

学位被授与者氏名	荻野 毅 (Takeshi Ogino)
学位の名称	博士 (工学)
学位番号	博 (一) 第 37 号
学位授与年月日	平成 26 年 9 月 22 日
論文題目	吸放湿繊維材料の水蒸気及び熱移動に関する研究
論文題目 (英訳または和訳)	Study on Heat and Water-Vapor Transfer in a Moisture-Adsorbing/Desorbing Fiber Material
論文審査委員	論文審査委員会 委員主査 : 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 田中 宏史 同審査委員: 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 河村 良行 同審査委員: 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 倪 宝栄 同審査委員: 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 赤木 文男
論文審査機関	福岡工業大学大学院工学研究科
論文内容の要旨 (和文)	<p>衣服の快適性や省エネの観点から注目されている吸湿発熱素材は、日本提案型の機能特性であり、冬物衣料には欠くことのできない考え方である。しかし、熱力学平衡系におけるこれら素材の吸脱着熱の報告は見られるが、実際の着衣条件を想定した非定常から定常の状態における水蒸気および熱移動についての伝熱学的研究はなされていない。本研究では、初期の吸湿発熱による温度上昇のみならず、定常状態下においても保温性を維持している現象を、「実験装置で模擬した実験的解明」「数値解析モデルによるメカニズムの解明」「赤外熱画像による可視化」の方法を駆使し明確化を図ったものである。更に、吸放湿繊維材料の相対湿度変化に呼応する吸脱着熱量の大きさ及び発生機構の分析も加えた。</p> <p>本論文は6つの章で構成されている、第1章では、吸放湿発熱素材の研究・開発の現状と動向並びに伝熱学的研究の有用性について紹介する。また、各章に分けて記載した研究内容の概要について解説する。</p> <p>第2章では、親水性繊維の中でも吸放湿能力の最も高い塩型ポリアクリル酸系繊維の相対湿度変化に呼応する吸脱着熱量の実験的研究及び熱の発生機構を考察する。更に各素材の相対湿度変化に対する熱伝導率の測定結果を示す。</p> <p>第3章では、非定常から定常状態における水蒸気の拡散及び熱移動を計測できる実験装置を作製し、水分の吸脱着を有する塩型ポリアクリル酸系繊維の不織布及びニットと吸脱着を有さないポリエステル繊維の不織布及びニットの各試料表裏の温度変化を計測した。水蒸気の無い状態 (DHL と称する) での各試料表裏の温度分布は同等であるが、水蒸気を有する状態 (WHL と称する) での、各試料表裏の温度分布には明らかな違いが生じた。この温度差及び第2章の熱伝導率より、WHL における「見かけの熱伝導率 (λ_{app})」を示し、吸放湿性を有する繊維材料の保温性の変化を考察する。</p> <p>第4章では、数値解析モデルを設定し、数値計算によってこれらのメカニズムの解明を試みた。</p> <p>吸放湿性を有する試料内部では、吸着平衡になっても、試料表裏では吸着平衡に達さない仮定を導入することによって、定常時付近においても僅かであるが温度上昇あるいは温度差の増加を示す解析例となった。更に、実験結果と数値計算の比較例を示すことによって、今後の定量的な議論についての課題を提起する。とくにパラメータ $h' \times A'$ について、それぞれ分離して評価できるデータが必要であることを強調した。</p> <p>第5章では、これらの現象をより正確に検証するために、新たに実験装置を組み直し、水分の吸脱着を有する試料と有さない試料表面の温度分布を点接触の熱電対に代え、試料全体を赤外熱画像カメラで長時間に渡って可視化し、各試料全面の温度分布の推移を比較計測した。また、これら試料の温度推移が、試料表裏付近に生じる温湿度条件とどのような相関性を有するか算出し、保温性との関係を考察する。更にニット素材での数値解析結果例を示す。</p>

