

(独)情報通信研究機構

浜 真一、高橋 靖宏、雨谷 純、藤枝 美穂、中村 真帆

1. はじめに

準天頂衛星(QZSS)プロジェクトにおいて、情報通信研究機構(NICT)は時刻管理系の搭載系・地上系を総務省からの受託で開発、初号機打ち上げの後、実証実験を行います。時刻管理系は搭載系と地上系から成り立っています。

時刻管理系の目的は表1に示すようにいくつかありますが、中でも衛星搭載周波数標準器(準天頂衛星では Rb 原子時計)と地上局の原子時計との間の時刻・周波数差を、双方向比較技術を用いて高精度に測定し、QZSS システム時刻と GPS システム時刻との関係をモニタするのが最も主要な機能です。QZSS 衛星の軌道と時計パラメータは、多数の地上 L 帯モニタ局のデータを基にして推定されますが、それとは独立な手段で時計パラメータを推定することになります。他の機能としては、搭載原子時計のふるまいをモニタする機能、L 帯信号 3 波(L1、L2、L5)の比較、という機能も持っています。

表1 時刻管理系の主な目的

搭載原子時計と地上の時刻制御実験局(TMS)との時刻・周波数差を高精度に計測
搭載原子時計(2 台の Rb 周波数標準と衛星基準クロック)のふるまいをモニタ
L1(L1 C/A と L1-SAIF)、L2、L5 信号間の時刻差を計測
TMS、モニタ局、USNO * 間の時刻比較

* : 米国海軍天文台 ; GPS システム時刻の基となる UTC(USNO)を生成

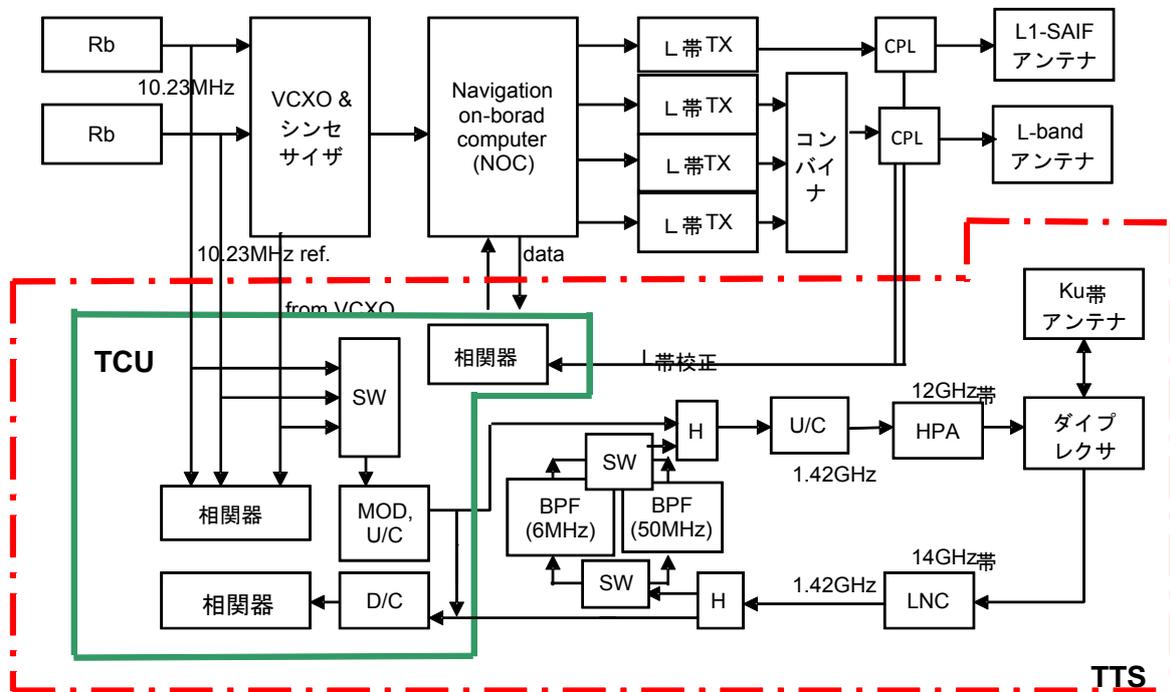


図1 測位ミッション搭載機器のブロック図(冗長系を除く)

図1に搭載系の構成を示します。下部の赤枠内が時刻管理系の搭載品(TTS: Time Transfer Subsystem)です。緑枠に囲まれたのが、TTS の心臓部である高精度時刻比較装

