

# 分野をまたがる鉄道メンテナンスデータの 統合分析プラットフォームの開発

流王 智子\* 河村 裕介\*\* 羽田 明生\*\* 栗田 いずみ\*

Development of an Integrated Analysis Platform for Cross-sectional Railway Maintenance Data

Satoko RYUO Yusuke KAWAMURA Akio HADA Izumi KURITA

In order to achieve more efficient and labor-saving maintenance in railway systems through cross-sectional data analyses, it is necessary to share the data collected and accumulated in each railway system. However, since the format and positional representation of the data of each system, there is a problem that it is difficult to use the cross-sectional data. Therefore, we proposed an “integrated analysis platform”, which possesses a database that can centrally manage data from each system and an analysis platform that performs comprehensive analysis processing. This paper introduces the network configuration and functions of the platform, and a prototype system built based on these.

キーワード：プラットフォーム，位置情報一元化，データサーバ，分析基盤，分野横断

## 1. はじめに

近年，様々な産業分野において，メンテナンスの効率化のため，多種多様な状態監視データを用いた分析の検討が進められている<sup>1)</sup>。しかし，鉄道分野では，状態監視データや諸元等のメンテナンスデータが，業務システム毎に独自のデータ形式や位置情報で管理されているため，他業務システムのデータと自システムのデータを一括して扱うことが難しく，自システムのデータのみを用いた分析がほとんどである。しかし，異なるシステム間の設備は相互に影響しており，保全の効率化を進めるためには，分野横断的な分析が期待される。そこで筆者らは，鉄道分野のデータを横断的に扱うため，全業務システムのデータを統一した形式で蓄積・管理し，かつユーザの希望する位置表現でデータを提供する「データサーバ」と，システムを超えたデータの相互関係を分析する「分析基盤」を統合した「統合分析プラットフォーム」の構想を提案している<sup>2)</sup>。

分野横断のデータ分析手法は他分野ですでに研究・開発されている<sup>3)</sup>。鉄道においても，データを分野横断で共有する取組みはあるが<sup>4)</sup>，データを共有することの効果やメリットが明確になっておらず，現状では決め手となる手法やシステムは確立されていない。そこで，我々は，分野横断によるデータ共有や分析の効果を検証すると共に，事業者に体现してもらえるように，実機と実データを用いるデモシステムを構築した上で，仕様を策定，提案することを目指している<sup>5)</sup>。

本稿では，まず，統合プラットフォームのネットワー

ク構成，およびデータサーバと分析基盤の仕様について示す。次に，鉄道総研所内試験線で得られるデータ向けに構築した，プラットフォームの小規模なプロトタイプシステム（以下，所内版プラットフォーム）の開発とサンプルデータを用いた動作確認結果を紹介する。

## 2. 統合分析プラットフォーム

### 2.1 現状のメンテナンスデータの課題

鉄道の保守は，定められた点検周期に基づいて行われている。設備の遠隔監視は，従来から実施されてきたが，デジタル技術の発展に伴い，より詳細なデータを高頻度で収集可能になってきている。これにより，計測されたデータから設備等の状態を判断し，その状態に応じて適切にメンテナンスを行う予防保全や状態監視保全が着目されている。これらを実現するためには，収集されたデータから，状態の変化を予測し，適切な保全タイミングを決定する必要があるが，この決定が難しいという課題がある。その要因として次のようなものが挙げられる。

- ・データ収集用のシステム外にデータを取り出せない
- ・データの分析技術や分析環境を有していない
- ・十分なデータ数が得られていない
- ・分析のための測定項目が不足している
- ・自システムのみ閉じた分析しかされていない

### 2.2 分野横断のメンテナンスデータの課題

前節の最後でも示したとおり，メンテナンスデータの分析の多くが自システムで取得されるデータの分析に留まっている。実際は，軌道の状態が車両動揺に影響するなど，システムを超えた相互関係が存在する。システム間の相互関係の

