

車両のモニタデータを活用して 車両機器の異常を検知する



横内 俊秀
Toshihide Yokouchi
車両技術研究部
駆動システム研究室
研究員



近藤 稔
Minoru Kondo
車両技術研究部
駆動システム研究室長



高重 達郎
Tatsuro Takashige
車両技術研究部
駆動システム研究室
副主任研究員

はじめに

鉄道車両にはさまざまな機器が搭載されており、走行や旅客サービスに必要な機能を提供しています。しかし、それらの車両機器が故障すると、旅客サービスの制限、運転の打ち切りなど、通常の列車運行に支障が生じます。そこで鉄道会社では、車両機器の故障を予防するために多くのリソースをかけて車両機器の維持・管理を行っています。しかし、偶発的な車両機器の故障は防げないため、車両には車両機器の異常を自動的にとらえ、乗務員に警告したり車両機器の機能を抑制・停止させたりする機能が古くから導入されてきました。例えば、車両機器に過大な電流が流れた場合には電流を遮断する、台車に異常な振動が生じた場合には乗務員に警告するなど、おもに重大なリスクが認められる場合にそのような機能が導入されてきました。

一方、近年になりコンピューターの演算能力やメモリーの記憶容量が飛躍的に向上し、大容量のデータを扱えるようになりました。鉄道車両では、**TCMS**^①とよばれるシステムにより、

以前と比べ多種かつ長期間のデータ（モニタデータ）を各機器から集約・記録できるようになりました。このように収集されたモニタデータは、機器が故障した際の状況把握に使用されています。将来的には、機器の状態を自動的に診断する用途としても期待されています。

鉄道総研では、車両機器の動作状態を詳細に把握できるモニタデータを機器の**異常検知**^②や故障予兆判断に活用することをめざしています。ここでは、その仕組みと営業車両で取得されたモニタデータを用いた異常検知の事例を紹介します。

しきい値による異常検知

機器の異常を検知するもっとも単純な方法として、機器に取り付けられたセンサーの値に対して正常範囲を決めておき、正常範囲を逸脱した場合に異常と判定する方法があげられます（**図1**）。この正常範囲の境界を「しきい値」とよびます。鉄道車両の一部機器ではこのような方法を用いて異常検知を行っています。ただし、

^① **TCMS (Train Control and Monitoring/Management System)**

車両の走行やサービスなどに関係する機器の制御、運転状態の記録などを行うシステムです。近年では携帯電話回線などを活用した地上側との通信機能と組み合わせることで、地上側のサーバーにモニタデータを蓄積したり、機器の状態を指令所などの遠隔地から確認できるようなシステムも存在します。

