

2804 D-GPSによる軌道陸上兼用車の上下線認識の検証

○黒崎 倫之 (東日本旅客鉄道株式会社)

石瀬 裕之 (同)

正 [土] 佐々木 敦 (同)

Verification of inbound-outbound line recognition of road-rail vehicle by D-GPS

Noriyuki KUROSAKI, JR-EAST, 2-479 Nisshinn cho, Kita ward, Oomiya City, Saitama Prefecture

Hiroyuki ISHISE, JR-EAST, 2-479 Nisshinn cho, Kita ward, Oomiya City, Saitama Prefecture

Atsushi SASAKI, JR-EAST, 2-479 Nisshinn cho, Kita ward, Oomiya City, Saitama Prefecture

To improve the safety when a road-rail vehicle is operated on the railway, the authors will examine the means to detect the exact position on the rail. So far, the ground equipment such as RFID (Radio Frequency IDentification) is necessary to judge the inbound-outbound line. The authors did the D-GPS (Differential GPS) site test to evaluate the exact position by the passage of time, when the road-rail vehicle is driven from the road to the railway track at the railway crossing or the interim passage for construction. Because measured data were combined with the passage of time, the inbound-outbound line judgment was not mistaken though there is an error margin of about 10m in GPS. The authors are convinced that we can enhance safety by combining with the work plan and railway track closing information.

Keywords: road-rail vehicle, D-GPS, inbound-outbound line judgment, railway track closure

1. はじめに

1.1 作業責任者のヒューマンエラーと列車衝突の危険性

鉄道の工事では、線路上のみで使用する保守用車に加えて道路と軌道の両方を走行できる軌道陸上兼用車(以下「軌陸車」)を使用する機会が増えている(Fig.1)。軌陸車を線路で使用する時は、終電から初電の間合いに線路閉鎖工事の手続きを行って列車防護を行う。この線路閉鎖工事の手続きは停止信号現示と連動して安全を担保しており、特に首都圏のATOS区間では手続き自体がシステム化されている。しかし、作業責任者のヒューマンエラーが重大事故に直結する危険性も潜在している。すなわち、操作ミスや失念・勘違いなどにより上下線を誤って軌陸車を載線したり線路閉鎖区間に誤って進出した場合には、停止信号現示による列車との衝突回避はできない。

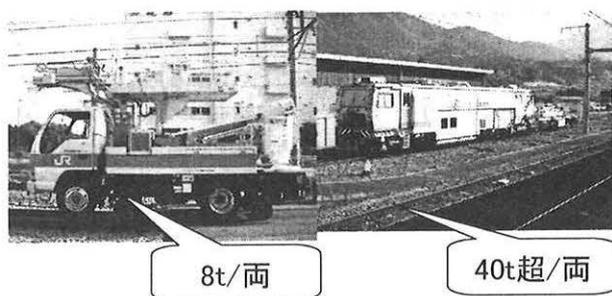


Fig.1 Road-rail vehicle(left) and maintenance vehicle(right)

そのため、東日本旅客鉄道株式会社(以下「当社」)はより大型で線路上のみ使用する保守用車には軌道短絡器を搭載して関係信号機を停止現示にすることで安全を2重に担保している。保

守用車の衝突防止の進展に伴い、小型で軌道短絡器を搭載できない軌陸車への安全担保の拡大をはじめた。

1.2 開発の目的と本紙での報告

軌陸車の限られたスペースと重量搭載余力で安全を2重に担保できる装置を目指している。具体的には、線路閉鎖をとっていない線路上に軌陸車を誤って載線しようとする、うっかりミスを作業責任者に警報する装置を開発する。

軌陸車の位置認識を一定時間内に一定精度で行うことがこの警報装置の実現の鍵となる。軌陸車に搭載可能なD-GPSとその処理装置で実現可能な見極めを得たので、本紙では2008年度に実施した検証試験について報告する。

