

設備保守効率化のための 対話型データ計測・記録システム

野末 道子* 土屋 隆司* 宮下 美貴*
長坂 整** 高場 基司***

Development of Middleware Supporting Interactive Data Measurement and Record System for Facilities Maintenance

Michiko NOZUE Ryuji TSUCHIYA Miki MIYASHITA
Sei NAGASAKA Motoshi TAKABA

For most of the facility maintenance inspections, responsible personnel hand-carry some types of measurement tools or testers, and other associate members will record the inspection results. Normally, they only register the result of the inspection at the field, and input the inspection data into PC after returning to their office, based on maintenance management systems to analyze the data and judge the requirements for appropriate actions.

In this report, we describe an interactive data measurement and recording system which we have developed in order to support maintenance workers on site during their inspections. Particular focus is on the middleware, which is a software platform for controlling various sensors attached to the system as well as handling complicated human-machine interactions. We applied this middleware to our rail gap inspection support system which automates rail gap measurement as well as provides maintenance workers of useful information and warning messages in a timely manner during their inspections.

キーワード：設備保守検査，検査データ記録，対話型システム，ミドルウェア

1. はじめに

多くの設備保守検査では、検査結果を手帳や所定の記録様式に一旦書き留め、事務所に戻った後、検査データをパソコンへ入力、その結果を分析・評価した上で、必要に応じた措置・対策を取っている。各種検測車や大がかりな自動計測装置等の導入による効率化も進められてはいるものの、複雑な線形の構内等の保守点検では相変わらず手動計測に頼る場面も多い。

本研究では、このような手動計測への依存度の高い保守点検作業の効率化を図るために、手動計測の柔軟性（計測結果を見てその場で臨機応変な対応ができる等）を維持しつつ、自動計測による作業負担を軽減する機器を開発する上で基本となるソフトウェアの考え方を整理した。さらに、このソフトウェアの基本は対話型データ計測・記録システムであると位置づけ、複雑になりがちなシステムの対話機能やセンサ設定機能を効率的に開発

できる仕組みを開発した。この仕組みにより、アプリケーション開発者の負担を大幅に軽減することができる。

本稿では、この仕組みを利用した遊間計測装置の制御ソフトウェア開発に関して述べるとともに、現地試験の結果を含めて報告する。

2. 携帯端末で動作する計測・記録処理用ミドルウェア

2.1 対象とする計測・記録形態

手押し台車形状の計測装置にセンサを取り付け、そのセンサからデータを取り込み記録するシステムの事例は数多く見られる¹⁾。こうした機器の開発においては、台車に各種機器を搭載することで計測作業や運搬にかかる身体的な負担を軽減するとともに、記録作業の省力化、計測処理速度の向上、手作業ではばらつきが大きくなりがちな計測作業の場合には精度の向上等が期待される。

しかし、手作業による計測結果を記録用紙に書きとめるという一連の過程を、台車形状の計測システム上に実装し自動化することは、一見単純な検査であっても容易ではない。これは、手作業においては列車間合いを臨機

* 輸送情報技術研究部（設備システム）

** 研究開発推進室（設計・試作）

*** ジェイアール総研情報システム

特集：輸送情報技術

応変に活用した検査箇所の順序決定、その場での判断による計測修正、記録用紙への簡易メモによる時間短縮の工夫などが行われるためである。こうした実利用者の測定機器使用場面（利用シナリオ）を検討し、その場面に対応する様々な利用者の要望や、そこで生じると考えられるエラーケースに応えられるものが必要となる。こうした要望に応えようとする、システムとの確認対話処理画面を数多く作成しなければならなくなるほか、非常に複雑なエラー対応処理機能や推定機能の搭載が要求される。このようなシステムを、個々の検査アプリケーション毎に開発するには、多くのコストを要する。

本報告ではこの開発コストを削減することを目指し、手動計測の柔軟性を維持しつつ、自動計測により作業負荷を軽減できる設備保守検査向けの対話型システムを対象としている。

