

令和 6 年 4 月 22 日現在

機関番号：82629

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03829

研究課題名（和文）ウェットな氷面上でのすべり転倒抑制効果を有する硬質繊維混紡耐滑靴底の開発

研究課題名（英文）Development of hard fiber material with slip resistance as shoe sole on wet ice

研究代表者

柴田 圭（Shibata, Kei）

独立行政法人労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所・リスク管理研究グループ・任期付研究員

研究者番号：60612398

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：凍結（氷結）路面でのすべり転倒防止を目指して、本研究では、これまで明らかにされてこなかった外気温が高い場合の水/氷の相転移（ウェット）状態の氷面の摩擦特性も含め、外気温氷点下5度からプラス10度における氷面の耐滑性評価試験を行い、外気温によらず氷面に対して優れた耐滑性を有する靴底用材料を提案することを目的とした。様々な検討の結果、硬質粒子を配合した不織布材料が、特にウェットな状態の氷面においても動摩擦係数0.2以上の高い値を示し、外気温によらず氷面に対して優れた耐滑性を有することを明らかにした。この結果を受けて、製品化を見据えた意匠登録出願を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

表面に水膜がほぼ存在しない乾いた氷面に対する摩擦特性の解明、あるいは耐滑性の向上を目指した研究はなされているが、ウェットな状態の氷面に対して耐滑性の向上を試みる例はほぼなく、学術的に独創性のある課題といえる。また、当該研究で得られた結果を基に、氷上耐滑靴底材料が応用・製品化されれば、労働環境、または、一般生活においても、すべり転倒災害の減少の寄与できるものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：To prevent slips and falls on icy road surfaces, the frictional characteristics of ice surfaces in the ice/water phase transition (wet) state when the outside temperature is high have to be clarified. The purpose of this study was to conduct tests to evaluate the slip resistance of ice surfaces at outside temperatures of -5 degrees C and +10 degrees C, and to propose a material for shoe soles that have excellent slip resistance on ice surfaces, regardless of the outside temperature. As a result of various considerations, a nonwoven material containing hard particles showed a high dynamic friction coefficient of 0.2 or higher even on wet ice surfaces, and had excellent slip resistance on ice surfaces, regardless of the outside temperature. Based on these results, we applied for the design registration looking to commercialization.

研究分野：トライボロジー

キーワード：氷上摩擦 濡れ 乾燥 耐滑

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

厚生労働省管轄法人である(独)労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所の調査によれば、労働災害のおよそ25%を占める転倒事故の内、すべりによるものが全体の40%と最も多く、季節で見ると冬季に集中していることが明らかになっている。これは、積雪路面や凍結路面、あるいは部分的に融解した凍結路面によりすべりが引き起こされていると考えられている。氷面でのすべりを防止するために、従来ではスパイク(鋌)などが用いられている。乾いた氷面ではスパイクが食い込むため(掘り起こし効果)高い摩擦係数を示すが、コンクリート等の硬質面に対しては、特に濡れた場合に低い摩擦係数を示し逆に安全性が低い。自動車スタッドレスタイヤのように、サイプ形状の靴底ゴムブロックを有する冰雪面用防滑靴底も存在するが、外気温が高く氷面が濡れている場合に吸水に限界があるためか効果が薄い。日本の気候では、日没による外気温低下により路面が凍り、日の出から外気温が上昇するとともに凍結路面が融解することも多いため、いずれの状況においても耐滑性に優れた靴底が必要とされている。しかし、最もすべりやすい路面といえる外気温が0度より大きい相転移(ウェット)状態における氷面の摩擦挙動はこれまでに明らかにされていない。これは、氷/水あるいは氷/水蒸気の相転移状態が過渡期であり、現象として複雑であることが要因と考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、氷/水の相転移状態も含め、幅広い外気温における氷面の耐滑性評価試験を行い、外気温によらず氷面に対して優れた耐滑性を有する靴底用材料を提案し、靴底として開発することである。具体的には、これまでのスパイクのような硬質突起や吸水ゴムなどでは課題が解決されないため、硬質繊維が混紡された繊維状構造体を用いる。繊維状構造体を用いる戦略の根拠として、局所的には高い接触圧力が付加されるため外気温が低い場合に食い込み効果が期待されること、構造体としては変形しやすくまた空隙も多いため、外気温が高い場合に界面の水の除去および接触面積の確保が容易であることが挙げられる。