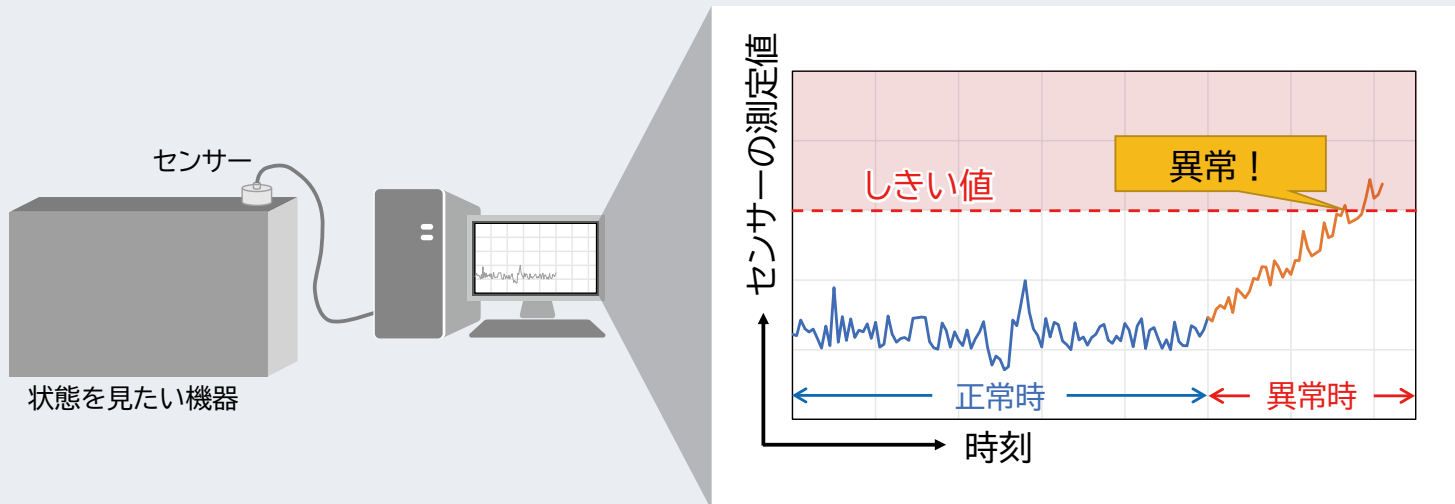


図1 単純なしきい値による異常検知

通常の運転状態でもセンサーの値は変動する場合があるため、正常な場合に「異常検知」しないよう正常な範囲から十分外れた値をしきい値として設定します。そのため、異常が発生してもその影響が十分大きくならないと検知できません。

そこで、近年注目を浴びているAIを活用し、複数のセンサー情報から機器の状態を総合的

に把握すれば、上述の方法と比べ早期かつ正確に異常を検知できるようになると考えられます。これにより、異常発生時に余裕をもって点検・処置を行えるようになり、列車運行への影響を少なくすることが期待できます(図2)。さらに、故障の進展を見越して修繕計画を立てられれば、突発的な故障に対応するために必要な人員などの適正化も期待できます。