2.2 現場における計測・記録時の支援

従来型の現場作業では計測・点検と記録が中心であり、計測結果の分析・評価は区所等に戻ってきてから行うのが一般的である。これに対し本システムでは、計測結果の妥当性チェックによる計測・記録ミスの防止、過去の計測データとの比較による異常値の検出、そして安全度計算等による要注意箇所抽出等の機能を、現場の保守担当者との対話処理を用いて実現することが望ましいと考えた（図1）。これらの機能を現場で保守担当者に提供することにより、保守作業プロセス全体の効率化をめざした。各機能の概要について以下に述べる。

(1) 計測ミス防止機能

本来の検査目的である計測対象に加え、計測センサの動作状態、当該線区上の位置情報（キロ程）や計測条件充足判定センサデータを一元的に管理することにより、計測が正しく行なわれているかどうかを常時チェックする機能。計測センサの動作状態が不適切な場合には、その場で警告メッセージを表示する。

(2) 要注意箇所抽出機能

計測データに基づく安全度判定計算等を行うことにより、異常もしくは異常の可能性が高いと判断された場

合、その場でただちに保守担当者に通知する機能。このフィードバックにより必要に応じてその場で再測定・詳細調査を行うことも可能とする。

(3) 異常値の検出機能

計測結果を過去の実績データと比較し、異常と想定される場合には、その結果をその場でただちに保守担当者に通知する機能。(2)の場合と同様、必要に応じてその場で再測定・詳細調査を行うことも可能とする。

2.3 保守担当者の状況把握のための位置情報の活用

特定の検査に特化した現場でのきめ細かな支援を実現するためには、保守担当者の位置や行動意図等を考慮した対話処理、センシング対象物の位置や構造に対するデータ（GISデータ等）を用いたデータの妥当性検証（例：計測ミスの検出）が効果的である。例として、保守担当者や検査装置の位置、その日の検査スケジュールなどが分れば、「保守担当者が次に何を検査しようとしているのか」「保守担当者が今ここで求めている情報は何か」を推定し、検査対象箇所や検査項目記録漏れ、記録漏れなどを防止するための警告メッセージを提示することができる。そこで本システムでは、位置情報取得を中心とした計測ソフトウェア構成とした。

2.4 ミドルウェア構築によるソフトウェア開発支援

前節までに述べたような対話型のデータ計測・記録システムを実現するためには、センサデータの取得・分析機能に加えて、保守担当者の現在位置や検査の流れに沿い、作業意図等を考慮した指示・応答を行う機能を実現する必要がある²⁾。これらの機能の実現のために、本来の検出対象物をセンシングするセンサに加えて位置検知等のための付随的なセンサが必要となる場合も多い。また、当然のことながら、使用するセンサ群は用途に応じて異なるのが一般的である。

現在、さまざまなセンサやセンサを制御するためのドライバ、およびデータ分析ソフト等が製品として市場に供給されている。これらのセンサ群を用途に応じて適宜組み合わせることにより、データ計測・記録システムを

