

軌道回路故障原因調査支援アプリケーションの開発



佐々木 和洋^{*1}



丸山 智彦^{*2}



金田 敏之^{*3}

The development of an application to support the investigation of fault causes in track circuits.

Kazuhiro SASAKI^{*1}, Tomohiko MARUYAMA^{*2}, and Toshiyuki KANEDA^{*3}

^{*1} Chief Researcher, Railway Signaling and Telecommunication Maintenance Technology Unit of Research and Development Center of JR EAST Group

^{*2} Assistant Chief Researcher, Railway Signaling and Telecommunication Maintenance Technology Unit of Research and Development Center of JR EAST Group

^{*3} Principal Researcher, Railway Signaling and Telecommunication Maintenance Technology Unit of Research and Development Center of JR EAST Group

Abstract

The track circuit is a crucial safety device for train operations, primarily used for train position detection. It comes in various types depending on the railway environment and line grade. Comprising diverse equipment such as track relays, impedance bonds, transformers, resistors, and reactors, the track circuit also incorporates rails as part of the electrical circuit.

In the event of a malfunction in the track circuit, it directly impedes train operations, necessitating prompt restoration. However, the restoration process often takes a considerable amount of time due to the diverse equipment configuration, numerous data measurement points, and the extensive investigation area covering equipment rooms and rail surroundings.

To address this challenge, an application has been developed to centrally manage measurement data acquired during the restoration process of track circuit failures. Furthermore, the application implements an algorithm to sequentially estimate potential fault locations based on measurement data and other relevant information.

●**Keywords:** Track circuit, Track relay, Flowchart, Commercial track circuit, SMET(Sending Micro Electronics Track circuit), MTD(Multiplex Train Detector)

^{*1}JR東日本研究開発センター 信号通信技術メンテナンスユニット 主幹研究員

^{*2}JR東日本研究開発センター 信号通信技術メンテナンスユニット 副主幹研究員

^{*3}JR東日本研究開発センター 信号通信技術メンテナンスユニット 上席研究員

1. 緒言

軌道回路は列車の運行にとって重要な運転保安装置で、主な用途として列車の位置検知に用いられており、鉄道沿線の環境や線区グレードに応じてさまざまな種類が存在する。軌道回路は軌道リレー、インピーダンスボンド、トランス、抵抗、リアクトルなど多様な機器で構成されており、電気回路の一部にレールも使用している。

軌道回路が故障した場合、列車の運行に直接支障することから早期に復旧する必要があるが、復旧までに多くの時間を要している。なぜならば、軌道回路を構成する機器が多様で、データ測定箇所も多く、さらに機器室やレール周辺など調査箇所が広範囲に及んでいるためである。そこで、軌道回路故障発生時の調査時に現場で取得する測定データを一元管理し、さらに測定データなどから順次故障が疑われる故障箇所を推定して調査・復旧を支援するアルゴリズムを実装したアプリケーションを開発した。

2. 従来の軌道回路故障原因調査方法の課題

軌道回路の故障箇所を早期に特定して正常な状態に復旧させるためには、軌道回路の故障モードを早期に判定することが重要となる。軌道回路の故障種別は3種類あり、回路の短絡を原因とするもの(短絡モード故障)と回路の断線を原因とするもの(解放モード故障)、電源装置など回路以外の故障を原因とするもの(その他故障)に大別される。故障モードの判定は故障発生時に測定したデータを基に障害復旧マニュアルに定められた障害探求フロー(図1)を用いて現場係員により故障モードや故障箇所の推定を行っていた。そのため、早期復旧を求めるあまりデータの記録ミスや対応者の知識・経験の不足により判断を誤ることもあり、復旧に時間を要することもあった。

そこで、故障発生時に現場の測定データを指令や後方支援者と共有かつ一元管理してデータの記録ミスを防止し、さらに個人の知識や経験不足をカバーしつつ、測定データから自動的に故障モードの判定や調査箇所、調査方法を提案するなど、軌道回路故障の調査支援を行うツールの実現を目的として本アプリケーションの開発を行った。

