

# 特集 打上げ間近か準天頂衛星

## 1. 準天頂衛星初号機「みちびき」の準備状況と技術実証

(独)宇宙航空研究開発機構

寺田弘慈

### 1. はじめに

**準**天頂衛星システムとは、日本付近で常時天頂付近に1機以上の衛星が見えるように、複数の衛星を準天頂軌道(異なる軌道面)に配置した日本の衛星測位システムです。GPS(Global Positioning System)と組み合わせることにより、ユーザは山間地・ビル陰等に影響少なく、高度な衛星測位サービスの提供が可能となります。宇宙航空研究開発機構(JAXA)は、平成22年度の初号機打上げに向けて、関係機関と協力して準天頂衛星システムの開発、並びに技術実証の準備を行っており、本稿では、最新の開発状況と技術実証計画などについて紹介します。

### 2. 準天頂衛星システム計画の推進体制

準天頂衛星システム計画は、複数の府省が連携して推進される国家プロジェクトです。図1に「地理空間情報活用推進会議」(平成20年5月に「測位・地理情報システム等推進会議」名称変更)から引用した準天頂衛星システム計画の推進体制と計画を示します。「測位・地理情報システム等推進会議」は、平成17年9月に内閣に設置され、研究開発関連府省として文部科学省、総務省、経済産業省、国土交通省が主要なメンバーとなっています。

