

鉄道車両のリモートモニタリングサービスによる保守業務のデジタル化

Railway Remote Monitoring Services to Facilitate Maintenance of Rolling Stock and Electrical Equipment through Digitalization Based on IoT Technologies

戸田 勇人 TODA Hayato 阿邊 優一 ABE Yuichi 野澤 幸輝 NOZAWA Yukiteru

鉄道事業者は、輸送サービスの更なる価値向上に向けて、鉄道車両や車両電気品の保守業務の効率化・高度化に取り組んでいる。

そこで東芝インフラシステムズ(株)は、デジタル技術を取り入れた鉄道車両向けのリモートモニタリングサービスを開発し提供している。このサービスでは、鉄道車両の稼働データをIoT (Internet of Things) で収集・蓄積し、現在又は過去の事象の見える化機能の提供に加え、収集したデータを活用した取り組みとして、空調装置の状態基準保全 (CBM: Condition Based Maintenance) を目指した分析手法を開発した。また電気品の載せ替えがあっても、その保守に向けたデータ活用と設備機器としてのアセットトレーサビリティを確保するため、鉄道アセットへの情報モデルの適用方法も開発している。

In order to further enhance the value of railway transportation services, railway companies have been engaged in activities aimed at improving the efficiency and sophistication of maintenance work for rolling stock and electrical equipment.

Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corporation has been developing and providing railway remote monitoring services employing digitalization based on Internet of Things (IoT) technologies. These services incorporate a function for the visualization of past and present operational conditions of rolling stock and electrical equipment using data obtained and accumulated by IoT devices. Using this function, we have now developed an analysis method targeted at condition-based maintenance (CBM) of onboard air-conditioning units. We are also developing an ontology-based railway asset monitoring method capable of accurately utilizing data for maintenance and securing asset traceability even in the case of replacement of electrical equipment.

1. まえがき

近年、予想だにできなかったコロナ禍や自然災害に代表される突発的で影響範囲の広い問題、少子高齢化に伴う旅客数漸減や鉄道事業の現場を担う人員漸減といったマクロな問題、あるいはそれらの問題を踏まえた上での輸送サービスの更なる価値向上に関する問題など、多様な問題に鉄道事業は直面している。

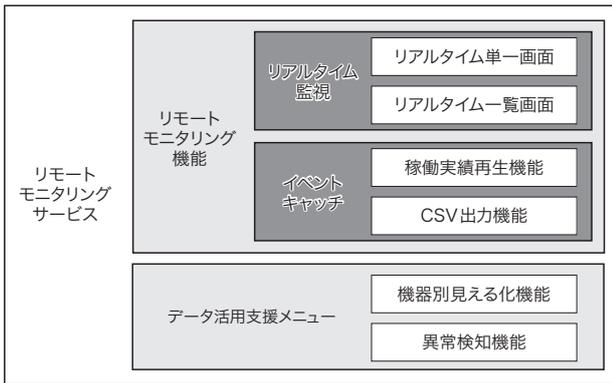
これらの問題を解決するためには、これまで長年蓄積されてきた経験に加えて、最新の情報を正確かつ大量に把握するための手段と、それらを迅速かつ全ステークホルダーにわたる横断的な意思決定につなげる仮説検証のための手段が必要とされるようになってきており、IoT (Internet of Things) やAIといったキーワードで示されるデジタル技術は、それらの手段の重要な実現要素となっている。

ここで、IoTという技術を適用するにあたっては、次のような難しさを認識する必要がある。例えば、Society 5.0 for SDGsを具現化させることを念頭に鉄道事業者とメーカーの間で問題を共有して一連の業務やシステムのあり方を見直し

たり、30年以上使用され続ける車両に数年単位で世代交代するワイヤレス通信技術を組み込んだり、主回路や列車空調など複数種類の車両電気品の振る舞いを全体最適化できるように活用する、といったことである。これらの難しさを乗り越えることで、デジタル技術は多様な課題に適用できるようになる。

東芝インフラシステムズ(株)は、このような課題の中で、車両電気品メーカーとして解決にいち早く貢献できる、鉄道車両及び車両電気品に関する保守業務や車両運用業務の効率化や高度化といった領域にフォーカスし、そこで適用可能なリモートモニタリングやデータ分析に関する技術の開発に取り組んでいる。また、これらの技術を活用して、鉄道車両向けリモートモニタリングサービスの構築を進めている(図1)。このうち、リモートモニタリング機能であるリアルタイム監視及びイベントキャッチについては、日本貨物鉄道(株)のEH800形式交流電気機関車全20両に対して2020年4月に導入した⁽¹⁾。

