

# 転てつ装置の保守管理と転てつ機モニタの活用に関する調査

潮見 俊輔\* 押味 良和\* 重盛 壮平\*

## A Survey on Switch-and-Lock Equipment Maintenance and Utilization of Point Machines Monitors

Shunsuke SHIOMI Yoshikazu OSHIMI Sohei SHIGEMORI

We carried out a survey on maintenance methods for switch-and-lock equipment in order to search for future research and development. Actual states of facility conditions were investigated through a questionnaire and interview survey to 87 railway operators in Japan. The specific survey items were maintenance methods, maintenance cycles, replacement criteria, benefits of point machine monitoring systems and its tasks. The results of this survey showed that the condition monitoring data from point machines has been used to extend the inspection periods and reduce the number of inspection items. Furthermore, we also confirmed that R&D on condition monitoring may contribute to help today's maintenance issues, such as a shortage of maintenance workers.

キーワード：転てつ装置，動力転てつ機，保守管理，状態監視，鉄道信号

## 1. はじめに

転てつ装置は、鉄道において列車の進行方向を変える軌道構造である分岐器に対して、動作（転換）や保持（鎖錠）等を行う信号保安装置である。一般的には、電気転てつ機などの動力転てつ機と、フロントロッドなどの転てつ付属装置から構成される。転てつ装置は列車運行の安全性に影響するため、設備を健全な状態に保つよう管理することが求められる。また、転換不能発生時には適切かつ迅速な処置を行い、列車運行への影響を小さくすることが重要である。そのため、転てつ装置は定期的な検査の実施や、状態や使用年数等に基づいた修繕や更新が行われている。しかし、労働人口の減少等による検査修繕業務の担い手不足や保守管理コストの増加は、従来通りの修繕や更新を難しいものになっている。転てつ装置を含む鉄道設備の保守管理体制やコスト低減に関して、これまでも鉄道事業者単位で様々な省力化や低コスト化の施策が行われてきた。これらの施策を今後更に発展させるためには、他の鉄道事業者における施策や経験を踏まえた、保守管理手法や体制の検討、技術開発に取り組むことが重要である。

本報では、2022年から2023年にかけて実施した、鉄道事業者へのアンケートと聞き取りに基づき、転てつ装置の保守管理の実態について調査を行った結果<sup>1)</sup>を報告する。従来の定期的な巡回検査に関する実態調査のほか、一部の鉄道事業者で導入が進められている、転てつ装置の状態監視装置（転てつ機モニタ）の導入や利活用、現状の課題に関する調査結果について報告する。また、調査結果を踏まえて、今後の転てつ装置の保守管理における課題と、転てつ機モニタによる定期検査の代替等の課題解決の方向性を示す。

## 2. 保守管理に関する実態調査

### 2.1 調査目的および調査方法

転てつ装置の保守管理に関する実態と、近年導入が進められている転てつ機モニタの現状把握、転てつ機モニタの現時点での評価、および定期検査の代替手段として活用する際の課題を踏まえて、将来の研究

\* 信号技術研究部 信号システム研究室

開発の方向性を整理することを目的として、鉄道事業者に対するアンケート調査と聞き取り調査を実施した。

アンケート調査は、2022 年秋に鉄道事業者 150 社局（新幹線を含む普通鉄道，路面電車，新交通）に対してアンケート（全 32 問）を配布して、内 87 社局から回答を得た。アンケート項目の概要を表 1 に示す。転てつ装置の状況に関する設問，検査や更新に関する設問，および転てつ機モニタの現状と活用状況等に関する質問を行った。また，アンケートに回答した鉄道事業者のうち 10 社局に対しては，回答結果の詳細や保守体制等の実態に関する聞き取り調査を 2023 年に実施した。

表 1 アンケート項目の概要

カテゴリ	質問数	主な質問
動力転てつ機の状況	8問	動力転てつ機の種類，数量，最古設備の使用年数，動作回数，過去に発生した故障事例
転てつ付属装置の状況	6問	転てつ付属装置の種類，最古設備の使用年数，損傷や摩耗等の有無と頻度
転てつ装置の管理・検査	5問	台帳管理状況，検査頻度，検査機器，検査の着目点
転てつ機モニタ	5問	導入状況，監視項目，効果，課題，求める機能
設備更新の状況	5問	取替基準，オーバーホールや転用の状況
保守・管理の考え方等	3問	維持管理における課題，自由回答等

