

○野口 隆文 本間 健一 鈴木 雅彦 (東日本旅客鉄道株式会社)
高森 俊之 上原 広行 (大同信号株式会社)

Failure detector and synchronized data display system for track circuit

○Takafumi Noguchi, Kenichi Honma, Masahiko Suzuki, (East Japan Railway Company)
Toshiyuki Takamori, Hiroyuki Uehara, (Daido Signal Co., Ltd.)

Since the track circuit exists broadly, if failure occurs, it will require time for investigation and restoration of a track circuit. Furthermore, the congestion of information also occurs. Then, we made the concept unattended measurement, unmanned transmission, and automatic pinpointing of the locating fault, and developed Failure detector and synchronized data display system for track circuit. Thereby, we realized reduction of the required staffs at the time of investigation, sharing of information, and prevention of the judgment error.

Keywords : track circuit, commercial frequency, SMET, failure detector, unattended measurement, sharing of information

1. はじめに

軌道回路が故障した場合には、原因究明に多大な時間を要する場合がある。この原因は以下のとおりである。

- ① 測定箇所が多く、機器が広範囲に点在し、調査のための多くの手間と時間が必要
- ② 多くの情報が輻輳し、共有化が難しい
- ③ 故障部位の判断を間違える可能性がある

そこで、軌道回路時の早期復旧を目的として、軌道回路測定器及び軌道回路故障解析装置の開発を行なった。開発の方針は以下の3つである。

- ① シミュレーションにより故障部位特定論理を導出し、軌道回路毎に異なるケーブル長や軌道長等の固有の構成情報を必要とせず、故障時のデータのみで故障部位を特定する。
- ② データを無線伝送して集約することで、複数個所のデータを同時に確認し、故障調査時の手間と時間を削減する。
- ③ 集約したデータをメールで転送することで、情報の共有化を実現する。

軌道回路測定器及び軌道回路故障解析装置を試作して機能確認試験を行なった結果は、良好であった。

2. 開発の流れ

軌道回路測定器及び軌道回路故障解析装置の開発は、以下の工程で行なった。

- ① 故障部位特定論理の研究
- ② 軌道回路測定器の開発
- ③ 軌道回路故障解析装置の開発
- ④ 機能確認試験

3. 故障部位特定論理の研究

3.1 前提条件

軌道回路の故障部位を自動的に特定する論理について、以下の条件の下、研究を行なった。

- ① 故障原因は、短絡と開放の2種類とする(表1)
- ② 故障部位の区別は、機器室・送電ケーブル・レール・着電ケーブルの4つとする
- ③ 故障部位は特定するが、原因は特定しない
- ④ 故障部位の特定のための測定点は、機器室(送電)・送電側インピーダンスボンド(以下ZB)、着電側ZB・機器室(着電)の4箇所とする
- ⑤ 故障発生時のデータだけで、故障部位を特定する
- ⑥ 商用軌道回路とSMET(Sending Micro Electronics Track circuits)形列車検知装置(以下SMET)を対象とする

Table 1 Failure conditions

Failure conditions		Resistance
Cable	Short circuit	0.1 Ω or less
	Open circuit	10 k Ω or more
Rail	Short circuit	0.3 Ω or less
	Open circuit	20 Ω or more

3.2 検証方法

シミュレーション及び模擬軌道回路において、軌道回路の構成(図1)を変化させ、レール・ケーブルにて故障を発生させる。その際の機器室、ZBの電圧・電流値(図1中P1~P4)の傾向から故障部位特定論理を導き出した。変化させた構成要因は、以下のとおりである。

軌道構成	棒線、片開き分岐器
軌道長	50m~2km(棒線) 20~100m(片開き分岐器)
ケーブル長	50m~2km
ケーブル断面積	1.25、2、10、30mm ²
漏れ抵抗	0.01、0.3、0.7S/km

上記パターンは、実際の軌道回路をほぼ網羅しているため、故障部位特定論理は大半の軌道回路に適用できると考えられる。

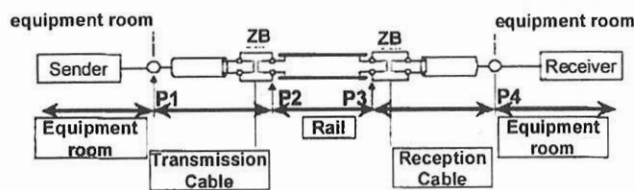


Fig.1 Test composition

3.3 検証結果

検証結果の一例が図2である。送信ケーブル・レール・受信ケーブル(図1)で短絡・開放を行ない、計6パターンの故障を発生させた時のP1での電流値傾向を示している。①～⑥の内訳は以下のとおりである。

