

電気転てつ機のロック位置調整作業 支援システムの開発

岩澤 永照* 流王 智子*
川崎 邦弘* 羽田 明生*

Development of a System for Supporting the Lock Position Adjustment Work for
an Electric Point Machine

Nagateru IWASAWA Satoko RYUO
Kunihiro KAWASAKI Akio HADA

A lock monitoring system for the electric point machine is accumulating data of lock position. First, we have constructed a model of explaining current lock position. Next, we have proposed an algorithm for predicting lock position variation by making use of the weather data such as air temperature and humidity. Then we have investigated how to utilize these predicted lock position data. We have also proposed to provide supporting information for a work of the lock position adjustment. Furthermore, we have implemented visualization system for these predicted position data.

キーワード：電気転てつ機，ロック狂い，ロック位置，多変量時系列解析

1. はじめに

近年，センサを活用して設備の状態を把握するためのシステムに関する様々な検討が行われている。このようなシステムは状態監視システムと呼ばれており，多くの分野でその導入が進められている。鉄道分野においても様々な設備を対象とした状態監視システムが導入されており，膨大なデータを活用できる環境が整いつつある¹⁾。今後はこのようなデータから保守作業を支援する情報を抽出して，設備の維持管理の効率化に繋げることが重要な課題となる。一方，信号設備の一つである電気転てつ機においては，より安定した列車運行の実現を目的として，ロックモニタ装置が実用化されている^{2) 3)}。しかし，現状ではロックモニタ装置で取得した膨大なデータを適切に処理し，予防保全に活用すると言う点では課題が残っている^{4) 5)}。

本稿では，電気転てつ機を対象として，ロックモニタ装置に蓄積されたデータを保守作業の支援に活用するために開発した手法について報告する⁶⁾。さらに，提案するロック位置の予測手法の結果を実績値と併せて表示する可視化システムのプロトタイプについても紹介する。

2. 本研究の背景

電気転てつ機は，分岐器を転換した際に，鎖錠かんの切欠きにロックピースを挿入することによって，列車通過中に転換しないよう鎖錠し，列車の安全運行を確保している（図1）。鎖錠かんの位置は様々な要因で変動するが，その結果，ロックピースが切欠きに挿入できない“ロック狂い”と呼ばれる状態に至ると，転換不能が発生し，列車の安定運行に支障する場合がある。このため，鎖錠かんの切欠きの中心位置に対するロックピースの中心の相対位置（以下，ロック位置と呼ぶ。図2）が，あるしきい値の範囲に収まるよう，切欠き位置の変動に応じて，ロックピースの位置を適切に管理する必要がある。そのため，日々の調整作業でロック位置が範囲内に収まるように調整を行っている。この作業を支援するために，ロック位置を監視・蓄積するロックモニタ装置が実用化されている。ロックモニタ装置では，転てつ機内部に固定された変位センサで鎖錠かんに取り付けられたターゲットの変位量を検出することでロック位置を監視している。ロックモニタ装置は，ロック位置がしきい値を超えるとアラームを発報し，転換不能になる前にロックピースの位置の調整（ロック調整と呼ぶ）を促す。これにより，ロック狂いを原因とする転換不能が発生する前に対処できる。ところが，列車が走行する時間帯にアラームが発報され，ロック調整を行う必要が生じた場合，

