

S520-30 号機用 GPS 受信システムの開発と飛行結果

・田中孝治, 福島洋介, 山田和彦, 小山翔平, 森吉貴大^A, 金丸拓樹^A
 ISAS/JAXA, 東京農工大^A

1. はじめに

GPS(Global Positioning System)は、もともと、船舶や航空機の航法のために開発されたシステムであるが、今や、カーナビゲーションシステムをはじめとして、地球上における位置や、正確な時刻取得のために広く利用されている。GPS は、スペースセグメント、コントロールセグメント、ユーザーセグメントの三つのブロックで構成されている。スペースセグメントは、高度約 2 万 km の六つの軌道に 4 基ずつ配置された GPS 衛星から構成される。GPS 衛星は約 12 時間で地球を 1 周する。L1 帯(1575.42MHz)と L2 帯(1227.6MHz)の二種類の信号が航法用に送信されている。コントロールセグメントは、GPS 衛星の監視、制御を行う。衛星の時刻や軌道が許容範囲内にあるように保守を行っている。ユーザーセグメントは、GPS 衛星からの電波を受信して、位置の計算を行う。地上の受信機は、位置情報である緯度、経度、高度に加え、受信機の時計の誤差も未知数となるため、4 つ以上の衛星からの信号が必要となる。

我々は、観測ロケット用 GPS 受信システムの開発を行っている。低コストでの実現を目指しており、初期のシステムとしてオープンソース受信機である NovAtel 社の Superstar II (SSII) を用いた観測ロケット搭載システムを開発し¹⁾、飛行実験に成功した。しかし、SSII の製造中止に伴い、候補となる小型受信機の選定を行い、飛行実験を行った。本論文では、その小型受信機を使用した搭載用 GPS 受信システムの開発と飛行結果に関して報告する。

2. 観測ロケットの要求

観測ロケットに搭載するためには以下の要求を満足する必要がある。

- 1) 高高度での安定動作
- 2) 高速度環境下での安定動作
- 3) 飛行中のダイナミクス下での安定動作
 - (ア) スピン環境
 - (イ) 衝撃、加速度、ジャーク環境
 - (ウ) 温度
 - (エ) 真空
- 4) アンテナ搭載位置の制約
- 5) 電磁波、ノイズ等干渉

観測ロケットは、直径 310mm の S310 シリーズと直径 520mm の S520 シリーズの二種類がある。我々は、両シリーズに共通で使用可能な GPS 受信システムの開発を目指している。観測ロケットは数分間の飛行において、最大高度は 100km 以上、速度は 1km/s 以上となる。地上用受信機は通常高度規制、速度規制がある。一般に、速度規制は 514m/s、高度規制は 18km である。観測ロケットでは、この規制を解除した GPS 受信機が必要である。また、打上げ直後の高加速度、高ジャーク条件に対応する必要がある。観測ロケットは打上げ直後からスピンを開始し 2Hz 程度までスピンアップを行う。アンテナ搭載位置にも制約があり、ロケットのスピンと搭載位置を考慮した受信アンテナシステムの開発が必要となる。また、テレメータ装置等の電波放射源が搭載され、ミッション機器にはマイコン等の電子機器が搭載される。テレメータ装置から放射される電波や各種搭載機からのノイズに対して高い耐性を有する必要がある。