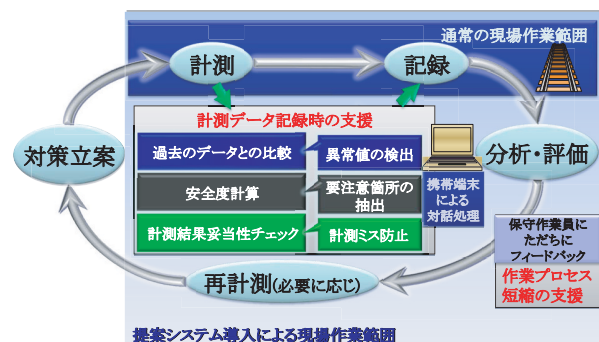


図1 対話処理による計測データ記録時の支援

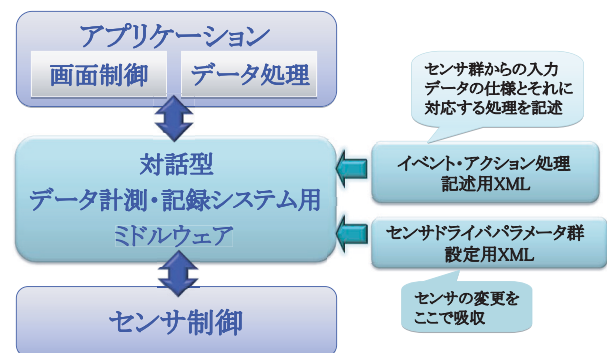


図2 計測・記録処理用ミドルウェアの構成

効率的、経済的に実現することが求められる。そこで、「センサ」、「データベース」、「システム使用者」とのやり取りを記述・実装する機能を有するデータ計測・記録システム向けミドルウェアを開発した(図2)。ここでいうミドルウェアとは、アプリケーションソフトウェアとハードウェア制御ソフトウェアの間に位置するソフトウェアで、ハードウェアの違いを吸収することができるものである。

本ミドルウェアでは、上で述べたやり取りを記述するための方式として、様々なアプリケーションの間での共通な情報表現のルールとして普及してきたXML(eXtensible Markup Language)を用いている。図2に示すイベント・アクション処理用XMLでは、発生した事象に対してとるべき対応を記述しており、もう一方のパラメータ設定用XMLでは校正電圧値などのセンサドライバ等を用いてシステムの挙動を記述することが可能である。また、複数のセンサ入力を利用した相互連携も重要である。たとえば、あるセンサの計測結果の妥当性を別のセンサからの入力に基づいて判断したり、あるセンサの入力結果に応じて他のセンサのセンシング条件を変更したりといったことが必要となる場面もある。上記のイベント・アクション処理用XMLでは、このような要求に応えることも可能である。

3. 遊間計測用記録システムの開発及び評価

3.1 遊間計測記録システム設計のための概念整理

本章では、前章で説明したミドルウェアを用いた遊間

計測用記録システムについて述べる。

当ミドルウェアを使用する上では、XMLを用いてシステムが行う処理の内容を記述したり、センサ制御用パラメータを指定したりする必要がある。これは、ミドルウェア上に実現されている機能部品を、どのように組み合わせることでシステム全体の動きを構成するのかを明確化する作業となる。

そこで、このようなXML記述のための基本概念を獲得するために、計測対象物、計測センサ(ハードウェア)、センサデータ取得処理(ソフトウェア)、計測データ管理用データベース、システム使用者とシステム間の対話処理(ソフトウェア)の各項目について語彙概念体系(オントロジー)記述手法に基づく概念整理を行った(図3)。オントロジー記述では、このシステムに組み込まれる各センサの役割・機能を明確化するとともに、それらの出力するデータ間の関連性を表現する。この記述手法によりシステム全体を表現することで、XMLによるシステムへのパラメータ記述、ならびにイベント・アクション記述を実施することが容易になる。

3.2 遊間測定装置のハードウェア

プロトタイプシステムとして開発したレール遊間計測装置は、複雑な線形の構内等、現状でも手動計測が主体となっている区間において、遊間を効率的に計測・記録するためのものとした。図4に示すように、台車の上にセンサ、端末機器等を設置し、線路上を手動で動かしながら遊間量を自動計測することができる。また、台車自身を軽量化する一方、精密な計測が要求される測定装置

