

信号設備を制御する信号リレー



ふくだ みつよし

福田 光芳

信号通信技術研究部(信号 主任研究員)

はじめに

信号設備は、列車と列車の衝突が起きないように列車間隔を制御したり、駅で正しい進路に列車を進入させたりする役割を担っています。安全かつ安定した列車運行のために、信号設備には安全性と信頼性の両面が要求されます。つまり、通常の状態ですべて正しい制御が行われることは当然と

して、信号設備に故障などが発生した場合にも、安全が確保される必要があります。この故障時に安全側に制御される性質は、フェールセーフと呼ばれています。

信号設備を制御する方式として、古くからリレーが用いられてきました。近年では、コンピュータを用いた方式が広く導入されるようになってきましたが、それでも依然として多くの箇所でリレーが用いられていますし、コンピュータを用いた設備の中でもリレーが重要な役割を果たしています。

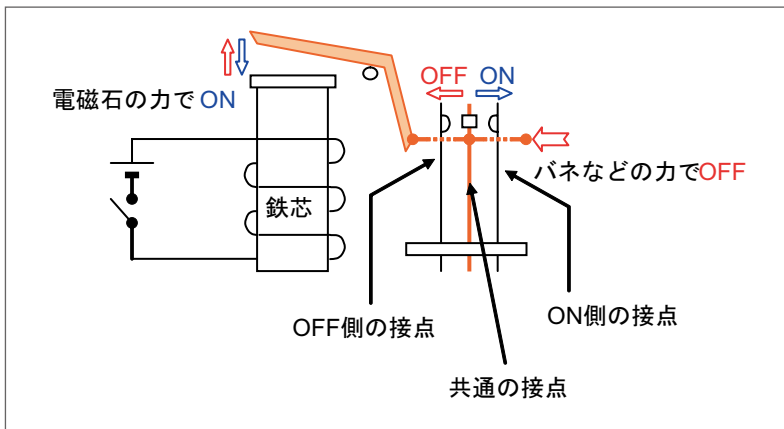


図1 電磁リレーの仕組みの例

信号リレー

リレーはある入力（電気、光など）によって、出力側の電気回路のスイッチを切り替えるものですが、ここでは信号制御のために広く利用されている電磁リレーについて紹介します。電磁リレーは、電気入力により電磁石を励磁し、電磁石の力で機械的に接点を動かすリレーです（図1）。電磁リレーはON側の接点が構成される（導通する）状態と、OFF側の接点が構成される状態の2つの状態があります。

信号リレーも、入力回路と出力回路が絶縁されている、フェールセーフ性を実現しやすいなどの理由から、電磁リレーの方式を採用しています。

通常の弱電回路に用いられるリレーは、小さいものが多いのですが、信号リレーは図2のように外形の大きなものも多く使用されています。図2のリレーは差込形と呼ばれ、背面についた端子をジャック盤に差し込んで取り付けます。取り付

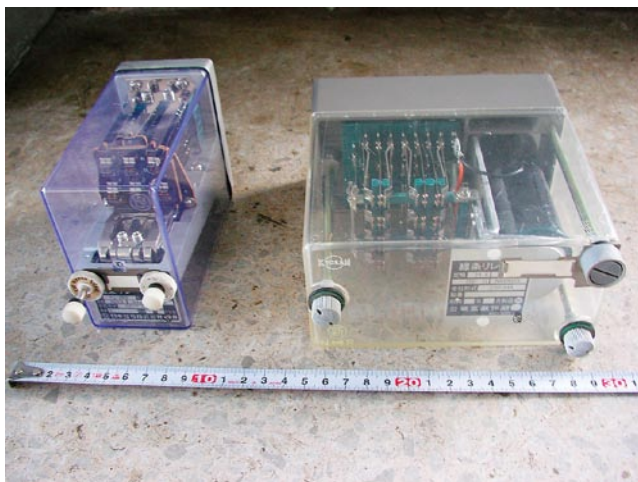


図2 信号リレーの外観の例

けは通常の図2の方向のままリレー架に取り付けられたジャック盤に差し込む形態となります(図3)。

信号リレーは、信号機の電球のON・OFFするような現場設備に対してのスイッチの役割と、信号設備をどのように動かすかの論理を形成する役割を担っています。リレーで論理を作るといって不思議に思われるかもしれませんが、様々な制御条件を表すリレーや状態を記憶したり時素の役割をするリレーを組み合わせることで、複雑な制御論理を組み立てることができます。ただし、一つ一つのリレーは各条件の単純なON・OFFの機能が主体なので、小さな駅の連動装置(電気転てつ機や信号機を安全に制御する装置)でも、多くの信号リレーが必要となります。進路を設定する指示を受けると、リレーがガチャガチャガチャ…と動き出します。

