雪の舞い上がりと鉄道車両への着雪を数値計算で探る



室谷　浩平
Kohei Murotani
鉄道力学研究部
計算力学研究室
特別研究員

はじめに

鉄道では，冬季になると雪によるトラブルが発生しやすく，安全運行や定時運行に大きな影響を与えます。主な問題としては，架線から十分に電力を取得できなくなる障害や，分岐器が作動しなくなる現象が挙げられます。また，車両に付着した雪のかたまり（以下，「着雪」と呼びます）が落下し，設備を損傷することもあります。なかでも，車両からの着雪落下は影響が大きく，その低減が重要な課題となっています。

これまでの対策として，地上側ではスプリンクラーによる散水や人手による除雪，車両側では着雪しにくい形状の工夫などが行われてきました。しかし，雪がどのように舞い上がり，車両へ付着するかについては，十分に解明されていません。特に降雪量の多い地域で列車が高速走行すると，車両高さを超えるほど雪が舞い上がり，多くの雪が車両に付着することが知られ

図1　雪を舞い上げながら走行する新幹線



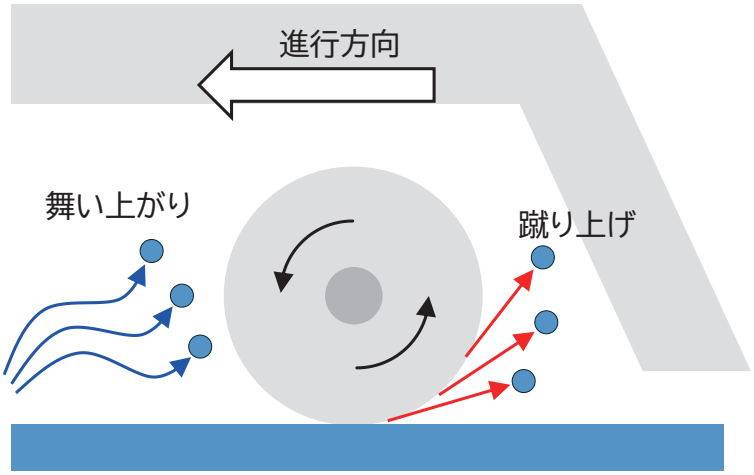


図2　雪が浮上する2つの要因

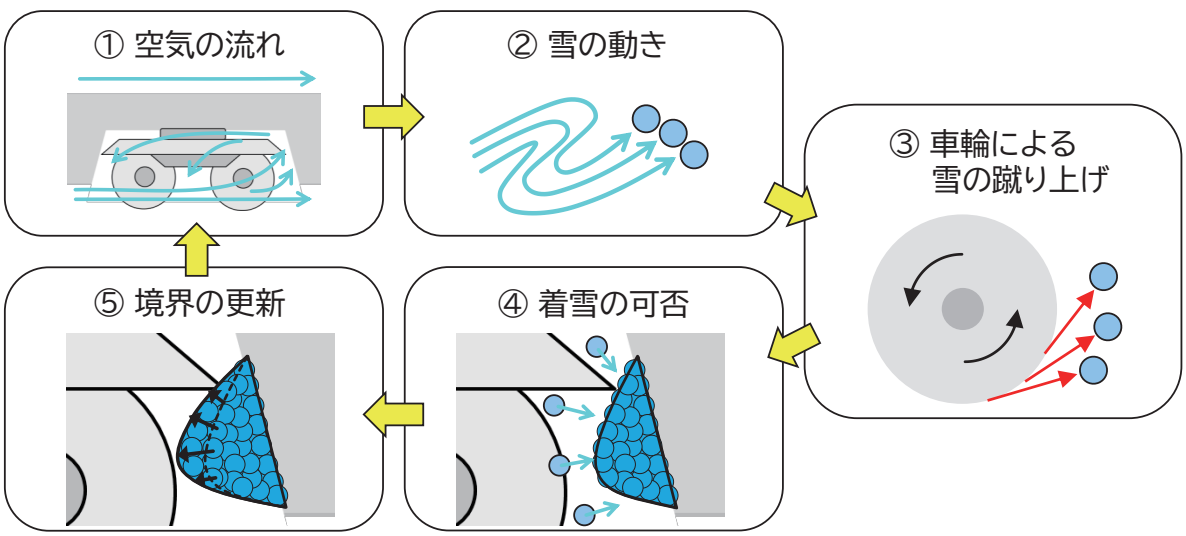


図3　着雪シミュレーションの流れ

ています（図1）。一方，散水により雪を湿らせると舞い上がりは抑制され，着雪量は大きく減少します。ただし，舞い上がりが小さい場合でも，車輪に雪が踏まれ蹴り上げられることによって雪が付着することがあります[1)]。

