

19. 準天頂衛星L1-SAIF実験局の性能確認

通信・航法・監視領域 ※坂井 丈泰、福島 莊之介、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。この実験局の概要と、リアルタイム動作における性能確認試験例を紹介する。

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。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、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[3-4]。

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る接続を想定している。

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

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

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いる。

電離層補強情報生成装置[6]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。

4. 性能確認例

メッセージ生成装置の動作を確認し，また電離層補強情報生成装置との組合せにより得られる補強性能を調べるため，2009 年 1 月 16～21 日の 5 日間にわたり L1-SAIF 実験局をリアルタイムに動作させ，出力された L1-SAIF メッセージを評価した。本実験に用いた GMS 及び IMS の配置を，図 4 に示す。GMS は 6 局で，その配置は MSAS とほぼ同一としてある。200 局の IMS は，全国的に均一となるよう選定した。

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 銚子局（93022）をユーザ局とみなして評価した結果で，5 日間にわたる測位精度は，電離層補強情報生成装置を使用しない場合は 0.26 m，使用した場合で 0.23 m であった（水平方向の RMS 値）。電離層補強情報生成装置については，IGP 間隔を 5 度とし，ゼロ次フィットを使用した場合である。

電離層補強情報生成装置の有無及び動作パラメータを変えた場合のユーザ測位精度を，表 2 及び図 6 に示す。電離層補強情報生成装置は，

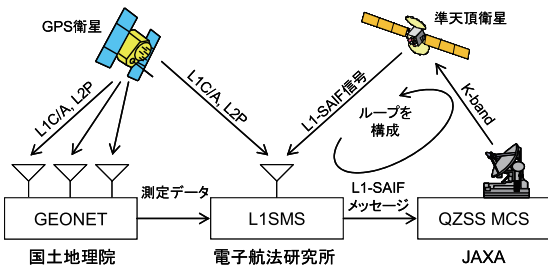


図1 準天頂衛星補強系の全体構成

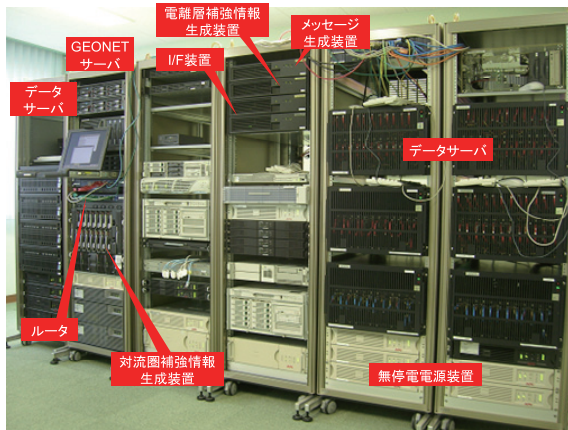


図2 L1-SAIF 実験局 (L1SMS) の外観

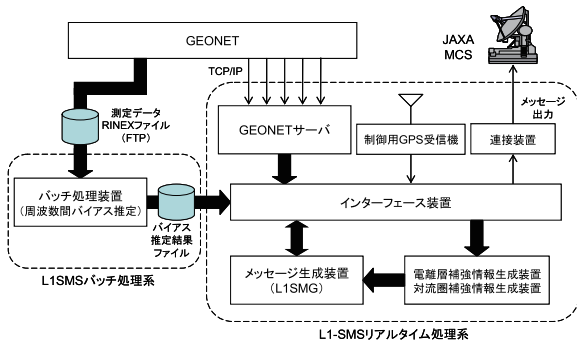


図3 L1-SAIF 実験局 (L1SMS) の構成

IGP 間隔 2.5 度及び 5 度、フィット次数は 1 (プレーナフィット) 及び 0 (ゼロ次フィット) として、200 局の IMS の測定データを入力して動作させた。実験期間中は、複数のメッセージ生成装置及び電離層補強情報生成装置を並行動作させており、表 2 及び図 6 の試験結果はいずれも同一の GEONET 測定データを入力して得られたものである。

