

変電所から新型車両の特性を診断する

森本 大観
電力技術研究部(き電) 副主任研究員



もりもと ひろあき

はじめに

新型車両の投入は、お客様が直接感じることができる快適性・利便性・速達性などの向上のほか、車両運用の面では性能向上によるダイヤ組成の効率化、車両メンテナンスの合理化、ひいてはエネルギー利用率の向上など多くの利点をもたらす、鉄道事業者にとって重要な施策のひとつといえます。

完成した新型車両は多くの場合、営業に供される前に車両自体の加速・ブレーキ性能や乗り心地などを確認するため、試運転を行って必要な測定を行います。その車両が電気車、すなわち電車・電気機関車であれば、変電所から電車線(架線)・パンタグラフなどを経て取り入れた電力をモーターで動力に変換して走行するのですが、その電力は元をたどれば地上の変電所から供給されているものです。

変電所や電車線が送れる電力(電流)の大きさは無限ではないので、車両が高性能になればなるほど、地上設備とのマッチングも重要になってきます。たとえば、家庭で高能力のエアコンを何台も使ってブレーカーが落ちるとい

う経験をされた方は多いと思いますが、それとまったく同じことが鉄道変電所にもあてはまります。鉄道変電所は家庭とは比較にならない大電力を安全に送るために高度な監視を様々な電気量(電圧、電流、インピーダンス等)に対して行っており、その監視項目に対して新型車両の特性がマッチングしているかどうか重要なポイントになります(図1)。

そこで、新型車両が性能確認のため試運転を行う機会を利用して、変電所でも新型車両の電気的特性を測定することがあります。車両自体の故障診断等とは別に、電気鉄道の大きなシステムの中で電気の流れの最終部分をなす車両の特性を、電力の面から診断することも必要なのです。ここでは変電所測定事項のごく一部を簡単に紹介します。

