

農薬散布作業衣の熱抵抗及び蒸発熱抵抗に及ぼす 素材・開口部の効果

田村 照子, 岩崎 房子, 嶋根 歌子*

(文化女子大学家政学部, * 和洋女子大学家政学部)

平成4年7月4日受理

Evaluation of Heat and Moisture Transport Properties of Protective Working Wear from Agricultural Chemicals

Teruko TAMURA, Fusako IWASAKI and Uta ko SHIMANE*

Faculty of Home Economics, Bunka Women's University, Shibuya-ku, Tokyo 151

** Faculty of Home Economics, Wayo Women's University, Ichikawa, Chiba 272*

The protective working wears from agricultural chemicals are necessary for the farmers today. The working wears commonly used now, however, make the wearers feel intolerable discomfort especially in summer, because of those impermeability of heat and sweat from the human body to the environment. In this paper the heat and moisture transport properties of seven types of wears (A-G), different from materials and openings each others, were examined by wet thermal manikin and evaluated on the human body in order to obtain comfort working wear. As a result, it was found out that both materials and openings had important effects on the clothing climate. The type E that was made of non-sweaty water-proof cloth and had the construction of No. 3 cap, No. 8 jacket and No. 12 trousers (Table 1), was verified to be the best of all tested wears.

(Received July 4, 1992)

Keywords: heat resistance 熱抵抗, evaporative heat resistance 蒸発熱抵抗, working wear 作業衣, agricultural chemicals 農薬, materials 素材.

1. 緒 言

近年における有機合成農薬の導入は、農作物の安定供給に大きく貢献し、現在の農業においては農薬の使用が不可欠になっている。一方、農薬はその毒性が問題視され、近年次第に低毒性化が進められてはいるものの、いまだ農薬を取扱う人の中毒は皆無とは言えない。特に農薬散布が集行的に行われる夏季には、発汗を伴うため、皮膚付着農薬の経皮吸収が起こりやすく、中毒事故が発生しやすい。これを防ぐ方法として、農薬散布作業衣（以下通称の防除衣と称す）の着用が推奨されているが、暑熱下でのマスクおよび防除衣の着用は、著しく衣服気候を悪化させ、うつ熱によって着用者へのストレスを増大させるため、危険を承知で防除衣を着用しない散布者も多い¹⁾。ここに農業従事者の健康管理上、防除衣の着用性能の改善が強く要求される。本研究は防除衣の素材

と構造を変化させた時の熱と水分の透過性をサーマルマネキンを用いて測定し、人体着用実験による衣服気候の測定結果と合わせて防除衣の改良の方向を採ろうとするものである。また、Mechelsら²⁾の式に基づく $T_{a, min}$, $T_{a, max}$ の試算により防除衣の適用限界についても検討を加えた。

2. 研究方法

対象とした防除衣は、素材と構造を異にするA~Gの7種で、その諸元はTable 1, 及びFig. 1に示す通りである（図中のシャドー部は、裏面にネット布を使用していることを表す）。このうちA~Dはいずれも防水性の素材を使用しているが、形態、特に開口部の大きさや向きが異なる。Aはフード（1. Fig. 1中のNo., 以下同様）、上着（5）、ズボン（9）の組み合わせで、ともに特別な

Table 1. Characteristics of the protective working wears examined

Clothing	Material		Form & Opening *	Density(/cm)		Thick-ness (mm)	Moisture transmission (g/d/24hrs)	Air Permeability (cm/s)	Weight (g)
	Ground Fabric	Processing		Warp	Woof				
A	Nylon Taffeta	Dry Coating	1.5.9	42	31	0.19	167	0.03	547
B	Nylon Taffeta	Dry Coating	2.6.10	42	31	0.19	167	0.03	587
C	Nylon Taffeta	Dry Coating	3.7.11	10	10	0.35	0	0	940
D	Nylon Taffeta	Dry Coating	4.8.12	42	31	0.19	167	0.03	629
E	Nylon Taffeta	Wet Coating	4.8.12	48	35	0.15	6577	0.03	588
F	P/C Taffeta	Wet Coating	3.7.13	44	25	(0.26)	4675	0	705
G	P/C Taffeta	Wet Coating	3.7.13	44	25	0.26	4675	0	845

* Three numbers in the form & opening column correspond to each number of hood, upper wear and lower wear in Fig. 1. Those show the combination in each protective working wear.

