

無線 IC タグによる地点検知を用いた列車制御システムの基礎検討

佐々木 達也 (鉄道総合技術研究所)

Development of train control system by using information of train position with wireless IC-tag.
Tatsuya Sasaki (Railway Technical Research Institute)

We have considered a basic conception of train control system, which can reduce equipment of signal system and interlocking system, of the station by using train positioning equipment by wireless IC-tag on the vehicle. If receiving IC-tag information is abnormal, the train positioning equipment needs to be outputs on the safe side. Therefore, we made a train control system formation, which has a function, which detect abnormal information by transmission loop to, connect the center equipment with the vehicle equipment. This paper reports the train control system and IC-tag test results.

キーワード：IC タグ、RFID、位置検知、列車制御、連動、信号

(Keyword: IC-tag, RFID, Positioning, Train control system, Interlocking system, Signal system)

1. はじめに

近年、小型で安価な無線 IC タグ (以下「IC タグ」という。) が多分野に普及し、Suica に代表される電子乗車券、食堂の料金精算、および商品の盗難防止警報など毎日の生活の必需品となりつつある。一方、鉄道分野では、上記の電子乗車券のほか、コンテナ、コンテナ貨車、およびコンテナを輸送するトラックに IC タグを設備したコンテナ輸送管理システムが運用されている¹⁾。また、運転保安設備においても ATS の地上子・車上子を IC タグシステムに置き換える提案がなされている²⁾。鉄道総研でも、IC タグを用いた地域鉄道向け列車制御システムの検討を進めており、IC タグを地点検知手段として用いることを考えている。本稿では、列車制御システムの構成および IC タグによる地点検知ならびに適用にあたり実施した IC タグの性能調査結果について述べる。

2. 検討中の列車制御システム

IC タグは小型で安価であることから複数設置し易く車上に細かな情報を提供できること、多情報が装備可能であること、IC タグの近傍でのみの限定した地点で受信できることなどの特徴がある。

提案する IC タグを用いた列車制御システムでは、地上の IC タグ情報により車上で地点検知を行い、この地点検知情報を無線伝送路を介して中央で集中して把握し中央で進路の制御、車上から転てつ機の転換鎖錠の制御を行う。これ

により地上の設備を省略することで導入コスト、運用コスト、およびメンテナンスコスト低減を実現する。

構成を図 1 に示す。

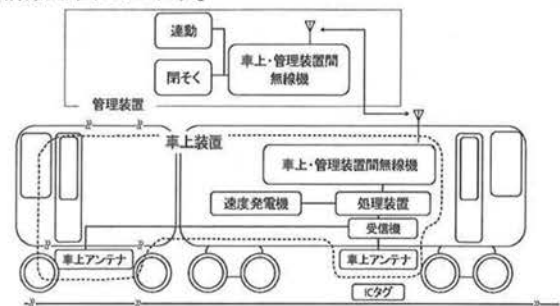


図 1 機器構成

① 車上には IC タグ情報を受信する車上アンテナ・受信機、車上・管理装置間の無線機、および受信情報を処理する処理装置を設置する (以下「車上装置」という。)。なお、車上装置は、車上での連続した位置検知を可能とするため速度発電機から車軸パルスを入力する。

② 地上には線路上に IC タグを設置するほか、駅分岐部に転てつ機を制御する制御端末、線区を走行する全列車の在線情報の検知および連動・閉そく機能を装備する管理装置をセンタに設備する。

③ 車上装置と管理装置間、および車上装置と制御端末間は、無線通信により構成する進路情報および転てつ機制御情報を伝送する。

3. IC タグによる地点検知

〈3・1〉設置位置

車上アンテナの設置位置は、上下の列車で共用可能とすることを考慮して、車上床下で左右レールの中心位置とし、編成の先頭側と後尾側に設備する。IC タグは、従来の軌道回路境界、閉そく境界、分岐器部分を含む区間の境界、およびシステム境界などの枕木上の左右レールの中心位置に設置する。

〈3・2〉IC タグの情報

IC タグの受信による点検知情報のほか、IC タグと隣接する IC タグに挟まれた区間を検知単位 (以下「ブロック」という。) 情報とする。

IC タグに装備する情報は、IC タグ固有の情報 (UID コード)、検知単位とする区間の情報 (8 ビット)、隣接 IC タグとの離隔距離情報 (28 ビット)、種別情報 (4 ビット)、および CRC (16 ビット) を考えている。また、種別情報によりシステム境界の IC タグを区別し、車上装置のシステム境界でのプリセットを行い、編成の先頭側の車上アンテナ (以下「先頭側」という。) と後尾側の車上アンテナ (以下「後尾側」という。) の受信と受信時の速度パルスの積算距離から列車の編成長を確定する。