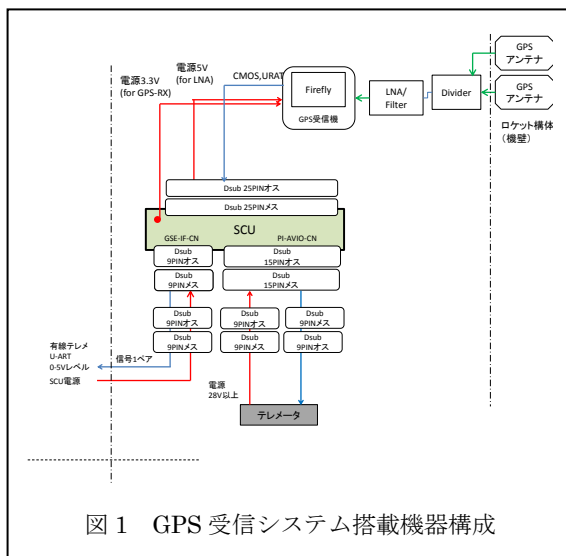


図 1 GPS 受信システム搭載機器構成

3. 搭載 GPS 受信システムの開発

搭載システムの概略を図1に示す。今回、衛星及びロケット搭載向けに開発された小型省電力GNSS受信機fireflyを用いた。ロケットの機壁に2つのアンテナを搭載しRF合成を行うアンテナシステムを採用した。搭載アンテナは飛行中に高温環境にさらされるため、高

い温度耐性が必要である。受信信号は、テレメータの信号からの影響を除去するフィルタを介してLNAに入り、受信機に入力される。受信機からの測位データは、SCU(Subsystem Control Unit)を介して、テレメータ装置へ送られる。システム開発のために以下の試験を実施し、動作特性を確認した。

1) 地上での機能性能確認試験

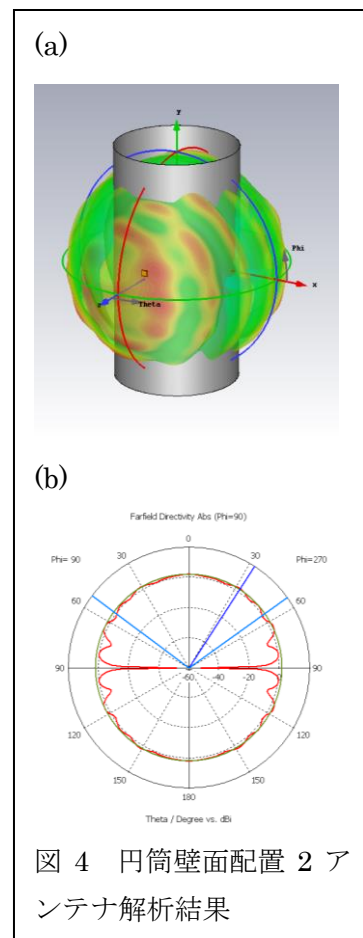
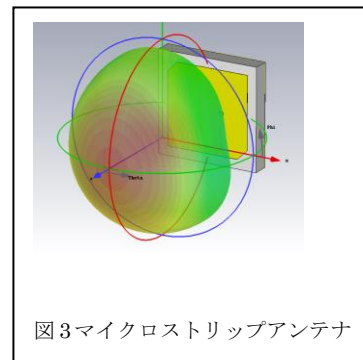
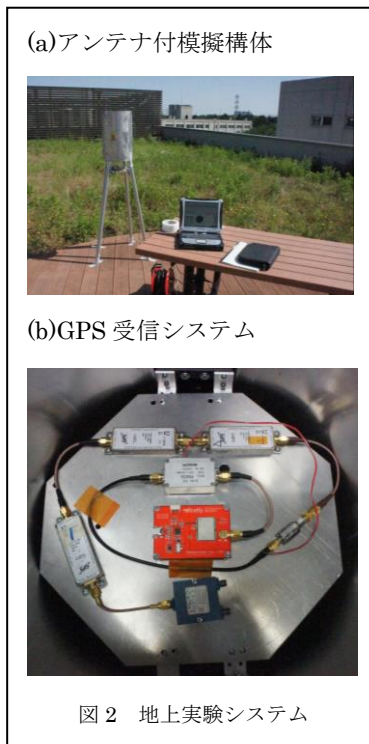
金属円筒からなる観測ロケットの模擬構体を製作し、試験用受信アンテナを用いた機能、性能確認試験を実施した。写真を図2に示す。受信レベルから、LANに必要なゲインを決定した。また、打上げ環境における受信状況を推測するために、ロケット模擬構体の近傍に金座板を置き、再放射器を用いて測位状況の確認を行った。