- ① 送信ケーブル 短絡
- ② 受信ケーブル 短絡
- ③ レール 短絡
- ④ 送信ケーブル 断線
- ⑤ 受信ケーブル 断線
- ⑥ レール 断線

この結果からわかるとおり、P1点で電流が約0.1A以下になるのは、送信ケーブルが断線した時だけだとわかる。同様に、P1～P4における電流・電圧の傾向値から、故障部位を特定する閾値を求める。集計結果が、表2となる。

なお、シミュレーション結果・模擬軌道回路の試験結果に誤差を考慮したマージンを加えて閾値を決定している。

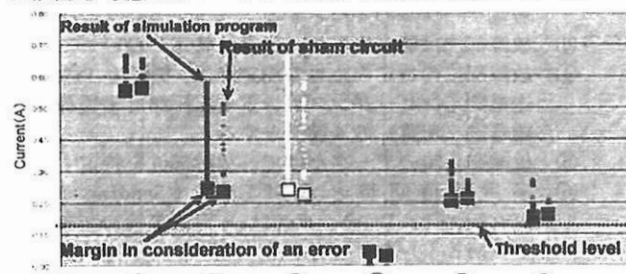


Fig.2 The tendency of current at relay room

Table 2 Failure judging conditions

Setting position	Measurement item	Specific logic	Specific result
Equipment room	Transmission (P1)	Voltage(Vs)	$V_s = \square V$ and $I_s = \square A$
		Current(Is)	$I_s < \square$
	Reception (P4)	Voltage(Vr)	$(V_r = \square \text{ and } I_r \neq \square) \text{ or } (V_r \neq \square \text{ and } I_r = \square)$
		Current(Ir)	$V_r > \square V$
ZB(Transmission) (P2)	Voltage(ZVs) Current(ZIs)	$ZV_s < \square V$ and $ZI_s < \square A$	Sending Cable
ZB(Reception) (P3)	Voltage(ZVs) Current(ZIs)	$ZI_r > \square A$ $ZV_r / ZV_s < \square$	Reception Cable Rail

4. 軌道回路測定器の開発

4.1 開発方針

故障部位を特定するためのデータを集約するため、4つの開発方針に基づき軌道回路測定器を開発した。

- ① 測定精度を5%とし、帰線電流の影響を排除
- ② 測定器短絡故障時に軌道回路に影響を与えない
- ③ 200ms周期で測定し、軌道回路故障解析装置にデータを送信
- ④ 商用軌道回路とSME Tのデータを測定

方針①は、図2で記載のある閾値決定時のマージンを少なくするためである。このマージンを小さくする程、故障部位を特定できる可能性が高くなる。これを実現するため、測定器にデジタルフィルタを適用し、電流測定のコアにログスキーコイルを採用した。

方針②は、測定器の短絡故障により、被測定回路である軌道回路へ悪影響を及ぼし、列車の輸送障害に繋がることを防ぐためである。これを実現するため、短絡防護アダプタを開発した。

4.2 測定精度の向上

シミュレーションデータと実測値には、比較試験の結果から差異があることがわかった。この差異の要因は、使用測定器誤差、高調波の影響、漏洩インダクタンスと浮遊容量等の影響である。また、電源電圧の変動も発生する。

そこで、測定器自体の精度向上、及びフィルタ処理で高調波等の影響を排除することによって、シミュレーションデータと実測値の差異を縮小した。その結果によって決定したのが、図2におけるマージンである。

また、測定精度に影響を与える原因として、信号と共にレールに流れる帰線電流の影響がある。帰線電流が流れると、測定する電流コイルで磁気飽和が発生し、正確な測定ができなくなる。

そのため、ZBにて軌道回路の電流を測定するセンサにログスキーコイルを採用し、帰線電流の影響を排除することとした。図3に軌道回路に流れる信号電流と帰線電流の関係を、図4に帰線電流の影響を相殺する概念図を示す。ZBの腕にログスキーコイルを2つ装着することにより、信号電流は2倍の値となり、帰線電流は相殺した形で計測が可能となる。

