

平成 29 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 29 年度

課題番号：173004

研究課題名（和文）：変動風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 fluctuating air flow on worker's arousal state and performance

研究代表者：後藤伴延

交付決定額（当該年度）： 200,000 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°C 程度に保つべきことを明らかにしている。また、我々の最近の研究^{3,4)}では、室温変動が覚醒状態に及ぼす影響について検討を行い、長時間同じ場所で同じ作業を行うような状況では、ある種の室温変動パターンが在室者の覚醒状態を改善する効果を持つことを示している。

その他にも我々は、室温に比べて変動幅・変化率ともに自由度の高い環境要素である風速についても、覚醒状態と作業効率に及ぼす影響の検討を行ってきた^{5,6)}。その結果として、長時間の高風速への曝露が覚醒状態への悪影響を持つ一方で、短時間の風速上昇（ステップ風）や自然風を模擬した変動風が覚醒状態を改善する可能性が示唆されている。ただし、個人差によるバラツキも大きく、その効果が十分に確認されているとは言えない。

そこで本研究では、執務者が同一環境に一定時間曝されるような覚醒状態が悪化し易い状況において、風速変動が執務者の覚醒状態および作業効率の向上に寄与するか、被験者実験により検討を行った。加えて、送風ユニットを用いた顔周辺への間欠的な冷気流が覚醒状態および作業効率に及ぼす影響についても被験者実験により検討を行った。

2. 研究の方法

①風速変動に関する検討

実験条件を表 1 に示す。昨年の実験⁶⁾では、熱的な好み覚醒状態に影響を及ぼす可能性が推察されたため、実験開始時は室温 26°C、風速 0.15 m/s とし、個人の温熱環境に合わせて±2°C まで個人の熱的好みに合うように室温を調節する権限を与えた。風速変動条件と比較するための定常条件として、風速 0.15 m/s の Case 1 を設定した。風速変動条件として、作業 3 回目と 5 回目に風速上昇（0.6 m/s、1 分）させる Case 2、平均風速が 0.3 m/s で自然風を模擬した変動風（0~0.8 m/s、2 分）を吹かせる 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 2017 年 9 月 11 日から 10 月 13 日の 9:30~12:05、14:30~17:05 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 1 に示す。被験者の覚醒状態の評価には、主観的評価方法として日本語版覚醒度尺度⁷⁾（JUMACL、表 2）を用いた。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、申告結果を得点化することでエネルギー覚醒（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。作業効率の評価には、数独の正答速度を用いた。

被験者は大学生 12 名（男性 5 名、女性 7 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 0.66 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間帯とした。喉の渇きによる覚醒状態への影響を除くため、被験者には常温の飲料水を与えた。実験スケジュールを図 2 に示す。被験者は入室後、20 分の数独作業を 6 セット行った。風速変動を伴う条件では、数独作業 3 回目と 5 回目に気流を発生させた。実験開始・終了時と各作業の合間に覚醒、体調、環境満足度に関するアンケートを、図 2 に示す通りに実施した。

表 1 実験条件

	室温 [°C]	風速 [m/s]
Case 1	初期設定 26°C (±2°Cまで被験者に温度設定の権限を与える)	0.15
Case 2		0.15⇔0.6 (ステップ風)
Case 3		0~0.8 (自然風を模擬した変動風)

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	頭の働きが鈍い	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

