

繊維製面状発熱体を利用した 快適レジャースキーウェア，スノーボードウェアの開発

信州大学 木村裕和
(共同研究者) 株式会社三機コンシス 松本正秀
地方独立行政法人 山本貴則
大阪産業技術研究所

Development of Comfort Leisure Ski Wear and Snowboard Wear Equipped with Textile Fabric Heater

by

Hirokazu Kimura
Shinshu University
Masahide Matsumoto
Sanki Consys Co.,Ltd
Takanori Yamamoto
Osaka Research Institute of Industrial Science and Technology

ABSTRACT

We attempted to develop novel and comfort leisure winter sports wear such as ski wear or snow board wear that could enjoy going for the winter sports in the coldest part of the winter. This novel and comfort leisure winter sports wear was equipped with textile fabric heater which was plain stitch fabric formed by polyamide 66 filament coated silver and polyethylene terephthalate yarn. We have examined about the electric resistance change of textile fabric heater under tensile strain until breaking point and the electric resistance change in case of applying concentrated compression load on textile fabric heater. Experiments were carried out to evaluate heating performance of textile fabric heater under a below-zero temperature and low temperature conditions.

And, we designed prototype for comfort leisure ski wear. Experiments using prototype ski wear under a below-zero temperature confirmed that the temperatures in wear obtained from both cloth and pants indicated appropriate condition. It was also confirmed that the equipment method of textile fabric heater and attached points for human body was a rational procedure from experimental results. In this winter season, we make a plan practical test using ski wear equipped with textile fabric heater by examinees including to the persons of advanced age from elementary school children. We are going to complete comfort leisure winter sports wear equipped with textile fabric heater consulting examinees about the problem and/or improvement points.

要 旨

本研究は、銀メッキ導電糸とポリエステル糸を用いて作製した編物の繊維製面状発熱体を利用し、厳冬期であっても快適な衣服内環境でスキーやスノーボードを楽しめるレジャー用スキー、スノーボードウェアの開発を目的とした。最初に繊維製面状発熱体が破断に至るまでの引張変形ならびに大きな応力を繊維製面状発熱体に集中的に加えた際の電気抵抗値変動に関する実験的検討を行った。また、氷点下および低温環境下における繊維製面状発熱体の発熱性能に関する検証実験を実施した。その後、繊維製面状発熱体を装備したプロトタイプのスキーウェアの基本設計を行い、これを作成した。プロトタイプのスキーウェアを用いて氷点下環境における実験を実施したところ、スキーウェアの上衣、下衣ともに適切な衣服内温度が検出されており、その発熱性から繊維製面状発熱体の装着方法ならびに装着部位もほぼ妥当であることが確認された。当初の計画通り、今冬季には幅広い年齢層からスキー経験も様々な協力者を得て、実際のスキーゲレンデにおける実用性能試験を実施し、完成度の高い繊維製面状発熱体装着快適レジャースキー、スノーボードウェアを開発し、製品化を行う。

緒 言

近年、消費者ニーズの多様化に伴い、繊維製品への高機能、高付加価値化が進んでいる。その中でもスマートテキスタイルが注目を集めている¹⁻³⁾。現在、様々なニーズや目的に対応したスマートテキスタイル素材の研究開発と実用化が進められており、興味ある応用、展開例が多数見受けられる⁴⁻⁹⁾。スマートテキスタイルは今後さらに発展していく繊維技術分野であると考えられる。

スマートテキスタイルの一種に面状発熱体がある。面状発熱体とは、吸熱発熱繊維や電気発熱繊維を用いて作製した編物や織物またはフィルム状ヒーターのことである。著者らは、スパッタリング法により銀メッキを施した導電糸とポリエステル糸を用いて作製した編物を考案し、十分な伸度と柔軟性を有する繊維製の面状発熱体（以降、繊維製面状発熱体と呼ぶ）を試作した¹⁰⁾。この繊維製面状発熱体は、一般的な編物と同等の物性を有し、扱いやすく縫製加工も容易であることから広範な利用用途が考えられる。

今回、著者らは考案した繊維製面状発熱体を利用し、快適な衣服内環境でスキーやスノーボードを楽しめるレジャー用スキー、スノーボードウェアの開発に取り組んだ。

一般的な防寒具に比べ、スキーやスノーボード

においてはウェアに大きな機械的変形が加わることや激しい温度変化に曝されることが想定される。したがって、製品化にあたっては繊維製の面状発熱体に加わるダメージや安全性を確認するとともに低温使用環境下における温度の維持性、すなわち面状発熱体の電気抵抗値の安定性を把握することが重要となる。

本研究では、まず繊維製面状発熱体を構成する糸が破断に至るまでの引張変形および大きな応力を繊維製面状発熱体に集中的に加えた際の電気抵抗値変動に関する基礎的検討を行った。その結果を確認した後、繊維製面状発熱体を装備したプロトタイプのスキウエアを試作し、氷点下および低温環境下における実験を実施した。

1. 方法

1. 1 繊維製面状発熱体

考案した繊維製面状発熱体は導電糸に電流を流すことで発熱する原理の編物生地である。導電糸には、銀をスパッタリングによりナイロン66マルチフィラメント糸表面にコーティングした銀メッキ導電糸を用いた（以降、銀メッキ導電糸と呼ぶ）。ベースとしたナイロン66糸の太さは7.8texである。銀メッキ層の厚さは数ミクロンであり、銀メッキ導電糸の太さは10.2texである。

