

豪雪地帯における太陽光パネル発電量増加を目指した滑雪材“SLUG”の開発と実証試験

Development and Field Testing of Anti-Snow Material 'SLUG' for Increasing Solar Panel Power Generation in Heavy Snowfall Areas

浦田千尋*1・佐藤研吾*2

1. はじめに

我が国は四方を海に囲まれ、東西南北に長い弓なりの国土を有しているほか、国土の中心には急峻な山岳地帯があるため、多様な気象条件を有する。特に、国土の約50%は豪雪地帯（人口16%）であるため¹⁾、我が国は雪とは切っても切れない関係にある。例えば、我が国は雪に関するレジャーが盛んであり、沖縄県を除けば、どの地方にもスキー場が存在しており、長くとも23時間の移動にて最寄りのスキー場に行くことができる。一方で、雪に関わる災害も多く、多くの事故が発生しており、雪下ろしに関する痛ましいニュースを毎年耳にする。“雪害”は身近であるものの、気象条件や周囲環境によってその性状は大きくことなることから、対策も異なる。例えば住宅密集地では、家屋から雪を落とさないための対策がなされるのに対し、過疎地では雪を落とす対策がなされる。また、湿り雪と乾き雪では、その着雪性等が大きくことなる。雪害には、地上に存在する雪（例：道路上の雪）由来のもの、地上より高い位置の着雪（屋根、標識、自動車等）に由来するものがあり、本稿では地上より高い位置に着雪した雪に起因する問題について概説するとともに、産総研で開発した滑雪材、自己潤滑性ゲル“SLUG”による実証試験の状況について紹介する。

1.1 着雪による社会被害

電線や標識等のインフラ、航空機や自動車、船舶等の移動体、風力タービンや太陽光パネル等の再生可能エネルギー設備への雪や氷の付着はこれらの構造体の安全性や機能性を著しく低下させる。このため豪雪地帯では、人力や動力、電力等にてこれらの構造体表面から着雪氷を除去し、安全性や機能の健全性が図られている。一方で、除雪作業地域住民の負担になることはもちろんのこと、地方自治体の運

営に大きな負担を強いる。一方、近年気候変動等の影響により、これまで雪害が想定されてなかった地域にて雪害が目立つようになってきた。例えば、2014年の大雪²⁾では、関東地方にて記録的な大雪が発生し、鋼構造建築物の屋根やカーポート等の構造物が多く倒壊・損傷した。この際、積雪後の雨により雪がスポンジのように水を吸い込み、構造物への荷重が増加したことが被害を拡大させた要因と考えられている。また、2018年1月の関東地方において、晴れの日にもかかわらず前日の降雪の影響により太陽光パネル表面の雪が解けず、太陽光発電の稼働率が想定を大幅に下回ったため、電力の不足インバランスが発生した³⁾。このように、着雪により莫大な社会損失が発生するものの、着雪防止を目指した素材（表面材）の開発はあまり盛んではない。この理由として、着雪は気象条件に大きく依存するため実験的な再現が困難なこと、非豪雪地帯の居住者が雪害を社会損失として認識しにくく、国全体の課題として取り上げにくいことが挙げられる。

1.2 太陽光パネルの着雪氷防止策

太陽光パネルへの着雪氷防止策は、機械や熱を利用した能動的な方法と、高傾斜や表面処理を利用する受動的な方法がある（図1）。例えば、機械的方法としては、カナダのSnolar Technologies社が太陽光パネルの除雪専用のトラクターを開発している。この除雪車は最大9 km/時間（3000～4000 kW/時間）の速度で除雪が可能である⁴⁾。また、太陽光パネル内部に電熱線を組み込み、電熱線の発熱を利用して滑雪促進できる太陽光パネルも開発されている⁵⁾。これらの能動的除雪方法は確実な除雪が見込めるものの、大きな初期投資が必要なことに加え、

*1 国立研究開発法人産業技術総合研究所 材料・化学領域 極限機能材料研究部門 光熱制御材料グループ

*2 国立研究開発法人防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター

ランニングコストも大きく、発電所運営の経済性に大きな影響を与える。一方で、高傾斜を利用する方法では、低傾斜の太陽光パネルと比較して、積雪時間を減らすことができる。しかし、設置場所によっては最適傾斜角から外れるため発電量が低下する。さらに、傾斜が高くなるほど前後の太陽光パネルの影の影響を受けやすくなり、自ずとアレイ間の距離が長くなるため、発電所面積あたりの発電量が少なくなる。我々が開発しているコーティングを利用する除雪方法は最適傾斜角にて滑雪頻度を高くする方法であるが、滑雪性の信頼性や、コーティングによる発電量の低下等の課題が残る。いずれの方法も、太陽光パネルから滑雪した雪は太陽光パネル直下の地面に残る。地面の除雪に関しては別の議論が必要になるが、除雪のタイミングを予見できれば発電所の運用が楽にできると考えられる。

2. 表面材を用いた冰雪害対策

雪氷付着抑制効果に優れた表面材の開発には、固体表面の“濡れ性制御”に関する研究者の貢献が大きい。つまり、水を弾いたり、馴染んだりする材料の研究、撥水性や親水性を付与するための表面処理技術を基礎としているといっても過言ではない⁶⁾。本章では、雪氷付着抑制効果に優れた表面材について簡単に解説するとともに、我々が開発した自己潤滑性

