

平成 28 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野： 室内環境
研究期間：平成 28 年度
課題番号：163002
研究課題名（和文）：呼吸空気の温湿度が執務者の覚醒状態および作業効率に及ぼす影響に関する研究
研究課題名（英文）：Study on effects of inhaled air temperature and humidity on worker's arousal and performance
研究代表者：後藤伴延
交付決定額（当該年度）：310,000 円

1. 研究の目的

近年、知的生産性向上のニーズが高まっており、様々な研究者によって室内環境と作業効率の関係が報告されている。例えば、我々の過去の研究^{1,2)}では、在室者の覚醒状態が室内環境と作業効率の間を媒介することを明らかにし、作業に適した覚醒状態を維持するためには、夏季にも室温は 22~25℃程度に保つべきということを明らかにしている。

しかしながら、覚醒に対しては必ずしも全身を取り巻く温熱環境が重要なのではなく、呼吸される空気の温湿度が重要である可能性もある。仮に、呼吸される空気の方が重要であるならば、呼吸域を重点的に空調すれば良いことになり、省エネルギーの観点からも、変動制御の容易さの観点からも利点が多い。そこで本研究では、呼吸される空気の温湿度が在室者の覚醒状態および作業効率にどのような影響を及ぼすかを明らかにすべく検討を行うこととした。加えて、昨年度に実施した実験³⁾において、風速変動が覚醒状態の向上に寄与する可能性が示唆されていることから、呼吸域空調との併用を見据え、風速変動の効果についても追加検討を行うこととした。

2. 研究の方法

①呼吸空気の温度に関する検討

本年度は、呼吸空気の温度が覚醒状態および作業効率へ及ぼす影響について、被験者実験により検討を行った。本被験者実験のために、呼吸域空調ユニットを自作した。装置の概略を図 1 に示す。実験は図 2 に示す東北大学の環境工学実験室内の人工気候室で行った。室全体の空調は床全面吹き出し・天井全面吸い込み方式とし、外気導入は行わなかった。一方、呼吸域空調ユニットに供給する空気はすべて新鮮外気とした。

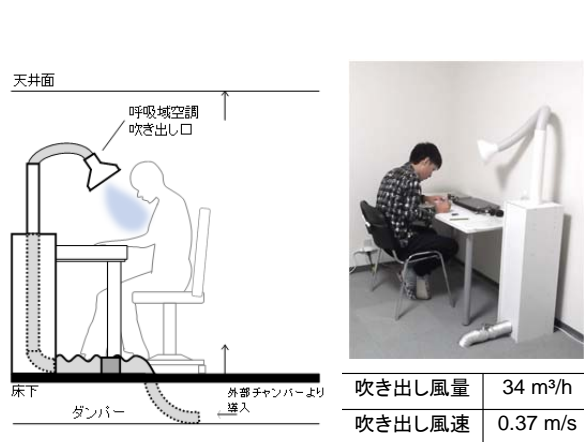


図 1 呼吸域空調ユニット

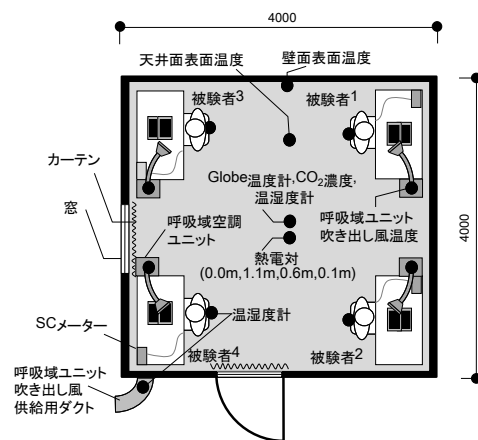


図 2 実験室平面図

実験条件を表1に示す。Case 1を低温条件の23℃、Case 2を高温条件の28.5℃とし、呼吸域空調吹き出し、室内ともに同じ温度に設定した。Case 3は呼吸域空調吹き出し空気を23℃、室内空気を28.5℃とし、Case 4はCase 3と温度条件を入れ替えた。実験スケジュールは図3に示す通りであり、全ての実験は、2016年8月11日から8月18日の10:00~12:30と15:00~17:30の時間帯に実施した。覚醒状態の評価と作業効率の評価については、我々の過去の実験と同様に、日本語版覚醒度尺度⁴⁾(JUMACL, 表2)および数独の正答速度をそれぞれ用いた。日本語版覚醒度尺度とは、20項目の形容詞からなるアンケートに答えることにより、エネルギー覚醒(EA)と緊張覚醒(TA)の2種類の覚醒について評価するものである。