繊維製面状発熱体は、銀メッキ導電糸とポリエ

ステル糸を用いて丸編機で編成した、いわゆる接結天竺（リバーシブル編）である。表地素材が銀メッキ導電糸であり、裏地はポリエステル糸である。編密度は、ウェール密度が26/inch、コース密度が14/inchであり、目付けは183g/m²、ゲージは18.3Gである。また、ポリエステルの太さは8.3texである。図1(a)に繊維製面状発熱体の表裏面の外観写真を示し、図1(b)には繊維製面状発熱体の表地をデジタルマイクロスコブ（キーエンス社製VHX-500）により観察、撮影した写真を示した。

1. 2 引張および圧縮時における繊維製面状発熱体の電気抵抗値測定

引張時の電気抵抗値変化は以下の方法で検討した。引張試験はJIS L 1096.8.12に規定の引張強さおよび伸び率A法（ストリップ法）を参照した。環境は温度25±2℃、湿度(50±5)%R.H.とし、試験は、繊維製面状発熱体から幅50mm、長さ300mmの大きさの試験片を採取し、つかみ間隔200mm、引張速度200mm/minで行った。試験の回数はウェール方向およびコース方向各5回とした。引張伸度を10%ずつ増加させ、各伸度で引張を一旦停止させる。そして、図2に示すように長さ方向に電極を取り付け、電流値を測定し、電流値および印加電圧より電気抵抗値を算出した。

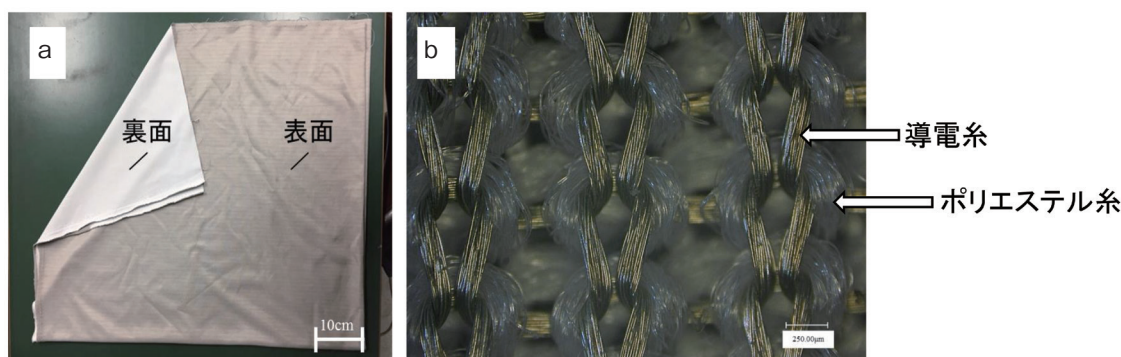


図1 繊維製面状発熱体の写真
(a) 表裏面の外観写真 (b) 表地の実体顕微鏡写真

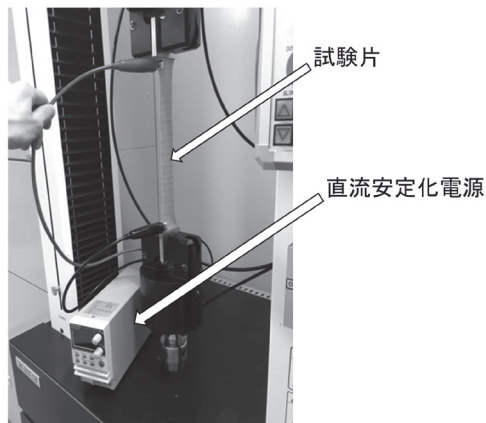


図2 引張による電気抵抗値測定

なお、直流安定化電源（GW INSTEK 製 PSW 30-36）により印加電圧は 1.0V の一定とした。

圧縮時の電気抵抗値変化については以下の方法で検討した。圧縮試験は JIS L 1096.8.20 の圧縮率および圧縮弾性率を参考に行った。環境は温度 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $(50 \pm 5)\% \text{R.H.}$ とし、試験片の大きさは幅 100mm × 長さ 100mm とした。まず、図 3 のように試験片を綿 100% の試料台上に乗せ、圧縮板が試験片の中央に位置するように固定した。そして、エアパックを試験片表面に取り付け、エアパックで圧縮圧 0, 50gf/cm², 100gf/cm², 150gf/cm², 200gf/cm² となるような荷重を測定記録した。この圧縮圧は、成人男性の仙骨部にかかる圧縮圧とそれよりも大きな荷重を想定し

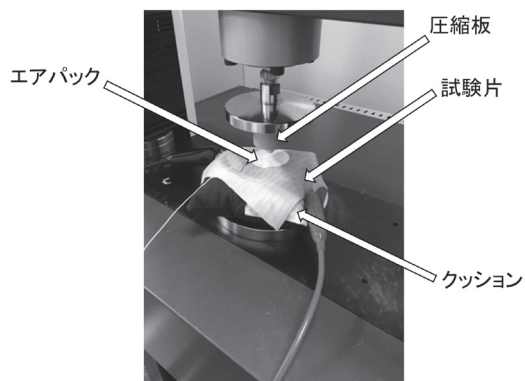


図3 圧縮による電気抵抗値測定

て5水準に設定したものである¹¹⁾。エアパックを外した後、所定の荷重をかけ、その時の試験片の電流値を測定し、電流値と印加電圧から電気抵抗値を算出した。印加電圧は直流安定化電源(GW INSTEK 製 PSW 30-36)により1.0Vとし、測定回数はウェール方向およびコース方向各5回とした。また、圧縮板には、圧縮面積の違いによる電気抵抗値の変動の相違を検討するため圧縮面積 13cm², 20cm², 28cm²の平板、さらに人の仙骨部をモデルとした直径約10mmの半球¹²⁾の計4種類を用いた。