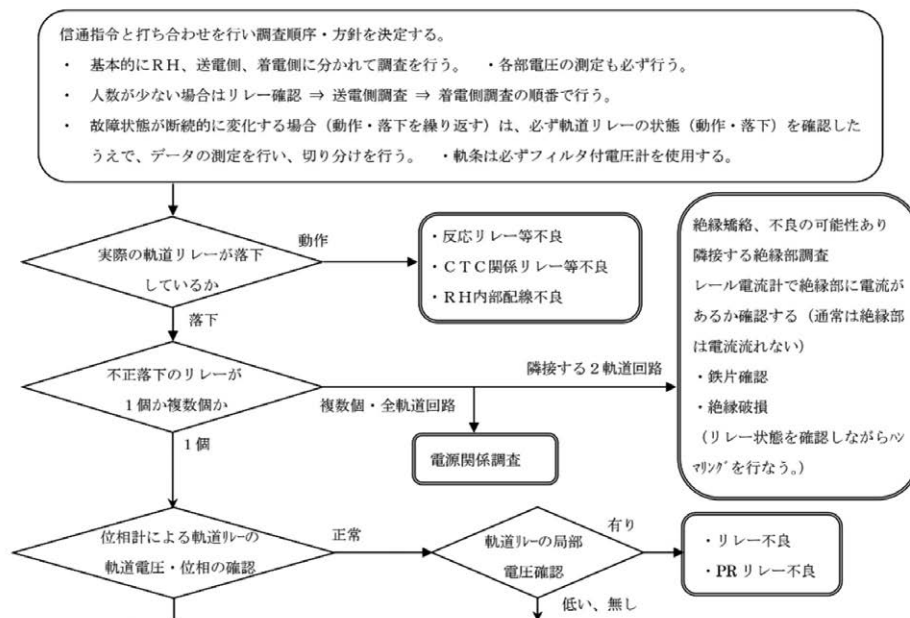


図1 障害探求フロー（抜粋）

3. 開発コンセプト

現在の軌道回路の故障原因特定時の課題に対応すべく、開発するアプリケーションが備える機能として以下の4点の実現を目指してアプリケーションを開発した。

- ①多種の軌道回路に対応できること。
- ②調査時の各種測定データを現場や指令などの関係箇所間で共有できること。
- ③調査時の各種測定データから、故障モードを判定できること。
- ④調査時の各種測定データから、故障箇所を絞り込むための調査方法を提案できること。

また、開発当初はアプリケーションを使用するユーザーを現場で復旧作業に直接従事している係員と想定していたが、指令や技術センターに待機する後方支援者に変更した。理由としては、現地の係員は機器室や線路沿線で原因調査作業に専念する必要があり、アプリケーションを動かすPCなどの端末などが使いにくい環境であること、また指令や後方支援者の方が現場から聞き取ったデータの一元管理やアプリケーションを使用して冷静な判断・指示を行えると考えたためである。

4. 開発のポイント

4・1 判定条件の定量化

軌道回路の故障の特徴として、短絡モード故障の場合は通常時より軌道回路に流れる電流値が大きくなり、一方で解放モード故障の場合は通常時より軌道回路の電圧値が大きくなる。その他故障の場合は、短絡モードと解放モードいずれの特徴も持たないデータが現れることが知られている。従来はレール、軌道リレー、インピーダンスボンド、トランス、抵抗、リアクトルなどで測定されたデータから、これらの特徴に照らし合わせて故障種別の判定を人間が実施していた。この人間の判断をアプリケーション化するため、各箇所測定された電圧値や電流値と平常時の電圧値や電流値を比較のうえ、定量的に判定動作を行う「判定アルゴリズム」を作成した（表1）。

表1 判定アルゴリズムの一例

データ比率 (障害時/正常時)		故障種別	データ比率 (障害時/正常時)		故障種別
電圧	電流		電圧	電流	
Low	—	—	Normal	Low	開放モード故障
Normal	—	開放モード故障	Normal	Normal	その他故障
High	—	開放モード故障	Normal	High	短絡モード故障
—	Low	—	High	Low	開放モード故障
—	Normal	短絡モード故障	High	Normal	その他故障
—	High	短絡モード故障	High	High	その他故障
Low	Low	—			
Low	Normal	短絡モード故障			
Low	High	短絡モード故障			

