

### 第 106 回

# 車輪の空転防止装置

## はじめに

車輪とレールの間で駆動力・制動力を伝達させて走行する粘着式鉄道において、車輪とレールの間を適切な接触状態に維持することは宿命的な課題の一つです。たとえば、列車起動時や急勾配線区走行時などに車輪とレール間の摩擦力(鉄道では、粘着力とよびます)が不足すると、車輪が空回りし、摩擦熱によりレールが大きく変形してしまいます。また、必要な加速力が得られないため、列車遅延や場合によっては運休せざるをえない状況に至ることもあります。そのため、空転の防止策として、古くから車輪とレール間に意図的に砂を介在させる“砂まき”が行われてきました。ここでは、そうした砂まきを行うための装置について述べたいと思います。

## 砂まき装置の変遷

鉄道車両に世界で最初に砂まき装置が搭載されたのは、1830年代頃であったといわれています。アメリカ・ペンシルバニアでは、当時大量発生したバツタにより空転した際、当初は機関車にブラシを取り付けたが効果が得られず、次いで乾いた砂をレールにまく

方法が考えだされ、解決されたと伝えられています<sup>1)</sup>。

国内では、1872年の新橋～横浜間の鉄道開通にともない、後に150形とよばれる蒸気機関車がイギリスから輸入されましたが、この車両にはすでに重力落下式の砂まき装置が搭載されていました(図1)。車両に空気源がない当時は、図面からわかるように、運転

