

落葉による車輪空転のメカニズム



生駒 一樹
Kazuki Ikoma

材料技術研究部
潤滑材料研究室
副主任研究員



鈴木 淳一
Junichi Suzumura

材料技術研究部
潤滑材料研究室
主任研究員



深貝 晋也
Shinya Fukagai

材料技術研究部
摩擦材料研究室
主任研究員



幸野 真治
Masaharu Kono

鉄道力学研究部
軌道力学研究室
研究員



辻江 正裕
Masahiro Tsujie

鉄道力学研究部
軌道力学研究室
主任研究員

はじめに

山間線区では、軌道周辺に堆積した落葉が列車通過時にまきあげられ、車輪とレール間に介在すると、**粘着力**¹⁾が著しく低下することが知られています¹⁾。特に勾配区間では、車輪とレール間の粘着力低下により車輪の空転が発生しや

すくなるため、列車が進めず、遅延や運休を発生させるなどの支障をもたらすおそれがあります。そのため、落葉による車輪とレール間の粘着力低下は、山間線区を保有する鉄道事業者にとって重要な課題となっています。

本稿では、山間線区で見られる軌道の状況や、落葉の介在により車輪とレール間で低粘着となる現象の解明に向けた取り組みを紹介するとともに、これらを防ぐための対策法の開発状況について紹介します。

黒色皮膜形成の要因とそのメカニズム

粘着力が低下する現象が発生した線路の状態を調査した結果、車輪通過直後のレール頭頂面上には、車輪踏面による落葉の踏み跡(図1)の形成が確認されています。さらに、

1) 粘着力

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



踏み跡を車輪が通過すると、踏み跡が車輪へ転写したり、引き延ばされたり、またさまざまな環境にさらされるなどして、結果的に最大数十kmにわたって断続的にレール頭頂面が黒くなることも確認されています(図2)。図2のようなレール頭頂面上に形成されている落葉由来の黒い付着物を黒色皮膜と呼んでおり、粘着力低下の主な原因と考えられています。黒色皮膜の形成には、沿線樹木の種類、地形などの沿線環境や列車の運行頻度などの運転条件が影響をおよぼすと考えられています。

国内の山間線区において見られる樹木として、ブナやコナラなどの落葉広葉樹と、スギやヒノキなどの常緑針葉樹があります。一般に、黒色皮膜は、落葉広葉樹が沿線に多く見られる線区では、秋季

の落葉時期に形成されることが多いですが、常緑針葉樹が沿線に多く見られる線区では、台風や低気圧の通過にともなう強風や冬季の降雪などの一時的な気象現象により、多量の枝葉が落下した後に形成される傾向があります(図3)。

また、落葉が軌道周辺から排除されにくい地形も黒色皮膜が形成されやすい条件の一つです。



図3 常緑針葉樹の落葉(台風通過直後)



図4 軌道周辺における落葉の堆積

例えば図4に示すように軌道がのり面や木々に囲われている場合、その箇所には落葉が堆積しやすい状況となります。このような環境では、沿線の樹木が完全に落葉した後も列車通過ごとに落葉がまきあげられ、踏み跡や黒色皮膜の形成がしばらくの間継続しやすい状態であることが考えられます。

