

在来線戸閉装置のモニタリングデータを用いた異常把握実現に向けた基礎研究

A Study on the Failure Warning Detection using Monitoring Data for the Door Operating Equipment of the Commuter Train



赤荻 剛*



三島 潤一郎*



一木 剛*



杉浦 芳光*

The reliability improvement of the commuter train and the reduction in the maintenance cost can be expected by changing from the Time Based Maintenance (TBM) to the Condition Based Maintenance (CBM).

In this study, in order to achieve CBM by the monitoring system, we conducted the operation examination that simulates the deterioration and failure of the door operating equipment of the commuter train using the door test machine. We performed principal component analysis on the test data. Then, we proposed appropriate measurement items and the method of analysis to the monitoring system of the door equipment.

●キーワード：CBM、モニタリングデータ、戸閉装置

1. はじめに

現在、鉄道車両機器のメンテナンスは、劣化状態に関わらず走行距離や稼働時間に基づいた検査および修繕 (Time Based Maintenance: TBM) が行われている。これに対して車両機器の状態をモニタリングすることによって、劣化状態や故障予兆の把握が可能になれば、個々の車両機器の状態に応じてメンテナンスの時期と内容を決定して検査および修繕を実施すること (Condition Based Maintenance: CBM) が可能になり、車両の信頼性向上とメンテナンスコストの削減が実現できる。これまで我々は、空調装置を対象に、劣化状態や故障予兆の把握を目標にして、試験台試験を行い有効なモニタリング項目を選定した。¹⁾

本研究では、モニタリングデータから戸閉装置の劣化状態や故障の予兆等を把握することを目標にして、異常状態を模擬した戸閉装置の試験台試験を実施し、有効なモニタリング測定項目の選定を行った。さらに、モニタリングデータを用いて、簡易に異常判別が可能なデータ分析方法の検討を行った。

2. 試験台試験の概要

2.1 試験対象の戸閉装置

本研究で対象とした戸閉装置は首都圏在来線で広く使われている電気式戸閉装置である。評価対象である戸閉装置は、モーターにより駆動する戸閉装置本体、戸吊り装置 (スライドレール)、ドアハンガー、電磁ロック装置等で構成されている。この戸閉装置は、指定した開閉時間になるようにモーターの電流値および電圧値を変化させて、駆動制御される仕組みになっている。

2.2 試験方法

試験方法として戸閉装置に異常状態である故障や劣化を模擬した仮設を施し稼働試験を行い得られたデータと、適切にメンテナンスされた通常状態の稼働試験で得られたデータを比較し、劣化状態や故障予兆を捉えることとした。図1に試験台試験に使用した試験装置を示す。試験条件については図2に示すように、劣化状態や故障予兆として想定される異常状態を検討し、それぞれに対応した再現試験方法を検討し決定した。図2に示す想定される異常状態は、過去のメ



図1 戸閉試験装置

想定される異常状態	再現試験方法
正常な状態	通常動作 (異常の仮設無し)
戸袋内の異物介在	下敷き等の介在
下レールに異常がある状態	乾電池やボールペンの介在 下レールのせり上がり
取付ボルトが弛んだ状態	戸閉装置の取付ボルト弛み ドアリーフの取付ボルト弛み
グリスが劣化した状態	スライドレールのグリス除去
スライドレールの汚損	スライドレールに塵を塗布

図2 想定される異常状態と再現試験方法

メンテナンスの実績から発生頻度の高いもので、戸閉装置が故障する前段での異常を想定し抽出した。今回の目的は、劣化状態や故障の予兆をモニタリングデータから事前に把握することであり、明らかな異常は従来通り故障検知等の既存のシステムで対応可能であるため、戸閉装置がまったく動作しないような状況や戸閉装置が規定の時間内に開閉しない場合については、今回検討の対象外とした。実施した試験のうち、いくつかの例を図3～5に示す。戸袋内に異物が介在した場合を想定して、図3に示すように戸閉試験のドアの戸尻側にプラスチック製の下敷きを取り付けて試験を実施した。下レールに異常がある状態として、図4に示すように下レールの取り付け部にライナーを挿入し下レールがせり上がった状態にして、下レールとドアリーフが当たっている状態で試験を実施した。また図5に示すように、スライドレールの汚損を模擬した状態として、スライドレールに汚損物質として関東ローム層の粉末（JIS Z 8901 試験用粉体1の8種）を塗布した状態で試験を実施した。そのほかにも図2に示す試験条件である下レールに乾電池等の介在や戸閉装置のボルトの弛み、スライドレールのグリスの除去等の試験を実施した。

