

氏名	しん ふあ SHEN HUA
学位(専攻分野)	博士(学術)
学位記番号	博甲第853号
学位授与の日付	平成29年9月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科 先端ファイブ科学専攻
学位論文題目	Analyses of thermal properties using heterogeneous fabric model (異方性のモデルに基づく織り物の熱伝導の研究)
審査委員	(主査)教授 鋤柄佐千子 教授 横山敦士 教授 佐久間淳

論文内容の要旨

織物は、たて糸とよこ糸から構成されるため使用される繊維、糸の性質によって熱伝達特性にも異方性が生じる。本研究は、このような織物の異方性を考慮した熱伝達モデルを構築し、数値計算と実験結果をもとに布表面と厚さ方向への熱伝達を明らかにすることを目的とした。そして、その結果を新しい交織織物や複合化された織物の設計に役立てることを最終目標として研究を進めた。

第1章では、文献に基づき織物の熱伝達に関するこれまでの研究を紹介し、異方性を考慮した熱伝達モデルの必要性について言及し、本研究の目的と位置づけについて述べた。モデルの構築には、FEMの手法を用いた。

第2章では、2次元の異方性モデルを提案した。このモデルの特徴は、熱が織構造を作る糸にそった熱伝達と糸の厚み方向の熱伝達をそれぞれ独立して考え、布の両面に温度差が生じた時の温度変化を時間とともに計算できる点にある。モデルの中では、糸と糸の接触熱伝達係数をシミュレーションと実験より導き導入した。その結果、熱伝導率の異方性の大きい繊維から構成された糸を用いた布では、糸軸にそった方向の熱伝達は、糸の厚み方向の熱伝達と比較して大きいことがわかった。また熱伝達が平衡状態になった時の布断面の温度分布に糸の熱伝導率の差が顕著に現れた。この結果から、実験ではわからなかった布の内部の温度分布を明らかにすることができた。

第3章では、2次元の異方性モデルでは予測できない布表面の熱伝達を明確にするために、3次元の織物モデルを構築した。このモデルは、交織織物の熱伝達特性をたて糸、よこ糸それぞれの熱伝達を考慮して計算することができる。布の1点に熱源を置いた後の熱伝達を織物のたて糸方向、よこ糸方向、バイアス方向にそって、時間とともに生じる温度変化をシミュレーションした。また、この状態を再現するために、同一のたて糸を用いて、熱伝導率の異なるよこ糸を用いた交織織物を作製し、熱源を試料上に置いた後の温度変化を赤外線サーモトレーサーで調べた。その結果、フィラメント糸から構成された織物は、温度分布の変化が計算結果とよく一致したが、紡績糸をよこ糸に用いた織物では、計算値とシミュレーション結果の間に差が見られた。したが

って、さらに糸の特性、すなわち糸の撚りによる熱伝達についてもシミュレーションの中で考慮する必要性が明らかになった。

第4章では、積層した布の断熱性について、特に空気層の熱抵抗、布間の接触熱抵抗に着目した。この布の接触熱抵抗を得るために、布の積層枚数、上下の組み合わせを変えた積層布の熱伝導率を測定した。そして実験結果より、積層布の熱抵抗に対する空気層の抵抗は、本実験の試料の範囲では、29%から104%とかなり大きく、その重要性を示した。さらに、空気層の抵抗と布間の熱抵抗を合わせて予測できる予測式を提案し、実験結果とよく合うことを示した。また布の表面粗さが積層布間の抵抗に及ぼす影響についても明らかになった。これらの結果は、近年様々な織物構造を積層して作る複合織物の熱伝達特性の予測に、大きく寄与することが期待できる。

第5章では、毛先の長いファーや厚地の織物を指で厚み方向に押し込んだ時に生じる布内部の温度変化に着目した。温度を感知するフィンガーセンサーデバイスを圧縮試験機に取り付け、センサー部分をファーの内部へ押し込むときの温度変化の最大値 (UT_{max}) を求めた。ファーのパイル長のみをかえ、他の構造を等しくする試料を用いることで、押し込む圧力、含気率と UT_{max} の関係を明らかにした。同一の繊維で、パイルの長さが異なるファーの UT_{max} は含気率の影響を大きく受けた。一方ファーに比べ厚さが小さい織物では、構成する繊維の熱伝導率の影響の方が顕著に見られた。

第6章では、本論文で得られた成果と課題を結論としてまとめた。

本研究では、糸を構成する繊維の異方性までは熱伝達モデルの中に導入することはできず、また布は平面状態で変形もしない。しかし、構築した織物の異方性を考慮した熱伝達モデルは、これまで均一なシートを層状に重ねた材料を想定してシミュレーションをしてきた結果と比較して、よりテキスタイルの特徴を考慮した構造設計に応用可能である。

論文審査の結果の要旨

布の熱伝達特性に関しては、これまで多くの研究成果が発表されているが、布の織構造を形成する糸の形態や熱伝達の異方性に着目してはいなかった。本研究の特徴は、織物独自の構造と熱伝達測定時の糸と糸、糸の空気の接触状態を考慮した熱伝達特性をシミュレーションする FEM モデルを構築した点にある。従って、たて糸、よこ糸はそれぞれ固有の熱伝導を示し、また両者の接触状態も加味している。数値計算と実験結果をもとにした布の2次元モデルでは布断面の温度分布を明らかにした。また3次元モデルでは、交織織物表面の熱伝達を表した。さらに、布を層状に積層した織物、新規な複合材料へと発展させるために、布間、および布と空気の接触熱抵抗を実験より求める式を提案し、予測値をモデルに導入した結果、実験結果との一致が確かめられた。近年、繊維機械の発展によって、複雑な構造の織物も作製できるようになってきた。したがって、本研究で得られた結果は、糸を選択し、布構造を定め、シミュレーションモデルによって織り上がった布の熱伝達特性を予測できることを示しており、これは新たな布設計へ応用できることを示唆した点で興味深い。

本論文の基礎となっている学術論文は、レフェリー制度の確立した雑誌に掲載および掲載が決定されたものである。3篇は全て申請者が筆頭著者である。

1. Hua Shen, Atsushi Yokoyama and Sachiko Sukigara, Modeling of heterogeneous heat

transfer in fabrics, *Textile Research Journal*, 2017, DOI:10.1177/0040517517698986.
(published online first)

2. Hua Shen, Shaochen Jiang and Sachiko Sukigara, Dependence of Thermal Contact Properties on Compression Pressure, *J. Fiber Sci. Technol.*, 73(8),177-181, 2017.
3. Hua Shen, Atsushi Yokoyama and Sachiko Sukigara, Analysis of heterogeneous heat transfer in fabrics with a three-dimensional model, *J. Fiber Sci. Technol.*, 73(9),241-246, 2017.

以上の結果より，本論文の内容は十分な新規性と独創性，さらに学術的な意義があり，博士論文として優秀であると審査員全員が認めた。