



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	防寒衣の温感工学的検討
Author(s)	射場本, 勘市郎; 西, 安信
Citation	衛生工学, 9, 13-22
Issue Date	1964-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/36163
Type	departmental bulletin paper
File Information	9_13-22.pdf



防寒衣の温感工学的検討

射 場 本 勘 市 郎 *

西 安 信 **

(昭和38年12月2日受理)

An Improvement on the Winter Clothes with
Warmth Diagram Method.

Kanichiro IBAMOTO

Yasunobu NISHI

In this paper the authors report the analytical experiment on the heat insulation power of some clothes for very cold environment.

Comparing with the inner temperature of two cylindrical models of the human body, showed in Fig. 7., we know the insulation power of the clothes.

We found that the glittering clothes, having low emissivity, and the net shirt were very effective for workers and sportsmen in colder environment.

An aluminum-foil covering on the dress surface saves radiant heat loss from the body and the net shirt, that keeps the air layer between skin and clothes, decrease the over-all coefficient. So these clothes are useful for workers and sportsmen to give relief to cold pain.

I は し が き

本道のような冬期寒冷の地において、この期間建物の一面が外気に開かれているという暖房の不可能な、もしくは不十分な作業場、たとえば屋外作業場や車輛整備工場、更に登山などのスポーツ等では寒さによる能率の低下、危険の増加、不快感の増大など問題が少くない。この悩みを少しでも軽減するためにも実現が可能な程度の地道な努力目標を示すべきであろう。

工場などでは労働者の作業域に限つての温風浴やふく射浴による採暖も可能であろうが施設費などの点で不十分になり易い。

* 衛生設備工学講座教授

** 大学院修士課程学生

このような暖房はもとより採暖もできない所では衣服のみにたよって防寒をしなくてはならないが、いわゆる「着ぶくれ」のため能率が著るしく低下する。従つて衣服の保温性能を一段と向上させることができれば問題解決の一助とすることができよう。

熱損失を補う意味で「発熱服」の着用も考えられるが制限も多い。筆者らは衣面のふく射率を減じた「ピカピカ服」や網シャツの着用によつて、予期した様な保温効果を実験で確めた。

実験に当つては人体からの全放熱量のうち乾性放熱によるものを75%と固定して考え残りの湿性によるものは別の径路をへて放熱されるものと考えた。

II 温感工学的検討

人体からの放熱を伝熱の性質の違いから次の二つに分けて考える。

- i) 衣服表面より外部への伝熱
- ii) 皮膚面と衣服表面の間の伝熱

II-1 衣服表面より外部への伝熱

これはふく射と対流によつてなされるが、ここではふく射熱伝達が当面の目標となる。衣面よりの全熱伝達量 H [$\text{Kcal}/\text{m}^2\text{h}$] は次式で示される。

$$H = \alpha_r (T_g - T_p) + \alpha_o (T_g - T_a) \quad [1]$$

暖房がなければ $T_p = T_a$ であり

$$H = (\alpha_r + \alpha_o) (T_g - T_a) \text{ とおける。} \quad [2]$$

ただし α_r : ふく射熱伝達率 [$\text{Kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$]

α_o : 対流熱伝達率 [$\text{Kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$]

T_g : 衣面温 [$^\circ\text{C}$]

T_p : 平均パネル温 [$^\circ\text{C}$]

T_a : 気温 [$^\circ\text{C}$]

気流の存在しない時

気流がなければ [2] 式の α_o は自然対流熱伝達率であり普通着衣では α_r より小さな値をとる。すなわちふく射による伝熱が対流によるそれを上廻る。もしこの大部分を占るふく射熱損失を衣面のふく射率の改善によつて補うなら実質的にはかなりの保温を施すことに相当する。一般の布地などのふく射率は色合に関係なく $\epsilon = 0.9$ 以上である。又ふく射率の小さいものにはアルミ箔 ($\epsilon = 0.05$) があるが強度の点などで直ちに実用には向かない。

