

## 貨車平軸受用接地装置の開発

柿嶋 秀史\* 松井 元英\* 細谷 哲也\*\*  
池田 博志\*\* 岡村 吉晃\*\* 佐藤 康夫\*\*\*  
寺田 泰也† 長谷 伸一††

### Development of Earth Device for Freight Car's Plain Bearing

Hideshi KAKISHIMA Motohide MATSUI Tetsuya HOSOYA  
Hiroshi IKEDA Yoshiaki OKAMURA Yasuo SATO  
Yasunari TERADA Shinichi HASE

Plain bearings equipped with railway freight cars frequently suffered from surface damage caused by electrical current. This paper describes a newly developed earth device as designed to prevent electrical conduction into freight-car plain bearings. The developed earth device is installable into existing axle box of freight cars, and readily assembled and removed from upon regular inspections. In a durability test for electrical conduction until 21,600km equivalent journey distance, electrical resistance of the earth device was 100 through 300mΩ. The earth device also satisfied the requirements under a durability test for mechanical vibration in accordance with JIS E 4031.

キーワード：貨車，平軸受，接地装置，軸受の電食，軸受保護

### 1. はじめに

軸受は軸を支持し、軸の回転を保持する機械要素であり、転がり軸受とすべり軸受に大別できる。鉄道車両では、転がり軸受は主電動機軸受や車軸軸受などに、すべり軸受はその一種である平軸受が一部の貨車の車軸軸受などに使用されている。これら軸受の表面損傷の1つに軸受の電食<sup>1)~3)</sup>がある。軸受の電食(以下、電食)は転がり軸受では転がり接触部の、平軸受ではしゅう動面の通電によって引き起こされる。電気機器を持たない貨車の車軸軸受に流れる電流としては、電気機関車からの漏れ電流やレールからの吸い上げ電流などがある。損傷の形態はピット(凹み)や面荒れの様相を呈する。転がり接触面やしゅう動面の電食は、ピットの発生による表面形状不整や摩耗の促進、摩耗粉の混入による潤滑剤の劣化などを導くため、軸受の電食は軸受使用上好ましい現象ではなく、電食の防止<sup>4)</sup>は鉄道車両にとって極めて重要である。

軸受の電食防止として、転がり軸受の車軸軸受では、軸受を電氣的に保護するための接地装置が使用されてい

る。一方、平軸受はその構造が転がり軸受と異なるため、転がり軸受用の接地装置をそのまま使用することはできない。そこで、本研究では、新たに現行の貨車平軸箱内に装着可能な平軸受用の接地装置の開発を行った。

### 2. 接地装置の概要と開発手順

転がり軸受用の接地装置<sup>5)</sup>は、車軸軸周取り付け(軸周接地)タイプと車軸端取り付け(軸端接地)タイプがある。現在では、軸端接地が多く使用されている。いずれのタイプも車軸軸受に流れ込む電流<sup>6)</sup>を接地装置へ流すことで電食を防止している。車軸用転がり軸受は、軸受外輪が軸箱に保持され、内輪は車軸ジャーナル部に圧入され、車軸と一体となっている。軸受外輪の車軸(軸受内輪)に対する軸方向の最大変位は軸受の軸方向すき間(アキシアルすき間)と等しい。貨車の車軸転がり軸受である円すいころ軸受JT11Bの軸方向すき間は0.5~0.7mm程度である。一方、平軸受は車軸と平軸受が最大変位10mm程度の軸方向の相対運動を行う構造で、転がり軸受よりも大きな軸方向の変位量を持つため、現行の転がり軸受用の軸端取り付けタイプの接地装置をそのまま平軸受に適用することは困難である。また、車軸軸周タイプの適用を考えた場合、平軸受の台車は3ピース台車や2軸貨車などで台車および車軸に大幅な改良が必要となるため、現行の平軸受の台車には適さない。そこで、

\* 材料技術研究部(摩擦材料)

\*\* 材料技術研究部(潤滑材料)

\*\*\* 車両構造技術研究部(車両強度)