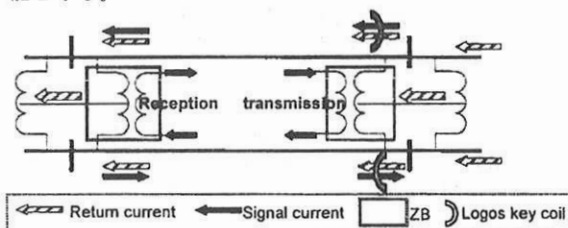


Fig.3 Return and Signal current in a track circuit

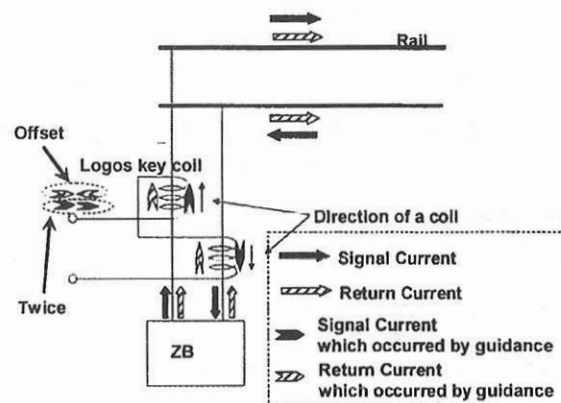


Fig.4 Offset of return current

4.3 短絡防護アダプタの開発

軌道回路測定器と被測定回路(軌道回路)の間に挿入するアダプタを開発した(図5)。アダプタ挿入によって発生する電圧変動については、軌道回路に影響を与えない範囲となるように配慮した。測定電圧や測定周波数については、

係員が通常使用する可能性のある、電圧 0～300V、周波数 DC～525Hz に適用できることとした。

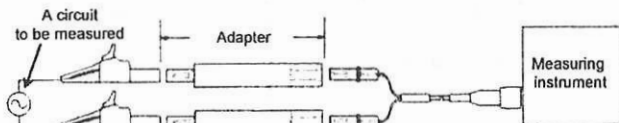


Fig.5 Short circuit protection adapter

4.4 測定周期とデータ伝送

軌道回路の詳細なデータ確認ができるように、軌道回路測定器にて測定する周期は 200ms とした。また、軌道回路測定器から軌道回路故障解析装置に測定したデータを、効率よく長距離に手軽に伝送するため、特定小電力無線を使用することとした。

4.5 S M E T の測定

商用軌道回路は、軌道回路に常時電流が流れている。しかし、S M E T は時分割送信であるため、電流が流れていない時間がある。(図 6)

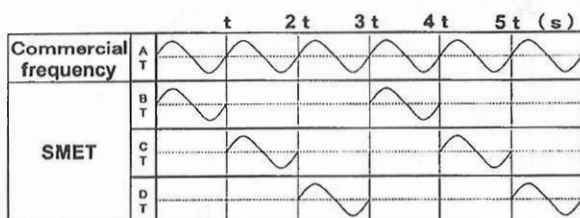


Fig.6 Image of S M E T

軌道回路測定器は、200ms 毎に測定している。それを 5 回分まとめて、軌道回路故障解析装置に伝送するという伝送方法をこなっている。一方、S M E T の測定周期は、 $250 \pm 42\text{ms}$ であり、200ms の測定時には S M E T が送信されていない場合がある。そこで、300ms 間の間で最大値を記録する変数を用意し、実効値換算して変数の値とした。また、この変数を 2 個用意することで、確実に S M E T の波形を測定できるようにした。(図 7)

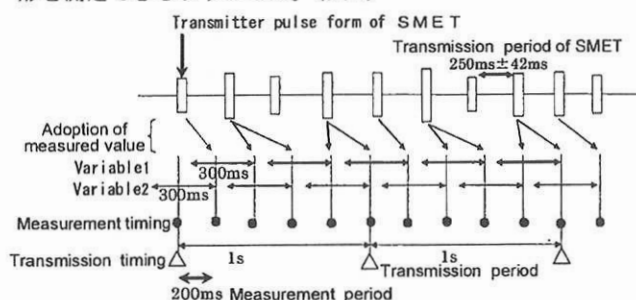


Fig.7 Measuring method of S M E T

4.6 仕様

軌道回路測定器の測定範囲は以下のとおりである。

- 対象軌道回路 商用及び S M E T
- 周波数 50/60Hz
- 軌道回路電圧 AC0.1～300V
- 軌道回路電流 AC0.1～50A (機器室用)
AC0.1～60A (ZB 用)
- 帰線電流 DC50～2000A