信号リレーの種類

信号リレーは、現場設備を動作させるもの、論理を組み立てるもの、タイマーとして機能するものなど、その用途により、様々なものが使用されています(表1)。また、使用される箇所により、入力や出力の電流が異なったり、同時にON・OFFする接点の数が異なったりします。用途(対象設備)別に見た場合の主な信号リレーの種類は表2のようになります。

また、同じ用途のリレーでも、時素の役目を果たす時素リレーや電源がなくても接点の状態を磁氣的に保持する磁気保持リレーなどいくつかの種類があります。

軌道リレー

表1、表2で主な信号リレーの種類を紹介しましたが、軌道リレーは他のリレーと使い方が少し異なります。普通の信号リレーは電気回路の中でリレーに加

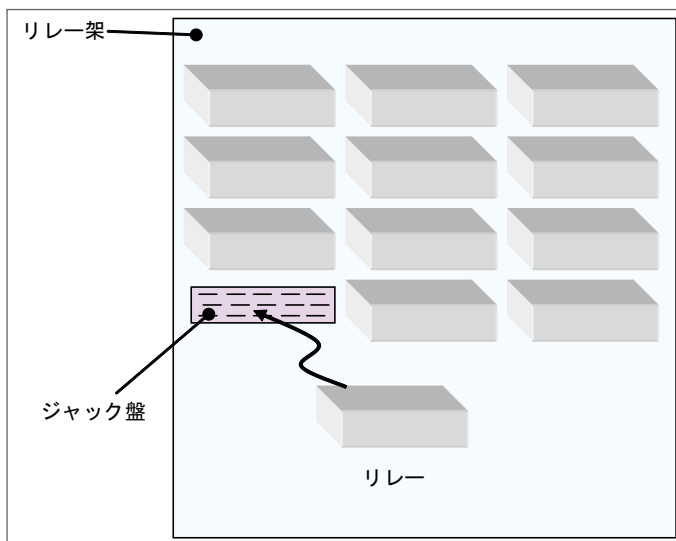


図3 信号リレーの実装イメージ

表1 機能による信号リレーの分類

種類	用途・特徴
線条リレー	最も基本的なリレーで無極リレーとも呼ばれます。電源の極性に関係なく、電源の有無だけで接点がON・OFFします。
緩動リレー	電源のONから少し遅れて接点がONするリレーです。
緩放リレー	電源のOFFから少し遅れて接点がOFFするリレーです。
有極リレー	電源の極性によって、ONとなる接点異なるリレーです。
磁気保持リレー	有極リレーと同様に電源の極性によってONとなる接点異なる構成ですが、電源をOFFにしても接点がONのまま保持されるリレーです。
時素リレー	タイマーとして用いられるもので、電源ONの後、数秒から数分後に接点がONになります。

表2 用途による信号リレーの分類

種類	用途・特徴
信号制御用リレー	信号機を直接制御するためのリレーで、信号灯のON・OFF、信号機の現示に対応した軌道回路電流の送信切替などに使用されています。
連動装置用リレー	駅構内の信号機やポイントの制御を行うためのリレーです。列車を安全に運行させるための駅構内の複雑な論理を実現するために、様々な種類のリレーがあります。
踏切用リレー	踏切しゃ断機などを制御するためのリレーです。線路わきの器具箱の中などで使用するため、振動や温度などの厳しい環境条件に耐えられるようになっています。
軌道リレー	列車検知を行う軌道回路において、列車在線の有無を判定するリレーです。直流と交流のリレーがあります。
その他	その他のリレーとしては、列車を安全に停止させるためのATS(自動列車停止装置)やATC(自動列車制御装置)用に開発されたり、多数の駅を遠隔制御するためのCTC装置用のリレー、停電時などに別系統の電源に切替えるための電源切替リレーなどがあります。

える電源をON・OFFして、その結果としてリレーの接点を動かしますが、軌道リレーは図4のように電源の電流を一旦レールに流してから戻し、その電流でリレーの接点を動かします。これは軌道回路と呼ばれるもので車両の有無を検知する仕組みです。車両が在線しない時は、軌道リレーまで電流が届き軌道リレーはONとなりますが、車両の輪軸によってレール間が短絡されると軌道リレーに電流が届かなくなりOFFとなります。この仕組みによって、車両の有無を判定することができます。

