

準天頂衛星システムによる都市部での衛星測位の可用性の拡大

瀧口純一* 富樫健司**
 中田圭二**
 津田喜秋**

Availability Enhancement of Satellite Positioning Service in Urban Canyon Utilizing Quasi-Zenith Satellite System

Junichi Takiguchi, Keiji Nakata, Yoshiaki Tsuda, Kenji Togashi

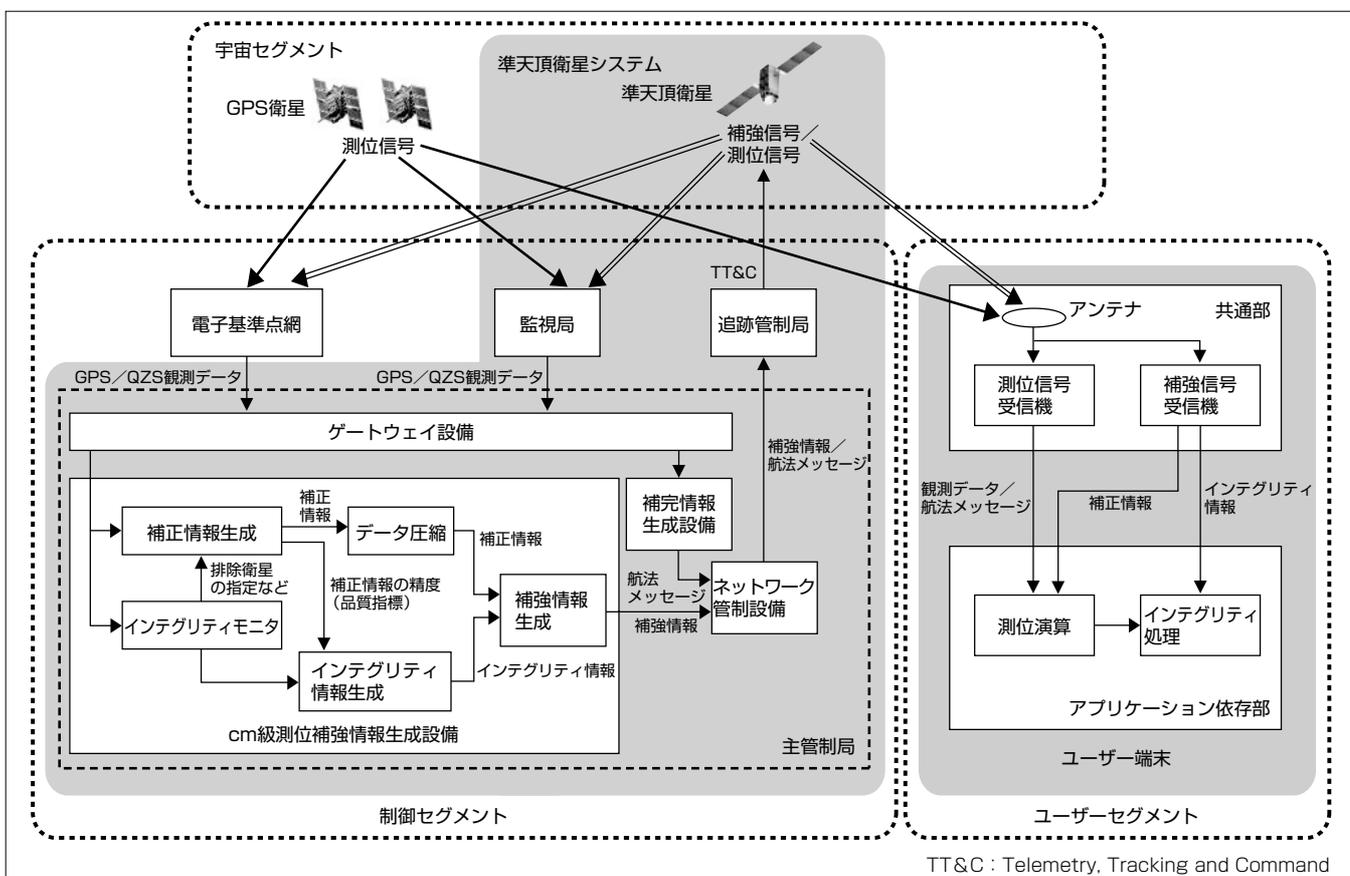
要旨

現在、GPS(Global Positioning System)測位はカーナビゲーション等で広く使われているが、都市部では、高層ビル等によって測位信号が遮られて、測位率が著しく劣化する。また、電離層や対流圏での電波特性の変化によって電波伝搬の遅延が生じる。これによって、GPS衛星と受信機までの距離の測定誤差が生じ、位置の品質が劣化するため、自動車、鉄道等の各種移動体の位置管理システムを現状のGPS衛星だけで構築するには問題があった。

準天頂衛星は、常時高い仰角にある測位衛星として、GPS衛星と同様の測位信号を放送することによって、GPS衛星と組み合わせて、幾何学的配置を表すPDOP(Position Dilution Of Precision)が改善される。同時に、準天頂衛星から高精度の補強情報を放送すれば、いつでもどこでも高

精度測位サービスが受けられるようになる。

代表的な都市部の丸の内で、移動体を用いた準天頂衛星システムの補完・補強機能の実証実験を行い、補完と補強の相乗効果によって、GPS衛星だけの測位結果に対して、準天頂衛星を1機追加すると、測位率が約1.7倍に改善すること、さらに準天頂衛星による改善結果に対してINS(Inertial Navigation System)を複合させることによって、GPS衛星だけの測位結果の3.5倍の測位率となることを確認した。また、レーンナビゲーションの判断基準となる車線幅の1/4(1.0m)以下の位置の品質を確認した。なお、丸の内地区では、GPS+QZS(Quasi-Zenith Satellite)の場合、平均仰角マスクは46.7度であり、4機体制では利用可能時間率は約80%であることを確認した。



