

被服材料の保温性の研究

その4 繊維の保温性におよぼす吸湿の影響

若山 初子 寺岡 宏

被服材料の保温性は、実験条件の相違により差を生ずることが前報(1)により明らかにされた。それゆえ前報(1)では最も適切な実験条件を解明し、その条件のもとで日常使用されている12種類の繊維について保温率の比較を行なった。また絹繊維とテトロン繊維について、温度変化曲線から熱貫流係数を計算し、その保温性についての考察を行なった。前報(2)においては、異なった温度変化の様式をとる絹繊維とテトロン繊維について、その保温性の違いを解明するための研究を行なった。さらに前報(3)においては、実験条件の単純化と実験系の均一化を目的として実験条件の改良を行ない、保温性に関する繊維の物理的性質の解明を行なった。その結果、保温率の測定には1°C降下に要する時間を用いた方がより適切であること、および実験系の熱放出速度が一定の値を示す状態、すなわち外部温度5°Cに対して感温部温度25°C付近が適当であることが見出された。以上の方法による各繊維の保温率は、用いた繊維6種類間では有意な差が見られたが、合成繊維間の保温率には有意な差が認められないことが明らかにされた。

前報(1-3)までの実験において繊維は乾燥状態のものが使用されたが、これに対して繊維が吸湿した場合、あるいは水に濡れた場合は保温性にどのような変化を示すかを明らかにするための実験を行なった。

一般的には濡れた衣服は羊毛が保温性に優れているとか、汗をかいた衣服を着ていると風邪を引くとはよく聞く言葉である。人体が衣服を着用した場合は生体と環境との複雑な現象により、いわゆる着心地、快適、触感等の官能的な

要因も加わることは必須である。そして保温性は、これらの官能的な諸要素の総合として規定されるものであるが、前報同様これらの要因を排除し、実験系をできるだけ単純化することにより、繊維自体の保温性を比較検討することに主眼をおいた。

使用材料としては絹、羊毛、木綿、テトロン、ナイロン、ボンネルの各繊維を用い乾燥時、吸湿時および吸水時における保温性を求めた。

材料と方法

材料：本実験に用いた繊維は絹、羊毛、木綿、テトロン、ナイロン、ボンネルでこれは前報(3)において使用したものと同材料である。実験目的に応じて3g、5g、10g、および15gを用いた。繊維は40°C恒温器で乾燥させたものを使用した。

方法：図1のような乾燥または吸湿時における繊維の保温性測定容器を考案し、これを用いて繊維の乾燥時および吸湿時における保温性を測定した。すなわち本体は透明なプラスチックを使用し、上部に電子温度計挿入口、温度計挿入口、および排気孔をつけ、下部には水蒸気を送る口を設け、内部を中空とし、モーター使用により容器壁の上下周囲に恒温水を流通させるようにした。

容器内部は図1に示されているように底部より3cm上に皿を敷き、下の水蒸気孔より水蒸気が均一に上昇するようにした。乾燥時の保温性を測定するときは底部にシリカゲルをガーゼに包んで敷き、繊維は図中gに示されている細い針金のかごに均一密度に充填した。上部中央挿入口より-10°C~+40°Cの5段切替え0.1°C