滑性ゲル，“SLUG”（自己潤滑性ゲルの英訳，Self-lubricating gel から SLUG と命名）について紹介する^{7,8,9)}。現状、雪氷付着抑制効果を示す共通の指標は確立していない。しかし、基礎研究レベルでは対象表面に付着した氷を剥離するための力、着氷力の値で表面材の性能を判断している。着氷力は、対象表面にて氷を製氷・固着（通常筒上のモールド等を使用して水を凍結させることが多い）させ、固着した氷を剥離するための力を測定する（図2）。着氷力の測定には、遠心力を利用する方法や（図2a）、垂直方向から力を印加する方法（図2b）、水平方向から力を印加する方法（図2c）等が利用されている⁶⁾。着氷力測定は、試験環境を氷点下に行うことができるインキュベーターやペルチェ素子等があればシンプルかつコンパクトな構成（1m × 1m × 1m のスペースがあれば可能）にて測定が可能である。例えば、無処理の金属片やプラスチック、ガラス表面の着氷力を測定すると、その値は200～500kPa以上を示すことが多く、氷を剥離するためには外部から大きな力を加えなければならない。この値が10kPaを下回ってくると、自重や環境中の振動や風圧等により固着した氷が剥離しやすくなるため、研究開発で目指すべき値の指標となっている。最近では、着氷力が1kPaを下回る表面材の報告が増えており、低着氷力を示す材料は論文レベルでは

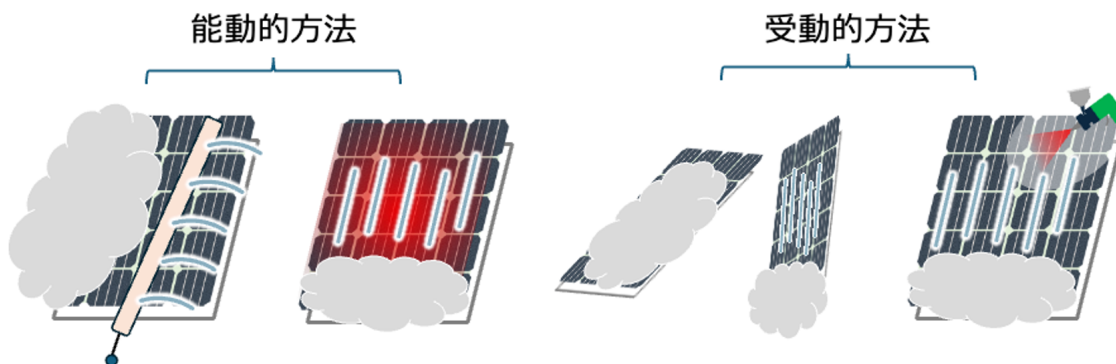


図1 太陽光パネル表面の着雪対策

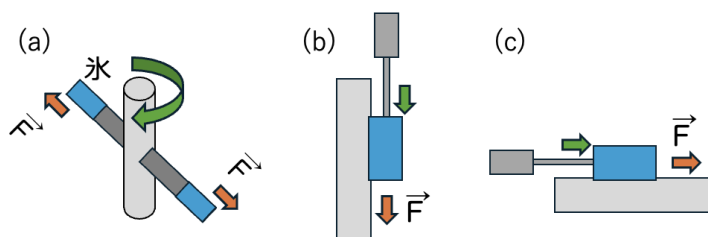


図2 着氷力測定方法の例。
 (a) 遠心機を利用する方法
 (b) 垂直方向に力を加える方法
 (c) 水平方向に力を加える方法

珍しくなくなってきた。一方、滑雪性を評価するためには、豪雪地帯等にて天然の降雪を利用（降雪を待つ）するか、安定に稼働する大型の風洞¹⁰⁾が必要である。これに加え、比較的大型のサンプルを準備する必要がある。例えば、250Wの太陽光パネル1枚を被覆する場合、2m²の表面処理が必要である。さらに、降雪時の気象条件は多岐（温度、湿度、風量、日射量等）にわたるため、他者の試験結果と比較することが難しい。例えば、本州日本海側に特徴的な湿雪と、北海道に特徴的な乾き雪は、固体表面への付着特定が異なる。また、同じ緯度においても、地形によっても雪の状態は大きく異なる。このため、着水力測定と比較して、表面材の滑雪性を客観的に評価することは困難であり、滑雪材の性能は着水力で比較されることが多い。

2.1 濡れ性制御による着氷雪防止材

水は水の固体であるため、雪や氷の付着を抑制する材料は水の付着を制御する撥水／親水系の表面材、つまり固体表面の濡れ制御技術に由来するものが多い。固体表面の濡れ性は通常、静的接触角によって評価される。液滴の接線と固体表面がなす角度を接触角といい、ほとんど静止した状態での接触角という意味で静的接触角（以下、 θ^S と示す）ともいう（図3）。また、水をプローブに使用した場合は水滴接触角ということもあるが、ここでは水のみを対象としているため、単純に静的接触角と呼ぶことにする。接触角は固体表面の最外層（数ナノメートル）の幾何学的かつ化学的環境を反映しており、一般的に θ_S が150°以上の表面を超撥水性、90°～150°