準天頂衛星による測位システムの構成

主管制局では、監視局と電子基準点網からの準天頂衛星やGPS衛星の観測データをもとに、補完情報生成設備によって航法メッセージを、cm級測位補強情報生成設備によってcm級測位補強情報を作成する。航法メッセージとcm級測位補強情報は、準天頂衛星を介してユーザーに放送され、高精度測位が実現できる。これを準天頂衛星の補完・補強と呼び、これによって多種多様な測位サービスが実現できる。

1. ま え が き

衛星測位システム(GNSS: Global Navigation Satellite System)は、米国のGPSが一般にも良く知られているが、そのほかに、ロシアのGLONASS(Global Navigation Satellite System)が現在実運用中で、日本の準天頂衛星システム(Quasi-Zenith Satellite System: QZSS)⁽¹⁾、欧州のGalileo、中国のBeiDou、インドのIRNSS(Indian Regional Navigational Satellite System)が開発中である。衛星測位システムは、現在、身近にはカーナビゲーションに広く使われている他に、船舶や航空機の航法支援、測量や地盤監視などに用いられている。

衛星測位システムでの位置測定の原理は、測位衛星から放送される測位信号を測定点においた受信機で受信して、測位衛星と測定点との正確な距離を求め、三辺測量の原理で測定点の位置を求めるものである。測位信号の搬送波を用いて高精度な測位を実現するには、測定点の座標値(x, y, z)と受信機クロック誤差及びアンビギュイティと呼ばれる観測される測位信号に含まれる波長の整数倍の波数を未知数として求めるため、通常5機以上の測位衛星が必要となる。GPSは、6つの軌道面に各々4機配置の合計24機の測位衛星と予備の測位衛星が地球を周回しているが、時間帯によって日本上空での可視衛星数が減少し、位置の品質に影響する測位衛星の位置精度劣化率(PDOP)が大きくなる場合があり、高精度かつ安定な測位が全ての時間帯でできないのが現状である。

