

データマイニング手法を用いた営業列車蓄積データの分析

川村 淳也* 山本 雄一 小川 展央 福井 省三 (西日本旅客鉄道)

The analysis of stored data of commercial train based on a data mining method

Junya Kawamura*, Yuichi Yamamoto, Nobuhisa Ogawa, Syouzou Fukui, (West Japan Railway Company)

In the recent commuter train is equipped with digital transmission equipment. The digital transmission equipment communicates between controllers by digital data. We measured the digital data of the commercial train over a long period. These digital data are applicable to condition monitoring technology. In this paper, introduce the result of analysis of digital data using data mining method.

キーワード：データ処理技術，データマイニング，状態監視，デジタル伝送装置

Keywords: data processing technology, data mining, condition monitoring, digital transmission equipment

1. はじめに

近年新たに製作される鉄道車両の電気品には電子機器が多用されており，デジタル技術を最大限活用した構成に変わってきている。そのため，電子機器特有の課題として，一時的な動作不具合が発生すること，予防保全の観点からの劣化状態把握や劣化予測が困難であること，などが挙げられるようになってきた。そこで，当社では，それらの課題に対処するため，近年標準的に搭載されているモニタ装置や ATS-P 車上装置などを活用し，状態監視型保全への移行に向けた取組みを進めている⁽¹⁾。

平成 17 年に次世代車両として新製投入した 321 系通勤形直流電車では，従来のモニタ装置に代わり，営業車で初めて，汎用の伝送方式であるイーサネットを鉄道車両の制御伝送に応用した，デジタル伝送装置を搭載した⁽²⁾。このデジタル伝送装置と各機器間はデジタルデータで通信が行われている。そのため，これらのデータを活用することで，機器の劣化状態や車両の状態把握のみならず，車両性能の把握や研究開発のための基礎データ取得など，幅広い活用が期待できる。しかしながら，デジタル伝送装置を利用すれば，機械的に大量のデータを収集することができるが，これらのデータの分析方法の確立や，分析結果をいかに有効に利用するかが重要となる。

大量のデータから，有用な知識や情報を見つける方法として，データマイニング手法が挙げられる。鉄道分野への適用としては，これまで信号関係設備への適用検討例⁽³⁾⁽⁴⁾はあるが，車両分野への適用例はみられない。

そこで本論文では，営業列車にて収集したデジタルデータのデータマイニング手法を用いた分析方法の検討，およびデータ分析結果について，その一例を報告する。

2. データ収集システム

〈2・1〉 システム概要 データ収集システム（以下，本システム）は，321 系通勤形直流電車の 2 編成に搭載しており，Fig.1 に示すように車上システムと地上システムから構成されている。

車上システムは，デジタル伝送装置と車上装置，沿線無線 WAN から構成される。車上装置は，各機器のデータを集約するデジタル伝送装置のデータを受け取り，駅間毎にファイルを作成する。そして，沿線無線 WAN の敷設区間走行中に地上システムへデータを送信する。沿線無線 WAN は，自社開発の無線 LAN ベースの移動体通信であり，走行中に実効 6～8Mbps 程度の通信速度を安定的に実現する。

地上システムは，自社ネットワークと地上端末装置から構成される。沿線無線 WAN により車上システムから受け取ったデータは，自社ネットワークを介して地上端末に CSV 形式のデータとして保存される。