本研究では，雪が舞い上がりやすい場合と舞い上がりにくい場合を対象に，雪の挙動と車両への着雪の違いをシミュレーションにより明らかにします。

着雪シミュレーションの概要

本研究で用いる「着雪シミュレーション[2)]」では，雪の移動と着雪の過程を数値計算によって再現します。

列車走行時に雪が浮上する主な要因には，2つの現象があります（図2）。1つは列車風によって雪が巻き上げられる「舞い上がり」，もう1つは車輪によって雪が後方へ飛ばされる「蹴り上げ」です。このシミュレーションでは，「舞い上がり」と「蹴り上げ」の両方を再現できます。

このシミュレーションは，主に次の5つの計算から構成されます（図3）。まず，車両周囲の空気の流れを計算します（図3①）。次に，得られた流れ場をもとに雪粒子の移動を求めま

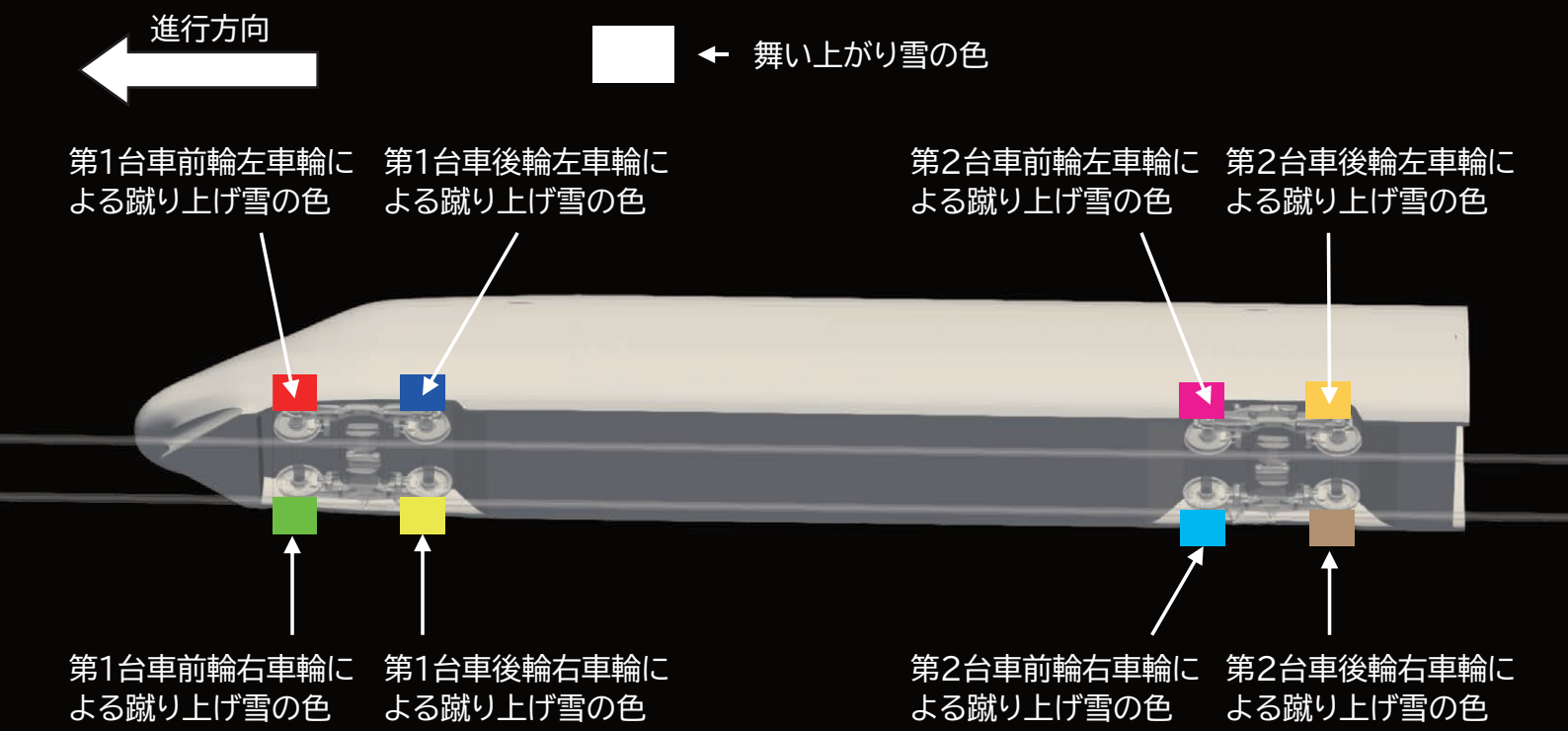


図4　シミュレーションにおける雪の分類と色分け

す（図3②）。移動した雪粒子が車輪に踏まれると，車輪により蹴り上げられます（図3③）。さらに，移動した雪が車両表面に衝突した際に，付着するか，あるいは跳ね返るかを判定します（図3④）。