

GPSアルゴシステム

鳥海道彦¹・松坂幸彦¹・並木道義¹・飯嶋一征¹・川崎朋実¹
内田右武¹・平山昇司¹・瀬尾基治¹・長谷川克也¹・斉藤芳隆¹
太田茂雄¹・山上隆正¹・松田明²・小野一彦²

GPS Argos System

By

Michihiko TORIUMI¹, Yukihiro MATSUZAKA¹, Michiyoshi NAMIKI¹, Tomomi KAWASAKI¹,
Yuubu UCHIDA¹, Shouji HIRAYAMA¹, Motoharu SEO¹, Katsuya HASEGAWA¹, Yoshitaka SAITO¹,
Shigeo OHTA¹, Takamasa YAMAGAMI¹, Akira MATSUDA² and Kazuhiko ONO²

Abstract : Every retrieval service of balloons and payloads launched in Japan is provided on the sea. Until now, we have been doing our best to pick up as many balloons and payloads as possible. For example, we have been trying to enhance the retrieval rate by employing both recovery-ships and surveying helicopters since 1996. However, weather often prevents the drifting balloons from being retrieved within a day and in such cases the retrieval process cannot help waiting for the weather recovery. Therefore we developed a system that can continue to transmit a radio wave for about one week after the balloon's splashdown in the ocean. Furthermore, in 1998, we started a development of a new system in which a GPS receiver and NOAA-based ARGOS transmitter are combined, so that we can know the accurate position of the drifting payload, and can ensure its retrieval. In 2001, we succeeded in developing the waterproof self-standing GPS-ARGOS system, and it has actually been loaded in balloons for the performance confirmation. The results from the performance tests have revealed that the GPS-ARGOS system is quite effective as a basic component of the retrieval service. In this paper, we present a summary of the system including the performance evaluation, and a report on current status of further development for the future advanced system.

概 要

日本では、観測器の回収は全て海上で行っている。宇宙科学研究所気球工学部門では、原則

¹宇宙科学研究所

²東洋通信機株式会社

として海上に降下させた大型気球および観測器はできるかぎり回収を行うように努力をしてきた。また、1996年より回収作業に回収船とヘリコプターを用い、海上と空から捜索を行うことによって回収率の向上を計ってきた。しかし、天候の状態によっては、その日の回収が困難な場合もあり、天候の回復を待って回収作業を行うこととなる。我々は、海上に観測器が降下した後も1週間程度電波を送信し続けるシステムの開発を研究してきた。1998年より、漂流している観測器の位置を正確に知るために、GPS (Global Positioning System)受信装置とNOAA衛星を用いたARGOS送信装置を組み合わせた回収システムの開発を行い、観測器の回収をより確実なものにする方式を取り入れた。2001年に完全防水自立型GPSアルゴスシステムの開発に成功し、実際に気球に搭載して、その飛翔性能試験を行った。飛翔試験の結果は、大変良好であり、将来の回収システムの基本機器として使用できる目処が立ち、大変有効なシステムであることが実証された。本論文では、今回開発・製作したGPSアルゴスシステムの概要および性能評価と将来に向けて更なる開発を行っている現状について報告する。

重要語：回収システム、GPS受信装置、アルゴス送信装置

1. はじめに

国土が狭く人口の多い日本では、観測終了後の観測器の気球からの切り離しは原則として海上上空で行い、観測器は全てパラシュートで海上に緩降下させることになっている。これまでの海上での回収作業は、湾岸工事船に宇宙研職員および観測者側の人々が乗船し、1.6 GHz帯の回収用受信機を携帯し、1.6 GHzの電波を捜索することによって観測器の回収を行っていた。電波の受信は回収船が5 km以内に近づかないと無理であり、回収船からの目視は数百m以内に近づかないと発見できなかった。また、気球本体は回収船や漁船等が偶然に見つかる場合以外、積極的な回収は行っていなかった。1995年より、地球および宇宙を汚さないをモットーに、また海上交通の安全性の問題上で海上保安庁からの強い要請もあり、大型気球実験では観測器と気球本体の両方を積極的に回収することとした。そのため、気球本体にラジオゾンデを搭載し気球の降下速度を知ることによって、気球本体の降下予想地点を算出し回収船をその現場に向かわせ回収をする方法が取られてきた。また、1996年度からはペリコプターを用いた本格的な回収作業が行われるようになった [鳥海1996, 鳥海1997, 鳥海1999]。しかし、天候の状態によっては、その日の回収が困難な場合もあり、天候の回復を待って回収作業を行うこととなる。我々は、海上に観測器が降下した後も1週間程度電波を送信し続けるシステムの研究開発を始め、1998年には漂流している観測器の位置を数十mの精度で知るために、GPS (Global Positioning System) 受信装置とNOAA衛星を用いたARGOS送信装置を組み合わせた回収システムの開発に成功した [鳥海1998]。2001年に完全防水自立型GPSアルゴスシステムを開発・製作し、実際に気球に搭載して、その飛翔性能試験を行った [鳥海2001]。その結果は、大変良好で、本GPSアルゴスシステムが回収をより確実なものとする有効なシステムであることが実証された。また、最近の更なる研究開発により、将来の回収システムの基本機器として使用できる小型軽量な防水型GPSアルゴスの開発に成功し、目処を立てることができた。