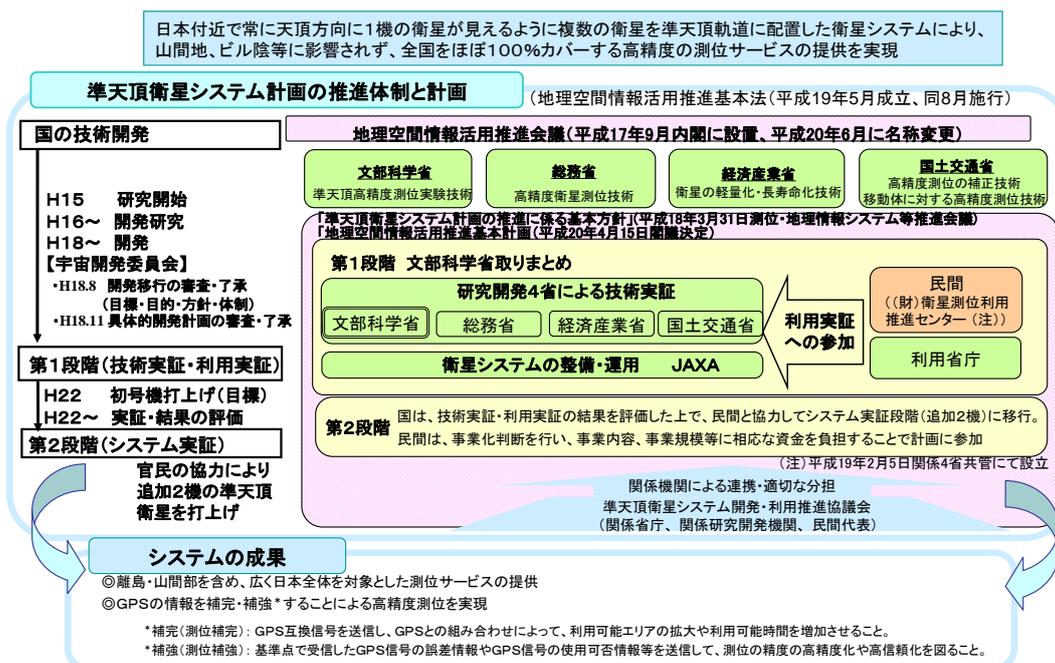


図1 準天頂衛星システム計画の推進体制と計画

平成 18 年 3 月 31 日に、「準天頂衛星システム計画の推進に係る基本方針」という重要な決定がなされ、この時点までは、官民協力による相乗りミッション、つまり民が行う放送ミッションと官が行う測位ミッションを行うことで計画が推進していましたが、民が相乗りの放送ミッションの事業化を断念したため、官が主体となる測位ミッション単独の衛星システムとなりました。また、計画は、準天頂衛星初号機による技術実証・利用実証の結果を評価した上で追加の2機の準天頂衛星を打ち上げるという段階的な進め方になっています。この方針では、第1段階の準天頂衛星システムの整備・運用は、JAXA が担当し、第2段階は、国は、民間と協力して移行するとなっています。この民を代表する機関として、平成 19 年 2 月に、関係4省共管にて財団法人衛星測位利用推進センター（SPAC）が設立され、民間が行う利用実証のとりまとめを行っています。

### 3. 準天頂衛星システムの構成

準天頂衛星システムの構成は、宇宙セグメントつまり準天頂衛星初号機と地上セグメントによって構成されています。地上セグメントは、JAXA が開発・整備する追跡管制局やマスターコントロール局、測位モニタ実験局、レーザ測距局などのほかに情報通信研究機構（NICT）、産業技術総合研究所（AIST）、電子航法研究所（ENRI）、国土地理院（GSI）などの関連の研究開発機関が開発・整備する時刻制御実験局、擬似時計装置、L1-SAIF 実験局、測量用補正情報生成装置などから構成されます。図2に、準天頂衛星システムの構成図を示します。

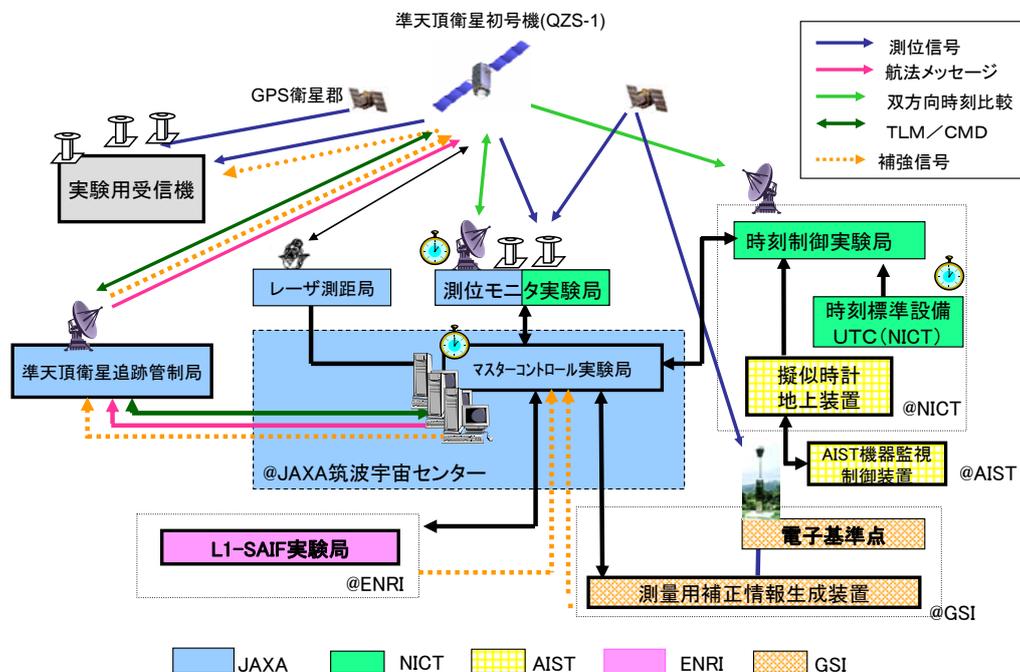


図2 準天頂衛星システム構成図

#### 4. 準天頂衛星初号機の概要

準天頂衛星初号機は、打上げ時の質量は約4トン、寿命は10年、12年以上の燃料を搭載します。形状は、2翼の太陽電池パドルをもつ箱型の衛星で、種子島宇宙センターより、H-IIA ロケットにより打上げる計画です。

