



冬季における室内気流環境が知的集中に及ぼす影響の実験研究

杉田 耕介^{*1} 古田 真也^{*2} 石井 裕剛^{*1} 下田 宏^{*1}
大林 史明^{*3} 谷口 和宏^{*4}

Experimental Study of Effects on Intellectual Concentration by Indoor Airflow in Winter

Kosuke Sugita^{*1}, Masanari Furuta^{*2}, Hirotake Ishii^{*1}, Hiroshi Shimoda^{*1},
Fumiaki Obayashi^{*3} and Kazuhiro Taniguchi^{*4}

Abstract – The authors have proposed a refresh airflow which promotes periodical breaks to improve intellectual productivity in winter season in which room temperature is low and airflow is not preferable. The proposed airflow, refresh airflow, was designed from the viewpoints of $1/f$ fluctuation and proper break. It is expected that they actively take break when the airflow is given to reduce their unconscious physical workload and to improve intellectual concentration. As the result of subject experiment, no significant difference was found between the proposed airflow environment and no airflow environment, however the participants who had favorable impression tended to reduce their fatigue and improve their concentration.

Keywords : Refresh airflow, conscious rest, $1/f$ fluctuation, concentration time ratio.

1. 研究の背景と目的

近年、日本のオフィスでは、空調の緩和による省エネルギー活動が推進されている。しかし、オフィスにおける過度な省エネルギー対策は室内環境の快適性を損ない、知的作業における執務者の作業効率を低下させる可能性がある^[1]。また、多くのオフィスビルにおいて、冬季における空調による温熱環境の一括制御に対して不快感を感じている執務者は多い^[2]。そのため、省エネルギーの観点だけでなく、知的作業の生産性（知的生産性）の維持・向上を考慮した室内環境の改善が必要となる。

これまで、室内温度や相対湿度と知的生産性の関係を調査した研究は数多くある^{[3][4]}が、比較的室内温度が低く、風に当たることが好ましくない冬季において、気流が知的生産性に及ぼす影響を調べた研究は少ない。そこで本研究では、冬季において、意識的な休息を促す気流環境を提案し、その気流が知的作業時の集中に与える影響を調べることを目的とする。

本研究を通じて、これまでほとんど評価されてこなかった冬季における室内環境での気流やこまめな休息が疲労や知的作業の集中に及ぼす影響を検証することで、執務者の知的生産性の向上や疲労の軽減、それ

に伴う労働時間の減少の関係を明らかにすることを旨とする。

2. リフレッシュ気流の提案

廣瀬らは、単調作業の繰り返しから生じる覚醒度の低下に関して、以下の2種類の改善方法があると指摘している^[5]。

- 強制的に脳皮質を刺激し、脳の活動レベルを向上させる方法
- 短時間の休憩を取り、リフレッシュする方法

まず1つ目は、光や音等の物理的刺激を与えることで覚醒度の維持・向上を図る方法である。しかし、刺激への慣れによって覚醒度の維持・向上効果が弱まる可能性がある。そのため、覚醒度の維持・向上に関し、効果的に短時間の休憩を取り、リフレッシュする方法が好ましいと廣瀬らは主張している^[5]。

そこで本研究では、執務者が疲れている状態の時に休息を促し、再び作業へ集中して取り組めるようにすることを旨とした気流（以下、リフレッシュ気流）を提案する。具体的には、強い風を一定時間暴露するのではなく、風速を短時間で変化させ、気流をゆらがせるようにリフレッシュ気流を設計した。

快適性とゆらぎの関係性については様々な研究がされているが、スペクトル分析による各周波数成分のパワースペクトルが周波数 f の逆数に比例する $1/f$ ゆらぎが現象として自然界で観測され、人によっては心地よいもの快適なものとしてされている。

リフレッシュ気流の風速の変化の様子を図1に示す。リフレッシュ気流は、執務者の前方から執務者の頭部

*1: 京都大学大学院エネルギー科学研究科

*2: 現在、NTTファシリティーズ東海

*3: パナソニック株式会社 エコソリューションズ社

*4: パナソニック エコシステムズ株式会社

*1: Graduate School of Energy Science, Kyoto University

*2: Present; NTT Facilities Tokai, Inc.

*3: Panasonic Corporation Eco Solutions Company

*4: Panasonic Ecology Systems Co., Ltd.