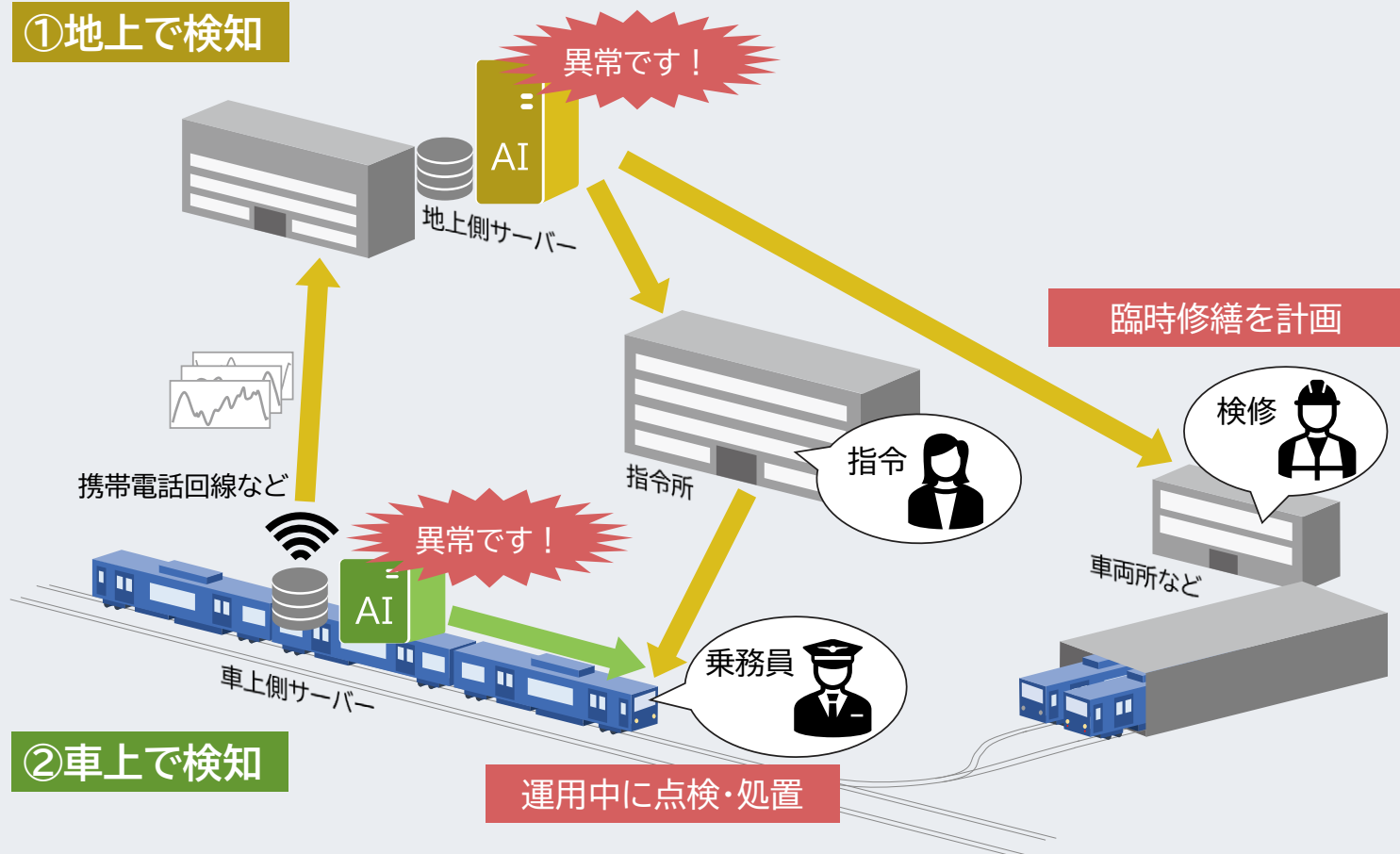
異常検知

異常とは普段とは異なる状態を指します。私たちは普段使っている機器から変な音が聞こえてくると何かおかしいと感じます(図I)。そのように感じるのは、今聞こえている音が普段聞いたことがある音と違う場合ではないでしょうか。機器の運転状態が変わるとそれに応じて音も変わる場合もありますが、普段から使っている機器であれば、どんな運転状態でどんな音が鳴るのかを覚えています。また、その機器の音を聞くのがはじめてだとしても、ほかの似たような機器の音を引き合いに異常な音かどうかを判断できます。これらの類推も含め、普段と違う音が聞こえればおかしいと感じるわけです。そこで、機器の普段の状態、すなわち正常な状態を知っておくことで、機器で発生した異常を検知できるようになる可能性があります。ここでは音を例に説明しましたが、普段より光が暗いとか、普段より表面が熱いとか、とにかく普段の状態を知っていれば、異常かどうかを判断できると考えられます。



図 I

①地上で検知



②車上で検知

図2 活用イメージ

正常時の状態との比較による異常検知

鉄道総研が開発に取り組む、AIを活用した正常時の状態との比較による異常検知手法を、気動車のエンジン冷却系を例に説明します(図3)。エンジン冷却系では、エンジンで発生した熱を冷却水で冷やします。その冷却水は放熱器で冷やすことで温度が上がり過ぎないようにしています。しかし、何かしらの理由でエンジンの冷却性能が低下して、エンジンで発生した熱を十分に逃がせなくなると冷却水温が上昇し続けます。そして、最終的にエンジンがオーバーヒートを起こし、それ以上の運転が難しくなってしまいます。

異常検知手法には3つのステップがあります(図4)。まず、エンジン冷却系の正常な状態をAIに覚えさせます(図4①)。具体的には、放熱ファンの動作やエンジンの動作状態によって、

冷却水の温度がどう変わっていくかを学習させます。AIがモニタデータを学習すると、放熱ファンやエンジンの動作状態から正常時の冷却水温を推定できるようになります。このとき、推定を行っているAI内部の計算式やデータのセットを「モデル」とよびます。本手法のAIには、ニューラルネットワークを使用しています。また、今回の問題のような温度の変化を扱うときには過去の履歴が重要になるので、ニューラルネットワークのなかでも時間的傾向の学習に優れるLSTM[®]を使用します。

