

# 13. 衛星を利用した鉄道用保安システムに関する研究

—安全性に関する評価方法の検討と試験—

交通システム研究領域 ※工藤 希 水間 毅 林田 守正 吉永 純

## 1. はじめに

鉄道の保安システムは、従来、地上設備を主体とした列車位置検知、情報伝送、進路制御等を行っているが、設置・維持コストが高く、地方鉄道の財政を圧迫している現状がある。そこで、本研究においては、人工衛星等を用いた測位による列車位置検知、汎用無線による情報伝送、進路制御等を行う鉄道用保安システムの開発を行っている。

これまでに、GPS を用いた列車上での位置検知及び、PHSと無線LANを組み合わせ、車上—地上間の双方向通信を行うシステムを開発し、走行試験を行ってきた。

今年度は、実用化に際して求められる安全性の確保方法とその安全性を評価する手法を述べ、実路線において、検討を行った結果を報告する。

## 2. 衛星を利用した鉄道用保安システムの構成

鉄道用の保安システムは、(1)列車の位置を検知して、(2)列車の進路を安全に確保すると共に、(3)列車間隔を適正に制御して相互間の安全を確保する機能を有しなければならない。本システムにおいては以下の構成を検討している。

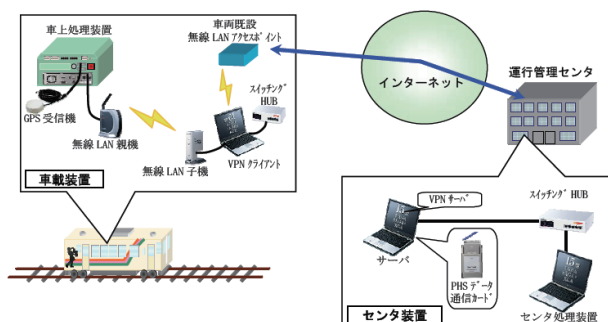


図1 システム構成

## 2. 1. 位置検知手法

従来の鉄道においては、列車位置検知は軌道回路等を用いて、軌道回路設置位置毎に列車を検知する断続的なものであった。しかしながら、鉄道の安全性をより高めるためには、連続位置検知が必要である。連続位置検知の技術のうちの一つとしてGPSがあり、これによると自列車の位置をほぼ連続的に把握可能であるが、トンネルや橋梁等、車両の上部を覆うような障害物がある場合、GPS信号が途絶して位置不定となってしまう。そのため我々は、GPSの位置をソフトウェアやハードウェア(速度発電機等)で補完する方法を検討している。

## 2. 2. 列車進路確保方法

列車の安全な進路の確保は従来、軌道回路等により地上側で列車位置検知を行い、その情報を、ケーブル等を介して転てつ機や信号機の制御に利用する地上主体のものであった。これに対し、省コストを目指すためには、地上設備を極力廃した車上主体の制御が望まれる。

我々は、上記の位置検知情報を、汎用通信等によって転てつ機、信号機に伝送するシステムを開発した。本年度は特に、鉄道用保安システムの安全性を確保するため、汎用通信の信頼性を向上することを検討した。

## 2. 3. 列車間隔制御方法

列車同士の安全を確保するためには、従来は閉そく方式を採用し、地上側の軌道回路、信号機、転てつ機を連動論理により構成し、高い安全度を有してきた。しかし、本システムの目指す車上主体のシステムでは、地上設備を極力少なくして列車間隔を安全に制御する必要がある。そこで我々は、各列車がGPS等で検知した自位置を汎用通信により地上側の運行管理センタ(OCC: Operation Control Center)に送信し、OCCから各列車に走行可能情報を送信するシーケンスを開発してきた[1]。

### 3. 開発した手法

2.で示した考え方に沿って、GPS を利用した列車位置検知方式の安全性を向上させるため、以下の方法を開発した。

#### 3. 1. GPS の位置をソフトウェアで補完する方法

GPSの位置検知は、トンネルや橋梁など電波の受信できない場所において、位置不定となってしまう。また、OCC への伝送は、汎用通信のため、回線混雑やサービスエリア外など、通信が不安定な場合が想定され、OCC において列車位置が把握不可能な区間が発生してしまう可能性がある。