	<p>第6章では、本論文の主要な結果を要約し、今後の研究課題について述べる。</p>
<p>論文内容の要旨 (英文)</p>	<p>Hygroscopic (moisture-adsorbing/desorbing) and exothermic (heat-generating) materials have attracted attention for clothing comfort and energy saving. They are functionally characteristic materials invented in Japan, and are indispensable for winter clothing. While these materials have been studied in terms of the adsorption/desorption heat generated in the thermodynamic equilibrium system, no study has been made on heat transfer in these materials, or more specifically, on heat and water-vapor transfer from an unsteady state to a steady state assuming an actual use of clothes. In this study, we focus not only on the phenomenon of a temperature rise due to heat generation by initial moisture adsorption and but also on the phenomenon of maintenance of the heat-retaining property even in the steady state. We clarify these phenomena by following approaches: "experimental clarification simulated by an experiment device"; "clarification of the mechanism by a numerical analysis model"; and "visualization by infrared thermal images". Additionally, we analyze the amount of adsorption/desorption heat and the heat-generating mechanism in the moisture-adsorbing/desorbing fiber materials, in relation to the relative humidity change.</p> <p>This doctorate thesis is made up of six chapters. Chapter 1 introduces the current situation and trends in research and development of moisture-adsorbing/desorbing fiber materials as well as the utility of heat-transfer studies on these materials. This chapter further provides an overview of the contents of our research to be detailed in the following chapters.</p> <p>In chapter 2, we focus on a salt of polyacrylic acid fiber, which shows the highest moisture adsorbing/desorbing ability among hydrophilic fibers. Using this fiber, we conduct an experimental study on the amount of adsorption/desorption heat corresponding to the relative humidity change, and investigate the heat-generating mechanism. This chapter also presents measurement results of thermal conductivities of each material during the relative humidity change.</p> <p>In chapter 3, we produce an experiment device for measuring water vapor diffusion and heat transfer during a transition from the unsteady state to the steady state. With this device, we measure temperature changes on the front and back surfaces of the samples, including a nonwoven cloth sample and a knit sample made of a salt of polyacrylic acid fiber having a moisture-adsorbing/desorbing property, and a nonwoven cloth sample and a knit sample made of a polyester fiber without a moisture-adsorbing/desorbing property. In the condition where water vapor is absent (hereinafter called DHL), temperature distributions on the front and back surfaces of each sample are similar. In the condition where water vapor is present (hereinafter called WHL), temperature distributions on the front and back surfaces of each sample are obviously different. Based on such temperature differences and the thermal conductivities mentioned in chapter 2, we obtain "apparent thermal conductivities λ_{app}" under the WHL condition, and discuss the change in heat-retaining property of the moisture-adsorbing/desorbing fiber materials.</p> <p>In chapter 4, we try to clarify the mechanism of these phenomena by setting a numerical analysis model and conducting numerical calculations. Based on an assumption that the front and back surfaces of a sample having a moisture-adsorbing/desorbing property do not reach adsorption equilibrium even when the inside of the sample has reached adsorption equilibrium, we present analysis examples showing a slight temperature rise or a slight increase in temperature difference around the steady state. Further, by disclosing the experiment results and comparative examples of numerical calculations, we raise a future challenge for quantitative discussions. In particular, we emphasize the necessity of data for parameter $h' \times A'$ to be separately evaluated.</p> <p>In chapter 5, we assemble a new experiment device for correct verification of these phenomena. Then, we measure and compare the temperature distributions on the surfaces of the samples having a moisture adsorbing/desorbing property and on the surfaces of the samples without a moisture-adsorbing/desorbing property, by visualizing the entirety of each sample for a long time with use of an infrared thermal imaging camera instead of point-contact thermocouples and by observing the transition of the temperature distributions on the entire surfaces of each sample. We also evaluate how the temperature transition in each sample is related to the temperature/humidity conditions around the front and back surfaces of the sample, and further consider its relevance to the heat-retaining property. Results of the numerical analysis for knit materials are also exemplified.</p> <p>In chapter 6, we summarize the main results given in this thesis and suggest the next stage of this research.</p>
<p>論文審査結果</p>	<p>審査の結果</p> <p>衣服の快適性や省エネの観点から注目されている吸湿発熱素材は、日本提案型の機能特性であり、冬物衣料には欠くことのできない考え方である。熱力学平衡系におけるこれら素材の吸脱着熱の報告は見られるが、実際の着衣条件を想定した非定常から定常的状态における水蒸気および熱移動についての伝熱学的研究はなされていない。本研究は繊維科学と伝熱学の境界領域である人間-熱環境系の先駆的課題として評価できる。</p> <p>本研究では、初期の吸湿発熱による温度上昇のみならず、定常的状态下においても保温性能を維持している現象を、「実験装置で模擬した実験的解明」、「数値解析モデルによるメカニズムの解明」、「赤外線熱画像による可視化」の方法を駆使し明確化を図</p>

ったものである。

本論文はまず、使用した吸放湿繊維素材について相対湿度変化に呼応する吸脱着量及び吸脱着熱量の測定で親水性繊維の中でも最も高い吸放湿能力を持つことを明らかにしている。また、その熱伝導率の測定では高湿度では最大 10%程度大きくなり、逆に保温性の低下となることも明らかにしている。