* 信号・情報技術研究部 ネットワーク・通信研究室

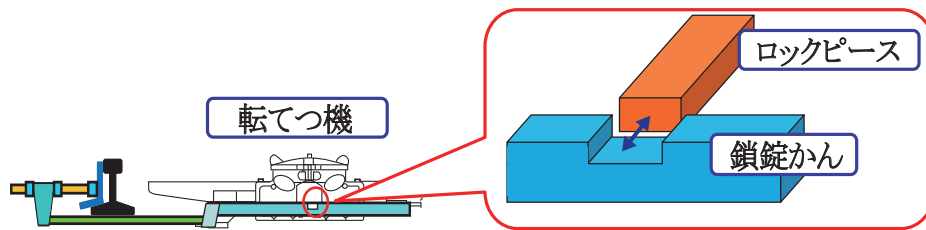


図1 転てつ機の鎖錠

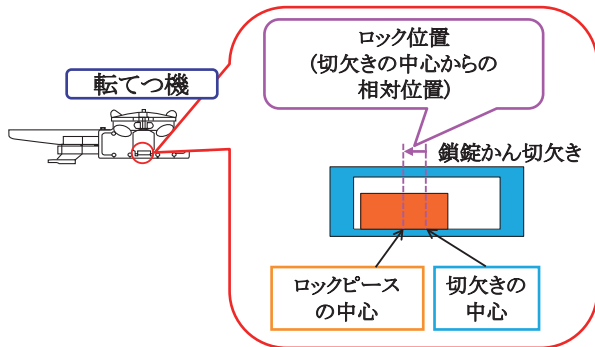


図2 ロック位置

列車運行に影響を及ぼす可能性がある。したがって、このような事象に至る前に予兆を把握し、あらかじめロック位置を適切に調整しておくことが重要である。

これらの課題を解決するために、ロック調整作業を行う段階と長期的な保全計画を策定する段階における保守作業を支援する情報について検討した。

3. ロック位置調整作業支援情報

3.1 作業に必要な支援情報の検討

前述の通り、ロック調整作業において、ロックピースの位置をあらかじめ適切な位置に調整する必要がある。そこで、ロック調整作業時の適切な調整量を判断するためにどのような情報が有効であるかを検討した。

ロック位置の一日の変動は、その変動の中心が切欠きの中心と一致することが理想的である。そのため、ロック位置を調整する前にあらかじめロック位置の変動が把握できれば、ロック位置の調整量の目安を算出することができる。例えば、図3に示すようにロック位置が-0.8mmから0mmの間で変動すると予測された場合、変動幅の中心は約-0.4mmであることから、ロック位置の変動の中心を切欠きの中心に一致させるためには、約0.4mm程度ロック位置を調整すれば良いという目安が得られる。このロック位置の変動の中心と切欠きの中心を一致させるための調整量の目安がロック調整作業を支援するための情報となる。このように、ロック位置の調整量の目安を支援情報として提供することができれば、ロック位置調整作業を効率的に行うことができ、アラーム発報を減らすことも期待できる。

3.2 翌日のロック位置の変動予測手法⁶⁾

本節では、前節で述べた支援情報を提供するために提案する翌日のロック位置の変動を予測する手法について説明する。この手法では、当日までに蓄積されたロック位置、気温と湿度のデータから、翌日のロック位置の変動を予測する。電気転てつ機のロック位置変動に関しては、これまでに蓄積されたデータから、季節変動と関係があるという知見が得られている。そこで、提案手法では、気象データに着目し、その中でもロックモニタ装置に蓄積されたロック位置のデータと、比較的相関が高い気温と湿度のデータを用いてロック位置変動のモデル式を導出し、この式を用いて翌日のロック位置の変動を予測する。

提案手法では、ある単位時間 Δt ごとのロック位置を算出する。以降では、現在時刻を t 、現在時刻の単位時間後を $t+\Delta t$ と表すこととする。

まず、時刻 t までのロック位置、気温と湿度のデータを入力し、多変量時系列解析により時刻 $t+\Delta t$ におけるロック位置の変動のモデル式を導出する⁷⁾。導出したモデル式に時刻 $t+\Delta t$ の気温と湿度のデータを入力することで時刻 $t+\Delta t$ のロック位置を算出する。次に、この算出した時刻 $t+\Delta t$ のロック位置データを、時刻 t までのロック位置データに追加し、時刻 $t+\Delta t$ までのロック位置、気温と湿度のデータからモデル式を導出する。そのモデル式に時刻 $t+2\Delta t$ における気温と湿度のデータを入力することで時刻 $t+2\Delta t$ のロック位置を算出する。これを繰り返すことでロック位置の変動を予測する(図4)。

