

直流手動断路器誤操作防止装置の開発

○ [電] 石井 喬文 [電] 堀口 晃 (東日本旅客鉄道株式会社)

[電] 山川 盛実 (三和テッキ株式会社)

Development of operational error prevention system for DC manually disconnecting switch

○Takafumi Ishii, Akira Horiguchi (East Japan Railway Company)
Masumi Yamakawa (SANWA TEKKI CORPORATION)

In the car depot, many disconnecting switches are installed in order to disconnect power sources to each storage track. These disconnecting switches need to be operated manually on maintenance and repair work, but sometimes trouble of a mistake in operating disconnecting switch with electric current has been occurring. To prevent this trouble, the authors developed an operational error prevention system using current sensor which can measure a very small electric current. The system shows “allowed to operate” and outputs the conditions when the current value is under the set threshold.

キーワード：直流手動断路器，ホール素子センサ，シーケンサ

Key Words：DC manually disconnecting switch, Hall element sensor, sequence control

1. はじめに

手動断路器は、パンタグラフの点検などで架線に接触する恐れのある作業から感電事故を起こさない安全な作業環境を作ることを目的に設置されており、作業場所の電気回路を確実に切り離し、停電させるための電力機器である。

しかし、断路器に電流が流れている状態で切り離す操作を行うと、断路器部にアークが発生し溶損するほか、感電事故につながる危険もある。断路器は、もともと負荷電流を開閉するための機器ではないため、電流が流れているときに開閉操作をしてはならない。図1のような断路器に電流が流れている状態での操作は、誤操作であり俗に“生切り”と呼ばれている。

ここでは、“生切り”を防止するために開発した直流手動断路器誤操作防止装置（以下、誤操作防止装置）について紹介する。

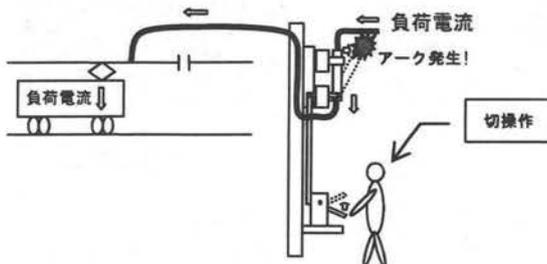


図1 断路器の“生切り”

2. 開発の背景と目的

車両基地では留置線ごとに電源を区別する必要があるため、図2のように複数の手動断路器が集中的に設置されている。

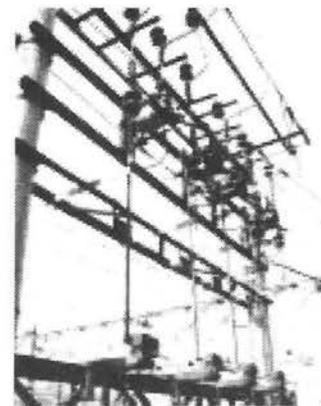


図2 直流手動断路器の設置状況

このような場所で誤操作を回避する手順として、次のことを確認した上で操作している。

- (1) 当該の留置線に在線する車両の全パンタグラフが降下していること
- (2) 当該の留置番線と断路器番号が一致していること

この確認作業は人間の注意力に依存しているため、まれにヒューマンエラーによる誤操作事故が発生している。

開発した誤操作防止装置の目的は、断路器に流れる電流値を測定し、あらかじめ設定した閾値以下になったときに、「電流値が閾値以下の状態=パンタグラフ降下の確認」の条件を外部出力することである。

また、断路器には、インターロック装置という機械的にロックをかけて操作不能とする機構を付加できる。この機構は、ある条件が成り立つときにロックがかかり誤操作を抑止するものである。この機構と組み合わせることで、より安全性向上が図られる。

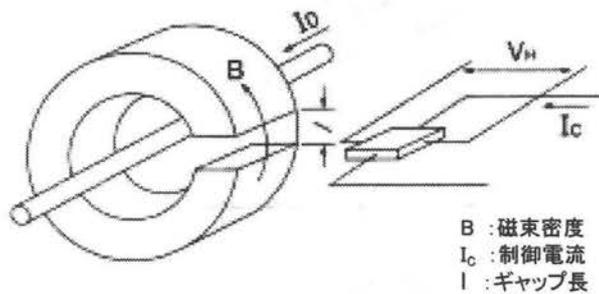
3. 電流検出用センサの選定

本開発は過去にも取り組まれた事例があり、そこでの問題点を整理した上で試作器の仕様を検討した。開発のポイントは、電流検出用のセンサにある。求められる要件は、小型・軽量、使用温度範囲が-30~+60℃、ノイズの影響を受けにくいことなどが挙げられるが、もっとも重要なことは、電車起動時の1000Aを超える電流が間欠的に流れる環境において、数A程度の微小な電流が測定できることである。そして、もちろん経済的でなければならない。