軌道リレーは直流と交流の2種類がありますが、一般に

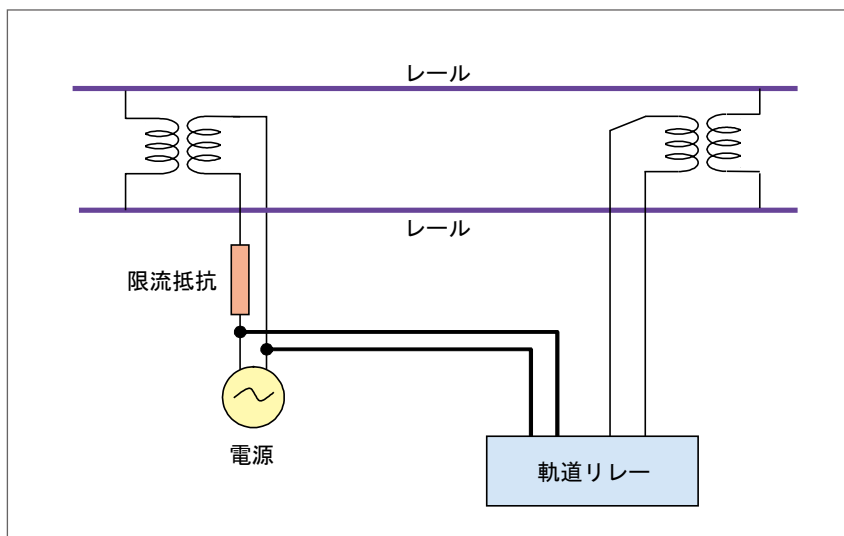


図4 軌道回路の構成例

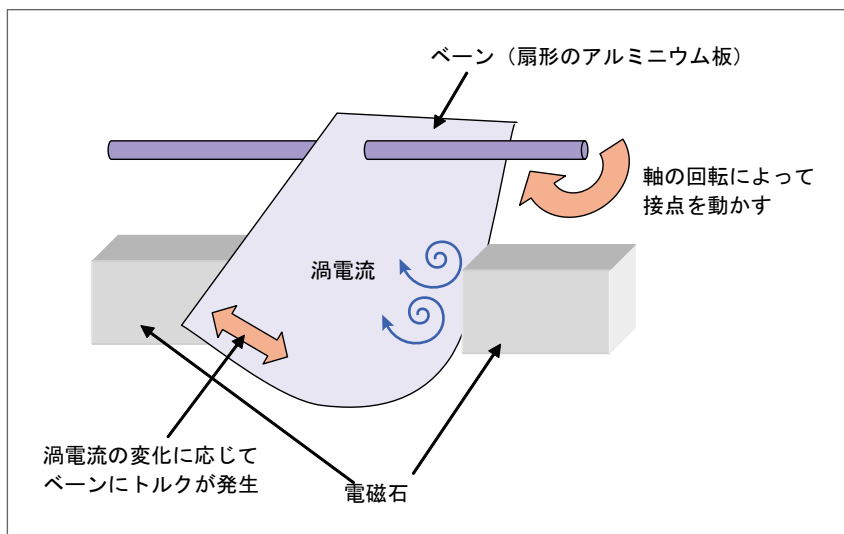


図5 軌道リレーの動作イメージ

は交流で動く交流リレーが広く用いられています。交流の軌道リレーは2つの異なる電源によって動作する珍しいリレーです。図4の電源から直接軌道リレーに入力される電源を局部側、レールから入力される電源を軌道側と呼んでいます。これは2元式と呼ばれる方式で、図5のようにベーンと呼ばれる扇形のアルミニウム板に軸が取り付けられ、回転する構造になっています。この軸が回転すると接点がON・OFFする仕組みです。ベーンの両側には電磁石が置かれています。それぞれの電磁石には、先ほど述べた異なる2種類の電源の電流が流れるようになっています。2つ

の異なる電源の位相差と電磁石の形状によって、ベーンに発生する渦電流が変化しベーンを回転させる力が働いて接点がONとなります。どちらかの電源が無くなったり、位相が適切な範囲外になるとベーンを回転させる力が弱まり、重力によってベーンが戻され、接点がOFFとなります。

