

オーストラリア実験用移動観測局の検証

ISAS/JAXA : 齋藤 芳隆, 飯嶋 一征, 井筒 直樹, 梯 友哉, 加藤 洋一, 佐藤 崇俊,
 莊司 泰弘¹, 田村 誠, 濱田 要, 福家 英之, 松坂 幸彦, 吉田 哲也

1 はじめに

宇宙科学研究所では、気球による長時間飛翔実験の機会を提供するため、平成 27 年度に豪州実験を実施することを計画している [1]。豪州実験においては、700 km 先の見通し限界にある気球と電波で送受信を行ない、それを越えた距離においてはダウンレンジ局を用いることで、アリススプリングスで放球された気球を追いつづける必要がある。このため、豪州実験における送受信追尾システムには、大樹町で用いている機能に加えて、豪州で利用できる電波に対応させること、主局に加えて遠隔地にあるダウンレンジ局と連携できること、日本からシステムを持ち込んで容易に設置できること、も必要である。そこで、送受信機を新規に開発し、これまで開発してきた地上系を海上輸送用コンテナに組込むことで、移動観測局を構築した [2][3]。本論文では、システムとしての構成を示すと共に、その性能の検証結果について現状を報告する。

2 オーストラリア実験用移動観測局の構成

図 1 がシステムのブロック図である。豪州で気球実験のために利用できる電波通信は、テレメトリとして中心周波数が 1.5 GHz 帯、1 MHz のバンド幅で 1 W の電力による通信、コマンドとして中心周波数が 400 MHz 帯、15 kHz のバンド幅で 100 W の電力による通信であり、これらを用いた送受信追尾システムを構築した。いずれも、日本で用いている周波数とは異なるため、対応する送受信装置を図左のアンテナ部として新規に開発した。コマンド送信アンテナは受信用パラボラアンテナの脇に取付け、同一方向を指向させた。また、日本では、搭載機器の QL や気球の管制を行なう場所 (受信室) に送受信装置が配置されているが、豪州では送受信装置が手狭なコンテナに配置されているため、別途受信室を設け、受信室に設置した QL 用 PC、制御用 PC とコンテナ内の送受信装置とで通信する必要がある。また、ダウンレンジ局に設置されたコンテナと受信室と結び、受信信号を取得したり、コマンドを送信したりする必要もある。このため、コンテナと受信室とはネットワーク経由で信号を配信するシステムを構築した。

3 オーストラリア実験用移動観測局の動作確認

個々のモジュールの機能確認を実施すると共に、電波源を用いて、以下の総合試験を実施した。なお、受信系の試験にあたっては、受信可能周波数の幅が 82 MHz と広いため、最大、中央、最小の 3 周波数での確認を行っている。

- 搭載送信機にテレメトリ (MBO、SBO) の信号を入力して変調をかけた電波を生成し、受信、復調した信号振幅が適正 (2.8 Vpp) であり、復調系を通して、QL PC による QL 表示、および、DAQ でのデータ収集が正常に行われることを確認した。
- 電波源からアンテナの方位をオフセットさせ、離角と誤差出力の関係を評価した。
- 電波源から 6 度離れた状態から、追尾を開始し、電波源の方向に指向することを確認した。
- 新規に開発した、GPS 追尾機能の確認として、車に搭載した電波源から GPS 情報を送り、アンテナが車を追尾することを確認した。GPS 追尾機能は、GPS によって得られた気球位置とアンテナの設置位置から、アンテナを向けるべき方位を計算し、その方向にアンテナを指向させる機能である。この機能は、気球の角速度が大きい放球直後の追尾や、不可視領域から気球が近付いてくるダウンレンジ局において有効である。また、GPS 位置座標のアンテナコントローラとの通信は UDP で実現しているが、通信回線が良好な状態においては、データの抜けが発生しないことを確認した。
- 各コマンドエンコーダーからの変調信号がコマンド送信マネージャーを介して、適正な振幅 (2.8Vpp) で送信機に入力されていることを確認した。