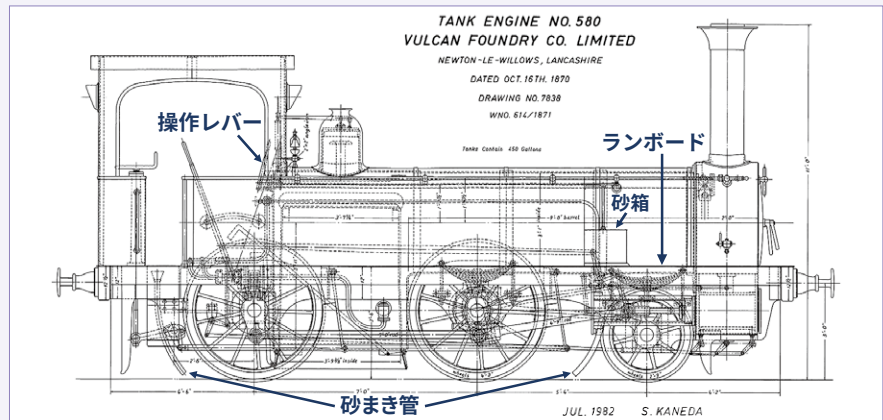


図1 Vulcan Foundry製 1B-n2t, No. 1

出典：日本最初の機関車群(金田茂裕氏著、機関車史研究会発行、1990)に追記

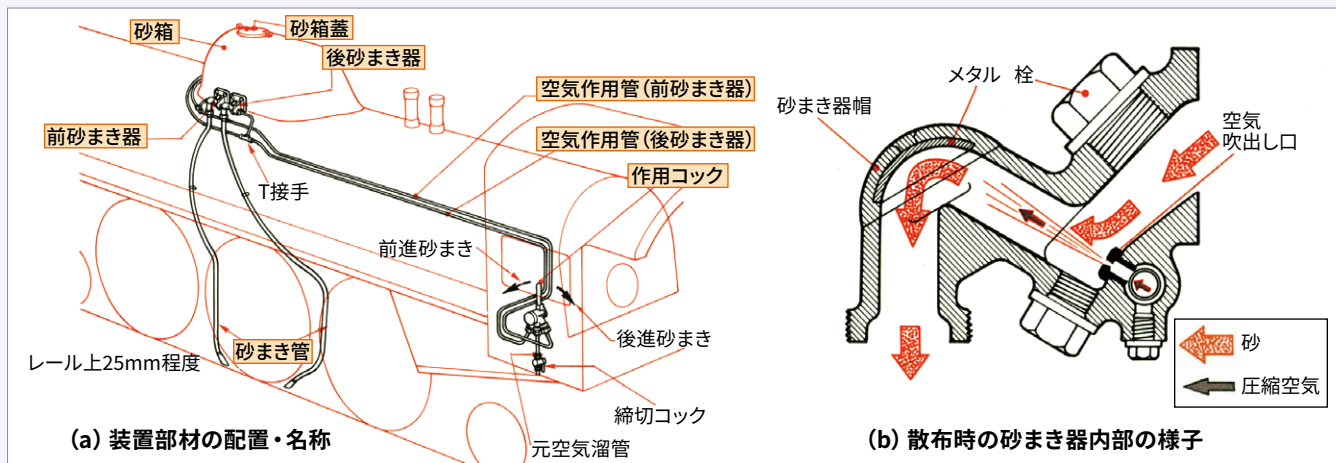


図2 空気式砂まき装置の概要

出典：蒸気機関車メカニズム図鑑(細川武志氏著、グランプリ出版発行、1998)に追記



図3 D51形蒸気機関車のボイラー胴上の砂箱(サンドーム)、蒸気だめと一体化しており、先頭側が砂箱  
提供：後藤匠氏

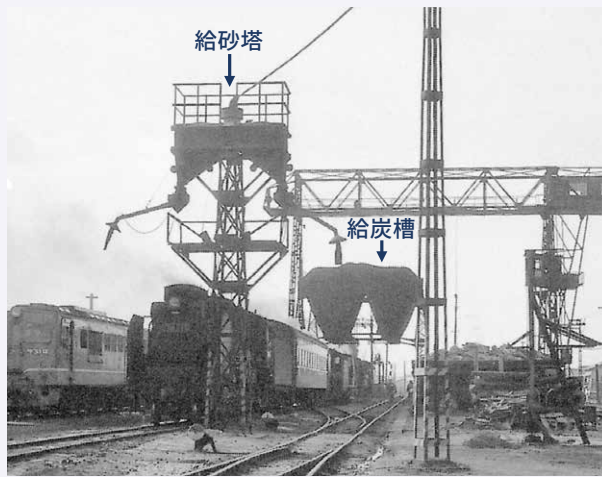


図4 和歌山機関区の2線独立有槽給砂塔と240t給炭槽  
出典：蒸気機関車EX Vol.08 (楠本茂貴氏撮影，イカロス出版発行，2012)に追記

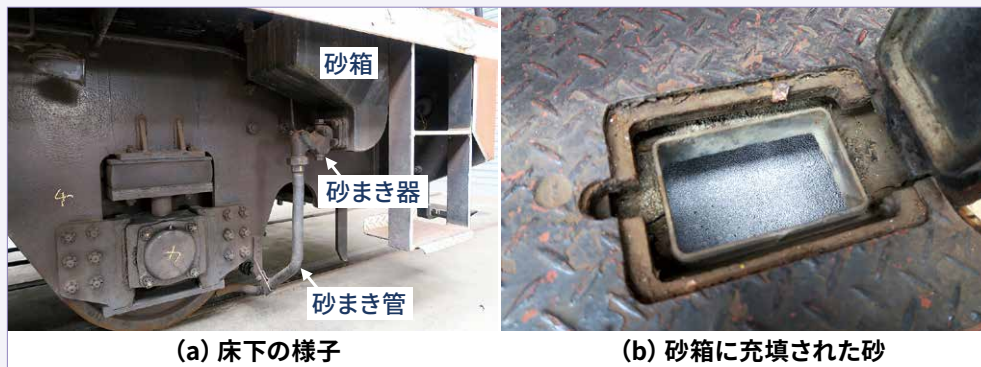


図5 DB10形入換動車の砂まき器

台の操作レバーを動作し、リンク機構により砂箱の弁を開き、重力で車輪・レール間に供給する機構でした。なお、後部の砂まき管は、火夫(機関助手)がスコップなどにより砂を注いで使用したそうです。

