

参考資料 5 熱伝導を考慮した人体熱収支の評価方法について

冷却ベンチに座った際の人への熱負荷を人の熱収支で評価する方法について検討した。代謝量 (M) の放熱手段として、対流放熱 (C)、放射放熱 (R)、蒸発放熱 (E)、伝導放熱 (Cd) は以下のように表すことができる。

$$M=C+R+E+Cd+S$$

M は外部仕事量を差し引いたものとし、S は身体への熱負荷を評価するパラメータである。放熱量はプラスを放熱側、マイナスを受熱側とする。

1) 代謝量の設定

ベンチに座っている状況で 1.1met とし、64W/m²とする。

2) 放熱量の計算

①対流放熱 (C)

皮膚表面温度 (t_{sk}) と気温 (t_a) との温度差に比例して放熱される。

$$C = h_c(t_{sk} - t_a) \frac{1-A_p}{A_s} \quad (\text{W/m}^2)$$

対流熱伝達率 h_c は風速との関係式として、持田の方法¹ ($1.16 \times (270 \times v^2 + 23)^{1/3}$) で求めた。皮膚表面温度は早川ら²が求めた回帰式 ($t_{sk} = 0.312 \times t_a + 25.1$) を用いる。 A_p は臀部接触面積 (m²)、 A_s は人体表面積 (m²) である。

②放射放熱 (R)

平均放射温度 (MRT) と人の表面温度との差から求める。

$$R = h_r(t_{sk} - MRT) \frac{1-A_p}{A_s} \quad (\text{W/m}^2)$$

放射熱伝達率 h_r は、日陰の場合は 4W/(m²·K)、日射のある日向環境では 6 (仮) W/(m²·K) とする。

③蒸発放熱 (E)

発汗及び不感蒸泄による蒸発放熱量は、皮膚表面の水蒸気圧 (p_s^*) と周辺空気の水蒸気圧 (p_a) との差に比例する。

$$E = wLh_c(p_s^* - p_a) \frac{1-A_p}{A_s} \quad (\text{W/m}^2)$$

¹ 持田徹, 人体についての平均対流熱伝達率, 人間工学, Vol. 18 No. 5, 1982

² 早川和代ら, 気温と運動強度が運動時の人体に及ぼす影響に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集 (394), 1988

ここで、 w は皮膚のぬれ面積率、 L はルイスの関係の係数で 16.5K/kPa である。

皮膚温は気温に応じて変化することとし、周辺大気の水蒸気圧は対象領域では一定であることを前提とする。

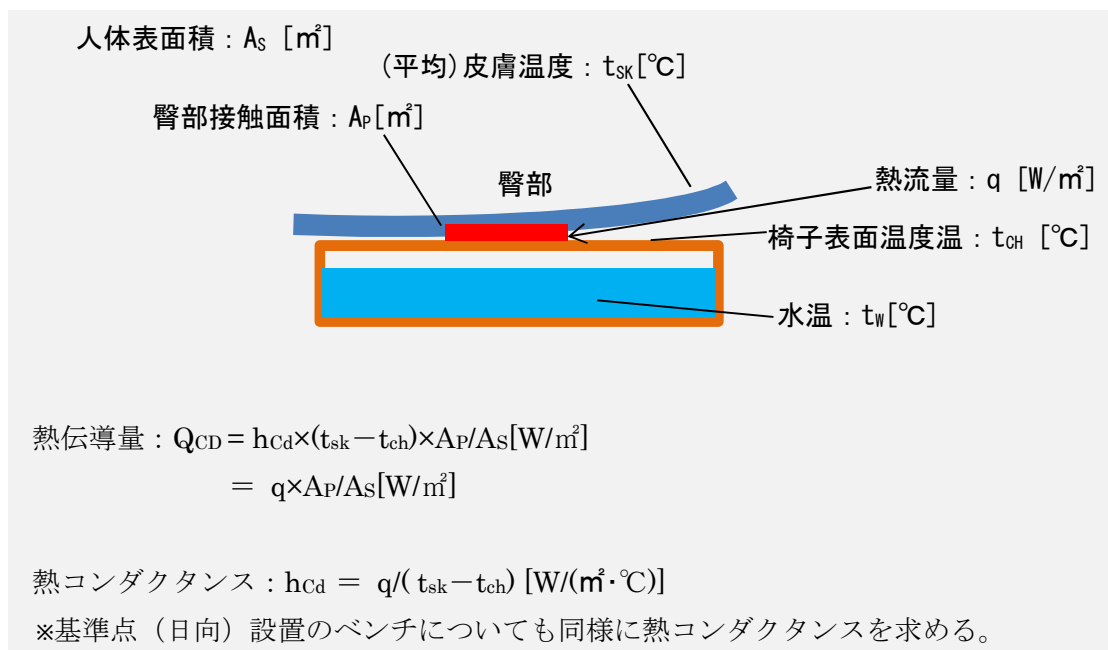
④伝導放熱 (Cd)

クールベンチの椅子の温度 (t_{ch}) と皮膚表面温度の差に比例して放熱される。

$$Cd = h_{cd}(t_{sk} - t_{ch}) \frac{A_p}{A_s} \quad (\text{W/m}^2)$$

ここで、 h_{cd} はクールベンチに座った場合の熱コンダクタンス ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) である。

h_{cd} は、以下のような測定を実施して求める。



なお、平均皮膚温については前述の回帰式 ($t_{sk} = 0.312 \times t_a + 25.1$) を用いるが、実測も併用する。堀越らの研究結果³を参考に、比較的簡便にかつ良好に平均皮膚温を測定可能な Ramanathan の4点法(乳頭:0.3、三角筋:0.3、大腿前:0.2、下腿前:0.2、各数字は平均する際の重み係数)で測定する。

3) 身体への熱負荷の評価

熱収支式を解いた場合の身体への熱負荷量で、空調室との熱負荷の同質性を評価する。空調室と屋外クールベンチの熱負荷量の違いが代謝量の5%以内を同質と判定する。

³ 堀越 哲美、磯田 憲生、小林 陽太郎、風洞内温熱条件の人体に及ぼす影響に関する実験的研究(男子・裸体): その4. 夏季・平均皮膚温と温冷感・快適感申告(気流・微弱ふく射のある場合)、日本建築学会研究報告集、計画系 45, 17-20, 1974