

# 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

水間 毅\* 山口 知宏\*

## Development of new traffic control system using GPS for tram systems

by

Takeshi MIZUMA\* Tomohiro YAMAGUCHI\*

### Abstract

Recently, position detection systems using GPS were developed in several industrial fields. In railway system, rough positioning of trains by GPS is used for information measure. Moreover, if more accurate position detection and high reliability are realized on GPS, we can use these positioning data for railway signalling systems or advanced train control systems. Especially, for tram systems, easier and cheaper train control system is required because of cancellation of uncertainty of train operation. Therefore, we have developed new train control system using GPS. This system detects train position by GPS and transmits information by specific small power radio and digital communication of mobile phone on platform between train and control center. The control center detects the positions and present situations of all trains and orders the proper train operations to the relevant trains for examples, deterrence of departure or recovery operation by radio transmission. We have tested this system on an actual tram line of Kumamoto municipal bureau. We certificated the basic function and showed the possibility of this system.

---

原稿受付：平成 17 年 1 月 11 日

\* 交通システム研究領域

## 1.はじめに

現在、GPS を利用した位置検知技術が各方面において利用されており、精度の高い位置検知も実現されるようになってきている。この方式は地上インフラ部分が少ないため、簡易に実施できるという利点を有しているものの、衛星の位置配置、周囲の環境条件によって測位精度が大きく異なることがあり、測位の信頼性に課題がある。従って、鉄道分野においては、列車位置の概略を把握して、センタにおいて列車位置の状況把握をしたり、利用者に概略の列車位置を知らせたりという利用に留まっている。しかし、より精度や信頼性の高い位置検知が実現されたならば、その情報に基づいた列車の運行管理も安価に実現可能となることが考えられる。

従って、我々は、各列車の位置検出を GPS により、列車長以内の精度で行い、その情報をセンタに送信し、センタで運行状況を把握した上で、個別の列車に出発抑止や回復運転と言った、走行方法を指示可能な運行管理システムを開発することとした。そのため、実際に車両に GPS 受信機を搭載して実験を行い、システム実現の可能性を検討したので、その報告を行う。

## 2.GPS を用いた運行管理システムの概要

本章では GPS を用いた運行管理システムの概要、構成を説明する。

### 2.1 開発の目的

極力、インフラ設備の少ない運行管理システムを構築することを目的とし、簡易な設備で運行管理が望まれている路面電車線区を対象とした。

路面電車は、道路上を走行するため、在来の鉄道が位置検知を行う軌道回路等を敷設することが困難で、また、自動車等の交通状況によってその運行間隔が変動するため、適切な運行管理が望まれているシステムである。従って、インフラ部が少なく位置検知が簡易に精度良く、かつ信頼度高く行える運行管理システムとして、GPS による位置検知と特定小電力無線による情報伝送の組み合わせによる運行管理システムを開発することとした。

### 2.2 システム概要

システムの構成を図 1 に示す。

システムは車載装置、地上基地局装置、センター処理装置から構成され、GPS による車上位置検知、位置情報の無線通信を介したセンター処理装置への伝送、センター処理装置から、車両への運転指示に

より、適切な運行管理を行うシステムである。

基本的な構成は以下の通りである。

- (1)汎用のデファレンシャル GPS により車上で車両の位置検知を行う。
- (2)車上 - 地上間には特定小電力無線通信を行い、停留所を介して、車両 - センタ処理装置間の情報伝送を行う。
- (3)センタ処理装置において車両の運行状況を表示し、車両間隔により、適切な運転指示（出発抑止、回復運転）を行う。
- (4)運転指示は、携帯端末による無線通信を介して各停留所ごとに車内へ伝送し、運転士にその情報を知らせる。
- (5)本システムは運転補助装置であるので汎用機器で構成する。

### 2.3 システム構成

本節では、システムの構成要素について説明する。

#### 2.3.1 車載装置

車載装置は、GPS 受信機、アンテナ、FM 多重方式の DGPS(Differential GPS)を行うための FM アンテナ、地上基地局装置と通信するための無線機、速度データを取得するための速度データ取得装置および情報処理と表示を行う車上処理装置で構成される。