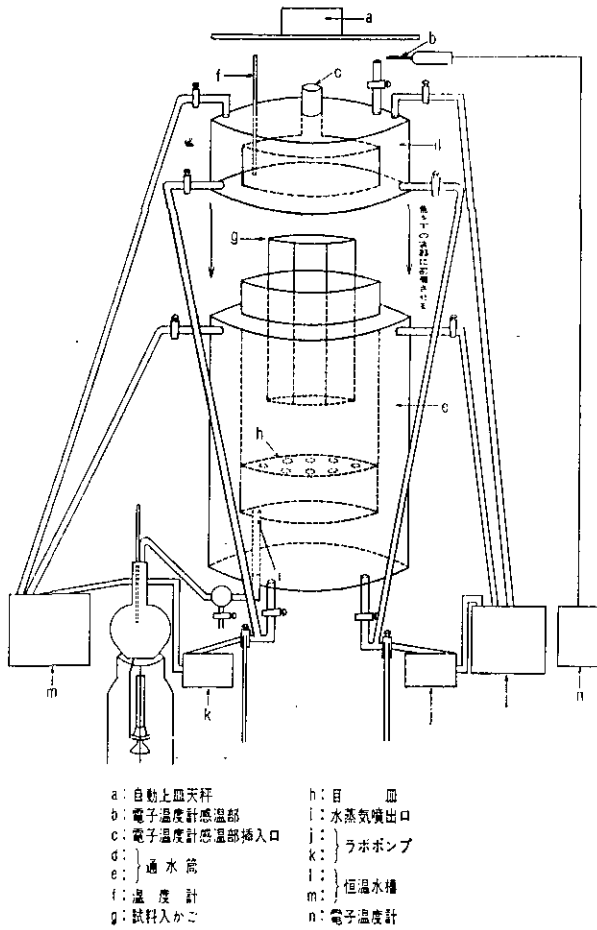


図1 乾燥吸湿および吸水時の繊維保温性測定器

目盛りの電子温度計感温部を繊維の中心に挿入し、繊維かごを系内の上部に固定した。この時繊維が吸湿するのを防ぐために、容器上部と下部のすり合わせ部分、温度計挿入口、電子温度計、下部水蒸気流通ゴム管の口をビニールテープで密閉した。

一昼夜放置した後、恒温水槽（A槽とする）を43°Cに調節し、他の恒温水槽（B槽とする）は10°Cに調節し、測定容器内にA槽恒温水を送り、容器内および電子温度計感温部が42°Cに上昇した時にこの恒温水を排水し、B槽恒温水を流通させた。系内温度の低下にともない、電子温度計感温部が40°Cから30°Cまで1°Cずつ降下するのに要する時間を測定した。

つぎにB槽恒温水を通したまま系内温度を

12°Cに降下させ、その後水蒸気を一定時間系内に送った。この時系内温度は常に15°C前後を保つように水蒸気の送り方を調節した。その後水蒸気吸入ゴム管の口を密閉し、そのままの状態て30分放置し、繊維の吸湿状態を安定させた。後再び容器にA槽恒温水を入れ、上記と同様の方法で吸湿時における保温性を測定した。次に温度計感温部を抜き、繊維かごは容器内に入れたまま、上部に設定した上皿天秤によって繊維の吸湿重量を測定した。

別の実験においては繊維を水中に浸し完全に吸水させ、それを強くしぼり、その吸水重量を計り、保温性を上記と同様の方法で測定した。

結果と考察

温度降下所要時間について

繊維を含まない系（コントロール）

および乾燥した繊維と吸湿繊維での温度変化曲線を図2に示す。なお図2中の繊維の吸湿時間は20分であり、なるべく一定圧の水蒸気を送ることにより条件の同一化をはかった。

図2に示された測定値により、使用

材料10gの方が5gの場合よりもいづれも高い保温性を示し、乾燥した繊維10gの保温性は木綿>羊毛>ボンネル>テトロン>ナイロン>絹となり、木綿が最も高い保温性を示し、絹が最も低い保温性を示す。また5gの場合には木綿>羊毛>ナイロン>絹>テトロン>ボンネルの順で保温性を示し、保温性の高い木綿、羊毛の順位は同じであるが、10gにおいて低い保温性を示したナイロン、絹が他のボンネル、テトロンに比べて高い保温性を示している。しかし以上の測定値は統計的な処理を行なったものでなく、その差の有意性については断定できない。この測定値を前報(3)における同じ温度差でえられた結果と比較すると、前論文においては最も低い保温効果を示した木綿が、本論文に