そこで、列車からの位置情報が途絶えた場合には、別の位置検知システムを利用する必要がある。従来、我々は車両の速度発電機情報を利用してきたが、今回はOCC においてソフトウェアによる位置補完を検討した。すなわち、基準運転曲線と経過時間から車両位置を推測することで、通信状況にかかわらず常に車両位置を把握可能とする。

本システムにおいては、OCC において以下の3つの機能を有する。

(1) 車上処理装置との情報伝送を監視し、一定時間、車両位置情報を受信できなくなった場合は、通信が途切れたと判断し、車両位置を推測するシミュレーション走行を行う。

(2) 経過時間と内部で保持している基準運転曲線から車両位置をシミュレーションして表示する。

(3) 車上処理装置から再度受信できた場合には、その情報に基づき補正を行い、車両位置の同期補正を行う。

図2に本機能のイメージを示す。

上記の機能を用い、通常、車上処理装置からは、1秒周期でセンタ処理装置に対し、駅の場合は駅IDを、駅間の場合は駅間IDと各駅間距離を100%とした場合の現在の進行率（どの程度進んだのかの割合）を伝送する。

センタ処理装置では車上処理装置からの情報が一定時間受信できない場合には、通信圏外を走行中と判断し、シミュレーション走行に切り替える。但し、受信できない時間が一定以上続いた場合は、障害等の可能性があるため、エラーとする。

シミュレーション走行時は、最後に受信した車両位置を基準に、以後、予め設定されている基準運転曲線により、経過時間からおよその距離と駅間距離に対する進行

率を算出し、画面上に予想車両位置として表示を更新する。

シミュレーション走行中に車上処理装置からの情報伝送が復旧した場合には、車上処理装置からの情報を優先し、その情報に基づいた表示に変更する。このようにシミュレーション走行の列車位置から、実際の列車位置へ表示を更新することで同期を取る。

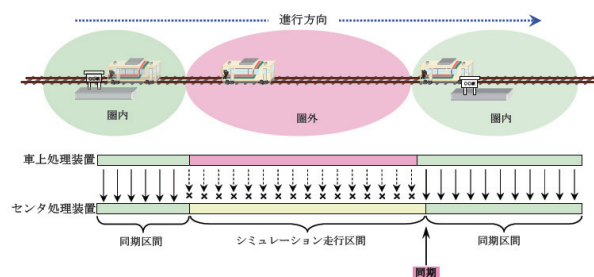


図2 位置検知補完手法

#### 3. 2. 汎用無線の安全性を向上する手法

鉄道用保安システムに、リアルタイムに情報通信を行う設備を独自に導入する場合には、大規模な通信設備、導入後の保守など、システム構築、設備維持に多大な費用と時間がかかる。これに対し、汎用無線を用いることで、大規模な通信設備は不要となり、保守メンテナンス費用も抑える事ができ、さらにインターネットを利用する事で、回線を維持する費用を抑えることが可能である。

しかし、専用線でないために、公衆パケット通信網の障害、メンテナンスによるサービス停止、あるいは圏外などにより列車からセンタシステムへの通信経路が途絶えてしまう可能性がある。

このような回線障害への対策として、通信経路を多重化することを考え、2社の移動体通信事業者からそれぞれ1回線を使用するシステムを開発した。

システムの概念図を図3に示す。

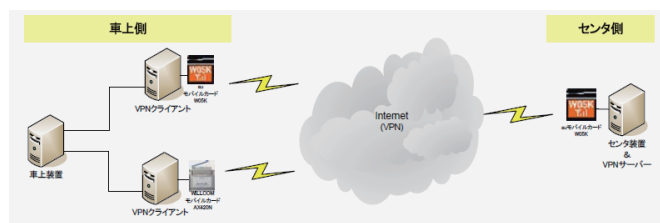


図3 汎用無線の信頼性向上手法

情報伝送には、公衆パケット網とインターネットを利用することとし、その通信経路として、インターネットVPN

(Virtual Private Network)を利用する。これにより、公衆パケット網を用いながら、仮想の専用線として通信することが可能となる。なお、インターネットを流れるデータはそのままでは盗聴されてしまう恐れがあるため、暗号化して送信、受信側で復号化処理を行っている。

通信事業者にはマイクロセル方式を採用する通信事業者A(PHS)とマクロセル方式を採用する通信事業者B(携帯)とした。

マイクロセル方式は電波出力が弱い為、1つの基地局でカバーする範囲が狭く、通信トラフィックを分散する事ができる。但しカバーする範囲が狭い為、通信エリア外になる可能性が高くなる。