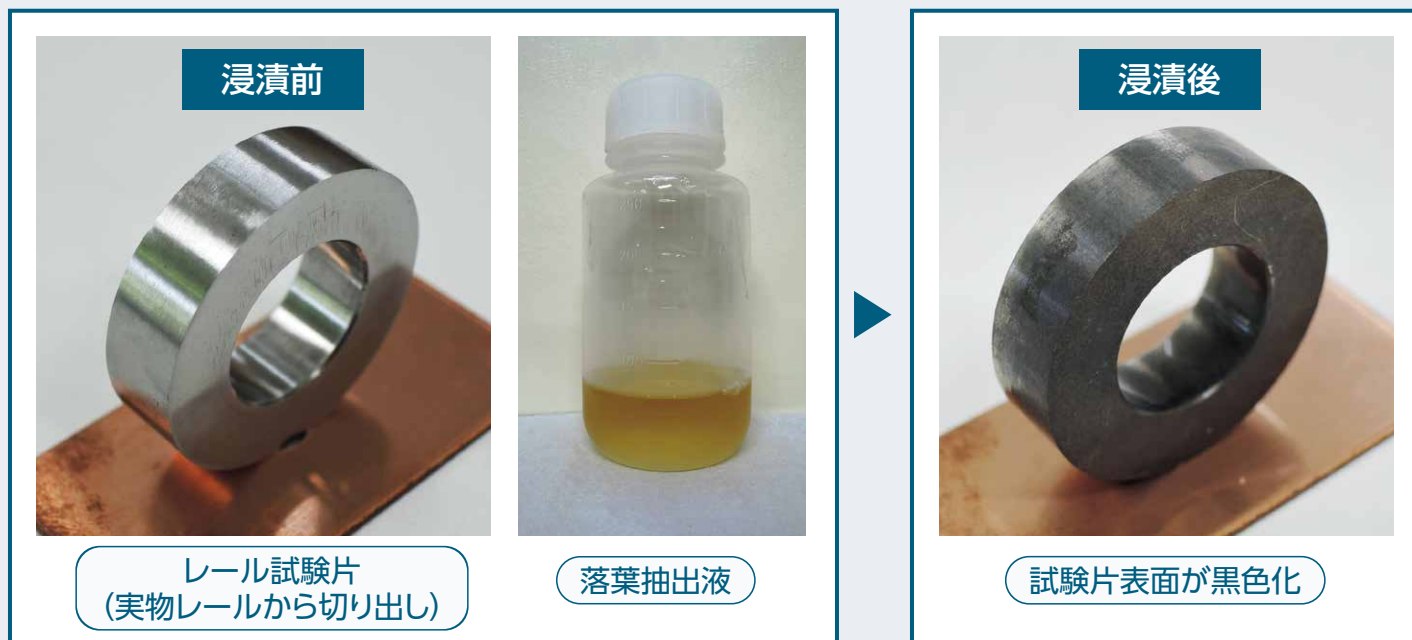


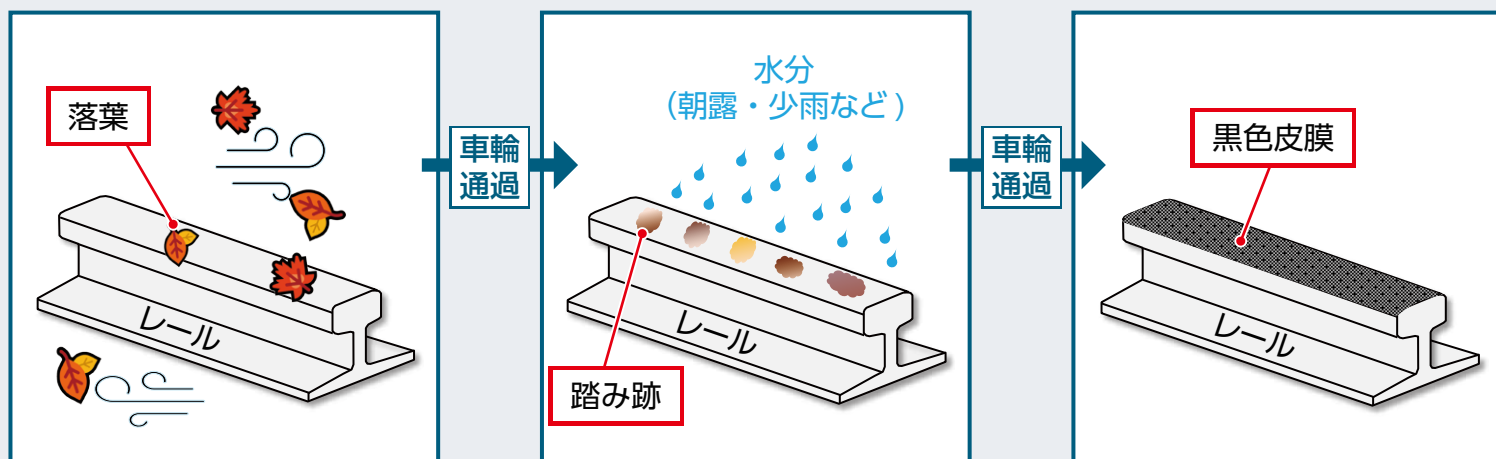
図5 落葉抽出液へのレール試験片浸漬試験

さらに、落葉による車輪の空転が発生しやすいのは、気温が大きく下がり、また結露が発生しやすい早朝の時間帯に多いこともわかっています。そのため、軌道周辺に河川やため池といった水源があることも条件の一つと考えられています。水源があることで湿度が高くなるため、特に秋季の早朝ではレール温度と気温の関係からレール表面が結露し、ぬれた状態になりやすい状況となることが挙げられます。そこで、室内試験として、粉碎した落葉を蒸留水で数時

間抽出し、その抽出液にレールから切り出した試験片を浸漬したところ、試験片表面が黒く変色することが確認され(図5)、黒色皮膜の形成には、落葉の水溶性成分が関与していることがわかりました。したがって、実際の現場でも湿度が高い環境では、踏み跡が車輪に引き延ばされながら、大気中の水分によって徐々に黒色皮膜へと変化していると考えられます(図6)。

黒色皮膜の形成と運転条件との関係では、通過軸数が少ない閑散線区において顕著に黒色皮

図6 黒色皮膜の形成メカニズム



膜が形成される場合が多くみられます。ただし、比較的強い降雨があった場合には、数本の列車が通過しただけで、降雨により軟化した黒色皮膜が車輪に踏まれてさらに軟化し、雨により洗い流されて消失することがあります。

落葉介在時の車輪とレール間における接線力係数

車輪とレール間に落葉が介在した際の影響を評価するため、小型の二円筒転がりすべり摩擦試験機を用いて接線力係数^⑧の測定を行いました。この装置は、実物の車輪とレールから切り出した円筒形の試験片同士に任意のすべり率^⑨・荷重・回転数を付与して摩擦試験ができる試験機です(図7)。試験では、落葉を数種類用意し、ならし試験として、すべり率0%の純転がり条件で数分間、両試験片を接触させました。ならし試験開始時には薄片状だった落葉は、ならし試験終了時ではペースト状となり表面に黒色皮膜として形成されています(図8)。その後、本試験として、すべり率3%で摩擦試験を実施しました。本試験に

おける接線力係数は、乾燥・湿潤条件によらず、落葉が介在した方が、落葉が介在しなかったときに比べて低くなることがわかりました(図8)。これは落葉をもとに形成された黒色皮膜が車輪とレール間の粘着力低下に寄与していることを示しています。

