

- 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

摩擦制御材で車輪とレールの接触状態を適正化する

車輪とレールの境界において、低粘着現象にともなう滑走や空転は古くからの課題となっており、近年では、急曲線走行時に車輪やレールから発生する騒音が沿線環境の観点から問題となるケースが増えています。本稿では、こうした車輪とレールの境界問題と材料の積極的な介入による対策について紹介します。

はじめに

鉄道は、都市部や市街地、山間部、沿岸部など全国の地域で運行されています。また、季節の移り変わりが明確な日本においては、年間を通じて気候が様々なに変化します。そのため、レールの表面状態も、敷設されている地域、季節や天候により多種多様な様相を呈することになり、ときにはそれらの特徴に

応じた事象が発生することがあります。

図1はこうした事例を描いたイラストです。たとえば、山間路線では晩秋になると落ち葉が軌道内に降り積もることがあります。その葉が車輪とレールの間に介在すると、粘着力(※参照)が著しく低下し、場合によっては車輪が空転して進めなくなり、大幅な列車遅延が発生することもあります。また、降雨時や結露時には車輪とレールの間に水膜が介在し、粘着力が低下して、滑走が発生しやすくなります。

一方、地下鉄などの都市鉄道の急曲

※ 粘着力

車輪が転がり接触状態にあるときに、車輪・レール間で前後方向に作用する接線力を意味します。



深貝 晋也
Shinya Fukagai
材料技術研究部
摩擦材料研究室
副主任研究員
[専門分野]車輪/レール境界問題、トライボロジー



伴 巧
Takumi Ban
材料技術研究部
摩擦材料研究室
上席研究員
[専門分野]トライボロジー、摩擦材料、車輪/レール接触問題



陳 樺
Hua Chen
鉄道力学研究部
軌道力学研究室
主任研究員(上級)
[専門分野]トライボロジー



名村 明
Akira Namura
鉄道力学研究部
軌道力学研究室
室長
[専門分野]レール・車輪の接触、バラスト軌道



高野 亮
Ryou Takano
(株)テス
セラジェット事業部
プロジェクトリーダー

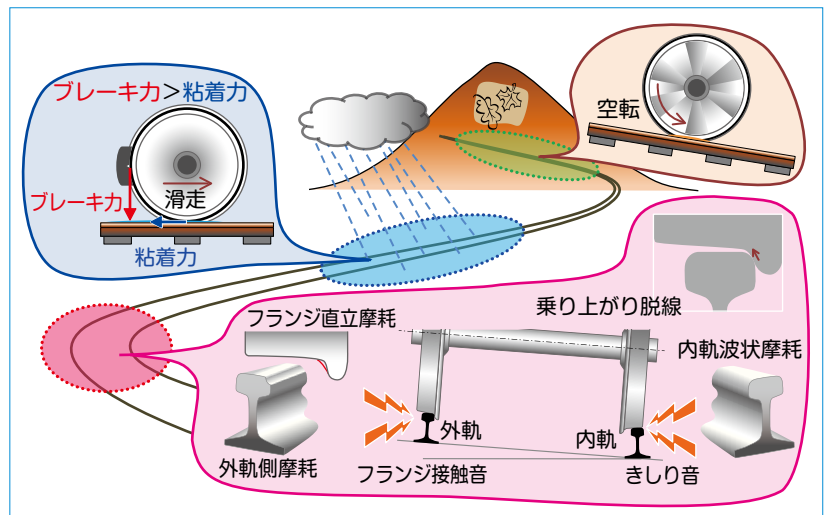


図1 車輪・レールの特徴的な事例

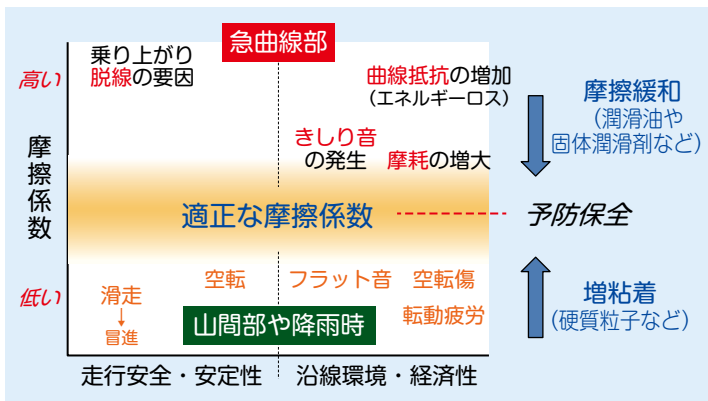


図2 摩擦係数の適正管理の概念

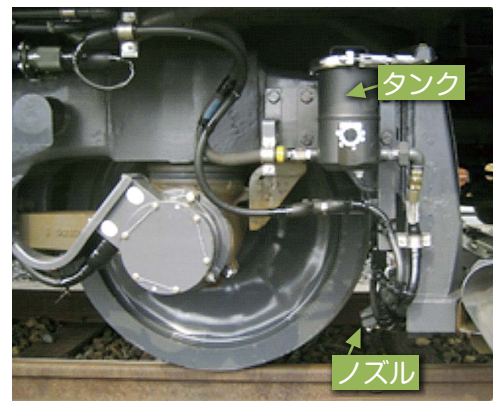


図4 セラミック噴射装置
出典：株式会社テス・ホームページ²⁾



図3 天然砂とアルミナ粒子