軌道回路測定器の使用環境条件は以下のとおりである。

- 設置場所 機器室又は器具箱
- 入力電源 AC90～264V
- 電源周波数 47～63Hz

- AC 不使用時 単 3 乾電池 4 本使用
- 相対湿度 結露しないこと
- 温度 JIS E 3019 5 種に準拠

5. 軌道回路故障解析装置の開発

5.1 開発方針

開発にあたっては、どんなユーザでも軌道構成を意識することなく扱えるようにするため、7 つの軌道回路構成パラメータ (表 3) の選択のみで解析を行なえることとした。

Table 3 Specification of circuit composition

	Track circuit	Impedance bond	Capacitor
①	SMET	Tertiary coil	Exist
②	SMET		None
③	Commercial frequency		Exist
④			
⑤			
⑥		Secondary coil	
⑦			

5.2 開発内容

故障部位特定論理によって、軌道回路測定器から集約したデータを処理して故障部位を特定する軌道回路故障解析装置の開発を行なった。全体構成を図 8 に示す。

軌道回路測定器にて 200ms 間隔で測定したデータを、軌道回路故障解析装置上で 1s 毎に更新表示することとした。

また、軌道回路故障解析装置にて集約したデータは、WiMAX や FOMA によってメール転送し、遠くに離れた人同士でデータを共有できることとした。

5.3 仕様

軌道回路故障解析装置の設置条件は以下のとおりである。

- 周囲温度 JIS E 3019 1 種に準拠
- 相対湿度 30～80%RH 結露なきこと
- 電源電圧 100V±10%
- 電源周波数 50/60Hz

6. 機能確認試験

実験用軌道回路及び実際に使用している軌道回路にて以下の確認を行なった。

6.1 データ測定機能

軌道回路測定器にて、200ms 間隔でデータが測定できていることを確認した。また、測定精度については、目標とする誤差率 5% を概ね達成したことを確認した。

6.2 データ伝送・記録・表示機能

軌道回路測定器で測定したデータを、1s 周期で軌道回路故障解析装置に保存し、表示することを確認した。また、軌道回路測定器と軌道回路故障解析装置が 400m 離れた場所にて、データを確実に伝送できることを確認した。