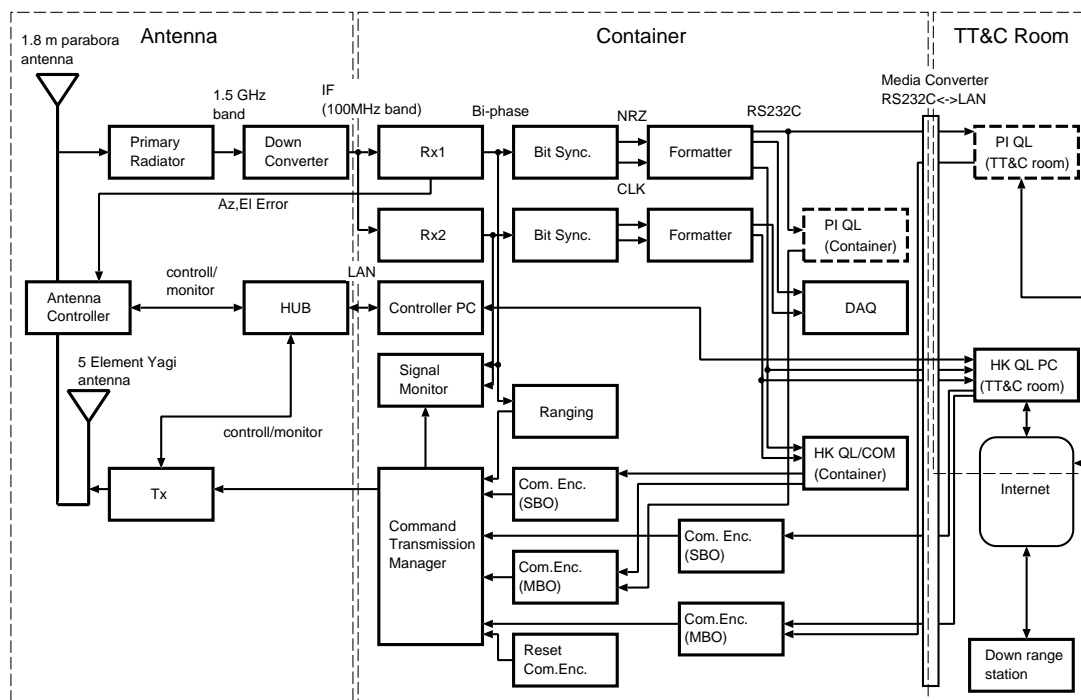


図 1: 送受信追尾装置のブロック図。

- コマンド送信機で送信された信号が、搭載受信機で適正な振幅 (2.8Vpp) で復調されていることを確認した。
- 測距装置から変調信号を送出し、コマンド系、テレメトリ系を通じた信号を受信し、到来時間差から距離が確定できることを確認した。

4 BS14-02 実験による総合試験

測風気球実験 (BS14-02) の機会を利用し、通常の測風気球ゴンドラに加えて、豪州実験用ゴンドラを搭載することで、移動観測局の総合動作確認を行った。地上試験においても観測局としての評価は概ね可能であるが、飛翔試験は全系を通じた試験であり、地面や構造物による反射の影響が小さい状態での確認ができること、実際の気球の運動の追尾性能が確認ができるといったメリットがある。

追尾した豪州実験用ゴンドラは、測風気球実験を実施するために必要な機能 (GPS による位置を含む HK 情報の伝送、測距、気球切り離しコマンドの実装) を新規に開発した 1.5 GHz 帯送信機、および、400 MHz 帯受信機を用いて実現したものである。事前の噛み合わせにより、1.5 GHz 帯送信機が発する電波により GPS 受信機が影響を受けることが判明したため、GPS 受信機と 1.5 GHz 送信機から 2 m 離し、GPS 受信機を 20 cm×16 cm の 1 mm 厚のアルミ板の上に載せることでこの影響を低減させた。