この予測手法では、現在までのロック位置、温度と湿度に加えて、翌日の温度と湿度を入力データとすることで、翌日のロック位置の変動を予測することができる。

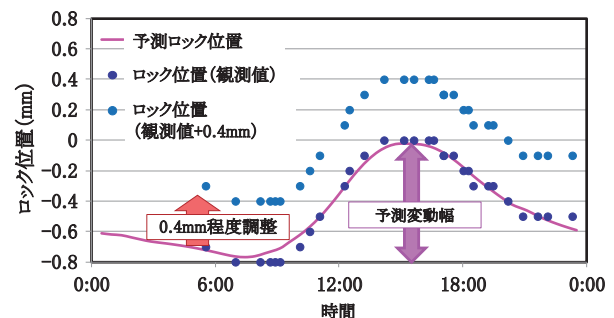


図3 ロック調整量の目安

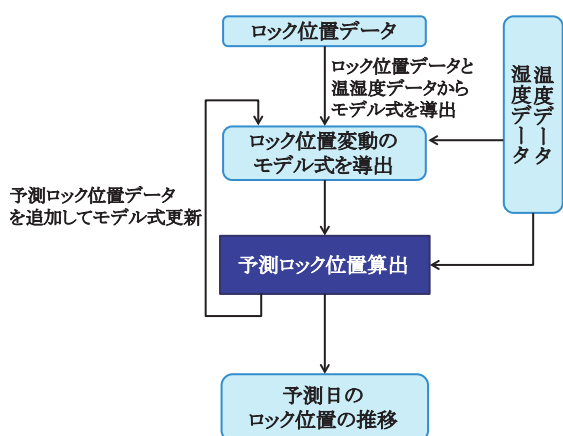


図4 ロック位置変動の予測の流れ

これにより、そのロック位置変動の予測値を参考にして、列車が走行しない夜間などの作業時間帯にロック位置の調整を行うことで、列車走行時間帯のアラーム発報と、これに伴う調整作業を回避することが期待できる。

さらに、このロック位置予測手法は、翌日だけでなく、気温と湿度の予測データが入手できる日までの予測に適用できる。例えば、一週間先までの気温と湿度の予測データが入手できれば、一週間分のロック位置の変動を予測できる。これにより、翌日の予測のみの場合よりも、作業調整が容易になることが期待できる。ただし、ロック位置の変動予測の精度は気象予測の精度に影響を受けることに注意する必要がある。

3.3 ロック位置変動予測手法の説明変数に関する考察

前節で述べたロック位置の変動予測手法では、ロック位置データの他に気温と湿度データを入力として、予測ロック位置を出力する。しかしながら、その他にロック位置の変動に大きく影響する因子として、レール温度が考えられる。しかし、レール温度を直接計測することは困難であると想定される。そこで、ロック位置の変動のモデル化において、レール温度の条件を適切に反映できる説明変数を選択する必要がある。ここでは、レール温度を気象データで適切に説明できるかについて考察をした結果を述べる。

一般的にモデル化にあたって、変数同士に高い相関がある複数の変数を説明変数として選択するのは望ましくない。そこで、ここでは、気象とレール温度の相関を確認することとした。

まず、環境とレール温度の測定を行った。実施した測定の概要を以下に示す。

測定場所：保守基地（図5）

測定データ種類：レール温度、小屋内気温・湿度、屋根上気温・湿度・日射量

測定周期：10分（上記のデータ全て）

測定期間：2013年7月19日～2013年11月6日

上記の測定データの他に、測定場所から約7km離れた気象台で観測された気象庁の気温と湿度のデータを追加して気象データとし、レール温度と対象データの相関を確認した。表1にレール温度と各データとの相関係数を示す。表1から小屋内と屋根上の気温とレール温度の間には非常に高い相関があることを確認できる。このことから、レール温度と測定場所付近の気温の両方を説明変数とすることは適切でないと言える。

次に、レール温度を気温または湿度で代替できるかを検証した。レール温度に対して、気象データにより単回帰分析を行った。表2に単回帰分析を行った際の決定係数を示す。表2より小屋内、屋根上の気温の決定係数がそれぞれ0.92, 0.87とかなり寄与率が高いことが分かる。これは、測定場所付近の気温によって、レール温度をかなり高い精度で予測可能であることを示している。

