

準天頂衛星システム センチメートル級測位補強サービス

廣川 類*
藤田征吾*
宮 雅一**

Quasi-Zenith Satellite System Centimeter Level Augmentation Service

Rui Hirokawa, Seigo Fujita, Masakazu Miya

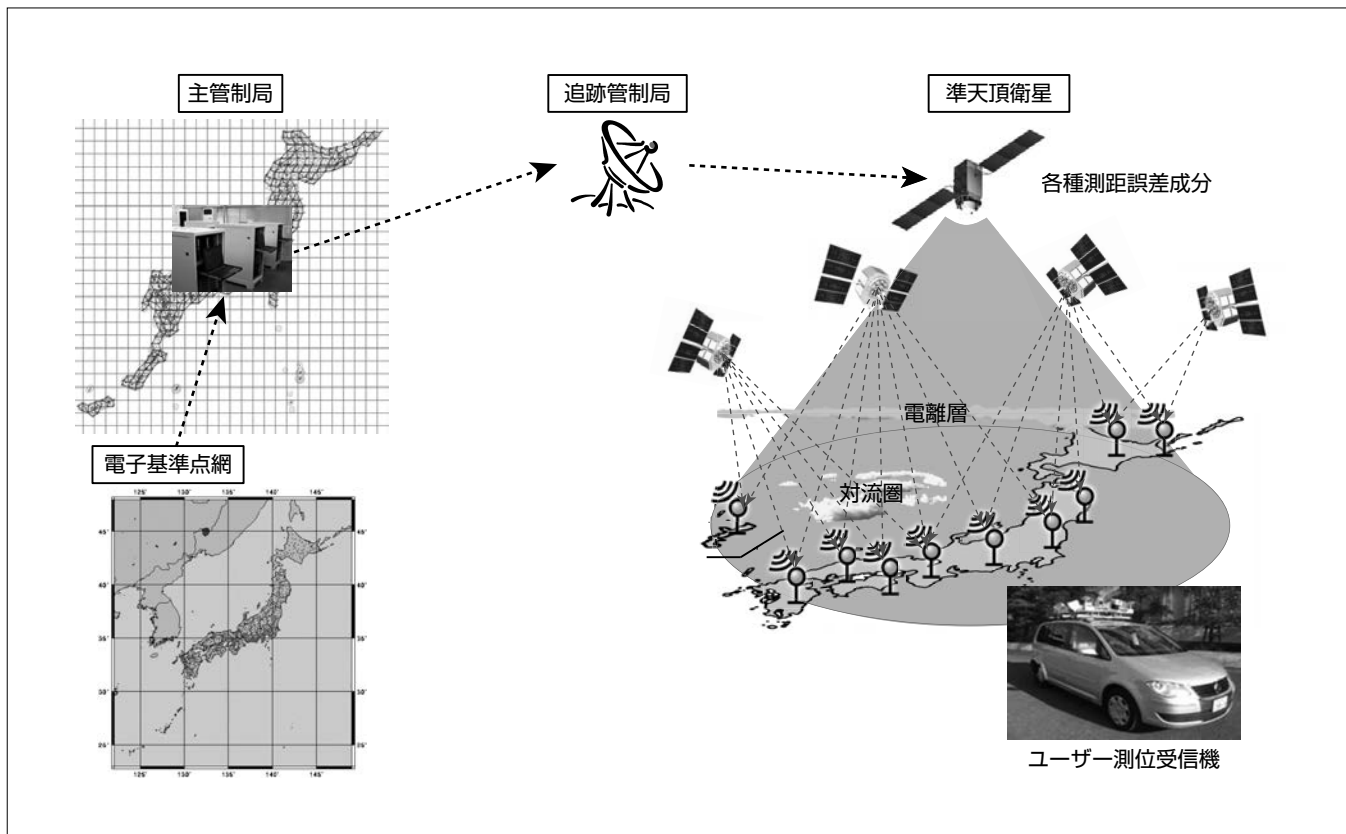
要 旨

準天頂衛星システム(QZSS)の2018年度からの実用サービス開始に向けて、センチメートル級測位補強サービス(Centimeter Level Augmentation Service: CLAS)を開発している。従来のGPS(Global Positioning System)の測位精度は約10mであり、信頼性も保障されない。しかし、CLASは衛星測距データに含まれる各種誤差を補正するデータを準天頂衛星経由で配信することで、高い測位精度(水平: 6cm)と信頼性を実現する。また、測位衛星の異常をリアルタイム監視するインテグリティ監視機能を持ち、測位情報の信頼性を確保することができる。

