



春
2024

クローズアップ ① 家族旅行

研究&開発 ② 旅客車用シリコン緩衝器の開発

研究&開発 ④ 走行風を利用した車両の着雪対策

解説 ⑥ 車輪の空転防止装置（上）



家族旅行

公益財団法人鉄道総合技術研究所
理事 山崎 輝



平素より、私の担当する鉄道技術推進センター及び鉄道国際規格センターの活動について、関係の皆さまに多大なご協力を頂いておりますことに、この場を借りて心より御礼申し上げます。ここでは、先の年末年始に家族でシンガポール旅行したことを紹介します。昨年、設計事務所に長女が就職し、家族の揃う旅行もおそらく最後であろうとの思いと、ランドマーク的存在のマリーナベイ・サンズの展望デッキからシンガポール海峡を望み多数の貨物船などを見て、経済発展の勢いを感じて欲しいとの思いで、計画しました。

私自身は、およそ10年前に仕事で何度か訪問したこともあって地理が少しわかることもあり、空港到着後、主要な観光施設やフードコートを順調に回ることができました。しかし、三泊四日の旅行も終盤に差し掛かると落ち着かなくなってしまう、二日目の夜、「明日の行動は二つのグループに分けて、お父さんとA子（長女の名前）はユニークなデザインの建築物を見て回るので、お母さんはB子（二女の名前）とショッピングモールを楽しんだらどうだろうか」と提案し、了解を得て三日目に入りました。

朝から地下鉄一日券を購入し、東西線で西に向かう。都市中心部から郊外に出ると高架区間が続き、周辺にデザイン性を追求した集合住宅や商業施設が増えてくる。事前に調べた郊外の未来都市にある建物を見て回り、新駅建設現場を眼下に見ながら西に進むと、徐々に左右に工場が増えてくる。この辺りは、その昔、馬星高速鉄道プロジェクトのF/S調査に携わった際に訪問した場所で、造成直後の空き地の多かった工場団地に、情報技術、精密機器の海外メーカーの工場が立ち並んでいる。10年の年を経れ

ば当然とは言え、海外企業の活力を感じる。その後、都市中心部に戻る車内では年配者に率先して席を譲る姿があちこちで見られ、乗車マナーの良さに気づく。自動運転の採用された複数の地下鉄¹⁾を乗り換え、乗務員室の無い先頭車両に前頭添乗する。完成したばかりの緑豊かな駅で下車すると辺りはすっかり暗くなっている。急かされるようにして、都市中心部のホテルに無事戻った。

ところが、旅は最後まで気が抜けない。最終日は、家族揃って地下鉄で観光することとなり、複数のタッチ決済方式で乗車してみたところ、長女のスマホ決済での出場ができない。「入る時は無事に改札機を通れたのに…」とやや涙声になっている。近くの事務所に事情を説明し、最終的には、手元にあった地下鉄一日券（注：有効期間は昨日のみ）にチャージした上で入場記録を入れてもらい無事に出場できた。借用したWifiルーターの通信容量不足が原因と思われ、儉約しすぎたと反省しながらも最終日の観光を楽しんで、帰国の途に就いた。

思い起こすと概して、シンガポールの街は何処も賑やかだったと思います。家族も色々感じたところがあって、土産話に花が咲いているようです。[NL]

参考文献

1) 一般社団法人日本地下鉄協会編：「完全版 世界の地下鉄」、ぎょうせい、2020



図1 マリーナベイ・サンズ展望デッキからの眺望



研究&開発

旅客車用 シリコン緩衝器の開発

車両技術研究部 車両運動
上席研究員 中橋 順一

1 はじめに

鉄道では複数の車両を「連結器」（図1）と呼ばれる装置で連結して走行しています。この連結器は単純に車両同士をつなぐだけでなく、隣接する車両の間隔を適切に保つことや、列車の加減速で生じる牽引力や制動力を伝達する働きがあります。これらの連結器に作用する力は、総称して「自連力」と呼ばれています。走行中に生じる衝撃的な自連力を緩和するため、連結器は「緩衝器」（図2）と呼ばれるばねを介して車体に取り付けられています。緩衝器は車両に作用するエネルギーを吸収して自連力を抑制する役割があります。

