

消防員装具のヒートストレス改善方法

-衣服内換気と頭部送風の効果-



村山雅己 (社)日本船舶品質管理協会
製品安全評価センター
(船舶艤装品研究所)

生野晴美 東京学芸大学教育

物部博文 横浜国立大学教育人間科学

中橋美智子 元東京学芸大学

ヒートストレスによる傷害事故

「National Fire Protection Association」(1998) 消防士の死亡原因

Cause of Injury	死亡 (人)	%
Stress (ストレス)	42	46.2%
Struck by / contact with object (物体との衝突、接触)	24	26.4%
Caught or trapped (下敷きなど)	21	23.1%
Electrocuted (感電死)	2	2.2%
Fell (落下)	1	1.1%
Other (その他)	1	1.1%
Total	91	100.0%



傷害の種類

Nature of Injury	死亡 (人)	%
Heart attack (心臓病)	39	42.9%
Internal trauma (外傷)	21	23.1%
Asphyxiation (窒息)	9	9.9%
Crushing (衝突)	8	6.8%
Burns (やけど)	6	6.6%
Electrocution (感電死)	2	2.2%
Drowning (溺死)	1	1.1%
Stroke (脳卒中)	1	1.1%

消火作業におけるヒートストレス

密閉型衣服による弊害

衣服内の換気が抑制
発汗による気化熱放熱が
抑制
作業による代謝熱の蓄積



ヒートストレス



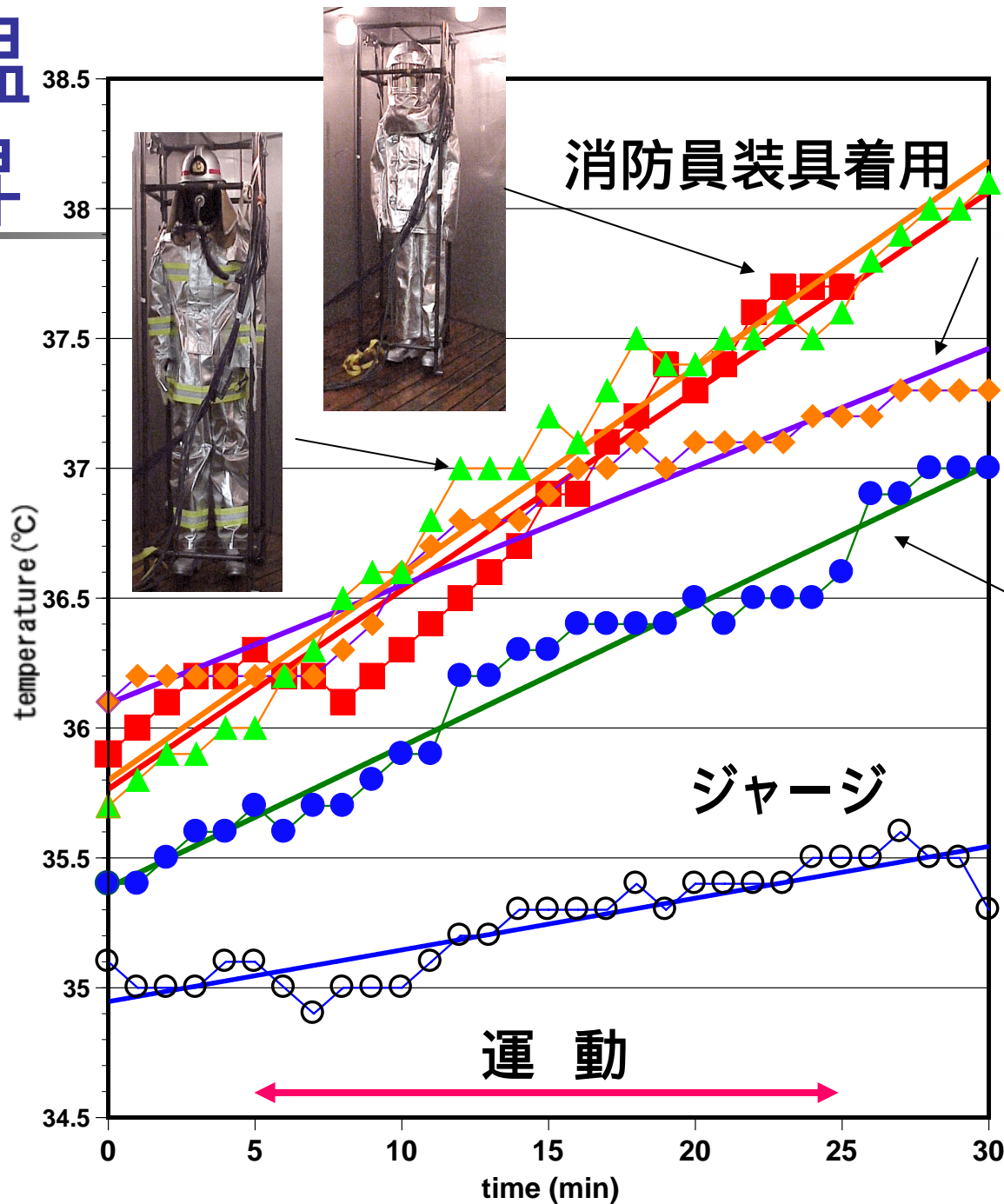
火炎による
傷害ではない！

種々の消防員装具



皮膚温 の上昇

- 気温 30
- 湿度 50%
- 120 W/m²
- 作業 20分間



消防員装具着用

ジャージ

運動

ヒートストレスに対する対処

消防員装具の主要な要件

- 耐炎性
- 耐熱性
- 防水性



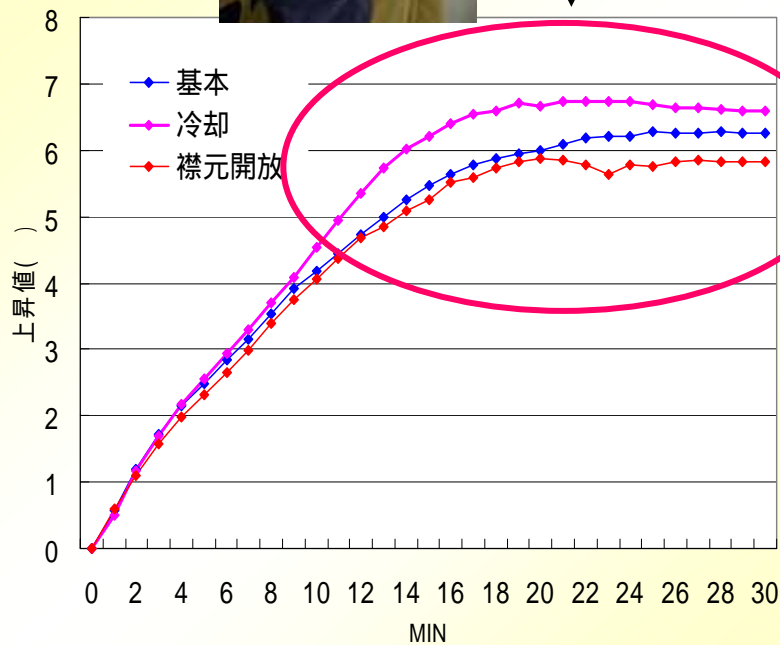
- 冷却剤の使用
- 襟元開放による煙突効果



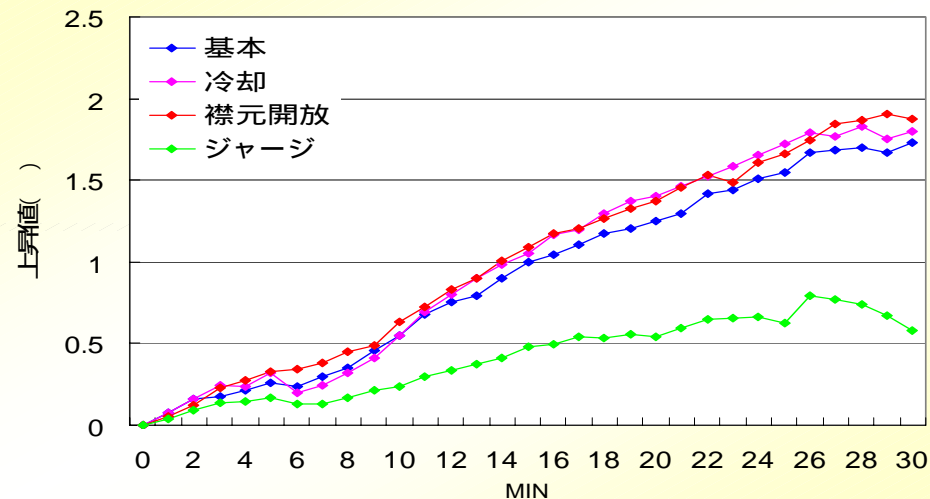
- その他素材による対処
 - (1) 透湿性のある素材の使用
 - (2) 耐熱性があり、衣服熱抵抗が低い素材の使用



