

雨合羽の快適性について  
——裏面の結露に関連して——

船舶機装品研究所 村山雅己  
(共同研究者) 東京学芸大学 中橋美智子  
同 戴 争

**Comfortability of a Raincoat**  
——in Relation to Dew Condensation——

by

Masaki Murayama  
*Research Institute of Marine Engineering*  
Michiko Nakahashi, Dia Zheng  
*Tokyo Gakugei University*

**ABSTRACT**

The Comfortability of a raincoat was experimented with a purpose of improving the prevention of dew condensation.

For this purpose, a lining was put over the back of a waterproof cloth to keep the cloth warm.

Five kinds of waterproof clothes, namely, a moisture permeable water proofing cloth manufactured in the U.S.A., manufactured in Japan, and manufactured in China, and two normal waterproof clothes, were used. For the lining combinations of silk, cotton, synthetic fiber and wool jersey were used.

The results of the experiments were as follows :

When a waterproof cloth with good water vapor transmission capacity was used, a lining with good moisture absorptivity and water absorption will rather inhibit water vapor transmission, so that

the water content within the cloth will be increased than when no lining was put over the cloth.

In the case of a waterproof cloth without water vapor transmission, however, the water content absorbed into the lining and the water content produced by the prevention of dew formation were almost equal, and accordingly it was effective for the decrease of the water content within the cloth and for the improvement of the touch of the cloth to the skin.

## 要 旨

雨合羽の快適性を、結露の抑止をすることにより改善しようという目的で実験を行った。

結露の抑止は、雨合羽の裏面に裏地を装着し、保温を行うことによって行った。

雨合羽は、米国製、国産、および中国製の透湿性防水布と透湿性のない防水布およびビニール製の5種類を使用し、裏地として絹、綿、合繊および毛ジャージを組み合わせて実験を行った。

実験の結果、透湿性のよい雨合羽の場合、吸湿および吸水性のよい裏地はかえって透湿性が阻害され、裏地をつけない場合よりも衣服内水分が増加することがわかった。透湿性のない雨合羽の場合には、裏地に吸湿する水分と結露を抑止した水分が同程度であり、衣服内湿度の減少、肌触りの改善に効果があった。

## 1. 緒 言

現在の都市生活では昔ほど雨合羽は利用されておらず、わずかに2輪車の運転、屋外作業者にみられる程度である。このためか、雨合羽の快適性に関する社会の要求は少ないと思われ、ゴアテックス等の新素材に関する研究<sup>1-6)</sup>は多いものの、雨合羽全体の快適性に関する研究はほとんど見られない。しかしながら、登山者とか、雨天時における屋外作業、漁労作業等にとって雨合羽は必

須のものであり、その快適性の追求は重要である。

雨合羽の最大の欠点は、不感蒸泄および発汗などにより衣服内が蒸れることにある。現在では透湿性防水布を使用した製品が市販されており、大きな改善がみられるが、高価であることなどからまだ透湿性のない防水布による雨合羽も使用されているのが現状である。

本研究では、透湿性防水布の使用にこだわらず、快適性を向上させる手段として裏地の装着に着目し、保温を行うことによる雨合羽裏面の結露防止、および衣服内蒸気を裏地に吸湿させることによる快適性の向上効果を検討した。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験試料

実験試料として用いた試料の明細を表1に示す。

実験試料は、雨合羽素材として用いられている透湿性防水布 A, B, C と、防水布 D, E の合計5種類である。試料 A は透湿性防水布として開発された米国製のもの、試料 B は中国製のもので試料の組成に関しては不詳だが、表面はビニール状でその裏面にガーゼが張り合わされており、直径 0.1 mmφ 程度の点状に所々、薄くなっているところがあり、この部分から透湿しているものと思われる。薄くなっている部分の点は、100 cm<sup>2</sup>で約 80

表1 試料の諸元

	雨合羽		
	透湿性防水布		
	A	B	C
組成, 組織	表地 ナイロン100% 中間層 PPFEフィルム100% 裏地 ナイロントリコット100%	表地 不詳 裏地 綿100% (ガーゼ)	表地 ナイロン100% 裏面 特殊湿式 ウレタンコーティング
糸密度タテ/ヨコ or ウェル/コース (本/cm, 目/段)	表地 47/36 裏地 16/14	表地 — 裏地 16/14	表地 52/45 裏地 —
厚さ (mm)	0.423	0.352	0.12
平面重 (g/m <sup>2</sup> )	165.7	299.6	94.0
通気量 (cc/cm <sup>2</sup> /sec)	0.32	0.51	0
備考	米国製	中国製	日本製

防水布		装着裏地			
D	E	絹	綿	合織	毛
表地 ナイロン100% 裏地 ハイパロンコーティング	塩化ビニール 100%	絹 100% メリヤス編	綿 100% メリヤス編	ポリエステル 100% メリヤス編	毛 100% メリヤス編
表地 49/34 裏地 —	—	30/24	17/18	34/21	13/15
0.132	0.222	0.445	0.400	0.449	0.435
84.6	188.2	154.2	164.0	153.3	182.5
0	0	316.8	117.4	314.3	200.1
米国製	日本製				

カ所程度である。中国では自転車用に用いられポンチョ形式の雨合羽であるが、中国全土に渡り一般に普及されていることから今回試料として用いた。

試料Cは国産製で広く使用されているもののひとつである。試料Dは防水布として耐久性をもたせるように改良されたもの、試料Eは日常生活において手ごろに入手可能なビニール製の試料で

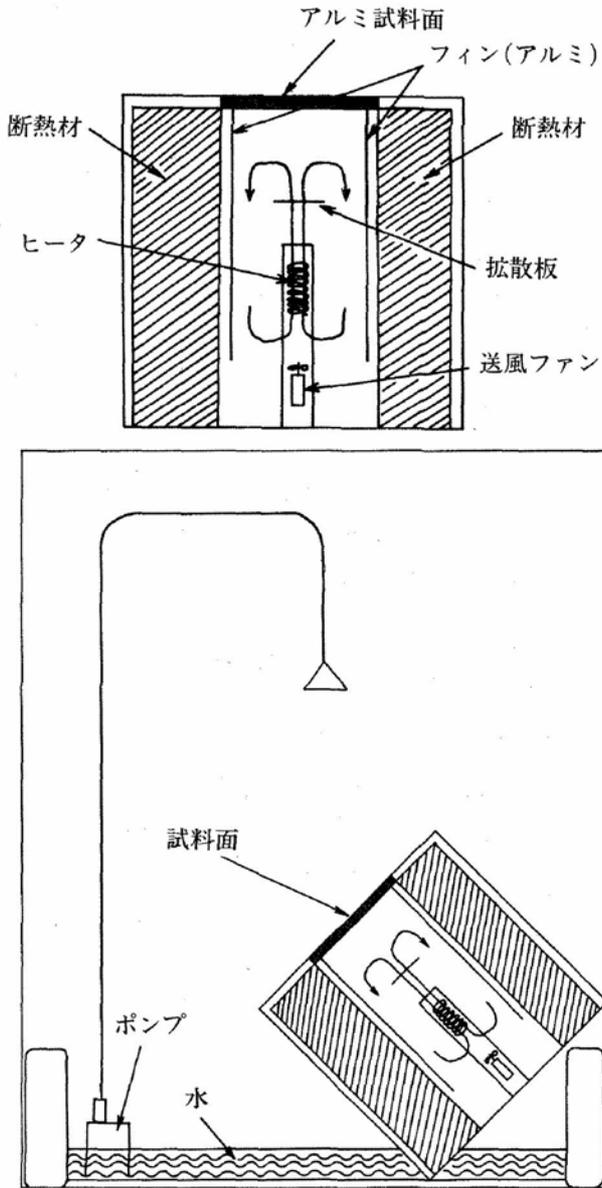


図1 試作保温測定装置

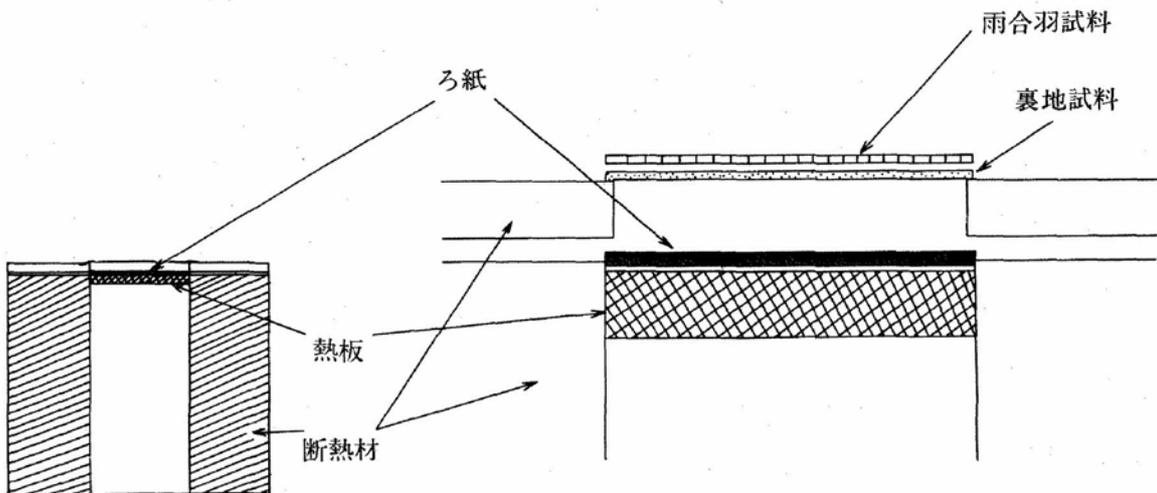


図2 試料の設置方法

ある。

実験は、雨合羽のみの場合と雨合羽に裏地を装着した場合の2方法について試みたが、雨合羽の裏に装着した試料としては、素材として代表的な綿、毛、合繊、絹の4種類であり、これらの裏地は条件統一のため組成、厚さがほぼ同一のものを使用した。