さらに、高層ビル、高架、樹木や歩道橋など、測位衛星との見通しを遮蔽する建造物等が多々ある都市部では測位率が著しく劣化する。また、測位衛星から受信機まで電波が到達する経路には、電離層や対流圏での電波特性の変化によって電波伝搬の遅延が生じる。これによって、測位衛星と受信機までの距離の測定誤差が生じ、位置の品質が劣化する。そのため、自動車や鉄道等の各種移動体の位置管理システムを現状のGPS衛星だけで構築するには問題がある。

その解決策として、準天頂衛星システムは、常に天頂付近にあるもう1機のGPS衛星としての役割とともに、位置の品質を向上させるための補強情報を日本全国及びその近海の利用者に放送する役割を併せ持つ。前者を、補完機能、後者を補強機能と呼ぶ。特に、日本の都市部では、高層ビルに遮られて捕捉可能なGPS衛星が制限されるので、常時高い仰角にある測位衛星があれば遮られることがないため、いつでもどこでも高精度測位サービスが受けられるようになる。準天頂衛星システムは、この補完機能とともに高精度の補強機能を合わせ持つことが特長である。

本稿では、4機によって構築される衛星測位システムとしての準天頂衛星システムについて述べる。そして、このシステムの最も特徴的な効果として、都市部での移動体を

用いた衛星測位の可用性の拡大効果について述べる。

2. 準天頂衛星システム

2.1 準天頂衛星システムの概要

準天頂衛星システムは、制御セグメントに対応する地上システムと宇宙セグメントに対応する衛星システムで構成される。衛星システムは、これから新規に開発・整備する2機の準天頂軌道衛星と1機の静止軌道衛星に、2010年9月に打ち上げられた準天頂衛星1号機(みちびき)(以下“みちびき”という。)を加えたものである。

準天頂軌道衛星は、昇降点赤経がみちびきと±135度の位置関係を持ち、離心率0.075、近地点引数270度、軌道傾斜角47度以下、軌道長半径42,164km(平均)の楕円軌道をとる。この軌道によって、日本から見ると、約1日で元の位置まで周回する非対称8の字軌跡となり、複数機構成で日本上空で常に高仰角が確保できる。東京では、24時間常時どれか1機の仰角は70度以上が確保できる。静止軌道衛星は、東経90度から180度のいずれかの位置に配置するが、東経135度付近になった場合には、常に仰角48度付近に見ることができる。

地上システムの監視局は、準天頂衛星とGPS衛星の測位信号を常時モニタし、準天頂衛星とGPS衛星からの観測データを主管制局に伝送する。主管制局では、補完情報生成設備によって、各衛星の軌道決定や時刻管理を行い、航法メッセージを作成する。

一方、電子基準点は、日本に約1,300点あるが、そのうち日本本土と近海をカバーするcm級測位補強情報を生成するためには200点以上を活用する。cm級測位補強サービス(Centimeter Level Augmentation Service: CLAS)⁽²⁾では、電子基準点網で取得した準天頂衛星とGPS衛星の測位信号の観測データを入力し、放送用の補強情報(補正情報+補正情報の品質を表す指標となるインテグリティ情報)の生成と2kbpsへの圧縮、異常監視等を行う。また、このシステムのベースであるCMAS(CentiMeter-class Augmentation System)は、水平3cm(drms)以下、垂直6cm(rms)以下のcm級の正確度を持つ⁽³⁾。

航法メッセージとcm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、cm級測位補強情報は、L6信号によって日本全国へ放送される。航法メッセージは、各種補完信号に重畳されて準天頂衛星から放送される。ユーザー端末は、準天頂衛星からの補強情報と準天頂衛星とGPS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位置情報の信頼度をリアルタイムに確認することができる。

