

◆ 特集：急速な広がりを見せる建設分野での情報技術の活用 ◆

準天頂衛星システム（日本版GPS）を用いた
RTK-GPS測位の移動体への適用

藤本幸司* 松下博俊**

1. はじめに

現在、我が国においてはGPS（Global Positioning System）の利用需要が拡大し、カーナビゲーションをはじめ、交通分野、測量、防災、国土管理など、幅広い分野で活用されている。今後、社会・経済活動における不可欠なサービスとして、一層の利用と需要の拡大が見込まれる。しかし、このGPS技術を山間部など適用すると、地形・樹木等による電波遮断が発生し、測位効率が下がるという問題がある。

一方、日本政府は、高仰角衛星からGPS互換信号を配信することによりGPSを補完し補強する「準天頂衛星システム」を計画している。本システムは、文科省・総務省・経産省・国交省で研究開発しているプロジェクトで、日本付近で常に天頂方向に衛星が存在するように配備し、GPS情報を補完・補強することにより、山間部・ビルなどに影響されずに高精度測位サービスの提供を実現するものである。

国総研では、平成15年度～平成19年度の5カ年において、総合技術開発プロジェクト（総プロ）「準天頂衛星による高精度測位補正に関する技術開発」の中で、準天頂衛星の利用面からのアプローチとして、RTK-GPS測位を作業車両、建設機械等の移動体に適用する技術の検討を実施している。本報告では、その中間報告を行うものである。

2. 目的

2.1 研究の課題とねらい

搬送波位相を計測するリアルタイムキネマティックGPS（RTK-GPS）測位は、上空視界が開けており基線長が十数km以内であればcmレベルの位置決めが可能である。しかしながら、常に5衛星以上からGPS信号を受信し続ける必要があるた

め、信号が頻繁に遮断される山間部や都市部では利用が難しい。

このため、RTK-GPSの初期化時間を短縮して継続性を改善すること、慣性航法複合により信頼性を向上させること、マルチパス誤差を軽減することの3つを研究のねらいとした。

2.2 学識者へのヒアリング結果

準天頂衛星を情報化施工に適用するに当たって、RTK-GPS利用上の課題やニーズの詳細を把握するため、この分野における専門家及び有識者に対してヒアリングし、実態を整理した。その結果を表-1に示す。

表-1 有識者ヒアリング結果

項 目	ヒアリング内容
効 率 化	稼働率
	・測位率が高くなれば利用シーンは広がる
	継続性
	・衛星電波の遮断で測位できないか精度が低下する ・電波の遮断後、復帰に時間がかかる（数10秒）
工 事 規 模	コスト
	・TS施工と比べ、位置出：1/3、平面測量：1/5、地形測量：1/5
品 質 向 上	精 度
	・RTK-GPSを利用すれば水平面測位精度は十分である
通 信 手 段	マルチパス
	・建機による反射、現場の鉄板からのマルチパスが多い
高 度 化 へ の 要 求	補正情報
	・携帯電話はコスト高となり山間部では利用できない場所も多い
そ の 他	情報化施工
	・自動制御をしたいが現状では技術的な課題がある ・油圧ショベルは姿勢情報（ロール角、ピッチ角）が必要
そ の 他	制度等
	・GPS施工の完成検査（出来形測量）を省略又は簡略化すべき ・設計・施工・維持・管理を通じた標準化が必要

*TS：トータルステーション

2.3 開発項目の設定

研究課題・ヒアリング結果を踏まえ、今回の研

究開発で重点化する部分を、「利用シーンの拡大」、「システムの安定化」といったところにおき、開発項目を以下の中心とした。

- (1) 測位精度の改善：マルチパス誤差低減技術の開発
構造物からの反射波の影響による測位精度の低下を防ぐため、マルチパスの影響を低減する技術を開発
- (2) 継続性の改善：RTK-GPS高速初期化技術の開発
移動体における継続した高精度位置特定を実現するため、搬送波位相測位固有のアンビギュイティを高速決定する技術を開発
- (3) 利用率と継続性の改善：慣性航法複合技術の開発
衛星測位とジャイロなどの補完技術を組み合わせて、電波が一時的に遮断された場合でも測位できる技術を開発

