

3605 GPS式列車接近警報システムの開発

○井上 淳太[土]、清水 郁夫[土]、畠 和 宏[土] (西日本旅客鉄道株式会社)
Development of GPS type train approach warning system

When we work and investigate in the railway track in daytime, we are made to take shelter outside the railway track by train approach warning of the train watch members.

However, in the worst case, the collision accident of man and train is caused by the human mistake, because it is the work system which depended on man.

We report on the outline because it was assumed that we worked on the development of the train approach warning system with built-in GPS as hard measures this time.

キーワード：列車見張員 the train watch members.

1. はじめに

昼間に線路内で作業や調査を行う場合は、列車見張員を配置し、列車の進来にあわせて、作業員を線路外に待避させて安全を確保している。しかし、人手に依存した作業体制であるため、ヒューマンエラーが生じると最悪の場合、作業員の触車事故に至る可能性もある。

今回、ハード対策として、GPSを活用した列車接近警報システムの検証を奈良線(34km)において実施したので、その概要を報告する。

2. GPS式列車接近警報システムの概要

作業員の“位置情報”をGPS衛星により、又、“列車在線位置”をCTC中央装置よりそれぞれ同一のサーバーに取込み、サーバー上で“列車の接近判定”を行って、汎用の無線回線を介して、作業員の携帯端末に列車接近を音声等で通知する。列車見張員は、携帯端末により列車の接近を確認することで線路外へ待避する。(Figure 1)

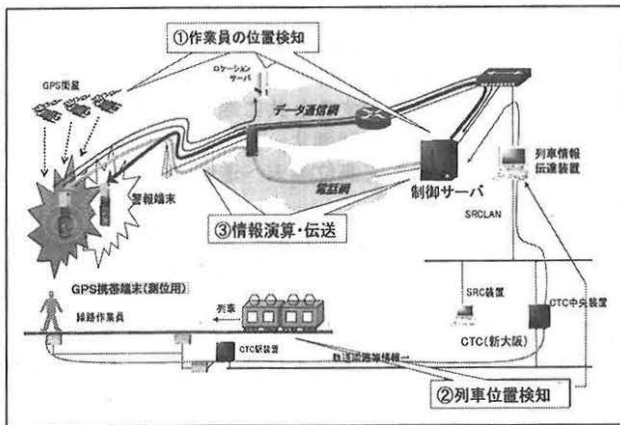


Figure1 Outline of device

3. 作業員の位置検知

3. 1 処理概要

作業員がGPS内蔵の携帯端末を線路施工基面で電源を入れると、端末の位置情報取得機能を用いて、ロケーションサーバーより自動で現在位置を緯度・経度で取得する。次に、その“緯度・経度”情報を制御サーバーへ送信する。

制御サーバーが緯度・経度情報を受信するとあらかじめサーバー内で緯度・経度と線路キロ程を対応させたマスターデータに基づきキロ程への変換処理を行い、端末へキロ程情報を返信する。

3. 2 画面表示 (Photograph 1)

端末はキロ程情報を受信すると画面表示を行う。なお、GPS単独測位誤差は通常数m~数十mとされていることを意識し、線別の区別は行わないこととした。又、付加機能として作業員自身の位置を確認しやすいように、GPSの測位状況をMAX、High、Middle、low、None(不能)と5段階で端末へ表示させることとした。

3. 3 線路に近接した箇所のキロ程処理

線路に近接している場合の作業員の位置判定は、線路に対して、最短距離で垂線を下ろした地点を作業地点として認識するようにした。(P→P1として認識)又、L=25m以上離れている場合は、線路外にいるとして判定し、鳴動させないようにした。(Figure 2)

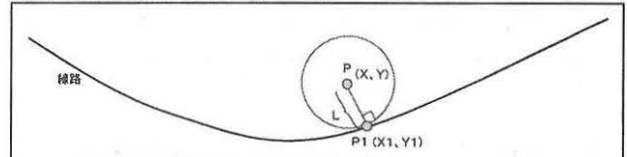


Figure2 Train of recognition of kilometer of part which approaches railway track approach street judgment

