

準天頂衛星cm級測位補強サービスの鉄道環境での評価試験

加賀谷篤大* 金井利喜***
 角谷卓磨* 横山啓之***
 白樫智也**

Evaluation of Centimeter Positioning Reinforcement in Railway Environment

Atsuihiro Kagaya, Takuma Kadoya, Tomoya Shirakashi, Toshinobu Kanai, Hiroyuki Yokoyama

要旨

準天頂衛星(Quasi-Zenith Satellite: QZS)を利用したcm級測位補強サービスは、GPS(Global Positioning System)による測位で発生する誤差を補正するための情報を配信し、cm級の高精度測位を行うサービスである⁽¹⁾。

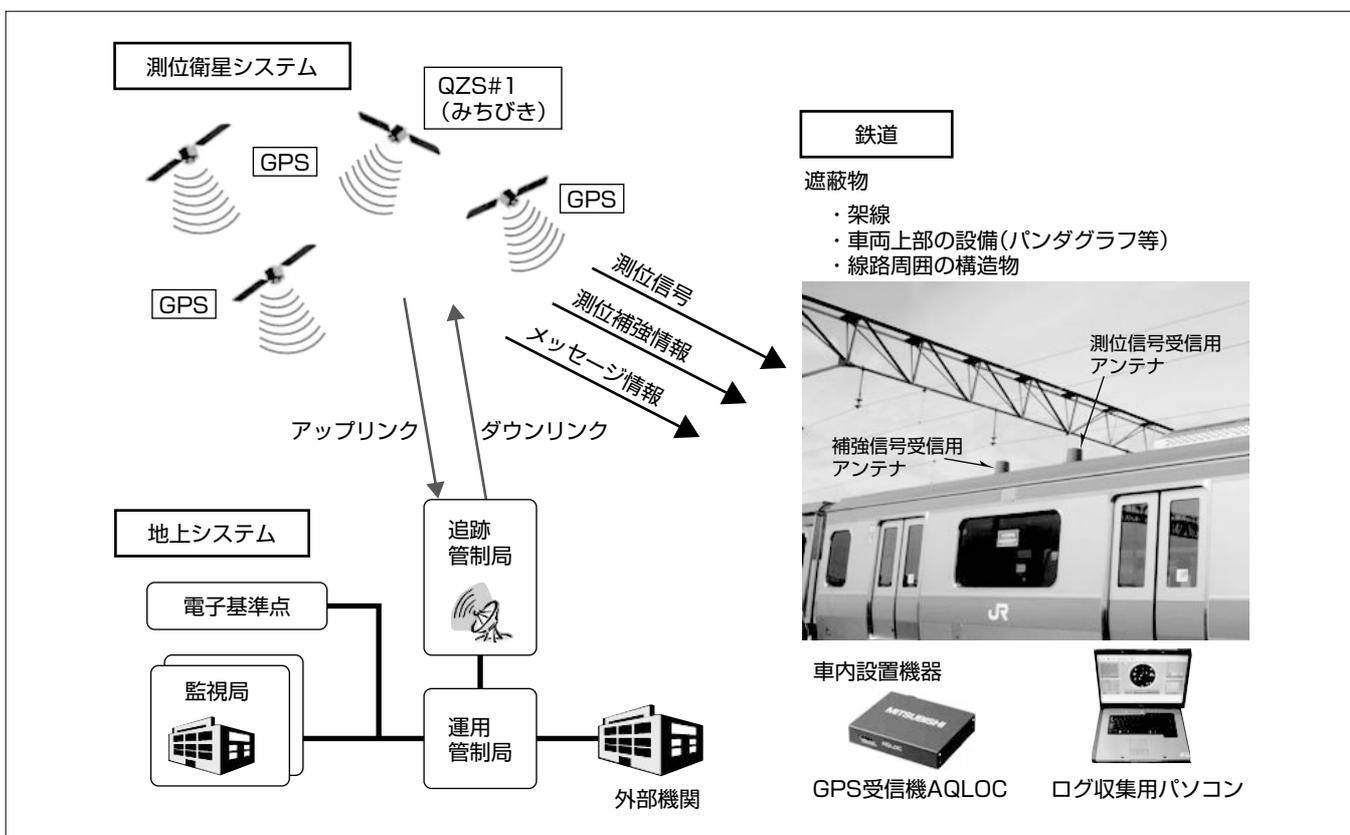
測位補強サービスで得られる高精度な自己位置及び時刻は、自動車、鉄道を始め様々なアプリケーションに応用できるという期待が高まっている。