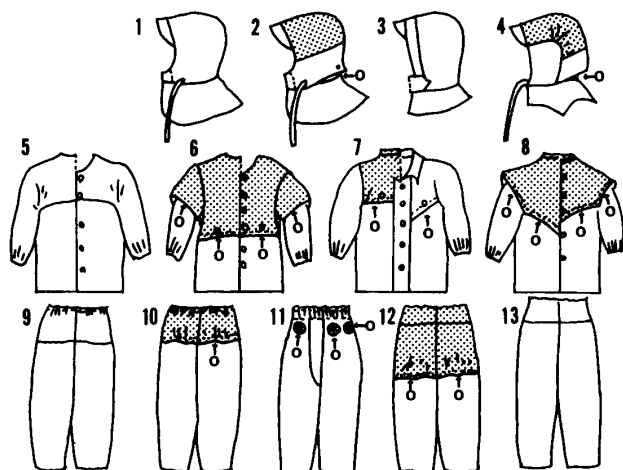


Fig. 1. Forms and openings of the protective working wears examined

The shadow part shows the use of net fabric liner. The mark [○→] shows an opening.

開口部を設けず、最も密閉度の高いものである。Bはフード(2)、上着(6)、ズボン(10)の組み合わせで、図に示す各切り替え線部分が約10cmの重なりをもって開口している。Cはフード(3)、上着(7)、ズボン(11)の組み合わせで、やはり図のような切り替え線部分が約5cmの重なりをもって開口している。Cの場合、布地がA、B、Dに比べて厚く、糸密度が小さいという特徴をもっている。Dはフード(4)、上着(8)、ズボン(12)の組み合わせで、各切り替え線は約8cmの重なりをも

って開口している。また、DとEは同一形態であるが、布地の透湿性が異なり、FとGは同一形態同一素材であるが、Gが裏ネットを全面に使用している点で異なる。E、Fはともに透湿防水布を使用しているが、構造に若干の差がある。

各防除衣の熱及び水分透過抵抗の測定には、温風循環方式、全身13分割で日本人成人女子の平均寸法をもつアルミ製サーマルマネキン(文化女子大学‘AYA’)³⁾を用いた。熱抵抗の測定には、このマネキンをそのまま用い、水分透過抵抗の測定には、このマネキンに湿潤させた綿ニット布で被覆し(手、足、頭部を除く)、湿潤マネキンとして用いた。いずれの場合もマネキンは定入力制御とし、マネキン各部への入力電力量は、気温28℃下での成人女子の裸体安静時皮膚温分布に一致するように設定した。測定は人工気候室で行い、その環境条件は、気温 $26 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、気湿 $50 \pm 10\%$ 、気流 $25 \pm 10 \text{ cm/s}$ とした。各防除衣の全熱抵抗(R_d , 1 clo)及び全蒸発熱抵抗(R_e)、水蒸気透過指数(im)は次式によって求めた。

$$R_d = (\bar{T}_s - T_a) / H_d / A \quad (^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2 / \text{W})$$

$$R_e = (P_s^* - P_a) / H_e / A \quad (\text{mmHg} \cdot \text{m}^2 / \text{W})$$

$$\text{im} = 0.45 R_d / R_e$$

$$1 \text{ clo} = R_d / 0.21 \quad (\text{clo})$$

ただし、 $\bar{T}_s$ はマネキンの各分割中央付近で測定された13点の表面温度に、各部位面積で重みづけした平均表面温($^{\circ}\text{C}$)、 T_a は T_s と対峙した点で測定した気温の