直流電気車に関する変電所測定項目

直流電気車の特性で変電所に関係する項目のひとつに、ノッチ操作に伴う電流の変化の割合の測定があります。

電鉄変電所に特有の故障検出装置として「 ΔI 」形故障

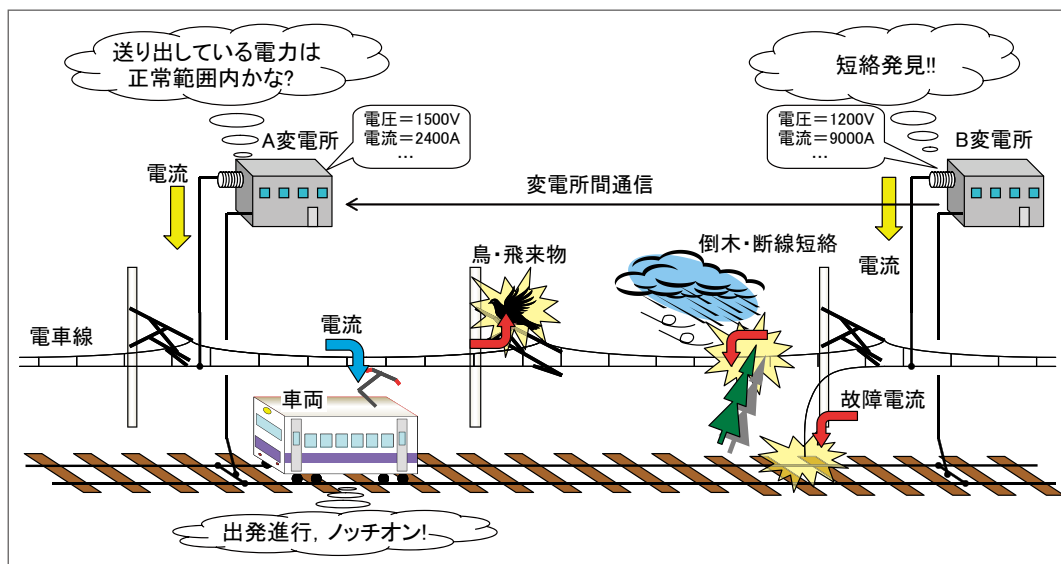


図1 変電所における電流量監視

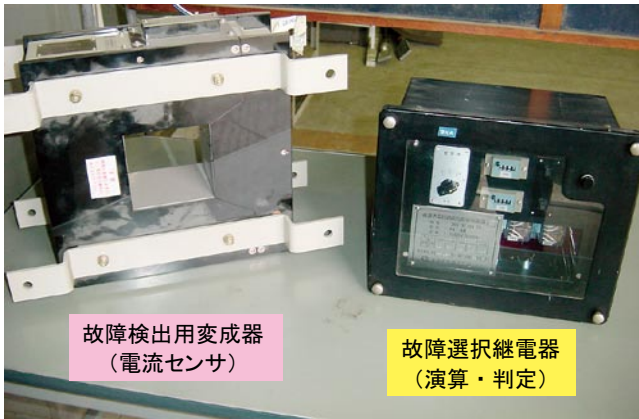


図2 直流き電回路用ΔI形故障選択装置の例

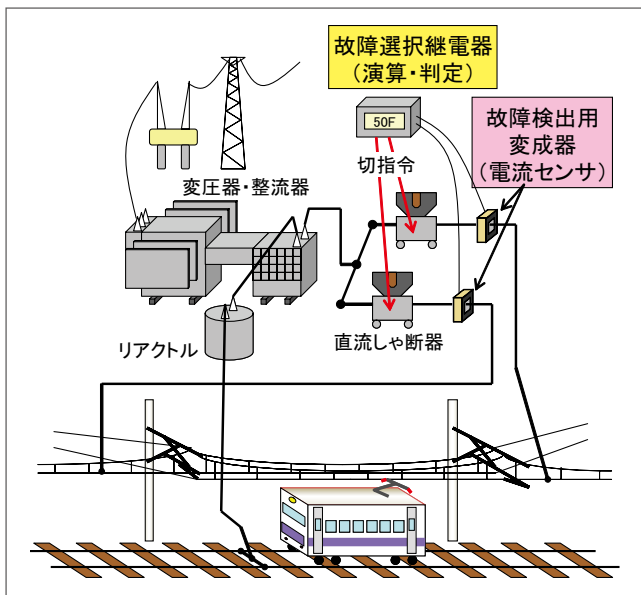


図3 故障選択装置の使われ方

選択装置], 通称「50F」があります(図2, 図3)。通称は(社)日本電機工業会(JEMA)のJEM1090規格に準じて短絡選択継電器または地絡選択継電器の器具番号「50」にき電線(Feeder)の「F」を合わせて「50F」としており, 変電関係者はこれを「ごーまるエフ」あるいは単に「ごーまる」と呼んだり, 「ΔIリレー」と呼んでいます。

その動作原理は, 架線が断線して垂れ下がったり車両故障などで架線とレールと短絡状態になったときの電流変化が, 通常の車両の走行状態での電流変化よりも大きく(数千アンペア以上)かつ急峻(数十ミリ秒以下)であることを利用して, 変電所から送り出す電流値を測定してそのベース分を除いた変化分(ΔI)を内部評価値として取り出し, 規定値(ΔI整定値)を超えていれば変電所の直流高速度遮断器に切指令を出すものです(図4)。変電所の容量や設置間隔から実際に故障が発生した時に想定されるΔIをあらかじめ算出し, それを下回るようにΔI整定値を設定することで, 電車線路の故障検出が確実に出来るようにし