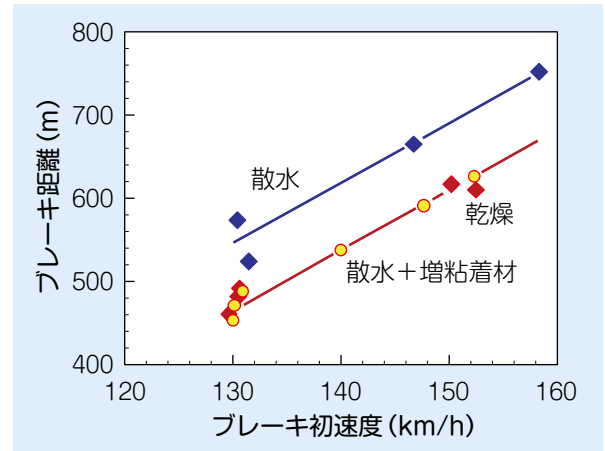


図5 セラミック噴射装置の効果

線では、車輪とレールに生じる摩擦力により摩耗が著しく速く進行するほか、振動や騒音が発生します。また、車輪のフランジがレールの側面をよじのぼる乗り上がり脱線の可能性が生じる場合もあります。

これらに対処する方法の一つとして、車輪・レール間に意図的に別の物質を介在させることで摩擦係数を適正に管理する手法があります(図2)。たとえば、山間部や降雨時など低い摩擦係数が問題となる場合には、摩擦係数の低下を抑制させる材料、一方、急曲線部など高い摩擦係数が問題となる場合には摩擦を緩和(潤滑)させる材料、というように、問題に応じた適切な材料を選択することで摩擦係数を制御するという考え方です。

増粘着材料(空転・滑走防止)

線路の勾配や落ち葉による空転の対策としては、砂まき装置が古くから使

われてきました。その際に粘着力を向上させる(増粘着)材料としては粒径2~5mm程度の天然砂(図3)が一般的で、これを自然落下に近い速度で車輪・レール間に供給する機構となっています。供給された砂は車輪に踏まれると粉砕され、微粒子となって車輪・レール間に介在し、アンカーとして作用するとともに表面に適度な粗さを付与し、粘着力を高めると考えられます¹⁾。しかしながら、大量のまき砂は道床の目詰りや分岐器ポイント部の障害のほか、砂が車輪・レール間に絶縁性の膜を作ることによって車輪による信号回路短絡の妨げとなることや、水との混合により泥状になり粘着力を逆に低下させる可能性もあります。

先にも述べたように、砂は実際の接触界面に到達するまでに細粒化するため、それほど大粒である必要はありません。むしろ、車輪・レール間の接触圧で砕かれても潤滑性の皮膜を貫通す

る程度の粒径を維持できる硬い材料を選択することで、より高い増粘着効果が期待できます。そのため近年は天然砂よりも硬質で小粒(粒径0.3mm程度)のアルミナ粒子(一部ではけい砂)(図3)を増粘着材料として使用した「セラミック噴射装置(セラジェット)」が広く使用されています(図4)²⁾。この装置は鉄道工場では台車の洗浄などに日常的に使用しているブラストマシンを応用したもので、増粘着材料を車輪・レール間に高速で噴射することが可能です。噴射速度が速く高速走行時にも確実に散布できるため、力行時の空転防止だけでなく、制動時の滑走対策にも有効です(図5)³⁾。そのため、在来線車両だけでなく、非常ブレーキや地震時の緊急ブレーキに連動させる形で新幹線車両にも広く導入されています。また、前述の砂まき装置と比較して増粘着材料の使用量が1/30~1/50と少ないという特徴があります。