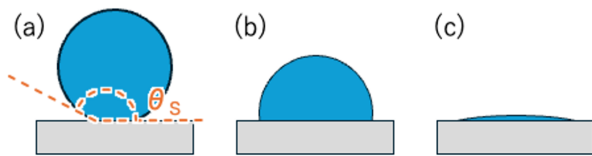


図3 静的接触角の定義。(a) 超撥水表面、(b) 撥水表面、(c) 親水表面。

となる表面を撥水性、接触角が90°以下の表面は親水性と認識されている。これに対し、最近、固体表面における液滴の動きやすさの指標として、液滴の動的な挙動（動的濡れ性）評価の重要性が高まっている。動的接触角とは固体表面上を液滴が動く状態を想定した、液滴の前進（ θ_A ）・後退（ θ_R ）接触角によって決定される値であり、 θ_A と θ_R の差（ $\Delta\theta = \theta_A - \theta_R$ ）あるいは θ_A と θ_R の余弦の差（ $\Delta\theta \cos = \cos\theta_R - \cos\theta_A$ ）は、接触角ヒステリシスとして定義され、その値が小さいほど液滴は固体表面を自由に動くことができる（図4）。接触角ヒステリシスの起源は、表面粗さ、化学的不均一性、固液界面での分子再配列等の影響によるものといわれている。また、液滴を静置した固体表面を徐々に傾斜させ、液滴が滑落し始める臨界角（転落角、 θ_T ）を測定（転落角測定）することでも、動的濡れ性を評価することができる。静的接触角が大きな表面ほど着水力が小さくなると考えられていた時期もあったが、着水力は動的濡れ性、つまり接触角ヒステリシスと相関することが明らかになっており、接触角ヒステリシスの小さな表面ほど着水力は小さくなる¹¹⁾。しかし、固体表面の接触角ヒステリシス制御による着水力の低減には限界があり、20kPaが下限とされている。

2.2 素材の機械的性質を利用した着雪防止材料

近年、固体表面の濡れ性のみならず、素材の機械的性質に注目した着雪制御材が注目を浴びている。ミシガン大学のTuteja氏やGolovin氏（現トロント大学）らは、氷と接触する付着界面（コーティング層）の機械的性質に着目した表面材設計を提案した（図5）¹²⁻¹⁴⁾。彼らは、コーティングを構成するポリマーの架橋密度を低減させ、表面の滑り性や硬さを制御することで、低い剪断応力で氷の剥離を達成できることを示した。例えば、ポリ塩化ビニルやポリスチレン等のポリマー材料において上述した設計を取り入れることで、優れた滑水性を付与できる

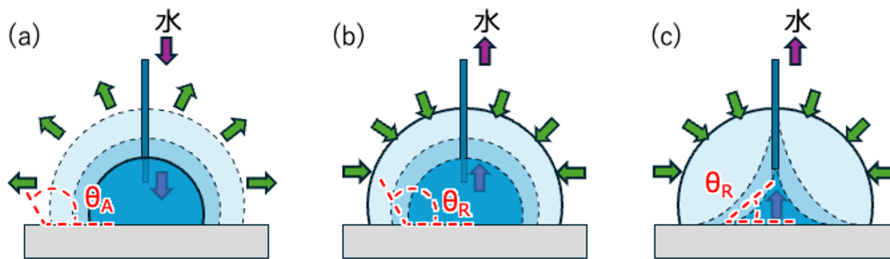


図4 接触角ヒステリシスの測定方法。(a) 前進接触角（ θ_A ）の測定方法。(b) ヒステリシスが小さな表面における後退接触角（ θ_R ）の様子。(c) ヒステリシスが大きな表面における後退接触角の様子

ことを明らかにしている。このような表面設計は、氷とコーティング界面における応力集中を誘起し、氷とコーティング間の靱性を低減することで、氷の付着強度を低く抑えることができる（～1kPa）と考えられている。後述する潤滑性を利用した方法と比較して、本手法は“犠牲的”なコーティングではないため、効果の持続性が期待できるものの、ポリマーの架橋密度が低く、劣化しやすいことが課題である。

2.3 潤滑液による着氷雪防止

潤滑液を用いた着氷雪抑制手法は古くから知られており、潤滑液を対象表面に塗布し摩擦を低減させるという方法は、最もシンプルな処理方法である（図6a）¹⁵⁾。例えば、新品のスノーダンプは雪離れがよいことが知られているが、劣化等によって樹脂表面が劣化すると雪離れが著しく悪くなる。劣化面に対し潤滑液等を塗布することで、雪離れ性を回復することができるため、そのような効果を狙った製品も存在する¹⁶⁾。しかし、このような潤滑液の膜を固体表面に形成する手法においては、原理的に液膜を安定化することが困難であるため、垂直面では潤滑

液が流れ落ちる。また、潤滑液が固体表面に留まる仕組みがないため、効果は一時的であり、持続性に乏しい。さらに、固体表面と氷が接触するとその界面に強固な結合が生成するため、氷が固着しやすくなる（＝着氷力が大きくなる）。このような課題を解決するため、2011年になりハーバード大学やMITの研究者によって、液膜を安定に保持し、付着物の付着抑制効果を持続させる技術が確立された（図6b）¹⁷⁻¹⁹⁾。これらのコーティングは、slippery liquid infused porous surfaces (SLIPS) もしくは liquid infused surface (LIS) と呼ばれる。SLIPS/LISでは、固体表面に潤滑液と相性のよいスポンジ層を処理し、このスポンジ層に潤滑液を染み込ませる。この際に、スポンジ層と付着物（例：氷/水）の親和性を低くし、スポンジ層と潤滑液の親和性を高くすることが重要な設計指針である（図6c）。このような指針が明確になったことで、付着抑制効果の持続性が大幅に伸びたことに加え、氷と固体表面が固着しにくくなり、単なる濡れ制御では到達できない超低着氷力（<～1kPa）が実現した。SLIPS/LISの開発により、着氷防止材に関する研究開発が大きく進歩するとともに、当該領域での研究開発が盛んになったと言える。なお、SLIPS/LISも、潤滑液が徐々に無くなる犠牲的コーティングの一種であり、潤滑液をいかに保持し持続性を担保できるかが実用化の鍵である。