平成 20 年度に詳細設計を完了し、引き続き、三菱電機鎌倉製作所において、フライトモデルの製作・試験を行っており、現在、システムプロトフライト試験中です。平成 22 年度の打上げを目指しており、打上げ後、3 ヶ月間の初期機能確認試験を行った後、技術実証、利用実証を行っていく予定です。(図3)

| 項目      | 諸元  |
|---------|---|
| 外觀形状    | 箱型(左図)  |
| 質量      | 約4トン(ドライ質量約1.8トン)                                     |
| 発生電力    | 約5kW  |
| 姿勢      | 三軸安定<br>測位アンテナを地心方向指向                                 |
| 測位用信号等  | 測位信号:GPS相互運用信号+独自信号<br>時刻比較:Ku帯                       |
| 寿命      | 10年(バッテリー、太陽電池、推進:12年)                                |
| 軌道      | 準天頂軌道(軌道傾斜角:約45度、離心率:約0.1、周期:23時間56分、軌道長半径:約42,000km) |
| 打上げロケット | H-IIAロケット   |



＜準天頂衛星初号機の開発スケジュール＞

| 平成19年度<br>(2007年度) | 平成20年度<br>(2008年度) | 平成21年度<br>(2009年度)                | 平成22年度<br>(2010年度) | 平成23年度<br>(2011年度)      |
|--------------------|--------------------|-----------------------------------|--------------------|-------------------------|
| ▲基本設計完了<br>基本設計    | ▲詳細設計完了<br>詳細設計    | ▲フライトモデルの製作・試験等<br>フライトモデルの製作・試験等 | ▲初号機打上<br>初期機能確認運用 | ▲技術実証・利用実証<br>技術実証・利用実証 |
| ←←                 |                    | ←                                 | →←←                | →                       |

図3 準天頂衛星初号機の概要と開発スケジュール

#### 5. 高精度測位実験機器(搭載系)の開発状況

高精度測位実験機器を構成する L バンドアンテナは、直径が約 1.8mあり、円錐台状の熱制御材の中に、19 素子のヘリカルアンテナが装備されています。

平成 20 年の春にハードウェアの製作が完了し、JAXA 筑波宇宙センターにおいて、アンテナパターン等の電気性能試験を実施し、引き続き、正弦波振動試験、音響試験、熱真空試験の一連の環境試験を実施した後、再度、アンテナパターン等の電気性能試験を実施して、性能に問題ないことを確認しました。(図4)

