

## 準天頂衛星初号機「みちびき」技術実証結果

平林 毅(宇宙航空研究開発機構)

Technical Verification Results of QZS-1 “MICHIBIKI”

Takeshi Hirabayashi (JAXA)

hirabayashi.takeshi@jaxa.jp

Key Words: MICHIBIKI, QZSS, QZS-1, Technical Verification

### Abstract

JAXA launched the Quasi-Zenith Satellite 1 (QZS-1) called “MICHIBIKI” on September 11<sup>th</sup> 2010. After the on orbit checkout for 3 months, JAXA started technical verification of satellite navigation technology using MICHIBIKI. On June 22<sup>nd</sup> 2011, MICHIBIKI navigation signals were set healthy when the performance of MICHIBIKI met the IS-QZSS (Interface Specification for QZSS). This paper describes the technical verification results of QZS-1 “MICHIBIKI”.

### 1 はじめに

宇宙航空研究開発機構(JAXA)は、平成 22 年 9 月 11 日に準天頂衛星初号機「みちびき」を打上げた。約 3 カ月に渡る初期機能確認を終了し、平成 22 年 12 月 15 日に測位信号を非標準コード(一般ユーザは受信出来ないコード)から、標準コードへと切替えて、技術実証を開始した。

パラメータチューニング等を実施し、測位性能の改善を図り、アベイラビリティ、インテグリティ、精度等のシステム性能が「準天頂衛星システムユーザインタフェース仕様書(IS-QZSS)」を満足することを確認した後に、平成 23 年 6 月 22 日に L1C/A 及び L2C 信号、同 7 月 14 日に L5 及び L1C 信号のアラートフラグを解除し、測位信号の提供を開始した。その後、安定的に測位信号の提供ならびに運用を実施している。本稿では、「みちびき」のシステム概要ならびに技術実証結果について紹介する。

### 2. 「みちびき」のシステム概要

「みちびき」の軌道上外観図を図 1 に、主要諸元を表 1 に示す。「みちびき」は、6 つの測位信号を配信しており、このうち 4 つの信号(L1-C/A、L1C、L2C、L5)は GPS と相互運用性を有する信号であり、都市部や山間部などにおける測位可能エリア・時間を増大する

GPS 補完の実証実験に活用される。残り 2 つ(L1-SAIF、LEX)の信号は、GPS の精度や信頼性を補強するための「みちびき」独自の信号である。

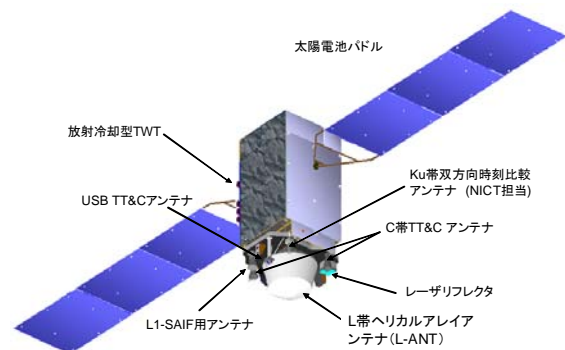


図 1 「みちびき」の軌道上想像図

表 1 「みちびき」の主要諸元

項目	諸元
打上げ	ロケット:H-IIA (H2A-202) 18 号機 打上げ:平成 22 年 9 月 11 日
軌道	準天頂軌道 (離心率:0.075、軌道傾斜角:41 度、周期:23 時間 56 分 4 秒)
質量	約 4t (ドライ質量:約 1.8t)
設計寿命	10 年 (目標 12 年)
衛星サイズ	2.9m(D)×3.0m(W)×6.0m(H) @ 打上げ時 2.9m(D)×25.3m(W)×6.0m(H) @ 軌道上

発生電力	5.3kW 以上 @EOL		
ミッション機器 (測位ペイロード)	L 帯測位信号 (4 周波 6 信号)	L1C/A	1575.42MHz
		L1-SAIF	
		L1C	1227.60MHz
		L2C	
		L5	
LEX	1278.75MHz		