High = 上限閾値 < $\frac{\text{障害時電圧(電流)データ}}{\text{平常時電圧(電流)データ}}$

Low = 下限閾値 > $\frac{\text{障害時電圧(電流)データ}}{\text{平常時電圧(電流)データ}}$

Normal = 下限閾値 ≤ $\frac{\text{障害時電圧(電流)データ}}{\text{平常時電圧(電流)データ}}$ ≤ 上限閾値

判定アルゴリズムは軌道回路を構成する機器（現在62種類）ごとに設定しており、各機器の正常時と故障発生時の電圧と電流の各データを比較し、その比率が上限閾値を越えた場合はHigh、下限閾値を下回った場合はLow、上限閾値と下限閾値の間の場合はNormalと3つのステータスに区分している。その後、電圧3種類、電流3種類のステータスの組合せ結果から故障種別や故障箇所の絞り込み判定を行っている。なお、上限閾値および下限閾値は測定器自体の誤差や人の読取誤差などを考慮した幅で設定している。

4・2 障害探求フローチャートの改良とプログラム化

アプリケーション化に向け、従来のマニュアルに定められていた障害探求フロー（図1）もプログラム化した。そもそもフローチャートはコンピュータのアルゴリズムを示す流れ図であり、プログラム化自体は容易と考えていたが、従来の障害探求フローには人間系で判断していたため省略されていた分岐条件やあいまいな表現で示されていた分岐条件が多数あった。例えば従来の障害探求フローで省略されていた条件の一つに、フローチャートのスキップ条件がある。現場で復旧作業を実施している係員は人数的な制約や設備の物理的な距離、過去の障害対応の経験などから必ずしも障害探求フローに従った手順で調査を行わない（手順を飛ばして調査を進める）ことがある。従来は人間系の判断で障害探求フローを読み飛ばして最適な手順で故障原因を調査していたが、プログラム化にあたっては前述したような人間系で処理していた判断もフローチャートに反映する必要があるため、多数の分岐条件をフローに追加した。さらに、従来の障害探求フローでは実現できていなかった故障原因を絞り込むために必要な調査手法の提案などの機能を追加して「故障箇所推定フローチャート」（図2）として完成させた。

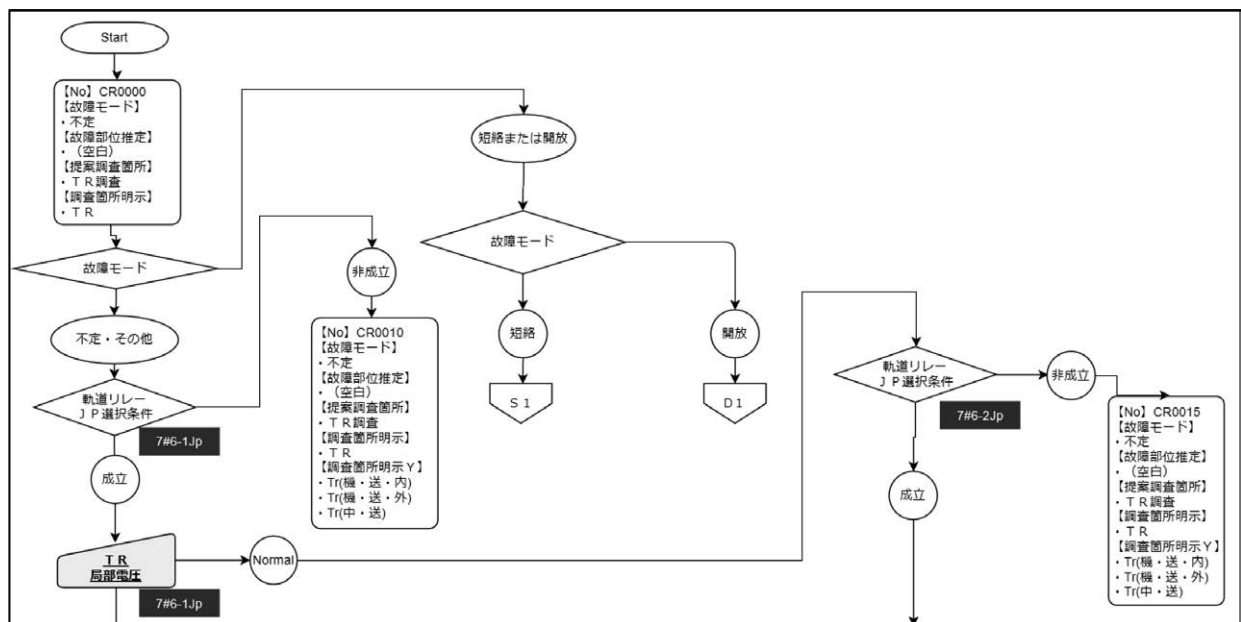


図2 故障箇所推定フローチャート（抜粋）

なおこのフローチャートは軌道回路種別ごとに作成する必要があるが、本開発では「商用軌道回路」「SMET (Sending Micro Electronics Track circuit) 軌道回路」「MTD (Multiplex Train Detector) 軌道回路」に対応した「故障箇所推定フローチャート」を完成させた。