図5 機械的性質に注目した着雪制御材のイメージ。(a) 硬い表面、(b) 柔らかい表面。

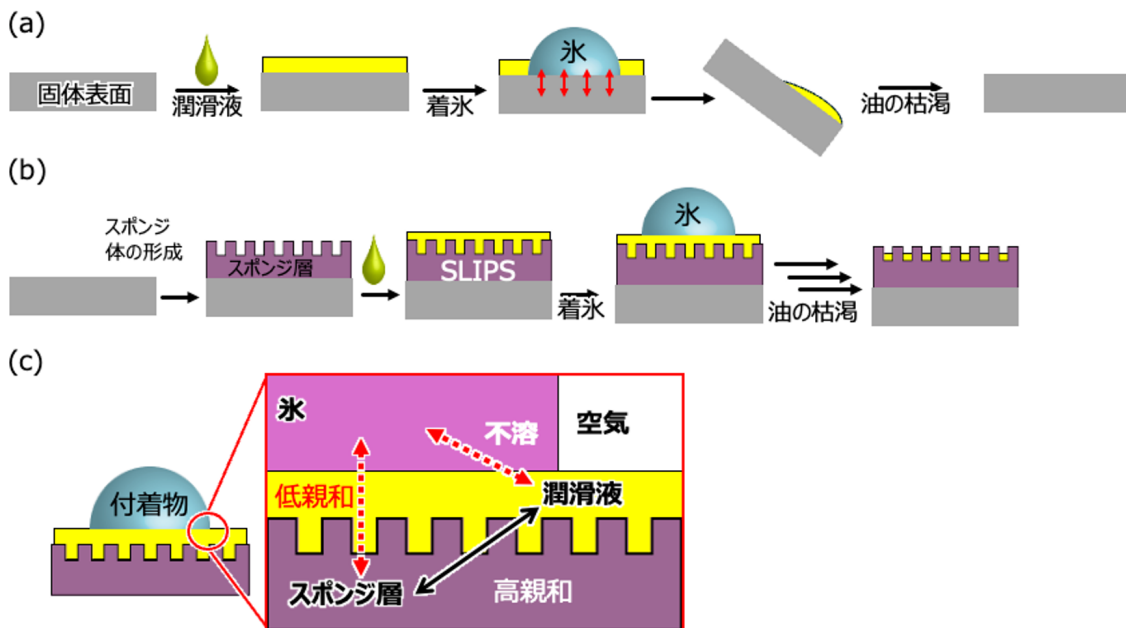


図6 潤滑液を利用した着氷防止方法。(a)単純潤滑、(b)SLIPS（ハーバード大学）/LIS（MIT）、(c)SLIPS/LISの設計指針。

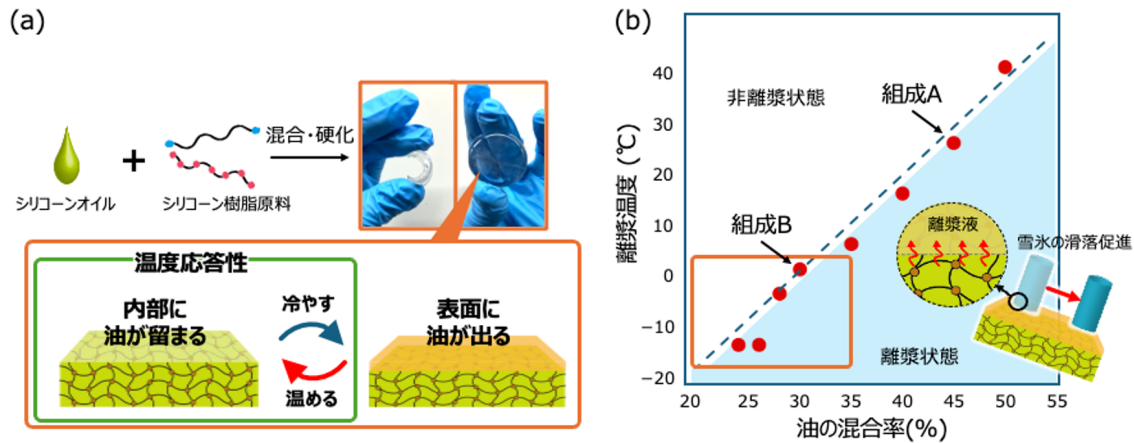


図7 筆者らが開発した自己潤滑性ゲルの概要。(a) 合成方法およびその外観, (b) 温度応答性 SLUG の離漿温度に関する相図 (青色の領域が離漿状態)。

3. 滑雪材の実証試験

3.1 滑雪材 SLUG

著者らは、SLIPS/LISの持続性を改善する方法として、シリコンオイルとシリコン樹脂から構成されたゲル状物質 (図7) に解を見出した⁷⁻⁹⁾。この材料は、ゲル内部に保持したオイルを自発的に表面に染み出す機能、「離漿 (りしょう)」性を有しており、表面のオイル層のため潤滑性を有する。我々は、この表面材を開発の契機となったナメクジ (slug) の防汚性にちなみ、自己潤滑性ゲルの英語名 (Self-lubricating gel) の頭文字をとり SLUG もしくはナメクジゲルと呼んでいる。SLUG が離漿状態にある場合、材料表面に付着した汚れ等はわずかな傾斜で滑落する。特に、シリコンオイルと親和性が小さい水や水溶液、氷等については著効を示す。離漿状態の SLUG はこれまでに報告されてきた類似物質と比較しても非常に低い着氷力を示すことが明らかになっている¹⁹⁾。SLUG は更なる改良により、温度応答による離漿が可能となっている。温度応答性 SLUG は、周囲温度が任意温度以下に達すると離漿し、その温度以上では逆離漿 (離漿した潤滑液がゲルの内部に戻る現象) を示す。また、離漿温度は材料組成 (油の種類や油の量) によって自由に調整することができる。例えば、図7bに示すように、組成 A では離漿温度 (25 °C) 以下において離漿が観察され、この温度以上では逆離漿が観察される。また、組成 B では、-0 °C を境に離漿および逆離漿が観察される。このような離漿温度以上では潤滑液はゲル内部に留まるような仕組みがあるため、気温が低くなる降雪期以外では表面に潤滑剤が存在しないため、潤滑液の損失を抑制することができ、従来