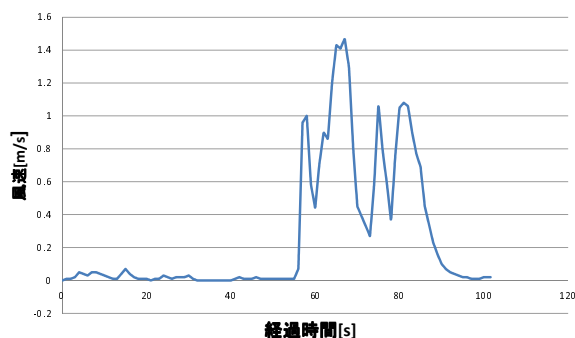


図1 提案するリフレッシュ気流の風速変化
Fig.1 Velocity transition of proposed refresh airflow.

に約 30 秒間、曝露される。図 1 からリフレッシュ気流の風速の周波数解析を行うと $1/f$ ゆらぎに近いことが確認できる。

提案するリフレッシュ気流を曝露している 30 秒間は、積極的に休息をとることを想定する。その理由として、ICT 技術の進展によって、オフィス執務者が行っている多くは VDT 作業となっており、執務者の精神、身体負担を減らすため、厚生労働省は「VDT 作業における労働衛生管理のためのガイドライン」^[8] を定め、作業の時間管理を以下のように定め、奨励していることが挙げられる。

- 連続作業時間が 1 時間を超えないようにすること
- 連続作業と連続作業の間に 10～15 分の作業休止時間を設けること
- 連続作業時間内において 1～2 回程度の小休止を設けること

しかし、上記の指針は、視覚系や筋骨格の疲労を軽減するためであり、執務者が意識して感じていない身体負担を考慮してない。実際、過去の後述する認知タスクを用いた被験者実験では、「毎日、この作業を 9 時～17 時ですでと思って、あまり疲れないように、自分のペースで作業してください。できるだけ、正確に作業してください」と教示しているが、5 分以上の長い休息を取っていた事例も多く見られる。

本研究では、リフレッシュ気流を等時間隔に曝露することで、作業に対するリズム作りを促す効果を期待している。そして、執務者が疲れている状態の場合、気流を曝露している間は休息を取ることで、その後、より集中して作業に取り組む効果を期待している。また、執務者が集中している状態の場合でも、長時間にわたって曝露されることもないので、作業への障害は少ないと考えられる。

3. リフレッシュ気流の評価実験

本章では提案するリフレッシュ気流の有効性を評価するために実施した評価実験について述べる。実験の

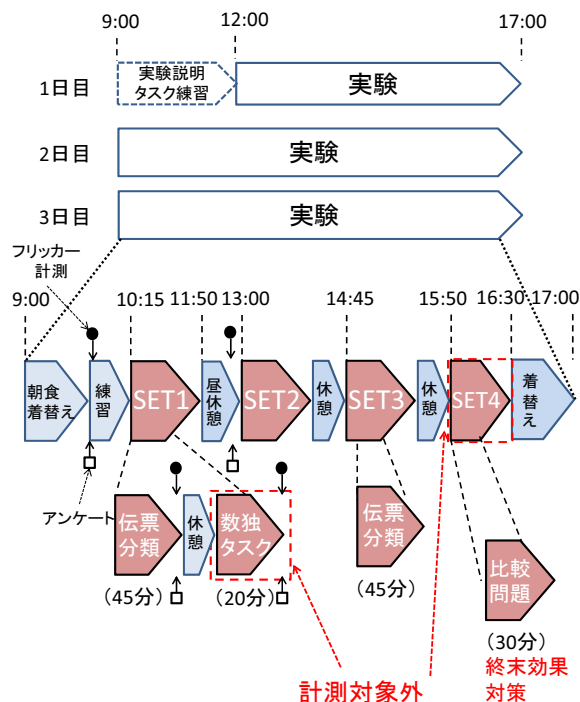


図2 リフレッシュ気流評価実験の実験プロトコル
Fig.2 Experimental protocol of refresh airflow evaluation.

