

鉄道一般
車両
軌道
構造物
防災
電力
信号通信 情報
材料
環境
人間科学
浮上式鉄道

トロリー線の摩耗対策

変電所からの電力を電気に受け渡す接点であるトロリー線とすり板間は、高速で移動しながら数百Aを通電する接点であるという、他にない特徴があります。トロリー線の摩耗を低減するという観点から、両者の材料的な特徴と現在までの摩耗低減対策の概要を説明し、複雑な摩耗進行のメカニズムを探る新たな取り組みについて紹介します。



清水 政利
Masatoshi Shimizu
電力技術研究部
電車線構造研究室
室長
[専門分野] 電車線とパンタグラフの相互作用



山下 主税
Chikara Yamashita
電力技術研究部
集電管理研究室
副主任研究員
[専門分野] 集電系の摩耗現象、疲労現象

トロリー線とパンタグラフすり板

電気車はトロリー線に接触するパンタグラフを介して変電所からの電力を取り入れて走行しています。図1は新幹線用と在来線用のパンタグラフの一例です。舟体上部のトロリー線と接触する部分には、すり板と呼ばれる部材が取り付けられています。トロリー線とすり板は両者間で摩擦を繰り返すため、次第に摩耗します。一般に、摩擦による摩耗の特徴として次のことが言えます。

- ・部材間の接触力が大きいほど進行し易い。
- ・自身の部材が硬いほど進行し難い。
- ・接触面に膜を介在させ、直接接触を妨げる(潤滑する)ことにより、進行し難くできる。

これらの観点から、なるべく両者の取り替え周期を長くするための様々な工夫がなされています。トロリー線には、硬銅トロリー線の他に、導電率をあまり低下させない範囲で硬度を増した、錫やその他の金属を含む銅合金製のトロリー線も使用されています。

すり板の取り替え周期を長くするため、トロリー線は軌道中心から左右方

向にジグザグに張られており(この左右位置を偏位と呼びます)、主すり板の長さはこれに対応して左右270mm程度の長さがあります。それより外側は、アルミ合金製の補助すり板が取り付けられています。

主すり板は、自身の取り替え周期を適切に保ちつつ、トロリー線との接触面に潤滑を与える役目も担っています。新幹線では、高速で長距離を走行するため、比較的摩耗しにくい鉄系焼結合金すり板が使用されています。これは、銅よりも硬く軟化温度も高い鉄を主成分とし、潤滑性や硬度を高めるための成分を含めて焼き固めたものです。在来線では、銅を主成分とする銅系焼結合金すり板が、ワックス系の固形潤滑材などを併用して使用されています。近年は、材料自身に潤滑性があるカーボン系すり板の使用が増加しています。

接触力の変動を減らす

パンタグラフは平均的に数10~100N程度の力でトロリー線と接触しています。この接触力は常に一定であることが理想ですが、現実には電車線とパンタグラフの構造上の特性により