3. 研究の方法

硬質繊維としてアラミド繊維をベース材料とし、乾燥氷面での摩擦係数向上を期待してアラミド繊維シート上にゴムドットを配置した試験片を開発した。開発材料と、従来氷面に対する耐滑靴底として用いられている市販の逆ピラミッド形状ゴムブロックを、市販靴にオーバーシュー形状にして貼り付け、摩擦試験を行った。実験中の外気温を恒温室により氷点下5度、プラス10度に制御して試験を行った。試験氷として、製氷メーカーより平滑で水平な面を有する氷を購入して試験に用いた。摩擦試験装置として、手押し式の床/靴摩擦係数測定装置を用いた。同装置は、人間の歩行条件に即した荷重・すべり速度を設定できること、実際の靴を試験片として取り付け可能であること、小型で持ち運び可能であり恒温室での試験が容易であることが利点として挙げられる。すべり速度は、人間の転倒時の足の動きの速さといわれる1m/sまで手押しで実現した。垂直荷重は、人間の歩行中に急激なすべりが発生すると言われる体重の30%から40%を基準に、200N(ジグ除く)とした。全ての試験において、固体氷上の水分量の制御が極めて重要になるが、特にプラスの外気温では刻々と水分量が変化するため、水分量の同定および制御が困難である。そこで、本研究では、定温の氷保管庫より恒温室に移動させ試験を開始する時間を統一することで、同一の外気温では同一の水分量と見なして試験を行った。1試行毎に室温および氷面温度を測定し、設定の温度より大幅な差異が無いことを確認した。氷面温度は、乾燥状態において氷点下10度、ウェット状態においてプラス0.2度であった。

ここで、後述するが、研究開始当初に目指した材料とは異なる材料について、ウェットな氷面に対して優れた耐滑性を見出したため、当該材料についても同様の摩擦試験を行っている。具体的には、シート状の不織布に硬質粒子を配合した材料である。

また、簡易歩行試験として、研究代表者、研究分担者、研究協力者によるすべりの官能評価を行った。アイスリンクを試験場所とし、前述の摩擦係数測定において優れた耐滑性を示す開発材料、前述の市販の逆ピラミッド形状ゴムブロック靴底、市販の革靴、市販の安全靴の4種類に対して評価した。なお、アイスリンクでは、室温および氷面温度を施設側で制御しており、利用者側で任意に変更することが不可能であるため、乾燥氷面は制御されたままの状態にて、ウェットな氷面は氷面に随時水を散布した状態にて実現できたものとみなした。室温はプラス12度、氷面温度は氷点下2度であった。歩行条件としては、歩行速度が通常と小走りの2種類、過渡状態が直線定常、急停止、90度方向転換の3種類であり、計6種類であった。評価点として、全くすべりが発生しない場合に2点、すべりの発生が判別しにくい場合に1点、完全にすべりが発生している場合に0点とした。これらを、主観と客観(歩行を行わない他の3名の合意の主観)の両面から評価した。

