

製鉄所の保線管理エキスパートシステム構築のための管理手法について
河口聡・三宅祐輔・高田佑紀・横手了・和田浩一・
森田知行・前田憲治・近久博志

FIELD MANAGEMENT FOR
RAIL TRACK MAINTENANCE EXPART SYSTEM
AT JFE IRON & STEEL PLANT IN KURASHIKI SITE AREA

Satoshi KAWAGUCHI, Yusuke MIYAKE, Yuki TAKATA,
Satoru YOKOTE, Koichi WADA, Tomoyuki MORITA, Kenji MAEDA
and Hiroshi CHIKAHISA

Abstract: Until now, the safe and efficient on-site transfer of materials and products has been conducting through careful maintenance management at Kurashiki site area, West Japan, of JFE's Iron and Steel Works. After 50 years of operation, the rail track maintenance expert system (JFE-RTMES) has been developing that comprehensively analyzes various data and information collected to use for maintenance and countermeasures to aging and future troubles. The rail track maintenance method implemented in the area for the purpose of incorporation into this system is outlined in this paper.

Keywords: 製鉄所 (Iron & steel plant), 保線管理手法 (Rail track maintenance management technique), 人工知能 (Artificial Intelligence), 保線管理エキスパートシステム (Rail track maintenance expert system), 統計解析手法 (Statistical analysis method)

1. はじめに

1967年に建設されたJFEスチール西日本製鉄所(倉敷地区)は、福山地区と一体運営をしている銑鋼一貫プラントである。鉄道軌道の保線管理手法に関しては、数多くの研究(古川2013)が成されてきているが、当該地区においても、これまで、独自の研究開発や試行錯誤を重ねてきており、安全で経済的な保線管理に務めてきた。現在、今後の保線管理業務の省力化や高効率化を目的に、これまで収集整理してきた各種データを総合的に分析するための解析システムの開発に取り組んでいる。ここで得られた情報は、そのまま開発

を進めている人工知能を用いた保線管理エキスパートシステム(JFE-RTMES: JFE-Rail Track Maintenance Expert System)(河口他, 2019)に活用する予定である。本稿では、開発中ではあるが、本エキスパートシステムへの組み込みを予定している現地における保線管理手法とその適用について概説する。

2. 保線管理エキスパートシステムの特徴

2.1 システム開発の目的

当該地区では、数多くの専門技術者によって、保線管理に関するさまざまな項目を測量・測定・検査・目視点検を行い、レール軌道の安全性確保に役立ってきている。ここでは、日々、更新されている多項目で、膨大な情報を整理・分析して、レール軌道の安全性を評価しており、変状が進行した場合には、これらのデータを基にして迅速に、

河口聡 〒712-8074 岡山県倉敷市川崎通1丁目

JFEシビル株式会社

Phone: 086-447-4543

E-mail: kawaguchi@jfe-civil.com

森田知行 〒732-0052 広島県広島市東区光町2-10-11

復建調査設計株式会社

Phone: 082-506-1834

E-mail: tomo-morita@fukken.co.jp

近久博志 〒134-0087 東京都江戸川区清新町1-2-1

株式会社地盤システム研究所

Phone: 03-3878-5648

E-mail: chikahisa_hiroshi@geoeng.jp

適切な対策を検討し、タイムリな処置につなげている。通常、一連の保守管理作業において、さまざまな課題に対して議論することになるが、このとき、分野の違う多くの専門技術者に、正確な現地の状況を迅速に伝えて、現地の状況に適した補修の必要性や対策について提案をして貰うことが重要になる。こうした状況での活用を勘案して、開発するシステムは、表-1 に示す特徴を有することとした。

表-1 開発システムの特徴

| | |
|---|--|
| ① | 混在する量的・質的なデータの分析 |
| ② | 専門分野の違う関係者への分かり易い説明 |
| ③ | 過去の経験を反映しながらも将来に渡って対応時期や補修方法の検討に有効な情報の提供 |
| ④ | 補修管理の検討時の省力化、高効率化につながるようなシステムの構築 |

2.2 解析プラットフォーム

本システムは、表-2 に示す解析プラットフォーム（VGE-AI: Visual Geo-Engineering System-Artificial Intelligence）（近久他, 2012）上に構築する。ここでは、現地で得られた管理データの性質や将来発生する可能性のある課題に対して、様々な解析機能を活用してデータを分析し、適宜、補修方法や対策方法を検討することを想定している。

表-2 解析プラットフォームの機能

| | |
|---|-------------------------|
| ① | ニューラルネットワーク解析 |
| ② | 統計解析、ファジー推論解析 |
| ③ | 最適化解析 |
| ④ | 画像解析（画像処理、精密写真測量、拡張現実等） |
| ⑤ | その他（例、有限要素法による応力変形解析等） |