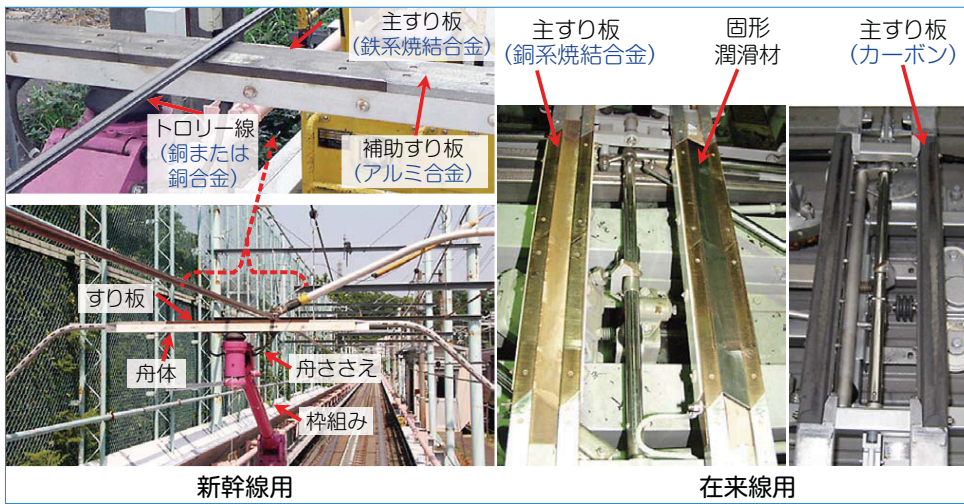


図1 パンタグラフの構造と各種すり板の例

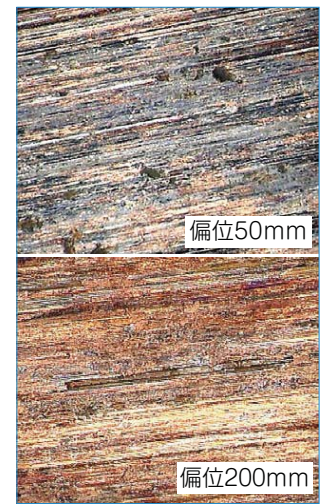


図2 偏位によるしゅう動面の状態差

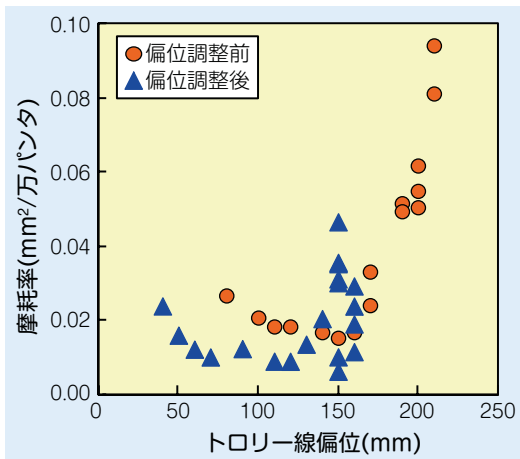


図3 偏位調整による摩耗率低減効果例

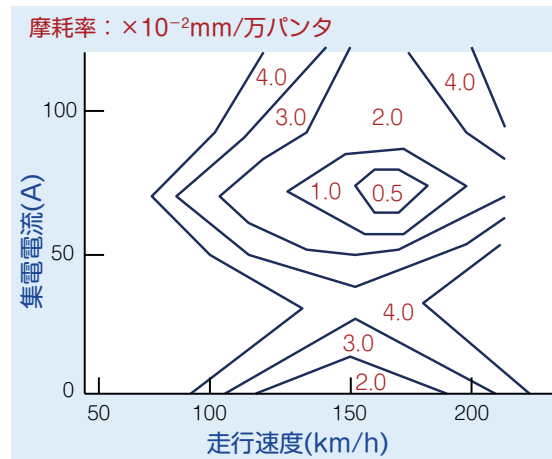


図4 速度・電流と摩耗率の相関

変動してしまいます。新幹線では、一箇所でも局部的な摩耗が進行すると、トロリー線全体を張り替えなければなりません。局部的な摩耗を減らすには、過大な接触力の発生を抑えることが重要です。また、過小となると離線が発生し易くなります。接触力変動を小さくする基本的な対策として、トロリー線の波動伝播速度を高めることやパンタグラフの特性改善など、様々な対策が開発されています¹⁾。

しゅう動面の潤滑性を向上する

潤滑性向上の観点から、すり板の様々な改良が進められています。しか

し、トロリー線の偏位によっては、潤滑性を十分発揮できない場合があります。図2に新幹線における偏位が異なる箇所のトロリー線のしゅう動面を示します。偏位が50mmの箇所のしゅう動面は灰色の付着物が多く見られますが、200mmの箇所では殆ど見られません。この付着物はすり板に含まれる潤滑成分などであり、これが多いほど良好な潤滑状態であると言えます。

この付着量はジグザグ偏位の標準値である150mm以内で多く、150mmを超えると急に減少することが分かっており、トロリー線との接触機会の差によるすり板温度の差などが影響している