## 2.2 シミュレーション実験

シミュレーション実験に用いた実験装置は図1に示すような試作保温測定装置により行った。即ち試料設定の熱板部分は皮膚を想定したアルミ板(15×15cm)で、内部にヒータとファンを入れ熱風を循環させ、試料面の熱板に熱を与える。熱板の温度は、コンピュータにより36℃にコントロールしてある。実験は雨合羽のみ(5通り)、および各雨合羽地に裏地4試料を組み合わせた(20通り)計25通りである。

実験は雨合羽が皮膚から多少離れた状態を想定し、その他の設定は不感蒸泄および発汗を想定した蒸気が一様に発生することおよび雨合羽表面が水により均一な温度となることのみを考慮して装置の構成をした。そのため雨量および雨滴の状態などは実際の条件に合わせることは考慮していない。

実験手順として、図2のように熱板の上に一定

に湿らせたろ紙を置きろ紙の温度が安定した1分後、先ず裏地なしの場合には熱板に雨合羽試料を設置し水温 20°C のシャワーによる水を10分間試料表面に散水し、直ちに試料裏面に付着した結露水分量を乾燥重量を求めた吸水性のよいティッシュペーパーで吸水させ重量測定し結露水分を算出する。

裏地を装着した場合にも、同様の手順により実験を試み、装着した裏地の重量変化も併せて測定した。その他、ろ紙重量の変化の測定、試料内温度（ろ紙表面、ろ紙と試料の層間、試料裏面）および試料内湿度を測定した。

環境条件は、温度  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度  $80 \pm 5\%$  RH、である。

### 2.3 人体実験

被験者は健康な成人男子3名を対象とした。被験者に関する事項は表2に示す通りである。

被験者の服装は、表3に示す通りである。即ち

被験者に一定の服装（ランニングシャツ、ブリーフ、トレーニング長ズボン）を着用させ、その上に実験試料である雨合羽を装着させた。雨合羽はシミュレーション実験において行った試料の中から透湿性防水布の代表として試料Aを、防水布の代表として試料Eを選定した。装着裏地は素材として最も一般的と考えられる綿、毛、合織の3種類を選び、雨合羽の上着と同一形態に製作し、雨合羽の裏面に両面接着テープで固定し装着させたものを実験試料として用いた。

皮膚温は熱電対温度計により測定した。測定部位は図3に示す7点である。

衣服内温度は、図3における胸部の衣服内温度であり、熱電対温度計により測定した。

衣服内湿度は、図3における胸部および背部の2点を湿度計（バイサラ製）により測定した。

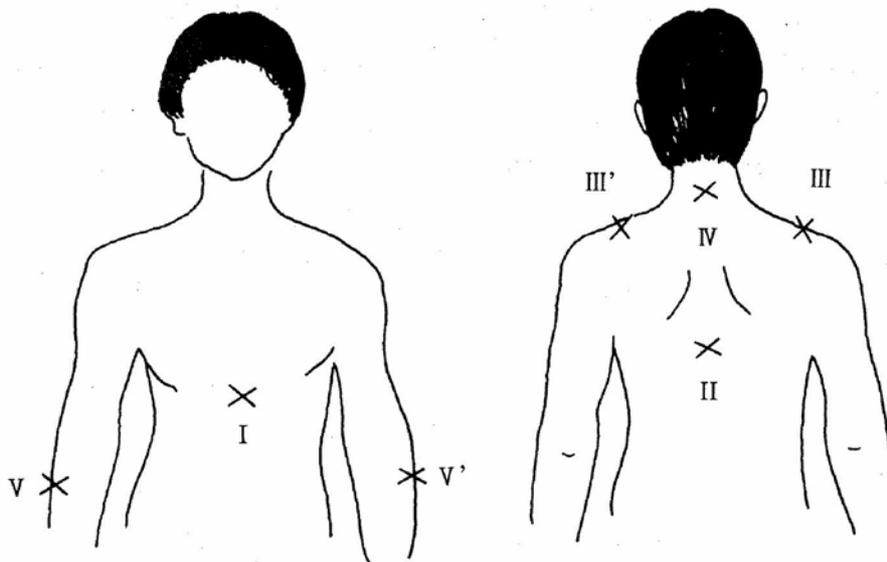
結露水分は、実験試料の合羽裏面に図4に示す通り  $10 \times 10\text{ cm}$  の印をつけ、実験終了後直ちにそ

表2 被験者に関する事項

被験者	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	体表面積 (m <sup>2</sup> )	基礎代謝量 (kg・cal/h)
A	18	175	64	1.79	61.6
B	20	181	71	1.87	61.1
C	21	176	64	1.80	57.4

表3 着用衣服

雨合羽	透湿性防水布 A		防水布 E		
	上衣	323g	上衣	371g	
	下衣	300g	下衣	279g	
装着裏地	綿 169g	合織 98g	毛 185g		
着用衣服	ランニングシャツ (綿100%)				89g
	トレーニング長ズボン (ポリエステル90%, 綿10%)				450g
	ブリーフ (綿100%)				40g
	ソックス (綿100%)				54g
	ゴム長靴				570g
	ビニール手袋 (塩化ビニール100%)				45g



- I 胸 部：上腹部剣状突起直下
- II 背 部：後正中線腋下線上
- III 右 肩 部：右肩甲線 肩甲部
- III' 左 肩 部：左肩甲線 肩甲部
- IV 後 頸 部：第5頸骨
- V 右前腕部：右後前腕部 肘下5cm
- V' 左前腕部：左後前腕部 肘下5cm

図3 皮膚温測定部位

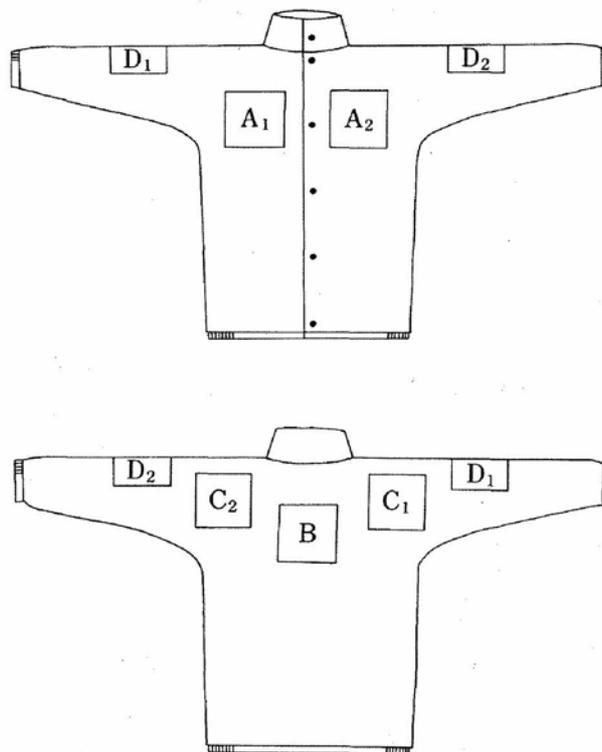


図4 雨合羽裏面結露付着量の測定部位

の部位における水分付着量をシミュレーション実験と同じくティッシュペーパーに吸水させ重量測定する。同時に被験者が装着しているランニングシャツを脱衣し直ちに重量測定し水分吸水量を求める。

実験手順としては、被験者を食後1時間なるべく安静にさせた後、皮膚温測定用熱電対および湿度計を各測定部位に取り付け、一定の衣服を着装させ10分後、図5に示すような装置の下でエルゴメータに乗り運動開始と同時に被験者の頭部上方よりシャワーによる20℃の水を散布し、15分間における皮膚温、衣服内気候の変化を継続的に記録する。15分間における運動量は116 kcal、走