被験者は男女8名ずつの計16名の東北大学の大学生および大学院生とした。サーカディアンリズムに配慮し、各被験者は全ケースを同時時間帯に実施した。被験者の着衣量は概ね0.68 cloになるように指示した。喉の渇きによる覚醒への影響を除くため、被験者には常温の飲料水を与えた。

表1 実験条件

	温度 [°C]		備考
	室内	呼吸域空調吹き出し	
Case 1	23	23	・湿度： 成り行き
Case 2	28.5	28.5	
Case 3	28.5	23	・照度： 200 lx
Case 4	23	28.5	

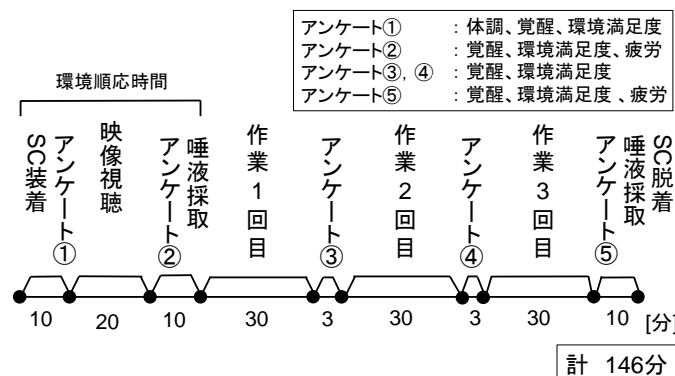


図3 実験スケジュール

表2 日本語版覚醒度尺度 (JUMACL)

あなたの現在の気分や感情はいかがですか？ あてはまる数字を○で囲んでください。 (1.あてはまる 2.ややあてはまる 3.ややあてはまらない 4.あてはまらない)									
ゆったりしている	1	2	3	4	気がすまない	1	2	3	4
生き生きしている	1	2	3	4	穏やかである	1	2	3	4
エネルギーギッシュである	1	2	3	4	落ち着いている	1	2	3	4
リラックスしている	1	2	3	4	頭の働きの鈍い	1	2	3	4
ピリピリしている	1	2	3	4	不安である	1	2	3	4
頭がぼんやりしている	1	2	3	4	元気がある	1	2	3	4
やる気がある	1	2	3	4	無気力である	1	2	3	4
冷静である	1	2	3	4	平静でない	1	2	3	4
緊張している	1	2	3	4	活動的である	1	2	3	4
活気がない	1	2	3	4	びくびくしている	1	2	3	4

②変動風に関する検討

昨年度の実験³⁾では、短時間の風速上昇が覚醒状態の向上に寄与する可能性が示唆されたが、被験者が10名と少なかった。そこで、昨年度の実験で有効性が示唆されたケースについて、被験者数を増やして再実験を行った。さらに、自然風を模擬した風速の効果についても検討を行った。

実験条件を表4に示す。風速変動条件と比較するための定常条件として、室温27.5℃で風速0.15 m/sのCase 1を設定した。風速変動条件は、室温28℃、風速0.15 m/sを基本として、約20

分間に1回の頻度で風速上昇(1.0 m/s, 4分)させる Case 2, Case 2 と室温と平均風速が同レベルで自然風を模擬した変動風の Case 3 を設定した。その他の条件は, 相対湿度 50 %, 換気量 30 ~ 35 m³/h・人, 照度 750 lx とした。

実験は 2016 年 7 月 1 日から 8 月 6 日の 10:00~12:10, 13:30~15:40, 17:00~19:10 の時間帯に, 東京工芸大学の人工気候室で行った。物理環境測定点を図 4 に示す。被験者は大学生・院生 23 名 (男性 11 名, 女性 12 名) とし, 全 3 ケースの実験に参加した。被験者には着衣の指定を行い, 着衣量を概ね 0.65 clo とした。サーカディアンリズムに配慮し, それぞれの被験者が参加する実験は全て同時時間帯とした。実験スケジュールを図 5 に示す。覚醒状態の評価と作業効率の評価については, 日本語版覚醒度尺度および数独の正答速度をそれぞれ用いた。

表 3 実験条件

	室温 [°C]	風速 [m/s]	PMV [-]	SET [*] [°C]
Case 1	27.5	0.15	1.0	27.4
Case 2	28	0.15 ⇄ 0.1 (風速上昇は 4 分・1 回, ステップ風)	1.1 ⇄ 0.7	27.8 ⇄ 25.6
Case 3		0.15 ⇄ 0.1 (自然風を模擬した波形)		