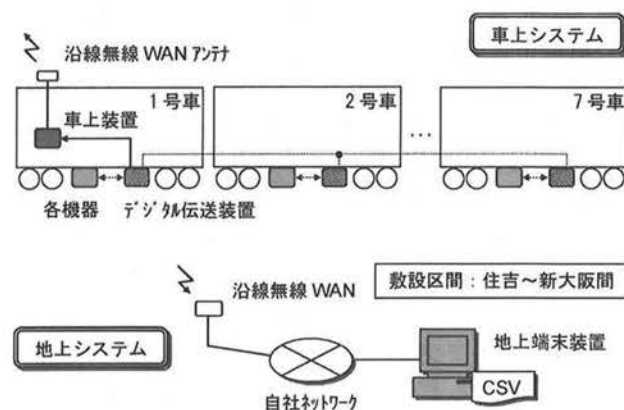


Fig.1 Data acquisition system



Fig.2 Composition of the Train Set

Table.1 Collected Data

機器類	項目	サンプリング 周期 (msec)
主回路 関係	モータ周波数, 回生ブレーキ力 滑走検知, 固着検知 など	80
	架線電圧, 架線電流	320
空制 関係	軸速度, BC 圧, 滑走検知 など	80
	AS 圧	320
SIV	出力電圧, 出力電流	320
ATS-P	ATS-P 電文	320
運行情報	時刻, 停車駅, キロ程, 速度 ノッチ(力行・ブレーキ) など	320

321 系の組成を Fig.2 に、デジタル伝送装置から取得するデータを Table.1 に示す。サンプリング周期は、取得するデータに応じてデジタル伝送装置の伝送周期である 80msec または 320msec を設定している。

〈2・2〉 システム設計時の留意点 — 本システムを設計するにあたっては、低コストで安定したデータ取得が可能であること、営業列車を使用するため、走行に影響を与えないこと、などを考慮しなければならない。以下にシステム設計時の留意点を示す。

(1) 車上～地上間のデータ通信方法 データ通信のリアルタイム性やコストを考慮する必要がある。沿線無線 WAN は、大容量のデータをリアルタイムに送受信することができるが、環境を構築するためには、地上側にアンテナを約 500m おきに設置する必要がある。管内全線に渡ってこの環境を実現するのはコスト面を考慮すると困難である。そのため、低コストでかつカバーエリアの広い通信環境を実現するためには、沿線無線 WAN と携帯電話によるパケット通信とを使い分けることが有効であると考えられる⁽⁵⁾。

(2) セキュリティ デジタル伝送装置は、車両に関する状態情報や運行情報のみならず、車両の走行や停止を司る制御情報も管理している。そのため、車上システムを介して外部からデジタル伝送装置のネットワークに侵入させないように、デジタル伝送装置から車上装置へ片方向のみデータ伝送するように通信路を構成する必要がある。

(3) 取得データのサンプリング周期 各機器からデジタルデータを取得する際には、データの分析内容に適したサンプリング周期を設定する必要がある。そのため、測定対象のシステムの応答性や信号処理周期などを考慮する必要がある。

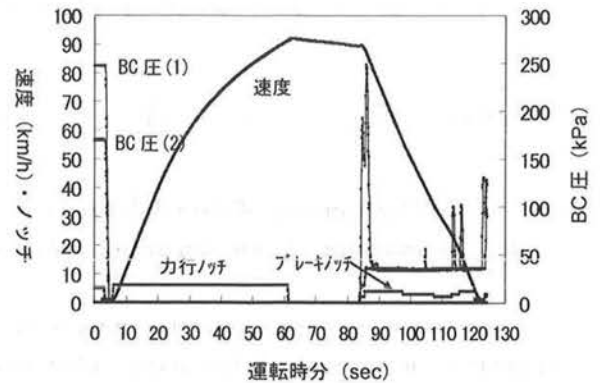


Fig.3 Example of Data

〈2・3〉 取得データ例 取得したデータの一例を Fig.3 に示す。取得するデータに応じたサンプリング周期を設定しているため、波形の変化をよく捉えていることが分かる。

3. データマイニングの適用検討

〈3・1〉 データマイニングの概要 データマイニングとは、大量のデータの中から有用な知識を見つける技術である。近年の IT 技術の進展により、CPU の演算処理速度の向上によって大量で高速の計算が可能となった。そのため、一般の PC や汎用性の高い表計算ソフトを用いて、大量・多種のデータの取り扱いが可能となった。データマイニングは、従来の統計解析やデータ解析と異なり、データの量や種類が多い、ネットワークで結ばれたシステムでデータの受け渡しが行われる、あらゆる解析技術が使われる、といった違いがある。そのため、解析結果が客観的でデータの精度が一定である、といった利点がある。

データマイニングの流れは、Fig.4 に示すように、データの収集・保管→データの選択→前処理→データマイニングと視覚化→知識発見となる。データマイニング手法の鉄道車両への適用方法について次に述べる。