様々な検出原理のセンサが考えられるが、精度がよく、経済的なホール素子センサを採用することとした。表1に検討したセンサの比較、図3にホール素子センサの原理を示す。

表1 誤操作防止装置用電流センサの比較

センサ	精度	経済性	記事	(参考)仕様
ホール素子	◎	○	・小電流領域の誤差が小さい ・非接触で測定可能	50A / 5V
シャント抵抗	△	◎	・小電流領域は測定できない ・非接触で測定不能	2000A / 100mV
光ファイバ	△	△	・小電流領域の誤差が大きい ・非接触で測定可能 ・ノイズに強い	20kA / 10V



貫通電流(I₀)に比例した磁束は鉄芯で収束され、ギャップに挿入されたホール素子を貫通し、ホール効果によるホール電圧(V_H)が発生する。

図3 ホール素子センサの原理

ホール素子センサの採用においても、大電流による残留磁気の影響でゼロ点の出力電圧(電流値が0Aの時の出力電圧)が0Vに戻らなくなるなど、数Aの領域における測定精度を考慮する必要があったため、表2に示す事柄について留意した。

表2 ホール素子センサの採用にあたり考慮した事柄

項目	内容
ホール素子の材料	温度特性に優れたホール素子を選定した
ホール出力電圧	ホール出力電圧を増幅してセンサ出力(0~5V)を確保する誤差を小さくするため、ホール出力電圧が大きい素子を選定した
磁路材	10A以下のヒステリシス特性を向上するため、パーマロイとした
構造	外部磁界の影響を受けにくくするため、貫通型とした
動作原理	ホールセンサ出力をフィードバックコイルに帰還させ、鉄芯をゼロ磁束とするサーボアンプ方式とした

4. 誤操作防止装置の構成

誤操作防止装置は、電流を検出して断路器操作の可否を判定するものである。電流検出部と情報処理部、それらを結ぶ制御線および操作許可表示灯にて構成される。開発品の取り付けイメージを図4に示す。

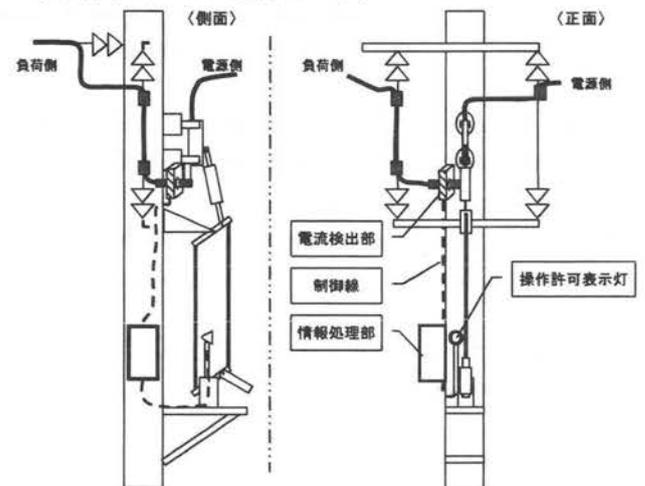


図4 開発品の取り付けイメージ

4.1 電流検出部

電流検出部は、電流センサを防水とするため、箱に格納し十分な絶縁強度を持たせたものである。

電流センサの測定範囲は0~+50Aで、測定精度は25℃一定のもとで、10A時点での±5%である。懸念していた1000Aを超える電流が流れた後のゼロ点のズレは、仕様では±1A以内としたが、0.4A程度となった。試作した電流検出部と電流センサの写真を図5、6に示す。