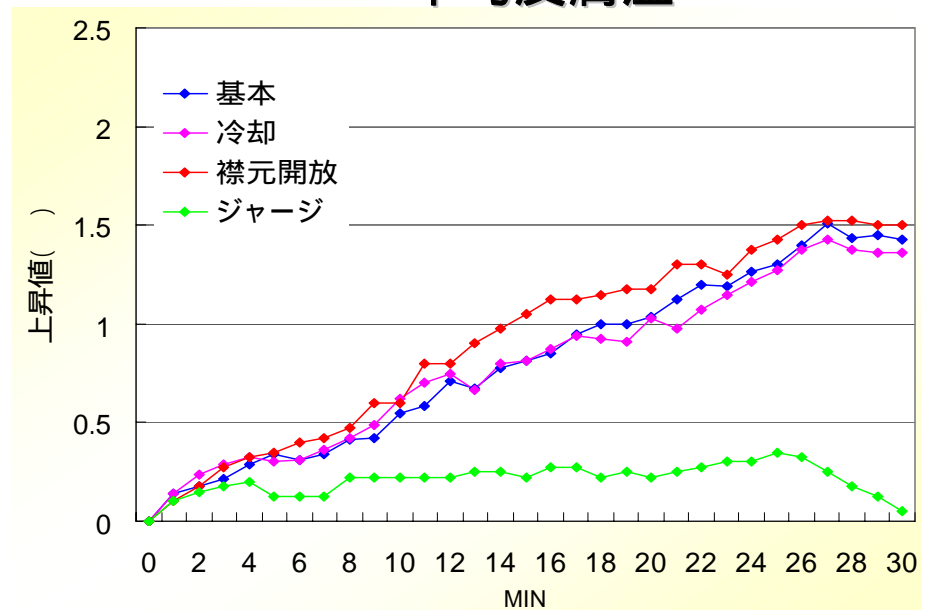
局所冷却の問題



ヘルメット内温度



平均皮膚温



鼓膜温

現場における対処

問題となるのは暑熱下

- エアコンの利いた消防車内での休息
- ヘルメットの脱帽、襟元の開放
- 個人判断による休息
(マニュアル化されていないと難しい)