以上の結果から、レール温度のかわりに予測対象設備付近の気温をロック位置予測手法の説明変数として用いることは適切であると考えられる。しかしながら、前節

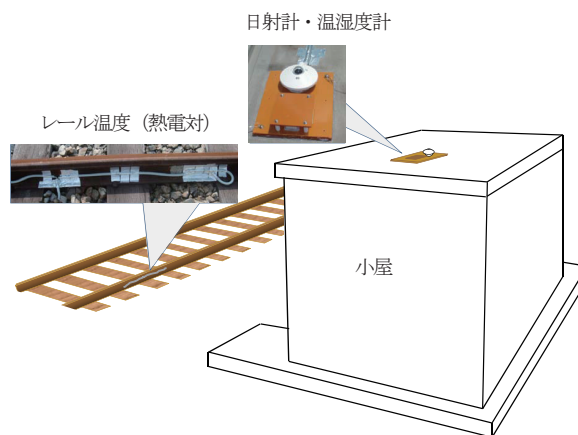


図5 測定機器の設置概要

表1 レール温度との相関係数

気温	小屋内	0.96
	屋根上	0.93
	気象庁	0.76
湿度	小屋内	-0.66
	屋根上	-0.76
	気象庁	-0.36
日射	屋根上	0.76

表2 単回帰分析の結果（決定係数）

気温	小屋内	0.92
	屋根上	0.87
	気象庁	0.58
湿度	小屋内	0.44
	屋根上	0.57
	気象庁	0.13
日射	屋根上	0.58

で述べた予測手法では入力データとして予測気温が必要になるため、予測対象設備付近の温度の計測とその予測を行う必要がある。気象庁の気温とレール温度間の相関係数と決定係数は、測定場所付近の気温とレール温度間の結果に次いで高くなっている。よって、予測データの入手容易性と信頼性を勘案すると気象庁の気温データを説明変数として選択することは妥当であると考えられる。ただし、気象庁の気温データよりもレール温度測定付近の気温の方がレール温度との相関が高いことから、予測を行う転てつ機に近い気象庁の気温データを選択する必要がある。

4. 保全計画策定に関する支援情報

列車走行時間帯のアラーム発報を減らすためには、日々の適切なロック調整だけでなく、月単位・年単位での保全計画を策定することも重要である。そこで、本章では、後者の保全計画策定のための支援情報に関する検討結果を述べる。

4.1 保全計画策定に必要な支援情報の検討

適切に保全計画を策定するためには、ロック調整を行う時期や頻度を判断する必要がある。まず、ロック調整を行う時期を判断するための支援情報の提示例を図6に示す。図6には、ロック位置の変動傾向の中心と変動幅を示す。ロック位置の変動傾向の中心が従来のアラーム発報のしきい値に到達する時期よりも以前が、ロック調整を行う時期の目安である。さらに、変動幅を持たせることで早めの対処を促し、保守の確実性を高めることが期待できる。次に、ロック調整を行う頻度を判断するための支援情報の提示例を図7に示す。図7では、一例として、提示期間を月単位にしている。例えば、図7の例であれば、転てつ機Aよりも転てつ機Bの方がロック位置の変動が大きい傾向にあるため、転てつ機Bを重点的に確認することが必要と予測できる。変動が大きい転てつ機に対して、ロック調整を行う頻度を増やすなどの

判断ができる。このように、ある期間ごとに、それぞれの転てつ機についてロック位置変動量の予測値を提示することで、ロック調整の頻度を判断する材料にできる。

これらを基に、保守計画を策定することで、適切な時期に、適切な頻度でロック調整作業を実施することが期待できる。

4.2 ロック位置の長期的な変動傾向の把握

前述のロック位置予測手法では、気温と湿度の予測データが必要であるため、現在の気象庁の気象予測精度を勘案すると数日程度の予測が限度であると考えられる。前節で検討した保全計画策定に関する支援情報を提供するための分析方法について検討する。3.2節では、ロック位置の変動と季節による気温、湿度の変動との関係性に着目してモデルを説明したが、長期的な気象予測を入手することは困難なため、前述の手法でロック位置変動を予測することは難しい。そこで、ロック位置の変動傾向を把握する方法を検討する。