この構成により、車両位置情報を連続的に取得し、その情報を停留所に停車中に無線を介してセンタ処理装置へ伝送する。また、センタ処理装置からの運転指示は車上処理装置で表示される。

#### 2.3.2 地上基地局装置

地上基地局装置は停留所に設置し、停車中の車両と通信を行い、センタ処理装置へその情報を伝送したり、センタ処理装置からの情報を車載装置に伝送する。装置としては、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および情報処理と表示を行う地上処理装置から構成される。

#### 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ー内に設置され、地上基地局装置からの車両情報により線区全体の車両位置を把握する。また、この位置情報から、各車両に、回復運転か出発抑止という、運転の指示を送ることも可能である。装置としては、地上基地局装置と通信するための携帯端末と運転指示を行うための中央処理装置で構成される。

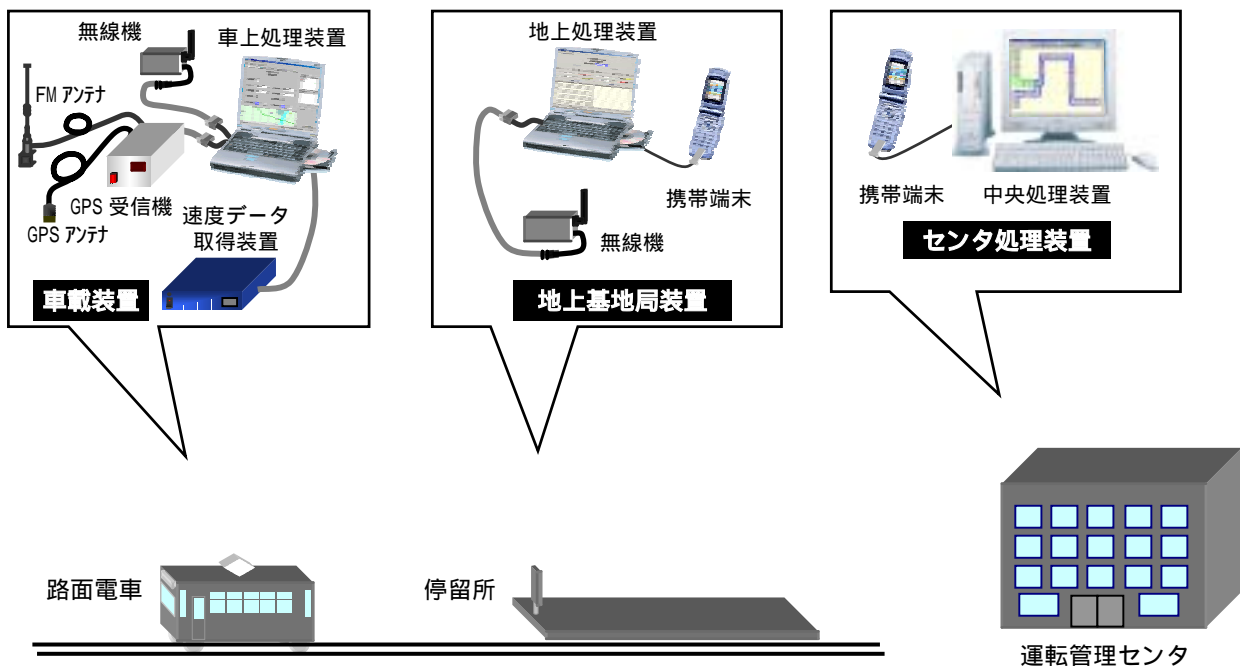


図1 システム構成

### 2.3.4 情報伝送系

本システムの情報伝送系は、車載装置 - 地上基地局装置と地上基地局装置 - センタ処理装置の2系統あるが、本システムでは前者を特定小電力無線を、後者を携帯端末によるデータ通信を採用した。