† 研究開発推進室(設計・試作)

†† 電力技術研究部

特集：材料技術

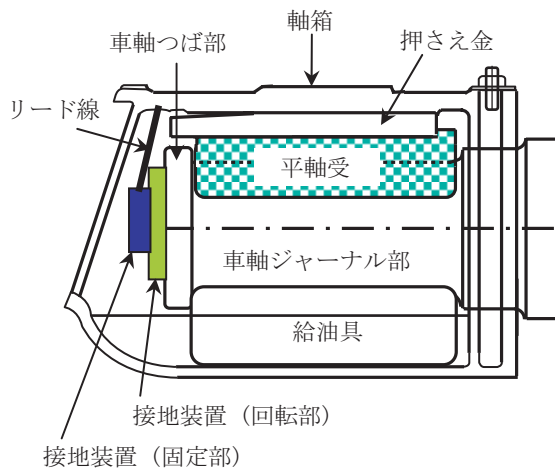


図1 接地装置の取り付け位置

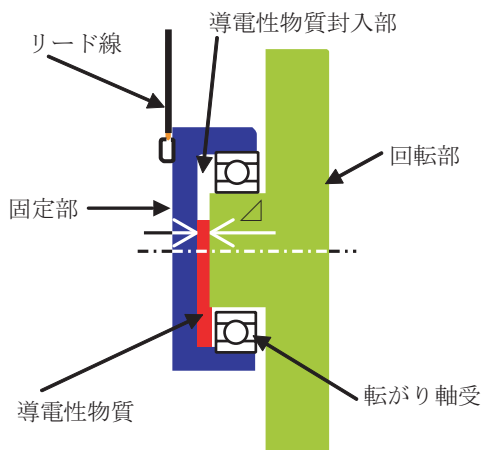


図2 接地装置の基本構造

本研究では軸端取り付けタイプの平軸受用接地装置の開発を行った。

開発にあたっては、現行の軸箱および車軸に大幅な改良を必要としないこと、貨車平軸受の検査周期である交番検査で接地装置の着脱が容易にできること、接地装置に不具合が発生した時に車両走行に影響を与えないこと、の三点を考慮した。図1に接地装置の取り付け位置を、図2に基本構造を示す。接地装置は車軸のつば端面に取り付けることにより、現行の軸箱内へ収める。接地装置は回転部、固定部およびリード線から成る。回転部は車軸の回転と共に回転し、固定部は転がり軸受を介して回転部と一体化される。回転部と固定部の通電は導電性物質（カーボン粉体と導電性グリースを検討）により行なう。なお、導電性グリースはカーボン粉体をグリースに混ぜた導電性のあるグリースである。固定部と軸箱内面をリード線で接続し、軸箱、リード線、固定部、回転部（車軸）を電氣的に接続することによって、平軸受に流れる電流をバイパスさせることができる。