雪が付着した場合には形状が変化するため，その影響を次の計算に反映します（図3⑤）。この一連の計算を繰り返すことで，時間とともに変化する着雪状況を再現します。

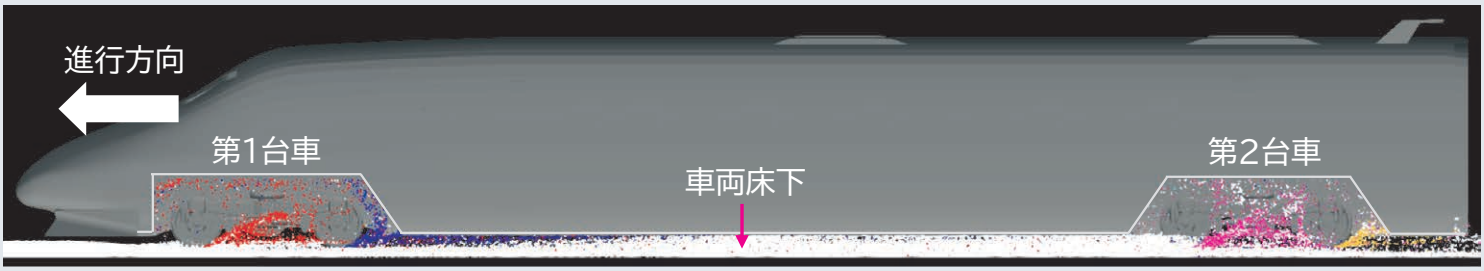
シミュレーションの条件

本研究では，実車と同一スケールでシミュレーションを実施しました。レール上に約10cmの積雪がある条件で，車両1両が時速260kmで走行し，着雪が十分に成長する時間まで解析しました。気温は0℃とし，新幹線を参考にした一般的な車両形状を用いました（図4）。

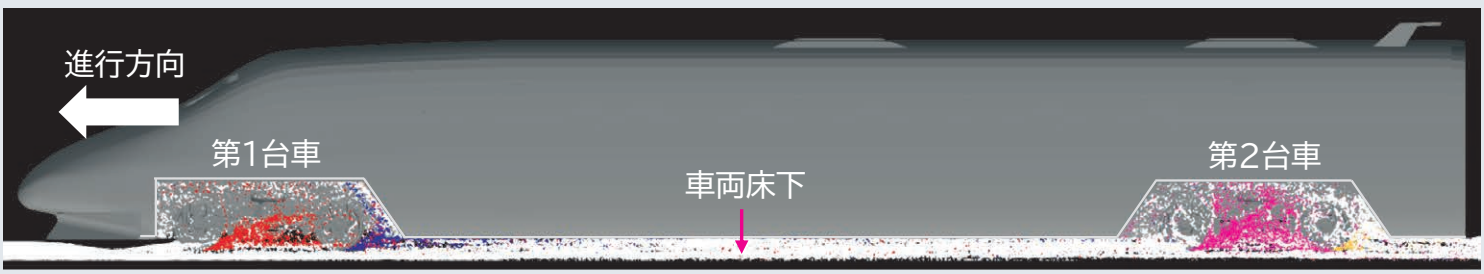
ここでは，性質の異なる2種類の雪を比較しました。1つは，スプリンクラーで散水した後のように重くまとまりやすく，舞い上がりにくい雪（Case A）です。もう1つは，新雪のように軽く，舞い上がりやすい雪（Case B）です。ただし，車輪により圧縮された雪は，いずれの場合も同一の性質として扱っています。これにより，雪の性質の違いが雪の挙動と着雪の分布に与える影響を評価します。