## 2.2 動力転てつ機の種類

転てつ装置はモータ等の動力によって転換や鎖錠等を行う動力転てつ機と，スイッチアジャスタ等の転てつ付属装置から構成される。このうち動力転てつ機について，国内で使用されている装置の種類と種類毎の導入状況を把握するためアンケート調査を実施した。アンケートの項目としては，動力転てつ機の種類や使用年数，動作回数などの状況に関する設問を設定した。動力転てつ機の種類に関する集計結果として 87 社局からの回答の概略を図 1 に示す。日本国内では様々な種類の動力転てつ機が用いられているが，回答のあった多くの鉄道事業者（87 社中 74 社）で在来線用の NS 形電気転てつ機が使用されている。NS 形以外の電気転てつ機を使用している鉄道事業者についても，多くは NS 形電気転てつ機を併用している状況であった。このことから，多くの鉄道事業者を対象とした転てつ装置の技術開発を行う際は，NS 形電気転てつ機を対象の一つとすることが重要であることが確認された。

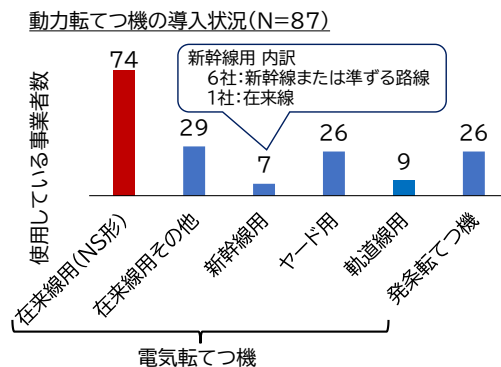


図 1 動力転てつ機の種類と導入している鉄道事業者数

## 2.3 電気転てつ機の使用年数と動作回数

電気転てつ機の実際の使用年数や動作回数に関する状況を把握するため，鉄道事業者における最大の使用年数および動作回数に関する設問を設定した。最大使用年数に関する集計結果を図 2 に示す。最大使用年数は 20 年～30 年とする回答が最多であり，10 年～60 年の範囲に大半の回答が分布した。50 年以上の年

数にわたって使用すると回答した鉄道事業者に対してその理由について聞き取り調査を行った結果、①オーバーホールの実施により設備台帳上の製造年が古い設備がある、②代替となる電気転てつ機が調達できないため継続使用している旨の回答が得られた。また、②に該当する鉄道事業者に個別の聞き取り調査を行ったところ、路面電車用の電気転てつ機の代替品が少なく、1960年代前後に製造された電気転てつ機を修繕して使用しているとの回答が得られた。

電気転てつ機の動作回数に関する集計結果として、鉄道事業者内の1日あたりの最大動作回数と最大の累計動作回数の関係を図3に示す。両者に該当する電気転てつ機は必ずしも同一とは限らないが、定性的には1日の動作回数が多い鉄道事業者では累計動作回数も多い結果が得られた。一方で、1日の動作回数が50回以上100回未満の鉄道事業者で、累計動作回数が100万回を超えると回答した事業者が複数あった。1日あたり99回動作すると仮定した場合でも100万回に達するまでに単純計算で27年以上を要することから、累計動作回数が多く、かつ使用年数も長い電気転てつ機も存在しているといえる。このように、電気転てつ機の使用年数や動作回数は鉄道事業者によって様々であるといえる。

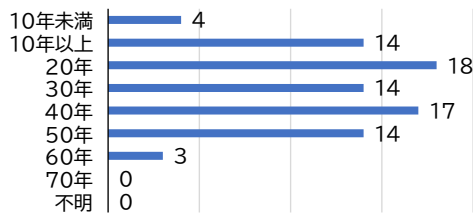


図2 電気転てつ機の最大使用年数 (N=84)

該当する事業者数(社局)	日あたり動作回数(回)								記載なし	
	不明	400~	300~400	200~300	150~200	100~150	50~100	25~50		
不明	4	2	0	2	1	3	5	3	3	0
100万~	0	4	2	5	4	1	3	0	0	0
80~100万	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0
60~80万	0	0	0	0	2	1	3	0	0	0
40~60万	0	0	2	1	2	3	1	3	0	1
30~40万	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0
20~30万	0	0	0	0	0	0	2	3	1	0
10~20万	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0
~10万	0	0	0	0	0	0	1	0	4	0
記載なし	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3