平軸受-ジャーナル間の電気抵抗は、車軸停止中は二

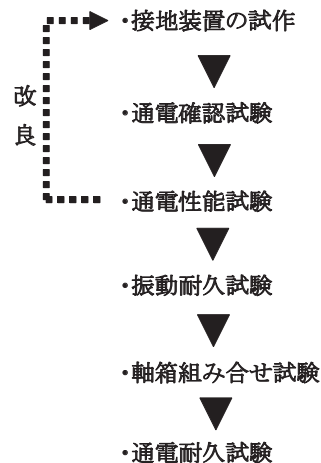


図3 開発手順

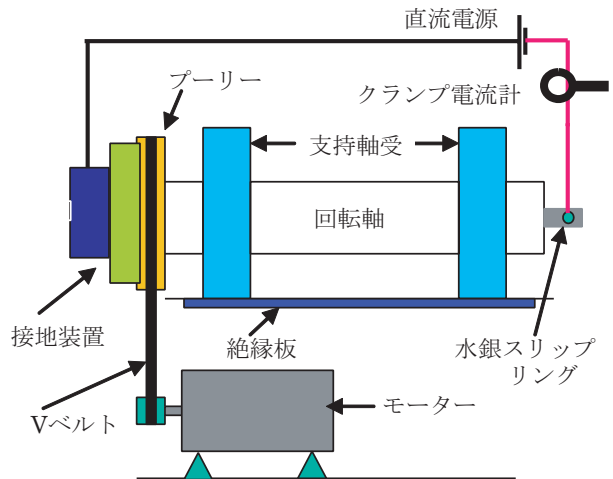


図4 通電性能試験の機器構成

面が金属接触するためゼロに近く、車軸回転時は潤滑油膜の形成によって絶縁に近い状態となることが考えられ、極めて幅の広い範囲で変化する。本開発では、接地装置の電気抵抗（回転部と固定部間の電気抵抗）を平軸受装着貨車最高速度走行時に  $500\text{m}\Omega$  以下とすることを目標とした。

図3に開発の手順を示す。基本構造を基に、導電性物質の種類、封入量および封入部の大きさ（回転部と固定部のすき間：図2の△）、転がり軸受の種類および潤滑剤を変えた接地装置を試作し、接地装置の回転部と固定部の通電の有無を確認する通電確認試験、続いて回転部回転時の抵抗変化を確認する通電性能試験を行ない、試作した接地装置の性能を評価し、性能向上のための改良を施す。この行程を幾度か繰り返す、接地装置の性能の向上を図った。通電性能試験の概略を図4に示す。回転軸端に接地装置を、反対側の軸端に水銀スリップリングを取り付ける。接地装置固定部および水銀スリップリングと直流電源をリード線で接続して電気回路を構成し、接地装置の回転部と固定部に通電を行う。クランプ電流計