2) 観測ロケット用環境試験

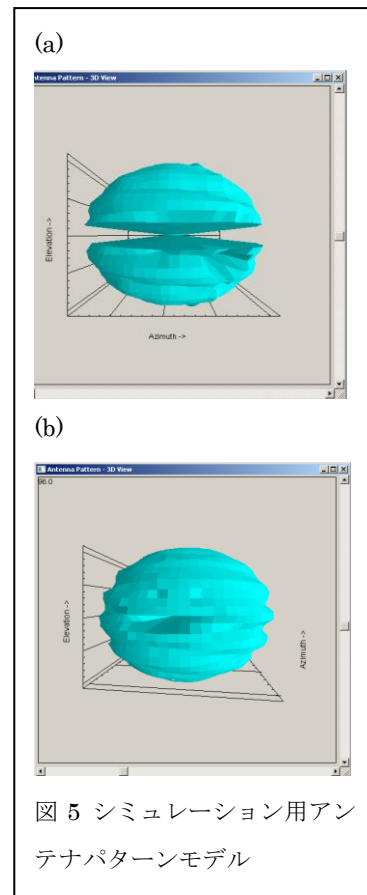
上記試験の後、観測ロケット搭載機器で定められている環境評価試験を実施した。実施項目は、真空試験、温度試験、振動試験、衝撃試験である。真空チャンバ内にGPS受信機を設置しRFケーブルを用いてGPS信号を入力し減圧環境下での測位動作を検証した。真空度は、1Pa以下まで減圧した。温度試験では、恒温槽内に受信機を設置し、RFケーブルでGPS信号を送り動作確認を行った。試験温度範囲は、0-60℃である。JAXA宇宙科学研究所内にある振動試験装置を用い、振動衝撃試験を実施した。観測ロケットS310、S520のCI部の環境条件で試験を実施、問題ないことを確認した。

3) 飛行シミュレーション

ロケットダイナミクス考慮した検証は、GPSシミュレータを用いて行った。使用したシミュレータは、SPIRENT社のGNSS simulator、GSS8000である。また、アンテナ解析をCST MW Studioで行い、その結果を基に、GPSシミュレータでのアンテナパターンを作成した。右旋円偏波アンテナのシミュレーションモデルを図3に示す。アンテナ前面に放射特性を示す。アンテナゲインは4.686dBiである。このアンテナを2個円筒上に配置したシミュレー



シミュレーションモデルと放射パターンを図4(a)に示す。Phi=90° と 270° の放射パターンを図4(b)に示す。メインローブの最大利得は2.41dBiである。この結果を基に、GPSシミュレータで使用するアンテナパターンモデルを作成した。Theta=±90°で深い切れ込みが生じるため、この影響を見るために二種類のモデルを作成した。モデルを図5(a)、(b)に示す。(b)はTheta=±90°の切れ込みを±2.5°の範囲で40dB損失を仮定している。図6(a)、(b)にシミュレーションを行った機体の速度と高度を示す。横軸は打上げ時刻を0秒とした時刻である。図6(c)に機体の天頂方向からの角度の変化を示す。今回のシミュレーションでは、ほぼ80°で打上げ、慣性飛行に移行後、機体軸が0°つまり、地表面に対して水平まで変化した場合の条件を用いた。スピン条件は、スピン無、1Hzでスピンの2条件で実施した。結果を図7(a)、(b)、(c)に示す。(a)はスピンなしの場合である。測位開始後に打ち上げを行う。打上げ直後の高加速度、高ジャーク環境下でも、安定して測位が行われることを確認した。一方で、機体軸が変化した時、捕捉衛星数が大きく変化することがわかる。スピン条件では、打上げ直後の高加速度、高ジャーク条件下では、捕捉衛星数が減少し、慣性飛行移行後に徐々に衛星捕捉数が増えることがわかったが、受信レベルを適切に設定すれば、測位を継続することを確認した。機体軸の変化に対しては、衛星捕捉数の変化が少ないことを確認した。観測ロケットは、打ち上げ時はスピンドアップを2Hz程度まで行うが、搭載ミッションによりスピンドアウンあるいはスピンを止める場合がある。この時、基軸方向により測位に影響がでる可能性があることがわかった。