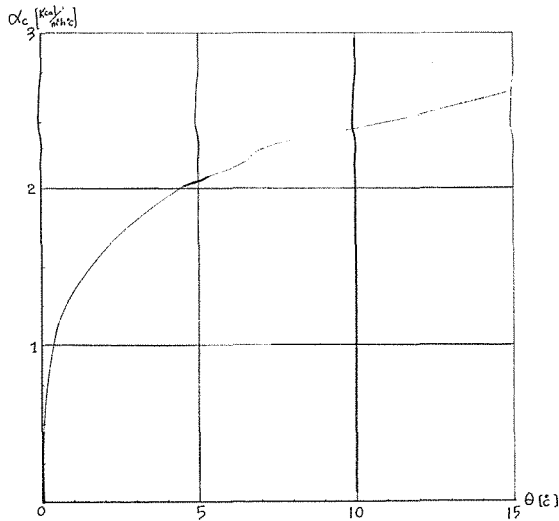


図1 直径30cmの垂直円筒に対する自然対流熱伝達率*

気流が存在する時

気流があれば〔2〕式の α_c は強制対流熱伝達率であり気流が大きくなるにともない大きな値をとる。従つてふく射熱損失を防いでも気流のないときほどの大きな効果は期待できなくなる。

気温の低い時

常温域のみを考えるなら α_r は定数扱いにして
もよいが、 α_r は下に示すように温度の函数であり気温が大きく変るとずれを生じる。

周囲壁体のふく射率が特に小さくない限り衣面からのふく射熱伝達量 H_r [Kcal/m²h] は次式で示される。

$$H_r = \epsilon \cdot C_g \left\{ \left(\frac{T_g + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_p + 273}{100} \right)^4 \right\} \quad [3]$$

$$= \alpha_r (T_g - T_p) \quad [4]$$

ここで $\alpha_r = k \cdot \epsilon \cdot C_g$ とおけば

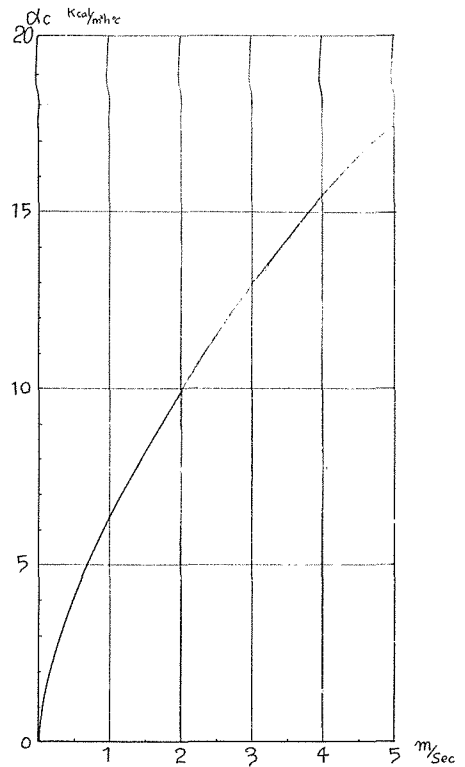


図2 直径30cmの円筒に対する強制対流熱伝達率**

* 垂直円筒に対する自然対流熱伝達率については次の関係が導かれている。

$$Nu = 0.47 (Gr \cdot Pr)^{0.25} \quad 1)$$

但し $10^5 < Gr < 10^8$

** 流れに直角におかれた円筒に対する強制対流熱伝達率については次の関係が導かれている。

$$4 \times 10^4 < Re < 4 \times 10^5 \text{ のとき} \quad 2)$$

$$Nu = 0.615 Re^{0.466}$$

$$4 \times 10^5 < Re < 4 \times 10^6$$

$$Nu = 0.174 Re^{0.618}$$

$$k = \{ (T_g + 273)^2 + (T_p + 273)^2 \} (T_g + T_p + 546) \times 10^{-8} \dots\dots [5]$$

