

パンタグラフの長寿命化開発



木村 昌敏*

在来線電車のパンタグラフ解体検修は、60万kmを超えない期間ごとに指定保全で行っているが、120万kmを超えない期間ごとの装置保全まで検査周期を延伸させることをめざして部品の長寿命化開発を行った。

具体的には、60万km走行程度のパンタグラフ部品の摩耗調査やグリス劣化分析を行い、その分析結果をもとに長寿命化を見込める部品の選定及び開発を行い、さらにパンタグラフ耐久試験装置を用いて、現状のパンタグラフと長寿命化のための開発部品を組み込んだパンタグラフとの比較耐久試験を行った。その結果、現行のパンタグラフ部品より、長寿命化を見込める結果が得られたため、次期PS37パンタグラフに開発部品を採用した。

●キーワード：パンタグラフ、長寿命化、ベアリング、表面処理、耐久試験

1 はじめに

2002年3月に施行された「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」により、鉄道車両の検査周期の事業者による設定が可能となった。それに伴い、JR東日本においては、2002年4月1日から新しい車両保全体系である「新保全体系」を実施している。この「新保全体系」への移行により、車両の安全を確保できれば、部位ごとの検査周期の見直しによる効率化が可能となっている。

現在、パンタグラフの検修は、車両センター、区所において、90日を超えない機能保全(月)と360日を超えない機能保全(年)で在姿での検査が行われている。また、60万kmを超えない期間ごとに指定保全として、総合車両センターで、パンタグラフを車両から取り外し、解体検査を行っている。そこで、本開発は、パンタグラフの解体検査の周期を60万kmを超えない期間ごとに行っている指定保全から、120万kmを超えない期間ごとに行っている装置保全まで、延伸させることを目的として取り組んだ。

具体的には、パンタグラフを車両から取り外さないと検修できない部品をターゲットとして長寿命化の取り組みを行った。対象パンタグラフは、E231系車両(山手線、中央・総武線、宇都宮線等を走行)に搭載されているシングルアームPS33Bパンタグラフとした。

2 現状分析

2.1 PS33Bパンタグラフの概要

対象となるPS33Bパンタグラフは、従来からの菱形のPS28パンタグラフと特急車で使用しているシングルアーム型PS32パンタグラフをベースに構成部品数の削減や汎用部品の使用等でコスト低減を図って、E231系用として製作されたパンタグラフである。図1にPS33Bのパンタグラフ構成図を示す。

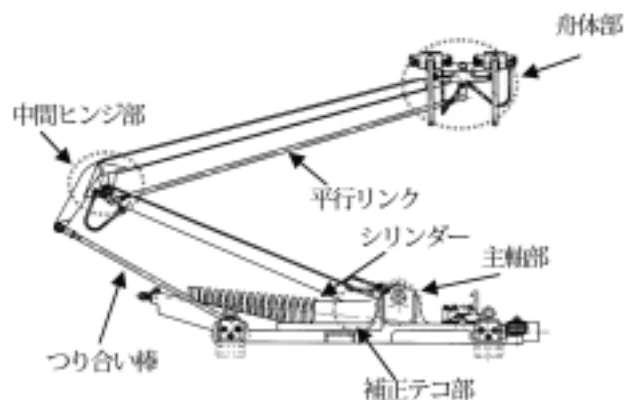


図1：PS33Bパンタグラフ構成

2.2 約60万キロ走行パンタグラフの分析

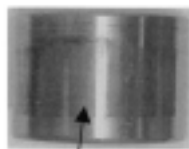
開発を進めるにあたり、現行のパンタグラフの部品の摩耗や劣化程度を確認するために、約60万km走行後のPS33Bパンタグラフの解体調査及び劣化傾向分析を行った。主な交換部品について分析結果を表1に示す。