\* 情報通信技術研究部 通信ネットワーク研究室

\*\* 情報通信技術研究部 情報解析研究室

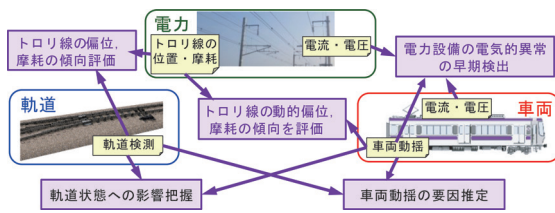


図1 複数システムの相互関係の一例

一例を図1に示す。図1には、軌道、電力、車両で取得されるデータを例として、複数業務システムのデータを用いた活用手法を紫色の四角で示した。図1に示したように、鉄道分野では、各業務システムのデータを相互に活用することで、これまで把握できなかった状態情報や関係性を得られることが期待される。しかし、現状では分野横断的にデータを扱うシステムが存在しない。さらに、前述したとおり、業務システム毎に異なる形式や位置情報でメンテナンスデータが管理されているため、他業務システムのデータと自システムのデータを同じ座標軸で扱うことが難しいという課題がある。

### 2.3 統合分析プラットフォーム導入のメリット

統合分析プラットフォームは、2.2節に示した課題を解決できるよう分野横断的にデータを扱うためのシステムである。このプラットフォーム内で、自システムの距離概念と系統共通の距離概念の二つを持つデータフォーマットにデータを変換する。このテーブルにより、複数システムのデータを統一された横軸で表現したり、他システムの距離を、自システムの距離に再変換したりすることができる。したがって、統合分析プラットフォームを利用すると、2.2節で挙げた、他業務システムのデータと自システムのデータを同じ座標軸で扱うことが難しいという課題に対して、共通の距離概念を介することで、複数システムのデータの利用が実現可能となる。また、2.1節で挙げたデータ数や測定項目の不足の課題に対しては、他システムのデータを利用することで、それらを補間することが可能となる。さらに、分析基盤がプラットフォーム内にあることにより、データ分析者が独自に分析環境や分析手法を構築することなくデータ分析を行うこと、および、他システムですでに開発されている分析手法やアプリケーションを扱うことができ、効率的なデータ利用や分析が可能である。

### 2.4 統合分析プラットフォーム構築の課題

データ共有を実現するプラットフォームは、すでに他の産業分野では実用化されている。例えば、行政サービスで利用されているX-Road<sup>6)</sup>やスマートシティ向けのFIWARE<sup>7)</sup>などがある。これらは、分散型方式を採用しているため、業務システム間で直接データをやりとりするためのネットワークの整備や業務システムごとに対象データ

の一元管理に必要な変換処理、および業務システム間での更新情報の共有などが必要となっている。鉄道システムでは業務システム毎に異なるシステムが構築されているため、分散型方式を採用する場合、各業務システムでネットワークの整備や変換処理、情報共有機能などを用意する必要が生じるため、大規模な改修が発生することが予想される。

したがって、鉄道では集中型の方が適しているといえる。例えば、スイス連邦鉄道(SBB)で利用されている沿線列車モニタリングシステム(WTMS)<sup>8)</sup>では、走行中の車両の状態監視データを沿線に設置されたRFIDで収集し、中央のデータベースで集中管理する、集中型を採用している。なお、WTMSは、鉄道の全ての系統で取得されるデータを対象としたものではない。

鉄道では、車両、土木、電力、信号といった各業務システムで独自の位置表現やデータ形式でデータを管理している。これらのデータを統一のデータフォーマットに変換するためには、各システムのデータ形式やデータの特徴、プラットフォームへの要件を把握して、鉄道向けの仕様を策定しなければならない。また、異なる位置表現やデータ形式を統合して管理するためのデータベースの仕様が必要となる。さらに、コストや業務への影響を考慮すると、既存システムを稼働させつつ、最低限の改修によりプラットフォームを構築することも重要である。

これらの課題を解決し、現状の鉄道システムに適したプラットフォームの仕様を策定するため、以下のステップで開発をすすめている。

- ①プラットフォームの設計段階においては、鉄道向けに求められる機能の整理と基本構成を提案する。
- ②鉄道総研所内試験線から得られるデータを集積するプラットフォームのプロトタイプシステム(所内版プラットフォーム)を構築し、動作検証を行う。
- ③所内版プラットフォームに複数システムの実データを集積して動作検証を行い、実装上の課題や仕様の不足事項を抽出する。
- ④所内版プラットフォームを用いたデモにより、統合分析プラットフォームの活用可能性を各鉄道事業者へ評価して頂き、仕様の深度化を図る。