その中でも鉄道は、列車位置及び時刻管理が重要な交通機関であるため適用は効果的と考えられている。一方、鉄道では運行面での安全に対する要求は厳しく、現状準天頂

衛星の利用検討を行うに当たり、鉄道環境下における性能評価及び実績が不十分である。

本稿では、東日本旅客鉄道(株)の埼京線E233系7000代一般形直流電車(以下“E233系電車”という。)にGPSと準天頂衛星の受信システムを搭載し、埼京線/川越線の大崎~南古谷間で鉄道車両の高精度測位計測試験を行った結果について述べる。この試験における確認項目は次の3点である。

- (1) 実路線での動作を確認
- (2) 都市部での測位精度の実力確認
- (3) 鉄道環境下(高圧線、車体の振動等)での精度確認



鉄道環境下での測位

左側が準天頂衛星測位システム、右側が評価を行う鉄道である。電子基準点での観測データから補強情報を生成し、準天頂衛星を介して配信する。鉄道側には、車両屋外上部に補強信号受信用アンテナ及び測位信号受信用アンテナ、車内にそれぞれの受信機を設置し測位演算を行う。架線、車両上部の設備、周囲構造物が存在する鉄道環境下で高精度測位の評価を行う。

1. ま え が き

近年、準天頂衛星のcm級測位補強サービスを利用した地上システムについて検討が進められている。

利用アプリケーションの例として乗務員支援システムや列車運行管理システムが挙げられている。衛星測位を使用することで、鉄道車両の自己位置に加えて、正確な時刻が得られるため、列車位置及び時刻管理が重要な鉄道分野への適用は効果的と考えている。

鉄道で衛星測位を使用する際、衛星からの信号の遮蔽が問題となる。鉄道車両上部には、空調設備、パンダグラフ等の車両設備が取り付けられている。このため、GPSアンテナと車両設備との間隔が狭くなり、低仰角の衛星からの信号を遮る可能性がある。また鉄道環境下には、高架下や周囲構造物といった遮蔽物が多く存在する。準天頂衛星を利用した高精度測位を鉄道に適用するためには、現状の精度を把握する必要がある。

本稿では、埼京線E233系電車にGPSと準天頂衛星の受信システムを搭載し、埼京線/川越線の大崎～南古谷間で高精度測位を行った結果について述べる⁽²⁾。

2. 高精度測位と実験目的

2.1 準天頂衛星による高精度測位

準天頂衛星には、高精度測位を行うための機能として、主に測位補強と測位補完がある。測位補強は、測位精度向上のための補強情報を送信するものである。測位補完は、GPSと互換性のある信号を送信し、GPSと組み合わせることで安定した測位精度を得るものである。この2つの機能を主とすることで、高精度測位を実現している。

2.2 鉄道環境下での実験目的

鉄道分野では、準天頂衛星を利用した高精度測位に対して、次が期待されている。

(1) 位置情報

列車運行管理システム、乗務員支援システム等への適用。特定の地上設備によらず、自律して列車位置把握可能。

(2) 速度認識

空転・滑走の影響を受けない速度管理。

(3) 時刻補正

鉄道システムで取得したデータの時刻管理。

(4) 設備管理

電力、保線信号等に分かれる種々の地上設備を緯度経度情報で一元管理。

このように多くの期待があるが、準天頂衛星を利用した高精度測位の鉄道への適用は前例がないため、実路線計測を行い、鉄道システムに使用可能か否かを判断するための基礎データ取得が必要となる。