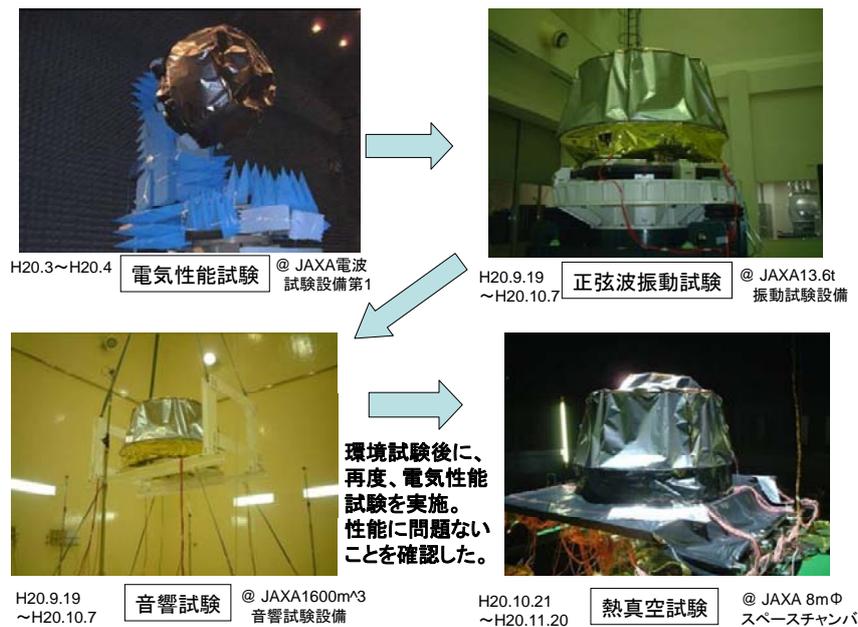


図4 高精度測位実験機器(搭載系)Lバンドアンテナ試験概要

## 6. 衛星システムインテグレーション

衛星システムのインテグレーションは、Lバンドアンテナフライトモデル、測位システム搭載系のフライトモデル(含む、時刻比較装置(NICT開発))が、これらは、サブシステムレベルで、NEC 府中事業場において、電気性能試験、熱真空試験などを行い、平成21年2月から4月にかけて衛星システムを担当している三菱電機殿に引き渡されました。一方、衛星のバス系については、平成20年の10月末に、衛星バス構体の開発・製作を担当した、経産省/NEDO、USEF 殿から JAXA の方に管理移管し、三菱電機鎌倉製作所において衛星システムのアッセンブリ、インテグレーション、テスト(AIT)を開始し、その後、電源系、TTC系、推進系などの各種サブシステム、コンポーネントのPQR、PSRを実施してAITを進めていき、平成21年8月中旬までにこれを完了しました。

## 7. 衛星システムプロトフライト試験(PFT)

衛星システムプロトフライト試験(PFT)は、平成21年8月中旬から三菱電機鎌倉製作所において開始しました。初期外観検査の後、初期電気性能試験を実施し、続いて初期アライメント測定/調整を行い、熱真空試験の準備を経て、10月30日に熱真空試験を終了しました。この後、振動試験、音響試験等の機械環境試験を実施していき、平成22年の4月ころまでにプロトフライト試験を完了する予定です。(図5)

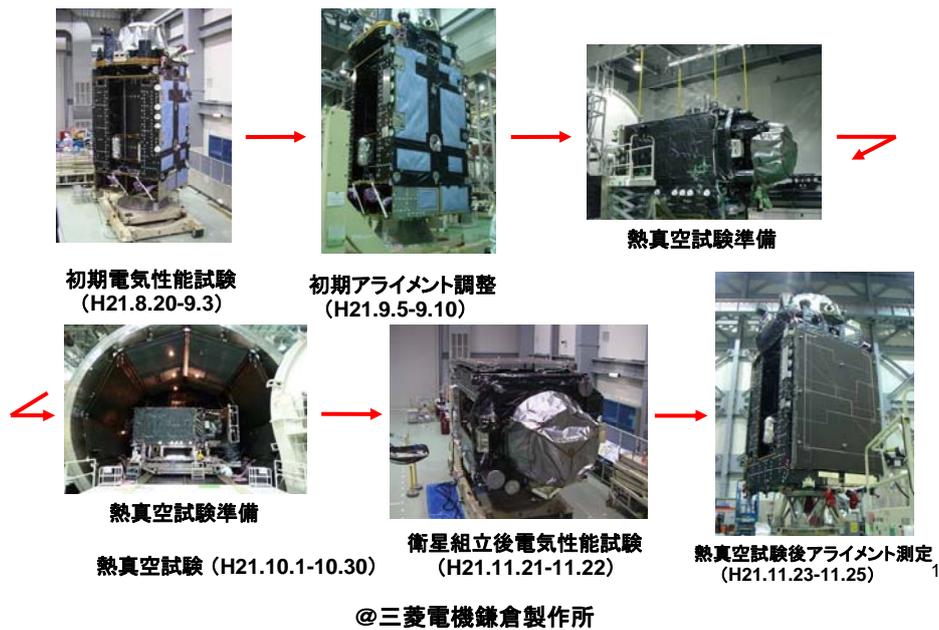


図5 準天頂衛星初号機プロトフライト試験(PFT)

