

G P Sを用いた列車検知と運行管理に関する研究

交通システム部 ※山口 知宏 水間 毅 佐藤 安弘 大野 寛之

1. はじめに

近年、路面電車はL R T (Light Rail Transit) システムとしてヨーロッパの中規模都市を中心に活躍の場を拡げつつある。日本においても熊本や広島にヨーロッパ製L R V (Light Rail Vehicle) が導入されたり、鹿児島、松山、高知に日本製のL R V が導入されたりと、環境および人に優しい公共交通手段として見直されてきている。

しかし日本の場合、路面電車は、交通信号機による停車や道路交通の渋滞の影響を受け、ダイヤ通りの運行確保が困難で、そのためダンゴ運転状態の頻発等非効率な運行がなされ、利用者の減少を招いているのが実情である。

そこで、当研究所では、路面電車のより効率的な運用を図るため、G P S (Global Positioning System) を利用した運行管理システムの研究開発を行っている。平成13年度は、第一段階として、GPSアンテナを搭載した車載装置と位置情報を送受信する地上基地局装置を開発し、熊本市交通局の路面電車を利用して、G P Sによる車両位置検知性能と、車載装置～地上基地局装置間の情報伝送特性を確認した。

本稿では、これらの結果の概要について述べることにする。

2. 運行管理システムの概要

2. 1 システム設計

開発中の運行管理システムは路面電車の運行の効率を向上させるためのシステムであり、設計は以下に示す目的を満足するように行った。

- ① 路線全体の車輛位置を把握し、路面電車の各車輛に適切な運行指示を送る。これによりダンゴ運転の解消を図り運行を円滑に行えるようにする。
- ② 路面電車の行先や、各停留所への到達時間等の

情報をリアルタイムで利用者へ知らせることを可能とする。

- ③ 交通信号機を、路面電車優先信号機として運用する際の情報源として活用する。

また、本システムを導入対象とした線区は、以下に示すような状況が存在することを前提とした。

- I. 車両編成数が多く、また、短い間隔で多数の停留所が設けられているため、従来の運行管理システムを構築する場合は、現場に設備される機器数が多くなる。
- II. 大多数の車両は従来から使用されているもので、新たに車両側から運行制御に使用する情報を得る設備を付加することはコスト上難しい。
- III. 道路を自動車と併行して走行するため、普通鉄道で使用されている軌道回路を利用した信号機器等は設置しづらい。

これらから、開発する路面電車向け運行管理システムは以下の事項を満たすものを前提条件として設計した。

- (1) 低コストであること
- (2) 既存車両の改造を必要としない簡易なものであること

これらを前提として、以下の基本機能を実現するシステムを設計した。

- ① 車上で汎用G P Sを利用して、自車両の位置を検知し車上～地上間の無線通信により、停留所を中継点として情報をセンタ側へ伝送し管理する。
- ② G P Sによる車両位置情報を基に、路線内の全車両の位置をセンタで把握し、運行制御情報を車両に指示する。

