

# 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の利便性向上に向けて

上原晃齊\*  
Akinari Uehara  
宮 雅一\*  
Masakazu Miya  
藤田征吾\*  
Seigo Fujita

廣川 類\*  
Rui Hirokawa

For Advancement of Quasi-Zenith Satellite System Centimeter Level Augmentation Service

## 要 旨

準天頂衛星システム(Quasi-Zenith Satellite System : QZSS)は2018年11月1日に実用サービスが開始された。そのサービスの一つとして、従来のGPS(Global Positioning System)カーナビゲーション等で数メートルであった精度についてセンチメートル級の極めて高い測位精度を実現する補強サービスであるセンチメートル級測位補強サービス(Centimeter Level Augmentation Service : CLAS)が提供される。CLASでは、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(静止体水平 : 6 cm以下(95%))を実現する。都市部等の利用では測位衛星からの電波が遮蔽されるこ

とがあり、ユーザーの可用性を向上させる取組み状況として、CLASの補強対象衛星数を増加させる改善施策を報告する。CLASは2032年度までの提供が決定しており、インフラの更なる価値向上等によって、自動運転、鉄道利用、社会インフラ維持管理、無人化・ロボットサービスといった様々な分野への社会実装が期待されている。今後も継続した安定的なサービスの提供に向け、サービス品質の維持に取り組んでいくとともに、ユーザー利便性向上に向けた施策を進めることによって、高精度測位社会の実現に貢献する。

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の主要イベント

	FY2013	FY2014	FY2015	FY2016	FY2017	FY2018	FY2019	FY2020	FY2021	FY2022	FY2023	FY2024以降
運用状況		2017/9/15 : 2号機配信開始 ▲ 2017/9/27 : 1号機配信開始 ▲ 2017/12/18 : 3号機配信開始 ▲ 2018/1/12 : 4号機配信開始 ▲				試験サービス ▲	▼ 2018/11/1 : 準天頂衛星システムサービス開始 実用サービス		実用サービス (補強衛星数増)			
システム構築・整備	基本／詳細設計			システム整備・試験						維持管理		
									2023年 : 5号機 / 6号機 / 7号機打上 ▲▲▲			7機体制に向けた整備



準天頂衛星システム「みちびき」サービス開始記念式典の様子

出典 : みちびきウェブサイト  
([https://qzss.go.jp/events/ceremony\\_181105.html](https://qzss.go.jp/events/ceremony_181105.html))

## 準天頂衛星センチメートル級測位補強サービス

電子基準点(日本全国約1,300点)で取得した観測データから各衛星の距離誤差成分(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を付与して衛星経由で配信する。2018年11月1日に準天頂衛星システムのサービスの一つとして開始されたが、ユーザー利便性を更に向上させるため、インフラで配信する補強対象衛星数を増加する改善を予定している。

## 1. ま え が き

自己位置の標定技術として様々な技術が存在するが、中でも2018年11月1日にサービスインとなった準天頂衛星システム(QZSS)でのセンチメートル級測位補強サービス(CLAS)の提供開始は新たに注目される技術の一つである。CLASは、準天頂衛星から送信されるL6信号を使用して、日本の測地系と整合可能なセンチメートル級の位置精度が得られる測位補強情報を日本全国及びその近海に送信するサービスである。特定の地上通信インフラを必要としない日本国内をサービスエリアとした無償の放送型の測位補強サービスの開始は、IT農業や全国の高速自動車専用道路での自動走行・次世代安全運転支援システムなど、本格的な高精度位置情報利用時代への利活用が期待されている。

本稿では、CLASの概要とサービスの提供状況、サービス性能の評価状況、及びCLASの普及促進に向けての利便性向上の取組み状況を述べる。

## 2. CLASの概要

### 2.1 CLASの特長

CLASは、GNSS(Global Navigation Satellite System)としては初となるセンチメートル級の測位を可能にする補正情報を送信するサービスである。衛星からの補正情報の送信は、携帯電話やWi-Fi<sup>(注1)</sup>等の地上インフラでの送信とは異なり、衛星の可視性が保持できる環境で一律にサービ