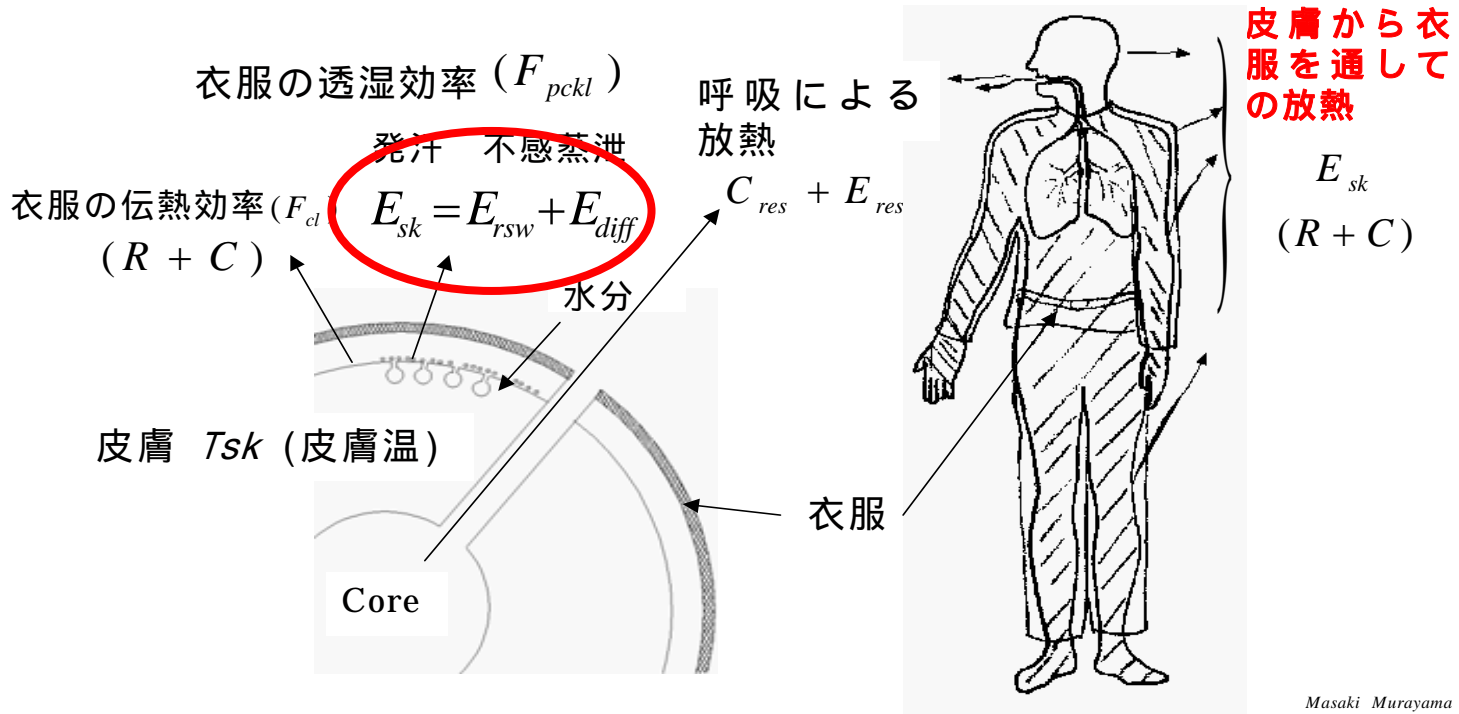
検討したヒートストレス対処法

- 人体の冷却要因 -

呼吸による

蓄熱量 代謝量 仕事 対流放熱 潜熱放熱 **皮膚からの**
輻射と対流放熱 **潜熱放熱**

$$S = M - W - C_{res} - E_{res} - (R + C) - E_{sk}$$



発汗による潜熱放熱

熱平衡方程式を構成する各要因の構成比

- 代謝量 120 W/m^2
- 風速 0.25 m/s
- 相対湿度 50%
- 皮膚の濡率 85%
- 衣服の熱抵抗 0.8clo

(1) 呼吸による放熱

$$E_{\text{res}} = 1.73 \times 10^{-5} M (5867 \cdot P_{\text{da}}) \quad [\text{W/m}^2]$$

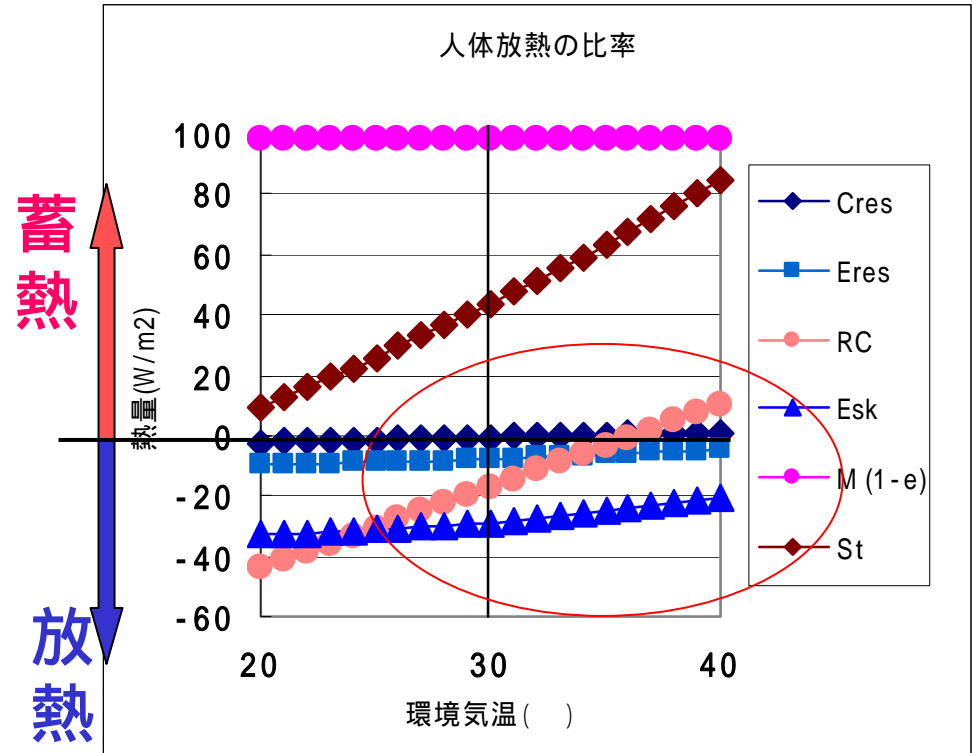
$$C_{\text{res}} = 0.0014 M (34.0 \cdot \theta_a) \quad [\text{W/m}^2]$$