飛翔試験は平成 26 年 6 月 30 日に実施した。2 kg のゴム気球の下に、パラシュート、通常の測風気球ゴンドラ、豪州実験用ゴンドラを直列に吊り下げる構成をとった。この気球を、主系、副系によって追尾すると同時に、3 機の移動観測局によって追尾し、うち 1 台の局から測距を行なった。また、途中、アンテナ方位を、オフセットさせることにより、角度差と誤差信号出力の関係の調査を実施した。本実験によって以下が判明した。

- 気球の位置は、GPS、および主系からの測距によって把握していたが、高度 10 km を越えた時点で GPS からの位置情報が得られなくなった。実験後の解析により、1.5 GHz 送信機から発した電波により GPS 受信機が影響を受けていたことが判明した。このため、気球の位置は主系からの測距によって計測することとなった。この現象は、事後の検証試験によっても再現しており、現在、この問題解消に向け、テレメトリ送信周波数として、GPS 信号の周波数から、より離れた周波数を利用する等の対策を検討している。

- いずれの局も気球の追尾が可能であり、復調された HK データが収集できることが確認された。
- 図 2 は、観測局 1 と主系の測距によって得られた高度を比較したものである。仰角が低く追尾が困難である低高度を飛翔している時間帯、および、角度誤差電圧の評価を行った 15 時 50 分前後を除けば、概ね正しい高度が得られていることがわかる。測距機能を実現するには、搭載受信機で送信信号が正しく復調され、かつ、それを送り返した信号が地上で正しく復調される必要があり、これが実現できていることは、テレメトリ系とコマンド系の双方に問題がないことが確認されたことを示している。
- より細かく、アンテナの方位と主系測距で求めた気球の方位とを比較したのが図 3 である。これを見ると、誤差が時間によって変化しており、最大 2 度の違いがあったことがわかる。この原因について調査したところ、アンテナの水準補正が正しく行われていなかったことが判明した。この原因は、水準補正に用いられた傾斜計の精度が不十分であったこと、および、補正の論理に誤りがあったことに起因していることがわかった。現在、傾斜計の交換、および、補正の論理の改訂作業を行っている。完了後、水平なターンテーブル上に、アンテナを傾けて載せ、既知の方向の電波源の方向が正しく求まることを確認する試験を実施する予定である。
- 上記の追尾は、電界追尾によるものだが、加えて GPS による位置取得が行われていた初期に、GPS 追尾の機能の動作確認を行い、所期の方向にアンテナが回転し、気球を追尾することを確認した。
- 図 4、5 は、観測局 1 の方位角、および、仰角のずれとエラー出力電圧の関係である。誤差電圧出力と離角との関係が、アンテナのビーム幅に相当する $\pm 7 \text{ deg}$ の範囲において、設計値である 1 V/deg の関係になっていることが確認された。また、この結果は地上試験における値と概ね一致しており、地上試験が地面や周辺の構造体による反射の影響が十分に小さい条件で実施できていることも確認された。図 4、5 は、観測局 1 の結果であるが、観測局 2、3 についても測定を行い、同様の結果が得られている。
- 図 6、7 は、観測局 1 の一次放射器での受信強度を、受信機 1、受信機 2 の受信強度から求め、受信強度と距離の関係を示したものである。これにあたっては、一次放射器内の低雑音アンプや、ダウンコンバータ内のアンプの利得、分配器の損失、モジュール間の配線損失などを個別に評価した値を用いた。また、図中の直線は、送信強度、送信アンテナ利得、距離減衰、受信アンテナ利得、および、モジュール間の配線損失の個々の測定値を積み上げて求めたものである。受信強度が、実線の下に張り付くように分布していることは、個々の利得、あるいは損失の評価が適切であり、送信系が理解できていることを示している。なお、本受信系の受信限界は一次放射器の雑音によって定まっており、図中の破線に相当する。見通し限界である 700 km においても、十分な S/N 比をもって受信できる。