CLASは、オープン仕様の衛星配信型の高精度・高信頼補強サービスとして世界初^(注1)であり、各誤差のダイナミクスに応じた情報圧縮技術を適用して1/1,000のデータ圧縮を実現することで、伝送速度が低い衛星回線経由の全国

サービスを可能にした。CLASでは、日本全国約300点の電子基準点網で取得した各測位衛星の観測データを用いて、主管制局で観測データに含まれる各種測距誤差を推定し、補正情報及びインテグリティ情報を生成する。これらの情報を準天頂衛星から放送し、測位受信機で各測位衛星の測距データを補正することで、高精度測位を可能にする。このシステムの開発では、海外を含む普及促進のために伝送フォーマットを国際標準規格に基づき新たに定義・規格提案中である。主要な仕様である高精度解を得るまでの初期化時間及び測位精度について評価を行い、仕様を満たすことを確認した。2017年3月から試験放送を開始し、早期の普及拡大につなげる。

(注1) 2016年2月4日現在、当社調べ



準天頂衛星システムセンチメートル級測位補強サービス

電子基準点網(日本全国約300点)で取得した観測データから各衛星の測距誤差成分(軌道、時計、信号バイアス、電離層遅延、対流圏遅延)を推定し、圧縮及びインテグリティ情報付与後、衛星経由で配信する。ユーザー測位受信機は、各衛星の観測データを補強データで補正し、高い測位精度(水平: 6cm)と信頼性を実現する。

1. ま え が き

準天頂衛星システム(QZSS)は、2018年度からの実用サービス開始を目指して日本が独自に開発中の衛星測位システムである。米国のGPSと互換性を持つ測位信号を送信する補完機能と、測位精度を向上させる補強情報を日本国内向けに配信する補強機能を併せ持っている。補強機能では世界初のオープン仕様の衛星配信によるセンチメートル級測位補強サービス(CLAS)を提供する。CLASは、従来のGPSカーナビゲーション等で約10mであった精度を6cm(水平)と飛躍的に高めるものであり、自動車の自動運転や情報化施工等の様々な用途への応用が期待されている。また、このシステムでは、安全に関わるシステムへの適用に際して必要とされるインテグリティ機能を高精度測位システムとして世界で初めてサポートしている。

本稿では、三菱電機が開発するCLASの特長及び開発状況について述べる。

2. センチメートル級測位補強サービス

2.1 開発状況

宇宙基本計画(2015年1月)では、準天頂衛星システムの整備について、4機体制によるサービスを2018年度から開始し、2023年度を目途に持続測位が可能になる7機体制を目指すとされている。この計画に基づき、2017年度は3機の衛星(準天頂衛星2機、静止衛星1機)を打ち上げ、2010年度に打ち上げ済みの準天頂衛星1号機と合わせて合計4機の体制で運用を開始する計画である。また、並行して衛星の管制や測位システムで使用される情報の生成を担当する地上システムや利用実証に使用されるプロトタイプ測位端末も開発されており、2017年度からサービスの普及拡大に向けた本格的な利用実証を行う予定である。

2.2 マルチGNSSと高精度測位

衛星測位システム(Global Navigation Satellite System : GNSS)では、ユーザー受信機側で4機以上の衛星からの測距信号を受信し、衛星と受信機間の距離を正確に知ることによって、受信機の三次元の位置と時計誤差を知ることができる。GNSSは、従来、米国のGPSだけが普及していたが、近年、ロシアのGLONASS、欧州のGalileo、中国のBeidou、インドのIRNSSが配備中又は実運用されており、2020年代には140機を超える衛星が運用される予定である(図1)。衛星測位システムは全て軍用(又は公共用途)と民生用のデュアルユースであるが、従来、民生用の信号は1つに限定されており、電離層遅延などの誤差を補正して、センチメートルの精度で測位を行うためには、軍用の複数の信号をサポートする特殊な受信機を購入する必要があった。こうした高性能受信機は高価

(200万円以上)であり、従来は測量などの用途に限定されていた。マルチGNSS化及びGPS近代化プログラムによって、2000年以降、新世代の測位衛星が整備され、民生用信号だけで複数の周波数を用いた測位が可能になりつつある。これによって、数年後には、民生用GNSS受信機市場で複数周波数による高精度測位に対応したGNSS受信チップが登場し、自動車向け等に普及することで、量産単価も数千円(従来比約1/1,000以下)と大幅に低下すると予想される。