1. 3 繊維製面状発熱体装着プロトタイプレジャー用スキーウェアの設計

繊維製面状発熱体を装着したプロトタイプスキーウェアの上衣、下衣の基本設計を行った。スキーウェアの上衣についてはスキーヤーの首周りから背面上部を繊維製面状発熱体によって暖めることを目的とした。スキーウェア下衣についてはリフト利用時にスキーヤーがリフト上で静止座位姿勢を比較的長時間維持することから大腿部裏側、すなわち太股の裏側部位を暖める方針とした。また、繊維製面状発熱体はスキーウェア中綿と裏地の間に縫製により固定することとした。このコンセプトに基づき標準体型のレディス用スキーウェアを例に繊維製面状発熱体の適切な形状、寸法および装着部位を検討した。検討の結果、プロトタイプのスキーウェア上衣の襟周りには長さ350mm、幅30mmの繊維製面状発熱体を使用することとした。上肢背部には背骨を中心線として肩甲骨の大部分をカバーできるように長さ185mm、幅60mmの繊維製面状発熱体を左右一対配置した。スキーウェア下衣には長さ350mm、幅50mmの繊維製面状発熱体を左右の大腿部裏側に装着した。なお、繊維製面状発熱体には、最大出力電圧7.4Vで直流電流を供給するための小型バッテリーを用いた(図4)。これにより最大



図4 繊維製面状発熱体用小型バッテリーの外観

出力で5時間の連続通電が可能になる。この小型バッテリーはスキューエアの上衣については上肢前左側の内ポケット位置に収めることとし、下衣については右腰後ろ側のベルトに装着することとした。なお、バッテリーの質量は118gであり、長さ89mm、幅63mm、厚さ14mmである。また、図4に示すように発熱状態（衣服内温度）を使

用者が簡単に制御できるようにバッテリー上面に調節ボタンと出力表示ランプを配した。さらに、安全性に配慮して、バッテリー本体と電線をマグネットにより接続する方式を採用し、トラブルや異常があれば瞬時にバッテリーと電線を分離できる構造とした。プロトタイプのスキューエアの外観写真を図5に示し、繊維製面状発熱体の装着

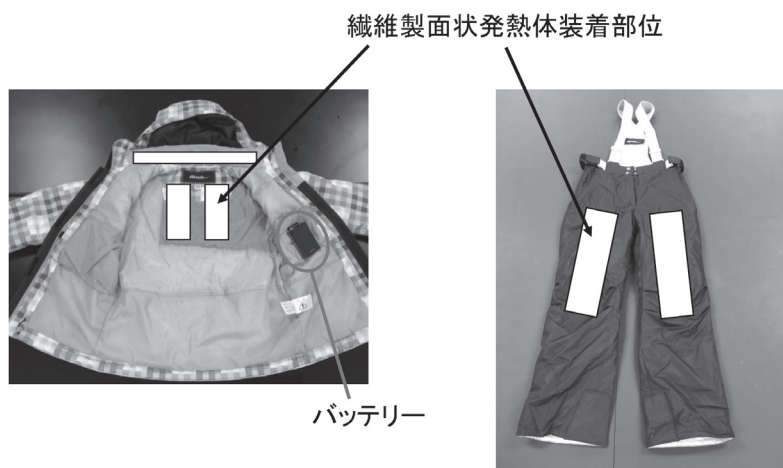


図5 プロトタイプスキューエアの外観写真と繊維製面状発熱体の装着部位（白色長方形）

部位と大きさを白色の長方形で表現した。

このプロトタイプ繊維製面状発熱体装着スキーウェアを用いて発熱性能と衣服内温度を確認し、問題がなければメンズ用、ジュニア用のウェアに装着する繊維製面状発熱体の装着部位も同一箇所とし、その大きさはプロトタイプのレディス用ウェアに装着したものと相対的に同じ寸法のものを作製する方針である。なお、プロトタイプのスキーウェアによる実験的検討結果から改善点があれば、それらを修正の上、改良型スキーウェアを試作し、実用実験に供する計画とした。

1. 4 繊維製面状発熱体の発熱性能検証実験

冬季のスキー場環境を想定し、氷点下および低温環境下における繊維製面状発熱体の発熱性能を検証した。実験は気温を約 -5°C または約 5°C に調整した人工気象室内で行った。図6に示すように、

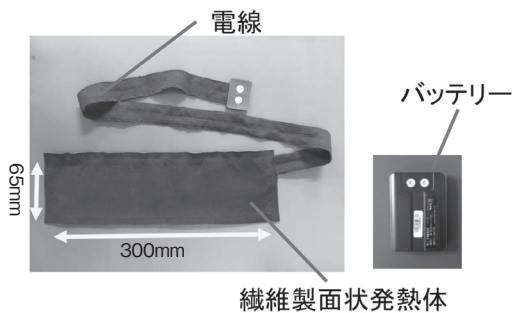


図6 発熱性能検証用繊維製面状発熱体の外観写真

この検証実験に用いた繊維製面状発熱体の大きさは長さ300mm、幅65mmである。それぞれの気温環境下において小型バッテリーにより繊維製面状発熱体に通电し、発熱状況を30秒ごとにサーモグラフィカメラ(CHINO社製FLIR E6)で観察した。通电時の印加電圧は小型バッテリー最大出力の7.4Vとした。