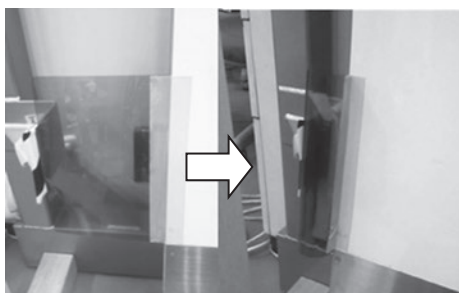


図3 戸袋内に異物が介在した状態（下敷き）

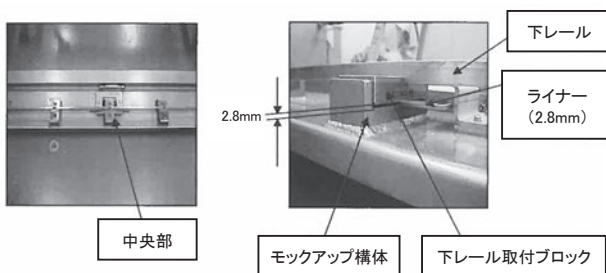


図4 下レールがせり上がった状態



図5 スライドレールの汚損を模擬した状態

2.3 測定項目

表1に戸閉装置の状態を把握するために測定した項目を示す。開閉時のモーター電流値およびモーター電圧値、開閉動作に関係する開閉時間、ドアストローク位置およびモーター温度は、開閉動作の際に戸閉装置にかかる負荷に関係すると考えられる項目である。また、併せて制御情報として開指令情報、閉指令情報を記録した。

表1 測定項目と測定方法

No.	測定項目	測定方法	
1	開動作時のモーター電流値	LCU出力信号	
2	閉動作時のモーター電流値		
3	開動作時のモーター電圧値		
4	閉動作時のモーター電圧値		
5	開動作時間		
6	閉動作時間		
7	ドアストローク位置	熱電対	
8	モーター温度		
9	開指令信号		ドア制御信号
10	閉指令信号		

3. 試験の結果と考察

戸袋に異物が介在している場合は、開終了時のドアストローク位置の値に変化が確認できた。これは戸袋に異物が介在した場合、ドアは開くが異物により完全には開ききらず、ストローク位置がずれることが原因と考えられる。下レールに異物がある場合は、閉動作時のモーターの平均電流値と電圧値の増加が確認できた。これは下レールとドアリーフが接触して抵抗になり、設定の開閉速度を出すために電流値と電圧値が増加したからと考えられる。取り付けボルトが弛んだ状態では、一部の箇所ボルト弛みはストローク位置で検出が可能であることが分かった。これはボルトの弛みによってドアリーフの取り付け位置がずれてしまい、ストローク位置に変化がでたからと考えられる。スライドレールのグリスを除去した状態では、いずれの測定項目も変化は確認できなかった。スライドレールに塵を塗布したときは、開閉動作とともに平均電流値および電圧値の増加が確認できた。これは塵によりドアの開閉に抵抗が発生し、電流値と電圧値が増加したためと考えられる。以上のことから、モーター電流値、電圧値およびドアストローク位置が有効であることがわかった。

一方すべての試験において通常状態と比較したところ、モーターの温度には変化は見られなかった。開動作時間および閉動作時間についても明らかな変化は確認できなかった。これは、開閉時間が一定になるような制御により動作するシステムであり、今回仮設したような故障が発生する前の軽微な異常の場合は、動作時間に大きな変化は現れないということが言える。なお、戸閉装置の定期的なメンテナンスにおいて開動作時間および閉動作時間は、重要な検査項目として確

認を行っている。車両センターでの定期検査の中で規定の時間範囲外の場合は、調整を行っている。

以上の結果から、劣化状態や故障の予兆を把握するためのモニタリングに有効な測定項目として、①開閉動作時のモーター電流値、②開閉動作時のモーター電圧値、③ドアストローク値が導き出された。(表2)

表2 有効なモニタリング項目

No.	測定項目	有効性
1	開動作時のモーター電流値	○
2	閉動作時のモーター電流値	○
3	開動作時のモーター電圧値	○
4	閉動作時のモーター電圧値	○
5	開動作時間	△
6	閉動作時間	△
7	ドアストローク位置	○
8	モーター温度	×
9	開指令信号	-
10	閉指令信号	-

さらに、動作状態の詳細なモニタリングデータを確認し詳細な分析が可能か検討を行うこととした。これまでの検討では、電流値に対して、開動作時や閉動作時の電流値の平均値または最大値で評価してきた。またストローク位置については、ドアが開ききったときのストローク値や閉じきったときのストローク値で評価してきた。さらに詳細な状態を把握するために図6に示すような戸閉装置の動作状態を表すデータを収集し、詳細に評価することとした。なお、図6は通常状態での戸閉装置の開指令、閉指令、モーター電流値、ドア位置（ドアストローク位置）のデータである。