目的と概要を述べた後に、実験方法の詳細を述べ、最後に実験の結果と考察を述べる。

3.1 実験の目的と概要

提案するリフレッシュ気流が執務者の集中および知的生産性に与える影響を評価することを目的とする。

実験は 2015 年 12 月 5 日～28 日に京都大学内の環境制御実験室で行った。温度、湿度、二酸化炭素濃度は一定に保つように制御し、(1) 気流環境 (冬季におけるリフレッシュ気流) と (2) 標準環境 (送風機から気流を曝露せず無風) の 2 条件を設定し、その 2 つの気流条件間で、気流が執務者の知的生産性に与える影響について評価した。実験参加者に認知タスクとして伝票分類タスクを課し、本研究室で開発した CTR(Concentration Time Ratio)^[9] を用いて執務者の知的生産性を評価した。評価実験のプロトコルを図 2 に示す。

実験参加者は、健康な 20～40 代の男女 (男性：17 名、女性 15 名) であり、1 グループ 8 人の計 4 つのグループに分けて、グループごとに連続する 3 日間の実験を実施した。1 日目にはタスクに慣れるための練習日、2 日目、3 日目を計測対象とし、気流条件のカウンターバランスを考慮して、(1) 気流環境、(2) 標準環境を設定した。

3.2 環境条件

実験室の空調の設定温度、風量等を固定し、温度、湿度、二酸化炭素濃度等の環境条件が一定になるよう

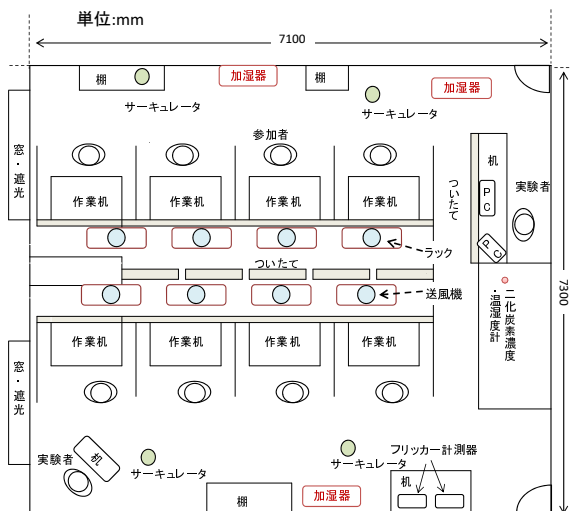


図3 リフレッシュ気流評価実験の実験室のレイアウト

Fig.3 Layout of experimental room for refresh airflow evaluation.

表1 実験室の室内環境条件

Table 1 Environmental conditions of experimental room

室温	24 ± 0.5 °C
湿度	45 ± 5 %
二酸化炭素濃度	800ppm 以下
騒音レベル	50.0dB 以下
机上面照度	700lux

に制御した。環境条件を表1に示す。室内上下温度差による影響を低減させるため、サーキュレータ3台で室内の空気を攪拌した。また、気流による眼等の乾燥感を防止するために加湿器を設置した。そして、空気清浄機からの気流が、曝露対象である実験参加者だけでなく他の実験参加者にも当たるのを防ぐため、ついたてを設置した。

室内環境

実験室のレイアウトを図3に示す。図3のように、外光の影響を防ぐため、窓は遮光している。

気流条件

練習日である1日目を除く、2日目と3日目で気流条件の順序効果のカウンターバランスを取るように、(1) 気流環境と(2) 標準環境を1日1条件としてそれぞれ割り当てた。表2に各グループでの気流環境の順番を示す。気流環境において、リフレッシュ気流を出すタイミングとして、45分間の伝票分類タスクの場合は開始後20分、30分、40分の計3回、その他の30分間のタスクは開始後20分の計1回を設定している。送風機は実験参加者と約1.5m離れた場所に配置した。

表2 気流条件の実施順序

Table 2 Condition order of airflow condition

	1日目	2日目	3日目
グループ1	説明・練習	気流環境	標準環境
グループ2	説明・練習	標準環境	気流環境
グループ3	説明・練習	気流環境	標準環境
グループ4	説明・練習	標準環境	気流環境

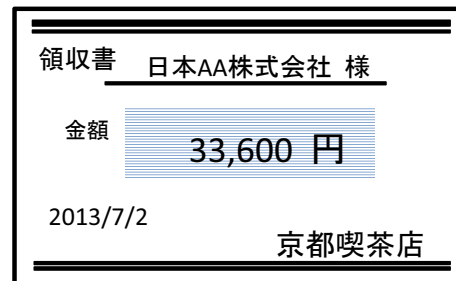


図4 伝票分類タスクに用いる伝票の例

Fig.4 An example of receipt for receipt classification task.