被服材料の保温性の研究

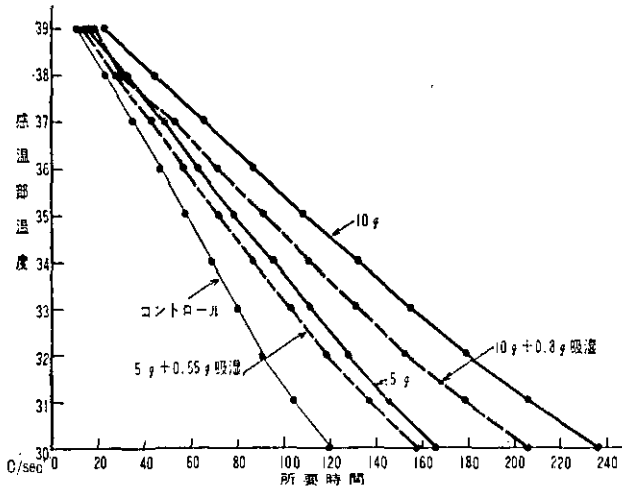


図2 (A) 羊毛10g, 5g, 10gに0.8g吸湿させた場合および5gに0.55g吸湿させた場合の温度変化曲線

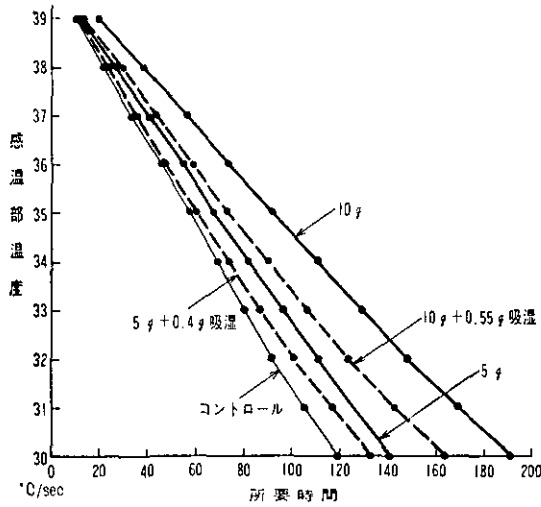


図2 (B) 絹10g, 5g, 10gに0.55g吸湿させた場合および5gに0.4g吸湿させた場合の温度変化曲線

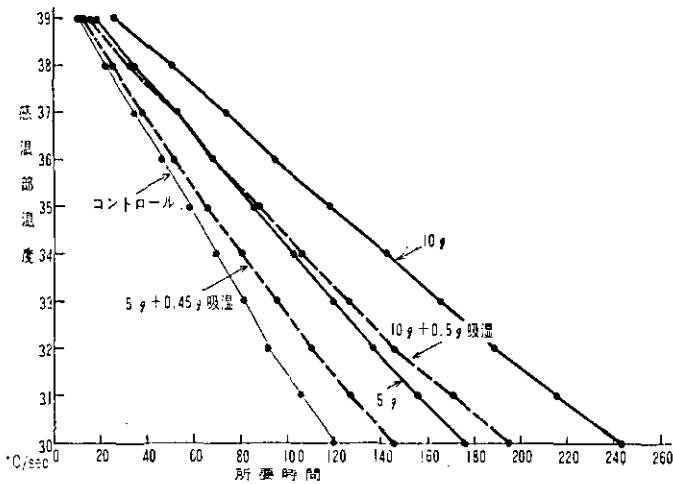


図2 (C) 木綿10g, 5g, 10gに0.5g吸湿させた場合および5gに0.45g吸湿させた場合の温度変化曲線

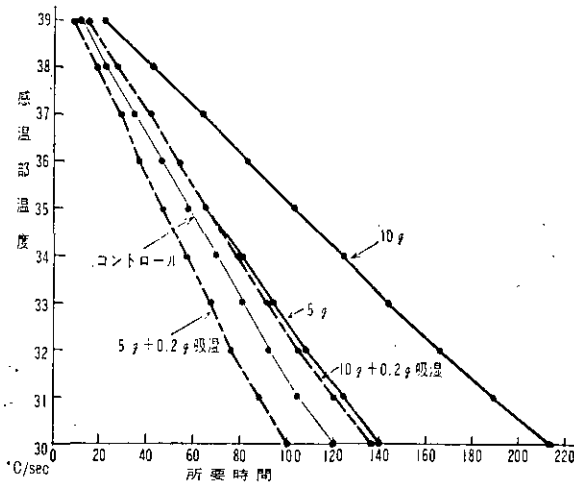


図2 (D) テトロン10g, 5g, 10gに0.2g吸湿させた場合および5gに0.2g吸湿させた場合の温度変化曲線

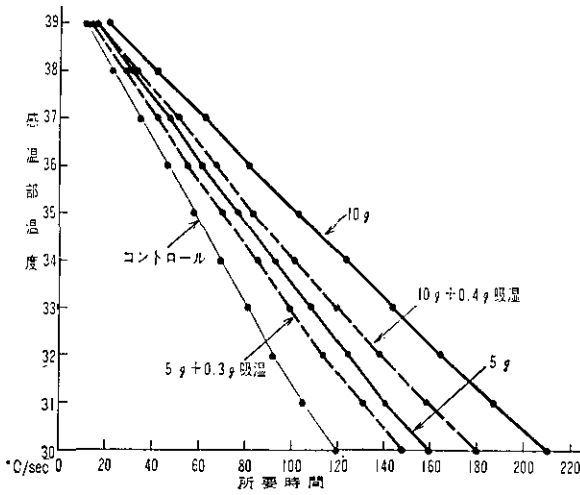


図2 (E) ナイロン10g, 5g, 10gに0.4g吸湿させた場合および5gに0.3g吸湿させた場合の温度変化曲線

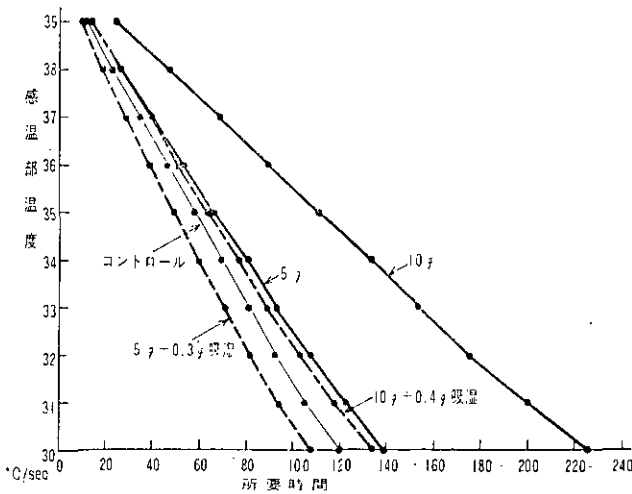


図2 (F) ボネル10g, 5g, 10gに0.4g吸湿させた場合および5gに0.3g吸湿させた場合の温度変化曲線

においては最も高い保温効果を示し、また他の繊維においても保温性の順位の一貫性は見られない、この事実は使用材料の充填密度、および実験系の諸条件の相違によるものと考えられ、繊維における保温性の複雑な要因を物語るものである。

図2中の吸湿した繊維での測定値においては、使用材料10g、5gの場合ともにどの繊維も乾燥時より保温性の低下を示し、10gの場合の保温効果の順位は羊毛>木綿>ナイロン>絹>テトロン>ボンネルとなる。湿度を与えた場合は最も吸湿重量の多い羊毛が一番高い保温性を示し、テトロン、ボンネルは吸湿量が少ないにもかかわらず低い保温性を示す。また5gの場合の保温効果は羊毛>ナイロン>木綿>絹>ボンネル>テトロンの順で、10gと同じく羊毛の吸湿量が一番多いにもかかわらず最も高い保温性を示す。またテトロン、ボンネルは吸湿量が少ないにもかかわらず低い保温性を示すのは10gの場合と同じであるが、特に乾燥時におけるコントロールよりも低い保温効果を示すことが特徴的である。