図3 電気転てつ機の1日あたり最大動作回数と最大の累計動作回数

## 2.4 電気転てつ機の修繕・更新

電気転てつ機の使用年数や動作回数が鉄道事業者によって様々となる要因について検討するため、電気転てつ機の更新に関する動作回数や使用年数などの基準や目安の設定状況について調査を実施した。

その結果、動作回数や使用年数に基づき更新を実施している鉄道事業者は51社局(全体の58.6%)であり、約40%の鉄道事業者は特定の基準を定めた更新は実施されていないことが確認された。加えて、基準等を定めて更新を実施している鉄道事業者においても、その基準は様々であることが確認された。図4に更新周期に関するアンケートの回答結果を示す。社内基準等で更新を行う使用年数や動作回数を定めている鉄道事業者と、基準は特に定めず、更新の目安として使用年数や動作回数を用いる事業者があるが、いずれも使用年数20年~30年、および動作回数30万回~50万回ないし、100万回~150万回で更新するといった回答が多く得られた。動作回数に関する基準もしくは目安が鉄道事業者で大きく異なっている理由について聞き取り調査を実施した結果、電気転てつ機的主要部品の解体検査と更新を行うオーバーホール修繕を行っている鉄道事業者において、最終的に廃棄するまでの期間が長いことが判明した。オーバーホール修繕の回数は鉄道事業者により異なるが、回答のあった鉄道事業者全てでオーバーホール回数に上限を定めていた。

修繕や更新の時期については、信号工業協会の寿命の目安<sup>2)</sup>等を踏まえつつ、オーバーホール修繕の実施有無、故障の発生実態、工事予算や体制、過去の故障履歴、メーカー保証期間後の使用に関する考え方など

の鉄道事業者毎の体制や経緯，状況を踏まえて各鉄道事業者で定めている実態が得られた。オーバーホール修繕に関しては電気転てつ機本体の輸送を伴うことから，鉄道事業者毎の対応は様々であった。修繕を行う箇所（メーカ工場や指定工場，もしくは鉄道事業者自社内）への輸送に要するコストは距離等の影響を受けるため，新造品と輸送費を含めたオーバーホール品との価格差が小さい鉄道事業者ではオーバーホール修繕が実施されることが少ないことが判明した。一方，オーバーホール修繕の内業化などにより低いコストで実施できる鉄道事業者では，オーバーホールを比較的短い周期や動作回数で行い，購入から廃棄まで比較的長期間使用している事が多い旨の回答が得られた。

転てつ装置の修繕や更新の考え方は，上記の通り鉄道事業者で様々であるが，故障の発生履歴，検査修繕体制，経済的要素などの影響を受けており，年数や動作回数の基準を一律に定めることは難しい。しかし，転てつ装置の劣化・故障のメカニズムの解明やこれらに影響する環境要素の特定<sup>3) 4)</sup>が進むことで，鉄道事業者間で共通して適用可能な更新判断に関する根拠やその判断基準が示されるようになると思われる。また，使用予定年数と使用環境に応じた振動などの環境に対する耐久性試験・評価方法の開発<sup>5)</sup>についても，更新周期の適正化や延伸に寄与するものとする。

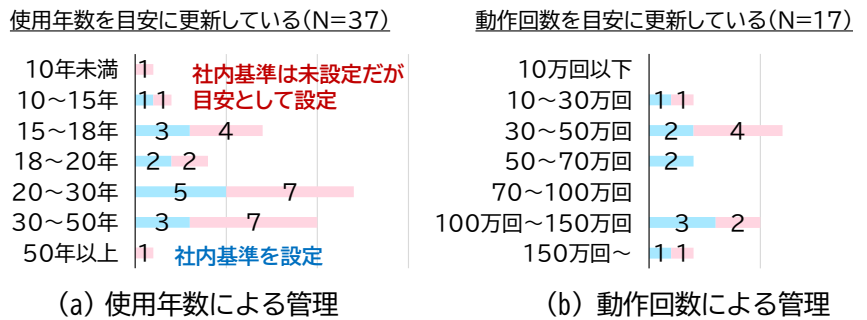


図4 電気転てつ機の更新周期に関する回答結果

## 2.5 転てつ装置の故障

転てつ装置の主要構成要素である，電気転てつ機，スイッチアジャスタ，フロントロッドにおける故障について，発生している事象やその発生部位について調査を行い，多くの鉄道事業者に共通する故障要因の特定を試みた。アンケート結果で得られた主な故障部位と報告のあった鉄道事業者の数を図5に示す。

