1714　ＡＴＳ－ＰＴ整備で導入した新技術

○関口　正宏　　山本　豊次郎　　塚本　一義　　赤塚　和哉（東海旅客鉄道株式会社）

Advanced ATS system for JR-TOKAI (ATS-PT)

○Masahiro Sekiguchi,　Toyojirou Yamamoto,　Kazuyoshi Tsukamoto,　Kazuya Akatsuka
(Central Japan Railway Company)

ATS-ST which is added the speed check function to ATS-S on the conventional line wholly needed to be replaced because of the passage after the introduction of the system. In order to improve reliability, we have developed ATS-PT which has the continuous speed check function instead of ATS-ST that has the intermittent speed check function.
ATS-PT transmits to the vehicle from the wayside coil installed in the track the distance to the stop signal, the speed limit of the curve section and so on. ATS-PT creates the brake pattern automatically according to the slowdown performance of the vehicle from the information which is received from the wayside coil installed in the track.

キーワード：自動列車停止装置，ＡＴＳ－Ｐ，連続速度照査機能，ブレーキパターン
Key words：Automatic Train Stop system, ATS-P, continuous speed check function, brake pattern

１．はじめに

JR東海では，平成18年度より在来線全線（約1,400km）において自動列車停止装置（ATS：Automatic Train Stop system）をATS-ST形（点制御式速度照査機能付）からATS-PT形（点制御連続パターン照査式）へ更新する工事を進め，更なる保安度の向上と保全性の強化を実施した．このATS-PT整備で導入した新技術について以下に述べる．

２．ATS-PT 形自動列車停止装置の概要

ATS-PT 形自動列車停止装置（以下，ATS-PT：ATS Pattern Tokai という．）は，JR 各社で導入されているATS-P に当社独自機能を付加した装置である．ATS-PT では軌道内（レール間）に設置した地上子から車上装置に対して，停止信号機までの距離や曲線・分岐器の制限速度などの情報を伝送するとともに，車上装置では受信した情報から車両減速性能に応じたブレーキパターンを作成し，走行速度が許容速度を超過した時点で，自動的に非常ブレーキを動作させるものである（図１）．

地上・車上間の通信は双方向の情報伝達が可能なトランスポンダによる全２重通信方式を採用し，変調方式はFSK（Frequency Shift Keying：周波数変移方式），伝送速度は64kbps で無線デジタル伝送を行っている．

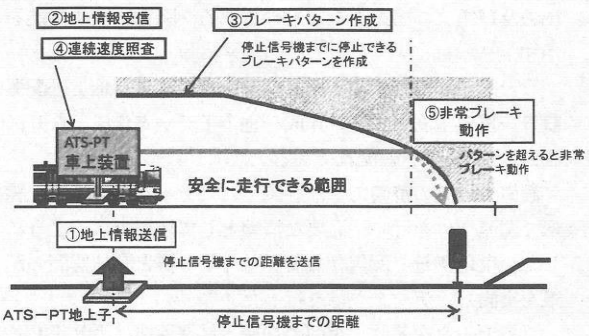

図１　ATS-PT の概要

３．新技術導入の経緯

今回の更新工事において導入した新技術は，課題を明確にし，開発を実施したものである．その経緯は次のとおりである．

第１に，最適な地上子の配置設計を行い，地上子単位で車上装置へ伝送するデータ（以下，電文という．）を作成し，地上子へ書き込む必要がある．データ作成やデータ変換に

おけるヒューマンエラーを防止し，効率的且つ確実に実施することであり，これを自動的に行う設計支援データベースシステムを開発した．第2に，連動装置の改良である．通常の列車運行を確保しながら作業を実施する必要があり，稼働中の設備への影響が大きいというリスクを伴う．このリスクを回避するため，ATS-PT インタフェース装置を開発した．第3に，使用開始後の設備を安定的に稼働させ，故障時の早期発見を行い，即時の対応ができるようにすることである．そのため，地上子の健全性を常時監視するためのATS-PT監視装置を開発した．

4．設計支援データベースシステム

4.1 システム構築の目的

地上子へ書き込む電文は 2 進数のデジタルデータであり，これらを定められたフォーマットに基づき，書き込む必要がある．一般的には，データ作成から電文書き込みまでの作業手順は，各種諸元データ（運転，車両，線路，信号）の収集→決められた数式による演算→最適な地上子位置の設計及び図表化→地上子単位でデジタルデータへ変換→地上子への電文書き込みという流れになる．データ授受，制限速度や勾配，距離データ等の演算，帳票（制御図表）作成，データ変換など全ての過程で人が介在することになるため，ヒューマンエラーによるデータ誤り防止が課題であった．そこで，各種諸元データを入力すれば自動的に必要なデータ作成と帳票及び電文を出力し，データの一元管理を行うシステムを構築した．