3.3 認知タスク

実験では、集中指標 CTR を導出するため伝票分類タスクを認知タスクとして実験参加者に与えた。伝票分類タスクに用いる伝票の例を図4に、解答を入力するタブレット画面を図5に示す。伝票分類タスクは、提示された伝票用紙を、日付、業種、金額の3種類の要素によって27通りに分類し、タブレット上に表示された27個のボタンの中から選択するタスクである。各区分について、日付は「1～10日」「11～20日」、「21～31日」の3通り、業種は、「百貨店・小売」、「飲食・喫茶」、「運送・郵便」の3通り、金額は、「0～5,000円」、「5,001～50,000円」、「50,001円～」の3通りとなる。ボタンを押すことで伝票分類タスクの1問当たりの解答時間が計測される。なお、計測結果から集中時間比率 CTR を算出する際には、CTR 解析ツール^[10]を用いた。

3.4 計測項目

本評価実験では、集中時間比率 (CTR)、生理的脳疲労 (フリッカー、CFF)、主観的疲労、主観的感情状態 (MMS)、室内環境の主観評価、個人特性を計測した。本研究の目的である集中時間比率 CTR の計測以外に複数の計測項目を設けたのは、集中時間比率 CTR による客観的・定量的結果と、その他の結果の対応を検討するためである。

MMS は、不安等単一の感情状態だけでなく、複数の感情の状態を同時に測定できる質問用紙である。活動的快、非活動的快、親和、集中、抑鬱・不安、敵意、倦怠、驚愕の8要因で構成され、各10問の質問項目がカテゴリー化され、計80項目からなる質問用紙になっている。各質問項目に対し、1：全く感じていな

取り消し			
1~10日	~5000円	~50000円	50001円~
百貨店・小売	0	0	0
飲食・喫茶	0	0	0
運送・郵便	0	0	0
11~21日	~5000円	~50000円	50001円~
百貨店・小売	0	0	0
飲食・喫茶	0	0	0
運送・郵便	0	0	0
21~31日	~5000円	~50000円	50001円~
百貨店・小売	0	0	0
飲食・喫茶	0	0	0
運送・郵便	0	0	0

図5 伝票分類タスクの解答を入力するタブレット画面
Fig.5 Tablet screen for answering receipt classification task.

表3 MMS (集中, 倦怠) の項目^[11]
Table 3 Items of MMS (concentration, boredom)

集中	倦怠
慎重な	つまらない
ていねいな	不機嫌な
丁寧な	ばからしい
思慮深い	疲れた
懸命な	退屈な
用心深い	だるい
注意深い	無気力な
真剣な	ぼんやりした
鋭敏な	ぼやぼやした
緊張した	無関心な

い、2：あまり感じていない、3：少し感じている、4：はっきり感じているの4段階評価で回答を行い、各要因の合計点を算出することで今現在の感情状態を測定できる^[11]。なお、本研究では、MMSの8要因の内、「集中」および「倦怠」の2要因の計20項目を用いており、各タスク後のアンケートとして実施した。表3に集中および倦怠の質問項目を示す。

3.5 実験結果

以下では、計測項目のうち、集中指標 CTR、生理的脳疲労、主観的疲労、気流の主観評価の結果を示す。

3.5.1 集中指標 CTR

実験参加者32名のうち、体調不良や遅刻などの理由で実験期間中の統制ができなかった実験参加者、指示通りに作業を行っておらず、集中時間比率 CTR が算出するのに必要な解答数に達していない等の理由で実験参加者の計11名を計測対象外とし、それ以外の

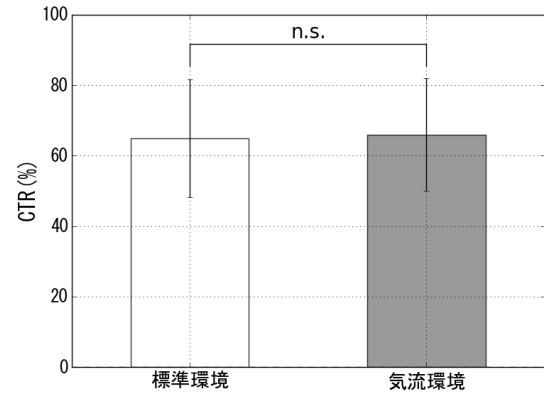


図6 CTRの全実験参加者の平均値の環境間比較
Fig.6 CTR comparison between environmental conditions with averages of all participants.