4. 列車位置検知

運行管理システムネットワーク(CTC中央装置)から列車運行情報を列車接近情報伝達装置に一旦抜き出し、4S周期で列車運行情報(※1)を制御サーバーへ送信する。なお、データの送信方向は、列車接近伝達装置から制御サーバー方向で、通信方式は、UDPプロトコルを用いたブロードキャスト方式による。

具体的な列車の在線位置判定は、列車運行情報の軌道回路により判断することとした。

※1 列車運行情報

・線区、線別、列車番号、運転日時、駅名、軌道回路

5. 接近通過判定

5. 1 概要

あらかじめ100mロット単位で線路を区分けしたエリアを作業エリアとし、その作業エリアから列車見通し距離(※2)以上を確保できる最短の絶縁箇所を警報鳴動箇所とする。又、鳴動停止箇所は、列車の去り側方向で作業エリアに最も近接した絶縁箇所とする。

※2列車見通し距離

列車接近に伴って、作業現場で待避行動を開始すべきタイミングの距離で各列車速度に対して概ね30秒程度に相当する距離

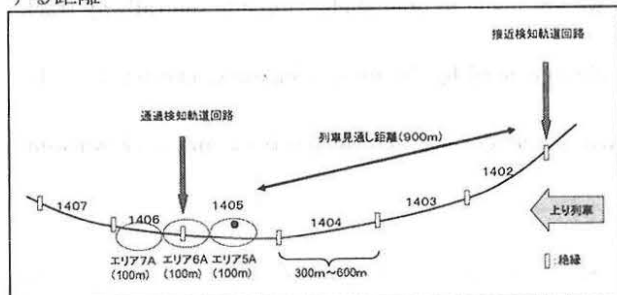


Figure 3 Train approach street judgment

鳴動開始の判定処理は、あらかじめ各々の作業エリアに対して鳴動すべき軌道回路をマスタ (Table 1) として制御サーバーで管理し、作業員の位置情報と列車在線情報をマスタと照合して、接近条件に一致した場合に鳴動処理を実行する。(例: 作業エリア5Aに対して、鳴動させる軌道回路は、1402、1403、1404、1405)

Table1 Warning rumbling area

作業エリア	上り警報軌道回路
5A	1402、1403、1404、1405
46A	1402、1403、1404、1405、1406
7A	1403、1404、1405、1406

5. 2列車見通し距離

端末が鳴動した場合に、列車と作業員の間の距離は、900M必要である。(列車速度95km/h)そこで、本システムでは、列車見通し距離に対して次の(1)～(3)の項目を付加してシステムが認識する列車見通し距離を算出した。

《システムが認識する列車見通し距離》

列車見通し距離+通信伝送時間(1)+作業員の移動(2)+GPSの測位誤差(3)

(1) 通信伝送時間

列車が、絶縁を踏んでから作業員の端末が接近鳴動を開始するのに最大で22秒時間を要する仕様としている。つまり、絶縁を列車が踏んでから580M(22秒×26.4m/s(時速95km/h))作業員側に列車が接近してくることになるため列車見通し距離に580Mを付加することとした。

(2) 作業員の移動

GPSによる作業員の位置測定は、常時行っており、測定周期間隔内(1分間)で作業員が列車接近方向に移動すると危険側となる。作業員の移動速度を3km/h程度と仮定すると1分間で約50M移動することとなる。そこで、作業員の移動距離50Mを列車見通し距離に付加することとした。(なお、50Mを超えて移動する場合においては危険側となるため端末をエラー鳴動させる機能を付加した。)