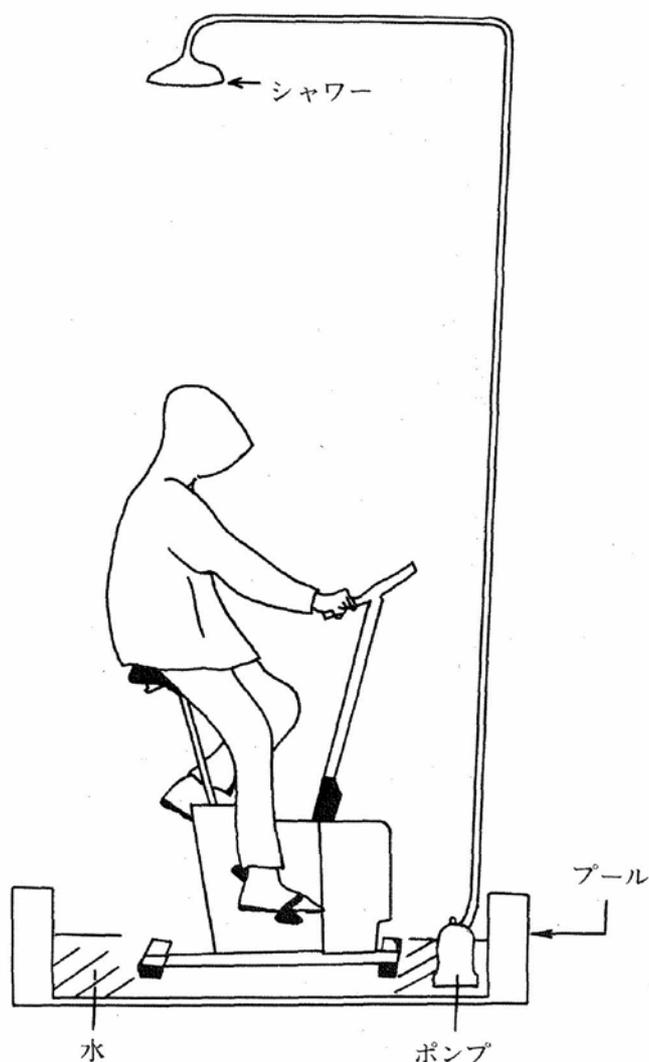


図5 人体実験の装置構成

行距離5.4 kmに統一するように配慮した。運動終了後、そのままの状態でも5分間休息後、直ちに脱衣し雨合羽裏面の結露水分量と裏面に装着した試料およびランニングシャツの重量測定を行う。

環境条件は、温度  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度  $80 \pm 5\%$  RH である。

### 3. 実験結果

#### 3.1 シミュレーション実験結果

##### 3.1.1 水分量

図6に、ろ紙からの水分蒸発量と雨合羽裏面に付着した水分量（以下結露水分という）および裏地に吸湿された水分量（以下裏地水分という）を示す。人体からの不感蒸泄および発汗と想定したろ紙からの水分蒸発量の平均は10分間で1.1 gであり、約  $300 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$  となる。

ろ紙から蒸発した水分は、裏地に吸湿される水分と、雨によって冷やされている雨合羽裏面に結露し付着する水分、試料の隙間から排出される水分および透湿性防水布の場合には透湿していく水分とに分かれる。図7は、ろ紙水分蒸発量を100%として雨合羽素材と裏地の組み合わせによる結露水分率と裏地水分率である。（以下結露水分率と裏地水分率の合計値を合計水分率という）

裏地を装着しない場合の雨合羽素材の結露水分率は、透湿性のある素材そして透湿性のない素材の順に多くなっており、透湿性防水布に大きな効果があることが認められた。この傾向は、裏地を装着した場合においても同様である。

しかしながら、素材によって明かな差異があり、試料Aが群を抜いて少なく、次いで試料B、そして試料Cであった。また透湿性のない素材としては、試料Dそしてビニールを素材とした試料Eの順に水分が多くなっているが、両者に大きな差は見られない。

裏地水分率は、試料Aおよび試料Bの試料と合織を組み合わせた実験において小さいのが大き

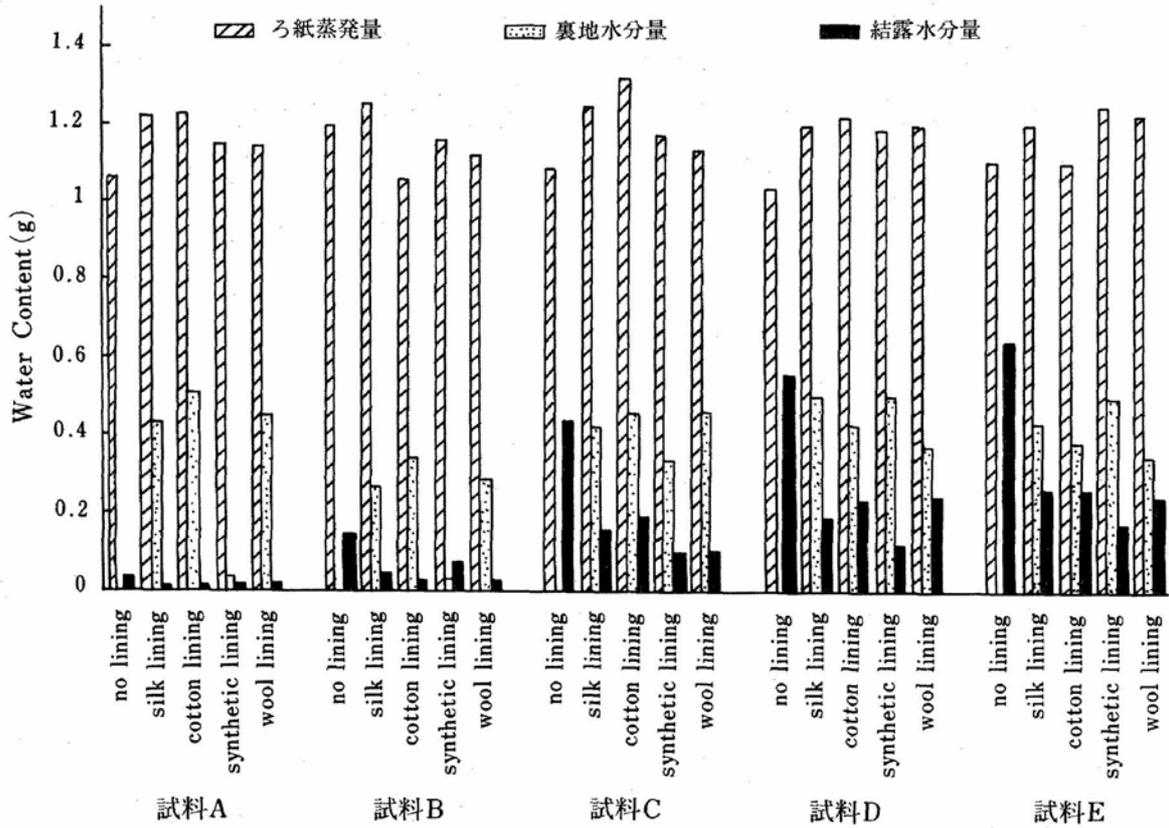


図6 シミュレーション実験における水分移動量

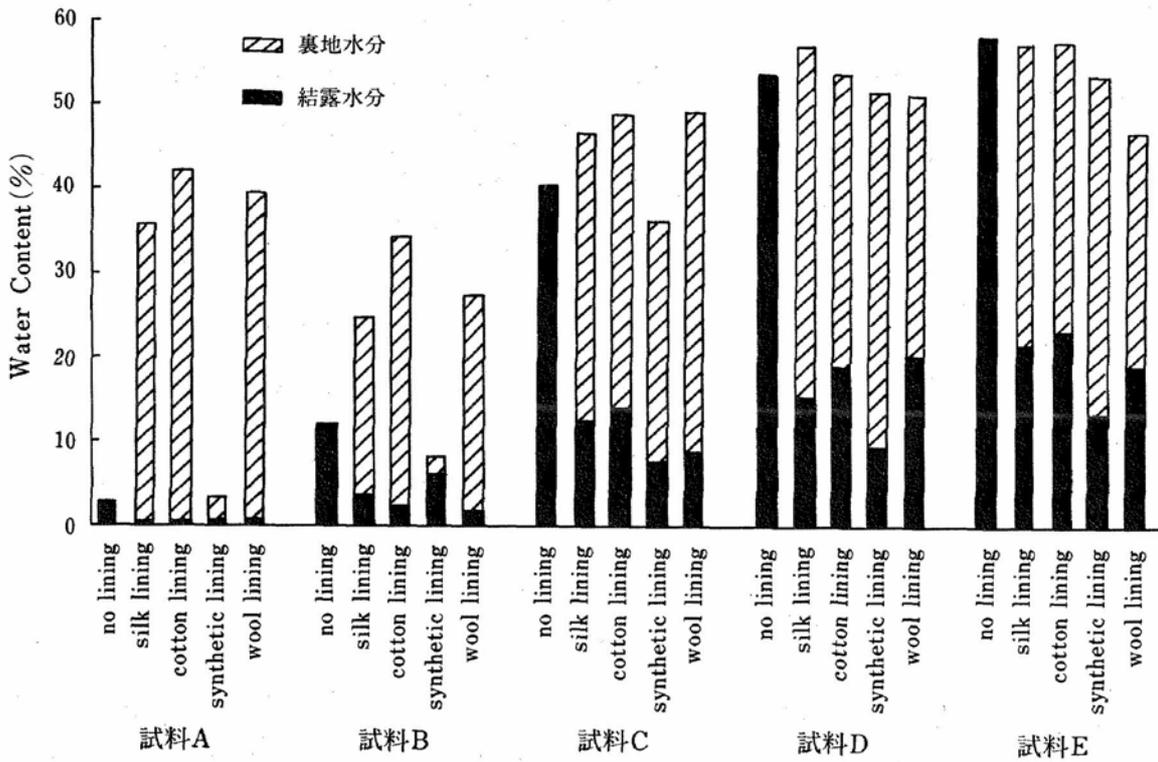


図7 シミュレーション実験における水分移動率

な特徴であり、合繊以外の裏地素材を使用した場合には約 10 倍以上多くなり明確な差を示した。

試料 A と試料 B は裏地を装着しない場合の結露水分率からみても透湿性が優れていると考えられ、吸湿、吸水する裏地素材を使用することにより、かえって透湿性が妨げられ、結露水分率は減少するものの合計水分率は裏地なしと比較してかなり多くなることが認められた。