20世紀初頭からは、(蒸気式の砂まき装置を経て)空気ブレーキの採用にともない、走行風に抗って車輪とレールの間に砂を散布する空気式の砂まき装置へと移行し、以降の標準的な方式となりました。空気式砂まき装置は、運転台のcockを操作することで、空気を管を経て砂まき器内に入った空気が吹き出し口から噴出し、砂まき器内にたまっている砂を吹き出す機構です(図2)。

初期のイギリス製の蒸気機関車では、図1のようにランボード上に砂箱が配置されていました。しかし、砂は湿気により詰まりやすくなることから、蒸

気機関車のボイラーの熱を利用して砂を乾燥させることを意図して、ボイラー胴の上に砂箱(サンドーム)が配置されるようになりました(図3)。砂箱の容積は250~650リットルで、大型の蒸気機関車には650リットルのものが取り付けられました<sup>2)</sup>。ボイラー胴の上に配置された理由は、砂の乾燥のほかに、高所におくことで弁を開いたときに砂の落下が容易となること、1個の砂箱で左右の動輪に砂まきできるということがありました<sup>2)</sup>。

蒸気機関車の砂まきの量は、cockの微妙な操作により加減しますが、1分間に2リットル、1秒に30ミリリットル強が適量とされています<sup>2)</sup>。過度の砂まきは、後続の客車への抵抗となること、水と混合して泥状になり逆にすべりやすくなること、また、砂の消費を早くし、場合によっては走行中のタンクを空にしてしまうことなどが懸

念されます。そのため、空転を防止しつつ適量の砂をまくことが機関士のテクニックの一つとされていました。なお、蒸気機関車の保守基地には、給炭設備などと並んで、砂を供給するための給砂塔(図4)とよばれる設備が備えられていました。また、砂を乾燥させるための砂焼き小屋も併設されていました。

空気式の砂まき装置は、ディーゼル機関車、電気機関車などへと引き継がれ、現在でも使用されています(図5)。電気機関車の砂箱は動輪軸ごとに取り付けられ、1個の容量は25リットル、噴射量は1分間に0.7リットル程度です<sup>2)</sup>。電気機関車の場合、電磁弁により、空気流動を制御するものも登場しました。運転台にある足踏みスイッチを踏めば、電磁弁が動作し、元蒸気だめから圧縮空気が砂まき器に送られ、車輪とレールの間に撒砂される機構

(図6)<sup>2)</sup>です。ディーゼル機関車、電気機関車では、砂箱は台車に設置され、湿気により散布不具合の問題を生じることがあったため、保守基地によっては噴射口に水切り板を追加するなどの工夫が加えられることもありました。

## セラジェットの登場

砂まき装置で使用される砂の大きさは数mm程度が一般的で、材質に関しては、国内では昔から天然砂、とくに川砂が多く使用されてきました。川砂が選ばれた理由としては、海砂の場合には塩分が含まれるため軌道部材の腐食を誘発する、川の水で洗われた砂は粘土質が少なく粉泥化しにくいからです。一方、1980年代頃から砂に代

わる新たな材料が検討されはじめました。ベンチ試験や現車試験が行われたところ、材料の硬さが増すと粘着力が増加する、また、従来の砂よりも粒径が小さくなくても、効果に大きな差が生じないといった結果になりました。これは、供給された砂が、車輪・レール間で粉碎され微粒子となった状態で、車輪とレールの両面に食い込むとともに、表面に適度な粗さを付与することで粘着力を高めるためと考えられました。そのため、1990年代中頃から天然砂よりも小粒(粒径0.3mm程度)で硬質のアルミナ粒子(図7)が使用されると同時に、こうした小径のセラミック粒子を噴射するための専用装置として「セラミック噴射装置(セラジェット)」が搭載されるようになってきま

