

GPS を用いた列車検知による、路面電車用高度運行管理システムの開発

交通システム研究領域

山口 知宏 水間 毅

1. はじめに

路面電車はLRT (Light Rail Transit) の登場により、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。しかしながら路面電車は、交通信号機による停車や交通渋滞によりダイヤ通りの運行が難しく、そのためダンゴ運転状態が頻発しているのが現在の実情である。

そこで、この路面電車のより効率的な運用を図るため、GPS (Global Positioning System) を利用した「路面電車用高度運行管理システム」の開発を行った。平成13年度には現場側に設備される車載装置と地上基地局装置を開発し¹⁾、平成14年度にはシステムの中核であるセンタ処理装置を開発した。さらに熊本市交通局にて、車載装置のGPS車両位置検知性能と、システム全体の機能を確認するため実際の車両を用いた試験を実施した。

本文では、路面電車用高度運行管理システムの概要ならびに熊本市交通局における現車試験の結果などについて報告する。

2. 路面電車用高度運行管理システム概要

2.1. 開発の目的

路面電車用高度運行管理システムは、路面電車向けのシステムであり、その開発目的を以下に示す。

- (1) 路線全体の車両位置を把握し、車両に運行指示を行うことで、ダンゴ運転の解消等、路面電車の運行を円滑にする。
- (2) 電車の行先や到達時間の表示等、路面電車口ケーションシステムを構築する。
- (3) 電車優先信号のための車両情報に活用する。

2.2. システム設計

路面電車用高度運行管理システムの導入対象となる路面電車線区には、以下の特徴がある。

- (1) 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、必然的に現場に設備される機器数が多くなる。
- (2) 最新型のLRV (Light Rail Vehicle) が導入されている例もあるが、大多数は従来からの車両で、車両側から制御に使用する情報を得ることは難しい。
- (3) 路面電車は、道路を自動車と併行して走行するため、レール周りに機器を設置することは難しく、普通鉄道で使用されている信号機器等は使用しづらい。

このようなことから、路面電車用高度運行管理システムは安価であること、既存の車両の改造を必要としない簡易なものであることが不可欠である。そこでこれらを前提として、システムの基本設計を行った。

- (1) 汎用のGPSにより、車上で車両位置を検知する。
- (2) 車上～地上間に無線通信を使用し、停留所を介して、車両～運行管理センタ間の情報伝送を行う。
- (3) 運転管理センタにおいて車両の運行状況を把握し、等時隔制御を実現する。
- (4) 等時隔制御のための出発抑止指令や回復運転指令などの運転管理情報は車内に表示する。
- (5) 本システムは運転補助装置と位置付け、汎用機器で構成する。

2.3. システム構成

本システムの構成を図1に示す。

本システムは、車両に搭載される車載装置、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の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、地上基地局装置を、平成14年度はセンタ処理装置を