と考えられます。図3は、オーバーラップ箇所の過大なトロリー線偏位を150mm以内に調整したことによる改善例で、摩耗率が1/2程度に低減しています。

電流や速度の影響を考察する

以上は一般的な摩耗の特徴から比較的説明し易い対策ですが、トロリー線とすり板間は、高速で移動しながら数百Aを通電する接点であるという、他にない特徴があります。

図4は新幹線におけるトロリー線の約1km単位毎の平均摩耗率を、その区間の走行速度と集電電流に応じて作図したものです。速度が高いほど接触力

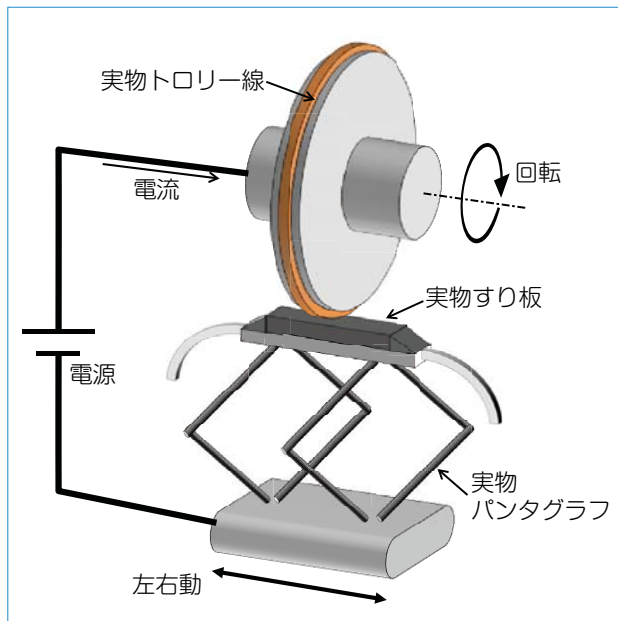


図5 回転型摩耗試験機

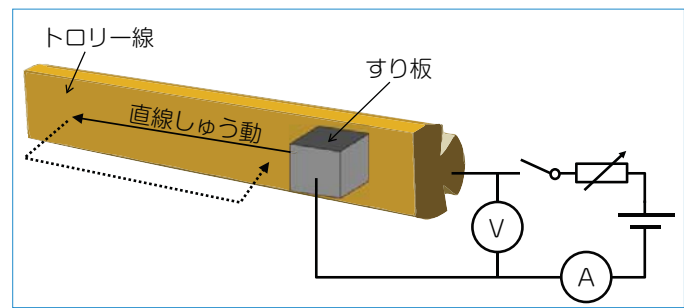


図6 直動型摩耗試験機

表1 直動型摩耗試験機の仕様

荷重 (N)	2 ~ 80
しゅう動速度 (m/s)	0 ~ 3.0
電圧 (V)	DC0 ~ 100
電流 (A)	0 ~ 100
しゅう動距離 (mm)	0 ~ 1,000
しゅう動回数	設定可
しゅう動間隔 (sec)	約 5.0 ~

の平均値や変動幅が大きくなり、また、電流値が大きいほど接点でのジュール熱やアーク量が大きくなると考えられますが、摩耗率に明確な相関は見られません。定性的には接触力、電流値、アークの発生量と摩耗率は相関があると考えられますが、実際の現象はこれらが影響し合い非常に複雑で、明確な説明ができるまでには至っていません。また、潤滑の観点からは、すり板がある程度摩耗する条件が望ましいとも考えられます。

新たな摩耗試験機

これまでのトロリー線摩耗試験機は、「実際の走行時にどれくらい摩耗するのか」を試験するため、実物大の試験片を用いて、実使用条件を模擬することを主旨としてきました。特にしゅう動速度を模擬するため、図5のように回転型の摩耗試験機が使用されてきました。確かに速度や電流による摩耗量の比較はできましたが、摩耗の低減対策を提案するために最も重要な「なぜ摩

耗するのか」という摩耗メカニズムの解明が困難であるという課題がありました。この理由として、トロリー線摩耗の形態は接触部で発生する摩擦熱やジュール熱、アーク熱などの要因によって変化すると考えられています。回転型の摩耗試験機では全ての要因が複雑に発生するため、摩耗形態が混在した結果でしか得られず、摩耗の原因が特定できない点が挙げられます。そこで、トロリー線の摩耗形態を明らかにするため、集電材料であるトロリー線とすり板の基本的摩耗要因となる荷重と電流のみに着目した摩耗試験機を開発しました。摩耗試験機を開発するうえで検討した内容を以下に示します。

- (1) 摩耗に及ぼす摩擦熱の影響を排除するため、低速しゅう動条件とする。
- (2) トロリー線とすり板の接触荷重変動を極力排除し、アークの発生を抑制する。
- (3) トロリー線のしゅう動間隔を約5秒間とすることで、過剰な熱蓄積を抑制する。

(4) トロリー線とすり板の接触状態を調査するため、接触電圧を精緻に測定する。

検討の結果、図6のようにトロリー線を直線的に配置し、すり板をスライダーとして通電しゅう動させる直動型摩耗試験機を開発しました。直動型摩耗試験機の仕様を表1に示します。

新たなトロリー線摩耗形態

一般に電気鉄道で使われている硬銅トロリー線と鉄系焼結合金すり板を試験片とし、直動型の摩耗試験機で電流と荷重を変化させて試験を実施しました。結果を図7に、試験後のトロリー線表面の典型的な電子顕微鏡写真を図8に示します。これらの図から以下のことが分かりました。

(1) 電流が0Aの場合、トロリー線の摩耗率は荷重に比例します。この時、典型的なトロリー線の表面(しゅう動面)は図8(a)のように、しゅう動方向に線条の摩耗痕が確認できます(これを摩耗形態Aと呼びます)。