農業散布作業衣の熱抵抗及び蒸発熱抵抗に及ぼす素材・開口部の効果

平均温 ($^{\circ}\text{C}$), H_d は乾性マネキンへの総供給熱量 (W/m^2) で, いずれもマネキンに着用させ入力後 150~180 分の間に測定された 6 回の測定値の平均を用いた. A はマネキン表面積 (m^2). Ps^* は湿潤マネキンの面積重みづけ平均表面温 (頭, 手, 足を除く) の飽和水蒸気圧 (mmHg), Pa は気温と相対湿度から求めた環境の水蒸気圧 (mmHg), He [W/m^2] は Fig. 2 の手順で求められた湿潤布の重量減少量から, 防除衣への付着水分量を差引いた透過水分量 [$\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$] に蒸発潜熱 0.674 [W/g] を乗じたもの, A は頭, 手, 足を除くマネキンの表面積である. なお, 予備実験の結果, 湿潤マネキンの場合, 露出部の頭, 手, 足は乾燥しやすく, 測定時間中一定の濡れ率を維持することが困難であった. したがって, 今回の蒸発熱抵抗測定については, 頭, 手, 足を除外し, これらの乾燥による誤差を排除しようと考えた. Fig. 3 が示すように透過水分量の測定時間中は湿潤布で覆われた部位のマネキン表面の乾燥は生じておらず, 測定対象部位における濡れ率は $w=1.0$ に維持されたものと考えられる.

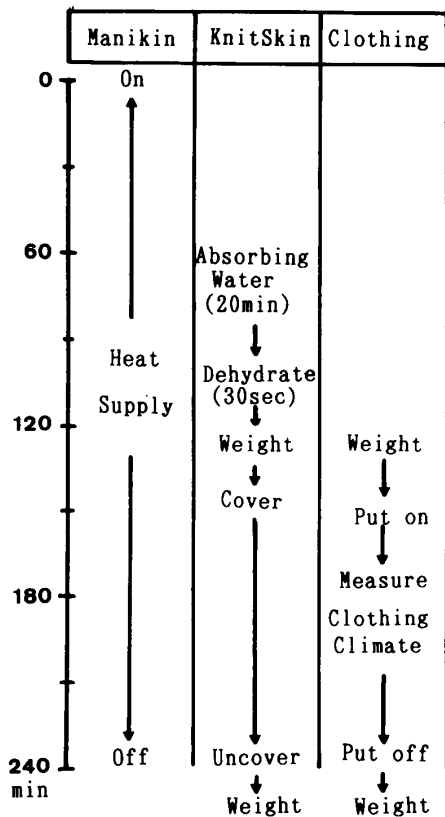


Fig. 2. Experimental procedure of measuring the clothing climate and the moisture transport properties of the clothing by a wet thermal manikin

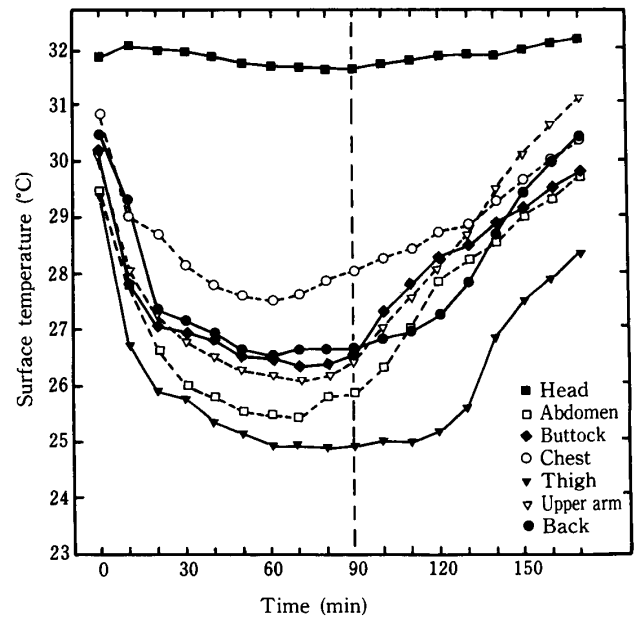


Fig. 3. Changes of the surface temperatures of the wet thermal manikin

衣服内温湿度の測定は胸 (乳頭線上における肩線と乳頭点との $1/2$ の点), 腹 (臍点), 背 (肩線上における腸骨稜下部), 上腕 (上腕外側中央), 大腿 (大腿前面中央) の 6 部位で行った.

