

エネルギー科学研究科
エネルギー社会・環境科学専攻修士論文

題目： 気流制御環境下における
知的生産性変化の客観的・定量的評価

指導教員： 下田 宏 教授

氏名： 島村 祐太

提出年月日： 平成27年2月6日(金)

論文要旨

題目：気流制御環境下における知的生産性変化の客観的・定量的評価

下田研究室，島村 祐太

要旨：

近年、日本の業務部門でのエネルギー消費量は増加傾向にあり、企業では地球環境への配慮のために、オフィスビルでの省エネルギーの取り組みを数多く行っている。しかし、これらの取り組みはエネルギー消費量の削減に重点を置くあまり、執務者の知的生産性に悪影響を及ぼしている可能性がある。そこで、エネルギー消費量の削減だけでなく執務者の知的生産性も考慮した執務環境設計が必要となる。知的生産性に影響を与えると考えられる執務環境の要素として照明、温熱や音など様々な要素が考えられるが、本研究は、その中でも温熱環境に着目した。既往研究では、温熱環境要素の中でも、室内温度、相対湿度や着衣量の変化が知的生産性に与える影響について追求されてきた。しかし、温熱環境要素の一つである気流環境の変化が知的生産性に与える影響を追求した研究は少ない。さらに、それらは主観による評価でのみ知的生産性への有効性が検証されており、客観的かつ定量的に評価した例はない。

そこで、本研究では、温熱環境要素の中でも気流環境に着目した。そして、執務者の知的生産性を向上させる気流環境を提案し、評価実験を行うことでその有効性を客観的かつ定量的に検証することを目的とした。まず、様々な気流環境条件を探索的に変化させながら3回の試行実験を実施し、実験参加者へのインタビュー結果から主観評価により、候補となる気流環境の詳細を検討した。その結果、風速0~0.4(m/s)の間で風速を変化させながら常時送風する「弱気流」と風速1.6(m/s)で10分に1回20秒間送風する「強気流」を組み合わせた「弱・強気流環境」を提案した。その後、提案する「弱・強気流環境」の知的生産性を向上させる効果の検証を目的とした評価実験を実施した。その結果、弱・強気流環境下では標準環境下と比較して知的生産性が6.5%ポイント有意に高いことを客観的かつ定量的に示すことができた。

本研究で提案した「弱・強気流環境」がオフィスに導入された際には、オフィスワーカーの知的生産性が向上し、労働時間が減少されることによりエネルギー消費量が削減されると期待される。今後は、本研究で提案した「弱・強気流環境」をオフィス実証実験により評価するなど、実用に向けて研究を発展させていく必要がある。

目次

第 1 章 序論	1
第 2 章 研究の背景と目的	2
2.1 研究の背景	2
2.2 知的生産性の定義と温熱環境に関する既往研究	3
2.2.1 知的生産性の概念と定義	3
2.2.2 温熱環境に関する既往研究	4
2.3 研究の目的と意義	5
第 3 章 提案する気流環境	6
3.1 気流に関する既往研究	6
3.2 強気流と弱気流	6
3.3 提案する気流環境構築のための試行実験	7
3.3.1 試行実験の概要	9
3.4 弱・強気流環境	21
第 4 章 弱・強気流環境の評価実験	23
4.1 実験の目的	23
4.2 実験の方法	23
4.2.1 実験の概要	23
4.2.2 環境条件	25
4.2.3 実験参加者	29
4.2.4 実験手順	29
4.2.5 計測項目	32
4.3 実験結果と考察	38
4.3.1 伝票分類タスク実施時の CTR	39
4.3.2 生理的脳疲労	43
4.3.3 主観的疲労	46

4.3.4	室内環境の主観評価	49
4.3.5	個人特性	55
4.3.6	実験参加者インタビューの結果	55
4.4	考察	59
4.4.1	各気流環境における CTR の比較	59
4.4.2	SET 間での知的生産性の比較	59
4.4.3	弱・強気流環境の作業への影響	60
4.4.4	強気流の送風時に生じる騒音の影響	61
第 5 章 結論		63
謝 辞		65
参 考 文 献		66
付録 A 試行実験のアンケート類資料		A-1
付録 B 評価実験のアンケート類資料		B-1

目 次

2.1	Woods らによる人間反応評価のための拡張モデル ^[13]	3
3.1	弱・強気流環境の基本的な環境	8
3.2	実験参加者の服装	10
3.3	伝票分類タスクに用いた伝票	10
3.4	伝票分類タスクの入力先のインタフェース	11
3.5	空気清浄機 (Panasonic 社製、F-VXJ90-WZ) の写真	13
3.6	空気清浄機 (Panasonic 社製、F-VXJ50-W) の写真	13
3.7	試行実験 1 のプロトコル	15
3.8	試行実験 2 のプロトコル	18
3.9	試行実験 3 の気流環境	19
3.10	試行実験 3 のプロトコル	20
3.11	弱・強気流環境	21
3.12	風速の変化の様子	22
3.13	真上から見た空気清浄機の位置	22
4.1	数独タスクの例	24
4.2	実験室のレイアウト	25
4.3	実験中の実験参加者の様子	26
4.4	机上の配置 (伝票分類タスク・数独タスク)	26
4.5	机上の写真 (伝票分類タスク・数独タスク)	27
4.6	評価実験のプロトコル	31
4.7	知的生産性変動モデル	33
4.8	解答時間ヒストグラムと作業処理状態との関係	33
4.9	累積実験値へのシミュレーションによる近似	34
4.10	集中時間比率 CTR 算出ツールの操作画面の例	34
4.11	自覚症しらべの回答画面	36
4.12	室内環境に関するアンケート画面	37

4.13 伝票分類タスク実施時の CTR の全実験参加者の平均値の環境間比較	40
4.14 フリッカー値 (全実験参加者の平均値)	44
4.15 フリッカー値 (標準環境)	44
4.16 フリッカー値 (弱・強気流環境)	45
4.17 自覚症しらべ (ねむけ感) のスコアの全 SET と昼休憩終了時間の比較	47
4.18 自覚症しらべ (ぼやけ感) のスコアの全 SET と昼休憩終了時間の比較	47
4.19 自覚症しらべ (ねむけ感) のスコアの環境間比較	48
4.20 自覚症しらべ (ぼやけ感) のスコア環境間比較	48
4.21 室内環境の主観評価 (部屋環境が好き・眠くなる)	50
4.22 室内環境の主観評価 (部屋全体が快適・集中しやすい)	50
4.23 室内環境の主観評価 (照明が快適・照明が明るい)	51
4.24 室内環境の主観評価 (室外音がうるさい・室内音がうるさい)	51
4.25 室内環境の主観評価 (悪臭がする・気流が快適)	52
4.26 室内環境の主観評価 (風圧を感じる・空気が循環している)	52
4.27 室内環境の主観評価 (ほこりを感じる・空気が澱んだ)	53
4.28 室内環境の主観評価 (室温が快適・足元が暑い)	53
4.29 室内環境の主観評価 (顔付近が暑い・全身が暑い)	54
4.30 室内環境の主観評価 (湿度が快適・湿度が乾燥)	54
4.31 全実験参加者の SET ごとの CTR の平均値の環境間比較	60

表 目 次

3.1	強気流の条件	12
3.2	弱気流の条件	12
3.3	試行実験1の気流環境	13
3.4	試行実験1の室内環境条件	14
3.5	試行実験2の室内環境条件	17
3.6	試行実験3の室内環境条件	20
4.1	実験室の室内環境条件	26
4.2	気流環境の実施順	28
4.3	実験参加者の属性(グループ分け・年齢・環境耐性)	30
4.4	計測した自覚症しらべの項目	35
4.5	解析対象外とした理由	39
4.6	グループ1~4の実験参加者のCTR	41
4.7	グループ5~7の実験参加者のCTR	42
4.8	知的生産性の比較	43
4.9	KG式日常生活質問紙による実験参加者のタイプ	56
4.10	STAI(状態不安・特性不安)のスコア	57
4.11	朝型夜型診断の朝型度のスコアと実験参加者のタイプ	58
4.12	実験参加者No.15とNo.21のCTRの3SETの平均値	60
4.13	標準環境・弱気流送風時・強気流送風時の騒音レベル	62
A.1	試行実験1の実験参加者インタビューの結果(空気が循環を感じたか)	A-1
A.2	試行実験1の実験参加者インタビューの結果(午前と午後の室温の違いと作業への印象)	A-2
A.3	試行実験1の実験参加者インタビューの結果(強気流の集中への影響)	A-2
A.4	試行実験1の実験参加者インタビューの結果(どの気流環境が良かったか)	A-3
A.5	試行実験2の実験参加者インタビューの結果(気流環境毎の印象)	A-5
A.6	試行実験2の実験参加者インタビューの結果(どの気流環境が良かったか)	A-6

