

24. 準天頂衛星 L1-SAIF 補強信号の測位性能

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されており、GPS L1 信号と同一の周波数にて広域補強情報を放送する。本年1月に信号仕様 (interface specification) IS-QZSS が公表されたが、これには L1-SAIF についても記載されている[2]。

当所では、L1-SAIF 補強信号により放送する補強情報を生成する補強情報リアルタイム生成システムの開発を平成17年度より進めてきた。この生成システムについて国土地理院電子基準点ネットワークと接続して動作試験を実施したので、その結果を報告する。

2. 補強信号の概要

SBAS 信号は GPS と同一の L1 周波数 (1575.42 MHz) にて静止衛星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 120~138, 変調速度も GPS と同じ 1.023

Mcps)。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 SBAS 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。

QZSS の L1-SAIF 補強信号についても、GPS L1 と同一の周波数および変調方式により放送される[2]。PRN コードは表 1 のとおり割り当てられており、SBAS と同様の 250 bps のデータ速度で補強情報が重畳される。

補強メッセージの伝送フォーマットは図 1 のとおり定義されている。6 ビットのメッセージタイプ ID によりメッセージを識別し、それぞれのフォーマットに従って補正情報をデコードする。メッセージの最後には 24 ビットの CRC コードが付けられており、伝送エラーを確実に検出することができるよう配慮されている。

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 (速い変化を伴う成分)、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準天頂衛星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

表 1 L1-SAIF 信号の PRN 番号

PRN	信号
183	QZS #1 L1-SAIF
184	QZS #2 L1-SAIF
185	QZS #3 L1-SAIF
186	QZS #4 L1-SAIF
187~192	L1-SAIF 用に予約

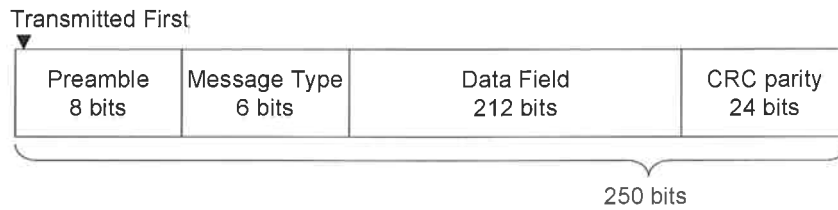


図1 補強メッセージの構造

表2 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

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2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[3~6]。

3. 補強情報リアルタイム生成システム

3.1 リアルタイム生成システムの構成

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補強情報リアルタイム生成システムを整備していることから、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) 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。

補強情報リアルタイム生成システムは合計4台の計算機で構成されており、次のように分担して補強情報を生成する。

- 計算機#1 補強情報生成
- 計算機#2 電離層補正情報生成
- 計算機#3 補強情報品質チェック
- 計算機#4 データ配信

計算機#1 および#2 については計算能力の向上のため主メモリを追加してあり、また計算機#3 および#4 は通信能力を確保するため LAN ポートを増設してある。

3.2 リアルタイム生成ソフトウェア

測定データおよび生成されたメッセージの流れを図2に示す。リアルタイムに動作する部分には、データ収集部や補強情報を実際に生成す

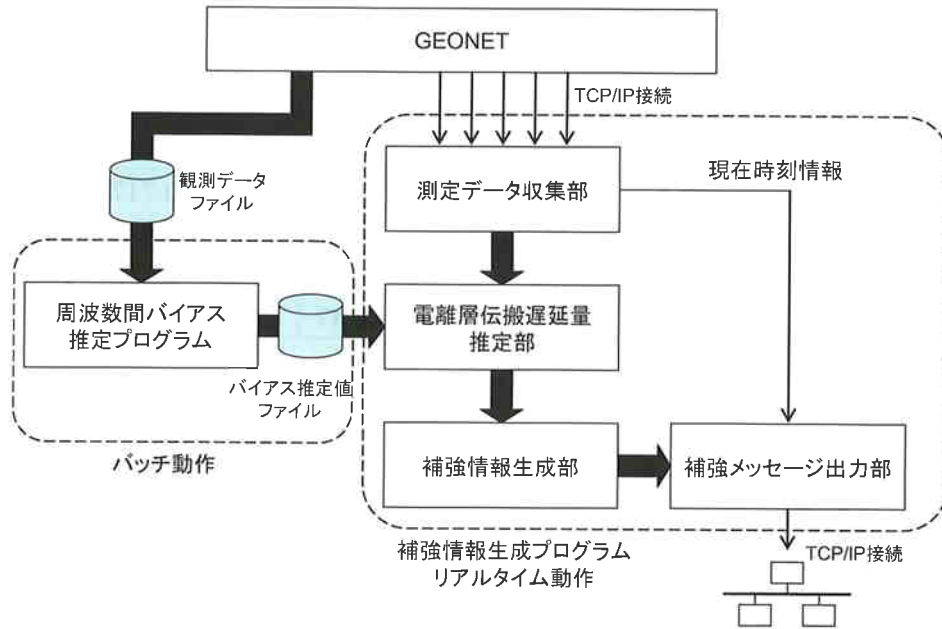


図2 補強情報リアルタイム生成システムの構成

る部分が含まれている。周波数間バイアス[7]推定処理だけはバッチ動作により実行するようにしているが、これは周波数間バイアスについては数日程度にわたる測定データを処理することで推定精度の向上を図ることができ、またバイアス値は数日程度の間にはほとんど変化せず、前日の推定結果が利用できれば十分であるといった理由による。バイアスの推定結果はファイルにてリアルタイム処理部に渡される。