1. 5 プロトタイプレジャー用スキーウェアの発熱性と衣服内温度の測定

プロトタイプのスキーウェアの発熱性能を検討

するため、気温を約 -5°C に調整した人工気象室内にスキーウェア上衣のフロントファスナーを閉じた状態で静置し、15分間通电させた後、直ちにフロントファスナーを開け、スキーウェア上衣内側の温度状況をサーモグラフィカメラにより撮影した。

また、プロトタイプのスキーウェアを実際に着用した際の衣服内の温度を測定した。この実験も氷点下環境で実施するため気温約 -5°C の人工気象室内で行った。実験者には標準的体型の女子大学生を選定した。衣服内温度の測定には、温湿度データロガー(A&D社製おんどり)を用いた。測定は、実験者がスキーウェアの上衣と下衣を着用後直ちに気温約 -5°C の人工気象室内に入り、静止座位姿勢で15分間、繊維製面状発熱体に通电させた状態で行った。測定箇所は図7に示すようにスキーウェア上衣は繊維製面状発熱体を装着した部位付近を4行5列に区切った20点とし、スキーウェア下衣は繊維製面状発熱体装着部位中央の1箇所とした。測定は各箇所3回実施した。

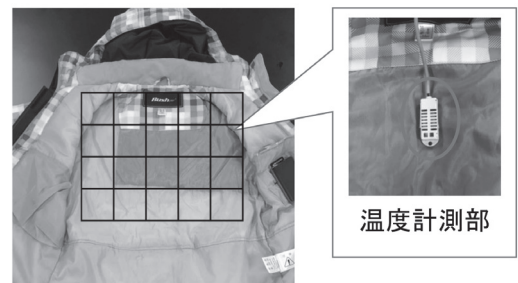


図7 プロトタイプスキーウェアの衣服内温度測定箇所

2. 結果

2. 1 引張および圧縮時における繊維製面状発熱体の電気抵抗値変化

引張変形にともなう電気抵抗値の変化を図8に示した。■でプロットしたデータがウェール方向から得られた電気抵抗値である。◇でプロットしたデータがコース方向に通电した際の電気抵抗

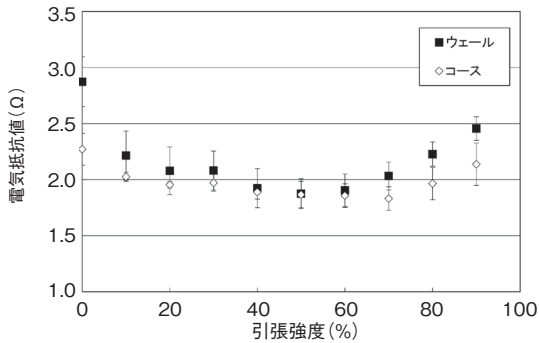
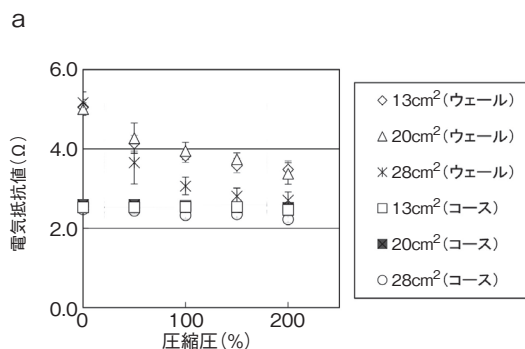


図8 引張変形にともなう電気抵抗値測定結果

値の測定結果である。エラーバーは5回の測定の標準偏差を示している。全体的に $\pm 0.25\Omega$ 程度のバラツキが認められるが、ウェール方向において、電気抵抗値は引張伸度50%までの範囲で低下しており、その後増加している。一方、コース方向においては、電気抵抗値は引張伸度70%まで低下しており、その後増加している。

図9には圧縮による電気抵抗値変動の結果を示した。エラーバーは5回の測定の標準偏差を示している。引張変形時に比べ、安定したデータが得られている。図9(a)から平板の圧縮板を用いた場合、ウェール方向とコース方向に通電した際の電気抵抗値の変動傾向が異なっていることがわかる。コース方向に通電した場合の電気抵抗値は圧縮圧に関わらず安定した挙動を示しているが、ウェール方向では圧縮圧の増加にともない電気抵抗値が低下している。また、圧縮板の面積が大きい



いほど電気抵抗値の低下が顕著である。図9(b)に示した半球板を用いた場合は、ウェール方向では平板のときとは異なり100gf/cm²まで、ほぼ一定の電気抵抗値を示しており、100gf/cm²以上の圧縮圧が加わったときに低下している。一方、コース方向に通電した場合は平板の場合と同様に電気抵抗値は圧縮圧に関わらず安定している。したがって、コース方向では圧縮板の形状や大きさに関わらず圧縮圧が増加しても電気抵抗値がほぼ一定に保たれていることがわかる。