置(TCU:Time Comparison Unit)です。衛星・地上間の時刻・周波数の比較では、途中にある電離層等の伝搬路の影響をキャンセルできる双方向方式を利用し、ランダム成分で0.3ns、バイアス成分で1.0ns以上の精度での時刻比較をめざします。TTSの残りの部分は衛星・地上間の通信をKu帯で行うものです。ベントパイプ機能も有し、非静止衛星を用いた地上局間の衛星双方向時刻・周波数比較実験に使われます。

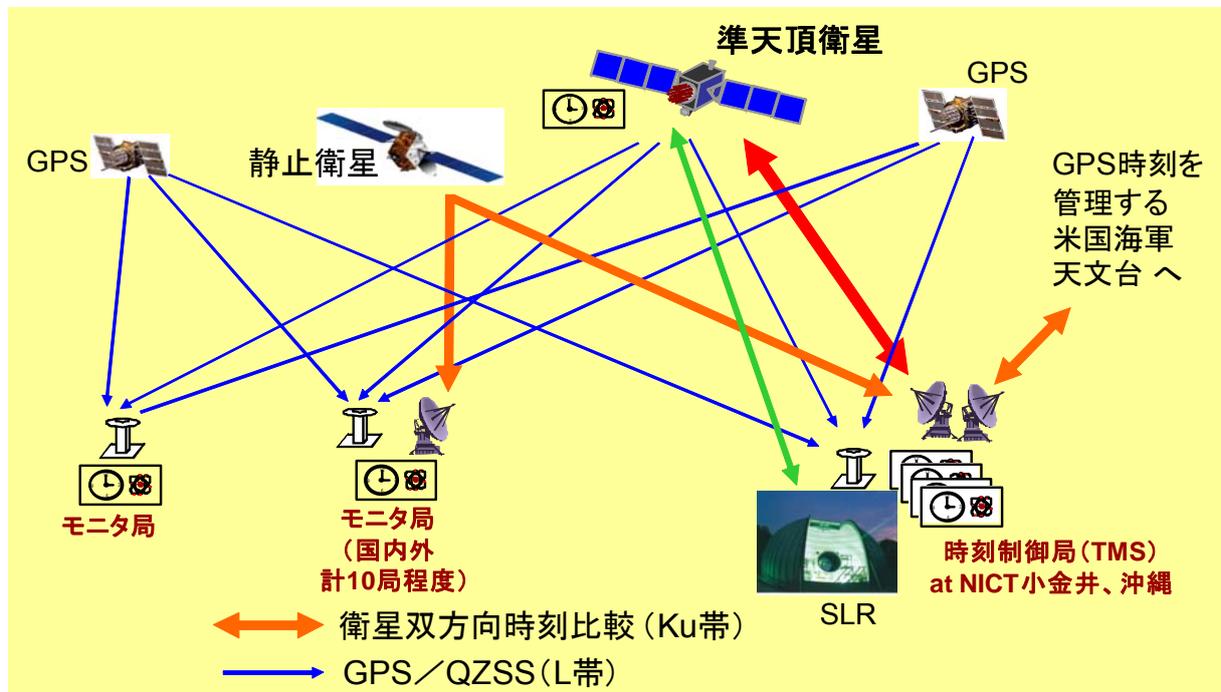


図2 地上系の構成

図2に地上系のイメージを示します。衛星とKu帯で通信する時刻制御実験局(TMS)は、日本標準時の元となるUTC(NICT)を生成する小金井(主局)と、準天頂衛星が24時間見える沖縄(副局)に設置され、両者の時系は衛星双方向時刻周波数比較(TWSTFT)で接続されます。国内のモニター局およびハワイモニター局には、モニター局時刻管理のためのTWSTFT機能を有し、特にハワイ局はUSNO(米国海軍天文台;GPSシステム時刻の基となるUTC(USNO)を生成)との時刻比較を行います。

搭載系はフライト品(PFM)を衛星バスと組み合わせて、現在システム試験中、2010年夏の打ち上げをめざしています。地上系はモニター局(サロベツ、父島、ハワイ)の整備中、また各局ソフトウェアのインターフェイス試験を実施中です。

