

7. 準天頂衛星 L1-SAIF 実験局の総合検証試験

通信・航法・監視領域 ※坂井 丈泰・福島 荘之介・伊藤 憲

1. はじめに

現在我が国が計画している準天頂衛星システム QZSS (quasi-zenith satellite system) は、測位ミッションの一部として GPS の補強情報を放送する計画である[1]。QZSS の特長のひとつはユーザに対する衛星の仰角を高くできることで、都市部や山間部における通信・測位に有効と考えられている。この性質を利用して広い範囲にわたるユーザに対して高仰角から補強信号を放送することで、アベイラビリティが高く、かつ測位精度及び信頼性にすぐれた測位システムの構築を目指している。

QZSS が放送する測距信号のうち、サブメータ級の補強信号である L1-SAIF (submeter-class augmentation with integrity function) については、国土交通省の委託を受けて当所が研究開発を進めてきたところである。信号形式については ICAO (国際民間航空機関) による補強信号の国際標準規格 SBAS (satellite-based augmentation system : 静止衛星型衛星航法補強システム) をベースとして、GPS L1 信号と同一の周波数にて広域補強情報を放送する。すでに信号仕様 IS-QZSS が公表され、他の補完信号とともに L1-SAIF 信号の詳細が規定されている[2]。

当所では、L1-SAIF 信号により放送する補強情報を生成する L1-SAIF 実験局 (L1SMS : L1-SAIF master station) の整備を進めてきた。この実験局の概要を紹介し、最近実施した総合検証試験の結果を報告する。

2. L1-SAIF 信号の概要

L1-SAIF 信号は GPS と同一の L1 周波数 (1575.42 MHz) にて準天頂衛星 QZS より放送されることとされており、GPS と同じ C/A コードによる拡散変調方式が採用されている (PRN 番号は 183~192, 変調速度も GPS と同じ 1.023 Mcps) [2]。ただし符号化速度は GPS の 50 sps に対して 500 sps と高速化されており、

符号化率 1/2 の畳込み符号が用いられているためデータ速度は 250 bps となる。すべての L1-SAIF メッセージは 250 ビットから構成されており、毎秒 1 メッセージが放送される。

L1-SAIF メッセージには 0~63 のタイプが定義されており、それぞれのフォーマットに従って補正情報が収容される。タイプ 0~28, 62~63 は SBAS と同一の内容であり、ディファレンシャル補正情報は高速補正、長期補正、電離層遅延補正に分けられ、それぞれ衛星クロック (変化の速い成分)、衛星軌道及びクロック (変化が遅い成分)、電離層伝搬遅延の補正に用いる。タイプ 52~60 は L1-SAIF で追加してあるメッセージで、大気遅延補正の高精度化や QZS 自身の軌道情報を放送するために用いる。

IS-QZSS には、信号形式及びメッセージ内容の定義に加えて、ユーザ受信機側の処理アルゴリズムも記載される。これは補正情報の利用手順をあらかじめ詳細に定めることで補正情報の解釈に関する誤りを防止するため、GPS IS や SBAS SARP s と同様である。

L1-SAIF はその名のとおりサブメータ級の測位性能を提供するものであるが、IS-QZSS で定義したメッセージによりこの目標が達成可能であることを、オフライン試験などにより確認している[3-4]。

3. L1-SAIF 実験局

準天頂衛星は L1-SAIF 信号を放送する機能を持つが、これに乗せる補強メッセージについては地上実験局にて生成し、衛星にアップリンクする。このために当所実験室に L1-SAIF 実験局 (L1SMS : L1-SAIF master station) を整備しており、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 筑波宇宙センターに設置される準天頂衛星の主制御局 (MCS : master control station) とは商用通信回線により接続している。

