

着衣量推計を目的とした簡易測定および計算手法の開発

1715033 鈴木太一
指導教員：鍋島佑基

着衣量 着衣温度 皮膚温度
簡易測定手法

1. はじめに

オフィスをはじめ、あらゆる建築において快適の形成は建築環境分野における必須事項となっている。快適性の評価は温熱の6要素(空気温度、相対湿度、風速、放射温度、代謝量、着衣量)で行われるが、その指標として予想平均温冷感申告(PMV)が代表的である。一方、温熱要素の着衣量(以下、clo値)の測定は、サーマルマネキンを用いた着衣の熱抵抗の測定によって行われるため、現場実測は困難である。衣服においても商品の増加や生活様式の多様化によって複雑化しており、clo値を連続的に把握する技術が必要である。そこで本研究では、状況によって変化するclo値を簡易に把握するための技術開発に着手した。

本研究では、必要最小限のセンサーでclo値を推計することを目的に測定手法を検討する。本報では、放射カメラや皮膚温度計を用いた多点計測によるclo値の測定を行い、clo値把握に妥当な測定位置を検討した。

2. 非接触によるclo値計測技術の検討

2.1 clo値計算手法

従来、clo値は、サーマルマネキンを用いて裸体時の熱抵抗と着衣時の熱抵抗の差からclo値を求める。一方、ASHRAEでは、"SET*Calculation"において、clo値と空気温度と放射温度から皮膚温度 t_{sk} を算出している。本研究ではこの計算プログラムをもとに、clo値を算出するための計算式を立てた。

まずTable1にclo値計算の流れを示す。Eq(1)は対流熱伝達率、Eq(2)は総合熱伝達率を表している。Eq(3)は着衣面積率と(2)を用いて、着衣外表面から環境までの顕熱抵抗を表している。Eq(4)は作用温度、Eq(5)は皮膚表面から着衣外表面までの顕熱抵抗を表している。Eq(6)は(5)を単位換算することでclo値を求めている。

この式によって、Table2に示す条件によって得られるclo値は1.15である。このように t_{sk} と t_{cl} の表面温度が得られれば、clo値は計算可能であることがわかる。

2.2 clo値計算結果の感度分析

clo値の計算結果が各物理量に対して受ける影響を調べるため、空気温度、湿度、風速、代謝量、着衣温度(t_{cl})を変更し感度分析を行った。

各温熱条件におけるclo値の計算結果をFig.1に示す。これより、代謝量、風速、湿度は、clo値に影響を与えないと考えられる。一方、空気温度は、clo値が0.9~1.9cloまで上昇し、着衣温度は、2.0~0.8cloまで減少している。つまり、clo値は室温に対する着衣と皮膚温度の関係から計算できることがわかる。これより、clo値は計算が可能である。空気温度ごとに着衣の表面温度との関係性は得られた。しかし、計算結果の妥当性は不明であることから実験による精度検証が必要である。

Table1 SET*Calc.をもとにしたclo値計算式

| | |
|--|---|
| $chc = 3(atm^{0.53}) \dots (1)$ | $top = \frac{(chr \times tr + chc \times ta)}{ctc} \dots (4)$ |
| $ctc = chr + chc \dots (2)$ | $rcl = \frac{(tsk - top)}{ctc(tcl - top)} - ra \dots (5)$ |
| $ra = \frac{1}{(fact \times ctc)} \dots (3)$ | $clo = \frac{rcl}{0.155} \dots (6)$ |

c_{hc} : 対流熱伝達率 [W/m²·K] atm: 大気圧 [hPa]
 c_{tc} : 総合熱伝達率 [W/m²·K] $c_{hr} = 4.7$: 線形放射熱伝達率
 r_a : 着衣外表面から環境までの顕熱抵抗 [m²·K/W]
 $f_{a_{cl}}$: 着衣面積率 t_{op} : 作用温度 [°C]
 t_r : 平均放射温度 [°C] t_a : 空気温度 [°C]
 r_{cl} : 皮膚表面から着衣外表面までの顕熱抵抗 [m²·K/W]
 t_{sk} : 皮膚温度 [°C] t_{cl} : 着衣温度 [°C] clo: 着衣量 [clo]