したがってこの実験では、準天頂衛星を利用した高精度

測位サービスを鉄道分野に適用するため、次を確認する。

- (1) 実路線における動作を確認
- (2) 都市部における測位精度の実力確認
- (3) 鉄道環境下(高圧線、車体の振動等)での精度確認

3. 試験概要

3.1 試験機器構成

この試験の機器構成を図1に、アンテナ設置外観を図2に示す。準天頂衛星補強信号受信アンテナ及びGPS測位信号受信アンテナは、車両上部に進行方向に並ぶように設置している。車内には準天頂衛星補強信号用受信機及びGPS測位信号用受信機を設置し、各々対応するアンテナと接続している。GPS測位信号用受信機は、三菱電機製高精度測位端末“AQLOC”を使用した。

AQLOCで準天頂衛星補強信号用受信機から得られた補強情報を用いて測位演算を行い、データを取得している。測位結果は、ログ収集用パソコンに保存すると同時に、自己位置をリアルタイムに地図上にプロットしている。

3.2 試験区間

この試験は、2013年10月10日、11日の2日間行い、両日ともJR東日本川越車両センターから大崎駅までの区間を走行した。

この区間は、川越車両センターから大宮駅までの川越線は周囲構造物が少ない見晴らしの良い区間、また大宮駅から大崎駅までの埼京線は、高層ビル群等の周囲構造物が多く、見晴らしの悪い区間となっている。

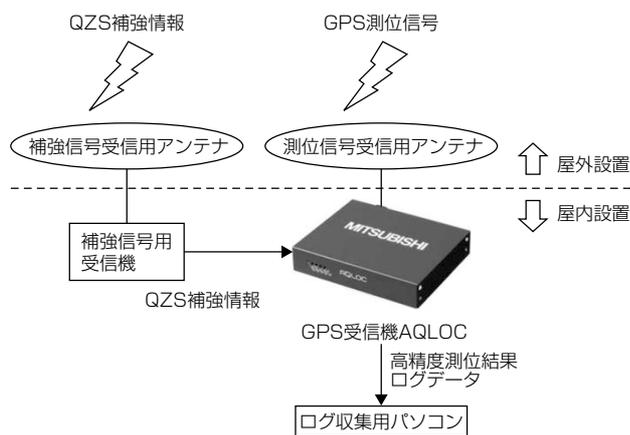


図1. 機器構成

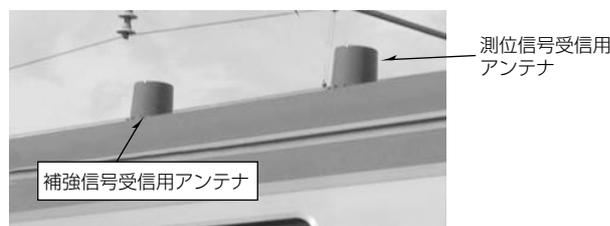


図2. アンテナ設置外観

4. 試験結果

4.1 測位結果

図3に全区間の測位結果を示す。図中の黒色は往路(川越車両センターから大崎駅)を、灰色は復路(大崎駅から川越車両センター)を示している。大宮駅付近では、地下トンネル及び新幹線高架下の影響によって、測位不能となっている。新宿駅から大崎駅の区間では、高層ビル群等周囲構造物の影響で測位不能となる地点が多くなっている。

指扇駅付近の測位結果を図4に示す。川越車両センターから大宮駅までの区間は単線区間となっているが、指扇駅の前後では上下線のホームが分かれるため、複線に合流又は分離するようになっている。往路と復路の結果を比較すると、単線区間ではプロット点が重なっており、同一線路上を走行していることが分かる。駅を出入りする際は上下線が分かれる様子が確認できる。駅構内では、屋根の影響によって、測位不能となっている。

