

- 鉄道一般
- 車両
- 施設
- 電気
- 運転・輸送
- 防災
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

# 落葉による車輪の空転・滑走メカニズムを解明する

山間線区では、秋に沿線樹木の枯葉が線路の周りに落ちることが多く見られます。列車通過時に落葉は車輪に踏み潰されてレール面に付着します。この付着物は結露や霜などの水分を吸収することにより、葉に含まれるタンニンがレールの成分である鉄と反応し、黒色皮膜が形成されます。また、時間の経過とともに黒色皮膜は厚くなり、湿潤条件下では柔らかいペースト状となって粘着力(※参照)を低下させるため、車輪の空転や滑走を引き起します。ここでは、このような現象を再現した実験や落葉に起因する車輪の空転・滑走メカニズムについて紹介します。



**陳 樺**  
Hua Chen  
鉄道力学研究部  
軌道力学研究室  
室長  
[専門分野] トライボロジー



**古谷 勇真**  
Takemasa Furuya  
車両制御技術研究部  
動力システム研究室  
副主任研究員  
[専門分野] モータ制御、  
車両駆動システム



**生駒 一樹**  
Kazuki Ikoma  
材料技術研究部  
潤滑材料研究室  
研究員  
[専門分野] トライボロジー



**木村 成克**  
Shigekatsu Kimura  
鉄道力学研究部  
軌道力学研究室  
研究員  
[専門分野] 軌道材料



**鈴村 淳一**  
Junichi Suzumura  
材料技術研究部  
潤滑材料研究室  
主任研究員  
[専門分野] 潤滑油、  
グリース、潤滑剤劣化分  
析、トライボロジー

## はじめに

山間線区では、秋季に沿線樹木の枯葉が線路の周りに落ちることが多く見られます。落葉は、列車の通過で車輪に踏み潰されてレール面に付着します。この付着物は、車輪の空転・滑走を引き起こす原因の一つであるといわれています<sup>1)</sup>。

ある地域での車輪の空転・滑走の発生頻度の調査結果を図1~2に示します。時間帯では早朝、レール面の状態ではぬれている状態のほうが発生頻度

が高いことがわかりました。また、レール面を観察すると、図3に示すように、9月ごろからレール面に踏み潰された落葉が存在し、落葉のピークである10月下旬ごろには、レールが黒色皮膜に覆われる状態になります。黒色皮膜は、時間の経過にもなって強固にレールに付着し、簡単に除去できないことが、鉄道事業者にとって大きな悩みとなっています。

ここでは、秋から初冬にかけて見られる山間線区のレール面状態を鉄道総研の所内試験線において再現した後、試験車両を用いた力行試験とブレーキ試験でみられた車輪のすべり状況(空転・滑走)、また、この中でもっともすべりやすいレール面状態に着目した粘着係数(※参照)の測定結果を紹介します。

最後に落葉による車輪の空転・滑走メカニズムに関して紹介します。

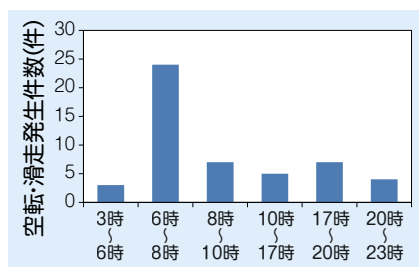


図1 時間帯による空転・滑走発生状況

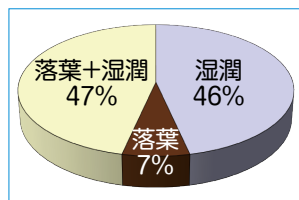


図2 空転・滑走発生時のレール面状況

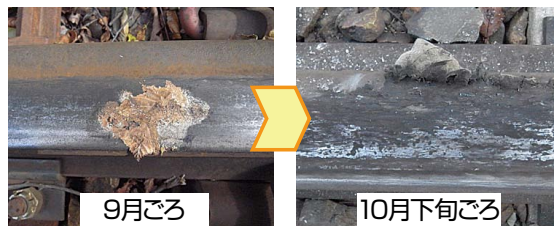


図3 レール面状態の変化

## 黒色皮膜の形成過程

列車通過時に車輪に踏み潰された落葉は、どのように黒色皮膜に変化するかを確認するために、試作した車輪往復転動試験装置(図4)とレール冷却装置(図5)を用いて山間線区における昼夜のレール温度の変化を模擬しました<sup>2)</sup>。