3. 解析データ

ここでは、人工知能解析の作動確認のための一次評価として実施したサンプルデータを用いた多変量解析（判別分析）（Chikahisa, 1997, 近久, 1991）を例に、説明変数と目的変数について述べる。

3.1 説明変数

当該地区において保線管理の目的で定期・非定期に実施している測量・測定・検査・目視点検の項目を、表-3 に示す軌道測量、レール測定・検査、レール目視点検、周辺環境目視点検の4つに区分する。このようにレベル分けされた保線管理データを多変量解析や今後のニューラルネットワーク解析の説明変数として活用する。

表-3 保線管理シート（JFE-RTMES）

| 区間名: P1004BF#8-100 | | 一般軌道・有軌道・架設線 有軌道・曲線部 一般部・分岐部・種切・種内 | | | | | |
|--------------------|-----------------|--|-----|-----|-----|----|--------------------------------|
| 検査項目 | 管理項目 | 管理レベル | | | | | 備考 |
| | | 正常 | ③注意 | ②警戒 | ①危険 | 限界 | |
| 軌道測量 [TM項目] | TM1 軌道測量 (計測値) | | | | | | + : 拡大、- : 縮小 |
| | TM2 水準測量 (計測値) | | | | | | + : 隆起、- : 沈下 |
| | TM3 高低測量 (計測値) | | | | | | + : 天側、- : 地側 |
| | TM4 湧り測量 (計測値) | | | | | | + : 山側、- : 海側 |
| レール検査 [RT項目] | RT1 頭厚測定 (計測値) | | | | | | |
| | RT2 側厚測定 (計測値) | | | | | | |
| | RT3 底厚測定 (計測値) | | | | | | (50N, 60Kg) |
| | RT4 底厚測定 (計測値) | | | | | | |
| | RT5 縦探傷検査 (計測値) | | | | | | |
| | RT6 横探傷検査 (計測値) | | | | | | |
| | RT7 磨耗測定 (計測値) | | | | | | (縦ざ目) |
| | RT8 縦目穴破損 (計測値) | | | | | | (縦ざ目) |
| レール目視点検 [RI項目] | RI1 底面欠損 | - | | | | | |
| | RI2 Rフレズ等 | - | | | | | レールフレズ割傷(スプリンググループ、テーパ・ボルトナット) |
| | RI3 縦目板 | - | | | | | 縦目板 |
| | RI4 縦目ボルト | - | | | | | 縦目ボルト(50N, 60Kg) |
| 周辺環境目視点検 [EI項目] | EI1 枕木 | - | | | | | 一般部(亀裂, 折損, 腐食, 湾曲) |
| | EI2 種切点検 | - | | | | | (種切) |
| | EI3 踏踏化 | - | | | | | (周辺地盤) |
| | EI4 その他 | - | | | | | |

そして、定量的・定性的な情報として得られる各管理項目に対して、表-4 に示すように、それぞれ5段階の管理レベル（“安定”，“③注意”，“②警戒”，“①危険”，“限界”）を設定する。これは、現状の評価だけでなく、数多くの関係者との情報共有や協議時に、軌道の状態が理解し易いようにするためであり、得られた結果の管理レベルによって、その後の測量・測定・検査・目視点検作業の頻度や精度を増し、必要に応じて、補修方法の検討にも活用する。

表-4 管理レベルと軌道の状態・対応の関係

| 管理基準値 | 管理レベル | 軌道の状態と対応 |
|-------|--------|--|
| 許容基準値 | 安定レベル | 安定な状況にあり、通常の検査点検業務を継続すべき状態 |
| 警戒基準値 | ③注意レベル | 変状が進行し始めている状況にあり、さらに、注意して、入念に検査点検業務を実施すべき状態 |
| 危険基準値 | ②警戒レベル | 変状の進行が顕著になっている状態にあり、必要に応じて、検査点検業務の頻度を増やしたり、精度を上げるとともに、今後の変状の進展を予測し、有効で経済的な対応を検討すべき状態 |
| 限界基準値 | ①危険レベル | 単独の現象では、すぐにトラブルにつながる状況にはないが、今後の変状進展や他変状によっては、重大なトラブルにつながる可能性があり、速やかに対応を実施すべき状態にある |
| | 限界レベル | 軌道として機能していない状況にあり、直ちに補修などの対応をすべき状態にある |