浮間舟渡駅付近の測位結果を図5に示す。浮間舟渡駅付

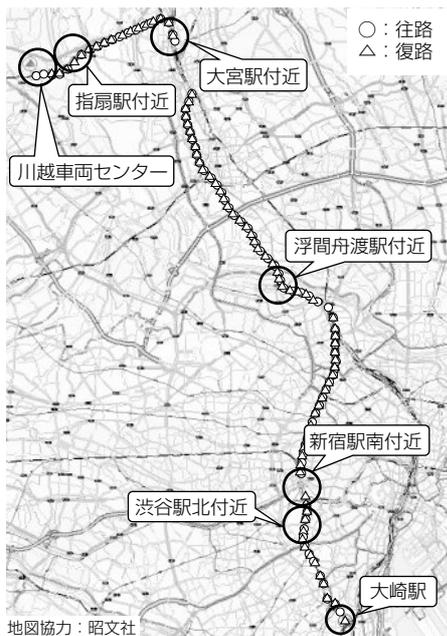


図3. この試験における全区間

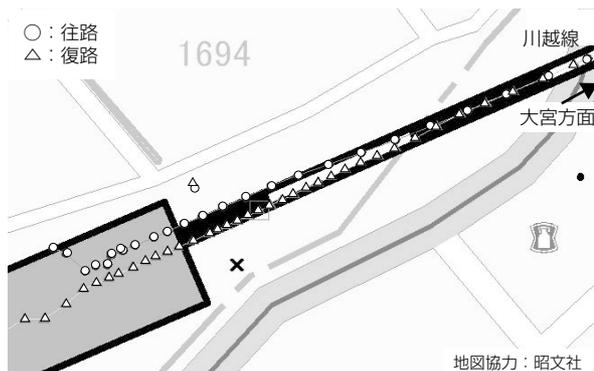


図4. 指扇駅付近の測位結果

近は上下線が分かれている複線区間となっており、測位結果も上下線が判別できる結果になっている。

指扇駅を含む川越線や埼京線赤羽駅以北の区間といった周囲に衛星からの信号を遮る構造物が少ない区間では高精度測位が実現できていると言える。

4.2 測位補強

埼京線の都心部を走行した際の測位結果を示す。図6に渋谷駅北側の測位結果を示す。往路では測位結果に乱れはないが、復路で乱れが発生しており実際には走行できない場所にプロットされている。測位結果に乱れが生じる原因は渋谷駅構内の屋根である。渋谷駅構内に入庫した際に、GPS及び準天頂衛星の信号が遮蔽され測位不能状態になる。その後発進し、GPSを再捕捉するため測位は再開できている。しかし、準天頂衛星の補強信号を受信できておらず、GPS単独の測位となっているため精度が不安定な結果となっている。

4.3 測位補完

準天頂衛星によるcm級高精度測位では、測位衛星数を増加させる測位補完効果が重要である。しかし、現在の準天頂衛星“みちびき”による実験システムでは測位補完効果には対応していない。将来的に対応する予定であるため、この試験の結果から測位補完効果が得られた場合について検証する。



図5. 浮間舟渡駅付近の測位結果

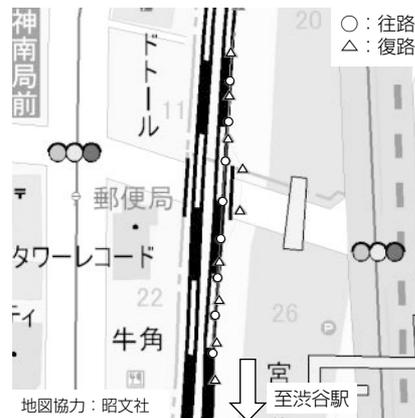


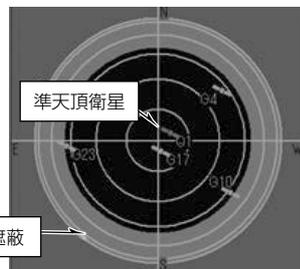
図6. 渋谷駅北側の測位結果



図7. 新宿駅付近の測位結果



(a) 新宿駅付近の衛星数



(b) 実際の可視衛星数

画像提供：(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)

図8. 新宿駅上空の衛星配置⁽³⁾

図7に新宿駅付近の測位結果、図8に新宿駅付近走行中の衛星配置を示す。丸印がGPS衛星数5機以上、三角印がGPS衛星4機のときを示している。新宿駅付近では周囲に高層ビルが多いため、高精度測位に必要な有効衛星数5機以上を確保できない区間が多い。準天頂衛星の測位補完効果があれば、今回の実験でGPS衛星数4機となっていた地点を5機とすることができる。これによって、高精度測位に必要な有効衛星数5機以上を確保できる区間が増え、測位精度向上につながる可能性があることを確認できた。