2. 2 システム構成

運行管理システムの全体構成図を図1に示す。

本システムは、図に示すように車両に搭載され

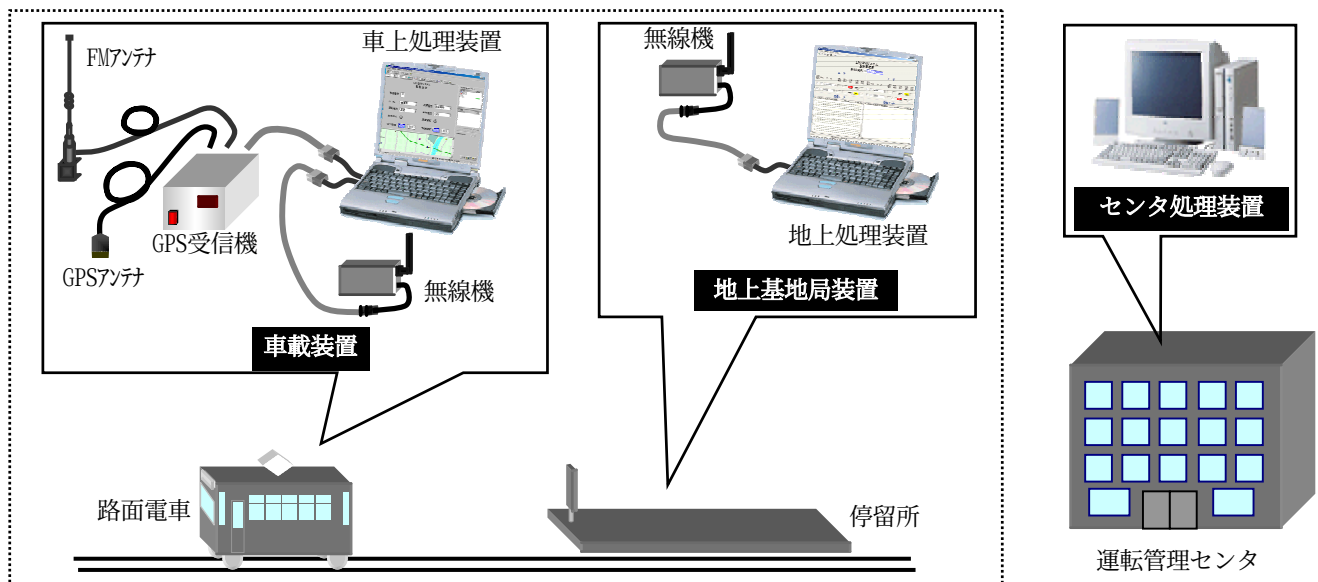


図1 運行管理システム全体の構成

る車載装置、停留所に設置される地上基地局装置、運転管理センタなどの線区拠点に設置されるセンタ処理装置から構成される。この中で平成13年度は車載装置と地上基地局装置を試作した。

2. 2. 1 車載装置 車載装置は、路面電車の車上でGPSを利用することにより車両位置情報を連続的に取得する。ただし、この車両位置情報は、停留所に停車中のみセンタ処理装置へ伝えるものとし、停留所間ではセンタ処理装置への伝送は行わない。そして、停車中に得られたセンタ処理装置からの指示を運転手に知らせる。車両位置検知では、検知精度を向上させるための手段として、FM多重方式のDGPS（Differential GPS）とマップマッチング処理を組み込んだ。

装置は車外に設置されるGPSアンテナおよびFMアンテナ、車内に設置されるGPS受信機および地上基地局装置と通信するための無線機と車上処理装置で構成され、車両の運転台に設備した。

2. 2. 2 地上基地局装置 地上基地局装置は、停留所に設置しその停留所に停車中の車両と通信を行うことを目的とした装置であり、1停留所で最大4車両（上下線各2車両）と通信することを可能とした。今回の試験装置では、本来はセンタ処理装置が持つ機能についても本装置が代行するものとし、車載装置と通信するための無線機と地上処理装置で構成した。

3. 機能実現方法

3. 1 車上～地上間の情報伝送

車載装置～地上基地局装置間の情報伝送手段には、

安価で、信頼性が高い特定小電力無線を選択した。ただし、特定小電力無線は、電波を発射しようとする周波数が使用中の場合に、混信防止のため待機しなければならない。また、一度電波を発射した場合は2秒以上の休止が義務づけられるなどの制約がある¹⁾。無線機の定格を表1に示す。

表1 無線機定格

回線方式	特定小電力無線回線
周波数	429.1750MHz～429.2375MHz 12.5kHz間隔 6波
変調方式	2値FSK直接変調
送信出力	10mW
伝送速度	2400bps
同期方式	特定キャラクタ同期

特定小電力無線の通信到達距離は公称100mであるが、場所および状況によっては数倍の距離に到達してしまうことがある。この場合隣接停留所に電波が届いてしまうので、正確な情報伝送を行うには各停留所を特定するための対策が必要となる。このような制約のもとで確実に情報伝送を行うため、以下の伝送方式を採用した。

- ① 地上基地局装置を伝送上の親とし、1基地局につき最大4車両の車載装置に対し、順次送信要求を発することとする。その要求に対し、車載装置は順次応答する。
- ② 停留所間の距離が短い場合には、隣接する停留所の地上基地局装置からの電波が届いてしまうため、車載装置は、伝送対象となる地上基地局装置を識別するための停留所ID番号を持つ。このID番号は、GPS位置情報により車載装置自身で停留所毎自動