「みちびき」システムの全体概要図を図2に示す。「みちびき」の補完信号は、JAXA マスターコントロール実験局で生成している。また、補強信号の L1-SAIF 信号については、電子航法研究所(ENRI)もしくは衛星測位利用推進センター(SPAC)が生成し、時間を分けて送信をしている。もう一つの補強信号である LEX 信号については、JAXA 及び SPAC が同様に時間を分けて送信している。

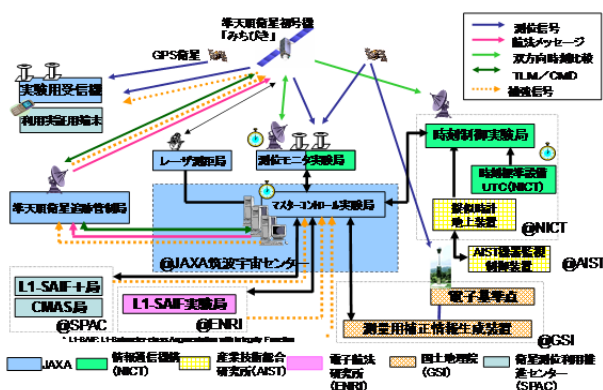


図2 「みちびき」システムの全体概要図

図3に、地上局の配置図を示す。マスターコントロール実験局は、筑波宇宙センターに配置し、また、GPS および「みちびき」の信号が受信出来る測位モニタ実験局を国内外9か所に、GPS のみの信号が受信できる測位モニタ実験局を3か所配置している。準天頂衛星追跡管制局を、JAXA 沖縄通信所に2局設置している。

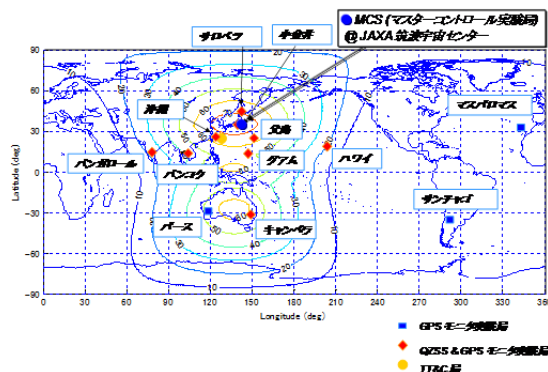


図3 「みちびき」地上システム配置図

### 3. 技術実証の概要と成果

JAXA は関係機関と協力し、「みちびき」を用いた技術実証を進め、JAXA では主に2種類の技術実証を実施してきた。表2にJAXA が担当する技術実証の概要を示す。以降では、各技術に対する技術実証結果について示す。

表2 JAXA 担当の技術実証概要

技術識別	概要
GPS 補完システム技術	GPS 補完信号を送信し、GPS との組み合わせによって利用可能エリアの拡大や利用可能時間を増加させるとともにインテグリティ機能などを確認する実験 (GPS 補完信号利用)
次世代衛星測位基盤技術	GPS 及び QZSS 測位補正情報を生成し、測位信号として送信し、測位性能を向上できることを確認する実験 (LEX 信号利用)

#### 3.1. GPS 補完システム技術

「みちびき」からの測位補完信号が、IS-QZSS の仕様を満足することを確認した上で、平成23年6月22日にL1C/A、L2C信号、同7月14日にL5、L1C信号のアラートフラグを解除し、測位補完信号のユーザへの提供を開始した。その後の長期的評価の観点から、アラートフラグ解除以降の「みちびき」の軌道・時刻精度 (SIS-URE: Signal-in-Space User Range Error) の状況を図4(平成23年)、図5(平成24年)ならびに図6(平成25年)に示す(注:平成25年は9月末まで)。なお、図中の空白部分は、軌道保持制御アンローディング

グ運用、搭載時計を地上から制御する特定の技術実証実験(AIST 擬似時計実験)等により、アラートフラグを付加した時間帯であり、ユーザは本期間の信号を使用しない。

これらの2年以上に渡る SIS-URE のトレンドを見ても、安定して RMS で約 0.4m、95% 精度で約 0.8m の SIS-URE 精度を提供し続けており、要求仕様 2.6m(95%)に対して、十分満足し続けている。これは、GPS の Block-IIR 等の近代化 GPS に匹敵する SIS-URE 精度である。