2. GPSアルゴスシステム

GPSアルゴスシステムは、内部にGPS受信機を実装したため、従来のアルゴスより精度の高い位置および高度情報を取得することができる。また、アルゴス送信データには位置および高度データを一度に最大8箇所分のデータを載せることができるため、NOAA衛星との会合時間を補間し、一定の時間間隔で連続した位置および高度情報を得ることが可能である。即ち、GPS受信機が30分毎に1度稼働し、位置および高度データを受信しメモリー

に取り込み、そのデータをアルゴスデータとしてコーティングした後、アルゴス送信機でデータを送信するシステムである。アルゴス送信機は、送信周期90秒毎に送信時間0.92秒間だけ位置および高度データを交互に送信する。送信されたアルゴスデータは、NOAA衛星を介してフランスのアルゴスサービスに収録され、データ伝送の誤りを修正したデータをテルネットを通して最大3時間、早いときで1時間30分遅れで何処からでも所得することができる。このため、3時間30分前のデータから30分間隔で8個のデータを取得できるため、観測器の漂流の速度および方向が十分予測することができ、回収をより確実なものとする事ができる。

表1 GPSアルゴシステムの概要

動作日数	10日以上
GPS測位間隔	UTCの正時を基準に30分毎
ARGOS送信間隔	90秒±10% (CLS指定のインターバルに設定)
ARGOS送信出力	1W+20%, -50%
センサーデータ長	メッセージ1: 256 bit, メッセージ2: 224 bit
ARGOSアンテナ	λ/4ポインツタイプ
電源	二酸化マンガンリチウム電池 公称電圧: 9V 公称容量: 3A/h
動作温度範囲	-20℃~+50℃
重量	0.5kg以下

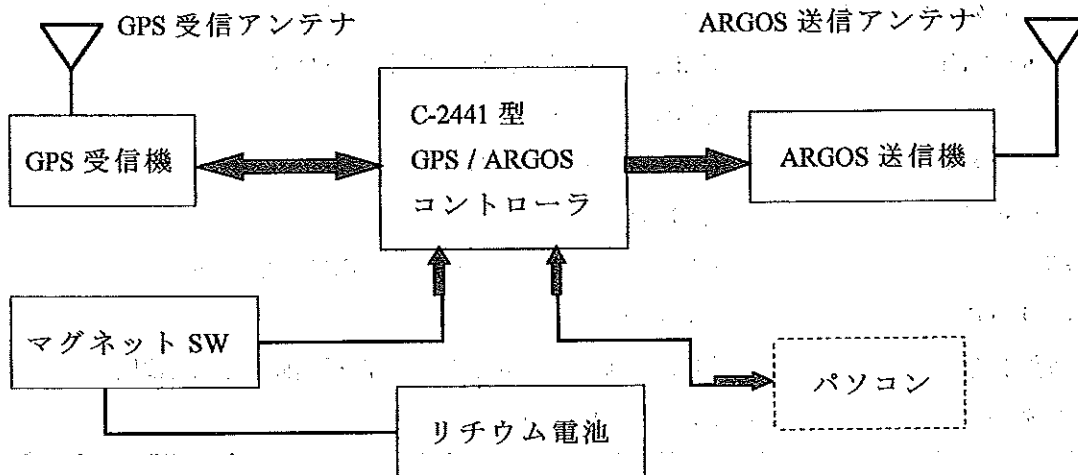


図1 GPSアルゴシステムブロック図

GPSアルゴシステムは、図1に示す通り、ARGOS送信機部、GPS / ARGOSコントロール部、GPS受信機部および電源・電源スイッチ部から構成されている。このシステムは、マグネットスイッチの上に、外部から磁石を取り付けるか、取り外すことにより電源のON / OFFをすることができ、操作性は大変良い設計になっており、システムとして、完全防水を実現している。各部の詳細な仕様を以下の表2から表4に示した。

表2 ARGOS送信機

送信周波数	14 CH対応 401.630 MHz～401.656 MHz (2 kHzステップ)
送信出力	0.5 W～1 W
ID番号	20/28 bit 対応可能
変調方式	2相PSK
伝送速度	400 bps
送信データ長	～980 ms
消費電流	待ち受け時：1 μ A以下，送信時：600 mA以下 (1 W送信時)
動作電圧	DC 6 V～DC 15 V

表3 GPS/ARGOSコントローラ

CPU	μ PD 78 F 4216 (NEC製 7 8 K/IVシリーズ 16/8 シングルチップマイコン)
内蔵ROM	128 kバイト (Flash ROM)
内蔵RAM	8 kバイト
スタンバイ機能	HALT / STOP / IDLEモード
リアルタイム出力ポート	アルゴス送信機のコントロールで使用
UART 2 ch	UART 1 → PCと接続し初期設定 → TEST UART 2 → GPSインタフェース
メインクロック	7.68 MHz (内部は3.84 MHzで動作)
外部SRAM	4 Mbits
RTC	I2Cバスインタフェース，ALARM出力2 CH
E2 PROM	64 kbits
消費電流	待ち受け時：50 μ A以下，GPS受信時：10 mA以下
電源電圧	DC 5 V～DC 15 V

3. GPSアルゴスシステムの基本動作

GPS受信機は、GPS/ARGOSコントローラにより、正時を基準に30分毎に起動し、位置データ（経度、緯度）、時刻データおよび高度データをメモリーに取り込む。取り込んだGPSデータはGPS/ARGOSコントローラで送信フォーマットに編集され、送信周期90秒毎にアルゴス送信機によって送出する。送信データフォーマットは、2種類用意されており、位置データフォーマットと高度データフォーマットを90秒毎に交互に送信を行う。また、このアルゴス送信機は従来からのアルゴスとしての機能も備えており、アルゴス自身の位置情報も同時に取得できる。

