

氏名（本籍）	たむら さおり 田村 沙織（東京都）
学位の種類	博士（学術）
学位記番号	博甲 第 31 号
学位授与年月日	平成 29 年 3 月 15 日
学位授与の要件	共立女子大学大学院学則第 41 条第 1 項該当
論文題目	熱分析を用いた高分子と水の相互作用の評価法に関する研究
論文審査委員	（主査）教授 熊谷 仁 教授 後藤 純子 教授 藤田 雅夫 教授 丸田 直美 准教授 伊藤 裕才

## 論文内容の要旨

水分収着特性や乾燥特性に反映される被服材料と水との相互作用は、衣服の着心地・快適性に大きな影響を及ぼす。従来、被服材料を始めとする高分子と水との相互作用に関する研究の多くは、一定温度下における水分収着や乾燥速度の測定などにより評価されてきた。しかし、衣服の乾燥過程では必ずしも一定温度下で進行しているとは限らない。従って、本研究においては、熱分析装置のうち、熱重量分析装置 (TGA) や示差走査熱量計 (DSC) を併用することで、一定温度のみならず、温度変動を伴う昇温過程における被服材料の乾燥挙動の解析を行い、被服材料（高分子）と水との相互作用に対する新たな評価方法を提案した。

### TGA 内における水蒸気移動速度の評価

最初に、試料表面から TGA 内の気相への水蒸気移動速度を評価することにより、TGA 内における水の蒸発速度の評価を行った。TGA を用いた一定温度での水の蒸発実験における蒸発速度は、蒸発過程において一定であった。TGA 内での水蒸気移動係数  $k$  を、上記の一定温度における水の蒸発速度を乾燥速度の基礎方程式（試料表面と気相との水蒸気分圧差と水蒸気移動係数の積によって表した式）に適用することによって算出した。その結果、設定温度によらず、水蒸気移動係数  $k$  の値は、ほぼ  $8.0 \times 10^{-8} \text{ s/m}$  と一定であった。さらに、昇温過程における水の蒸発速度を、得られた水蒸気移動係数  $k$  の値を用いて、シミュレーション可能であることが確認された。

### 加水した布の乾燥速度の測定および解析

試料としては、綿・ビニロン・ポリエステル の 3 種の布を用いた。いずれの布に関しても、一定温度下における乾燥において、恒率乾燥期間（布表面からの水の蒸発を示す期間）とそれに引き続く減率乾燥期間（布内部からの水の蒸発を示す期間）が観察された。恒率乾燥期間における乾燥速度は、水の蒸発速度と近い値を示した。布の乾燥速度を水の蒸発速度から得られた水蒸気移動係数  $k$  を用いて乾燥速度の基礎方程式により、計算を行った。その結果、恒率乾燥期間における乾燥速度の計算値は、実験値とよく一致した。しかし、減率乾燥期間における乾燥速度の実験値は、計算値よりも小さくなった。このことは、減率乾燥期間においては、布表面の水蒸気分圧が低下していることと、布内部における水分の内部移動抵抗が無視できないことによるものと考えられる。昇温過程における乾燥速度もまた、計算値と実験値とで乾燥途中までよい一致をみた。さらに、乾燥特性曲線（乾燥速度を材料含水率に対してプロットしたもの）が、一定温度における乾燥実験により得られた。この乾燥特性曲線は、綿・ビニロン・ポリエステル、それぞれの布の特性をよく表していることが確認できた。これらの結果から、一定温度のみならず、昇温過程を含めた乾燥実験における TGA の有用性が示され、TGA が布の乾燥挙動の評価においても有用であることが示された。

### 水分収着等温線を用いた減率乾燥期間における布の乾燥速度の解析

減率乾燥期間における布の乾燥速度について、水分収着等温線（一定温度下における材料の平衡含水率と相対湿度との関係を示したもの）のデータを用いて解析を行った結果、吸湿量の多い綿とビニロンについては、計算値が実験値により近づいたが、完全には一致しないことが確認された。このことから、乾燥速度の遅れは、減率乾燥期間における布の水蒸気分圧の低下によるところが大きいものの、布内部における水分の内部移動抵抗をも考慮する必要があることと考えられた。一方、内部にほとんど水を含まない吸湿量の少ないポリエステルについては、減率乾燥期間が極めて短く、水蒸気分圧の変化をほぼ考慮する必要がないことが明らかとなった。