A.7 試行実験2の実験参加者インタビューの結果(どの気流環境が悪かったか)	A-6
A.8 試行実験2の実験参加者インタビューの結果(4日間を通して、部屋環境の違いに対する気づき)	A-7
A.9 試行実験2の実験参加者インタビューの結果(強気流への気付き・印象)	A-7
A.10 試行実験2の実験参加者インタビューの結果(弱気流への気づき)	A-7
A.11 試行実験2の実験参加者インタビューの結果(4日間を通して、どの日が作業をしていてつらかったか)	A-8
A.12 試行実験2の実験参加者インタビューの結果(時間帯による作業のはかどり具合)	A-8
A.13 試行実験2の実験参加者インタビューの結果(気流環境2条件のどちらが良いか)	A-8
B.1 評価実験の実験参加者インタビューの結果(1~3日目の環境の比較、集中のしやすさ)	B-2
B.2 評価実験の実験参加者インタビューの結果(時間帯による集中のしやすさ)	B-3
B.3 評価実験の実験参加者インタビューの結果(強気流への気づき、印象)	B-4
B.4 評価実験の実験参加者インタビューの結果(弱気流に気付いたか)	B-5
B.5 評価実験の実験参加者インタビューの結果(強気流に対する印象)	B-6
B.6 評価実験の実験参加者インタビューの結果(強気流の風量や送風時間・間隔について)	B-7

第 1 章 序論

社会の持続的発展のために、人類の地球環境との共存は必要不可欠である。2011年に発生した東日本大震災の2次災害である福島第一原子力発電所事故による影響で多くの企業はより一層の節電を求められた。実際に節電に取り組むにあたっては、実施が比較的容易であることから、照明の間引きや空調温度の調整等のオフィス環境の見直しが積極的に行われてきた。しかし、このような省エネルギー活動はエネルギー消費量削減に重点を置くあまり、オフィス環境が悪化し、執務者の知的生産性の低下を引き起こす危険性が危惧されている。オフィスでの作業は書類作成や情報処理などの知的作業が大半を占める。この知的作業の効率である知的生産性の低下により労働時間が増加することでエネルギー消費量の増加につながる可能性もあり、企業の経済的損失にもなりうる問題である。したがって、オフィス環境を見直す際には、エネルギー消費量の削減と同時に執務者の知的生産性も考慮する必要がある。

オフィス環境として、照明、温熱、音などの様々な要素が存在する。温熱環境に着目すると、室内温度、相対湿度や着衣量の変化が知的生産性に与える影響を追求した研究は数多くなされてきた。^[1-7]。しかし、温熱環境要素の一つである気流と知的生産性との関連性を追求した研究は少なく、主観による評価^[8-10]でのみ知的生産性への影響を評価しており、客観的かつ定量的に評価した例はない。

そこで本研究では、温熱環境要素の中でも気流環境に着目して、知的生産性を向上させる気流環境を提案し、室内環境が制御可能な実験室にて評価実験を行うことで、その有効性を客観的かつ定量的に検証することを目的とする。提案する気流環境が知的生産性の向上に有効であることを検証することで、執務者の知的生産性向上による労働時間・人件費の削減につながり、省エネルギーに貢献できる。

本論文は、序論を含めて全5章で構成されている。第2章では研究の背景および知的生産性の概念と定義を述べる。その後、温熱環境の変化が知的生産性に与える影響を追求した既往研究について述べ、それらを踏まえた本研究の目的と意義を述べる。第3章では提案する気流環境について述べ、第4章で、提案する気流環境下での評価実験について述べる。最後に、第5章では、結論として本研究の成果をまとめ、今後の課題を述べる。

第 2 章 研究の背景と目的

本章では、まず本研究の背景について述べる。次に、知的生産性の概念と定義を述べた後、温熱環境に関する既往研究についてまとめる。そして、最後に研究の目的と意義を述べる。

2.1 研究の背景

近年、日本の業務部門でのエネルギー消費量は増加傾向にある。そのため企業では、地球環境への配慮のために、省エネルギーの取り組みを数多く行なっている。その取り組みの例として、クールビズ、ウォームビズの実施や照明の間引き等がある。しかし、これらの取り組みはエネルギー消費量の削減を重視するあまり、執務者の快適性に悪影響を及ぼす可能性が危惧されている。オフィスにおける業務の大半が書類作成、情報管理及び処理などの知的作業である。知的作業の効率である知的生産性の低下は、労働時間の増加によるエネルギー消費量の増加につながる恐れもある。

以上より、エネルギー消費量の削減だけでなく執務者の知的生産性も考慮した執務環境の設計が必要となる。執務環境が知的生産性に影響を与えると考えられる要素として照明、温熱、音など様々な要素が存在する。その中でも温熱環境に着目すると、温熱環境が知的生産性に影響を与えることが、既往研究で数多く示唆されている^[1-5,7]。温熱環境要素としては、室内温度、放射温度、気流、相対湿度、着衣量、活動量の6要素が存在し^[11]、既往研究では、室内温度、相対湿度、着衣量の変化が知的生産性に与える影響について追求した研究^[1-7]は数多くなされてきた。しかし、温熱環境要素の一つである気流環境の変化が知的生産性に与える影響を追求した研究は少ない。さらに、それらは主観による評価であり^[8-10]、客観的かつ定量的に評価した例はない。主観による評価では、執務者周辺の重点的な空調を行うタスク空調の使用によって、疲労感の緩和、活力度の維持、熱的快適性の向上などの執務者の心理量と快適性に好影響を与えることが示唆されている^[8,9]。そこで本研究では、既往研究で知的生産性を向上させる効果を持つことが主観評価により実証されているが、未だ知的生産性の変動が客観的かつ定量的に評価されていない気流環境に着目する。

2.2 知的生産性の定義と温熱環境に関する既往研究

2.2.1 知的生産性の概念と定義

現在、生産性と呼ばれるものとして労働生産性があり、「一定期間内に生み出された財・サービスのアウトプットの量を労働者数で割ったもの」と定義されている^[12]。例えば、一定時間内の製品生産数を労働者数で除することで、労働生産性を求めることができる。この際、インプットの量が少なく、アウトプットの量が多ければ、生産効率が高いと意味する。

しかし、アウトプットを定量化できない職種も存在する。ホワイトカラーのオフィスのアウトプットの1つである知的創造は、量的な評価だけでなく質的な評価が必要であり、アウトプットを定量的に示すことが困難である^[12]。そのため、オフィス環境の評価を目的とした際、これを汎用的な定義とするのは難しい。

そこで、Woods^[13]らは、既往研究をもとに知的生産性に影響を与える要因を分析し、知的生産性を作業効率と関連コスト要因により決定されるものと定義した。図2.1にそのモデルを示す。