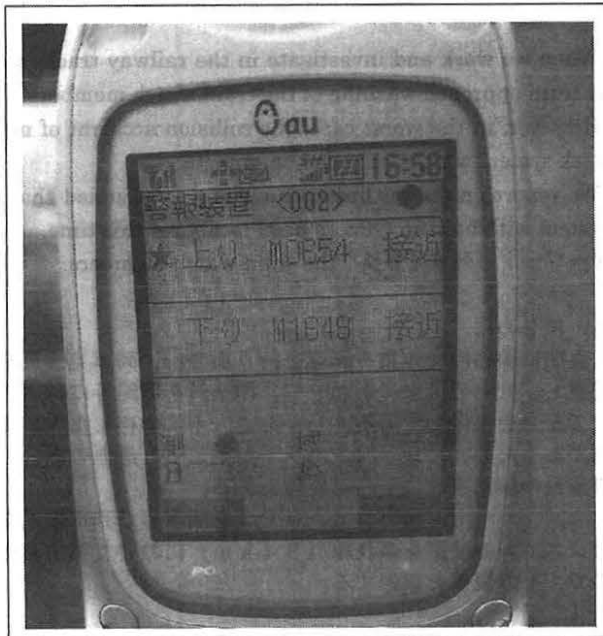
(3) GPSの測位誤差

GPSの測位誤差は、数m～数十mとされているが、本システムでは、GPSの最大測位誤差を100Mと想定して列車見通し距離に付加することとした。

5. 3 端末の鳴動

列車が接近すると、端末が鳴動すると共にバイブレーションするようにした。又、画面上には接近列車の列車番号及び線別(上り、下り)を表示させることとした。(Photograph 1)

鳴動音声は、上下線で変えて作業員が認識可能とした。



Photograph1 Rumbling display of terminal

6. 通信フロー (Figure 5)

6. 1 測位 (①)

端末の電源 ON に合わせて自動でアプリケーションが起動し、※URL によりロケーションサーバーから緯度・経度情報を取得する。又、合わせて測位電波の状況を把握する。

6. 2 測位端末登録 (②)

測位後に、緯度・経度情報と合わせて端末 ID を制御サーバーへ送信する。制御サーバーは、端末 ID と固定パスワードによりログインを許可すると共に端末へ対してログインの許可を行う。なお、制御サーバーにおいて緯度・経度をキロ程情報に変換して測位端末へ送信する。

6. 3 監視・応答 (③)

警報端末と制御サーバー間において、常時データ通信が行われているかをチェックするために警報端末側から制御サーバーに対して一定周期(8s)によりデータ送信・受信を行う。又、周期内に警報端末にデータの着信が行われない場合は、データ遅延と端末自身で判定し、端末が鳴動し作業員へシステムのエラーを通知する。(Figure 4)

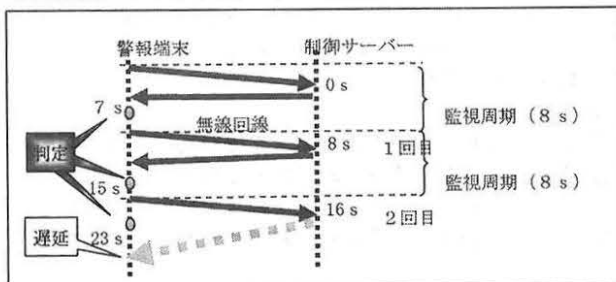


Figure4 Data delay judgment

6. 4 列車接近警報 (④)

警報端末からのポーリングに合わせて、制御サーバー内

で処理した列車接近情報を返信する。

6. 5 測位更新 (⑤)