2.3 高精度測位補強方式の課題

センチメートル級の測位精度を実現するためには、約20,000km離れた衛星と受信機間の距離をセンチメートルの精度で観測する必要がある。しかし、これらの距離情報には図2に示すような様々な誤差が含まれており、補強システムによる補正が必要である。主な測距誤差要因は、衛星に起因するグローバル誤差(衛星軌道誤差、衛星クロック誤差、衛星信号バイアス誤差)、電離層遅延及び対流圏遅延に起因するローカル(又はリージョナル)誤差、マルチパス及び受信機バイアス誤差等に起因するユーザー受信機誤差の3種類に大別される。従来のRTK(Real Time Kinematic)方式では、位置が正確に分かっている基準局で各衛星の電波を受信して衛星・受信機間の幾何学的距離と観測距離の差からコード及び搬送波位相の測距誤差を算出し、モバイル回線等によってユーザー受信機に伝送す

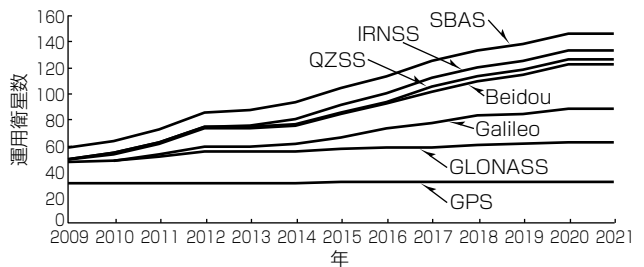


図1. 衛星測位システムでの運用衛星数の変化

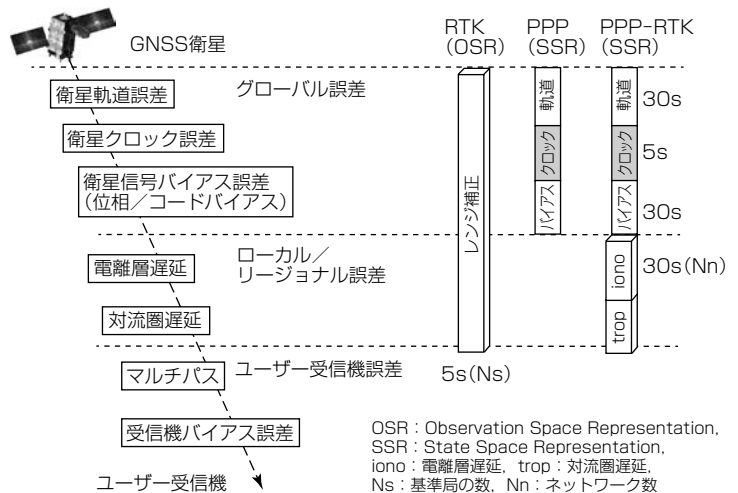


図2. 測距誤差と各補強方式による補正の比較

る。このRTK方式は、精密解を得るまでの初期化時間が数秒程度と短い利点があるが、測距誤差を伝送するために伝送効率が低く、また、基準局と受信機間の距離が10km程度に制限され、広域サービスを行うことは困難であった。精密単独測位(Precise-Point Positioning: PPP)方式は、処理サーバで広域に配置された複数の監視局受信機の観測データからグローバル誤差成分を推定し、ユーザー受信機に配信する。この方式は、Lバンド衛星回線のような低速な回線でも広域サービスが可能であるが、ローカル誤差成分をユーザー受信機側で推定・補正する必要があるため、精密解を得るまでの初期化に20分以上かかるという課題がある。

2.4 PPP-RTK方式による高精度補強

CLASがサポートするPPP-RTK方式は、グローバル誤差成分に加えて、ローカル誤差成分も配信するため、初期化時間を30秒以下に低減することができる。PPP及びPPP-RTK方式では、各誤差成分を推定して補正データとして配信することで、グローバル・ローカル誤差伝送の冗長性をなくすとともに、各誤差成分のダイナミクスに応じて更新間隔や分解能を適切に設定することで、所要伝送量を従来方式に対して大幅に低減できる。PPP-RTK方式の実現には密に配置された基準局網が必要であり、日本国内では、国土地理院が約1,300局を整備・運用する電子基準点網(GEONET)を利用する。

2.5 CLASの信号系

CLASのユーザーインタフェース仕様IS-QZSS-L6⁽¹⁾及びサービス仕様PS-QZSS⁽²⁾に規定された主な仕様を表1に示す。補強対象として、現在及び将来に整備される衛星測位システム(GNSS)の多くの信号に対応する。高精度測位解を得るまでの初期化時間は補強データ取得に要する最大の時間(30秒)を含み60秒としている。CLASの補強データは、準天頂衛星のL6信号(中心周波数: 1,278.75MHz)で放送される。伝送データ速度は2,000bpsで、8ビットCSK(Code Shift Keying)によってデータ変調する。L6信号のデータチャンネルについて、準天頂衛星1号機は1チャンネルだけであるが、2号機以降は2チャンネル持っている。1チャンネルをCLASが使用し、残る1チャンネルは実験用として使用される予定である。