試験方法は、細断した落葉0.4gをレールの上に一定の範囲内に散布し、1000N(圧力342MPaに相当)の荷重条件下で車輪を64回(2両編成4往復に相当)繰り返し転動させた後、レール試験片を冷却装置に取り付けて冷却しました。その結果、レール面を乾燥→結露→凍結→湿潤の状態に変化させることにより、落葉を黒色化することができました(図6)。このことから、湿潤条件が落葉を黒色に変化させる影響要因であることが確認できました。

## 空転・滑走の再現試験

図7(a)に示すように、所内試験線の直線区間に全長約20mの試験区間を設定し、試験車両(R291系, 2両編成0.5M1.5T)による力行試験とブレーキ試験を行いました。試験条件は、初速度30km/h(目標値)、力行ノッチ3~4、電気ブレーキのみを使用することで、再粘着制御の動作によって車輪の空転と滑走の発生状況を確認しました。走行試験を行う前に、多様な樹種の枯葉を混ぜたものをレール面に敷いて車両の往復走行により山間線区のレール面状態を再現しました(図7(b))。計

### 粘着力

鉄道における特有の用語であり、車輪とレールの接触部分で微小なすべりをともなって接線方向(車輪の回転方向)に伝達される力を意味します。

### 粘着係数

粘着力の限界値と輪重の比です。



図4 車輪往復転動試験装置



図5 レール冷却装置

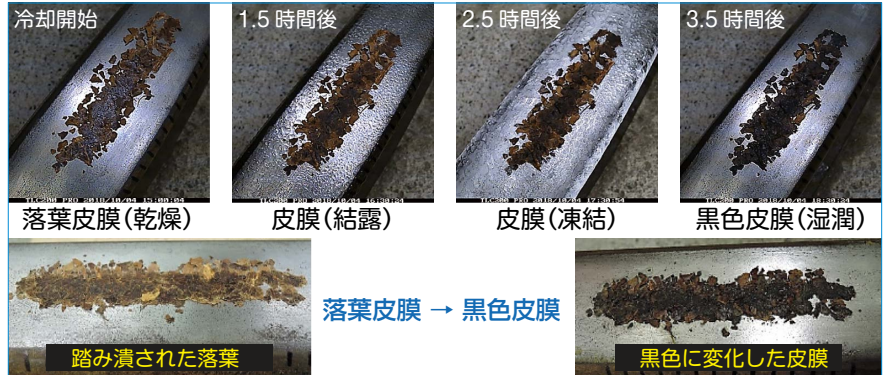


図6 結露による黒色皮膜の形成

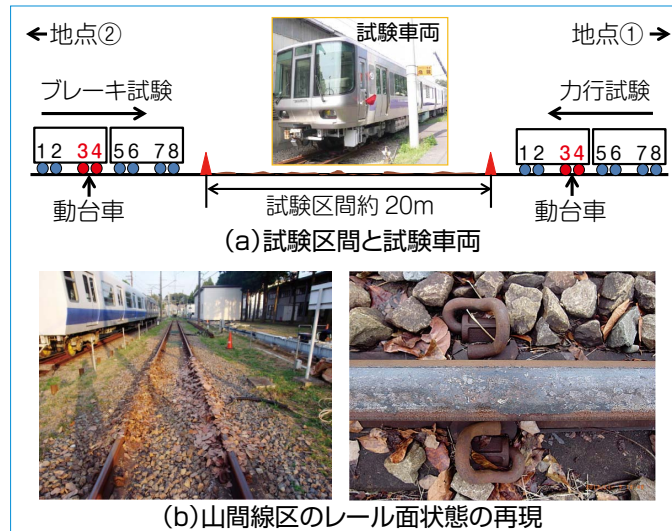


図7 試験概要

測値としては、動台車(参照)の軸速度や列車走行速度などを求めたほか、車両総重量と駆動用モーターの励磁電流指令値およびトルク電流指令値より、駆動輪(3軸目・4軸目)の接線力係数(参照)相当値を求め、その最大値を