測位端末から1分周期で作業位置の再測位を行う。

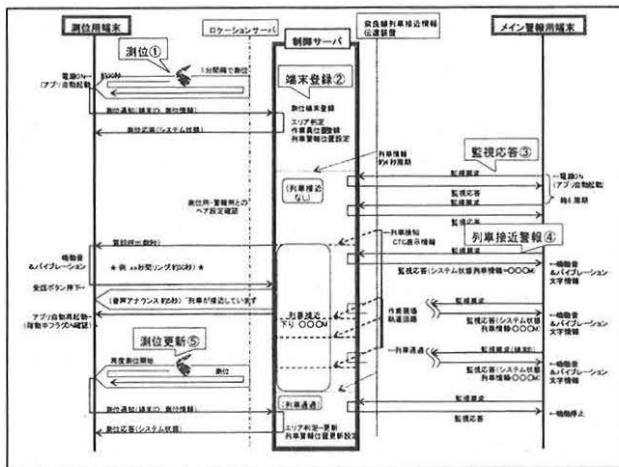


Figure5 Communication flow

7. 故障対応

本システムは、故障が発生した場合、警報端末が鳴動することで作業員がシステムの故障を把握する。各系の故障判定の仕組みは下記の通り

(1) 制御サーバーの全故障

端末は、制御サーバーから設定時間内 (7 s 以内) にデータ受信できるか監視している。設定時間内にデータ受信できない場合、端末自身により制御サーバーが故障と判断し、鳴動する。

(2) 制御サーバーの部分故障

制御サーバー自身により異常を検知し、端末へ異常通知を行う。検知項目としては、I/O異常、メモリ異常、プロセス異常である。

(3) 列車接近情報伝達装置

制御サーバーが、設定時間内 (4 s 以内) に列車接近情報伝達装置からデータ受信できない場合、制御サーバー側で故障と判断し、端末へ故障通知を行う。

(4) CTC装置の故障

列車接近情報伝達装置によりCTC装置が故障していることを感知し、制御サーバーへのデータ送信を拒否する。データ受信ができない制御サーバーは、(3)と同様に端末へ故障通知を行う。

(5) GPSロケーションサーバーの故障

測位端末がロケーションサーバーから通信不能となり、端末自身が異常を検知し、鳴動する。

(6) 無線部

無線部において、通信不良が生じた場合、警報端末が設定時間内 (7 s) にデータ受信できないので、その事象を端末が故障と判断し、端末自身が鳴動する。

(7) 警報端末故障

制御サーバーが設定時間内 (7 s) 以内にデータ受信ができないので、制御サーバーが端末を故障と検知し、予備端末へ警報端末故障を通知する。

(8) 測位端末の故障

制御サーバーは測位端末から設定時間内 (1 分) にデータ受信できるか監視している。測位端末が故障した場合、制御サーバーは端末からデータ受信できないため、測位端末の故障と判定し警報端末へ故障通知を行う。

(9) 端末のバッテリー不足

端末内部で電源基準値を管理し、基準値以下になった場合、端末自身がバッテリー不足を検知し、鳴動する。

8. 試験内容

8. 1 GPS測位精度

(1) 測定内容

- ・システムで認識するキロ程と実作業位置誤差量の測定
- ・試験区間における線路起終点方向誤差の発生傾向
- ・試験区間における大きな誤差発生箇所の有無
- ・上空に障害物がある場合の測位状況

(2) 測定箇所

奈良線 宇治～JR 藤森 約34km

(3) 測定方法

沿線の100mキロポスト毎に静止状態でデータを取得し、現地のキロポストとの照合を行う。

(4) 試験結果

測位端末3台により、1194回測定を実施したところ測位精度に関して次のような結果が得られた。(Figure 6) 50mを超える誤差は、全体の約1%にとどまっており、平均で11m、最大誤差は95mという結果がえられた。

又、誤差の発生傾向についても、特に顕著な傾向は見られなかった。(起点、終点のどちらかに偏って誤差が発生するかということ) (Figure 7)