5 今後の予定

送受信系に関して残る課題は、テレメトリ送信機と GPS 受信機との干渉の解決、受信アンテナの水準補正の改修である。加えて、コマンド送信機の空中線電力を測定し、コマンド系の回線が成り立っていることを確認する必要がある。また、ダウンレンジ局と受信室とは、携帯電話網、あるいは、商用 WAN でネットワークを構成する。今後、実際に回線を構成し、動作確認を行なう予定である。

参考文献

- [1] 吉田 哲也、他平成 26 年度大気球シンポジウム集録、isas14-sbs-024
- [2] 佐藤 崇俊、他平成 25 年度大気球シンポジウム集録、isas13-sbs-019
- [3] 佐藤 崇俊、他平成 26 年度大気球シンポジウム集録、isas14-sbs-022

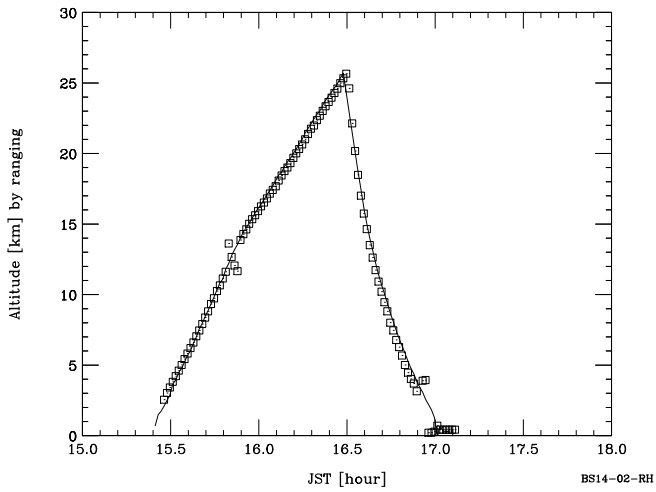