最近の旅客車は、力行や制動時の制御手法の発達に伴い、通常走行時の車体間の自連力や前後振動が貨物列車とくらべて小さいことから、緩衝器の発生力やエネルギー吸収量が抑えられています。しかし、救援運転などの異常時には、過大な自連力により車体が大きく変位する列車座屈を回避するために大きなエネルギー吸収量が必要になります。また、一般的な旅客車のゴム緩衝器は、通常走行時の前後乗り心地を考慮して初圧がないダブルアクション型が主流ですが、救援運転などの異常時における列車座屈

リスクの低減には、緩衝器の吸収エネルギーを増加させるために初圧を付与することが有効です。このように通常時の乗り心地の向上と異常時の列車座屈リスクの低減で求められる緩衝器特性は相反しており、これらを両立できる緩衝器の開発が望まれています。そこで本研究では、現行のゴム緩衝器と取り付け互換性を有しつつ、列車座屈リスクの低減と編成内前後動に対する乗り心地向上を両立する新たな旅客車用シリコン緩衝器について検討した結果について紹介します。

2 旅客車用シリコン緩衝器の開発

シリコン緩衝器の構成を図3に示します。車両間の前後運動状況に応じて適切な減衰力を得るために緩衝器内にシリコン減衰要素が封入されています。この減衰要素の内部では、緩衝器変位によりピストンが変位することでシリコンが流路断面を流動して減衰力を発生させますが、その大きさはシリンダ内壁形状により変化します。そこで、減衰要素の解析モデルを構築し、過去に様々な内壁形状で実施した減衰要素の加振試験結果を用いた最適化計算によりシリンダ内壁形状を決定しました。さらに、得られた形状を用いて減衰要素を試作し、減衰要素単体およびシリコン緩衝器での強制加振試験を実施しました。加振試験の結果、緩衝器変位が小さい範囲では発生力が小さく抑えられる一方で、緩衝器変位が大きい領域では、変位に対して発生力が漸増することを確認し、吸収エネルギーが向上する特性を実現し



図1 連結器（密着連結器）



図2 ゴム緩衝器（ダブルアクション型）

ました。併せて、これらの試験でシリコン漏れ等の異常はなく、減衰要素や緩衝器の構造に問題がないことも確認しました。

3 旅客車用シリコン緩衝器の適用効果の検討

試作したシリコン緩衝器を実際の車両に適用した場合の効果について確認するために、鉄道総研所有のR291系電車（2両編成）の車両にシリコン緩衝器を取り付けて走行試験を実施しました。試験では2両のうち1両（T車）のブレーキをカットし、もう1両（M車）を制動させて、停止直後に発生する各車両の前後振動を測定しました。図4に試験で得られた車体前後加速度の測定波形例を示します。現行ゴム緩衝器と比較して、シリコン緩衝器の場合にM車、T車ともに前後振動が素早く減衰することを確認しました。また、停止直後から加速度が概ね減衰する5秒間の測定データを用いて前後振動の乗り心地レベルを求めた結果、7ノッチ投入の場合に最大約6.5dB低減しました。

所内試験は2両編成であったため、長大編成での座屈発生リスクの低減効果については、シミュレーションで検討しました。図5にシミュレーションによる最大自連力低減効果を示します。8両編成