#### (1) 特定小電力無線による車両 - 地上基地局通信

特定小電力無線は安価で近距離の場合は信頼性が高いため、停留所において行われる車両と地上基地局間の通信に採用した。

#### (2) 携帯端末による地上基地局 - センタ処理装置通信

携帯端末によるデータ通信はパケット通信としてしているので、特定小電力無線通信のように周波数による混信、待機の問題がなく、常に応答可能という信頼性が高い通信のため、センタ処理装置が介在する場合の通信に採用した。

#### (3) 情報伝送プロトコル

以上のような考えで構成した、停車中の最大4車両との情報伝送システムの伝送手順を以下のように設定した。

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、その応答を受ける形とする。

地上基地局装置と車載装置、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車両分をまとめて伝送する。

車載装置は設定された応答時間ごとに順番に応答を地上基地局に返す。

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。図2に示すとおり、地上基地局装置 - 車載装置間は4車両分のデータを特定小電力無線で情報伝送するために約4秒、地上基地局装置 - センタ処理装置間はデータ通信のため、約3秒程度送・受信に時間を要し、全体で7秒程度で情報伝送を行う。

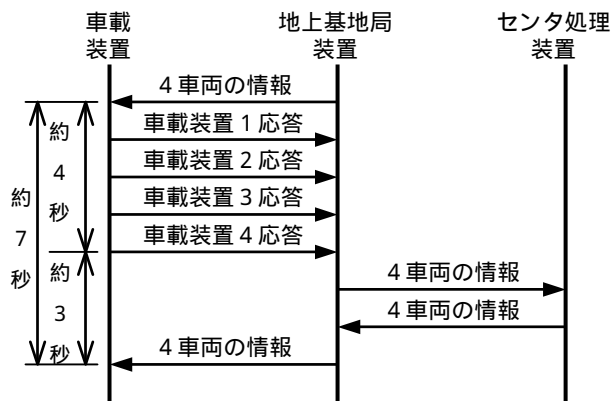


図2 伝送手順

## 3. 運行管理システムの機能

運行システムは、路線全体の列車の位置を把握し、

各列車に適切な走行指示を与えることを目的として以下のような機能を設定した。

### 3.1 GPSによる列車位置検知

車両はGPS受信機を搭載しているため、基本的には連続的に位置を検知することは可能であるが、検知誤差等があるため、検知誤差を小さくするような対策を施している。

#### 3.1.1 列車位置検知方式

検知誤差を少なくするためにFM多重方式DGPSを採用し、さらに、列車は路線上に必ず存在することを前提として、GPSによる検知位置を路線上に直角に投影するマップマッチング処理を施した。

#### 3.1.2 停車位置確定方式

DGPS方式やマップマッチング処理を行っても、ある程度の位置検知誤差はあるが、本システムでは、停留所における停止位置の情報を伝送するため、表1に示すように、伝送する情報に列車の順序を示す車両番号を入れて順序管理をし、さらに列車の速度データを取り込み、停留所付近である速度以下になるとマップマッチング上の位置を固定させ、停止と判断させることとした。なお、今回の実験ではこの速度の閾値を5km/hに設定した。この結果、検知誤差の影響で、ダンゴ運転となった列車の順序が入れ替わったり、停止しているのに、位置検知誤差により、走行しているように判断する迷走現象が抑制された。

表1 伝送データフォーマット

【地上基地局装置からの要求】							
ビット同期信号 (90)	フレーム同期信号 (4)	識別符号 (6)	基地局番号 (1)	車載1(上り1)データ (52)	車載2(上り2)データ (52)	車載3(下り1)データ (52)	車載4(下り2)データ (52)
【車載装置からの応答】							
ビット同期信号 (90)	フレーム同期信号 (4)	識別符号 (6)	基地局番号 (1)	車載データ (52)			
【車載データ】							
系統上下線区別 (1)	車両番号 (1)	運転車両種別 (1)	停車確認 (1)	停車確認済み (1)	出発確認 (1)	出発抑止 (1)	GPS情報 (1)
車両位置情報 (8)	時刻情報 (6)	回復運転 (1)	送信遅延時間 (2)	行先駅情報 (1)			