表1：分析結果

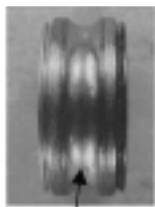
部位	分析結果
舟体部 つなぎ棒ピン	直径9.93mm 偏摩耗傾向(図2)
中間ヒンジ部 ベアリング	隙間0.015~0.018mm 水分の浸入によるグリス劣化と錆の発生(図3)
主軸部 ベアリング	隙間0.015~0.017mm 水分の浸入による錆の発生
補正テコ部 ベアリング	隙間0.027mm 水分の浸入によるグリス劣化と錆の発生(図4)
つり合い棒部 リンクボール	隙間0.11~0.24mm 水分の浸入による錆の発生(図5)
平行リンク部 リンクボール	隙間ラジアル0.050~0.055mm 隙間アキシアル0.25~0.26mm
シリンダー パッキン	寸法5.64~5.67mm 硬さ76~78



偏摩耗(段摩耗)傾向
図2：つなぎ棒ピン



錆の発生
図4：補正テコ部ベアリング



錆の発生



内部摩耗と錆の発生

図3：中間ヒンジ部ベアリング 図5：つり合い棒部リンクボール

2.3 分析結果のまとめ

ピン・カラーについては、管理値内でほとんど摩耗は確認されていない。しかし、つなぎ棒ピンについては、偏摩耗傾向が確認された。中間ヒンジベアリング、主軸部ベアリング、補正テコ部ベアリングについては、水分の浸入による錆の発生とグリス劣化による機能低下を確認した。つり合い棒部リンクボールについては、内部の摩耗と水分浸入による錆の発生による機能低下を確認した。

3 長寿命化部品検討及び対策

つなぎ棒ピンについては耐摩耗性に優れ偏摩耗しない対策、中間ヒンジ部ベアリング・主軸部ベアリング・補正テコ部ベアリングについては水分浸入対策、つり合い棒部リンクボールに

については耐摩耗性向上と水分浸入対策を行う必要がある。

3.1 つなぎ棒ピンの表面処理

つなぎ棒ピンの摩耗は、振動と繰返し応力による局所的な摩耗(フレッチング摩耗)が生じている。ピンの表面硬度の強化と摩擦軽減が対策として有効であるため、表面処理について検討を行った。ピンとブッシュの組み合わせを良くするため、ドライフィルム表面処理をピンに施して検証を行った。

3.2 ベアリング部の水分侵入対策

中間ヒンジ部ベアリング、主軸部ベアリング、補正テコ部ベアリングについては、ベアリング内部に水分侵入による錆の発生による機能低下が確認されているので、シールとOリングによる水分浸入対策を実施した(図6)。

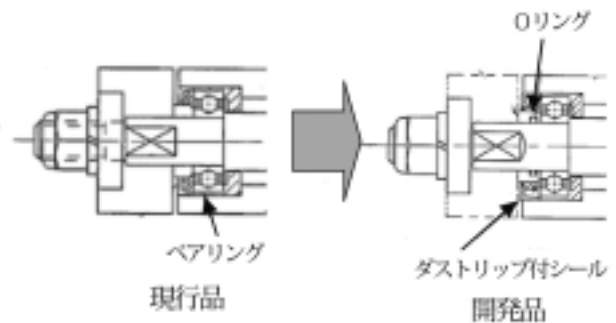


図6：中間ヒンジ部の現行品と開発品

3.3 つり合い棒リンクボールの強化

現行のつり合い棒リンクボールでは、パンタグラフの機構動作に適応していない問題点もあり、水分浸入による錆の発生他に軸接点部に摩耗が発生している。

つり合い棒が必要としている機構動作に適応していて、負荷に強く防水加工が施されている球面軸受を選定し、摩耗対策としてカラーを取り付けることとした。カラーをつり合い棒に取り付け可能とするため、ハウジングの製作を行った(図7)。