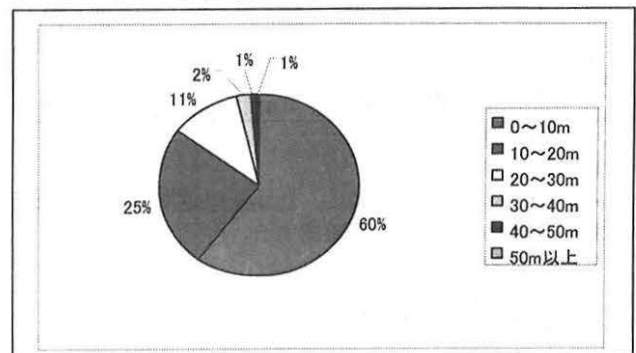


Figure6 Measurement error of GPS

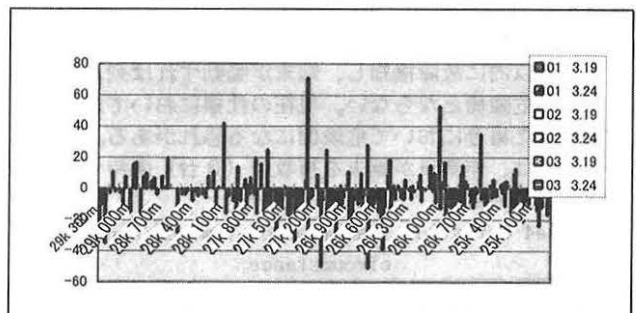


Figure7 Error in direction of railway track

なお、上空に障害物があった場合、原因の特定には至っていないが、GPSの単独測位は上空の3つの衛星電波をアンテナで感知することを前提条件としていることから、測位できない場合の共通点を見ると、いずれも構造物が厚重的な構造物でかつ、幅が広いことから電波の透過やまわりこみが不可能であったことによるものと推測している。

Table2 When there is an obstacle in sky

状況	構造物
測位できる場合	ホーム屋根下、こせん橋下、一般道路下、森、橋梁
測位できない場合	橋上駅、トンネル、高速道路

8. 2 情報伝送時間

(1) 試験内容

・列車が警報開始軌道回路に進入から端末が鳴動開始するまでの所要時間

(2) 測定箇所 (日時)

黄檗駅、木幡駅、六地藏駅 (9:00~16:00、3日間)

(3) 想定最大遅延伝送時間

2.1秒として設定している。(2.2秒を超過して、伝送されるデータは、エラーとして端末を鳴動させている。)

(4) 試験結果

最小8.2秒、平均14.4秒、設定値(2.2秒)を超過は2回であった。(正常稼働率97%)

Table3 Transmission speed examination result

列車	木幡駅		列車	黄檗駅			列車	六地藏駅				
	端末2 (2/26)	端末1 (3/13)		端末3 (2/26)	端末2 (2/26)	端末2 (3/13)		端末3 (2/28)	端末4 (2/28)	端末1 (3/13)	端末2 (3/13)	端末3 (3/13)
628	15.9	14.4	2611	9.5	14.7	14.7	1640	8.2	12.0			
630	153	11.2	2613	17.6	16.5	9.0	648			15.5	19.8	14.4
632	14.5		2615	14.2	11.9	13.4	1642			14.9	19.0	18.0
1626	14.9	13.0	2601	12.9			650			15.7	14.4	13.4
634	16.1	15.9	2617		12.1	17.8	1644			18.6	17.2	15.6
636	13.5	12.0	2619	エラー	14.0	13.5	652	11.1	13.0	11.4	14.2	17.1
							1646			12.3	17.5	18.4
							654	18.2	11.6	16.5	12.0	エラー
							1648	14.4	11.4	18.9	15.0	19.3
							656	15.4	12.8	19.5	15.7	19.7
							658	13.0	15.3		20.6	13.4
							1650			19.7	19.5	15.8
エラー回数	0	0	エラー回数	1	0	0	エラー回数	0	0	0	0	1
平均	15.0	13.3	平均	13.6	13.8	13.7	平均	13.4	12.7	16.3	16.8	16.5