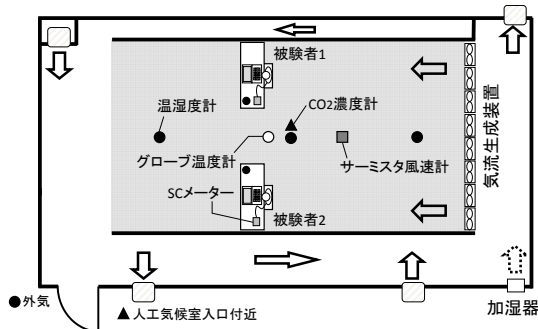


図 4 実験室平面図

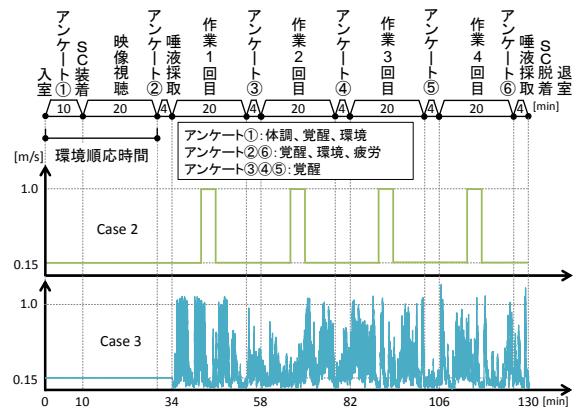


図 5 実験スケジュール

3. 研究成果

①呼吸空気温度に関する検討

覚醒及び作業成績に関する実験結果を図 6, 7 に示す。なお, これらは実験時に体調不良を訴えた被験者 2 名を除外している。

覚醒について, Case 1 では, 実験序盤は EA が高かったが, 時間経過と共に EA が低下している。一方 Case 2 では, 実験後半に EA が比較的高く維持されており, TA の変化も小さい。一様な温熱環境下で行われた過去の実験^{1,2)}では, 室温 22°C 条件において EA が高く・TA が低くなり, 室温 28°C 条件においては EA が低く・TA が高くなる様子が観察されており, 本年度の傾向とは異なっている。その要因として, 過去の実験には無かった呼吸域空調の気流の影響が考えられる。この気流がドラフトとして作用し, Case 1 の覚醒状態の悪化を招いたと推察される。

Case 3 では, EA が当初の予想よりも低い結果となった。これは, 被験者の作業中の姿勢が下向きになることにより, 呼吸域空調の吹き出し空気を必ずしも呼吸できていなかったこと, 同時に, 頭部へのドラフトの影響があったことが原因として考えられる。

呼吸域吹き出し空気温度のみ 28.5°C であった Case 4 は, 実験を通して EA が低くなる様子がみられた。対応のある t 検定を行ったところ, 特に 100 分の時点の EA について, Case 4 は他のケースより $p < 0.1$ または $p < 0.05$ で低くなる様子がみられた。

作業成績について, Case 1・2・3 の間では有意な差はみられなかった。一方, Case 4 は, 2 回目の作業において他のケースよりも有意に低くなる様子がみられた。2 回目の作業後の EA について, Case 4 と他のケースとの間に有意な差があったこと, 一方で Case 1・2・3 の間に有意な差が無かったことを考えると, 作業成績は EA の結果に概ね対応していると言える。