本稿では、上記開発ステップのうち、①プラットフォームの設計と、②所内版プラットフォームの開発及び、それをを用いた一部機能の確認結果について紹介する。

## 3. プラットフォームの設計

### 3.1 機能の整理

#### 3.1.1 各システムのデータの特徴

鉄道向け統合分析プラットフォームに求められる機能を整理するため、各業務システムにおける、メンテナンスデータの特徴を調査した。その結果を表1に示す。表1の

表1 各業務システムのデータの特徴

系統	対象設備	主なデータの種類	データの形態	位置測定方法	データ発信点	データ受信点
車両	エンジン 空気圧縮機	振動加速度 温度、電流	数値	緯度経度	エンジン 空気圧縮機	状態監視装置 (車内に設置)
車両	車体傾斜 制御装置	ヨー角速度、加速度 車体傾斜等	数値	算出キロ程	台車	車体傾斜制御装置 (車内に設置)
車両	断路器箱	主回路電流 補機電流	数値	緯度経度	断路器箱	状態監視装置 (車内に設置)
土木	トンネル、橋梁 高架橋等	健全度 設備状態等	段階値 文字列	設備名称 キロ程	トンネル、橋梁 高架橋等	設備管理システム (本社・保守区等)
軌道	軌道	動揺、軸箱加速度 軌間、平面性等	数値 画像	キロ程 (速度発電機 +地点検知装置)	軌道検測車 軌道検測装置	軌道検測車 装置内ロガー
軌道	軌道	撮影画像	動画 画像	フレームレート と移動量	軌道検測車	軌道検測車
電力	変電所	電流、温度	数値	緯度経度	取集装置 (変電所内)	取集装置 (変電所内)
信号	電気転てつ機	電圧、電流 鎖錠かん変位	数値	線区、駅名 説明名称	電気転てつ機	信号機器室 沿線器具箱
信号	軌道回路	電圧、電流等	数値 波形	線区、駅名 説明名称	軌道回路	信号機器室 沿線器具箱

うち、データ受信点に着目すると、車両系統のデータは、走行中に取得したデータは車内にある装置に蓄積されることが分かる。土木系統のデータは、本社・保守区等の設備管理システムへデータが蓄積される。軌道系統のデータは、軌道検測車の移動距離に合わせて計測がなされるため、時間軸のデータではなく、距離軸のデータとして記録され、データは検測車に蓄積されることが分かる。電力系統のデータは、データを取得している施設内で閉じていることが分かる。信号系統のデータは、線区や駅に紐づいて定義され、データそのものは機器室や沿線の器具箱に集約される。このように、鉄道で取得されるメンテナンスデータは、業務系統や取得する設備や装置で閉じているものがほとんどであり、これらを統合分析プラットフォームへ集積するためには、各業務システムのシステムと統合分析プラットフォームの間に車上と地上間を含めたネットワークを構築する必要がある。また、位置測定方法が異なることから、同じ座標軸でデータを表示するためには、系統を超えた位置情報や時間の統一的な管理が必要になる。さらに、デジタル技術の導入に伴い、将来的には扱うデータ量がますます増えることが予想されるため、拡張可能な設計とすることが望ましい。

### 3.1.2 システム要件の整理

前項で示した条件を元に、統合分析プラットフォームに求められるシステム要件の整理を行った。なお、システム要件はシステムの動作や機能、性能等多岐にわたるが、本稿では鉄道向けの統合分析プラットフォームを構築する上で特に重要と考えられる運用面とセキュリティ面の要件を例として表2に示す。

本プラットフォームを各鉄道事業者へ展開するためには、データの集積元となる既存保守システムとの連携が

表2 システム要件

	項番	要件内容
運用面	O1	既存業務システムとの連携が容易であること
	O2	業務形態の変更が最小限であること
	O3	他業務形態のデータを自業務系統で扱いやすい形態で利用できること
	O4	原則無停止で稼働すること
セキュリティ面	S1	機器やネットワークの状態を把握できること
	S2	外部との接続は最小限とすること
	S3	各種データが改ざんされないこと