マクロセル方式の場合は広いゾーンが通信対象になるので安定した電波状況が確保できる。但し広域ゾーン内に利用者が多数いる場合には通信状況が低下しつながりにくくなる可能性がある。

このような両者逆の特性を持ち合わせている方式を組み合わせることで安定したネットワークを構築することができる。

#### 4. 走行試験

3で開発したシステムの構成例を実際の車両、線区で簡易に構成し、走行試験を行った(図4~6)。



図4 試験車両

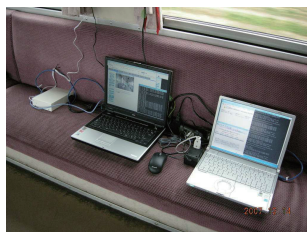


図5 試験用車上装置



図6 試験用地上装置

#### 4. 1. GPSの位置をソフトウェアで補完する方法

図7に、地上一車上間の通信状況を示す。本実験では、3.2.における通信事業者Aを利用している。実験の結果、ほとんどの区間では通信状況に問題がなく、正常に情報伝送が行われているが、一部区間では通信不可能で情報伝送できなかったことが分かる。通信不可能な区間においては、上下線とも通信不可能となることから、サービスエリア外を通過しているためと思われる。

また、その地点以降、通信不可能が続くのは、いったん途切れた後、復旧するまでに時間がかかるためと考えられる。

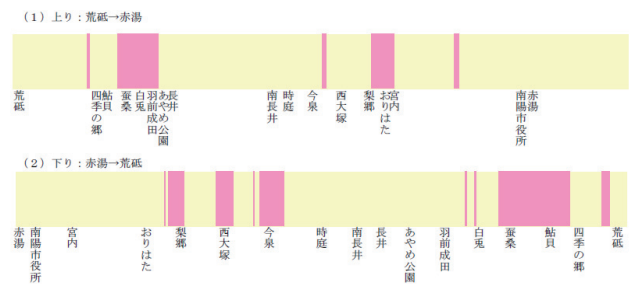


図7 試験中の通信状況  
(黄色:通信中、桃色:通信不可)

シミュレーション結果の表示状況を図8に示す。

本実験中、情報伝送が行われている区間では、車上処理装置からセンタ処理装置へ車両位置情報が伝送されるので、車上処理装置の列車位置とセンタ処理装置の列車位置は同じである。

走行中に情報伝送が途切れ、車上処理装置からOCC処理装置に車両位置情報が届かなくなると、OCC処理装置は車両が通信圏外を走行中と判断し、シミュレーション走行を行い、列車位置を推測し、表示する。

OCCは、通信が回復し、車両位置情報を受信した場合、車上処理装置と同期を取り、車両位置をシミュレーション走行により表示していた位置から車上処理装置からの情報による位置へ表示を変更する。

本試験において、上記の一連の機能を確認した。

#### 4. 2. 汎用無線の安全性を向上する手法

車上装置の通信機器としてPHS通信事業者のモバイルカード(通信事業者A)と携帯通信事業者のモバイルカード(通信事業者B)をどちらもインターネットVPNを利用して通信経路を確立する。