ス提供が可能である。ユーザー規模が爆発的に拡大した場合であっても、放送型のサービスであることから、ユーザー数は無制限に対応可能であることがメリットとしてある(図1)。GalileoやBeiDouなど他のGNSSでも、今後、センチメートル級の測位を可能とする補正情報の送信が予定されており、世界的にも高精度測位の爆発的普及に向けた環境が整いつつある。

(注1) Wi-Fiは、Wi-Fi Allianceの登録商標である。

### 2.2 CLASの原理

CLASが配信する補強情報の内容とセンチメートル級の位置情報を取得するまでのフローを図2に示す。QZSSのサービスの一つであるCLASは、日本全国約1,300か所に

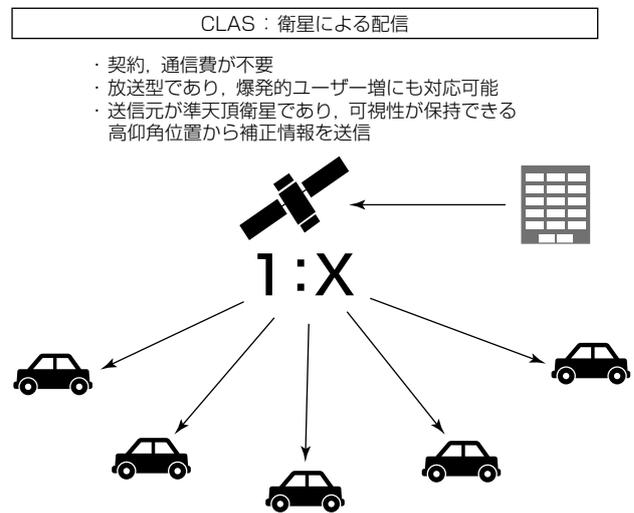


図1. CLASの特長

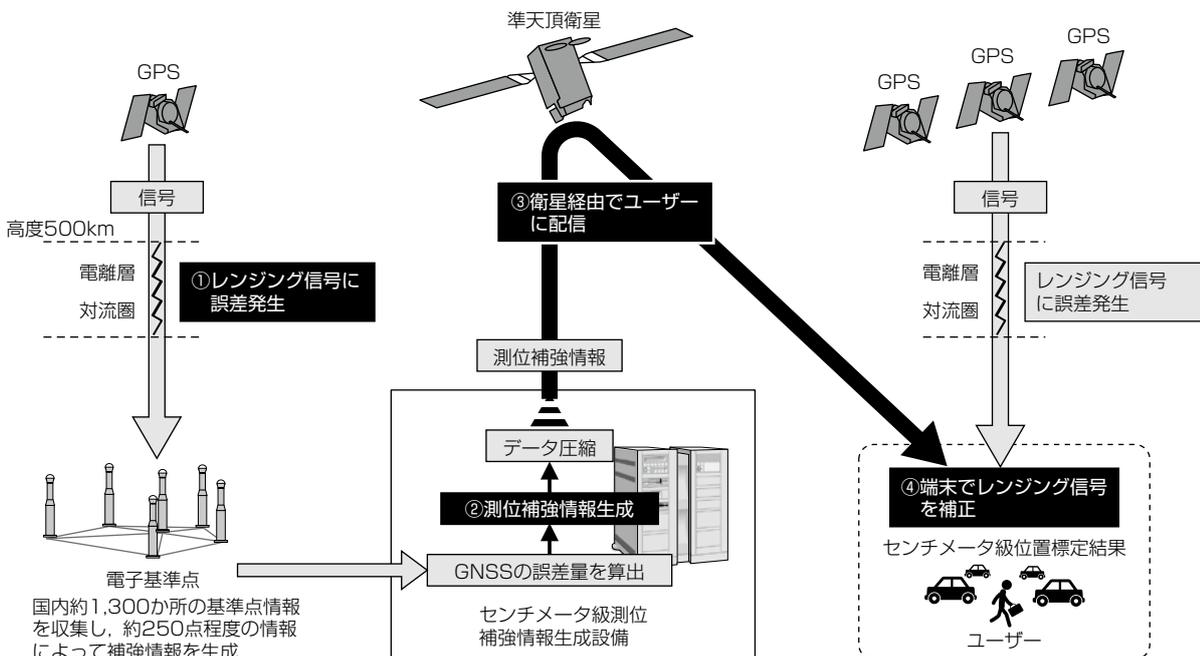


図2. CLASによるセンチメートル級位置情報の取得フロー

配置された電子基準点のGNSS観測データから、常時250点程度の観測データを利用して、衛星測位での誤差要因である衛星時計誤差、軌道誤差、衛星信号バイアス、電離層遅延誤差、対流圏遅延誤差等を推定し、補正情報を生成する。さらに、インテグリティモニタによる異常監視と補正情報の品質を表す指標となるインテグリティ情報を付加し、補強情報(補正情報及びインテグリティ情報)として回線容量である2kbps(データ領域は1,695bps)に圧縮し、準天頂衛星のL6信号で送信する。補強情報のメッセージ規格は、測位補強サービスの国際的な標準規格RTCM STANDARD 10403.2<sup>(1)</sup>から定義されるSSR(State Space Representation)方式に準拠したCompact SSRメッセージ<sup>(2)</sup>を採用している。