準天頂衛星システムは、2018年4月から運用を開始する

ことになっている。

2. 2 補完・補強信号

準天頂衛星のGPS補完サービスは、米国が運用するGPS衛星と組み合わせ、準天頂軌道を利用して衛星の幾何学的配置を改善することによって、都市部や山間部での測位可能エリア及び時間を拡大させることを目的とする。

準天頂衛星から放送するGPS補完に関する測位信号は、近代化GPSとの共存性、相互運用性を確保するため、L1C/A信号、L1C信号、L2C信号、L5信号を用い、近代化GPSからの仕様変更を最小限に抑えることとしている。

測位補強に関する信号としては、cm級測位補強情報がL6信号(みちびきでは独自の実験用信号であるLEX(L-band EXperiment)信号⁽⁴⁾に対応)に割り当てられる。補強情報生成設備で、電子基準点網のGPS観測データに基づいて状態空間モデル(State Space Model:SSM)と呼ばれる広域の動的誤差モデルを使用し、このモデルから算出した衛星クロック誤差、衛星軌道誤差、電離層遅延、対流圏遅延、シグナルバイアス等の各誤差に対する補正値をSSR(State Space Representation)⁽⁵⁾として生成する。さらに、このSSRをL6信号に対応させるために各誤差の物理的特性を利用して2kbpsに圧縮し、cm級測位補強情報(コードドSSRメッセージ)として、L6信号を介して日本全国に放送する。

3. みちびきによる効果の検証

3.1 評価システム(ユーザーセグメント)

準天頂衛星からの測位信号が受信できる受信機(LEX信号受信機)を搭載した高精度GPS移動計測装置⁽⁶⁾(以下“MMS(Mobile Mapping System)”という。)を用いて、高層ビルを含む繁華街である丸の内地区で位置の品質・測位率を測定する実験を実施した。MMSを用いた評価システムの構成を図1に示す。MMSは、準天頂衛星とGPS衛星の信号を受信する測位信号受信アンテナや測位信号と複

合して位置の品質を改善し、かつ、測位信号を受信できないときも継続して測位計算を実施するINS及び画像情報を取得するためのビデオカメラやレーザスキャナを屋根に搭載し、取得データを処理・記録する制御装置を車内に搭載している。

実験では、丸の内のMMSで走行し、みちびきとGPS衛星の測位信号及びセンチメートル級測位補強情報を受信し記録する。

受信した準天頂衛星とGPS衛星の測位信号及びcm級測位補強情報及びINSのデータを使用して、後処理によって、①GPS衛星だけによる測位計算、②準天頂衛星+GPS衛星による測位計算、③準天頂衛星+GPS衛星による測位計算結果とINSとの複合計算を実施した。真値は、測定地域の丸の内から約5km離れた新宿に私設の基準点を設置して、公共測量として国に認められている方式であるFKP(Flächen Korrektur Parameter)方式とINSとの複合測位計算を後処理で実施した結果とした。

3.2 準天頂衛星による測位率改善

丸の内の走行して測位計算した結果を図2に示す。それぞれGPS衛星だけによる測位結果、準天頂衛星とGPS衛星を用いた測位結果、さらに準天頂衛星とGPS衛星の測位信号にINSを複合させて測位計算した結果を示す。図中の黒