4.2 システム仕様

各種設備条件をデータベースに登録し、このデータの一元管理を行い，登録されたデータを基に，計算を必要とする制限速度や勾配，距離データの演算，電文への変換はシステムによる自動処理とし，地上子の配置設計や制御図表出力及び電文の出力を行うものである．図2に全体機能を示す．

設計の手順は，設備データ整備→現地測量→地上子配置設計→帳票（制御図表）作成→地上子データ作成となり，図2の上から下への流れである．

設備データの整備では，登録されたデータを信号機，線形で関連づけを行い，必要な情報として使用できるようにした．現地測量では信号機間距離や信号機と分岐器間の距離を実測し，データ登録を行った．

このデータを元に，車両の加速，減速性能により正しく防護できるとともに，現示変化による電文更新が正しく行える位置に地上子が配置されるよう，システムで設計支援を行い，地上子毎に，現示系統から現示に応じた防護点までの距離や勾配などを自動計算し，地上子単位で保存することができるようにした．

更に，これを帳票（制御図表）として描画・編集できる機能を備え，地上子配置と制御表（条件に応じた地上子データの記載）を表示及び出力できるものとし，ユーザによるデータ内容の確認を可能とした（図3）．

地上子に書き込むための電文は自動作成し，地上子単位で電文をパッキングして専用の書き込み装置にデータを転送することができるようにした．これを自動的に地上子内蔵のROMに書き込むことでデータ変換に対するエラーを防止した．

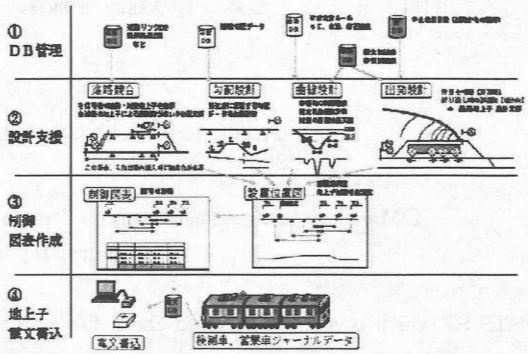

図２　設計支援データベースシステムの全体機能

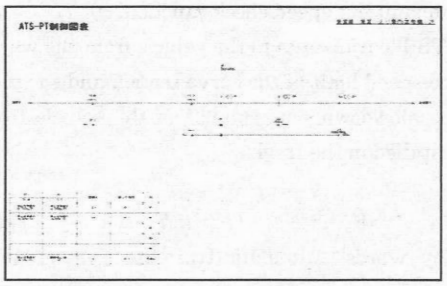

図３　ＡＴＳ－ＰＴ制御図表

4.3 保全データへの展開

検測車，営業車で走行した際に受信した地上子ジャーナルデータと本システムのデータベースを比較し，地上子の位置，送信不能地上子の有無，地上子の設置順序を検出できるようにし，健全性の確認も行えるようにした．

また，検測車での地上子データの測定結果は電気設備管理システム*1で取り込み，保全データとして一元管理を可能とした（図4）．

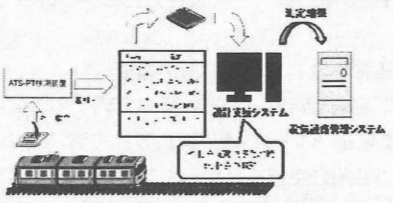

図４　地上子追跡の概念図

*1　電気設備管理システム：当社において設備情報・検査情報をデータベースとして蓄積し，設備保全にかかわる各種業務処理をシステム化したもの．

5．ATS-PT インタフェース装置

5.1 ATS-PT インタフェース装置の役割

ATS-PT 地上子は，信号機の現示条件により制御され，列車に対し距離情報等を伝送している．地上子を制御する信号機の現示条件を取り出すためには，すべての連動装置の改良が必要になるが，連動装置は各駅固有の機能を有しており，一駅ごとの設計が必要となる．特に電子連動装置の改良では，既設設備への影響度により検査範囲が大幅に異なり，全体工程のボトルネックとなることが想定された．そこで，既設の電子連動装置の連動論理に影響を与えることなく，現示条件等を出力できる ATS-PT インタフェース装置（以下，「I/F 装置」という．）を開発し，49 駅に導入した．

I/F 装置は，接続する電子連動装置の種類により構成が異なるため，以下，電子連動装置の種類ごとに説明する．

5.2 電子連動 I 形用インタフェース装置

電子連動 I 形（以下，「I 形」という．）は，名古屋駅など大規模駅用の連動装置である．通常，I 形の改良は論理変更を行い，リレー出力端末を追加することで新たな制御条件を出力するが，変更した部分だけでなく，既設出力に異常がないことを確認する連動検査を行う必要があり，膨大な日数が必要となる（図 5）．