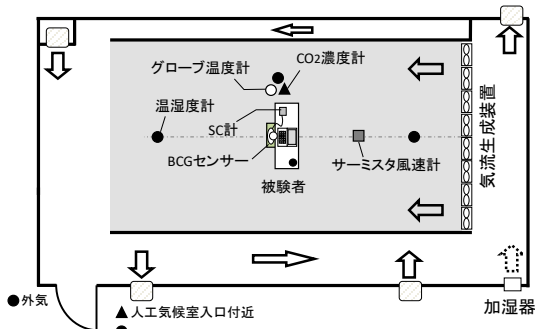


図 1 実験室平面図

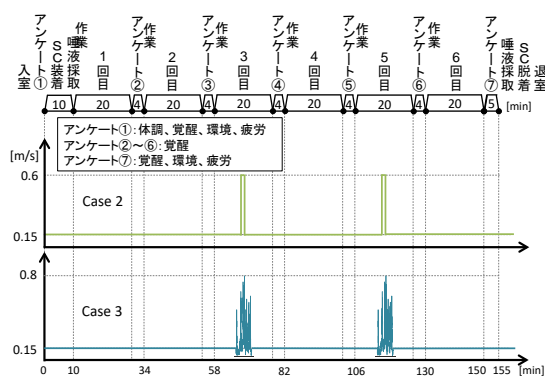


図 2 実験スケジュール

② 顔周辺への間欠的な冷気流に関する検討

本実験に使用した送風ユニットを図3に示す。吹出し口は円形で直径0.18 m、整流器としてハニカム素材を挿入している。吹出し口の位置や角度は被験者が操作可能である。吹出し空気はすべて新鮮外気とした。また、室全体の空調については床全面吹出し・天井全面吸い込み方式とし、実験室からの還気と新鮮外気を混合して導入した。実験は図4に示す東北大学の環境工学実験室内の人工気候室で行われた。

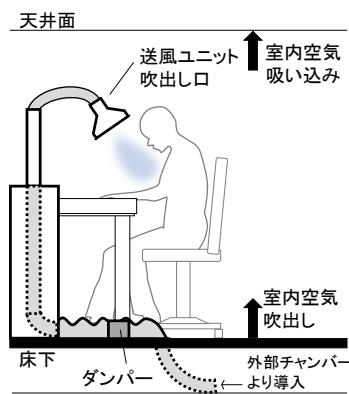


図 3 送風ユニット



送風ユニット
平均風速 0.45 m/s

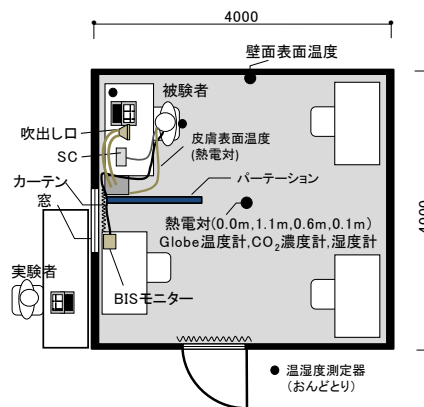


図 4 実験室平面図

実験条件を表3に示す。室温は被験者の熱的中立温度とし、常に室温の変更を可能とした。Case 1は送風ユニットを運転せず、Case 2,3は間欠運転、Case 4は被験者がON/OFFの切り替えが可能なマニュアル運転を行うケースとした。また、過去の実験^{3,4)}で、同一環境が一定時間継続された場合に室温変化による覚醒状態向上の効果が見られていたことから、Case 2,3では冷気流の吹出しを実験後半に行うこととした。

実験スケジュールを図5に示す。実験は2017年9月5日から8日、11日から14日、11月9日から16日の計16日間の10:00~12:00と15:00~17:00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、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。被験者は東北大学の大学生および大学院生の男性8名とし、一回の実験で1名ずつ実験を行った。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3 実験条件

	室温	吹出し温度	送風ユニット運転方式	吹出し間隔
Case 1	被験者の熱的中立温度	-	OFF	-
Case 2		18°C程度	間欠運転	2分ON / 8分OFF
Case 3			2分ON / 28分OFF	
Case 4			マニュアル運転	常に被験者が操作