〈3・3〉ブロックの在線処理

COMBAT³⁾の進入進出の在線検知論理を適用し、ブロック境界に IC タグを 2 個とすることで進入方向および進出方向を特定した地点検知が可能である (図 2)。

(1) 進入検知

編成の先頭側でブロック 1 の終端部の IC タグ情報を受信することにより編成先頭がブロック 1 の進出を検知し、ブロック 2 の始端部の IC タグ情報を受信することによりブロック 2 の進入を検知する。IC タグ情報の受信順序により進行方向を特定し、ブロック 2 の進入を確定する。

ブロック1を進出中



ブロック2へ進入中



ブロック1を進出中



ブロック1を進出



図 2 進入・進出検知

(2) 進出検知

進出の場合は、編成の後尾側で IC タグ情報を受信したとき上記①の処理を行うことで後尾側がブロック 2 への進入

とブロック 1 の進出を確定する。

〈3・4〉IC タグによる地点検知の安全性の確保

IC タグを用いた地点検知では、軌道回路のように電氣的に接続した構成により故障時には電流が遮断され在線側となる閉回路を構成できないことから、故障した場合には在線の表示が行えず擬似的に非在線の状態となる恐れがある。そこで、車上装置、地上装置、および車上装置・地上装置間の情報伝送の健全性の照査を適切に行うこと、地点情報に固有な情報を用い車上地上間で照合を行うことにより情報のチェックをループ状に行い、いずれかに異常が発生した場合にはループが開放となり検知可能とする閉回路な構成 (以下「クローズドループ」という。) とすることとする (図 3)。

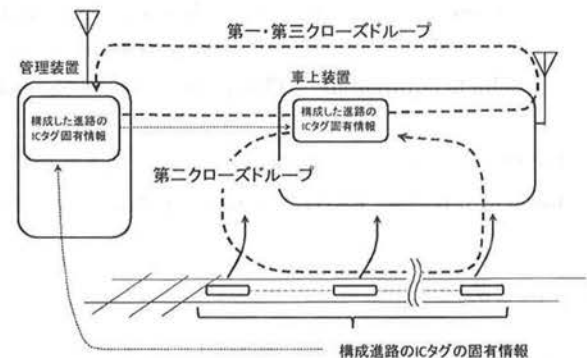


図 3 クローズドループ

(1) 第一のクローズドループ

管理装置から送信した進路上の IC タグの固有情報を車上装置が返信することで、管理装置～車上装置～管理装置の情報伝送の第一のクローズドループを構成する。

(2) 第二のクローズドループ

車上装置は、管理装置からの進路構成完了情報で内方へ進入許可として処理を行い、内方進入により地上の IC タグと結合して情報を受信する。車上アンテナから受信した IC タグの固有情報と管理装置から受信した IC タグの固有情報を照合することにより、正常な情報の受信、受信アンテナおよび受信器の健全性を照査する。また、IC タグに装備する隣接 IC タグの離隔距離情報により、許容する走行距離内で IC タグ情報を受信することの照査を行う。当該手法により車上装置 (電磁波)～IC タグ情報～車上装置 (管理装置から受信した IC タグ情報) により情報伝送の第二のクローズドループを構成する。

(3) 第三のクローズドループ

車上装置は、走行した進路の着点までに受信した IC タグ情報を記憶しておき、着点進入完了後に管理装置へ当該情報を送信する。管理装置は、当該情報の受信により在線確定としていた進路を非在線とする。当該処理により管理装置～車上装置～IC タグ情報～管理装置の情報伝送の第三のクローズドループを構成する。なお、構成した進路途中で、その位置までの IC タグ情報を管理装置に送信し非在線とすることで、続行運転も可能である。

(3・5) 情報の異常検出

(1) 処理装置

車上装置および管理装置の処理装置が上記のクローズドループの異常検出を担保する。処理装置自体の異常については信号保安装置で実績のあるフェールセーフな処理装置を用いることで検出可能とする。

(2) IC タグ

上記クローズドループにより異常検出が可能である。

(3) 車上アンテナ

(a) 電磁波のレベル

検知ループでの送信レベルの照査で異常を検出する。

(b) デジタル情報

先頭側と後尾側での受信順序およびその間の走行距離と(3・2)で記述したアンテナ間の距離情報を用いた編成長との距離照合により受信診断を行う。

(3・6) 汎用機器による情報伝送の適用の考え方

情報の安全性は、入力情報を変更することなくそのまま処理装置に出力することで確保する。

4. 列車制御

検知論理により作成したブロックの在線情報は、管理装置へ送信し従来の軌道回路情報の代わりとして進路制御および閉そく管理に利用できる。また、踏切の警報制御のための警報始動点および警報終止点の情報とすることもできるが、転てつ機端末と同等の踏切制御端末が必要である。