この研究開発のイメージを図-1に示す。

本論文では、「RTK-GPS高速初期化技術の開発」ならびに「慣性航法複合技術の開発」に焦点を当て、報告する。

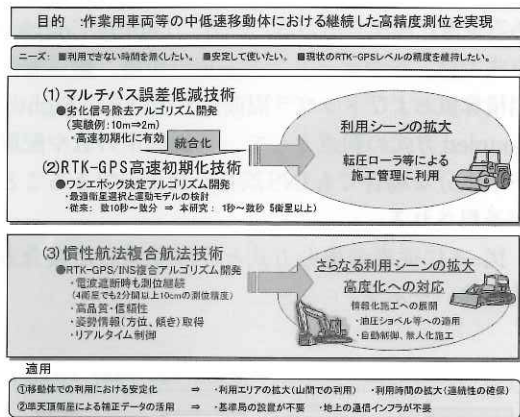


図-1 研究開発のイメージ

3. RTK-GPS高速初期化技術の開発

3.1 RTK-GPSを活用するに当たっての課題

衛星の受信状態の悪い山間部等における、RTK-GPS測位の利用に当たっては、可視衛星数を考慮する必要がある。測位精度を十分確保するためには、電波を安定的に受信する必要があるが、上空視界が悪い山間部などでは、頻繁に電波の瞬断が発生する。この際に4衛星以下から5衛星に増加しても、アンビギュイティを決定するための初期化に数十秒～数分かかってしまう可能性がある。

このため、電波が遮断されるたびに、初期化の間、作業が中断することになり、場合によっては、受信状態がよいところまで場所を移動した上で、初期化を行わなければならない。これらは、現場での作業効率を非常に低下させ実運用上支障をきたす要因となる。

もし、ワンエポック(1秒)でアンビギュイティが決定できれば電波遮断が起きても、可視衛星が5機に復帰すれば、すぐに測位が続けられることになる。したがって、RTK-GPS測位において、高速初期化が大きな課題といえる。

3.2 方式の検討

RTK-GPS高速初期化において、アンビギュイティ実数解の精度を向上させる必要がある。このためには、位置誤差及び電離層・対流圏遅延誤差の低減が課題となる。それぞれの課題を解決するために、衛星の仰角と配置を考慮した衛星選択モデルと、速度、加速度による運動モデルを考慮した方式を開発した。この高速初期化処理フローを図-2に示す。

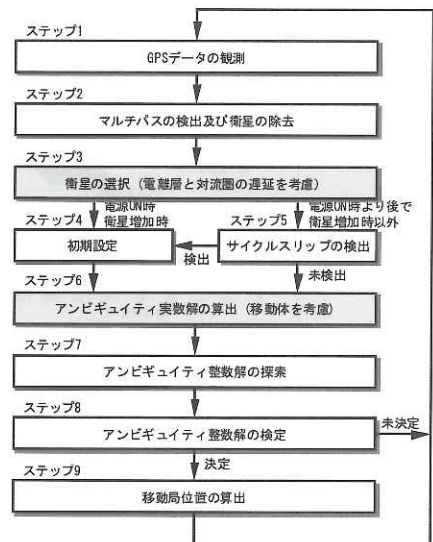


図-2 RTK高速初期化処理フロー

3.3 実験結果と考察

自動車で移動しながら収集した観測データを使用し、オフラインで可視衛星数を変化させて評価した。結果を図-3に示す。本結果より、5衛星以上の受信環境下でほぼワンエポックでアンビギュイティが決定できることを確認した。