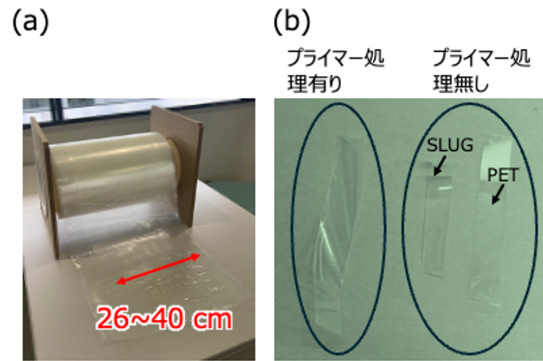


図8 SLUG フィルムの外観および剥離の様子。(a) roll-to-roll 法で作製した SLUG フィルムの外観, (b) ヘキサン浸漬試験後の試験片の様子。(シリコン樹脂はヘキサン浸漬により3倍ほど膨張するため、プライマー処理がない場合は剥離。)

型の SLIPS/LIS と比較して持続性が期待できる。

SLUG は開発当初、テフロン製のモールド (ϕ 36 mm, $h = 20$ mm) を利用し、バルク体として作製していた。このバルク体表面が優れた付着抑制効果を示すことが明らかになったため、表面材 (フィルム, 塗料) の開発に着手し、現状はフィルムの開発に成功している (図8)。当初は SLUG と基材が剥離しやすいという問題が生じたが、適切なプライマーを開発することで剥離を抑制することができた。また、ロール to ロール法というフィルムの連続生産法を SLUG フィルム作製に適用することができている。フィルムの特性上、適用範囲は凹凸の少ない平滑面に限定されたものの、品質を担保することができるようになったため、ラボ試験や試験地の異なる実証試験においても結果を比較することが可能となっている。

3.2 実証試験

前章に記載したようにSLUG フィルムを大面積化にて作製することが可能となったため、各種実証試験に供することが可能となった。2023年冬期より、雪質や気象条件の異なる2つのサイト、北海道（粉雪）および福井県（湿雪）にて、実証試験を開始した。実証試験は、平板を用いた滑雪性の調査（北広島市および福井市）、実車試験（札幌市）、道路監視カメラへ着氷防止試験（福井市）を実施した。

3.2.1 平板試験

予備実験より、試験板のフチを架台に固定すると架台に雪が引っかかり（図9a）、フィルムそのものの滑雪性を把握することが困難なことが判明した。そこで、本試験では試験板の裏面を支柱で支え、フィルムそのものの滑雪性を把握することに努めた（図9b）。詳しくは、アルミ製平板（20cm × 30cm ×

t2mm）にSLUG フィルムを貼り付け、任意の傾斜（30, 45, 60, 90°）に傾け架台に設置した（図10）。比較として、アルミ板、フッ素樹脂シート（FEP）、離漿しないゲルフィルムを試験に用いた。試料の観察はwebカメラ（星和電機製S-Box寒冷地仕様）を利用し、遠隔地（名古屋）からフィルムの状態を常時観察できるようにした。また、北広島市の試験では、日射の影響を極力排除するため、試験板は試料面が北向きになるように設置した。試験は、2023年12月下旬から2024年3月中旬まで実施した。この試験期間中に3時間以上の連続した降雪は26回観察された。降雪が顕著であった1月15日15時から1月16日21時頃の試料の様子を図10cに示す。写真および滑雪頻度から明らかなように、30°、45°、60°に傾斜したサンプルにおいて、SLUGは優れた滑雪性を示した（図11）。一方で、表面状態に依存