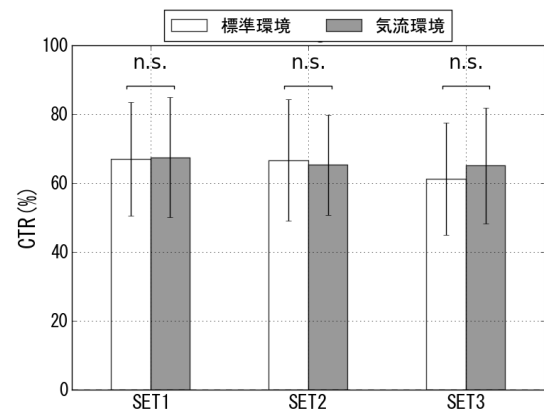


図7 各SETにおけるCTRの全実験参加者の平均値の環境間比較
Fig.7 CTR comparison between environmental conditions for each task set.

計21名を計測対象とした。

ここでは、計測対象の計21名の集中時間比率 CTR、集中時間比率 CTR の平均、各SETにおける集中時間比率 CTR の平均について述べる。集中時間比率 CTR を図6、図7に示す。気流環境での集中時間比率 CTR が66.0%、標準環境での集中時間比率 CTR が65.0%と比較して、1.0%ポイント高いが、標準環境と気流環境のCTRの平均を対のある両側t検定で比較すると、有意差は見られなかった ($p = 0.38$)。

3.5.2 生理的脳疲労

各時間帯のフリッカー値測定の結果について、気流条件間ごとに計測対象の実験参加者 ($N = 21$) で平均した。その結果を図8に示す。また気流条件間で比較するために、対応する時間帯の計測結果をそれぞれ対のある両側t検定を行った結果、有意差が見られたのは、昼休憩終了時 ($p < 0.001$) であった。また、実験開始前、SET1数独タスク終了時、SET2伝票分類タ

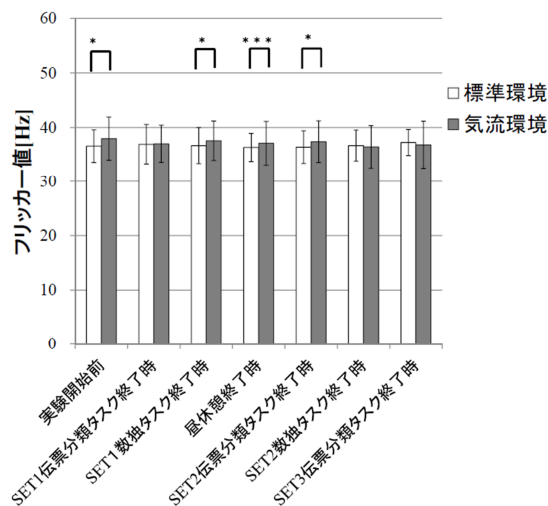


図8 フリッカー値の実験参加者の平均値の環境間比較 (***: $p < 0.001$, *: $p < 0.05$)

Fig. 8 CFF comparison between environmental conditions with averages of all participants. (***: $p < 0.001$, *: $p < 0.05$)

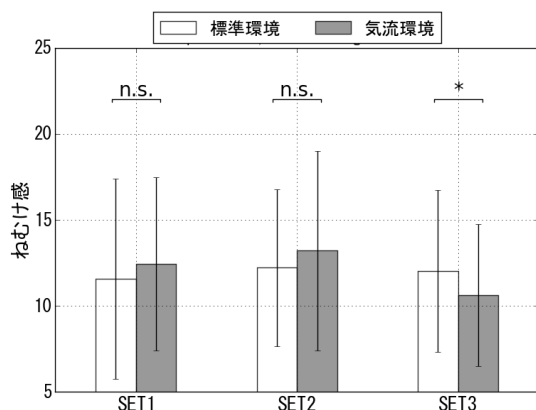


図9 自覚症しらべ (ねむけ感) の全 SET の比較 (*: $p < 0.05$, n.s.:not significant)