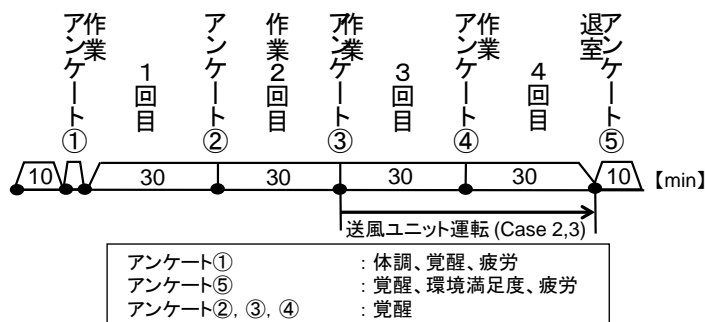


図5 実験スケジュール

3. 研究成果

①風速変動に関する検討

気流に関する申告結果を図6に示す。Case 2,3ともに「爽やかさを感じた」が最も多くなった。一方で、Case 3では、「物足りなかった」「乾燥を感じた」「鬱陶しかった」がCase 2よりも多くみられた。

覚醒状態の被験者平均の結果を図7,8に示す。体調が安定していない被験者と実験前日に体調不良を訴えていた被験者2名は除外した。覚醒状態に関して、Wilcoxonの符号付順位和検定を行ったところ、ケース間では有意差はみられなかったが、Case 2のEAは作業3回目に上昇して、Case 1よりも高く推移していた。Case 3のEAは作業3,4回目にCase 1より低くなるものの、作業5回目にCase 2と同程度まで上昇した。TAは全てのケースで作業が進むにつれて低下する傾向が見られ、ケース間での差は小さかった。

同一ケース内の作業終了時点間での覚醒状態をみると、Case 2のEAは作業3回目以降に上昇し、作業2回目終了時と比べて $p<0.1$ で差が見られた。Case 3のEAは作業3回目に低下するものの、作業5回目に上昇し、作業4回目終了時と比べて $p<0.1$ で差が見られた。このことから、間欠的な気流によって覚醒状態が改善する可能性がある。

数独正答速度の結果を図9に示す。Wilcoxonの符号付順位和検定を行ったところ、数独に関してもケース間では有意差はみられなかった。過去の実験¹⁾でEAが高いほど、またTAが低いほど作業効率が向上することが示されているが、本実験ではケース間で大きな差はなく、覚醒状態との対応は見られなかった。

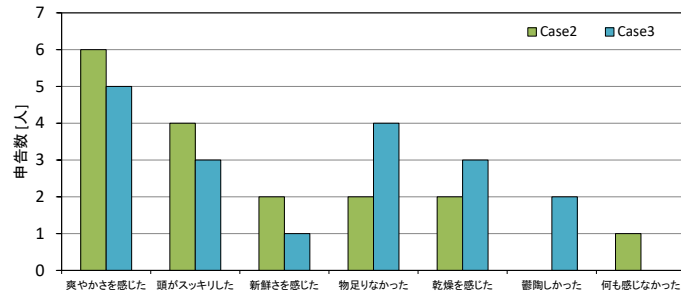


図6 気流に関する申告

● Case1(0.15m/s) ■ Case2(0.15⇔0.6m/s, ステップ風) ◆ Case3(0~0.8m/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