長期的なロック位置の変動傾向を把握するためには、長期間のロック位置データの蓄積が必要となる。そのため、データの蓄積期間に実施されたロック調整作業等の保守作業を勘案して、適切にデータを整理しなければ、分析結果の信頼性に大きく影響する。そこで、以下では長期変動傾向分析手法を説明する前に、入力データの整理方法について説明する。

ロック位置データには、ロック調整作業に伴う人為的な変動も含まれるため、ロック位置の変動傾向の適切な把握には、ロック調整作業による変動を除去する必要がある。除去方法として、作業記録から辿る方法が考えられるが、作業記録は紙媒体であることが多いため、作業情報を入力する手間が増えると考えられる。そこで、除去の自動化を念頭において、ロック位置データのみから除去するデータを判断する方法について検討した。図8(a)の点線内は夜間の作業時間帯を示し、この間に10回以上の転換を行っている。このことから、ロック調整を行った場合は、夜間の作業時間帯に複数回の変動があ

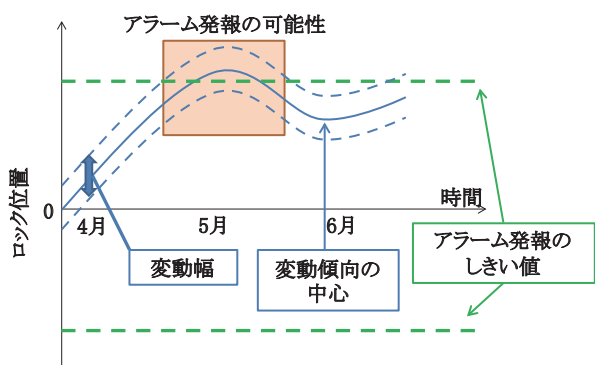


図6 ロック調整を行う時期の目安

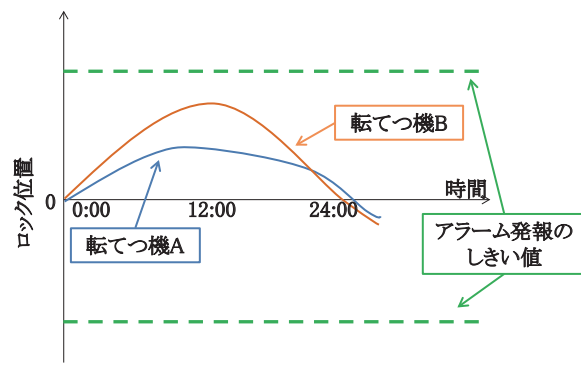


図7 ある月のロック位置の平均的な1日の変動

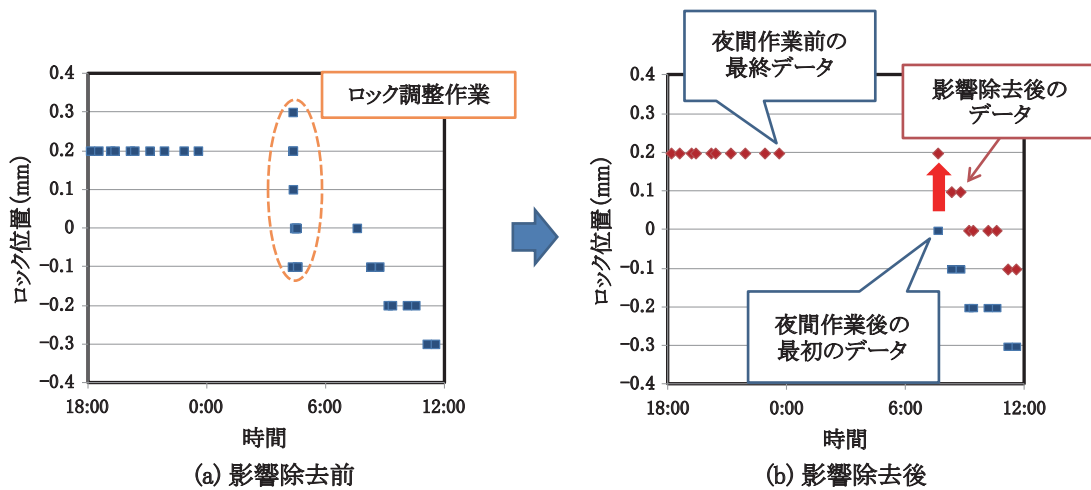


図8 ロック調整作業の影響除去

るため、ロック調整作業があったことがデータから判断できると考えられる。しかしながら、ロック調整作業における調整量を把握することは難しい。そこで、今回は、ロック調整作業を行った後の最初のロック位置データとロック調整作業を行う前の最終のロック位置データが一致するようにロック位置データを平行移動した(図8(b))。これは、ロック調整作業を行っていない日において、夜間作業の時間帯前後のデータが大きく変化していないことから妥当であると考えられる。