4. 研究成果

4.1 硬質繊維による耐滑性向上の試み

図1に、平均摩擦係数とすべり速度の関係を示す。平均摩擦係数は、同一条件における摩擦係数の

平均値を表しており、標準偏差も存在するが、図の視認性を考慮して表記していない。また、サンプル1からサンプル6は、ゴムドットの面積割合が異なる開発材料であり、8のゴムドットの配置位置を変化させ、サンプル1からそれぞれ、0%、5.3%、4.4%、8.0%、12.9%、7.4%の面積割合となっている。JISにおける靴底の耐滑性の基準（JIST8101）を参考に、耐滑性の基準を摩擦係数0.2以上とすると、同図より、市販ゴムブロックは、乾燥氷面において十分な耐滑性を有することが分かる。一方、サンプル1~6は、ゴムドットの面積割合により多少の上下はあるものの、乾燥氷面において耐滑性があるとは言い難い。ウェットな氷面においては、乾燥氷面とは異なり、市販ゴムブロックに耐滑性があるとは言い難く、すべり速度が低い条件であれば、開発材料に耐滑性があると言える。ただし、開発材料をウェットな氷面に接地した直後に、接触界面にて凍結による固着が生じた。この現象が生じる理由は明らかになっていないが、アラミド繊維シートを構成する紡績糸同士、あるいは紡績糸内部の隙間に極少量の水が入り込み、この浸透した水が氷表面の低温により再度凍結した可能性がある。凍結による固着が生じると、靴をすべらせる際に固着を破壊してせん断する必要があるため、摩擦力が大きく測定される。繊維面積割合が大きい（ゴムドット面積割合が小さい）サンプル0において、大きな摩擦係数が得られているのはこのためと考えられる。このような凍結による固着が生じるのであれば、実使用において、過剰な摩擦力によりつまずく、あるいは靴自体が脱着することが想定されるため、靴底材料として望ましくない。実際、簡易的に、当該材料を装着した靴を履いてウェットな氷面に足を載せてみると、靴が脱着する現象が見られた。また、市販ゴムブロックは、乾燥氷面に対しては耐滑性を有するものの、ウェットな氷面には耐滑性を有しておらず、実用上はその差を十分に認識しておく必要があるものと考えられる。

図2に、乾燥氷面における平均摩擦係数とゴムドット面積割合の関係を示す。静・動摩擦係数共に、ゴムドット面積割合の増加に伴い増加する傾向にある。市販ゴムブロックが高い摩擦係数を示すことから、乾燥氷面に対しては靴底のゴム材料の接触面積を増加させることで耐滑性を向上できると言える。

図3に、ウェットな氷面における平均摩擦係数とゴムドット面積割合の関係を示す。凍結による固着が生じているが、静・動摩擦係数共に、ゴムドット面積割合の増加に伴い減少する傾向にある。凍結による固着が破壊された直後であるため、静摩擦係数の値は極めて高い。一方、固着の影響が少なくなる動摩擦係数（すべり速度0.3 m/s時の値）では、いずれも場合においても0.2の基準を下回る。特に、ゴムドットを配置したサンプルでは0.1以下の極めて低い値を示す。これにより、ゴム材料ではウェットな氷面に対して耐滑性の向上は期待できないと言える。これは、ゴム材料ではウェットな氷面から水を排除しにくいためと考えられる。また、硬質繊維についてもウェットな氷面に対して耐滑性の向上は期待できない。これは、硬質繊維シートでは水を内部に保持することが可能な厚さが少なく、また、硬質な繊維と氷面との接触面積が十分でないためと考えられる。