表4 GPS受信機

名 称	GN-7906 A (古野電気株式会社製)
受信方式	12 CHパラレル
受信周波数	1575.42 MHz
受信感度	133 dBm (最小)
測位方式	オールインビュー方式
測地系	TOY-A : TOKYO (JAPAN) に設定, 設定変更可能
信号コード形式	NMEA-0183 Ver.2.30 準拠 ASCII コード
高度制限	コマンドにより 59999.9 m に設定
消費電流	79 mA
電源電圧	DC 3.3 V

3.1. 位置データフォーマット (メッセージ1 : 256 bit)

位置データフォーマットは、下記のような条件に従って作成される。

- ①正時および正時+30分毎のUTC時刻を基準にデータを取得し、常時8箇所の位置データを蓄積している。
- ②GPSは、GPS受信機を起動してから衛星を捕捉し、有効な位置データが出力されるまで数分を要する場合があります。取得した位置データは起動時から数分の時間遅れを含んだ時刻の位置となる。
- ③GPSデータの有効位置取得待ち時間は、最大10分とし、10分経過しても有効な位置データが得られない場合は、GPSの電源を一度OFFにし、位置データには経度(19 bit)、緯度(18 bit)とも全て「1」の固定値をコーディングする。
- ④GPS受信機の故障等でGPSデータが2回連続で取得できない場合は、ヘッダーEのメッセージを送信する。
- ⑤全てのGPS位置データは、通常アルゴ位置データと同じフォーマットで配信する。(位置クラスG)
- ⑥誤り検知コードは、ARGOS処理センターにてチェックされ誤りのないデータのみが配信される。

メッセージ1は、センサーデータ長256 bit、最新のGPS位置取得時間を「H」として、H-0.5時からH-3.5時までの7箇所の位置データを下記のフォーマットに従って送信する。

時刻 H-0.5の GPS位置	時刻 H-1.0の GPS位置	時刻 H-1.5の GPS位置	時刻 H-2.0の GPS位置	時刻 H-2.5の GPS位置	時刻 H-3.0の GPS位置	時刻 H-3.5の GPS位置
64 bit	32 bit	32 bit	32 bit	32 bit	32 bit	32 bit

最初の64 bitのブロック(時刻H-0.5のGPS位置データ)の内容

- 1) ヘッダー(4 bit) 0 (固定)
- 2) 誤り検知コード(8 bit)
- 3) 経度(19 bit)
- 4) 緯度(18 bit)
- 5) 時間(5 bit)

6) 分 (6 bit)

7) サンプリング間隔 (4) 3 (= 30 分)

以降の 32 bit のブロック (時刻H-1.0 ~ H-3.5 のGPS位置データ) の内容

- 1) 経度 (13 bit) 最初の 64 bit (時刻H-0.5 のGPS位置) の経度との差
- 2) 緯度 (13 bit) 最初の 64 bit (時刻H-0.5 のGPS位置) の緯度との差
- 3) 時間遅れ (4 bit) . . . 正時からの遅れ (分: 0 ~ 10 [A] 及び 15 [F])
- 4) タイムインデックス (2 bit) . . . 常に「0」固定

3.2. 高度データフォーマット (メッセージ 2 : 224 bit)

高度データフォーマットは、下記のような条件に従って作成される。

- ①取得タイミングは位置データの取得と同様で、常時 8 箇所の高度データを蓄積している。
- ②高度データは 13 bit でコーディングされ、1 bit が 10 m、0 ~ 81910 m のレンジのデータとなっている。高度データは、ARGOS/GPSメッセージフォーマットのセンサー付き (ヘッダーA) のフォーマットに従っている。
- ③GPSデータが 10 分経過しても得られない場合は、GPSの電源を一度OFFにし、高度データブロックの 17 bit 全てに「1」の固定値をコーディングする。(配信データでは高度 81910 m、時間遅れ 15 分というデータで表記される)
- ④GPS受信機の故障等でGPSデータが 2 回連続で取得できない場合は、ヘッダーEのメッセージを送信する。
- ⑤時刻Hの位置データは、通常のアルゴス位置データと同じフォーマットで配信する。
- ⑥誤り検知コードは、ARGOS処理センタにてチェックされ誤りのないデータのみが配信される。

メッセージ 2 は、センサーデータ長 224 bit、時刻Hの位置データ、時刻Hの高度データおよび時刻H-0.5 時から H-3.5 時までの 7 つのデータを下記のフォーマットに従って送信する。

時刻 Hの GPS位置	時刻 Hの GPS高度	時刻 H-0.5の GPS高度	時刻 H-1.0の GPS高度	時刻 H-1.5の GPS高度	時刻 H-2.0の GPS高度	時刻 H-2.5の GPS高度	時刻 H-3.0の GPS高度	時刻 H-3.5の GPS高度	0
64 bit	13 bit	17 bit	17 bit	17 bit	17 bit	17 bit	17 bit	17 bit	28 bit

最初の 64 bit のブロック (時刻H のGPS位置データ) の内容

- 1) ヘッダー (4 bit) A (固定)
- 2) 誤り検知コード (8 bit)
- 3) 経度 (19 bit)
- 4) 緯度 (18 bit)
- 5) 時間 (5 bit)
- 6) 分 (6 bit)
- 7) サンプリング間隔 (4 bit) 3 (= 30 分)

