

高速化における信号通信の課題

渡辺 郁夫
信号通信技術研究部(部長)



はじめに

列車を今まで以上に高速で走行させるために、信号通信設備の改良や、試験などで確認しなければならないことがあります。信号現示やATC、ATSが速度向上に対応できるか、転てつ機の部品の耐久性は大丈夫か、踏切の警報時間が十分か、列車から発生する電磁ノイズが信号機器に悪い影響を与えないか、などです。ここでは、列車の速度向上に伴うこれら信号通信に関する課題や確認すべき項目、その確認方法などを紹介します。

信号を運転士や列車に伝える

地上信号機が使用される線区では、閉そくや進路の入り口に設置された信号機により、赤(R)、黄(Y)、緑(G)の3色の信号灯の組み合わせで、列車に対してその区間への進入の可否、許容する運転速度などが指示されます。停止信号はその区間への進入の禁止、警戒信号は次の信号機が停止信号、注意信号は次の信号機が停止信号あるいは警戒信号、減速信号は次の区間が注意信号または警戒信号であることを示しますが、実際には、警戒信号は25km/h以下、注意信号は45km/h以下あるいは55km/h以下、減速信号は65km/h以下あるいは75km/h以下というように、その区間の許容速度を示しています。進行信号は一般には線区最高速度での運転が許容されます。しかし、従来の最高速度よりさらに高速で走行する区間を設定するために、Gの信号灯を2個同時に点灯する高速進行信号GGを新たに設けて、普通区間の最高速度と区別して高速運転を実現させ

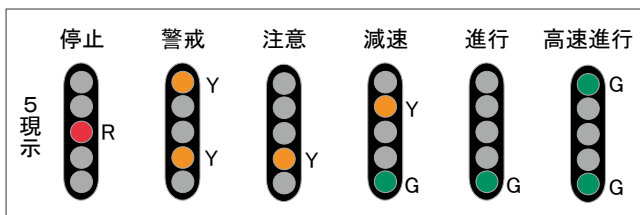


図1 信号現示

ている鉄道事業者もあります。

ATCを導入している線区では、列車に対して先行列車の位置や前方の進路条件から定まる許容速度がATC信号として与えられます。したがって、速度向上する場合には、その速度に対応したATC信号を用意しておく必要があります。東海道・山陽新幹線では、かつて0、30、70、120、170、210km/hの6段階の速度信号しかありませんでした。しかし、誘導などで発生するノイズがATC信号と誤認しないように、一つの搬送波で作っていたATC信号を、2つの搬送波の組み合わせで作るように改良されました。そのため10段階以上の速度信号が送信可能となり、速度向上時にこれを利用できました。基本的なATC信号は、列車の直後は30km/h信号が送信され、以後170、230、275、300信号が地上から車上に送られます(図2)。また、300km/h運転できる車両が特定の高速列車に限られていたため、トランスポンダで高速列車を特定して、高速列車が走行している軌道回路にのみ300km/h信号を送信可能な設備に変更しました。

現在の東北新幹線、東海道新幹線、九州新幹線や、山手線・京浜東北線で使用されているATCでは、列車に対して速度信号ではなく、停止目標の区間を示す識別番号や先行列車までの開通区間数など距離に相当する情報を符号で送信

