

# 準天頂衛星測位システムのカーナビ・ITS利用の動向

瀧口 純一・島 嘉宏

現在、GPS測位はカーナビ等で広く使われているが、都市部においては、高層ビル等により測位信号が遮られて、測位率が著しく劣化する。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送信することにより、GPS衛星と組み合わせて測位率の改善を図ると共に、高精度の補強情報の放送により、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。

本論文では、準天頂衛星初号機「みちびき」のアーバンキャニオンにおける補完・補強機能の効果を示すとともに、準天頂衛星利用による、カーナビや安全・安心、エコ等のITS分野での多種多様なサービスへの期待について述べる。

キーワード：GPS、準天頂衛星測位システム、センチメートル級測位補強システム、低速移動体端末

## 1. はじめに

GPS (Global Positioning System: 全地球測位システム) は、米国が開発した衛星航法システム (GNSS: Global Navigation Satellite System) で、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。衛星航法システムは、複数の測位衛星が位置等の情報を含む航法メッセージを重畳した測位信号を地上に向けて送信 (放送) し、その測位信号を受信した受信機が自己の位置を求めるもので、測位衛星群 (宇宙セグメント) とそれらを管制するいくつかの地上局 (地上セグメント) および利用者側の受信機を含むアプリケーションシステム (ユーザセグメント) から構成される。GPS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、欧州のGalileo、中国のCompass、インドのIRNSS (Indian Regional Navigational Satellite System) が開発中である。

GNSSにおける位置測定の方法は、測位衛星から送信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距離を求め、三角測量の原理で測定点の位置を求めるものである。測定点の座標値 (x, y, z) と受信機時計誤差を未知数として求めるため、測位するためには通常4機以上の測位衛星が必要となる。GPS衛星は、6つの軌道面に各々4機配置の合計24機の衛星と予備の衛星が地球を周回して

いるが、時間帯により日本上空での可視衛星数が減少し、測位精度に影響する衛星の幾何学的配置 (GDOP: Geometrical Dilution of Precision) が劣化する場合があります。高精度でかつ安定な測位が全ての時間帯では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が多々ある都心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り電波伝搬の遅延が生じる。これにより、測位衛星と受信機までの距離の測定誤差が生じ、位置精度が劣化する。そのため、航空機、船舶等の各種移動体の位置管理システムを現状のGPSのみ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 (QZSS: Quasi-Zenith Satellite System) 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共に、測位精度を向上させるための補強情報を日本全国およ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、日本の都市部においては、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ので都合が良く、そのため衛星として準天頂衛星が適している。準天頂衛星がGPS衛星と同様の測位信号を送信すれば、GPSと組み合わせて運用することで、可視範囲内において幾何学的配置が改善される。同時に、準天頂衛星から補強情報を放送すれば、ビル街や山間地でも受信可能であ

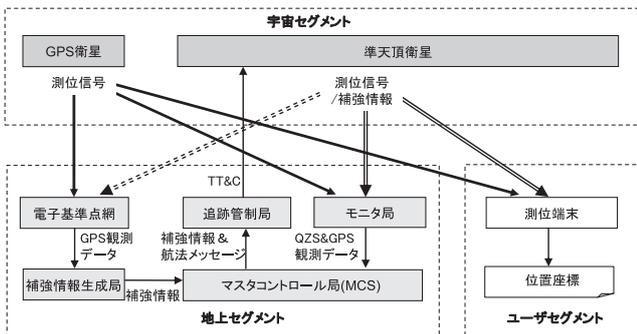
るので、いつでもどこでも高精度測位サービスが受けられるようになる。

本報告では、アプリケーションを想定した実フィールドにおいて、準天頂衛星初号機「みちびき」の補完・補強機能の効果を評価した結果について述べる。

## 2. 準天頂衛星測位システム

### (1) 準天頂衛星測位システムの概要

準天頂衛星を利用した衛星航法システムの構成を図一1に示す。



図一1 準天頂衛星測位システム

地上セグメントのモニター局は、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&GPS観測データとして、マスタコントロール局(MCS)に伝送する。MCSでは、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、現状の電子基準点網は、GPS観測データのみの配信となっているため、補強情報生成局では、電子基準点網で受信したGPS観測データを用いてGPSの補強情報を作成する。航法メッセージと補強情報は、MCS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。利用者は、GPS衛星と準天頂衛星から送られる測位信号を観測すると共に、準天頂衛星から送られる補強情報を受信して高精度な測位を行う。準天頂衛星は、補完機能と共に補強機能を併せ持つことが特長である。