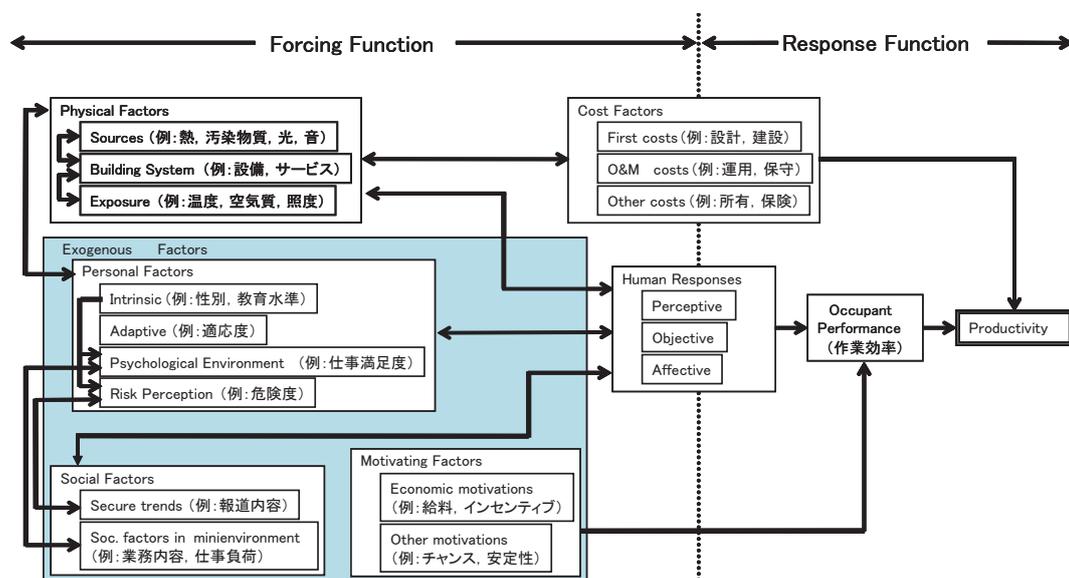


図 2.1: Woods らによる人間反応評価のための拡張モデル^[13]

このモデルでは、物理的要因である温度、空気質、音などの室内環境要素と設備やサービスなどの建築システムは、心理的要因や生理的反応を経由して、作業効率に影響すると説明されている。また、給料やインセンティブなどの経済的モチベーションとチャンスや安定性などの経済的モチベーション以外のモチベーションは直接作業効

率に影響すると説明されている。そして、物理的要因やモチベーション要因が作業効率に影響することで、最終的に知的生産性に影響すると説明している。

以上で述べたように、知的生産性は、「作業効率」と「経済指標」の2つの観点に大別される。本研究では、オフィスワーカーを対象とし、室内環境の変化が知的生産性に与える影響に注目した。また、執務環境の見直しによる労働時間の短縮を主効果として期待しており、労働時間に直結するのは、2つの観点の中で「作業効率」と考えられる。よって、本研究では、単位時間当たりの知的作業の量を示す「作業効率」を知的生産性と定義する。

2.2.2 温熱環境に関する既往研究

室内の温熱環境が知的生産性に影響を与えることは、既往研究で数多く報告されている。温熱環境として、室内温度、湿度、気流、放射温度の環境要素と活動量や着衣量の人間要素を含めた6要素が挙げられている^[11]。そのうち、Weilinら^[14]は、室内温度の違いが、人間の熱的快適性、モチベーション、パフォーマンスに与える影響について調査した。その結果、22℃～26℃の間の室内温度がパフォーマンスにとって最適な室内温度であり、26℃以上であるとモチベーションとパフォーマンスに悪影響を与えると報告している。また、Kwokら^[15]は、室内温度と精神的な覚醒の関係性について研究している。それによると、清涼感は体温調節を制御する神経システムを活性化し、覚醒度を向上させると報告している。そして、Liら^[16]は室内温度が執務者の内的要因に与える影響について、室内温度が執務者の認知負荷、感情、幸福度、モチベーション、パフォーマンスに与える影響を検討している。その結果、暖かく不快な室内温度は、執務者のモチベーション、幸福度、認知負荷に悪影響を与え、パフォーマンスの維持が困難になると報告している。以上のように、室内温度の変化が知的生産性に与える影響については、作業効率、生理学的評価や内的要因などの様々な観点から数多く追求されている。

次に、湿度と知的生産性との関連性に着目した既往研究として、Hussonら^[17]は、相対湿度が知的生産性に与える影響を調査し、40～60%の間の相対湿度のレベルは、生産効率、生産の質を向上させると報告している。また、大熊ら^[18]は、執務者の着衣に着目し、室内温度が20℃の設定で実験参加者に背広を着用させた条件で評価実験を実施し、生理的・心理的反応から温熱感、快適感、皮膚温を評価している。

以上のように、温熱環境要素の中でも室内温度、湿度、着衣量の変化が知的生産性に与える影響を追求した研究は数多くなされてきた。そして、室内温度、湿度、執務

者の着衣量の適切な調整により、執務者の知的生産性向上効果が期待できると示唆されている。しかし、温熱環境6要素の一つである気流と知的生産性について追求した研究は少ない。さらに、それらは執務者の知的生産性を主観により評価しており^[8-10]、客観的かつ定量的に評価した例はない。

2.3 研究の目的と意義

以上の背景より、本研究では、既往研究で知的生産性を向上させる効果を持つことが主観評価により実証されているが、未だ気流環境の変化による知的生産性の変動が客観的かつ定量的に評価されていないことから温熱環境要素の中でも気流環境に着目した。そして、執務者の知的生産性を向上させる気流環境を提案し、評価実験を行うことでその有効性を客観的かつ定量的に検証することを目的とする。

気流環境の変化が知的生産性に与える影響は、既往研究では主観のみで評価されており、信頼性が十分ではない。しかし、本研究で、知的生産性を向上させる気流環境を提案し、本研究室で開発した集中時間比率 CTR(Concentration Time Ratio; 以下、CTR) を用いて客観的かつ定量的に評価することで、気流環境の変化が知的生産性を向上させることを主観評価よりも高い信頼性をもって実証できる。また、本研究で提案する気流環境が、今後、オフィスに導入された際には、執務者の知的生産性を向上させ、労働時間の減少によるエネルギー消費量の削減にも貢献できるであろう。

第 3 章 提案する気流環境

本章では、まず気流環境の変化が知的生産性に与える影響を追求した既往研究について述べる。続いて、本研究で提案する気流環境を決定するために実施した試行実験について述べた後、提案する気流環境について説明する。

3.1 気流に関する既往研究

温熱環境の一つである気流環境が知的生産性に与える影響を追求した研究として、田辺ら^[19]は、執務者周辺の重点的な空調により室内全体の空調を緩和させるタスク・アンビエント空調システムを開発し、執務者の熱的快適性を向上させる効果を主観により評価している。また、森戸ら^[20]は、冷房の気流が睡眠に及ぼす影響について調査するため評価実験を実施し、その結果、エアコン冷房の冷気流が直接身体に送風される刺激によって、執務者の皮膚温の低下を頻繁に引き起こし、睡眠を阻害する可能性を唆している。つまり、気流の身体に対する直接送風によって、執務者の覚醒度が向上する効果があると考えられる。また、Wyonら^[21]は、悪質な室内空気質は執務者のパフォーマンスの低下につながることを明らかにしている。つまり、室内の空気質環境は執務者の知的生産性に大きな影響を与え、室内の空気質の改善により、執務者の知的生産性の向上につながる可能性が示唆されている。

3.2 強気流と弱気流

3.1節で述べた既往研究より、執務者の知的生産性を向上させる気流環境の要素として以下の2点が挙げられる。

1. 気流を執務者に直接送風する
2. 執務者周辺の空気質を向上させる

本研究では、以上の2点の要素を考慮し、強気流・弱気流という2種類の気流を組み合わせた気流環境を提案する。以下に、強気流・弱気流の執務者に対して期待する効果を記す。

- 弱気流

- 常時、風速の遅い気流を送風し続けることで執務者周辺の空気を循環させ、執務者周辺の二酸化炭素濃度を低く保つとともに埃や塵を排除することで空気質を向上させる効果

- 強気流

- 執務中に時折、執務者の身体に直接強風を短時間だけ送風することで、覚醒度を向上させる効果

本研究では、以上の条件を満たす気流環境を設計する。また、弱気流による空気質向上効果を達成するために、気流を送風する機材として空気清浄機を1カ所に固定する。空気清浄機を使用することで、室内に浮遊する塵や埃の除去が可能となり、空気質を向上させることができる。