次の 13 bit のブロック (時刻HのGPS高度データ) の内容

0 ~ 81910 m の高度データで、1 bit が 10 m である

以降の 17 bit ブロック (時刻H-0.5 ~ H-3.5 のGPS高度データ) の内容

- 1) GPS高度 (13 bit)
- 2) 時刻遅れ (4 bit) . . . 正時からの遅れ (分: 0 ~ 10 [A] 及び 15 [F])

最後の 28 bit ALL「0」固定

3.3. 配信データフォーマット

アルゴスデータは、NOAA衛星を介してフランスのアルゴスサービスセンターに収録される。我々は、テルネットを通してパソコンからユーザー氏名、パスワード名、ID番号を入力することによって、アルゴス・サービスから指定したID番号のデータを得ることができる。配信されるデータは、下記に示すフォーマットで3つの形式で取得できる。その形式はGPS位置データフォーマット、GPS高度データフォーマットおよび通常アルゴスフォーマット形式である。

①GPS位置データフォーマット

```
00333 03699 218 XG 1998-05-23 08:00:00 39.146 141.851 30.000 401649741
00333 03699 218 XG 1998-05-23 08:30:00 39.145 141.852 30.000 401649741
```

配信されるデータは、上記に示した通り左側から「プログラムNo.」「ID No.」「データ行数」「XG:GPS位置データであるID」「取得した年、月、日、時刻 (UT)」「緯度データ」「経度データ」「指定高度」「送信周波数」の順にフォーマットされたものが配信される。

②GPS位置データ+GPS高度データフォーマット

```
00333 03699 618 XG 1998-05-23 07:30:00 39.145 141.851 30.000 401649741
1998-5-23 07:30:00 0A 03 0.0000E+0 0.50000E-1
00 0.20000E-1 01 0.10000E-1
00 0.30000E-1 00 0.40000E-1
00 0.10000E-1 00 0.20000E-1
00 00
```

配信されるデータの1行目はGPS位置データフォーマットと同じで、H時の位置データである。2行目は左側から「取得した年、月、日、時刻 (UT)」「0A:GPS高度データであるID」「03:30分間隔でデータを取得したことを示すID」「7:30 UT (H時)の高度」「7:00 UT (H-0.5時)の高度」を示す。3行目は「00:7:00 UTデータ取得の遅れ時間、この場合は遅れは0分」「6:30 UT (H-1.0時)の高度」「01:6:30 UTデータ取得の遅れ時間、この場合は遅れは1分」「6:00 UT (H-1.5時)の高度」を表し、4行目以降も同様で最終データは「4:00 UT (H-3.5時)の高度」「4:00 UTデータ取得の遅れ時間」の8個の高度データと取得時間遅れを配信する。なお、高度データの単位はkmである。

③通常アルゴス位置データ

```
00333 03699 918 D0 1998-05-23 07:44:25 39.006 141.312 300.000 401649749
```

配信されるデータはGPS位置データフォーマットと同じであるが、左側から4つ目のIDが異なる。GPSデータの場合は「XG」であるが、通常アルゴスの場合は「D0」「B0」等ARGOS送信機を受信した衛星によって、このIDは変わる。

4. GPSアルゴスの飛翔試験

上記に示したGPS受信機とARGOS送信機を組み合わせ今回開発したGPSアルゴシステムを従来使用していた小型防水容器に収納し、完全防水自立型とし、海で浮くようにした。容器の底には垂直に自立するために鉛とリチウム電池が収納されており、容器の上部に回路およびアンテナ類が納められている。図2に今回開発した完全防水自立型GPSアルゴシステムの写真を示した。

完全防水自立型GPSアルゴシステムはB15-82気球に搭載され、平成13年6月4日(月)6時00分に三陸大気球観測所から放球された。気球は毎分320mの速度で正常に上昇し、高度31kmで三陸大気球観測所東南80kmの海上上空で水平浮遊状態に入った。

その後、気球は北西に進行し、酒田市西方180 km達した23時30分に指令電波を送信し、観測器を気球から切り離れた。観測器は酒田市西方160km海上に緩降下した。図3にB15-82気球の全航跡図を示した。

5. 飛翔結果

B15-82気球には、観測器の中に従来から使用しているソニー製GPS受信機が搭載されていた。ソニー製GPS受信機で得られた位置データおよび高度データと比較することによって、今回開発したGPSアルゴスの性能を評価した。図4に高度データの比較図を示した。また、図5に経度データの比較図、および図6に緯度データの比較図を示した。

高度データの比較の結果、全データの80%が±20 m以内の誤差範囲に入っていた。また、経度と緯度のデータの比較においても、非常に良く一致していることから、今回開発したGPSアルゴスが正常に動作していたことがわかる。これらの図中にGPSアルゴスデータが一部欠損している箇所があるが、これはGPS受信機が観測器等の影になり、衛星からのGPSデータの受信が上手くできなかったため、アルゴス送信機は正常に送信が行われていた。この問題は、観測器に付ける位置を変えることによって解決できるものと考えている。また、経度の差異が最大で558 m、緯度の差異が最大で450 m程度あったが、従来のGPS受信機の精度より考えてかなり大きい。この差異は2つのGPS受信機がデータを取得した時間差によるものと考えている。