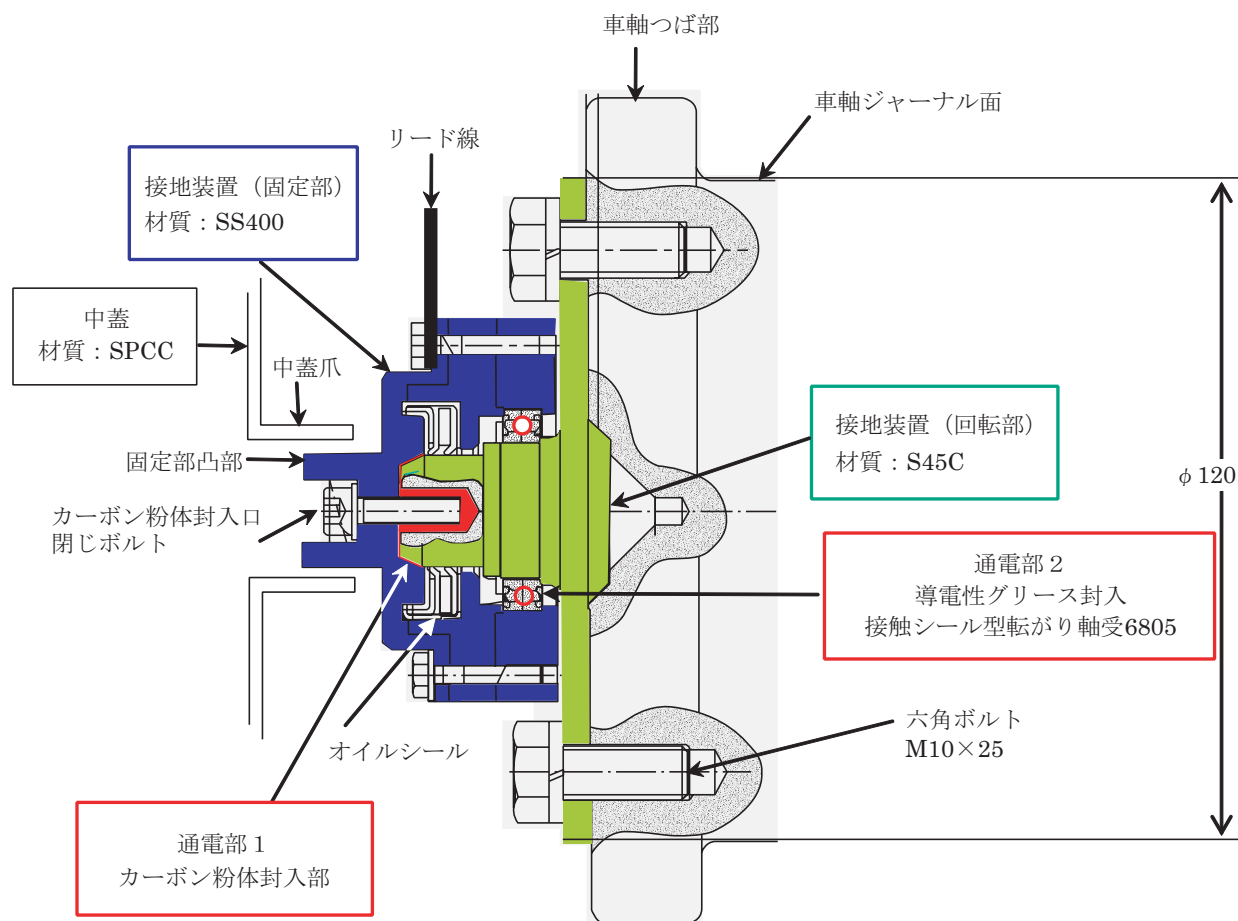


図5 開発品の構造

にて回路に流れる電流を測定し、電気抵抗を算出して試作品や改良品の通電性能を調べた。なお、回転時の固定部の固定はリード線の張力のみで行った。

通電性能試験から接地装置の性能向上に関して以下の知見を得た。

- (1) 導電性物質としては導電性グリースよりもカーボン粉体の方が通電性能がよい。
- (2) 封入部のすき間(図2のΔ)は小さい方がよい。
- (3) カーボン粉体を封入部へ満充填した場合、通電性能は高まるが、温度上昇は著しくなる。
- (4) 転がり軸受はカーボン粉体が軸受内部に侵入しないように接触シール型を使用する必要がある。
- (5) 転がり軸受の潤滑を通常のグリースで行うと、転がり軸受に電食が発生するため、転がり軸受の電食防止として導電性グリースで潤滑を行い、カーボン粉体封入部とともに転がり軸受も通電経路とする。

以上の知見を反映させて、最終的な接地装置を開発した。開発品に対しては、JIS E 4031(鉄道車両部品振動試験法)に準拠した振動耐久試験、実軸箱に実際に組み取り付け状態を確認する軸箱組み合わせ試験、および20,000km 走行相当の通電耐久試験を実施した。

