

## GPSの鉄道への適用

山本 春生(信号通信技術研究部 列車制御 研究室長)

### GPSについて

GPS (Global Positioning System : 全地球測位システム) を代表とする衛星測位システムが、重要な社会基盤として認知されつつあります。GPSは、米国の国防総省と運輸省により運用・管理されているシステムで、現在は32機の測位衛星が地球を周回しています。GPS受信機を持つユーザは、いつでも世界中どこでも4機以上のGPS衛星からの信号を受信できれば、静止点、移動体を問わず、3次元の絶対位置(緯度、経度、高度)を高精度かつリアルタイムに計測でき、同時に正確な時刻を得ることができます。衛星から送信される信号はマイクロ波なので受信アンテナは小さくて済み、受信機本体の小型化や高感度化も進み、最近では携帯電話をはじめ様々な機器に組み込まれています。

GPSが完成したとされているのは1993年末です。米国は民生利用を無料で認めたため、様々な産業分野で利用が進められ、測量、カーナビゲーション、船舶の航法などGPSを利用する多くのシステムが実用化されました。米国政府は今後とも継続的に全世界に開放することを公表しています。また、日本は1998年9月の日米GPS共同声明によりGPSを一つの世界標準として利用促進協力する立場にあります。2000年5月にSA (Selective Availability : 米国の国防上の安全性への配慮から施されていた精度劣化操作)が解除されたため、測位精度は約15m(公称値)と大幅に改善されました。その後も、地上の衛星観測箇所を増やすなどにより精度改善が進んでいます。近い将来、GPSのほか、ロシアのGLONASS、欧州のGalileoなど複数の衛星測位システムが利用できるようになり、測位の信頼性は大幅に改善される見込みです。

### 鉄道におけるGPSの利用状況

鉄道分野においても、既に車両の位置検出や装置間の同期をとるためGPSの活用事例が多く見られます。国内外のGPS応用システムを利用形態から分類すると、以下ようになります。

- ①移動体の位置情報を地上へ伝送し、地上にて路線情報と組み合わせて用いる列車運行管理、車両追跡管理、旅客案内、列車接近警報などのシステム
- ②移動体にて位置情報を路線情報と組み合わせて用いる運転支援、列車制御、車両機器制御、作業支援、検測など

のシステム

- ③移動体にて位置情報を路線情報と組み合わせて用いるとともに、位置情報を地上や周辺の移動体へ伝送し、そこでも路線情報と組み合わせて用いる列車制御、保守用車接近警報、コンテナ荷役作業管理などのシステム
- ④構造物などの位置情報を継続して収集し変位を観測するシステム
- ⑤移動体にて時刻情報を通信制御に用いるシステム
- ⑥軌道測量システム

GPSを利用するメリットは、自前の地上設備に頼ることなく位置と時刻を把握できることです。しかし、鉄道では、沿線の地形や建物などによって衛星からの信号が遮断され、測位に必要な数の衛星を捕捉できない場合があります。トンネル内では全く利用できません。そのため、応用システムによっては速度発電機などを併用して、GPSが利用できない箇所でもその応用システムに要求される位置検出性能などを維持できるように補強しています。

### 列車保安制御へのGPS適用状況

『無線を用いた信号保安システムの発展』(P.14~17)で述べた無線式列車制御システムでは、車上で連続的に在線位置を検出する方式が主流になると考えられます。在線位置検出の精度上の要求は、在線位置を複数の線路から判別できることと、誤差数m以下で連続的に検出できることです。また、安全性に関する要求として、誤った位置情報による列車の衝突や脱線を避ける必要から、危険側故障率が $10^{-9}/h$ 以下と高い安全性が求められます。しかし、GPS信号は微弱で特徴が周知されているため、自然現象や妨害に対して脆弱です。現時点の列車保安制御へのGPS適用状況としては、自車の速度制御に必要な位置の検出にはGPSを適用するが、列車検知については軌道回路や車軸検知器などの地上設備で行うオーバーレイ方式に止まっています。

### GPS測位ディペンダブル化手法

鉄道総研では、GPSを列車保安制御に適用することを目的として、測位の安全性と信頼性を改善するためにできるだけのことをするという立場で、GPS測位ディペンダブル化手法を提案しています。これは、既に在線する線路が特

定されている前提では、その線路の3次元座標列を測位計算時に用いることで、通常は4機の衛星が必要なところを2機で測位できるという方式を基本としています(図1)。この方式では、列車前