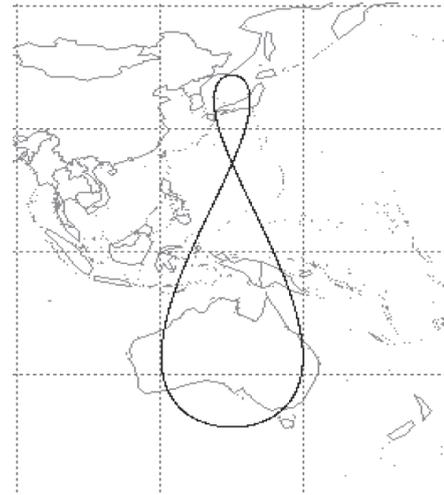
### (2) 補完機能<sup>1)</sup>

準天頂衛星のGPS補完サービスは、米国が運用するGPS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り、都市部や山間部における測位可能エリアおよび時間を増大させることを目的とする。

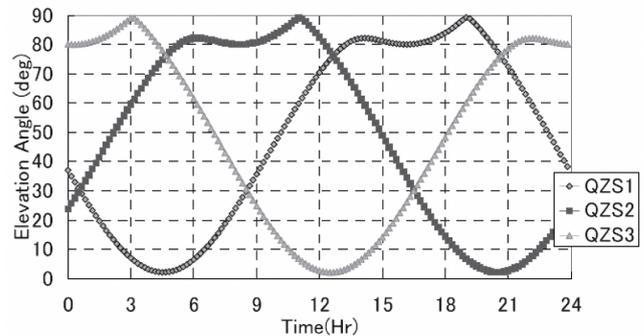
準天頂衛星から送信するGPS補完に関する信号は、近代化GPSとの共存性、相互運用性を確保することから、近代化GPS信号をベースとしており、L1C/A

信号、L1C信号、L2C信号、L5信号を送信することとし、そこからの仕様変更を最小限に抑えることとしている。

準天頂衛星は、1日で軌跡が元に戻る非対称8の字軌道を取り、複数機構成で日本上空において常に70°以上の高仰角を確保する軌道配置である。図一2は、準天頂衛星の地表面上の軌跡であり、図一3は、3機の組み合わせの場合で、東京においては、24時間常時どれか1機は仰角70度以上が確保できる。



図一2 準天頂衛星の地表面上の軌跡 (IS-QZSSより)



図一3 東京から見た準天頂衛星の仰角 (IS-QZSSより)

### (3) センチメートル級測位補強システム

準天頂衛星初号機「みちびき」では、センチメートル級測位補強システムにSSR方式<sup>2)</sup>を採用し、準天頂衛星の独自の実験用信号であるLEX信号を用いて移動体対応のセンチメートル級測位補強情報を全国に配信することができる。補強情報生成局において、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(SSM: State Space Modeling)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各誤差量をSSR(State Space Representation)として生成する。さらに、このSSRをLEX信号に適合するために各誤差の物理的特性を利用して2kbpsに圧縮し、

