

機上処理によるオートレベルコントロール

岡部 選司・狛 豊・藤井 正美・西村 純

(1985年5月31日受理)

On-board System for the Automatic Control of Balloon Altitude

By

Y. OKABE, Y. KOMA, M. FUJII and J. NISHIMURA

Abstract: A simple and reliable system for the automatic control of balloon altitude has been developed by using a pressure sensor with high precision. The whole system on-board the balloon was successfully operated to keep a balloon altitude constant during sunset in the flight tests made in 1984.

1. はじめに

現在大型気球による科学観測では、いわゆるゼロプレッシャー気球が使用されている。ゼロプレッシャー気球は日出、日没等により気球内のガス温度が変化した場合、浮力も変化する。日没時には温度が低下し、気球は下降をはじめめる。観測を続けるためには、バラストを投下し、高度を一定に保つ必要がある。

一般に高度コントロールは、レーダートランスポンダーで気球の高度変化を測定し、地上でバラスト投下量を決定する。その後、コマンドによりバラストを投下して浮力の回復を行なう。このような高度コントロールを自動的に行なう方式がオートレベルコントロールである。

オートレベルコントロールのテストは、1980年と1981年に実験を行なった結果、一応のコントロールが行なえることが確認できた。

最近になってリレー気球、南極大陸回遊気球 (PPB) などに、オートレベルコントロールをかける必要がでてきた。これらの気球がテレメータレンジ外に出る場合は、地上からのコマンドによるバラスト投下は不可能である。そのためにコントロール装置をすべて気球に搭載し、機上でオートレベルコントロールの処理をすることが必要になってきた。またポーラーパトロール気球では極地という条件の下での放球であるので、システムは簡便なものでなければならない。今回はこのような点に配慮して設計し、試験飛揚を行った。

2. オートレベルコントロールのシステム

2-1 従来のオートレベルコントロール

オートレベルによるバラスト投下は、気球の上昇または下降速度と設定高度からのずれで判断する。しかし水平浮遊中の気球は、主に数分の周期を持った上下のハンティング運動[1]をしている。図1は高精度の上昇計[2]で測定された水平浮遊中の気球の垂直方向の速度あり、このデータでは、気球の垂直方向のハンティング運動が顕著にあらわれているのがわかる。したがって、オートレベルコントロールを行なうためには、上昇下降速度のデータより直接判断するのではなく、上昇下降速度データの平均化処理を行なう必要がある。つまり、ハンティング運動の影響を除去し、設定した高度にいかにか保つかがオートレベルコントロールの重要なポイントである。又、日没時などの急激な降下にも対応するために、いくつか改良をほどこしてきたが、これまでに開発してきたオートレベルコントロールの方式を表1に示しておいた。

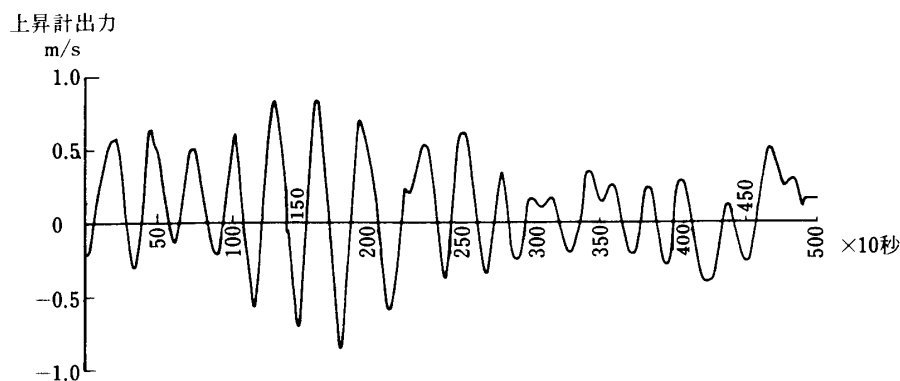


図1 水平浮遊中の上昇計の出力

表1 オートレベルコントロールシステムの比較

	1980 B 5-100	1981 B 15-48	1984 B 30-47	1984 B 5-122
セ ン サ ー	上昇計 ±600(m/min) セトラ(239)	上昇計 ±600(m/min) セトラ(239)	気圧計 70.3(g/cm ²) セトラ(270)	気圧計 70.3(g/cm ²) セトラ(270)
コントロール時 間 間 隔 (分)	昼 15 日没時 10	10	5	5
バラスト投下量 B (%)	$B=2V+0.3\Delta H$	$B=2V+1.3\Delta H$	$B=0.5$	$B=0.5$
判 断 条 件	$B>0.2$	$B>0.5$ OR $B>1.0$	$H<H_0$ AND $V<18(\text{m/min})$	$H<H_0$ AND $V<18(\text{m/m.in})$
処 理	地上(マイコン)	地上(マイコン)	地上(マイコン在)	気球