\* 1 ( )内はバイト数を示す

\* 2 車載データには2バイト毎に誤り訂正符号2バイトが付加される

### 3.2 運行指示機能

GPSによる位置検知と無線による情報伝送を行

う本システムを利用すれば、運転管理センタから、各列車に適切な走行方法を指示する運行管理が原理的には可能となる。しかし、伝送する情報に制限があるので、本実験では、以下の機能に限定した。

#### 3.2.1 出発抑止指示・解除機能

路面電車は一般には交通信号機に従って走行し、かつ乗降客数の増減により停車時間が変化するため、ダイヤ通りの走行の確保が必ずしも容易ではない。

従って、ダイヤが乱れた場合には、特定の停留所付近に列車が滞留するような現象が起きる場合がある。これをダンゴ運転という。その場合は、後続列車に出発を抑止し、先行列車との時隔をある程度広げる制御を行うことが、一つの列車に乗客が集中し遅れがますます拡大して、乗客がその列車に集中する悪循環を防ぐことになる。

このために、センタ処理装置から、後続列車に出発抑止の指示を出す機能を付けた。

この機能は、基本的には、先行車両との時隔が一定時間以内の場合と、後続列車との時隔が一定時間以上の場合に自動的に出力するシーケンスを組み込んである。ただし、手動で指示することも可能である。

#### 3.2.2 回復運転指示・解除機能

路面電車は、現状の軌道法では最高速度が40km/hに制限されているが、自動車やバスに対する競争力を高めるため高速化が求められている。しかし、鉄道のような信号保安システムがないので、前方車両との閉そくが取れない、急停車時のブレーキの安全性の理由から高速化が困難な実状にある。ただし、LRVのような高性能車両が登場し、ブレーキ性能が高度化され、40km/hを超えた速度からでも、従来車両の40km/h時と同程度のブレーキ性能が確保されてきている現状では、前方車両との衝突の関係が高速化に対する最大の課題であると言っても良い。しかし、鉄道のような信号保安システムを構築するのは、非常にコスト高となり、また、自動車道路と併用して走行する区間では、軌道回路のような設備の設置も困難である。

従って、本システムによる位置検知機能と通信機能を利用して、停留所に到着した列車が、先行列車との時隔が一定時間以上で、かつ次停留所との間に列車がないという条件の下に「回復運転指令」を出力し、運転士に高速運転の許容を通知する機能を付加した。これもセンタ処理装置からの手動指示が可能である。また、この指示は、当該停留所間での

み有効なので、次停留所に到着すると自動的に解除されるシーケンスとした。

#### 4. 現車走行試験

熊本市交通局の路面電車車両に GPS 受信機を搭載し、上記の機能の確認を行った。

試験装置構成を図3に示す。

センタ処理装置を持つ1カ所の運転管理センタに対して3停留所、最大3列車の状態を想定して実験を行った。実際の地上基地局は水前寺駅通停留所1カ所に設置し、特定小電力無線や携帯端末による情報伝送を行った。他の2停留所の地上基地局は運転管理センタ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、列車情報は手動で入力した。運転管理センタの概要を図4に示す。

また、走行する1列車の両先頭方向に車載装置を搭載し、2列車を模擬し、また、地上基地局装置の付近に車載装置を設置し、疑似走行データを入力することで最大3列車の状態を模擬することとした。

