

## S2-5-7

## 可搬型レール電流計測装置の試作

[電] ◎赤木 雅陽 [電] 長谷 伸一 ( (財) 鉄道総合技術研究所)

[電] 井上 一 (永楽電気 (株)) 川瀬 隆治 (東急建設 (株))

Trial Production of the Portable Rail Current Transformer for DC Feeding Circuits  
Masataka Akagi, Member, Shinichi Hase, Member (Railway Technical Research Institute)  
Hajime Inoue, Member (Eiraku Denki Corporation), Takaharu Kawase (Tokyu Construction Co. Ltd.)

Usually, we cannot measure the direct current at return circuits excluding the impedance bond. Therefore, to detect the currents, we produced a portable rail current transformer for DC feeding circuits. In this paper, the outline of the measuring instrument and the method of measuring leakage currents in the return circuits are summarized. The validity of the measuring instrument and the measurement method is verified by the experiment.

キーワード：帰線回路、磁界センサー、漏れ電流

Keyword: return circuits, magnetic flux density sensor, leakage current

### 1. はじめに

直流電気鉄道においては、これまでレールに流れる電流を現場で直接測定することは困難であった。そこで、筆者らは以前からレールの近傍に発生する磁界を直接計測し、電流値に換算する方法によりレール電流の測定を行う装置について検討を進めてきた<sup>1)</sup>。今回、現場で測定可能な可搬型のレール電流計測装置の試作を行い、所内試験により本装置の基礎特性を把握し有用性を示すとともに、踏切等での漏れ電流調査への適用方法について検討を行った。以下に、その概要について述べる。

### 2. 開発の経緯

一般に、直流き電回路に流れる電流を簡単に計測できる場所は変電所とインピーダンスボンドの中性点<sup>2)</sup>に限られている。き電線やトロリー線等で測定を行う手法自体はこれまでもいくつか報告されているが<sup>3)4)</sup>、加圧部のため施工に工夫を要する、ないしは車両限界に近接する等の理由から容易とはいえない。

筆者らは、き電線に比べて電圧の低いレールの下部に磁界センサーを取り付け、発生磁界を電流値に換算する方法による電流測定装置の開発を行ってきた。しかし、以前検討した装置においては、複数箇所での測定値を集約する機能を有していなかった他、センサーから得た電流値を取得するためにデータレコーダ等の電源容量の大きな汎用記録装置を別途準備する必要があったため電源環境の貧弱な地点での測定に難点があった。

そこで、以下の点に留意して新たな装置の開発を行った。

- (1)①現場での測定が容易に行えるよう装置を小型軽量化し、100V電源のない地点でも測定できるようバッテリー駆動が可能な機構、電源容量とする。
- (2)トンネルの内部とトンネルの入り口といったように離れた二点間でも測定ができるよう、沿線電話回線等のメタリック伝送回線を利用したデータ転送機能を備える。
- (3)取得した電流値は容易に取り扱えるよう、市販の表計算ソフト(excel等)で扱える形式とする。また、レール対地電圧等、他の測定データと連携できるよう出力端子を別途設ける。

### 3. 装置構成と用途

#### 3.1 装置構成

今回試作を行ったレール電流計測装置の構成を図1に、磁界センサーと治具の様子を図2に、治具を用いてレールに仮設した際の様子を図3に、デジタル表示を行うノートパソコンの様子を図4に示す。本装置の構成概要を以下に示す。

- (1) レール電流センサ
- (a) 磁界センサ部

帰線電流によりレール下部に発生する磁界をフラックスゲート型磁界センサーにより検出し、センサ処理部へ出力信号を送信している。フラックスゲート方式による磁界センサーは非直線性が強く、ダイナミックレンジも狭いため、帰還巻線による負帰還動作を施したゼロフラックス方式を