従来のオートレベルコントロール(1980年, 1981年の実験[3], [4])は, 気球の高度情報をすべて地上で処理する方式である。

気球の上下の運動を知るセンサーとして上昇計を使用し, 垂直方向の速度情報はテレメーターで送る。地上のマイコンでは速度の積分, 設定高度との比較などの処理をして, バラストを投下すべきか否か判断する。バラストの投下量は, 平均速度, 設定高度からの高度差より求める。計算機の結果にもとづいてバラスト投下は手動でコマンドを送り実行する。1981年の実験では前年の結果を参照して表1に示したようにバラスト投下量の計算式の修正を行なった。その結果オートレベルコントロールの精度が著しく向上した。

2-2 機上処理によるオートレベルコントロール

前項のシステムを総て気球に搭載し, オートレベルコントロールの処理をすべて機上で行なう事が可能である。しかし長時間の観測で宇宙線による搭載コンピューターのメモリ破壊の可能性も皆無とはいえない。そのため, コンピューターと比較して放射線の影響が少ないハードロジック回路で, 機上のオートレベルコントロールを行なうことにした。またシステムは出来るだけ簡単化することにつとめた。

上記の理由によりセンサーとしては, 速度の積分処理が必要な上昇計の代わりに, 直接高度情報が得られる高精度の気圧計を使用することにした。

上昇または下降速度は一定時間間隔の高度差から求める。

この目的に, 使用する圧力計は温度ドリフトのすくない高精度のものでなければならない。市販されているものを検討し, セトラ社のモデル270型を採用することにした。

表2にセトラ社の精密気圧計(モデル270)の仕様を示した。オートレベルコントロールに使用するセンサーは, ヒステリシスが小さく, 再現性に優れていることが特に重要である。この実験に用いた気圧計のリステリシス, 再現性による誤差は, 高度30 km付近の高さで共に7 m以下である。非常に高精度ではあり, ± 100 m位の上下の運動をしている気

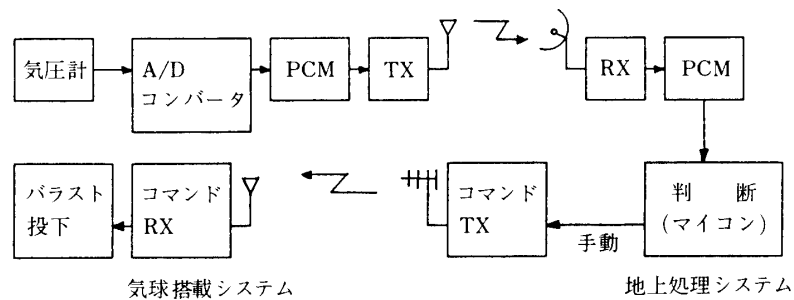
表2 精密圧力計の仕様(セトラ270)

	圧力計 セトラ(270)	精 度	
		圧 力	高度 30(km)
圧 力 レ ン ジ	68.9 mb		
ヒステリシス	$\pm 0.02\%$ FS	0.014 mb	6.9 m
直 線 性	$\pm 0.1\%$ FS	0.069 mb	34.4 m
再 現 性	$\pm 0.02\%$ FS	0.014 mb	6.9 m
温度ゼロシフト	$\pm 0.0036\%$ FS/ $^{\circ}$ C	0.0025 mb/ $^{\circ}$ C	1.2 m/ $^{\circ}$ C
温度感度シフト	$\pm 0.0036\%$ FS/ $^{\circ}$ C	0.0025 mb/ $^{\circ}$ C	1.2 m/ $^{\circ}$ C
使 用 温 度	-40° C \sim 常温		
出 力	1.0 VFS		
電 島 力	24 V 12 mA		