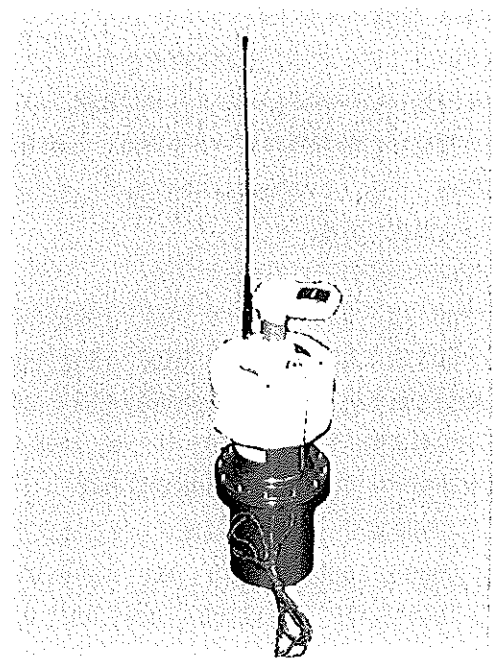


図2 防水自立型GPSアルゴス装置

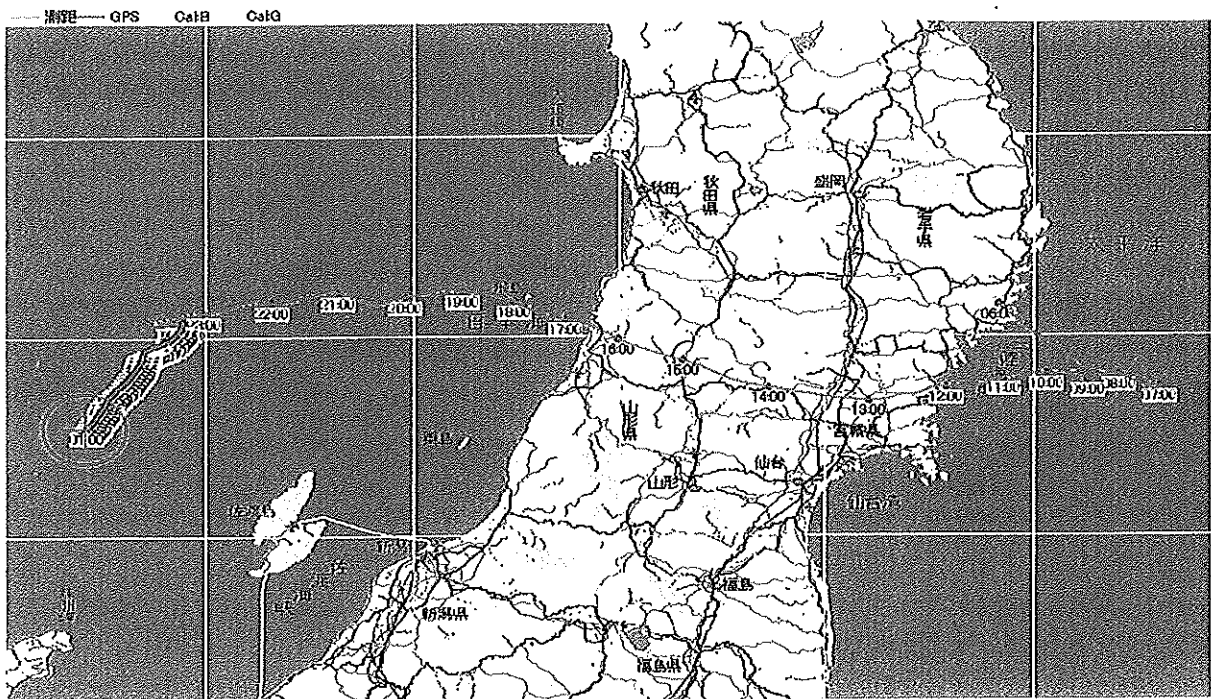


図3 B15-82気球の全航跡図

GPSアルゴスとソニー製GPS高度データの差分布

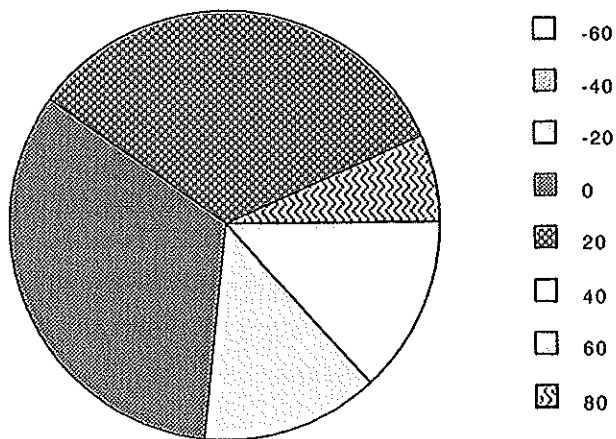


図4 高度データの比較図

GPSアルゴスとソニー製GPSデータの比較

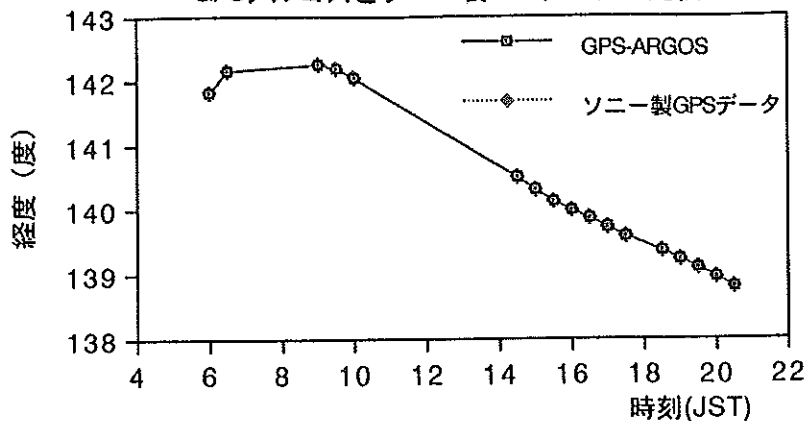


図5 経度データ比較図

GPSアルゴスとソニー製GPSデータの比較

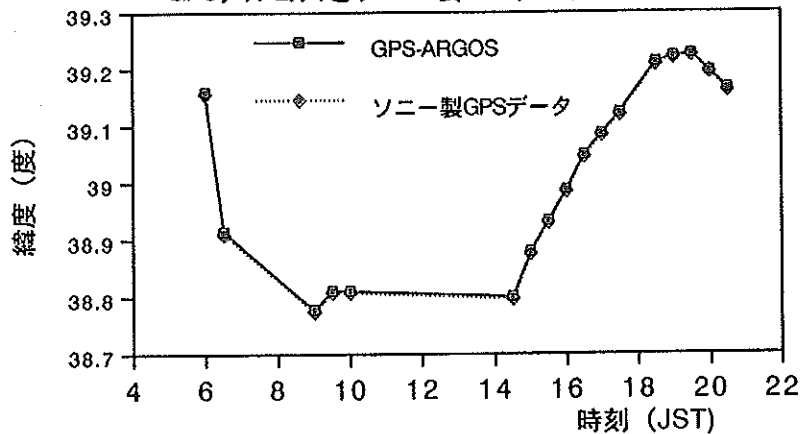


図6 緯度データの比較図

6. 着水後のGPSアルゴス

GPSアルゴスは、日本海に着水後も正常に動作し、観測器の漂流の様子を正確に送信してきた。漂流の様子を示したのが図7である。この図より、観測器は着水後1日目は西南西の方向に時速0.8kmの速度で、2日目は南西の方向に時速1.85kmの速度で漂流したことがわかる。また、着水後の高度データの分布を図8に示した。この図より全データの95%が20m以内の誤差範囲におさまっていることがわかる。

また、GPSアルゴスは通常アルゴスとしても使用する事ができ、NOAA衛星との会合でドップラー効果を用いて、送信しているアルゴスの緯度・経度データを得ることができる。通常アルゴスとして取得した経度および緯度データとGPSアルゴスで得られた経度および緯度データを比較した結果を図9および図10に示した。これらの図より、通常アルゴスで得られたデータは非常にバラツキが大きく、そのバラツキ量は経度方向で最大 1° 程度で距離に直すと100km程度にもなる。また、緯度方向は最大 0.5° 程度であり、距離に直すと50km程度であった。