雪の挙動と着雪の分布の違い

シミュレーション結果として，雪の挙動を図5および図6に，着雪の分布を図7および図8に示します。これらの図では，車輪によって踏み固められた後に飛散する雪を「蹴り上げ雪」



(a) Case A



(b) Case B

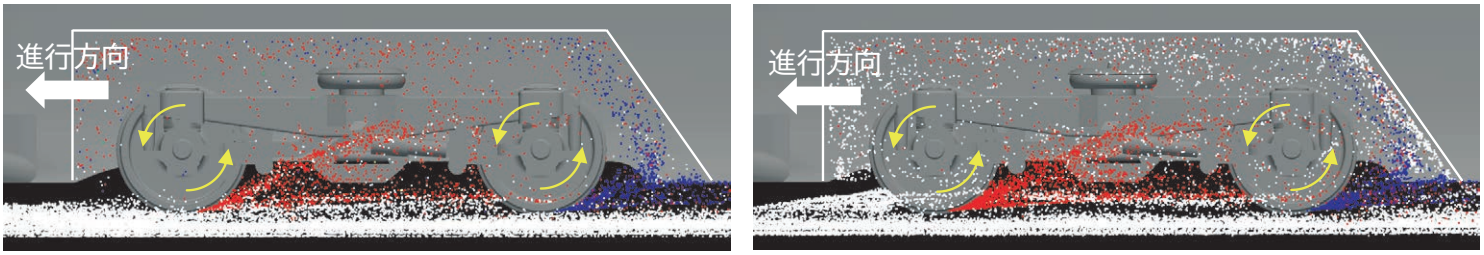
図5　車両側面から見た雪の挙動（舞い上がり雪と蹴り上げ雪）

と定義し，8つの車輪（第1・第2台車の前後軸，左右の各車輪）による蹴り上げ雪を，図4に示すとおり色分けしています。また，車輪に踏まれることなく走行風により舞い上がった雪を「舞い上がり雪」と定義し，白色で表しています。これらの結果より，雪の性質によってその挙動と着雪の様子が大きく異なることが分かりました。

まず，車両側面から見た雪の挙動（図5）では，舞い上がり雪は全体として車両床下付近に多く存在しました。台車まわりの空間では，Case Aでは舞い上がりが小さいため，雪の流入は限定的でした（図6(a1)）。一方，Case Bでは雪が容易に舞い上がるため，台車まわりへの雪の流入が増加しました（図6(b1)）。また，第1台車よりも第2台車の方が多くの雪が入り込む傾向が確認されました（図6(a2)と(b2)）。

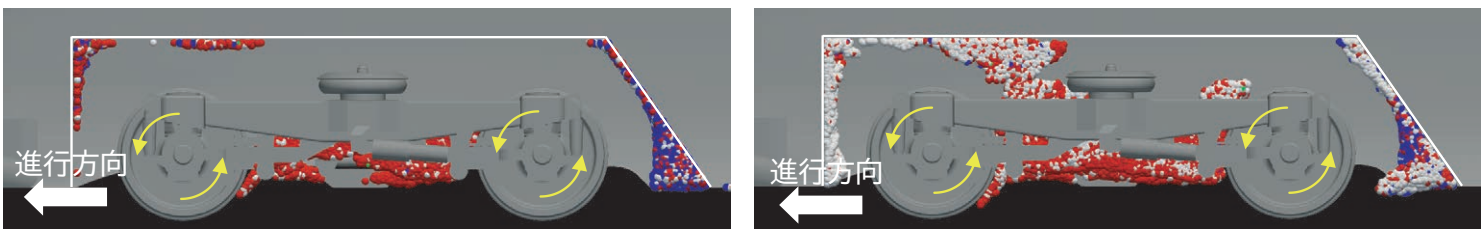
次に，車輪による蹴り上げ雪については，両ケースに共通した特徴が見られました。雪は車輪直後で扇状に広がり（図6），その近傍で着雪量が増加しました（図7，図8）。また，前方の車輪ほど多くの雪を蹴り上げる傾向がありました（図6）。これは，前方車輪の方が多量の雪と接触するためです。さらに，一度蹴り上げられた雪が後方車輪へ移動し，再度飛散する様子も確認されました（図6）。なお，Case Bの方が蹴り上げ雪の量はやや多いものの，その差は小さい結果となりました（図6）。

