

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

列車走行時のATS送受信を模擬できる高速回転試験装置

車上子と地上子間で情報伝送を行うATS（自動列車停止装置）では、応動特性が重要な性能指標となります。応動特性とは、車上子と地上子との間で情報伝送が行える範囲や車上装置での受信時間のことをいいます。現車試験により応動特性に関する試験を実施することができますが、高速回転試験装置を用いることにより、現車試験では実現できない車上子と地上子の位置関係を一定条件に保った状態で、列車走行を模擬した応動特性試験を繰り返し行うことが可能です。ここでは、ATSと高速回転試験装置について紹介します。



新井 英樹
Hideki Arai
信号・情報技術研究部
信号システム研究室
室長
[専門分野] 鉄道信号、
ATS、雷害対策



藤田 浩由
Hiroyuki Fujita
信号・情報技術研究部
信号システム研究室
副主任研究員
[専門分野] 電子機器寿命
評価、ATS



小野 雄人
Yuto Ono
信号・情報技術研究部
信号システム研究室
副主任研究員
[専門分野] 閉鎖線区
向け列車制御システム、
ATS

はじめに

国内の在来線のほとんどでは、ATS（Automatic Train Stop：自動列車停止装置）と呼ばれる運転保安設備が、列車の安全運行を支えています。ATSは、運転士が停止信号を誤認して進行する、また曲線区間に制限速度を超過して進入するといったヒューマンエラーが発生した時に、自動的にブレーキを動作させて列車衝突や脱線事故を未然に防ぐために設けられる設備です。とくに、JR在来線の大部分では、ATS-Sx形、ATS-P形と呼ばれる点制御式のATSが導入されています。詳細は後述しますが、点制御式ATSは、車上子と呼ばれるアンテナと地上子と呼ばれるコイルから構成されており、車上子と地上子との間で必要となる信号や情報を伝送しています。ここで、車上子－地上子間で情報伝送が行える範囲や車上装置での受信時間のことを応動特性といいます。応動特性は、点制御式ATSにおいて重要な性能指標であり、各種の点制御式ATSごとに応動特性が規定されています。

ここで紹介する高速回転試験装置は、この応動特性に関する試験を実施する

際に用いられます。現車試験では、走行中に車両の上下、左右の動揺が発生するため、列車が地上子上を通過する際、車上子と地上子の位置関係（離れ）を一定に保つことが困難ですが、高速回転試験装置では、車上子と地上子の位置関係を一定条件に保った状態で、列車走行を模擬した応動特性試験を繰り返し行うことが可能です。

点制御式ATSと応動特性

ATSは、JRや民鉄問わず、在来線において広く用いられている運転保安設備です。国内で使用されているATSは、車上－地上間の情報伝送に使用する周波数や車上装置で情報を受信した際の機能や動作に関して、さまざまな種類に細分化されますが¹⁾、情報伝送の方式によって、「点制御式」と「連続制御式」に大別することができます（図1）。

JR在来線で多く用いられているATSは点制御式であり、レール間に地上子を設置し、先頭車両の床下に取り付けられている車上子が地上子上を通過する際に、車上装置で情報を受信する（車上装置で情報を読み取る）方