2. 2 繊維製面状発熱体の発熱性能検証結果

図10には気温約-5℃において通電した繊維製面状発熱体表面のサーモグラフィカメラの観察結果を示した。通電開始後180秒で表面温度が20℃を超過している。図11には気温約-5℃および気温約5℃において30秒ごとに撮影したサーモグラフィカメラの観察結果から求めた繊維製面状発熱体表面の温度変化を示した。気温約-5℃、約5℃のいずれの場合においても通電開始30秒後には外気温より繊維製面状発熱体の表面温度が約15℃が上昇している。その後、昇温速度は遅くなるが、通電後約270秒経過時にピーク温度に達している。気温約-5℃の場合の最高温度は25.3℃で、気温約5℃の場合には30.6℃であった。その後、900秒経過までの間に温度は徐々に低下し、気温約-5℃ではピーク温度より約6℃、気温

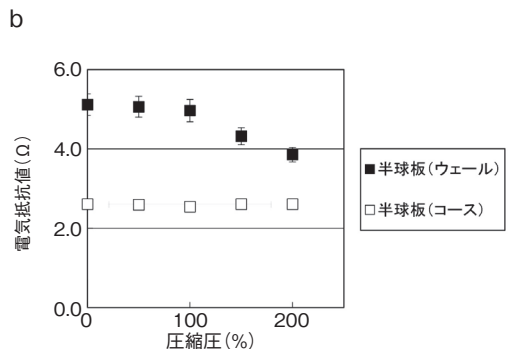


図9 圧縮による電気抵抗値測定結果
(a) 平板圧縮板 (b) 半球圧縮板

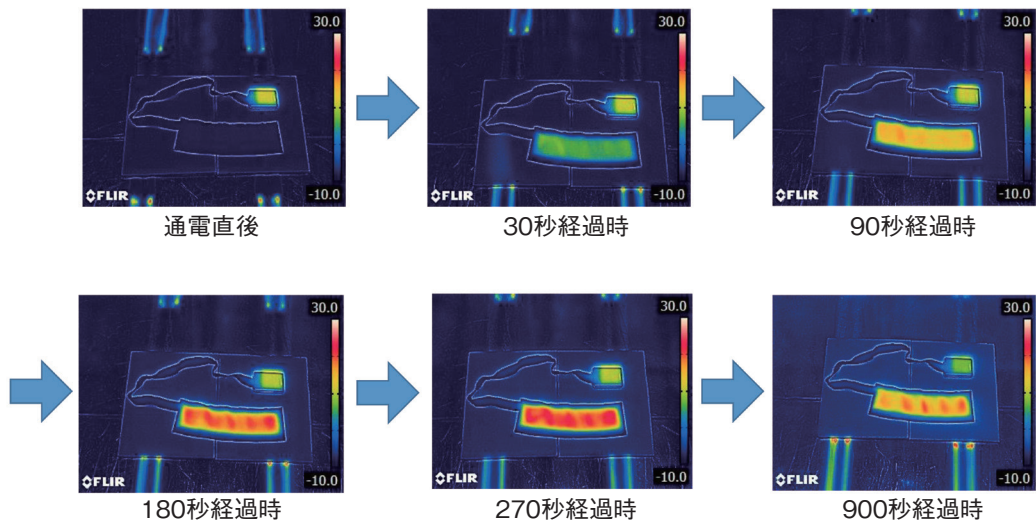


図10 サーモグラフィカメラによる繊維製面状発熱体表面発熱状況観察結果

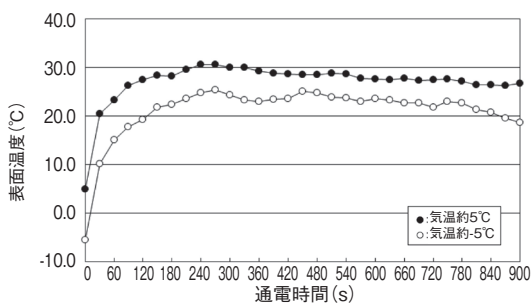


図11 気温約-5°Cおよび気温約5°Cにおける繊維製面状発熱体表面温度の変化

約5°Cでは約4°Cの低下が認められる。

2. 3 プロトタイプレジャー用スキーウェアの発熱性と衣服内温度

図12には、気温を約-5°Cに調整した人工気象

室内においてプロトタイプのスキーウェア上衣のフロントファスナーを閉じた状態で静置し、15分間通電させた後、フロントファスナーを開け、直ちにサーモグラフィカメラにより撮影した画像を示した。スキーウェア内の発熱状況は、襟周りの繊維製面状発熱体装着部位の温度が高く、13°C～24°Cの範囲であり、背中部位が約14°Cであることが確認された。また、面状発熱体を装着していないフロント部分にも約8°Cの発熱が観察された。

一方、実験者によるスキーウェア着用時の衣服内温度の測定結果から上衣の測定箇所20点において検出される温度は左右対称でほぼ同等であることがわかった。そこで、図13(a)には左右中央の3列目の2行目における衣服内温度の変化を