3.3 提案する気流環境構築のための試行実験

本研究で提案する気流環境(以下、弱・強気流環境)の基本的な環境を図3.1に示す。執務者毎に弱気流と強気流を送風するために空気清浄機は1人あたり1台配置する。このような基本的な気流環境を基に、3.2節で述べた強気流と弱気流の詳細を決定する必要がある。そこで、様々な気流環境を探索的に試行し、弱・強気流環境の詳細を決定する実験を実施した。

以下に気流環境を設計・検討するために実施した実験(以下、試行実験)の概要を記す。

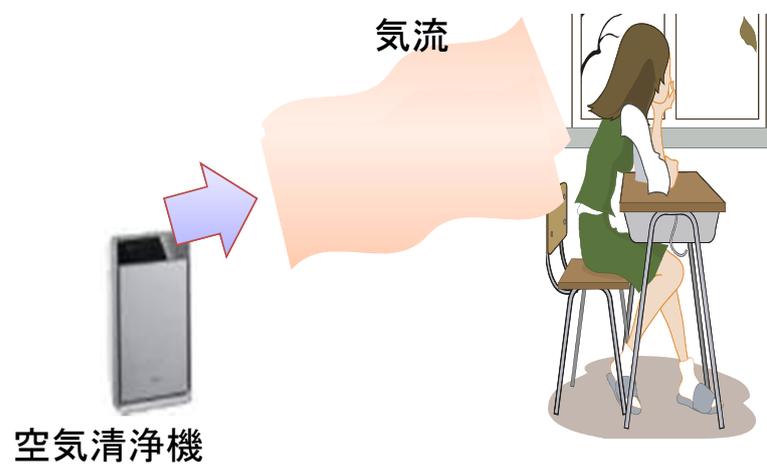


図 3.1: 弱・強気流環境の基本的な環境

3.3.1 試行実験の概要

試行実験では、様々な気流環境の条件を探索的に試行し、弱・強気流環境の詳細を決定することを目的とした。試行実験は、2014年6月12日～14日(以下、試行実験1)、7月3日～5日(以下、試行実験2)、7月19日～22日(以下、試行実験3)の計3回に分けて京都大学工学部1号館233号室にて実施した。実験参加者は健康な大学生を対象とした。3回の試行実験では実験参加者に対してインタビューを実施し、知的生産性や気流に対する快適性に関して好印象の条件を抽出し、弱気流・強気流の詳細を決定した。試行実験1は、室内温度条件、空気清浄機の選定、空気清浄機の配置場所、強気流の風速、実験参加者に対して気流を送風する位置について検討した。試行実験2は、試行実験1の結果を参考とし、強気流の送風時間・間隔、空気清浄機の配置について検討した。試行実験3は、試行実験1と試行実験2から好印象の条件を抽出し、気流環境を2条件設定し、実施した。これらの一連の試行実験では気流以外の環境条件が知的生産性へ影響を与えることを防ぐために、室内温度、湿度、机上面照度、色温度は試行実験期間中一定とした。また、実験期間中は、実験参加者にTシャツ、長ズボン、長袖シャツ、靴下、スリッパに着替えてもらい、服装を統制した上で実験を実施した。これは、着衣量の違いによる実験参加者間での環境感度の差を防ぐためである。試行実験で統制した服装を図3.2に示す。指定した服装の着衣量は、約0.7(clo)であった^[22]。

試行実験で実施する作業の種類として、本研究室で開発した認知タスクである伝票分類タスク^[23]を使用した。伝票分類タスクは、対象をオフィスワーカーとして設定しており、オフィスワーカーに必要な能力である言語能力、計算能力、判断能力の3つを兼ね備えた認知タスクである。伝票分類タスクは、伝票に記載されている日付、会社の業種、金額の3種類の要素を計27通りに分類することで解答する。日付は「1～10日」「11～20日」「21～31日」の3種類に分類する。会社の業種は、「百貨店・小売」、「飲食・喫茶」、「運送・郵便」の3種類である。金額は、「0～5000円」、「5001～50000円」、「50001円～」の3種類に分類する。伝票の提示は図3.3に示すような紙を用いた。分類結果の入力先として図3.4に示すようなiPad上の入力インターフェースを用いた。例えば、図3.3に示す伝票を分類する際には、「1～10日、飲食・喫茶、～50000円」に位置するボタンを押す。



図 3.2: 実験参加者の服装



図 3.3: 伝票分類タスクに用いた伝票

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 3.4: 伝票分類タスクの入力先のインターフェース

(1) 試行実験 1

試行実験1は、健康な大学生12名を対象に、1日4名の3日間で実施した。試行実験1では、室内温度条件、空気清浄機の選定、空気清浄機の配置、強気流の風速、実験参加者に対して気流を送風する位置について検討した。試行した弱気流・強気流の風速と空気清浄機を表3.1と表3.2に示す。加えて、空気清浄機(Panasonic社製、F-VXJ90-WZ)と吹き出し口の写真を図3.5に、空気清浄機(Panasonic社製、F-VXJ50-W)と吹き出し口の写真を図3.6に示す。

表 3.1: 強気流の条件

	風速	製品メーカー	空気清浄機の商品名
強気流 I	1.6(m/s)	Panasonic	F-VXJ90-WZ
強気流 II	2.0(m/s)	Panasonic	F-VXJ50-W
強気流 III	1.9(m/s)	Panasonic	F-VXJ50-W

表 3.2: 弱気流の条件

	風速	製品メーカー	空気清浄機の商品名
弱気流 I	1.6(m/s)	Panasonic	F-VXJ90-WZ
弱気流 II	0.5(m/s)	Panasonic	F-VXJ90-WZ

試行実験1では、表3.1と表3.2に示すように、2種類の空気清浄機を使用した。これは、それぞれの空気清浄機で設定されている気流の風速の違いが、実験参加者の快適性に与える影響を確認するためである。表3.1と表3.2に示す弱気流IIの風速は、気流が送風される場所である着座した実験参加者の頭部と同様の高さである床面から1.1mの高さでの風速を示す。表3.2の弱気流Iは、実験参加者に直接送風せず空気清浄機の吹き出し口を上方に向けて送風する。また、表3.3に試行実験1で検討した気流環境と空気清浄機の配置場所を示す。強気流を3条件、弱気流を2条件を設定し、それらを組み合わせた気流環境を4条件設定した。すなわち、試行実験1では、空気質を向上させる効果が弱気流IIより高いと思われる弱気流Iを主に気流環境を組み合わせた。そのため、弱気流Iと強気流I~IIIの3種類を組み合わせた3条件と弱気流IIと強気流Iを組み合わせた1条件の計4条件を設定した。



図 3.5: 空気清浄機 (Panasonic 社製、F-VXJ90-WZ) の写真



図 3.6: 空気清浄機 (Panasonic 社製、F-VXJ50-W) の写真

表 3.3: 試行実験 1 の気流環境

	弱気流	強気流	空気清浄機の配置
標準環境	なし	なし	なし
気流環境 1-A	弱気流 I	強気流 I	執務者の真横
気流環境 1-B	弱気流 I	強気流 II	執務者の真横
気流環境 1-C	弱気流 I	強気流 III	執務者の左側後方
気流環境 1-D	弱気流 II	強気流 I	執務者の真横

気流環境 1-A は強気流 I と弱気流 I、気流環境 1-B は強気流 II と弱気流 I、気流環境 1-C は強気流 III と弱気流 I、気流環境 1-D は強気流 I と弱気流 II を組み合わせた条件である。強気流 I~III は全て 10 分に 1 回、20 秒間送風し、弱気流は常時送風するように調整する。気流を 10 分に 1 回の間隔で送風したのは、定期的な気流の送風によって実験参加者の作業ペースのリズムを生み出すことを目指したからである。また、実験中は実験者が手動で空気清浄機のスイッチを操作し、気流を制御した。