ユーザーインタフェース仕様書(IS-QZSS-L6)<sup>(3)</sup>については、準天頂衛星システムサービス株(Quasi-Zenith Satellite System Service Inc.: QSS)が運用するウェブサイト<sup>(4)</sup>で公開されており、各企業・団体は自由にCLAS対応の受信機やアプリケーションなどの開発を行うことができる。

### 3. サービス提供状況

#### 3.1 CLASのサービス提供状況

CLASは、2018年11月1日に実用サービスを開始した。サービスの提供状況(サービスの中断、性能劣化につながる提供イベントの計画、不具合などによる中断、性能劣化の実績など)については、米国のGPSがユーザーに対して配信しているNANU(Notice Advisory to Navstar Users)に倣い、NAQU(Notice Advisory to QZSS Users)情報<sup>(5)</sup>として公開しており、ユーザーはウェブサイト上で提供状況を確認できる。また、ツイッターによるNAQU情報の配信通知も実施しており、NAQU情報のウェブ公開と同時に、モバイル端末等でリアルタイムに通知を受け取れることもできる。また送信するメッセージではサービス中断か否かを示す“アラートフラグ”のデータ領域を設けており、受信機ではリアルタイムでサービス中断か否かを判断する処理を具備できる。

CLASでは4冗長構成で地上システムを組んでおり、高い信頼性・可用性のサービスを提供している。準天頂衛星4機によるコンステレーションアベイラビリティ(衛星4機のうち少なくとも3機が、正常なL6信号を同時に提供する確率)は、仕様値0.99に対し、サービス開始後半年間の実績値は、0.999以上を達成している。