8. 3 異常時検知・伝達

(1) 測定内容

・システムが故障した際に、仕様上想定できる時間内に端末が鳴動するかどうかを確認する。

(2) 測定箇所

・工場内試験

(3) 測定方法

・システムを電源OFFにするなど強制的に故障環境を作り上げて、エラー警告設定時間内に鳴動したかどうかを確認する。

(4) 試験結果

2.2秒以内に故障検知し、端末が鳴動すれば列車接近時において危険側とならない。現在の仕様においては、端末が故障した場合において危険側になる恐れがある。この対応としては、作業員が端末を複数台(3台)所持することを検討している。

Table4 Detection transmission time of abnormal circumstance

障害内容	発生箇所	エラー警告設定値	結果
動作不能	制御サーバー	20秒	警報端末鳴動
	列車接近情報伝達装置	17秒	警報端末鳴動
	CTC装置	20秒	警報端末鳴動
	GPS情報	(90秒)	警報端末鳴動
	ネットワーク部	15秒	警報端末鳴動
	電波強度	15秒	警報端末鳴動
	携帯端末	142秒	警報端末鳴動
	測位端末	(133秒)	警報端末鳴動
端末BT	携帯端末BT	0秒	警報端末鳴動

8. 4 稼働率の検証

(1) 測定内容

・警報端末と制御サーバー間のデータ周期を変えて、デ

ータ通信周期とエラー鳴動率の関係を検証する。

(2) 測定箇所

・奈良線全線(34km)

(3) 測定方法

・端末1~3台で奈良線全線を徒歩巡回し、エラー鳴動した場合、その箇所をプロットする。

(4) 試験結果

Table5に示す通り、13S周期にデータ通信の周期間隔を延伸することでエラー鳴動するエリアが9%(2.9km)と減少することがわかった。(無線不感帯2.5kmを除く)

Table5 Error rumbling rate

周期	エラー率
8S(現行)	38%(121ロット/318ロット)
13S(延伸)	9%(29ロット/318ロット)

※1ロット=100M

8. 5 実鳴動時分の検証

(1) 測定内容

・列車接近に伴い、端末が鳴動する時間を測定し、現行の待避時間との比較を行う。

(2) 測定箇所

・奈良線全線(34km)

(3) 測定方法

・列車種別(普通、快速)及び停車駅数により、実態名鳴動時分がどのようにになっているか測定する。

(4) 試験結果

Table6に示す通り、停車駅数が0、1の場合は普通列車及び快速列車とも現状の待避時間と比較して影響ないことがわかった。

Table6 Rumbling season of warning terminal

列車種別	停車駅	平均時分 (データ数)	最小時分	最大時分
普通	0	1分37秒(4)	0分50秒	1分50秒
快速		1分19秒(28)	0分45秒	1分55秒
普通	1	2分30秒(44)	1分05秒	6分17秒
快速		1分50秒(5)	1分40秒	2分30秒
普通	2	4分30秒(4)	3分25秒	6分45秒
快速		—	—	—

《現状の待避時間》

- ・駅間：30秒~1分
- ・構内で停車待ち：1分~3分

9. 今後の課題

(1) データ伝送遅延原因の明確化及びデータ周期の決定
無線区間において、データ伝送遅延が生じる原因について、各種条件を設定し、原因の追求を行いながら最適エラー鳴動率となるデータ通信周期の決定を行う。

(2) ユーザーの使い勝手面の検証

- ・列車折り返し駅での鳴動時分の最適化
- ・列車停車駅での鳴動時分の短縮化
- ・伝送処理時間の短縮による鳴動時分の短縮化

(3) 信頼性の向上

下記のような事柄について、仕様追加を行いながらシステムの信頼性を向上させる。

- ・CTC中央装置からの列車情報取得精度の向上
- ・列車接近判定処理アルゴリズムの2重化

10. 最後に

奈良線におけるデータ検証に際しては、京都支社施設課、京都保線区の関係者の方々から多大なるご協力及びアドバイスをいただきました。ここに深くお礼申し上げます。