

地上補助設備なしに上下線認識できる、軌陸車誤載線警報装置の開発

○黒崎 倫之 (東日本旅客鉄道株式会社) 石瀬 裕之 (同) [土]佐々木敦 (同)

鉄道保守作業の安全性向上のため「軌陸車誤載線警報装置」を開発した。本装置は、D-GPS (Differential GPS) の測位のみで上下線別やキロ程を認識しており、タグのような地上補助設備は不要である。連続測位データの統計処理によって精度向上させており、軌陸車載線作業時間中に上下線を誤ることなく確実に識別できる。軌道短絡器を搭載できない軌陸車の安全性向上に加えて、線名線別キロ程表示のモニタ機能により作業の利便性向上に役立つ。今後試行を経て導入する。

キーワード：軌陸車、D-GPS、上下線判定、線路閉鎖

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

1. はじめに

東日本旅客鉄道株式会社 (以下「当社」) 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」) も使用している (図1)。

軌陸車を使用する時は、線路閉鎖工事 (以下「線閉」) の手続きを行う。しかし、作業責任者の失念・勘違いなどにより上下線を誤って軌陸車を載線させたり線閉区間外に誤って進出させた場合には、軌陸車の在線している区間に列車が進入する危険がある。



図1 軌陸車(左)と保守用車

大形保守用車では短絡走行させることで停止信号現示による列車防護が可能である。しかし、保守用車より小型で道路も走行する軌陸車はスペースや重量の制約から短絡器を搭載することができない。そこで、線閉や軌陸車の取扱いを誤ったときに軌陸車操作者や線閉責任者に警告する軌陸車誤載線警報装置 (以下「警報装置」) を開発した。

2. 軌陸車の概要と作業方法

軌陸車は、運用や構造に特色がある。軌陸車には線路での作業に特化した多様な車種があり、それぞれの車種で構造が異なっている。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。軌陸車は道路も走行するため、搭載する装置は小型・軽量なものが望まれる。

軌陸車が道路から線路へ載線される箇所は限られてい

る。具体的には、工事用通路、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 (図2)。

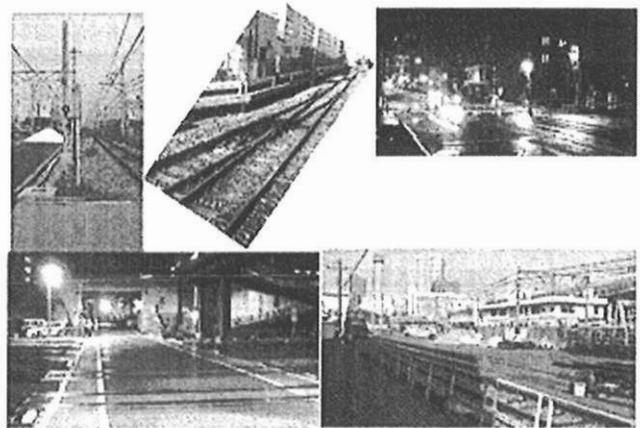


図2 軌陸車の載線箇所

3. 警報装置に求められる基本機能

軌陸車の運用や構造の特色を考慮して本警報装置の開発にあたり次の機能を基本とした。また線路内には機器を設置しないで済むように考慮した。

- (a) 現在位置を検出し、キロ程に換算する
- (b) 在線している区間の線路閉鎖着手状態を取得する
- (c) 在線している区間に線路閉鎖が取られていない場合には警報する
- (d) キロ程と線路閉鎖区間とを表示して、取扱いを誤った時の警報機能に加えて作業の利便性向上にも役立てる

3.1 軌陸車に搭載するために考慮した条件

これらの基本機能を持つ警報装置を軌陸車に搭載するため、以下の条件をさらに考慮した。

- (a) 警報装置が故障した時に軌陸車が運用不能とならないようにブレーキとは連動させない
- (b) 車両改造工事はなるべく少なくする
- (c) 小型軽量化してさまざまな車種に搭載可能とする