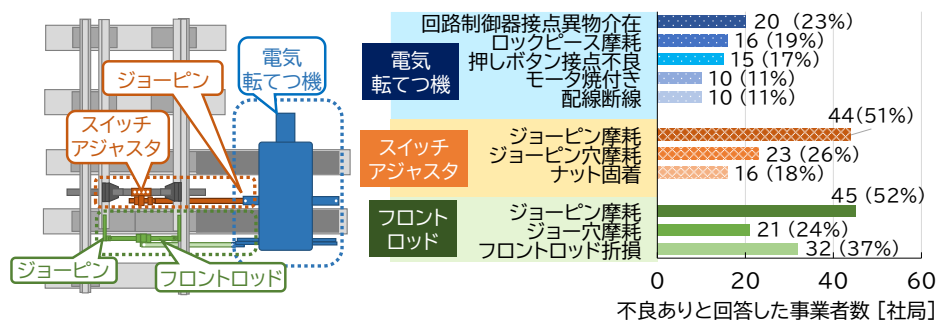


図5 転てつ装置と主要な故障部位に関する回答結果

電気転てつ機本体の故障は，回路制御器の異物介入や押ボタンの接点不良，モータ焼付き，断線といった電氣的な故障が10%～20%の鉄道事業者から報告された。機械的な故障としては，ロックピース摩耗に関する報告が約20%の鉄道事業者から報告された。

転てつ付属装置に関する故障については、スイッチアジャスタ、フロントロッドに共通してジョーピンやジョー穴の摩耗に関する報告数が多く、特にジョーピンの摩耗は約半数の事業者で発生した旨の回答があった。また、フロントロッドの折損は32社局（37%）から報告された。フロントロッドの折損やジョーピンの摩耗が過去に発生した鉄道事業者への聞き取り調査からは、これらの事象は特殊分岐器用のフロントロッドや継手金具、路面電車において道路下に埋設するスイッチアジャスタ等で特に発生しているとの回答を得た。これらの箇所ですら特に生じやすい、列車通過時の振動や衝撃、水没や湿気による腐食等がこれらの事象の発生に影響したと推察される。

## 2.6 転てつ装置の検査

転てつ装置の故障やそれに至る状態変化を防ぐための検査に関する状況を調査した。転てつ装置の検査は通常、目視確認等を主体とする検査（以下、巡回検査）と、電流等の測定や調整作業を主体とする検査（以下、総合検査）が実施されている。巡回検査と総合検査について、それぞれの周期や実施内容に関してアンケートを通じて回答を得た。検査周期に関する回答を図6に示す。

巡回検査の実施周期は1ヶ月以上3ヶ月未満、次いで3ヶ月以上6ヶ月未満とする回答が多い結果が得られた。一方で、巡回検査の実施周期を1年以上と法定周期に近い周期で設定している旨の回答も9社局から得られた。検査の実施周期については、個々の鉄道事業者の事情や判断により、法定周期より短い期間で実施している実態が得られた。なお、検査項目に関する回答では鉄道事業者間で大きな差異は確認されなかった。

総合検査の実施周期は1年以上2年未満とする鉄道事業者が多い結果が得られた。一方で2社局からは2ヶ月以下の頻度で実施している旨の回答が得られた。聞き取り調査からは、鉄道事業者独自の施策として、線区の種類や重要度による検査周期の段階分けや、転てつ機モニタ装置の導入箇所における検査周期の見直し等が行われていることが判明した。検査項目に関しては、鉄道事業者間で概ね類似しているが、密着度測定器など使用する器具に相違点があった。また、2.5節に述べたフロントロッドの折損に対して、特殊分岐器のフロントロッド肘金や、路面電車における道路下に敷設したスイッチアジャスタ等に対して、浸透探傷検査（カラーチェック）を実施している旨の回答が、複数の鉄道事業者から得られた。