3.2 目的変数

一方で、目的変数は、“補修の必要性”とし、図-1 に示す区分レベルを与える。

| 管理レベル | 正常 | ③注意 | ②警戒 | ①危険 | 限界 |
|---------|--------|----------------------------------|-------|-------|----------|
| 軌道の変状状況 | 変状無し | 軽微な変状 | 顕著な変状 | 危険な変状 | 限界変状(脱線) |
| 補修の実施 | 補修不要なし | 遷移領域の評価が重要 (LCCを考慮した対策工の実施判断) | | | 補修を実施 |
| 補修の必要性 | 正常 | 注意 | 警戒 | 要補修 | 緊急補修 |

図-1 目的変数の区分レベル

なお、通常、補修に関しては、現場では実施の有無だけの判断になるが、“緊急に補修が必要であるが補修できなかった区間”や“緊急補修の必要性は低い、補修を実施した区間”など、補修の有無の間の遷移的な判断領域が、現場担当者に提供する情報としては非常に重要と考え、解析上、図-1 のように管理項目のレベルに対応させて5段階に区分している。

4. 解析結果の出力

図-2 は、人工知能解析の作動確認のための一次評価として実施したサンプルデータを用いた多変量解析結果(判別分析)である。ここでは、サンプル値の分布(図中の楕円は、各群の2σの範囲を示す)、目的変数とした“補修の必要性”の各レベル(正常、注意、警戒、要補修、緊急補修)に対応するサンプルスコアの分布、そして、その分布から計算される“補修の必要性”の各レベルの発生確率を示している。また、図-2 の右図は、分析結果を用いて実施したクラスター分析の結果を樹形図で表したものである。本分析では、目的変数とした“補修の必要性”は、“頭部摩擦測定”と“通り測定”の管理項目との親和性が高く、この2つの管理項目に重きを置いて、“補修の必要性”の判断をしていることが分かる。

つぎに、統計量Λの検定を実施して、使用した19の管理項目の中から有意水準が95%以上の項目だけを抽出した。

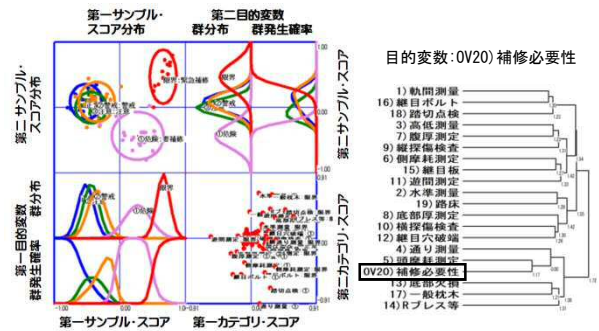


図-2 判別分析とクラスター分析の結果(19項目)
この検定で有意性が認められた9つの管理項目に絞って、再度、判別分析を行った。この解析の結果を、図-3 と表-5~8 に示す。表-5~6 は、第一主成分と第二主成分に対するカテゴリスコアであり、図示すると図-3 の右下図のような分布図になる。

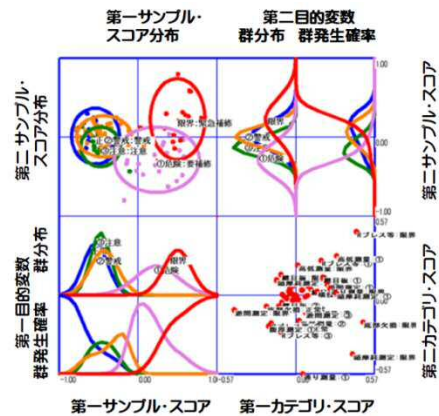


図-3 判別分析による評価結果(95%有意な9項目)

表-5 管理項目のカテゴリスコア(第一主成分)

| カテゴリスコア | 範囲 | 正常 | ③注意 | ②警戒 | ①危険 | 限界 |
|-----------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 103 高低測定 | 0.411 | -0.114 | -0.017 | -0.011 | 0.297 | 0.174 |
| 104 通り測定 | 0.475 | -0.152 | 0.006 | 0.023 | 0.027 | 0.323 |
| 107 断面測定 | 0.300 | 0.066 | -0.045 | -0.013 | -0.149 | 0.151 |
| 109 縦探傷検査 | 0.146 | -0.031 | 0.001 | -0.016 | 0.115 | 0.000 |
| 110 横探傷検査 | 0.414 | 0.359 | -0.047 | 0.015 | -0.055 | 0.000 |
| 111 遡問測定 | 0.514 | 0.145 | 0.175 | 0.066 | 0.215 | -0.298 |
| 113 底部欠損 | 0.652 | -0.352 | -0.202 | -0.114 | -0.021 | 0.300 |
| 114 Rプレス等 | 0.637 | -0.154 | -0.082 | -0.074 | 0.233 | 0.483 |
| 115 観目板 | 0.406 | -0.298 | -0.230 | -0.018 | 0.108 | 0.001 |
| 定数項 | 0.145 | 固有値: | 0.763 | | | |