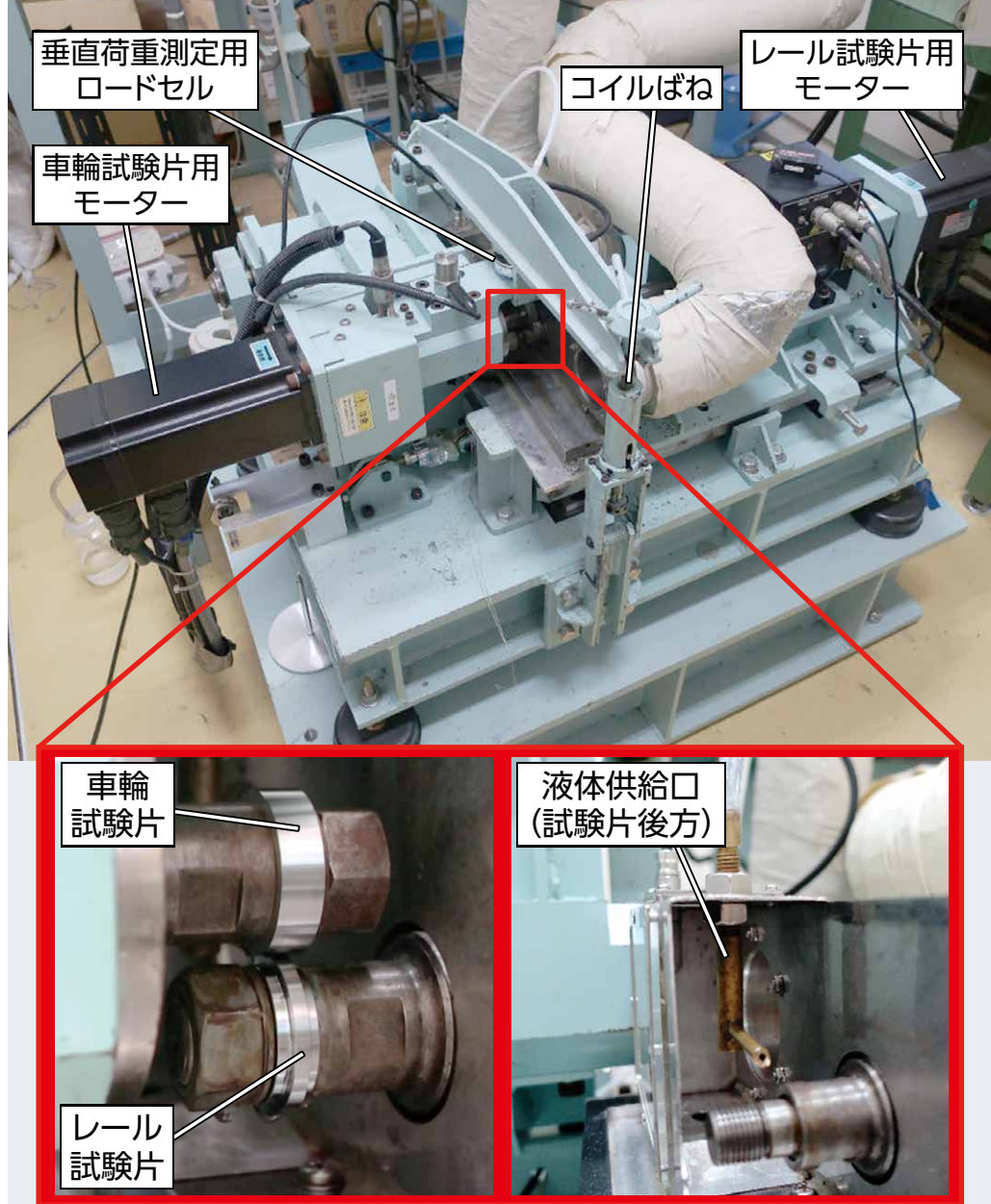


図7 二円筒転がりすべり摩擦試験機

⑧ 接線力係数

車輪とレール間における接線方向に働く力を輪重(本稿では、試験片に加えた荷重)で割った値となります。

⑨ すべり率

実際の鉄道車両では、車輪回転速度から車両速度を引いた値を車両速度で除した値を意味します。本稿では、二円筒転がり摩擦試験機における車輪試験片回転数からレール試験片回転数を引いた値をレール試験片回転数で除した値を意味します。