ある年の7月と8月の2か月分のロック位置データから上記の方法でロック調整作業の影響を除去したデータを図9の青実線に示す。図9より、2か月の中でも7月と8月ではロック位置の変動傾向が変化していると考えられる。ここでは、月ごとの計画を策定することを想定し、月ごとの変動傾向を把握する方法について説明する。1か月を通しての変動傾向とある月の1日の平均的な挙動についてそれぞれ検討を行った。

まず、1か月を通しての変動傾向を把握する方法について説明する。ここでは、一日の変動の特徴を表す量として平均値を用い、その推移を図9に示す。図9では、標準偏差(以下、 σ)を用いて、平均値 $\pm 2\sigma$ を変動幅として示す。前述の通り、この変動幅の最小値または最

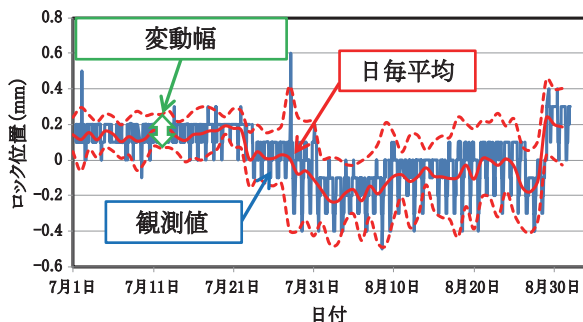


図9 長期的な変動傾向

大値が従来のしきい値に到達する時期からロック位置の調整作業を行う時期の目安となる。次に月ごとに1日の変動傾向を把握する方法について説明する。上述の手法と同様にここでは特徴を表す量として平均値を用い、その推移を図10に示す。この転てつ機においては、7月よりも8月の方が1日の平均的な変動が大きいため、8月の実際の変動に注意すべきという支援情報が提供できる。また、同じ月の転てつ機別の結果からある月の注意すべき転てつ機の判断の参考となる。

5. 可視化システム

3章で紹介したロック位置変動の予測手法の結果を可視化することがロック調整量の目安を得る上で有用であるため、ロック位置変動の予測を可視化するシステムを試作した。本システムの画面表示例を図11に示す。3.2節で述べた予測手法から得られた予測値と観測値を比較できるように、予測値の他に観測値も表示している。また、その指定日の前日のロック位置と気象データも表示している。これは、予測モデルの出力が常に正しいとは限らないため、前日データと比較して予測値が妥当であるかなど、最終的にはユーザーが予測値の信頼性や保守の要

