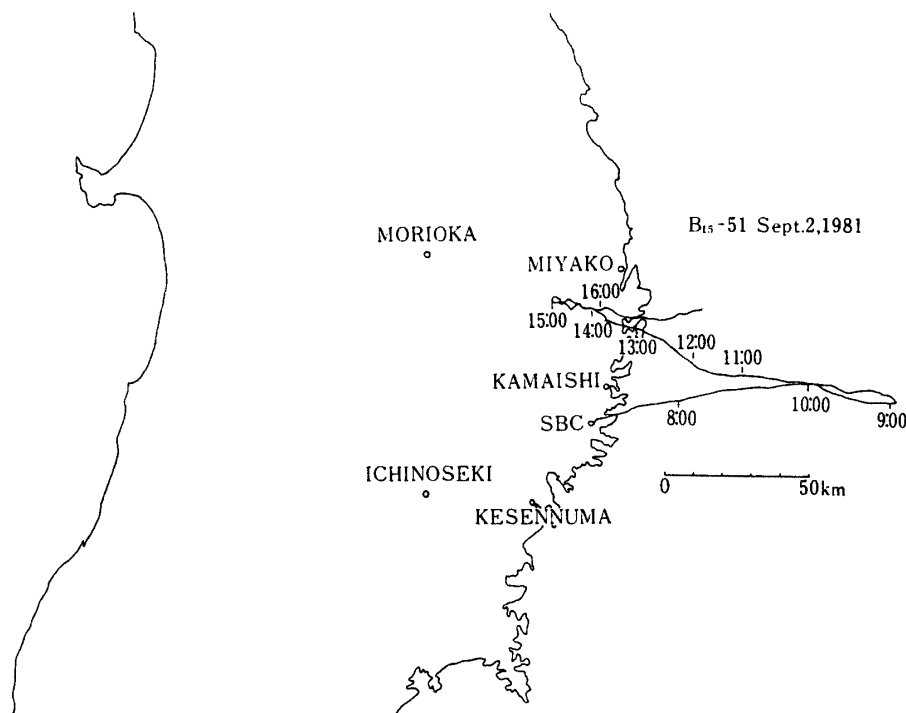


図 6-2 航跡図

部の温度が太陽輻射熱（内部での発熱は非常に小さい）により  $45^{\circ}\text{C}$  以上に上昇したためと考えられ、これは計算値とも符合する。これらの検討により、バルブの開閉は正常に行なわれ、開閉時間の設定も満足のいくものであったことを確認した。

## 7. 今後の課題

今回の実験を終えいくつかの問題点がでてきたため、それらと現在考えている対策を述べる。

### 1) ゴンドラ内部の温度上昇

6.で述べたようにゴンドラ内の温度が  $45^{\circ}\text{C}$  以上になった。これは太陽の輻射熱が原因であるので、ゴンドラ内壁に発泡スチロールをはりつけ、十分断熱する。

### 2) SWAGELOK

導入系ホースには SWAGELOK で接続するフレキシブルホースを使用したため、小さいながらリークが生じ十分に高真空まで排気することが出来なかった。今後はフレキシブルホースの接続も溶接あるいはミニコンフラットフランジを用いる予定である。

### 3) ミスコマンド

捲下げ機を使用するため、気球制御用のゴンドラと観測器用ゴンドラにそれぞれコマンド受信機を搭載している。しかし、受信点にはコマンド送信機は一系統分しかなく、両者をスイッチ1ヶで切換え、コマンドを送信するようになっている。このため、不注意により別系統のコマンドを送信することもあり、実際今回の場合も2度あった。幸い重大な支

障をきたさなかったものの、改善の必要性がある。これはPI側で工夫することにした。現在考えているものは、実行開始指示コマンドは一定時間内に2度打たないと無効とする方式である。

#### 4) 他の情報, モニタ

成分の分析結果を検討するに当たり、サンプル点の気圧、温度等の詳しい情報も必要であり、適当なセンサ及び測定法を検討中である。また現在のモニタ信号の伝送レートが遅く、短時間で動作確認がむづかしかった。気圧、温度等高精度な情報伝送のためには、デジタル化するのが都合よく、その準備のため回路部の改良、伝送方式の検討を進めている。

#### 5) 容器の内面処理

資料分析中に熱分解で生じたと思われる未知の成分が観測された。これは容器の不十分な洗浄、汚染されたままでのベーキングにより生じた熱分解生成物によるものか、またはシラン処理が不十分であったことなどが原因として考えられる。これを防ぐためには容器の洗浄、排気、少量の水蒸気導入による洗浄処理、ベーキング、シラン処理、高真空排気、バックグラウンド大気または高純度ガスによるコンディショニングなどにより、容器の清浄化と内面処理を確実にこなう必要がある。