Fig. 4 に着用実験の条件及び手順を示す. 環境条件は, 夏季早朝の散布を想定し, 気温 $26 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 気湿 $50 \pm 10\%$ とし, 気流は $20 \pm 10 \text{ cm/s}$ の不感気流及び 1.7 m/s の強制対流 (被検者の前方から扇風機で送風) とし, 作業負担は散布作業のエネルギー代謝率 $\text{RMR}=3.5$ に近いステップ昇降 20 分間とした. 着衣条件は Table 2 に示す 8 条件である. 皮膚温は前額, 上腹, 下腹, 上腕, 背, 腰, 大腿, 下腿の 8 点法を, 衣内温湿度は前出のサーマルマネキンの測定と同部位で測定した. 被検者は女子学生 5 名で, その身体特性を Table 3 に示す.

3. 結 果

Fig. 5 はマネキンによる測定結果をまとめたものである. 各着衣の全熱抵抗 R_d は $0.180 \sim 0.224^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2/\text{W}$ ($0.31 \text{ clo} \sim 0.59 \text{ clo}$) の範囲にあり, $G > F > C > E > D > B = A$ の順であった. G は全面裏付きの効果が, また F , C は素材の厚さが大であるため, 熱抵抗がやや大となったと考えられる. また, B と A は他と比較してサイズが一まわり小さく, 衣内空気層の差が R_d に影響したと思われる. 開口の効果はこのような不感気流環境下では期待した程に認められない.

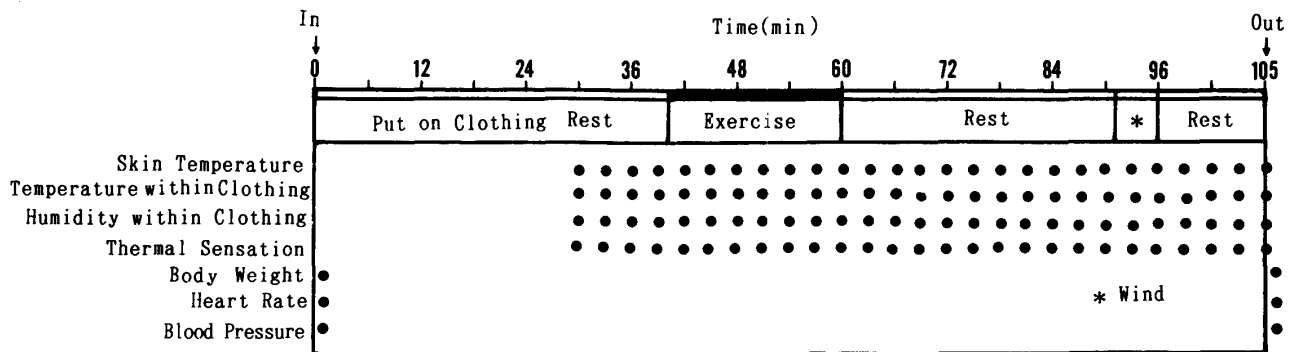


Fig. 4. Procedure of the wearing test

Table 2. The clothing used in wearing test

No.	Ensemble clothing		An abbreviation
1	Protective working wear	A —	A
2		B —	B
3		C — + Cotton net under wear + Sports shoes	C
4		D —	D
5		E —	E
6		E + Cotton net under wear + mask + globe + rubber long boots	E + Equipment
7		A + Cotton net under wear + Sports shoes + Blower (BJ-707-BR type 110 l/min., made by Koken comp.)	A + Blower
8		A + Cotton net under wear + Sports shoes + Ice Bag (15 × 10 cm)	A + Ice Bag

Table 3. Characteristics of the subjects

Subject	Age (year)	Height (cm)	Weight (kg)	Surface area (m ²)	Rohrer index
A	22	153	42.8	1.37	1.20
B	22	153	45.1	1.40	1.26
C	22	163	69.8	1.77	1.61
D	22	155	50.2	1.48	1.35
E	25	165	60.2	1.68	1.34