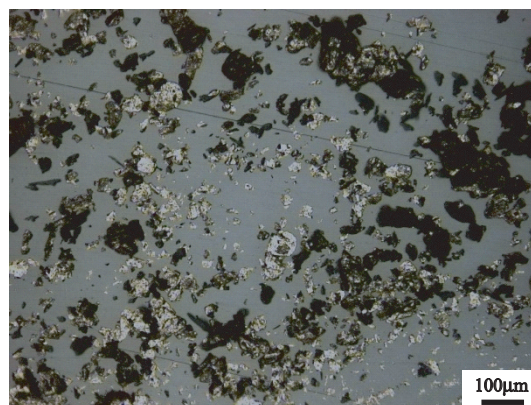
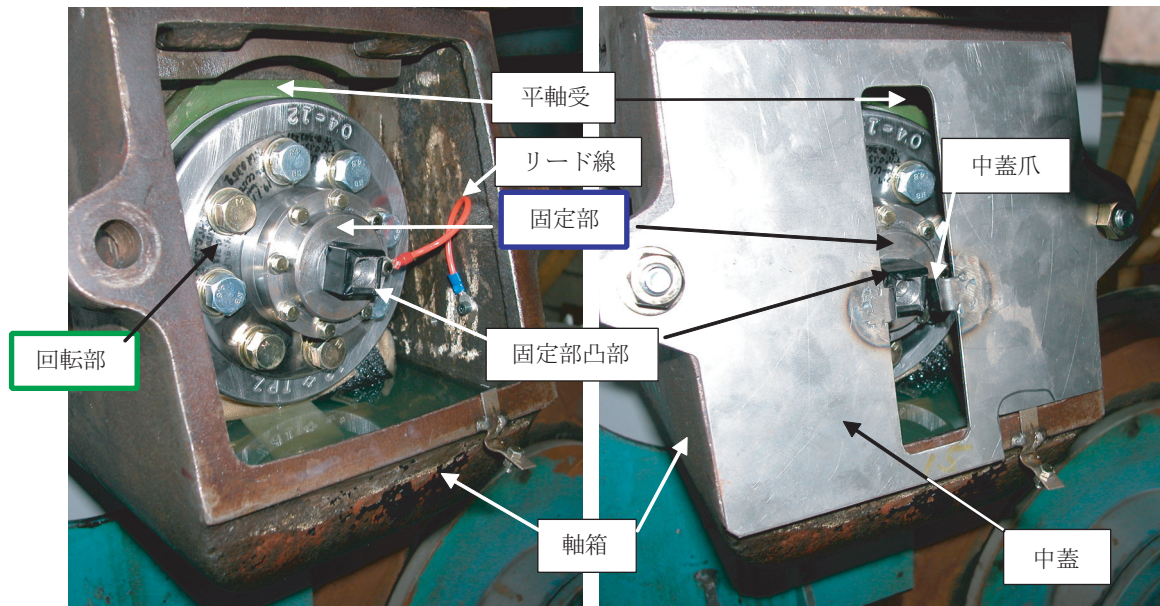


図6 使用したカーボン粉体

### 3. 接地装置の構造

開発品の構造を図5に、導電性物質として使用した鱗片状のカーボン粉体を図6に示す。回転部(材質:S45C)はボルト穴加工を施した車軸つば端面に六角ボルト(M10×25)8本で固定する。固定部(材質:SS400)は転がり軸受(接触シール型深溝玉軸受6805)とオイルシールを介して回転部と接続している。固定部と回転部間の通電は、導電性グリースを封入した転がり軸受と、



(1) 前蓋と中蓋を外した状態

(2) 中蓋を取り付けた状態

図7 軸箱への取り付け状態

固定部と回転部のテーパ状の間隔 500 $\mu$ m のすき間にカーボン粉体を封入して行う。また、長時間の通電により、カーボン粉体封入部の回転部と固定部の表面が酸化し、電気抵抗が高くなることが予想されたため、回転部および固定部のテーパ形状表面に、膜厚 1～2 $\mu$ m のカーボンの皮膜を施した<sup>7)</sup>。なお、表面処理に使用したカーボン粉体はカーボン粉体封入部に使用したのと同じである。さらに、カーボン粉体の封入口を設け、封入口はボルトで閉じる構造とし、回転部にこのボルトが挿入可能な凹みを設けて、ボルト表面と凹み部内でもカーボン粉体の介在により通電が可能な構造とした。カーボン粉体はテーパ形状部および凹み部へ合わせて 0.35g を封入した。

車軸回転時の回転部と固定部との供回りを防止するため、固定部の先端に立方体状の凸部を設けた。この凸部は、軸箱内への接地装置取付時に、既存の前蓋の後ろに新たに取り付ける中蓋(材質:SPCC)により保持される。中蓋には2個所の爪を設けて、これらの爪が固定部凸部を保持することによって固定部と回転部の供回りを防止する(固定部を固定する)構造とした。また、転がり軸受の不具合により回転部と固定部の回転抵抗が大きくなると爪は凸部を保持できなくなり、爪は曲がり、回転部と固定部は供回りが可能となるようにした。そして、軸受検査等で軸箱前蓋を外した時に、爪の状態(曲がりや凸部との接触面の傷等)から、接地装置の回転不良や軸受固着を知ることができるようにした。