次に吸湿量を見ると同じ条件で同じ時間水蒸気を送った場合、天然繊維の吸湿量が合成繊維に比べて多いことが特徴的である。この実験を始める前の繊維の状態は乾燥状態であるが、各繊維の公定水分率は羊毛15.0%、絹12.0%、木綿8.5%、テトロン0.4%、ナイロン4.5%、ボンネル1.5%(4)の値が報告されており、本実験の吸湿量の関係とほぼ一致する。

吸湿時において水分含量の多い天然繊維が、テトロン、ボンネルに比べて高い保温性を示すのは繊維の構造によるものと思われる。すなわち羊毛は水分が繊維内部の細胞孔隙に吸蔵され、表面は疎水性の鱗片で覆われているために、表面の繊維間隙に水を吸蔵することが少ないので保温効果が落ちないものと思われる。また木綿も繊維表面の脂質が同じような効果をもたらしているものと思われ、これに比して、テトロン、ボンネルの保温効果の急減するのは、繊維自体疎水基の多い構造であるために、水滴は織

維表面に付着し繊維の断熱効果を低下させているものと思われる。また同じ合成繊維であるナイロンがテトロン、ボンネルに比して保温効果の低下がないのは、羊毛、絹と同じようにポリアミドであることに起因しているのではなからうか、顕鏡等により繊維の吸湿時における構造を調べることも残された課題の一つであろう。

1°C降下に要する時間

1例として木綿10gと5g使用した場合における、乾燥時および吸湿時の1°C降下に要する時間を図3に示した。

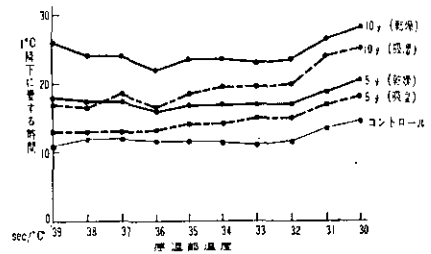


図3 木綿10g、5gの乾燥・吸湿時およびコントロールの1°C降下に要する時

図3にみられるように、温度降下速度は36°C付近において最も速くなり、その後温度差が少なくなるに従い次第に緩慢となる。この現象は他の繊維においても乾燥、吸湿いずれの場合も5gより10gの方がより顕著に現われている。この原因としては系内の熱の移動に繊維の熱伝導とともに、空気対流による要因が同時に作用していることを推察させるものである。すなわち空気対流速度が温度差によって規定されるとともに、さらに系内の材料の充填密度によって影響され、対流が最高速度に達するまでに時間を要することが、図3にみられる温度降下速度の変化を示す原因になるものと考えられる。