図 2: BS14-02 実験の高度曲線。

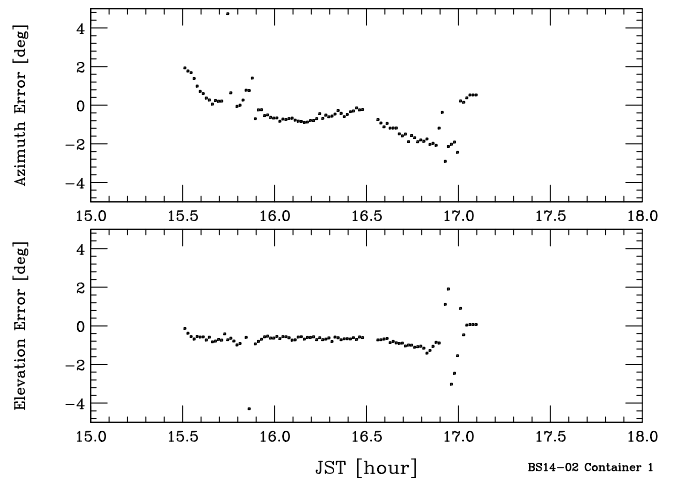


図 3: 観測局 1 アンテナと気球の方位との差

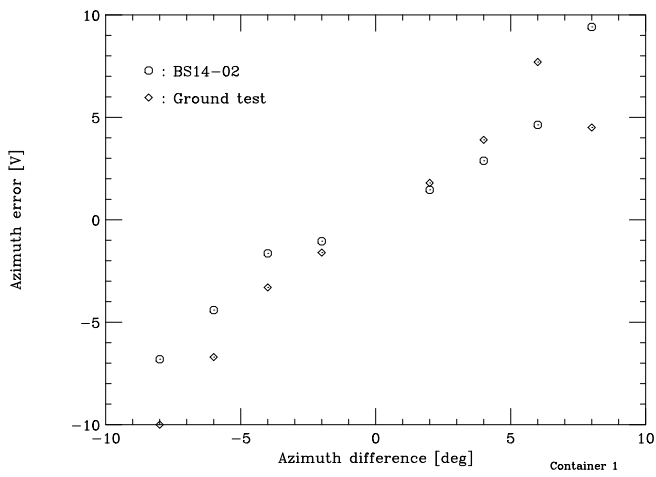


図 4: 方位角の離角と誤差電圧出力。

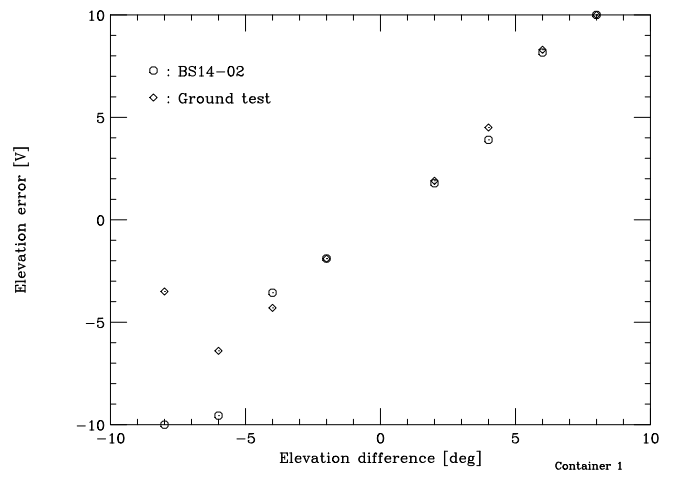


図 5: 仰角の離角と誤差電圧出力。

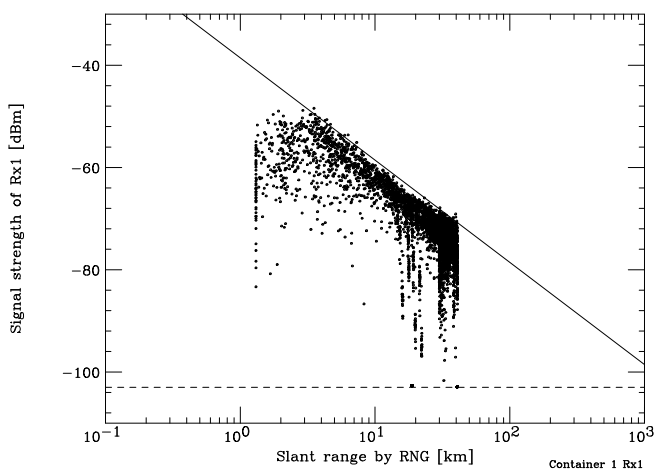


図 6: 直距離と受信機 1 受信強度の関係

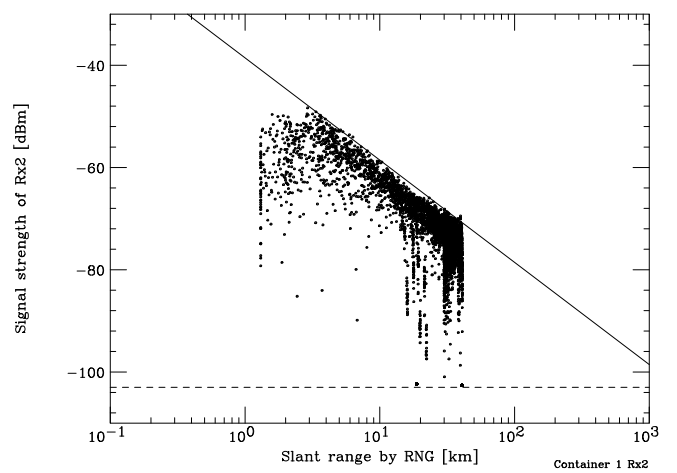


図 7: 直距離と受信機 2 受信強度の関係