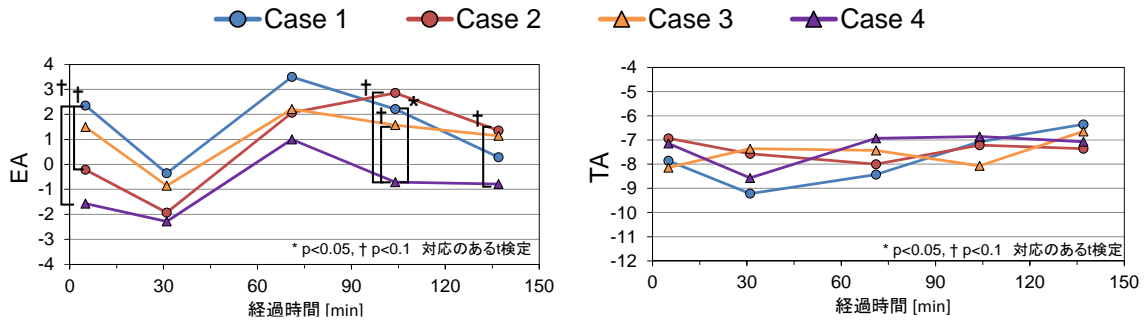


図 6 EA・TA の経時変化

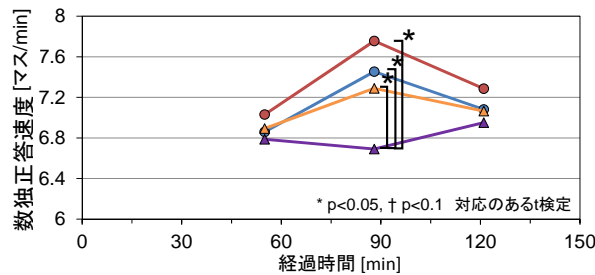


図 7 作業成績

②変動風に関する検討

温熱環境満足度・覚醒状態・数独正答速度の全被験者平均の結果を図 8 に示す。温熱環境満足度は、風速変動を行った Case 2・3 では、風を吹かせる前の実験開始後 30 分の時点において Case 1 よりも低い、実験終了直前の 126 分では Case 1 と同程度であった。これは昨年度の実験²⁾と同様の傾向であった。

覚醒に関して、Wilcoxon の符号付順位和検定を行ったところ、ケース間で有意な差はみられなかった。昨年度の実験では、Case 2 と同様の条件において TA が低くなる傾向がみられたが、本実験ではその効果が明確にみられなかった。一方で、新たに追加した条件の Case 3 については、有意な差ではないものの、Case 1・2 よりも EA が高くなる傾向がみられた。作業効率についてはケース間で大きな差はなく、覚醒状態との対応はみられなかった。

昨年度の実験では、被験者が男性 10 名であったため、男性と女性で実験結果の傾向が異なる可能性が考えられた。そこで、被験者を男性と女性に分けて整理した。男性被験者と女性被験者の温熱環境満足度・覚醒・数独正答速度の結果をそれぞれ図 9、10 に示す。

温熱環境満足度に関しては、女性の満足度が男性よりもやや高くなる傾向がみられた。

覚醒に関しては、男性ではケース間での有意差はほぼみられないものの、Case 2 の TA が Case 1 よりも低く推移しており、昨年度の実験の結果に類似していた。一方、女性では、男性との大きな違いがみられ、EA が Case 2 で低くなり Case 3 で高くなる傾向にあった。女性の温熱環境満足度が男性より高かったことから、今回の実験条件が、体感的に女性にとって中立に近い条件、男性にとってやや暑く感じる条件となっていたことが推測され、このような差が覚醒状態の違いを生じさせた可能性がある。なお、作業効率に関しては、男女ともにケース間での有意な差はほぼみられなかった。

● Case1(27.5°C, 0.1m/s) ■ Case2(28°C, 0.1⇔1.0m/s, ステップ風) ◆ Case3(28°C, 0.1⇔1.0m/s, 自然風)
 風速変動 * : p<0.05 † : p<0.1 Wilcoxonの符号付順位と検定による

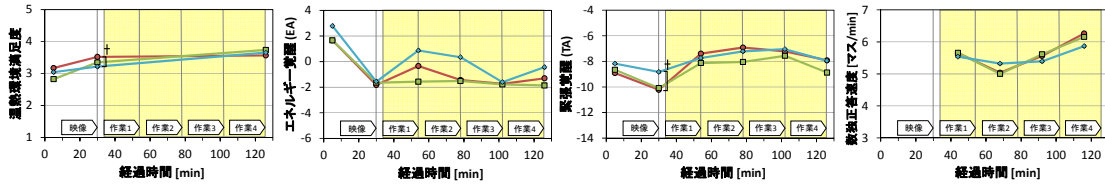


図8 温熱環境満足度・EA・TA・数独正答速度の結果(被験者全員)

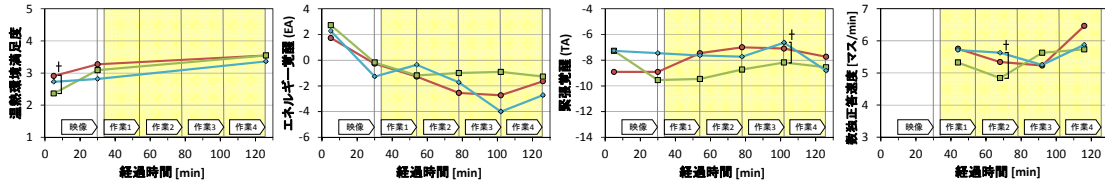


図9 温熱環境満足度・EA・TA・数独正答速度の結果(男性被験者)