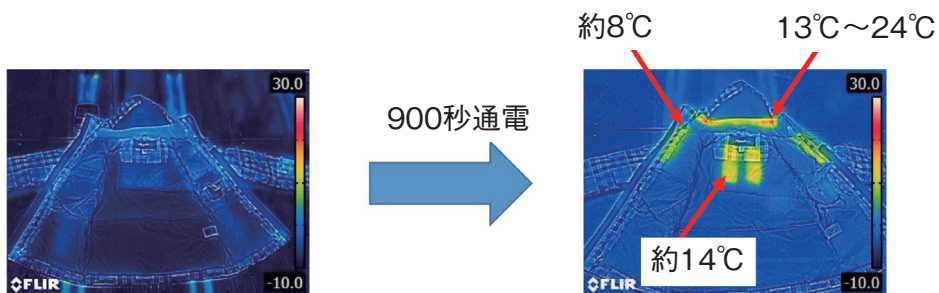


図12 サーモグラフィカメラによるプロトタイプスキーウェア上衣内部の発熱状況観察結果

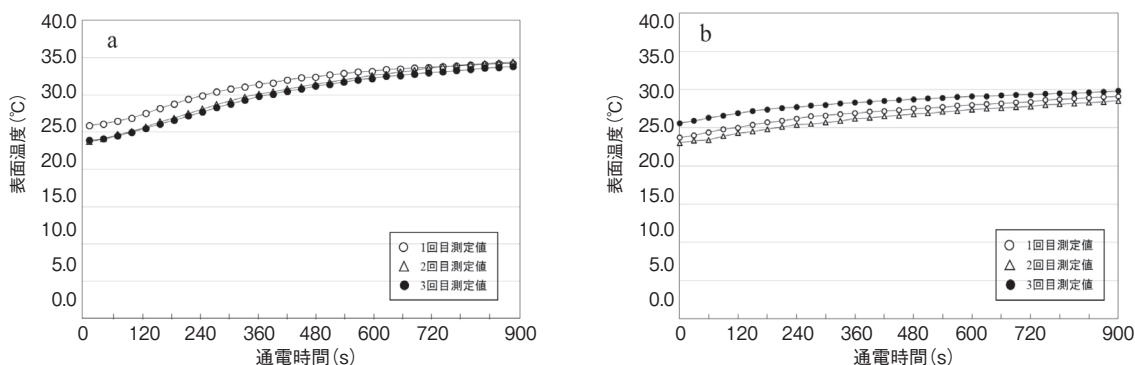


図13 プロトタイプスキーウェア衣服内温度測定結果
(a) 上衣 (b) 下衣

示した。この図から衣服内温度は測定中に緩やかに上昇し、900秒間で約10℃の昇温が確認される。なお、衣服内温度の上昇速度は繊維製面状発熱体単体における昇温傾向と同様に導通開始直後が早く、通电開始後270秒前後で約5℃の上昇が認められる。その後、900秒が経過する間に5℃前後の温度上昇が確認される。図13(b)にはプロトタイプのスキーウェア下衣から得られた衣服内温度の変化を示した。下衣の温度上昇挙動は上衣よりも穏やかで通电後900秒間に約5℃の温度上昇が確認された。

3. 考察

3.1 引張および圧縮時における繊維製面状発熱体の電気抵抗値

図8に示した引張時に電気抵抗値に変動が生じる原因について考察する。まず、引張伸度50%までの電気抵抗値の低下についてである。繊維製面状発熱体は図1(b)に示したように導電糸である銀メッキ導電糸とポリエステル糸から構成されている。図1(b)のポリエステル糸は表地と裏地を接続するために用いている繋ぎ糸である。ここからわかるように編目の銀メッキ導電糸同士の接触点において銀メッキ導電糸の間にポリエステル糸が挟まれている構造となっていることがわかる。試験片に引張が加わっていない場合には、こ

のポリエステル糸が銀メッキ導電糸同士の物理的接触を妨げる要素となり、導通の障害となっているものと考えられる。しかし、引張を加えることでポリエステル糸が銀メッキ導電糸の間からずれて、銀メッキ導電糸同士の接触が良好となる。すなわち、引張伸長作用により銀メッキ導電糸間の接触抵抗が低下したことが電気抵抗値低下の理由であると考えられる。これは、ウェール方向およびコース方向どちらにおいても起こる現象であると考えられるが、図8に示したように電気抵抗値の低下程度はウェール方向とコース方向では異なる。この原因は、ウェール方向とコース方向の電流導通経路の違いと考えられる。図14にウェール方向およびコース方向の電流の通過経路の模式図を示した。(a)がウェール方向、(b)がコース方向であり、矢印を付した曲線で電気の流れを示した。このケースでは、下から電気が流れるケースを想定している。繊維製面状発熱体は構造上、ウェール方向を流れる場合、電流は必ず糸同士の接触点を通過しなければならない(図14(a))。一方、コース方向を流れる場合、電流は導電糸のみを通過することができる(図14(b))。このことから、ウェール方向はコース方向よりも接触点における引張による接触抵抗の変化の影響を大きく受けるものと考えられ、それにより電気抵抗値が大幅に低下したものと考えられる。