〈3・2〉 適用方法 データマイニングで使われる各手法は、いくつかのデータの似ているもの同士、違うもの同士を見分けて分類したり、識別したりする方法である。データマイニングの方法としては、回帰分析、多変量解析、決定木、遺伝的アルゴリズム、パターン認識などがある。鉄道車両へのデータマイニングの適用方法を検討した結果を Table.2 に示す。

4. データ分析例

前項で述べた車両分野へのデータマイニングの適用方法の中で、ここでは車両性能の把握例を紹介する。H21 年 12 月～H22 年 8 月までの 9 ヶ月間のデータを分析した。

〈4・1〉 編成内の粘着特性の把握 ブレーキに係わるデータを用いて、営業走行時における編成全体の粘着特性の把握を試みた。本システムを用いる利点としては、従来の測定方法と比較して以下の項目が挙げられる。

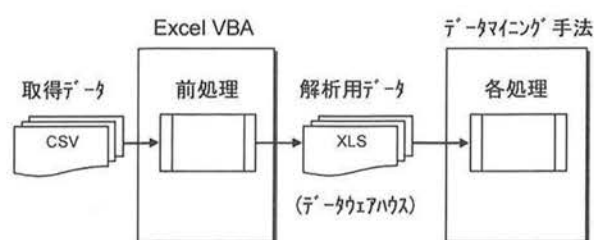


Fig.4 Data processing procedure

Table.2 Application Method of the Data Mining

分類		内容	分析方法
車両の状態監視	劣化状態把握	機器劣化状態の把握	・相関分析 ・回帰分析 など
	車両状態把握	車両異常時の機器状態や走行状態把握	・時系列分析 など
	車両性能把握	実走行時の車両性能把握	・多変量解析 ・相関分析 など
地上設備の状態監視		車両取付けのセンサによる架線や軌道の状態把握	上記の各方法 など

- ・ 長期間連続して測定するため、数多くのデータを取得することができる。
- ・ 天候の影響を散水によって模擬することなく把握することができる。
- ・ 測定のために新たにセンサを取付ける必要がないため、校正作業や測定軸の制約がない。

嵯峨らの研究⁶⁾では、デジタル伝送装置を有しない車両において、モニタ装置の情報を用いた編成内の粘着特性の把握を行った。そこでの知見として、取得するデータが 1 秒毎の記録であり、滑走し始めてから滑走を検知するまでに時間差が生じるというサンプリングの問題があった。しかしながら、本研究ではサンプリング周期が 80msec であり、サンプリングの影響は改善されているものと考えられる。

〈4.1.1〉 分析内容 ブレーキに係わるデータを用いて粘着係数を算出し、散布図による相関分析を行った。分析内容を Table.3 に、取得データの分析フローを Fig.5 に示す。粘着係数や接線力係数の演算については、文献⁶⁾に従って行った。

〈4.1.2〉 分析結果 Table.3 において、軸速度に対する粘着係数分布の算出結果を Fig.6 に示す。粘着係数分布については、1 号車から 7 号車までの各軸について導出しているが、ここでは代表して「上り」進行方向の先頭車である 7 号車と後尾車である 1 号車の結果を示している。

粘着係数の演算結果から最小自乗法により導いた粘着特性曲線を見ると、先頭車両側である 7 号車は後尾車両側の 1 号車より粘着特性が低いことが分かる。このように、編成内の粘着特性を把握することができる。

Table.3 Contents of Analysis

項目	使用するデータ
軸速度に対する粘着係数分布	・ 軸速度 ・ BC 圧
粘着係数分布の積分値	・ AS 圧 ・ 回生ブレーキ力
すべり率に対する接線力係数分布	・ 滑走フラグ ・ 基礎ブレーキ装置緒元