リアルタイム処理ソフトウェアには、GEONETの測定データから現在時刻を取り出す機能がある。これは、補強メッセージの生成・配信には現在時刻が必要となるが、計算機の内蔵クロックを利用すると連続動作中に狂いを生じるためである。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、これを時刻基準として使用することとした。

この他、複数の基準局からの測定データが異なる遅延をもって到着する場合に備え、測定データの時刻合わせの機能を持たせてある。測定データおよび生成した補強メッセージの受渡しには、TCP/IPソケット接続を用いる。

3.3 初期動作試験

本年1月、補強情報リアルタイム生成システ

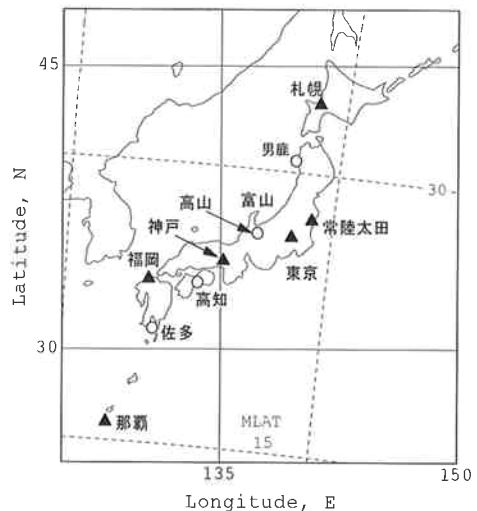


図3 基準局の配置 (▲：基準局，○：ユーザ局)

ムおよびGEONETとのオンライン接続環境を整え、図3に示す6地点の電子基準点を基準局として初期的な動作試験を実施した。1月13～16日の4日間にわたり連続動作させ、出力された補強メッセージを記録した。この期間中、特に異常な動作をすることはなく、毎秒1メッセージの補強情報が安定して生成・出力された。

リアルタイムに生成された補強メッセージを利用し、ユーザ側の測位誤差を求めた結果の例を、図4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

表3 リアルタイム動作試験の結果（上段：RMS精度，下段：最大誤差，単位[m]）

期間	システム	940030 男鹿		940058 高山		940083 高知		950491 佐多	
		Hor	Ver	Hor	Ver	Hor	Ver	Hor	Ver
		2007 1/13~16	L1-SAIF	0.582	0.726	0.484	0.609	0.612	0.717
5.395	5.707			4.713	5.140	4.584	4.904	8.042	9.260
GPS 単独測位	2.266		2.608	1.415	2.431	1.695	2.716	1.929	2.494
	7.902		7.992	7.059	10.47	6.400	9.657	7.241	8.351

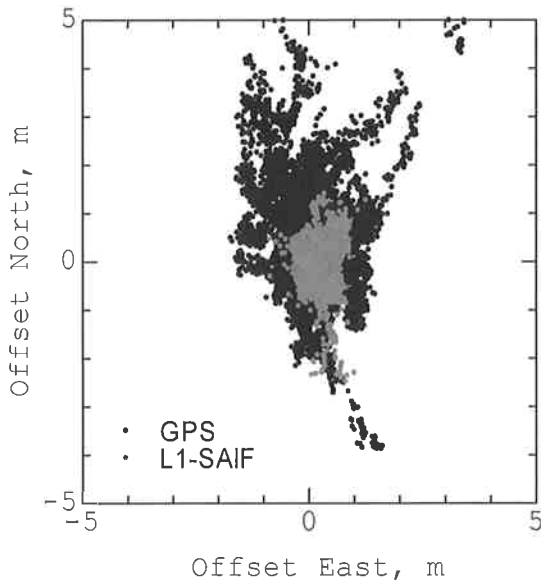


図4 ユーザ局における測位誤差の例（2007年1月13~16日，高山局）

で，4日間にわたる測位精度は水平方向で0.484m，垂直方向については0.609mであった（いずれもRMS値）。

4地点における測位精度の評価を表3に示す。水平・垂直方向ともおおむね良好な測位精度が得られているが，九州南端の佐多では測位精度が劣化していることから，電離層遅延補正に改善の余地があるものと考えている。

4. まとめ

準天頂衛星が放送するL1-SAIF補強信号に乗せる補強メッセージを生成する補強情報リアルタイム生成システムを開発し，電子基準点ネットワークと接続して初期動作試験を実施した。4日間にわたる試験中，補強メッセージは特に異常なく安定して生成・出力され，これにより

得られる測位精度もおおむね良好であった。

現在のところ，本システムは基本的なアルゴリズムおよびパラメータで初期試験を行っている段階にある。今後，改良アルゴリズムを実装・試験するとともに，パラメータ調整を行って性能向上を目指す必要がある。具体的には，電離層遅延補正アルゴリズムの改良や，数十局といった多数の基準局の使用を予定している。

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，pp. 75~110, Nov. 2004.
- [2] IS-QZSS, Version 0.0 (<http://qzss.jaxa.jp/is-qzss/index.html>)
- [3] 坂井丈泰：準天頂衛星サブメータ級補強機能の性能評価，日本航海学会GPS/GNSSシンポジウム，pp. 65~72, Nov. 2005.
- [4] 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.
- [5] T. Sakai, S. Fukushima, N. Arai, and K. Ito: Implementation of Prototype Satellite-Based Augmentation System (SBAS), IGNSS, no. 60, Gold Coast, Australia, July 2006.
- [6] 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.
- [7] 坂井丈泰：GPSによる電離層全電子数観測のためのバイアス誤差推定法，電子情報通信学会論文誌，vol. J88-B, no. 12, pp. 2382~2389, Dec. 2005.