k と T_g , T_p の関係を図3に示す。

ただし ε : 衣面のふく射率

C_g : 黒体のふく射係数 $[\text{Kcal}/\text{m}^2 \text{h } ^\circ\text{K}]$

k : ふく射温度係数

すなわち気温が低下するにつれてふく射率が一定であつても α_r は小さくなり、従つてふく射率の改善による保温効果への期待は小さくなる。

さて以上はふく射率の改善による保温効果の定性的な推定であつたがここで温感線図³⁾により定量的にその効果を検討してみる。

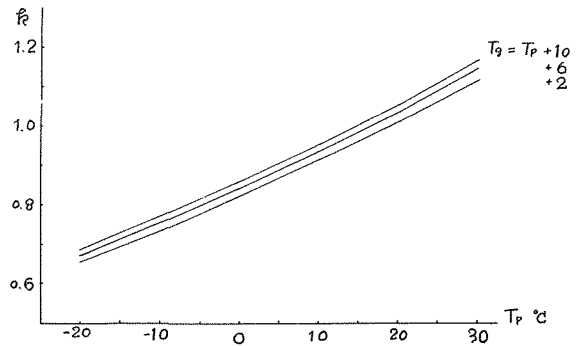


図3 ふく射温度係数 k と T_g , T_p の関係

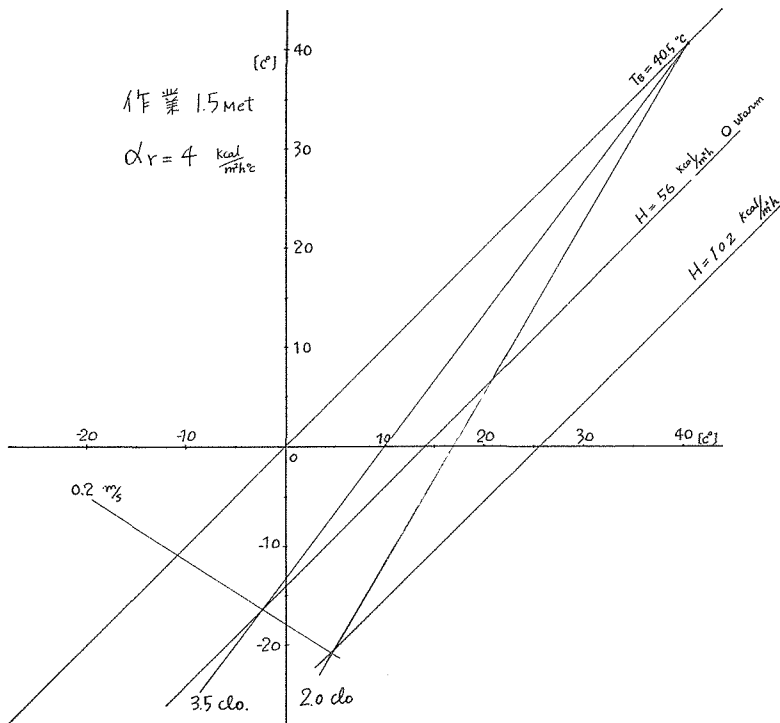


図4 普通着衣の温感線図

零下11℃, 気流0.2 m/s の環境で1.5Metの作業をしているとき寒さを感じないためには3.5 clo.の衣服が必要である。

また C10. は衣服の間の空気層や厚みなども考慮に入れた衣服の熱伝達抵抗の実用単位であり次の様に表わされる。

$$1 \text{ C10.} = 0.18 [\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C} / \text{kcal}] \dots [7]$$

