

## 16. 準天頂衛星 L1-SAIF 実験局の構成

通信・航法・監視領域 ※坂井 丈泰、福島 莊之介、武市 昇、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情報を放送することで、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) については当所の担当により研究開発を進めているところである。信号形式については ICAO (international civil aviation organization: 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) をベースとすることとしており、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 (interface specification) 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。この実験局の概要と、国土地理院の電子基準点ネットワーク GEONET を利用した動作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 SBAS 衛星から放送される。

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。メッセージタイプは表 2 のとおりで、タイプ 0~28, 62~63 は SBAS と同一の内容である。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ており、それぞれ衛星クロック (変化の速い成分)、衛星軌道およびクロック (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、信号形式およ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 補強信号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、表 1 の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[3~5]。

### 3. L1-SAIF 実験局

#### 3. 1 実験局の概要

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必要がある。L1-SAIF 補強メッセージについては当所実験室に実験局 (L1SMS) を整備

表1 L1-SAIF メッセージ（太線内は追加メッセージ，他はSBAS 互換）

タイプ	メッセージ内容	タイプ	メッセージ内容
0	テストモード	28	クロック・軌道共分散
1	PRN マスク	52~53	対流圏遅延補正
2~5	高速補正	54~55	電離層遅延補正
6	インテグリティ情報	56	信号バイアス補正
7	高速補正劣化係数	57	(軌道情報関係)
10	劣化パラメータ	58	QZS エフェメリス
18	IGP マスク	59	QZS アルマナック
24	高速・長期補正	60	(広域情報)
25	長期補正	62	内部テスト用
26	電離層遅延補正	63	NULL メッセージ

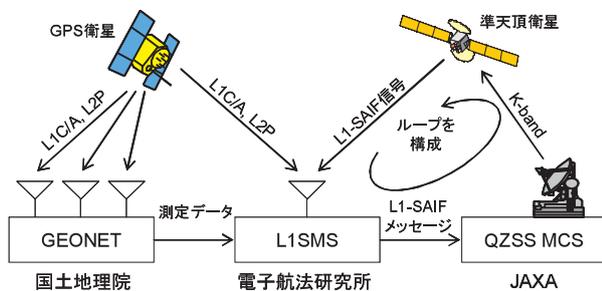


図1 準天頂衛星補強系の全体構成

しており，準天頂衛星の主制御局（MCS：master control station）が設置される茨城県つくば市の宇宙航空研究開発機構（JAXA）筑波宇宙センターと商用通信回線にて接続する予定である。

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。

### 3. 2 サブシステム

L1-SAIF 実験局はいくつかのサブシステムから構成されている。各サブシステムの機能は



図2 L1-SAIF 実験局の外観

次のとおりで，相互にTCP/IPソケットにより接続されて通信を行う。L1-SAIF 実験局の外観を図2に，内部の構成を図3に示す。

#### (1) メッセージ生成装置

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。本装置で動作するソフトウェアは図4のように構成されており，入力モジュールが受信した測定データは補正モジュールにより処理され，補強情報が生成される。メッセージは毎秒1個が出力されるが，その順序はメッセージ生成モジュールが決定する。

メッセージ生成装置はプレーナフィット方式[6]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，内蔵のソフトウェアによりプレーナフィットを実行す

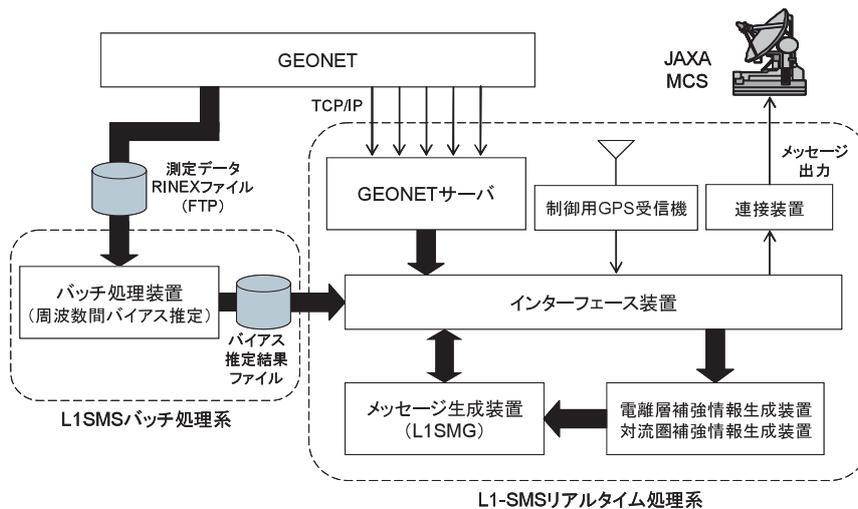


図3 L1-SAIF 実験局 (L1SMS) の構成

ることとしてある。

メッセージ生成装置が利用する GEONET 電子基準点 (モニタ局という) は最低 4 局であるが、上限は特に設けていない。

(2) インターフェース装置

インターフェース装置は、メッセージ生成装置および電離層補強情報生成装置等が利用する測定データや生成された L1-SAIF メッセージを、他の計算機と交換するために用意されている。このような構成とすることにより、多数の通信路が交錯して設定されることを防ぎ、効率的にデータ通信を行うことができる。

(3) 制御用 GPS 受信機

L1-SAIF 実験局から JAXA MCS に送信される補強メッセージは準天頂衛星システムが採用している時刻系に同期している必要があるが、計算機の内蔵クロックは不正確でありこの同期を保つことができない。一方、GPS 受信機の時計は GPS 信号を参照して常時修正され、測定データに付けられている時刻は正確なことから、制御用 GPS 受信機を用意してこれを時刻の基準とすることとした。