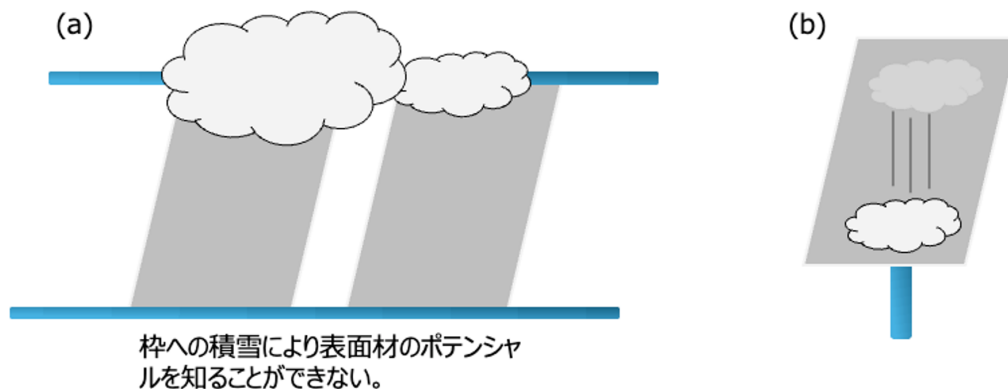


図9 架台の設置方式による滑雪性評価の差異。(a) 架台と試験板のへりを接触させた場合、(b) 試験板を底面から支持した場合。

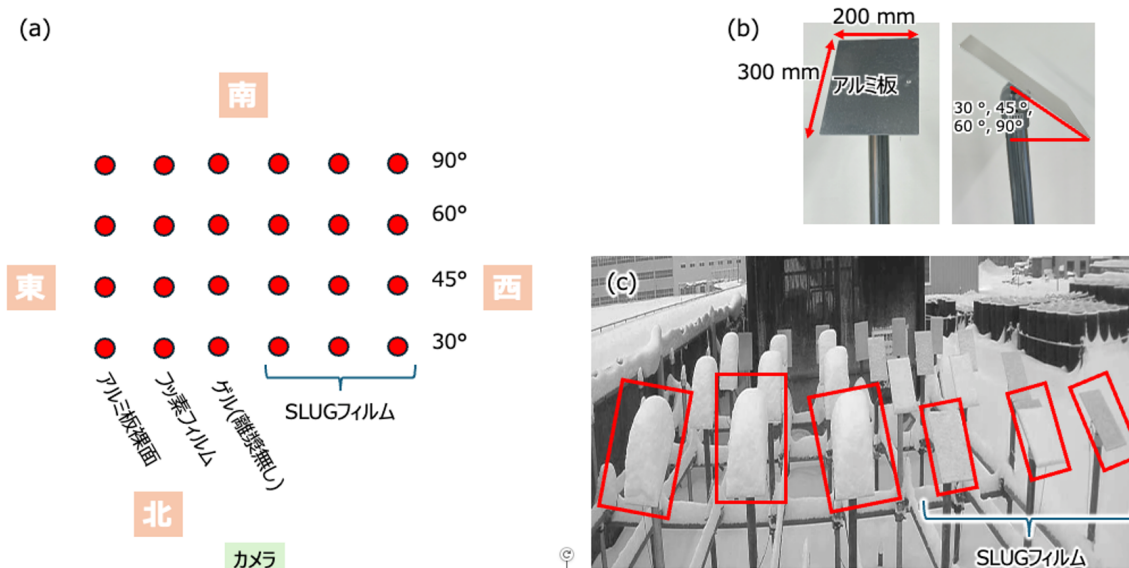


図10 北広島市での実証試験の様子。(a) 試験の配置図、(b) 試験板の外観、(c) webカメラで撮影した試験の様子。

せず 90°に傾斜したサンプル表面への着雪は認められなかった。この結果より、SLUGを用いることで滑雪性の付与が困難な傾斜角度の浅い表面においても優れた滑雪効果を付与できることが明らかになった。また、この期間における積雪深（約 30cm）と滑雪頻度から、各試験板への平均最大荷重（雪密度を 0.2g/cm^3 と仮定）を算出すると、SLUG 処理したアルミ板は 0.36kg となった。一方で、無処理のアルミ板は 3.6kg （積雪密度を 0.2g/cm^3 と仮定）となり、SLUG 貼付によって積雪負荷を大幅に低減できることが明らかになった。

なお、福井市でも同様の実験を実施し SLUG が北広島市と同様の滑雪性を示すことを確認したものの、web カメラ（北広島市と別メーカー製）の画質および降雪降雨時にカメラレンズ部への着雪水により、明瞭な画像を得ることができず、データ化することを断念した。また今回、筆者は定置型タイムラプスカメラを併用して試験片を観察したものの、撮影が途中で停止していた。定置型タイムラプスカメラは安価であり外部電源が不要である利点はあるものの、試験中に撮影状況を確認することが困難であり、貴重な瞬間を見落とすことがある。このような屋外の実証試験では、都合がつけばネットワークカメラの使用が最適である。

3.2.2 実車 / カメラへの効果

SLUG フィルムはステッカーのように対象表面に

貼付できるため、適切な粘着剤を用いれば使用後に剥離が容易である。つまり、積雪シーズン前に必要な箇所に貼付し、降雪シーズン終了後に剥離するといった単回使用も想定することができる。今回は、自動車に SLUG シートを貼付し、降雪時に走行し、その効果について調査した。図 12 に示すように、粉雪降雪時には SLUG シート表面に雪が薄く付着した。一方で、湿雪降雪時には雪の付着がない箇所も観察された。実車では平板試験とは異なり、曲線や凹凸面への雪の付着であることに加え、動的な付着環境であるため、平板試験とは異なった結果になったと考えている。今回は時間の制約上、試験期間が限定的であったため、十分な検証時間がなかったため、今冬も実験を継続し効果検証を進めていく。次に道路監視カメラに SLUG を貼り付けることで、降雪時のカメラのモニタリング状況について調査した。図 13 に積雪時のカメラの画像を示す。SLUG を貼り付けたものは明瞭な画像を得ることができ、近隣の SLUG を貼り付けないカメラの一部は明瞭な画像を得ることができず、カメラハウスから雪庇等が垂れ下がったことが示唆された。

3.2.3 風洞試験

上述した試験は実環境下での実験であり、再現性が乏しい。滑雪材の性能について客観的なデータを得るためには標準・基準となる試験方法の開発が必須である。そこで、風洞を利用した着雪試験により、