容易であることが求められる。さらに、プラットフォーム構築時に、現在の業務を停止することはできないため、既存の業務形態の変更が最小限であることを運用面の要件として挙げた。また、プラットフォームを各業務系統で利活用するためには、ユーザの希望する軸でのデータ提供が必要不可欠である。さらに、鉄道現場は夜間業務もある他、データのバッチ処理等を夜間に行うことも考えられるため、プラットフォームのサービス提供は原則無停止であるとし、これらも運用面の要件として挙げた。

また、攻撃者によるデータの改ざんや削除、障害等により本プラットフォーム内のデータの整合性が失われると、正しくないデータに基づくデータの分析や予測が行われる。その結果、不適切な補修に起因する鉄道設備の安全性の低下、異常時の対応の遅延等につながる恐れがある。その他、プラットフォーム外部からの攻撃による対象データの窃取や過大な負荷による本プラットフォームのシステムダウン等も考えられる。そのため、プラットフォーム上の機器やネットワークの状態を遠隔で把握できること、プラットフォーム外部との接続を必要最小

限とすること、各種データが改ざんされないことをセキュリティ面の要件とした。

### 3.2 統合分析プラットフォームのネットワーク構成

表2に示した要件を満たすためのプラットフォームのネットワーク構成図を図2に示す。図2の左側に位置するものが、各系統のデータを集約するデータサーバに必要となる機器である。具体的には、各業務系統が保管するメンテナンスデータの写しをそのままの形式・位置表現で蓄積する「ミラーサーバ」、データ形式・位置表現が異なる各業務系統のデータを統一形式へ変換する「データ形式変換サーバ」、変換後のデータを蓄積する「統一形式データサーバ」で構成される。この構成により、各業務系統のデータ形式をそのままプラットフォームに取り込み、プラットフォーム内部で統一のデータ形式・位置表現に変換するため、表2の要件O1～O3を満たす。

一方、図2の右側に位置するものが、データ分析を行う分析基盤に必要となる機器である。分析基盤は、プラットフォームに蓄積されたデータに対して、データの分析・表示処理を行う「アプリケーションサーバ（以下、アプリサーバ）」で構成される。アプリサーバとして、データの前処理や分析をする「分析サーバ」、データの表示処理を行う「表示サーバ」、各業務系統の通常業務で使用する「系統別アプリサーバ」の3種類を想定した。また、ユーザが扱いたいデータ形式や分析処理等を受け付け、処理結果の表示やダウンロードが可能なインタフェースを提供するWebサーバをプラットフォームの入口に設置する。Webサーバより先のアクセスは、認証されたユーザのみが許可される。この構成により、要件S2を満たす。

さらに、これらの機器および機器間のネットワークの監視、ユーザおよび管理者の認証等の機能を有する管理サーバ、およびプラットフォーム内の通信を制御するネットワーク制御装置も設置する。これら機器のログ監視により、要件S1を満たす。また、認証やネットワー

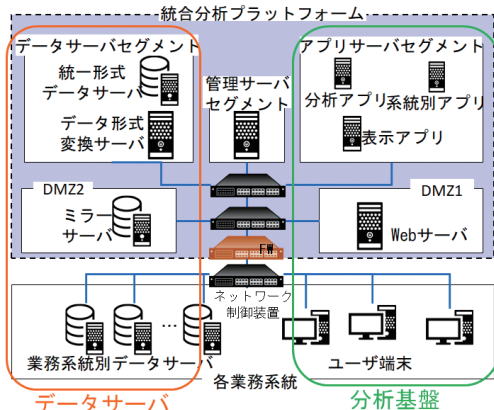


図2 プラットフォームのネットワーク構成図

ク機器によるセキュリティ対策により、データベースを改ざん等から守り、要件S3を満たす。

提案するネットワーク構成では、将来のデータやユーザの規模の変化への柔軟な対応や不正なアクセス等の遮断を考慮し、複数の機器を機能単位で1つのセグメントとした。この構成により、セグメント内で機器を冗長化させ、要件O4を満たす。