次に、作成したモデルが正常時の状態をどの程度正確に推定できるかを評価します(図4②)。そこで、学習では使用しなかった正常時のデータを使って冷却水温をモデルに推定させ、各時刻の実際の値と推定値の差、すなわち推定誤差を計算します。そして、推定誤差の発生確率の

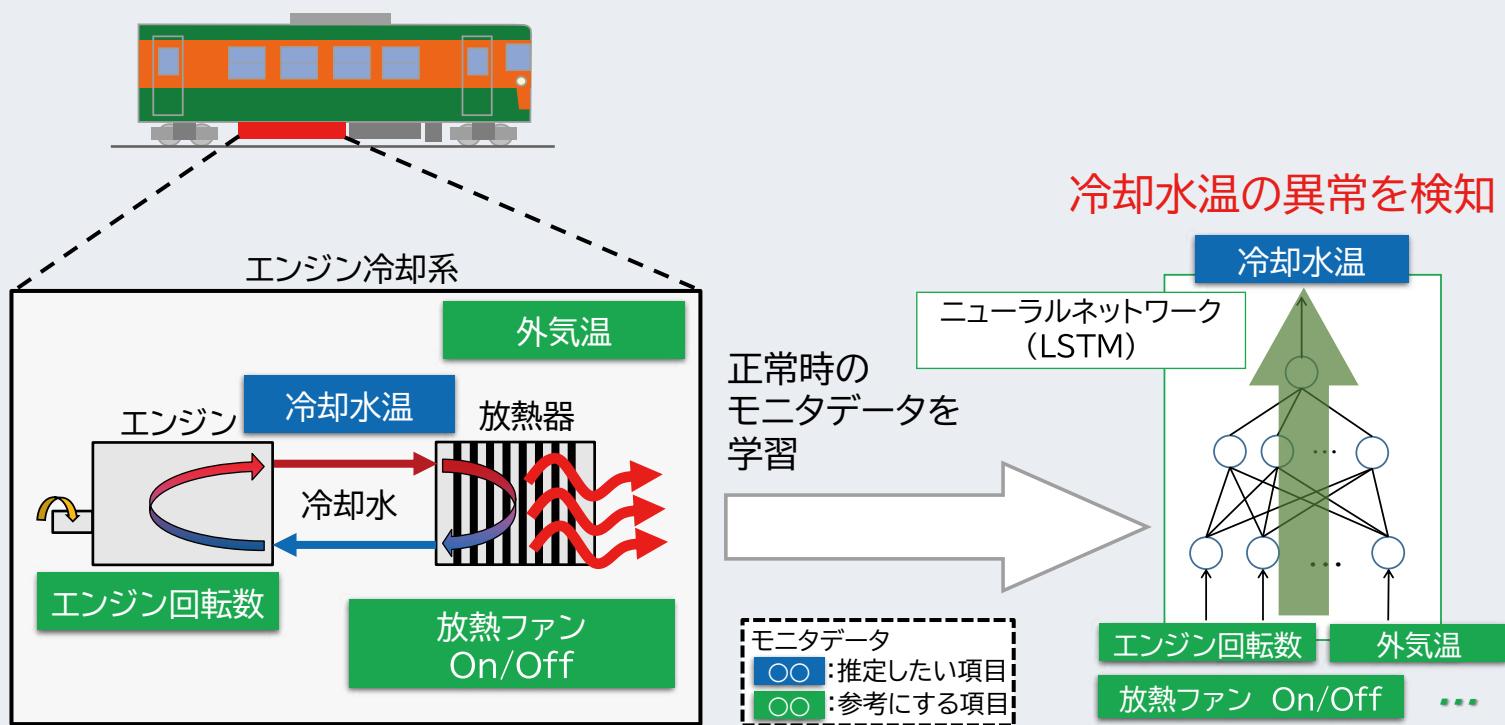


図3 エンジン冷却系と冷却水温の推定

分布を評価します。正常時のデータであれば学習しなかったデータだとしても、実際の値と推定値はおおむね一致するため、推定誤差の小さい分布が得られます。ここまでの異常検知の事前準備です。