潤滑材料 (摩耗・騒音防止)

図6に曲線走行時の輪軸とレールの位置関係を示します。急曲線区間において車輪・レール間の摩擦係数の低減が求められる場所は二カ所あります。ひとつは車輪フランジ・外軌ゲージコーナー(☞参照)間であり、主にフランジ直立摩耗・レール側摩耗やフランジ接触音などが問題となります。もう一カ所は車輪踏面・内軌頭頂面(☞参照)間であり、ここでは、レール波状摩耗(☞参照)やきしみ音が発生します。

潤滑材料の供給方式には図7にあるような複数の方式があり、車載方式および地上方式の大きく二種類に分けられます。潤滑材料をレールに供給する場合(図7(a), (e), (f), (g), (h)), 車載方式の場合には速度が一定であれば、同一曲線内に一様に供給できます。また、搭載車両が走行する線区内であればどこでも潤滑材料を供給することが可能ですので、運用する列車本数に対して潤滑対象となる曲線が多いほど安価で効率的な潤滑が可能となります。一方、地上から供給する場合には塗布器が設置された場所から車輪によって潤滑材料が運ばれるため、曲線内の潤滑効果にムラが生じてしまいます。しかし、潤滑を必要とする曲線が少ない場合には、比較的容易に導入することができます(図8)。

フランジ・ゲージコーナー間用潤滑材料

フランジ・ゲージコーナー間を潤滑するために、液体である潤滑油類や、油を半固体状に加工したグリース類の車輪およびレールへの塗布が一般的に行われています。これらの材料は摩擦係数を著しく低下させ、摩耗や騒音の