表-6 管理項目のカテゴリスコア(第二主成分)

| カテゴリスコア | 範囲 | 正常 | ③注意 | ②警戒 | ①危険 | 限界 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 103 高低測定 | 0.420 | 0.048 | -0.068 | -0.112 | 0.308 | -0.030 |
| 104 通り測定 | 0.760 | 0.124 | 0.071 | -0.082 | -0.636 | 0.053 |
| 107 断面測定 | 0.596 | 0.067 | -0.034 | 0.009 | -0.353 | 0.243 |
| 109 縦探傷検査 | 0.124 | -0.059 | 0.065 | 0.030 | -0.029 | 0.000 |
| 110 横探傷検査 | 0.248 | -0.153 | 0.095 | 0.063 | -0.095 | 0.000 |
| 111 遡問測定 | 0.343 | 0.146 | -0.097 | 0.043 | 0.164 | -0.178 |
| 113 底部欠損 | 0.104 | 0.005 | -0.051 | -0.050 | 0.008 | 0.053 |
| 114 Rプレス等 | 0.677 | -0.082 | -0.139 | -0.093 | 0.311 | 0.538 |
| 115 観目板 | 0.186 | -0.121 | -0.117 | -0.021 | 0.065 | -0.006 |
| 定数項 | -0.020 | 固有値: | 0.356 | | | |

表-7~8 は、説明変数として用いた“管理項目”

の第一主成分と目的変数とした“補修の必要性”との単相関係数と重相関係数と偏相関係数である（重相関係数が 0.78 になっている）。

表-7 管理項目の単相関係数と重相関係数（第一主成分）

| 単相関係数 | 高低 測定 | 通り 測定 | 腹厚 測定 | 縦探傷 検査 | 横探傷 検査 | 道間 測定 | 底部 欠損 | R プ レ ス 等 | 観目 検 | 補修 必要性 | | |
|--------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------------------|---------|-----------|--------|-------|
| I03 | 高低測定 | 1.000 | | | | | | | | | | |
| I04 | 通り測定 | 0.272 | 1.000 | | | | | | | | | |
| I07 | 腹厚測定 | -0.215 | -0.091 | 1.000 | | | | | | | | |
| I09 | 縦探傷検査 | 0.228 | 0.018 | -0.184 | 1.000 | | | | | | | |
| I10 | 横探傷検査 | 0.035 | 0.035 | -0.059 | -0.115 | 1.000 | | | | | | |
| I11 | 道間測定 | -0.113 | -0.084 | -0.148 | -0.075 | -0.227 | 1.000 | | | | | |
| I13 | 底部欠損 | 0.197 | 0.231 | -0.015 | 0.072 | 0.224 | -0.728 | 1.000 | | | | |
| I14 | Rプレス等 | 0.189 | 0.227 | 0.075 | 0.002 | 0.098 | -0.517 | 0.892 | 1.000 | | | |
| I15 | 観目検 | 0.217 | 0.240 | 0.088 | 0.058 | 0.171 | -0.724 | 0.822 | 0.653 | 1.000 | | |
| I20 | 補修必要性 | 0.444 | 0.531 | -0.213 | 0.135 | 0.058 | 0.058 | 0.325 | 0.314 | 0.299 | 1.000 | |
| 第1Sスコア | | 0.531 | 0.692 | -0.153 | 0.175 | 0.068 | 0.120 | 0.388 | 0.430 | 0.382 | 0.779 | 重相関係数 |
| 第2Sスコア | | 0.001 | -0.173 | 0.265 | 0.167 | -0.293 | 0.023 | -0.029 | 0.223 | 0.045 | -0.103 | 偏相関係数 |