以上より、すべり転倒を考える上で重要と考えられる動摩擦係数において、市販品も含め、耐滑性の基準となる0.2の値を上回ることが困難であることが明らかとなった。

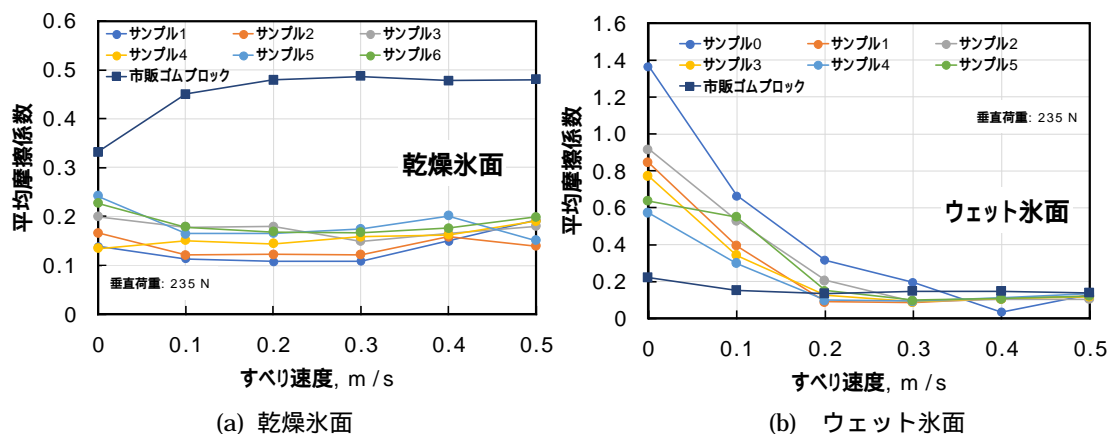


図1 平均摩擦係数とすべり速度の関係

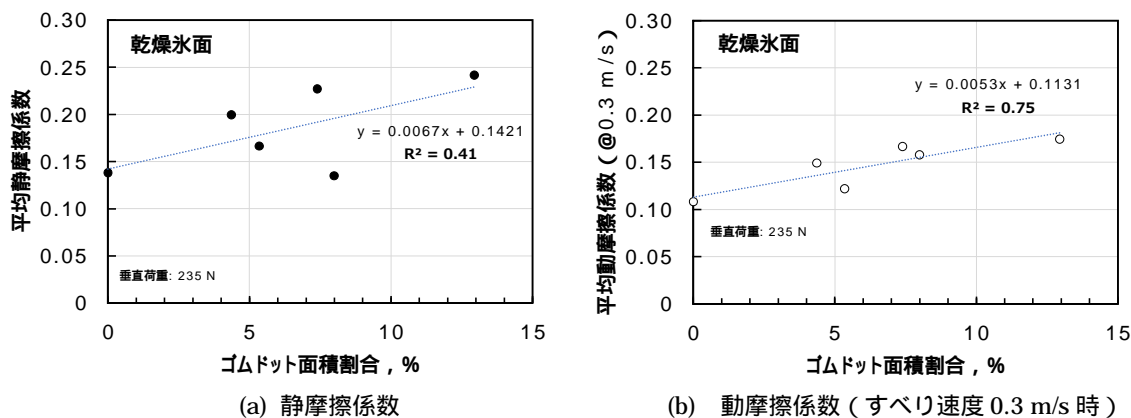


図2 乾燥氷面における平均摩擦係数とゴムドット面積割合の関係

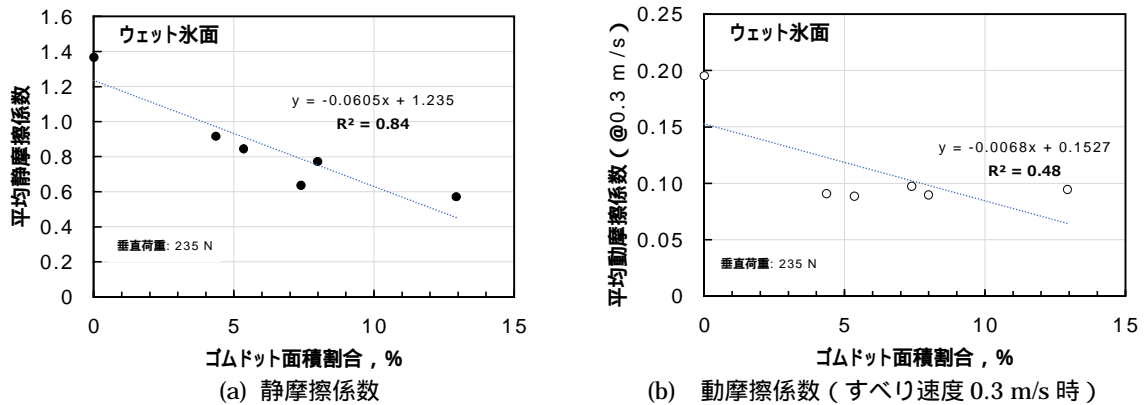


図3 ウェット氷面における平均摩擦係数とゴムドット面積割合の関係

4.2 不織布による耐滑性向上の試み

前項において、硬質繊維シートの薄さ、および不十分な接触面積が低い摩擦係数の原因と考えられた。そこで、不織布を新たな材料として検討を行った。不織布は、様々な製造方法があるものの、基本的には織物よりも厚さを大きくすることが容易であり、硬質繊維よりも硬度が低いために接触面積を確保することも期待できる。一方、硬度が低いゆえに、当初硬質繊維に期待していた高い接触圧力による食い込み（掘り起こし）効果が得にくいことから、不織布に硬質粒子を配合した材料に着目した。一般的に、硬質粒子を配合した不織布は、金属材料や木材の研磨材として用いられることが多く、市販されている製品も多数存在する。

ここでは、金属材料研磨用として市販されている、#600の炭化ケイ素粒子を配合したポリアミド製不織布シートを、試験用靴底として用いた。比較として、JISの基準において耐滑性があると認定されている市販の安全靴、前述の市販の逆ピラミッド形状ゴムブロックを用いた。