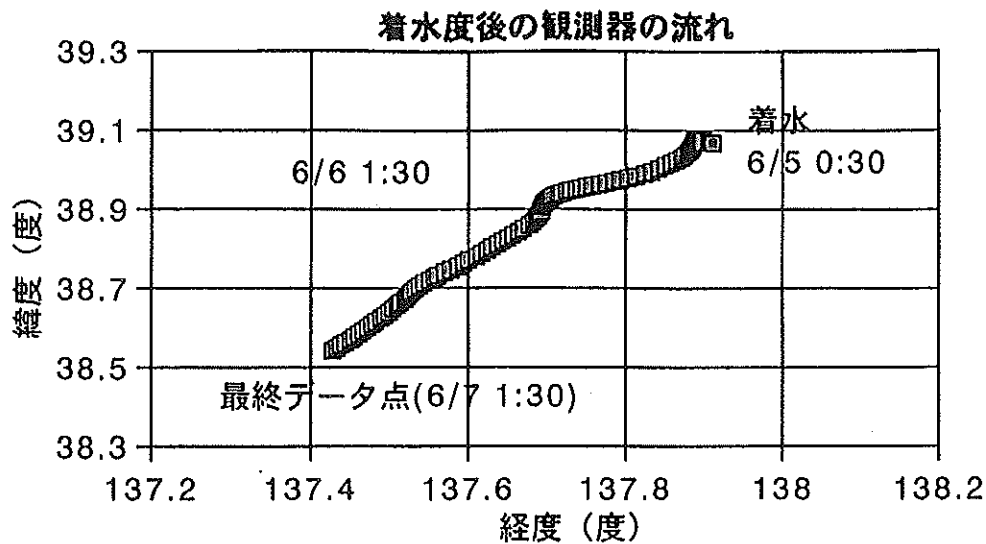


図7 着水後の漂流の様子

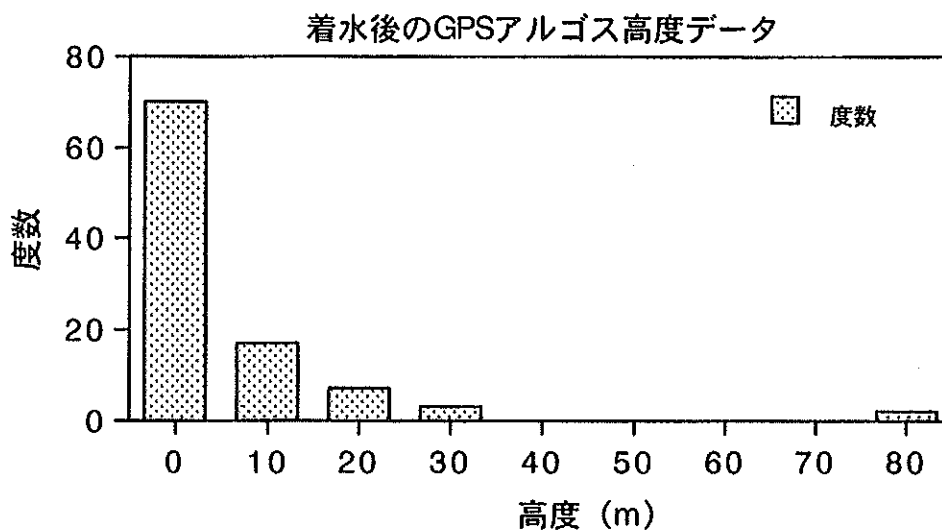


図8 着水後の高度分布

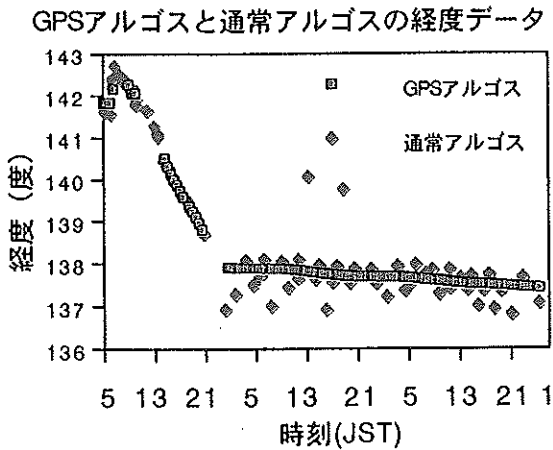


図9 通常アルゴスとの経度データの比較

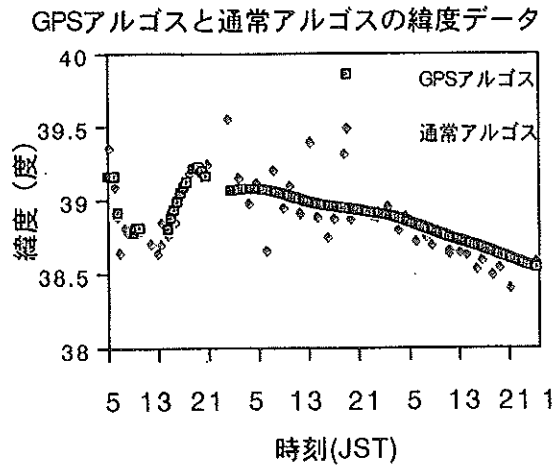


図10 通常アルゴスとの緯度データの比較

このため、通常アルゴスのデータを用いた回収が非常に難しくことがわかる。一方、GPSアルゴスは非常に安定した精度の良いデータが得られていることがわかる。次にGPSアルゴスと通常アルゴスとの受信状況を示したのが図11である。この図より、着水後でも通常アルゴスはNOAA衛星と会合ができて、ドップラーデータから位置計算ができない場合があるため、長い時間データが欠損する場合があるが、メモリーを持っているGPSアルゴスはデータの欠損もなく、完全な形で30分毎のデータを取得できていることがわかる。