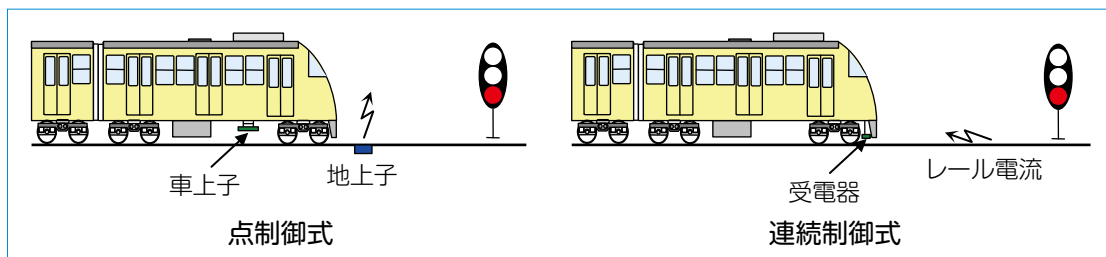


図1 情報伝送方式

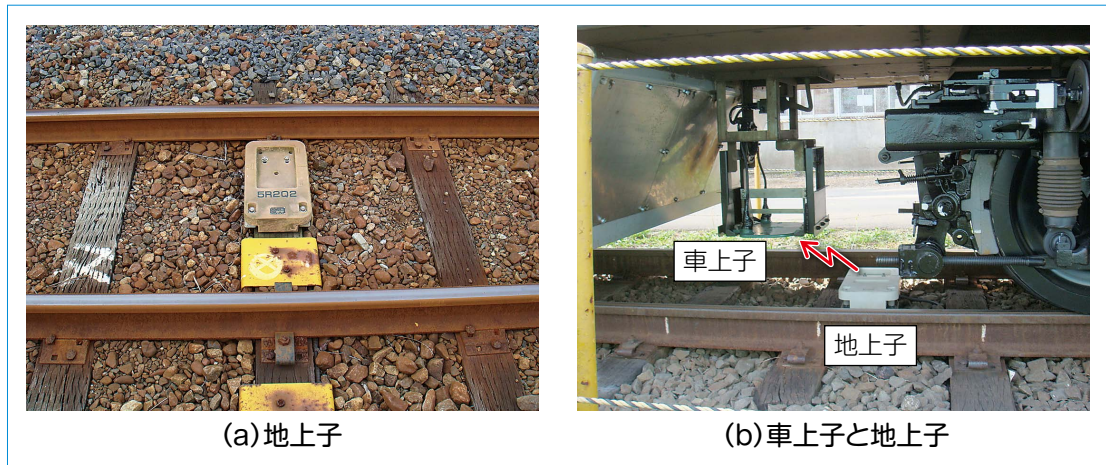


図2 ATS-Sx形の地上子と車上子

式です。車上装置で受信する情報内容としては、たとえば、ATS-Sx形(☞参照)であれば、周波数信号を用いた前方信号機の現示状態であり、ATS-P形(☞参照)であれば、デジタル符号(FSK変調波(☞参照))を用いた停止信号機までの距離となります。ここで、JRの点制御式ATSの代表例であるATS-Sx形の地上子と車上子の写真を図2に示します。

点制御式ATSでは、車上子が地上

子上を通過する瞬間で信号や情報の伝送を行う必要があります。車上装置では地上子が設置されている箇所ごとの間欠的な情報受信となります。このことから「点制御式」と呼ばれています。

一方の連続制御式は、レールにある周波数の電流を流し、先頭車両の第1軸より前の床下に取り付けられている受電器を介して、常時、車上装置で情報を受信する方式であり、ATC(Automatic Train Control: 自動列車

制御装置)と同様な技術を使用する方式です。連続制御式のATSは、主に民鉄で使用されています。

点制御式ATSでは、列車が高速で通過した場合でも、地上子からの情報を正常に受信する必要があります。このため、地上子上を通過する列車の最高速度と車上-地上間の情報伝送の際に必要な時間(車上装置で信号や情報を確定するのに要する時間)を考慮して、車上子と地上子が電氣的に結

☞ ATS-Sx形

ATS-Sx形では、信号機の手前や曲線などの速度制限区間の手前の1箇所あるいは複数箇所に地上子を設置しています。なお、地上子は線路中心から列車の進行方向に対し、左側に偏位した位置に設置されます。実際の地上子の中身は共振回路であり、たとえば、信号機用の地上子では、当該信号機が停止現示の場合には130kHzに、それ以外の現示の場合には103kHzに共振周波数が切り替わります。列車が地上子上を通過する際、車上子でこの共振周波数を受信することにより、当該信号機の現示状態を取得することができ、停止現示である場合には、運転台上に警報が鳴る仕組みとなっています。