#### 3.2 サービス性能のモニタリング

精度などのCLASのサービス性能は、PS-QZSS<sup>(6)</sup>で公

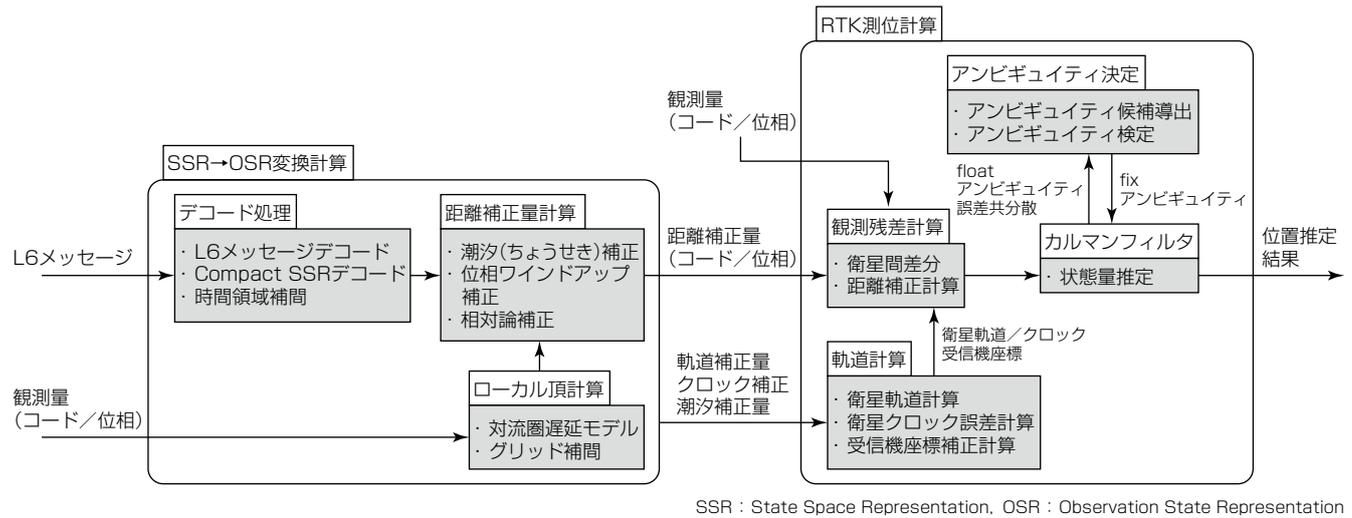
表1. CLASの主な仕様

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: E1B, E5a GLONASS(CDMA <sup>(注2)</sup> ): L1OS, L2OS
サービスエリア	日本国及び領海(約80万km <sup>2</sup> )
位置精度 (オープンスカイ, 95%)	静止体: 水平6cm/垂直12cm 移動体: 水平12cm/垂直24cm
初期化時間(95%)	60秒以下(補強情報取得時間含む)

(注2) CDMA: Code Division Multiple Access

開している(表1)。CLASでは、センチメートル級精度の測位(静止水平精度6cm(95%)以下、静止垂直精度12cm(95%)以下、移動体水平精度12cm(95%)以下、移動体垂直精度24cm(95%)以下)を可能とする補強情報を準天頂衛星から日本全国に送信している。衛星測位分野一般に精度の仕様は、GPSで見られるような衛星間とユーザー間の距離ドメインでのユーザーレンジ精度(User Range Accuracy)で示す方式と、ユーザードメインでの測位精度で示す方式があるが、CLASではユーザーへの分かりやすさを考慮し、後者の測位精度を採用し、精度仕様として定めている。そのため、CLASのプロバイダ側では、サービス性能をモニタリングすることを目的に、ユーザー模擬として、後処理測位演算ソフトウェアCLASLIB(Centimeter Level Augmentation Service Test Library)<sup>(7)</sup>を整備して一般公開するとともに、みなしユーザーとして日本全国から選定された電子基準点72点を対象にして、定常的に精度をモニタリングできる仕組みを設け、日々の精度評価結果を踏まえながら、サービス性能の維持向上に努めている。