試料 C においても、この傾向は見られ、合繊の場合のみ合計水分率が裏地なしの場合よりも下回っており、その他の裏地素材においては逆に増えることが認められた。

試料 D および試料 E における実験では、ろ紙から発生した蒸気はろ紙と試料間の隙間から排出される他はすべて雨合羽裏面に付着または裏地に吸湿されることから、透湿性のある試料よりも合計水分率は多くなっている。しかしながら、裏地なしと裏地をつけた場合を比較すると、合計水分率はほぼ同じか若干下回ることが認められた。ほ

ぼ同じ合計水分率になるのは絹と綿であり、合繊と毛の場合は低くなる傾向が認められた。

絹および綿は吸湿、吸水性に優れていること、毛の場合、吸湿性はあるものの繊維表面にははっ水性があること、合繊は吸湿、吸水性ともに小さいことなどが影響していると考察する。

### 3.1.2 試料内湿度

雨合羽素材および裏地とろ紙表面の間の湿度変化を図 8～図 12 に示す。

実験開始直後の湿度は、試料 A で 65～70%、試料 B が 63～74%、試料 C が 68～78%、試料 D が 69～82% そして試料 E が 72～82% であり、透湿性の有無による試料差が認められた。どの実験においても最終的な湿度は 85% 程度であり差はなかった。裏地試料別に見ると、裏地なしと合繊裏地の場合が最も湿度が高く、絹、綿そして毛の順に湿度が低くなる傾向が認められ、合繊を除く裏地の場合には一定時間内ではあるが、衣服内湿度を低下させる効果が認められた。

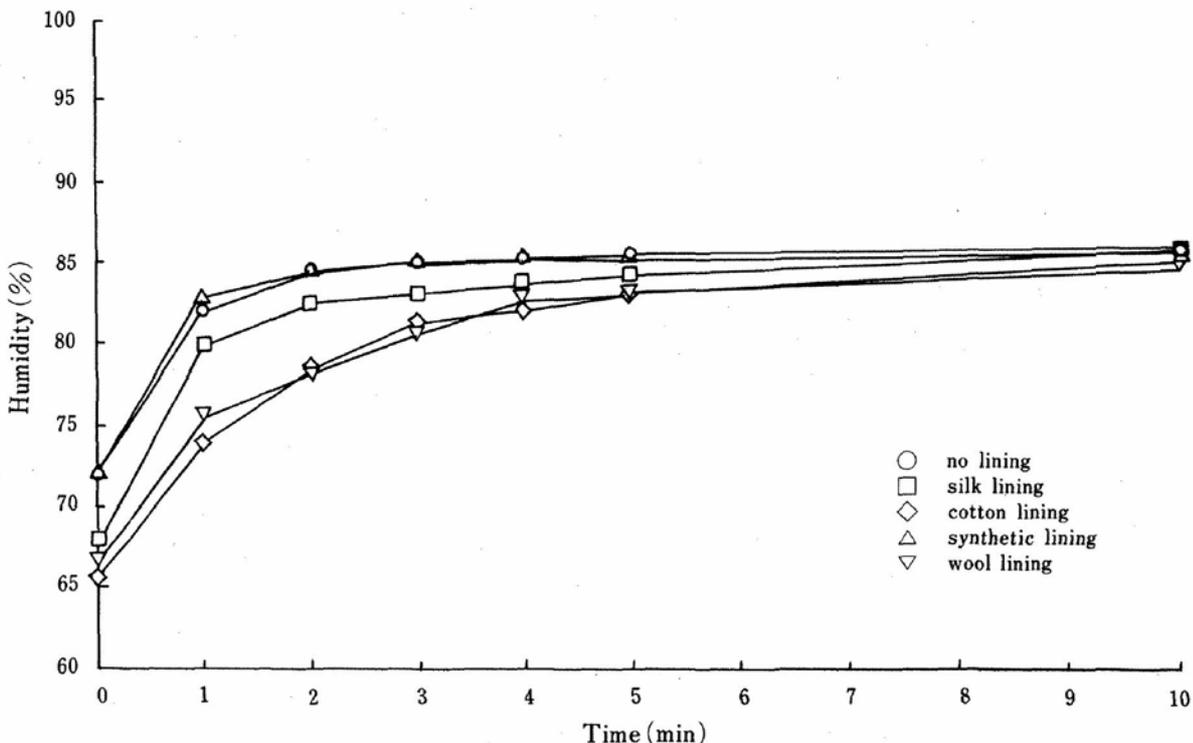


図 8 シミュレーション実験における試料内湿度 (試料 A)

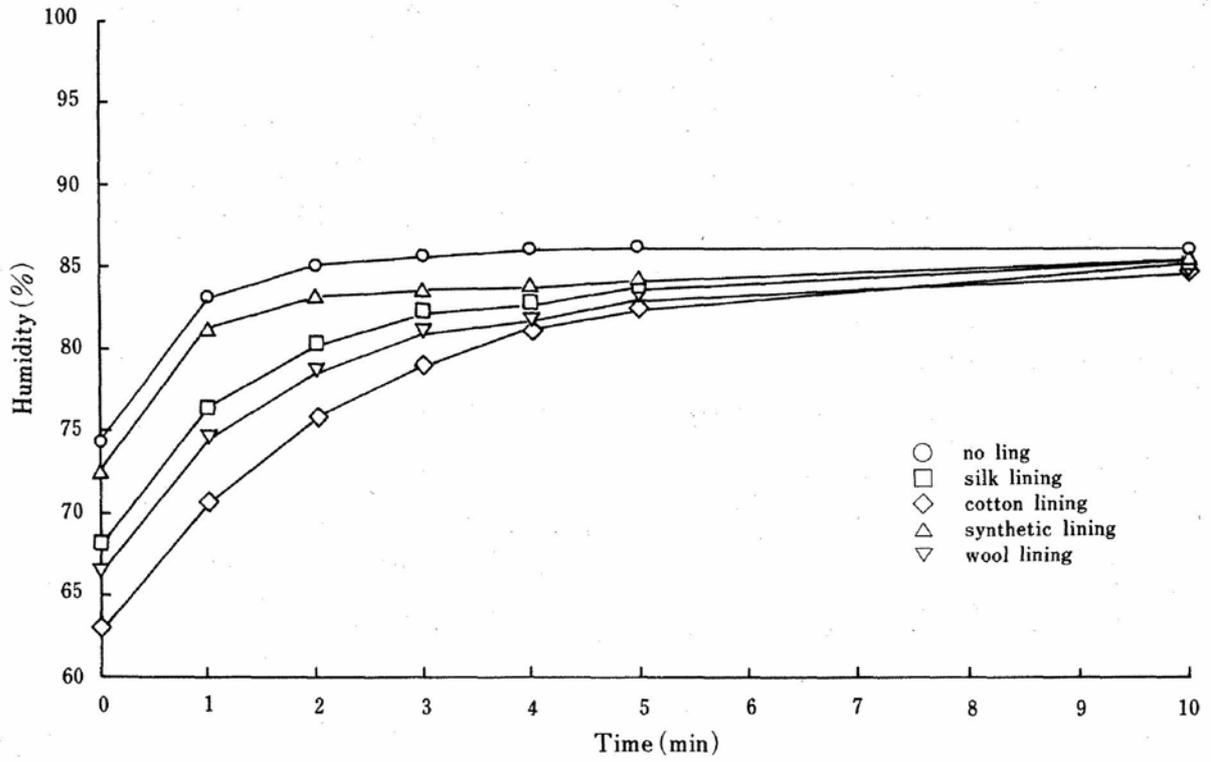


図9 シミュレーション実験における試料内湿度 (試料B)

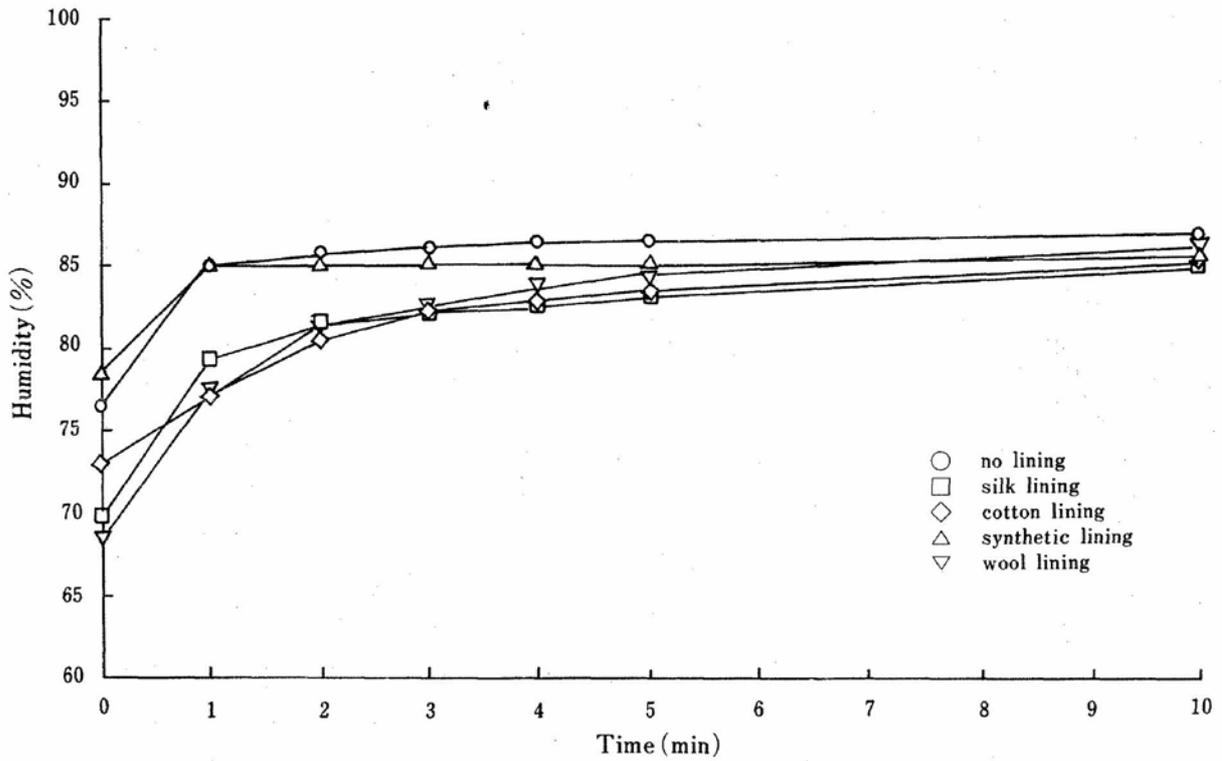


図10 シミュレーション実験における試料内湿度 (試料C)