(d)軌道走行時のみ動作する。軌陸車が軌道走行している時に投入される PTO (Power Take Off; 動力取出し) 信号を取込んで軌道走行の条件に使用する

(e)載線が終了して軌陸車が線路上を動き出す前の載線作業中に誤載線を検知して警報する。軌陸車の載線作業から考えて判定にかけてよい時間を最長 120 秒とした。

3.2 目標精度の設定

本来載線すべき線とは別の線に誤って載線してしまった、線路閉鎖範囲を超えて軌陸車を誤って進出させてしまった、といったような取扱い誤りを検知するために、軌陸車載線作業時(軌陸車載線作業中の上下線の誤載線判定)と軌道上作業時(線閉区間外への誤進出判定)のふたつを想定して線路垂直方向と線路水平方向それぞれの位置精度目標を定めた(図3)。

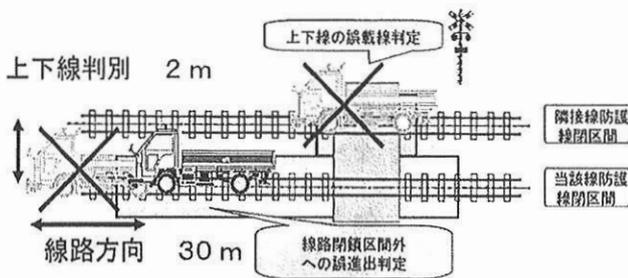


図3 設定する目標の精度

(a)上下線判定に必要な精度

上下線などの隣接線の線路間隔は通常 3.8m 以上である。これらを識別するためには、半分の 2m 程度以下の精度は最低限必要であり線路垂直方向の目標とした。

(b)線閉区間誤進出判定に必要な精度

線閉区間は作業範囲に若干の余裕を見て計画する。この余裕値を 30m として、線路方向の目標とした。

4. 警報装置の開発

以上の条件を考慮し、警報装置の開発を行った。

4.1 警報装置のハード構成

警報装置には既存のハードウェアを活用して開発期間を短縮した(図4)。

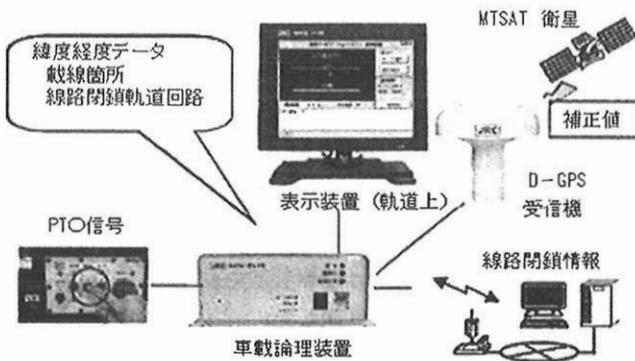


図4 警報装置の構築

4.2 警報装置のソフト開発

(1) D-GPSの概要

軌陸車の位置を認識する方式としては、RFID や ATS 地上子の活用も検討したが、車上側のセンサの搭載方法や地上設備のメンテナンスなどの課題がある。

D-GPS (Differential GPS) は近年広く使われるようになってきた GPS 精度を向上させる手法である。GPS に生じる誤差を、位置が分かっている基準局に生じている誤差から自 GPS 受信機の誤差を補正することで単独測位よりも精度を向上させている。

D-GPS は軌陸車に搭載可能な大きさであり地上に機器を設置する必要がなく、補正情報が無償で入手できる有利さがある。

(2) 誤判定を回避する論理の構築

毎秒の一つ一つの D-GPS の測位データは、誤差が最低目標の 2m を超えることがある。本開発では誤差の大きい測位値を除外する方法について研究した。

まず、捕捉衛星数や各種の DOP 値(精度劣化指数)を GPS の精度と関連できないかと考え、軌道中心からの離隔距離を尺度として比較してみたが、明確な関連はなかった。