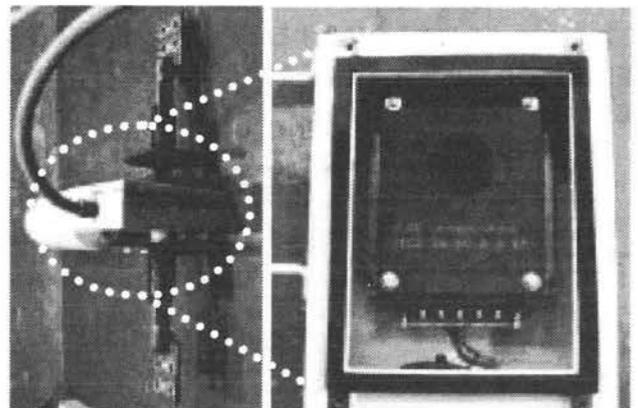


図5 電流検出部

図6 電流センサ

4.2 情報処理部

情報処理部の役割は次の 3 点である。

- (1) 電流センサに±15Vの電源を供給
- (2) 測定値と閾値を比較し、無電流を判定
- (3) 判定結果をインターロック装置に出力

このほか開発の背景で述べたが、複数の手動断路器を集中的に設置している特徴があるため、1つの情報処理部で5回線分の機能を持つように考慮した。複数回線分の情報処理部をコンパクトに構成するため、シーケンサを使用した。そのため、シーケンサの周囲が許容温度内となるように熱対策を講じたキャビネットを採用した。試作した情報処理部の写真を図7、8に示す。

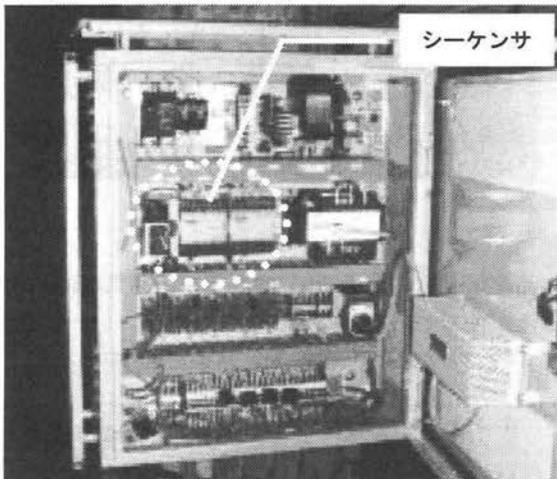


図7 情報処理部(内部)

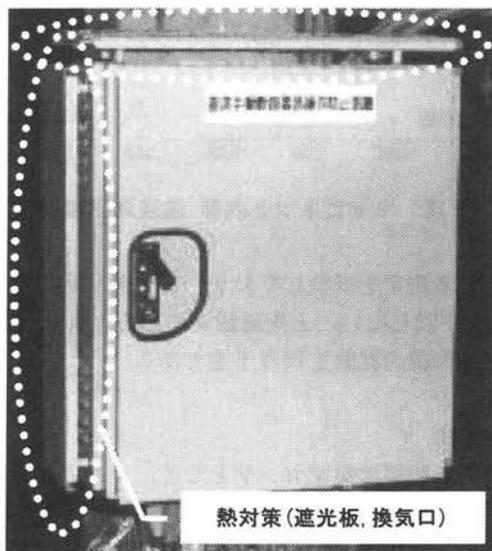


図8 情報処理部(外観)

5. 試作品の機能確認試験

試作した装置を長野総合車両センターの17番線に仮設し、パンタグラフ昇降状態を無負荷時と最小補機電流時の境界で判定できるか動作確認試験を実施した。在線させた電車は115系3両2MITである。試作した誤操作防止装置の仮設状況を図9に示す。