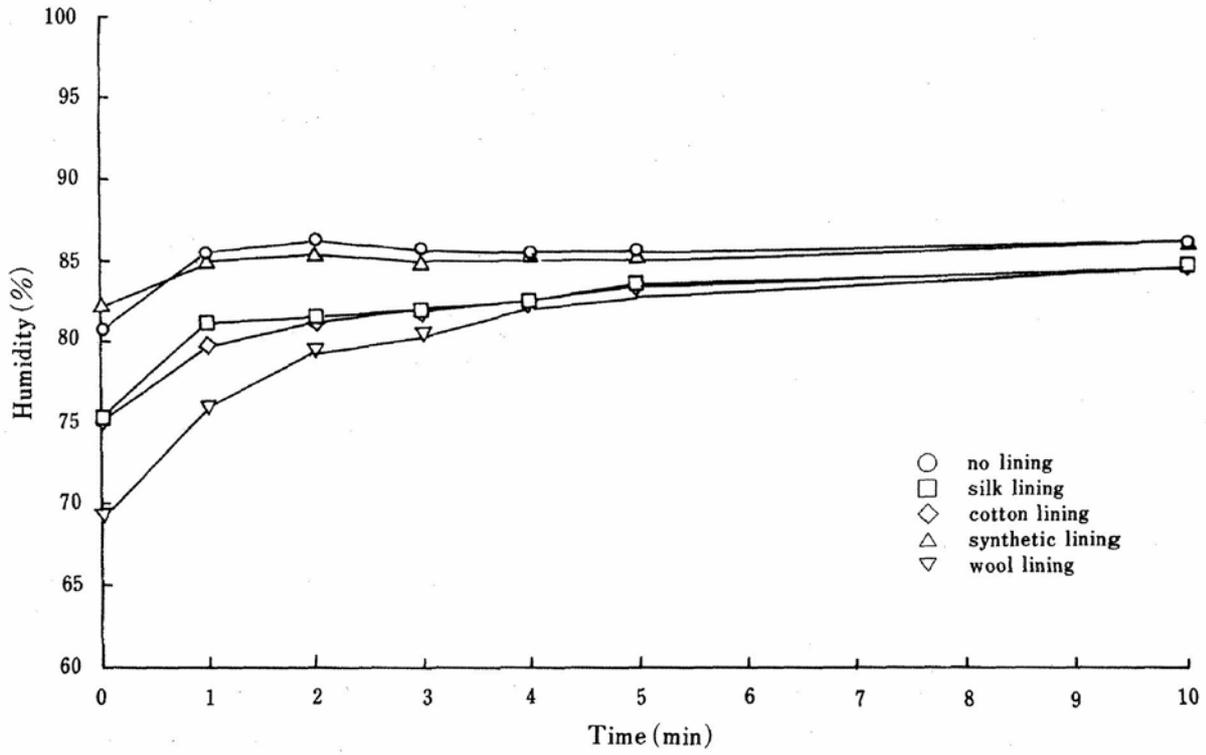


図11 シミュレーション実験における試料内湿度 (試料D)

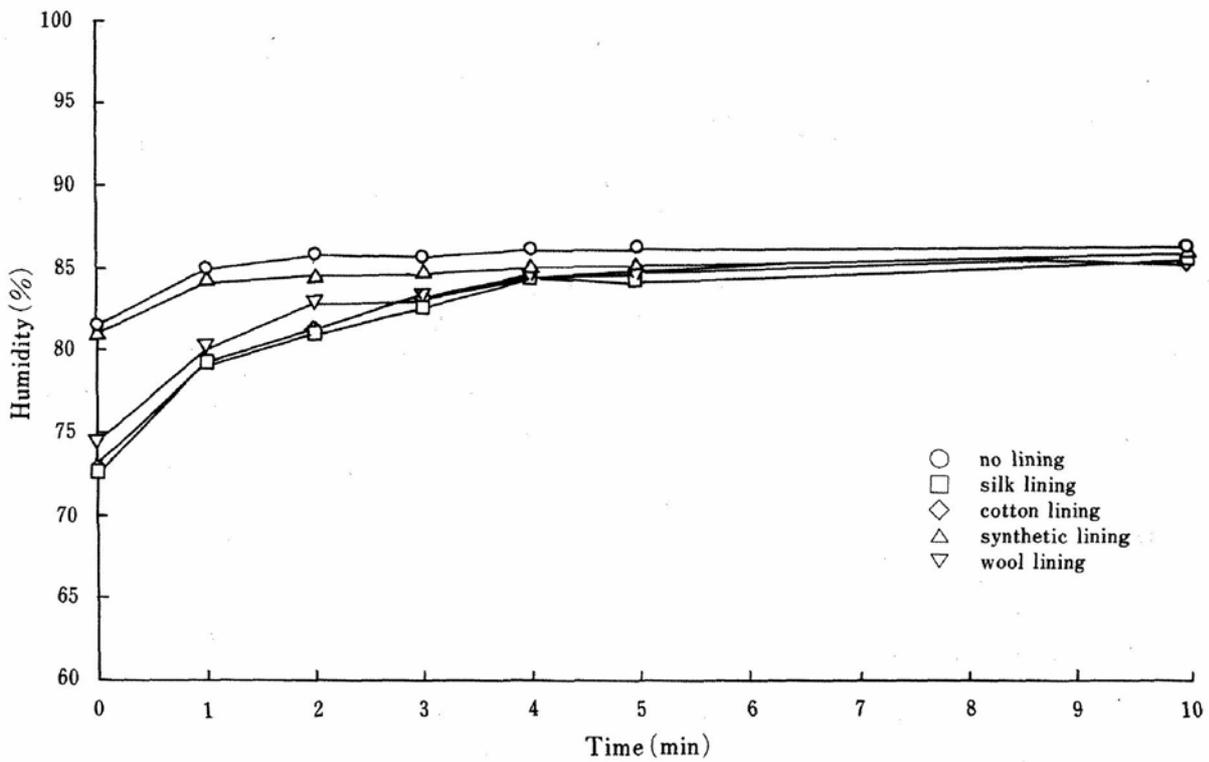


図12 シミュレーション実験における試料内湿度 (試料E)

### 3.1.3 試料内温度

実験終了時におけるろ紙表面温度、試料内の空気層温度、雨合羽内側又は裏地内側の温度を図13に示す。

試料Aと試料Bは全体的に裏面温度が高く、試料Dと試料Eが低い結果となっており雨合羽素材の保温性の差が現れていると考察する。裏地別では裏地なしがいちばん温度が低く、合織、絹又は綿そして毛の順に温度が高くなっており、この傾向はすべての雨合羽素材で同じであった。

本来、合織自身の保温性は決して低いものではないが、本実験において合織裏地を使用した場合に裏面温度が他の裏地よりも低かった原因は吸湿性が小さいことに大きな要因があると考察した。つまり、吸湿性が小さいことから、温度の高い蒸気から熱を吸収しにくいこと、また実験終了直後の水分が過飽和状態になっている事実から、雨合羽素材との熱抵抗が水分によって低くなっており

且つ熱伝導率も水に近い値となり、温度が下がっていると思われる。

### 3.2 人体実験結果

#### 3.2.1 水分量

実験終了時における、図4に示す実験試料裏面部分の結露水分量を図14、裏地の水分量と肌着(ランニングシャツ)の水分量を図15に示す。人体実験においては、シミュレーション実験ほど、裏地による差は認められず、透湿性防水布の試料Aとビニール製の試料Eとの試料差も顕著ではなかった。

シミュレーション実験との比較を行うために、裏地水分量と肌着水分量を、結露水分量と同じ単位面積にして積み重ねグラフにしたものが図16である。試料Aの場合は、合織、毛そして綿の順に水分量が多くなっており、シミュレーション実験における裏地水分率と同じ傾向が認められた。