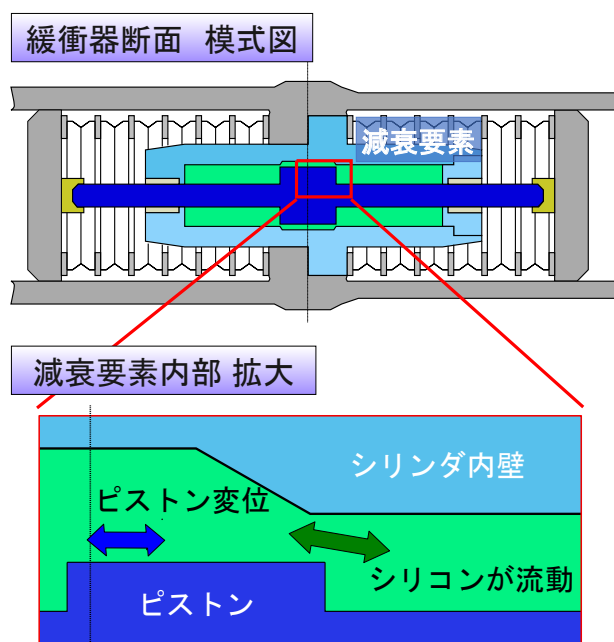


図3 シリコン緩衝器の構成

同士の救援運転を模擬した数値解析の結果、速度10km/hから非常ブレーキ相当の減速度を与えた厳しい条件でも、すべての連結部位で自連力の最大値が低下するとともに、車体が浮き上がって脱線に至る部位がなくなり、空気ばねを排気しない条件での救援運転時の安全性が向上することを確認しました（図5）。このように、現行のゴム緩衝器を開発したシリコン緩衝器に置き換えることで、前後乗り心地向上と列車座屈のリスク低減の効果を得ることが可能となります。

4 おわりに

今回は、前後乗り心地と列車座屈リスク低減を両立する旅客車用シリコン緩衝器について紹介しました。今後は、本緩衝器を試験編成に搭載し、長期使用条件での耐久性などを評価する予定です。最後になりますが、シリコン緩衝器の製作および加振試験において多大なるご協力をいただいた株式会社日本製鋼所の関係者に厚くお礼申し上げます。[NL]

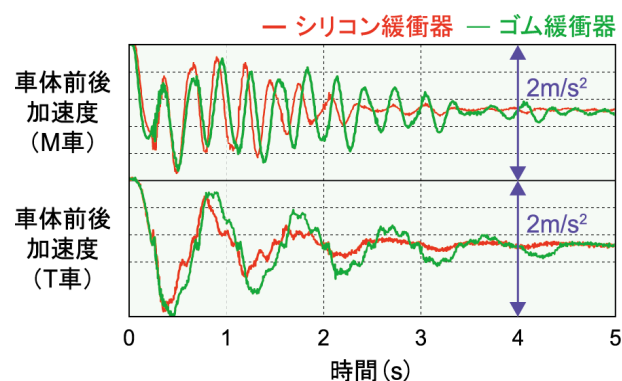


図4 所内試験での車体前後加速度の測定波形例

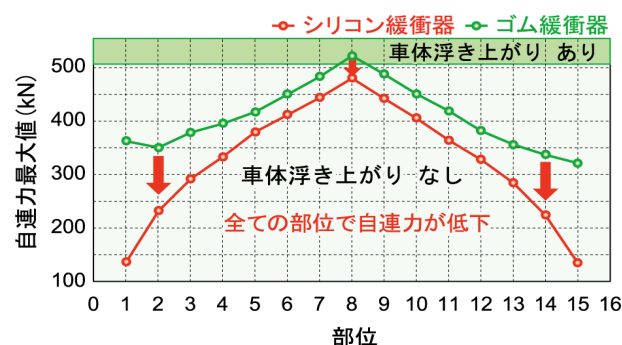


図5 シミュレーションによる最大自連力低減効果



研究&開発

走行風を利用した 車両の着雪対策

環境工学研究部 車両空力特性研究室
上席研究員 高見 創

1 走行風の利用例

鉄道分野で車両系の方が「走行風の利用」と聞いて思い浮かべるのは、客室の換気装置や機器の冷却装置などでしょうか。古くは国電の屋根上に載せられていたグローブ型のベンチレーターが身近ですが、近年では在来線や一部の新幹線で主変換装置の冷却にブロワレスの走行風自冷式が採用されています。