いよいよ、異常検知対象のデータの異常度を評価します(図4③)。まず、モニタデータを用いて冷却水温の推定を行います。ここでエンジンの冷却性能が低下して冷却水温が異常に上昇した場合を考えます。この場合、実際の冷却水温はいつもより高くなりますが、AIは正常時のモデルで推定しているため推定された冷却水温の方が低くなり、推定誤差が大きくなります。次に、②で評価しておいた正常時の推定誤差の分布にもとづき、今回の推定誤差が正常時に発生しうる確率を計算します。さらに、その確率から異常度を計算します。異常度は各時刻

の推定誤差に対して計算され、正常時に発生しないような推定誤差に対する異常度が大きくなるように定義されています。これにより、正常時の機器状態とのかい離具合を異常度という値で表現できます。

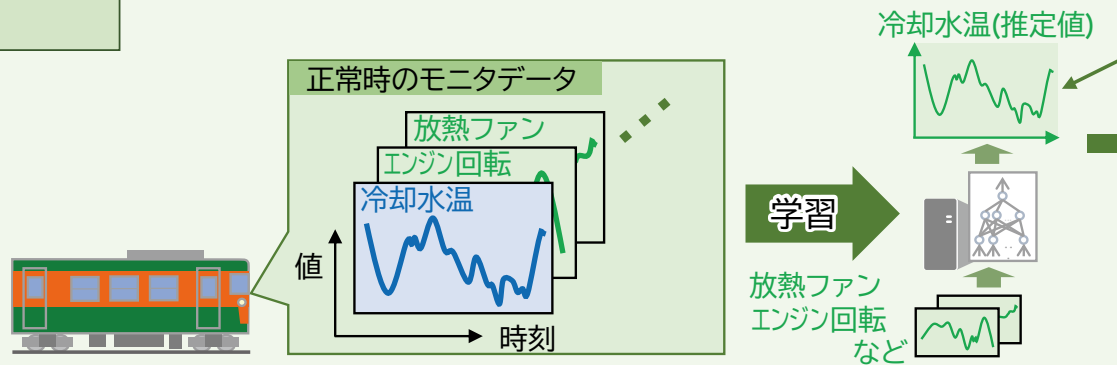
実車両のデータを用いた評価

営業車両で得られたエンジン冷却系に関するモニタデータでの評価例を紹介します。異常時のデータとして、走行中に放熱器の外気取り入れ口が雪でつまり、最終的にオーバーヒートが

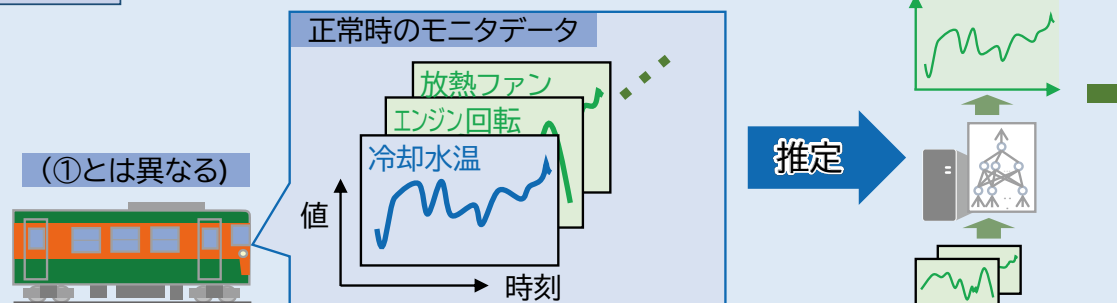
LSTM (Long Short Term Memory)

LSTMは深層学習(ディープラーニング)の手法の1つで、時間の経過により変化するデータの学習に適したネットワークモデルとして提案されました。一般的なニューラルネットワークモデルと比較して、短期から長期の情報を柔軟に学習し、予測できることが特徴です。