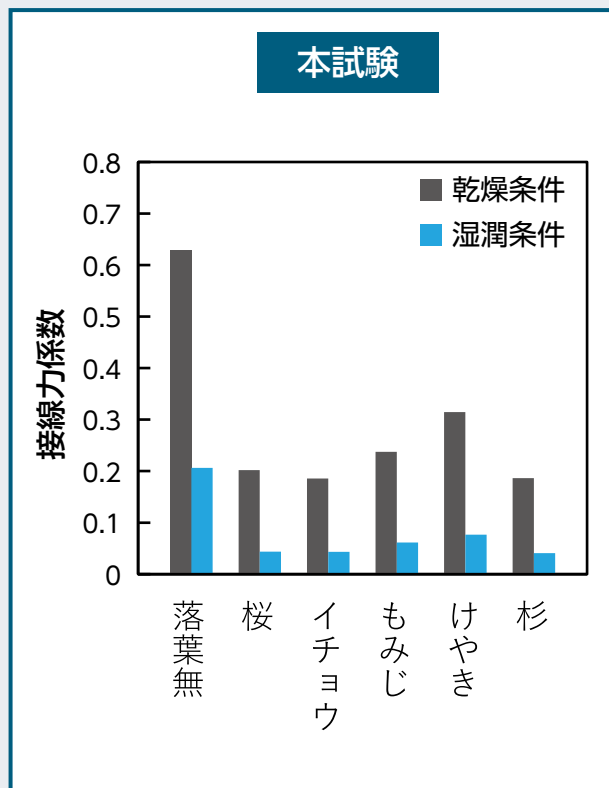
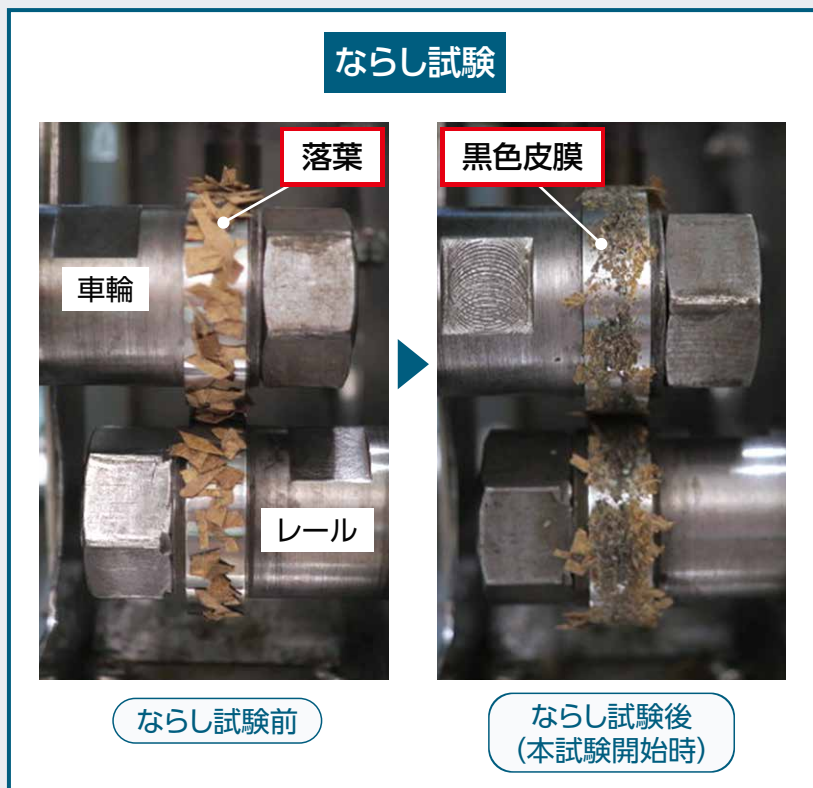


図8 落葉介在時の摩擦試験

落葉による低粘着を防ぐための取り組み

落葉によって車輪とレール間での低粘着を起こさせないようにするためには、黒色皮膜が形成されやすく、また空転が頻発する急勾配区間沿線の樹木を伐採することが根本的な対策方法ではありますが、全区間にわたって伐採することは現実的ではありません。そこで、鉄道事業者では、軌道側での対策として、定期的にレール頭頂面の研磨を実施し、落葉の踏み跡や黒色皮膜を除去する取り組み²⁾が行われています。また、車両側での対策として、車輪とレール間に珪砂^{けい}やアルミナを噴射・介在させて粘着力を高める手法³⁾や、電車では主電動機のトルクを制御する「空転再粘着制御方法」⁴⁾の導入など、軌道と車両の両面で空転の防止に取り組んでいます。