Table2 clo値推計の計算例

| 空気温度 | 放射温度 | 湿度 | 風速 | 代謝量 | 着衣温度 | 皮膚温度 | $f_{a_{cl}}$ |
|------|------|-----|--------|--------|------|------|--------------|
| 25°C | 25°C | 55% | 0.1m/s | 1.1met | 30°C | 33°C | 6.97 |

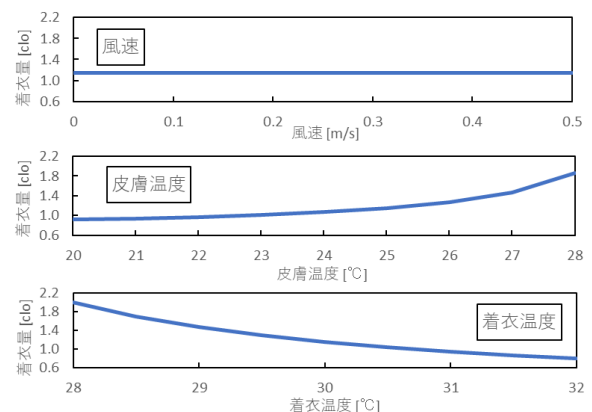


Fig.1 各物理量のclo値の比較

3. 皮膚温度と着衣温度による clo 値測定実験

clo 値測定の実用性を検証するため、静岡理工科大学学科棟 3Fにおいて、成人男性 9 名を対象に 2020 年 12 月に実験を実施した。Fig.2 に実験概要図を示す。実験ではオフィス空間を想定し、姿勢は椅坐位の状態でパソコンなどの事務作業(1.2met)とした。被験者には皮膚温計を貼り付け、各部位の皮膚表面温度と着衣温度の計測を行う。測定点は額、胸部、腹部、前腕、手腕、手背、大腿、下腿の 8ヶ所とする。0.7, 1.0, 1.5clo 想定 of 衣服を使用した。

測定した室温、皮膚温変化と clo 値を Fig.3 に示す。本図は、室温、皮膚温度、着衣温度と、胸部皮膚温度を基準としたときの clo 値の時間変化を示している。本図から、clo 値は部位によって大きく異なり、胸部-下腿の場合は平均 1.3clo, 最大 3.2clo, 胸部-腹部の場合は平均 2.0clo, 胸部-前腕の場合は平均 0.9clo を示した。このように、妥当な値の clo 値を得るには、部位ごとに clo 値を比較して最適な測定位置を検討する必要がある。

以上の点を踏まえて、皮膚温度を測定できる額と前腕、胸部、手背、上腕、腹部 5 部位の着衣温度との組み合わせの clo 値を考える。その結果を Fig.4 に示す。額-前腕の組み合わせの場合、想定着衣量に近い値を示している。額-胸部は、想定着衣量よりも 1.0clo 高い値を示しているが、実験開始後すぐに安定しており、clo 値の変動が少ない。そこで額-前腕、胸部において想定着衣別の結果を Fig.5 に示す。想定着衣ごとの平均値を用いた。額-胸部の場合、想定 clo 値より 1.1~1.5clo 高い値を示している。そこで clo 値の精度比較結果を Fig.6 に示す。本図は、胸部から得た平均 clo 値と設定 clo 値を比較したものである。その結果、全体的に 2 倍近くの clo 値となっているが、変化は直線的であり、 $y = 0.2247x^2 - 0.4016x + 0.7817$ 補正を行うことで連続測定が可能となると考えられる。

前腕と胸部の clo 値の差の理由として、本図から前腕の着衣温度は、姿勢によって腕を曲げるなど動作を伴うことにより、衣服にたわみができおり、温度分布が形成されていたと推測できる。一方で胸部は、着衣表面温度差が小さく、誤差が生じにくいと思われる。ただし胸部は空調の吹出し風の影響を大きく受けて温度が高くなりやすいと思われ、そのために clo 値の絶対誤差が大きい。これらの検証には熱画像などによる検証が必要である。