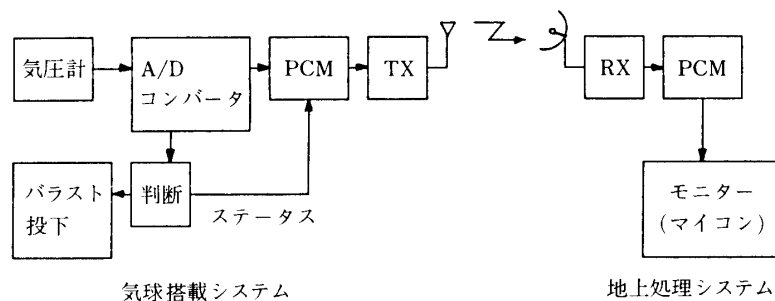
球の高度制御を行なうためには、この程度の精度が必要である。もうひとつ重要な特性として、温度特性があげられる。温度によるゼロ点シフト、感度シフトを高さの精度に換算すると、 $1.2 \text{ m/}^\circ\text{C}$ になる。つまり 10°C の温度変化があっても、 12 m の誤差にしかならないことなら、この圧力計の温度ドリフトは非常に小さいことが分かる。

バラスト投下量は比例制御ではなく一定量のオンオフ制御にした。サンプリングの時間間隔を気球の上下ハイティング運動の影響をさけるため5分にとり、一回のバラスト投下量は0.5%とした。これらは日没補償を1時間程度で行える量である。バラストを節約するためにバラスト投下条件は、高度条件と上昇速度条件との論理積をとっている。つまり、気球が設定高度より低くなおかつ上昇速度が 18 m/min 以下であった時バラストを投下する。上昇速度 18 m/min は、約30分で 500 m の高度回復が可能な値である。

この新しいシステムによる実験は5月と9月に三隆において行なった。図2にそれぞれのシステムのブロック図を示す。両者の判断処理条件は同じであるが、 B_{30-47} は地上のマイコンで処理しており、 B_5-122 はすべて機上で処理している。したがって B_5-122 での地上システムは、上空の高度情報、オートレベルコントロール判断処理のステータス等をモニターするのみである。このときの判断部の詳細はブロック図を図3に示す。精密気圧計



B30-47 (1984 5/19)



B5-122 (1984 9/6)