①正常な状態の学習



②正常時の推定誤差の評価



③異常度計算

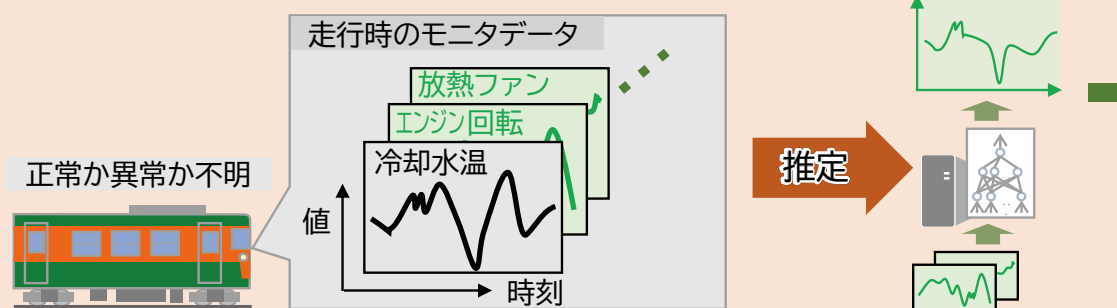


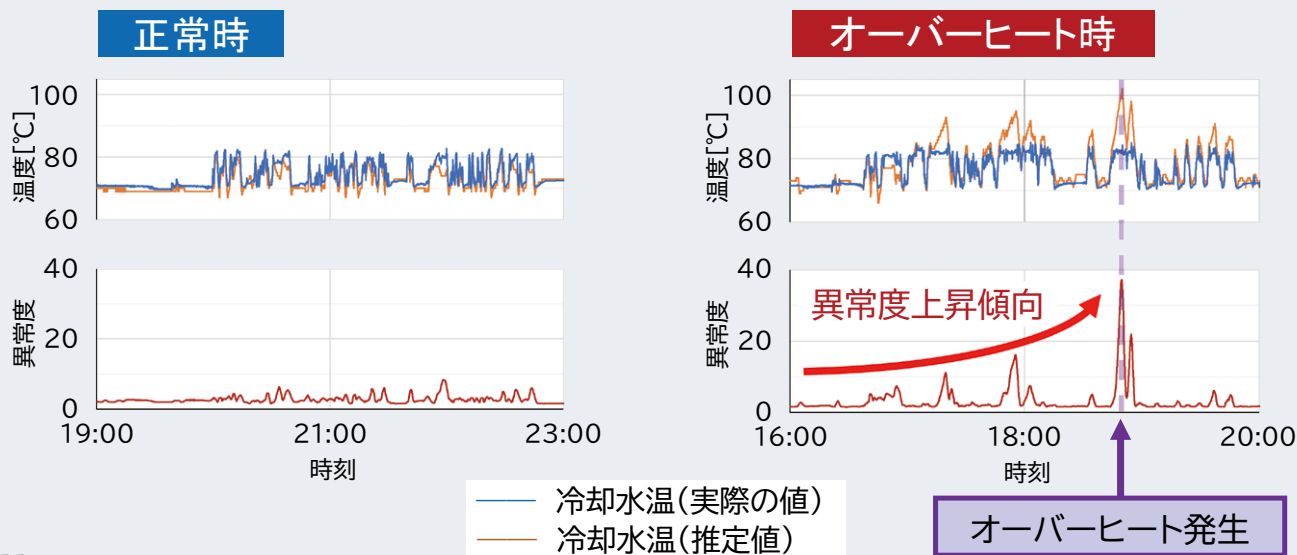
図4 異常検知手法の概要

発生したときのデータを使用しました。現在の鉄道車両は冷却水温がしきい値を超過するとオーバーヒートを検知し、エンジンの運転を抑制します。冷却水温は変動するため、正常時に