(2) 皮膚表面(衣服表面)からの対流と放射

$$R + C = h F_{\text{cl}} (\theta_{\text{sk}} - \theta_o) \quad [\text{W/m}^2]$$

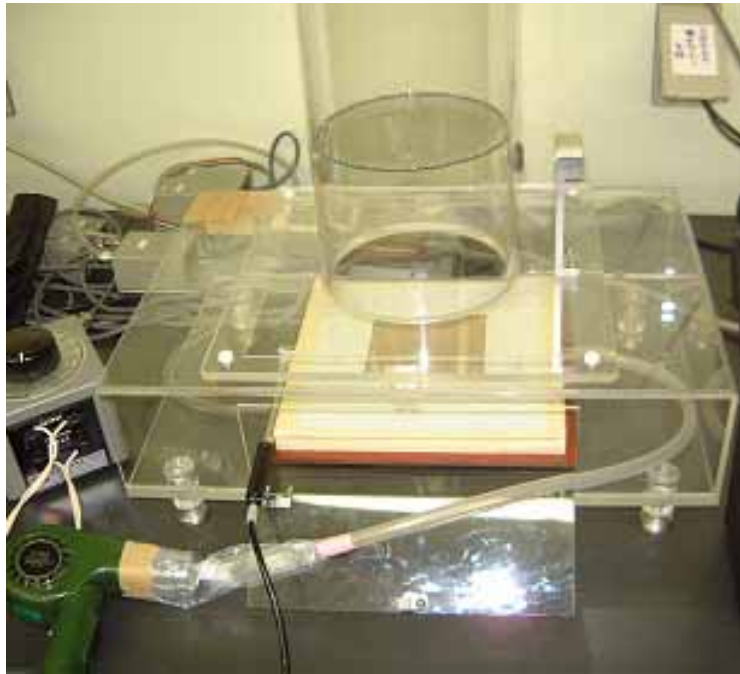
(3) 皮膚表面から衣服を通しての潜熱(気化熱)放熱

$$E_{\text{sk}} = b (0.06 + 0.94 W_{\text{rsw}}) h_e F_{\text{pcl}} (P_{\text{sk}} \cdot P_{\text{da}}) \quad [\text{W/m}^2]$$