最後に着雪分布（図8）を見ると，明確な違いが現れました。第1台車まわりでは，Case Bの方が着雪量が多く，特に舞い上がり雪による付着が顕著に増加しました（図8(b1)）。一



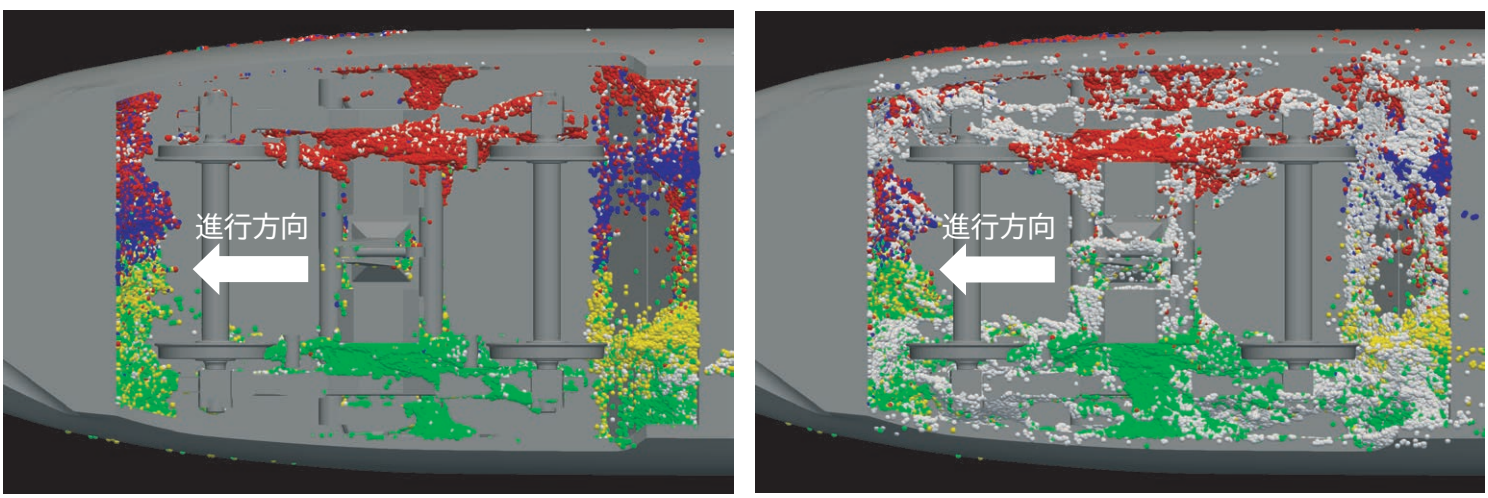
(a1) Case A：第 1 台車　(b1) Case B：第 1 台車

図6　台車周辺を側面から見た雪の挙動（舞い上がり雪と蹴り上げ雪）



(a1) Case A：第 1 台車　(b1) Case B：第 1 台車

図7　台車周辺を側面から見た着雪分布



(a1) Case A：第 1 台車　(b1) Case B：第 1 台車

図8　台車下面から見た着雪分布

方，Case Aでは，全体の着雪量は少ないものの，蹴り上げ雪による寄与の割合が高くなりました（図8(a1)）。この傾向は第2台車でも同様であり，さらに第1台車よりも着雪量が増加し，主に舞い上がり雪の影響が大きいことが分かりました（図8(a2)と(b2)）。

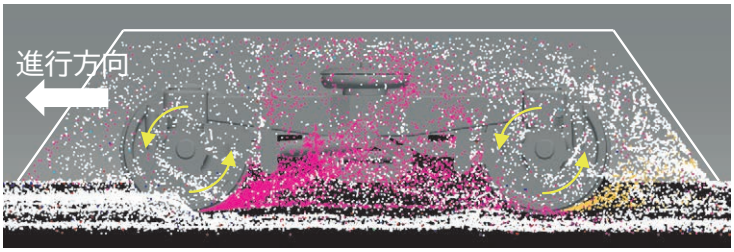
以上より，雪の舞い上がりやすさが車両への着雪量を大きく左右することが明らかになりました。