2. 軌陸車の特性

2.1 軌陸車の多様な機装と特殊条件

軌陸車は線路での作業に特化した多様な車種があり、それぞれの車種で機装が異なっている。

特殊機装(軌道走行装置)により床下スペースが少ないので、道路走行時に床下機器が破損しないよう考慮する必要もある。

作業用の機装追加で車両重量が増しているが、運転免許種別や車検取得のため、追加重量は厳しく制限される。

以上から、追加機装する装置は重量増加が少なく、場所を選ばない必要がある。床下への設置もできない。

2.2 軌陸車の道路から線路への載線箇所

一旦載線されると線路を自由に動く軌陸車も、道路から線路への載線箇所は限られている。すなわち、載線は線路上のあらゆる箇所で行うのではなく、作業のしやすい特定の場所で行っている。

具体的には、工事用作業通路、保守基地、交通量が少なくかつ幅員の広い踏切、などである (Fig.2)。後述のマルチパスの影響を回避するのは種々のシステムで頭を悩ます点であるが、軌陸車の載線箇所が限られているのは位置の特定には有利である。

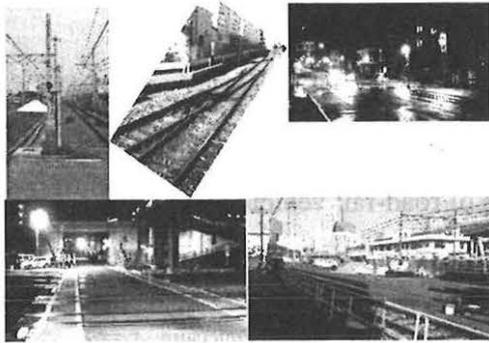


Fig.2 Site where road-rail vehicle changes road/rail mode.

2.3 警報装置への要求

様々な車種に採用可能にするには、警報装置は車両改造工事が不要又は僅少で増加重量や所要スペースが小さいことが必要である。センサ不良時にただちに線路上で運用不能になることも避けたい。このため、ブレーキと連動した誤進出防止装置ではなく警報装置を目指すこととした。加えて、軌陸車が道路走行をしているのか軌道走行しているのかの条件はPTO (Power Take Off; 動力取出し) 信号などにより取込むこととした。実用を意識して最終製品のハードウェア構成は、「カーナビゲーション並み」を想定した。

3. 目標の設定

3.1 精度の設定

精度の目標は軌陸車載線作業時 (①載線中の識別) と軌道上作業時 (②線路移動中の識別) のふたつを設定した。(Fig.3)

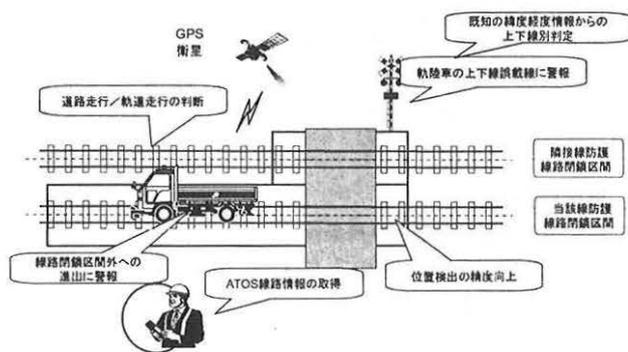


Fig.3 Outline of road-rail vehicle warning equipment

- ①載線中の識別; 120秒以内に精度2m以内
 - ・軌陸車の載線時間を120秒と想定
 - ・上下線 (例外箇所を除き、分離3.8m以上) を識別
- ②線路移動中の識別; 精度30m以内
 - ・線路閉鎖の余裕範囲を通常30mで計画
 - ・軌陸車、保守用車の運転速度は最高45km/hなので2秒間に25m走行

②の目標は、GPSによりこの程度の精度は得られる。①についての検討を次に述べる。

3.2 測位手段の候補からGPSを選定

既述のとおり作業区間を防護する有力な手段である軌道短絡装置は、保守用車と違って軌陸車には搭載することができない。両者の「足廻り」付近を (Fig.4) に示す。



Fig.4 Under floor state, road-rail vehicle(left) and maintenance vehicle(right)