冬場の着衣条件を想定した非定常から定常の状態までの水蒸気の拡散及び熱移動を計測できる実験装置を用いた、吸放湿繊維素材の不織布及びニットと吸脱着を有さないポリエステル繊維の不織布及びニットの各試料表裏の温度変化を比較計測結果から、定常時になっても両者に明らかな違いが生じた。この差違を見かけの熱伝導率 λ_{app} で評価し、まえの測定値の 6 割程度低下することを示している。

次に、この差違が起こるメカニズムの解明のために、シンプルな数値解析モデルを設定し、数値計算を試みている。その場合に吸放湿性を有する試料は内部で吸着平衡になっても、試料表裏では吸着平衡に達さないという仮定を導入することによって、定常時付近においても僅かであるが温度上昇あるいは温度差の増加を示す解析例を示すことに成功している。

最後に、これらの現象をより正確に検証するために、環境試験室内に新たに実験装置を組み直し、試料全体を赤外熱画像カメラで長時間に渡って可視化し、各試料全面の温度分布の推移を比較計測している。吸放湿繊維素材のニットと吸脱着を有さないポリエステル繊維のニットの各試料表裏の 0.2~0.4℃の温度差を確認している。

今回の成果は現象論的、定性的傾向を明確化した成果とも云える。今後この分野でのさらに精緻な研究が進み、本質論的、定量的解明が必要であると考えられる。

本研究の成果として、学術論文が 2 編（内第一著者 2 編）、国際会議 1 編（内第一著者 1 編）となっている。

これらの結果には、本研究の新規性と有用性が認められる。以上の理由により、審査委員会は提出論文が学位論文の内容として適合すると判定した。

学位論文公聴会は、2014 年 7 月 30 日 16:30~18:00 の間行われた。出席者は、教職員ならびに大学院・学部学生合わせて計 63 名であった。論文内容に関連する種々の工学的及び技術的な質問があったが、いずれも適切な回答を行うことができた。また公聴会後の最終試験においては、学位論文に関連する分野の学識を有し、今後研究を進めていくための研究能力を備えていることを確認した。以上の結果から、学位審査委員会はこの論文が博士（工学）の学位に適格であると判定した。

主な研究業績

参考論文 10 編 1 冊

[査読付論文]

- 「吸放湿繊維材料内の水蒸気及び熱移動に関する数値解析」熱物性誌. Vol.28, No.2, pp.89-93(2014) [Received Sept. 2, 2013, Accepted Jan. 6, 2014]
著者：荻野 毅，田中宏史
- 「吸放湿繊維材料の水蒸気及び熱移動に関する赤外熱画像による可視化と数値解析」繊維学会誌, 70 巻, 第 7 号, pp160-166(2014) [Received 3 March, 2014; Accepted 11 May, 2014]
著者：荻野 毅，田中宏史

[国際会議発表]

- “Study on Heat and Water-Vapor Transfer in a Moisture-Adsorbing/Desorbing Fiber Material”, Proc. 10th Asian Thermophysical Properties Conference (ATPC), Jeju(2013), P1-68(Final Paper), Authors : Takeshi Ogino and Hiroshi Tanaka

[著書]

- 繊維便覧「発熱繊維」部分、丸善（株），p 464-466(2004・第 3 版)
著者：荻野 毅

[技術論文]

- | | |
|--|---|
| | <p>5. 「吸放湿発熱ウェア“ブレスサーモ”の開発」, 繊維学会誌 vol57 p320-323 (2001-12)
著者: <u>荻野 毅</u></p> <p>6. 「吸湿発熱機構による冬物衣料の商品化と知的財産権について」, 特許懇 No.241
p19-25(2006-5)
著者: <u>荻野 毅</u></p> <p>7. 「スポーツアパレルの変遷と今後の動向」, 日本繊維製品消費科学会誌
p210-216(2009-10)
著者: <u>荻野 毅</u></p> <p>8. 「日本のスキーアパレルの軌跡」, 日本繊維製品消費科学会誌 p29-32(2013-2)
著者: <u>荻野 毅</u></p> <p>9. 「日本のスキーアパレルの軌跡 (最終章) 一栄枯盛衰の過程から学び得るものとは一」, 日本繊維製品消費科学会誌 p6-11(2014-3)</p> <p>10. 「日本のスキーアパレルの軌跡 (座談会)」, 日本繊維製品消費科学会誌
p11-17(2014-5)</p> |
|--|---|