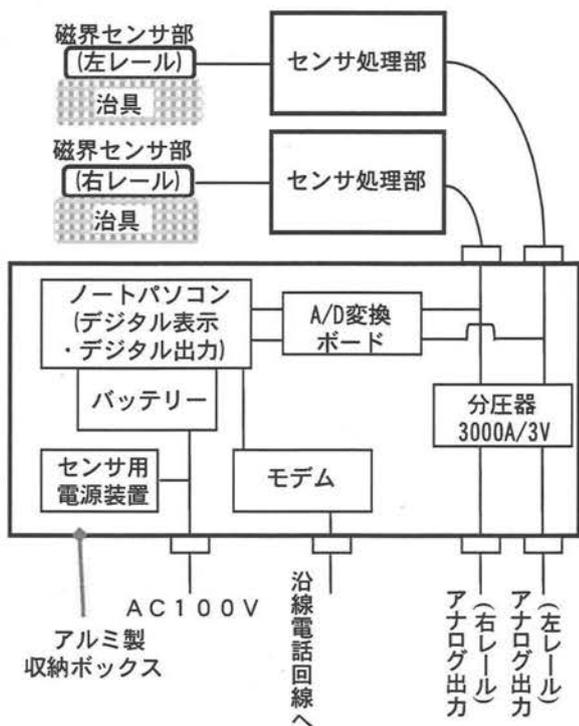


図1 レール電流計測装置の構成

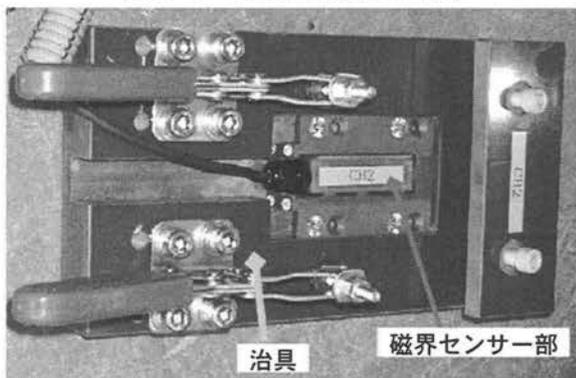


図2 磁界センサー部と治具の様子

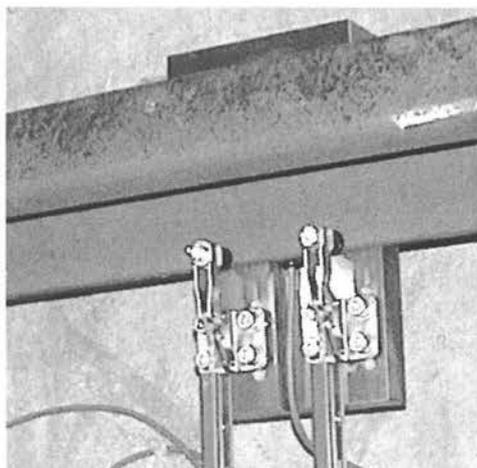


図3 レールへの仮設状況



図4 デジタル表示を行うノートパソコンの様子

構成している。そのため、広い温度範囲において高安定と良好な直線性の磁界センサとなっている。

(b) センサ処理部

磁界センサ部から受信した信号を読み取り、アンプ、フィルタにより出力を増幅、フィルタ処理し、アナログ出力ユニットへデータを出力する。なお、レール電流センサの定格は3000A連続としている。

(c) 治具

磁界センサ部をレールに仮設・固定するために用いる。本固定治具は、レールに電気的な影響を与えないように、絶縁体であるベークライトでできている。50N レール、60N レール等、断面形状が異なるレールに対応するため、固定治具は各レールの種類に応じてセンサーの取り付け位置を調整できるように構成されている。これにより、どのレールでも確実にセンサーが取り付けられるようになっている。

(2) アナログ出力ユニット

レール電流センサの出力を分圧器と BNC 端子を用いてアナログ出力(3000A/3V)に変換する。

(3) A/D 変換ボード (入力ユニット)

レール電流センサからの出力データを 1msec でサンプリングし、分解能 12bit で A/D 変換を行う。A/D 変換ボードからの出力データをパソコン上で換算係数を用いてレールに流れる電流値に換算する。

(4) デジタル出力ユニット

(a) デジタル表示部

電流値をノートパソコンを用いてデジタル表示する。表示内容は 2 台のレール電流センサが測定した電流値の和と差の値(和電流・差電流)、不平衡率(%)とし、2 秒おきに表示を更新するものとする。また、レール電流センサを軌条の片側のみに施工して測定する方法(片軌条測定)・レール電流センサを左右の軌条両方に施工して測定する方法(両軌条測定)に合わせた表示内容とする。

(b) モデム伝送

レール電流計測装置を 2 台 1 組で使用する際に、電流値をデジタルデータとしてモデムとメタリック伝送回線を介

して相手の装置に伝送する。また、回線試験ボタンを押すことで、予め伝送が可能かどうか確認することができる。

(c) デジタルデータ出力

電流換算した電流値をデジタルデータに変換する。データはCSV形式とし、1秒間の平均値を1秒毎にデータ蓄積するものとする。また、レール電流計測装置は親装置、子装置2台1組で使用し、親装置は親子のデータを一緒に出力できるものとする。