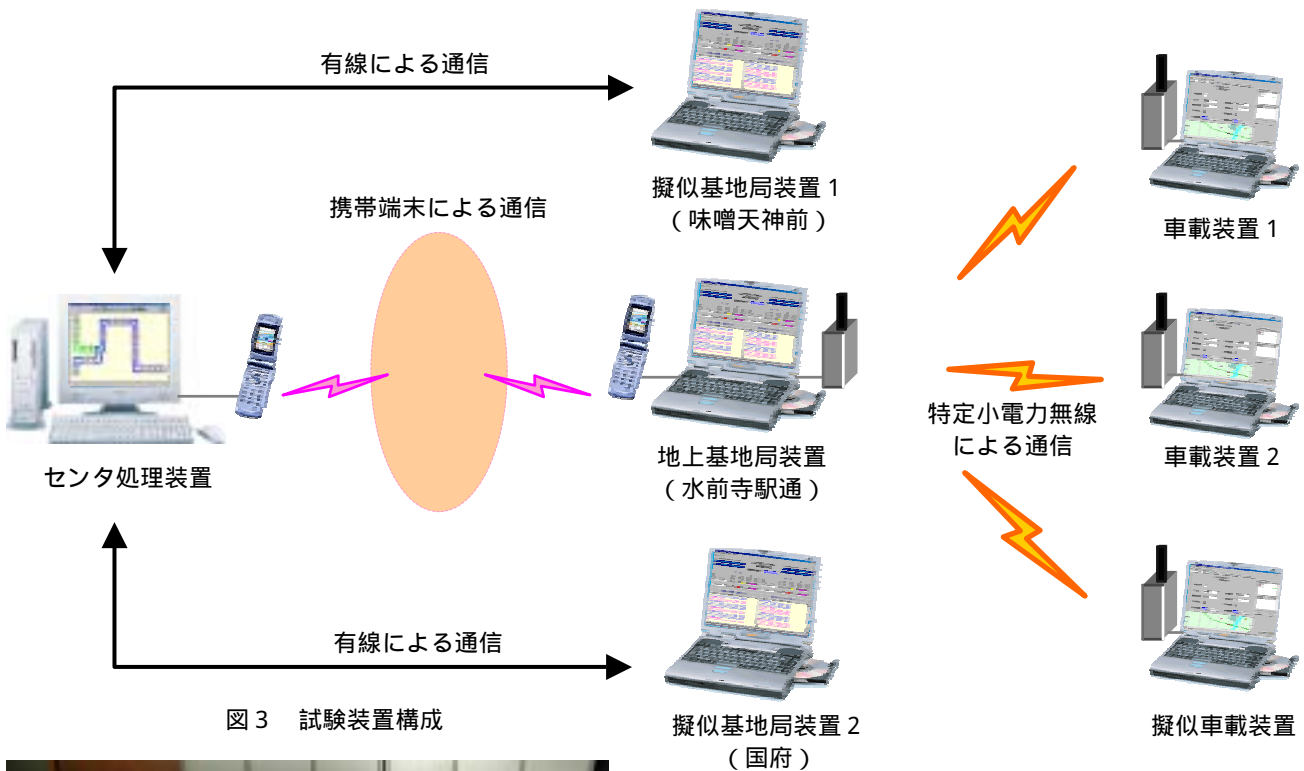


図3 試験装置構成



図4 試験風景

#### 4.1 GPSによる位置検知精度の検証

図5に代表的な位置検知データ例を示す。

図中の赤印が列車位置測位データであり、青印がそのデータを基に、マップマッチング処理により路線上に投影した列車位置である。

また、図6に、マップマッチングにより路線上に投影した補正距離の度数分布を示す。

走行中1秒ごとに取得したデータの90%以上が補正距離14m以内であった。



図5 列車位置検知データ

表2 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

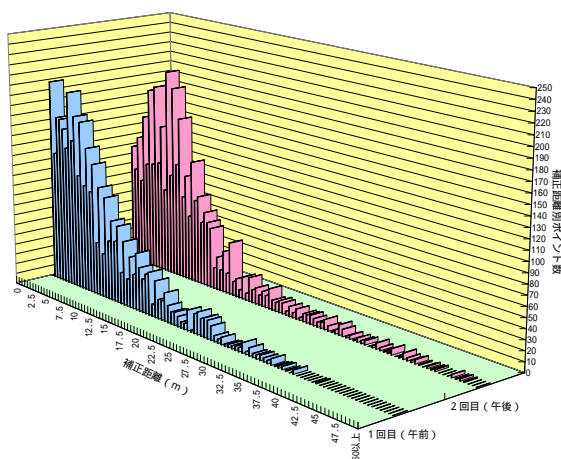


図6 補正距離の度数分布

この結果によると、述べ 1,735 回 (263,720 バイト) のデータ伝送が行われたが、データ欠落は 0 であり、安定した情報伝送制が確認された。

(2) 出発抑止、回復運転指令の自動制御

実走行車両の前後の列車数、先行車両との間隔を模擬データにより入力させて、走行車両の車載装置に対し、センタ処理装置から、停留所に設置してある基地局を経由して、特定小電力無線により、所定の論理で出発抑止指令や回復運転指令が自動的に出力されることを確認した。