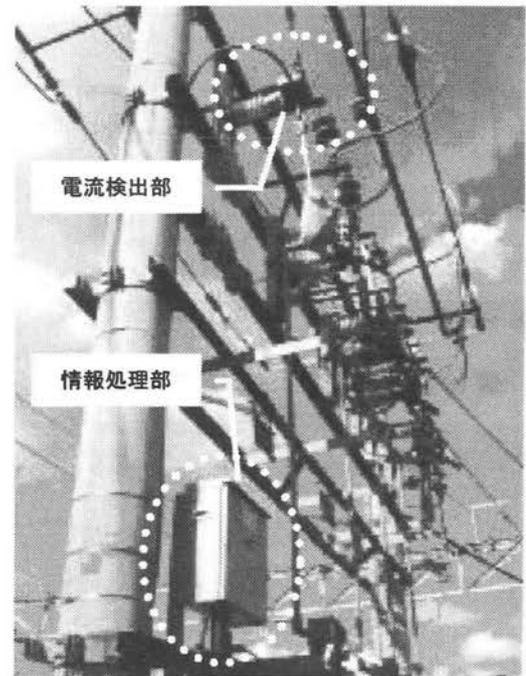


図9 誤操作防止装置の仮設状況

5.1 閾値の設定

閾値は、パンタグラフを降下させて断路器の操作が可能な無負荷状態と、パンタグラフを上昇させて車両側で補機電流を最小に抑えた状態の中間に設定できればよいため、それぞれの電流値を測定した。無負荷時、および補機電流最小時の電流波形を図10~13に、測定結果を表3に示す。

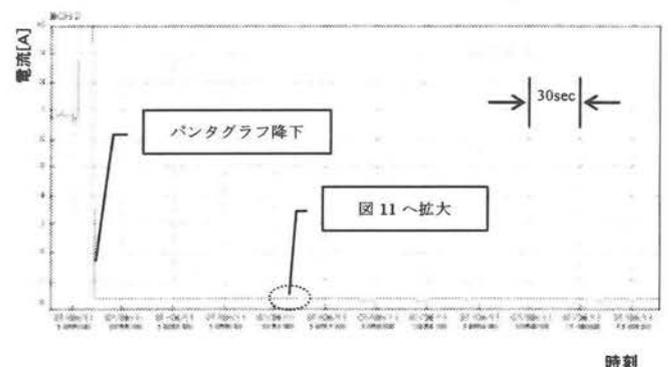


図10 無負荷時測定電流(長時間)

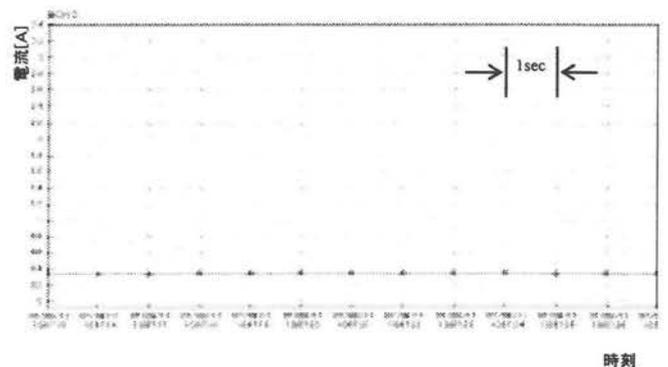


図11 無負荷時測定電流(短時間)

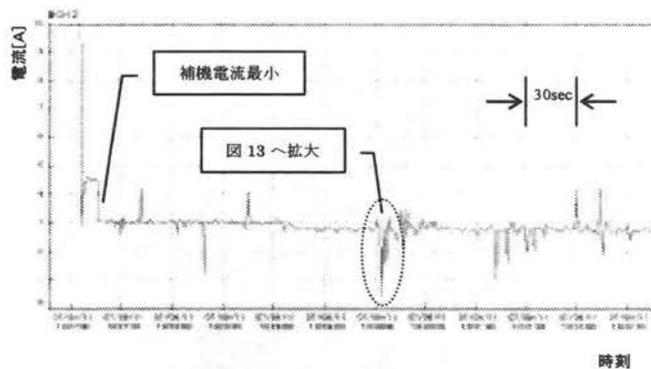


図 12 補機電流最小時測定電流(長時間)

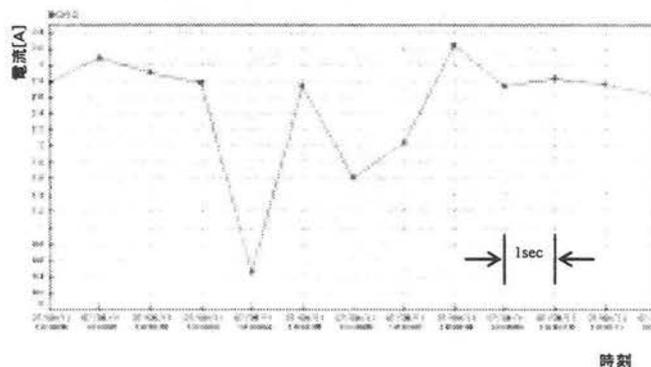


図 13 補機電流最小時測定電流(短時間)

