

## 新しい帰線電流測定器の開発

The development of new measuring device of return current



野口 隆文\*



鈴木 雅彦\*



小林 巧\*

For the efficient maintenance of a track circuit, we developed a new measuring device of return current of train. Because the unbalance of return current of each rail causes the trouble of track circuit, we should measure return current. However, this device which we use now has some problems such as measurement time being short.

We performed some examinations for a prototype. As a result, we confirmed that this prototype satisfied demand specifications. We continue development for the practical use.

●キーワード：軌道回路、不正落下、帰線電流、測定器、無線通信、障害調査

### 1. はじめに

軌道回路故障の原因となる帰線電流の不均衡を調査する測定器は、現在多くの課題を抱えている。本研究では、それらの諸課題を解消する新しい帰線電流測定器を開発し、メンテナンス性の向上をめざすものである。

レールに電気を流して列車を検知するのが軌道回路であり、この電流を信号電流と呼ぶ。軌道回路の詳細については2章で紹介するが、列車検知を行う軌道回路が故障すると、信号機に進行を出すことが出来ず、大きな輸送障害に繋がる。一方、レールには架線から供給された電気の変電所に戻る帰線電流も流れている。図1に示すとおり、信号電流と帰線電流が両方ともレールを流れているため、帰線電流の流れ方により信号電流が影響を受け、軌道回路故障になる場合がある。

帰線電流が左右レール2本共に流れる軌道回路を複軌条軌道回路（以下、複軌）と呼び、帰線電流の観点から言えば抵抗を減らすため、軌道回路の観点から言えば安定動作を目的として、幅広く導入されている。

複軌において、左右レールに均等に帰線電流が流れると、軌道回路は安定する。しかし、左右レールのどちらか一方に

帰線電流が多く流れた場合（以下、不平衡）、軌道回路は不安定になり軌道回路故障（列車の誤検知）の一因となる。そのため、不平衡が想定される場合、専用の測定器を用いて障害調査を行っている。しかし同測定器は10年以上前に開発されたものであり、使用時間が短い・本体が大きいなどの課題を抱えている。そこで、現在の帰線電流測定器が抱える問題を克服した新しい測定器を開発することで、メンテナンス性の向上を目指した。試作やフィールド試験の結果は良好であり、2016年度の実用化を予定している。

### 2. 軌道回路と帰線電流

ここでは、軌道回路と帰線電流の関係について説明する。前節で説明したとおり、レールには信号電流および帰線電流が流れている（図1）。信号電流（図1斜線矢印）はレールに挿入された絶縁で囲まれた部分（閉そく区間）にのみ流れている。信号電流は送電から送られ、インピーダンスボンド（以下、ZB）⇒レール⇒ZB⇒着電と流れ、負荷である軌道リレーを動作させている。図1ではイメージとして電球点灯を軌道リレー動作とし、電球滅灯を軌道リレー落下とする。電球点灯時は列車非在線、滅灯時は列車在線となる。閉そく区間に列車が来ると、車軸により信号電流は短絡され、軌道リレーは落下する（電球滅灯）。この原理により、列車の在線を検知する。

一方架線から列車を經由して左右両方のレールに流れた帰線電流（図1実線矢印）は、遠方にある変電所に戻さなければならない。そこで、隣接閉そく区間から来る帰線電流は、隣接閉そく区間のZB⇒ZB⇒両レール⇒ZB⇒別の隣接閉そく区間のZBへと流れる。ZBはこのように、信号電流と帰線電流を閉そく区間境界で区分している。

軌道回路は、信号電流が流れている機器の総称である。各構成機器であるレール、ZBなどの各機器のインピーダンスにより、軌道リレーは動作している。この軌道回路の故障に

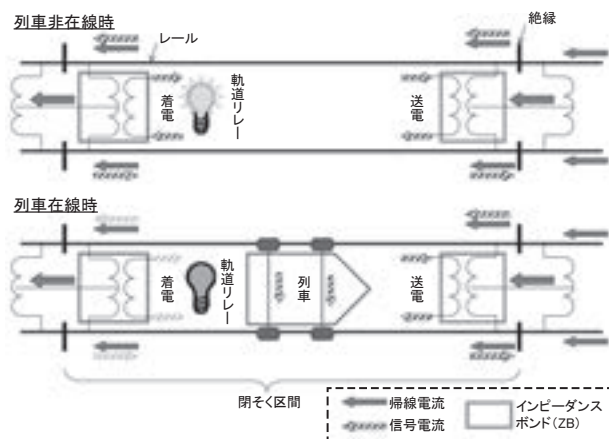


図1 信号電流と帰線電流

関係するのが、構成している一部品であるZBである。帰線電流が左右レール均等に流れていると、ZB内部のコイルは正常な動作をし、軌道回路も安定する。しかし、不平衡が発生すると、ZB内部のコイルは帰線電流により磁気飽和を起し、インピーダンスが低下する。同時に軌道回路においても、ZBの内部インピーダンス低下により、軌道リレーは落下する。