試行実験 1 のプロトコルを図 3.7 に示す。試行実験 1 では、気流がない標準環境、気流環境 1-A、気流環境 1-B、気流環境 1-C、気流環境 1-D の 5 条件を 1 日で比較し、伝票分類タスクは、各条件毎に 20 分間実施した。また、実験室内の室温は、午前 24℃、午後 26℃の 2 条件を設定し、室温条件の変化における気流環境の実験参加者へ与える影響の違いを検討した。試行実験 1 での、室内の環境条件を表 3.4 に示す。そして、1 日の最後に実験参加者に対するインタビューを実施し、気流環境間での主観評価をヒアリングした。試行実験 1 の実験参加者インタビューの結果の詳細を付録 A に示す。

表 3.4: 試行実験 1 の室内環境条件

湿度	二酸化炭素濃度	騒音レベル	机上面照度	色温度
70 ± 10 %	700ppm 以下	52.6dB 以下	460lux	5000K

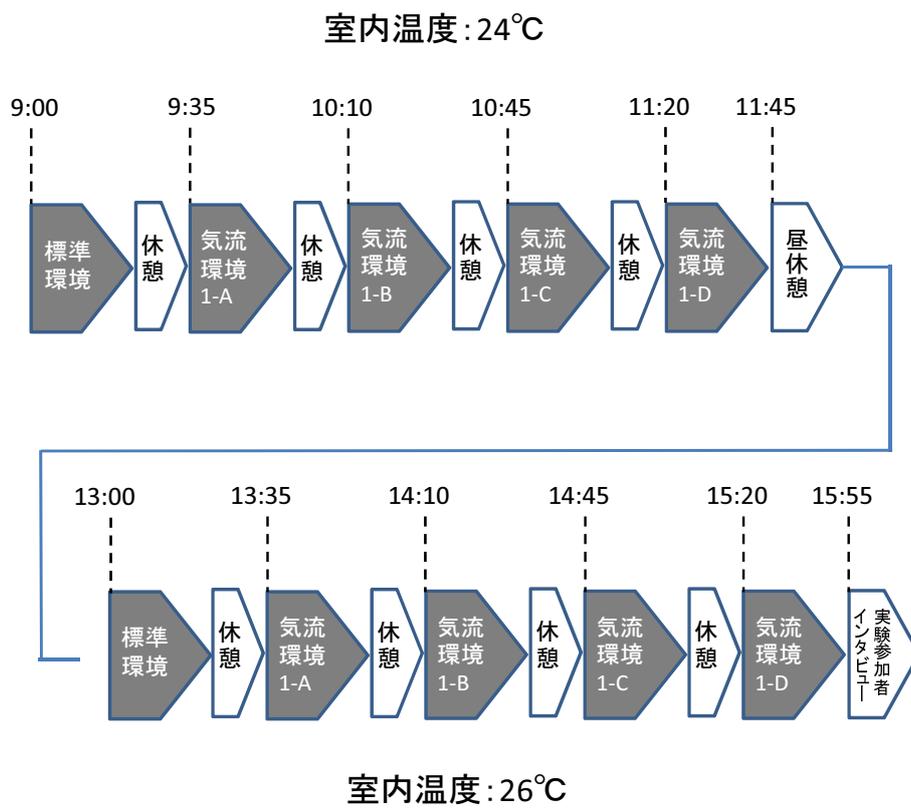


図 3.7: 試行実験1のプロトコル

試行実験1の実験参加者インタビューの結果の一部を下記に示す。

- 空気清浄機は、実験参加者の真横より左側後方に配置した方が、作業中に気にならなくて良い。
- 強気流Ⅱ、Ⅲの風速の高い気流が作業中に送風されることで集中が途切れる。
- 弱気流があることで空気が循環され、作業しやすい。
- 室内温度26℃は24℃と比較して、作業する上で快適な環境であった。

インタビュー結果より、強気流Ⅰの風速が強気流Ⅱ、Ⅲと比較して、作業中の集中を阻害せず快適であるという意見が得られた。また、空気清浄機の位置は、実験参加者の真横に配置すると、空気清浄機と実験参加者との距離が近く作業中に注意が空気清浄機に向く時があり、実験参加者の集中に悪影響を与えたと推測される。弱気流は、常時送風されることで空気が循環され実験参加者にとって快適な環境の構築につながったと考えられる。試行実験1のインタビュー結果を参考とし、試行実験2の実験設計を行った。試行実験2の詳細については、次に記す。

(2) 試行実験2

試行実験2は、健康な大学生12名を対象に、1日4名の3日間で実施した。試行実験2では、強気流の送風時間・間隔、空気清浄機の配置について検討した。空気清浄機は、試行実験1の実験参加者インタビューで好印象であった強気流の条件で用いたF-VXJ90-WZを使用した。試行実験2では、気流環境を5条件設定し比較した。コントロール条件として気流がない標準環境を設定し、気流環境2-Aは強気流を風速1.6(m/s)で10分に1回20秒間送風し、弱気流は風速0.2(m/s)で常時送風した。気流環境2-Bは、強気流を風速1.6(m/s)に設定し、条件開始から15分後、25分後、35分後、40分後、45分後に20秒間送風し、弱気流は風速0.2(m/s)で常時送風した。強気流の送風間隔が後半に短くなっている理由は、作業が進行するにつれて低下するであろう集中力を回復させるためである。気流環境2-Cは、風速1.1(m/s)に設定し、空気清浄機のルーバー角度を変化させながら、実験参加者の肩から頭部にかけて気流を送風した。肩から頭部にかけて気流を送風することで、頭寒足熱効果を生み出し、集中力を高めることを目指す。気流環境2-Dは、強気流を風速1.8(m/s)で10分に1回20秒間送風し、弱気流は風速0.2(m/s)で常時送風した。気流環境2-A~2-Dで送風する全ての気流は、実験参加者の頭部付近に向けて送風した。また、風速は、実験参加者に対して気流が送

風される場所である着座した実験参加者の頭部付近と同様の高さである床面から 1.1m の高さでの風速を示す。空気清浄機は、気流環境 2-A～2-C では実験参加者の左側後方約 1m に配置し、気流環境 2-D では実験参加者の左側後方約 2m の位置に配置し、実験参加者と空気清浄機の距離の違いによる強気流の印象の違いを検討した。試行実験 2 では、コンピュータと空気清浄機を接続し、コンピュータから制御信号の指令を空気清浄機に伝達することで、風速、ルーバー角度、送風間隔・時間を調整した。試行実験 2 のプロトコルを図 3.8 に示す。午前は、練習と標準環境、気流環境 2-A の 2 条件を実施し、午後は気流環境 2-B、2-C、2-D の 3 条件を実施した。標準環境も含めた各条件毎に伝票分類タスクを 45 分間実施した。試行実験 2 での室内の環境条件を表 3.5 に示す。

そして、昼休憩前と気流環境 5 終了後にインタビューを実施し、気流環境間での主観をヒアリングした。試行実験 2 の実験参加者インタビューの結果の詳細を付録 A に示す。また、実験参加者インタビューの結果の一部を下記に示す。

- 作業中の眠い時に、強気流による刺激により、目が覚める。
- 気流環境 2-A の定期的な強気流の送風により、作業に集中できた。
- 気流環境 2-C で常時気流が実験参加者に送風されることで、少し寒く感じ、乾燥を感じた。
- 空気清浄機は近くより遠くに配置された方が、注意が向かず作業に集中できた。

表 3.5: 試行実験 2 の室内環境条件

室内温度	湿度	二酸化炭素濃度	騒音レベル	机上面照度	色温度
26 ± 1 °C	70 ± 10 %	700ppm 以下	57.2dB 以下	460lux	5000K

実験参加者インタビューの結果より、試行実験 1 と同様に強気流による身体への刺激によって実験参加者の覚醒度が向上する効果を確認できた。また、気流環境 2-A の強気流が定期的に送風される条件は、気流環境 2-B の不定期に送風される条件と比較して好印象であった。定期的に強気流が送風されることで、実験参加者の作業に一定のリズムが生じ、作業に集中できたと考えられる。気流環境 2-C では、気流が常時実験参加者の身体に送風されることで、実験参加者が寒く感じる、空気が乾燥するなどの悪印象の意見がいくつか見られた。また、空気清浄機の配置場所は、実験参加者の