また、H25 年の SIS-URE トレンド(図 6)は、これまでの RMS 値約 0.4m から 0.35m 程度に改善しており、各種のソフトウェア改修やパラメータチューニングによる性能・安定性改善の効果が現れたためと考えられる。

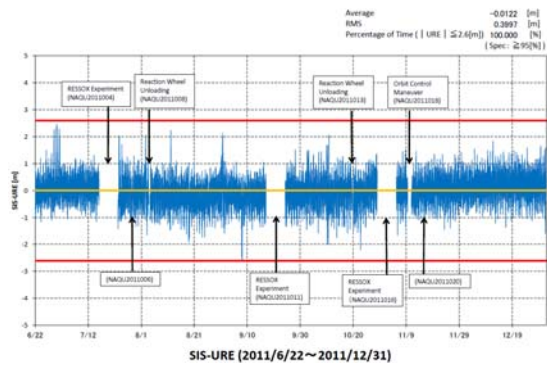


図 4 SIS-URE トレンド (H23.6.22~H23.12.31)

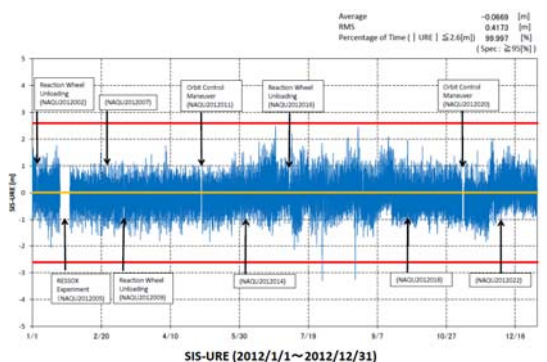


図 5 SIS-URE トレンド (H24.1.1~H24.12.31)

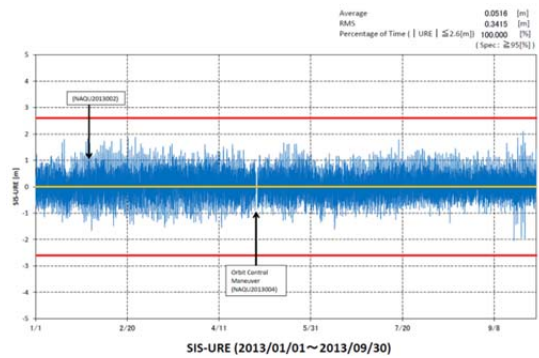


図 6 SIS-URE トレンド (H25.1.1~H25.9.30)

「みちびき」から GPS と相互運用性を有する信号を提供することにより、測位可能時間率の向上を図ることが出来る。本確認のため、都市部東京新宿で受信実験を行った結果を図 7 に示す。新宿での受信実験の場合、GPS のみでは 28.5%であった測位可能時間率が、「みちびき」を加えることで、70.0%に改善し可視性改善を確認することが出来た。



図 7 1 周波測位における測位可能時間率改善例 (新宿)

「みちびき」からは、所定の SIS-URE 精度の提供だけではなく、日本近傍域にフィッティングした電離層補正パラメータを送信しており、ユーザの測位精度の改善を図っている。GPS による電離層補正パラメータを使用した場合と「みちびき」による電離層補正パラメータを使用した場合における 1 周波ユーザ測位精度(水平方向)を図 8 に示す。図 8 より、電離層補正パラメータとして、GPS のパラメータを使用した場合と比較して、「みちびき」のパラメータを使用した場合、どの季節

も 30%~40%程度と大きくユーザ測位精度が向上していることが分かる。高精度の電離層補正パラメータを含む複数の電離層補正パラメータを、ID を分けて生成・送信し、エリア毎に 1 周波ユーザの測位精度を改善することは有用と考えられる。

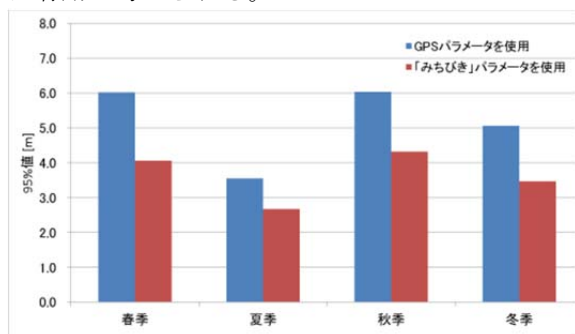


図 8 GPS+「みちびき」による 1 周波水平方向のユーザ測位精度(GPS v.s. 「みちびき」パラメータ)