4.4 測位精度検証

図9に川越車両センター停車時の測位結果を示す。横軸を経度方向、縦軸を緯度方向としている。ここでは、列車の停車位置の真値は不明であるため、平均座標から緯度・経度方向及び高さ方向の精度を求めた結果、緯度・経度方向精度2.66cm[drms]、高さ方向精度5.18cm[rms]となった。この精度は、公共測量にも用いられているRTK (Real Time Kinematic)-GPS測量及びネットワークRTK-GPS測量と同等の精度であり、準天頂衛星センチメートル級測位補強サービスで列車の位置を高精度に得ることが可能と考えられる。

走行時における精度検証として、図10に示す10月10日の往路と10月11日の往路における直線区間で測位結果の比較検証を行った。10月10日における直線走行時の測位結果の近似直線に対して、10月11日の測位結果がどの程度誤差を持つかを算出した。結果を表1に示す。

この結果には測位誤差だけでなく、車体の振動等も含まれているが、異なる日に同じ車線を走行した際の再現性を示している。表1からこの手法によって得られる位置精度は、線路間幅よりも十分小さく、上下線を判別可能な精度が得られていると言える。

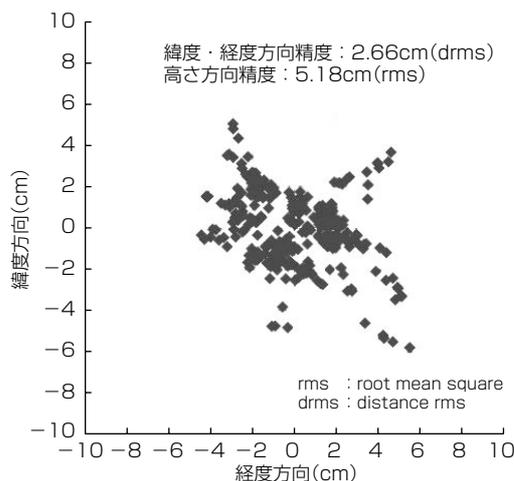


図9. 静止時の測位結果

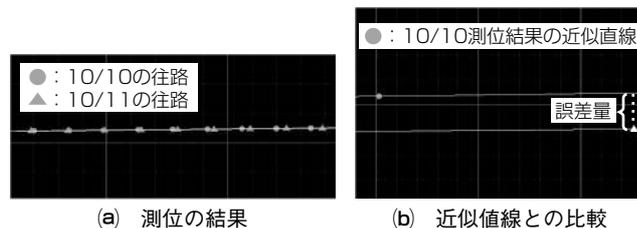


図10. 走行時の精度検証

表1. 走行時の誤差

項目	誤差値 (cm)
誤差平均	8.81
誤差最少	2.94
誤差最大	15.05

5. む す び

鉄道環境下における準天頂衛星を利用したcm級測位補強サービスの評価を行った。今回走行をしたJR埼京線では、線路周辺の構造物でGPS/準天頂衛星が遮蔽されなければcm級高精度測位結果が得られ、上下線の判別等が行えることが確認できた。

一方で、トンネル、高架下、都市部で周囲構造物の遮蔽によって、精度劣化又は測位不能となる区間も確認できた。この区間に対応するためにはINS (Inertial Navigation System: 慣性航法装置) 複合技術の検討が必要であることも確認できた。

INS複合技術に加え、今後は他路線も含め測位データを収集するとともに、鉄道向けアプリケーション・サービスへの応用を検討する。

参考文献

- (1) 齊藤雅行, ほか: 準天頂衛星による測位システムの構築, 三菱電機技報, **88**, No. 2, 105~110 (2014)
- (2) 金井利喜, ほか: 埼京線E233系を用いた準天頂衛星による高精度測位の評価, 鉄道サイバネ・シンポジウム論文集, 第51回, No.409 (2014)
- (3) QZレーダー: http://qz-vision.jaxa.jp/USE/ja/qz_radar