GPS 測定データは国土地理院の電子基準点ネットワーク (GEONET) から取得する。デー

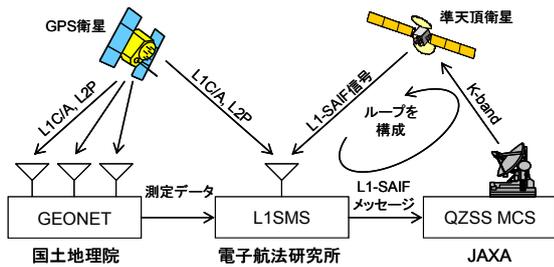


図1 準天頂衛星補強系の全体構成

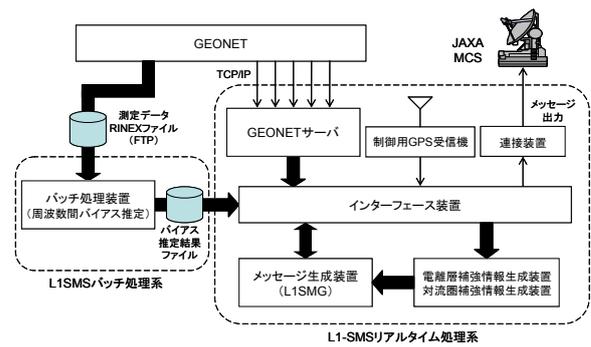


図3 L1-SAIF 実験局 (L1SMS) の構成

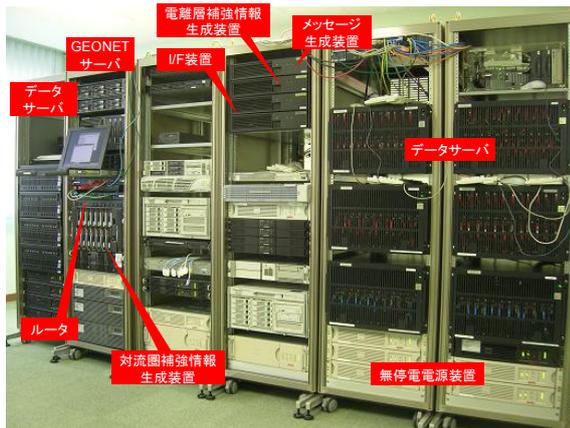


図2 L1-SAIF 実験局 (L1SMS) の外観

タ配信拠点である日本測量協会とはIP-VPN回線により接続しており、当所実験室までリアルタイムに測定データが伝送される。

全体の構成は、図1のとおりである。L1-SAIF実験局はGEONETのGPS測定データを受信・処理し、生成した補強メッセージをJAXA MCSに送信する。このメッセージはL1-SAIF信号に乗せられてユーザに向けて放送され、また同時にL1-SAIF実験局もこれを受信し、放送内容のチェックを行う。

L1-SAIF実験局はいくつかのサブシステムから構成されており、各サブシステムは相互に接続されており連携して動作する[5]。L1-SAIF実験局の外観を図2に、内部構成を図3に示す。

メッセージ生成装置 (L1SMG: L1-SAIF message generator) は、GEONETより得た測定データに基づいてL1-SAIFメッセージをリアルタイムに生成する。メッセージは毎秒1個が出力される。メッセージ生成装置が使用するGEONET局を、GMS (ground monitor station) と称する。GMS局数は最低4局であるが、上限は特に設けていない。

メッセージ生成装置はプレーナフィット方式により電離層補強情報を生成する機能を備えており、外部に設ける電離層補強情報生成装置からの補強情報が得られない場合は、内蔵のプレーナフィット機能を実行することとしてある。電離層補強情報生成装置[6-7]は、GEONETより受信した測定データから、電離層遅延に関する補正情報及びインテグリティ情報を生成する。メッセージ生成装置は少ないモニタ局の測定データから毎秒リアルタイムにメッセージを生成する必要があるが、電離層補強情報生成装置は多数 (~200局程度) の電子基準点における測定データを用いて30秒~150秒毎に電離層補強情報を生成するものであることから、これらの処理装置を分離することとしている。電離層補強情報生成装置が使用するGEONET局を、IMS (ionospheric monitor station) と呼ぶ。

L1-SAIF実験局の動作については、リアルタイム試験などにより確認し、所要の性能を達成できる見通しを得ている[6-8]。

4. 他機関と実施した試験

L1-SAIF実験局の開発に伴い、他機関との間で表1のとおり各種の試験を実施した。以下、その概要を報告する。

(1) 測位系間外試験その1

L1-SAIF実験局とQZSS MCSのインターフェースを確認するため、平成20年11月18日に標記試験をNEC府中事業所にて実施した。正式名称は「準天頂衛星システム (QZSS) 高精度測位実験システム JAXA-ENRI 測位系間外インターフェース試験1」である。本試験の具体的な目的は、L1-SAIF実験局とQZSS MCS