また、精度改善だけでなく、アベイラビリティ向上の観点から、アンローディング頻度の低減を実施してきた。軌道上で得られたリアクションホイールの蓄積角運動量の過去の推移を元に、蓄積角運動量の変化を予測した上で、軌道制御の際にリアクションホイールの蓄積角運動量にバイアスを設定する手法である。この手法により、予定してアラートフラグを付加するのは約半年に 1 回の軌道制御のみで、今後はアンローディング単独運用は不要とすることでアベイラビリティ向上を図る目途を得ることが出来た。

これらの工夫により、現在、アベイラビリティは、約 98.9%と、要求仕様である 95%以上を十分に上回る高い稼働率で、「みちびき」からの測位信号の提供を継続している。

### 3.2. 次世代衛星測位基盤技術

次世代衛星測位基盤技術として、図 9 に示す単独搬送波位相測位(PPP)の高精度化実験システムを構築し、2 周波単独搬送波位相測位の技術実証を行ってきた。

H25.1.13~1.20 の 8 日間における「みちびき」の可視範囲にある IGS(International GNSS Service)15 局について、IGS 観測局 89 局の観測データを用いて、複数 GNSS 対応高精度軌道時刻推定ツール(MADOCA)により後処理生成した軌道・クロック情報により後

処理 PPP 解析を実施した。

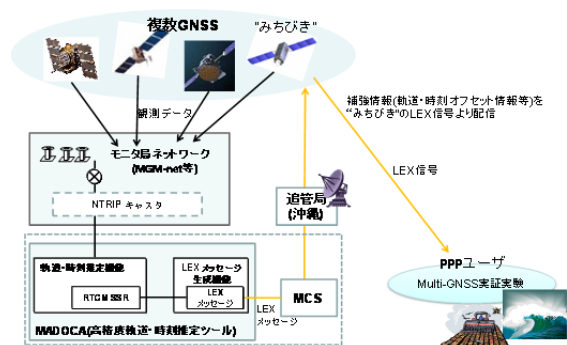


図 9 単独搬送波位相測位高精度化実験システム

全 15 局で評価を行った結果を図 10 に示す。15 局平均で水平方向 3.8cm、垂直方向 5.6cm となり、MADOCA-PPP 方式で目標とした精度(水平方向精度 10cm (RMS)以下、垂直方向精度 10cm(RMS)以下)を達成した。リアルタイム対応については、今後、長期評価や安定性の向上を実施する必要がある。

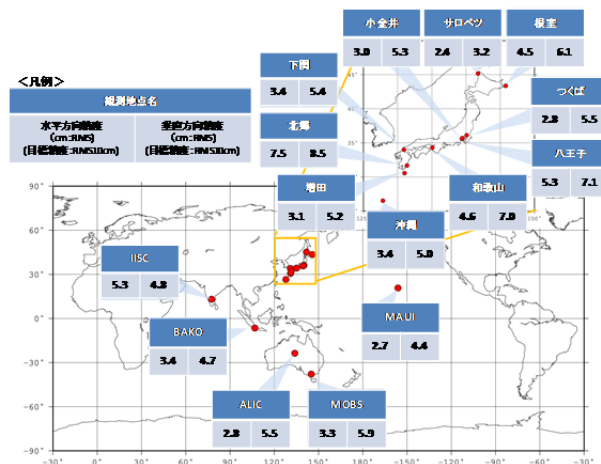


図 10 MADOCA-PPP 精度確認結果 (後処理)

### 4. おわりに

本稿では、JAXA の技術実証結果を紹介した。2 年以上に渡って、安定的に測位信号の提供を継続しており、今後も、国の受け入れ準備が整うまでの期間、「みちびき」の運用を継続する予定である。

最後に、「みちびき」システムの開発、技術実証、ならびに運用に協力頂いた関係機関並びに関係メーカ各位、「みちびき」のユーザに心から感謝申し上げます。 ■