

鉄道の電力設備の信頼性を向上する



重枝 秀紀
Hidenori Shigeeda
電力技術研究部長

はじめに

鉄道の電力設備には、電気車に電力を供給するための変電設備や電車線路設備、また、鉄道沿線に点在する信号機や踏切などの信号保安設備や、駅の照明、券売機、エレベーターなどの電気機器に電力を供給する配電設備があります。これらの設備に故障や破損などの障害が生じると安全・安定輸送に大きな影響を及ぼすことから、各設備には高い信頼性が求められます。

設備の信頼性向上においては、障害に至る要因を把握し、その発生メカニズムを解明する取り組み、要因に対する十分な裕度や障害に対する冗長性をもたせた設備を構築する取り組み、設備の状態などをセンシングして障害の発生やその予兆を監視評価する取り組みが重要です。

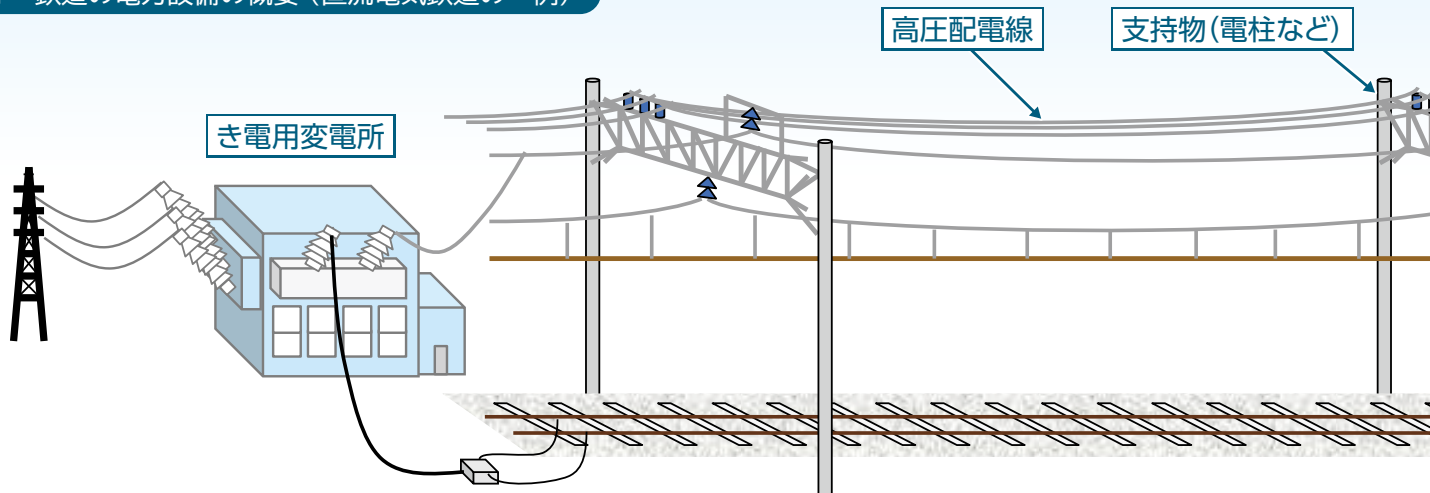
ここでは、鉄道の電力設備における鉄道総研の最近の取り組みを紹介します。

電力設備の信頼性向上への取り組み 鉄道の電力設備

直流電気鉄道における電力設備の一例を図1に示します。電車線路設備や配電設備に電力を供給する変電設備の大元になるのがき電用変電所(変電所)です。変電所には、電力会社送電線の電圧を鉄道用途に適した電圧に変換する変圧器、交流電力を直流電力に変換する整流器、故障時に電流を遮断して回路を切り離す遮断器、それらの機器を監視制御する配電盤などが設けられています。

電車線路設備はおもにトロリー線、ちょう架

図1 鉄道の電力設備の概要(直流電気鉄道の一例)