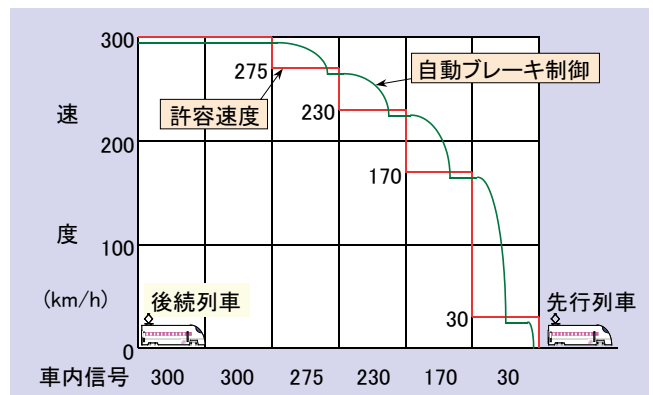


図2 多段ブレーキ制御ATC

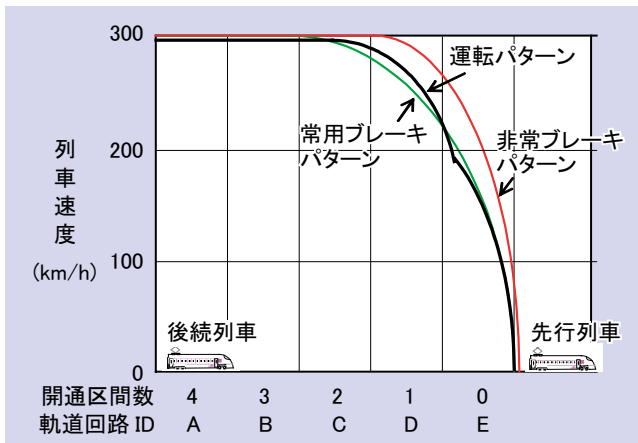


図3 デジタルATC

するデジタルATCが導入されています。車上装置は受信したATC信号の先行列車までの距離情報や、自列車の位置、車上のデータベースに記録している勾配などの線路情報などから、先行列車に接近したときに安全に減速できるブレーキパターンを発生させ、そのブレーキパターンと列車速度を比較します。もし列車速度がブレーキパターンを超過したときは自動的にブレーキを動作させ、列車を安全な速度まで減速させます。以前のATCと比較して駅に停止する際、ATCブレーキが動作したり緩解したりする回数が少なくなるため、低速で走行する時間が短くなった分、到達時間が短縮できます。また、速度向上がなされても、ATCの地上装置の改修は基本的に不要です。ただし、数十ビットからなるATC情報のフレームの先頭ビットから最後尾のビットまで完全に受信できないと、その情報は破棄されてしまいますので、分岐を含む短い軌道回路などでは高速走行時に必要なフレーム数が受信できるのか確認したり、受信回数が少ない場合にも制御可能な対策をとることが必要となります。

地上信号機を使用する場合、信号冒進防止などのためにATSが設備されます。点制御方式のATSでは、車両と地上にそれぞれ車上子、地上子と呼ばれるコイルを設備し、車上子が地上子の真上を通過したときに信号機の信号現示に関する情報などを車上に伝え、必要により運転士への警報制御や、ブレーキ制御が行われます。また、このような地上子と車上子による情報伝送は、列車番号の送受信、デジタルATCにおける列車の位置補正などにも使用されます。

列車の速度向上を実施する際、地上子の上を列車が通過するとき、地上-車上間で確実に情報を送受信するために必要な受信レベルが、必要な時間確保されているか

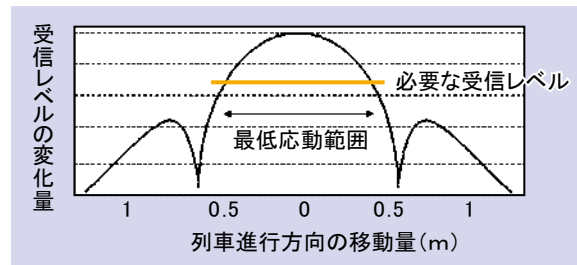


図4 地上子の応動特性

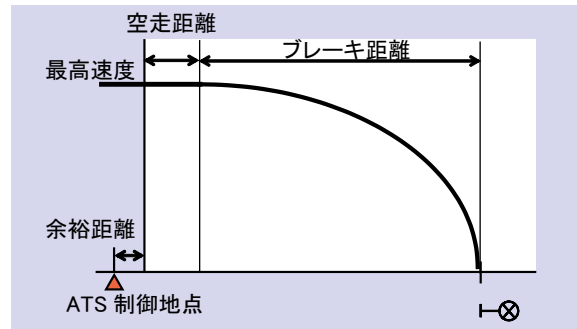


図5 ATSブレーキ制御地点の算出例

確認が必要となります(図4)。車体の動揺で地上子と車上子の上下間隔や左右のずれが生じたとしても余裕をもって情報を伝達できるようにしなければなりません。そのようなこともあり新幹線の地上子は在来線の地上子よりも寸法が長くなっています。