軌道回路と帰線電流には上記の関係性があるため、軌道回路故障時に帰線電流を調査する必要性が生じる。

次に帰線電流の調査例を説明する。不平衡は分岐器内の軌道回路で発生しやすい。帰線電流の流れ方の一例を図2に示す。これは、並列軌道回路と呼ばれる方式で、信号電流は分岐する側には常時は流れず、列車の車軸によって短絡された時のみに流れる回路である。なお、帰線電流は分岐する側にも流れるようにZB (図2 ZB3) を設けることとする。

図2上図のように帰線電流が各ZB1・ZB2において左右レール均等に流れている場合は、ZB内部のコイルは正常に動作し、軌道回路におけるZBの内部インピーダンスは所定の値を得られる。

しかし図2下図のように、ZB2において左右レールに異なる量の電流が流れる場合は、ZB2の内部インピーダンス低下が発生し、軌道回路としてはZB2の所定インピーダンスが得られず、軌道リレーは落下する。

前述のような事象を調査するために、ZB1～3の同時刻での帰線電流の値を知る必要がある。また、ZB1から入った電流が、ZB2とZB3にどのような比率で流れているかを知るために使用するのが、帰線電流測定器 (不平衡検知器) である。

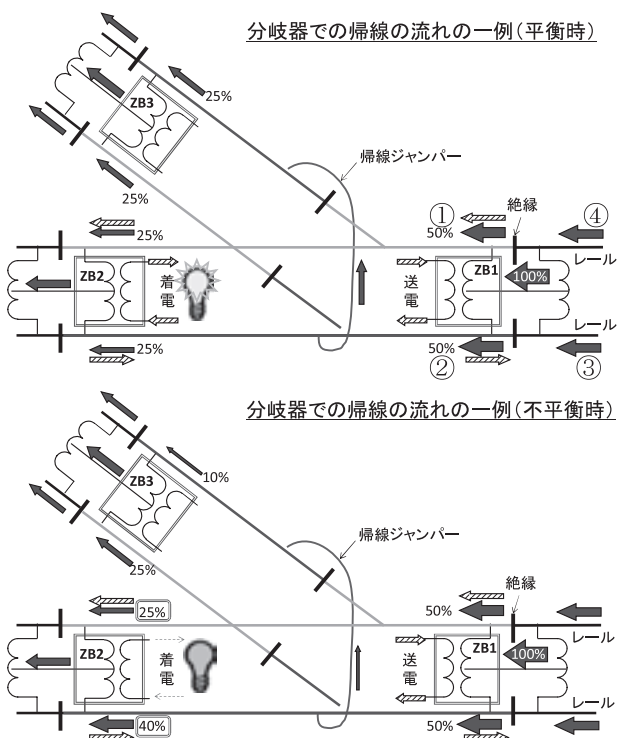


図2 分岐器における帰線電流の流れ

左右レールの色の違いは、信号・帰線各電流の経路の違いを示す。  
各%はZB1の中性点での帰線電流を100%とした場合の電流量を示す。

### 3. 帰線電流測定器

帰線電流を調査する帰線電流測定器の使用方法は、ZBとレールを結ぶ2本のZB導線にクランプ型電流センサを設置することで電流測定を行い、左右導線の電流差を測定する。しかし、下記のような問題を抱えている。

- ・測定時間が短い (約7～8時間)

帰線電流が最も多く流れる朝の通勤時間帯のデータを測定するには、電源容量が小さく長時間の使用ができないため、深夜早朝に測定器を設置する必要がある。

- ・測定精度が悪い (最大 $\pm 400\text{A}$ )

図2を見てもわかるとおり、隣接する閉そく区間から流れる帰線電流と、当該閉そく区間の電流値は等しい。しかし、測定器の精度が悪いため、図2において①+② $\neq$ ③+④となり、大駅の構内で帰線電流の流れ方を追跡することができない。

- ・複数個所の測定結果が同時に照合できない

既存の測定器は、同時に出力できる測定結果は1つのZBのみである。そのため、複数のZBの帰線電流測定結果を比較する作業は、人手で行わなくてはならない。具体的な作業を図3で説明する。例では駅構内の帰線電流を8台の測定器を用いて計測する。測定結果は、各測定器毎に出力されるため、印刷された多数の出力結果を、人手により整理する必要があるため、手間がかかっている。

- ・本体が大きい

寸法 305×290×100 (mm)

重量 2.1 (kg)