表2 TTSの仕様

項目	仕様
アンテナ径	10 cm
受信周波数(アップリンク)	14.435 GHz
送信周波数(ダウンリンク)	12.307 GHz
EIRP	12.7 dBW 以上
G/T	-14 dB/K 以上
チップレート	10.23 Mcps
変調方式	BPSK
C/No	50 dBHz
コード位相を利用した計測精度*	(ランダム) 0.3 ns (1σ) (バイアス) 1.0 ns (RSS)



図3 TCU(時刻比較装置)のPFM

2. 搭載機器(TTS)

表2にTTSの仕様を、また図3にTCUのPFMの外観を示します。衛星・地上間の双方向比較において、目標精度をコード位相のみを使って達成するため、擬似ランダム雑音(PN)コードのレートを10.23 Mcps、要求C/Noを50 dBHzとしました。この信号には、TCUでの計測データなどを2k bpsまで重畳することが可能です。

なおキャリア位相処理の能力も持っています。これによって、各国の一次原子周波数標準器同士の精密な周波数比較が可能となると期待できます。

衛星で受信した信号は、TCUに行く経路とベントパイプに行く経路とに分かれます。ベントパイプは表3に示すように2種類あります。25MHz帯域の方は従来方式ですが、3MHzの方は離れた2本の狭帯域信号を利用することによって等価的に広帯域を実現できます。後者は新しい方式で、小さな合計帯域で広帯域を達成できるので、時刻比較精度を劣化させることなしに、高価な衛星トラポンのコストを節約できます。図4に狭帯域ベントパイプ信号とTCUに行く双方向信号のスペクトルを示します。

表3 2種類のベントパイプ機能

帯域	25 MHz	3 MHz x 2 (20.46 MHz 間隔)
チップレート	10.23 Mcps	2.046 Mcps x 2 BOC(10,2)
通常の信号との周波数重複	重複	重複せず
BPF (@1.4 GHz帯)	マイクロストリップ	同軸インター デジタル
特徴	従来方式	等価的に広帯域化

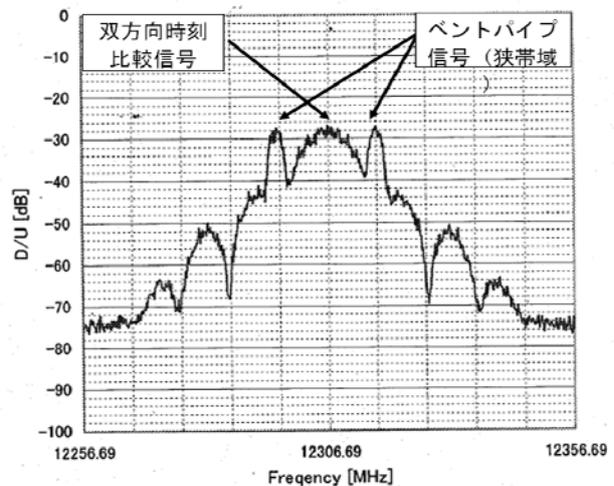


図4 ベントパイプ信号(狭帯域)と双方向信号とのスペクトル

3. 地上系

時刻管理系の地上セグメントは、TMS(時刻制御実験局)、モニタ局のTWSTFT機能、そして関連するソフトウェアから構成されます。

TMS主局は東京の小金井に設置されます。QZSS時刻の基礎となるUTC(NICT)は、18台のセシウム原子周波数標準器と3台の水素メーザ周波数標準器を用いて小金井で生成されています。しかし小金井では、衛星が近地点である最南点に近づくと不可視となってしまいます。一方沖縄では、衛星は24時間仰角5度以上で可視なので、図5に示すような副局を置きました。小金井TMSは1.8m径の、沖縄TMSは3.7m径の全天駆動アンテナを有します。またそれぞれのTMSは搭載TCUとほぼ同機能を有する時刻比較モデムと、水素メーザ周波数標準器を持ちます。QZS・TMS間の双方向計測は、このモデムを使用して行われます。沖縄TMSの時刻は小金井TMSの時刻と、商用のKu帯静止通信衛星経由のTWSTFTによってリンクされます。



図5 TMS 沖縄の3.7mφアンテナ

QZSの軌道等を決定するため、九つのモニタ局が日本の内外に設置されます。NICTはTMSとの時刻リンクのため、日本最北端であるサロベツおよび小笠原諸島の父島の二つ

の国内局と、ハワイの海外局に、TWSTFT 機能を設置します。ハワイは、モニタ局の配置としても、USNO と NICT 間の TWSTFT の中継局としても、理想的な場所です。USNO と NICT は、カウアイ島にアンテナと装置を設置中です。