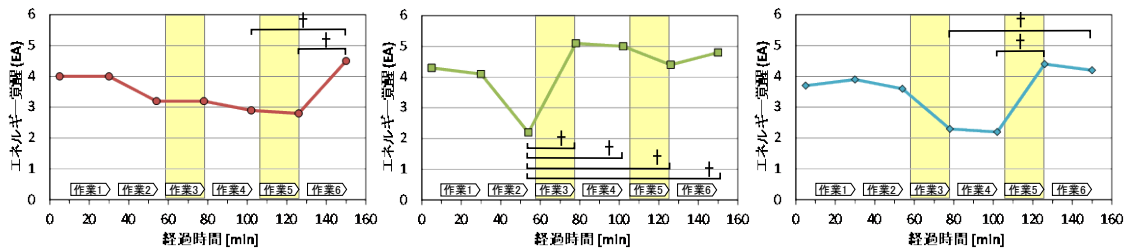


図7 EAの結果

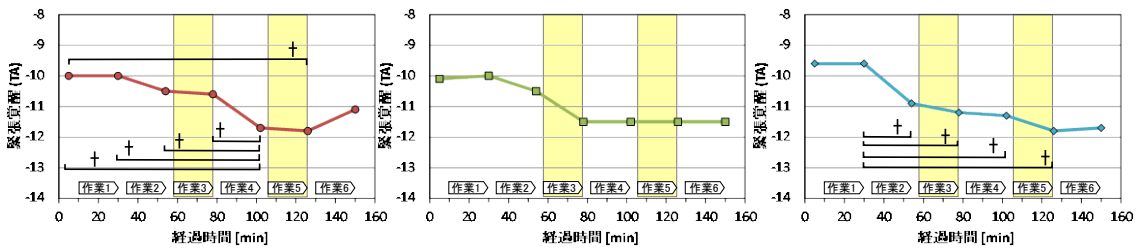


図8 TAの結果

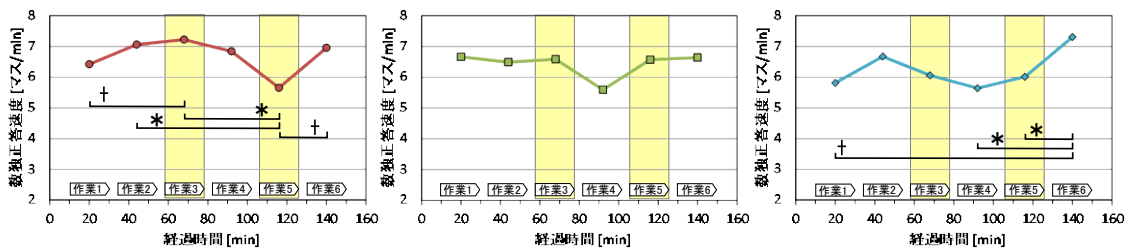


図9 数独正答速度の結果

② 顔周辺への間欠的な冷気流に関する検討

覚醒に関するアンケート結果を図10, 11に示す。EAは、平均値に対して特定の被験者の影響が強く表れたことから、結果の標準化を行った。標準化には以下の式を用いた。

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

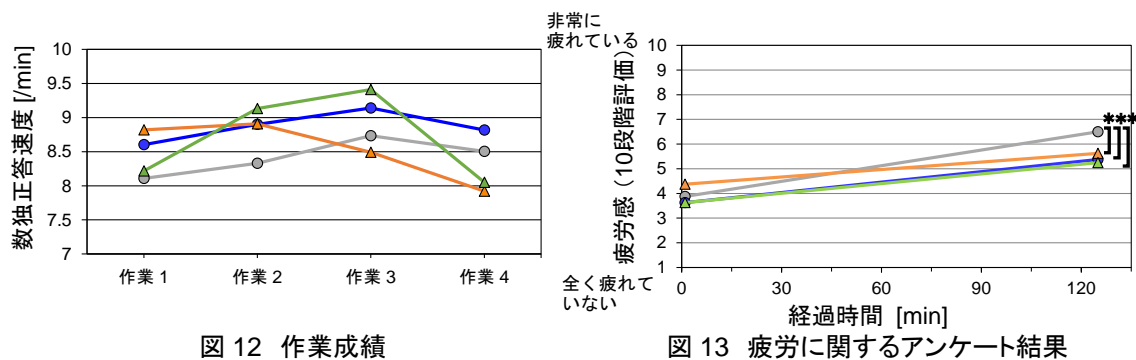
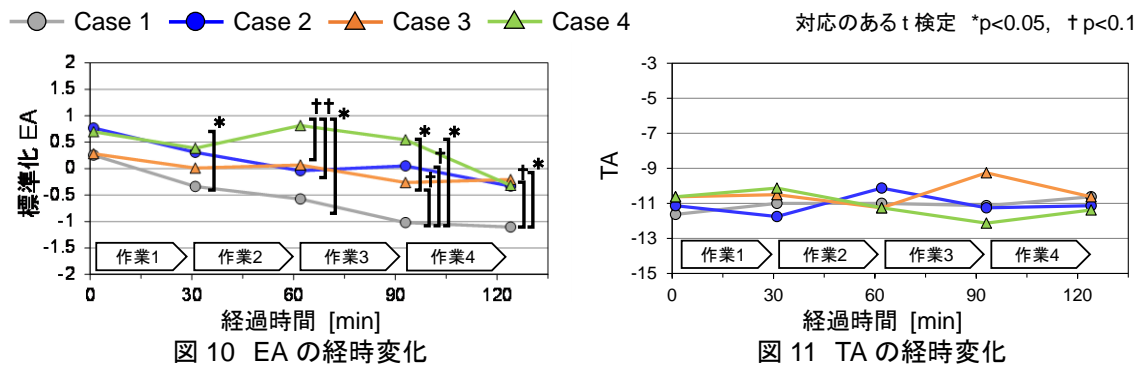
x : 元の値
 μ : 被験者毎の平均値
 σ : 被験者毎の標準偏差