した(図8、図9)。この装置は鉄道工場で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できます。タンク容量は0.5~2.5リットル、噴射量は1分間に0.03リットル(60グラム)程度と、古くからの砂まきと比べて桁違いに少ないことがわかります。なお、アルミナを従来の砂箱に詰めて使用することは、ランニングコストの面から現実的でなく、また、車輪およびレールの摩耗が懸念されることから、実用には至っていません<sup>3)</sup>。

セラジェットは噴射速度が速く高速走行時にも確実に散布できることが認められ、952形・953形高速試験用新幹線電車(STAR21)での速度向上に寄与するとともに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

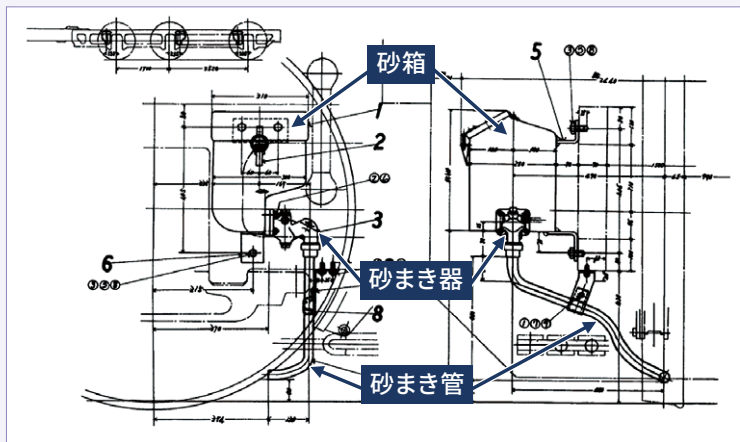


図6 EF58形電気機関車の砂箱・砂まき器および砂まき管  
出典：鉄道辞典 上巻(日本国有鉄道, 1958)に追記



図7 砂まき器用の天然砂とセラジェット用のアルミナの比較



図8 セラジェット外観  
提供：テス

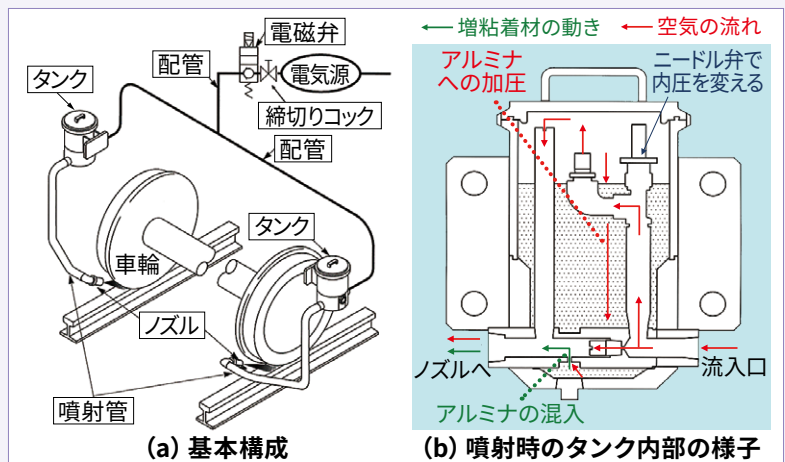


図9 セラジェットの概要

500系以降の新幹線車両に順次導入されていきました。また、制動時の滑走対策だけでなく、力行時の空転防止にも有効であることから、在来線でも広く導入されました<sup>3)</sup>。さらに2000年代に入り、低速起動時にも対応するため、噴射速度が低速から高速まで幅広いレンジで調整可能なミュージェットも新たに開発されました。ミュージェットは噴射に必要な空気流量がセラジェットと比較して少なく、ブレーキ用の空気源をもたない、エアレスタイプとよばれる超低床式路面電車にも搭載可能であるという特徴もあります。セラジェットやミュージェットは、古くからの砂まき装置と比較して増粘着材料の使用量が大幅に少ないという特徴から、砂まきにおけるさまざまな懸案事項（先に述べた問題のほか、短絡障害、道床の目詰まり、分岐器の不転換やレール面の損傷など）を抑制できるといった二次的なメリットがあります。また、噴射指令から停止までの応答性が良好であることから、現在では、空転検知と連動した自動噴射システムも実用化されています。