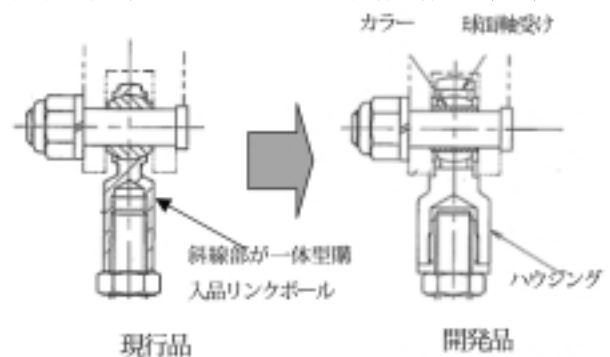


図7：つり合い棒部リンクボールの現行品と開発品

4 パンタグラフ耐久試験装置の製作

パンタグラフを組み立てた状態で、部品の摩耗を加速する試験装置がないことから、現行走行以上の振動・振幅を発生させることができるパンタグラフ加速耐久試験装置を製作することとした。

4.1 パンタグラフの振動・振幅

パンタグラフ耐久試験装置の仕様を決めるためにパンタグラフが受けている振動・振幅について分析を行った。在来線電車が最高速度120km/h(33.3m/s)で走行していると仮定すると、パンタグラフが受けている振動・振幅の値は、計算から以下の様になる。

・電柱間隔(50m)の振動

$$33.3\text{m/s} \div 50\text{m} \div 0.67\text{Hz}$$

・電柱間隔の最高振幅(トロリ線の勾配3/1000と規定されているため)

$$5000\text{mm} \times 3/1000 = 150\text{mm}$$

・ハンガー間隔(5m)の微振動

$$33.3\text{m/s} \div 5\text{m} \div 6.7\text{Hz}$$

4.2 耐久試験装置の仕様

パンタグラフを組み立てた状態で、短い時間で部品摩耗等を再現させる必要から、現車走行以上の振動・振幅を再現できる試験装置を製作を行った。基本高さ設定は、400~1630mmまで可能とし、上下方向・前後方向の加振を与えられる試験装置とした(図8)。また、雨水による水分の浸入等を再現する必要があった為、試験装置は屋外仕様とし、研究開発センターの敷地内の屋外に設置した。

(1) 上下方向加振(電柱間隔を想定)

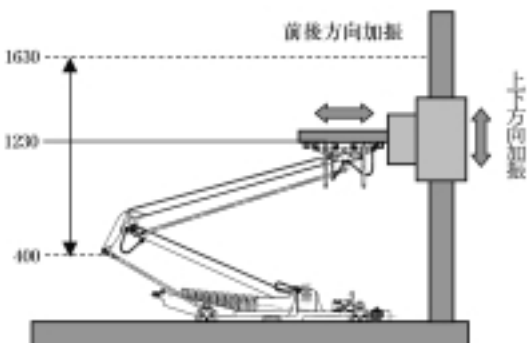


図8：パンタグラフ耐久試験装置概要

・振動数 最高2Hzまで設定可能

・振幅 最高400mmまで設定可能

(2) 前後方向加振(ハンガー間隔の微振動を想定)

・振動数 最高50Hzまで設定可能

・振幅 最高50mmまで設定可能

5 パンタグラフ加速耐久試験

5.1 摩耗確認予備試験

部品の摩耗程度を把握するために各振動条件による摩耗確認予備試験を行った。対象部品は、現車走行で摩耗量が多いつなぎ枠ピンについて行い、表2に示す条件での試験を各50時間実施した。

表2：摩耗確認予備結果

No.	振動条件	磨耗量	記事
1	上下 1Hz	0.00	摩耗なし
2	上下 1.5Hz	0.00	摩耗なし
3	前後 10Hz	0.005	若干摩耗
4	前後 15Hz	0.01	若干摩耗
5	前後 20Hz		共振発生
6	上下 1Hz、前後 10Hz	0.005	若干摩耗
7	上下 1Hz、前後 15Hz	0.01	若干摩耗
8	上下 1.5Hz、前後 10Hz		追従不良