Fig. 9 Sleepiness comparison between all the task sets. (*: $p < 0.05$, n.s.:not significant)

スク終了時は有意に高い傾向が得られた ($p < 0.05$)。

3.5.3 主観的疲労

伝票分類タスク SET1、伝票分類タスク SET2、伝票分類タスク SET3 における自覚症しらべのねむけ感、だるさ感の結果についてそれぞれ、計測対象の実験参加者 ($N = 21$) で平均した結果を図9および図10に示す。また気流条件間で比較するために、対応する時間帯の計測結果をそれぞれ対のある両側t検定を行った。その結果、伝票分類タスクの SET3 で、ねむけ感とだるさ感がともに気流環境が標準環境と比較して有意に低い傾向が見られた ($p < 0.05$)。

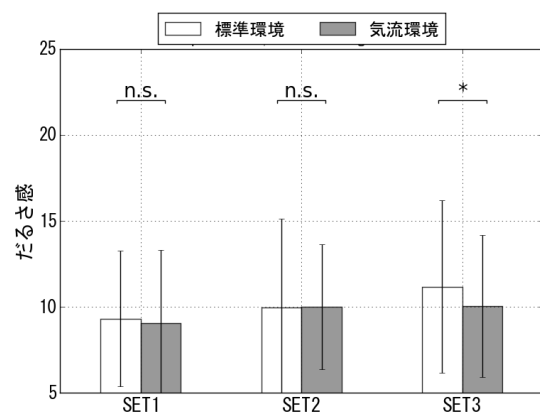


図10 自覚症しらべ (だるさ感) の全 SET の比較 (*: $p < 0.05$, n.s.:not significant)

Fig. 10 Languor comparison between all the task sets. (*: $p < 0.05$, n.s.:not significant)

3.5.4 気流の主観評価

室内環境の主観評価に関する環境評価アンケートについて各気流条件間の実験参加者の回答を計測対象の実験参加者 ($N = 21$) で平均した結果を各項目ごとにそれぞれ対のある両側t検定を行ったところ、気流条件間で有意差がみられたのは、「風圧を感じる」、「風圧による作業効率の向上」 ($p < 0.001$)、「空気が循環している」、「室外音がうるさい」 ($p < 0.01$) で、「気流が快適」、「室内音がうるさい」 ($p < 0.05$) には有意傾向が見られた。

3.6 考察

図6に示したように、CTRによる評価で、伝票分類タスクでは気流環境が標準環境と比較して1.0%ポイント向上したが、有意差は見られなかった ($p = 0.38$)。また、「風圧を感じる」、「空気が循環している」、「気流が快適」および「風圧による作業効率の向上」に関する環境評価アンケートの結果により、リフレッシュ気流の気流環境下では実験参加者は空気の循環、気流が快適だと感じ、気流によって作業の効率が向上したと感じていたことが確認できた。また、図9、図10のねむけ感・だるさ感が伝票分類タスクの SET3 において気流環境が有意に高い傾向であったことからリフレッシュ気流が疲労がたまる1日の後半に影響し、気流の快適性や送風している間の休息が疲労の軽減に繋がった可能性があると考えられる。また、実験参加者インタビューの結果から休息を自らの裁量で取りたいという意見も挙げられていた。気流が送風している間は積極的に休息を取るという教示であったため、集中している状態にも関わらず、作業に対する集中が阻害され、結果的に集中時間比率 CTR の値が低下した可能性がある。

一方、詳細は割愛するが、実験結果から集中時間比率 CTR が向上した実験参加者はリフレッシュ気流を送風することによって、長期休息状態を含んだ長い解答時間の回数が減少し、集中度が向上することが確認できた。また、リフレッシュ気流に対して好印象である場合、快適性や集中のしやすさ等部屋環境に対する印象を向上させ、その結果、疲労感が低下し、集中が向上する傾向にあるということが確認できた。

しかし、集中時間比率 CTR が低下した実験参加者のうち、解答ペースが一定でなく、長期休息状態を含んだ長い解答時間が多い実験参加者はリフレッシュ気流が曝露され、休息しても、長期休息状態を含む長い解答時間の回数は低下せず、集中度が向上しないことが確認された。その要因としてリフレッシュ気流に対して不快感があり、その結果、疲労感の増加や集中が低下する傾向にあるということがわかった。