GPSアルゴスと通常アルゴスの受信された状況

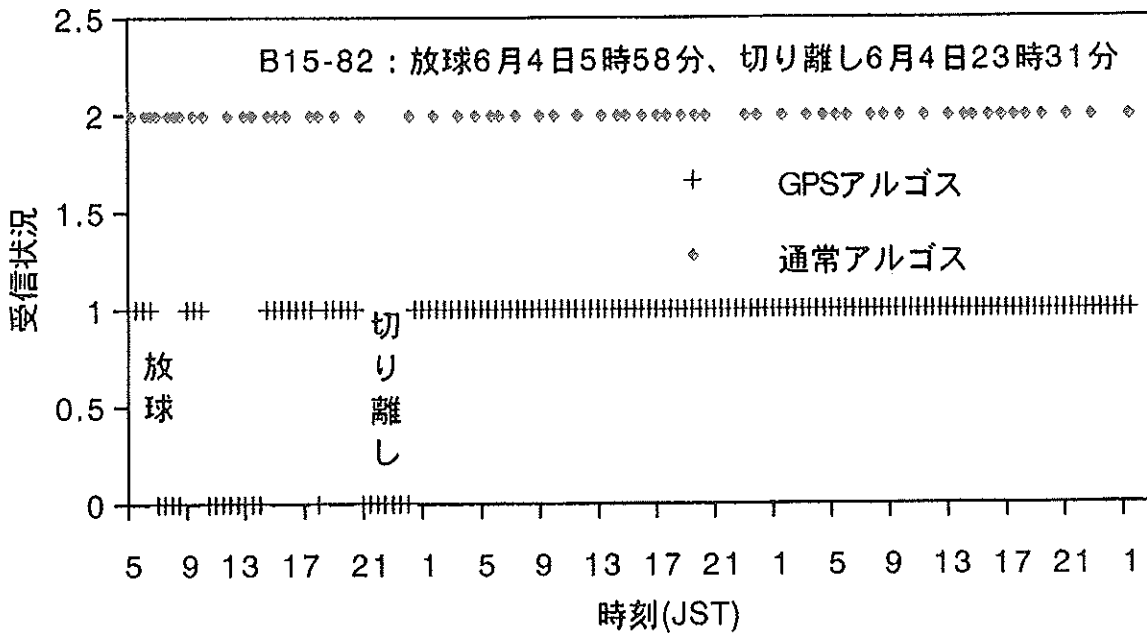


図11 通常アルゴスとGPSアルゴスの受信状況

今回の飛行実験で、GPSアルゴスシステムが正常に動作し、回収に大変有効であることが実証された。今回は、積極的に回収作業は行わなかったが漁船によって観測器は完全な形で回収された。しかし、残念ながら今回開発した防水型GPSアルゴスは回収物品の中にはなかった。我々は、この結果をもとに、今回製作したGPSアルゴスシステムを更に小型・軽量化、低消費電力化を計った次世代GPSアルゴスシステムの開発を始めている。現在開発し

ているGPSアルゴシステムは、図12に示す通り、浮き輪部を持たないユーホー型装置で、本体の直径が140 mm、高さが132 mmで一部にアルゴスアンテナが約123 mm飛び出した形をしており、重量が400 g以下と今回のものと比較すると半分以下の大きさで重量が4分の1以下である。この装置は、B-2107型リチウム一次電池で稼働させると、10日間程度使用することが可能である。

7. まとめ

今回製作した完全防水自立型GPSアルゴスは飛翔期間中および海上を漂流中も正常に動作し、回収作業に大変有効であることを実証することができた。この完成により、着水時、海上が荒れていても、海上が穏やかになった時点での回収が可能になったと考えている。GPSアルゴスでの位置精度は、20～30 m程度であるため、将来は宇宙研職員および観測者が乗船しない回収船だけの回収も可能になり、回収費用の削減が計れるものと考えている。また、現在開発を行っているシステムは、小型・軽量化および低消費電力化が計られており、観測器はもとより、気球本体の回収にも十分使用できるものと考えている。このユーホー型GPSアルゴスは、浮き輪を持たなくても安定に海上でアンテナを上に向けて自立することができる。近い将来、小型気球（高々度気球）実験にもこのユーホー型GPSアルゴスを用いて、回収を本格的に積極的に行うことを考えている。

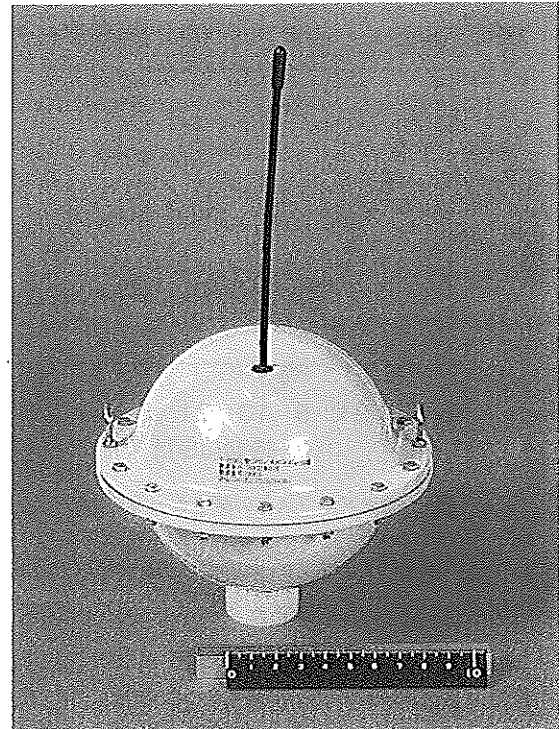


図12 新開発したGPSアルゴス

参考文献

- [1] 鳥海道彦, 松坂幸彦, 並木道義, 杉山吉昭, 瀬尾基治, 鎌田幸男, 平山昇司, 本田秀之, 井筒直樹, 太田茂雄, 山上隆正, 矢島信之: ヘリコプターによる回収システム, 大気球シンポジウム平成8年度, pp. 76-79, 1996.
- [2] 鳥海道彦, 松坂幸彦, 並木道義, 平山昇司, 内田右武, 前山勝則, 太田茂雄, 山上隆正, 佐藤周治, 及川恭治, 松島清穂, 野沢 聡: ヘリコプターによる回収, 大気球シンポジウム平成9年度, pp. 55-58, 1997.
- [3] 鳥海道彦, 松坂幸彦, 並木道義, 岡崎春三郎, 中井信夫, 齊藤芳隆, 太田茂雄, 山上隆正: GPSアルゴス, 大気球シンポジウム平成10年度, pp. 56-59, 1998.
- [4] 鳥海道彦, 内田右武, 平山昇司, 本田秀之, 松坂幸彦, 並木道義, 瀬尾基治, 井筒直樹, 齊藤芳隆, 太田茂雄, 安部隆士, 山上隆正, 佐藤周治, 及川恭治: ヘリコプターによる回収Ⅱ, 大気球シンポジウム平成11年度, pp. 69-72, 1999.
- [5] 鳥海道彦, 松坂幸彦, 並木道義, 齊藤芳隆, 太田茂雄, 山上隆正: GPSアルゴスⅡ, 大気球シンポジウム平成13年度, pp. 87-90, 2001.