全蒸発熱抵抗 Re は、 $0.347 \sim 1.733 \text{ mmHg} \cdot \text{m}^2/\text{W}$ の範囲にあり、 $A > B > C > D > G > F > E$ の順であった。この場合、頭部、手、足部を除いているため、人体全体に対しては、やや高めの値になっていると考えられるが、相対的な順位は再現性もあり、妥当であると考えられる。 im は $0.047 \sim 0.259$ と一般の着衣に比較して小さく⁴⁾、防除衣の蒸発熱抵抗は全体的に大きいことが示されている。しかし、その中でも透湿防水布を使用した防除衣E、

F、Gはいずれも防水布使用のA～Dに比較して Re が小さく、素材の透湿効果の大きいことが示されている。このうちEは開口が最も大きく、Gは全面にネット裏がついているため、同一素材でありながら $G > F > E$ の差を生じている。A～Dはいずれも防水布であるため Re が大きい、特に密閉型Aは顕著に大となり、B次いでC、Dと開口が大きくなるに従い Re が低下した。 Re は素材の透湿性と開口の有無・有効性により、著しい影

農業散布作業衣の熱抵抗及び蒸発熱抵抗に及ぼす素材・開口部の効果

Clothing	Average Temperature within Clothing (°C)			Average Humidity within Clothing (%)		Total Evaporation (g/hr)			Moisture Absorbed to Clothing (g/hr)			Moisture Transported through Clothing (g/hr)			R d (°C·m²/W)	R e (mmHg·m²/W)	i m	Ta.min (°C)	Ta.max (°C)
	28	30	32	85	95	20	60	100	4	8	12	20	60	100					
A															0.180	1.733	0.047	22.7	28.5
B															0.180	0.983	0.082	22.8	29.9
C															0.202	0.971	0.094	21.7	29.2
D															0.190	0.701	0.123	22.4	30.6
E															0.200	0.347	0.259	22.4	33.9
F															0.204	0.382	0.240	22.1	33.5
G															0.224	0.453	0.223	21.0	32.5

Fig. 5. Heat and moisture transport properties of the protective working wears measured by using the dry and wet thermal manikin

響を受けることがわかる。

6部位で測定された衣内湿度の平均はいずれも80%以上の高い値を示すが、Reが最大のAは97.39%に達しているのに対し、Reの小さいE、Fは82%内外にとどまり、Reとの関係が明瞭に示されている。また、Reは湿潤表面からの水分蒸発量も左右し、Aは約42 g/hrであるのに対し、E、Fではその2.5倍近い値になっている。同様に、着衣への付着量もAでは14.8 gと、衣服裏面への結露が観察されたのに対し、E、Fでは2.5 g内外にとどまり、結露はみられなかった。また、水分蒸発量の大小は、平均衣内温度にも影響を及ぼしている。

Fig. 6~9は、代表的なA、B、D、Eの衣内温湿度の経時変化を部位別に表示したものである。Aではどの部

位も衣内湿度が着衣完了直後から90~100%に達し、衣内温度も上昇し続けている。これに対し、同素材異形態のB、Dでは88~100%、78~97%でおおの平衡に達しており、開口の効果認められる。また、同形態異素材のDとEを比較すると、Dでは78~97%、Eでは66~92%で平衡に達しており、防水布と透湿防水布との差が示されている。また、衣内温度の分布も同様の傾向を示した。

Fig. 10は、Mechelsらの次式に基づく各着衣のTa.minとTa.maxを試算した結果を示している。

$$Ta.min = 32 - Rd[H - 0.06(35.7 - Pa)/Re]$$

$$Ta.max = 36 - Rd'[H' - w(44.6 - Pa)/Re']$$

ただし、Ta.maxではスピードスプレア等の作業散

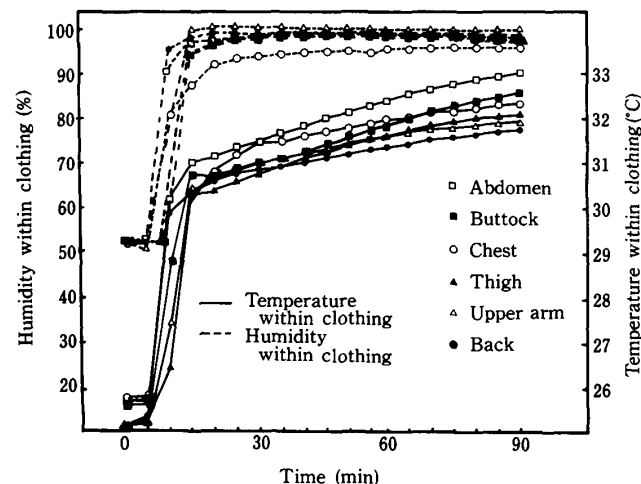


Fig. 6. Changes of temperature and humidity within the protective working wear (A) measured by the wet thermal manikin