センチメートル級測位補強情報（コードド SSR メッセージ）として準天頂衛星より日本全国に放送するのである。

### 3. 準天頂衛星による効果の検証

#### (1) 評価システム（ユーザセグメント）

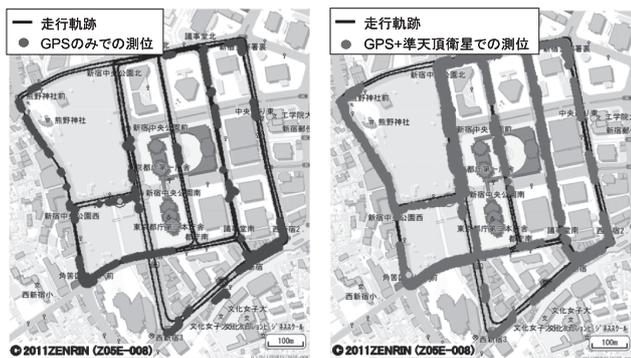
準天頂衛星からの測位信号が受信できる受信機（LEX 信号受信機）を搭載した高精度 GPS 移動計測装置（以下、MMS：Mobile Mapping System）で、高層ビルにより衛星測位が困難な場所が多い新宿副都心および高層ビルと細街路を含む繁華街である銀座にて測位率を測定する実験を実施した<sup>3)</sup>。MMS を用いた評価システムの構成を図一4に示す。



図一4 補完機能の評価システム

#### (2) 準天頂衛星による測位率改善

新宿と銀座で準天頂衛星の補完機能を含めたディファレンシャル（コード差分）測位を実施した。その結果、準天頂衛星を利用することで、測位率を大きく改善できることを確認した。新宿の場合は、28.5 から70.0%，銀座の場合は、39.5 から69.1% となった。図一5に新宿におけるGPSのみの測位結果（a）、GPS+準天頂衛星の測位結果（b）を示す。



(a) GPSのみにによる測位 (b) GPS+準天頂衛星による測位

図一5 準天頂衛星による測位率向上

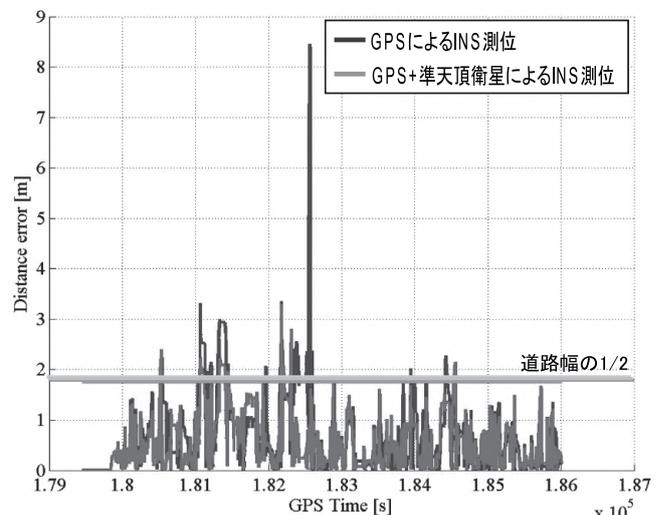
#### (3) INS 複合による効果

高精度カーナビゲーションを目指し、準天頂衛星を利用したディファレンシャル（コード差分）測位とMEMS 級 INS の複合測位を実施した。準天頂衛星により70%近い測位率を確保できるようになり、残る30%については通常のカーナビゲーションで使用している低コストのジャイロスコープ等の慣性情報を取り込むことにより、100%の測位率が実現可能である。新宿と銀座におけるINS複合測位結果をそれぞれ図一6（a）、（b）に示す。GPSのみによるINS測位に比べ、準天頂衛星も加えた場合、周囲の建物のマルチパスの影響を受けない高仰角の準天頂衛星からの高品質な測位信号により、マルチパスの影響を除くことで誤差のピークが下がり、マップマッチングなしで車線レベルの判定が可能になることがわかる。図一7に銀座のINS複合による測位精度の評価結果を示す。測位精度は、車線判別（車線幅：3.5 m の1/2 以下）可能な測位精度が期待できることを確認した。