走行風のエネルギーは走行速度の2乗に比例して大きくなるため、速度が高い新幹線では他にもいろいろと利用できそうです。しかし、意外にも上記以外の利用例が見られないのは、その高速性ゆえに給排気口での空力音の発生が懸念されるからです。このため、新幹線で走行風を利用するためには、「空力音を抑えながら必要な空気量を取り込む」ことが求められます。

2 走行風を利用した着雪軽減策

走行中の新幹線から振動や温度変化で落ちた雪は、その高速性ゆえに大きなエネルギーをもち、地上設備や車両へ衝突して被害を生じる場合があります。雪国で自動車から飛んでくる「雪爆弾」と同じ危険な現象です。通常は途中駅での雪落とし作業が有効ですが、時間と人手が掛かることに加え、着雪が駅間で急成長する場合は必ずしも十分な対策となりません。このため、本研究では走行風を利用して台車内の着雪を走行中に軽減する手法を検討しました。

具体的な方法を図1に示します。車体側面の高速な空気の流れを低騒音型の給気口（インテーク）で取り

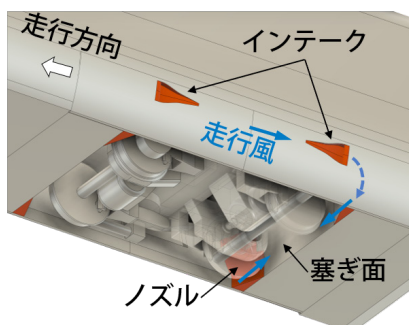


図1 走行風を利用した着雪対策

込み、着雪の多い台車前後の塞ぎ面と平行にノズルで吹き出します。これにより、風の届く範囲では塞ぎ面に沿った雪粒子の速度が速くなって雪は吹き飛びやすくなり、高速走行中は着雪の成長が抑えられます。課題となるのは、「走行風で着雪が軽減できる範囲の拡大」と「空力音の抑制」です。

3 模型走行実験による着雪の検証方法

車両周りの空気の流れを調べるには、通常は風洞装置を用います。しかし、台車部の着雪現象を再現するには、軌道上から舞い上げた雪粒子の運動を再現する必要から、積雪のある軌道上を車輪走行する図2の模型列車走行装置を用いました。この装置をシンプルに言えば『遊園地などにある乗車型のミニSLを高速化した装置』です。一般的なミニSLは、最高速度5 km/hぐらいで歩く速さと同じですが、本装置の最高速度は100 km/hを超えます。軌道にはミニSL用の5インチゲージを使用し、軌間を基準にした新幹線模型の縮尺は1/11です。軌道の長さは380 mありますが、加速、減速を除いた等速の部分に100 m（実寸換算1.1 km）の着雪検証区間を設定しました。

実験には模型の縮尺に合わせた模擬雪として粉末状のクルミ殻を使用し、レール頭頂面の高さまで積雪がある状態としました。ちなみに、模擬雪としては鉱物を熱処理した活性白土と呼ばれる微細な粉末を用いるのがこの分野では一般的ですが、本実験では屋外の使用に適した自然のクルミ殻を使用しました。模型に合わせると密度等が雪に近いので、本物のように舞い上がったり積もったりするのは良いのですが、見た目が茶色で雪には到底見えないのが残念です。

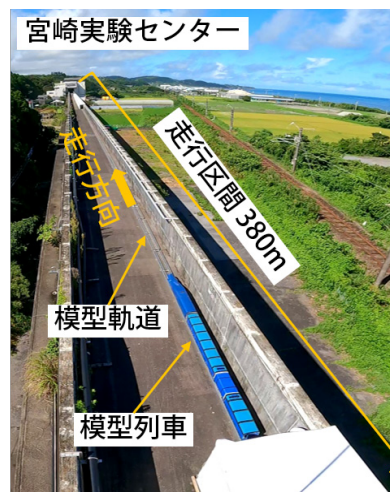


図2 模型列車走行装置

4両編成の模型列車が積雪区間を高速で走行すると、図3のように軌道面から模擬雪が舞い上がり、列車周りの流れに乗って浮遊運動します。台車内に流入した模擬雪は台車下流の塞ぎ面（以下、評価面）に衝突して付着します。この際の付着量は、台車内への雪の流入量と速度ベクトル（雪粒子の速さとその方向）によって変化します。