粘着係数とみなしました。

空転・滑走の再現試験には、四つの代表的なレール条件を設定しました(図8)。それぞれの条件下における車輪のすべり状況(空転・滑走)を図9に示します。

### 動台車

電動機やディーゼルエンジンなどの原動機からの動力を車輪に伝える機構をもった台車です。

### 接線力係数

車輪とレール間に作用する車輪円周の接線方向の力を、車輪からレールに作用する垂直力で除した値です。

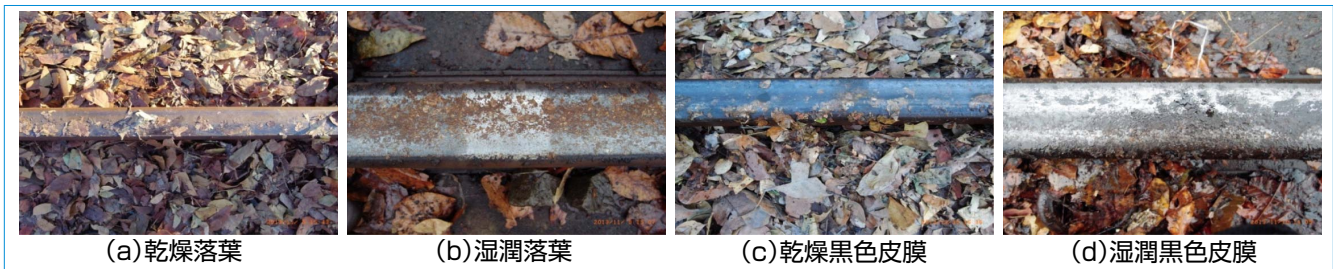


図8 レール条件

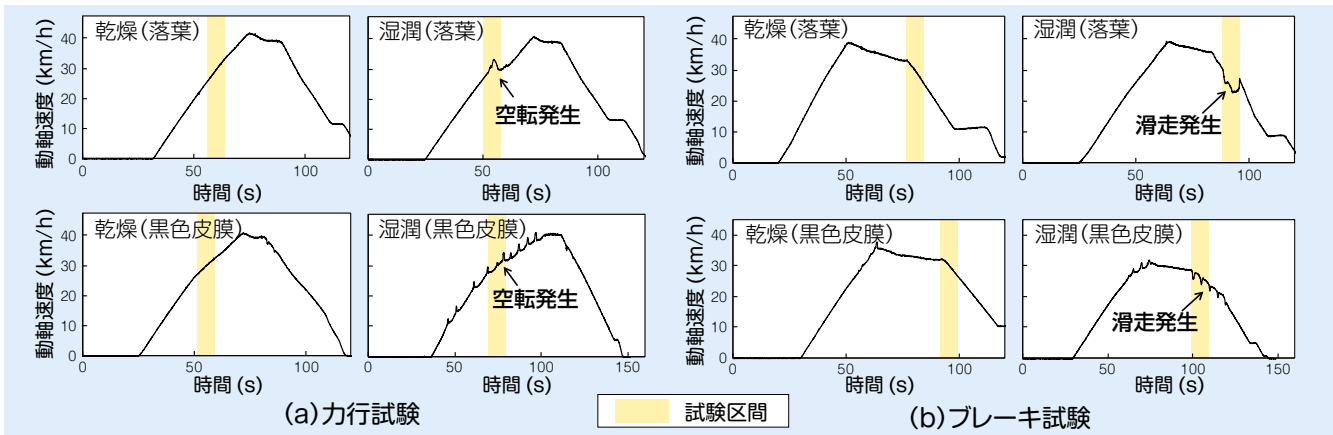


図9 車輪のすべり(空転・滑走)状況

落葉や黒色皮膜がある場合、乾燥条件では、車輪のすべりは見られませんが、湿潤条件では大きくすべっていることがわかります。とくに黒色皮膜がぬれている場合は、試験区間のみならず、その前後の走行区間でも車輪のすべりが頻繁に発生しました。この原因については、以下のように推定されます。はじめに、車両が試験区間を通過する際に、レール面に付着した湿潤状態の黒色皮膜が車輪踏面に転写されます。次に、車両が試験区間を通過した後、車輪踏面に付着した黒色皮膜が、再び車輪の転がりによって試験区間外のレール面に移着します。車両走行による黒色皮膜の転写状況を図10に示します。試験区間に再現した黒色皮膜の一部を研磨紙で落とし、母材が出る状態で試験車両を通過させた後、研磨した箇所のレール面には黒色皮膜の転写が確認できます。このように車両の繰り返し走行によって、試験区間外のレール面にも黒色皮膜が徐々に蓄積され、車輪のすべりが発生したものと考えられます。