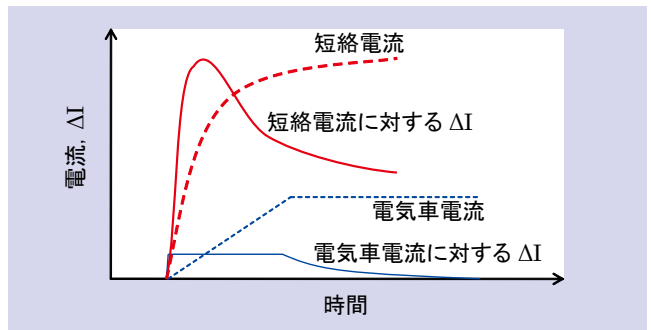


図4 故障選択装置の動作原理

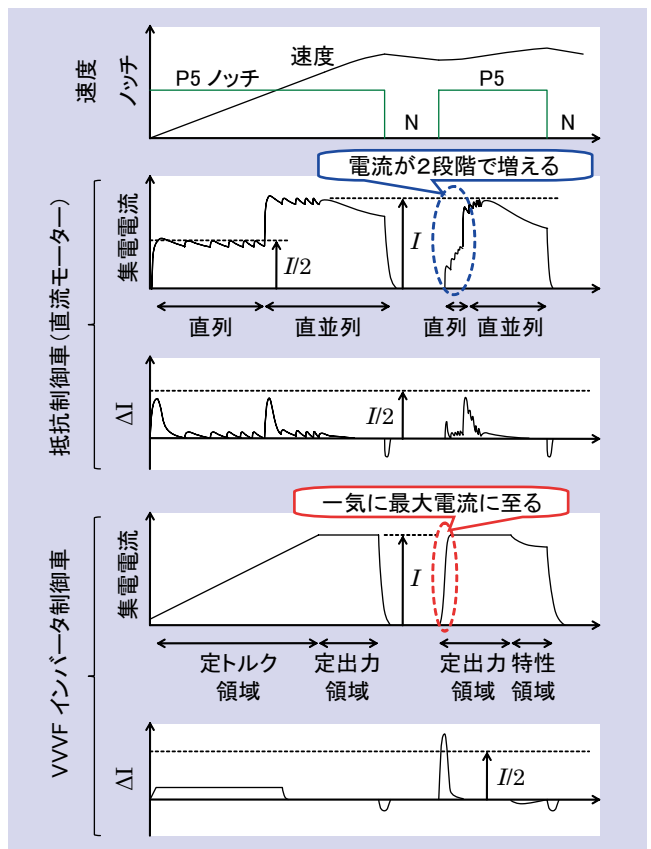


図5 車種による集電電流とΔI値の違いの例

ています。

車両の種類による速度と電流変化の違い, およびそれに伴うΔIの変化(旧タイプの故障選択継電器の特性)を図5に示します。直流モーターを用いる車両で旧世代のものは, モーターの直列・並列切り替えと抵抗器の調整により, 一般に階段状の電流変化を示します。ΔI形故障選択装置が見るΔIはたいていの場合, 最大電流の半分を少し下回る程度の値です。よって, その路線を走る電車の最大電流IがΔI形故障選択装置の整定電流値の2倍以下であれば通常は問題ないと経験則的に言われてきました。

ところが, 現在主流のVVVFインバータ制御車両では, インバータ装置内部の制御プログラム次第によって特性が大きく異なり, 過去の経験則が通用しません。ある程度速

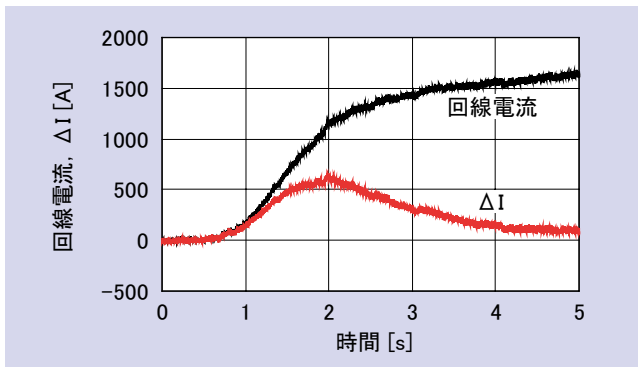


図6 ΔIの測定結果例(直流変電所)

度が出ている状態(通勤車で25~40km/h程度、在来線特急車で60km/h程度)でノッチを惰行から最大力行に操作すると、抵抗制御車よりも素早く最大加速に至る場合があります。自動車と言えばアクセルを踏んだときにエンジンが鋭く反応してキビキビと加速するようになりますが、これは集電電流が一気に最大まで増えることを意味します。図2のような旧型のΔI形故障選択装置は大きなΔIを観測してしまうため、誤判定となり停電となる事例も実際に生じています。このような場合には、

- VVVFインバータの制御プログラムを改修して再加速時の電流増加を緩やかにする。
- 変電所のΔI形故障選択装置をVVVFインバータ制御車両に適合する新しいタイプのものに取り換える。
- どちらもできない場合、故障検出に問題のない範囲でΔI整定値を変更する。

等の対応が行われています。電流波形をΔI波形に変換して出力する装置などを用いて測定を行い、定量的に検討をすることが可能になっています(図6)。

交流電気車に関する変電所測定項目

交流電気車(交直流電気車を含む)に関する測定内容は、主要なものだけでも

- 最大電流の測定
- ノッチ操作および励磁突入電流に伴う電流の変化の割合の測定(直流の50Fと類似)
- 負荷インピーダンス領域の測定
- 高調波電流含有率の測定(電力会社との契約に関する項目)などがあり、直流電気車と比べて多くの測定が必要です。