4. まとめ

- 1) SET*計算プログラムを用いて、皮膚温度、空気温度、着衣温度から clo 値の算出式を導いた。
- 2) 実験によって、連続測定結果から clo 値を算出した。その結果、clo 値は部位ごとに大きく異なり、測定点として、額皮膚温度と胸部着衣温度が最も測定位置に適していることを明らかにした。

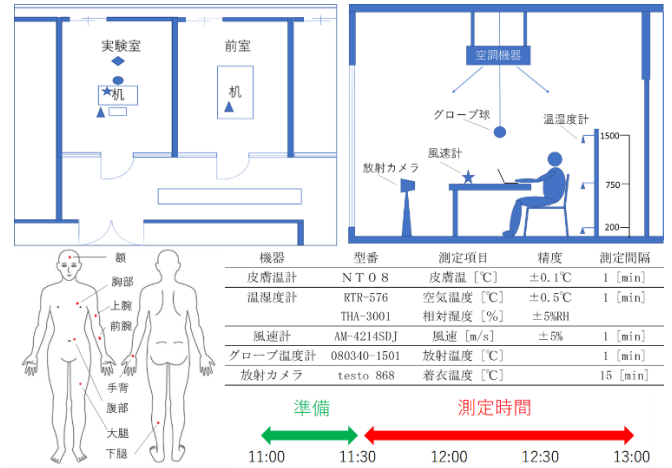


Fig.2 実験概要図

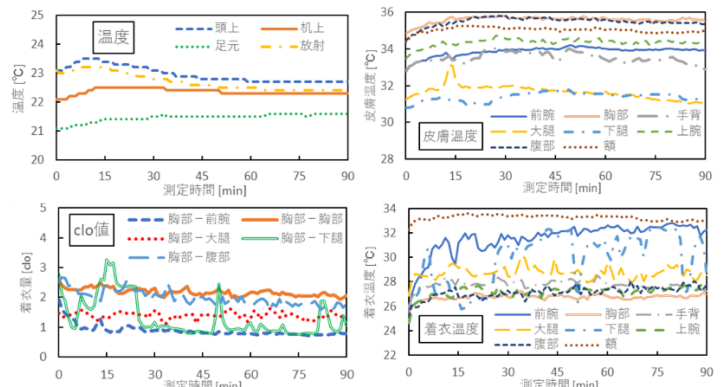


Fig.3 温度、皮膚温、着衣温度、clo 値の時系列変化

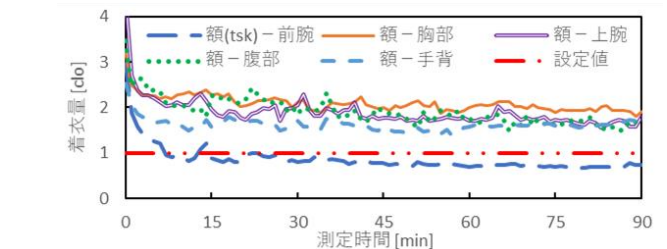


Fig.4 額と各着衣温度における clo 値の時系列変化

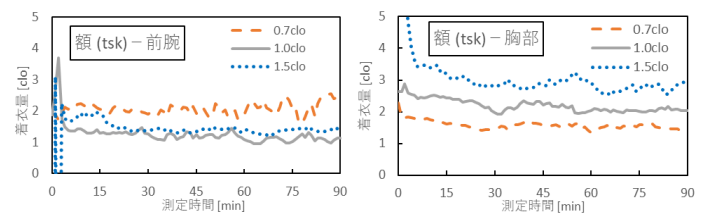


Fig.5 額-前腕、胸部における想定着衣別 clo 値の比較

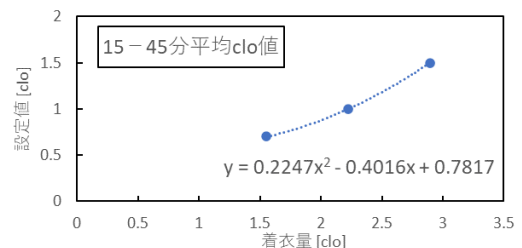


Fig.6 設定 clo 値と推計 clo 値の比較