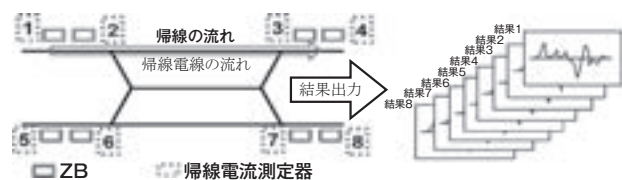


図3 現在の測定結果表示確認方法

### 4. 開発コンセプト

新しい帰線電流測定器を開発するにあたり、以下のようなコンセプトを設定した。

- ・測定時間は24時間以上

帰線電流が最も多く流れる朝の通勤時間帯のデータを測定する場合でも、測定器の設置は昼間に実施可能とした。なお、測定方法を変更することで、更なる測定時間を延長させる機能を実現した。詳細は5.3節で述べることとする。

- ・測定精度の向上

帰線電流は列車非在線時には殆ど流れず、列車が接近すると数百～2000A程度まで流れる。すべての領域において高精度の測定を行うと、センサの肥大化や高コスト化が懸念される。そこで、測定頻度が高い100～500Aの測定時に、

数十A程度の誤差内にて測定可能とするため、測定誤差目標を5%程度とした。

・複数ヶ所の測定結果の同期表示

複数ヶ所の測定結果を同じ時間軸で確認することにより、帰線電流の追跡を容易に行えることを目標とした。現在の測定器で実装しているGPSによる同期では、トンネル等で使用できないという課題があった。そこで、本研究では高精度の内部時計を搭載した測定器を、使用前に時刻補正することにより、複数台で測定した結果を同期させる方式とした。

## 5. 開発内容および結果

### 5.1 外観・形状・仕様

開発品の外観を図4に、性能を表1に示す。開発コンセプト(使用時間36時間以上、測定精度5%程度、複数個所の測定結果の同期表示等)を満たす機能・性能を持った帰線電流測定器を開発することができた。後述の各開発成果も良好であった。



図4 開発品の外観

表1 開発品の主な性能

項目	内容
測定電流	DC : -100~-4000A、+100~+4000A
測定レンジ	1000,4000A (オートレンジ切替)
測定周波数	45~65Hz,DC
測定精度	5%rdg. (20℃時) 0.1%rad./℃
測定周期	1s,10s
測定導体径	φ55mm以下
電源	DC7.2V
消費電流	400mA以下
使用時間	36時間以上 (1s周期)
外形	本体部 175x125x124mm センサ部 外径φ130mm 内径φ65mm
重量	1.8kg
データ伝送	USB / Bluetoothクラス2
内部時刻ズレ	2.6s/月未満
使用温度	-20℃~+60℃

### 5.2 装置構成

全体構成を図5に示す。データの測定および記録を行う帰線電流測定器と、その設定やデータ収集を行う解析装置で構成している。使用方法は、「解析装置による使用前の測定器の時刻補正→測定→データ収集」である。

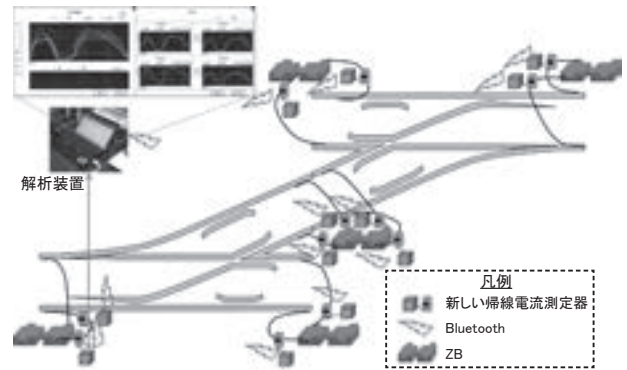


図5 全体構成

### 5.3 使用時間の延長

開発コンセプトで目標とした24時間以上の使用を実現するため、本体の省電力化、電源の強化を行った。また、更なる測定時間の延長を行うため、測定方法の変更や外部電源入力を実装した。

(1) 省電力化

測定器の使用時間延長のため、省電力化を考慮した部品選定 (CPUや電源など) を行った。また、従来品の測定器は電流を測定するセンサと測定器本体の間の電力消費が大きかったため、同区間をシリアル通信とすることで、省電力化を図った。

(2) 電源の強化

電源については長時間での使用を実現するため乾電池を止め、二次電池を使用した。使用する二次電池の種類選定にあたっては、使用回数、価格、温度特性、使用時間を総合的に勘案して、低温時での動作時間に不安はあるものの、ニッケル水素電池を採用した。