表1. CLASの主な仕様

| 項目 | 仕様 |
|---------------|--|
| 補強対象のGNSS信号 | GPS: L1C/A, L1C, L2P, L2C, L5 QZSS: L1C/A, L1C, L2C, L5 Galileo ^(注2) : E1b, E5a GLONASS(CDMA) ^(注2) : L1OS, L2OS |
| サービスエリア | 日本国及び領海 |
| 位置精度(オープンスカイ) | 水平6cm(95%), 垂直12cm(95%) |
| 初期化時間 | 60秒以下(95%) |
| サービス可用性 | 0.99以上(コンステレーション) 0.97以上(衛星) 0.92以上(高仰角(60°)) |

(注2) 電子基準点網がサポート後、一定の試験期間を経て、サービス追加を予定。
CDMA: Code Division Multiple Access

2.6 システム構成と処理の流れ

CLASを実現するシステムは、宇宙セグメント(衛星)、制御セグメント、ユーザーセグメント(測位受信機)で構成している。制御セグメントを構成するセンチメートル級測位補強情報生成設備では、電子基準点網で取得した測位衛星の測位信号観測データを入力とし、次の処理を行う。

- ①補正情報の生成と圧縮
- ②インテグリティ監視とインテグリティ情報(補正情報の品質指標)の生成
- ③補強情報フレームの生成

電子基準点は、日本全国約1,300点の中から約300点を選定して使用する。

センチメートル級測位補強情報は、主管制局から追跡管制局を経由して準天頂衛星へ向けてアップリンクされる。

準天頂衛星では、センチメートル級測位補強情報がL6信号によって日本全国へ送信される。ユーザー端末は、準天頂衛星からの補強情報と測位衛星からの測位信号を用いて測位演算を実施し、位置情報を出力する。同時に、補強情報のうちのインテグリティ情報を用いて、ユーザーは得られた補正情報の信頼度をリアルタイムに確認することができる。

2.7 メッセージフォーマットの仕様

L6メッセージの基本的なデータ構造は、準天頂衛星1号機のLEX(L-band EXperiment)信号と互換性を保つように設計しており、ヘッダ部(49ビット)、データ部(1,695ビット)、リードソロモン符号(256ビット)の合計で2,000ビットの1メッセージを構成し、1秒で伝送する。データ部には、複数の補強メッセージがストリーム形式で伝送されている。

補強メッセージは、日本国内限定の仕様になることを回避して普及を促進するため、国際標準規格であるRTCM(Radio Technical Commission for Maritime services)規格⁽³⁾に互換性を持つ形式を採用している。ただし、PPP-RTK方式の標準規格は未定義であるため、インテグリティ情報を含むPPP-RTK用圧縮フォーマットCompact SSR⁽⁴⁾を汎用の規格として定義し、RTCM委員会に提案中である。Compact SSRは、CLASへの適用を意図して設計されているが、地上系配信サービスや欧米他の地域にも適用可能な汎用性を持っている。規格化には数年単位の時間を要するが、既に主要な受信機メーカーの賛同を得られており、デファクト標準となることが期待される。

2.8 メッセージ伝送周期

メッセージ伝送周期を表2に示す。Compact SSRでは、

表2. メッセージ伝送周期

| 補正内容 | 配信間隔 |
|--|------|
| 衛星クロック誤差 | 5秒 |
| 衛星軌道誤差, 衛星信号バイアス誤差(位相/コードバイアス), URA, マスク | 30秒 |
| 電離層遅延, 対流圏遅延 | 30秒 |

URA: User Range Accuracy

10種類のメッセージを定義しており、CLASでは最も変動周期が短い衛星のクロック誤差を5秒、それ以外の成分は30秒周期で配信する。また、配信するメッセージには、補正情報の精度指標が複数含まれ、測位受信機でのインテグリティ機能で補強後の測距精度を推算する際に使用される。