表1 振動耐久試験条件

振動数	50Hz	
複振幅	3.5mm	
加速度振幅	340m/s <sup>2</sup>	
試験時間	前後振動	2時間
	左右振動	2時間
	上下振動	4時間

#### 4. 軸箱組み合わせ試験

貨車平軸箱内では曲線通過時などに軸箱とジャーナルに最大 10mm 程度の軸方向の変位(アキシアル変位)が発生する。そのため、開発品装着時に軸箱前蓋と固定部凸部が干渉してはならない。そこで、実輪軸と軸箱に開発品を取り付けて、車軸軸受検査装置で軸箱とジャーナルに想定される最大アキシアル変位を与え、前蓋と凸部の干渉の有無を調べる軸箱組み合わせ試験を実施した。実輪軸と軸箱への開発品の取り付け状態を図7に示す。なお、車軸軸受検査装置とは実輪軸に装着された軸受を検査する装置であり、車軸が回転し、ラジアル荷重およびアキシアル荷重(今回の試験ではアキシアル変位)を軸箱とジャーナルに与えることができる装置である。

試験の結果、想定される最大アキシアル変位に対して、前蓋と凸部は干渉しないことを確認した。

#### 5. 振動耐久試験

開発品の振動に対する耐久性を調べるため振動耐久試験を実施した。鉄道車両の車体や台車などに取り付ける

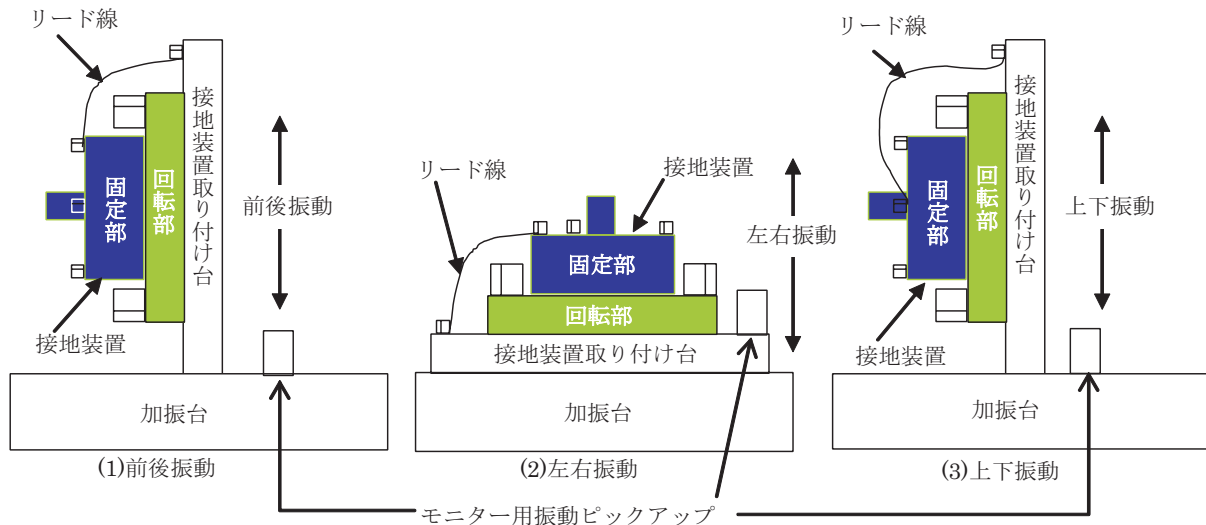


図8 振動耐久試験の概略

機器および部品に対する振動試験法について規程している JIS E 4031<sup>8)</sup>に基づき、試験条件を表1のようにした。接地装置は車軸端面に取り付ける構造なので、ばね下部分に取り付ける部品に対する振動試験法（6種）に準拠し試験を実施した。試験の概略を図8に示す。なお、各試験中は加振台にモニター用の振動ピックアップを取り付けて振動数と加速度を確認した。

各試験中にリード線の断線、ボルトの脱落はなく、試験終了後、開発品の状態を確認したところ、カーボン粉体の漏れ、ボルトの緩み、転がり軸受の破損や破壊などの異常はみられなかった。