また、軌道推定ユニット、アンテナ制御ユニット、テレメトリ・コマンド運用ユニット、モニタ局監視ユニット等のソフトウェアが、各地上局にインストールされます。これらは JAXA の開発する MCS(マスター制御実験局)等とのインターフェイスを、現在試験中です。

4. 開発状況

PFM の各コンポーネントは電気性能試験、振動試験、熱真空試験等のプロトフライト試験を実施し、全て要求性能を満足することができました。TCU の試験結果について、結果の一部を紹介します。表 4 は、遅延時間のコード位相計測誤差(ランダム成分)の試験結果、また双方向比較精度の C/No 依存性を図 6 に示します。C/No=50 dBHz に対し 0.3 ns の仕様を充分満足していることがわかります。

表4 TCU の PFM の試験結果

項目	仕様	計測値
QZS-TMS 双方向時刻 計測精度(ランダム)	< 0.3 ns (C/No=50dBHz)	0.14 ns
搭載時計比較 計測精度(ランダム)	< 0.1 ns	0.04 ns
L帯信号校正 計測精度(ランダム)	< 0.1 ns for L1 < 0.1 ns for L2 < 0.1 ns for L5	0.01 ns 0.02 ns 0.01 ns
消費電力	< 41 W	33.9 W
質量	13.0 kg +/- 1.3	12.9 kg

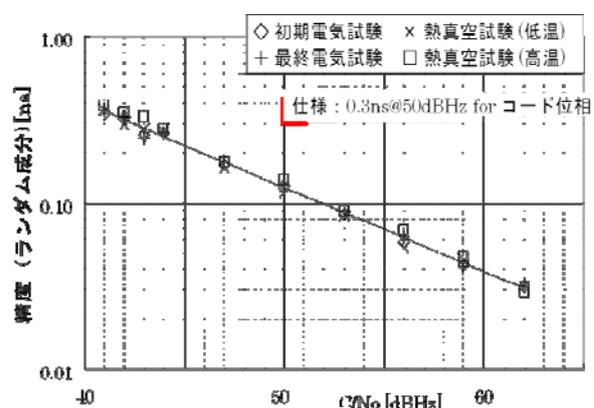


図6 TCU 双方向比較の精度 (vs. C/No)

TTS の PFM は、図 7 に示すように各コンポーネントをダミーパネルに並べ JAXA の開発した L 帯信号のコンポーネントと組み合わせ、測位ミッションとしてプロトフライト試験(電気性能試験、EMC 試験、熱真空試験等)に供しました。双方向時刻比較の計測精度など、いずれも仕様を満足する性能を示しました。

地上系の装置やソフトウェアは単体試験を行った後、搭載機器の PFM と組み合わせ、適合性試験を実施しました。

現在、搭載機器は衛星バスと組み合わせてシステム試験の最中で、熱真空試験等を無事終了、機械環境試験を実施中です。ここでは従来の試験装置とは異なり、実際の衛星バスの電源系やテレコマを使った試験を行っています。

地上系はサロベツ、父島、ハワイのモニタ局を整備中であり、2010 年初めまで各種インターフェイス試験を行います。総合的なシステム検証は 2010 年春に実施し、夏期に初号機の打ち上げをめざしています。

打ち上げ後は 3 ヶ月のチェックアウトの後、JAXA や AIST 等と協力して実証実験を実施し、我が国の衛星測位技術の確立をめざします。■

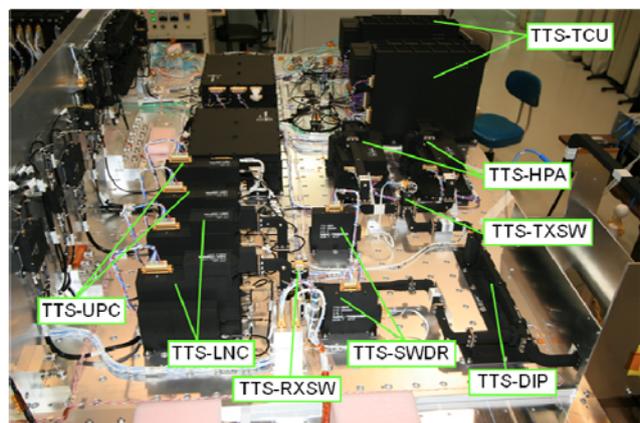


図7 測位ミッション PFM の試験状況