冷気流が無かった Case 1 では、室温が熱的中立状態であったにも関わらず、Case 2, 3, 4 と比較して EA が低い結果となった。Case 2, 3 は送風ユニットの運転を開始した後の作業 3, 4 回目終了時に Case 1 との間に $p<0.05$ または $p<0.1$ で差がみられた。Case 4 は作業 1, 2, 3 回目終了時に Case 1 より有意に高い結果となった。このことより、顔周辺への冷気流が EA の向上に有効である可能性が示された。また、Case 2, 3 では間欠的に送風したことで、冷気流によるドラフトが生じなかったと考えられる。一方、Case 4 では作業 4 回目終了時に EA が低下し、Case 1 との間に有意差が見られなくなった。Case 4 の実験において、被験者が実験中盤以降に送風を止めたり、逆に送風し続けたりする様子が見られたことから、送風の ON/OFF を切り替える煩わしさのために、長時間の使用においてはマニュアル運転が最善とはならないことを示している可能性がある。

一方、TA は、ケース間の差が小さく、有意差もみられなかった。室温が被験者の熱的中立温度であることから、環境に対する不満感を感じにくく、差が表れなかったと考えられる。

作業成績の結果を図 12 に示す。結果のばらつきに比べてケース間の差は小さく、有意差はみられなかった。本実験では被験者が少ないため、偶然性が入り込む余地の大きい数独正答速度では、差が表れにくかったと考えられる。

また、10 段階で評価された疲労感に関するアンケートの結果を図 13 に示す。実験終了時において Case 2, 3, 4 が Case 1 より有意に低い結果となったことから、顔周辺への冷気流が疲労感を緩和する可能性が示された。



以上より、本年度の成果は次の通りである。

- ・ 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、間欠的な気流を流すことによって覚醒状態が向上する可能性が示された。
- ・ 顔周辺への間欠的な冷気流は EA の向上と疲労感の緩和に有効である可能性が示された。また、冷気流を人が自ら ON/OFF の切り替えをした場合、送風ユニットの長時間使用時に運転を切り替える煩わしさにより適切な送風が行われず、最善の運転とはならない可能性が示された。

なお、2018年2月25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

省エネ型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) M Furukawa, T Goto et al.: EFFECTS OF INDOOR TEMPERATURE CHANGES ON OCCUPANTS' AROUSAL STATE, The Fifth International Conference on Human-Environment System (ICHES2016), Nagoya, October-November 2016, Paper ID 20080
- 4) 古川, 後藤他: 在室者の覚醒状態および作業効率を向上させる変動室温制御法に関する研究 その1~その3, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2015-2016
- 5) 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, 2016, pp.261-262
- 6) 塚本他: 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, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2017, pp.333-334
- 7) 白澤他: 記憶検索に及ぼすエネルギー覚醒の効果, 基礎心理学研究, 第17巻, 第2号, 1999, pp.93-99

4. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 2 件)