したがって、走行後に評価面への付着量を画像解析と3Dスキャンで計測すれば、対策効果を定量的に判断することができます。なお、自然雪と比較して乾燥した模擬雪の付着力は大幅に小さいため、実験では評価面にぬらした布を貼り、自然雪と近い付着力に調整しています。

4 実験による検証結果

図4に、台車下流の評価面における模擬雪の付着状態を示します。この図は、評価面の正面画像をモノクロ2階調に変換したもので、白色が雪の付着を示します。雪がほぼ正面から衝突する評価面の下辺付近（図のA）では付着が生じやすく、ノズルからの風も届きにくいため本対策を行っても効果を得ることはできません。しかし、台車内の流れのよどみによって付着が生じやすい隅部から車輪の下流付近（図のB）にかけては、インテークから導入した走行風によって付着が大幅に



図3 模擬積雪軌道上の走行

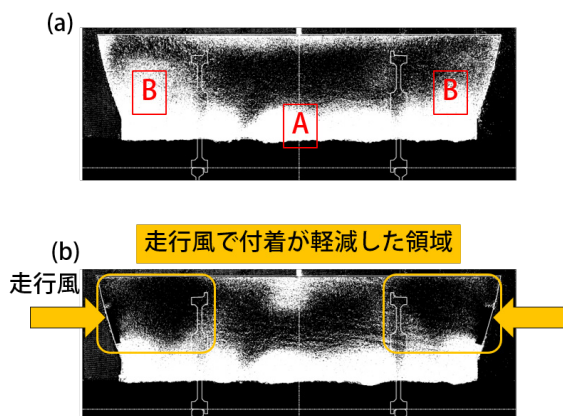


図4 着雪対策の効果検証 (a) 対策なし (b) 対策あり

軽減されています。

また、対策をしないで走行を繰り返すと付着の範囲と付着量は次第に増えていきますが、ここで示した領域には常に走行風が当たるため、付着はこれ以上成長しません。すなわち、実車において積雪区間の走行距離が長くなると、対策効果は高くなると考えられます。

5 空力音の影響評価

着雪対策としての給排気口が沿線騒音に与える影響を調べるため、大型低騒音風洞で模型車両から生じる空力音を計測しました。実験の様子を図5に示します。走行風を取り込むインテークは台車側面の台車カバーに設け、台車の前後および左右へ対称に配置します。ここで、走行方向と逆向きのインテークに給気の作用はありませんが、空力音への影響を調べるため両方向に設置しています。

実験の結果、インテークの形状が不適当な場合は大きな空力音を生じますが、本研究で採用した低騒音型インテークは最小限の空力音に抑えられることが分かりました。実際に、着雪対策用インテークを試験的に現車へ設置して計測した例では、一般的な防音壁がある区間で沿線騒音への影響は認められませんでした。

6 おわりに

高速車両の走行風を利用して着雪を軽減する対策例を示しました。対策の効果はここで示した模型走行実験で確認できているほか、雪粒子の運動をモデル化した着雪シミュレーションや実雪を用いた降雪風洞実験でも確認されています。しかし、効果の判断には気象条件や車両の運用条件によってさまざまな着雪状態を示す実車での確認が不可欠です。このため、事業者の協力を得て現車での冬季検証を進めるとともに、形状等のさらなる改良を進めています。[NL]