また一例として、戸袋内に異物が介在したものと下敷きが挟まった状態のデータを図7に、スライドレールの汚損を模擬した状態の試験台試験のデータを図8に示す。通常状態の図6と戸袋に下敷きが介在した状態での図7のデータを比較すると、戸袋に下敷きが介在した場合、ドアの開位置において電流値が変動していることが分かる（点線囲部）。これは、開位置で異物が介在したために、跳ね返りが起きているということが推定できる。また通常状態の図6とスライドレールの汚損を模擬した状態である図8のデータを比較すると、ドアの動作中の電流値は、スライドレールが汚損した場合は通常状態に比べて若干高い値を示していることが分かる（点線囲部）。これはスライドレールが汚損した結果、動作抵抗が発生し、電流値が高くなっていることが考えられる。このように、戸閉装置の開閉時のデータを確認することで詳細な異常状態が推定できることが期待できる。

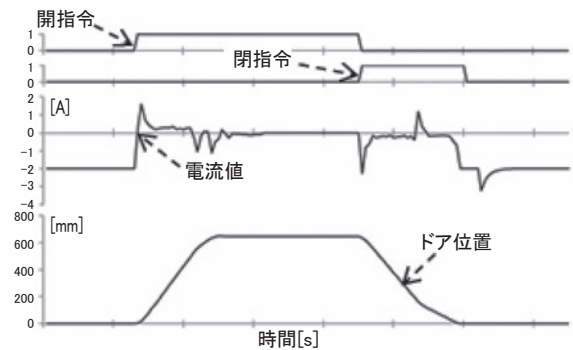


図6 通常動作時の戸閉装置の動作状態

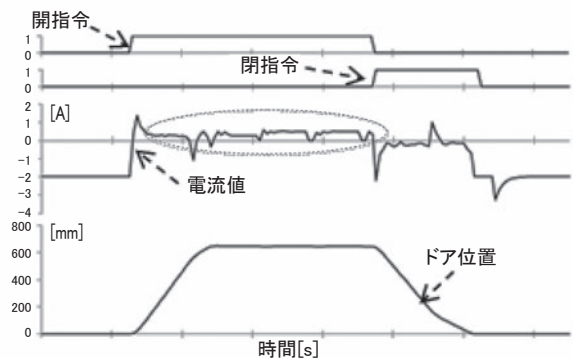


図7 戸袋内に異物が介在した状態（下敷きが介在）

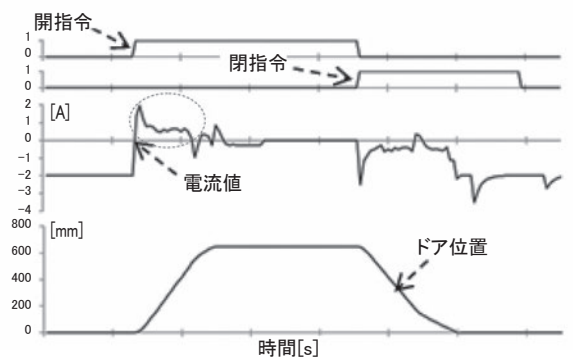


図8 スライドレールの汚損を模擬した状態

4. 異常判定のためのデータ分析方法の検討

先に示したように、戸閉装置の開閉時のデータを確認することで、どの動作状態で電流値が異常なのか、ドア位置が異常なのかという詳細な異常状態が推定できることが期待できる。これらの異常状態は故障が発生する前の予兆や劣化であり、戸閉装置の動作機構を十分に理解した技術者が開閉時のデータをひとつひとつ確認して判断することで可能になると考えられる。しかし、仮に現在首都圏で多く運用されている4扉車10両編成を想定すると1編成で80ヶ所の戸閉装置があり、それらすべての戸閉装置の開閉時のデータを定期的に技術者が確認するのは時間的に非常に困難であり、詳細な異常状態の推定は難しい。

そこで、新たな評価方法として、数学的データ分析手法をいくつか検討し、その中で戸閉装置のデータに活用が可能と

思われる多変量解析手法の一つである主成分分析を用いて、今回は簡易的に分析を行った。主成分分析は、複数のパラメータが存在するデータをデータ全体として一つのデータと捉えて主成分を導き出す手法である。主成分分析を用いてデータの特徴を表す第1主成分と第2主成分を導き出し、2次元で図示することにより、複数のパラメータからなるデータを2次元マッピングとして可視化することが可能である。図6～8の開閉時のデータを基に導き出した主成分分析2次元マッピング