4・3 アプリケーションの作成とその特徴

開発した「判定アルゴリズム」と「故障箇所推定フローチャート」を組合せてプログラム化し、「軌道回路故障原因調査支援アプリケーション」を作成した。

「軌道回路故障原因調査支援アプリケーション」は以下の特徴を持っている。

- ①アプリケーションは軌道回路の故障箇所の推定を前述の「判定アルゴリズム」と「故障箇所推定フローチャート」(図2)を組み合わせて行う。推定に必要なデータは軌道回路が故障した際に現場で測定されたデータと平常時のデータ(軌道回路が正常動作していた際のデータ=過去の検査データ)であり、入力されたデータから軌道回路の故障部位を推定するとともに、さらに故障箇所を絞り込むための調査手順と調査手法を提案する。
- ②アプリケーションは「故障箇所推定フローチャート」に基づいて基本的な調査手順を提案する。一方で、手順に従わずに(手順を飛ばして)実施した調査で取得した測定データの入力も受け付け、入力されたデータから故障部位の推定が可能な場合には、本来の調査手順で測定されるデータが無くとも故障箇所を絞り込み、新たな調査手順と調査手法を提案する。
- ③アプリケーションは現場で測定されたデータと平常時のデータからだけではなく、現場係員が故障箇所を特定するために軌道回路に加えるアクション(調査の過程で実施する回路の破線や短絡)から得られたデータからも故障部位推定を行う。

5. 開発したアプリケーションの機能

5・1 現場の機器構成に対応した「軌道回路機器構成画面」の生成

アプリケーションを用いて軌道回路の故障原因を調査する場合、現場で測定したデータと通常時のデータを入力する画面が必要となる。その画面を「軌道回路機器構成画面」(図3)と呼び、現場の軌道回路機器構成と同一の機器が表示され、各機器に対応した測定データや通常時のデータの入力欄が表示される必要がある。