左側後方約 2m の位置に配置した気流環境 2-Dの方が、実験参加者の左側後方約 1m の位置に配置するその他の条件と比較して、作業中に空気清浄機に注意が向かず容易に作業に集中できるという意見が得られた。

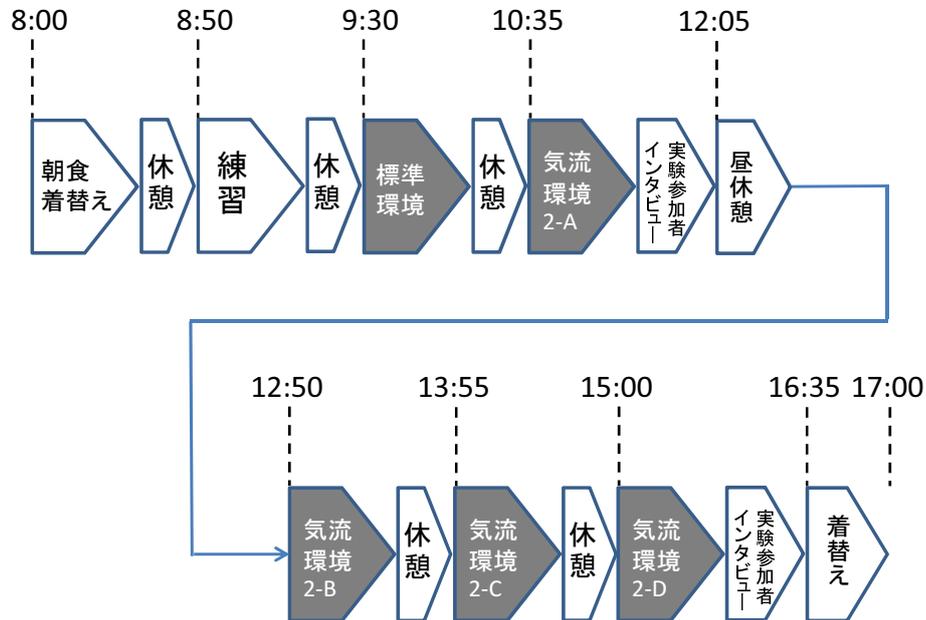


図 3.8: 試行実験 2 のプロトコル

試行実験 2 の実験参加者インタビューの結果を参考とし、試行実験 3 の実験設計を行った。試行実験 3 の詳細については、次に記す。

(3) 試行実験 3

実験参加者は、健康な大学生 4 名を対象に 4 日間連続で実施した。その理由として、気流環境を 1 日中実施することで、時間帯によって生じるねむけや慣れなどが気流環境に対する印象に与える影響を防ぐためである。試行実験 3 では、弱気流の詳細について検討した。試行実験 3 で検討した気流環境 3-A、3-B の概要を図 3.9 に示す。気流環境 3-A は、強気流を風速 1.4(m/s) で 10 分に 1 回送風し、弱気流は、風速 0.2(m/s) 一定で常時送風した。気流環境 3-B は、強気流を気流環境 1 と同様の条件に設定し、弱気流を風速 0~0.2(m/s) の間で風速を変化させながら、常時送風する。気流環境 3-A と 3-B で送風した強気流と弱気流は共に、実験参加者の頭部付近に向けて送風した。また、弱気流の風速を変化させた理由は、弱気流を風速一定で実験参加者に当て続けることによる身体の温度の低下を防ぐためである。空気清浄機は気流環境 3-A、3-B 共に実験参加者の左側後方約 2m の位置に配置した。試行実験 3 も試行実験 2 と同様に、コ

ンピュータと空気清浄機を接続し、コンピュータから制御信号の指令を空気清浄機に伝達することで、風速、ルーバー角度、送風間隔・時間を調整した。

試行実験3のプロトコルを図3.10に示す。気流環境は、気流がない標準環境と気流環境3-Aと気流環境3-Bの3条件を設定した。1日目は実験説明・練習、2日目は気流がない標準環境、3日目は気流環境3-B、4日目は気流環境3-Aの気流環境で実施した。各日共に、伝票分類タスクを午前は2SET、午後は4SET実施し、各SET50分間とした。試行実験3での室内の環境条件を表3.6に示す。また、最終日の6SET目にはインタビューを実施し、4日間の室内環境に対する主観評価をヒアリングした。試行実験3の実験参加者インタビューの結果の詳細を付録Aに示す。また、実験参加者インタビューの結果の一部を下記に示す。

- 強気流がリフレッシュとなり、集中できた。
- 気流環境3-Bの方が気流環境3-Aと比較して、作業に集中できた。

インタビュー結果より、試行実験1、2と同様に強気流による身体への刺激によって実験参加者の覚醒度が向上する効果を確認できた。また、気流環境3-Bは、気流環境3-Aと比較して作業に集中しやすい環境であるという意見が得られた。

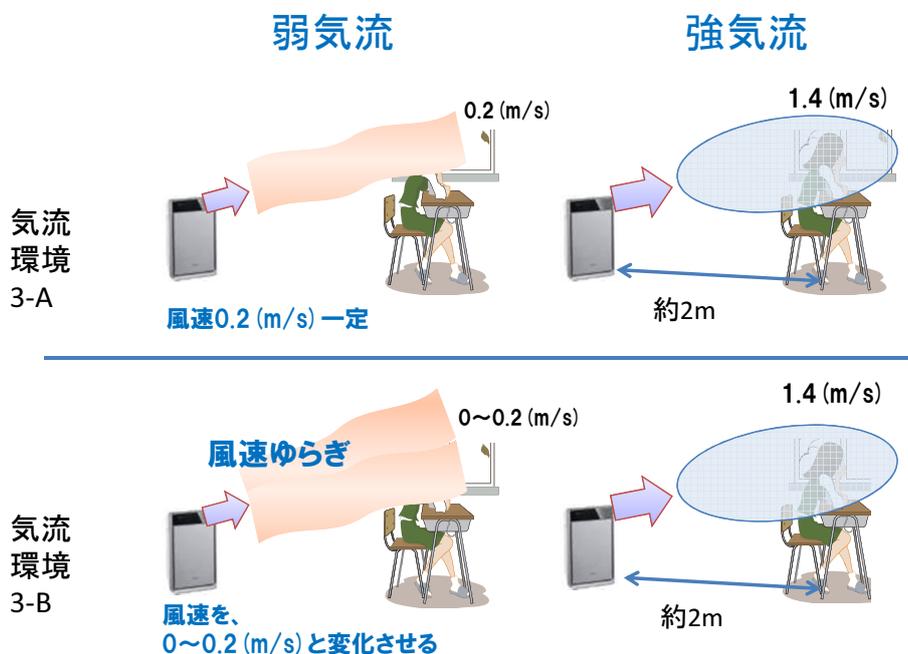


図 3.9: 試行実験3の気流環境

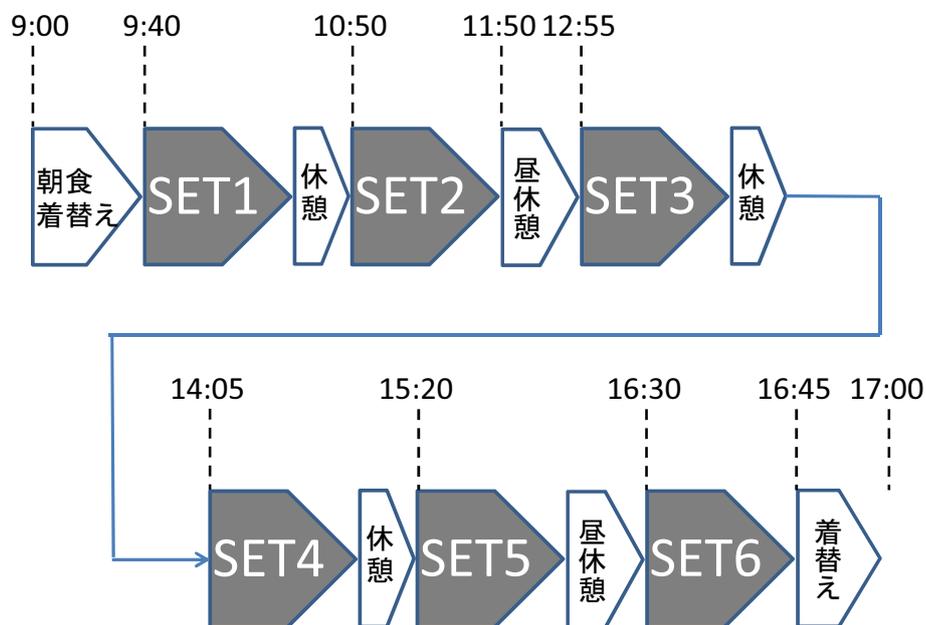


図 3.10: 試行実験 3 のプロトコル

表 3.6: 試行実験 3 の室内環境条件

室内温度	湿度	二酸化炭素濃度	騒音レベル	机上面照度	色温度
$26 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$	$70 \pm 10 \%$	700ppm 以下	57.2dB 以下	460lux	5000K