II-2 皮膚面と衣服表面の間の伝熱

これは熱伝導と衣服間の空隙に存在するふく射熱伝達により大部分なされる。

空気の熱伝導率は他の如何なる保温材料のそれに比しても小なので衣服間に空気層を作ることによつてかなりの保温効果が期待できる。

またふく射熱伝達を防ぐため、衣服間にふく射率の小さいアルミニウムをはさんで、いわゆるアルミ箔保温も可能かと思われる。

更に衣服が濡れたときには、蒸発や物質移動に伴う熱移動を含めて熱抵抗値の減少に原因する放熱の加算にも、保温材の質を変えることにより対処することができる。

ここでそれぞれにつき実験検討を行った結果を以下に示す。

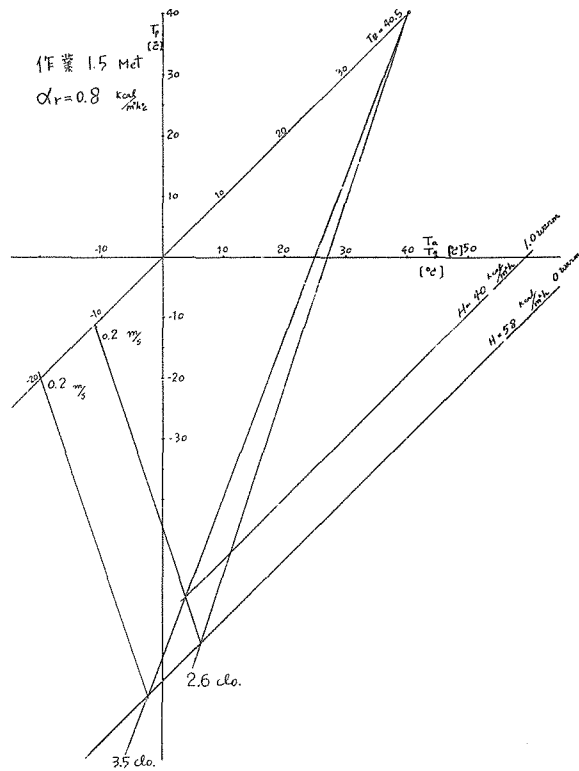


図6 α_r を20%に減じたときの温感線図

III 実験装置について

実験室 これは $1.8 \times 1.8 \times 1.8 \text{ m}^3$ の内壁を白色ペンキ塗装を施した耐水ベニヤ張りの、ふく射環境に方向性のない室を選んだ。内部には室温を零下 3.5°C まで下げられるクーラーを備え温度調節が可能であり、必要に応じて気流を生じることができる。室温は実験中を通じてほぼ一定であり室温と平均パネル温には差がない。($T_a \doteq T_p$)

人体模型発熱体 発熱体としての人体を直径 30 cm 、高さ 90 cm 位の円筒模型にみなすことは妥当と思われる。

人体は作業量に応じた一定の発熱を行つているのでこれに相当する発熱を継続させるため被覆ニクロム線をコイル状に巻いた円筒模型を作つた。両端は保温を施し断熱性を考慮し面積当りの放熱量を他の 50% とみなした。内部温度などの測定には銅・コンスタンタン熱電対を用いて自動平衡記録計にて記録した。

保温材 用いた保温材については実測により値を求めた。模型に着用する方法は、余分の空気層の生じない様に巻き付け、セロテープや糸を用いて重なり合わぬ様に綴じた。

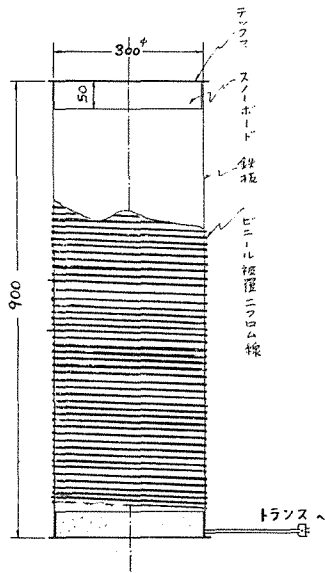


図7 人体模型発熱体

表2に材料の詳細を示す。

表2 保 温 材 料

保温材名	略号	厚さ [mm]	熱抵抗 [m ² h℃/kcal]	備 考
ポリウレタン フォーム	P	5	0.122	連続気泡，プリジストン製
ウール地	W	3	0.150	やや粗な織り方のもの
レース カーテン	N	1	0.055	9mm ² の網目をもつ木綿 レース地で衣服の間に空気層 を作る。
アルミニウ ム 箔	AL	—	0.067	
ルミテックス	L	1	0.090	ポリエチレンにアルミを蒸 着し繊維にしたものとテト ロンを平織りにしたもの
薄手白色 木綿地	C	1以下	0.090	
白色模造紙	WP	—	0.067	
黒色模造紙	BP	—	0.067	