進路制御は、全列車の在線検知情報を記録している管理装置が、進路の在線状態を照査することで進路構成を行い、車上装置の制御により転てつ機の転換鎖錠で進路が開通したとき、車上装置に対し発点から着点までの進路上の IC タグ固有情報を送信することにより行える。車上装置が当該情報を受信し受信情報を返信応答することで進路構成完了とする。進路構成完了により管理装置は、当該進路の着点までの区間を在線状態として確定させ、競合進路の構成を抑止する(図 4)。

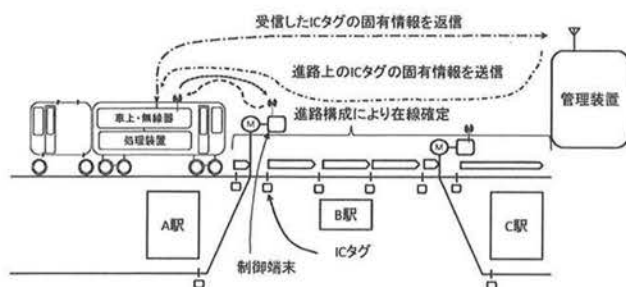


図 4 進路確定

5. 適用する IC タグ

(5・1) 種別・特徴

IC タグにはアクティブ形(電源内蔵形)および外部から電力波を受信して起動するパッシブ形(電源非内蔵形)があり、パッシブ形の無線周波数の種類では、135kHz 以下、

13.56MHz、953MHz、および 2.45GHz がある。135kHz 以下と 13.56MHz は電磁誘導により通信を行うもので、1m 以下の近距離通信に適している。953MHz と 2.45GHz は電波によるもので、953MHz が 10m、2.45GHz が 2m での通信が可能である(表 1)。列車制御システムに用いることを考慮すると長期にわたって使用することが考えられ、安定した部品供給が求められる。上記 4 種類の IC タグは ISO により標準化されており、今後、長期にわたり供給されることが期待できる。

(5・2) 適用可能な IC タグ

現行の軌道回路では、調整や電源設備の解消が望まれており、IC タグの適用にあたってはメンテナンスフリー、あるいは安価で交換が容易なことが期待される。また、無線システムであることから免許などの法的な申請が不要であることなども要件と考えられる。

以上より電源が不要なパッシブ形で免許が不要な近距離無線通信である 13.56MHz 帯が適していると考え、定置における基本性能試験および環境性能試験、ならびに実車による受信性能試験を行い確認した。

表 1 IC タグの主な周波数帯と特徴

周波数	～135 kHz	13.56 MHz	953 MHz	2.45 GHz
通信方式	電磁誘導	電磁誘導	電波	電波
通信距離	～1m	～1m	～10m 特定小電力: ～70cm)	～2m
通信速度	4kbps	38kbps	640kbps	40kbps
水分の影響	受けにくい	受けにくい	やや受けやすい	受けやすい
指向性	広い	広い	広い	狭い
電波法上の規程	免許等不要	型式の指定を受けたものは不要	特定小電力: 免許不要 構内無線局: 必要	特定小電力: 免許不要 構内無線局: 必要

6. 性能確認試験

(6・1) 試験項目

市販の RFID リーダライタおよび IC タグにより、以下の性能確認試験を実施した。リーダーライタ、アンテナ、IC タグの仕様および外形を表 2 に示す。

- ① 基本性能試験：鉄道総研の XYZ ステージでの受信範囲および回転試験台での速度特性の確認
- ② 環境試験：鉄道総研の塩沢雪害防止実験所における降雨・降雪時の受信性能の確認
- ③ 実車試験：鉄道総研の所内試験線で実車による受信性能の確認

表 2 リーダライタ・アンテナ・IC タグの仕様

項目	内容	項目	内容
周波数	13.56MHz±7kHz	送受信情報	4Byte
伝送速度	25.6kbps	アンテナ外形	295mm×370mm ×35mm
変調方式	ASK	IC タグ外形	54mm×86mm ×0.6mm
符号化方式	マンチエスター		

〈6・2〉定置試験

(1) 受信可能範囲

上下・前後左右に位置調整可能な XYZ ステージに車上アンテナと IC タグを対面させ、受信可能範囲が最も広くなる離隔 300mm で測定した。測定の結果、前後方向が 513mm、左右方向が 460mm で通信できることを確認した。