(5) 収納ボックス

ノートパソコン等を収納する。収納ボックスは可搬型で、屋外での使用に耐える構造となっている。

3.2 本装置の用途

本装置は主に以下に示すような測定への適用を考えている。また、各用途における測定器の構成を図5～7に示す。

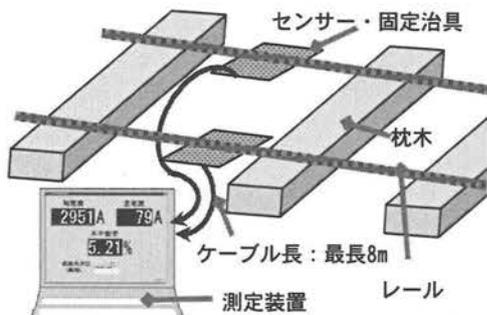


図5 帰線電流の不均衡度測定における装置構成

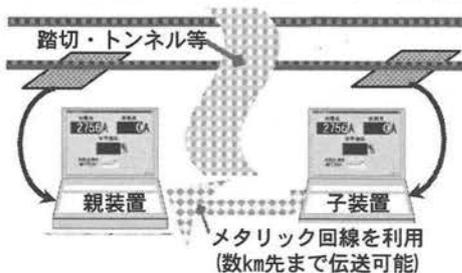


図6 漏れ電流調査における装置構成

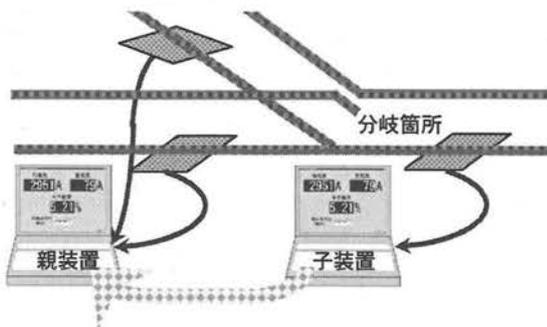


図7 分岐箇所での分流電流調査における装置構成

(1) 帰線電流の不均衡度測定

左右の軌条に流れる電流値を検出することで、任意の箇

所での帰線電流の不均衡度を調査することができる。

(2) トンネルや踏切部等での漏れ電流調査

異なる2点間での電流値を検出し、その差を演算することで漏れ電流の量を推定することができる。

(3) 車両基地や分岐箇所での分流電流調査

分岐箇所の本装置を取り付けることで、分岐箇所の各回線に流れる電流の割合を知ることができる。応用として車両基地における局所接地箇所の発見や、事故時の分流電流比を利用したロケータ装置への適用等が考えられる。

4. 動作確認試験

鉄道総研所内において、長さ8mに切断した実際の50Nレールを用い、本装置を用いた直流大電流通電試験を行った。

(1) センサーの検出性能確認試験

左右のレールに流れる電流値に不平衡が生じていない場合は、左右の両センサーが同じ電流値を検出する必要がある。そこで、同じレールにセンサーを2箇所設置し親装置にそれぞれを接続することで、電流が平衡している場合の両軌条測定と見立ててセンサーの検出性能確認測定を行った。図8に測定時の画面表示を示す。1本のレールに3000Aを通電した場合、左右の軌条の電流を足し合わせると6000Aが流れることになるが、正しく計測できていることが分かる。



図8 センサーの検出性能確認試験におけるデジタル表示

(2) 伝送機能確認試験・分流電流検出性能試験

分流電流調査に本装置を用いるためには、親装置と子装置でのデータ伝送機能が正常に動作する必要がある。そこで、所内に敷設したレールの中に分流回路を作り、約1500A、約3000Aを通電中に電流の数%を分流させた。分流回路の手前に親装置を、後方に子装置を設置し、親装置にてデータを集約後親装置の電流値から子装置の電流値を差し引くことで、分流電流値を導出した。分流回路にクランプCTを設けることで精度の比較も行った。測定結果を表1に示す。表より、分流させる電流値が小さい場合においてもよく検出できていることが分かる。また、すべての試番においてデータの伝送に成功した。なお、さらなる検出性能の向上には、測定器の分解能を上げるほかに地磁気やレールの残留磁束密度による影響(数A～10A程度)の補正が必要と思われる、現在その処理方法について検討中である。

表 1 分流電流の検出性能

レール電流装置による測定値		主回路電流に対する分流電流の割合 (%)	分流電流 (クランプ CT) (A)	分流電流計算値(親装置-子装置) (A)	クランプCTと計算値との差 (A)
親装置 (A)	子装置 (A)				
1522	1371	10.8	164	151	13
1487	1407	5.0	74	80	6
1441	1424	0.7	10	17	7
2820	2651	6.4	181	169	12
2752	2661	3.3	91	91	0
2705	2683	0.5	12	22	10

### 5. 踏切箇所における測定手法の検討

前項の試験により、本装置を親装置、子装置として2台1組で使用することで、漏れ電流として分流した電流を精度良く検出できることがわかった。しかし、実際の線路上ではセンサ取り付け位置の上部を車両が通過する際に電流値が複雑に変化し、漏れ電流の検出精度に影響を与えることが考えられる。