(3) 測定方法変更による更なる測定時間の延長

仕様上の使用時間以上の更なる長時間測定を実現するため、2つの方法を実装した。

一つ目は、測定周期の選択である。既存の帰線電流測定器の測定周期は1秒であったが、本開発品では1秒と10秒を選択できるようにした。

二つ目は、タイマー機能の追加である。帰線電流を測定したいのは通勤ラッシュ帯など限られた時間帯が多い。そこで、使用したい時間だけ測定できるようにした。

(4) 外部給電による更なる測定時間の延長

充電用に用いる外部電源入力に外部バッテリーをつなぐことで、更なる長時間の測定を可能とした。また、外部給電中に測定を継続することも可能である。

## 5.4 測定精度の向上

測定精度は100～500Aの測定時に、数十A程度を目標にしているが、2000A程度の大電流も測定する。測定精度と大電流測定の両立を図るため、1000Aと4000Aの2レンジでの電流測定が可能な電流センサを採用した。使用するセンサはホール素子であるが、近年のセンサ周辺回路の乗数設定が改良され、本開発品の測定精度が向上した。また、レンジの選定理由は、小電流測定時でも数十Aの測定精度を得るため、センサ精度を5%程度とし、レンジを1000Aとした(測定精度±50A)。また、帰線電流は片レール分で最大2000A程度と想定し、中性点など両レールの帰線電流が合流する部分でも測定可能となるように4000Aと設定した。常時2つのレンジでの測定を実施し、測定結果により最適なレンジを選択するようになっている。

## 5.5 測定結果の同期表示

複数個所で測定した帰線電流を同期して表示するため、本件では高精度の内部時計を搭載した測定器を、使用前に時刻補正することにより、複数台で測定した結果を同期させる方式を採用した。測定結果を同期表示させた結果が図6である。

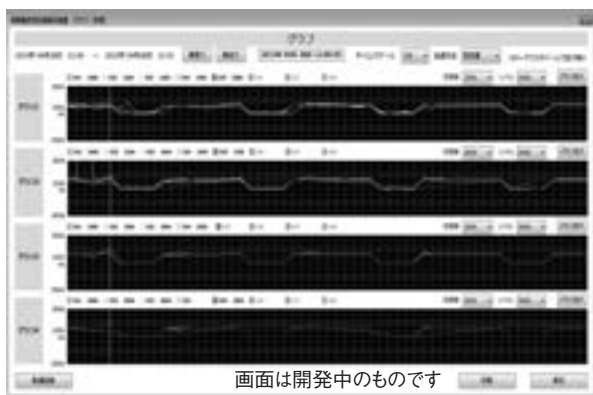


図6 測定結果の同期表示

## 5.6 そのほかの改良点

本開発を行う上で、既成品の筐体を活用する等のコスト低減に努めた。また、コストの大幅な増加に繋がらない範囲で、下記の機能を実現した。

### (1) 無線によるデータ収集

Bluetoothクラス2により測定器のデータ収集などを行うことで、鉄道沿線に近寄ること無くデータ収集ができるようにした。通常の通信距離は10m程度であるが、オプション機器を備えることにより数十m程度まで延長することが可能である。

### (2) 複数台測定器への同時操作

解析装置と各測定器間のデータ送受信や設定は、電波が届く範囲にあるすべての測定器に対して、逐次処理を行うこととした。これにより、ユーザーは一度にデータ送受信などの操作が行えるようになっている。

### (3) 防水化

屋外で使用するため防水化を施したため、降雨の中での使用も問題は無い。

## 6. 試験結果

フィールド試験も含め、概ね良好な結果であり、開発品が高い信頼性を備えたものであることが確かめられた。測定時間については、目標とする24時間以上の使用が可能となった。また、測定精度については目標とする5%程度を実現した。なお、高温・低温で使用した場合、また特定ノイズが影響した場合は測定精度が8%程度にはなってしまうものの、実用には問題無い。更に、複数ヶ所の測定結果の同期表示については、同時に8chの表示を実現し、測定結果がわかりやすく確認できるようになった。試験結果の詳細については、表2に示す。

表2 試験結果

試験項目	結果
測定時間	63時間(測定周期 1s) 148時間(測定周期 10s)
充電時間	180分
測定精度	DC 3%(常温) 6%(-20℃,+60℃)
温度サイクル試験	-30℃で1時間、+60℃で1時間の温度サイクルを5回経過後に破損無し
内部時刻のズレ	470ms/7日
放射高周波電磁界	放射電磁界(144M,430M,1.2G,2.4G Hz)を照射した環境で電流を測定し、最大14%の誤差があった。
フィールド試験	営業線で開発品の試験を行い、正常に機能したことを確認した(図7)。
散水試験	JIS E 3017 散水試験3種を行い、正常に機能したことを確認した。



図7 フィールド試験

## 7. まとめ

新しい帰線電流測定器の開発によりメンテナンス性の向上をめざした本研究では、目標とする機能・性能を満たした開発を行うことができた。現在、2016年度での実用化を進めている。