(2) 受信可能速度

IC タグを回転翼として回転させ、車上アンテナを地上に固定した回転試験台において、受信可能速度を測定した。車上アンテナと IC タグの上下離隔は、XYZ ステージと同じ 300mm で回転方向の左右中心離隔を 0mm とした。

測定の結果、回転速度 100km/h で 1 ページ (4Byte) の受信が可能であることを確認した。なお、ISO15693 に準拠した ICODE1 と呼ばれる IC タグでは 160km/h で 1 ページの受信が可能である。

(3) 環境性能

IC タグは、屋外の設置であり雨・雪の影響が考えられることから、低温試験室において影響試験を行った。試験では、車上アンテナと IC タグ間に雪塊を挟んだ状態および雨水を貯めたトレイに水没した状態で受信範囲の変化を測定した。なお、車上アンテナと IC タグの離隔は XYZ ステージおよび回転試験台と同じく 300mm とした。

① 雪の状態と結果

含水率 0%・密度 0.25kg/m^3 および 0.4kg/m^3 で外形 $800\text{mm} \times 500\text{mm} \times 150\text{mm}$ の雪塊をはさんだ状態でも、雪のない状態と同じ受信範囲が得られた。

② 雨水の状態と結果

水深 40mm に IC タグを水没した状態でも、水のない状態と同じ受信範囲が得られた。

上記の結果から雪・雨の影響は無いと考えられる。

〈6・3〉実車による速度特性

(1) 実車走行試験

速度が 45km/h までの受信特性および受信環境影響について確認を行った (図 5)。また、実験線には受信状態に影響を及ぼす恐れのある鉄筋を含む構造の PC まくらぎがあり、このまくらぎ上に IC タグを設置した場合の影響についても確認した。

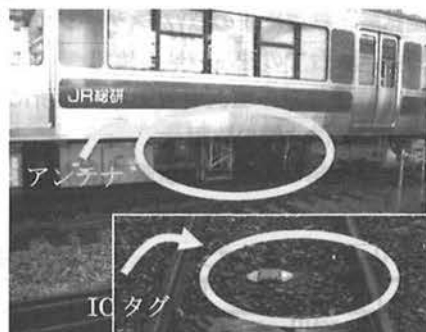


図 5 実車試験の様子

(2) 結果

回転試験台における受信フレーム数よりわずかに減少した (図 6)。

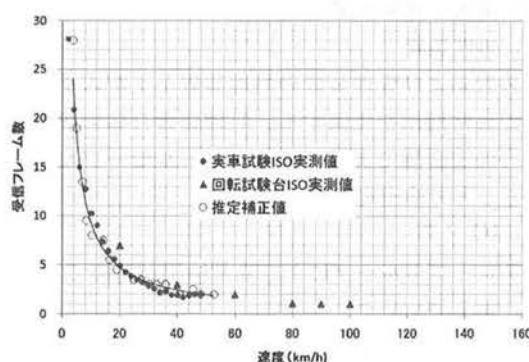


図 6 実車による速度特性

〈6・4〉試験結果のまとめ

(1) 受信性能

環境性能については、雨・雪に対して問題なく受信可能であり天候の影響は無いものと考えられる。一方、実車試験については、受信フレームの減少がみられており、PC まくらぎおよび受信アンテナの背面付近に金属が存在したことによるものと考えられる。

(2) 速度特性

無線通信の伝送速度および測定した受信範囲では、十分な受信フレーム数が得られると期待したが、受信したのち情報が出力されるまでに時間を要することがあり、高速域で複数フレームの受信が得られなかった。

〈6・5〉列車制御に使用するにあたっての課題

列車制御の地点検知に使用するためには、高速走行時にも必要フレーム数を受信する性能が必要となる。対策には、受信処理の簡素化などの受信器の改良およびアンテナ形状の見直し、ならびに IC タグの複数設置により系統的に受信フレーム数を確保する方法が考えられる。受信フレーム数は、現行のトランスポンダで行われている $4C_2$ と同等の性能を実現する必要がある。

7. 今後の展望

アンテナ・リーダライトについて複数受信フレームの実現の課題を解消するための検討を行い、地点検知への適用を目指す。また、提案した地点検知方式と組み合わせトータルな列車制御を実現するため、踏切制御および駅構内の転てつ機の遠隔制御システムを開発中である。

文 献

- (1) 宮口：IT-FRENS & TRACE における駅構内ロケーション管理の実現、鉄道と電気技術、2007.9
- (2) 進藤ほか：13.56MHz 帯 RFID の ATS への応用一試作地上子の読み取り試験一、2009 年電気学会全国大会
- (3) 国土交通省鉄道局監修、電気関係技術基準調査研究会編：解説 鉄道に関する技術基準 (電気編) (第二版)