そこで D-GPS の定点データを平面プロットおよび時間経緯でならべてみたところ、GPS の測位データはまったくランダムに飛び回るのはなく軌跡を描いて移動していることがわかった。GPS の測位データはまったくのランダムではないことから、測位データの変化と精度には一定の関係があり連続する測位データの変化が一定範囲に収まったときに GPS 精度がよいと考えた。

GPS アンテナは軌道中心に見立てた線上に設置している。離隔は理想的には 0m なので、算出した離隔距離の大きさや変化が小さい時に GPS 精度がよいものとした。

毎秒の測位値を過去 5 秒、15 秒、30 秒の平均値からの二乗平均値によって処理して、処理した二乗平均値が一定の範囲にある時のデータ採用し範囲を超えるときは排除することで精度を向上させた。処理前を図5、処理後を図6に示す。

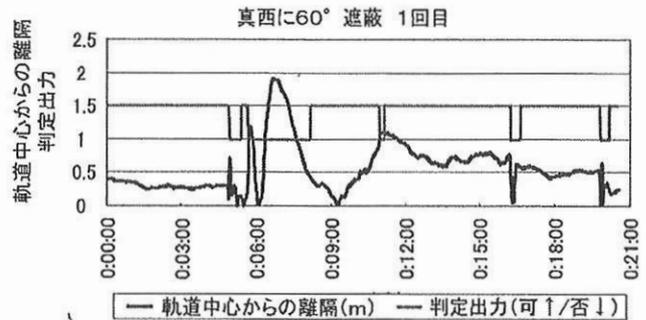


図5 軌道中心からの離隔(処理前)

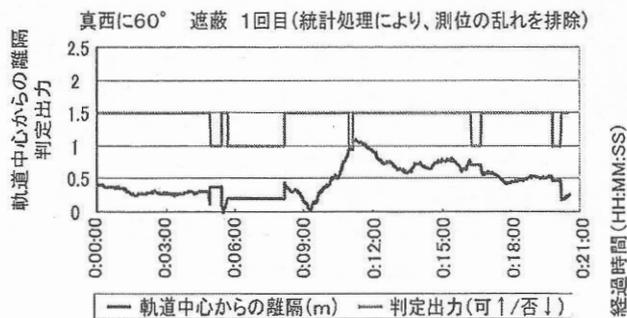


図6 軌道中心からの距離(処理後)

GPS アンテナは軌陸車中心線に設置するので、測位精度がよければ距離は0mとなる。実運用においては設置位置の制約によるアンテナずれやカント・曲線部分におけるずれが発生する。これらのずれを含めて、載線箇所において軌道中心からの距離が1.9mを超えると線別の判定を誤る可能性があるが連続データの処理により回避している。

(3) GPS 測位からのキロ程の算出

運用中の軌陸車は軌道上にいることから、キロ程と緯度経度をリンクさせる情報があればキロ程を算出することができる。GPS による測位点から緯度経度と基準となる既知の2点を選ぶ。測位点から基準となる2点を結ぶ直線に垂線を下ろし、その点を測位キロ程とし、垂線の長さを距離とする(図7)。先に述べた誤判定を回避する論理にはこの算出値を活用した。当社では20mおきの鉄道GISデータがあるため、これを活用した。

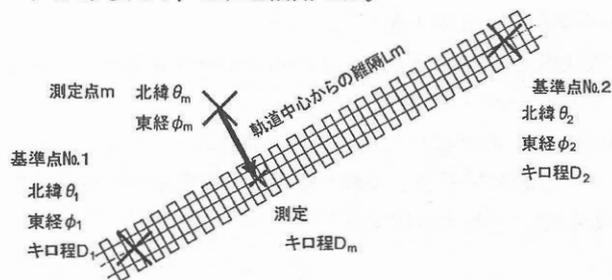


図7 鉄道GISとGPS測位によるキロ程の算出

当社では手持ちの20mおきのGISデータを活用するが、GISデータが整備されていなくても、載線箇所、わたり箇所、キロポストなど、最小限の地点で緯度経度を実測することで本装置を使用することが可能である。