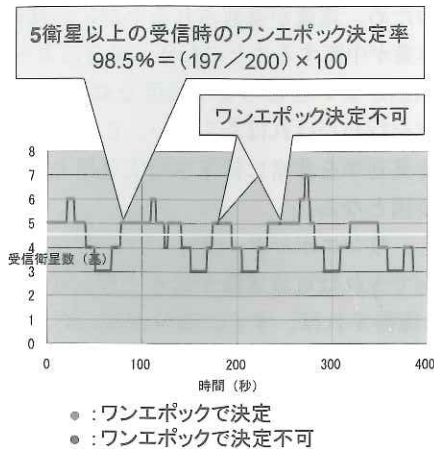


図-3 ワンエポック決定結果

これにより、5基以上の衛星を安定して可視できる場所においては、移動体の継続した高精度測位が可能となる。これにより従来適用が困難であった場所においてもRTK-GPS施工などに適用でき、稼働率が改善されることが期待される。

本方法が実現したと仮定し、山間部を模した模擬観測データを用いて、作業効率の向上について検討した結果を図-4に示す。

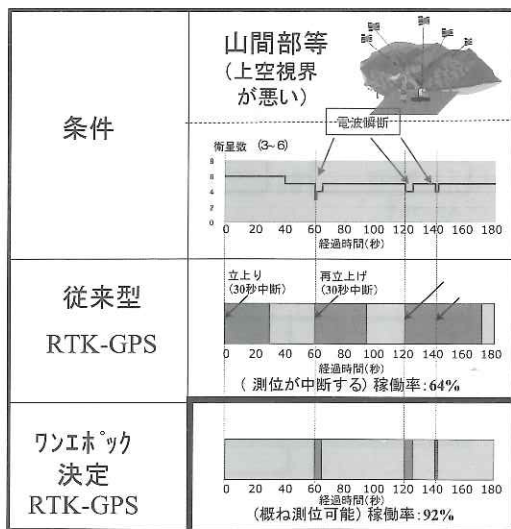


図-4 ワンエポック決定による効率向上

図-4によると、従来方法では稼働率が約60%であるが、ワンエポック決定RTK-GPS方式では、90%以上に上がることが解る。これにより、作業効率の向上に大きく寄与することが期待される。

4. 慣性航法複合技術の開発

4.1 慣性航法複合技術の検討

前述の通り、RTK-GPS測位は、GPS衛星が5機以上利用できる場所で使用することが前提となる。このため、電波の遮断が頻発する山間部の建設現場での適用は難しかった。

本研究において、建設機械搭載に妥当な価格の慣性航法装置 (INS : Inertial Navigation System) とRTK-GPS測位技術を組み合わせ、十分な可視衛星が得られない環境下で、電波が遮蔽されRTK-GPS測位が一時的に中断した場合においてもINSを用いて継続して高精度測位が可能な技術の開発を行った。

検討に当たっては、GPSとINSそれぞれの欠点を相互に補完する慣性航法複合に関して、Loosely Couple方式とTightly Coupled方式のカルマンフィルタモデルについて比較検討を行った。

Loosely coupled方式では、カルマンフィルタの観測データとしてRTK-GPSの測位演算結果である位置と速度を用いる。一方、Tightly Coupled方式では、観測データである擬似距離、搬送波位相積算値およびドップラ周波数を用いる。Tightly Coupled方式の利点として、可視衛星の数や配置が不十分な場合でもINS誤差の補正ができることが予想される。