内部温度の評価 発熱体に各種の衣服を着用させ、いろいろな環境にさらしたときの発熱体内部温度は、衣服の熱抵抗、気温、ふく射について意味をもつ平均パネル温、気流、等の影響を受ける。

内部温度は人間の体温と直接対応するものではないが、衣服の保温性能、又は温熱環境を総合的に評価する有力な指標の一つである。

本実験ではこの内部温度の比較により保温性能を判断した。

Ⅳ 実験値の検討

ふく射率の変更による保温効果の期待

ふく射率の小さなものとしてアルミニウム箔 ($\epsilon = 0.05$) 及びルミテックス ($\epsilon = 0.5$ と推定) で模型表面を覆ったときの保温効果を以下の表3, 4, 5に示す。なお標準体は表面ふく射率以外の熱的性能をできる限り等価に作った。

表に示す様に一枚のアルミニウム箔を用いることにより内部温度を10.2℃も高めることができた。これと同様の保温効果を他の保温材で得ようとするなら、厚手のウール地を3枚重ねても満たされない。実用品としてのルミテックスはアルミ箔に比べるとその効果はかなり劣る。(表3)

気流があると衣面のふく射率を減じても効果の現れ方は少くなる。(表4)

低温で気流があれば、更に効果は少なくなる。(表5)

表3 気流のないときの保温効果

着衣	Clo.	気温[℃]	気流[m/s]	Met	内部温度[℃]	内部温度の差[℃]
P 4 * N 2	3.3	2.8	0	1.5	39.9	10.2
P 4 N 2 衣面 AL 1	3.7	2.8	0	1.5	50.1	
P 4 N 2 衣面 BP 1	3.7	5.0	0	1.2	37.3	8.4
P 4 N 2 衣面 AL 1	3.7	5.0	0	1.2	45.7	
P 4 N 2 衣面 W 3	5.8	4.5	0	1.2	44.6	1.0
P 4 N 2 衣面 AL 1	3.7	4.5	0	1.2	45.6	
P 4 N 2 衣面 C 1	3.8	2.2	0	1.5	41.3	2.0
P 4 N 2 衣面 L 1	3.8	2.2	0	1.5	43.3	

* P4はポリウレタンフォーム 4枚の意味

表4 気流の存在するときの効果

着衣	Clo.	気温[℃]	気流[m/s]	Met	内部温度[℃]	内部温度の差[℃]
P 4 N 2 衣面 BP 1	3.7	6.0	2.5	1.5	41.6	2.5
P 4 N 2 衣面 AL 1	3.7	6.0	2.5	1.5	44.1	

表5 低温で気流の存在するときの効果

	Clo.	気温[℃]	気流[m/s]	Met	内部温度[℃]	内部温度の差[℃]
P 4 N 2 衣面 BP 1	3.7	-22 -25	2.5	2.0	25.0	1.2
P 4 N 2 衣面 AL 1	3.7	-22 -25	2.5	2.0	26.2	
P 4 N 2 衣面 BP 1	3.7	-18	2.5	2.0	31.6	1.4
P 4 N 2 衣面 AL 1	3.7	-18	2.5	2.0	33.0	

衣服空隙間のふく射熱伝達

構築物のいわゆる「アルミ箔保温」は大きな保温効果を上げるが、これを衣服の間に持ち込めば保温に対する期待がもてる。

しかし衣服の間に充分の空隙を保つことはむずかしく、温度差も生じないため予期した様な効果は得られなかった。

表6 衣服間のアルミ箔による保温

着衣	Clo	室温 [℃]	気流 [m/s]	Met	内部温度 [℃]	内部温度 の差[℃]
P 4 N 2 * P ₃ P ₄ の間でAL1	3.7	5.2	0	1.5	43.8	0
P 4 N 2 P ₃ P ₄ の間でWP1	3.7	5.2	0	1.5	43.8	