シミュレーション実験ほどには、合織の水分値が

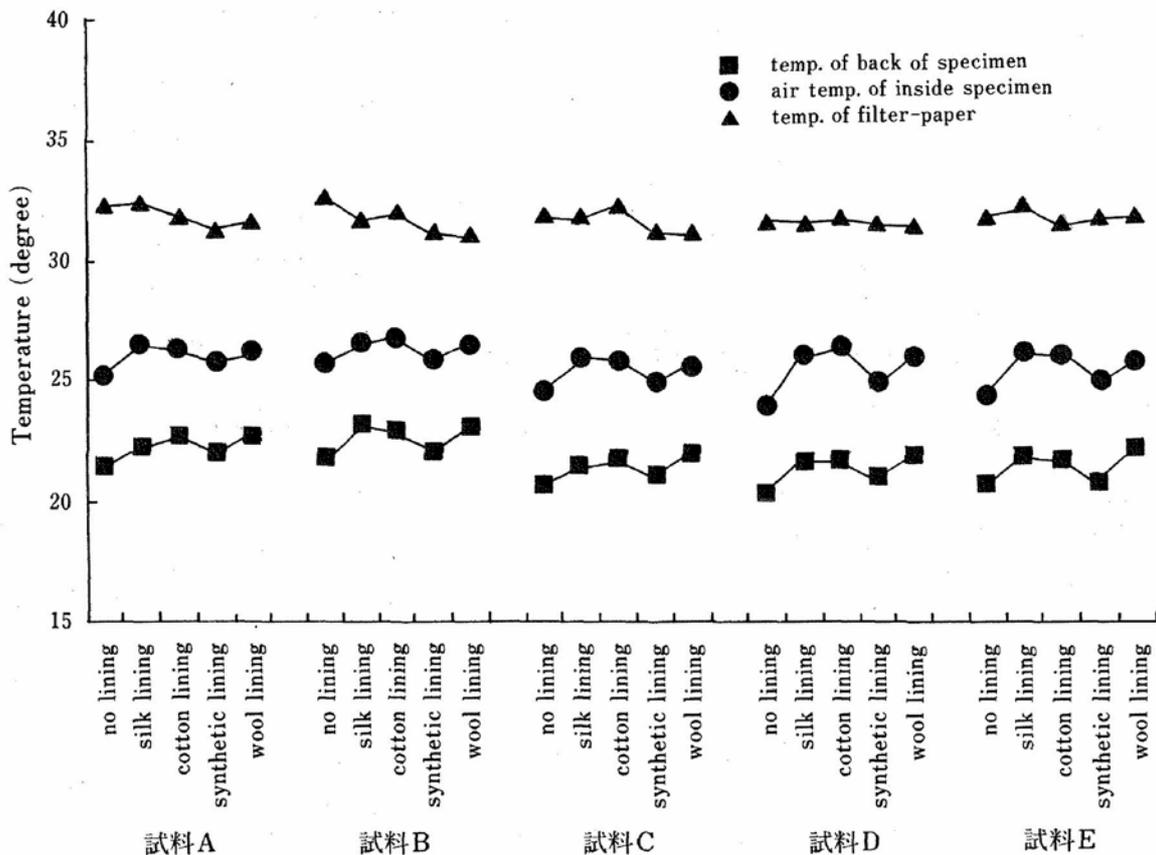


図13 シミュレーション実験における試料内温度

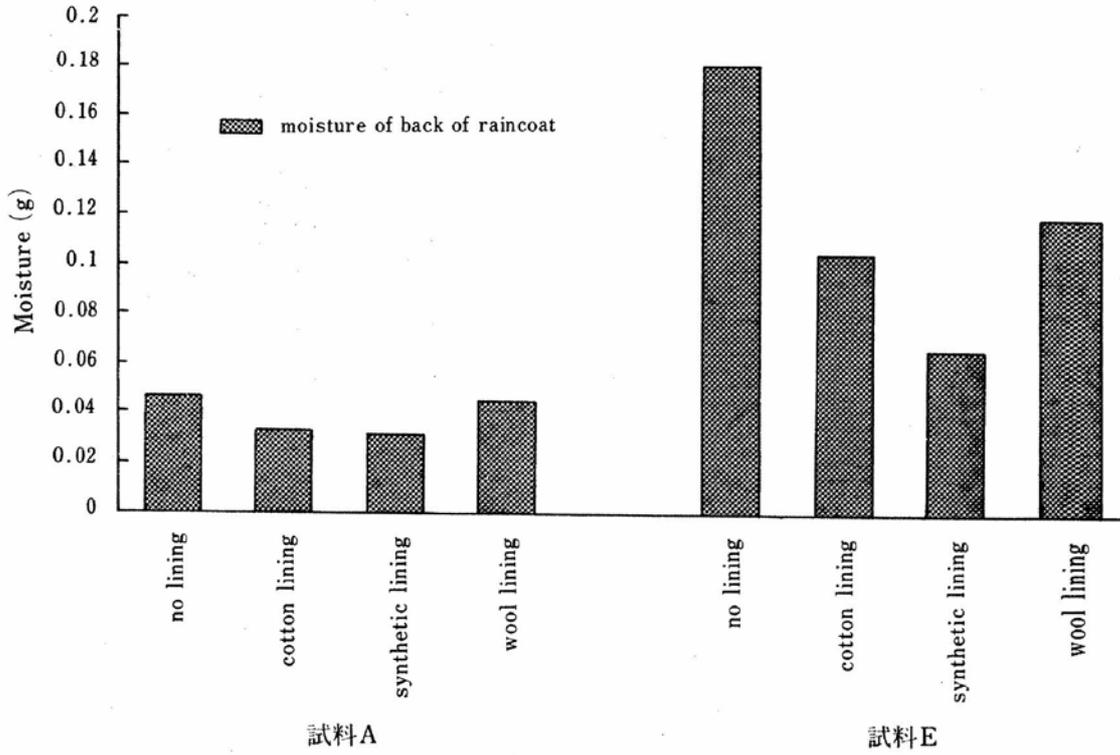


図 14 人体実験における雨合羽裏面の結露水分量

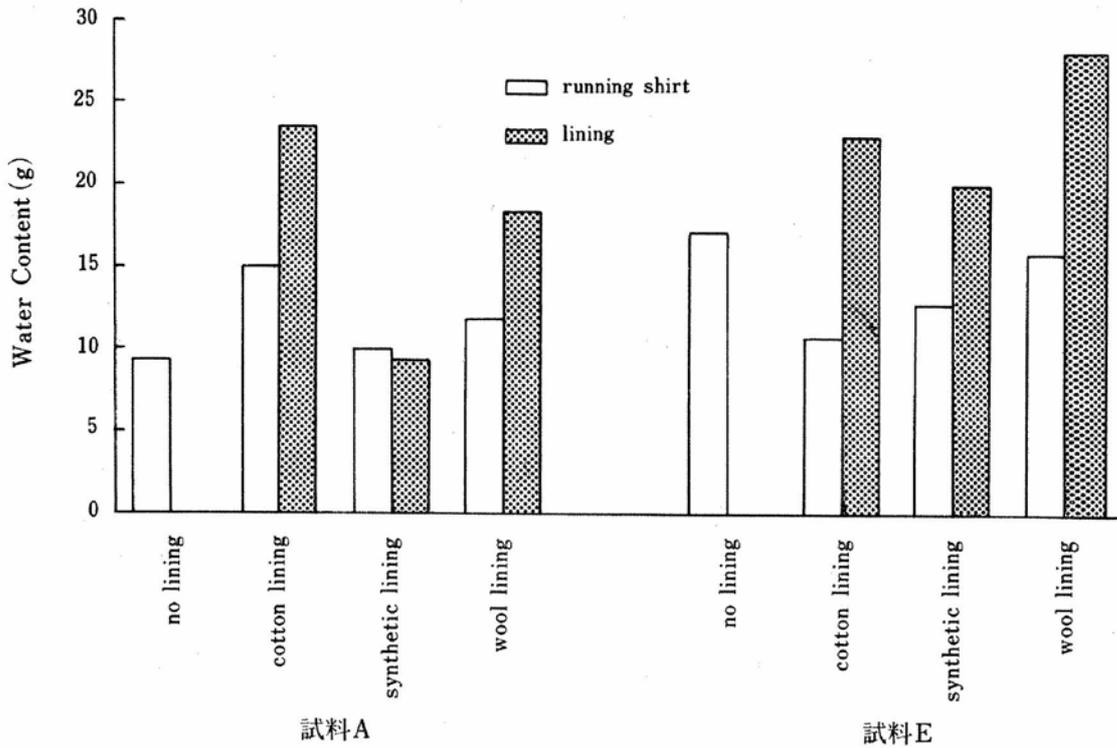


図 15 人体実験における裏地水分量および肌着水分量

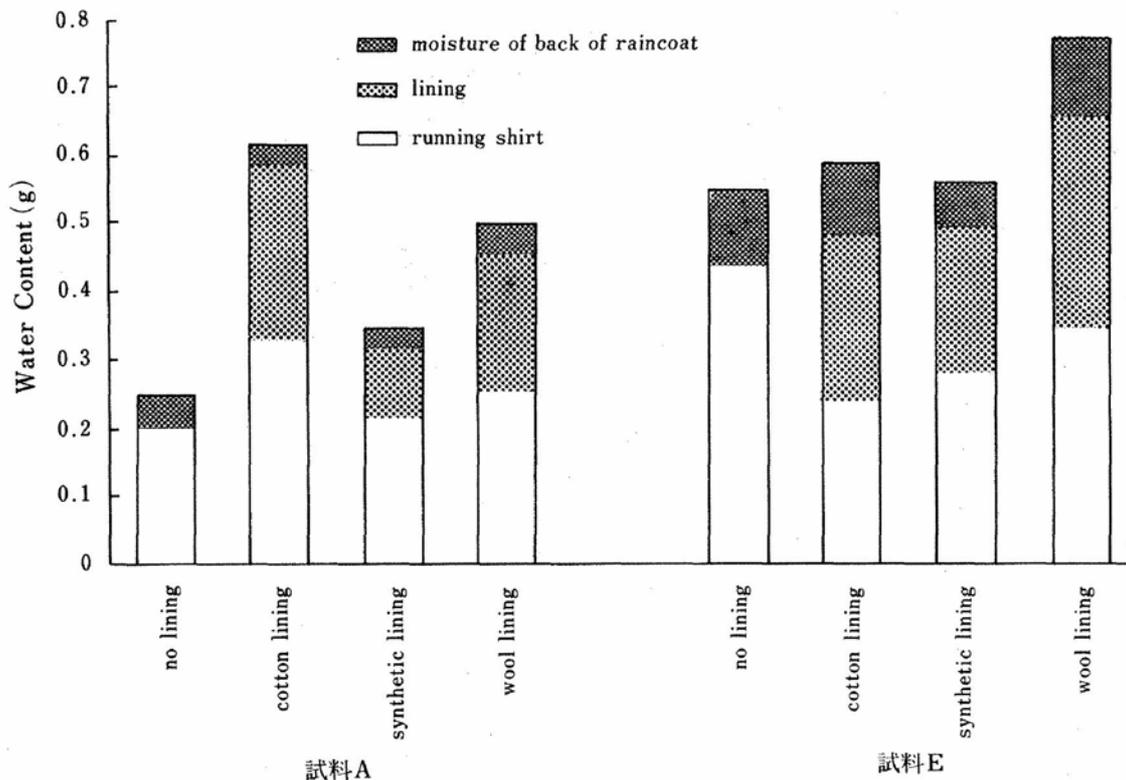


図16 人体実験における水分移動量

小さくないのは、人体実験における発汗量が少ないためと思われる。

試料Eの場合には、若干傾向が変化し、裏地の水分量は肌着の水分量とともに毛の裏地を使用した場合において最も水分量が多い結果となった。

### 3.2.2 衣服内湿度

試料Aを使用した場合の衣服内湿度を図17、試料Eを使用した衣服内湿度を図18に示す。試料Aの実験開始湿度は55%以下、試料Eの実験開始湿度55~65%であり、シミュレーション実験と同じく透湿性防水布の影響が大きく現れた。

両方ともに最終的には90%近くの湿度になることも同様であり、試料Eの場合は裏地がある場合には一定時間衣服内湿度が低く保たれているのもシミュレーション実験と同じ傾向である。ただし、試料Aの場合には、裏地の吸湿効果による湿度の低下が認められなかった。