(4) ATOS 線閉状態の取得と計画作業との照合

当社の ATOS 中央装置には保守作業を管理する機能がある。この中央装置には当夜の線閉の計画が事前に登録されており、線閉の着手や解除の手続きを行うと実績時間が履歴として記録される。

本開発においては、中央装置に登録されている作業計画を作業番号ごとに取得する。警報装置に登録されている計画作業と取得情報とを照合し、①計画作業が未着手のまま、②計画作業が着手された、③計画作業が着手されたあとに解除された、のいずれの状態にあるかを判断する。

5. 工場内試験の概要と結果

構築した論理を、線路に見たてた平面上で警報装置を動かして検証した。検証はGPS環境のよい工場の屋上で行った。検証ののち、鉄道付近の構造物やビルを想定した遮蔽物の影響を評価した。

警報装置を載線して、連続測位データを処理したあとの警報装置の判定表示を示す(図8)。正常な場合は警報せず、誤載線の場合は警報した。



図8 載線判定時の画面表示

警報装置はGPS測位とGISデータからキロ程を毎秒算出している。線閉範囲の中で警報装置を動かしたり、わざと外にはみださせたが、キロ程の表示は警報装置の動きに追従した。

次に様々な支障物がある線路近傍でもこの警報装置が使えることを確認するために、ビル等に見立てた遮蔽物を設置して同様に確認した(図9)。

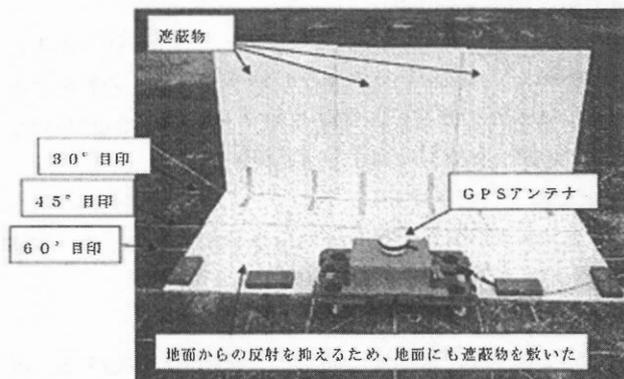


図9 線路近傍を意識した遮蔽影響の確認

遮蔽により測位データは悪化したが常時判定不能に陥ってまったく使えないということにはなかった。このため現地試験で検証を進めることとした。

6. 現地試験

工場内試験で検証したとおりに正しく判定できるか確認するため、実際の軌陸車に警報装置を搭載して正常取扱いと取扱い誤りを想定して線路上で確認した。

線路上空が開いている箇所から2箇所、支障物がある箇所から1箇所を、山手線と東北本線から試験箇所として選定した(図10)。

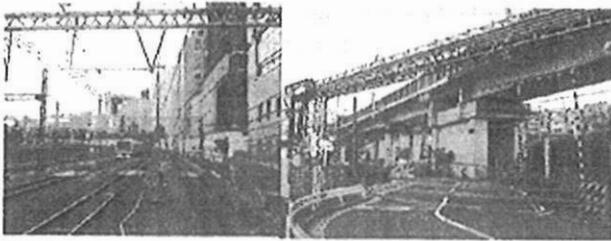


図10 上空が開けている箇所(左)と支障のある箇所

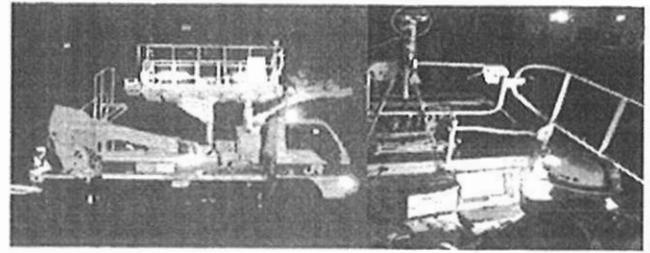


図11 現地試験風景

現地試験においては、(a)軌陸車載線時の判定(b)線閉区間内での移動(c)軌陸車離線と線閉解除 について、それぞれ線閉手続きや軌陸車の操作を正しく行った場面(1)と誤った場面(2)を想定して現地試験を行い、工場内試験で得たのと同じく動作することを確認した。

(1) 正しい取扱い操作の現地検証

(a) 軌陸車載線時の判定

線閉計画は、あらかじめ警報装置に下り線に載線と入力しておく。現地の載線箇所脇に到着して、警報装置の電源を入れた後に線閉計画を選択して待機する。