そのため，連動論理を変更せず，全連動情報を分岐取り込みする方法について検討した．I 形の内部バスには全連動情報が伝送されており，ここに I/F 装置を接続すれば信号機の現示条件等をすべて取り出すことが可能となるが，これまでは直接内部バスに接続できる箇所はなかった．

そこで，I 形のスマイルバスと統括制御部を接続するバッファ基板（以下，「ILIO ユニット」という．）に着目し，ILIO ユニットを改良することで，全連動情報を取り出す方式を検討した（図 6）．この方法は，純粋なハードウェア取り替えであるため，電気信号レベルで入出力波形に相違がなければ，工程上のクリティカルパスとなる連動検査を不要にできる，という利点がある．

開発した新 ILIO ユニットは内部情報を分岐し，分岐した連動情報は伝送ユニットを経由し I/F 装置に出力する．I/F 装置は，受信した連動条件から地上子制御条件を作成，出力する構成とした．新 ILIO ユニット，及び I/F 装置は，各種確認試験を実施後，各駅に展開した．

5.3 電子連動 K-5 形用インタフェース装置

電子連動 K-5 形（以下，「K-5 形」という．）は，中小規模駅の連動装置である．K-5 形では，フェールセーフ光 LAN（以下，「光 LAN」という．）に全連動情報が毎周期伝送されているため，ここに I/F 装置を追加すれば信号機の現示条件等をすべて取り込むことが可能となる．ただし，光 LAN に正規に参加させると，I/F 装置状態監視のための改良が発生する．

そこで，I/F 装置を光 LAN の制御回線のみに接続し，表示回線には接続しない，という接続形態を採用した．これにより，K-5 形からは新しい装置が追加されたとは認識できないため K-5 形の連動への影響が少なくなり，検査工程を大幅に短縮することが可能となった．

なお，この方式では，K-5 形からは直接 I/F 装置の稼働状態を把握できないため，I/F 装置のみを監視する設備を新たに設けることで，システム全体の健全性を確保している．

5.4 ATS-PT インタフェース装置の効果

I/F 装置の導入にあたり，メーカー工場で組み立てと試験を完了させ，さらに社員による事前検査を行うことで，現場での検査時間の大幅な削減を実現した．一例を挙げると，名古屋駅では，従来工法では 30 晩程度は必要と見込んでいた改良後の検査を，1 晩で実施することができた．I/F 装置を使用したことで，ATS-PT 整備の全体工程の短縮に大きく貢献できた．

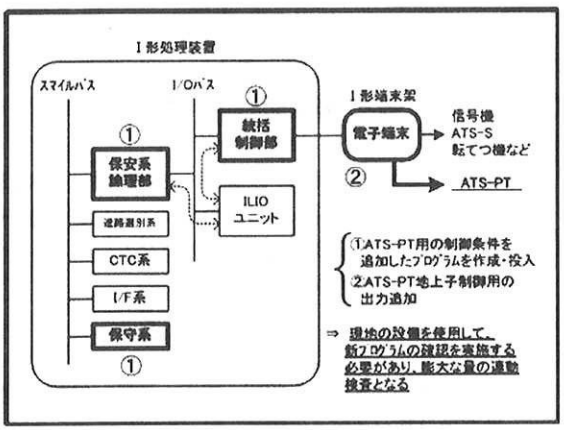

図５　電子連動 I 形の改修方法（従来）

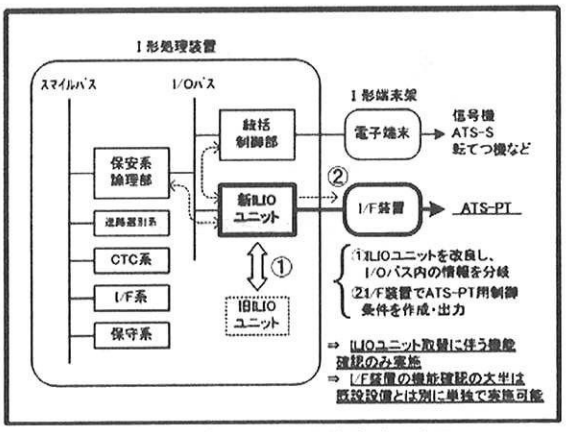

図６　電子連動 I 形の改修方法（今回）

6．ATS-PT 監視装置

6.1 ATS-PT 監視装置の役割

ATS-PT 地上子の健全性を常時監視するため ATS-PT 監視装置（以下，「監視装置」という.）を開発し，全線に導入した．ATS-PT 地上子は，停止信号機までの距離情報等を ATS-PT 車上子へ送信する重要な設備であり，万一地上子が故障した場合 ATS-PT 車上装置の情報が更新されないので，安定輸送確保のためにはこの故障を早期に発見する必要がある．ATS-PT 地上子は，送信情報の切替数によって 3 種類に分類されるが，その中で最も設備数の多い地上子，無電源形（可変電文）は故障検出機能を有していないため，この監視装置により常時監視を行っている．