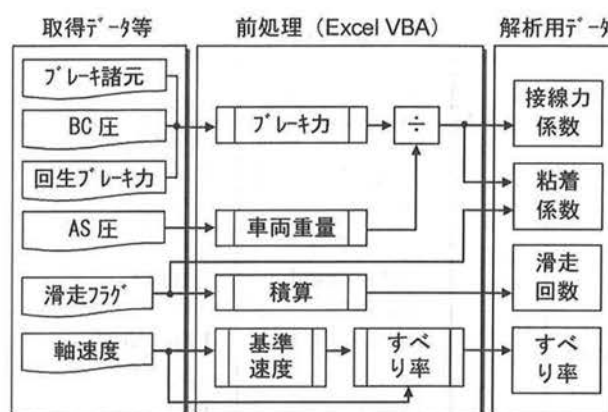


Fig.5 Flow of Data Analysis

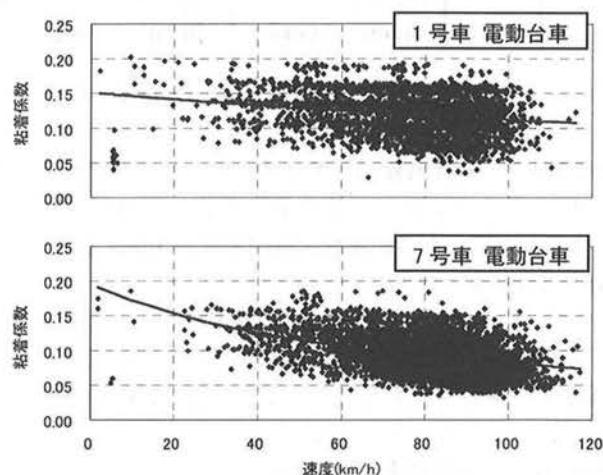


Fig.6 Adhesion Coeff. of Car No.1, No.7 (Up)

〈4.2〉 経済的な運転方法の検討 近年、地球環境問題に対する省エネルギー化への関心が高まっている。弊社では、鉄道における使用エネルギーの 84% (平成 20 年度) が列車の運行エネルギー⁷⁾であり、運行エネルギーを数%でも低減できれば、CO2 排出量や電力料金の削減効果は大きい。そこで、経済的な運転方法に関する取り組みが注目されている。これは、走行時分の余裕を確保した上で、安全に支障をきたさない範囲において運転方法を工夫するもので、理論的な検討⁸⁾や走行試験による検証⁹⁾が行われている。

しかし、特に直流電気車が走行する場合は、架線電圧の上昇による回生失効や、電動車の滑走による回生絞込みによって、同様に運転しても消費電力量が変動する。そのため、運転扱いによって消費電力量が変化する要因と、

Table.4 Variable

項目		内容
量的変数	運転扱いに依存しないもの	・乗車率 ・アベイラビリティ
	運転扱いに依存するもの	・惰行運転率 ・運転時分
質的変数		・走行方向 ・走行時間帯 ・駅間距離

Table.5 Contents of Analysis

		運転扱いに依存しない要因	運転扱いに依存する要因
分析項目		アベイラビリティ, 乗車率と消費電力量との相関	惰行運転率, 運転時分と消費電力量との相関
前提条件(例)	量的変数(固定)	・惰行運転率 [25%~35%] ・運転時分 [基準±2秒]	・アベイラビリティ [100%] ・乗車率 [30~40%]
	質的変数	・走行方向 [上り] ・走行区間 [A駅~B駅間] ・時間帯 [6:00~23:00]	・走行方向 [上り] ・走行区間 [C駅~D駅間] ・時間帯 [6:00~23:00]

そうでない要因を定量的に把握することが重要である。そこで、本システムで得られたデータを以下に分析した。

〈4.2.1〉 分析内容 多変量解析のひとつである、回帰分析を用いて消費電力量と量的変数との相関を分析した。本分析で用いた量的変数と質的変数を Table.4 に、分析内容を Table.5 に示す。

ここで、アベイラビリティとは、回生ブレーキの有効率を示す指標であり、実際の回生電力量に対する性能上得られる回生電力量の割合を示す⁽¹⁰⁾。また、惰行運転率とは、運転時分に占める惰行時間の割合を示す。

〈4.2.2〉 分析結果 運転扱いに依存しない要因の消費電力量の分析結果例を Fig.7 に、運転扱いに依存する要因の消費電力量の分析結果例を Fig.8 に示す。これらの結果は一例であるが、以下の傾向が見られる。