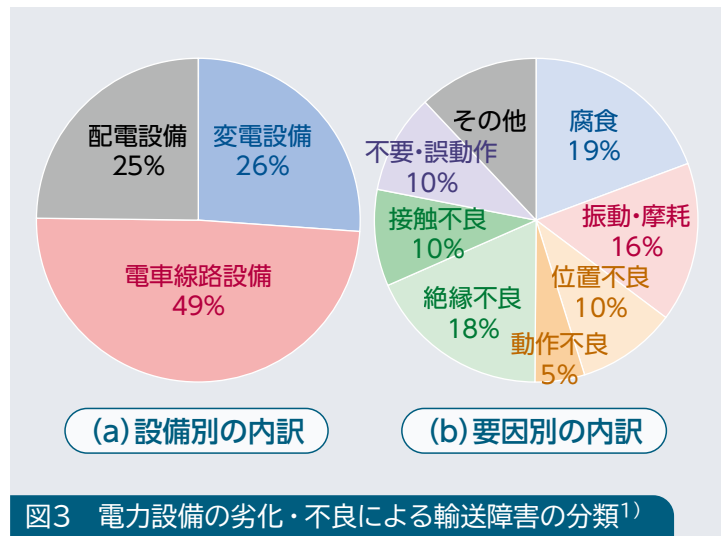
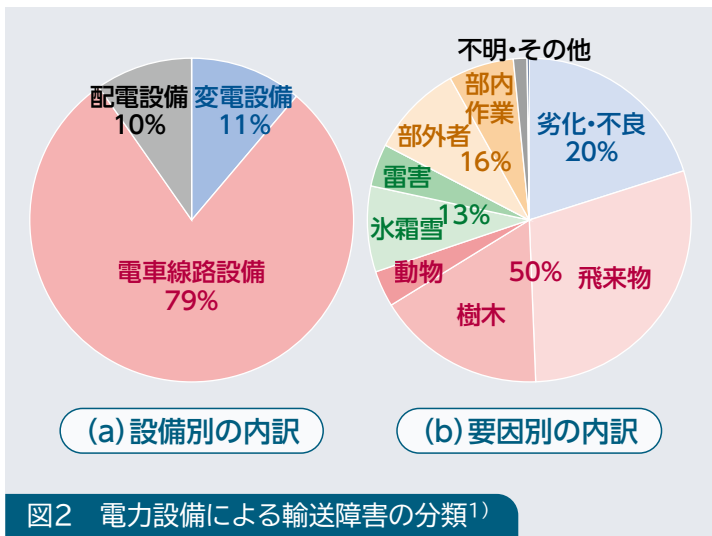


図2 電力設備による輸送障害の分類¹⁾

図3 電力設備の劣化・不良による輸送障害の分類¹⁾

線、き電線などの電線と、それらを支持する電柱などの支持物で構成されます。支持物には、電線を機械的に支持するとともに電気的な絶縁を確保する役割をもつ「がいし」が用いられています。

配電設備は、変電所の配電用変圧器から鉄道沿線の電気機器に電力を供給するものであり、三相交流または単相交流の高圧配電線で構成されます。高圧配電線の電圧は一般に6600V程度であり、電気機器の使用場所近傍に変圧器を設けて100Vや200Vの低圧に変換します。

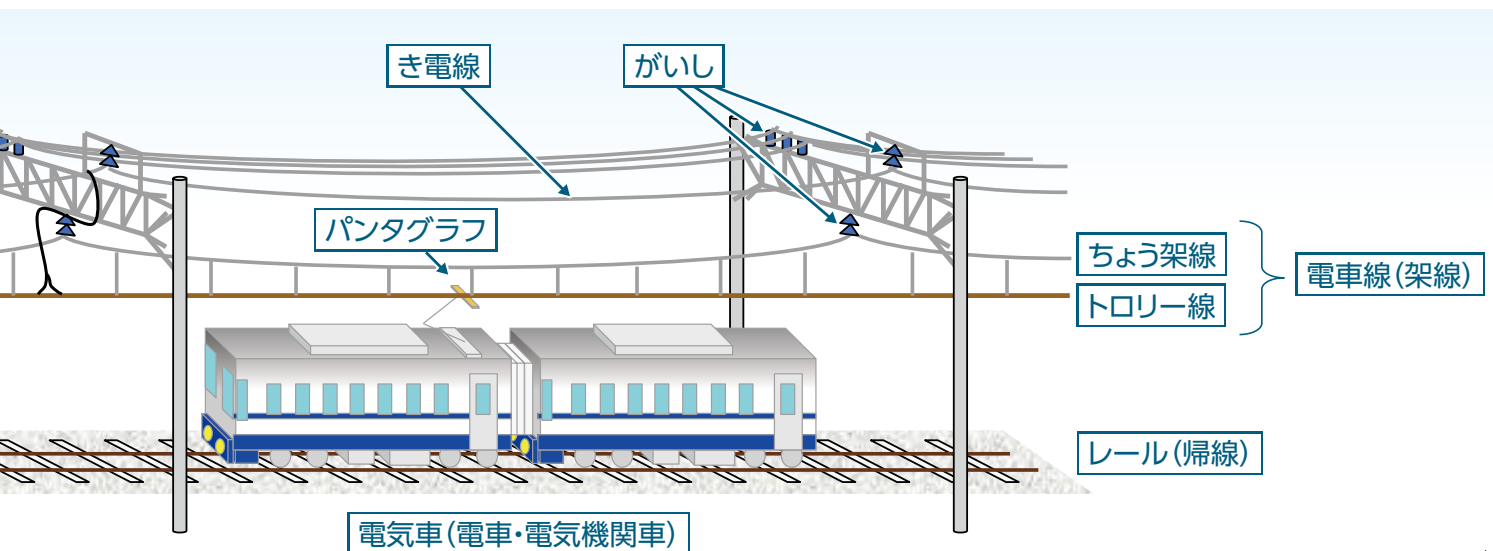
変電設備や配電設備は、必要に応じて複数の機器やシステムを設けて、1つの機器などに障害が発生してもほかの機器などに切り替えることで輸送への影響を軽減する構成が可能です。一方、電車線路設備はそのような予備のシステムを構成することが困難です。このため、断線などの障害