6.3 データ転送機能

軌道回路故障解析装置に集約したデータをメールにて他の軌道回路故障解析装置に転送し、表示できることを確認した。

6.4 軌道回路故障部位特定

実験用軌道回路にて故障を発生させ、概ね故障部位が特定できることを確認した。

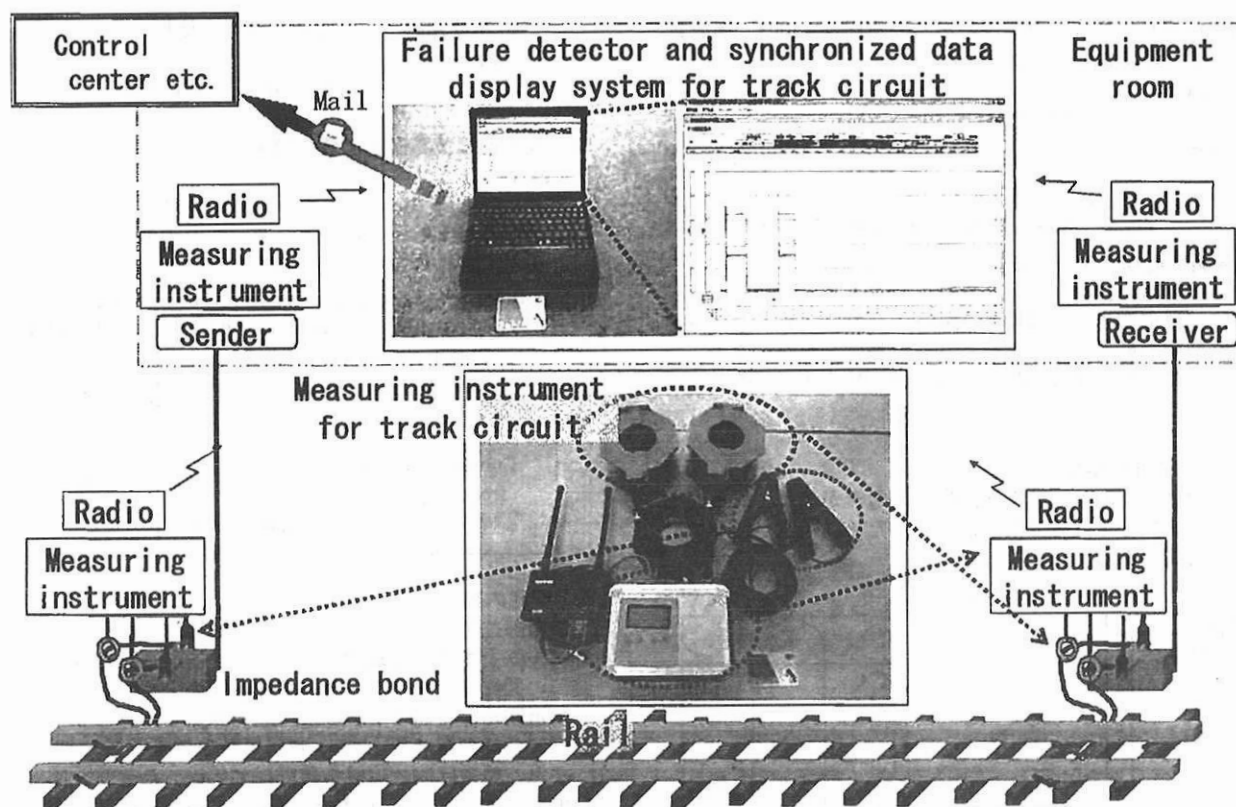


Fig.8 Whole composition of system

7. まとめと課題

本開発により、以下の成果が得られた。

- ① シミュレーションによる検証結果により、実際の軌道回路における故障部位の特定ができる。
- ② ケーブル長や軌道長等の軌道回路の構成を意識する事無く、故障部位を特定することができる。
- ③ データ伝送を無線にて随時行うことにより、調査・測定結果の報告・集約作業を無くし、調査等の手間と時間を削減できる。また、複数個所の測定データをリアルタイムに確認することができる。
- ④ データをメール送信することにより、遠くに離れた者同士で情報の共有化が図れる。

しかし、いくつかの課題も明確になった。

7.1 測定精度

常時電流が流れている商用軌道回路では、誤差率5%の測定精度を実現した。しかし、SME Tでは目標を達成することができない場合があった。これは、測定するSME T波形のばらつきのためであり、測定間隔を長くする等の対応の検討が必要である。

7.2 伝送手段

軌道回路測定器から軌道回路故障解析装置への伝送については、特定省電力無線機を使用した。平坦な場所での使用では有用性を確認できたが、建物内や山等の遮蔽物がある場所では、伝送ができない場合があった。今後、確実にデータを伝送できる手段を検討する必要がある。

7.3 レールの開放故障の判定

シミュレーションによって、レールの開放故障時の閾値を求めた。しかし、実験用軌道回路で実験を行なった結果、レールの開放故障時に閾値を満たす電圧・電流になること

は無かった。そのため、レールの開放故障を検出できる閾値を検討する必要がある。

8. 終わりに

本開発により、軌道回路故障の調査時間を短縮し、情報の共有化を図って、自動で故障部位を特定するシステムが実現した。

しかし、実際の使用を鑑みるといくつかの課題がある他、ユーザインターフェイスを向上する必要がある。今後、軌道回路故障解析装置の実用化に向けて、課題を克服していきたい。

参考文献

- 1) 南亮吉, 山本武史: 列車検知装置 (SMET 形), DAIDO 104 号, 2003
- 2) 南亮吉, 須賀利昭, 陽田芳博: 列車検知装置 (SMET II 形), DAIDO 130 号, 2012
- 3) 長島高洋: 短絡防護アダプタ, DAIDO 130 号, 2012