CLASLIBは、L6メッセージのデコード処理や、CLASを利用するユーザーの測位方式であるPPP-RTK(Precise Point Positioning-Real Time Kinematic)対応の測位計算プログラムなどを含む後処理専用ツールのパッケージである。オープンソースであるRTKLIB(Real-Time Kinematic Library)<sup>(8)</sup>のversion2.4.2p13を拡張して構成している。L6メッセージのデコード処理以外の測位計算部分については、拡張カルマンフィルタ・MLAMBDA(Modified Least-square AMBiguity Decorrelation Adjustment)法によるアンビギュイティ決定処理などのコンベンショナルなRTK法の測位演算で使用される処理を採用している(図3)。また、オリジナルのRTKLIBの実装に対しては、アンビギュイティの検定処理機能の強化やパラメータチューニングを実施することによって、測位性能の改善を図っている。さらに、CLASLIBは静止体向け、移動体向けに別々のモードで実装している。静止体を想定した精度の確認は、静止体モードによって、移動体を想定した精度の確認は移動体モードによって実施する。静止体モードでは位置推定にかかわる状態量が座標位置(三次元)だけであり、座標位置が前エポックの解に拘束するように



SSR : State Space Representation, OSR : Observation State Representation

図3. CLASLIBの処理フロー

位置推定結果を算出する一方、移動体モードでは位置に加えて、速度及び加速度を状態量として推定して位置推定結果を算出する違いがある。

なお、CLASLIBは、CLAS対応端末の開発・販売を検討している企業・団体向けに、参照実装として提供することも目的としている。製品の実装検討時に参照データ生成ツールとして利用することも可能である。

## 4. サービス性能の評価状況

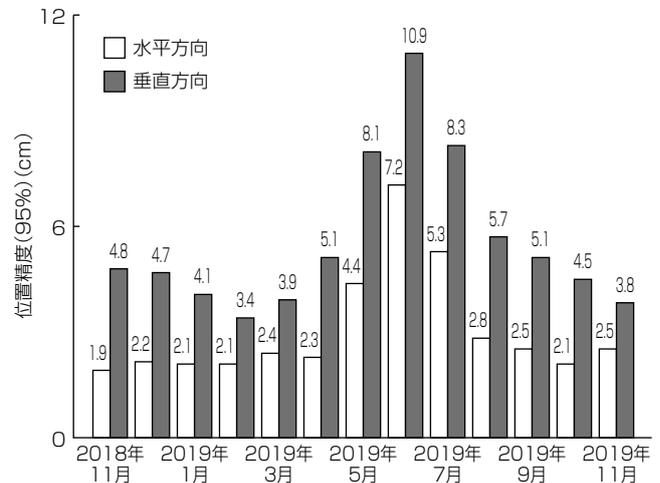
### 4.1 CLAS精度評価結果

サービス開始後のCLASの精度評価結果(水平方向, 垂直方向)を静止体向け精度については図4(a)に、移動体向け精度については図4(b)に示す。月ごとに電子基準点72点の全エポックの測位結果を対象とした統計値(95%値)を示している。サービス開始以降、表1で示した精度仕様を満足している状況である。なお、サービスの評価結果は、定期的にウェブサイトで公開される計画である。

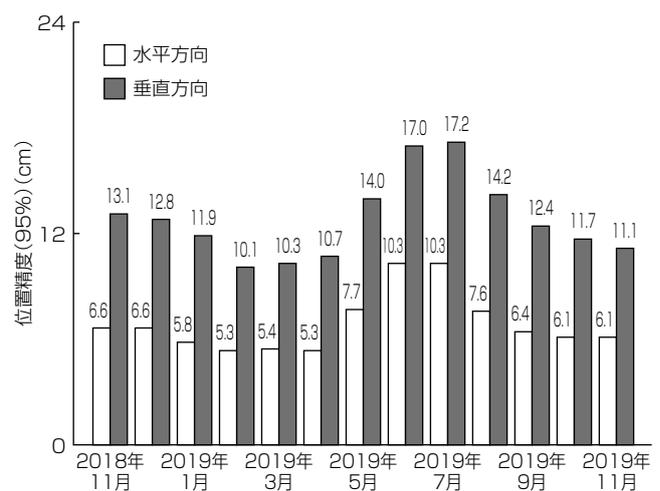
### 4.2 実端末での検証例

CLAS対応の端末を使用した検証例について述べる。2019年3月19日に、日本南方域の実フィールドでのサービス性能確認を目的に、日本最西端となる与那国島で、車両を使用した評価を実施した。評価に使用した端末は、QSSウェブサイトで一般貸出しを実施しているタイプと同じ端末である(図5)。自動車に端末を搭載し、移動体用のモードで動作させ、図6に示す走行経路に沿って、リアルタイム処理で測位結果を取得した。