が発生すると復旧まで相当の時間を要し、輸送への影響が大きくなることから、障害を未然に防ぐ取り組みがより重要となります。

電力設備の障害要因

2015年度までの10年間に発生した、電力設備による約1900件の輸送障害などを分類したグラフを図2に示します¹⁾。設備別の内訳をみると電車線路設備によるものが約8割を占め、変電設備と配電設備が各1割程度です。また、要因別の内訳をみると設備の劣化や不良によるものが2割程度であり、残りは飛来物、樹木や動物などの接触、雷などの外的要因となっています。

要因のうち、設備の設計やメンテナンスにおいて重要な、劣化や不良による障害だけを分類したグラフを図3に示します。設備別の内訳では電車線路設備が約半分を占め、残りは変電設



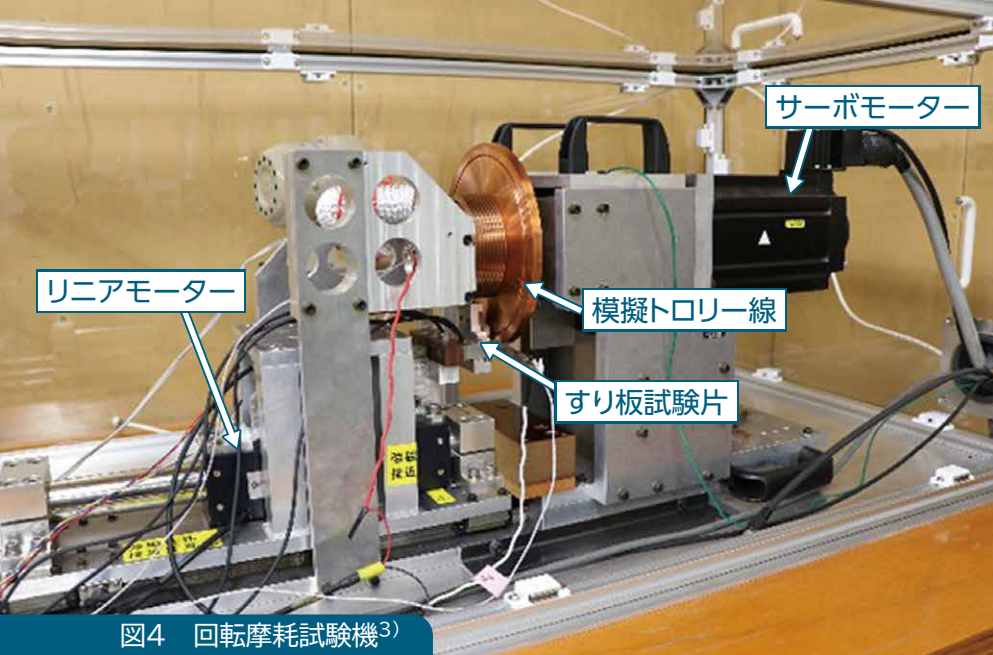


図4 回転摩耗試験機³⁾

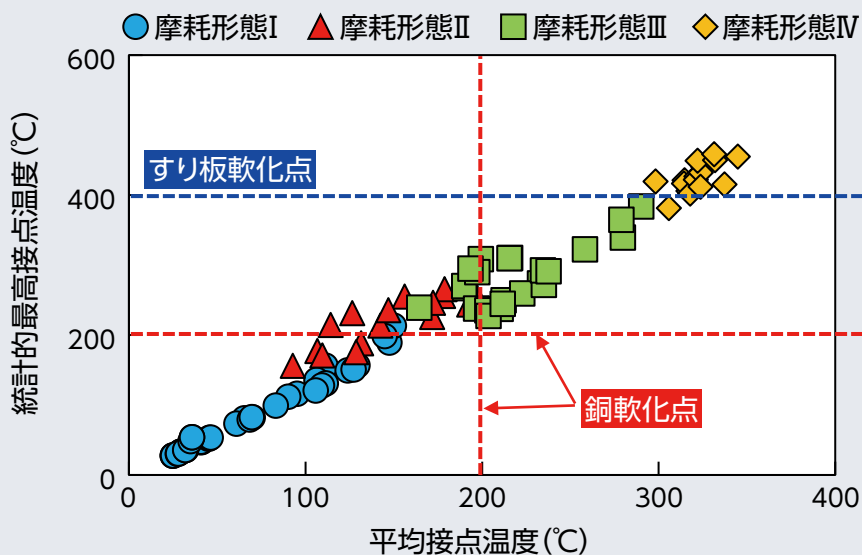


図5 摩擦熱による接点温度に基づく摩耗形態の分類³⁾

備と配電設備が同程度です。要因別では、腐食による劣化が約2割を占めるほか、振動や摩耗などの機械的なものや、絶縁不良、接触不良など電気的なものなどさまざまな要因があることがわかります。

障害に至る要因を把握・解明するための研究

障害に至るメカニズムを解明する取り組みの例として、電車線路設備の摩耗に関する研究を紹介します。電気鉄道では、走行する電気車に電力を供給するため、図1のように電車線路設備の一部であるトロリー線と電気車のパンタグラフが接触して、通電しながらしゅう動します。その際、トロリー線とパンタグラフすり板との