落葉の最盛期には、駆動力の低下にともない速度が低下するだけでなく、最終的に停車に至る場合があります。鉄道総研では最近、車両が

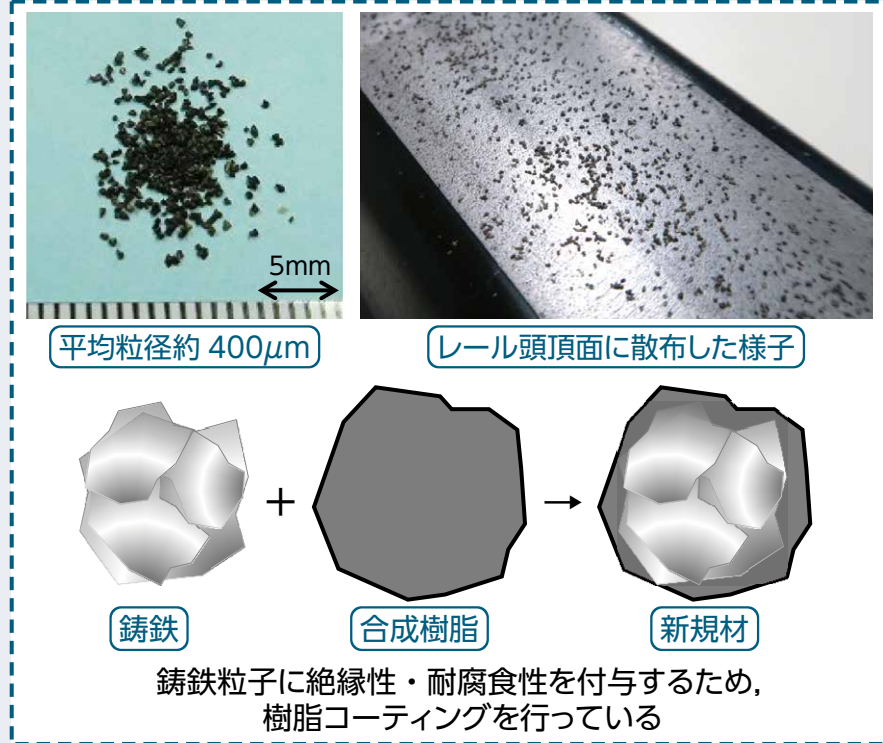
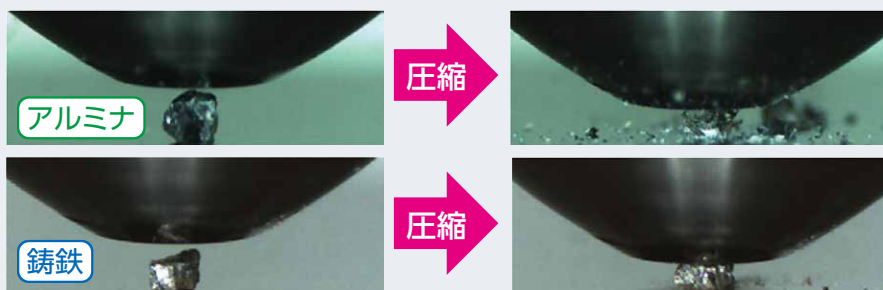
急勾配区間で停車した際に乗務員がレール上に手まき散布して使用する再起動用の増粘着材を開発しています。現用増粘着材の珪砂やアルミナは車輪とレール間で圧縮されると微粉化するため、黒色皮膜などの厚い皮膜条件下では効果が低減する可能性が考えられます。そこで、新たな増粘着材として、圧縮時にも微粉化しにくい性質がある鋳鉄を採用しました(図9)⁵⁾⁶⁾。