☞ ATS-P形

ATS-P形もATS-Sx形同様、信号機の手前や曲線などの速度制限区間の手前の1箇所あるいは複数箇所に地上子を設置しています。地上子は線路中心位置に設置されます。ATS-P形の車上子と地上子にはトランスポンダと呼ばれる情報伝送装置が用いられており、地上子から車上子に対しては、 $1708 \pm 32\text{kHz}$ 、64kbpsのFSK変調によるデジタル符号が伝送されます。このデジタル符号により、停止信号機までの距離や速度制限区間までの距離、制限速度などを車上装置に伝送しています。車上装置では、受信した情報を基に、速度照査パターンを作成し、ATS-Sx形と比べ高機能となる車上での連続速度照査を実施しています。

☞ FSK変調

デジタル変調方式の1つである周波数変換変調方式(Frequency Shift Keying)のことをいいます。デジタル値の1/0に対応させて2つの周波数を決め、伝送する方式です。

合できなければならない列車の進行方向に対する距離が決められています。

たとえば、ATS-Sx形では、対応する列車の最高速度は140km/h（営業運転最高速度130km/hに対し、+10km/hの余裕を加味）であり、車上装置で地上子の共振周波数を確定するのに要する時間が8msであることから、電氣的に結合できなければならない距離は、列車速度と時間の関係より、 $(140\text{km/h} \times 1,000\text{m} \div 3,600\text{s}) \times (8\text{ms} \div 1,000\text{ms}) = 0.311\text{m} = 311\text{mm}$ と計算され、安全側に余裕をみて320mm以上と規定されています。

さらに、車上子や地上子の取り付け位置の誤差や曲線区間などでの車両の上下、左右の動揺を考慮し、地上子と車上子の左右方向（レールと直角方向）の離れが、左80mm～0mm～右80mmの範囲において、上下方向の離れが160mm～260mmの範囲において、上記の320mm以上を満たすことが規定されています。これが、ATS-Sx形の満たすべき応動特性となります。

通常、定置での応動特性試験（静的応動特性試験）を実施し、地上子と車上子の左右方向や上下方向の離れをパラメーターとし、**図3**に示すような地上子からの信号を車上装置で受信できる列車進行方向距離に関するデータを取得することにより、上記の応動特性の確認を行います。その後、高速回転試験装置を使用して、実際の車上装置での信号受信時間を確認する動的応動特性試験（**☞**参照）を実施します。