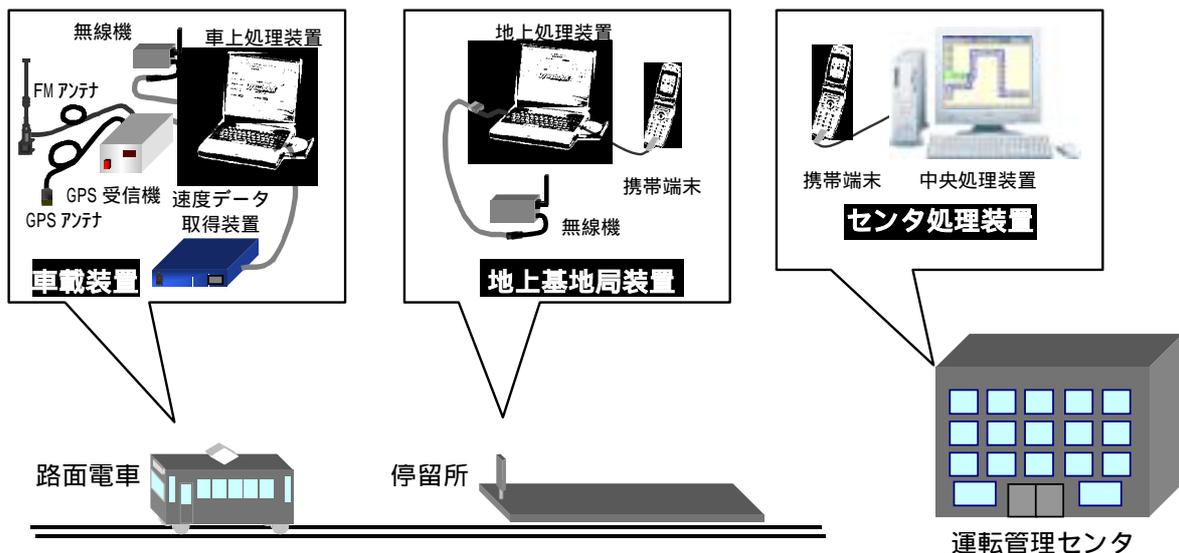


図1 システムの構成

開発し、システムとして完成を見た。また、今回製作したシステムは基本機能確認のための試作システムであることから、各装置とも処理装置にはパソコンを使用した。

2.3.1. 車載装置 車載装置は、路面電車の車上でGPSを利用した車両位置検知により車両位置情報を連続的に取得する。ここで、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が組み込まれている。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。即ち、停留所中間ではセンタ処理装置への伝送は行わない。また、停車中に得られたセンタ処理装置からの運転管理情報を表示し、運転手に知らせる。

装置は車両の両運転台に設備されるもので、車外の屋根上に設置されるGPSアンテナ、車外の先頭部分に設置されるFMアンテナ (DGPS用)、車内に設置されるGPS受信機、地上基地局装置と通信するための無線機、速度計より簡易に速度データを取得するための速度データ取得装置と情報処理および表示を行う車上処理装置で構成される。

2.3.2. 地上基地局装置 地上基地局装置は、停留所に設置され、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、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する。

装置は、車載装置と通信するための無線機、センタ処理装置と通信するための携帯端末と情報処理および表示を行う地上処理装置で構成される。

2.3.3. センタ処理装置 センタ処理装置は、運転管理センタ等に設置され、地上基地局装置を介して線区全体の車両位置を把握する。さらに、この各車両の位置、車両情報によりダング運転防止のための等時隔制御を行い、出発抑止指令や回復運転指令を出力する。

装置は、地上基地局装置と通信するための携帯端末と等時隔制御および表示を行う中央処理装置で構成される。

3. 機能の実現方法

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は、安価で、信頼性が高い特定小電力無線を使用する。地上基地局装置～センタ処理装置間の情報伝送は、安価で、容易に利用できる公衆網を介した携帯端末によるデータ通信を使用する。ただし、特定小電力無線は、同一周波数が使用中の場合、混信防止のため、待機しなければならないこと、一度電波を発射した後2秒以上の休止が義務づけられることなどの制約がある²⁾。また、携帯端末によるデータ通信は、パケット通信としているので、話中でつながらないというようなことはないが、伝送遅延等が起こる可

能性がある。

この様な制約のもとで停留所に停車中の最大4車両と情報伝送を行うため、伝送手順を以下のように設定した。

- (1) 伝送上の親を地上基地局装置とし、地上基地局装置が車載装置とセンタ処理装置に情報を送り、その応答を受ける。
- (2) 地上基地局装置と車載装置ならびに地上基地局装置とセンタ処理装置相互間のデータ伝送は、4車両分をまとめて送る。車載装置は、それぞれ混信を防ぐために設定された応答遅延時間毎に順番に応答を返す。
- (3) 地上基地局装置は、車載装置とセンタ処理装置に対し、交互に一定周期で情報伝送を行う。

以上のことから、伝送周期を車載装置～地上基地局装置間は約4秒、地上基地局装置～センタ処理装置間は約3秒とし、全体で約7秒とする。図2に伝送手順を示す。

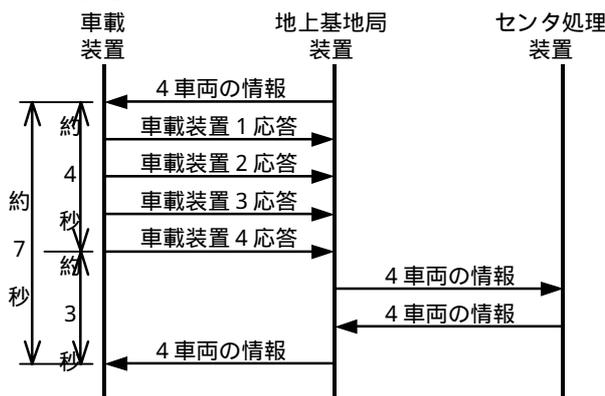


図2 伝送手順

3.2. 等時隔制御論理

停留所での前後の車両間隔により以下の等時隔制御を行う。

(1) 出発抑止指令の設定

停留所に到着した車両に対して、先行車両との時隔が一定時間以内の場合、また、後続車両との時隔が一定時間以上の場合、出発抑止指令を自動的に出力する。ただし、この自動判断には前後の車両の行先（行先が違う場合は出力しないなど）や、運転時間帯（早朝やラッシュ時などを区別する）などを考慮した条件設定、手動設定も可能である。