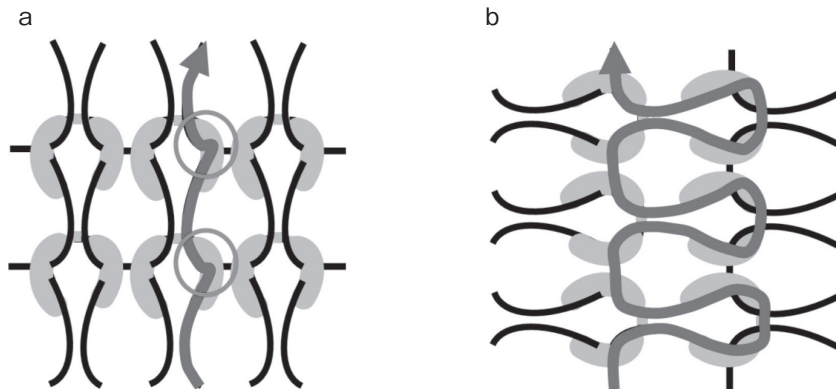


図14 繊維製面状発熱体の電流通過経路の模式図
(a) ウェール方向 (b) がコース方向

次に、引張伸度 60% 以上の電気抵抗値の増加についてである。破断に至るまでの試験片を詳細に観察したところ、試験片を構成する糸は一度にすべてが切れ、破断するわけではなく、引張伸度 60% を超えたあたりから徐々に切れはじめ、その後破断に至ることがわかった。このことから、引張伸度 60% 付近からの電気抵抗値の増加は引張試験による糸切れが原因であるものと考えられる。糸切れが発生することで、電流の通過経路が減少し、電気抵抗値が上昇したものと考えられる。

図 9 に示した圧縮による電気抵抗値変動、すなわち電気抵抗値が低下する現象も引張時と同様に、圧縮作用による銀メッキ導電糸同士の接触抵抗の変化が原因であると考えられる。また、ウェール方向とコース方向から得られた実験結果から繊維製面状発熱体に比較的大きな荷重が加わるような状況においては電極をウェール方向に接続している場合には電気抵抗値が変動する可能性があるが、コース方向に接続した場合は電気抵抗値が変動する可能性は低いものと考えられる。したがって、電気抵抗値の安定性から電流の供給は電極をコース方向に接続する方が妥当であると考えられる。

3. 2 氷点下および低温環境下における繊維製面状発熱体の発熱性能

図 11 に示した気温約 -5℃ および気温約 5℃ に

おける結果は、繊維製面状発熱体単体を外気温約 -5℃ および約 5℃ の環境下に直接暴露して行った実験から得られたものである。したがって、繊維製面状発熱体がダイレクトに外気温の影響を受け、通電後約 270 秒経過時から 900 秒経過までの間に徐々に温度が低下したものと考えられる。室温約 5℃ のときの方が室温約 -5℃ よりも温度降下の程度が小さいことから外気温の影響を受けているものと考えられる。しかし、実際にスキー、スノーボードウェアに繊維製面状発熱体を実装し、使用するケースにおいては繊維製面状発熱体が直接外気温に曝されることはなく、人体を包むように使用されることからこの温度降下現象は問題ではないものと判断し、プロトタイプのスキーウェアの作製段階に進め、実験的検討を実施した。

3. 3 プロトタイプレジャー用スキーウェアの発熱性と衣服内温度

図 12 に示した結果から約 -5℃ 環境下においてもプロトタイプのスキーウェア上衣および下衣の発熱性能が確認された。なお、繊維製面状発熱体を装着していないフロント部分における発熱は、フロント部分が 15 分間の通電中背部に装着した繊維製面状発熱体と接触する部分に該当し、背部に装着した繊維製面状発熱体の発熱によりフロント部分に発熱状態が観察されたものと考えられ

る。

図 13(a) および図 13(b) に示した実験者による着用時の衣服内温度測定結果からプロトタイプのスキーウェアは上衣、下衣ともに適切な衣服内温度が検出されているものと考えられる。また、その発熱性から繊維製面状発熱体はスキーウェアの中綿と裏地の間に縫製、固定しても正常に機能していること、ならびに繊維製面状発熱体の装着部位もほぼ妥当であることが確認された。なお、実験者へのヒヤリングの結果、プロトタイプのスキーウェア上衣の首回りは氷点下環境においても暖かく快適に感じたが、背中部位については厚手のインナー使用時には直接的な暖気はあまり感じなかった。しかし、薄手のインナー着用時には背中に温かさを明確に感じるとの感想であった。座位姿勢における下衣は暖かく快適に感じたとのコメントが得られた。したがって、襟周りや大腿部裏側のように繊維製面状発熱体装着部位と皮膚が直接接触する部位においては、暖気を感じることが明らかになった。よって、繊維製面状発熱体装着スキーウェア着用時には薄手の軽くて動きやすいインナーウェアを利用できる可能性も見出せた。

4. 今後の計画

公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団平成 30 年度研究助成金交付申請書に記載したとおり、今冬季に実際のスキーゲレンデにおける実用性能試験を実施する。

実用性能試験の協力者には 70 歳代男性、60 歳代女性、40 歳代男性、30 歳代女性、小学校中学年男子児童、小学校低学年女子児童の内諾を得ている。広い年齢層からスキー経験も様々な協力者が得られた。今季に行う実装実用性能試験時に実施するヒヤリング調査の結果を踏まえ、さらに完成度の高い繊維製面状発熱体装着快適レジャースキー、スノーボードウェアの開発を行う計画であ