図7に走行経路上の毎秒の測位精度を示す。リファレンス(みなし真値)として近傍の電子基準点を用いたRTKに



(a) 静止体向け精度



(b) 移動体向け精度

図4. 精度評価結果

よる結果を求めて、リファレンスからの差異を示している。経路全体で精度良く測位ができており、水平精度は8.8cm、垂直精度は15.9cm(共に95%値)であった。なお、精度の



図5. PPP-RTK方式対応の端末

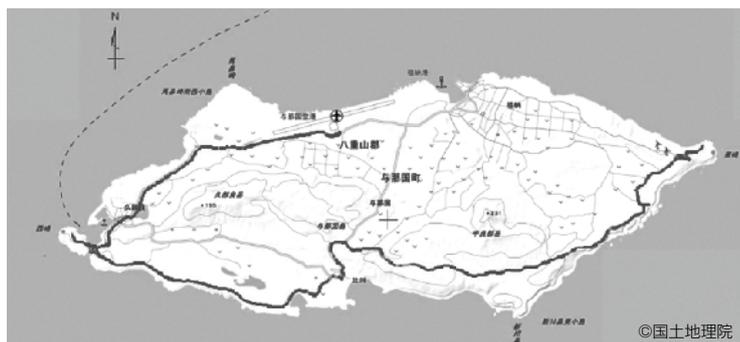


図6. 与那国島での走行経路

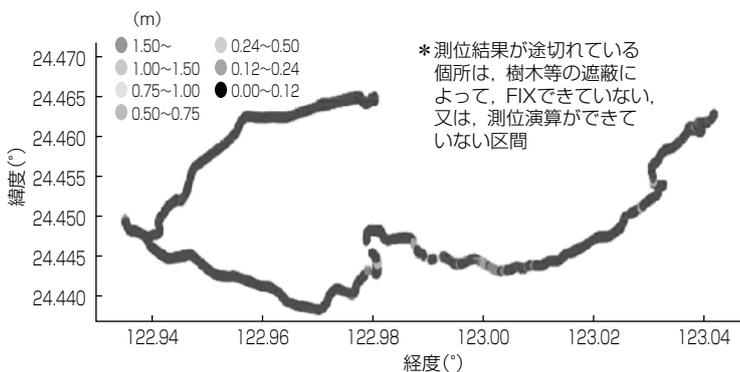


図7. 精度評価結果

統計値では、樹木等の遮蔽によってFIXできていない、又は、測位演算ができない区間を除いている。

## 5. CLASの利便性向上に向けて

### 5.1 補強対象衛星数増加の目的

CLASの補強信号は、日本のほぼ天頂にある準天頂衛星(QZS)から配信されるため、高層建造物があるような周囲環境でも電波が遮蔽されることなく、ユーザーに伝送される。一方、測位に使用する衛星(GPSやGalileo等)はQZSに対して低い仰角を飛行するため、非オープンスカイ環境(仰角15度以上に遮蔽物があり、衛星からの電波が遮蔽される環境(都市部

や森林等))では、ユーザーの可視性に制約を受けることがある。このため、都市部等の環境では、CLASの現行フォーマットで配信する補強対象(測位)衛星数の最大11機では、測位に必要な衛星数を確保することができず、測位結果に大きな影響を与えてしまうことがある。