## 6. 通電耐久試験

### 6.1 試験条件および試験装置

通電耐久試験は平軸受の検査周期の期間で接地装置の電気抵抗が目標とした 500mΩ 以下に維持されることを確認するための試験である。試験は図4に示した通電性能試験機および測定機器を用いて行った。

試験を実施するにあたり、試験時間や通電方法などの試験条件の検討を行った。

平軸箱は交番検査周期(90日周期)で検査される。よって少なくとも接地装置は最低で90日以上、目標とした電気抵抗値を維持する必要がある。現在、平軸受を装着している貨車の最長走行距離は1日あたり200km程度である。すなわち、18,000km以上(200km/日×90日=18,000km)の走行に相当する試験を実施する必要がある。そこで本試験では総相当走行距離を、18,000kmの20%増しの21,600kmとした。接地装置回転部の回転数は平軸受装着貨車の最高速度である時速75km/hに相当する回転数とした。よって総試験時間は288時間となる。

通電条件については、実際に平軸箱に流れる電流につ

表2 通電耐久試験条件

回転数	500rpm (時速 75km 相当)
相当走行距離	21,600km
総試験時間	288 時間
総通電時間	72 時間：総運転時間の 1/4
印加電圧	2V (定電圧制御)
極性	固定部：陽極，回転部：陰極

いての知見がないため、転がり軸受の軸箱に流れる電流についての知見を拠り所に決めた。昭和56年度に当時の鉄道技術研究所が貨車用密封ころ軸受の電食に関して、実車での走行試験を行い、ころ軸箱に流れる電流について以下に示す知見を得た。

- ・電流は変動が激しく瞬間的に10Aを超えることがある
  - ・電流は突然流れ始め、数秒から数十秒間流れる
  - ・電流の流れる時期は機関車の力行時に多い
  - ・電流の流れる方向は主として車体からレールである
- また、1975年に当時のソビエト連邦で行われた、車両用ころ軸受の電食防止の研究の報告<sup>9)</sup>があり、それによると、
- ・電流の流れる時間は貨物列車で運転時分の25%、旅客列車で10%までとなるとの報告がある。

以上のことから、試験中は常時通電とせず、総試験時間の1/4の72時間を総通電時間とし、3時間単位で24回の通電を実施した。接地装置へは定電圧制御で2Vを印加した。この電圧は試験開始前(回転部停止時)に接地装置に20Aを供給する。各通電時に電流値と電圧から電気抵抗を算出した。通電の方向は、車体からレールに流れる電流を想定し、固定部を陽極、回転部を陰極とした。