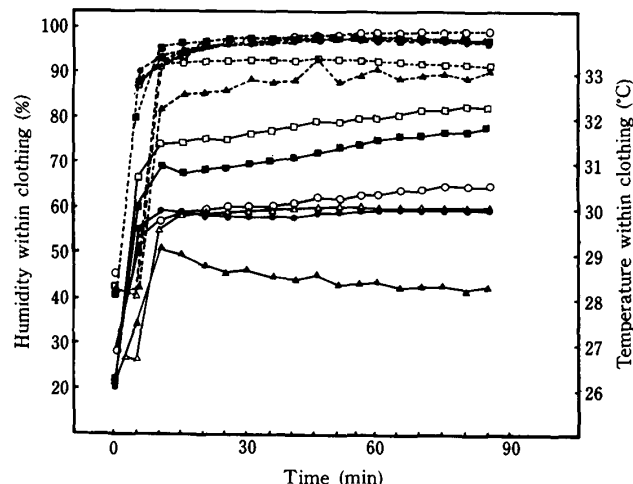


Fig. 7. Changes of temperature and humidity within the protective working wear (B) measured by the wet thermal manikin

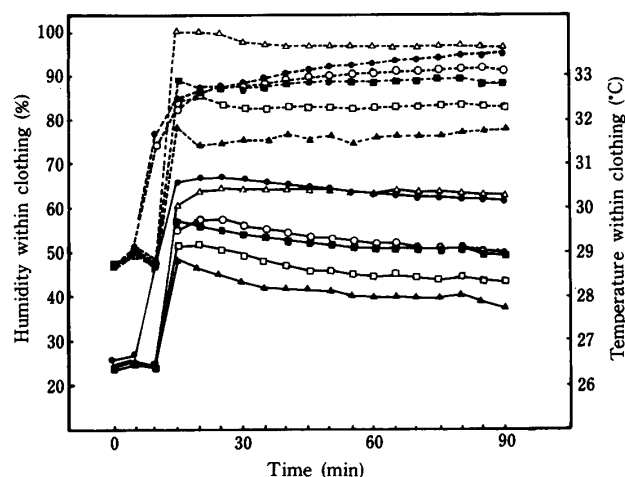


Fig. 8. Changes of temperature and humidity within the protective working wear (D) measured by the wet thermal manikin

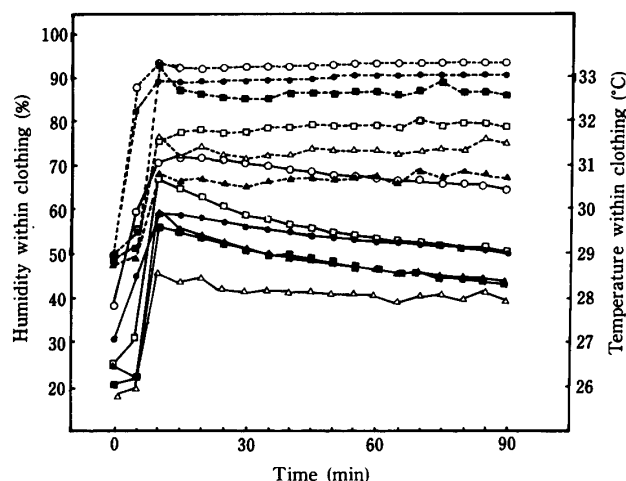


Fig. 9. Changes of temperature and humidity within the protective working wear (E) measured by the wet thermal manikin