以上の結果より、パンタグラフは、上下方向には動く機構があるため上下方向の加振に追従対応し、上下方向のみの加振では、摩耗は発生していない。パンタグラフは走行中に受ける前(後)向きに押される力により、部品摩耗が発生すると推測される。今回の基礎試験では、前後のみの加振により摩耗する結果となったが、パンタグラフは通常架線高さに合わせて追従し、上下変位するので、パンタグラフの各部位の動作を現車走行に極力近づけるために、上下・前後加振させることとした。また、部品摩耗を短期間で発生させるために、パンタグラフが耐える範囲の過酷な条件で試験を行うこととした。

5.2 試験概要

製作したパンタグラフ耐久試験装置(図9)を使用して、現行パンタグラフと試作パンタグラフに同等の負荷を与え、比較耐久試験を実施した。試験条件は、5.1摩耗確認予備試験の結果を基に試験条件を選定した。



試験設定条件	
基準高さ	1230mm
前後方向 振動	15Hz
振幅	4mm
上下方向 振動	1Hz
振幅	150mm

図9：パンタグラフ耐久試験装置

5.3 摩耗進捗結果

つなぎ棒ピンについては、取り外し検査が可能のため、時間による摩耗経過の確認を行った。供試パンタグラフとして、現行品は新品のPS33Bパンタグラフで行い、試作品はPS33Bパンタグラフに長寿命化見込み部品を組み込んで試験を行った。

現行のパンタグラフつなぎ棒ピンにおいて、300時間で現車走行60万kmの摩耗を再現することができた。120万km走行における部品寿命の評価を行うため、余裕を持って試験装置を700時間(3ヶ月間)稼働させて試験を行った(表3)。

表3：つなぎ棒ピンの摩耗状況(単位：mm)

経過時間(時間)	現行パンタグラフ	試作パンタグラフ	記事
0	9.98	10.00	
100	9.96	9.99	
200	9.94	9.98	
300	9.93	9.97	現行パンタグラフ摩耗量が60万km走行並
400	9.93	9.96	
500	9.93	9.96	
600	9.92	9.95	
700H	9.91	9.95	

5.4 試験結果

パンタグラフ耐久試験装置を使用し、現行パンタグラフと試作パンタグラフの耐久試験を行った。試験結果を表4に示す。

表4：700時間後の試験結果

対象部品	現行パンタグラフ	試作パンタグラフ
つなぎ棒ピン	摩耗量 0.07mm 偏摩耗傾向	摩耗量 0.05mm 偏摩耗なし
中間ヒンジベアリング	少量の水分の浸入 錆発生、グリス変色	水分の浸入なし
主軸部ベアリング	少量の水分の浸入 錆発生	水分の浸入なし
補正テコベアリング	少量の水分の浸入 錆発生、グリス変色	水分の浸入なし
つり合い棒リンクボール	摩耗量 0.11mm 少量の水分の浸入	摩耗量 0.01mm 水分の浸入なし

その結果、現行のパンタグラフでは、60万Km走行以上の部品摩耗の再現と少量であるが水分の浸入による錆が確認された。また、長寿命化見込み部品を組み込んだ試作パンタグラフでは、摩耗量の軽減と水分浸入防止効果を確認することができた。

6 おわりに

パンタグラフ部品の長寿命化をめざして、現状分析を行い、その弱点の強化への取組みを行った。

その結果、今回、製作したパンタグラフ耐久試験装置を使用した現行品の再現試験では、摩耗については、再現が可能であったが、錆等の経年劣化については、水分浸入による錆発生という傾向を確認するに留まった。

開発部品の劣化加速試験では、水分の浸入防止や摩耗の軽減が確認でき、現行部品より開発部品の方が長寿命化が見込める結果となった。

今回開発した中間ヒンジ部ベアリング・主軸受け部ベアリング・補正テコ部ベアリング・つり合い棒部リンクボールを、次期PS37パンタグラフに採用しており、今後、錆発生による機能低下については、現車走行での経過を確認していく。