図7に車載装置における出力画面例を、図8にセンタ処理装置における出力画面例を示す。

4.2 運行指示機能の検証

列車走行により以下の機能を確認した。

(1) 1列車による基本機能の確認

車載装置、地上基地局、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列車による出発抑止・回復運転指令機能の確認

(3) 3列車による出発抑止・回復運転指令の自動制御機能の確認

出発抑止指令、回復運転指令が自動出力される場合とされない場合の確認と列車の行き先による出発抑止指令、回復運転指令の出力判断の確認

走行試験の結果は以下の通りであった。

(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の情報伝送結果を表2に示す。



図7 車載装置出力例

図7の例では、健軍町行の車両番号13を持つLRV列車が8km/hまで減速して水前寺駅通停留所に停止しようとしている時に、次停留所の国府までの間に他の列車がいることを検知して、赤印で示される出発抑止指令を自動的に出力した例である。また、GPSによる位置情報、特定小電力による無線情報が正常であることを青印の表示が伝えている。



図8 センタ処理装置出力例

図8はその時のセンタ処理装置の画面の一例である。左の赤矢印は車両番号15の車両が味噌天神停留所から水前寺駅通停留所に向かって走行中であることを示している。一方、右の赤矢印は水前寺駅通停留所に、車両番号11と13のLRV車両がいることを意味しており、先行列車である11車両には国府停留所までの間に他の列車がないため、黄色の回復運転指令が出力され、後続車両13には赤色の出発抑止が出力されている。

### (3) 特定小電力無線による情報伝送について

問題点として、見通し距離が確保されない位置に車載装置、地上基地局を設置した場合、情報伝送不能となる現象が起きた。ただし、車載装置を運転台等の見通しが良い場所に設置している場合は問題なく情報伝送が行われ、特定小電力無線による伝送は概ね良好であったと結論できる。

## 5. 結論

現車走行結果から得られたデータを基に、GPSを用いたLRT用信号システムの評価と今後の課題を挙げると以下ようになる。

### 5.1 位置検知精度に関する評価

GPSを用いた位置検知に関しては、マップマッ

ングと速度データを用いた停車判断により、列車順序の逆転、停留所における停止時のずれ、すなわち、GPS測位とマップマッチングによる推定位置と停留所停車位置とのずれが見られなかったことより、LRVに抑止、回復と言った走行の指示を出す信号システムに適用する精度は得られるものと判断する。ただし、マップマッチングによる補正距離が平均10m程度であったので、位置検知精度のより高い測位方法の検討が望まれる。

### 5.2 情報伝送に関する評価

停留所における、車載装置と地上基地局との特定小電力無線による情報伝送は、設置位置を適当にすれば実用上問題ないと判断される。地上基地局とセンタ処理装置との携帯端末での情報伝送は良好ではあったが、通信時間が最大7秒程度もかかるという問題があり、課題を残したため、伝送速度の速いデータ通信方法の提案が望まれる。

### 5.3 運転指示に関する評価

停留所間に列車がない時や前の列車との時隔により、回復運転指令、出発抑止指令を出す制御は良好に行われ、無線が異常となった場合も誤った指令を出した例はなかった。

## 6. おわりに

以上、GPSを利用した車両位置検知、特定小電力無線やデータ通信による情報伝送を用いた路面電車への走行指示について、現車試験を実施し、基本的な機能について確認した。その結果、本システムの実現可能性が示されたと言える。今後は、日本が打ち上げ予定の準天頂衛星を利用した、位置精度の向上や伝送速度の速いデータ通信方法について研究を進めていく。

## 参考文献

- (1)水間他「LRT信号システム用車載装置、地上基地局装置」電気学会 研究会 TER02-59,2002
- (2)山口他「GPSを利用したLRT信号システムの開発」電気学会 研究会 TER03-30,2003 0