- ・運転扱いに依存しない要因：アベイラビリティが高くなると回生電力量は増加するため、消費電力量は減少する。
- ・運転扱いに依存する要因：惰行運転率が高くなると力行電力量は少なくなるため、消費電力量は減少する。

5. おわりに

本取組みでは、営業列車で取得した大量のデータを、データマイニングによって分析し、その結果の一例を報告した。今後は、データを取得するためのセンシング技術や、データ分析結果の利用方法について、車上側や地上側の状態監視という観点より検討を深度化させ、状態監視技術の発展に寄与したいと考えている。

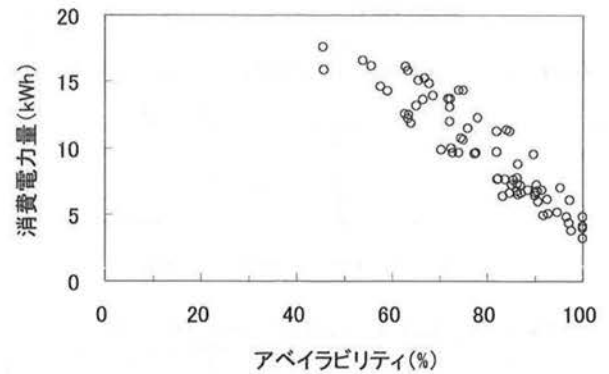


Fig.7 Result of Analysis (Driving-independent)

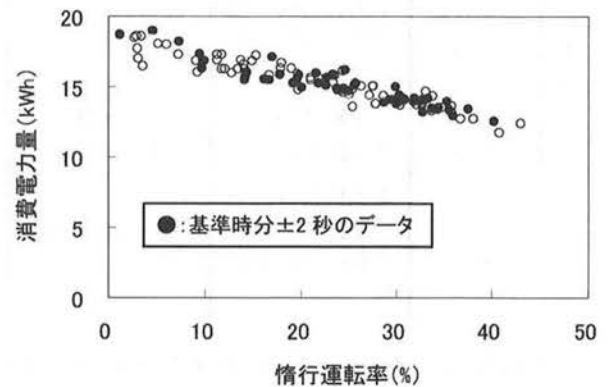


Fig.8 Result of Analysis (Driving-dependent)

謝辞

本取組みに際して、データ収集システムの製作でご協力いただいた株式会社東芝殿およびジェイアール西日本テクノス殿、データ分析でご協力いただいた財団法人鉄道総合技術研究所殿に感謝申し上げます。

文 献

- (1) 島田・鶴岡：「JR西日本における状態監視の技術」，鉄道車両と技術，No.167 pp.8-14 (2010)
- (2) JR西日本鉄道本部車両部設計課：「研究と開発 JR西日本 321系通勤形直流電車の概要」，R&M, Vol.13, No.11, pp.4-9 (2005)
- (3) 田中，八木，菊池，佐藤，川浦：「データマイニング手法の鉄道への適用研究—保守検査データの分析と活用—」，鉄道総研報告，Vol.15, No.9, pp.37-42 (2001)
- (4) 菊池，安達：「設備保守におけるデータマイニング データを分析すれば設備の健康状態がわかる！」，RRR, No.11, pp.6-9 (2005)
- (5) 武田，石原，谷，鴨，鈴木，辻：「車両状態把握システムの開発」，第44回鉄道サイバネシンポジウム論文集，No.527 (2007)
- (6) 嵯峨，津留崎，石原，川村：「営業車のモニタ情報を用いた編成粘着特性の把握」，第16回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集，pp.105-108 (2009)
- (7) JR西日本：「データで見るJR西日本2009」，<http://www.westjr.co.jp>
- (8) 田部，平井，山下，富井，平栗，今：「省エネ運転曲線作成アルゴリズムの開発と評価」，鉄道総研報告，Vol.16, No.11 (2002)
- (9) 田端，大橋，光山，富永，久野，折中：「新幹線電車の省エネルギー運転方法と実測による評価」，第11回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集，pp.219-222 (2004)
- (10) 飯島，玉置，真野：「営業列車における電力回生の実態調査」，第11回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集，pp.223-226 (2004)