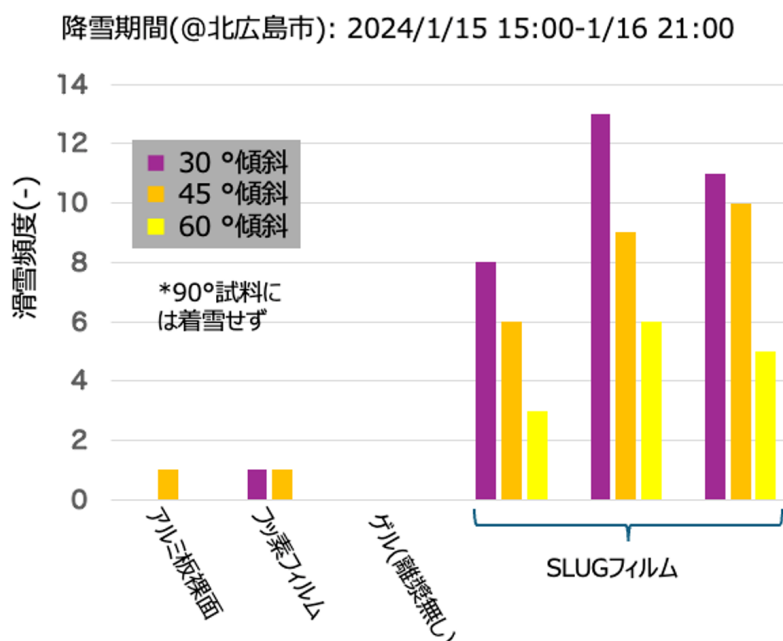


図 11 ネットワークカメラの動画から解析した降雪期間における各種試料表面における滑雪頻度。



図 12 SLUG 実車貼付による滑雪性の評価



図 13 SLUG 道路監視カメラ貼付による滑雪性の評価

標準・基準試験の予備実験をおこなった。この試験では、上述したアルミ製平板のみ、アルミ製平板に SLUG を貼り付けた試験体、市販の滑雪塗料を塗ったものの性能評価を実施した。また、風洞試験では、気温 1°C、風速 36km/h の条件にて模擬吹雪(湿り雪)を 90°に傾斜した試験体に 15 分間暴露した。アルミ製平板および市販の滑雪塗料はいずれも 15 分間の試験では落雪が観察されなかった。各試験体表面に付着した雪を人力にて剥離しようとするが、市販の滑雪塗料表面上の雪は簡単に剥離することができたが、アルミ製平板表面の雪は剥離させることは困難であった。一方で SLUG 表面では、約 250 秒毎に滑雪が観察された。SLUG 試験体のみ 1 時間模擬吹雪に晒し、滑雪に至るまでの時間を評価したところ、 250 ± 28 秒毎に滑雪することが明らかとなった(図 14)。本風洞は非常に精密に制御されているため、同様の実験を他者のサンプルにて実施すれば客観的な比較が可能となる。

3.2.4 実証試験の課題

実証試験を進めるなかで、滑雪性の評価手法が確立させていないことが滑雪材の開発を遅滞させていることを実感した。今回の実証試験において、

SLUG が一定の滑雪効果を示すことを明らかにすることができたが、他者が開発した滑雪材に関するデータと比較することは実質的に困難である。基礎研究レベルでは、着氷力を測定することでコーティング優劣を比較しているが、着氷力と滑雪性の相関についてよくわかっていない。また、着氷力測定方法に関してもいくつかの測定方法が提案されており、標準化されていない。さらに、滑雪試験に関しては気象条件(風向、風速、温度や湿度等)や周囲環境(建物の有無、日射の状況等)に大きく影響するため、標準的な試験の実施が困難である。今回利用した国立研究開発法人防災科学技術研究所が保有する降雪風洞等にて標準的な降雪環境をうまく活用すれば、今後各種表面材等の滑雪性を客観的に比較できるものと考えられる。

4. おわりに

表面材の開発に携わる素材研究者の視点から、雪氷付着防止表面材に関する近年の状況と我々が開発した滑雪材“SLUG”の特性および実証試験結果について紹介した。SLUG は離漿により、表面に付着した雪や氷の滑落を促すことができるため、様々な

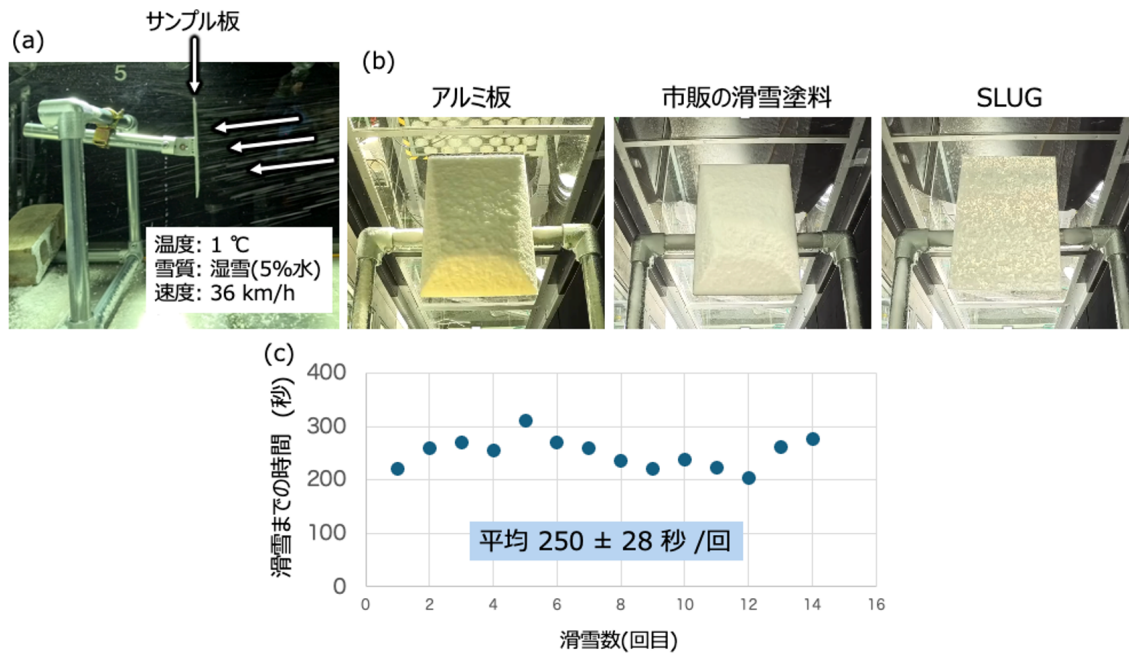


図 14 風洞試験の様子. (a) 風洞試験の外観および条件. (b) 15 分間の風洞試験後の各試料の様子. (c) 1 時間風洞試験における SLUG 表面における各滑雪イベント間の時間.