CLASは現在、マルチGNSS(Global Navigation Satellite Systems)対応として、GPS、Galileo、QZSをサポートしており、その平均可視衛星数は約17機である(図8に、2019年6月7日の東京での例を示す)。非オープンスカイ環境の利用シーンを想定し、新フォーマットを適用してCLASの補強対象衛星数を現状の最大11機から(平均可視衛星数の)17機まで増加させることで、CLASの可用性を飛躍的に向上させることが可能となる。

### 5.2 補強対象衛星数増加による効果

補強信号は衛星経路で配信されるため、回線容量に制約がある。そこで、補強情報のフォーマットを見直し、大気圏の擾乱(じょうらん)に応じて電離層補正量の情報量(ビット数)を動的に最適化(圧縮化)する方式を適用することで、情報圧縮率を最大30%向上させ、補強対象衛星を最大11機から最大17機に増加することを可能にした。補強対象衛星数の改善例を図9に示す。衛星配置によって可視衛星数が制約されるが、従来(現行フォーマット)では補強対象衛星として7~11機を配信していたが、新フォーマットでは12~17機に改善していることが分かる。また、補強対象衛星が時系列的に一樣に増加することで、電離層擾乱の時間帯でも測位精度が大きく改善している(図10)。

先に述べた新フォーマットに関する性能評価については引き続き継続するとともに、CLASサー

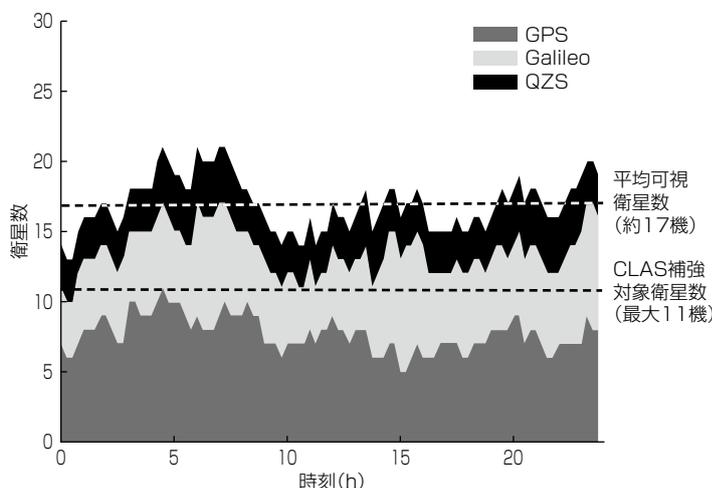


図8. 可視衛星数の時間推移(仰角マスク15度)