ここでは、リモートモニタリング機能について述べるとともに、更にこの機能を活用したデータ活用支援メニューの例と



CSV : Comma-Separated Values

図1. 鉄道車両向けリモートモニタリングサービスの機能構成

リモートモニタリングサービスは、シンプルな監視機能から、高度な分析機能までをカバーする。

Functional configuration of railway remote monitoring service

して、列車空調装置の保守運用効率化と、情報モデルを用いたアセットトレーサビリティについて述べる。

2. リモートモニタリング機能

リモートモニタリング機能は、鉄道車両の運転室に後付けで設置したIoT端末から、車両の情報(稼働状態やアラート情報)を自動的に地上サーバーにセキュアに伝送・蓄積することで、リモートでの鉄道車両の状態監視を支援するものである(図2)。ユーザーはパソコン(PC)やタブレット端末からインターネットブラウザを介して車両の情報を容易に閲覧できる⁽²⁾。

リモートモニタリング機能は、車両の情報をほぼリアルタ

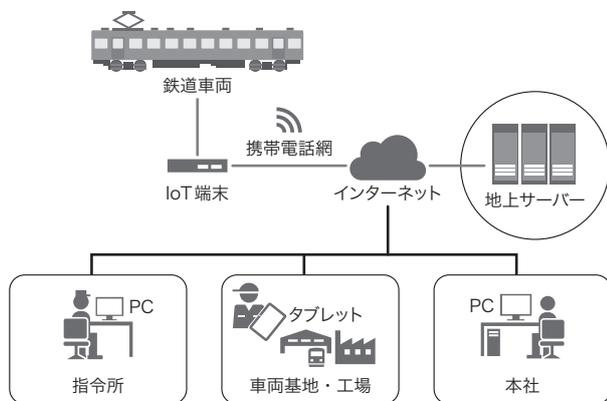


図2. 鉄道車両向けリモートモニタリングサービスのシステム構成

ユーザーはインターネットブラウザを介して鉄道車両の情報をリモートでモニタリングできる。

Overview of railway remote monitoring service

イムに表示するリアルタイム監視と、アラート情報など特定のイベントを地図とグラフで表示するイベントキャッチから構成される。

2.1 リアルタイム監視

従来、故障などが営業走行中の車両で発生した場合、車両無線経由で乗務員から状況をヒアリングすることが多く、地上側(車両基地や指令所など)で直ちに状況を把握することは難しい面があった。リアルタイム監視は、地上側においても車両側と同じ情報をほぼリアルタイムかつ正確に把握することを可能とする機能であり、故障発生時の初動対応を迅速化し、復旧時間の短縮やダウンタイムの削減に貢献できる。

リアルタイム監視は、複数の車両のデータを表示するリアルタイム一覧画面(図3)と、特定の車両のデータを詳細に表示するリアルタイム単一画面(図4)の二つの画面で実現する。

リアルタイム一覧画面では、保有している全車両の状態

状態	最終検知時刻	種別	形式	ナバ	列車	速度(km/h)	マシンスラッパ	フルモタリ	異常発生動作	保安装置動作
●	2019/09/05 06:40:53:420	北海道	AAAAA	9001	1111F	0	切	固定	OFF	OFF
●	2019/09/05 10:40:53:419	北海道	AAAAA	9002	2222F	11	1N	運転	OFF	OFF
●	2019/09/05 10:40:53:418	北海道	AAAAA	9003	3333F	12	2N	運転	OFF	OFF
●	2019/09/05 06:40:53:417	北海道	AAAAA	9005	4444F	13	3N	運転	OFF	OFF
●	2019/09/05 10:40:53:416	北海道	AAAAA	9008	5555F	14	4N	運転	OFF	OFF
●	2019/09/05 10:40:53:415	北海道	AAAAA	9009	6666F	15	5N	運転	OFF	OFF
●	2019/09/05 06:40:53:414	北海道	AAAAA	9001	7777F	16	6N	運転	OFF	OFF
●	2019/09/05 10:40:53:413	北海道	AAAAA	9013	8888F	17	7N	運転	OFF	OFF
●	2019/09/05 10:40:53:412	北海道	AAAAA	9016	9999F	18	8N	運転	OFF	OFF
●	2019/09/05 10:40:53:409	北海道	AAAAA	9020	0000F	0	切	固定	OFF	OFF