また、ATSに関しては最高速度で走行中に、停止などの下位現示のATS情報を受信したとき、所定の場所まで停止できるか、すなわちATS制御地点が適切かどうか確認する必要があります(図5)

分岐を安全に通過する

分岐においてトングレールはフロントロッド・接続かん等の接続リンクを介して転てつ機の内部で鎖錠されています(図6)。そして、基本レールとトングレールは列車通過

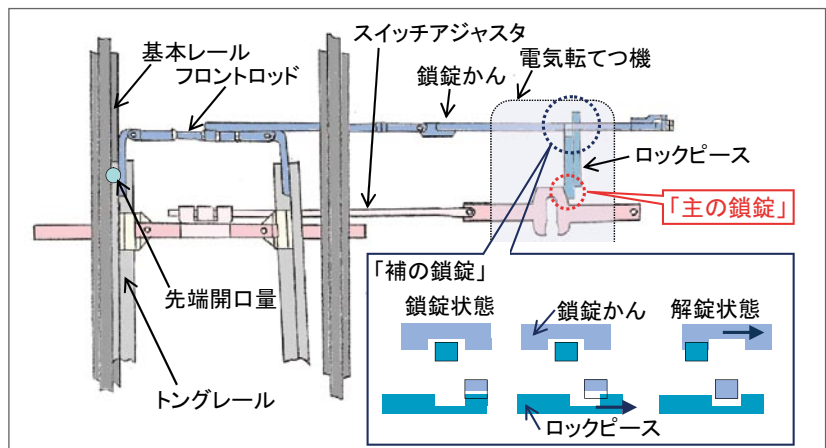


図6 転てつ装置

時に一定の力を加えてきちんと接触している（これを密着といいます）必要があります。基本レールとトングレールの密着側の隙間を先端開口量といい、速度向上時には列車通過時のこの先端開口量を測定する必要があります。先端開口量の測定は、密着側トングレール先端の肘金に変位計を取り付け、変位計の先端は基本レール腹部に接着した小片に当てて、列車通過中のトングレール先端と、基本レールの相対距離を測定します（図7）。最大3mmを目安とします。

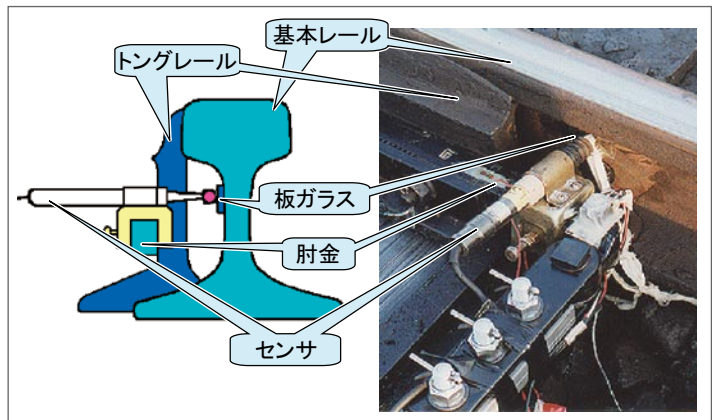


図7 先端開口量の測定方法

分岐器を転換・鎖錠する転てつ装置のフロントロッドとスイッチアジャスタは列車通過時の安全確保の上から重要な部品です。これらの部品の一部には列車通過時に力が集中して加わる部分があり、列車が高速になると今まで以上に応力が集中する場合があります。したがって、長期にわたり高速走行しても、これらに使用される部品が壊れないか耐久性を確認する必要があります。

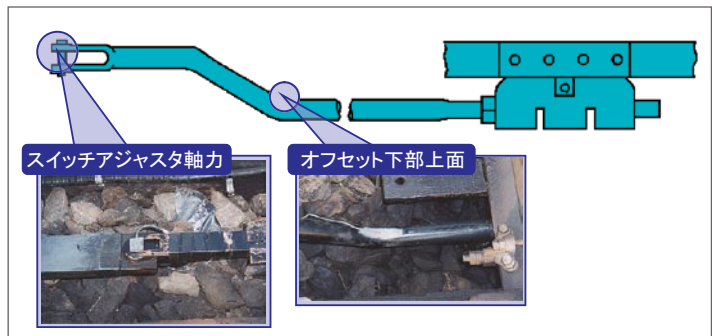


図8 スイッチアジャスタのオフセット部

スイッチアジャスタに関しては図8に示すオフセット部に応力が集中します。したがって、速度向上の確認試験では、この部分に歪みゲージを接着させ応力を測定します。測定例を図9に示します。図より列車の車輪が通過するたびに大きな応力が発生する様子がわかります。一般に速度向上試験などでは、条件の厳しい転てつ装置を選んで測定しますが、測定した転てつ機よりもっと条件の悪い場合もありうるとの考えから、測定した応力が部品の強度の目安値（例えば250MPa）より十分小さいことが要求されます。