図 6 の上段は水平方向の測位精度、下段は垂直方向の測位精度を表している。横軸は評価用ユーザ局の ID 番号であり、図 4 中の番号に対

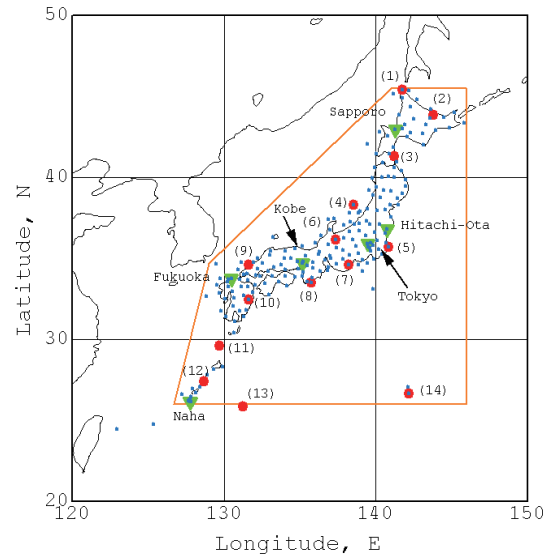


図4 GEONET 局の配置 (緑) GMS, (青) IMS, (赤) 性能評価用ユーザ局

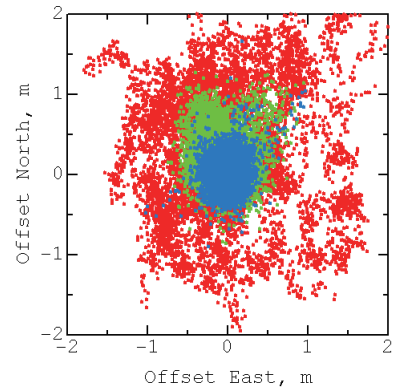


図5 銚子局におけるユーザ測位誤差 (青) L1-SAIF, (緑) MSAS, (赤) GPS

応している。特に南方では電離層補強情報生成装置の使用により測位精度が改善されており、ゼロ次フィットよりもプレーナフィットのほうが測位精度の点で若干有利である。ただし、九州以北では反対にゼロ次フィットのほうが有利となるが、その差は大きくない。IGP 間隔についても、2.5 度と 5 度では大きな差はみられないが、5 度のほうが若干有利な傾向にあることがわかる。IGP 間隔の縮小により測位精度の向上を図る場合にはあわせてモニタ局を追加する必要があることは知られているが[7]、多数の IMS 局がある場合でも IGP 間隔の変更による効果はそれほど大きくないことがわかった。

表2 評価用ユーザ局における測位精度（水平／垂直，RMS[m]）

システム	L1SMG	電離層補強情報生成装置（ICP）				GPS	MSAS
IGP 間隔	5 度	5 度	5 度	2.5 度	2.5 度	N/A	5 度
次数	1	1	0	1	0	N/A	1
局数	6-GMS	200-IMS	200-IMS	200-IMS	200-IMS	N/A	6-GMS
(1) 稚内	0.35 / 0.51	0.36 / 0.51	0.29 / 0.45	0.37 / 0.51	0.31 / 0.48	1.25 / 2.82	0.51 / 0.68
(2) 北見	0.35 / 0.55	0.37 / 0.55	0.32 / 0.51	0.37 / 0.57	0.33 / 0.54	1.26 / 2.81	0.52 / 0.68
(5) 銚子	0.26 / 0.39	0.28 / 0.41	0.23 / 0.36	0.29 / 0.46	0.24 / 0.38	1.25 / 2.99	0.46 / 0.59
(12) 和泊	0.77 / 0.88	0.42 / 0.68	0.52 / 0.70	0.41 / 0.68	0.49 / 0.66	1.80 / 2.85	0.80 / 0.79
(13) 南大東島	0.87 / 0.79	0.53 / 0.74	0.66 / 0.76	0.59 / 0.84	0.63 / 0.85	1.78 / 2.97	0.90 / 0.94
(14) 八丈島	0.69 / 0.94	0.50 / 0.71	0.66 / 0.82	0.50 / 0.72	0.70 / 0.84	1.65 / 2.91	0.81 / 0.99
ケース名	A	B	C	D	E	GPS	MSAS

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、リアルタイムに動作させた場合の性能確認例を紹介した。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ている。また、電離層補強情報生成装置との連携動作も正常に行われ、測位精度を改善する効果があることを確認した。準天頂衛星の打上げは 2010 年に予定されており、今後は L1-SAIF 実験局と現在整備中の JAXA MCS の接続稼動試験が必要となるものと想定している。

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，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.

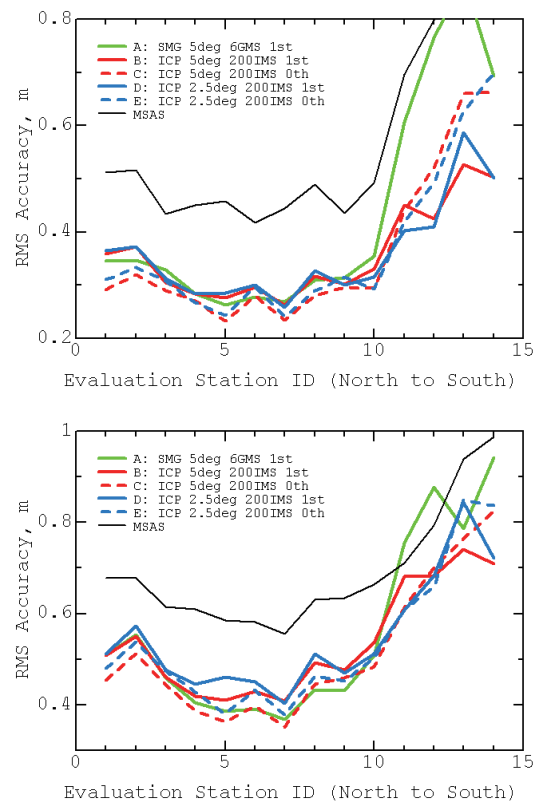


図6 評価用ユーザ局における測位精度
(上) 水平方向，(下) 垂直方向

- [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，武市昇，伊藤憲：“広域ディファレンシャル GPS における電離層遅延補正情報のグリッド間隔による影響”，電子航法研究所報告 no. 119，pp. 1～7，Jan. 2008.