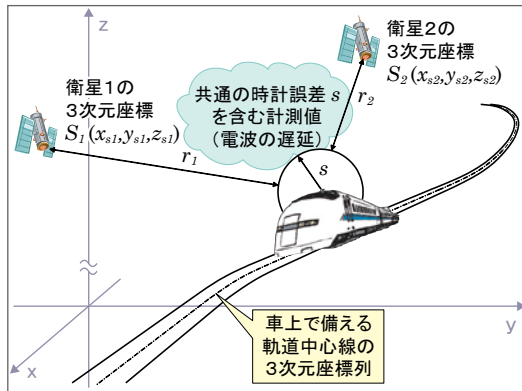


図1 線路の3次元座標列を用いるGPS測位

方、後方の中低仰角の2衛星を捕捉した場合に精度が良くなります。鉄道では、トンネル前後を除くと通常は線路の前後方向の上空は開けているため、市街地や山間部における測位の精度と信頼性を改善できます。市街地が広がり山間部の多い日本の鉄道に適した方式であると言えます。

図2に機能ブロック構成を示します。車上には、複数のGPS受信機を設置し、各アンテナの設置間隔はできるだけ離します。測位計算は、保安処理装置内で線路の3次元座標列を用いて行いますので、各GPS受信機は測位計算に必要な疑似距離(各衛星・アンテナ間距離の計測結果)や航法メッセージ(各衛星が放送する情報で衛星の位置に関する情報を含む)などを出力します。保安処理装置では、測位計算する前に、まず航法メッセージなどの一致すべき情報については照合を行い、各衛星との疑似距離についてはアンテナ間距離に見合った差であるかチェックします。このようにすることで、受信環境を原因とするビット誤りや測距誤差を概ね排除することができます。また、複数のGPS受信機を異機種とすることにより、受信機ソフトウェアのバグ等による誤りを排除できる可能性もあります。なお、この段階で国土交通省航空局が運用するMSAS(運輸多目的衛星用航法補強システム: MTSAT Satellite-based Augmentation System)に基づいて不正な情報を破棄あるいは誤差を補正すれば、受信環境以外の誤差要因も概ね排除することができます。

次に、上記のチェックを経た受信機からのデータと線路の3次元座標列およびアンテナ設置高さ情報を用いて測位計算を行い、各アンテナの絶対位置を求めます。前述したように、2衛星でも測位が可能のため、測位の信頼性を改善できます。まだ、リアルタイムに測位可能な段階には至っていませんが、所内試験線での測位結果の一例として近接した建物等により上空の西側半分が遮られている場合の

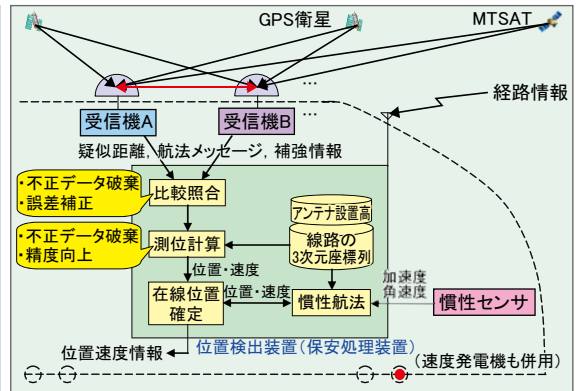


図2 機能ブロック構成

効果について検証したところ、測位頻度が47%から93%へ改善するケースもありました。また、測位計算時に、入力チェックで見逃した線路上に解が求められない疑似距離を排除することができ、また、線路上に解が求められる冗長な疑似距離のうち大きく外れるものを排除することで測位精度を改善できます。最後に、算出された各アンテナ位置間の距離を、実際のアンテナ間距離と照合します。

以上により得られるGPS測位の結果は、在線位置検出の初期位置設定および位置補正に用います。但し、GPSが利用できない箇所への対策として、複合型の位置検出装置として線路の3次元座標列を共用可能な6軸の慣性センサによる慣性航法のほか、速度発電機も併用します。

この手法の最大のメリットは、従来はブラックボックスであったGPS受信機内の測位計算機能が、列車在線位置検出アルゴリズムとして保安処理装置内に収容されるため、GPSを列車保安制御に適用する際の懸念事項の1つが解消されることです。

## おわりに

GPSの鉄道への適用状況と、GPSを無線式列車制御システムへ適用するために提案したGPS測位ディペンダブル化手法について述べました。在線する線路が特定されていることを前提としてGPSの測位計算を行う点に特異な印象を持たれるかもしれませんが、しかし、地点検知システムと速度発電機を主体的に用いるCARATの位置検出方式でも、地点検知後は線路が1本であることを前提として位置を更新し、分岐箇所では地上から経路が指定されることを前提としています。本手法は無線式列車制御システムとの親和性が高い位置検出方式であると考えています。

本開発は、2003年度および2004年度に、国土交通省からの補助金を受けて実施しました。