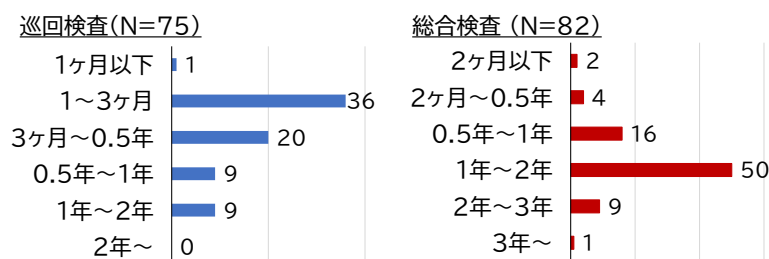


図6 転てつ装置の検査周期に関する回答結果

## 3. 転てつ機モニタに関する実態調査

### 3.1 導入状況と主な機能

転てつ装置の動作状態を監視、記録する状態監視装置（転てつ機モニタ）は、日本国内においては1980年代後半から異常検知や遠隔監視を行う手段として開発、導入が進められてきた<sup>6)</sup>。初期の転てつ機モニタ

の導入から約35年が経過し、当初の異常検知等の手段から予防保全のためのデータ取得の手段として活用されつつある。また、活用のための枠組みや具体的な代替の範囲などは今後の課題であるが、定期検査の代替手段としての転てつ機モニタの活用が期待されている。現時点における、転てつ機モニタを導入済みの鉄道事業者における現状の評価と課題、および導入されていない鉄道事業者における導入上の課題について調査し、実態の把握と今後の方向性について検討した。

まず、転てつ機モニタの導入状況と導入効果、および課題について2.1節に述べた方法により調査を行った。アンケートによる導入状況に関する回答を図7に示す。回答結果から、転てつ機モニタは87社局中25社局（約30%）で導入されていることが確認された。導入は主に新幹線や都市鉄道、大手鉄道事業者が中心であったが、地域鉄道への導入例についても報告されている。導入後の効果や課題感に関する回答では、19社局（導入した社局の76%）が「効果がある」との回答が得られたが、12社局（同48%）からは「機能に課題を感じる」と回答した。また、5社局（同20%）は「効果を検証中」、1社局は「効果が得られない」と回答があった。

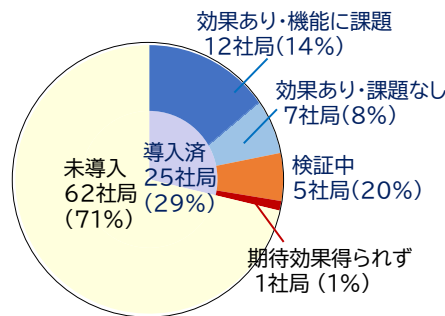


図7 転てつ機モニタの導入状況と導入後の課題感に関する回答結果

また、導入済みの転てつ機モニタの機能に関する設問として、測定により取得可能な項目、測定値から推定を行う項目について回答を得た。転てつ機モニタの主な監視項目は、①モータの電圧・電流、②鎖錠かん変位、③WR電流であり、導入済みの転てつ機モニタは①~③の何れか、もしくは全てが備えられている旨の回答があった。測定値からの推定機能については、モータ電流等から、転換負荷やモータトルク、動作かんストロークの推定機能が備えられている転てつ機モニタが多く用いられていることが確認された。

### 3.2 導入効果と課題感

次に、転てつ機モニタを導入済みの鉄道事業者における現状の評価と課題、および未導入の鉄道事業者における導入上の課題について調査を行った。アンケートおよび聞き取り調査から得た主な回答を表2に示す。回答は、転換不能の予防や復旧・調整作業の支援、保守への活用に関する肯定的な内容のほか、導入時のコストや投資効果に対する課題、および未導入の鉄道事業者における保守体制の現状を踏まえた課題が得られている。

転換不能の予防や作業支援、保守への活用に関する肯定的な回答としては、「転換負荷や鎖錠かん変位などの時間に対する変化が知得しやすい事象を捉えて、予防的に処置を行った」旨の回答や、「遠隔地の設備における異常やその予兆に基づき、予め対応要員を充てた」、「鎖錠かん変位などの状態量が数値化したことで調整が容易になった」旨の回答が得られた。設備の動作状態が遠隔地で知得でき、状態量が可視化できる転てつ機モニタの機能に対しては、肯定的に捉えられていると考えることができる。