## 海外の砂まき技術

海外では国内以上に低粘着条件における空転やそれともなう列車遅延が問題となっており、さまざまな対策が講じられてきました<sup>4)</sup>。特徴的な対策の一つとして、旧イギリス国鉄で開発されたゲル状（砂をゲルに分散させた増粘着材）の増粘着材があげられます。1970年代頃の開発当初は、効果の持続性が少なく意図とは反対に粘着状態を悪化させてしまう場合もありましたが、ゲル基材の工夫などにより性能が向上し、結果としてサンダイト（**図10**）とよばれる増粘着材がヨーロッパやアメリカなどで広く普及しま



図10 レール上に散布されるサンダイト

出典：Metropolitan Transportation Authority of the State of New York from United States of America, CC BY 2.0, via Wikimedia Commons

した。サンダイトは空転や滑走の予防措置として、専用列車によりレールに付着した落ち葉などのよごれを除去した後にレール上に散布されています。レール頭頂面には砂を主成分とする絶縁性の皮膜が形成され、短絡性能の障害が懸念されるため、金属粒子が含まれています。そのほか、同様のゲル状増粘着材を地上からレール上に塗布する装置も開発されています。

また、近年では、速度に応じて噴射量を増減させる砂まき機構が開発されています。1分間に数キログラム程度など多量の砂を噴射する場合、絶縁材である砂の介在により車輪・レール間の電気抵抗が増大し、信号システムに不具合（不短絡）が生じる場合があります。不短絡事象は、単位レール長さ当たりの砂の噴射密度が高い低速走行時に発生しやすくなるため、低速走行時には噴射量を少なくし、高速走行時には噴射量を多くできる機構となっています。

## 砂まき装置の行く末

砂まき装置に関する技術は、鉄道黎明期から延々と続く一見目立たない地味な技術です。しかしながら、国内外において日々の定時運行に欠かせない存在であると同時に、新幹線の速度向上に寄与するなど、車輪・レールの

伝達力を底上げし、新たな局面を導く技術でもあります。一方で、ここでは車輪とレールの空転を防止するための手法として、砂まきに特化して述べてきましたが、接触部の表面の状態を制御するという点では、ブレーキ用に装備されている踏面制輪子によって車輪踏面の粗さを生成することで粘着を改善する手法も広く用いられており、増粘着を考慮した制輪子の開発もさかんに行われています。また、もっぱら粘着向上のために車輪踏面を清掃し、軽く研磨する増粘着研磨子は1970年代から新幹線の全車両で使用されています。今後は周辺技術の進歩とともにトータルで増粘着をはかる手法として、鉄道システム全体の中での最適化が進んでいくかもしれません。

（深貝晋也／材料技術研究部  
摩擦材料研究室）

## 文献

- 1) クリスティアン・ウォルツマー（安原和見、須川綾子 訳）：世界鉄道史 血と鉄と金の世界変革，河出書房新社，2012
- 2) 日本国有鉄道 編：鉄道辞典 上巻，1958
- 3) 大野薫：増粘着材噴射装置（セラジェット）－その2－，RRR，Vol.63，No.2，pp. 34-35，2006
- 4) Rail Delivery Group：Managing Low Adhesion (AWG Manual, Sixth Edition)，<https://www.raildeliverygroup.com/about-us/publications/121-2018-01-managing-low-adhesion-ed6-0/file.html>（入手日：2021/03/09）