

⑭ 鉄軌道における衛星測位の活用技術に関する研究

交通システム研究領域

※田中 佑輔

廣瀬 道雄

竹内 俊裕

林田 守正

1. はじめに

地域鉄道は、少子高齢化等を背景とした旅客減等によって厳しい経営環境に置かれており、平成 24 年度においては 76%の事業者が経常収支で赤字を計上するに至っている¹⁾。これらの地域鉄道を維持していくためには、収入を確保するための施策に加え、列車運行の安全性を確保した上で、運行にかかる経費を削減する施策を行っていく必要がある。

鉄道の信号システムに用いられている軌道回路等の地上主体型列車検知装置は、維持費や設備更新費が課題であり、今後の方向性として、列車検知装置の車上化及びそのための衛星測位技術の活用が考えられる。

鉄道軌道分野での衛星測位技術の利用は、旅客サービスや保守の用途で実用化され、列車制御に用いるための研究も進められている。衛星の利用環境については、日本では GPS 衛星と互換性のある準天頂衛星が打ち上げられ、平成 29 年度に現在の 1 機体制が 4 機体制に増強される予定であるなど、各国で様々な衛星測位システムの整備が進められ、マルチ GNSS (Global Navigation Satellite System) が構築されつつある²⁾。

これらを踏まえ、本研究では、普通鉄道及び路面電車を対象として、衛星測位技術を活用した、地上施設に頼らない列車位置検知のための試験装置の構築及びその実証試験を行い、検知性能の検証を行ったので、その結果について報告する。

2. 試験装置の構築及び試験方法

2. 1. 基本設計

普通鉄道の地域鉄道では、図 1 のとおり長大な軌道回路及びその信号ケーブルの設置や維持・点検に費用を要している。そこで、連動駅（行き違いのための分岐器のある駅を指す）間の軌道回路による位置検知を列車上での衛星測位によって代替する（連動駅場内の軌道回路は存置する）方式を検討することとする。連

動駅場内と連動駅間の境界付近の位置精度及び必要な精度が得られない場合の対策が技術的課題である。

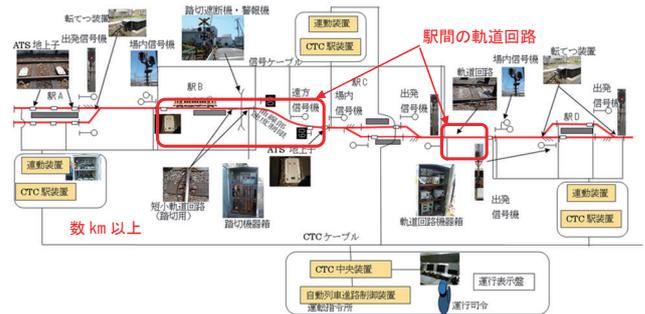


図 1 地域鉄道（普通鉄道・単線）の一般的な構成
一方、路面電車では、道路と路面を共用していることによる制約等から、一般的に軌道回路は用いられず、道路の交差点や分岐箇所など必要な箇所においてトロリーコンタクタ（図 2 参照、以下「トロコン」という。）による車両位置検知が用いられている。トロコンは可動部があるため故障が多く、また、メンテナンスには高所作業が必要である。これについても、位置検知を衛星測位により代替することができれば、トロコン及び付帯する信号ケーブルをなくすることができる利点がある。普通鉄道と同様、トロコンの位置の精度及び必要な精度が得られない場合の対策が技術的課題である。