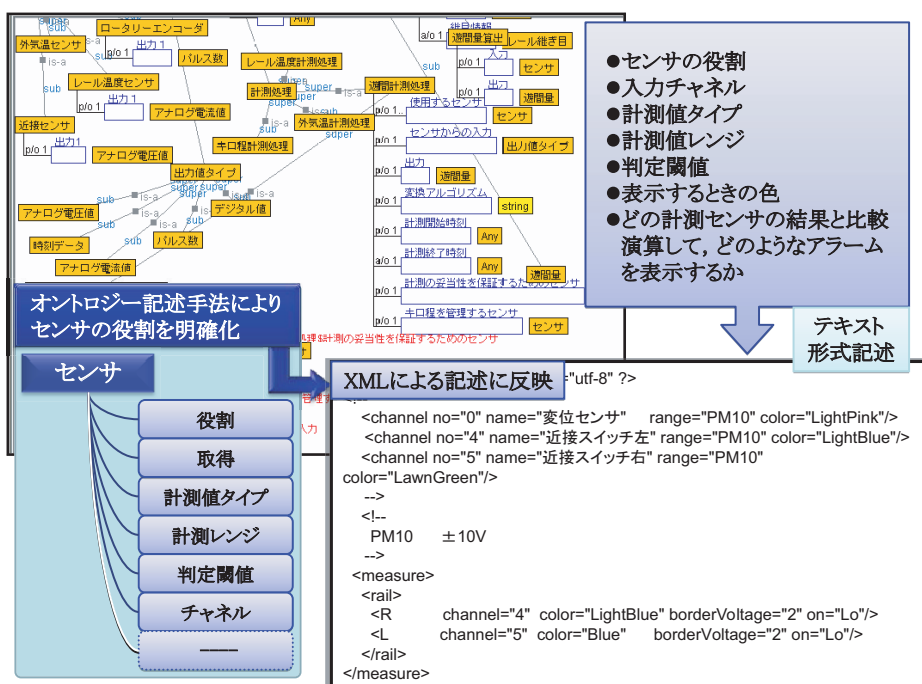


図3 XMLによるセンサデータ取得処理の記述例

特集：輸送情報技術

表1 遊間測定台車諸元

項目	仕様
外形寸法（縦×横×高さ）(mm)	834 × 1370 × 740
総重量 (kg)	約 11.7
車輪径 (mm)	84
対応軌間 (mm)	1067 (1062～1082)
軸間距離 (mm)	500
電源	鉛蓄電池 (24V, 2.0Ah)

表2 測定項目とセンサの種類

測定項目	センサ
遊間距離	レーザ変位計
レール温度	放射温度センサ
変位計とレールの相対位置	光学式近接スイッチ
走行距離	ロータリエンコーダ

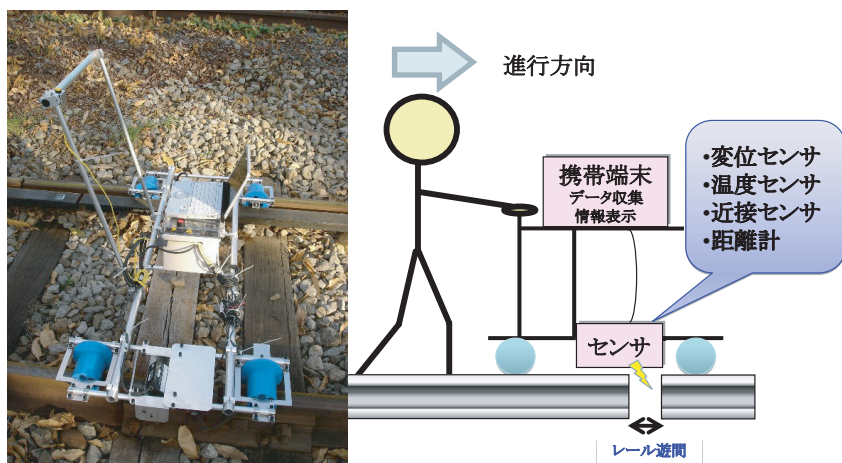


図4 遊間計測用ハードウェア

としての安定性を確保するため、四輪構造としている。表1に遊間測定台車の諸元を、表2に測定項目とセンサの種類を示す。

3.3 遊間計測装置のソフトウェア

3.3.1 レール遊間の測定原理

図5のようにレーザ変位計をレールの真上からレール方向斜め下方に照射するように台車上に配置し、対象物までの距離を測定する。線路上で台車を動かしていく

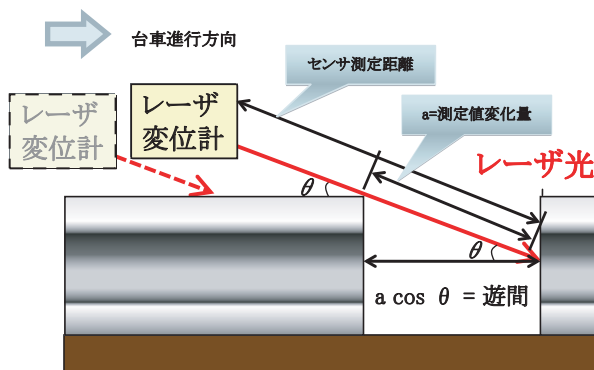


図5 レール遊間の測定原理

と、遊間のないところではレール頭頂面までの距離を測定するが、図のように遊間にさしかかると変位計のレーザがレール頭頂面から外れ、遊間のレール断面に当たる。このときの測定値の変化量をaとすると、図より $a \cos \theta$ が遊間に等しくなるため、測定値の変化量aと取付角度 θ より遊間を求めることができる。