表1 L1-SAIF 実験局に関連して他機関と実施した試験

試験略称	実施時期	使用機材
測位系間外試験その1	平成20年11月	(NEC 府中) L1SMS, MCS
測位システム試験	平成20年12月	(NEC 府中) L1SMS, MCS, NP-EM, P-RX
ETS-VIII利用実験	平成21年2月	(ENRI 調布) L1SMS, ETS-VIII端末装置 (軌道上) ETS-VIII (ENRI 仙台) ETS-VIII端末装置, P-RX
測位系間外試験その2	平成22年1月	(ENRI 調布) L1SMS, (JAXA つくば) MCS
測位地上系総合試験	平成22年2月	(ENRI 調布) L1SMS, (JAXA つくば) MCS
総合検証試験	平成22年2月	(ENRI 調布) L1SMS, (JAXA つくば) MCS (MELCO 鎌倉) NP-PFM, P-RX

※NP：航法ペイロード，EM：エンジニアリングモデル，PFM：プリフライトモデル，P-RX：L1-SAIF プロトタイプ受信機

で実際に実装されているインターフェースが JAXA-ENRI 間で取り決めた ICD（インターフェース仕様書）通りであること、また両者間でのデータの授受が問題なく行われることの確認である。

JAXA-ENRI 間の通信回線が未設置であることから、試験対象機材はすべて同一の場所に持ち込んでおり、通信回線は試験に含まれていない。実験実施場所の都合から L1-SAIF 実験局はインターフェース装置を除いてシミュレータを使用し、また MCS については製造途中であったことからデータ集配信装置以外はシミュレータである。

本試験を実施したところ、実装上の細かい齟齬がいくつか発見されたものの、データ授受に大きな問題はないことを確認した。発見された不具合点は、試験後に改修した。

(2) 測位システム試験

L1-SAIF 実験局と QZSS MCS に加え、衛星搭載系も含めた補強メッセージ伝送系全体の整合性を試験するため、平成20年12月25日に標記試験を実施した。正式名称は「準天頂衛星システム (QZSS) 高精度測位実験システム 測位システム試験 (PFM) 高精度補正技術適合性試験」である。本試験においては、測位系間外試験その1の使用機材に加え、航法ペイロード (EM) 及び L1-SAIF プロトタイプ受信機を使用し、NOC (搭載計算機) におけるメッセージ受信・変調処理や RF レベルのユーザインターフェースを確認することが目的である。

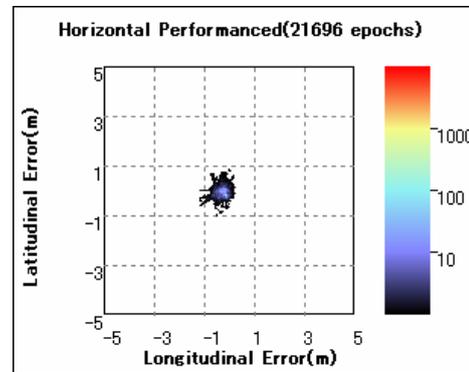


図4 L1-SAIF メッセージ適用後のユーザ測位誤差 (ETS-VIII利用実験)

本試験に伴い NOC への入力データに若干の齟齬が発見されたため、試験後に改修した。

(3) ETS-VIII利用実験

平成18年12月18日に打ち上げられた技術試験衛星VIII型 (ETS-VIII=きく8号) については、通信・測位技術実証実験のほかに、大学や研究機関が参加する利用実験が実施された。当所はこれに参加し、平成21年2月17~18日に衛星回線を使用した L1-SAIF 実験局の動作試験を行った。

当所実験室 (東京都調布市) の L1-SAIF 実験局から ETS-VIII 実験用端末装置を用いて補強メッセージをアップリンクし、当所岩沼分室 (仙台空港内) に設置した端末装置にてこれを受信、L1-SAIF プロトタイプ受信機に入力する構成とした。L1-SAIF プロトタイプ受信機は、GPS アンテナから L1-SAIF 信号を受信する以外に