目標①の精度を線路近傍で位置情報を得る手段として、

- ・微小な無線チップを利用する「RFID」 (Radio Frequency Identification; 無線個別識別)
 - ・キロ程管理や地点情報管理に現在使用している、「データデポシステム」
 - ・位相差を利用して反射物までの距離を測定する、「赤外線センサ」
 - ・「GPS」
- などを検討した (Fig.5)。



Fig.5 Effective means to detect position

前三者の手段では精度は得られることは分かったものの線路に設備を設置して維持管理するコストや軌陸車への艱装を考えると極力使わないで済ませたい。このため、地上設備が不要で車上への艱装が容易なGPSの検討を深めることとした。

4. D-GPSの検討

4.1 GPSの環境

2000年にSA (Selective Availability; 精度劣化措置) が解除され、精度は100m程度から数m程度と一気に小さくなっている。加えて、マップマッチング技術との併用などがよく知られている。GPSによる位置把握は、MTSAT (Multi-functional Transport SATellite; 運輸多目的衛星) などにより航空機を対象に拡大さ

れているほか、電離層遅延の補正が期待できる衛星整備が計画されている。

4.2 D-GPSの採用

GPSでは、天空を巡る32個の衛星から毎秒送信される情報を基に自位置を計算する。GPS受信機の時刻に誤差があることを前提にして、4つの衛星の情報があれば位置が計算できる。通常は4つより多くの衛星情報、例えば10個の情報を受信しているため、組合せの選択も精度向上の手段の一つである。

衛星からの情報は、「電離層遅延による誤差」「対流圏遅延による誤差」など6つの誤差要因により誤差が生じる。

観測局と既知の地点に置かれる基準局で測定される信号波の位相差の観測データからGPSの測位精度を上げる方式を、干渉測位方式という。

干渉測位方式の一種であるRTK-GPS (Real Time Kinematic GPS ; リアルタイムキネマティックGPS) では、初期測位に数十分程度の時間をかけることにより数cm程度の精度で測位することができるとされる。各種GPSの特徴を示す。(Fig.6)

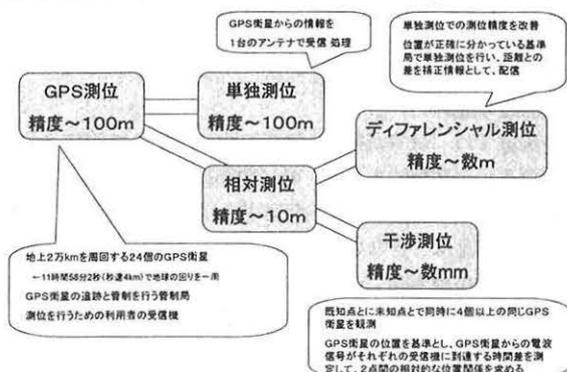


Fig.6 Various GPS

D-GPS (Differential GPS ; ディファレンシャル GPS) は、GPSに生じる6つの誤差要因のうち、「衛星時計」「衛星軌道」「電離層遅延」「対流圏遅延」から生じる4つを、既知地点に設置したGPS受信機で生じている誤差と打ち消し合わせて補正する。なお「受信機固有の誤差」と「マルチパスによる誤差」は打ち消し合わせることができないので逆に増加するが、全体では補正の効果が利く。(Fig.7)



Fig.7 Six elements cause GPS error

既知地点としては海上船舶を対象としてビーコン局が日本近海に27局整備されており今までも利用できるが、MTSATによる補正も可能となっている。MTSATは利用料が不要なので実用化を考えると魅力である。今後も衛星整備が計画されており、稼働率の向上や誤差低下を期待している。

D-GPSは軌陸車での運用が可能なので、D-GPSを測定手段として採用することとし、精度の検証を行った。

5. 工場内検証

現地試験を行うにあたり、「仮の原点」がどの程度の時間と精度で得られるかを工場内で検証した。測量で現実に使われている「RTK-GPS」を使用すれば、「30分測量で2cm程度」の精度が得られる。工場屋上で、踏切を想定して現地試験と同等の環境を設定して測定したところ、「10分測量で5cm」の精度が得られた(Fig.8)。この結果に基づき、現地試験はRTK-GPSを基準として評価した。