それは、交流電気車が「動く直流変電所」のようなものであるからです。

交流電気車は、架線から集電した交流電力を主変圧器で

扱いやすい電圧に下げ、整流器で直流に変換し、直流モーターやVVVFインバータに供給しています。整流器は車両の製造時期によって、昔ながらのシリコンダイオード整流器や、最近のVVVFインバータと対になって使われるPWMコンバータ等、いくつかの種類があり、主変圧器ともども車両の要求仕様に合わせて個別設計されています。

つまり地上から見ると、千差万別の仕様を持つ整流器を積んだ移動式直流変電所が、線路上をあちこち動き回っている格好になります。整流器は交流回路の特性に大きな支配力を持ち、その影響は鉄道変電所、ひいては電力会社にも及びます。また、より遠くまで電力を送れる交流電化の利点(在来線では通常状態でのき電距離が片側50kmに及ぶこともある)と表裏一体に、変電所は遠い地点の故障も見逃してはならないという宿命を負うことになります。このため、様々な仕様の整流器(車両)に対応しなければならない交流変電所の電気量監視システムは、直流のそれより相当複雑なものになっているのです。

新型車両が変電所の電気量監視システムに故障と見間違えられるようでは営業運転どころではありません。また、定められたガイドラインを満足できないような(高調波が多い)電流の取り方をすると電力会社との受電契約に問題が生じる場合があります。よって、新型車両の落成の度に、前記の項目をすべてチェックしなければならないのです。

一例として、距離継電器(44F)に関する測定について述べます。距離継電器は、変電所から見た電車線のインピーダンス(交流電気回路における複素数の抵抗)を測定し、それがあらかじめ設定した領域の内部に進入すると故障と判断してき電用しゃ断器へ切指令を送るものです。

インピーダンスを実数分(抵抗分)Rと虚数分(リアクタンス分)Xに分解して複素平面にプロットすると、車種によって図7に示す各領域に現れます。図7の原点は変電所の目の前での短絡を表し、点線は変電所から距離が離れるに従って電車線のインピーダンスが加わる様子を示しています。平行四辺形は距離継電器の整定領域すなわち変電所の守備範囲で、右上の頂点の座標をあらかじめ計算や実測で求めて設定しておきます。サイリスタ位相制御車が登場した時には平行四辺形の左上からの進入、PWMコンバータ車の登場時には横軸右方向からの進入(昔は横長の平行四辺形特性も用意していた)が問題となりました。様々な新型車両に対応させるためには微妙な設定が必要です。