も、EthernetポートからTCP/IP接続にてL1-SAIFメッセージを入力し、これを処理させることが可能である。

本実験により、衛星回線を介してL1-SAIFメッセージを伝送して正常に動作することを確認した。実験結果の例としては、補強後の測位誤差が図4のように得られている。

（4）測位系間外試験その2

JAXA-ENRI間の通信回線を設置したことを受け、平成22年1月7日に標記試験を実施した。正式名称は「準天頂衛星システム（QZSS）高精度測位実験システム JAXA-ENRI 測位系間外インターフェース試験2」である。本試験の内容は、測位系間外試験その1では試験の対象外としたJAXA-ENRI間通信回線について、実機相当の機材を設置して再度同様の試験を行うことである。すなわち、L1-SAIF実験局は当所実験室、QZSS MCSはJAXA筑波宇宙センター内に設置されており、これらを商用通信回線で接続した。

本試験を実施したところ、ICDの変更に伴う細かい齟齬がいくつか発見され、これらについては試験中あるいは試験後に改修した。

（5）測位地上系総合試験

JAXAと各実験担当機関の相互間の地上系インターフェース試験がいずれも完了したことを受け、平成22年1月25日～2月5日に標記試験を実施した。正式名称は「準天頂衛星システム（QZSS）高精度測位実験システム 測位地上系総合インテグレーション試験」である。直前に測位系間外試験その2を実施していたことから、当所が関係するインターフェースについては特に問題はなかった。

（6）総合検証試験

以上の試験の完了を受け、準天頂衛星打上げ前の最終的な全体システム試験として、標記試験を実施した。正式名称は「準天頂衛星システム（QZSS）高精度測位実験システム 総合システム検証試験」である。当所が関係したのは試験全体のうちの高精度補正技術機能確認試験であり、平成22年2月25日に実施した。

本試験については、いずれも実機相当の機材を使用して行われた。L1-SAIF実験局は当所実験室、QZSS MCS及び追跡管制系の主要部はは

JAXA筑波宇宙センター内に設置されており、これらを商用通信回線で接続した。追跡管制系の搭載部分、航法ペイロード（PFM）及びプロトタイプ受信機は、衛星製造者である三菱電機鎌倉製作所に設置されている。

本試験を実施したところ、NOCとのインターフェースに若干の齟齬が発見され、いずれも試験中に改修した。

5. まとめ

国土交通省による委託を受けて当所で整備を進めてきたL1-SAIF実験局の概要を述べるとともに、各種試験結果を報告した。本年2月に実施した総合検証試験をもって準天頂衛星の打上げ前の試験はすべて完了し、JAXA及び各実験担当機関の機材の動作を確認したところである。当所機材についても試験の結果は問題なく、準天頂衛星を使用した実証実験の準備を進めているところである。

参考文献

- [1] 宮野智行 他：QZSSの可能性，日本航海学会GPS/GNSSシンポジウム，Nov. 2004.
- [2] IS-QZSS, Version 1.1, July 2009.
(<http://qzss.jaxa.jp/is-qzss/index.html>)
- [3] 坂井丈泰，福島荘之介，新井直樹，伊藤憲：GPS広域補強システムのプロトタイプ評価，電子情報通信学会論文誌，vol. J89-B, no. 7, pp. 1297～1306, July 2006.
- [4] T. Sakai, et. al.: Augmentation Performance of QZSS L1-SAIF Signal, ION NTM, San Diego, CA, Jan. 2007.
- [5] 坂井丈泰，福島荘之介，武市昇，伊藤憲：準天頂衛星L1-SAIF実験局の構成，第8回電子航法研究所研究発表会，June 2008.
- [6] T. Sakai, et. al.: The Ionospheric Correction Processor for SBAS and QZSS L1-SAIF, ION ITM, Anaheim, CA, Jan. 2009.
- [7] 坂井丈泰，福島荘之介，伊藤憲：準天頂衛星L1-SAIF実験局の性能確認，第9回電子航法研究所研究発表会，June 2009.
- [8] T. Sakai, et. al.: Recent Development of QZSS L1-SAIF Master Station, ION ITM, San Diego, CA, Jan. 2010.