## 8. 地上系システムの整備状況

図6に地上系システムの配置を示す。地上セグメントの開発状況は、マスターコントロール実験局は、筑波宇宙センター内に計算機システムの設置を完了し、総合検証の準備中です。モニタ実験局は、平成21年12月現在、国内4局のうち、小金井、沖縄、サロベツ局の設置、回線工事が完了。海外局は、5局のうち、米国グアムにあるNOAA気象観測所、およびタイ王国バンコックにあるアジア工科大学(AIT)への設置、回線接続が完了していません。米国内への準天頂衛星のモニタ実験局の設置については、米務省からの支援を受けています。追跡管制システムは、JAXAの沖縄宇宙通信所に、2つのレドーム付の直系7.6mのアンテナの設置工事を完了しました。また、筑波宇宙センター内の追跡管制システムが構築され、結合試験を実施しているところです。

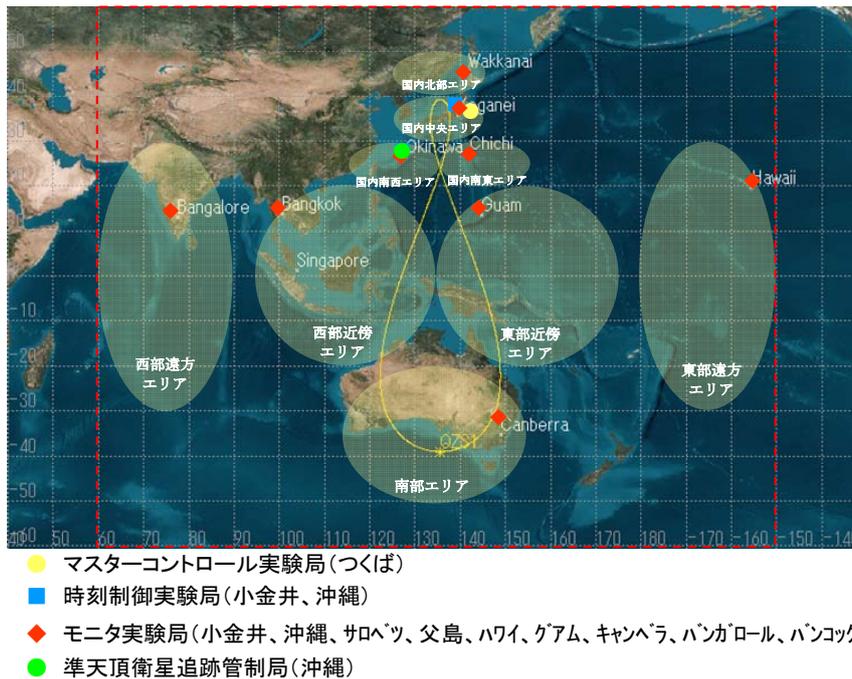


図6 地上系システム配置

## 9. ユーザインタフェース仕様書(IS-QZSS)の状況

ユーザインタフェース仕様書は、1.0 版を平成 20 年 6 月 17 日付けで制定し、公開しました。その後、改訂版として、特に国土地理院殿が実施する GPS 補強実験のための LEX 信号の仕様について記載を追加し、1.1 版ドラフトを平成 21 年 2 月 27 日に公開し、3 月 27 日に東京海洋大学において、第 4 回ユーザミーティングを開催し、ユーザの皆様と意見交換を行った後、7 月 31 日付けで 1.1 版を制定し、公開中です。次回の改定については、「運用情報の提供」と付録の「地上補完システムIMES」の仕様の追加などを主な予定としており、平成 22 年 2 月ころ 1.2 版ドラフトの公開、3 月ころに第 5 回ユーザミーティングの開催を計画しています。