本試験中、通信事業者Aのモバイルカードを常用回線とし回線障害または圏外になった場合に予備回線扱

いの通信事業者 B に切り替える方式とした。

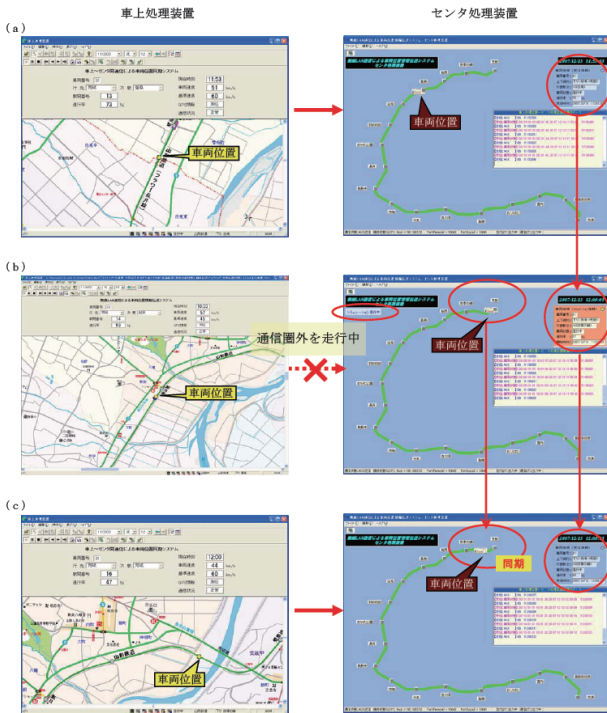


図 8 シミュレーション機能

車上装置からセンタにデータを送信しセンタがデータ確認後すぐにデータを送り返すことでデータの到達時間と応答率が確認できる。図 9 に通信事業者 A、図 10 に通信事業者 B の伝達時間を示す。通信事業者 A (PHS) において回線障害が発生した後、通信事業者 B (携帯) に切り替わることを確認した。なお、図 10 において通信事業者 B は、切り替わったタイミングのみ伝達時間の測定を行っている。

以上より、インターネットVPNと多重化通信経路を使用した汎用通信について簡易的な試験を行った。今回の試験により通信事業者が提供するインターネット接続で車上～OCC 間通信がリアルタイムに実現可能であることを確認した。

しかしながら、今回の試験においてはトンネル等で通信事業者 A、B 共に圏外になる部分がなかった。トンネル等が存在する鉄道事業者では、両者とも通信が途絶えてしまう可能性がある。このような状態の場合、いかに早く通信を復旧することができるかが今後の課題となる。

## 5. おわりに

以上、GPS を利用した鉄道用保安システムについて、基本的な考え方と、安全性向上のための手法についてその手法と実験結果を示した。

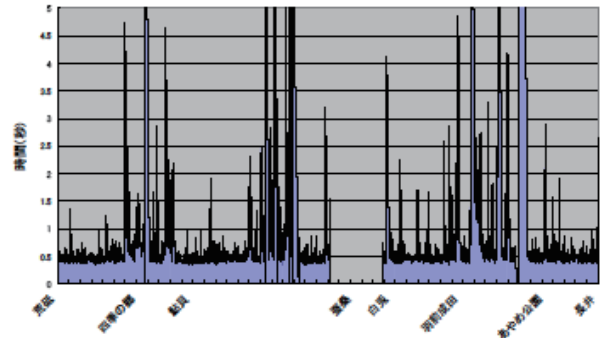


図 9 通信事業者 A の伝達時間

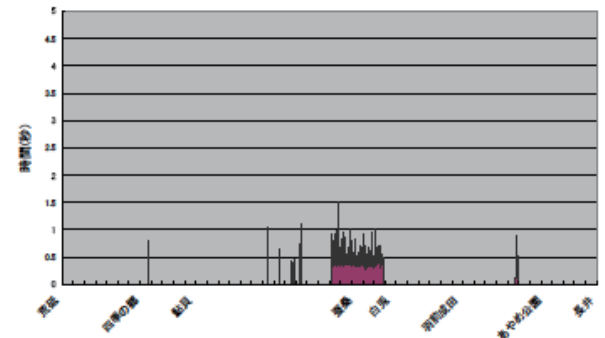


図 10 通信事業者 B の伝達時間

その結果、GPS における位置検知の連続性が確保できない箇所において、シミュレーションによる暫定位置を示すことで OCC において連続的に位置を示す手法、携帯電話等汎用無線を利用した通信機能の通信障害対策として二重系にする手法を開発し、それぞれについてその機能を確認した。

しかし、GPS による位置検知についてはマルチパスや衛星の位置等の問題から、依然 GPS の位置の信頼性について検討する必要がある。また汎用無線については、トンネル等二重系とした両方の通信が不能になった場合についての検討が必要である。

今後はこのシステムの信頼性評価試験を行い、実用化の可能性の検証を行っていきたい。

## 参考文献

- (1) 水間他, “衛星を利用した鉄道用保安システムに関する研究”, フォーラム 2007 公演概要, p.p.37-40(2007)
- (2) 伊藤他, “GPS と汎用通信を利用した運行管理システム機能の確認”, 電気学会 TER/LD 合同研究会資料, TER-08-24(2008)
- (3) 小野他, “汎用通信による列車位置情報伝送能力の検討”, TER-08-23(2008)