図4に、平均摩擦係数とすべり速度の関係を示す。市販ゴムブロックの値は図1と同等であるが、硬質粒子配合不織布の摩擦係数の値が、乾燥氷面では市販ゴムブロックと同等に高く、ウェット氷面では極めて高いことが分かり、いずれの場合でも摩擦係数0.2を上回る耐滑性を有することが分かる。当該試験では、前項のような凍結による固着は見られていない。また、市販の安全靴では、乾燥氷面に対して耐滑性を有するものの、ウェットな氷面に対して市販ゴムブロックと同様に耐滑性を有するとは言えないことが分かる。

このように、硬質粒子配合不織布では、当初想定していた硬質繊維では成し得ないウェットな氷面に対する耐滑性を得ることが可能であることが明らかとなった。これは、当初硬質繊維において発揮されると想定していた、水膜の除去、および硬質部の食い込みによるものと考えられる。

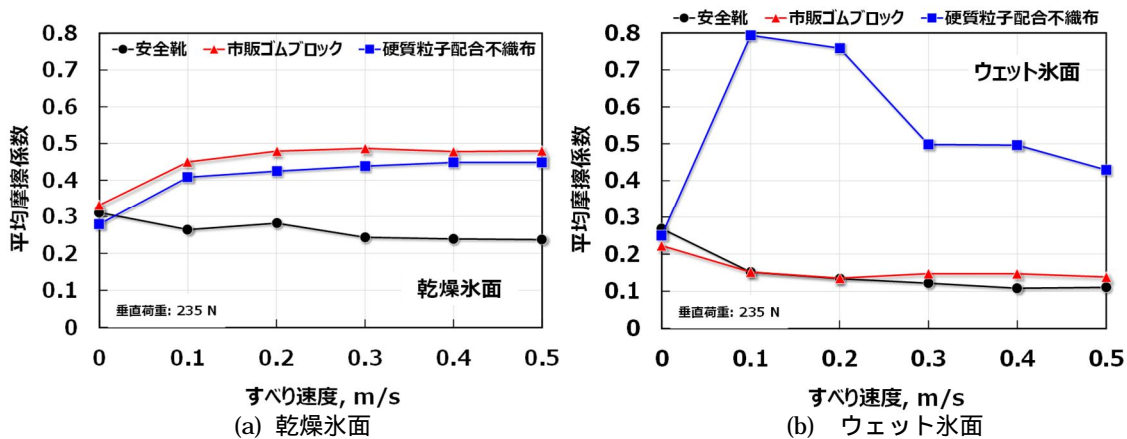


図4 平均摩擦係数とすべり速度の関係

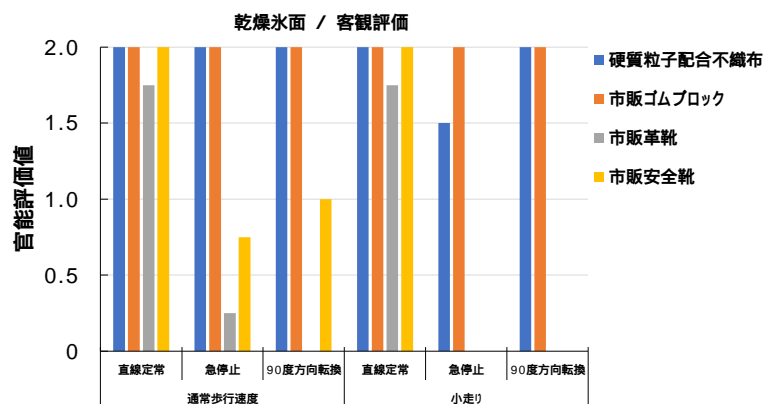
4.3 硬質粒子配合不織布を用いた簡易歩行試験

硬質粒子配合不織布は氷面に対して優れた摩擦特性を示すことが明らかになったが、実用を考慮すると、実際に靴底として装着しすべりの発生の有無を調査する必要がある。ここでは、硬質粒子配合不織布を用いた簡易歩行試験を行った。比較として、市販の3種類の靴を同時に用いた。