### 3.3 データサーバの機能

#### 3.3.1 統一形式データサーバ

統一形式データサーバは、各系統の多様な形式のデータを管理し、アプリサーバからの様々な検索条件を受け付けるため、リレーショナル型データベースでデータを管理する構成とした。各系統のデータを管理するため、それぞれのデータの整理をした結果、共通して管理されている項目と、系統固有の項目とがあることから、共通項目を統一のデータ形式で管理するテーブル（以下、「共通テーブル」と）と個別の項目を管理するテーブル（以下、「個別テーブル」と）を組み合わせる構成とした。共通テーブルは、業務系統、管理区所、設備の所在、共通する計測条件（計測対象設備、計測開始日時等）、時刻や位置情報に関するメタ情報等とした。一方、個別テーブルは設備の種類毎に代表的な諸元項目、機器毎の固有の設定項目、計測データ等とした。また、地上設備の所在地や計測地点のように、位置情報を含む共通／個別テーブルは、各業務系統独自の表現形式と一元化した表現形式の両方を持つ構成とした。図3に計測データに関する統一形式データのフォーマットを示す。図3の機器IDから列車番号までのフィールドは、計測機器の種類を問わず共通するフィールドであり、計測値はそれぞれの計測機器で同時に計測する項目数分のフィールドである。また、図3の「計測地点（元形式）」が各業務系統独自の表現形式により、「計測地点（統一形式）」が一元化した表現形式により、それぞれ位置情報を格納するフィールドである。以降では、統一形式データサーバで扱うデータ形式のことを「統一形式」と呼ぶ。

#### 3.3.2 データ登録処理の流れ

次に、各業務系統のデータを統一形式データサーバに登録する処理の流れを図4に示す。3.2節で示したとおり、データ登録では、ミラーサーバへ各業務系統のデー

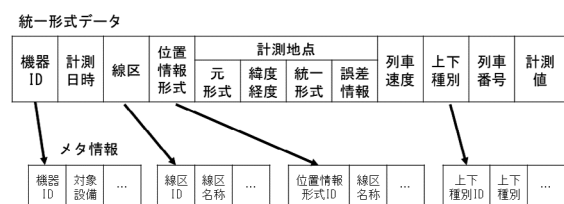


図3 統一形式データフォーマット（計測データ）

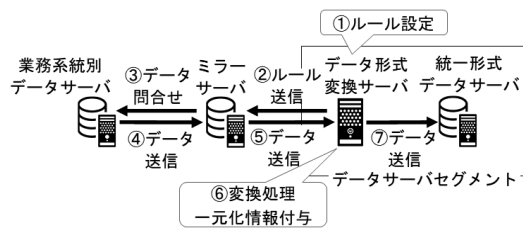


図4 データ登録処理

データをそのままのフォーマットで集積した上で、データ変換処理サーバにおいてデータを統一形式へ変換し、統一形式データサーバへデータが集積される。

ミラーサーバへ各系統のデータを集積するためには、各系統のデータの蓄積先である業務系統別データサーバのアドレスや、ミラーサーバから業務系統別データサーバへの問合せ頻度を設定する必要がある。また、データ形式変換サーバで、データのフォーマットを統一形式へ変換するためには、元データのデータ項目と統一形式のデータ項目との対応関係を定義する必要がある。そこで、データ形式変換サーバにおいて、コピー先とタイミング（以下、「問い合わせルール」）、データの対応関係（以下、「データ形式変換ルール」）を設定することとした。この設定完了後、データ形式変換サーバは、問い合わせルールをミラーサーバに送信する。ミラーサーバは、問い合わせルールに基づき、各系統のデータをミラーサーバへ集積する。各業務系統では、IP通信対応な機器にデータを蓄積し、当該機器へのミラーサーバからのアクセスを許可するのみでよいため、現状の業務への支障は極力少なく済むと考えられる。

また、データ形式変換サーバでは、各系統固有の位置情報を格納する「計測地点（元形式）」に対して、一元化した位置情報「計測地点（統一形式）」の情報も付与し、統一形式に変換したデータを統一形式データサーバへ送信する。