### 3.2.3 皮膚温度

図19に、全人体実験における、各部分の平均皮

膚温度を示す。雨を想定したシャワーを最も受ける肩、背中よりも腕の温度が低く、肩、首、背中そして胸の順であった。エルゴメータを使用していることから、腕はハンドルを握るため水平になっていることが水温の影響を強く受けていると思われる。

図20は、図3に示す位置における実験中の平均皮膚温を試料ごとに示したものである。温度の順位としてはシミュレーション実験とおおむね同様の結果が得られ、試料Aでは裏地なしが一番温度が低く、次に合繊、毛、綿の順であり、試料Eの場合は、裏地なし、綿、合繊、毛の順に温度が高い結果となった。

試料Aでは、綿の温度が高くなっていること、および試料Eでは合繊の温度が高くなっていることが、シミュレーション実験との相違点である。どちらも、シミュレーション実験と比較して裏地の濡れ量が少ないことが原因と思われる。

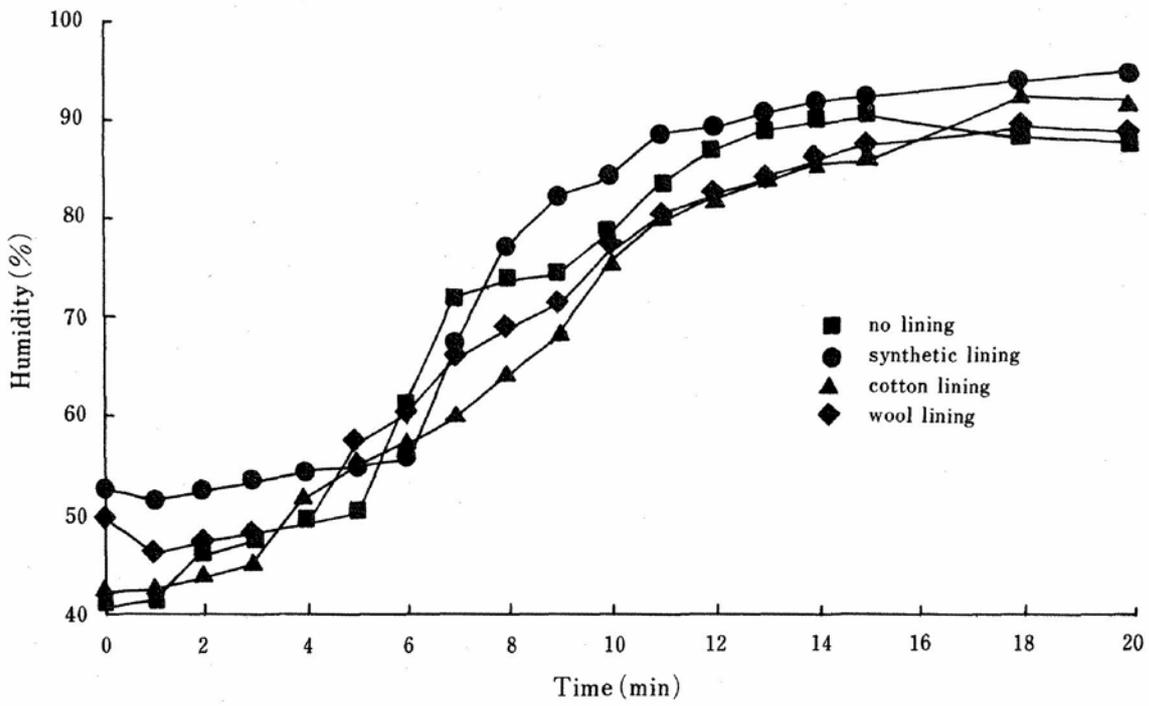


図 17 人体実験における衣服内湿度 (試料 A)

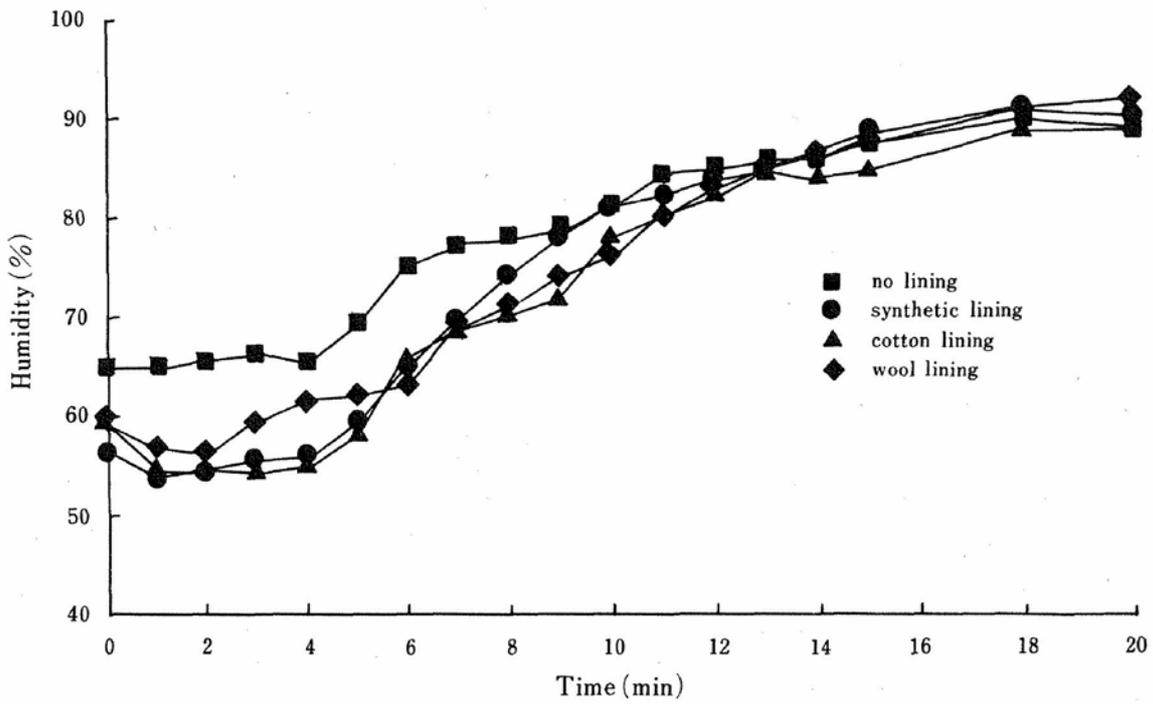


図 18 人体実験における衣服内湿度 (試料 E)