## 10. 技術実証実験計画書

技術実証実験計画書について、技術実証とは、JAXA、NICT、AIST、GSI、および次年度早々に決定される高精度補正技術担当機関が、軌道上の準天頂衛星初号機を用いて実施する実証実験です。技術実証実験計画書は、打上げ前までに、技術実証を実施する機関によりJAXAとりまとめで策定します。技術実証は、3 ヶ月間の準天頂衛星システムの初期機能確認後に開始し、SPAC殿がとりまとめる利用実証計画と整合を図っていきます。

## 11. 技術実証実験の概要

図7に技術実証計画書に記載されている技術実証実験の項目を示します。

E1 の項目は、基本的な性能を検証する実験で、送信信号の品質、干渉を確認する実験です。

E2 の項目は、システム運用アベイラビリティを検証する実験であり、システム総合運用技術も含まれ、衛星測位システムとして、初号機の衛星バスシステム、高精度実験システムトータル 95%の稼働率を目標としています。衛星の軌道保持制御やリアクションホイール角運動量放出時は、測位サービスを中断しなければならないため、95%の稼働率目標を達成するために軌道保持制御運用は平均で 150 日以上、ホイールの角運動量放出運用は 30 日以上の間隔で実施します。さらに、第 2 段階以降のフルシステム構築時に、より高いシステム稼働率が設定できるようにトータルシステムとしての運用手順を確立することを目指しています。

| 実証・実験項目  |   | 実証・実験内容   |  | 担当  |
|--|---|---|--|---|
| E1: 番号   | E11: 送信信号品質   | QZS測位信号の測位性能の検証   |  | JAXA  |
|  | E12: 非干渉・与干渉  | QZS測位信号と他測位システム間の共存性の検証   |  | JAXA  |
| E2: システム運用 (アベイラビリティ)                                      | E21: 衛星系技術  | E211 姿勢制御運用・軌道保持運用  | 姿勢外乱解析・軌道変動解析の妥当性、ホイールアンローディング運用・軌道保持運用の手法の修得を含めた姿勢制御手法・軌道設計手法の妥当性検証                                     | JAXA  |
|  | E22: 地上系技術  | E221: システム運用  | 測位性能(精度、インテグリティ)を維持しつつアベイラビリティを向上させるための、マスターコントロール局及び追跡管制局での運用技術習得に関わる実験。                                | JAXA  |
|  |   | E222: モニタ・集信・配信   | 測位モニタ実験局での測位信号の受信・信号評価手法の修得、それらのマスターコントロール局への集配信に関わる一連の技術の習得に関わる実験                                       | JAXA  |
| E3: インテグリティ  | E31: GPS補完インテグリティ   |   | URA、ALERTフラグ、ヘルス等の補完インテグリティ情報の生成、補完信号でのユーザへの通知、及びそれらがインテグリティ性能等を満足することを確認する実験。                           | JAXA  |
|  | E32: SAIFインテグリティ  |   | UDREI等のSAIFインテグリティ情報の生成、SAIF信号でのユーザへの通知、及びそれらがインテグリティ性能を満足することを確認する実験。                                   | ENRI  |
|  | E33: LEXインテグリティ   |   | LEXインテグリティ情報の生成、LEX信号でのユーザへの通知、及びそれらがインテグリティ性能を満足することを確認する実験。  | JAXA  |
| E4: 精度   | E41: 軌道時刻推定   | E411: 軌道時刻推定  | QZS、GPS衛星の軌道と時刻をリアルタイムならびにポストプロセスで推定する実験。  | JAXA  |
|  |   | E412: GNSS時刻オフセット推定   | 他のGNSSとの組み合わせの為に必要なGNSS時刻オフセットを推定し、それを測位誤差により検証する実験。   | JAXA& NICT  |
|  |   | E413: 電離層遅延推定   | 電離層遅延量の推定精度を評価検証する実験。  | JAXA  |
|  |   | E414: 時刻比較  | 地上-衛星間、衛星経由地上間の双方向時刻比較や、搭載時刻比較装置により、QZSシステム内外の時刻比較を実施し、精度を検証する実験。  | NICT  |
|  | E42: 航法メッセージ  | E421: 補完メッセージ生成   | GPS互換かつ高精度の航法メッセージを生成し、Lバンド測位信号(L1-C/A、L2C、L5)に乗せて送信する実験。これにより、(GPSと合わせて)高い信頼性を確保し、高精度測位が可能であることを検証する実験。 | JAXA  |
|  |   | E422: SAIFメッセージ生成   | 広域GPS補強実験局において、GPS乃至QZSS(暫定)の測位補正情報(軌道、時刻、伝搬補正情報)及びインテグリティ情報を仕様を満足して生成・送信できることを確認する実験。                   | ENRI  |
|  |   | E423: LEXメッセージ生成  | E4231: 高精度測位補正等技術(測量向け)  | GPS向けの測位補正情報を測量用補正情報生成装置にて生成し、LEX信号によって送信し、GPS測量への高精度補正に適用できることを確認する実験。 |
| E4232: DGPS  | GPS及びQZSS測位補正情報(軌道、時刻、伝搬補正情報)を生成し、LEX信号によって送信し、測位性能を向上できることを確認する実験。 |   | JAXA   |   |
| E5: MCAR (Multi Carrier Ambiguity Resolution)(次世代衛星測位基盤技術) |   | 3周波乃至4周波によるユーザ測位性能が改善できることを確認する実験。(TBD)                                     |  | JAXA  |
| E6: 擬似搭載時計   |   | 地上において高安定周波数基準により通信回線を使って搭載水晶発振器を連続的に校正し、それを周波数基準として測位信号の生成が可能であることを確認する実験。 |  | AIST  |