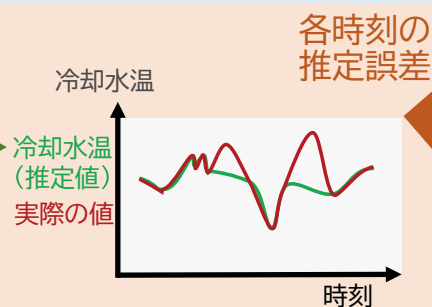
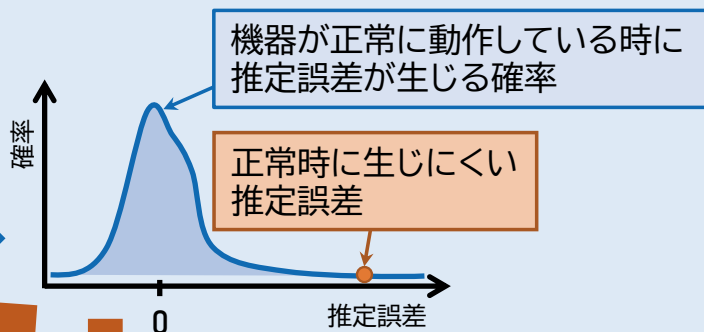
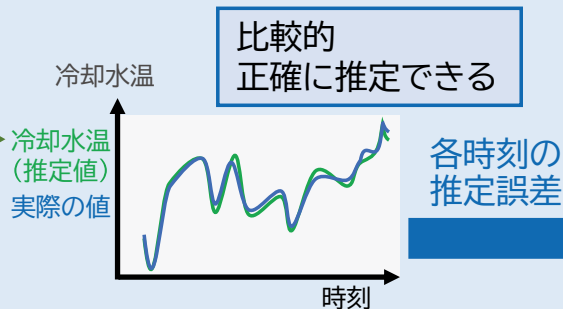
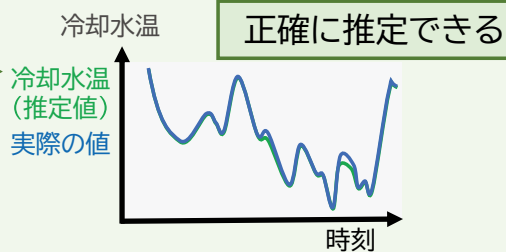
オーバーヒートを誤って検知しないよう、一般的にしきい値はおよそ100℃に設定されています。

図5に正常時とオーバーヒート時の異常度計

図5 異常度計算結果



機器が正常に動作している時の冷却水温を推定



算結果を示します。正常時には異常度が低いのに
対し、オーバーヒート時にはオーバーヒート
が検知された1時間半程度前から断続的に異常
度が大きくなっているのが確認できます。この
ように、本手法によりオーバーヒートが検知さ
れる前から異常度を計算することでその予兆を
とらえられることがわかりました。エンジン冷
却系の異常を事前にとらえ計画的に点検・処置
を実施できれば、走行中のオーバーヒート発生
を未然に防ぐことができると期待できます。

このように、本手法を活用することにより車
両機器で発生した異常を早期にとらえ乗務員や
指令員などに知らせるシステムを構築できます。
そして、重大な故障に至る前に対処することで、
鉄道輸送の安定性を一層高められると考えてい
ます。

これまで、エアコンやエンジン本体に対して
も評価を行い、手法の有効性を確認しています。
さらに、本手法の適用範囲をほかの機器にも拡
張できると考えています。

おわりに

今回は、鉄道車両のモニタデータを活用した
機器の異常検知手法について紹介しました。鉄
道車両のモニタデータの収集は可能になってき
ましたが、収集されたデータの活用は今後の課
題となっています。今後もデータ活用技術の研
究開発に取り組んでいきます。RRR

文 献

- 1) 横内俊秀, 近藤稔, 高重達郎: 鉄道車両におけるモニタデー
タを用いた機器の異常検知, 鉄道総研報告, Vol.36, No.2,
pp.23-28, 2022