4. 飛翔実験

S520-30号機にGPS受信システムを搭載し、測位実験を行った。観測ロケットの速度と高度、衛星測位数と受信機のステータスを図8に示す。受信機のステータスは、“2”の場合、通常状態での測位を示し、“0”の場合、測位が行われていないことを示す。打上げ直後の衛星捕捉と測位は、スピン有のシミュレーション結果と傾向はよく一致した。また、本号機は、ミッションからの要請によりスピンを停止する運用を行っている。そのため、慣性飛行移行後も、放射パターンと衛星配置の条件により、衛星捕捉数が変化し、ロックオフモードも生じたと考えられる。

5. まとめ

観測ロケット用にfirefly GNSS受信機モジュールを用いた、GPS受信システムを開発し、飛翔実験により機能性能の確認を行った。観測ロケットの打上げ直後の高加速度、高ジャーク条件に対しては、耐性が十分であることを確認した。一方で、慣性飛行後に、ロックオフが生じ、測位が中断する現象が見られたが、これは、シミュレーション結果からも、スピンを停止した場合のロケット搭載のアンテナ条件とGPS衛星の位置関係で生じると考えられる。搭載アンテナに関しては、若干の改良が必要であることがわかった。

参考文献

1) T. Ebinuma, H. Saito, K. Tanaka and T. Miyoshi, "GPS Receiver Design for Spin-Stabilized Launch Vehicles", 27th ISTS, 2009-d-64.