なお、軌道回路への影響や保管時の防錆^{せい}を考慮して、鋳鉄粒子に合成樹脂によるコーティングを行い、絶縁性、耐腐食性を向上させています。

そのほか、黒色皮膜の形成は、タンニンのような落葉に含まれるポリフェノール成分とレールの鉄との反応が原因の一つであると解明されており、この反応生成物を分解する手法としてクエン酸が持つキレート効果^{キレート効果}が有効であると

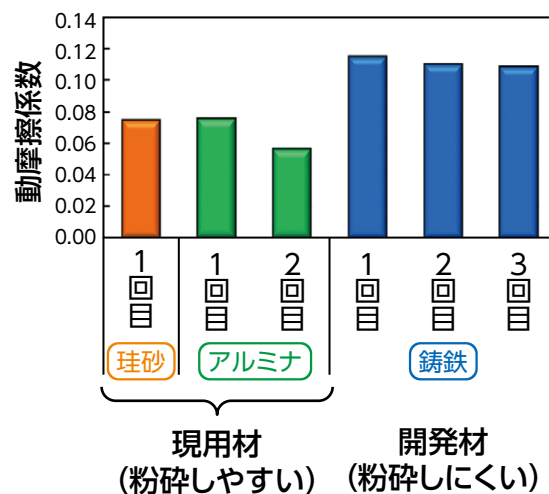
キレート効果

金属イオン(本稿ではレールにおける鉄イオン)と安定な結合を形成する現象のことです。



ベンチ試験結果

- 実物大の車輪・レール接触試験機を使用
(レール頭頂面に紙テープに流動パラフィン
を付着させて模擬落葉とした)
- 増粘着材平均粒径：350～400 μ m



開発材の鋳鉄 (粉碎しにくい材料) では
3回の繰り返し試験で
動摩擦係数 0.10 以上を維持

図9 開発した増粘着材

わかってきました⁷⁾。クエン酸水溶液を黒色皮膜に滴下することで、これまで以上に黒色皮膜を容易に除去できることが期待されており、現在、除去効果やレール頭頂面への滴下によるレール部材・信号機器への影響について研究を進めています。

おわりに

本稿では、山間線区で見られる落葉起因の皮膜形成メカニズムなどを紹介するとともに、これらを防ぐ取り組みと対策法の開発状況について紹介しました。落葉による車輪とレール間の粘着力低下は、国内だけでなく海外でも長年の課題となっていますが、対策法が確立されていないのが現状です。鉄道総研では、鉄道の安定

輸送に貢献できるよう、今後も研究を進めていく予定です。RRR

文献

- 1) 陳樺, 古谷勇真, 深貝晋也, 嵯峨信一, 村上浩一, 伴巧: 粘着力に対する落ち葉の影響, 鉄道総研報告, Vol.31, No.4, pp.29-34, 2017
- 2) 高田倫義: 石北線における空転対策の取り組み, 新線路, Vol.74, No.3, pp.24-27, 2020
- 3) 深貝晋也: 車輪の空転防止装置, RRR, Vol.78, No.4, pp.24-27, 2021
- 4) 山下道寛: 空転再粘着制御, RRR, Vol.71, No.8, pp.28-31, 2017
- 5) 深貝晋也, 古谷勇真, 高野亮, 大野薫: 増粘着粒子の摩擦性能評価, 第27回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集 (JRAIL2020), JSCM-1-1, 2020
- 6) 深貝晋也, 古谷勇真, 上東直孝: 金属粒子を用いた車輪・レール増粘着性能の向上, 第30回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集 (JRAIL2023), JSCM-1-2, pp.559-562, 2023
- 7) 生駒一樹, 鈴木淳一, 陳樺: 落葉により生成したレール上黒色皮膜除去のためのクエン酸の適用検討, 第26回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集 (JRAIL2019), JSCM-3-1, pp.419-421, 2019