3. 補強機能性能の評価

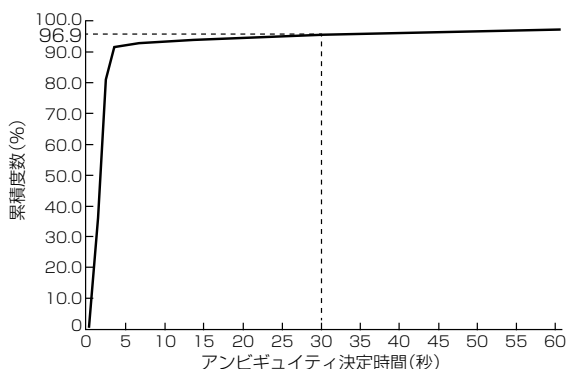
全国に設置されている電子基準点の周囲の環境によってマルチパス等の状況は異なり、電離層や対流圏等の変動要因も存在するため、このシステムの構築に当たっては広範なデータの蓄積とチューニングが必要である。この開発では、開発設備でプロトタイプ設備を整備し、長期にわたる評価を実施している。

3.1 初期化時間

図3に精密解を得るまでの初期化時間に関する評価結果を示す。初期化時間は、全国のモニタ点(60点)で観測データを対象にして搬送波位相のアンビギュイティ決定時間と定義されている。30秒以内に累積度数が96.9%になり、仕様値(95%)を実現している。

3.2 測位性能評価

全国の電子基準点から複数のモニタ局を選定し、このサービスの補強情報を適用後の測位精度を解析によって求



網統合機能を含まないローカル網によるリアルタイム測位結果

図3. アンビギュイティ決定までの時間

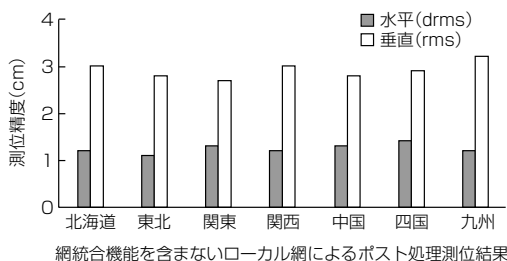


図4. 測位精度の一例

表3. 移動体測位時の再初期化時間の一例(注3)

| 周回 | 従来方式(秒) | CLAS(秒) |
|----|---------|---------|
| 1 | 27 | 10 |
| 2 | 21 | 18 |
| 3 | 20 | 15 |
| 4 | 20 | 13 |

(注3) 網統合機能を含まないローカル網によるリアルタイム測位結果

めた結果の一例を図4に示す。水平精度は約1cm(drms)、垂直精度は約3cm(rms)といずれも仕様値を満たす結果が得られている。

次に、移動体への適用時の性能評価の一例を示す。自動車等の移動体への適用に際しては、可用性を担保するためにジャイロや車速パルス等の他のセンサとの複合航法システムを構成するが、システムの低コスト化のために、衛星測位を中断を少なくすることが求められる。具体的には、建物やトンネル等の遮蔽物の影響によって測位を中断した際に、再度精密解が得られるまでの時間を短くする必要がある。表3には、当社鎌倉製作所のテストコースで試験車両を複数回走行させ、電波遮蔽物を通過後、再度精密解を得るまでに要した時間を計測した結果を示す。

CLASは、高い伝送効率を確保しつつ、比較対象である従来のネットワークRTK方式に対して、良好な性能を示していることが分かる。

4. むすび

2018年度の実用準天頂衛星システムのサービス開始に向けて開発中のセンチメートル級測位補強サービス(CLAS)の開発状況について述べた。このサービスは、日本全国を対象にセンチメートル級の位置情報を提供するものであり、IT農業、情報化施工等様々な用途が期待される。また、三次元ダイナミックマップとの連携によって自動車の自動運転への応用も期待される。このシステムの完成に向けて、測位チューニングを継続するとともに、ユーザー拡大の活動を促進するため、2017年初めからの試験放送期間中に各種の利用実証を実施する計画である。また、各測位受信機メーカーに対しては、補強データ伝送フォーマットの国際標準規格化を推進して必要な技術情報を提供することで、対応する端末の早期の製品化を求めていく。

参考文献

- 準天頂衛星システムサービス(株)：“準天頂衛星システムサービスユーザインタフェース仕様書 センチメートル級測位補強サービス編”について、IS-QZSS-L6-001(Draft) (2016)
- 準天頂衛星システムサービス(株)：“準天頂衛星システムサービスパフォーマンススタンダードセンチメートル級測位補強サービス編”について (2016)
- RTCM Standard 10403.2 : Differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Services, RTCM Special Committee No.104 (2013)
- RTCM SC-104 QZSS Working Group : Specification of Compact SSR Messages for Satellite Based Augmentation Service, RTCM Paper 008-2016-SC104-922 (2015)