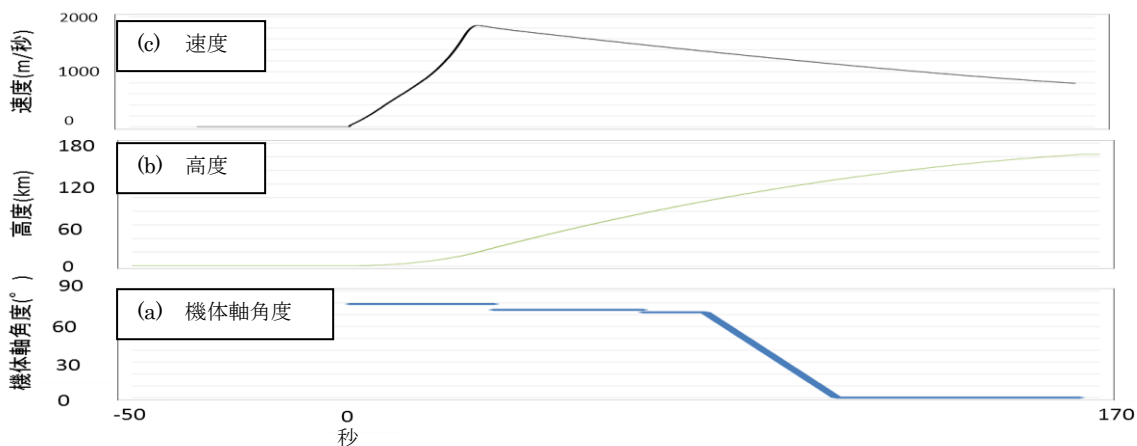


図6 シミュレーション条件

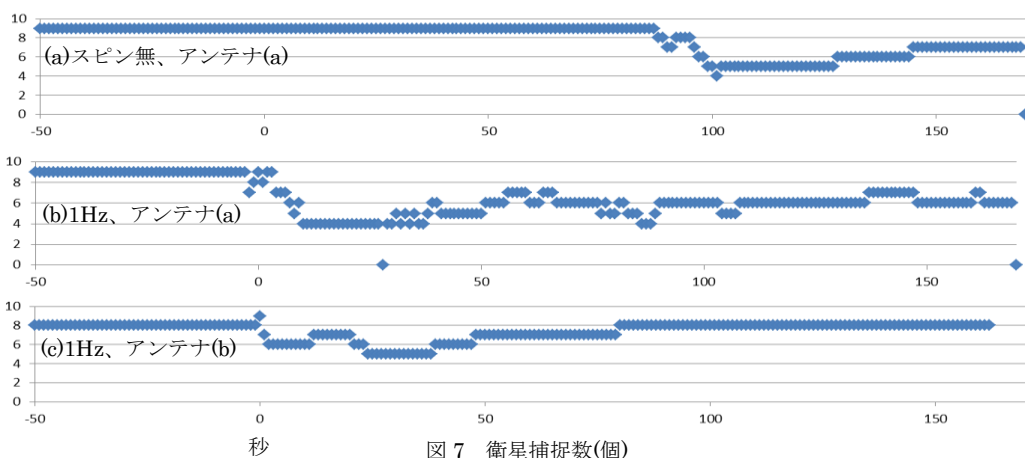


図7 衛星捕捉数(個)

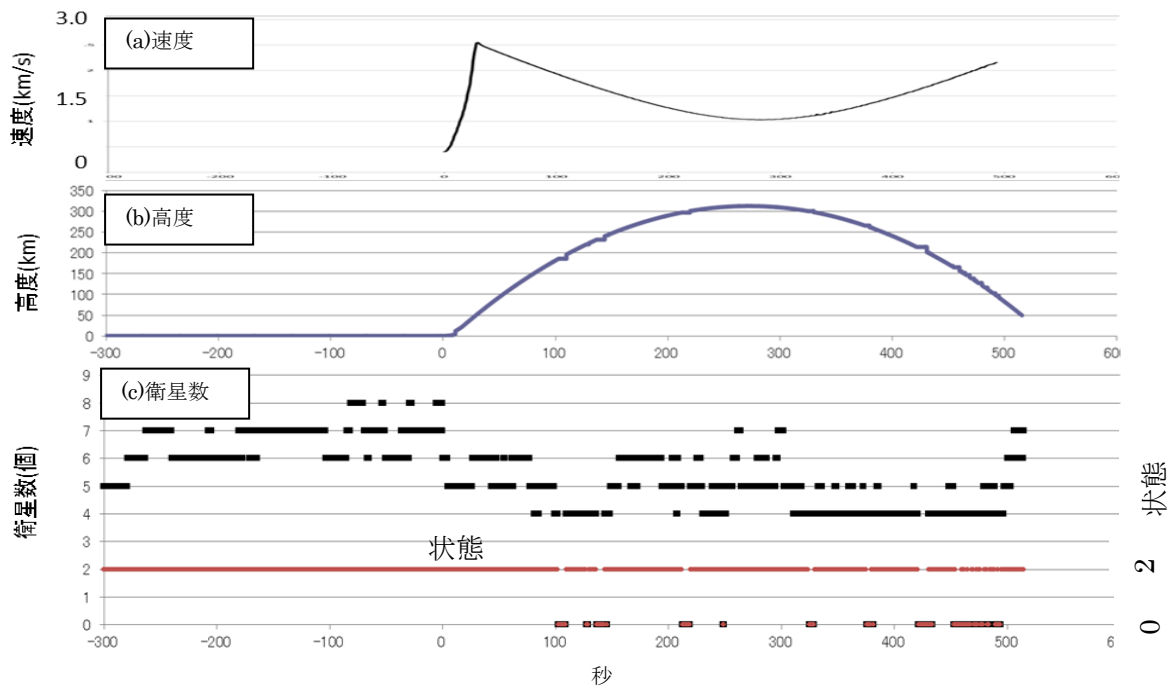


図8 飛行実験結果

(a)速度、(b)高度、(c)衛星捕捉と測位状態 (2:通常測位、0:ロックオフ)