したがって、衛星測位技術を活用した列車位置検知精度を確認するための試験装置を製作し、試験を実施することとした。

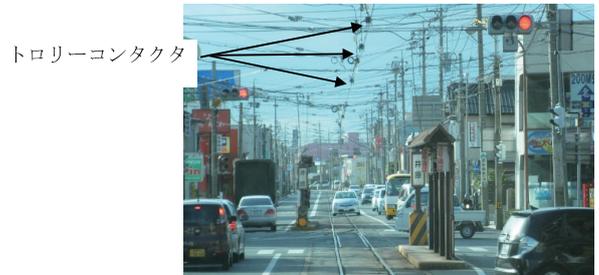


図 2 トロリーコンタクタ（トロコン）

2. 2. 普通鉄道用試験装置構成及び試験方法

普通鉄道用の試験装置の構成は図 3 のとおりであ

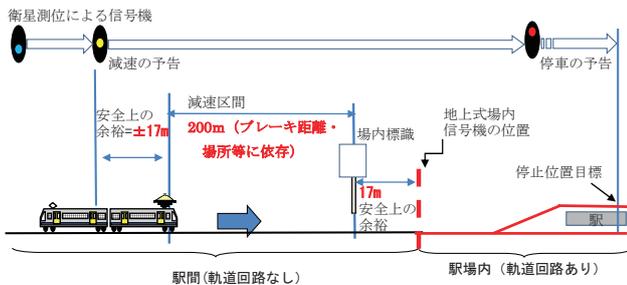


図6 境界部付近での安全上の余裕の設定例

衛星測位が利用できない場合の対策として、場内信号機付近の曲線をジャイロ装置により検知する代替補完については、ほとんどの曲線は正しく検出することができたため、ある程度の位置把握が可能と考えられる。ただし、同じ方向の曲線が連続する場合には300Rの急曲線が不検知となる場合がみられた。また、今回の設定値では曲線進入から30~50m(2秒程度)で検出する性能であり、衛星測位よりも検出精度としては劣る結果となった。

次に、衛星測位誤差により、位置が決まらない場合や、信号機の現示タイミングが遅れる場合における運転士への情報提示内容等について、環境を再現した試験(図7)を鉄道事業者の運転士に対して実施し、アンケート形式で意見を聞いたところ、走行中は安全上の問題が生じる場合に停止を指示する信号を表示し、停止している場合は衛星測位の異常を示すランプ等により表示する形が良いとの結論が得られた。

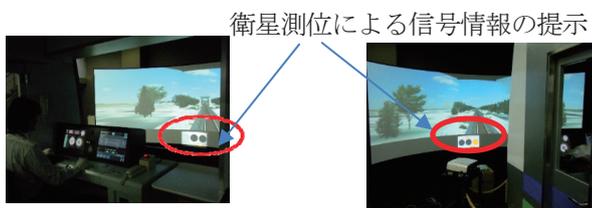


図7 運転シミュレータによる衛星測位による信号提示試験

4. 路面電車における実証試験結果

路面電車においても、軌道事業者の協力を得て実証試験を行った。トロコンは、図8のように周辺に建物がある場所2箇所(トロコン3機)及び建物が少ない場所1箇所(トロコン1機)の計3箇所とした。



図8 検出するトロコン及び周辺環境

試験結果では、トロコンのある場所を通過する瞬間では平均でも3.2m程度の距離が開いている状況であった。しかし、通過前後1秒間における検知位置を時系列で整理したところ、トロコンから2m以内の位置を必ず通過していることが判明した。表3のようにトロコンから2m以内であれば100%トロコン位置到達と判定されたが、この2mの誤差で路面電車における衛星測位による運行保安システムの実現が可能かどうかは今後検証する必要がある。

表3 路面電車環境による車両の到達を検知するエリアの幅について

真値からの距離	受信機 A (準天頂衛星あり)
0.5m 以内	52.7%
1m 以内	65.4%
1.5m 以内	85.2%
2.0m 以内	100.0%

5. シミュレーションによる位置精度を向上する手法の検討

実証試験の後日、走行する列車上で収録した衛星信号を衛星測位受信機に入力することで列車走行環境を再現する手法により、受信機の設定により精度向上を行う方法を検討した。

位置精度が悪化する区間(図9)について、線路周辺の遮蔽物の影響を受ける可能性のある測位衛星の方位・仰角をマスキングするためのデータ(図10参照)を作成しておき、車上では実際の衛星配置に照らして測位に使用する衛星を判別する手法を検証したところ、精度向上効果が確認された(表4参照)。

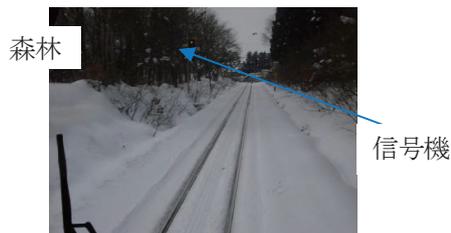


図9 位置精度が悪化する区間

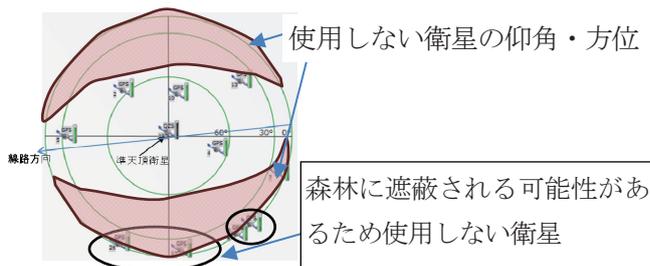


図10 遮蔽される衛星を判別し精度向上する手法

表4 列車上で得られた線路方向誤差(駅間全体)(単位[m])