感温部温度34°Cにおける保温率について

前述の結果から降下速度の安定している35°Cから34°C、34°Cから33°Cまでの各温度の降下時間の平均値をとり、これを1°C降下に要する時間として、繊維10gと5gの乾燥、吸湿時の保温率を求めた。その結果を図4に示す。

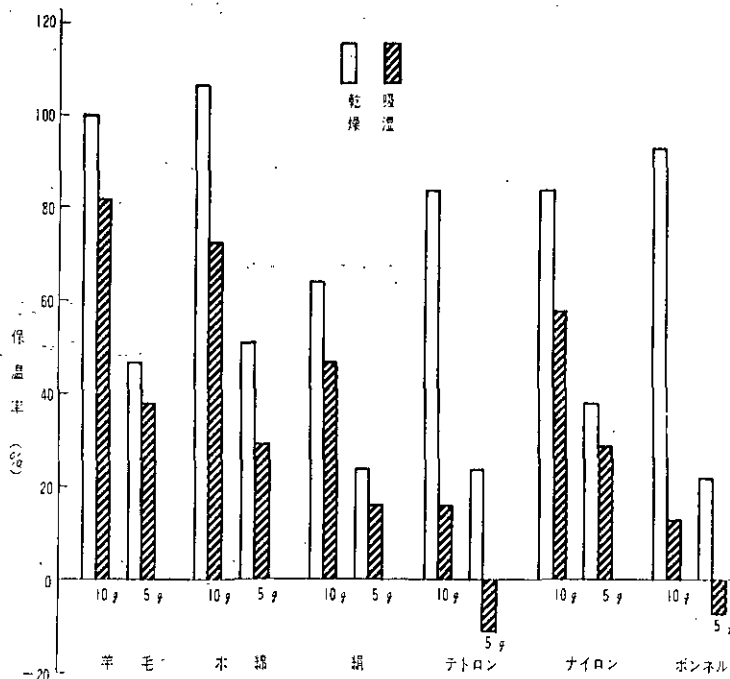


図4 羊毛、木綿、絹、テトロン、ナイロン、ボンネル、10g、5g の場合の乾燥および吸湿時における保温率

図4の結果から繊維が乾燥している場合には10g充填の方が、5g充填よりもいずれも保温率が高く、どの繊維においても倍以上の保温効果を示している。天然繊維においては5g、10gともに、その順位は木綿>羊毛>絹と等しいが、合成繊維群においては10g充填の場合にはテトロン、ナイロン、ボンネルともに比較的類似の保温率を示し、この値の統計的有意性は不明である。5g充填の場合にはテトロン、ボンネルの保温率の著しい低下現象を見る。またこの現象は吸湿の場合はさらに顕著に現われ他の繊維に比べ特徴的な事実である。また吸湿した場合は羊毛の保温率が高く、ナイロンの保温率の低下が少ないことも特徴と考えることができる。

羊毛の吸湿量を変化させた場合の保温性について

上記のように羊毛は吸湿時においても高い保温性を示すが、吸湿量の

増減により保温性にどのような変化を示すかを目的として実験を行なった。材料10gおよび5gを用い、10gの場合には0.44g、0.8g、1.0gおよび1.7gの吸湿量、また5gのときは、0.25g、0.37g、0.55g、0.8gおよび0.9gの吸湿量のときの保温性を測定した。40°Cから30°Cに至る温度変化曲線を図5に示す。

図5の結果から、吸湿量が多い程測定時間は早くなる傾向を示し、しかも5g、10gともに吸湿重量10%に達するまでは測定時間は次第に短縮されるが、それ以上は吸湿量を増加させても測定値の差は僅少になる傾向を示している。

図6に34°Cを中心とし、1°C降下に要する時間をもととした保温率を示す。

図6の結果、10gの場合は前述の傾向が認められる。すなわち吸湿量10%前後から保温性にはあまり変化がみられない。また5gの場合には一般的傾向として吸湿重量の増大は、保温率の