図3. 複数車両のリアルタイムデータ一覧画面の例

複数の鉄道車両の稼働状態を、ほぼリアルタイムに俯瞰(ふかん)的に確認できる。

Example of list display of real-time data of multiple rolling stock

機械状態	機械ID	検知時刻	検知場所	検知内容	検知状態
●	AAAAA-0001	2019/09/05 12:10:10	札幌駅	正常	正常
●	AAAAA-0001	2019/09/05 12:10:10	札幌駅	正常	正常
●	AAAAA-0001	2019/09/05 12:10:10	札幌駅	正常	正常
●	AAAAA-0001	2019/09/05 12:10:10	札幌駅	正常	正常

*地図は、OpenStreetMap™を利用。詳細は、openstreetmap.org, opendatacommons.org, creativecommons.org参照

図4. 単一車両のリアルタイムデータ画面の例

鉄道車両1編成における稼働状態の詳細を、位置情報とともにほぼリアルタイムに確認できる。

Example of display showing real-time data of specific train

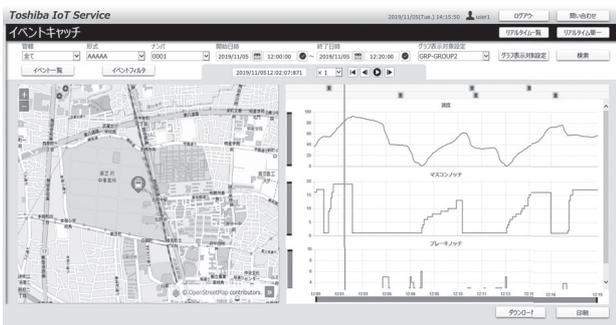
や主要項目のリアルタイム情報を一覧形式で表示する。各車両の状態（正常稼働、異常稼働、非稼働）を3色のアイコンで表示させることで、ユーザーが視覚的に識別しやすくしている。また、主要項目には速度、マスコン（マスターコントローラー）ノッチ、ブレーキノッチなどを表示しており、運用中の車両の状態を大まかに把握できることから、運行管理を行う指令所などのユーザーにも利用されることを想定している。

リアルタイム単一画面は、リアルタイム一覧画面で選択した特定の車両に対して、より詳細な情報を確認するための画面である。一つの車両に対する、各種センサーの値やスイッチ類などの稼働状態、現在発生中のアラート情報、及び地図上の現在位置を、同時に一つの画面で確認できる。これにより、選択した車両が、どこで、どのような状態にあるか、あるいはどのようなアラートが発生しているかを正確に把握できる。

2.2 イベントキャッチ

従来、走行中に異常が発生した場合、車両が車両基地に帰還するか、保守員が現地に出向き、車両からメモリーカードを引き抜いてデータをPCに移行してから分析を開始しており、状況把握に多くの時間を要していた。イベントキャッチは、走行中でも地上サーバーに蓄積済みの車両データに対して、ビジュアルな画面によりイベントの詳細分析を可能とする機能であり、異常時の要因切り分け（機器なのか、運転操作なのか）や、故障の原因特定の迅速化に貢献できる。

イベントキャッチ画面（図5）は、イベント（アラートなど）の発生箇所を特定したり、発生時刻近傍の関連する車両の情報（ノッチ、速度、各種センサー情報など）を確認したり



*地図は、OpenStreetMap™を利用。詳細は、openstreetmap.org、opendatacommons.org、creativecommons.org参照

図5. イベントキャッチ画面の例

鉄道車両の過去の挙動を位置情報と連動したグラフで確認できるため、故障対応などへの活用が期待できる。

Example of event capture display in event of failure

することで、イベントの原因究明を支援する。イベントを絞り込む方法としては、時間を指定する方法と、発生履歴一覧（サブ画面）からイベントを選択する方法の二つが可能である。グラフエリアに表示する車両の情報は、あらかじめ項目ごとに最大値、最小値を設定する必要があるが、複数の項目の設定情報をグループとして保存できるため、イベントごと又は車両形式ごとに適切な項目への切り替えを容易にした。また、各種報告資料用のバックデータとして、保存したいデータをCSV（Comma-Separated Values）ファイルとしてダウンロードできるほか、表示画面をそのまま画像として印刷することも可能とした。