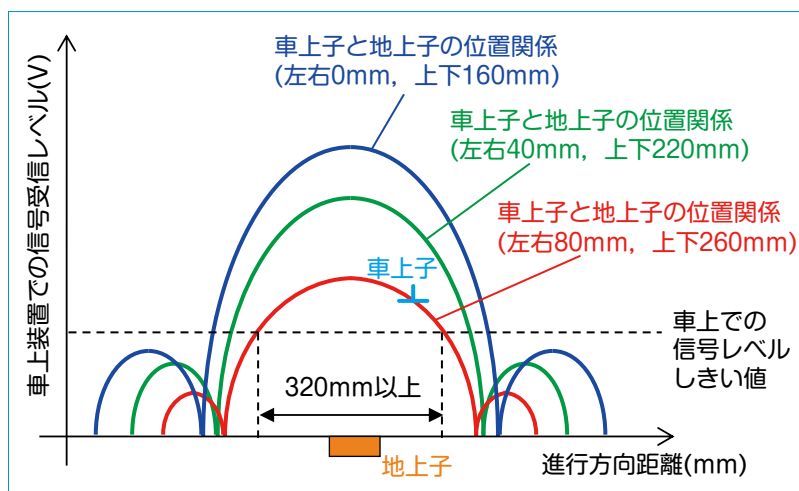


図3 点制御式ATSの静的応動特性試験結果のイメージ

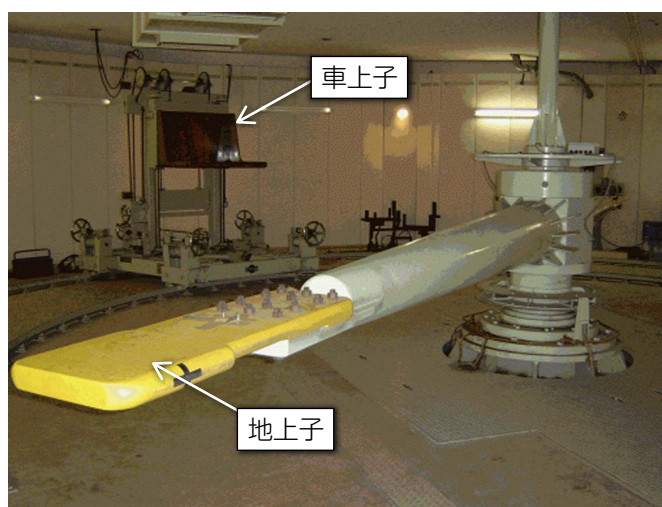


図4 高速回転試験装置

高速回転試験装置

高速回転試験装置の写真を**図4**に示します。**図4**のように、竹トンボのような形状をしています。また、この高速回転試験装置が設置されている実験棟の構成概略図を**図5**に示します。

点制御式ATSの動的応動特性試験での使用方法ですが、回転体の先

(**図4**の手前の黄色い部分)に地上子を設置し、**図4**の奥にあるFRP製の測定架台の上に車上子を設置します。設置後は、**図5**の1階部分のイメージとなります。この状態で、回転体を回転させると、車上子の下を地上子が通過することになります。これにより、列車走行時の車上子と地上子の電氣的結

☞ 静的応動特性試験と動的応動特性試験

静的応動特性試験は、定置で行うため、車上装置での信号確定時間に対し、信号受信時間が十分に長い条件で実施されます。よって、実際の列車走行時での車上子と地上子の瞬間的な電氣的結合では生じる、車上装置での信号受信タイミングとサンプリング処理のタイミングのズレを考慮した時間軸での応動特性の把握はできません。一方、動的応動特性試験では、両者のタイミングのズレを含めた時間軸での応動特性の把握が可能となります。通常、電氣的な結合範囲と通過速度より求められる想定信号受信時間に対し、実際の車上装置での信号受信時間はサンプリング処理の関係で短くなります。

☞ スリップリング

スリップリングとは、回転体に外部から電気信号を伝達することができる回転コネクタです。回転体に配置された金属製リングとブラシにより、回転した状態であっても信号を伝達する導線が確保されます。