図2 B_{30-47} , B_5-122 のオートレベルコントロールのシステムブロック図

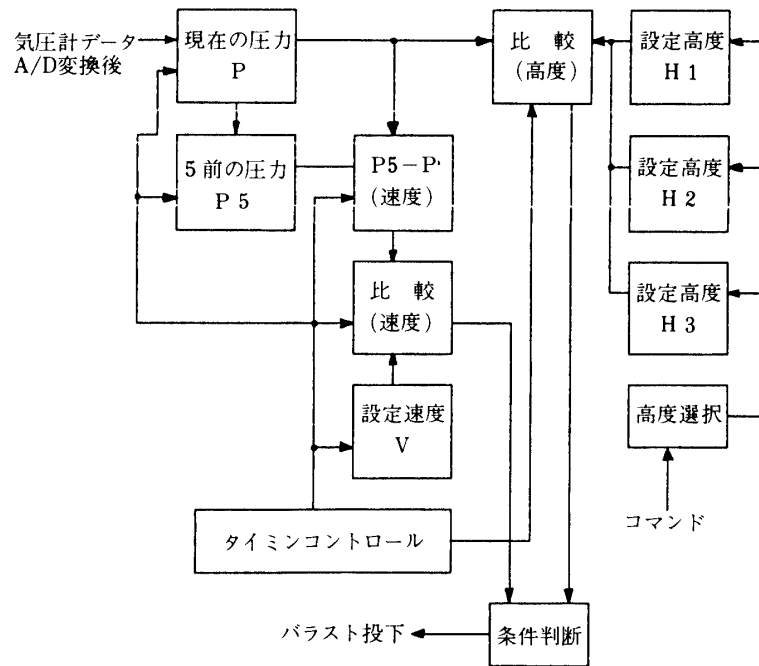


図3 機上判断部の詳細ブロック図

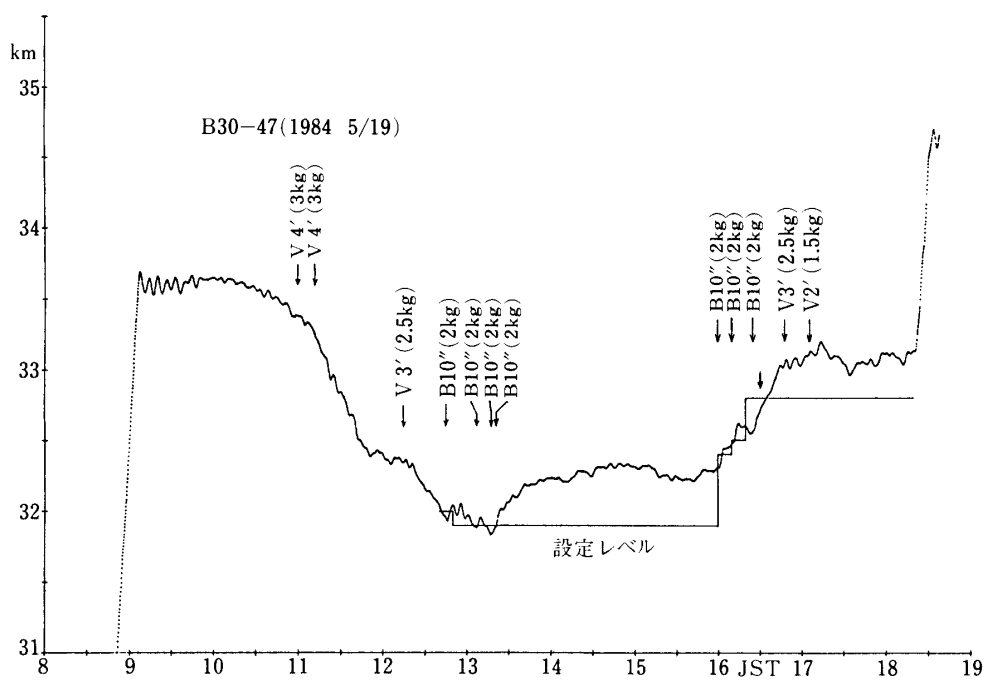
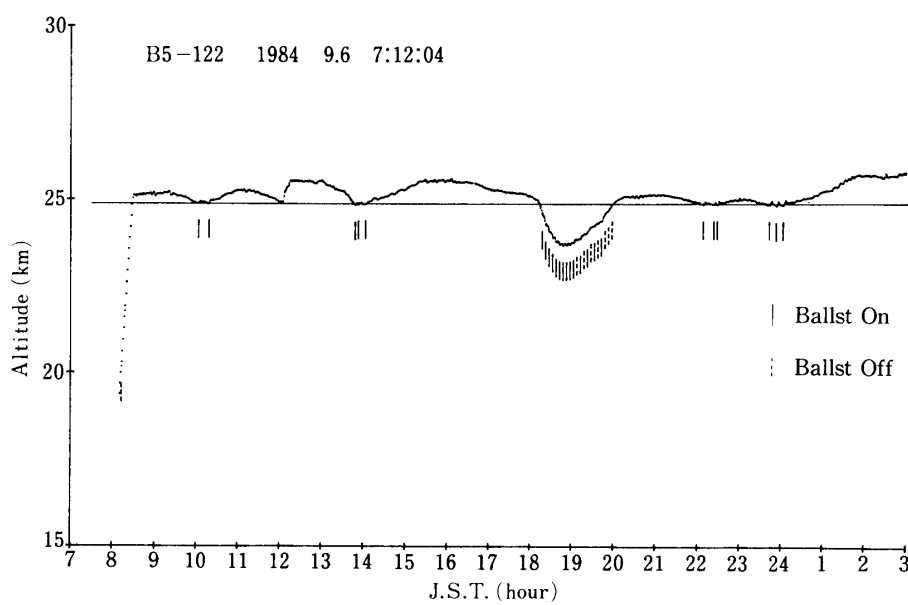
の出力は14ビットA/D変換の後この前断部に入る。判断部では5分前の気圧計の値と現在の気圧計の値の差から5分間の平均速度を求めた後、設定速度との比較を行なう。続いて、現在の気圧と設定高度の気圧との比較を行なう。そして、2つの比較結果を判断してバラスト投下を決定する。設定高度は1kmきざみで3点(24.8 km, 23.8 km, 22.8 km)セットし、地上からのコマンドにより選択可能である。

3. 実験結果

昭和59年に実験を行なった B_{30-47} (判断処理が地上) と B_5-122 (判断処理が機上) の高度曲線を図4、図5に示した。

B_{30-47} は5月19日6時54分に放球して、9時10分に水平浮遊に入った。水平浮遊に入りかけのところで特に大きな(±100 m)ハンテング運動があるのが分かる。11時にヘリウムガス排気弁を開き高度を下げた後、12時40分から16時40分までの4時間オートレベルコントロールを行なった。その間設定高度は31.9 km から32.8 km まで変化させた。設定高度より気球が降下した時は0.5%に相当する2 kgのバラスト投下が行なわれている。しかし、16時30分は気球が設定高度より低い、バラスト投下が行なわれていない。これは気球が18 m/min以上の十分な上昇速度を持っているため、速度条件が成立せずにバラスト投下をスキップしているためである。