線閉着手条件を設定した後に、軌陸車を待機箇所から載線箇所に移動してPTO信号を入力し、載線判定をする。計画どおりの下り線に載線された表示となった。

(b) 線閉区間内での移動

次に、入力した線閉区間内を移動した。警報表示はなく、移動に従ってキロ程が変化した。

(c) 軌陸車離線と線閉解除

最後に、軌陸車は離線箇所に移動する。PTO信号の入力を解除して、踏切から線路外に軌陸車は出る。その後に設定した線閉を解除する。線閉を解除しても警報はなかった。

(2) 誤った取扱い操作の現地検証

(a) 誤載線

下り線への載線計画に対して、上り線に載線する。誤載線の表示と警報がなされた。

(b) 線閉区間外への誤進出

載線後に、線閉区間端に向かって軌陸車を移動する。線閉区間端に近づくと、「線閉区間端まで残り30m」を表示した。さらに移動させると、「線閉区間外進出」の警報表示が出た。軌陸車を線閉区間外から区間内に移動させると警報が消えた。

(c) 作業中の線閉誤解除

線閉着手の条件を解除すると、直ちに警報した。

以上により現地試験(図11)においても上下線の載線判定、線閉区間外進出判定を正しく行えることを確認した。

7. まとめ

RFID タグのような地上への設備設置が不要で軌陸車に搭載可能な、線路への載線作業中の載線判定・本線走行中のキロ程算出・誤進出判定ができる警報装置を開発した。

線名・線別・キロ程は、D-GPSの測位データと警報装置に登録した鉄道GISデータから算出する。誤差の大きい測定値を排除する論理を採用したことにより、軌陸車載線の作業中に正規に載線されたか計画外の線路に載線されたかが正しく判定できた。所要時間は120秒未満である。キロ程の算出は軌陸車の移動に追従しており、線閉条件と照合して誤進出に対して警報できた。算出したキロ程は現場への移動など正常時の作業の利便性向上にも役立つ。

8. 今後の予定

工場内試験と現地試験を行って良好な結果を得た。模擬の仕様やデータの絞込みを行った次の各項目について開発を行い、実作業において有効性・操作性を確認する。

(a) 線閉条件の取得と照合

ATOSの保守作業管理DBから線閉条件を取得し、照合するサーバーを開発する。

(b) わたり線の乗移りの判定論理の組み込み

わたり線の乗り移り論理を組み込んで駅構内に判定論理を拡張できるようにする。

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
- 2) 黒崎倫之ら; D-GPSによる軌道陸上兼用車の上下線認識の検証 J-Rail2009 第17回交通・物流部門大会
- 3) 安田明生; 電子情報通信学会誌 Vol.82. No.12
- 4) 坂井丈泰; GPS技術入門 東京電機大学出版局 2003.9
- 5) 海上保安庁 DGPS センター HP <http://www.kaiho.mlit.go.jp/syukai/soshiki/toudai/dgps/index.htm>