3.4 弱・強気流環境

本研究では、3.3節で述べた試行実験で実施したインタビューの結果を参考とし、弱気流と強気流を組み合わせた弱・強気流環境を提案する。弱・強気流環境の概要を図3.11に示す。弱気流は風速0~0.4(m/s)に設定し、送風中は風速が変化するように調整する。風速の変化の様子を図3.12に示す。風速は120秒で1サイクルとする。強気流は風速1.6(m/s)に設定する。風速は、執務者の頭部付近と同様の高さである床面から1.1mの高さでの風速を示す。強気流は10分に1回、20秒間送風した。気流を送風する空気清浄機は執務者の左側後方約2mの位置に設置し、弱気流は執務者の上半身周辺、強気流は後頭部左側から左肩に送風するように調整する。空気清浄機と執務者の位置関係を図3.13に示す。また、弱気流と強気流に期待する効果を以下に記す。

- 弱気流

- 常時、風速の遅い気流を送風し続けることで執務者周辺の空気を循環させ、執務者周辺の二酸化炭素濃度を低く保つとともに埃や塵を排除することで空気質を向上させる効果

- 強気流

- 執務中に時折、執務者の身体に直接強風を短時間だけ送風することで、覚醒度を向上させる効果

以上の弱気流・強気流を組み合わせた弱・強気流環境によって執務者の知的生産性を向上させる効果を期待する。

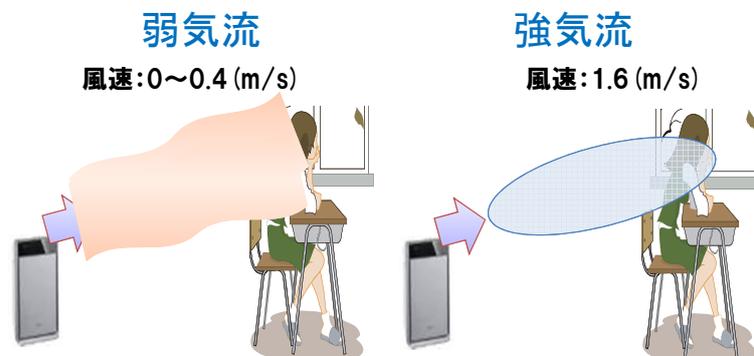


図 3.11: 弱・強気流環境

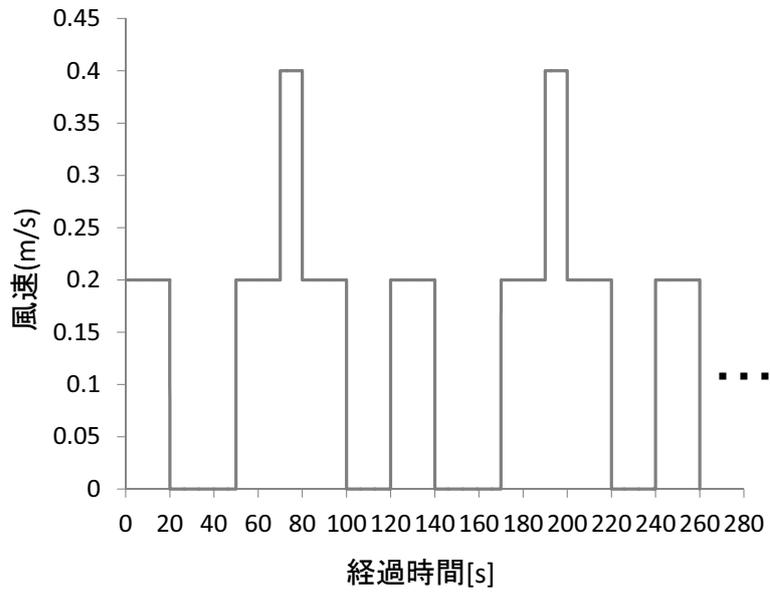


図 3.12: 風速の変化の様子

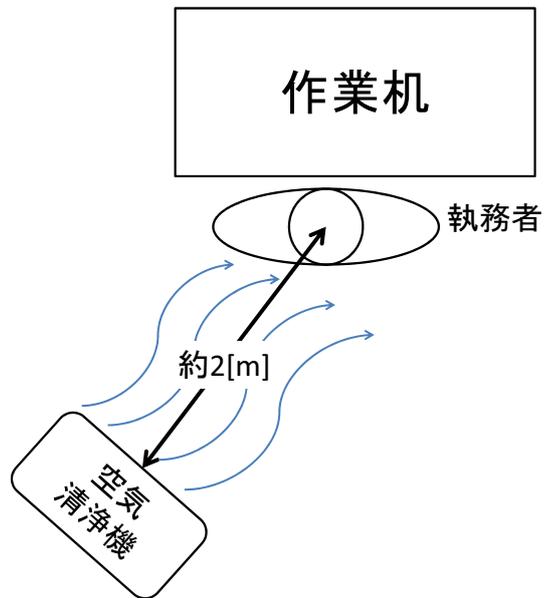


図 3.13: 真上から見た空気清浄機の位置

第 4 章 弱・強気流環境の評価実験

本章では、3章で提案した弱・強気流環境の知的生産性を向上させる効果を検証するために実施した評価実験について述べる。

4.1 実験の目的

評価実験では、本研究で提案する弱・強気流環境の知的生産性を向上させる効果を客観的かつ定量的に検証することを目的とする。

4.2 実験の方法

4.2.1 実験の概要

評価実験は、健康な大学生 28 名 (男性 12 名、女性 16 名) を対象に実施した。気流がない標準環境と本研究で提案する弱・強気流環境とで執務者の知的生産性に与える影響の違いを確認するために、本研究室で開発した CTR^[23] を用いて知的生産性を測定した。認知タスクは 3.3 節で記した伝票分類タスクを用いた。また、伝票分類タスクだけの作業の単調さを緩和するために数独タスクも実施した。図 4.1 に数独タスクを示す。数独タスクはパズルの一種であり、9×9 のマス目の中に 3×3 のマス目が 9 つ配置されている用紙を使用し、9×9 のマス目の縦列と横列、そして、3×3 のブロック内に重複なく 1~9 の数字を配置するタスクである。気流環境は、気流がない環境である「標準環境」と「弱・強気流環境」との 2 条件を設定した。そして、2 条件下での知的生産性を CTR を用いて、客観的かつ定量的に評価した。気流以外の環境が知的生産性の影響を与えることを防ぐために、室内温度、湿度、二酸化炭素濃度、机上面照度、色温度は実験期間中一定になるように統制した。

数独タスク (No.1-1)