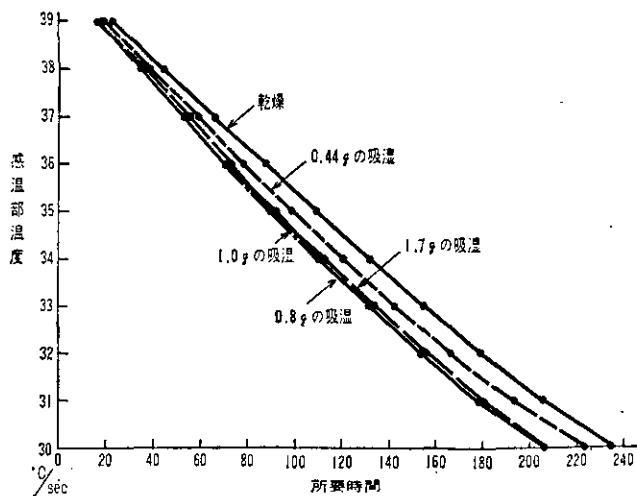


図5 (A) 羊毛10gを0.44g、0.8g、1.0gおよび1.7g 吸湿させた温度変化曲線

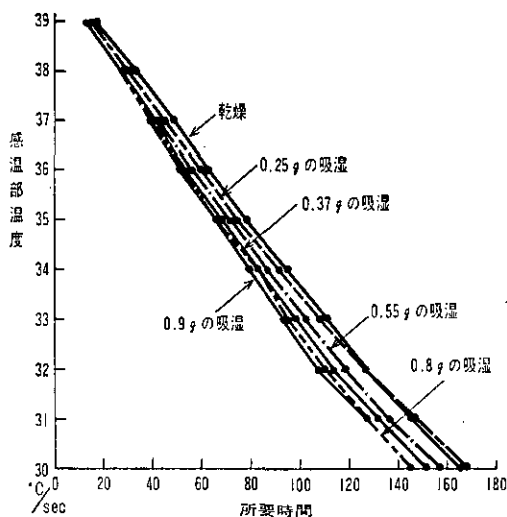


図5 (B) 羊毛5gを0.25g, 0.37g, 0.55g, 0.8gおよび0.9g吸湿させた時の温度変化曲線

低下を生ずる要因となっていることが認められる。

羊毛3g, 5g, 10g, および15gをそれぞれ10%吸湿させた場合の保温性について

吸湿量10%までは保温性の低下を生じ、それ以上の吸湿量では保温性は目立った変化を示さないという上記の羊毛の性質を、さらに他の角度から検討するために使用重量を変え10%の吸湿を行なった。40°Cから30°Cにいたる温度変化曲線を図7に示す。

図7の結果から3gと15gの場合は保温性の低下をきたさないことが特徴的である。すなわち3gの場合は乾燥時と吸湿時の測定値に殆ど変化を生じておらず、また15gの場合は温度降下を開始され始めてから感温部温度34°C位までは乾燥した場合より降下速度は速いが、それ以後は次第に緩慢となり乾燥時より1°C降下に要する時間は長くなる現象を生じている。これらの現象を推察して見ると、3gの場合は繊維充填密度が粗であるため熱の放出として空気の対流にもとづく要素が強く作用し、吸湿に伴う保温性低下の要因が殆ど影響をおよぼさないものと考えられる。15gの場合は系内の水分含量が多いために、後述する系内熱含有量の増加に伴う要因が保温効果を示しているものと推察さ

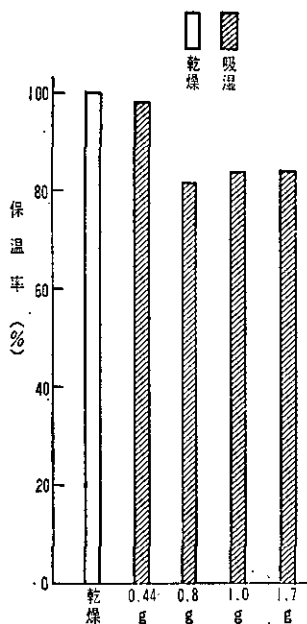


図6 (A) 羊毛10gを0.44g, 0.8g, 1.0gおよび1.7g吸湿させた時の感温部温度34°Cの保温率

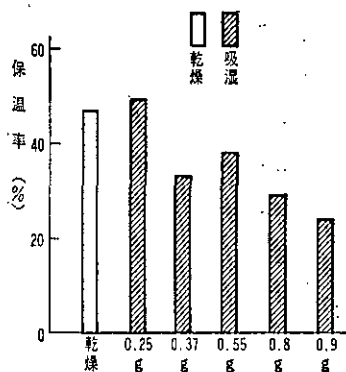


図6 (B) 羊毛5gを0.25g, 0.37g, 0.55g, 0.8gおよび0.9g吸湿させた時の感温部温度34°Cの保温率

れる。

繊維を吸水させた場合の保温性について

繊維を完全に吸水させた時の保温効果を明らかにするため、前記6種類の繊維10gを用いた測定を行なった。その結果を図8に示す。

図8の結果から、いずれの繊維も乾燥時に比べて測定時間は長くなり保温効果が見られた。感温部温度が30°Cに降下した時の所要時間は、乾燥材料に比べ吸水したものでは羊毛で85.5秒