接点に流れる電流やしゅう動時の摩擦によって接点の温度が上昇し、両者の摩耗の進行に大きく影響します。トロリー線の摩耗が進行すると断線などの障害に至るため、信頼性の向上にはさまざまな要因によってトロリー線が摩耗するメカニズムを解明することが重要です。

鉄道総研では、これまでに通電による摩耗メカニズムの解明に取り組み、トロリー線とすり板が各々摩耗する条件を明らかにしてきました²⁾。引き続き、摩擦熱による摩耗メカニズムを解明するため、しゅう動しながら接点の温度を測定可能な回転摩耗試験機(図4)を製作しました。この試験機による摩耗試験の結果から、トロリー線とすり板との接点温度に応じて摩耗形態を4種類に分類し(図5)、各摩耗形態の遷移条件を明らか

にしました。

信頼性の高い設備を構築するための研究

電車線路設備では、トロリー線とちょう架線などの電線どうしを電気的に接続するコネクターという金具が用いられます。コネクターは、パンタグラフが通過するたびに振動が加わることで疲労破断する可能性があり、電車線路用金具の規格に準じた振動試験を行っています。しかし、この試験は実設備で発生する疲労損傷を評価しきれていないため、信頼性の高いコネクターの開発には実設備の疲労損傷を評価可能な試験方法が必要です。そこで、パンタグラフ通過にともないコネクターに作用する架線運動