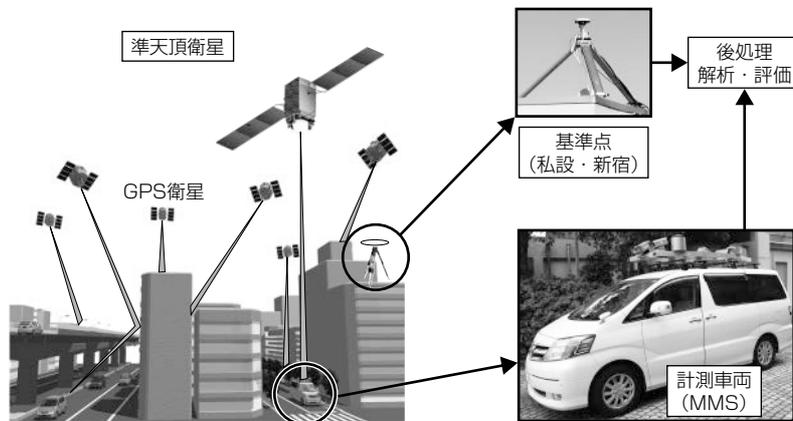


図1. 評価システムの構成

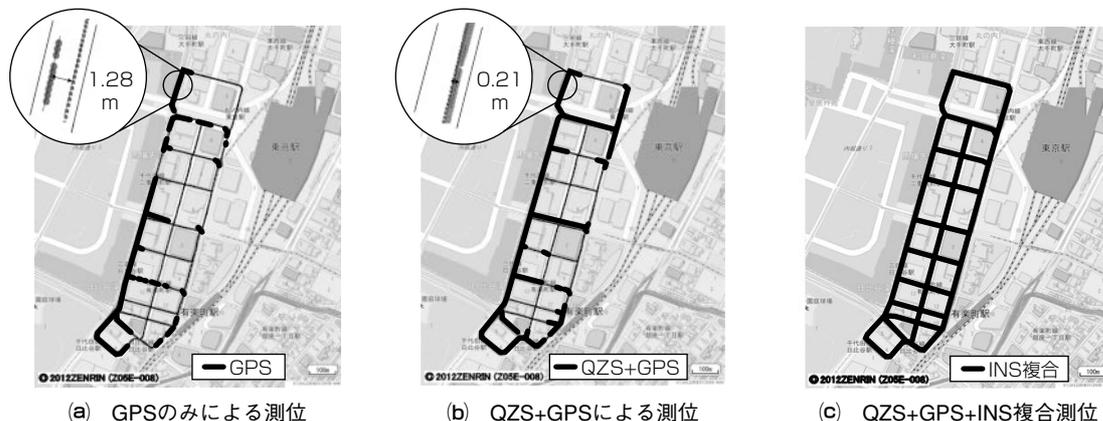


図2. 丸の内地区の測位処理結果

表 1. 準天頂衛星による測位率の改善効果

No	処理内容	測位率	
		FIX率	改善度
1	GPSだけによる測位	28.6%	-
2	QZS+GPSによる測位	47.3%	1.7倍
3	QZS+GPS+INS複合測位	100%	3.5倍

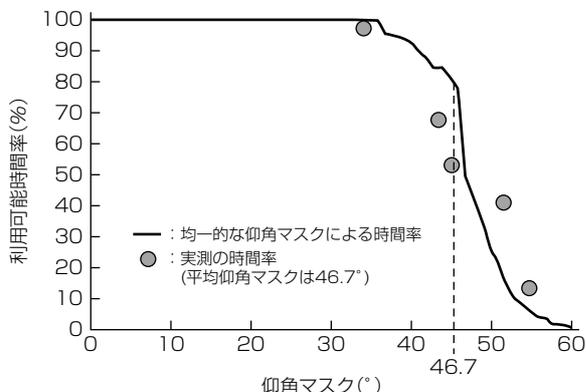


図 3. 丸の内地区の衛星仰角マスクと利用可能時間率

線は、参照値を示す。表 1 にそれぞれの測位率(FIX率)を示す。GPS衛星だけの測位結果に対して、準天頂衛星を1機追加することによって、28.6%から47.3%と、約1.7倍に改善した。さらに、INSを複合させることによって、100%(GPS衛星だけの測位結果の3.5倍)の測位率を達成できた。