ベーンを動作させるためのエネルギーの大半は、局部側から供給されるため、軌道側からは小さい電流だけ入力できれば良く、軌道回路を長くできるという利点が得られます。

フェールセイフ

列車運行の安全を確保するため、信号の装置に故障が発生した場合は、その装置は安全側の状態になることが必要になります。例えば、信号機を制御する装置に故障が発生した場合でも、停止現示となれば列車は安全に停止します。このような性質をフェールセイフと呼んでいます。フェールセイフは様々な手法で実現されており、昔の事例では、ボールをワイヤーで吊り上げ、高い位置にある場合を「進

行」，低い位置にある場合を「停止」として用いていました。ワイヤーが切れてボールが落下すると，運転士からは「停止」に見えるので，列車は安全に停止します。この事例では重力を利用してフェールセーフを実現していることになります。

一般にリレーは故障したときにONまたはOFFになりますが，信号リレーは，故障時および電源が断たれた場合に極めて高い確率でOFFになる特性を有しています。OFF側の故障とON側の故障の確率が大きく異なるので，このような性質を非対称誤り特性と呼んでいます。この性質を利用して，装置の故障発生時にリレーがOFFとなるように電気回路を構成し，OFF側に安全側の制御条件を割り付けておけば，装置としてフェールセーフが実現できます。

先に説明したボールとワイヤーの仕組みでは，重力を利用してフェールセーフを実現していました。信号リレーでも様々な工夫によって，信号リレーに故障が発生した時や電源が無くなった時などにOFF側に接点を動かす仕組みをつくっています。

信号リレーの故障モード（故障の種類）を分析して，故障が発生した時にOFF側にならない要因を考えた場合，主要な要因としては次のようなものがあげられます。

- ①ON側の接点が溶着して離れなくなる。
- ②軸や接点などが機械的に引っかかり動かなくなる。

①について，溶着とは接点間を流れる電流によって接点と接点が固着してしまう現象です。溶着の可能性がある箇所に使用されるリレーでは，接点の材料を溶着しない（溶着しにくい）ものにしてあります。

また，①，②に共通しますが，OFFにする時にON側の接点を引き離す力（乖離力）を大きくして，①，②事象が発生しないようにしています。乖離力を得る方法はバネ（図1）を用いる方法と重力を用いる方法（図5）があります。バネを用いる場合，バネの破損はフェールセーフ性を損ねるため，十分に信頼性の高いバネを使用します。

信頼性

フェールセーフ性と同様に重要な性質として信頼性があげられます。フェールセーフの項で説明した故障のほかに，接点間の接触抵抗が大きくなってしまふ事象やコイルの断線などが考えられます。

接触抵抗が大きくなる事象は，接点に酸化皮膜などが発

生したり，接点が消耗したりすることにより発生します。溶着の問題と同様に，接点の材料を工夫して酸化皮膜などや消耗の影響を受けにくい材質を採用し，十分な接触力で接点を接触させています。また，材質によっては，大きな電流を流せないもの，小さな電流では接触抵抗が大きくなってしまふものがありますので，適切な電流を決めて使用しています。

信頼性について，このような工夫のほかに，信号リレーは雷サージに強いという特徴をもっています。雷サージは，落雷時にケーブルなどを通じて過大な電圧が入力されるものです。パソコンなどが落雷時に故障してしまうのも雷サージによるものです。信号リレーは，過電圧に弱い半導体素子を使用していないこと，接点が開閉する機構などのため絶縁性が高いことなどから影響を受けにくいといえます。最新のコンピュータを用いた設備では，雷サージの被害を防ぐために様々な対策を施す必要がありますが，信号リレーを用いた設備では，比較的簡単な対策だけでも大丈夫です。

様々な工夫と信号リレーの構造上の特徴から高い信頼性を実現しているといえます。

まとめ

信号リレーは，フェールセーフ性や信頼性を向上させるための様々な工夫がなされています。一つ一つの信号リレーでは，何もできませんが，多くのリレーを組み合わせることにより，列車を運行するための機能を実現しています。最新のコンピュータのような高度な制御は得意ではありませんが，高いフェールセーフ性，信頼性により，今後も安全で安定した列車運行を支える存在だといえます。

RRR

文献

- 1) 日本鉄道電気技術協会：鉄道技術者のための電気概論 信号シリーズ3 信号装置・信号リレー
- 2) 坪井正男，春田雅永：鉄道信号リレーの故障モード解析，品質管理，Vol.31，No.5