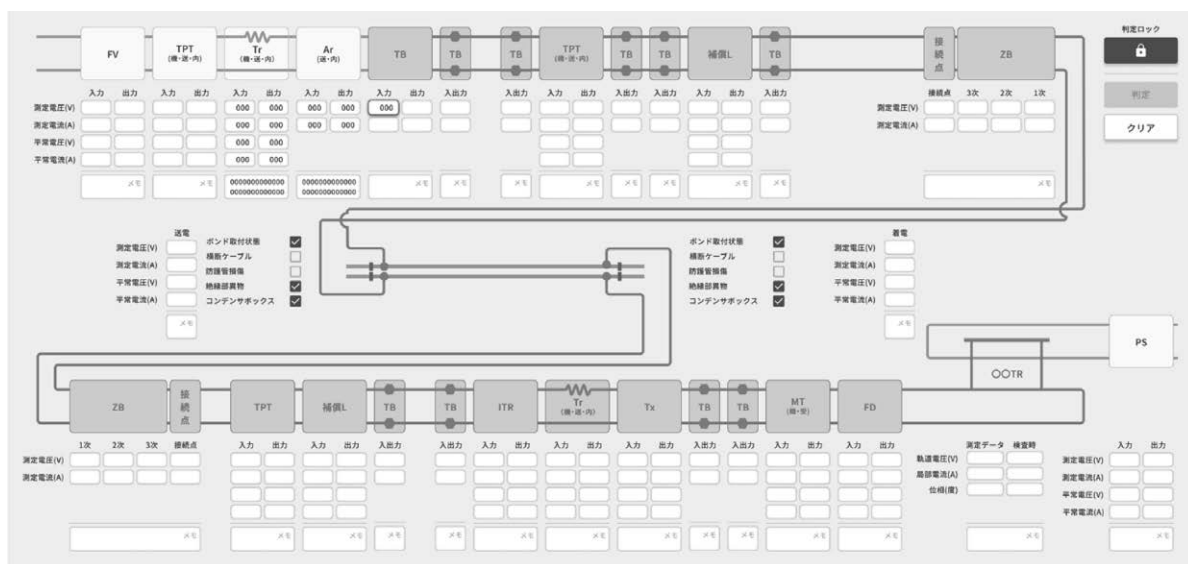


図3 軌道回路機器構成画面

しかしながら、軌道回路の種別や構成機器は社内の標準により機器構成に一定の定めがあるものの、実態は軌道回路の設置環境などにより多種多様であり、中には標準によらない機器構成となっている軌道回路も存在する。そのためすべての軌道回路の機器構成に対応した画面を準備することは現実的ではなかった。そこで軌道回路の日常管理に使用している軌道回路構成図(図4)に記載されている機器を軌道回路条件入力画面(図5)の中からチェックボックス方式で選択すると、選択された機器に対応した軌道回路機器構成画面が作成されるようにした。これにより、アプリケーションは多種多様で標準によらない特殊な機器構成の軌道回路にも対応が可能となった。

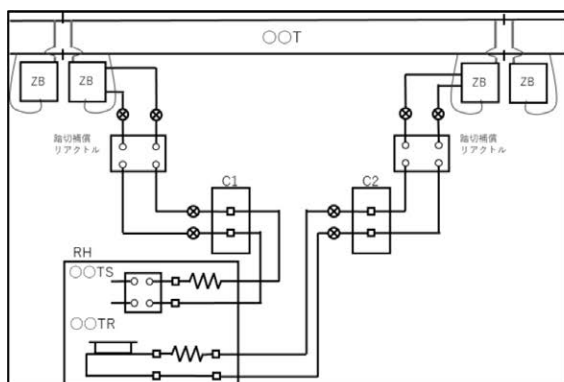


図4 軌道回路構成図



図5 軌道回路条件入力画面

また本画面により現場で測定したデータや通常時のデータ、現場係員が故障箇所を特定するために軌道回路に加えたアクション（回路の破線・短絡）から得られたデータが一画面で管理可能となり、測定データなど一元管理も実現した。

5・2 軌道回路構成機器の正常・異常表示と調査箇所・調査手法の提案

アプリケーションに現場で測定したデータや通常時のデータ、現場係員が故障箇所を特定するために軌道回路に加えたアクション（調査の過程で実施する回路の破線や短絡から得られたデータを入力すると、「判定アルゴリズム」と「故障箇所推定フローチャート」に基づき、軌道回路構成機器の正常・異常を自動で判定する。初期状態では画面に表示される機器のシンボルは全て赤であるが、入力されたデータから正常と判断された機器のシンボルを順次緑色に変化する。加えて「軌道回路の故障モード」「推定される故障部位」「優先的に調査すべき箇所」「故障原因を特定するための提案調査手法」を表示する（図6）。



図6 軌道回路構成図

6. 機能検証結果

2022年6月にS線A駅で発生した商用軌道回路の不正落下事象に対して、実際に現地で測定されたデータなどを用いて、アプリケーションの動作シミュレーションを行った。シミュレーションは当時の事故を記録した時系列に記録されていた現地での測定データを順次アプリケーションに入力する形で進めた。その結果、アプリケーションは測定データから故障部位を順次絞り込んでゆき、故障の原因となっていた軌道回路構成機器を推定することに成功した。

7. 結言

軌道回路故障の原因特定に時間を要していた課題に対し、データなどを一元管理し、現場で測定されたデータなどにより故障モード、故障部位、故障箇所、調査手法を提案するアプリケーションを開発した。そしてアプリケーションが実際の軌道回路故障においても故障部位を推定できることを確認した。開発したアプリケーションは現在「商用」「SMET」「MTD」の3種類の軌道回路に対応している。

アプリケーションは現在さらに改良すべく、対応軌道回路種別の拡充や通常データの取り込み機能など汎用性を高める開発を進めている。

開発したアプリケーションの完成により、係員の経験や知識にかかわらず軌道回路故障の原因特定の迅速化が図られ、早期の復旧を通じたお客さまに対する輸送影響の低減、サービスの向上が実現できるものと考ええる。

参考文献

- 1) 丸山 智彦, 佐々木 和洋, 金田 敏之, 軌道回路故障原因調査支援アプリケーションの開発, 令和5年電気学会全国大会 (2023),