(2) 出発抑止指令の解除

出発抑止指令を受けている車両の前後の車両

との時隔が一定時間経過したら、出発抑止指令を解除する。出発抑止指令が出力されていても運転士の判断により車両が出発することも可能であり、その場合は車両が出発後、車載装置で出発抑止指令を解除する。また、停留所に停車中はセンタ処理装置から手動で解除可能である。

(3) 回復運転指令の設定

停留所に到着した車両に対して、先行車両との時隔が一定時間以上で、次停留所との間に車両がない場合、回復運転指令を自動的に出力する。ただし、出発抑止指令と同様、各車両の行先、運転時間帯を考慮した条件設定、手動設定も可能である。

(4) 回復運転指令の解除

回復運転指令を受けている車両が次停留所に到着すると、車載装置は回復運転指令を自動的に解除する。また、停留所に停車中はセンタ処理装置から手動で解除可能である。

3.3. GPSの迷走対策

GPSは停車中に迷走する傾向がある。そのため、前回の試作システムでその対策として、停留所での車両順序管理という処理を行った。これに加えて、停留所近傍の交差点での停車による迷走対策として、速度データによる逆走防止処理を追加した。これは、速度計から速度データを取得し、速度が一定値（5 km/h 等）以下の場合、マップマッチング後の車両位置データを移動させないようにするものである。これにより、GPSデータが車両の進行方向に対して前後した場合でも車両位置データは前方にしか進まず、後方に進む（戻る）ことはなくなる。

4. 試験

4.1. GPS現車試験

GPSの迷走対策の効果を確認するため、以前の試験でGPSの迷走が顕著であった地点を含めて再度GPSデータを取得するGPS現車試験を行った。試験は、熊本市交通局2号線熊本駅前～交通局前間（約4 km）を臨時走行する車両に設置した車載装置でGPSデータを取得した。その結果、速度データを利用した対策の効果が確認された。

図3に対策前のデータ、図4に対策後のデー

タを示す。

対策前のデータである図3ではGPSデータ(印)が進行方向に対して逆方向()に移動すると車両位置データ(印)も逆方向に移動している。

しかし、対策後のデータである図4ではGPSデータが進行方向に対して逆方向に移動しても車両位置データは移動しないようになっている。

これは、実際の車両が位置1付近において停車中であるため、入力される速度データが0km/hであるので、逆走防止処理により車両位置データは移動しないようにしているためである。



図3 対策前のデータ



図4 対策後のデータ

4.2. システム機能現車試験

本システムの全体機能である情報伝送や等時隔制御論理等を確認することを目的として、平成15年2月に熊本市交通局車庫および水前寺駅通停留所にて現車試験を実施した。

4.2.1. 試験方法 1箇所の運転管理センタに対して、3停留所、最大3車両の状態として試験を行った。対象とした3停留所は、味噌天神前、水前寺駅通、国府で中心の水前寺駅通停留所にのみ現地に地上基地局装置を設置し、特定小電力無線や携帯端末による情報伝送を行い、他の2停留所の地上基地局装置は、運転管理センタ(車庫内)に設置したセンタ処理装置の脇に設置し、有線で情報伝送を行い、車両を擬似的に手動入力した。運転管理センタの風景を図5に示す。



図5 試験風景

また、水道町～健軍町間(約5.4km)を臨時走行する1車両の前後に設けた車載装置を2車両と見なし、水前寺駅通に設置した地上基地局装置の脇にもう1台の車載装置を設置し、疑似走行データによる1車両とすることで、最大3車両の状態を作り出した。

4.2.2. 試験項目 現車試験では下記の項目について試験を行った。

(1) 1車両による基本動作

車載装置～地上基地局装置～センタ処理装置間の情報伝送の確認、回復運転指令の自動制御、出発抑止指令、回復運転指令の手動制御の確認

(2) 2車両による出発抑止指令、回復運転指令の自動制御

出発抑止指令、回復運転指令の自動制御の確認

(3) 3車両による出発抑止指令、回復運転指令の自動制御(出発抑止指令、回復運転指令の有無) 出発抑止指令、回復運転指令が出力されない場合および出力される場合と、車両の行先による出発抑止指令、回復運転指令の出力判断の確認