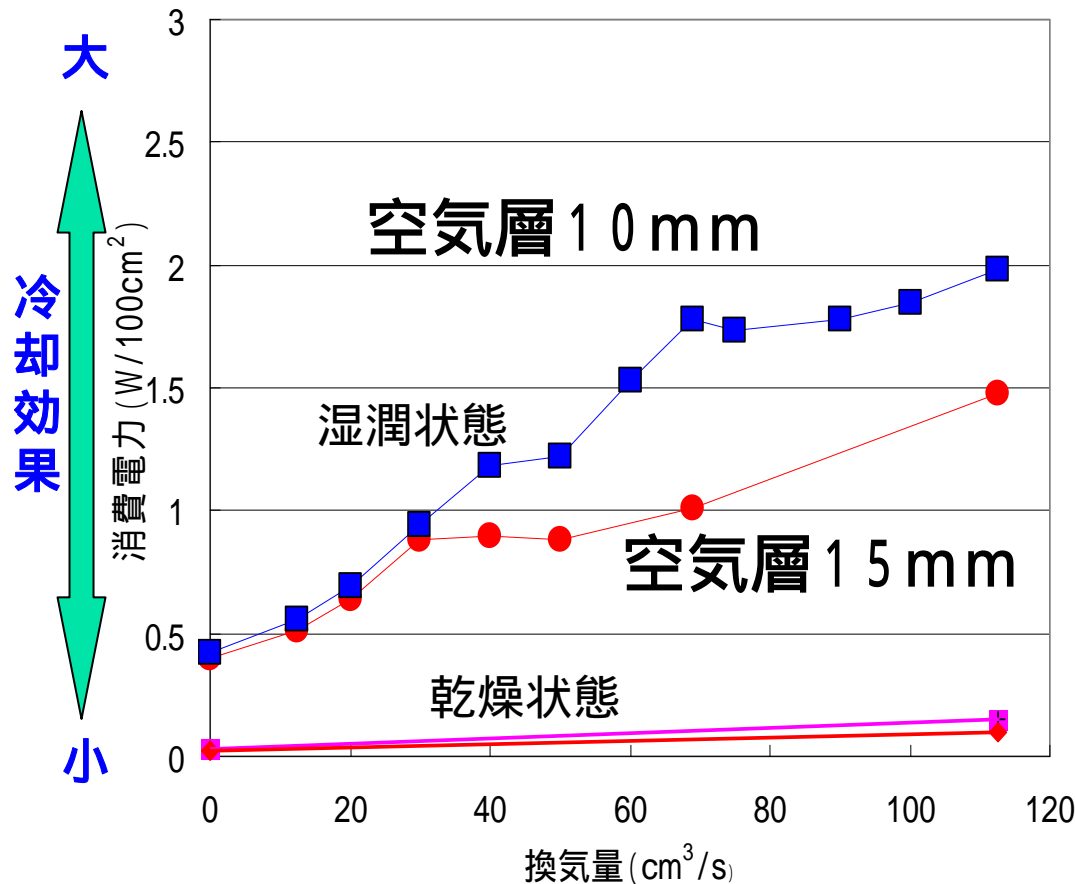


自然な換気を促す方法を考案

サーモラボによる強制換気実験



環境条件 30 50 %RH



発汗による肌着の湿潤を想定した実験

頭部への送風効果

ヘルメット内への送風を考慮

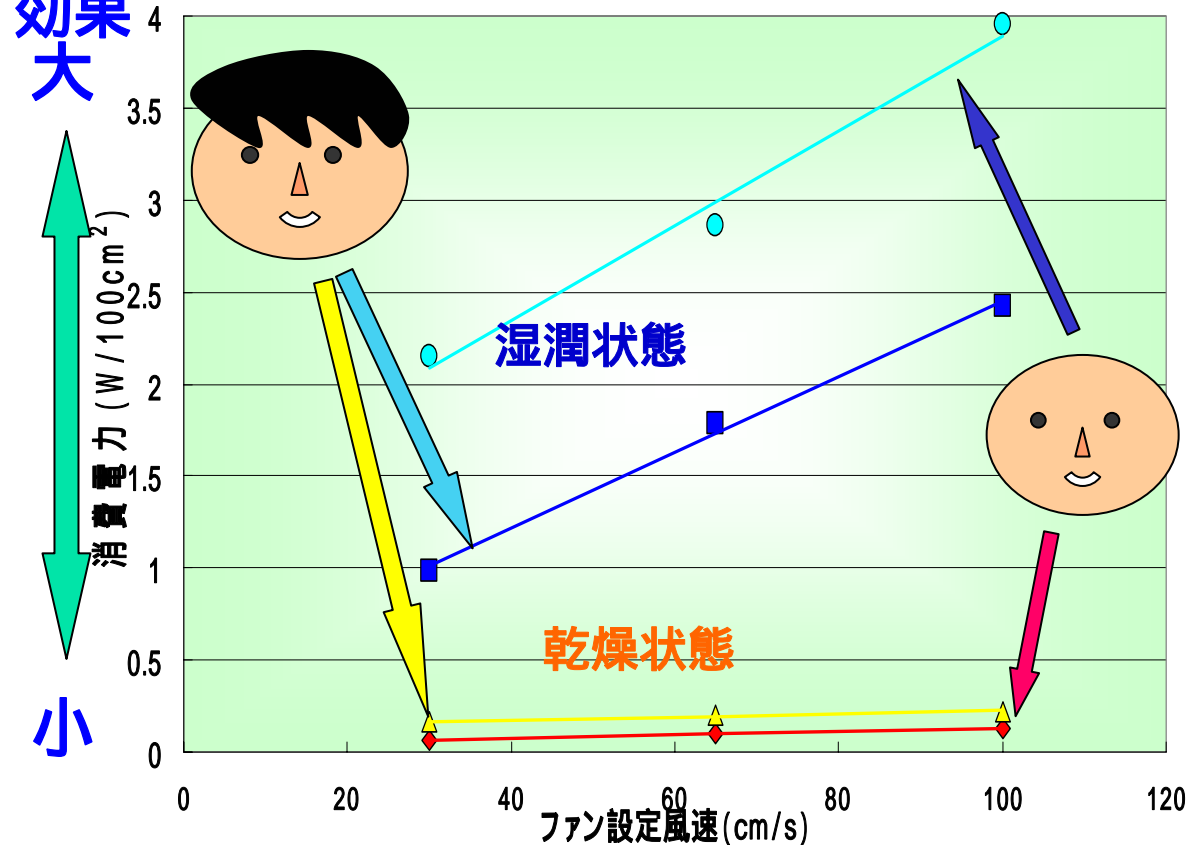


冷却
効果
大

消費電力 (W/100cm²)