一方で、導入時のコストや投資効果に関して、「故障や異常に対する効果は感じる一方で、そもそもの発

生頻度が低いため、転てつ機モニタの導入や維持更新費用が高額である」、「コストパフォーマンスの面で課題を感じる」主旨の回答が複数の鉄道事業者から得られた。また、「転てつ機モニタを導入したが、状態変化がそもそも発生しない安定稼働の設備であったため、異常対応としての効果が得られていない」との回答も得られた。温度変化が少なく日照がない地下区間における鎖錠かん変位や、転換負荷が小さい関節分岐器の転換負荷など、そもそも状態変化が起きにくい環境に導入したために、結果的に導入効果が得られず、投資に対する効果が得られないという評価に至っている事例も確認された。このような鉄道事業者からは、設備故障や変状等が少なく、転てつ機モニタの必要性が小さいため、転てつ機モニタの更新を躊躇するとの声も聞かれた。

一方で、転てつ機モニタの導入効果を向上させるために、異常状態の監視目的だけではなく、保守や検査への活用、具体的には転てつ機モニタによる検査項目の置き換えと、巡回検査や総合検査の検査周期の延伸に活用している、もしくは活用したい旨の回答も複数の鉄道事業者から得られた。一部の鉄道事業者では実際に導入箇所の一部において検査周期を延伸したとの回答があった。

投資効果に関する別のアプローチとして、モニタ装置の低コスト化に関する取り組みや提言として、「モニタ装置を汎用機器で構成して施工している」といった回答や、転換時間のみ計測する少ない機能の装置により、コスト低減を図る取り組みなども行われている。また、状態変化が大きい箇所に絞った導入や可搬形機器による監視ができれば効果が高まるとの回答が得られた。

設備投資や要員数に限りがある中小鉄道事業者からの回答としては、「指令や保守の要員が少なく、監視装置が出力する異常や予兆への即応体制を取ることで自体が難しい」との回答もあり、転てつ機モニタの導入が必ずしも鉄道事業者の体勢や業務とマッチしない場合には適用し難い現状も確認された。

表2 電気転てつ機の状態監視装置に関する導入効果と課題に関する主な回答結果

カテゴリ	主な回答
転換不能の予防	・転換負荷の増加傾向を捉えて転換不能前に処置を行うことができた ・状態がリアルタイムで捉えられるため、分岐器部分交換後等の推移を得やすくなった等
復旧作業支援	・雪による転換不能が知得できるため、異常時の要因配備が容易になった
調整支援	・鎖錠かんの調整を数値に基づき実施できるようになった
投資効果、保守への活用	・導入したが転てつ機が安定稼働しており、異常対応としての効果が得られていない ・投資に対する期待効果の評価が難しい ・転換不能の発生頻度減少、点検周期延伸、更新時期延伸を期待して導入を進めた ・検査の置き換えができれば、検査工数が減る点で導入の利点が出る可能性がある
その他	・汎用シーケンサを活用することで導入コストの低減を図っている ・CTCセンターの要員が1名のため、導入してもデータ確認等の対応ができず活用が難しい

## 4. 保守管理の課題

### 4.1 転てつ装置の更新

転てつ装置の経年に関する調査結果から、50年以上の長期にわたり使用されている電気転てつ機や、累積動作回数が100万回を超過し、かつ長期間使用されている電気転てつ機が存在することが確認されている。路面電車用の電気転てつ機など、製造中止に伴いやむを得ず修繕して使用している事例もあるが、一般論としては、設計時の想定にない故障や異常を防ぐため、適正な使用年数や動作回数で更新を進めることが必要である。電気転てつ機の更新は多くの工数と要員、技能を必要とするため、適切な計画を策定し

た上で、更新を実施していくことが望まれる。

使用年数や動作回数に基づき更新計画を策定する方法は、約 6 割の鉄道事業者で採用されている。製造年数や動作回数などの基本的な管理情報や故障実績等から策定できるため、鉄道事業者の規模を問わず広く適用可能である。また、故障時の影響度なども評価指標に加えた RBM (Risk Based Maintenance) の鉄道信号設備の更新計画策定への適用や<sup>7)</sup>、転てつ機モニタで取得したデータや設備台帳の情報を総合した数値指標から更新優先度を判断する手法<sup>8)</sup>は、更新を必要とする設備が多い鉄道事業者において有用といえる。