#### 6) 対流圏上層での試料採取

地上付近のバックグラウンド濃度は緯度により異なると思われ、対流圏上層(高度10~16 km)の、より平均化された資料も必要である。この領域は気球が上昇中あるいはパラシュートで降下中に通過するのみであり、汚染の観点からすれば採取は上昇中より降下中の方が適している。ところが、降下中には回収地点の精度を上げるためバラストの投下操作を行なう必要があり、採取を行ないたい高度を通過するときコマンド送信機がPI側で使えないことが十分に考えられる。このため気球をカットする直前にコマンドによりタイマを動作させ、一定時間後に採取を開始する方法を考えている。この方法では、実際の高度で採取されるかはその時の状況により大幅に変わる可能性があり、またバラストによる汚染を受ける可能性、電波状態が悪化するため動作確認が困難になるなどの問題点がある。

#### 7) バルブシートからのリーク

試料の分析後に判明したことはあるが、5試料のうち一つに他のものと比較して著しくCO<sub>2</sub>の多いものがあった。この原因を種々検討してみたが、化学的に生成されたとは考えにくい。そのため回収後分析操作に移るまでの間にバルブシート部からリークしたのではないかと考えられた。そのため今回使用したバルブ全て、及び比較のため新しく購入したもののリークテストをヘリウムリークディテクタを用いて行なった。

実験の結果は、新旧あるいは履歴にかかわらずバルブシートからのリークは意外に多いということが判明した。またバルブの締めつけトルクとバルブシートからのリーク量の関係は個体差(バラツキ)が多いことがわかった。

これらのことにより、容器をポンプ系から切離す場合や、装置回収後に容器を分析系に接続するまでの間は、バルブを二重にし、その間を排気するなどの対策を行ない、バルブ

それぞれについては締めつけトルクのチェックを行うことにした。

#### 8) より多量, より高い高度での試料採取

グラブサンプリングにおいては, 採取出来る気体の量は容器の容積と高度(気圧)で決まる。そのため量も高度もある程度で制限されてしまう。しかし液体ヘリウムなどを使い試料を固化すればこれらの問題は一挙に解決される。現在このクライオサンプリング法について, 技術的問題の検討及び実験室での基礎実験を進めている。

### 8. ま と め

すでに詳しく述べたとうり, 大気球搭載用グラブサンプリング装置を開発し成層圏大気の採取及び分析を行なった。昭和55年度の実験では2, 3の不具合により資料の量が不十分であったりしたため, 分析も細部にわたって行なうことができなかった。昭和56年度は種々の改良を加え, 高度5点での試料採取と装置の回収を無事行なうことができた。今回の実験により細かい点には多少の改良の余地があるものの, 装置の構成, 汚染対策, 回収などグラブサンプリング方式におけるシステムの確立をみた。なお, 採取した試料の分析結果の概要はすでに他で発表した[9][10]。今後はすでに述べたような改良を加え, 同様の実験を継続して行ない種々の成分の経年変化を調べることに, 及びクライオサンプリングの検討と準備を進めていくつもりである。

### 謝 辞

本装置の設計・製作に当っては宇宙研久保治也氏, 岡山大温泉研木島宣明氏, 東大理巻出義紘氏・横畑彰人氏らの御協力をいただいた。また三陸での飛揚実験については, 西村純教授・広沢春任助教授をはじめ, 西村・広沢研究室の諸氏に多大の御協力をいただいた。これらの方々に厚く感謝いたします。

### 参 考 文 献

- [1] Sagawa, E. and T. Itoh, Geophys. Res. Lett., 4, 29, (1977).
- [2] 井口, 本田, 伊藤, 中村, 大気球シンポジウム, 昭和52年度, P 22, (1976).
- [3] 酒井均, 伊藤富造, 大気球シンポジウム, 昭和52年度, P 29, (1978).
- [4] 伊藤, 本田, 酒井, 木島, 富永, 電離圏・大気圏シンポジウム, 昭和54年度, P 106, (1980).
- [5] Schmeltekopf, A.L. et al., Rev. Sci. Instrum. 47, P 1479, (1976).
- [6] 伊藤, 本田, 酒井, 木島, 富永, 巻出, 宇宙観測シンポジウム, 昭和55年度, P 146, (1980).
- [7] 伊藤, 本田, 酒井, 木島, MAPシンポジウム, 昭和55年度, P.107, (1980).
- [8] 伊藤, 久保, 本田, 酒井, 木島, 富永, 巻出, 大気球シンポジウム, 昭和55年度, P.107, (1980).
- [9] 伊藤, 本田, 久保, 酒井, 木島, 富永, 巻出, 横畑, 大気球シンポジウム, 昭和56年度, P.181(1981).
- [10] 伊藤, 本田, 久保, 酒井, 木島, 富永, 巻出, 横畑, MAPシンポジウム, P.116 (1982).