小

環境条件 30 50%RH

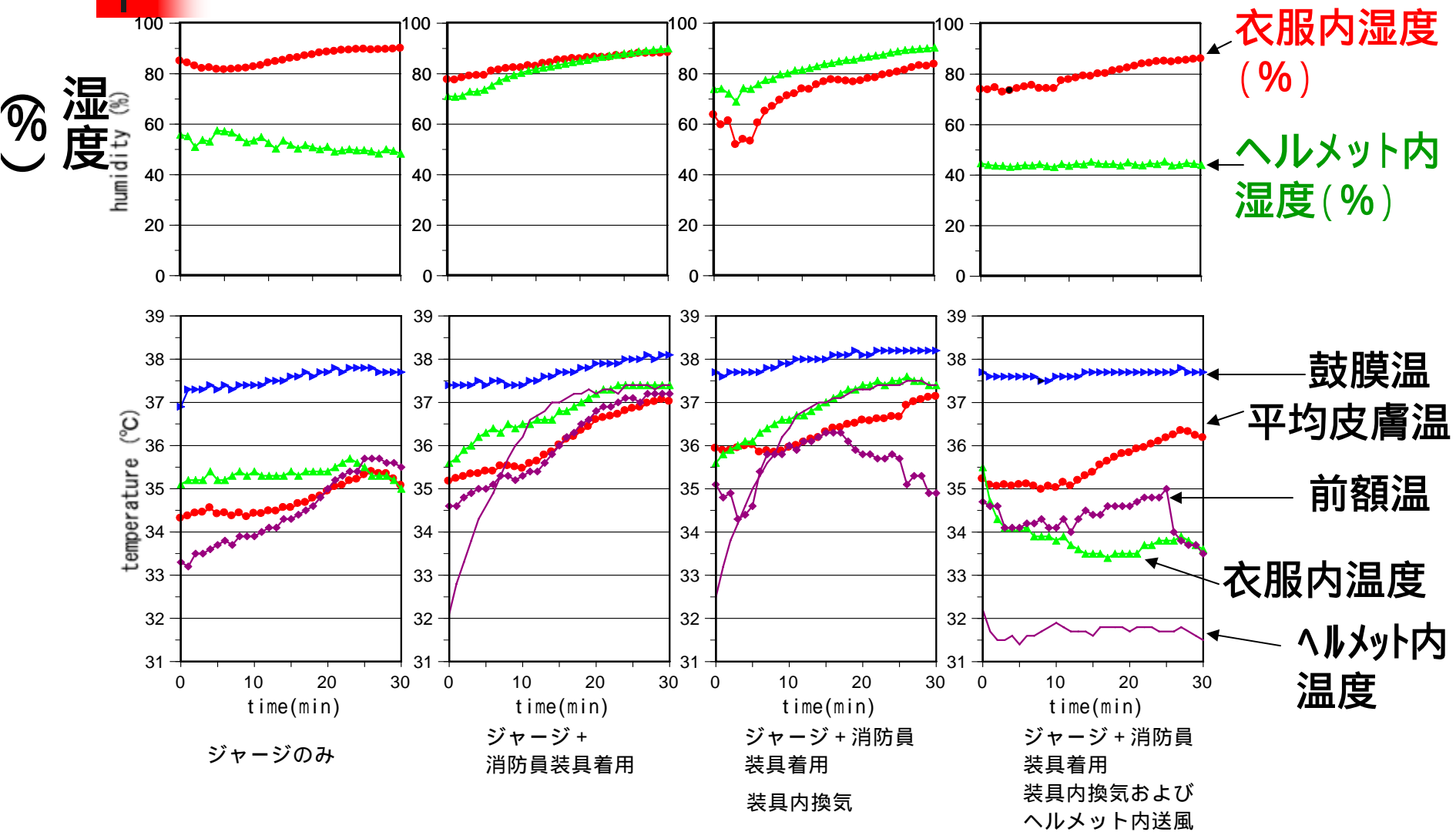


消防員装具における換気方法は？

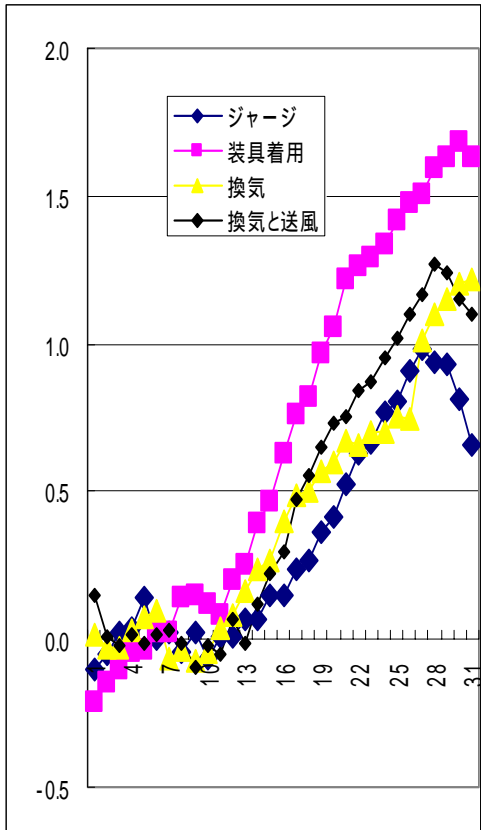
衣服内換気装置と頭部送風装置



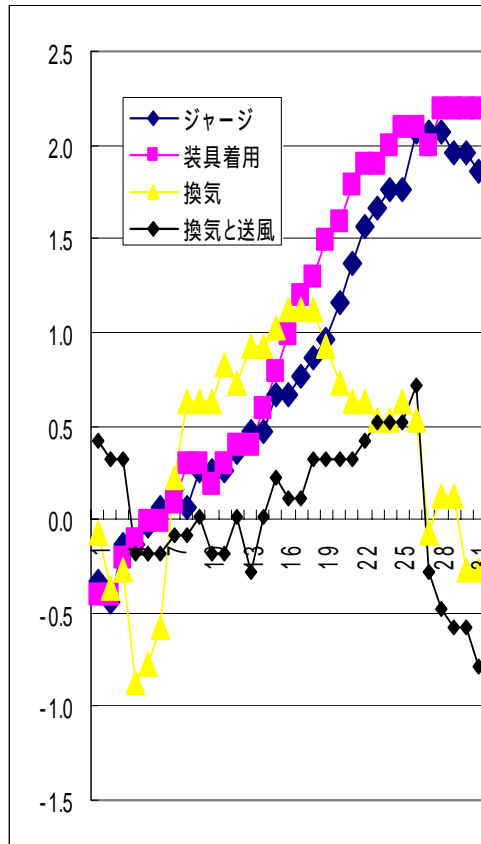
衣服内換気と頭部送風の効果 (1)



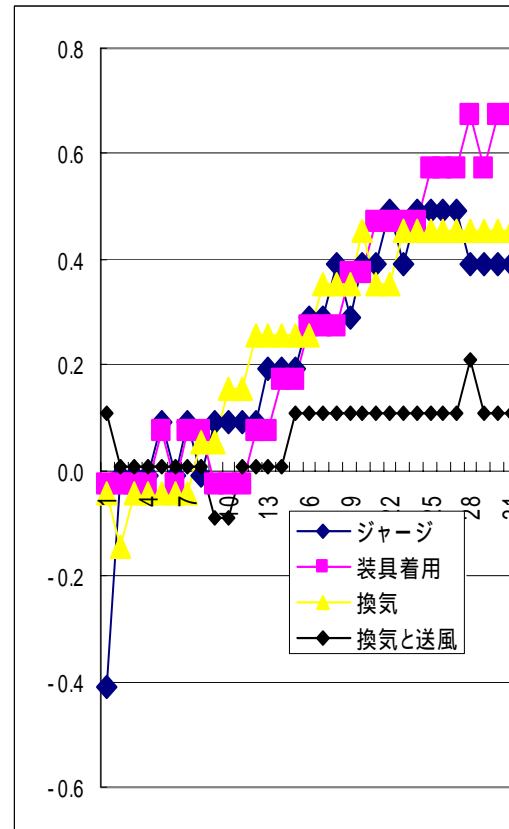
衣服内換気と頭部送風の効果 (2)



平均皮膚温



衣服内温度



鼓膜温

装具着用
換気のみ
ジャージ
換気と送風



まとめ

サーモラボ実験の結果から、30℃、50%環境下において、衣服内が湿潤していれば体表面積1m²辺り5リットル/sの換気で約100 W/m²の冷却効果

人体着用実験では、約5リットル/sのファン2本を使用した結果、30℃、50%環境下において、約30 Wの冷却効果(衣服内気候の置換率による)

ヒートストレス抑制に大きな効果