☞ ゲージコーナー

レール頭部の軌間内側の角にあたる部分のことです。

☞ 頭頂面

レール頭部の上面のことです。

☞ レール波状摩耗

レール上を車両が繰り返し走行することにより、レール表面がある一定の間隔に摩耗あるいは塑性変形して形成される連続した凹凸のことです。

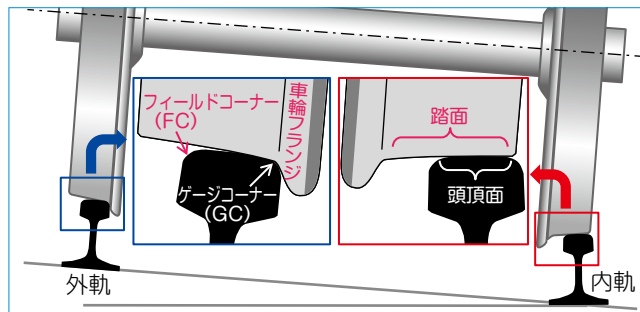


図6 曲線走行時の輪軸とレールの位置関係

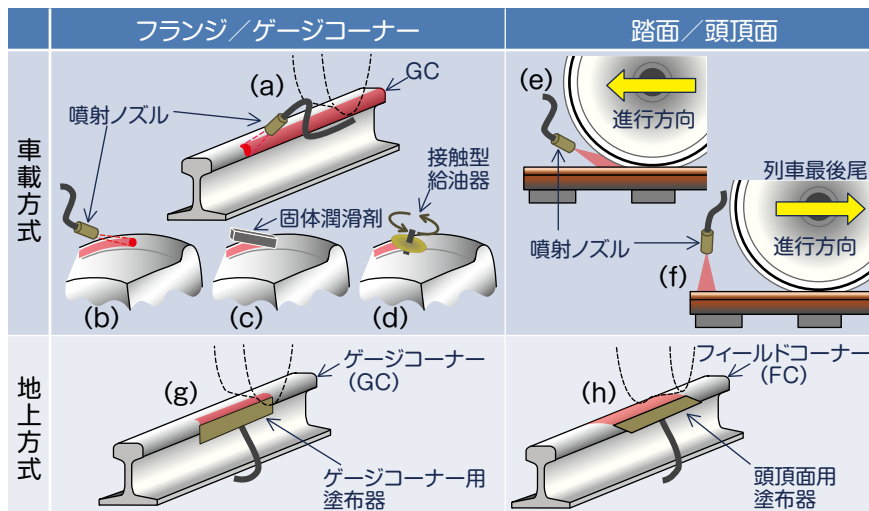


図7 潤滑材料の供給方式事例

低減に大きな効果を発揮します。しかしながら、車両床下や軌道周辺に油が飛散して汚染させ、また、車輪踏面やレール頭頂面に油が回り込んだ際に空転・滑走が発生する原因となるなどの問題もあります。そこで、最近では微量なグリースを精度良く車輪フランジに噴射するシステム(図7(b))やスティック状の固体潤滑剤を車輪フランジに押し付けてピンポイントで潤滑剤を付着させるシステム(図7(c))が開発されています。

しかし、積極的に油潤滑を行っている曲線の外軌レールのゲージコーナー部には、図9に示すような剥離をとまなう転がり疲労損傷が発生しやすいと言われています⁴⁾。この損傷の発生要因は摩耗進みと疲労蓄積とのバランス

にあると考えられ、疲労の蓄積が優勢な場合に損傷が発生するとされています。こうしたことから、車輪・レール間を潤滑する際には二次的な作用についても考慮することが重要と言えます。

踏面・頭頂面間用潤滑材料

車輪踏面およびレール頭頂面は直線走行時に接触する部分であることから、急曲線区間でこの部分の摩擦係数を積極的に低下させると、直線区間において空転や滑走の原因となる場合があります。そのため潤滑材料には、曲線区間では過大な摩擦係数にならないよう抑えつつ、直線区間において空転・滑走は招かないという、相反する性質が求められます。実際には、潤滑材料として水、油類やグリース類、水溶性潤滑剤など様々な種類が使われていますが、その塗布量や装置の設置場所には特に注意が必要です。近年広く使用されている踏面・頭頂面間用潤滑材料は二硫化モリブデンなどの固体潤滑剤を水に分散させたタイプです。このタイプの潤滑剤は摩

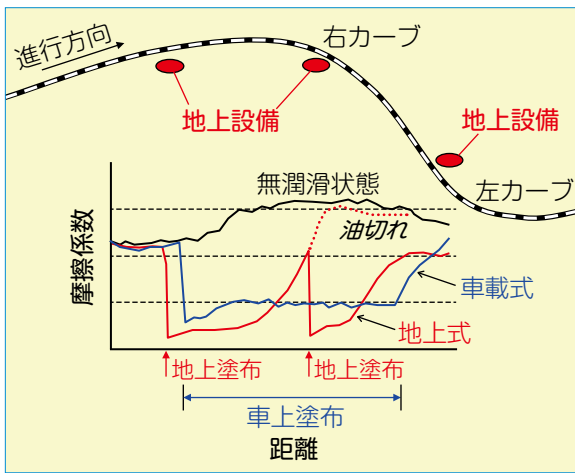


図8 潤滑材料供給方式の特徴

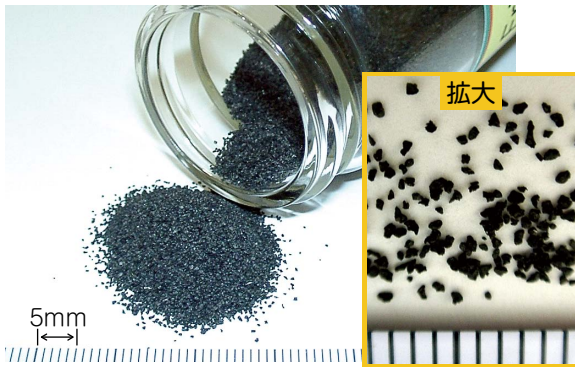


図10 摩擦緩和材

擦力がすべり率(※参照)とともに上昇する特性を有するため、空転や滑走を誘発しにくいとされています⁵⁾。

これらの潤滑剤はいずれも供給時には液状になっていますが、鉄道総研では「摩擦緩和材」と呼ぶ固体潤滑剤(図10)を乾燥粒子のままの状態で車輪・レール間に供給するシステム(フリモス)を開発しました^{6),7)}。摩擦緩和材の粒径は約0.2mmで、潤滑成分としてはカーボン系潤滑材料であるグラファイト(黒鉛)を選定しています。これは、①他の固体潤滑剤(例えば二硫化モリブデンやフッ素樹脂(PTFE)など)に比べ安価である、②摩擦緩和性能を左右するカーボン粒子内の黒鉛化度(非晶質炭素と黒鉛の割合)が熱処理で調整できる、③導電性を有しており、車輪・レール間の電氣的接触を妨げない、④化学的に安定的で、環境や生態系への影響が少ない、などの利点があるためです。また、摩擦緩和材