図 3 にMMSで取得した天空写真から求めた 4 機体制時の準天頂衛星+GPS衛星による、丸の内地区での仰角マスクと利用可能時間率(可視衛星 5 機以上)の関係を示す。丸の内地区での平均仰角は46.7度という厳しい環境であるが、準天頂衛星の補完効果によって、利用可能時間率を約80%確保できることが確認できた。

3.3 補完と補強の相乗効果

表 1 に示すとおり、GPS衛星だけの場合と準天頂衛星+GPS衛星の場合では、明らかに準天頂衛星が加わったほうが位置の品質が向上していることが分かる。また、準天頂衛星の補完・補強信号の双方を測位演算の対象とすることで、GPS衛星だけを用いたときに現れていたマルチパスの影響による最大2.5m程度の誤差が低減できたことが確認できる(図 4)。これは、準天頂衛星の高仰角特性によるマルチパスが少ない信号によって、測位演算で、マルチパスを含むGPS信号による影響を効果的に低減できたことによるものであり、準天頂衛星の補完と補強の相乗効果である。

この補完と補強の相乗効果によって、車線幅の1/4である1.0m以下が出せる領域の拡大を確認した。これらの結果は、例えば自動運転システム等で、車両の自己位置精度が向上することで、車載カメラやレーザなど他の搭載センサで得られる車両の自己位置を算出する際のCPU処理負荷が軽減可能であることを意味し、この側面からも、準天

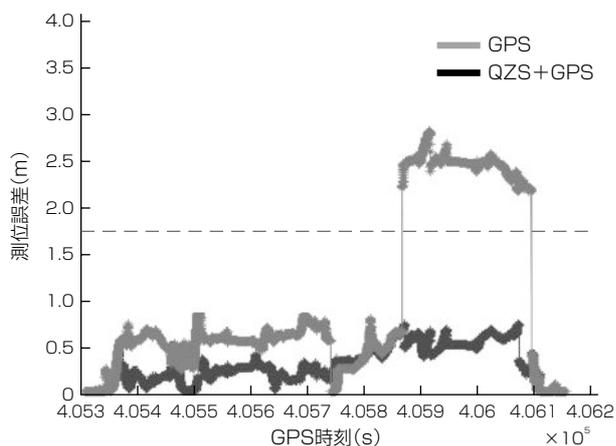


図 4. マルチパス低減による正確度向上

頂衛星の利用は、自動運転システム等の自車位置を利用したアプリケーションの中で有効に働くものと期待される。

4. む す び

準天頂衛星の補完機能と補強機能を評価した。補完機能は、GPS衛星だけの場合に比べ、準天頂衛星を組み合わせることによって、測位率を大幅に改善できた。また、補強機能は、従来の測量で用いられている方式と同等の性能を確認できた。さらに、補完と補強の相乗効果によって、車両の自動運転への適用を検討できることを示した。

今後、準天頂衛星システムは、自動車、位置情報サービス、農業、建設、防災等の多種多様なサービスへの利用が期待される。

参考文献

- (1) Inaba, N., et al.: QZSS System Design and Initial Performance Verification, Proc. of ION ITM 2011, 1109~1117 (2011)
- (2) 瀧口純一, ほか: 準天頂衛星システムにおけるセンチメートル級測位補強サービスの設計, 第58回宇宙科学連合講演会, 2C14 (2014)
- (3) Saito, M., et al.: Centimeter-class Augmentation System Utilizing Quasi-Zenith Satellite System Performance Verification, ION GNSS 2011 (2011)
- (4) 宇宙航空研究開発機構: 準天頂衛星システムユーザインタフェース仕様書(IS-QZSS) 1.5版 (2013)
- (5) Wuebbena, G., et al.: PPP-RTK: precise point positioning using state-space representation in RTK networks, ION GNSS 2005 (2005)
- (6) 瀧口 純一, ほか: モービルマッピングシステムにおけるGPS/IMU/オドメトリ複合航法のデータ処理と精度管理, 信頼性, 32, No. 2, 120~126 (2010)