B_5-122 は9月6日7時12分放球し、気球高度が約19 km (68.9 mb) を越え、精密気圧計の測定レンジに入った時から観測が終了して切り離しするまでオートレベルコントロー

図 4 B_{30-47} の高度曲線図 5 B_5-122 高度曲線

ルのテストを行なった。この間の設定高度は 24.9 km である。図 5 の実線はバラストを 0.5% 投下したところである。点線は速度条件が成立せずにバラスト投下がスキップされたところである。図 6 は日没の影響により気球が下降するところを拡大した図である。気球は数分周期の上下運動しながら約 60 m/min の速度で下降した後、約 20 m/min 速度で再び上昇して、約 100 分で設定高度に回復している。日没補償時に 14 回合計 7% のバラストが消費された。上昇速度による判断を加えない場合は 7 回合計 3.5% のバラストが投下されることになる。速度の条件をいれることによってバラストは節約できることがわかる。

これらの 2 回のオートレベルコントロールの実験から総合的に今回のシステムを評価すると次のような特長があげられる。

1. オンボード処理
2. システムが単純
3. 7% のバラスト投下で日没補償可能
4. 速度条件は日没時にのみ必要で、日没時以外は高度条件のみでよい。
5. 設定高度からのずれは日没時以外では 100 m 程度で、日没時でも 1 km 程度である。

一般に手動で行なっている日没補償でも、平均して 7~8% 程度のバラスト投下が行なわれてきた。したがって 2. 及び 3. の特長は、比較的簡単なオンオフ制御を採用した今回のオートレベルコントロールが、実用性の高いシステムであることを示している。ポーラパトロール気球で日没がない時期に放球した気球の高度制御を行なう場合は、4. の特長に示したように、高度条件だけのシステムでよい。つまり、さらに単純化されたシステムで充分であることが明らかになったと考えている。

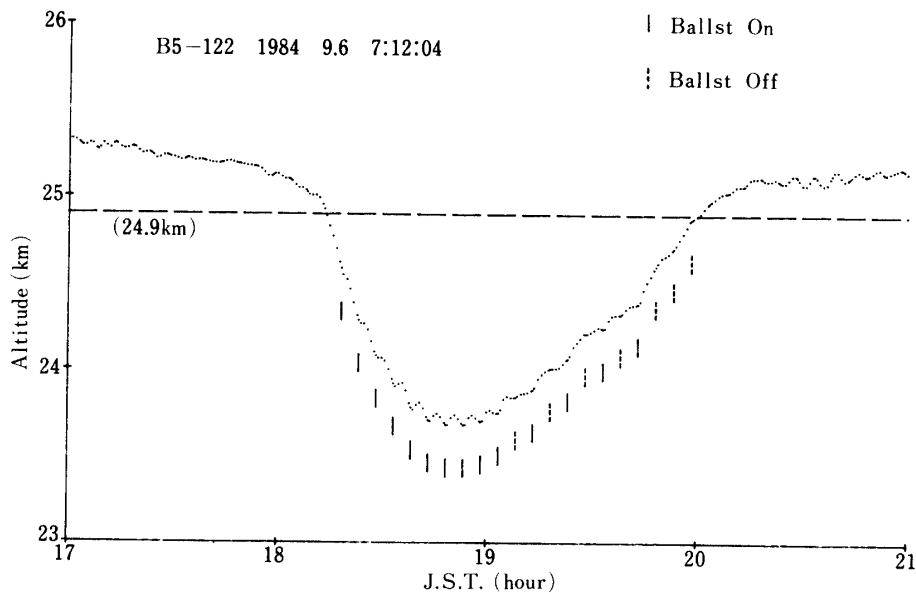


図 6 B₅-122 の高度曲線 (日没時)

参 考 文 献

- [1] 岡部, 西村, 太田, 藤井, 狛「気球上昇計によるオートレベルコントロール」宇宙科学研究所報告 特集第1号 1981年11月
- [2] 西村, 広沢, 岡部「気球上昇計」東京大学宇宙航空研究所報告第13巻第3号(B) 1977年9月
- [3] 狛, 藤井, 岡部「オートレベルコントロール」大気球シンポジウム 1981年
- [4] M. Fujii, Y. Koma, Y. Okabe, S. Ohta, J. Nishimura and H. Hirose: Automatic Control of Balloon Altitude Adv. Space Res. 3, No. 6, 53 (1983).