3.3.2 測定状態の確認

変位計のレーザがレール頭頂面から左右に外れている場合には測定不能となる。一方、変位計が常にレール頭頂面上にあるようにするためには台車を枕木方向に動かないように拘束する必要があるが、これを実現するには片側の車輪を両フランジにするか両側の車輪のフランジを線路内軌に押し付けるなどの機構を設ける必要がある。これらの方法ではハードウェアが複雑になったり、分岐部や踏切部など様々な線路上を走行させることが困難になったりという欠点が生じる。

本システムでは測定のやり直しを容易にする仕組みを実現するため、変位計が測定可能な位置にあるかどうかを近接スイッチによって確認と警告をしながら測定する方式を導入し、変位計とレールの位置関係を拘束するような機構的な対策は行わないことにした。近接スイッチの配置及び、そのセンシング状態における確認処理を図6に示す。

3.3.3 位置取得・補正機能

本システムではロータリエンコーダ(回転の機械的変位量を計測するセンサ)を用いて検出する位置情報と、システムがあらかじめ保持している各遊間の位置情報とを照合することにより、センサが遊間以外の凹凸を遊間と誤認識することを回避する。また、遊間が0mmもしくは微小のため、センサ単体では遊間以外の凹凸と区別できないようなケースにおいても、近傍に遊間が存在する可能性を保守担当者に示唆することが可能である。

一方、台車車輪空転などにより、ロータリエンコーダの位置情報の誤差が生じる場合がある。本システムでは、変位センサの計測データが遊間部において固有の波

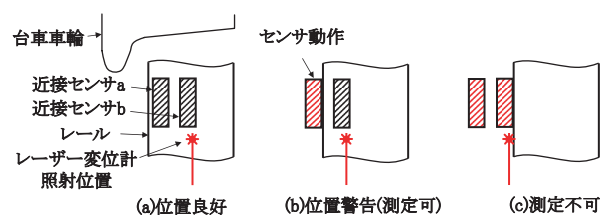


図6 近接センサによる測定位置の確認と警告

形を示すことに着目し、その波形が現れた位置と各遊間の位置情報とを照合し、ずれが生じていた場合にロータリエンコーダの位置情報を補正する機能も実装した。(図7)

3.3.4 対話処理画面の構築

遊間計測装置の対話処理画面を図8に示す。また、実際の計測シナリオにおける計測処理の流れとその画面処理例を図9に示す。これらの一連の機能は、前章で述べた計測・記録処理用ミドルウェアを用いて実装した。

3.4 開発システムの評価

開発した遊間測定装置の現地試験を実施し、①操作性(ハードウェアの取り回し)、②携帯性、③機能的なデザインの機能性、④機器使用時の利用者の安全性の確保、④情報量の妥当性、⑤表示情報の認識しやすさ、⑥情報

表示のタイミング、⑦必要な警告メッセージ表示の有無、⑧身体的な負荷、⑨臨機応変な計測動作に対応する柔軟性の項目に関して、機器を使用する保守担当者を被験者として評価試験を実施した。①～③を除く項目に関しては、計測状況を撮影したビデオを見ての評価形式をとっている。

この評価項目のうち、①～③のハードウェアに関して特に高い評価を得た。また、本システムで重視した対話機能、計測の柔軟性についても概ね高い評価を得たが、利用者の熟練度に応じたシステム動作の変更、情報表示のタイミング、情報の表示色や警告音などの簡易な変更を求める意見があった。