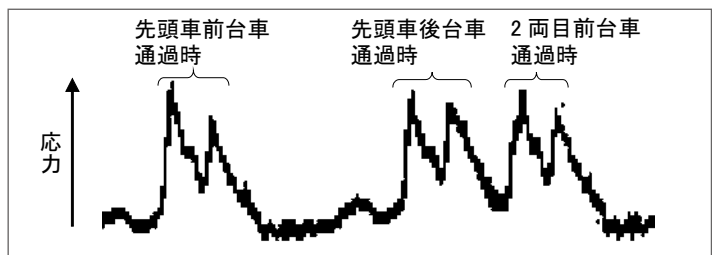


図9 スイッチアジャスタのオフセット部の応力測定例

フロントロッドについては、図10に示すロッドねじ部ナット、肘金首部、肘金取り付けボルト穴近傍、肘金取り付けボルトなどの部品が折損しやすくなっています。特に、在来線用のフロントロッドでは肘金取り付けボルト穴近傍が折損発生率が高いため、列車の高速化にあたってはこれらの応力を測定します。

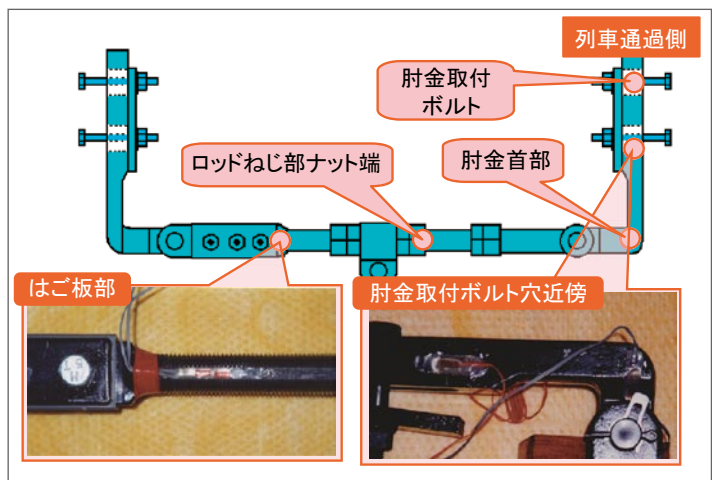


図10 フロントロッドの折損しやすい箇所

列車通過中に鎖錠かんの切欠とロックピースが接触を繰り返すと摩耗が発生し、摩耗が大きくなると割り込み脱線などの要因となる可能性があります。したがって、鎖錠かんの切欠とロックピースが接触していないかを、鎖錠かんの移動量で確認する必要があります（図11）。鎖錠かんの切欠と

ロックピースとの間隔を左右対称に調整し、1.5mm以上鎖錠かんが移動しないことを確認します。

踏切の警報時間が十分か

列車が踏切に接近すると踏切が遮断する前に一定時間警報が鳴り、その後遮断機が降下します。遮断終了後一定時間後に列車が踏切に到着、列車が踏切を通過完了後に遮断が解除されます。警報が開始してから列車が踏切に到着するまでの時間は踏切の規模によっても異なりますが、標準30秒、最低でも20秒が必要です。したがって、列車速度の向上に伴い警報時間が規定値以下にならないことを確認する必要があります。

また、踏切内で自動車が脱輪するなどして列車に異常を通知するための踏切支障報知装置の押しボタンが扱われたり、踏切遮断後に自動車等の残留などで踏切障害物検知装置で異常を検知したときなどは、特殊信号発光機が動作して、列車の運転士に異常が通知され、非常ブレーキで停止することになります。速度向上したときはこの信号機の確認位置がそれまでの場所のままではよいのか、最高速度で走行中に特殊信号機の発光を確認して非常ブレーキ操作で踏切手前に停止できる距離が確保されているかを確認する必要があります。