また、GEONET から得られる GPS 航法メッセージは 15 分毎であるが、L1-SAIF メッセージの生成には常時 (6 秒毎) 航法メッセージを得る必要がある。このため、航法メッセージの収集にも制御用 GPS 受信機を使用する。

現在のところ、所内に設置してある NovAtel 社製 OEM-3 MiLLennium-STD 受信機を制御

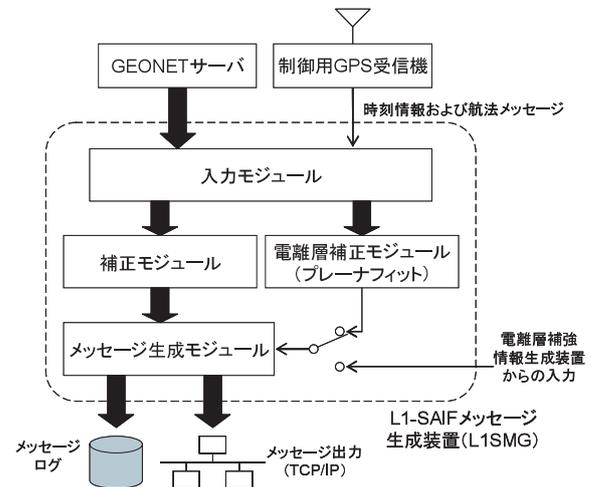


図4 メッセージ生成装置 (L1SMG) の構成

用 GPS 受信機として使用している。

(4) GEONET サーバ

日本測量協会から IP-VPN 回線にて送信されてくる GEONET 測定データを、実験局内で分岐・配信するためのサーバである。

(5) 接続装置

メッセージ生成装置が出力した L1-SAIF メッセージを、JAXA MCS に送信するための装置である。両者間のインターフェース調整会議で制定された通信仕様に基づいて通信制御を行い、メッセージを送信するとともに、エコーバックされた内容のチェックを行う。

(6) 電離層補強情報生成装置

電離層補強情報生成装置は、GEONET より

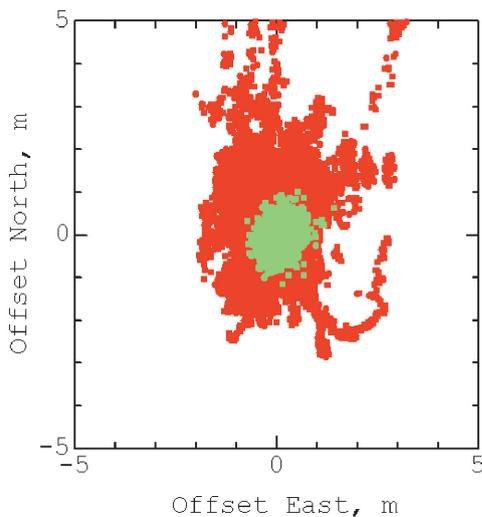


図5 ユーザ測位誤差の評価例

受信した測定データから、電離層遅延に関する補正情報およ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）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。

(7) 対流圏遅延処理装置

GEONETの測定データに基づき、対流圏伝搬遅延情報をリアルタイムに出力するシステムである。対流圏遅延補正メッセージの生成に使用する。なお、対流圏遅延処理装置が動作していない場合、メッセージ生成装置は対流圏遅延補正メッセージを生成せず、ユーザ受信機はあらかじめ定められた対流圏遅延モデルによる補正を実行することとなる。

(8) バッチ処理装置

広域ディファレンシャル補正情報の生成には、周波数間バイアス (IFB) の正確な推定が必須である。IFBは時間的な変動が小さいため、この推定処理はリアルタイムに実行する必要はなく、むしろ数日間程度の測定データをまとめて処理することで推定精度の向上が期待できる。このためIFBの推定処理についてはバッチ処理として実行することとし、毎日の推定結果をファイルにてリアルタイム処理部に渡すこととしている。

3.3 初期動作試験

2008年1月19～23日の4日間にわたりL1-SAIF実験局を動作させ、出力されたL1-SAIFメッセージを評価した。ユーザ側の測位誤差を求めた結果の例を、図5に示す。これはGEONET高山局(940058)をユーザ局とみなして評価した結果で、4日間にわたる測位精度は水平方向で0.292mであった(RMS値)。

また、2007年11月26日～2008年2月21日の約3ヶ月間にわたり連続して動作させた結果、特に何らのトラブルもなく連続稼動することを確認した。この間、メッセージ生成装置の内蔵クロックには数十秒の狂いを生じたが、メッセージの生成はGPS時刻に基づいて正しく実行され、毎秒1個のメッセージが出力された。

4. まとめ

当所で整備を進めているL1-SAIF実験局について、概要を報告した。GEONETと接続して動作させた結果、良好な補正性能のメッセージが出力され、長期間の連続稼動にも耐えることを確認した。今後は、JAXAMCSの整備にあわせ、連続稼動試験を実施する計画である。

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 1.0, Nov. 2007.  
 (<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, S. Fukushima, N. Arai, and K. Ito: Implementation of Prototype Satellite-Based Augmentation System (SBAS), IGNS, no. 60, Gold Coast, Australia, July 2006.  
 [5] T. Sakai, S. Fukushima, N. Takeichi, and K. Ito: Augmentation Performance of QZSS L1-SAIF Signal, ION National Technical Meeting, San Diego, CA, Jan. 2007.  
 [6] T. Walter, et. al., Robust Detection of Ionospheric Irregularities, ION GPS 2000, pp. 209～218, Salt Lake City, UT, Sept. 2000.