3.5 提案手法の優位性

本システムをミドルウェア上で構築することにより、

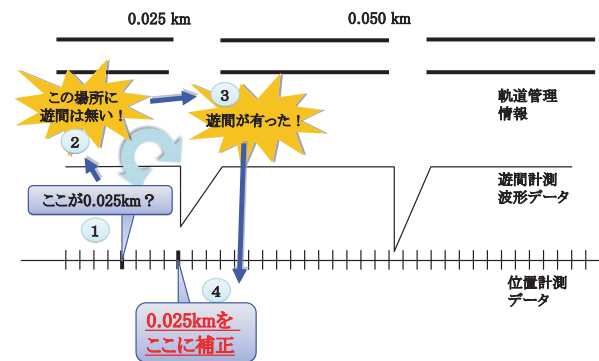


図7 ロータリエンコーダから獲得する位置情報の補正

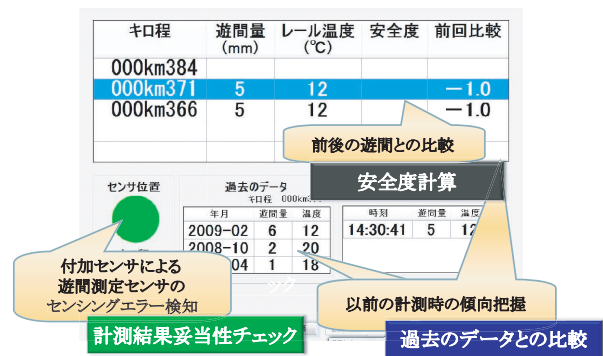


図8 システムの画面構成

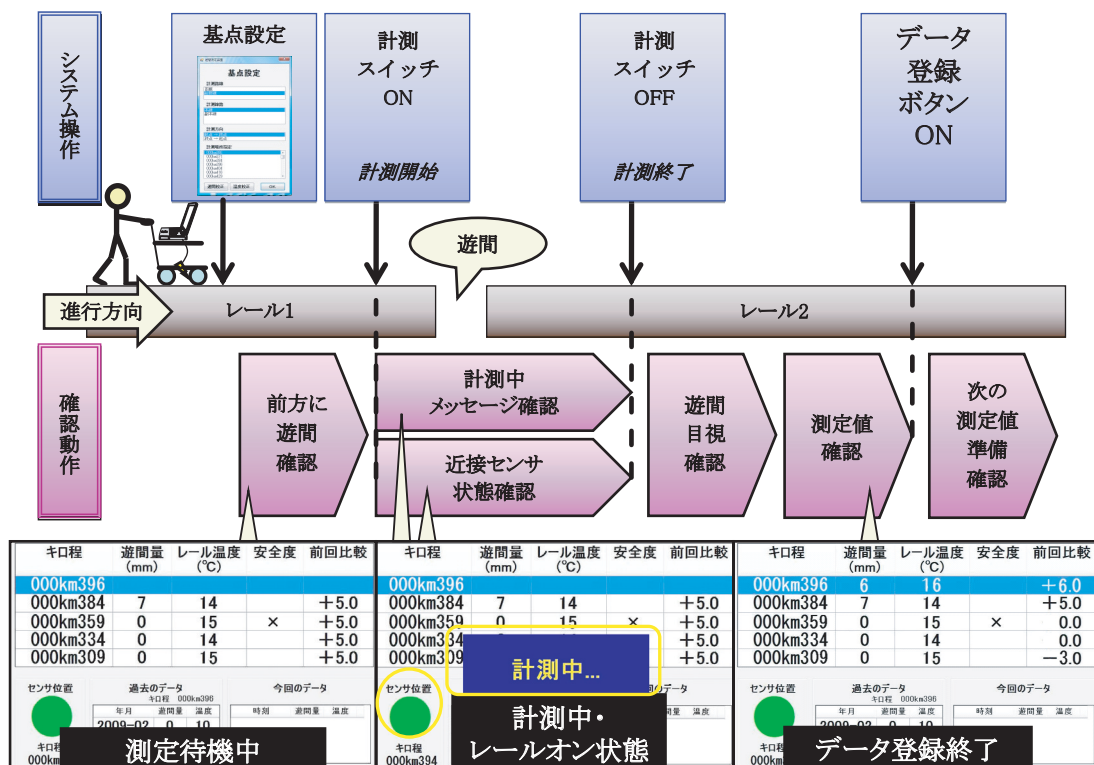


図9 通常作業パターンにおける対話確認動作とシステム画面

特集：輸送情報技術

開発過程における大幅な期間や開発コストを削減し、以下の点における優位性が明らかになった。

1) センシング動作状態のわかりやすさ

システムの動作を調整する過程においては、センサの取り付け位置調整、センシング頻度やセンサゲイン等のパラメータを頻繁に変更する必要が生じる。本システムでは、通常プログラム中に埋め込まれプログラマにのみ理解可能なパラメータ設定を、誰もが可読な形式でプログラムの外側に配置することで、調整過程におけるセンシング状態がわかりやすくなる。

2) センサの取り換えの容易化

変位センサ、スイッチについてはセンサメーカーや仕様の異なるものを、相次いで交換させながら試験を実施した。本システムでは、計測システムプログラムの基本部分の変更はせず、基本的にはパラメータ設定変更のみでこれらの交換に対応することができる。

3) イベント・アクションの変更・追加の容易化

各種センサから取り込まれるデータの閾値に基づいて、画面上の警告メッセージのタイミングを変更する、アイコンの色を変更する(例:警告段階を緑から黄に段階)等の簡易な動作状態の変更を容易に行うことができる。本機能を充実することにより、今回の評価結果の意見として挙げられた、画面表示などの簡易な変更にも容易に対応できると考える。

4. まとめと今後の展望

近年の計測・センシング技術の進展は著しく、計測・センシングの対象物よりも測定器の更新周期の方が短いといったことも起こり得る。こうした背景から、本研究では計測用アプリケーションの共用化や、測定センサの取り換えに対応する容易な修正変更を目的として、XMLを用いたアプリケーションの動作記述方式を提案した。