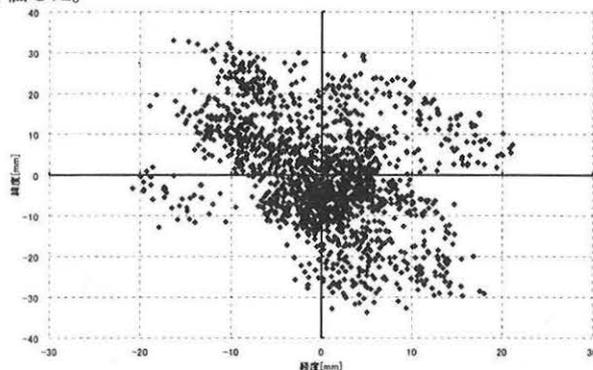


Fig.8 RTK-GPS data at factory test

6. 現地試験

6.1 仮設置装置の構築

警報装置は開発期間と開発費を節約するために極力既存のハードを活用することとし、GPSアンテナ、処理装置、画面表示器で構成した。(Fig.9) 最終形を想定した構成であるが、アンテナの設置、道路/軌道切換信号、配線引き回し、電源については仮設又は模擬装置とした。

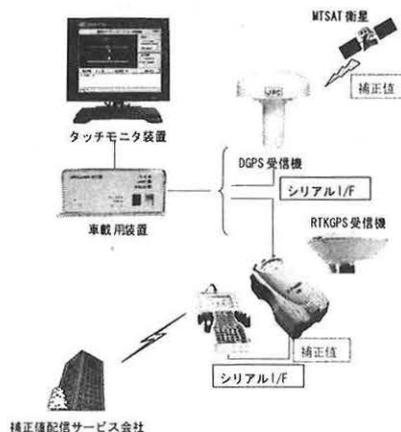


Fig.9 Structure of test set

6.2 現地測定

現地試験は品川にある当社の東京電車線技術センター訓練線にて実地試験・データ収集をした。訓練線は遮蔽物などの影響を受けにくい良好な受信環境である。GPSアンテナも軌陸車の作業台中央に設置して、受信に理想的な位置とした。試験箇所の全景を(Fig.10)に示す。

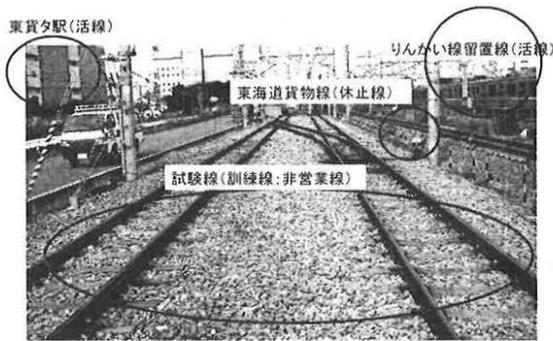


Fig.10 Out view of test site, Shinagawa

6.3 現地試験での衛星の捕捉

GPSの精度は、大気の影響やマルチパスを避けるため仰角の高い衛星を利用するのがよい。試験の仰角マスクは15度とした。天空での位置が散っている衛星を選んで計算できると精度はよくなる。試験中の捕捉衛星数の時間経過を (Fig.11) に示す。位置計算に最低必要な衛星数4よりも多い衛星数は6個が確保できるとされているが、現地試験では8~10個の衛星をほぼ常時捕捉しており、状態のよい衛星を選んで計算することで精度が期待できる。