(a) 新宿のINS複合測位 (b) 銀座のINS複合測位

図一6 INS 複合による効果



図一7 INS 複合による測位精度

(4) センチメートル級測位補強の効果

LEX 信号により、リアルタイムでセンチメートル級測位を行う、低速移動体端末 (LEXR) のシステム構成を図-8 に示す。本 LEXR, アンテナ, LEX 信号受信機を MMS に搭載して、移動時の1秒ごとの車両位置を計測し、測量で用いられているセンチメートル級の測位が可能な FKP (面補正パラメータ) 方式<sup>4)</sup> と計測結果を比較した結果を表-1 に示す。表-1 記載のとおり、移動時の計測においても、測量において用いられている方式と同等の性能を確認できた。また、図-9 に時速 100 km の際の LEXR 精度を MMS を真値として評価した結果を示す。本結果から高速走行時

においても水平誤差は2センチ弱であり、測量級の精度を保持できていることがわかる。

4. 新たに創造が期待される新サービス

従来のカーナビでは、マップマッチングと称する地図上の道路に車両位置を合わせ込む技術等により連続的に位置情報を表示しているが、右折・左折等、車線を識別するレーンナビゲーションは測位精度が得られず実現が困難だった。今回、準天頂衛星「みちびき」の良好な測位率改善効果に加え、車両に搭載したジャイロスコープを使用して、衛星不可視時の測位誤差を補正する処理を施すことで位置標定精度の向上を図り、車両が走行する車線をマップマッチングなしで判別できることを確認できた。今後、衛星測位可能エリアの拡大は、カーナビだけに留まらず、自動車の安全運転支援を目的とした車間制御やレーンナビゲーション、さらにはレーンナビゲーション実現に必要な高精度車線地図の効率的な作成手段として活用されてゆくと考えられる。さらに、センチメートル級の高度情報を含む3次元の高精度車線地図が効率良く生成できることにより、ハイブリッド車や電気自動車の性能改善にむけた経路計画や、下り坂を利用してバッテリー充電に切り替えるブレーキ回生の効率化等、エコ運転支援(燃費改善)も可能になる。



図-8 低速移動体端末 (LEXR)

表-1 移動体を用いた測位精度 (FKP 方式との比較)

評価項目		差異
水平方向	平均	0.6 cm
	標準偏差	1.2 cm
高さ方向	平均	1.4 cm
	標準偏差	1.9 cm

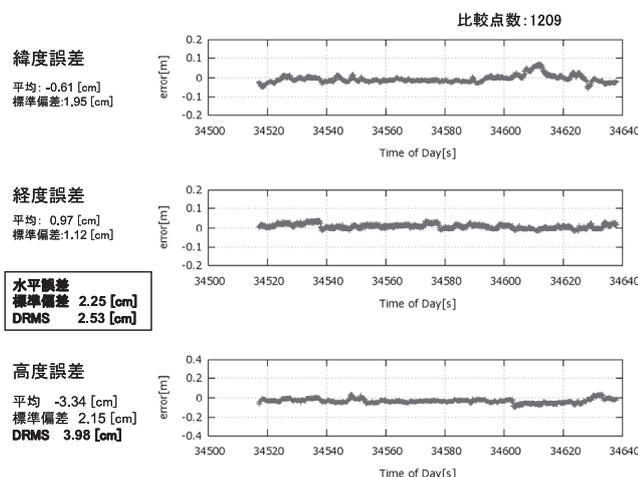


図-9 時速 100 km 走行時の LEXR の位置精度

図-10 に測位率改善や精度向上に伴う、カーナビや ITS 分野での新サービスのロードマップ<sup>5)</sup>を示す。現状は、マップマッチングを前提にした精度 5 m 程度の GPS ロケータ (車載端末) が使用されている。今後は、準天頂衛星利用によるメートル級中精度ロケータが登場し、信号制御の高度化や安全運転支援のアプリケーションが市場に現れ、さらには、センチメートル級高精度ロケータの登場により、高速での動的な相対位置の把握が可能になる。そのため、制御対象も“車両単独”から、高速道路での複数車両を対象とした“交通流 (車群)”に移行し、複数車両の隊列走行や合流支援のアプリケーションが現れると考えられる。

5. おわりに

準天頂衛星「みちびき」の補完機能と補強機能のフィールド試験の評価を実施し、補完機能では、GPS 衛星のみの場合に比べ、準天頂衛星を組み合わせることにより、測位率が大幅に改善できた。また、補強機能では、時速 100 km の高速走行時においても、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。