3. 列車空調装置の保守運用効率化

様々な装置を対象に保守運用効率化の技術開発を進めているが、ここでは空調装置を例とした二つの取り組みについて述べる。

3.1 機器別見える化機能

従来、営業運転中の列車空調装置の利用実態は十分に把握できておらず、装置ごとに稼働率が異なるはずであるにもかかわらず、一律に定められた保守基準に従って保守運用していた。これは、不具合の見落としや、過剰保守につながる可能性がある。リモートモニタリング機能によって収集データの波形などが見える化できるが、これらを保守基準と照合するためには、データを加工して比較できるような指標に変換する必要がある。そこで、データを各種の保守基準と照合し、保守業務に活用できるように監視指標を定義した。

列車空調装置の保守基準としては、冷媒を介して熱交換するための圧縮機、コンデンサー、エバポレーターなどの構成部品ごとに点検周期や交換周期などが規定されている。

部品ごとの保守基準に対し、リモートモニタリング機能による収集データから関連の強い項目を選定し、監視指標を定義した。例えば、一定年数での交換が推奨される部品があり、その部品の寿命を律速する要素が通電時間である場合は、通電時間を監視指標とする。リモートモニタリング機能で収集されるリレーの駆動信号時系列データから累積通電時間を算出し、設計想定運用時間と比較することで、装置ごとの稼働実績に応じた判断が可能となる。主要なデータについては、車両内の装置自体で累積値の計算をしている場合もあるが、この方式を用いれば、そのような機能を持たない設計の装置であっても地上側に蓄積されたデータを利用することで累積値を計算できる。この監視指標値をインターネットブラウザ上に表示することで、実績に基づく保守計画の検討が可能となる。

3.2 異常検知機能

列車空調装置の性能を測る上で重要な指標の一つに、JIS E 6603 (日本産業規格 E 6603) で冷暖房容量として定義されている冷房能力がある。稼働中の空調装置から、冷房能力が低下するような異常や、異常の兆候を検知できれば、適切に修理できる。しかし、既存の列車空調装置には、制御用の温湿度センサーや圧力異常を検知するセンサーは設置されているが、冷房能力そのものの低下を検知することは難しい。また、異常の発生はまれであるため、機械学習などを用いて大量のデータから統計的に異常兆候を検知する場合には、その妥当性の検証方法が課題となる。

その解決策として、列車空調装置の実機を用いた異常模擬実験によるデータ計測と、列車空調装置の物理モデルを用いたシミュレーション技術の開発を行ってきた⁽³⁾。異常模擬実験で収集したデータとシミュレーションデータに対して機械学習を適用した、新たな異常検知方式を考案した(図6)。

この方式では、圧縮機に関する各種センサーデータに対する異常情報をモデル化した識別器を作成する。異常検知の運用段階では、リモートモニタリング機能が収集した圧縮機関連のセンサーデータを、サーバー上に展開した識別器に入力して、識別器で冷房能力に関わる部品の異常指標値を算出し、異常を表示する。見える化技術との組み合わせで、編成間の比較や、異常の進行具合を確認することも可

能となる。

今後は営業運転中のデータを収集し、検証を進める。

4. 情報モデルを用いたアセットトレーサビリティ

鉄道車両保守においては、列車空調装置などの装置を車両から取り外し、整備後に別車両へ搭載するといったことが一般的に行われる。そのため、リモートモニタリング機能で収集するデータから、装置個体を直接識別できない。そこで、3章で述べたような異常検知機能を実適用して装置個体ごとの状態を把握するには、装置の載せ替えや、倉庫などでの保管状態などを記録したアセット情報を活用し、個体識別を行う仕組みが必要となる。また、装置の時系列的な状態変化を知る上では、収集データをメーカーの設計・製造・品質情報、あるいは鉄道事業者の保守管理情報などと比較することも重要な意味を持つ。しかし、これらのデータは会社別又は部門別のシステムに点在し、鉄道事業者間で用語や仕様も統一されていないことから、統合して利用するためにはそれらを結び付ける仕組みが必要となる。このような課題解決のため、独立したデータの相互理解を可能とする辞書を、オントロジーとも呼ばれる情報モデルの仕組みによって体系的に記述する方式が提案されている⁽⁴⁾。この方式を基に、鉄道事業に関連するデータの関連性を抽出した(図7)。