### 3.4 分析基盤の構成

#### 3.4.1 アプリサーバセグメント

ユーザが統合分析プラットフォームで集積されたデータを分析基盤を用いて活用する場合を想定する。ここで、分析基盤の機能を提供するサーバを配置するセグメントを「アプリサーバセグメント」と呼ぶ。以降では、アプリサーバセグメント内のサーバの機能について示す。

分析基盤のメニューとして、データ分析機能が挙げられる。深層学習等を含む自系統で開発した分析手法を他分野でも利用可能とするため、計算処理に特化したサーバを「分析サーバ」として構築する。データ分析の他に、データ表示も分析基盤の機能とする。データ表示に関しては、描画やデータの拡大等が高速で処理できるような

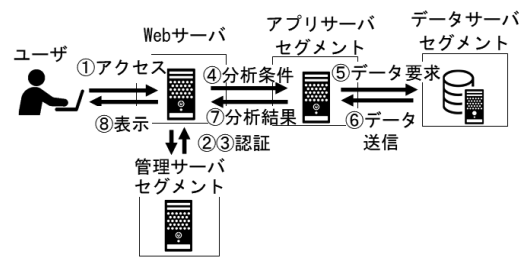


図5 分析基盤を利用する処理の流れ

サーバとし、「表示サーバ」として構築する。また、表示させるデータや分析処理させるデータを検索するための検索メニューも保有する。表示サーバで描画するデータの参照元となる統一形式データでは、位置情報とそれに対応する時間情報も保有するため、表示サーバでは、横軸を距離軸と時間軸で表示できるようにする。また、ミラーサーバには、各系統のデータ形式のままデータが集積されているため、プラットフォーム内に各系統で提供されるアプリケーションを実装することにより、他系統のアプリケーションが利用可能となる。このように各系統のアプリケーションを実装するためのサーバを「系統別アプリサーバ」と呼ぶ。系統別アプリサーバに実装されるアプリケーションの一例として、軌道保守管理データベースシステム「LABOCS」<sup>4)</sup>が考えられる。

#### 3.4.2 分析基盤利用の流れ

分析基盤利用の流れを図5に示す。ユーザが分析基盤を利用するためには、まずWebサーバへアクセスする。Webサーバは認証サーバにより、ユーザの認証を行い、正規のユーザである場合は、アクセス許可をする。Webサーバはユーザが要求する実行条件に応じて、アプリサーバセグメント内のサーバに条件を送信する。アプリサーバセグメント内のサーバは、条件に基づいて、必要なデータを統一形式データサーバまたはミラーサーバへ要求し、取得する。そして、実行条件に応じてデータを処理し、処理結果をWebサーバへ送信し、Webサーバはユーザにそれを表示する。

ユーザは、Webサーバを介すことにより、アプリサーバセグメント内の機能を実行する。また、データサーバセグメントやミラーサーバへは、アプリサーバセグメントのサーバからのデータ要求だけを受け付ける。これにより、統合分析プラットフォーム内部へ不必要にアクセスができない仕様とし、プラットフォームのセキュリティを担保する。

## 4. 所内版プラットフォームの構築

3章で提案したデータ登録処理や分析基盤利用の流れを実機により動作確認し、仕様の不足事項を抽出するため、図2に示したネットワーク構成を元に、所内版プ

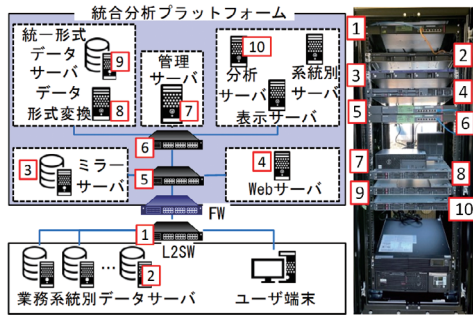


図6 プロトタイプシステム

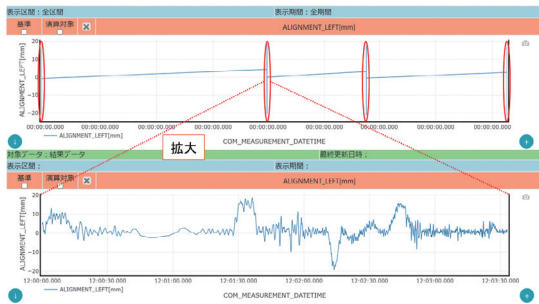


図7 サンプルデータの描画のスクリーンショットの例

プラットフォームを構築した(図6)<sup>9)</sup>。なお、開発のしやすさから、今回構築した所内版プラットフォームでは、表示サーバの機能をWebサーバに実装した。今後、この機能は表示サーバに移行する予定である。