## 4.2 転てつ装置の検査と転てつ機モニタの活用

転てつ装置の検査周期に関する調査結果から、検査周期が鉄道事業者によって大きく異なることが確認された。検査周期の長さは、各鉄道事業者における保全の考え方やこれまでの故障等の実績、および要員や体制に依るため、一律に定めることは難しい。しかし、労働力の減少により現在の検査体制を維持することは困難であるため、故障等による安定性の低下を避けつつ検査周期の見直しや補完を行うことは、鉄道事業者の規模を問わず避けることができないと考える。

これに対して、検査周期の延伸が可能な設備や、周期延伸が許容できる期間を、定期検査の履歴を分析することで示す手法が提案されているほか<sup>9)</sup>、転てつ機モニタを導入している鉄道事業者で検査周期を延伸している事例が本アンケートでも報告されている。いずれも個別の設備で異なる状態変化等の「くせ」の存在を踏まえて、データの分析や転てつ機モニタによる補完により検査周期の延伸を図る取り組みであり、上記課題に対して有用である。

また、転てつ機モニタの検査への活用は、転てつ機モニタの設備投資に対する効果に関する課題、所謂「コストパフォーマンスがよくない」ことに対して、検査周期の見直しや検査項目の削減が投資効果の改善に寄与するとの回答も得られている。今後、転てつ機モニタによる定期検査の周期延伸や検査項目の置き換えが可能になれば、転てつ機モニタの適用線区の拡大も図られるものと期待される。

## 5. まとめ

本報告では、鉄道事業者へのアンケートと聞き取りに基づき、転てつ装置の保守管理と転てつ機モニタ装置の活用に関する実態調査結果を示した。また、調査結果を踏まえた現状の保守における課題を示した。転てつ装置を含む信号保安装置の保守管理においては、更なる労働力人口の減少等に対応した省力化が求められる。転てつ機モニタによる監視が可能な転てつ装置の検査項目、検査方法を再定義し、故障の発生頻度や検査の水準を保ちながら省力化を進める取り組みが今後必要になると考える。

## 謝 辞

本調査の実施にあたり、アンケートおよび聞き取り調査にご協力いただいた鉄道事業者各位に厚く御礼を申し上げます。

## 文 献

1) 潮見俊輔, 押味良和, 重盛壮平, 高崎建, 神谷剛志, 一色竜杜, 会田直矢: 転てつ装置の保守管理手法に関する調査, 2024 年電

気学会産業応用部門大会講演論文集, pp.V-93-96, 2024

- 2) 鉄道信号用装置・機器の耐用寿命に関する検討書 改訂第4版, 信号工業協会, 2017
- 3) 嶋本琢磨, 田處恵大, 波多野明日可, 泉聡志, 酒井信介, 新野善行, 鈴木雅彦, 金田敏之: 列車通過時振動による特殊分岐器フロントロッド部品の摩耗予測のための有限要素モデリング, 日本機械学会論文集, Vol. 85, No. 873, 2019
- 4) 重盛壮平, 潮見俊輔: フロントロッドの張りが応力に与える影響, 第31回鉄道技術・政策連合シンポジウム, S2-8-1, 2024
- 5) 押味良和, 潮見俊輔, 神谷剛志, 一色竜杜: 信号設備の振動耐久試験における加振加速度の提案, 鉄道総研報告, Vol.38, No.5, pp.11-16, 2024
- 6) 潮見俊輔: 動力転てつ機の状態監視技術の技術動向に関する調査, 2023年電気学会産業応用部門大会講演論文集, pp.V-78, 2023
- 7) 酒井信介: リスクに基づくメンテナンス, JR East Technical Review, No.32, pp.1-4, 2010
- 8) 東急電鉄 ニュースリリース 状態保全 (CBM: Condition Based Maintenance) 支援システムを4月下旬より運用開始: <https://www.tokyu.co.jp/company/news/list/Pid%3Dcbm.html> (参照日: 2025年6月13日)
- 9) 稲場亘, 松岡弘大, 為広重行: 設備の検査周期適正化に向けた検査記録の統計分析手法, JREA, Vol. 68, No. 8, pp.19-22, 2025