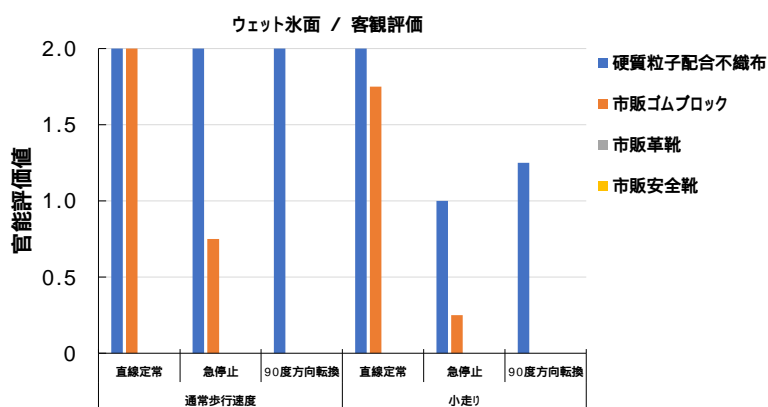
図5に、簡易歩行試験で得られた官能評価値を示す。官能評価値は、被験者間における平均値であり、数値が高いほどすべりが発生しない割合を示す（評価値0ですべり発生100%、評価値2ですべり発生0%を表す）。基本的には、客観評価と主観評価の間には大きな差は見られなかった。よって、ここでは客観評価のみについて述べる。市販の革靴は、乾燥氷面における直線定常歩行でのみすべりにくいという評価となった。急停止や90度方向転換といった歩行の過渡状態と、

ウェットな氷面では、市販の革靴にほぼ確実にすべりが発生し、極めて危険であった。市販の安全靴においても、通常歩行速度での急停止と90度方向転換にてすべりリスクが多少低いことを除けば、市販の革靴と同様の危険性が見られた。市販ゴムブロックは、乾燥氷面において全くすべらないという官能評価を得た。これは、前述の摩擦試験の結果を裏付けるものである。一方、ウェットな氷面において、直線定常歩行では市販ゴムブロックにすべりが発生しないものの、急停止にてすべりリスクが高まり、90度方向転換ではほぼ確実にすべりが発生するという評価となった。一般的に、直線定常歩行の必要摩擦係数は0.2程度と言われており、図4のウェットな氷面に対する静摩擦係数を見ると、市販ゴムブロックの値はわずかに0.2を上回っており、直線定常歩行を継続するために必要な摩擦力は確保できていたものと考えられる。しかし、それ以上の接線力が負荷される過渡状態では、すべりを抑制することが困難であると考えられる。硬質粒子配合不織布は、市販ゴムブロックと同様に、乾燥氷面において、極めて優れた耐滑性を有しており、官能評価でもほぼすべらないという評価を得た。ウェットな氷面においても、小走りの過渡状態では、すべりリスクが高くなるものの、歩行速度が通常であれば、いずれの条件においても硬質粒子配合不織布は全くすべらないという評価を得た。

以上の結果より、実際の歩行条件においても、硬質粒子配合不織布は、氷面の状態によらずすべりを抑制できる靴底材料として応用が期待される。ここで、実際の使用を想定した場合、どのような靴底材料であっても、走るといった過度に接線力が負荷される歩行は禁物であり、氷面に対して十分に注意した上であくまでも補助的に使用する必要がある。



(a) 乾燥氷面 / 客観評価



(b) ウェット氷面 / 客観評価

図5 簡易歩行試験で得られた官能評価値

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Kei Shibata, Akihiro Ohnishi, Takeshi Yamaguchi, Satoshi Asahina
2. 発表標題 Shoe Sole Exploration for High Grip on Dry and Wet Ice
3. 学会等名 9th International Tribology Conference, Fukuoka 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 氷上耐滑用オーバーシュー	発明者 大西明宏, 柴田圭, 山口健, 朝比奈智	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 意匠、意願2024-007654	出願年 2024年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	大西 明宏 (Ohnishi Akihiro) (10467491)	独立行政法人労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所・ リスク管理研究グループ・上席研究員 (82629)	
研究分担者	山口 健 (Yamaguchi Takeshi) (50332515)	東北大学・工学研究科・教授 (11301)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	朝比奈 智 (Asahina Satoshi)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------