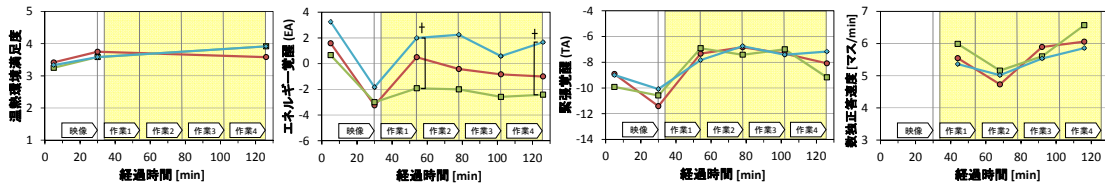


図10 温熱環境満足度・EA・TA・数独正答速度の結果(女性被験者)

以上より、本年度の成果は次の通りである。

- 呼吸空気の温度による覚醒状態の改善効果は確認できなかった。その原因として、ドラフトの影響や被験者に吹き出し空気がうまく供給されていなかったことが考えられる。
- 風速変動が覚醒状態および作業効率に及ぼす影響について被験者実験により検討した結果、男性と女性で覚醒状態への影響が異なっている様子がみられた。また、その原因が男性と女性の温熱的な好みにある可能性が推察された。

なお、2017年2月23日に東京工芸大学にて「在室者の覚醒状態および生産性を向上させる省エネルギー環境制御法に関する研究集会」を開催し、本研究の成果報告を行った。この研究集会では、空調による生産性向上の可能性について活発な議論がなされた。

【参考文献】

- 1) T Goto et al.: SUBJECTIVE EXPERIMENTS ON RELATIONSHIPS BETWEEN INDOOR ENVIRONMENT AND AROUSAL STATE AND BETWEEN AROUSAL STATE AND WORK PERFORMANCE, Healthy Buildings Europe 2015, Eindhoven, Netherlands, May 2015, Paper ID 575
- 2) T Goto et al.: SUBJECTIVE EXPERIMENT ON CAUSAL RELATIONSHIP BETWEEN INDOOR TEMPERATURE AND OCCUPANTS' PERFORMANCE MEDIATED BY AROUSAL STATE, Healthy Buildings Europe 2015, Eindhoven, Netherlands, May 2015, Paper ID 576
- 3) 塚本 他：短時間の風速上昇が在室者の覚醒状態および作業効率に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), pp.261-262, 2016
- 4) 白澤 他：基礎心理学研究, 第 17-2 巻, pp.93-99, 1999

4. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者には下線)

- [1] 塚原和佳奈, 近藤僚介, 後藤伴延, 塚本健二, 水谷国男: 呼吸空気の温度が覚醒状態及び作業効率へ及ぼす影響に関する被験者実験, 日本建築学会大会東北支部研究報告会(2017年6月発表予定)

- [2] 塚原和佳奈, 近藤僚介, 後藤伴延, 塚本健二, 水谷国男: 呼吸空気の温度が覚醒状態及び作業効率へ及ぼす影響に関する研究, 日本建築学会大会(中国)(2017年9月発表予定)
- [3] 塚本健二, 後藤伴延, 水谷国男, 近藤僚介, 塚原和佳奈: 風速変動が在室者の覚醒状態および作業効率に及ぼす影響, 日本建築学会大会(中国)(2017年9月発表予定)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 3 件)

[図書] (計 0 件)

[その他]

- [1] 塚本健二, 後藤伴延, 水谷国男: 在室者の覚醒状態および作業効率を向上させる室内空調制御法に関する研究 その2 短時間の風速上昇が覚醒状態と作業効率に及ぼす影響, 佐藤工業技術研究所報, No.41, 2016年12月, pp.39-43
- [2] 在室者の覚醒状態および生産性を向上させる省エネ型室内環境制御法に関する研究集会(2017年2月23日)

5. 研究組織

(1) 研究代表者

後藤伴延(東北大学・工学研究科・准教授)

(2) 研究分担者

水谷国男(東京工芸大学・風工学研究センター・教授)

塚本健二(佐藤工業株式会社・技術研究所 建築研究部・研究員)

森上伸也(豊田工業高等専門学校・建築学科・助教)

古川麻衣子(東北大学大学院・工学研究科・大学院生)

近藤僚介(東北大学大学院・工学研究科・大学院生)

塚原和佳奈(東北大学・工学部・大学生)