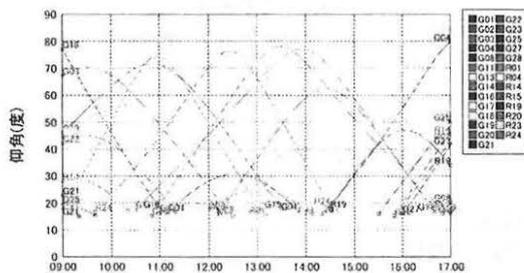


Fig.11 Numbers of captured satellites during field test, Shinagawa

6.4 現地試験の評価

以上の環境で行った測定例を (Fig.12, Fig.13) に示す。状態のよい箇所で行った本試行では、一定時間経過後に収束した誤差は線別判定が可能な範囲であり、目標に対して良好な測定値であることが分かった。「毎秒ごとに行う位置測定では、D-GPSにおいても10m程度の大きな誤差は生じることはあるが、時間とともに収束する。」ことが確認できた。

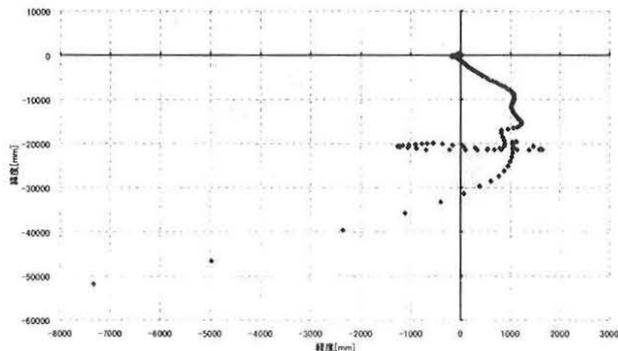


Fig.12 Measured data in test site, longitude and latitude plot, Shinagawa

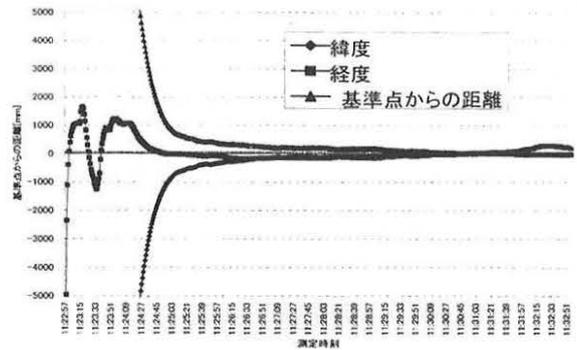


Fig.13 Measured data in test site, passage of time, Shinagawa

この測定結果では、一つ一つのデータでは確かに誤差は大きいものを含むが、軌陸車の載線時間中にデータを連続して検証することで上下線誤りの判定に有効と判断する。

上下線 (例外箇所を除き、離隔は3.8m以上) を識別する目標値のうち、「2m以内」は達成できる見込みがあるが、「120秒以内」での確実な判定は難しいこともわかった。これについては、GPSの測位を載線開始から始めるのではなく、道路走行中からの測位を活かすことで判定時間を短くすることを検討している。

7. 今後の取り組み

鉄道の環境では「GPSは確実な精度が取れないので限定された使い方となる」が常識であった。特に都市部でのマルチパスの影響からあきらめていた。しかし今回の検討と試験を通じて、即時に正確な位置測定はできないものの、線路への載線作業中の一定時間に得られる位置精度により、GPS単独で線別の判定ができる可能性があることがわかった。GPSの環境は今後も整備されていくことが想定され、一定以内の精度で位置が検出できる割合の向上が期待できる。GPS受信環境が良く、軌陸車へのアンテナ機装位置が理想的であった今回は良好な結果が得られたので引き続き実際の鉄道環境で検証していく。

線路閉鎖情報の取り込み方法と組合せて実用化をめざす。

参考文献

- 1) 黒崎倫之 ら；保守用車用短絡走行の研究 JR East Technical Review No.21 PP.63-68
- 2) 安田明生；電子情報通信学会誌 Vol82, No.12
- 3) 坂井丈泰；GPS技術入門 東京電機大学出版局 2003.9
- 4) 海上保安庁 DGPS センター HP <http://www.kaiho.mlit.go.jp/syoukai/soshiki/toudai/dgps/index.htm>