更新する。さらに車載装置は自車両宛通信であるか否かを車両番号により識別する。

③ 車載装置が応答を返すにあたり、他車載装置との混信を防ぐため応答遅延時間を設ける。

④ 遅延時間を考慮して、伝送周期を4秒で行う。

以上のことにより混信がなく安定した伝送を可能とした。

3. 2 GPS車両位置検知による停留所判断

車載装置～地上基地局装置間の情報伝送は、車両が停留所へ停車中の場合のみ行う。車載装置はGPS車両位置検知データにより停留所での停車を判断する。しかし、GPS車両位置検知データには誤差が含まれ、また、停車中に迷走する傾向があることから、GPS車両位置検知データのみで停留所への停車を判断することは難しい。そこで、停留所を中心とした前後一定距離内に自車両を検知した場合には到着と見なし、その範囲外に自車両を検知した場合には出発または走行中と見なすこととする。

3. 3 停留所での車両到着順序管理

前述のごとく、GPSは停車中に迷走する傾向がある。そのためダンゴ状態で停車中には、GPSデータの見かけ上で後続車両が先行車両を追い越してしまう可能性がある。その対策として、センタ処理装置で車両の到着順序を管理することを検討している。今回の試作装置では、その機能を地上基地局装置で確認できるようにした。車載装置より出発情報を受信した際には到着順序のチェックを行い、また停車中は強制的に停留所へマップマッチングを行うことで、後続車両が先に出発してしまうような状況を回避する。

4. 試験

4. 1 GPS車両位置検知現車試験

GPSの受信状況等を調査することを目的として、平成14年2月に熊本市交通局全線（総延長11.9km）において、最新式のLRVを使用したGPS車両位置検知現車試験を実施した。以下にその結果の主要部分を示す。

(1) GPS受信状況は良好であった。代表的なGPS車両位置検知データとして、交通局前付近のデータを図3に示す。今回の試験では、GPS車両位置検知データに加え、捕捉する衛星数（衛星番号）とその受信レベルを同時に測定した。図中の数字は捕捉衛星番号であり、車載装置が○印の地

点において捕捉している衛星を示しその受信レベルは棒グラフが大きい程衛星からの受信電波が強いことを示している。

(2) 市街地では、マルチパスの影響と思われる誤差の拡大があり、位置検知が路線から大きく外れる場合が見られたが、マップマッチング処理により正しく路線上に同定することを確認した。

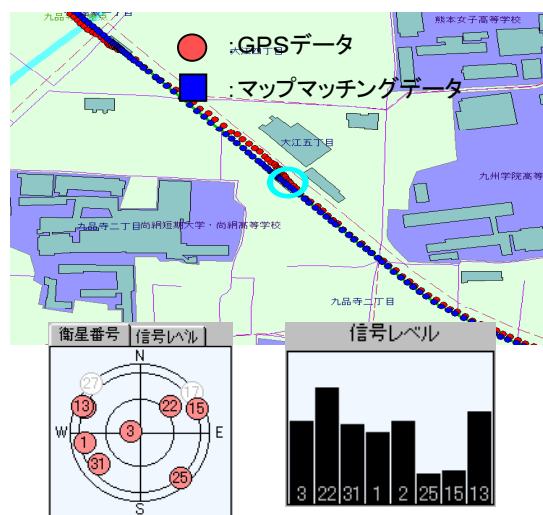


図3 車両位置検知データ

(3) 停車中に迷走が見られ、特に市街地の交通信号機での停車時間が長い場所では、位置検知が路線上を後退する事象が確認された。

(4) 熊本市交通局では、2号線と3号線の分岐があるが、系統番号処理を加えることで、走行路線に確実にマップマッチング処理が行われた。

(5) マップマッチング補正距離による受信精度は全データの90%が在来路面電車の車両長である14m以内に収まっていた。

4. 2 模擬走行試験

車載装置、地上基地局装置の機能確認試験を実施した。試験では、上記GPS現車試験で得られた走行データを使用して、車載装置に模擬走行データを与え各種機能を確認した。その結果、両装置が機能を実現していることが確認された。