使用する測定器によって計測精度や性能が異なることは言うまでもないが、計測時の条件やパラメータ設定(たとえば、サンプリング周期)によっても計測結果が大きく左右されることにも留意する必要がある。設備状態の長期に渡る変化、たとえば経年劣化の状況等を継続的にトレースし、分析評価しようとした場合には、このような計測条件等の違いは本質的である。したがって、計

測結果をデータベースに登録・管理する場合には、計測されたデータそのものに加えて、計測に関する諸条件に関する情報を同時に登録、管理していく必要がある。本来登録すべき計測データそのものに対して、このような付随的データのことをメタデータと呼ぶ。センシングに関するメタデータとしては以下のようなものが考えられる。

- ・ センサの種類
- ・ センシングの頻度
- ・ サンプリング速度
- ・ センサの精度
- ・ 加工処理の有無(ある時間的な範囲に取得した最高値、最低値、最頻値等)
- ・ 環境要因からセンサが受ける影響

これらのデータを計測結果のデータに関連付けて管理することにより、各データがその場限りのものではなく、長期的な活用に耐えるものとなるほか、他の用途での再利用も可能になると考えられる。センサによる計測に関わるメタデータ構築の研究は緒についたばかりであり、今後も各方面での標準化動向を調査しつつ、鉄道への応用可能性を検討していきたい。

5. おわりに

本研究では、手動計測の柔軟性(計測結果を見てその場で臨機応変な対応ができる等)を維持しつつ、自動計測により作業負担を軽減できる設備保守検査向けの対話型データ計測・記録システムを開発した。これにより、計測データの妥当性確認(測定ミスの検出・警告)、過去の実績データとの比較や安全度判定等を計測現場で行う機能などが実現され、詳細調査(要注意箇所再調査等)や対策案の策定(調整工事の計画、規模の見積り等)が迅速に行えるようになるものと期待される。今後もシステムの実導入に向けたミドルウェアの改良を重ねていきたい。

文献

- 1) 宗内大介：JR北海道の夏期に向けた取組み，新線路，Vol. 63, No.743, p.8-10, 2009
- 2) 佐藤紀生，野末道子，渡辺義大：事故報告支援システムの開発，鉄道総研報告，Vol.21, No.4, p.35-38, 2007