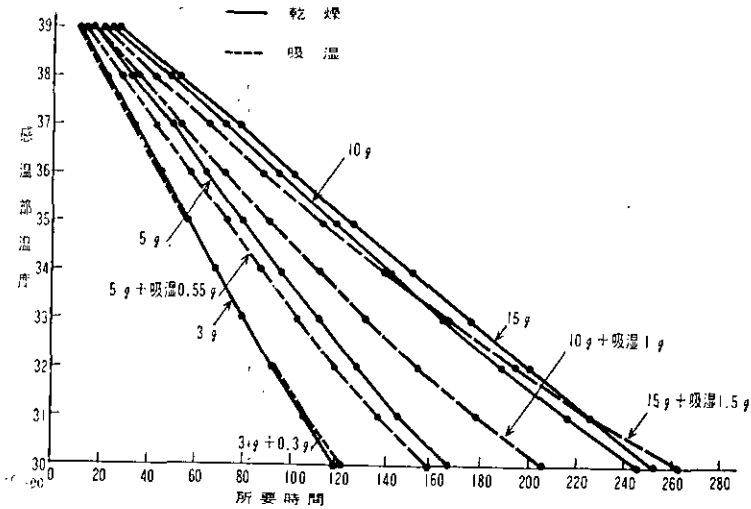


図7 羊毛3g, 5g, 10gおよび15gの乾燥時, 10%吸湿時における温度変化曲線

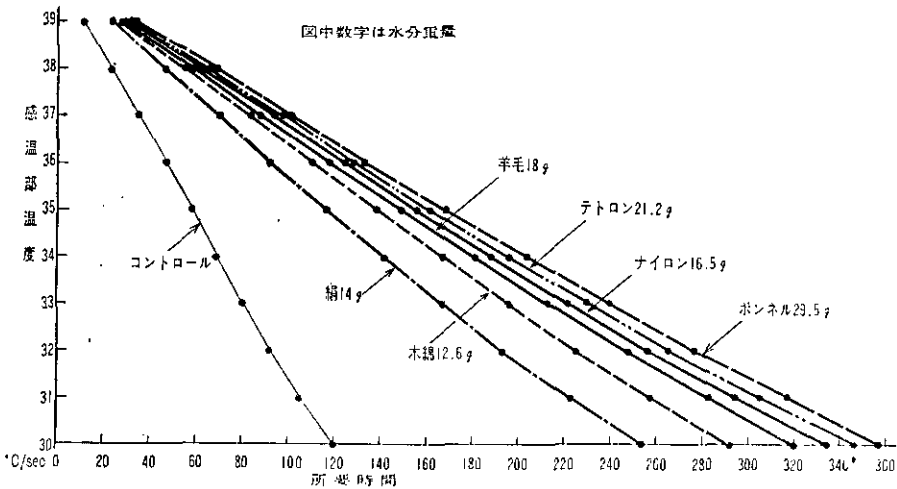


図8 羊毛, 絹, 木綿, テトロン, ナイロンおよびボンネル10gを吸水させた場合の温度変化曲線

増加, 絹64秒増加, 木綿49秒増加, テトロン133秒増加, ナイロン124秒増加, ボンネル132秒増加となり, 合成繊維群はこの傾向が顕著である. 特に吸湿時においてはマイナスの保温効果を示した(図4参照)テトロン, ボンネルが最大の保温効果を示していることが特徴と考えられる. この現象は水分含量の増大による系内の熱含量の増加によるものと考えられる.

上記実験の結果から, 吸湿または吸水させた場合は二つの違った現象が系内におこることが考えられる. その一つは吸湿による保温性の減少をもたらす要因であり, これは水の熱伝導性

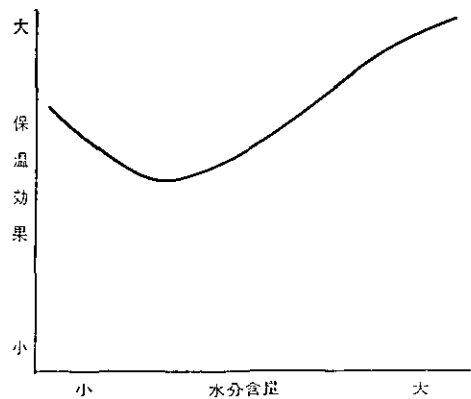


図9 水分含量と保温効果との関係

被服材料の保温性の研究

に起因するものであろう。そしてこの要因は吸湿量の少ないときには、後述の要因以上に強く作用するものと考えられる。次にもう一つの要因として吸湿量増加による保温性の増大として作用する要因がある。これは系内の熱含有量の増加であり、その結果熱放出時間の遅延をきたすものである。この二つの要因の作用の結果として、繊維吸湿量と保温性とは図9に模式的にみられるような関係を示す。