「R-Xアナライザ」という専用の測定器でのインピーダンス領域測定例を図8に示します。

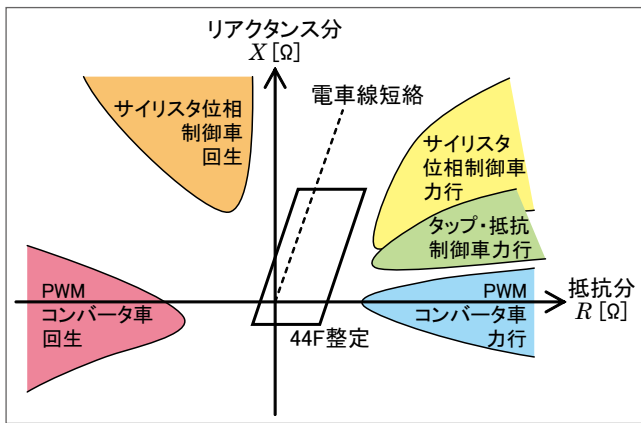


図7 車種によるインピーダンス領域の違い

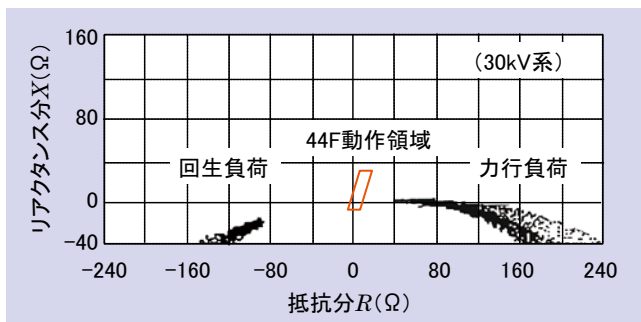


図8 R-Xアナライザの測定結果例

車両の停電検知試験

交流電車の性能試験の項目であるが変電所で測定を行うものに「停電検知試験」があり、特に新幹線で重要な意味を持っています。

新幹線は高速で走るので、大地震が発生した場合に可能な限り早く列車を減速させて脱線等のリスクを減らす必要があります。このため、沿線に多数設置した地震計で地震動の初期微動(P波)を検知し、そのデータを瞬時に解析して運転規制が必要であると判断された場合は、変電所から架線への送電を司るスイッチ(き電用しゃ断器)を切り、架線を停電させます。これによりATC車上装置のための同期用信号が失われることで非常ブレーキを動作させるシステムが使われています(図9)。すなわち新幹線にとって「瞬間的ではない停電」は、「地震による非常停止指令」であると言い換えることができます。

現在、ほとんどの新幹線車両は回生ブレーキを装備しており、常用ブレーキの範囲内では、車上のモーターを発電機のごとく動作させて発生した電力を、主変換装置で力行と逆向きに交換して架線に戻しています。いま、ある列車が回生ブレーキを使っている状態で、地震計動作により架線が停電した場合にはどうなるのでしょうか?もし偶然、その回生電力を消費している別の列車がいて、両者がちょう

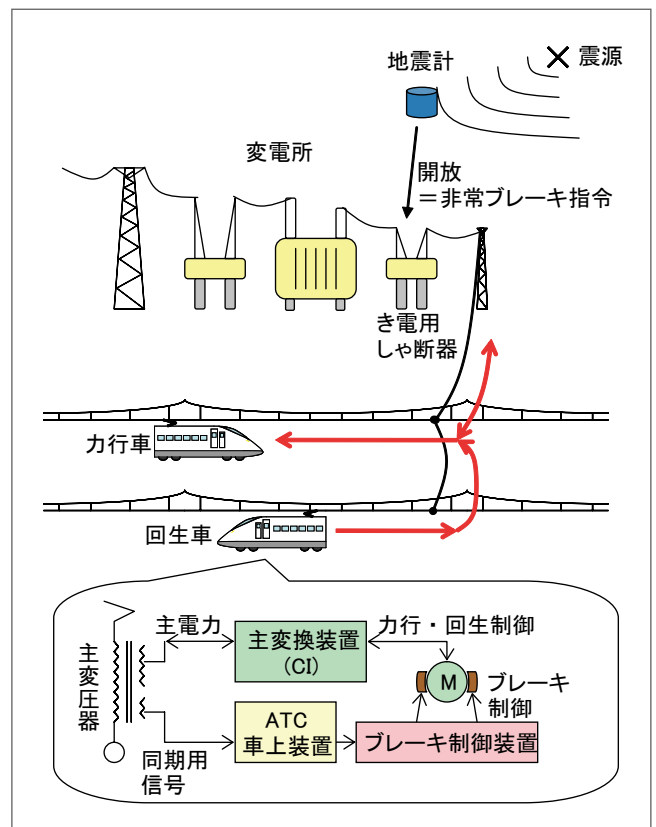


図9 早期地震警報システムと車両の停電検知機能

ど釣り合っている状態であれば、変電所が送っている電力は差し引きほぼゼロであり、き電用しゃ断器を切っても目立った変化は生じません。よって架線の電圧が何秒間にもわたって正常に近い形で保たれ、ATC装置は非常ブレーキ信号を発することができません。つまり「非常ブレーキが働かないかもしれない」という結果になるのです。これでは非常に困るので、新幹線車両の主変換装置には多種多様な方法を駆使した停電検出機能が積みこまれており、わずかな変化を検知してすぐに回生を中断するようになっています。

この機能の性能を確かめるために、変電所で意図的に停電を発生させ、そのとき車両の主変換装置がすぐに停止し、架線電圧がすぐに無くなることを測定・確認するのです。

おわりに

新型車両登場の華々しさの陰には、ここに挙げたもののほか様々な系統で、地道な測定が行われています。測定結果は車両そのものの診断にとどまらず、必要に応じて地上設備の設定変更や改良を行うための基礎データとしても使われています。今後も車両と地上設備のより良い共存関係の提案に努めていきます。RRR