長井	線路方向誤差 (平均)		線路方向誤差 (絶対値最大)		検定 合格率
	検定前	検定後	検定前	検定後	
受信機 A (準天頂衛星あり)	0.247	0.250	-11.766	-9.717	96.5%
受信機 B (準天頂衛星なし)	-1.452	-1.447	-13.302	-13.302	96.5%

6. 衛星測位による代替が可能となる条件

本研究において、普通鉄道の場合の前提とした連動駅の場合のみ軌道回路を利用する方式が導入できると考えられる条件は、次のとおりである。

■衛星数を確保できる環境

軌道回路のある駅場内と駅間の軌道回路のない区間との境界付近では衛星測位が行われる必要があり、トンネル等の完全に衛星測位ができない場所や、極端に衛星測位が可能方位・仰角が狭い場所でないことが必要である。

■駅場内での通信

連動駅において、駅装置と列車との間では通信を行うための設備の設置が必要となる。現在相当する機能がない駅については、新たに通信装置の設置が必要である。

■モニタリング期間における試験

列車上に車載装置を搭載し、モニタリングを行う期間が必要である。列車運行本数にもよるが1年程度の間で実施し、極端に位置精度が悪い場所については、場内信号機の設置場所を現在と異なる場所に変更し、衛星測位が行えるように措置する必要がある。

試験方法については、安全上速度超過による冒進の可能性があるため、線路方向の誤差の発生状況を確認する必要がある。特に標識建植予定位置において、RFID (Radio Frequency Identifier) タグ等の試験用位置把握装置を設置し、一定期間の列車位置の精度や、データ欠落等の発生有無を把握する必要がある。

7. まとめ

本稿では、鉄道の列車位置検知を衛星測位技術によって行う方法について、実証試験を行った結果を報告した。

地域鉄道においては長大な線路のために地上設備が多く、点検及び保守に経費がかかっているが、駅間の軌道回路及び信号ケーブルについて、衛星測位技術を活用した位置検知への代替が見込める結果が得られた。

衛星測位による位置検知の精度については、今回の実証試験の環境においては1車両の長さ以下のバッファを設けることで足りる程度であることがわかった。

また、列車環境を地上で再現する機能については、ダイヤの制約を受けずに他の受信機パラメータ設定等を試験することが可能であり効率的に個別の路線への適用可能性や、個別の路線に応じたパラメータの決定が可能となる優れたものであると考えられる。この機能によって、準天頂衛星を利用した測位方法の優位性について数量的に示すことができた。

また、線路周辺の遮蔽物の状況に応じ使用できる測位衛星の方位・仰角をあらかじめ決めておく手法について、列車上での精度向上効果を確認しており、鉄道向けの精度向上方法として非常に有用であると考えている。

実証試験で得られた成果は、鉄道環境に向けた衛星受信機の構成及び設定方法に関して鉄道で必要となる技術情報としてとりまとめており、個別の路線における導入の検討や、個別適用のための試験を考える上での重要な技術要素となるものと考えている。

なお今回の試験で得られた鉄道での衛星測位の利用は、鉄道の運行制御・管理のみならず、列車の運転士支援装置としての利用への展開が考えられる。また、バスのような走行路が決まっている移動体での利用も有効と考えられる。ただし、衛星測位が不可能なトンネル走行等に対する対応については、今後も検討が必要である。

8. おわりに・謝辞

本研究は国土交通省総合政策局からの受託「交通分野における高度な制御・管理システムの総合的な技術開発の推進」(平成24~26年度)を受けて実施した。

実証試験に御協力いただいた鉄軌道事業者の方々、信号メーカーの方々ほか本研究の実施にあたり御協力をいただいた全ての方々に謝意を表します。

9. 参考文献

- 1) 国土交通省ホームページ「地域鉄道の現状」
<http://www.mlit.go.jp/common/001018569.pdf>
- 2) 内閣府宇宙戦略室長 小宮義則「新宇宙基本計画と準天頂衛星システム等について」平成27年7月17日 第13回 衛星測位と地理空間情報フォーラム講演資料
http://www.eiseisokui.or.jp/ja/forum/01_13.php#