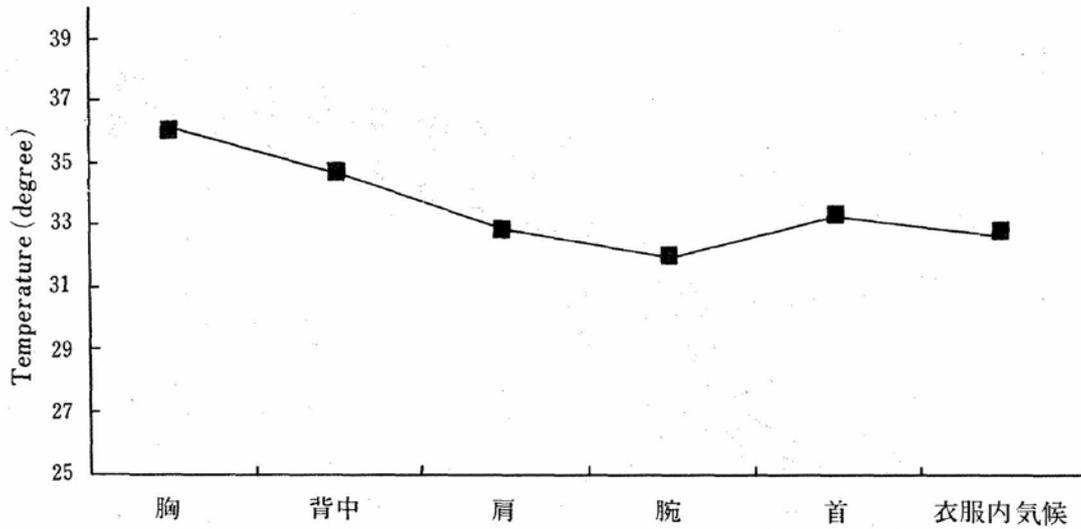


図 19 人体実験における各測定部位ごとの平均温度

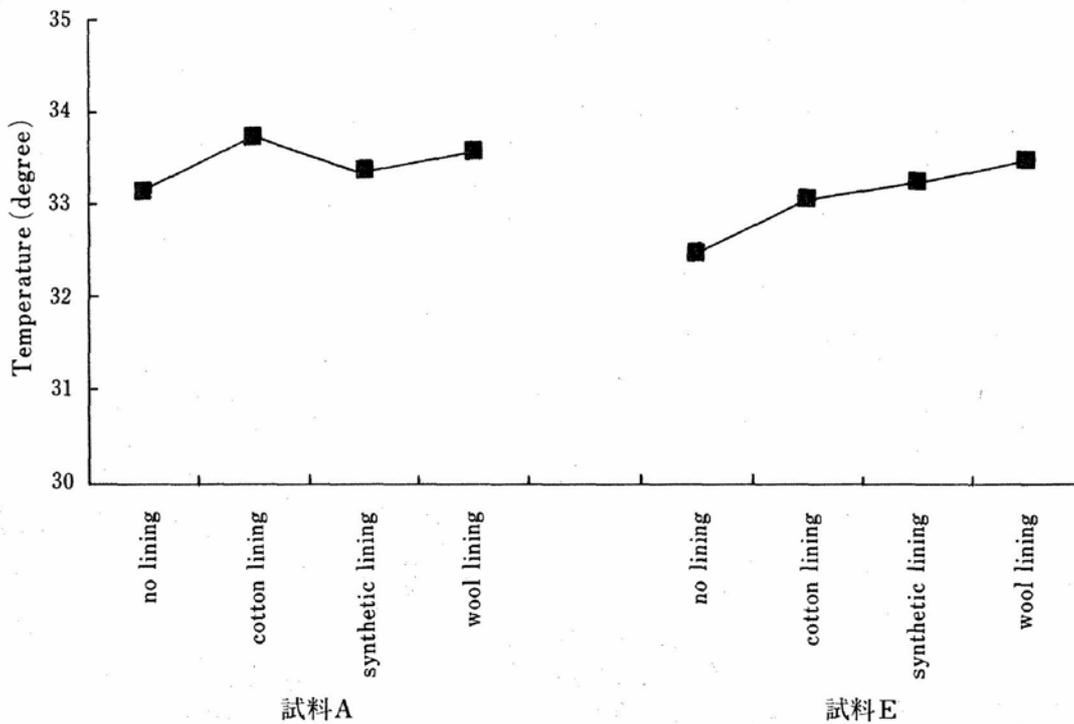


図 20 人体実験における試料ごとの平均皮膚温度

## 4. 考 察

### 4.1 透湿性のある雨合羽

試料 A および試料 B などの透湿性の大きい雨合羽の場合、衣服内水分量を以て快適性の基準とするならば、裏地の装着をしないか、合繊を使用するのが望ましいことが明確に示された。

合繊は吸湿、吸水性が小さいことから、濡れても通気性が大きく減少しないことが原因であると考えられる。綿、絹の場合には、完全に湿潤するほとんど通気性がなくなることから、透湿性防水布の性能を阻害すると考えられる。

合繊裏地を使用した保温による結露の抑止についてはシミュレーション実験においては結露水分

表 4 人体実験における被験者の快適性順位

	発汗量	快適性の順位			
		1	2	3	4
試料A	小	裏地なし	毛裏地	綿裏地	合繊裏地
	中	綿裏地	裏地なし	毛裏地	合繊裏地
	大	合繊裏地	裏地なし	綿裏地	毛裏地
試料B	小	毛裏地	合繊裏地	綿裏地	裏地なし
	中	綿裏地	毛裏地	合繊裏地	裏地なし
	大	合繊裏地	綿裏地	毛裏地	裏地なし

と裏地水分の合計が、試料 A で同程度、試料 B と試料 C では小さくなっていることから効果があったと考察するが、人体実験における試料 A の場合には肌着水分を含めた値で多くなっており確認するに至らなかった。人体実験では、雨合羽と裏地の接触が完全でないことが原因と思われる。

人体実験の終了後、被験者ごとに快適性に関する感覚評価を評点させたものを表 4 に示す。

表は、上から発汗の少ない被験者順に並べてある。どの被験者も裏地なしの評価が高かったが、比較的発汗しない被験者 A, B は合繊を最低とし、毛、綿を上位にしており、多く発汗する被験者 C がその逆の評価をした。裏地が多くの水分を含まない状態では、綿、毛の肌触りがよいこと、また十分に衣服内湿度を低下させるに要する吸湿性の許容量が残留していることが原因と考察する。

#### 4.2 透湿性のない雨合羽

透湿性のない雨合羽の場合、不感蒸泄、発汗を想定しているろ紙から発生した蒸気は、雨合羽裏面に結露するものと開口部分から排出されるものとに分かれる。裏地によって保温された場合には、さらに裏地に吸湿される水分が増加するが、保温効果により結露が抑止される水分が減少する。

シミュレーション実験では、この水分の増加とデサントスポーツ科学 Vol.12

減少の比がほとんど同じであり、合繊と毛の裏地を使用した場合には若干下回る傾向が見られた。水分の増加と減少の比は、発汗量、開口の大小によっても変化するものと思われ、今後の実験が必要である。

人体実験においては、結露水分、裏地水分の他に綿ジャージの肌着に吸湿および吸水される水分が加わっているが、シミュレーション実験と同じく、裏地に吸湿される水分量の増加と、結露抑止によると思われる水分減少分が同程度であり、肌着に吸湿、吸水される分を含めて、合計水分量に大きな差はなかった。

シミュレーション実験と相違して、毛の裏地を使用した場合には、合計水分が大きくなっているのは、被験者の感想でも暑かったとしていることから人体保温効果による発汗量の相違がでたものと考察する。

#### 5. まとめ

透湿性のよい雨合羽素材の場合、肌触りをよくすること以外には裏地をつける効果は小さい。綿、絹および毛等の裏地を装着した場合、裏地の吸湿、吸水性により、より多くの水分を保持してしまうこと、および裏地が吸水することにより通気性が悪くなり、その結果雨合羽の透湿性が悪くなると考えられる。裏地を装着するならば、吸水、吸湿性の大きい素材は通気性が失われるなど逆効

果となることから、吸水、吸湿性が小さく、且つ濡れても通気性を保つ合繊が効果的である。

透湿性のない雨合羽素材の場合、裏地をつける効果はあり、結露水分と裏地に吸水される水分の合計は、裏地をつけない場合の結露水分と同じくらいかそれ以下である。裏地を装着することにより、肌触りの改善、一定時間内は湿度の減少が認められ、快適感を得られる。特に保温の高い毛の裏地の場合には、シミュレーション実験においては水分の減少がみられ、結露の防止効果があらわれている。

実際に使用する上で、登山等に使用される雨合羽には、重量が重くなること、使用後における乾燥の問題、そして、発汗量が大きいなどの点から、試料 E 等の雨合羽に裏地を装着したものを使用

することは性能的に問題点が多く、透湿性防水布を使用するのが望ましい。

しかしながら、重量が問題とならず、発汗量も少ないと思われる 2 輪車を運転するような場合には、強度の高い長持ちする防水布に、合繊、毛等の着脱可能な裏地を取り付けることにより、肌触りの改善、結露の抑止、衣服内湿度の減少等の効果が期待できる。

#### 文 献

- 1) 安田 武; 織消誌, 19, 441 (1978)
- 2) 安田 武; 織消誌, 22, 274 (1981)
- 3) 安田 武; 織消誌, 22, 375 (1981)
- 4) 安田 武, 他; 織消誌, 24, 486 (1983)
- 5) 安田 武, 他; 織消誌, 27, 31 (1986)
- 6) 安田 武, 他; 織消誌, 29, 189 (1988)