雪害を予防できると考えられる. 一方で, これまでに様々な優れた滑雪材が開発されており, 一部は製品化として市販されている. しかし, 滑雪性の評価手法が確立していないため, 客観的に滑雪材の優劣を比較することができないのが現状である. 滑雪というシンプルな現象であるが, 多くの要因が関与するため, 滑雪性の評価手法を確立するためにも, 素材, 材料工学, 気象, 構造体等の専門家をはじめ需要サイドの連携が必要となってくる.

謝辞

実証試験の実施に際し, 福井工業技術センター林泰正さま, 北日本オートボックス様, ZION(株)さまのご協力を頂きました. ここに謝意を示します.

参考文献

- 1) 国土交通省, 豪雪地帯・特別豪雪地帯の指定 (令和 6 年 4 月 1 日現在), <https://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/chisei/content/001584511.pdf> (参照 2024.07.11)
- 2) 内閣府, 平成 26 年 (2014 年) 豪雪について, https://www.bousai.go.jp/updates/h26_02ooyuki/pdf/h26_02ooyuki_18.pdf (参照 2024.07.11)
- 3) 電気新聞, 雪が溶けず太陽光の出力が大幅減. 東京エリア 1 月 23 日の不足インバランス 800

万 kW 超, <https://www.denkishimbun.com/sp/26062>

- 4) SnolarTechnologies ホームページ, <https://www.snolartechnologies.com/japan>
- 5) 日経 BP メガソーラービジネス豪雪地帯でも太陽光, 福井県池田町が融雪パネルで成果, <https://project.nikkeibp.co.jp/ms/atcl/19/feature/00007/00108/?ST = msb&P = 2>
- 6) A. Dyhani et al. : Surface design strategies for mitigating ice and snow accretion, Matter, Vol. 5, 1423 (2022)
- 7) C. Urata et al. : Self-lubricating organogels (SLUGs) with exceptional syneresis-induced anti-sticking properties against viscous emulsions and ices, Journal of Materials Chemistry A, Vol.3, No.24, p. 12626 (2015)
- 8) R. Hönes et al. : Antiadhesive Properties of Oil-Infused Gels against the Universal Adhesiveness of Polydopamine, Langmuir, Vol.36, No.16, p.4496 (2020)
- 9) C. Urata et al. : Transparent organogel films showing extremely efficient and durable anti-icing performance, ACS Applied Materials & Interfaces, Vol. 13, No.24, p. 28925 (2021)
- 10) 防災科研, 防災科研雪氷防災研究センター, <https://www.bousai.go.jp/seppyo/index.html> (参照 2024.07.11)

- 11) A. J. Meuler et al. : Relationships between Water Wettability and Ice Adhesion, ACS Applied Material and Interfaces, Vol.2, No.11 p.3100 (2010)
- 12) K. Golovin et al. : Designing durable icephobic surfaces, Science Advances, Vol.2, p. e1501496. (2016)
- 13) K. Golovin et al. : Low-interfacial toughness materials for effective large-scale deicing. Science Vol. 364, No. 371 (2019)
- 14) A. Dhyani et al. : Facilitating large-scale snow shedding from in-field solar arrays using icephobic surfaces with low-interfacial toughness, Advanced Materials Technology, p. 2101032 (2021)
- 15) H. Baker et al. : The adhesion of ice to lubricated surfaces, Journal of Colloid Sciences, vol. 17, p.477 (1962)
- 16) アサヒペン, スノーダンプ用スプレー HYPHER, <https://www.asahipen.jp/products/view/28193>, (参照 2024.07.11)
- 17) T.-S. Wong et al. : Bioinspired self-repairing slippery surfaces with pressure-stable omniphobicity, Nature, Vol.477, p.443 (2011) .
- 18) J. D. Smith et al. : Droplet mobility on lubricant-impregnated surfaces. Soft Matter, Vol.9, p.1772 (2013) .
- 19) K. J. Michael et al. : Design of anti-icing surfaces : smooth, textured or slippery?, nature reviews materials, Vol.1, p. 15003 (2016) .

著者略歴



浦田千尋 (ウラタ チヒロ)
国立研究開発法人 産業技術総合研究所 材料・化学領域 極限機能材料研究部門 光熱制御材料グループ 研究グループ長, 2011年に早稲田大学で博士号(工学)を取得後, 産業技術総合研究所(産総研)に入所. 産総研中部センター(愛知県)にて, 一貫して付着抑制効果に優れた表面処理材(剤)の研究開発に従事. 有機フッ素化合物の環境への影響を懸念し, 10年以上前から有機フッ素化合物に依存しない撥油コーティングや, ナメカジからヒントを得た自己潤滑性ゲル(Self-lubricating gel, SLUG)を開発. この間, カナダ(トロント大学)での在外研究や経済産業省への出向を経験.



佐藤研吾 (サトウ ケンゴ)
国立研究開発法人防災科学技術研究所 極端気象災害研究領域 雪氷防災研究センター雪氷環境実験室主任研究員.
2006年に国立大学法人北見工業大学で博士(工学)を取得後, 北海道立オホーツク流水科学センター, (一財)電力中央研究所を経て, 2011年4月に防災科学技術研究所入所. 南岸低気圧の出現頻度の増加などで, 積雪地域だけではなく, 関東などの非積雪地域において湿雪による着雪被害が増加傾向にあることから, その対策やメカニズム解明のために着雪試験手法の開発や着雪モデルの開発に従事.
2018年4月から1年間, 文部科学省研究開発局に出向し科学技術・学術行政の実務に従事.