表-8 管理項目の偏相関係数（第一主成分）

| 偏相関係数 | 高低 測定 | 通り 測定 | 腹厚 測定 | 縦探傷 検査 | 横探傷 検査 | 道間 測定 | 底部 欠損 | R プ レ ス 等 | 観目 検 | 補修 必要性 | |
|-------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------------------|---------|-----------|-------|
| I03 | 高低測定 | 1.000 | | | | | | | | | |
| I04 | 通り測定 | 0.205 | 1.000 | | | | | | | | |
| I07 | 腹厚測定 | -0.135 | 0.007 | 1.000 | | | | | | | |
| I09 | 縦探傷検査 | 0.285 | -0.118 | -0.122 | 1.000 | | | | | | |
| I10 | 横探傷検査 | 0.022 | -0.026 | -0.086 | -0.170 | 1.000 | | | | | |
| I11 | 道間測定 | -0.156 | 0.102 | -0.129 | -0.092 | -0.138 | 1.000 | | | | |
| I13 | 底部欠損 | -0.131 | 0.062 | -0.183 | 0.027 | 0.091 | -0.418 | 1.000 | | | |
| I14 | Rプレス等 | 0.023 | 0.061 | 0.100 | -0.082 | -0.083 | -0.082 | 0.319 | 1.000 | | |
| I15 | 観目検 | 0.019 | 0.115 | 0.122 | -0.019 | -0.043 | -0.265 | 0.410 | 0.140 | 1.000 | |
| I20 | 補修必要性 | 0.290 | 0.295 | -0.079 | 0.064 | 0.096 | 0.447 | 0.235 | 0.095 | 0.158 | 1.000 |

図-4 は、検討対象の全体状況が俯瞰できるようにした総括図であり、解析データ（管理項目）と解析結果（“補修の必要性”を発生確率で表示）を航空写真上に重ね合わせたものである。

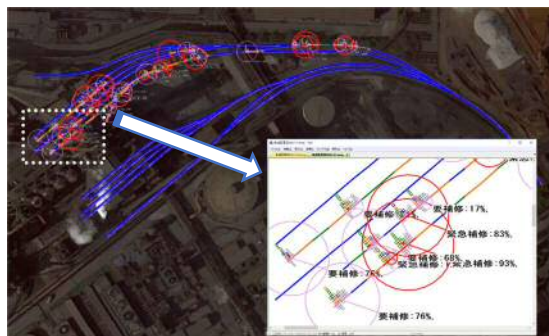


図-4 解析結果の出力図（JFE-RTMES 総括図）

この総括図には、図-5 に示すように現状の測量・測定・検査・目視点検結果に加えて、過去に実施された補修回数とトラブル回数を記載している。ここでは、管理項目のレベルに対して、安定：青色，注意：緑色，警戒：橙色，危険：桃色，限界：赤色として色分けしている。図中に記載したブロックは、それぞれ表-3 の管理項目に対応しており、図-5 に示した色と管理レベルの対応方法は、表-4 に対応している。また、過去の管理デー

タを分析した結果として、“補修の必要性”の発生確率を該当するレール区間の中央から広がる円（半径が予想確率、色は管理レベル）で表している。

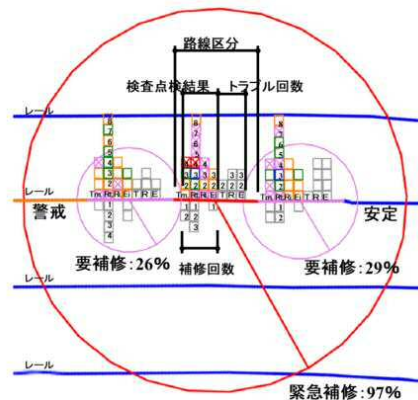


図-5 出力図の詳細

5. おわりに

本稿では、当該製鉄所における保線管理の手法と開発中の JFE-RTMES への適用方法について説明した。現在、より現地の情勢に近い分析結果となるように、ニューラルネットワーク解析等を用いた機械学習や深層学習を進めている。ここで得られた結果は、将来、補修の方法、期間、費用の概算を組み合わせることによって、補修の時期による関連事業への影響や将来コストの変化などが検討できるような LCM に繋がりたいと考えている。また、本文が、他のサイトで実施されている管理業務の参考になれば幸いである。

参考文献

- 古川敦,2013.軌道の健全性維持に向けたメンテナンス技術,鉄道総研講演会,26,33-40
- 河口聡,三宅祐輔,高田佑紀他,2019.人工知能を用いた保線管理エキスパートシステム(JFE-RTMES)の開発,第 71 回土木学会中国支部研究発表会, Vol.VI-17,pp.438-439
- 近久博志,来山尚義,2012.最近のリモートセンシング技術による土木計測と拡張現実システム,第 165 回九州アジア地下空間フォーラム定例会 H23 年度特別講演会
- Chikahisa.H.,Matsumoto.K.,et.al,1997.Measurement control method and expert system for tunneling by fuzzy set theory, Proceedings of the 1st Asian Rock Mechanics Symposium,Vol.1, pp.261-266
- 近久博志,荒井幸夫他,1991.トンネルの対策工選定支援のためのデータベースとファジー理論,トンネル工学研究発表会論文・報告集, Vol.1, pp.71-76