4. まとめと今後の課題

本研究では、比較的室内温度が低く、風に当たることが好ましくない冬季において、知的生産性の維持・向上に寄与する気流環境を検討し、評価実験を行った。執務者に暴露する気流として、「1/f ゆらぎ」と「休息」に着目したリフレッシュ気流を提案したが、被験者実験の結果、集中時間比率からは、その有効性は確認できなかった。しかし、集中時間比率が向上した実験参加者はリフレッシュ気流に曝露されることによって、長期休息状態を含む長い解答時間の回数が減少し、集中度が向上することが確認できた。また、リフレッシュ気流に対して好印象である場合、快適性や集中のしやすさ等部屋環境に対する印象が向上し、その結果、疲労感が低下し、集中が向上する傾向にあることが確認できた。

本研究ではリフレッシュ気流を送風している間は積極的に休むように教示しており、実験参加者は10分間隔で休息をとっていた。近年、オフィス執務者の作業時間、休息に対する裁量権に注目が集まり、適切な休息を自らの裁量でとることは、疲労の低減に繋がる等、健康面に有効であると考えられている。実際のオフィス環境で提案するリフレッシュ気流を適用する場合、執務者ごとに作業内容が異なり、それに伴う集中や疲労も個人差が大きいため、執務者の自らの裁量でリフレッシュ気流を送風し、休息をとることができるよう、気流を送風するタイミングの調整が必要になる。実際のオフィスでは、温熱環境や照明環境等が適切に制御できないオフィスもあり、温度分布が不均一であるため、不快感を感じている執務者も多い。今後、リフレッシュ気流を実用化するにあたり、休息のタイミングを適切に調整する手法の開発やリフレッシュ気流

を実際のオフィス環境で検証するなど、研究をさらに発展させていく必要がある。

参考文献

- [1] 多和田, 伊香賀, 村上, 内田, 上田 : オフィスの温熱環境が作業効率及び電力消費量に与える総合的な影響, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 75, No. 648, pp. 213-219, 2006.
- [2] 松尾, 村山, 栃原 : 上下温度差が温熱快適性および知的生産性に及ぼす影響, 日本生気象学会雑誌, Vol. 43, No. 2, pp. 79-89, 2006.
- [3] O. Seppanen, W.J. Fisk, Q. Lei : Effect of temperature on task performance in office environment, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2006.
- [4] H. Tsutsumi, S. Tanabe, J. Harigaya, Y. Iguchi, G. Nakamura : Effect of humidity on human comfort and productivity after step changes from warm and humid environment, Building and Environment, Vol. 42, No. 12, pp. 4034-4042, 2007.
- [5] 廣瀬, 長坂 : 休憩時の覚醒度変化がその後の作業成績に及ぼす影響, 人間工学, Vol. 38, No. 1, pp. 32-43, 2002.
- [6] 甲田, 永田, 小木曾, 中野, 山中 : 心拍リズムで駆動する扇風機の特性, 日本音響学会誌, Vol. 50, No. 10, pp. 836-841, 1994.
- [7] 住谷, 安久 : 風向および風速にゆらぎ制御を行った風の快適性評価について, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. 80, No. 7, pp. 1994-2001, 1997.
- [8] 厚生労働省 : 新しい「V D T 作業における労働衛生管理のためのガイドライン」の策定について, <http://www.mhlw.go.jp/houdou/2002/04/h0405-4.html>, 2002. (Accessed June 12, 2016)
- [9] 宮城, 内山, 大林 : 知的生産性評価のための集中指標の提案 (特集論文ヒューマンセンシングとその応用). ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.16, No.1, pp.19-28, 2014.
- [10] 宮城, 金川, 島村, 石井, 下田, 内山, 大林 : 集中評価指標を用いた集中度向上照明の知的生産性評価: 2. 集中の計測・解析ツールの開発 (知的生産性 (1), 環境工学 I, 2014 年度日本建築学会大会 (近畿) 学術講演会・建築デザイン発表会). 学術講演梗概集, pp.25-26, 2014.
- [11] 寺崎, 岸本, 古賀 : 多面的感情状態尺度の作成, 心理学研究, Vol. 62, No. 6, pp. 350-356, 1992.