### 粘着係数の評価

湿潤状態の黒色皮膜は、車輪の空転・滑走を引き起こす要因であることが明らかとなったため、実際に粘着力が低下しているかを確認することを目的とし、車両走行による粘着評価を行いました。なお、比較対象として、レール面に黒色皮膜がない場合の粘着係数も求めました。比較試験で使われる黒色皮膜は、できるだけ均一な膜厚が望まれるため、再現方法について、図11に示すように落葉と水を混合・粉碎したペーストを所定量(10ml/m)で試験区間のレール面に均一に塗布しました。試験条件は、上節で紹介した空転・滑走の再現試験と同様に、また、試験期間中に降雨があったため、雨条件下の走行試験も行いました。

図12に車両走行試験結果(チャート)の一例を示します。これは、湿潤条件下の力行試験であり、試験区間内には駆動輪がすべっている状況が確認できます(黄土色線、ピンク色線)。また、再粘着制御の動作によって接線

係数が変動していることから、車輪がすべっていることもわかります(緑色線)。

力行試験とブレーキ試験で得られた粘着係数の平均値を図13に示します。黒色皮膜がレール面に存在しない場合に比べて、黒色皮膜が存在する場合の粘着係数が低く、また、乾燥条件下の粘着係数に比べて、湿潤条件下のほうが大きく低下することがわかります。この結果から、レール面の黒色皮膜が湿潤状態になると、粘着係数が低下し、車輪の空転や滑走が頻繁に発生することが確認できました。

### 落葉による空転・滑走の発生メカニズム

通常、車輪とレールの接触部にさまざまな物質が介在する状態で列車は運行されます。介在物の種類と量(厚み)が車輪とレール間で起こる種々の現象に影響を及ぼします。秋季の山間線区では、雨天のほか、始発列車など早朝時間帯に空転・滑走が発生する頻度が