* P₃はポリウレタン第3層の意味

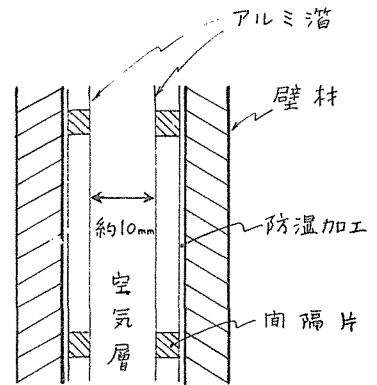


図8 アルミ箔保温法

更に工夫を重ね二枚のアルミ箔の間に薄い空気層を挟んだ衣服を作り得れば空気層による保温と併せて大きな効果を期待できる。

衣服の濡れによる保温性能の低下

発汗などにより衣服が濡れると次の理由から保温性能の低下を来す。

- i) 空隙が熱伝導率の大きな水に置換えられ全体の熱抵抗が小さくなる。
- ii) 蒸発に伴う放熱が新たに生ずる。

この保温性能低下の程度は同一含水量であつても材料により異なることは経験的に知られている。

実験はあらかじめ定常に達している模型に約45℃の湯を40ml皮膚表面着衣に注入し、肌着が濡れたときと同様の状態を作る。注水後、内部温度は次第に低くなり30分～1時間後に一定値を示し乾くにつれ上昇する。表に採用した値は全て注水30分後の値を示す。

表7 濡れによる保温性能の低下

着衣	Clo.	室温 [℃]	気流 [m/s]	Met	注水前内部 温度 [℃]	注水30分後 内部温度[℃]	内部温度の移 動 [℃]
皮膚上C2 P3	2.5	10	0	1.5	39.2	34.6	4.6
皮膚上W1 P3	2.9	10	0	1.5	40.5	36.9	3.6
皮膚上N2 P3	2.7	10	0	1.5	40.2	37.7	2.5

濡れによる内部温度の変化の大きさは皮膚上に空気層を作る網を用いたときに最も少くまた木綿地を用いたときに最大になる。この実用として網でできたシャツを肌に着けることにより発汗後の冷寒をかなり減少することができよう。発汗を伴う冬期の作業やスポーツにおいてこれを用いることに

は充分意義がある

空気層の保温効果

衣服間に空気層を作れば，その熱伝導率は $0.022 \text{ [Kcal/mh}^\circ\text{C]}$ と非常に小さいのでその保温効果に大きな期待が持てる。網を用いて空気層を作った効果は予期通りの効果を示した。

表 8 空気層の保温効果

着 衣	Clo.	気温[$^\circ\text{C}$]	気 流 [m/s]	Met	内部温度[$^\circ\text{C}$]	内部温度の差[$^\circ\text{C}$]
W P 1 4	3.6	1.5	0	1.5	41.5	0
N P 2 4	3.6	1.5	0	1.5	41.5	

着用したレースカーテン地 2 枚が作る空気層は厚手ウール地 1 枚分の保温力と等しい。

V あ と が き

筆者らは衣服の保温性能を単にその熱伝達抵抗の大小だけからでなく，総合的に評価する手段として人体模型発熱体を用いて温感工学の立場より検討を試みた。

本道に於けるような冬期の寒冷作業条件の改善のためには，科学的方法に基づく衣服の改良があつてしかるべきである。

我々は実験により次のことを確認した。

i) 衣服表面のふく射率を減少することにより大巾な保温効果を得ることができた。ただ気流があればその効果は徐々に落ちてくる。

ii) 「網シャツ」を用いることにより，普通の保温効果はもとより，発汗により濡れた時でも保温効果は他に比べあまり低下しない。

これらの成果を実用に持ち込めば問題解決の一助とすることができよう。

引 用 文 献

- 1) ギート：基礎伝熱工学，190（昭35） 丸善
- 2) W.H. Mc Adams: Heat Transmission, 3rd Ed, 260 (1954)
Mc Graw-Hill.
- 3) 射場本勘市郎：温感についての工学的研究とその暖冷房への応用，（昭31）