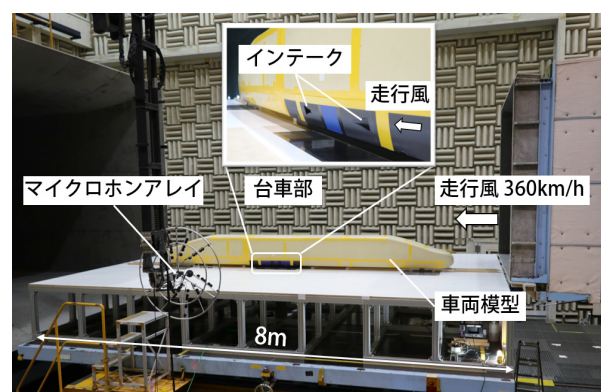


図5 風洞実験の様子



解説

車輪の空転防止装置(上)

材料技術研究部 摩擦材料
主任研究員 深貝 晋也

1 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の走行時などに車輪とレールの間の摩擦力（鉄道では、粘着力と呼びます）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の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。

2 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、大量発生したバッ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¹⁾。

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

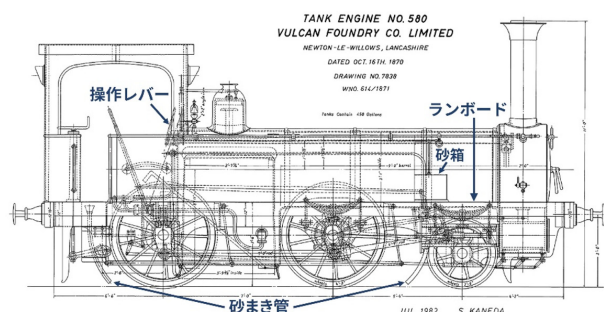


図1 Vulcan Foundry 製 1B-n2t, No.1

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

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、運転台の操縦棒を動作し、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、運転台のコックを操作することで、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リットルのものを取り付けられました²⁾。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

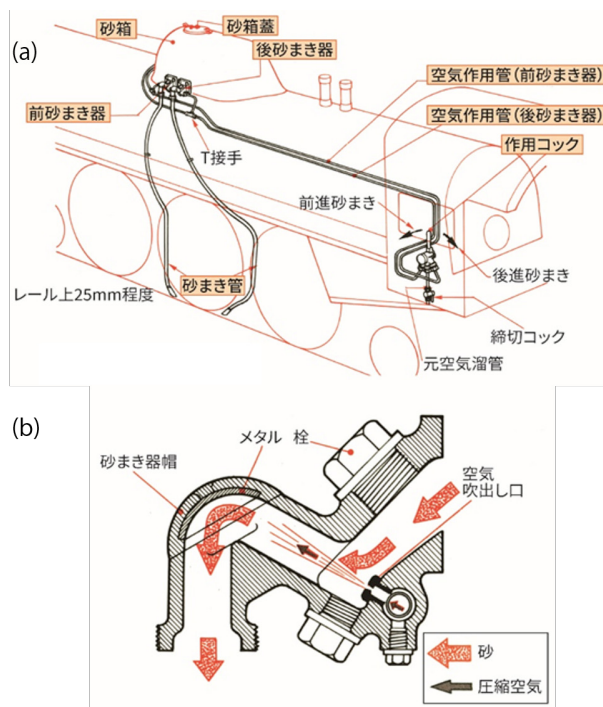


図2 空気式砂まき装置の概要

(a) 装置部材の配置・名称 (b) 散布時の砂まき器内部の様子
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

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²⁾。

蒸気機関車の砂まきの量は、コック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秒間に30ミリリットル強が適量とされています²⁾。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²⁾。電気機関車の場合は、電磁弁により、