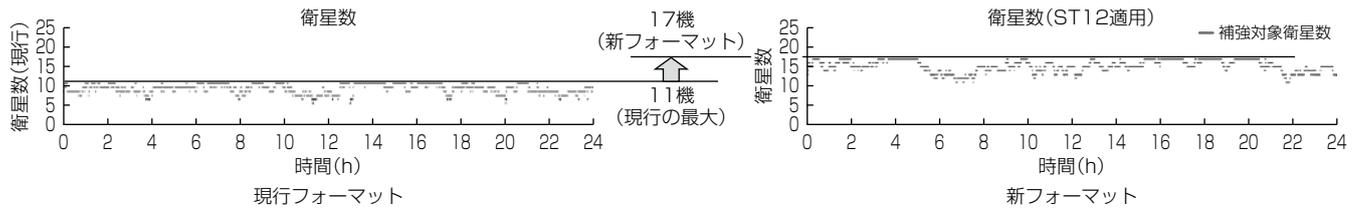


図9. 補強対象衛星数の改善例

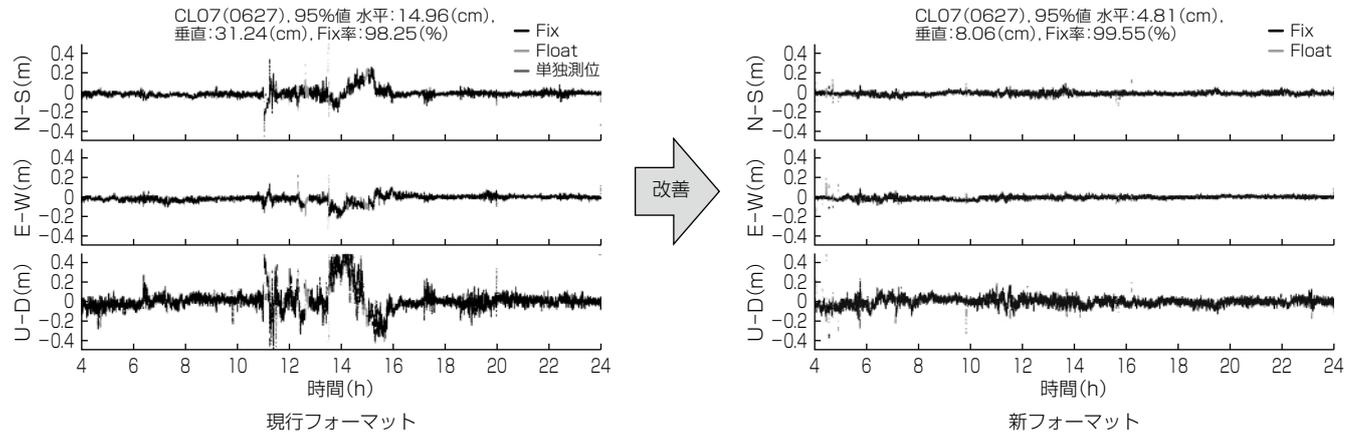


図10. 測位精度の改善例

ビスへの適用に先立ち、試験的な地上配信を2020年3月開始目標で準備を進めている。また、新フォーマットの詳細情報としてはユーザーインタフェース仕様書の改訂版 (IS-QZSS-L6-002)をQSSウェブサイトにて公開中である。

## 6. むすび

準天頂衛星システムのCLASのサービス提供状況、及びサービス性能の評価状況を報告した。また、現状のCLASは補強対象衛星数を増加させることによって、ユーザーの可用性を向上させる取組み状況について併せて報告した。このサービスは2032年度までの運用が決定しており、インフラの更なる価値向上等によって、自動運転、鉄道利用、社会インフラ維持管理、無人化・ロボットサービスといった様々な分野への社会実装が期待されている。今後も継続した安定的なサービスの提供に向け、サービス品質の維持に取り組んでいくとともに、ユーザー利便性向上に向けた施策を進めることによって、高精度測位社会の実現に貢献する。

## 参考文献

- (1) RTCM SPECIAL COMMITTEE 104 : RTCM Standard 10403.2 Differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Services (2013)
- (2) RTCM Paper 115-2018-SC104-1071 : Specification of Compact SSR Messages for Satellite Based Augmentation Service, Version 0.5, 18-OCT (2018)
- (3) Cabinet Office : Quasi-Zenith Satellite System Interface Specification, Centimeter Level Augmentation Service, IS-QZSS-L6-001 (2018)
- (4) 内閣府 | 技術情報 | みちびき(準天頂衛星システム : QZSS)公式サイト : パフォーマンススタンダード(PS-QZSS)及びユーザーインタフェース仕様書(IS-QZSS)  
<https://qzss.go.jp/technical/download/ps-is-qzss.html>
- (5) 内閣府 | 技術情報 | 準天頂衛星システム(QZSS)公式サイト : NAQU情報  
<https://sys.qzss.go.jp/dod/naqu.html>
- (6) Cabinet Office : Quasi-Zenith Satellite System Performance Standard, PS-QZSS-001 (2018)
- (7) 内閣府 | 準天頂衛星システム(QZSS)公式サイト : センチメートル級測位補強サービスインデックスCLASテストライブラリ (2017)  
<https://sys.qzss.go.jp/dod/downloads/clas.html>
- (8) RTKLIB : An Open Source Program Package for GNSS Positioning  
<http://www.rtklib.com/>