■ GPS補完技術実験 ■ GPS補強技術実験 ■ 次世代衛星測位基盤技術実験

図7 技術実証計画書概要

E3 の項目は、E3 のインテグリティ性能に関する技術実証です。インテグリティ性能とは、「完全性」つまり情報の正確さを表す信頼性の尺度で、測位誤差が、許容範囲内にあることを保障し、あるいは、許容範囲をはずれる場合は、それを確実に通知する性能です。L1C/A などの GPS 補完信号、LEX 信号では、常時3局以上のモニタ局において QZSS と GPS 衛星の測位信号を監視、異常検知時は速やかにユーザに通知します。さらに、QZSS に異常が発生した場合、ユーザが誤った信号を受信、使用しないようにユーザ保護の観点から、所定の時間内に非標準コードに切り替えるという機能／性能を実証します。実際の

実験では、航法メッセージを意図的に操作し、測位モニタ実験局で異常信号を受信するようにし、マスターコントロール実験局での異常判定内容をGPS補完信号によりユーザに通知します。この間の時間、つまり、異常信号を受信してからユーザに通知するまでの時間を計測します。

E4の項目は、精度を検証する実験です。E41の項目としているのが、軌道・時刻の推定・予報で、国内外9局設置する測位モニタ実験局で、QZSS/GPSのLバンド測位信号を取得し、衛星の軌道と時刻のずれを推定します。E414では、NICTが実施する時刻比較実験を行います。

## 12. おわりに

現在、平成22年度の準天頂衛星初号機の打上げに向けて、衛星の試験、地上系の整備・試験を鋭意進めているところです。今後も、信頼性・品質の確保のためにプロジェクト一丸となり、着実かつ確実な検証を実施していく所存です。また、打上げ後速やかに技術実証実験を実施し、所定の精度等を達成していく予定です。

また、準天頂衛星初号機の愛称について、平成21年10月16日から平成21年12月16日までの期間に一般の方々から募集を行い、11,111通の応募があり、選定の結果「みちびき」に決まりました。

おわりに、準天頂衛星システムの開発および運用準備にあたり、ご協力頂いている関係機関ならびに関係メーカー各位に心より謝意を表します。 ■