1. 塚本健二, 後藤伴延, 水谷国男, 塚原和佳奈: 間欠的な気流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(東北)(2018年9月発表予定)
2. 塚原和佳奈, 後藤伴延, 塚本健二, 水谷国男: 顔周辺への冷気流が覚醒状態及び作業効率に及ぼす影響に関する研究, 日本建築学会大会(東北)(2018年9月発表予定)

[図書] (計 0 件)

[その他, 産業財産権, ホームページ等]

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3 風速変動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.42, 2017年12月, pp.61-65
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(2018年2月25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

1. 水谷国男(東京工芸大学・風工学研究センター・教授)
2. 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)
3. 森上伸也(豊田工業高等専門学校・建築学科・助教)
4. 近藤僚介(東北大学大学院・工学研究科・大学院生)
5. 塚原和佳奈(東北大学大学院・工学研究科・大学院生)

6. 要約(Abstract)

研究課題名: 変動風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
 研究代表者名 (所属): 後藤伴延 (東北大学・工学研究科・准教授)
 要約(700文字以内)・図

本研究では、執務者が同一環境に一定時間曝されるような覚醒状態が悪化し易い状況において、風速変動や顔周辺への間欠的な冷気流によって執務者の覚醒状態と作業効率が改善するかについて、被験者実験により検討を行った。被験者実験での覚醒状態の評価には日本語版覚醒度尺度(白澤, 1999)を用い、作業効率の評価には数独の正答速度を用いた。

以下に実験結果を示す。

① 風速変動に関する検討 (図1)

無風条件との有意差はみられなかったものの、ステップ風を与えたケース (Case 2) や自然風を模擬した変動風を与えたケース (Case 3) では、気流を与えたことにより、エネルギー覚醒 (EA) が上昇する様子がみられた。このことより、間欠的に気流を流すことによって覚醒状態が向上する可能性が示された。

② 顔周辺への間欠的な冷気流に関する検討 (図2)

顔周辺に間欠的な冷気流を与えた Case 2, 3 では、冷気流が無かった Case 1 に比べて、EA が高かった。また、疲労感についても、実験終了時において Case 2, 3 が Case 1 より有意に低い結果となった。このことより、顔周辺への間欠的な冷気流が EA の向上と疲労感の緩和に有効である可能性が示された。また、冷気流を被験者自ら ON/OFF した Case 4 でも、EA が Case 2, 3 と同等またはより高くなっていたが、実験中盤以降に被験者が送風を止めたり、逆に送風し続けたりする様子が見られたことから、運転を切り替える煩わしさにより、長時間の使用においてはマニュアル運転が最善の運転とはならない可能性が示された。

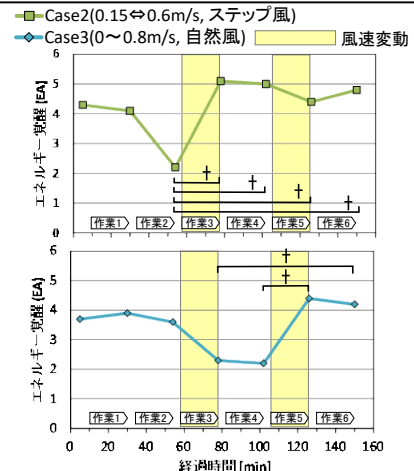


図1 風速変動に関する実験結果 (エネルギー覚醒)

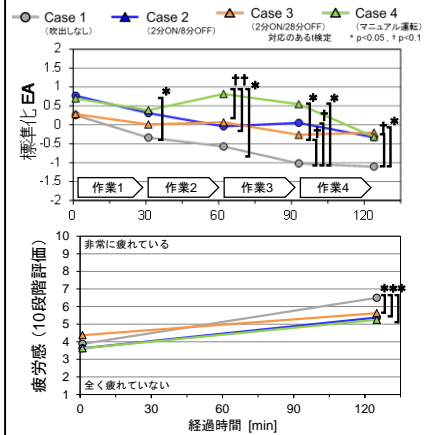


図2 顔周辺への間欠的な冷気流に関する実験結果 (エネルギー覚醒, 疲労感)