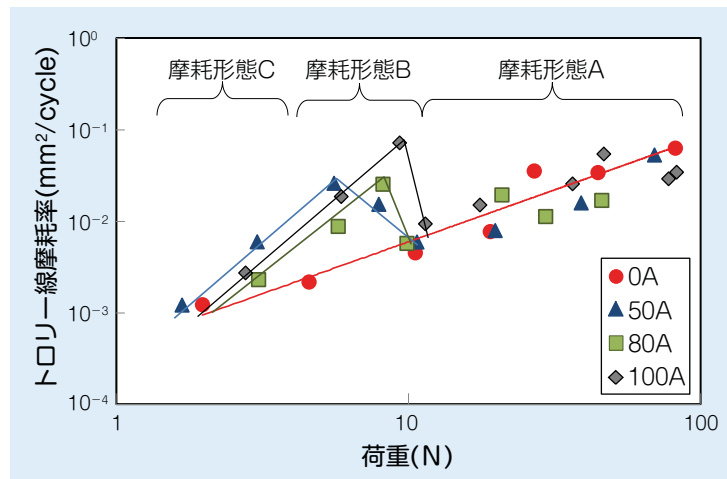


図7 各通電電流における荷重とトロリー線の関係

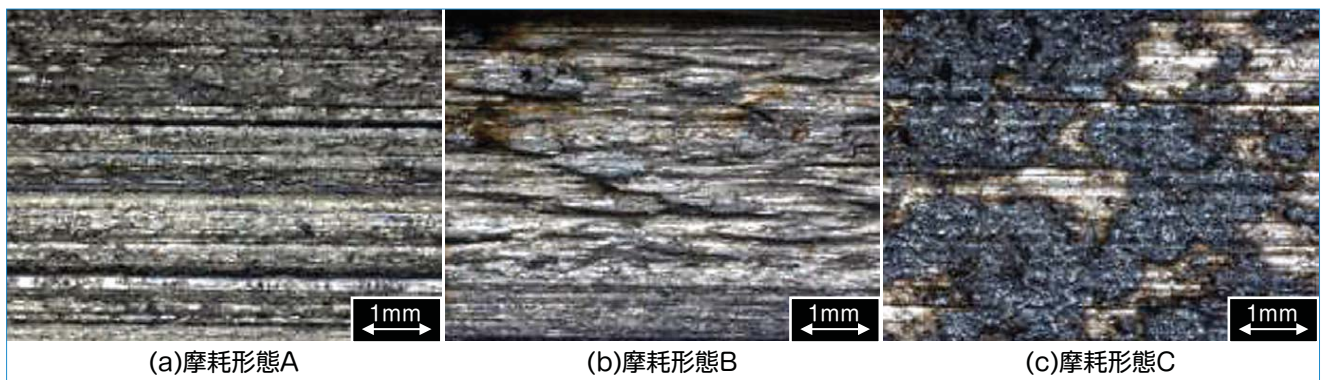


図8 各摩耗形態における典型的なトロリー線表面

- (2) 電流を流した場合でも、荷重が大きい場合には（この試験条件では10N以上）、トロリー線の摩耗率は電流が0Aの場合と同等であり、トロリー線の表面も図8(a)の摩耗形態Aとなりました。このことから、荷重が十分に負荷されていれば、トロリー線の摩耗に対する電流の影響はないといえます。
- (3) 荷重6N～10Nにおいて電流を流した場合、トロリー線の摩耗率は増大し、極大値をとることがわかりました。また、この条件においてトロリー線表面は図8(b)のように変化しました（これを摩耗形態Bと呼びます）。
- (4) 荷重6N未満において電流を流した場合、トロリー線の摩耗率は荷重とともに減少し、荷重2N近

くになると、電流0Aと同等になりました。また、この条件においてトロリー線表面は図8(c)のように変化しました（これを摩耗形態Cと呼びます）。なお、この条件ではアークも多少発生していました。

これまでトロリー線の摩耗は、経験的に摩耗形態AとCが存在し、離線アークが発生する条件、つまり摩耗形態Cで増大すると考えられてきました。しかし、今回の摩耗試験の結果、新たに摩耗形態Bの存在が確認され、摩耗に対する電流の影響が最も現れる形態はCではなく、Bであることがわかりました。このことにより、離線アーク以外にトロリー線摩耗を促進する要因があることが予測されます。

今後、摩耗形態Bの原因を解明することで、電車線とパンタグラフのダイ

ナミクス改善による離線アーク抑制等のほかにも、トロリー線摩耗を低減する対策を提案して行きたいと考えています。RRR

文献

- 1) 赤木、他：高速走行に適応した電力供給技術、RRR, Vol.68, No.3, 2011