以上の試験条件をまとめて表2に示す。

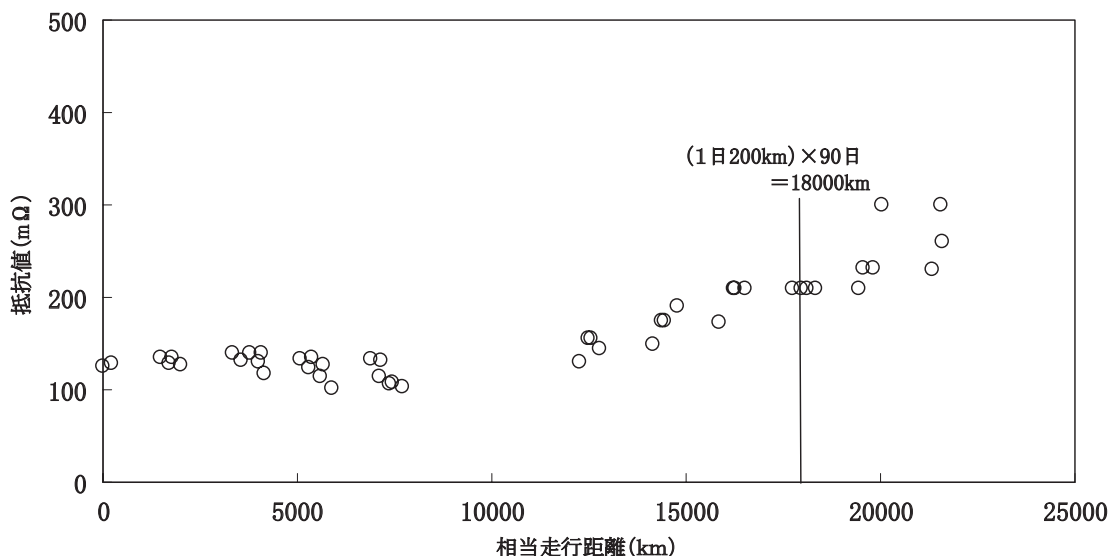


図9 開発品の電気抵抗変化

## 6.2 試験結果

図9に開発品の回転部500rpm回転時の電気抵抗変化を示す。図中の各○は各通電時に算出した抵抗値である。試験開始から相当走行距離12,500kmまでは、抵抗値の増加はみられず、ばらつきはあるものの、100mΩ～150mΩの間を推移しており、絶縁状態となった測定値はみられなかった。その後、相当走行距離の増加に伴って徐々にではあるが抵抗値が増加する傾向がみられるが、著しい抵抗の増加および絶縁状態はなく、抵抗値の最大値は300mΩであった。また、試験終了後の接地装置にはカーボン粉体の漏れ、転がり軸受の異常やリード線の断線等の異常はみられなかった。

通電耐久試験終了後、通電方向を固定部陰極、回転部陽極（レールから車体へ流れる電流を模擬）として通電耐久試験と同様の回転数と印加電圧で5分間の通電試験を行った。その結果、抵抗値は346mΩであり、通電耐久試験の終了時と同レベルの抵抗値であった。

以上の結果から、開発品の電気抵抗は21,600km走行相当まで100mΩ～300mΩの範囲であった。

## 7. まとめ

貨車平軸受の電食防止対策として新たに軸受保護用の軸端接地タイプの接地装置を開発した。開発した接地装置の特徴は以下の通りである。

- (1) 現行の平軸箱および輪軸に大幅な改良を必要とせず、軸箱内に装着できる。
- (2) 交番検査等で容易に着脱ができる。
- (3) JIS E 4031に準拠した振動耐久試験を満足した。
- (4) 21,600km相当走行距離まで、100mΩ～300mΩの抵抗値を維持する。

## 謝辞

本開発の遂行に当たり、日本貨物鉄道株式会社の協力を得た。感謝を申し上げる。

## 文献

- 1) 渡邊朝紀：鉄道車両の軸受と電食，鉄道車両と技術，No.12，pp.3-10，1995
- 2) Boyd, J and Kaufman, H.N “The Causes and the Control of Electrical Currents in Bearings, Lubrication Engineering, January”, pp.28-35, 1959.
- 3) 柿嶋秀史 他：平軸受の電食再現試験，鉄道総研報告，Vol.18, No.10, pp.15-20, 2004
- 4) 渡邊朝紀：鉄道車両における軸受の電食防止，JREA, Vol.37, No.8, pp.28-33, 1994
- 5) Mulertt.C, Mestay.P, 訳 北中：鉄道台車軸受の電食保護と接地装置の技術，電気車の科学，Vol.45, No.8, pp.45-48, 1992
- 6) 日本フェラーズ(株)：車両における接地電流，電気車の科学，Vol.47, No.5, pp.42-48, 1994
- 7) 松井元英 他：複合表面改質法による車輪鋼の摩擦低減効果，鉄道総研報告，Vol.21, No.2, pp.39-44, 2007
- 8) JIS E 4031:1994：鉄道車両部品－振動試験法，日本規格協会，1994
- 9) Орлов, М.В, " СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЯ ТЯГОВЫМ ТОКОМ БУКСОВЫХ РОЛИКОВЫХ ПО ДШИПНИКОВ ВАГОНОВ, Вестник, Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта, No.6, pp.35-40, 1975.