この所内版プラットフォームを用いて、3.3.2項に示したデータ登録処理の動作検証を行った。動作検証用として用意したサンプルデータは、計測条件と計測データの対で構成されており、新規にデータが追加される場合は、このデータの対が新たに発生する。このサンプルデータを業務系統別サーバへ置き、データ登録を実行した。

データ登録処理を実行した結果、統一形式データでは、計測条件が統一形式のデータテーブルに変換されたことを確認した。また、統一形式データテーブルでは、計測条件と計測データが紐づいており、計測条件が変わらない計測データが新たに系統別データサーバへ蓄積された場合、統一形式データサーバ内の既存の計測データテーブルに新規データが追加されることを確認した。

次に、計測条件が変わらない軌道系統の4計測分のサンプルデータを統一形式データに変換し、表示サーバで描画した例を図7に示す。図中の上側にある赤丸は、計測データがある箇所を表す。このうち、左から2つ目を拡大したものが図7の下側である。元形式のデータでは、計測ごとにデータの対が発生するため、同じ時間軸上に複数時点の計測データを表示することができないのに対して、統一形式データでは、同じテーブルにデータが追加されるため、図7に示したとおり複数時点の計測データを同じ時間軸上で表示することが可能である。

## 5. まとめ

本稿では、鉄道の各業務系統で取得されるデータを集約し、システムを超えたデータの共有・活用を実現する「統合分析プラットフォーム」の仕様を策定するため、各系統のデータの特徴を整理し、必要な機能要件をまとめた。そして、この機能要件を満たすプラットフォームのネットワーク構成案を作成した。また、プラットフォームにおけるデータベースや分析基盤が持つ機能や処理の流れを示した。さらに、提案した仕様の一部を所内版プラットフォームとして開発・実装し、当該機能が仕様通り動作することを確認した。

今後は、所内版プラットフォーム上に複数系統の実データを取り込み、プラットフォームの機能確認と仕様の深度化、さらに、実データによる分野横断のデータ分析の効果を示す予定である。

## 文献

- 1) IoT時代におけるICT産業の構造分析とICTによる経済成長への多面的貢献の検証に関する調査研究報告書、株式会社三菱総合研究所、2016
- 2) 河村裕介、流王智子、羽田明生：メンテナンス用統合プラットフォームの提案、第58回サイバネ・シンポジウム論文集、2021
- 3) 木俣豊、鳥澤健太郎、是津耕司：社会の動きを深く横断的に分析するためのビックデータ処理技術、電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン、Vol.8, No.1, pp.18-25, 2014
- 4) 吉田尚史、田中博文、西本正人、三和雅史：キロ程ベースでの位置情報一元化による鉄道設備管理システム、鉄道総研報告、Vol.35, No.4, 2021
- 5) 流王智子、河村裕介、羽田明生、遠山喬：メンテナンスデータ用統合プラットフォームの構築に向けたネットワーク伝送負荷のシミュレーション、J-RAIL2021, 2021
- 6) 松本茂樹、武田淳：スマートタウンを実現するデータ交換基盤“PlanetCross,” UNISYS TECHNOLOGY REVIEW, Vol.138, 2018
- 7) 竹内崇、寺澤和幸：データ利活用型都市経営を実現する情報プラットフォーム FIWARE, NEC 技報, Vol.71, No.1, 2018
- 8) Jörg Bisang, Martin Fley, Stetan Koller, “Rollmaterial-Zustandsüberwachung mit Zugkontrolleinrichtungen und RFID,” SIGNAL+DRAHT, Vol.109, No.10, 2017.
- 9) 流王智子、河村裕介、羽田明生：メンテナンスデータ用統合プラットフォームのプロトタイプシステムの構築、電気学会全国大会、2022