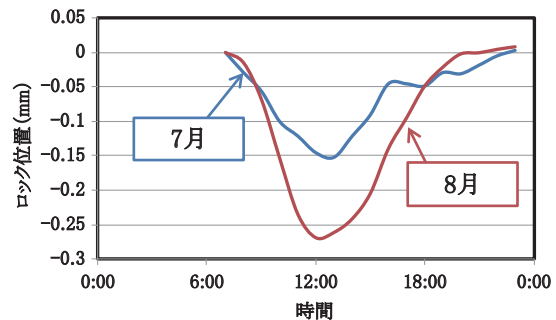


図10 月毎の平均的な日変動

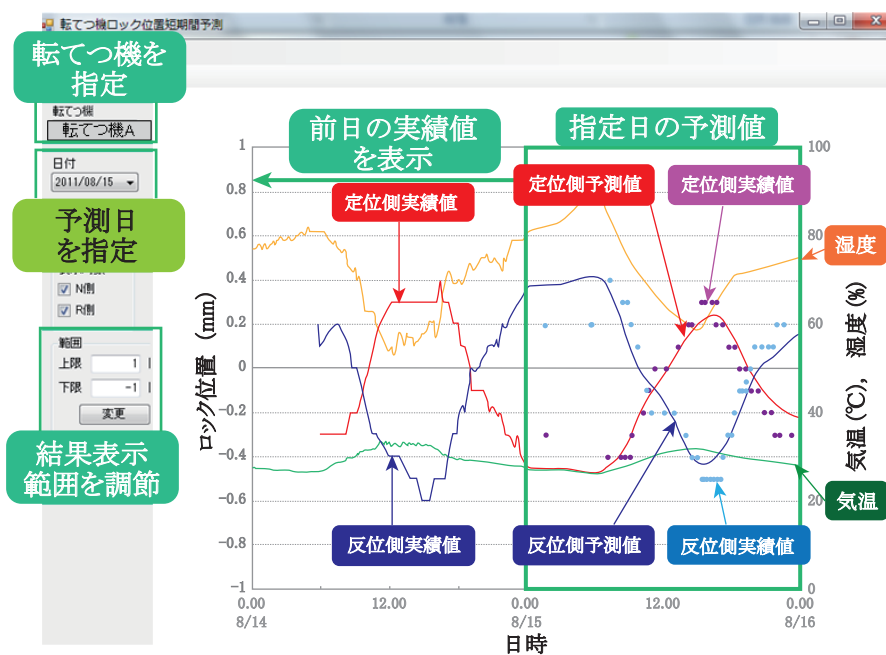


図 11 短期間予測可視化システム画面

否を判断できるようにするためである。

今回試作したシステムにより、過去の気象データと翌日の気象予測データを自動的に取得する機能を組み合わせることで、最新のデータを反映した翌日のロック位置の予測値を可視化することが可能となる。今後はユーザーの要望に応じた UI（ユーザーインターフェース）の改良等を行っていく予定である。

6. おわりに

本稿では、ロックモニタ装置に蓄積されているデータを活用したロック位置の変動予測手法と長期変動を把握する方法について報告した。また、ロック位置の変動を予測することによりロック調整量の目安を、長期変動を把握することによりロック調整作業の頻度などを保守作業の支援情報として提供できることを示した。加えて、上記のロック位置の予測手法を組み込んだ転てつ機の可視化システムを紹介した。

今後はモデルの検証や改善を行うとともに、試作した可視化システムの UI の改良についても検討を進めていきたいと考えている。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、多大なるご支援をいただいた西日本旅客鉄道株式会社の関係各位に謝意を表します。

文 献

- 1) 羽田明生, 岩澤永照: 状態監視のためのセンサーネットワークを構築する, RRR, Vol.70, No.11, pp.22-25, 2013
- 2) 五十嵐義信, 渡辺郁夫: 新しい転てつ機モニタ装置, RRR, Vol.61, No.10, pp.26-29, 2004
- 3) 五十嵐義信: 電気転てつ機状態監視装置の開発, 鉄道総研報告, Vol.19, No.8, pp.11-16, 2005
- 4) 村井佑介, 沖川知徳: ロックモニタ装置による転てつ機保守の改善, 鉄道と電気技術, Vol.23, No.2, pp.43-49, 2012
- 5) 五十嵐義信, 岩澤永照: 転てつ機モニタの効果的活用法, JREA: 日本鉄道技術協会誌, Vol.55, No.10, pp.37189-37192, 2012
- 6) 流王智子, 川崎邦弘: 電気転てつ機のロックモニタデータによるロック位置変動の短期予測, 鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, Vol.20, pp.521-522, 2013
- 7) 山本拓: 時系列分析とその経済分析への応用, 大蔵省財政金融研究所フィナンシャルレビュー, Vol.23, pp.48-71, 1992