の潤滑機構は、層状構造を有する固体潤滑剤特有のもので、図11に示すように、六方晶形と呼ばれる結晶構造内部で生じる滑りが、そのまま潤滑作用として現れたものです。そのため、摩擦係数のすべり率依存性が少なく、安定した摩擦状態が得られます。

フリモスはセラジェットの噴射技術を応用しており、セラジェットと同様の噴射装置により、図7(e)のように対象曲線通過中の車輪踏面・内軌頭頂面間に摩擦緩和材を散布します。摩擦緩和材が乾燥粒子で、また散布量が極微量であるため、軌道周辺や車両を汚さないというメリットがあります。

おわりに

今回、車輪・レール間に意図的に別の物質を介在させることで増粘着・摩擦緩和(潤滑)する手法について紹介

※ すべり率

車両の走行速度と車輪の周速度の差を車両の走行速度で除した値のことです。

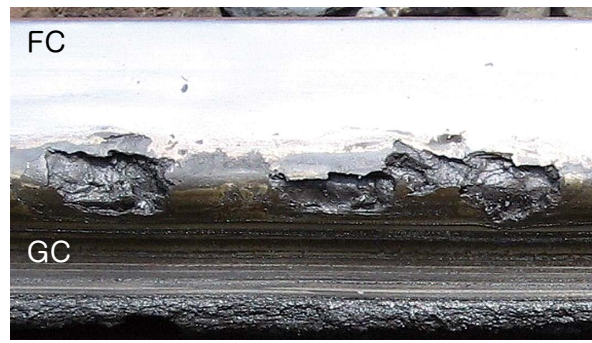


図9 剥離をともなうレールの損傷(提供写真)

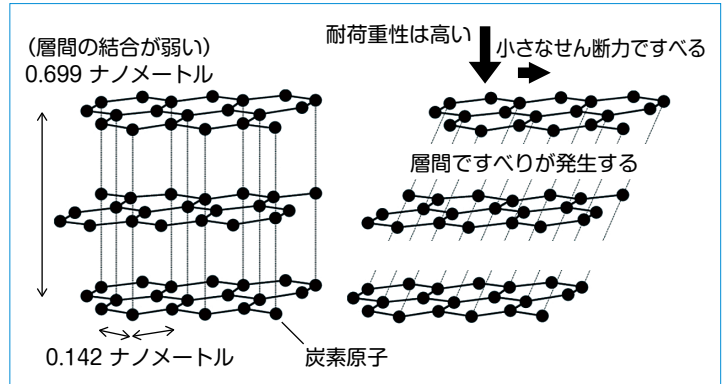


図11 黒鉛の潤滑機構を示す模式図

しましたが、こうした手法は日本国内のみならず、海外の鉄道事業者でも盛んに採り入れられています。今後も国内外の技術動向を注視するとともに、新たな手法や材料開発に向けて取り組んでいきたいと考えています。[RRR]

文献

- 1) 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
- 2) 株式会社テス・ホームページ，<http://www.tess.co.jp/info/business/cerajet.html>
- 3) 大野薫，伴巧，具嶋和也，大江晋太郎，本多康祐：増粘着材噴射の車輪滑走・フラット防止への適用，RRR，Vol.59，No.4，pp.10-13，2002
- 4) 松田博之，佐藤幸雄：外軌レールの摩耗・疲労損傷に及ぼす油潤滑の影響，日本鉄道施設協会誌，Vol.48，No.2，pp.147-150，2010
- 5) 森川優，葛西信三，篠田憲幸，玉置文博，陸康忠：摩擦調整材によるきしり音対策，鉄道車両と技術，Vol.79，No.8，pp.32-79，2002
- 6) 伴巧：車輪とレールの間に介在する物質が起こす現象，RRR，Vol.65，No.8，pp.10-13，2008
- 7) 緒方政照，伴巧，深貝晋也，石田誠，名村明：車輪/レール摩擦緩和システムの開発，鉄道総研報告，Vol.21，No.6，pp.51-56，2007