布を前提とし、 $M=52 \text{ W/m}^2$, $w=0.6$, R_d , R_e は静止のものを用いている。動噴散布等では、 M が上昇、 R_d , R_e が若干低下するため、これより低い $T_{a, \max}$ になると考えられる。いずれにせよ、一定の作業条件下で比較すると、もし環境湿度が 50% R. H. ならば $T_{a, \min}$ は防除衣 A 22.7°C, B 22.8°C, E 22.4°C, F 22.4°C と着衣による差は僅少である。しかし、 $T_{a, \max}$ は防除衣 A 28.5°C, B 29.0°C, E 33.9°C, F 33.5°C と約 5°C の差を生じ、A, B に比べ E, F の適応限界が高いことが示された。開口の有無、さらに防水布・透湿防水布の差が夏期の適応限界を大きく左右することは明瞭である。

Fig. 11, 12 は、着用実験による衣内温湿度の結果（5

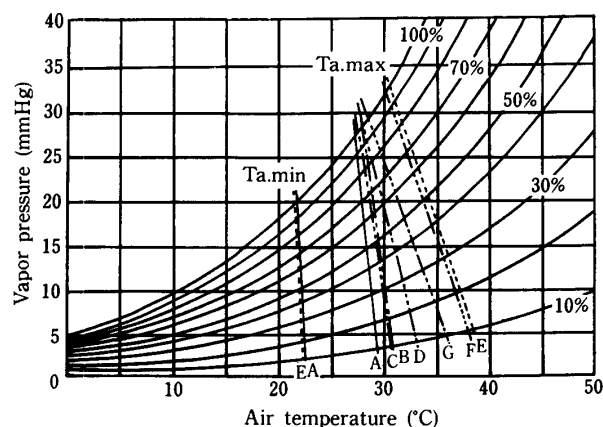


Fig. 10. Climatical application limits of each protective working wear estimated from $T_{a, \min}$ and $T_{a, \max}$ of Mecheels

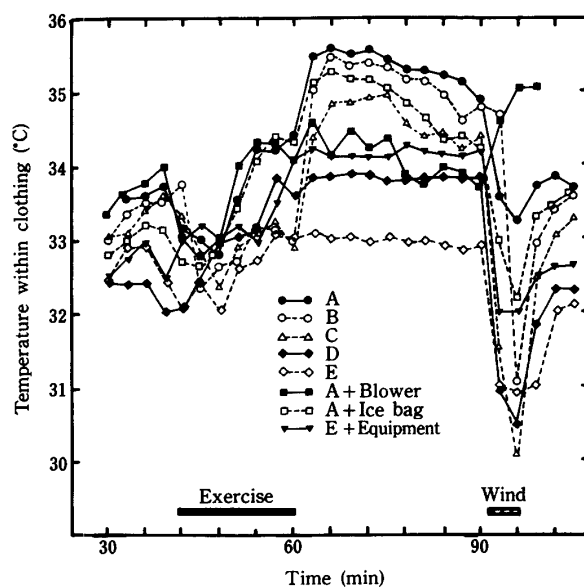


Fig. 11. Changes of temperature within the protective working wears during the wearing test

名平均)である。着用実験では個体差が大きく、マネキン実験ほどに明瞭ではないが、防除衣 A, B では衣内温湿度とも高く、マネキン実験の結果と同様の傾向が示されている。また、ここでは有風時の衣内温度低下に及ぼす開口の影響が顕著に示されている。静止気流下のマネキン実験では R_d にほとんど影響を及ぼさなかった開口条件が、有風下では衣内温度を左右する大きな要因であることがわかる。衣服内にプロアを取付けた場合（胴部後面より背中央に向けて上方に送風を行ったが 5 名中 2 名で 100 分目以降のデータが欠損したため図中では削除）、及び簡易型冷却袋（アイスノン）を上衣前面中央に取付けた場合、及び今回最良の成績を示した E にマ