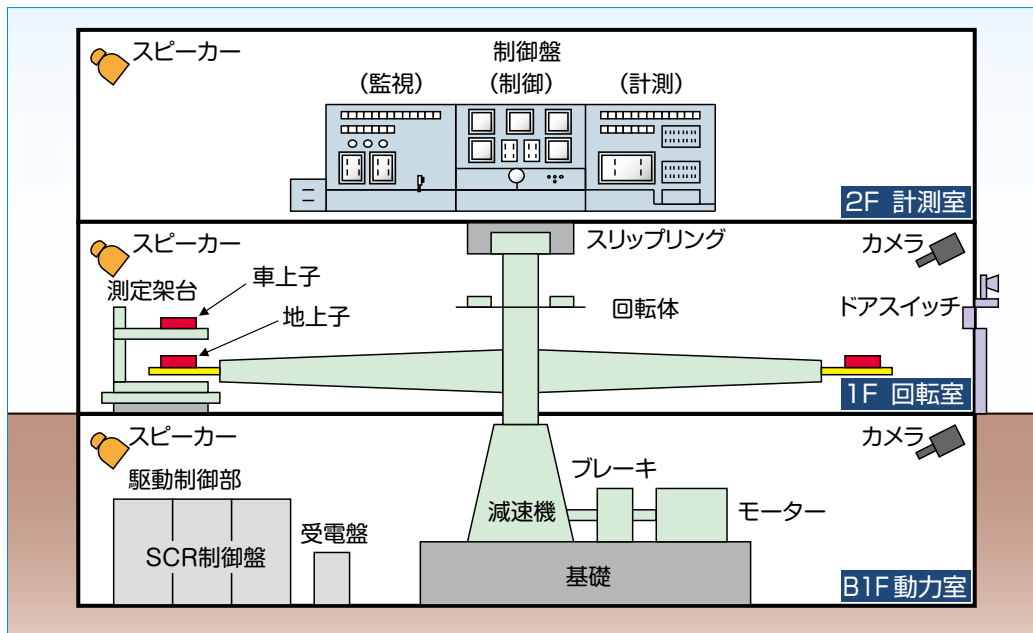


図5 高速回転試験装置が設置されている実験棟の構成概略図

合を模擬できることとなります。実際の列車走行では、固定された地上子を車上子が動いて通過しますが、高速回転試験装置では、ちょうどその関係が逆になり、レール側が走行しているイメージになります。

図5に示すように、高速回転する回転体は、1階の回転室にあります。1階の測定架台に設置される車上子から、接続ケーブルを2階に引き上げ、2階の計測室にて、車上装置での信号受信時間や受信情報内容を測定することにより、動的応動特性の把握を行います。測定架台は、上下、前後に移動できるようになっており、これにより、車上子と地上子の上下方向や左右方向の離れを任意に変化させることができます。なお、被試験品によっては、地上子で

車上子からの信号を受信する機能を持ったものもありますが、回転体の先に取り付けられた地上子の受信信号であっても、2階と1階の間に取り付けられているスリップリング(☞参照)により、2階の計測室にて測定が可能です。なお、スリップリングは16チャンネル有しています。

高速回転試験装置の性能を以下に示します。

最大回転速度は、400km/hであり、新幹線に対応した動的応動特性試験の実施も可能です。また、回転体の半径は、4.8mになります。回転体の先に載せられる供試体の重量は、50kg以下となります。冒頭でも述べましたが、高速回転試験装置を用いることにより、現車試験では困難となる車上子と地上子の位置関係を任意の状態に保ったまま、かつ通過速度を一定状態に保ったまま、列車走行を模擬した動的応動特性試験を繰り返し行うことが可能となります。

おわりに

過去に鉄道総研で開発し、JR北海

道、JR九州で導入されたATS-Dx形では、既存のATS-Sx形と機能互換性を保つために、Sx形地上子で使用されている共振周波数に加え、 $468 \pm 12\text{kHz}$ 、48kbpsのMSK変調(☞参照)によるデジタル符号を重畳送信できるDx形地上子を使用しています²⁾。このDx形地上子の開発にあたっては、定置での静的応動特性試験、ここで紹介した高速回転試験装置による動的応動特性試験を経て、最終的に現車試験による機能確認を行っています。

また、高速回転試験装置は、回転体の半径が長く、回転速度が速いという特長から、回転体の先に設置される被試験品に相当な加速度(遠心力)を印加することができます。その特長を利用して、加速度に対する耐久性の試験にも利用可能です。**RRR**

☞ MSK 変調

FSK 変調の一種であり、最小偏移変調方式 (Minimum Shift Keying) のことをいいます。FSK 変調では、デジタル値の 1/0 に対応させて 2 つの周波数を切り替えますが、MSK 変調は、周波数切り替え時の位相が連続となる方式です。

文献

- 1) 新井英樹：ATCとATSで列車を安全に走らせる、RRR, Vol.65, No.7, pp.22-25, 2008
- 2) 新井英樹：デジタル情報送信機能付変周式ATS地上子、RRR, Vol.69, No.11, p.33, 2012