表 3 電流測定結果(115系 2M1T)

測定時の状況	試作品 電流センサ 測定値
無負荷 (パンタグラフ降下)	0.33 ~ 0.34 [A]
補機電流最小 (パンタグラフ上昇)	平均 2.84 [A]

無負荷時の電流測定値は、最小 0.33A、最大 0.34A で変動がなく安定した値であった。補機電流最小時の電流測定値は、平均 2.84A であった。ここで、2 秒以内の瞬時値であるが、最大±2.5A 程度のノイズが入ることもわかった。そのため、閾値の設定は電流値だけでなく、時間の閾値も設定可能な仕様とした。

今回のフィールド試験では“1.5A、3 秒”をパンタグラフが降下したと判断する条件の閾値に設定した。

5.2 総合機能確認(i)

2007 年 12 月から 2 ヶ月間、検修担当の社員が実際に断路器を操作する中で、試作品の動作(電流が流れていない事で操作許可表示灯が点灯)を確認してもらい、期間中すべての操作において正常に動作し、誤った判定がないことを確認した。また、約半年間フィールドに据え付けた試作品を持ち帰り、防水や絶縁などが良好であることも確認できた。なお、このときの情報処理部は、1 回線分のみの試作品であり、シーケンサを使用していない。

5.3 総合機能確認(ii)

2008 年 8 月からシーケンサを使用した 5 回線分の機能を集約した情報処理部を、フィールドに設置してキャビネット内部の温度測定を行い、シーケンサの最大許容温度 55°C を超えないことを確認した。測定は、温度センサをキャビネット内部の筐体上面とシーケンサ直上の 2 箇所に設置して行った。温度測定状況を図 14 に示す。

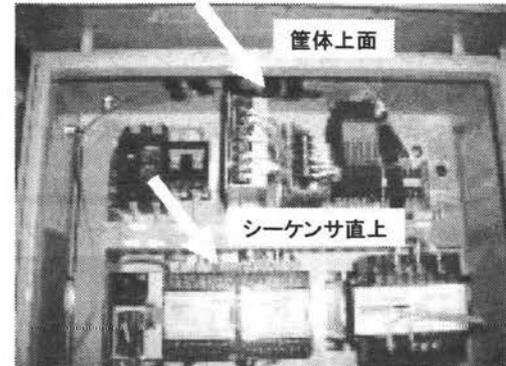


図 14 温度測定状況

試作品を据え付けた場所の 2008 年の最高気温は、34.8°C であった。キャビネット内部の最高温度は、シーケンサ直上にて 48.7°C となった。温度測定結果を図 15 に示す。

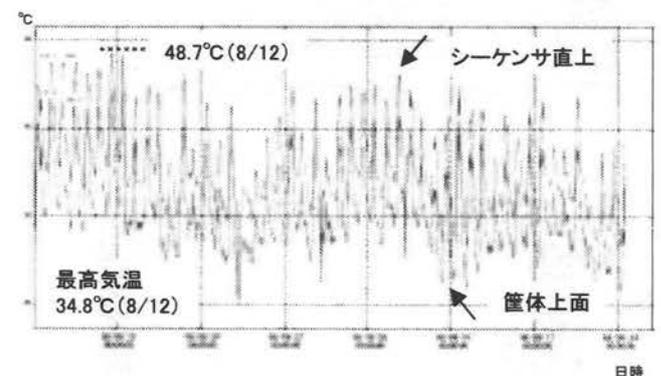


図 15 キャビネット内部 温度測定結果

現在も温度測定を継続しており、シーケンサの最低許容温度 0°C を下回らないことを確認中である。また、2008 年度末まで動作確認試験を行う予定である。

6. おわりに

誤操作防止装置の電流センサとして、コストと耐久性に優れるホール素子を使用したものを開発した。そして実車試験を行い、大電流による残留磁気の影響を受けずに数 A 程度の小電流を測定できることなど、センサの基本原理を確認できた。

現在、実用化へ向けて情報処理部コンパクト化のため、複数回線分の情報処理部を集約化した試作器の動作確認試験を実施中である。誤操作防止装置の開発が完了した後、インターロック装置と組み合わせることで設備することによって安全性向上に寄与できるものと考えている。