(a)鉛直方向試験

(b)水平方向試験

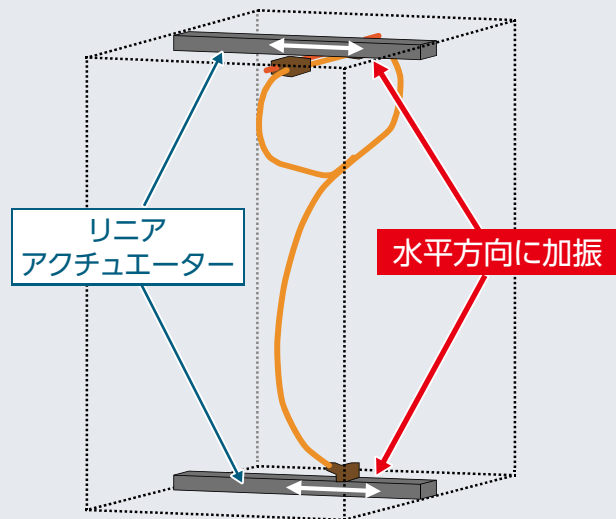
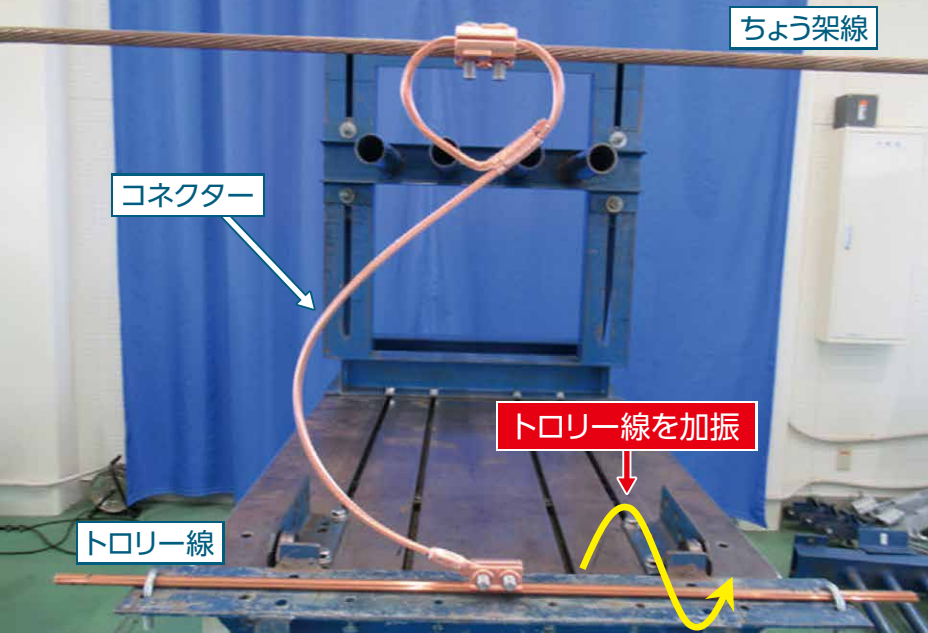


図6 提案するコネクターの振動試験法

のシミュレーション結果に基づき、図6に示す2種類の振動試験を提案するとともに、コネクターの形状や設置位置を考慮して疲労損傷を適切に評価できる試験条件を検討しています。

そのほかの取り組みとして、エアセクションのトロリー線断線防止に関する研究を本号で紹介します。

センシング・監視評価に関する研究

電車線路設備の信頼性確保には定期的な検査や測定が重要ですが、多くの人手を要します。このため、車両に搭載したカメラで設備の画像を撮影し、画像解析技術を用いて設備の異常検出を自動化する取り組みが鉄道事業者やメーカーで行われています。鉄道総研でも同様の研究開発⁴⁾を進めるとともに、カラー画像から腐食などの異常を検出する技術、列車前方の画像から架線に付着した異物などを直ちに検出し、パンタグラフを降下させるなどして設備の損傷を回避する技術などの研究にも取り組んでいます。

そのほか、直流の電車線路設備で生じた地絡故障を変電所において早期に検出する手法、配電設備などに用いられる避雷器の絶縁不良を早期に検出する手法、設備の絶縁不良や腐食の要

因となる海塩の付着量を気象データなどから推定する手法に関する研究を本号で紹介します。

おわりに

鉄道の電力設備は長大なインフラであり、その維持管理には多くの要員を確保する必要がありますが、我が国では少子高齢化の進行にともない要員の確保が年々難しくなっています。このため、設備の長寿命化やメンテナンスの省力化に関する取り組みが求められていますが、それらを実現するうえで設備の信頼性を損なわないことが前提となります。鉄道総研では、デジタル技術などを活用した新たな省力化技術の開発に取り組むとともに、障害の発生メカニズム解明などの基礎研究にも注力し、設備の信頼性向上に資する研究開発を推進していきます。

RRR

文献

- 1) 網干光雄：鉄道電力設備のメンテナンスと劣化予測，第29回鉄道総研講演会要旨集，pp.28-33，2016
- 2) 山下主税：架線・パンタグラフの摩耗メカニズムを解明する，RRR，vol.74，No.5，pp.24-27，2017
- 3) 山下主税，根本公紀：摩擦熱に起因するトロリー線とすり板の機械的摩耗形態の分類，鉄道総研報告，Vol.35，No.12，pp.11-16，2021
- 4) 松村周，根津一嘉：レーザーセンサーと画像解析技術で架線の検査を省力化する，RRR，vol.78，No.8，pp.4-7，2021