6.2 監視手法の検討

従来の技術は，地上子の健全性を確認するために地上子の動作電圧を個々に測定するという手法であったが，今回導入した ATS-PT は従来の設備と比較して情報の切替数及び地上子数が多いため，この手法では膨大な数の監視装置が必要となる．このため，効率的な設備監視を行う観点から，地上子単位ではなく信号機単位で一括した地上子の監視を行う方法を検討した．

6.3 電流監視手法の検討

監視手法を検討するため，地上子が接続される回路をモデル化したものを示す（図 7）．このように，地上子は電源に対して全て並列に接続されるため，各地上子に流れる電流の総和が電源出力電流 I となる．よって，この電流を監視することとし，地上子の故障モードについて検討した．

想定される地上子故障による電流の変化を示す（表 1）．故障状態は短絡モード，開放モードの 2 種類に分類することができ，いずれの場合も電流が瞬時に変化することから，電源出力電流を監視することで地上子の故障を検知することが可能である．

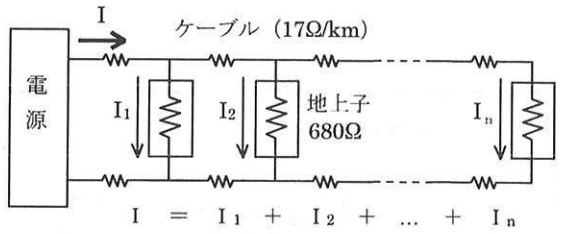

図 7　地上子のモデル回路

表 1　地上子の故障モード

故障種別	原因
短絡モード（電流増大）	内蔵リレー故障、内部短絡
開放モード（電流減少）	接触不良、断線

6.4 地上子の故障判定

地上子内蔵リレーの抵抗値は約 680Ω であることから，電源電圧が 24V の場合，地上子 1 個あたりに約 35mA の電流が流れることとなる．地上子の故障判定は，電源出力電流が地上子数に応じた電流か否かを判断することで可能であるが，抵抗値は温度により変化するので，これに伴う電流の変化を考慮する必要がある．抵抗は銅線であることから，抵抗値は次式により算出することができる．

$$R(T)=R_0\{1+\alpha(T-20)\} \quad \cdots\cdots (1)$$

R_0：20℃における抵抗(680Ω)

α:銅の温度係数（0.00393℃$^{-1}$)

T:温度(℃)

(1)式より，地上子の仕様を満足する温度範囲（-20℃～+60℃）での抵抗値の変化幅は 214Ω と算出され，地上子 1 個あたりの電流変化幅は 10mA であると言える． 実際の地上子を用いて温度－電流特性試験を実施したところ，電流の変化幅は 6mA という結果となったが，抵抗は地上子内部にあるので，外気温から受ける影響が抑えられているためだと考えられる．これらにより， 温度－電流特性を確認できたので，外気温変動に伴う緩やかな電流変化は正常，故障による急激な電流変化は故障と判定するための基準電流自動算出機能を開発し，その有効性を確認したうえで，監視装置に実装した．この機能は，現在から直近一定時間の平均電流値をもとに，故障判定の基準を逐次更新する機能である．機能の概念を示す（図 8）．

6.5 ATS-PT 監視装置の効果

この監視装置は，地上子の動作電流を常時監視し故障の早期発見を可能としたことで，安定輸送確保の一翼を担っている．また，従来は地上子単位で監視していたものを信号機単位で一括した監視を可能としたことで，保全性の向上に寄与するとともに設備数を大幅に削減し，設備のスリム化と低コスト化を実現した．

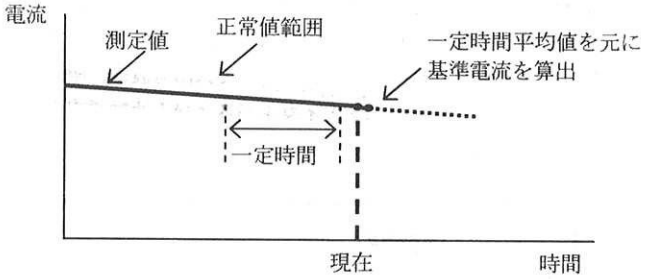

図 8　基準電流自動算出機能の概念

7．おわりに

ATS-PT の在来線全線区への導入は，計画どおり平成 23 年度末までに完了し，在来線の更なる安全・安定輸送の確保につながった．全線区導入完了を新たな出発点とし，今後もより一層の安全性向上に努めていく．

参考文献

1) 小野　照広，久保田　恭嗣，鈴木　高保：ATS-PT 設計支援ＤＢシステムの開発，第 48 回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集，論文番号 806，2011