(4) 停留所通過時の動作

停留所を通過した場合の基本動作の確認

4.2.3. 試験結果

試験結果を以下に示す。
 (1) 携帯端末による情報伝送について、地上基地局装置～センタ処理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。表1に情報伝送の結果を示す。

2日間の試験で延べ1,735回(263,720バイト、平均152バイト/回)のデータ伝送が行われたが、データの欠落は皆無であり、安定した情報伝送性が確認された。

表1 情報伝送結果

試験番号	通信回数	通信バイト数	通信パケット数	通信エラー回数	平均通信時間(秒)
1	60	9120	72	0	4.65
2	164	24928	195	0	4.67
3	133	20216	158	0	4.69
4	158	24016	188	0	4.67
5	186	28272	221	0	4.71
6	294	44688	350	0	4.70
7	27	4104	33	0	4.70
8	210	31920	250	0	5.08
9	208	31616	247	0	4.71
10	295	44840	351	0	4.71

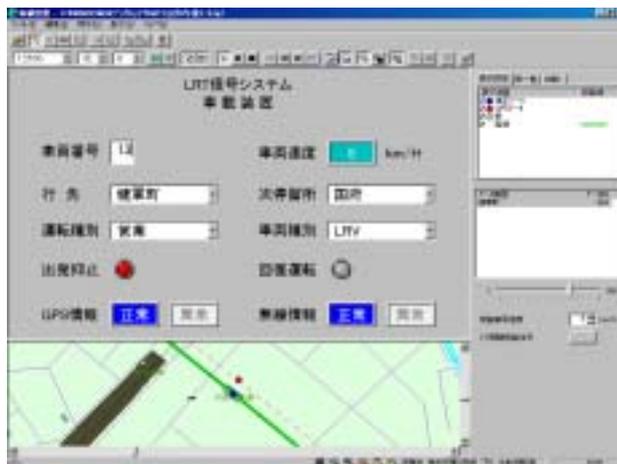


図6 車載装置画面



図7 センタ処理装置画面

(2) 車両位置による等時隔制御について、車両数、先行車両との間隔などを変化させて試験を行った結果、所定の論理に従って出発抑止指令や回復運転指令の出力の要否が自動判断されることを確認した。車載装置とセンタ処理装置の画面を図6、図7に示す。

(4) 今回の試験では、車載装置～地上基地局装置間の特定小電力無線に障害が発生し、情報伝送不能となる現象が起きた。これは、特定小電力無線機を、車載装置では車内のシートの上に、地上基地局装置では停留所の歩道橋下の地面に設置したため、見通し距離が確保できずに通信し難い状況であったためである。ただし、その場合も誤った制御情報を出力することなく、論理的には問題の無いことを確認した。また、車内の無線機を移動させることで、この現象は発生しなくなった。

5. 評価

今回、システム全体の現車試験を行った結果、以下のことが明らかにされた。

- (1) GPSによる車両位置検知について、停車中の迷走対策として、速度データを使用することが有効であることが確認された。
- (2) 特定小電力無線と携帯端末による情報伝送については、設置場所の影響による無線障害が起こったが、それ以外はデータの欠落がなく、安定した情報伝送が確認された。

ただし、携帯端末による情報伝送の伝送速度が低く、特定小電力無線と合わせると、1回の通信に約7秒もかかってしまい、停車中のみの通信にしても時間がかかる。さらに、今回は通信を行った地上基地局装置は1台だけであったが、実際には地上基地局装置が停留所と同数となり、伝送時間、伝送する情報量の増加が考えられ、実運用に向けては検討が必要である。

- (3) ダング運転時に先行車両との時間差により出発抑止指令や回復運転指令を自動制御することで、車両間隔を最適化する等時隔制御論理が有効であることが確認された。
- (4) 無線の異常時でも、誤った情報を残したり、発生させたりすることが無く、運転士に誤って出発抑止指令や回復運転指令を指示することはないことが確認された。本システムは、運転補助装置であるので指令を出力しない場合は運転士の判断により運転される。