### TGA を用いたポリビニルアルコール (PVA) フィルムの乾燥速度の解析

昇温過程における PVA フィルムの乾燥挙動について、TGA と DSC を併用することによって解析を行った。TGA により測定した水の蒸発量と DSC により測定した蒸発熱を用いて、蒸発エネルギーの算出を行い、フィルム内部に閉じ込められた水の様子を推定した。その結果、PVA フィルム内の水クラスターの大きさを、水の蒸発エネルギーと凝集エネルギー方程式によって算出することができた。

以上の結果から、本研究において、TGA や DSC などの熱分析装置が材料の乾燥挙動の評価に有用であることが示され、被服材料を始めとする高分子と水との相互作用を解明するための新たな評価方法としての可能性を見出した。

## 論文の審査結果の要旨

水分収着特性や乾燥特性に反映される被服材料と水との相互作用は、衣服の着心地・快適性に大きな影響を及ぼす。本研究においては、熱分析装置のうち、熱重量分析装置(TGA)や示差走査熱量計(DSC)を併用することで、一定温度のみならず、温度変動を伴う昇温過程における被服材料の乾燥挙動の解析を行い、被服材料と水との相互作用に対する新たな評価方法を提案した。

### TGA 内における水蒸気移動速度の評価

最初に、試料表面から TGA 内の気相への水蒸気移動速度を評価することにより、TGA 内における水の蒸発速度を評価した。TGA を用いた一定温度での水の蒸発実験における蒸発速度は、蒸発実験の間、一定であった。TGA 内での水蒸気移動係数  $k$  を、上記の一定温度での水の蒸発速度を乾燥速度の基礎方程式に適用することによって算出した。その結果、設定温度によらず、 $k$  の値は、ほぼ  $8.0 \times 10^{-8} \text{ s/m}$  と一定であった。さらに、昇温過程における水の蒸発速度を、得られた  $k$  の値を用いて、シミュレーション可能であることが確認された。

### 加水した布の乾燥速度の測定および解析

試料としては、綿・ビニロン・ポリエステル の 3 種の布を用いた。いずれの布に関しても、一定温度下における乾燥において、恒率乾燥期間とそれに引き続く減率乾燥期間が観察された。布の乾燥速度を水の蒸発速度から得られた  $k$  を用いて乾燥速度の基礎方程式により、計算を行った。その結果、恒率乾燥期間に相当する期間における乾燥速度の計算値は、一定温度・昇温過程共に実験値とよく一致した。また、乾燥特性曲線が、一定温度における乾燥実験により得られ、TGA が布の乾燥挙動の評価に有用であることが示された。

### 水分収着等温線を用いた減率乾燥期間における布の乾燥速度の解析

減率乾燥期間における布の乾燥速度について、水分収着等温線のデータを用いて解析を行った結果、計算値が実験値により近づいたが、完全には一致しないことが確認された。このことから、乾燥速度の遅れは、減率乾燥期間における布の水蒸気分圧の低下によるところが大きいものの、内部移動抵抗をも考慮する必要があることと考えられた。

### TGA を用いたポリビニルアルコール (PVA) フィルムの乾燥速度の解析

昇温過程における PVA フィルムの乾燥挙動について、TGA と DSC を併用することによって解析を行った。その結果、PVA フィルム内の水クラスターの大きさを、水の蒸発エネルギーと凝集エネルギー方程式によって算出することができた。

以上の結果から、本研究において、高分子と水との相互作用を解明するための新たな評価方法としての可能性を見出した。

本研究は、被服材料を始めとする高分子と水との相互作用の解明に寄与することが期待されることから、審査員一同は、博士(学術)の学位論文として価値あるものと認めた。