今後は、抽出したデータ同士を結び付ける辞書を作成し、

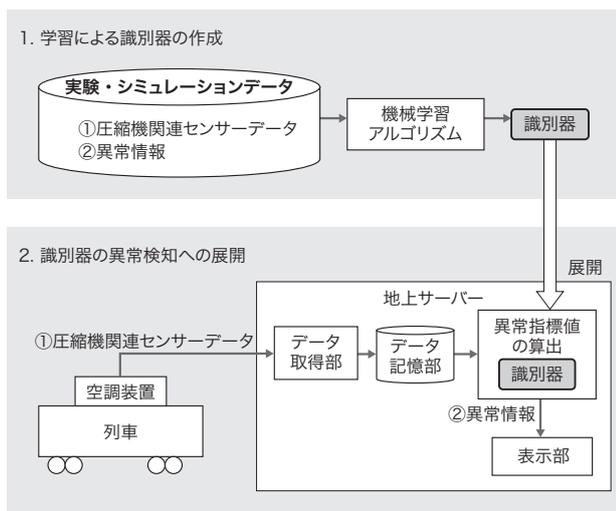
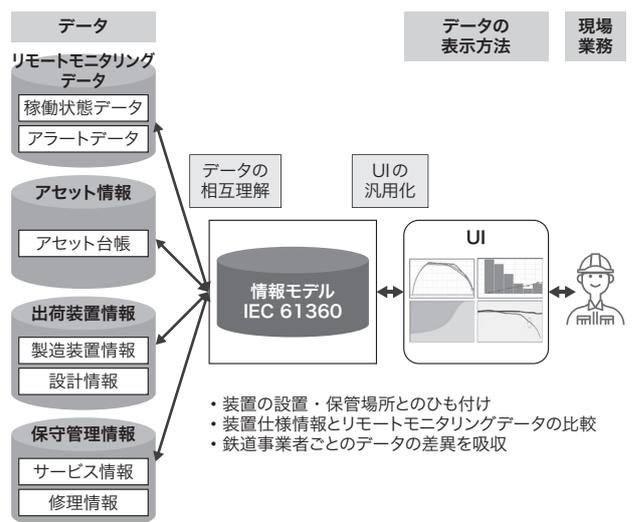


図6. 圧縮機に関連するセンサーデータを用いた異常検知方式の構成

異常模擬実験及びシミュレーションのデータを用いて作成した識別器を地上サーバーに展開して運用することで、異常検知する。

Configuration of anomaly detection method using sensor data related to compressors



IEC 61360 : 国際電気標準会議規格 61360

図7. 鉄道情報モデルを用いたデータ活用の高度化

情報モデルを用いて、各システムに点在しているデータ群とアプリケーション上のUI(ユーザーインターフェース)とを体系的にひも付ける。

Sophistication of data utilization based on railway information model

装置個体ごとの状態の見える化や、装置出荷時の試験データとの比較を容易に行うための検証を進めていく。

5. あとがき

デジタル技術を取り入れた鉄道車両向けのリモートモニタリングサービスについて、製品化済みのリモートモニタリング機能や、この機能で得られたデータを活用する事例を述べた。

今後は、輸送サービスの更なる価値向上に向けて、当社が貢献可能な領域を保守や車両運用業務だけでなく、更に広い分野に広げるために、技術開発を進めていく。

文 献

- (1) 又多啓之, 小野塚滝壘, リモートモニタリングサービスの導入, JREA, 2020, **63**, 1, p.43773-43776.
- (2) 東芝インフラシステムズ, “鉄道車両向けリモートモニタリングサービスの日本貨物鉄道株式会社への採用について”. ニュースリリース, <<https://www.toshiba.co.jp/infrastructure/news/20190717.htm>>, (参照 2021-04-01).
- (3) 岩田宜之, ほか, “列車空調装置の1D-CAE モデル化とそれを活用した故障予測の検討”, 2020年度年次大会 講演論文集, 名古屋, 2020-09, 日本機械学会, 2020, 論文番号J12101.
- (4) 細川 晃, 村山 廣, パーセル国際規格の開発及び応用, 東芝レビュー, 2013, **68**, 12, p.46-49.



戸田 勇人 TODA Hayato
東芝インフラシステムズ(株)
鉄道システム事業部 車両システム技術部
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



阿邊 優一 ABE Yuichi
東芝インフラシステムズ(株)
インフラシステム技術開発センター
システム制御・ネットワーク開発部
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



野澤 幸輝 NOZAWA Yukiteru
東芝インフラシステムズ(株)
鉄道システム事業部 鉄道システム事業開発推進部
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.