図-5に従来の複合方式と今回開発した複合方式の違いを示す。

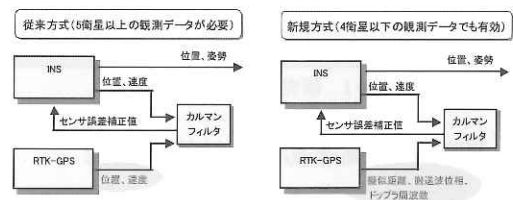
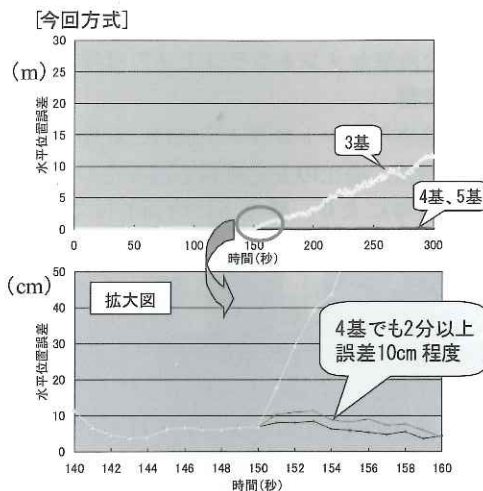
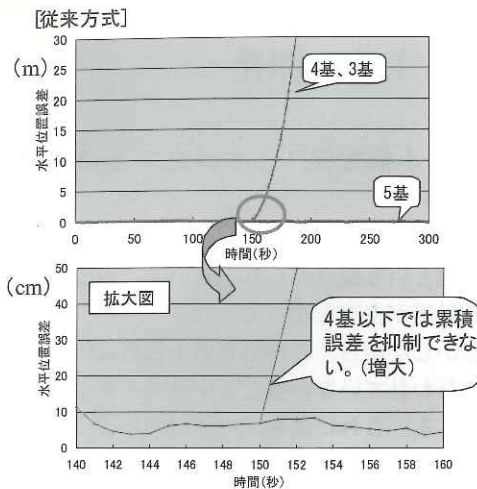


図-5 複合航法方式の違い

4.2 実験結果と考察

シミュレーションソフトにてINS及びGPSデータを作成し、可視衛星数の減少に伴う測位精度劣化について評価した。その結果を図-6、7に示す。

Loosely Coupled方式では、可視衛星数が4基以下の場合、RTK-GPS測位演算ができなくなるため、時間とともに位置誤差が増大した。これに



対してTightly Coupled方式は、4基の場合でも、2分間以上10cm精度を維持した。

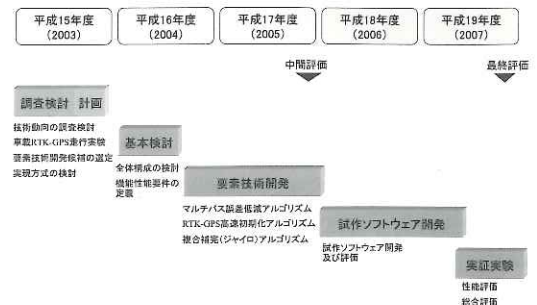
Tightly Coupled方式は、衛星受信環境が良好でない場所においても、高精度測位を継続できる可能性があることが確認された。

5. おわりに

準天頂衛星やGalileo衛星のサービスが開始され、地球を周回する測位衛星数が80基以上となれば、わが国の都市部や山間部においても5衛星以上が常時可視できる場所や時間が増えることになるであろう。

今回開発した要素技術は、海上、平野部、都市部及び山間部を問わず5基以上の衛星電波が受信

できる場所であれば、建設機械だけでなく、道路作業車、農業機械などの移動体にも適用が可能になると思われる。



本研究は、図-8に示すように平成15年度～平成19年度までの5カ年であり、昨年度有識者による中間評価を受け、研究の継続性が認められたところである。準天頂衛星については、第1号機が平成21年度に打ち上げられる予定となっているが、国総研として、研究の最終取りまとめに向け、引き続き開発・評価・検証を行っていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 松下博俊、上坂克己、藤本幸司、関本義秀：GNSS/INSにより高精度測位の評価と土木現場への応用、地理情報システム学会 講演論文集2005
- 2) 藤本幸司、松下博俊：衛星測位の建設機械への応用、建設電気技術2006技術集

藤本幸司*



国土交通省国土技術政策
総合研究所高度情報化研
究センター情報基盤研究
室主任研究官
Koji FUJIMOTO

松下博俊**



国土交通省国土技術政策
総合研究所高度情報化研
究センター情報基盤研究
室交流研究員
Hirotohi MATSUSHITA