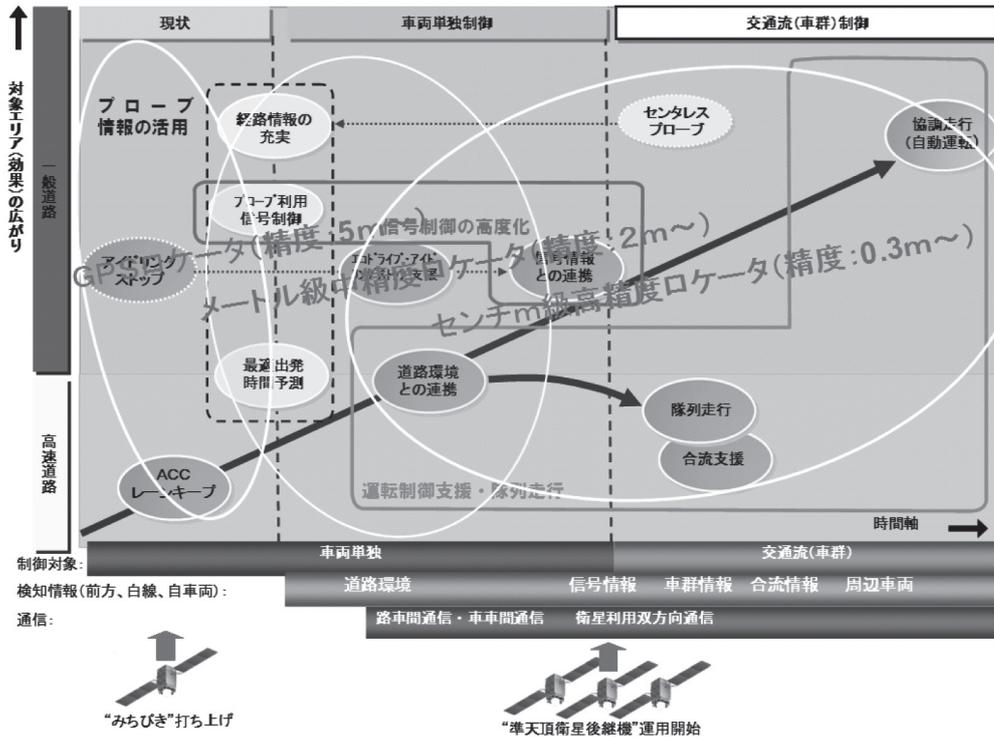


図-10 カーナビ、ITS分野における安全・安心、エコの新サービス

今後、準天頂衛星「みちびき」は、測量、情報化施工、IT 農業という既存の GPS 応用分野に加え、高精度レーンナビや高速道路での複数車両の隊列走行、合流支援等の多種多様な新規 ITS 関連サービス創出への貢献が期待される。

JCMA

《参考文献》

- 1) 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) 1.2 版”, 2010.
- 2) 齋藤他, “「みちびき」を利用したセンチメートル級測位補強システムの開発”, 第 54 回宇宙科学技術連合講演会, 2010.
- 3) “「みちびき」による補完効果の都市部における実証実験の結果について”, [http://www.jaxa.jp/projects/sat/qzss/index\\_j.html](http://www.jaxa.jp/projects/sat/qzss/index_j.html)
- 4) 臼井澄夫, “FKP 方式による高精度 GPS 測位サービス”, 日本航海学会 GPS 研究会, pp.61-66, 2004.
- 5) 経済産業省, 準天頂衛星を利用した新産業創出研究会 (第 2 回) - 配付資料 [http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/seisan/juntenchouisei/002\\_haifu.html](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/seisan/juntenchouisei/002_haifu.html)

【筆者紹介】



滝口 純一 (たきぐち じゅんいち)  
三菱電機㈱  
鎌倉製作所 技術部  
準天頂測位専任部長



島 嘉宏 (しま よしひろ)  
三菱電機㈱  
鎌倉製作所 技術部 機動開発課