EMC (電磁両立性) の確認

電気鉄道では、変電所から架線とレールを介して車両に電力が供給されます。このとき変電所から供給される電力そのものに含まれる高調波、車両の駆動制御のパワーエレクトロニクスデバイスのスイッチングに伴い発生する高調波、パンタグラフの架線からの離線に伴い発生する電波雑音など、様々な周波数の電磁ノイズが発生します。また、列車の加速/惰行/減速の運転モードの変化に伴う負荷変動で、帰線電流の大きさが変動し、これに伴うノイズが発生します。これらのノイズは、電波として外に放射されたり、近接する通信回線・制御回線や線路沿線に配置された機器に誘導したりします。また、発生した高調波電流の一部は軌道回路・ATCなどの信号の伝送に使用されるレールを流れ、信号装置に影響を及ぼすことがあります。したがって電気鉄道は、不要電磁界の放射源となり得ると同時に、被害者ともなり得る側面も持ち合わせています。

高速車両の開発や高速化のための改良がなされる時、車

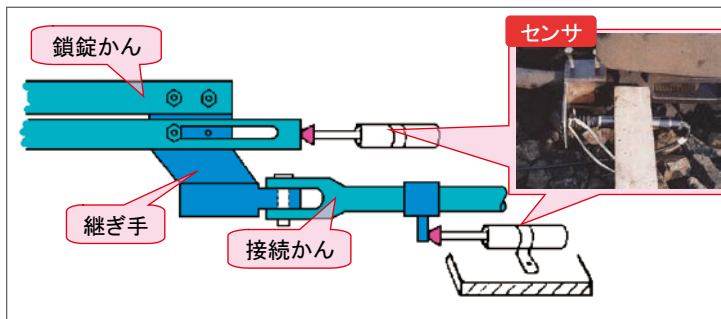


図11 鎖錠かん変位量測定

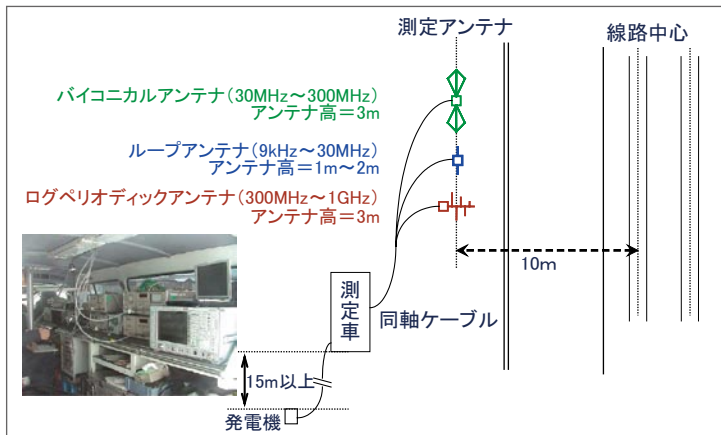


図12 標準的な電波雑音の測定法

両やき電回路から発生する電磁ノイズも、これまでと状況が変わってくるものと予想されます。したがって、これらのノイズが軌道回路、トランスポンダ等の地上子、踏切制御子などの信号設備へ影響がないか、また、電波雑音の発生状況はどうか等の測定・評価を実施する必要があります。もし信号設備や線路沿線設備に影響がある場合には、ノイズを低減する対策が必要です。

図12に標準的な電波雑音の測定法を紹介します。鉄道の外側の線路中心から10m離れた位置に測定用アンテナを配置し、周波数により3種類のアンテナを使用して測定します。

あとがき

列車を高速化する際の信号通信に関して、確認しなければならない項目や確認方法について紹介しました。鉄道システムは車両、構造物・軌道、信号通信、運転、電力などの分野の技術が結集し、それらが調和・協調することで成り立っています。したがって、列車の高速化に関して何か課題が生じたときも、特定の技術分野だけにその対策を強いるのではなく、鉄道システム全体からみて効果的な、バランスのとれた対策を講じるのが重要です。RRR