以上の評価より、GPSを利用した車両位置検知および特定小電力無線を利用した車上～地上間の情報伝送により、車両情報をセンタに集めることで、路面電車の等時隔制御を実現することが可能であることが確認された。

6. 今後の課題

今後は実用化の方向性についての検討をしていく必要があり、下記の内容が検討項目として挙げられる。

- ・ 地上基地局装置～センタ処理装置間の情報伝送方式の検討
- ・ 等時隔制御論理の追加検討
- ・ 交通信号機と連動した路面電車優先信号の実現

また、平成20年度に打ち上げ予定である準天頂衛星による列車位置検知の研究に今年度より取り組んでいるが、それによる成果のフィードバックも考えられる。現在のGPS測位精度では研

究上誤差5m程度しか見込めないが、図8に示すような準天頂衛星による位置検知では1m以下の誤差範囲が期待されている。現在は研究中の段階ではあるが、この精度で列車位置検知が可能であると判断された場合、本システムのような利用方法以外にも、衛星電波の路面電車および普通鉄道への利用・応用範囲が拡大できると思われる。この研究内容については、また別途報告することとする。

7. あとがき

近年、日本でも見直されてきた路面電車の効率的な運用を図るための手段として、GPS、特定小電力無線および携帯端末を利用した「路面電車用高度運行管理システム」について紹介した。

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殿ならびに関係各位に深く感謝致します。

文献

- 1) 伊藤他「LRT信号システム用車載装置、地上基地局装置」電気学会・交通・電気鉄道・リニアドライブ合同研究会資料、TER-02-60 / LD-02-75、2002,7,25
- 2) ARIB STD-T67「特定小電力無線局レモータ用、リモートコントロール用及びデータ伝送用無線設備標準規格」、(社)電波産業会

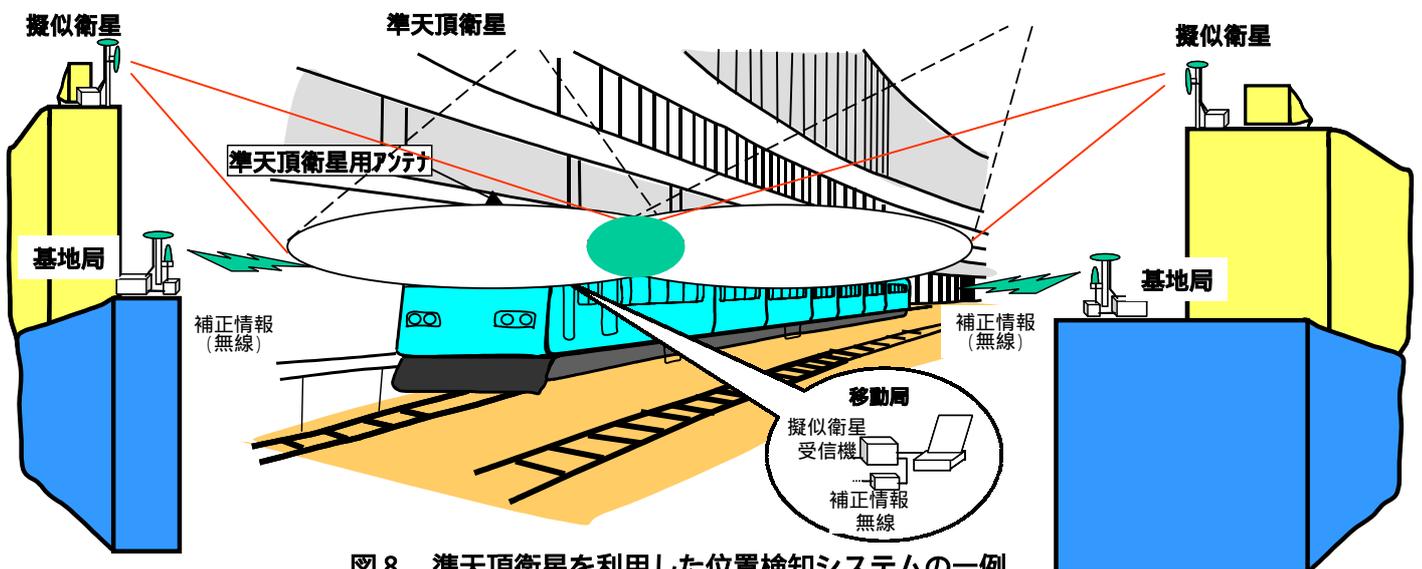


図8 準天頂衛星を利用した位置検知システムの一例