そこで、鉄道総研所内の実験線にある踏切箇所において、本装置により車両走行時のレール電流値の測定を行った。測定には2両編成の路面電車(出力180kW)を使用し、DC750Vにて片送り電を行った。装置の構成は測定装置、センサを2台用いた片軌条測定とし、仮設に際しては、図9に示すように踏切箇所の左右にセンサと測定装置を設置し、親装置、子装置の間は電話回線の代わりに0.75mm<sup>2</sup>ツイスト電線を使用して接続した。親装置のセンサと、子装置のセンサとの間の距離は約10mである。測定中は無人の状態にてデータの収集を行った。なお、前述のレールの残留磁束密度によると思われる影響からか、き電停止中に親装置で-7A、子装置で+3Aの値が出力されていた。そのためき電停止中の値をオフセット値として測定値の補正を行っている。

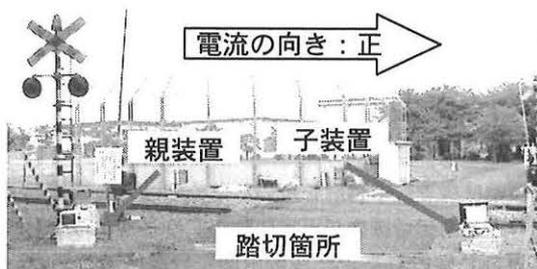


図9 踏切箇所における測定装置の仮設

図10、図11に測定結果を示す。図中の電流値は、レールに流れる電流が親装置から子装置の方向へ向かう向きを正としている。図10より、親装置、子装置での測定値はよく一致していること、車両が通過する際に親装置と子装置で電流値が若干異なることがわかる。また、図11よりレール対地電圧と親装置、子装置との電流値の差には相関が見られないことが分かる。これは、当該踏切箇所周辺が一本のレールで構成されていることと、測定当日の天候が曇りであったため、レール対地電圧が多少高い場合でも漏れ電流

が発生しにくい状態であったことが考えられる。

以上のことから、センサの取り付け間隔が車両の長さに満たない場合は、漏れ電流があまり生じない状況においても車両がセンサ取り付け位置の上部を通過する際の電流変動を考慮してデータ処理を行う必要があることがわかった。親装置と子装置のセンサの間隔がさらに拡大した場合や複数列車が存在する際の特性については今後の検討課題としたい。

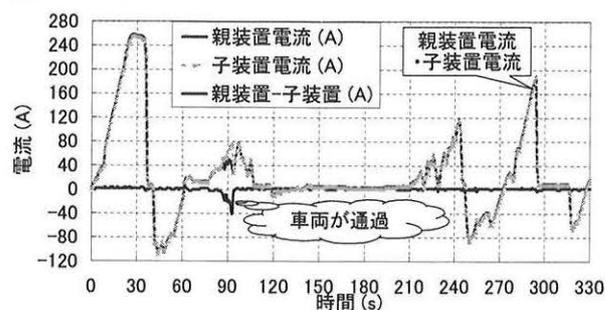


図10 踏切箇所における測定結果(その1)

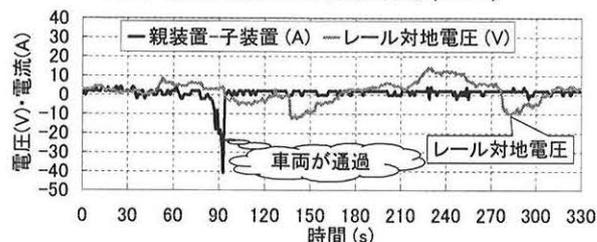


図11 踏切箇所における測定結果(その2)

### 6. むすび

今回、現場で測定可能な可搬型のレール電流計測装置の試作を行い、計測装置の概要を紹介した。また、所内における実験の結果、本装置を利用することで漏れ電流の調査が可能であること、精度向上のためにはレールの残留磁束密度の影響や車両通過時の電流変化について検討する必要があることを明らかにした。

今後は、営業線区での測定を通じて上記の問題点の改良を行うとともに、レールの残留磁束密度の経時変化等について調査する予定である。

### 参考文献

- 1) 川瀬隆治, 金澤克美, 赤木雅陽, 長谷伸一: レール電流計測装置の開発, 平成17年電気学会全国大会, Vol5, No.212, 2005.3
- 2) 大同信号: 可搬型で容易に電車線帰線電流の測定可能な帰線電流不平衡測定器, DAIDO, Vol102, 2002.6
- 3) 例えば大川弘美: 循環電流実測による一考察, 電力と鉄道, NO.358, pp28, 1985.2
- 4) 鈴木顕博, 佐藤勇輔, 島田健夫三: アルミ線圧縮接続部の断線メカニズムと保守方法, 鉄道総研報告, Vol15, No6, 2001.6