図8に用いられた吸水繊維の系内含熱量を次の式により計算した。

$$H = am \cdot ap + fm \cdot fp + um \cdot wp$$

H : 熱含量

am : 空気質量 本実験では羊毛0.51, 木綿0.52, 絹0.51, テトロン0.50, ナイロン0.51, ポンネル0.49の値を用いた。

この値を求めるために繊維比重は次の値を用いた。

羊毛1.32, 木綿1.54, 絹1.39, テトロン1.38, ナイロン1.14, ポンネル1.17 (5)

ap : 空気比熱 0.2399 cal/g°C を計算に用いた。

fm : 繊維質量 10 g

fp : 繊維比熱 0.36 cal/g°C を用いた (6)

um : 水質量 図8中の水分重量を用いた。

wp : 水比熱 1 cal/g°C

上記式による計算値を表1に示す。

表1にも示されたように、水分の多い場合は水の持つ熱量のために系内熱含有量は乾燥時に比べ約5～9倍に増加する。熱の放出に対して抵抗となる諸要因を総括し、その逆数を熱貫流係数として考えるとき、熱貫流係数が吸湿によって変わらない場合は熱放出に要する時間は熱量増加に比例して5～9倍になることが考えられる。しかし実験結果では熱放出時間の遅延は、40°Cから30°Cまでの所要時間で50～130秒間の遅延にとどまり、20～50%程度の増加である。

表1 羊毛, 木綿, 絹, テトロン, ナイロン, ポンネルの乾燥状態 (10g) および吸水状態における系内熱含有量 (cal)

織 維	熱 含 有 量		吸 水 量
	乾 燥 時	吸 水 時	
羊 毛	3.7	21.7	18 g
木 綿	3.7	16.3	12.6 g
絹	3.7	17.7	14 g
テ ト ロ ン	3.7	24.9	21.2 g
ナ イ ロ ン	3.7	20.2	16.5 g
ポ ン ネ ル	3.7	33.2	29.5 g

これは熱貫流係数が吸湿によって増加する結果であり、吸湿による水の熱伝導がその要因となっていることは明白である。それゆえ水の熱伝導に伴う熱放出の増加と、水の熱含量による系内熱含有量の増加との差の結果として、第8図にみられるような関係が成りたつものと考えられる。熱の放出には繊維の集合状態、繊維層の厚さの違い、繊維の材質、空気の移動量、水分含量、繊維の熱含有量等の諸要因が作用し、人体が衣服を着用する場合はこれらに加えて、さらに官能値が大きな比重を示めることになる。それゆえ本実験における吸水実験の結果をそのまま適用することはできないが、吸水時における熱移動の特性の一つの要因として意義をもつものと考えられる。

結 論

本論文においては保温性におよぼす吸湿の影響を検討することを目的として、実験を行ない次の点を明らかにすることができた。

1. 同じ条件で水蒸気を送り吸湿させた場合、天然繊維は合成繊維より吸湿量多く、空気の標準状態における吸湿性と類似していることがわかった。

2. 2～10%程度の吸湿ではいずれの繊維も乾燥時より保温性の低下をきたすが、羊毛は保温性の低下が少なく、またテトロン、ポンネルは著しい低下を示した。

3. 羊毛で吸湿量を変化させたとき、吸湿量10%までは保温性の低下がみられるが、それ以上の吸湿では保温性の低下はみられなくなる。

4. 羊毛の重量を変化させ、吸湿を一定にした場合の保温性には類似性はみられなかった。

5. 繊維を吸水した場合、系内熱含量の増大のために乾燥時より保温性の増大を示すことがみられた。

引用文献

1. 若山・寺岡：北星短大紀要, 11, 47 (1965).
2. 若山・寺岡：北星短大紀要, 12, 25 (1966).
3. 若山・寺岡：北星短大紀要, 13, 39 (1967).
4. 東昇：被服材料, 建帛社, p. 37.
5. 成田時治：繊維製品の基礎知識, 東京繊維標本出版社.
6. 山田都一：衣服繊維・材料学, コロナ社, p. 34.