4. 3 情報伝送現車試験

特定小電力無線を使用した車上～地上間の実設備状態における情報伝送性能の確認を目的として、平成14年3月に熊本市交通局洗馬橋停留所において現車試験を実施した。

4. 3. 1 試験方法 試験では、1停留所4車両停車状態を作り出すため、1車両の前後の運転台に設けた車載装置を独立した2車両と見なした。また、

地上側に設けた模擬車載装置2台にGPS現車試験で取得した走行データを発生させることで、反対線の車両を模擬走行させた。

試験車両で上熊本駅前～辛島町間を走行し、洗馬橋停留所に地上機器を設置して試験を実施した。

4. 3. 2 試験結果

① 特定小電力無線による4車両との情報伝送について、車載装置～地上基地局装置間で所定の手順で情報伝送可能であることが確認された。2日間の試験で延べ439回のデータ伝送が行われたが、BHCチェックで捨てられたデータは皆無であり、停留所に限定された近距離での特定小電力無線の安定性が確認された。停車中の車載装置～地上基地局装置間の通信回数を表2に示す。

表2 車載装置～地上基地局間伝送回数

	1回目	2回目	3回目	4回目	平均
車載装置1	6回	7回	7回	7回	7回
車載装置2	10回	8回	7回	9回	9回
模擬装置3	16回	17回	17回	24回	19回
模擬装置4	18回	18回	18回	20回	19回

表2より、現車搭載の車載装置1と2の場合、停車から出発までの情報伝送が7～9回行われているので、一つの停留所での情報伝送可能時間は約30秒ということになる。車上～地上間の同期が確立する条件として必要な回数は最低2回であるため、上記の結果から特定小電力無線を利用した車両の情報伝送は可能であることが確認できた。

② GPSによる車載装置の停留所への到着、出発判断に関しては、停留所停車位置を基準に到着側14m、出発側28mに設定した。この距離内に自車両を検知した場合は停車中、距離外に自車両を検知した場合は走行中または出発と判断することを確認した。この距離を変更してその影響を調べた結果、停車および出発判断は正常に行われることが確認できた。ただし、以下のような状況となる。

I. 上り方向の出発判断距離を28mと長く設定した場合、地理的条件により、情報伝送に影響が見られた場合があった。

II. 両方向において出発判断距離を短くした場合（14mに設定）は、停車中の迷走により停車と出発を繰り返す可能性もあり、対策が必要である。

③ 地上基地局装置における車両の順序管理につい

ては、4車両が同時に停車している状況で試験を行った。その結果、正常に順序管理が行われることが確認された。ただし、出発距離を長くした場合、情報伝送不能となって車載装置からの出発情報が地上基地局装置に届かず、車両が残るような状況が発生した。

5. 評価

上記試験の結果、以下のことが明らかになった。

- (1) GPS車両位置検知については、走行中は特に問題は認められないが、停車中の迷走であたかも車両が後退しているような事象、あるいは、停留所を誤出発する事象が認められた。これを防止するには、速度計の情報の利用など、GPS情報以外の情報取得等の検討が必要である。
- (2) 特定小電力無線による情報伝送については、情報伝送を行う範囲を停留所毎に調整することで、データの欠落防止が可能となる。
- (3) 停留所における車両の順序管理を行えば、GPSが迷走している状態においても、後続車両が先行車両を追い越すことがなくなり、問題とならないことが確認できた。

以上の結果より、GPSを用いた運行管理システムは、路面電車の等時隔制御等を実現する上で極めて有効な手段の一つとなることが確認された。

6. あとがき

路面電車の効率的な運用を図るための手段として、GPSと特定小電力無線を利用した運行管理システムについて紹介した。引き続いて本年度は、システムの中核となるセンタ処理装置の開発およびシステム全体の試験を行う予定である。

最後に、現車試験実施に多大なるご支援、ご協力をいただきました熊本市交通局、システムの共同研究開発にご尽力頂いた大同信号株式会社ならびに関係各位に深く感謝致します。

文 献

1) ARIB STD-T67「特定小電力無線局用レメタ用、リモコン用及びデータ伝送用無線設備標準格」、(社)電波産業会