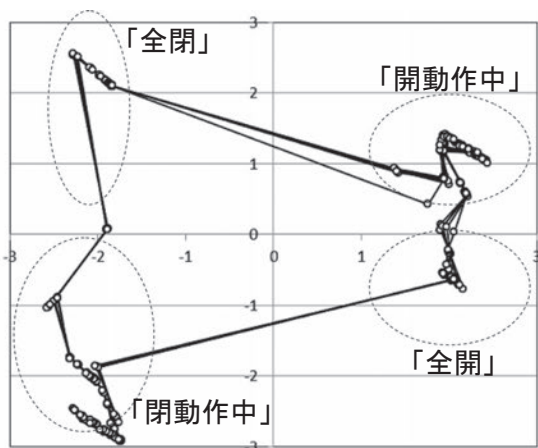


図9 正常データの主成分分析2次元マッピング

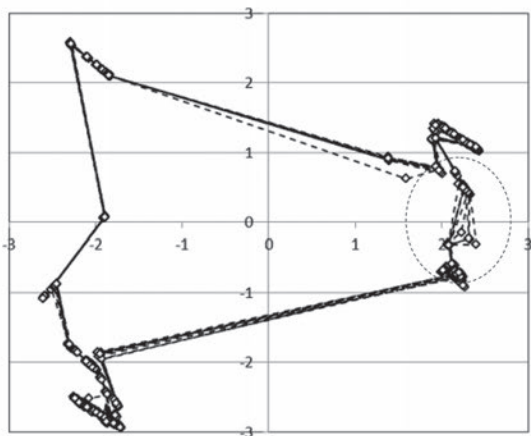


図10 戸袋に異物が介在したデータの主成分分析

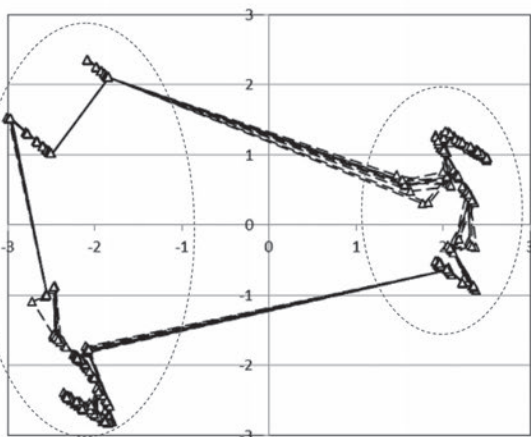


図11 スライドレールの汚損を模擬したデータの主成分分析

を図9～11に示す。2次元マッピングは時系列データの変換であり、図9に示すようにそれぞれの領域は「全閉」、「全開」および「閉動作中」に対応する。戸袋内に異物が介在したデータ（図10）と正常データ（図9）を比較すると「全開」の領域で違いが確認できる。またスライドレールが汚損したデータ（図11）と正常データ（図9）を比較すると、「開動作中」と「閉動作中」の領域に違いが確認できる。

さらに、2次元マッピングで表示した図形の面積を算出し、面積の変化を数値的に評価することにより、故障の予兆や劣化の進行を予測することが期待できる。そのためには、実際の運用中のデータを今後詳細に確認し、定量評価が可能かを検討していく必要があり、継続して研究開発に取り組みたい。また、今回は、データ分析手法として主成分分析を用いたが、他にも適用可能な分析方法がないか継続して検討していきたいと考えている。

5. まとめ

モニタリングデータから戸閉装置の劣化状態や故障の予兆等を把握できるようにすることを目的として、異常状態を模擬した戸閉装置の試験台試験を実施し、モニタリングに有効な測定項目を選定した。その結果、電流値とドア位置が有効な項目であることが分かった。

さらに、モニタリングデータを用いて、簡易に異常判別が可能なデータ分析方法の検討を行い、開閉時のデータに対して、主成分分析を用いて、第1主成分と第2主成分を導き出し、正常データと異常データについて2次元マッピングで比較を行った。その結果、正常データと異常データの識別の可能性が期待できることが分かった。今後、試験台試験のデータから得られたこれらの知見をもとに、実際の営業運用でデータを取得し本研究の有効性を確認し、実際の展開につなげていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 後迫 直樹 他「車両用空調装置のモニタリングに関する研究」JR EAST Technical Review No.39-Spring,2012年 pp.15-18.
- 2) 赤荻 剛 他「在来線戸閉装置のモニタリングに関する研究」第19回鉄道技術連合シンポジウム,2012年12月 pp.165-166.