おわりに

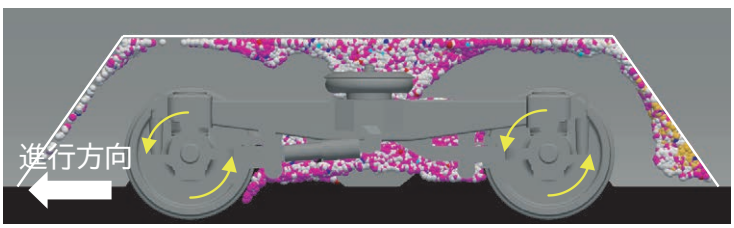
本研究では，実車スケールでシミュレーションを行い，雪の性質が雪の挙動および車両への着雪に与える影響を検討しました。その結果，



(a2) Case A：第 2 台車



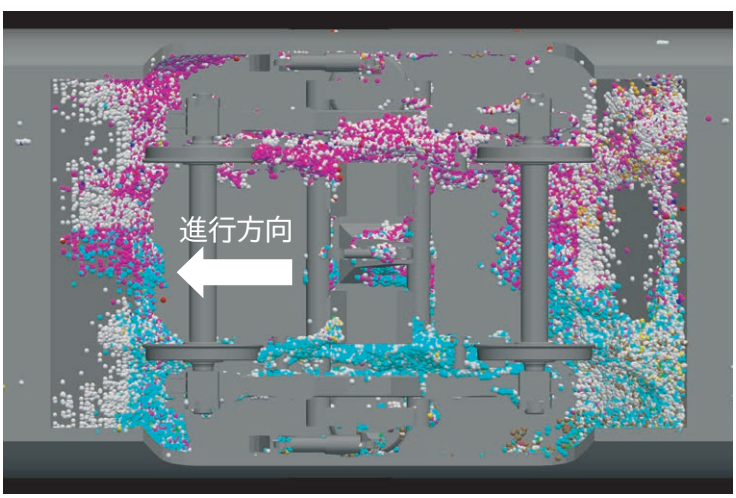
(b2) Case B：第 2 台車



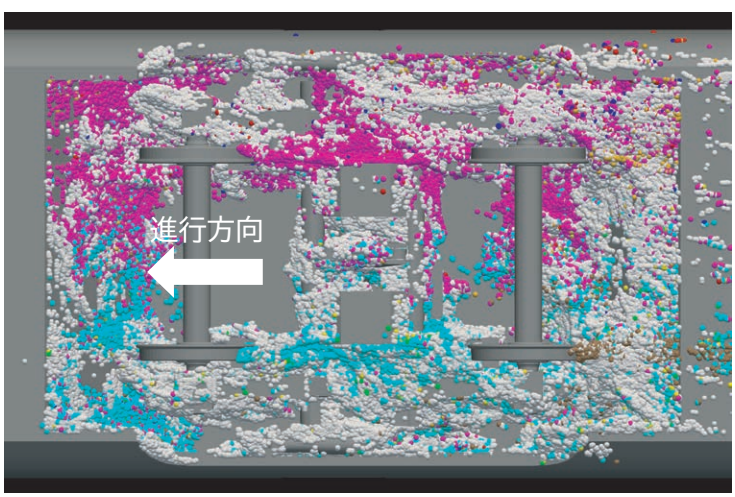
(a2) Case A：第 2 台車



(b2) Case B：第 2 台車



(a2) Case A：第 2 台車



(b2) Case B：第 2 台車

舞い上がりやすい雪では台車まわりへの流入が増加し，舞い上がり雪による着雪が大きく増えることが分かりました。一方，舞い上がりにくい雪では舞い上がり雪の寄与は小さく，蹴り上げ雪が相対的に多くなることが確認されました。これらの知見は，着雪低減対策の検討や設計に有用な基礎情報になると考えられます。RRR

文　献

1）宇高雄哉，阿久根初，水野慎也，別所哲：車両への着雪状況分析による雪害防止に関する研究，Rolling Stock & Machinery，Vol.26，No.4，pp.38-41，2018
2）室谷浩平，中出孝次，鎌田慈：鉄道車両に用いる着雪シミュレータの開発（その2），雪氷，Vol.83，No.5，pp.465-487，2021