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

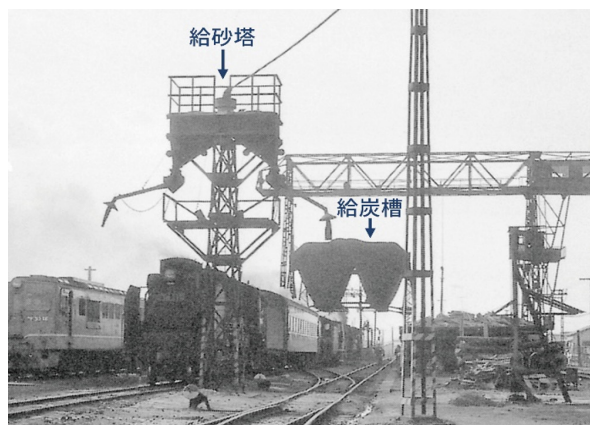


図4 和歌山機関区の2線独立有槽給砂塔と240t給炭槽
出典: 蒸気機関車 EX Vol. 08 (楠本茂貴氏撮影, イカロス出版発行, 2012) に追記

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むことで電磁弁が動作し、元空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(さんしゃ)される機構(図6)²⁾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。(つづく)

[NL]

注) 本稿は「RRR Vol.78 4月号」(2021.4 発行)より、「鉄道技術来し方行く末」の内容を一部編集したものです。

参考文献

- 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, 2012
- 2) 日本国有鉄道 編: 鉄道辞典 上巻, 1958

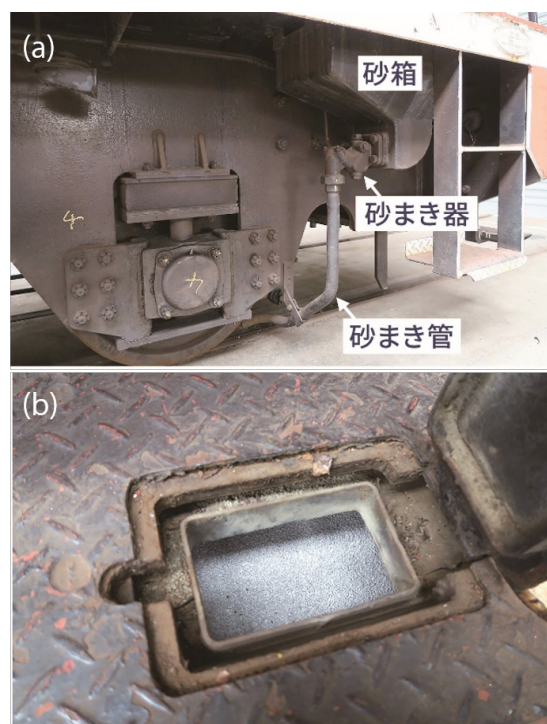


図5 DB10形入換動車の砂まき器
(a) 床下の様子 (b) 砂箱に充填された砂

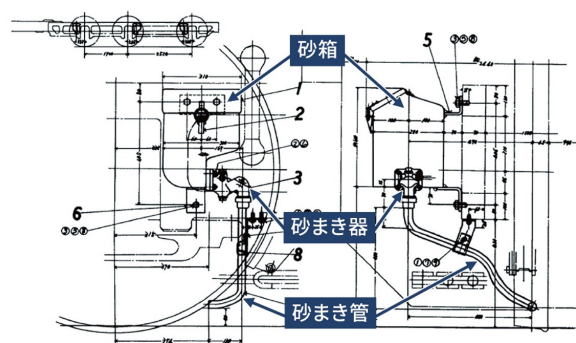


図6 EF58形電気機関車の砂箱・砂まき器および砂まき管
出典: 鉄道辞典 上巻 (日本国有鉄道, 1958) に追記

車両ニュースレターは季刊（1，4，7，10月発行）です。
次の2024年夏号は，2024年7月25日に発行します。

車両技術研究部／材料技術研究部／鉄道力学研究部

鉄道総研 車両**ニュースレター**

● 2024年春号 No.66	● 発行日 2024年（令和6年）4月25日（木）
● 発行所  公益財団法人鉄道総合技術研究所 車両技術研究部	
〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 TEL) 042-573-7269	
鉄道総研 URL) https://www.rtri.or.jp 鉄道総研 検索	
● 発行者 石毛 真	
● 編集者 風戸 昭人・渡邊 有人・横田 耕伸・小笠原 柚	©Railway Technical Research Institute