農薬散布作業衣の熱抵抗及び蒸発熱抵抗に及ぼす素材・開口部の効果

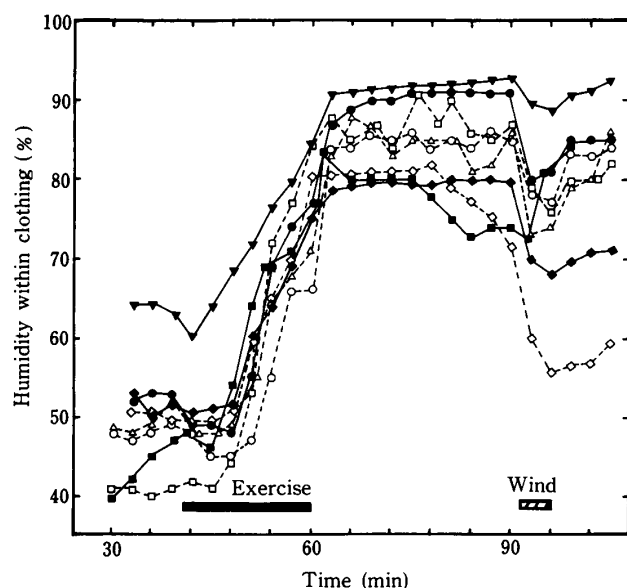


Fig. 12. Changes of humidity within the protective working wears during the wearing test

スク、手袋、長靴をつけたものについてみると、Eは単独では最良であったにもかかわらず完全装備するといまだ衣内温湿度の上昇が著しく、なお改良を必要とすること、アイスノン効果は局所的で結露するため不快であるが、フロアの使用は衣服気候の改善にかなり効果があること等が示唆されている。これらに関する検討は今後の課題としたい。

4. 要 約

現在、一般に広く使用されている農薬散布作業服を中心に、素材、開口部の異なる作業服7種について、サーマルマネキンを用いて、その熱抵抗及び蒸発熱抵抗の評価を試みた。また、人体着用実験によって、これらの結果を検討するとともに、防水密閉型防除衣Aについて、フロア及び簡易冷却袋（アイスノン）を併用した場合の効果についても試験的な実験を試みた。主たる結果は次の通りである。

1) 同一素材で開口部が異なる防除衣A, B, C, Dを比較した結果、静止気流下の熱抵抗に及ぼす開口部の影響は僅少であるが、有風下では開口によって著しく衣内温度が低下した。蒸発熱抵抗は静止気流下でも開口部

の拡大に伴って低下し、開口部が大きいほど衣内湿度は低く、水分蒸発量は多く、衣服付着水分量は少なく、水分透過性に及ぼす開口部の影響大なることが示された。

2) 同一開口・形態で素材の異なる防除衣D, Eを比較すると防水布に比して透湿防水布の防除衣は、わずかに熱抵抗が大であるが大差なく、一方、蒸発熱抵抗は約1/2の小さい値を示した。また、これに伴い透湿防水布防除衣の平衡衣内湿度は低く、蒸発量は多く、衣服付着水分量は少なく、素材の透湿性が防除衣の水分透過性に及ぼす影響は大であることが示された。

3) 着用実験による結果は、マネキン実験よりバラツキが大であるが、防水密閉型防除衣Aでは運動時の衣内温湿度が顕著に増大し、有風下の衣内温湿度は、密閉>開口、防水>透湿防水と、マネキン実験と同様の傾向を示した。

4) しかし、防除衣単独で最も評価が高かった透湿防水素材・開口型の防除衣Eも、マスク、手袋、長靴などの装備をつけると衣服気候は悪化した。これを解消する方法として、フロアの使用は効果的であることが示唆された。

5) Mecheelsらの式により、 $T_{a, min}$, $T_{a, max}$ を試算した結果、 $T_{a, min}$ はいずれの防除衣でも大差ないが、 $T_{a, max}$ は、50% RH時、28.5℃～33.9℃の差をもたらした。防除衣改良の効果は、適応気温の上限に影響することが示された。

最後に、本研究を行うに際し、ご指導いただいた元農村生活総合研究所、吉田政雄氏、及び実験にご協力いただいた文化女子大学卒業生、井上愛子、丸山康子両氏に厚く御礼申し上げます。

引 用 文 献

- 1) 農村生活総合研究センター編：むらと人とくらし、12 (1979)
- 2) Mecheels, T. and Umbach, K.H.: Melliand Textilberichte, December, 1142 (1976)
- 3) 田村照子, 岩崎房子：文化女大紀要, 16, 221 (1985)
- 4) McCullough, E.A., Jones, B.W. and Tamura, T.: ASHRAE Trans., 95, 316 (1989)