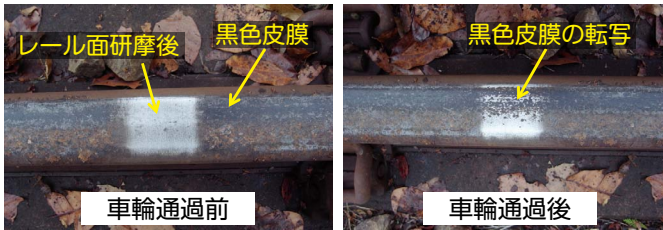


図10 黒色皮膜の転写状況

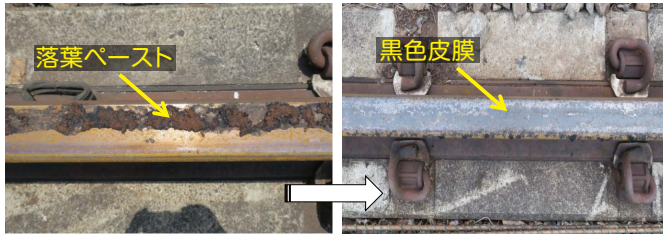


図11 均一な黒色皮膜の再現

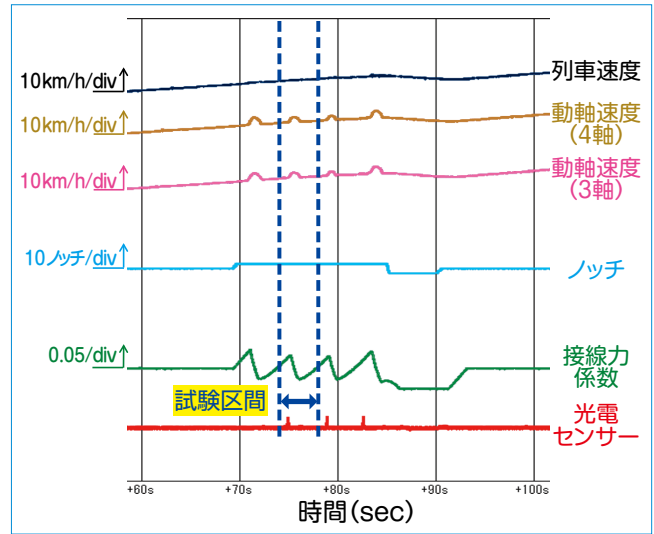


図12 試験結果の一例

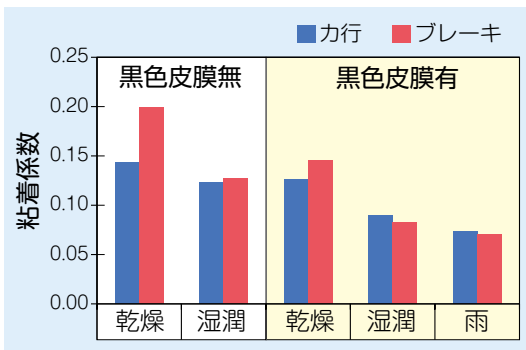


図13 粘着係数の評価結果

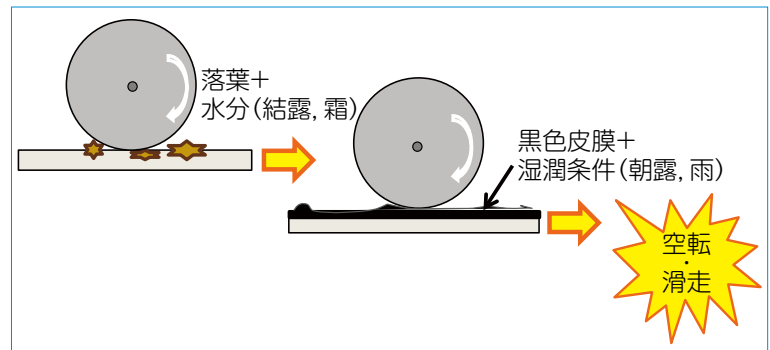


図14 車輪の空転・滑走発生メカニズム

高いことが過去の調査でわかりました。

落葉が車輪の空転・滑走を引き起こすメカニズムは、図14に示すように推定されます。秋季の山間線区では、線路内に落ちた枯葉は、列車通過時に巻き上げられて車輪とレール間にはさまれ、踏み潰されることによりレール面に付着します。この付着物は結露や霜などの水分を吸収することにより、葉に含まれるタンニンがレールの成分である鉄と反応し、黒色のタンニン鉄を含む黒色皮膜が形成されます。また、時間の経過とともに車輪に踏み潰される落葉の量が増加し、黒色皮膜も厚くなります。このような黒色皮膜は、雨水や朝露などの湿潤条件下では柔らかいペースト状となり、粘着力が低下するため、車輪の空転や滑走を引き起こすと考えられます。

### おわりに

山間線区において、秋から初冬にかけて車輪の空転・滑走が多発していることは、レール面の黒色皮膜が原因であることが明らかになりました。対策法として、軌道側では樹木伐採やレール洗浄、レール研磨など、車両側では砂まき、アルミナ噴射などが実施されていますが<sup>3)4)</sup>、晩秋になると、レール面の黒色皮膜は厚くなり、これらの対策のみでは十分な効果が発揮できない場合があります。

場合があります。

今後は、黒色皮膜を形成させない方法や形成された場合の除去方法など、既存の増粘着方法（砂まき、アルミナ噴射）と組み合わせて検討することにより、落葉による車輪の空転・滑走を抑制する可能性が期待できると考えます。現在、このような取り組みを行っている最中です。RRR

### 文献

- 菅原衛：山間線区における空転滑走に関する研究，平成24年度土木学会全国大会第67回年次学術講演会講演概要集（CD-ROM），Vol.67，VI-495，2012
- 生駒一樹，鈴木淳一，木村成克，陳樺：落葉によるレール上黒色皮膜の生成と評価，第25回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集，No.3214，2018
- 田村大輔，沼倉明夫，瀧川光伸：落葉による空転・滑走防止のための効果的な対策について，平成19年度土木学会全国大会第62回年次学術講演会講演概要集（CD-ROM），Vol.62，No.4-226，2007
- 大野薫：増粘着材噴射装置（セラジェット）－その1－，RRR，Vol.63，No.1，pp.36-37，2006