る。

5. 結 言

銀メッキ導電糸を利用した繊維製面状発熱体を装着した快適なレジャー用スキー、スノーボードウェアの開発を目的に実験的検討を行った。

最初に繊維製面状発熱体を構成する糸が破断に至るまでの引張変形および大きな応力を繊維製面状発熱体に集中的に加えた際の電気抵抗値変動を検討するために引張変形時および圧縮時における電気抵抗値測定を実施した。その結果、引張変形時では、ウェール方向において電気抵抗値が引張伸度 50% までの範囲で低下し、その後増加すること、コース方向において電気抵抗値は引張伸度 70% まで低下し、その後増加することがわかった。圧縮による電気抵抗値変動については、平板圧縮板を用いた場合、コース方向に通電した場合の電気抵抗値は圧縮圧に関わらず安定した挙動を示すが、ウェール方向では圧縮圧の増加にともない電気抵抗値が低下すること、ならびに圧縮板の面積が大きいほど電気抵抗値の低下が顕著であることがわかった。これは銀メッキ導電糸同士の接触抵抗の変化が原因であるものと考えられた。

次に、氷点下および低温環境下における繊維製面状発熱体単体の発熱性を検証した。氷点下環境においても繊維製面状発熱体は通電開始後 180 秒で表面温度は 20℃ を超過することが確認された。また、氷点下および低温環境下のいずれの場合においても通電開始 30 秒後には外気温より表面温度が約 15℃ が上昇し、通電後約 270 秒経過時にピーク温度に達することが明らかになった。氷点下の場合の最高温度が 25.3℃、低温環境下の最高温度は 30.6℃ であった。

さらに、繊維製面状発熱体を装着したプロトタイプスキーウェアの上衣、下衣の基本設計を行った。上衣はスキーヤーの首周りから背面上部を繊維製面状発熱体によって暖めることを目的とし、

下衣はリフト利用時に配慮し、大腿部裏側を暖める方針とした。繊維製面状発熱体はスキーウェア中綿と裏地の間に縫製により固定することとし、プロトタイプのスキーウェアを作製した。

このプロトタイプのスキーウェア上衣をフロントファスナーを閉じた状態で氷点下環境の人工気象室内に静置し、フロントファスナーを開けた後、直ちにサーモグラフィカメラにより発熱状況を観察したところ襟周りの繊維製面状発熱体装着部位の温度が高く、13℃～24℃の範囲であり、背中部位が約14℃であることが確認された。また、面状発熱体を装着していないフロント部分にも約8℃の発熱が観察された。さらに、実験者によるスキーウェア着用時の衣服内温度を測定した。その結果、スキーウェア上衣からは900秒間で約10℃の昇温が確認された。スキーウェア下衣の温度上昇挙動は上衣よりも穏やかで通電後900秒間に約5℃の温度上昇が確認された。結論的にはプロトタイプのスキーウェアは上衣、下衣ともに適切な衣服内温度が検出されているものと考えられ、その発熱性から繊維製面状発熱体はスキーウェアの中綿と裏地の間に縫製、固定しても正常に機能していること、ならびに繊維製面状発熱体の装着部位もほぼ妥当であることが確認された。

謝 辞

本研究の実施にあたり、研究助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学技術振興財団に心より厚くお礼申し上げます。

また、実験者として本研究にご協力を賜りました信州大学大学院総合理工学系研究科の今関瑠奈氏に深甚なる謝意を表します。

文 献

- 1) 井上真理. 高齢者の被服とスマートテキスタイル. 神戸大学大学院人間発達環境学研究所研究紀要, 1, 1, 169-170(2007)
- 2) 繊維学会. 平成 27年度製造基盤技術実態等調査 (スマートテキスタイル市場の拡大に関する調査) 報告書(2016)
- 3) 米長繁. 最近のスマートテキスタイルの開発動向. 繊維機械学会誌, 58, 6, P201-P208(2005)
- 4) 木村裕和. スマートテキスタイルの現状と超高齢社会における活用. 生活環境の文化誌洗濯の科学 62, 3, pp.2-10(2017)
- 5) 坂生清. ウェアラブル技術がもたらす安心・快適な“衣服空間”. 繊維学会誌, 71, 5, P-224-P-227 (2015)
- 6) 高橋秀也. 超小型 IC を搭載した RFID ファイバーの応用. 繊維機械学会誌, 68, 8, 467-470(2015)
- 7) 戸田真志, 秋田純一, 櫻沢繁, 岩田州夫. Textile Net: 導電性衣服を用いたウェアラブルネットワークシステム. 繊維機械学会誌, 60, 3, 142-147(2007)
- 8) 榎堀優, 間瀬健二. 導電性繊維と布構造による伸縮・圧力センサと医療・介護への応用. 繊維機械学会誌, 68, 8, 477-483(2015)
- 9) 坂口明男, 加藤美穂, 石澤広明, 木村裕和, 児山祥平. スマートテキスタイルのための光ファイバ導入編地の作製. *Journal of Textile Engineering*, 62, 129-134(2016)
- 10) 藤田俊祐, 松本安正, 松本正秀, 坂口明男, 木村裕和. 繊維製面状発熱体の物理変形による電気抵抗値変動. 繊維学会予稿集2016, 71, 1, 1H06(2016)
- 11) 木村裕和, 山本貴則, 秋山庸子, 西嶋茂宏. 高齢被験者の仙骨部接触圧と組織血流量に及ぼす褥瘡予防寝具の効果と身体的特徴との関係. 日本生理人類学会誌, 17, No.3, (2012)
- 12) Kimura H., Akiyama Y., Yamamoto Y., Doi Y., Izumi Y., Nishijima S., . ANALYSIS OF VISCOELASTICITY OF HUMAN SKIN FOR PREVENTION OF PRESSURE ULCERS, *Journal of Medicine and Biology*., 8, 1, pp.33-43(2008)