参加者 ID _____

				9	5	1	3	
		6	8					
	8		7			3	9	
		5	9		4	8		
	7	1			6		2	
					1	4		
	2	7	6	3				

解答を終えたら、紙をめくって次の問題を解いてください

図 4.1: 数独タスクの例

4.2.2 環境条件

(1) 室内環境

実験室のレイアウトを図4.2に、実験中の実験参加者の様子を図4.3にそれぞれ示す。外光の影響を防ぐため、窓は遮光した。また、室温、湿度、机上面照度、照明の色温度は実験期間中は一定となるように統制した。加えて、照明の反射を抑制するため、灰色の布で机上面を覆った。実験室内の環境条件を表4.1に示す。気流を送風するための機材として空気清浄機 (Panasonic 社製、F-VXJ90-WZ) を使用した。机上面の配置図を図4.4に、机上面の写真を図4.5に示す。図4.3に示す実験参加者の正面と右側に設置されているようなついたては、空気清浄機から送風される気流が、本来送風される実験参加者だけではなく他の実験参加者にも送風されることがないように設置した。しかし、多くのオフィスではついたては設置されておらず、この作業環境は多くのオフィスと比較して視覚的外乱が少ない。そこで、評価実験では視覚的外乱として、図4.5に示すように本を20冊程度配置した。

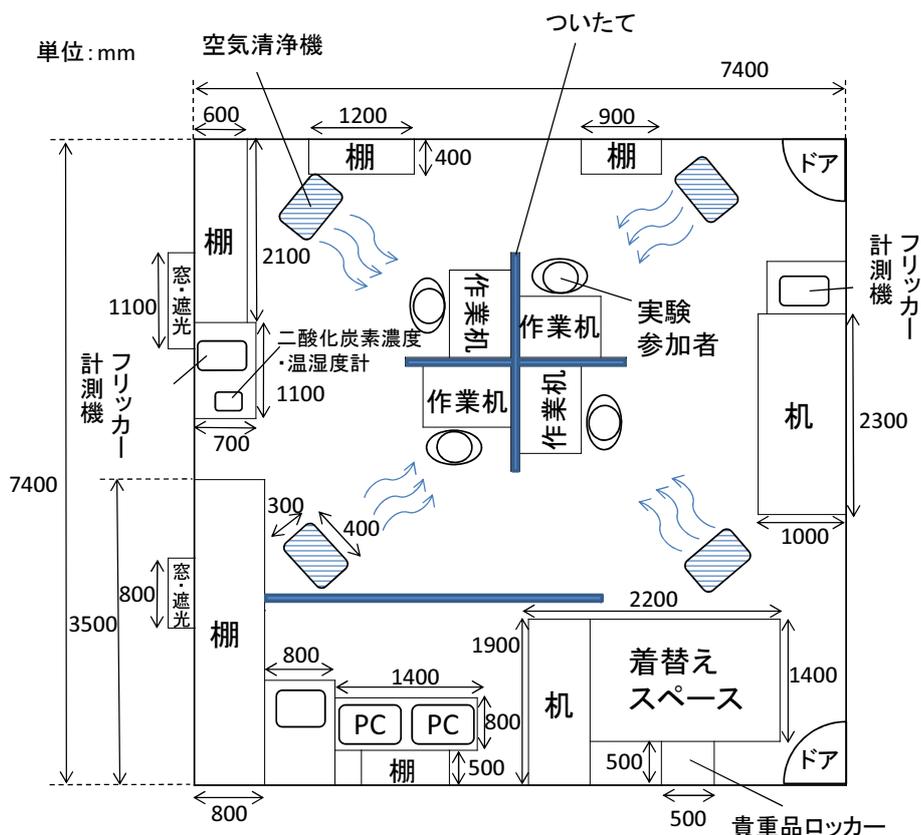


図 4.2: 実験室のレイアウト



図 4.3: 実験中の実験参加者の様子

表 4.1: 実験室の室内環境条件

室温	湿度	二酸化炭素濃度	騒音レベル	机上面照度	色温度
$26 \pm 1^{\circ}\text{C}$	$70 \pm 10\%$	700ppm 以下	57.2dB 以下	460lux	5000K

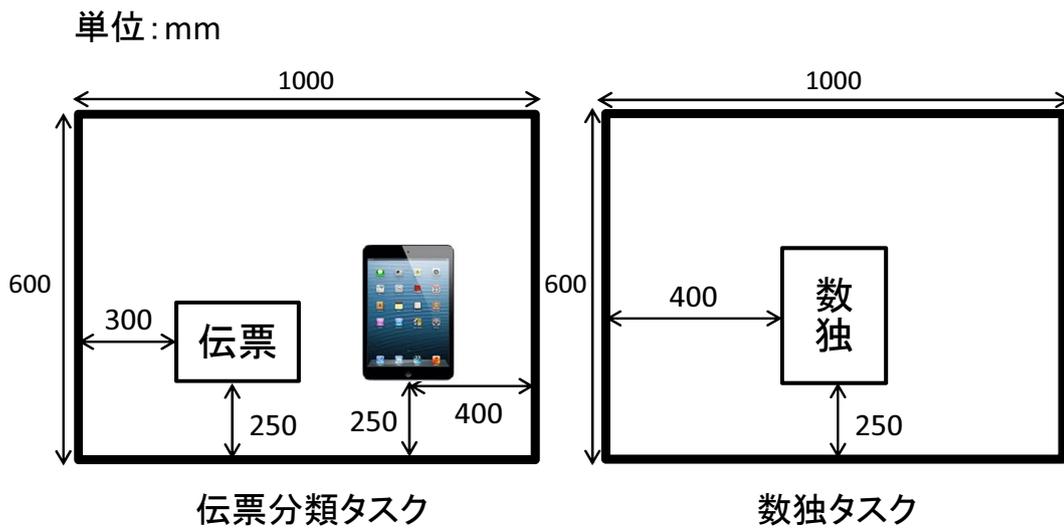
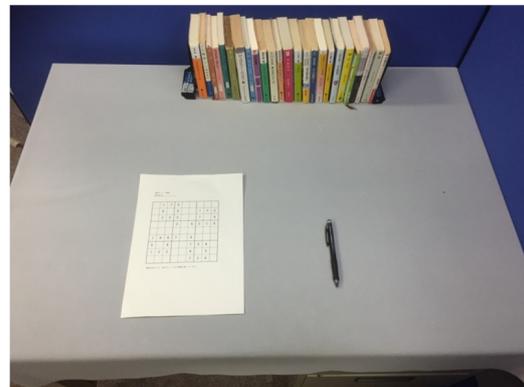


図 4.4: 机上の配置 (伝票分類タスク・数独タスク)



伝票分類タスク



数独タスク

図 4.5: 机上の写真 (伝票分類タスク・数独タスク)

(2) 気流環境

気流環境は、気流がない環境である「標準環境」と「弱・強気流環境」の2条件を設定した。実験で比較した気流環境の実施順を表4.2に示す。実験は月曜日から水曜日と木曜日から土曜日のそれぞれ3日間(以下、1日目、2日目、3日目と表記する)で実施した。1日目は、実験の説明と伝票分類タスクの作業の練習日とし、2日目と3日目で気流環境を1日1条件で実施した。また、実験参加者を1グループ4名の計7グループにグループ分けをし、グループ間で順序効果のカウンターバランスを取った。

表 4.2: 気流環境の実施順

	1日目	2日目	3日目
グループ1(男性)	説明・練習	標準環境	弱・強気流環境
グループ2(女性)	説明・練習	標準環境	弱・強気流環境
グループ3(男性)	説明・練習	弱・強気流環境	標準環境
グループ4(女性)	説明・練習	弱・強気流環境	標準環境
グループ5(男性)	説明・練習	標準環境	弱・強気流環境
グループ6(女性)	説明・練習	弱・強気流環境	標準環境
グループ7(女性)	説明・練習	標準環境	弱・強気流環境

4.2.3 実験参加者

実験参加者は健康な大学生 28 名 (男性 12 名、女性 16 名) であった。実験参加者の Body Mass Index の値は 18.5~25.0 に制限した。これは、実験参加者間で環境感度に差が生じるのを防ぐためである。28 名の実験参加者を男性・女性ごとに 7 つのグループに分け、それぞれグループ 1~7 とした。実験参加前に実験参加者に年齢と室内環境への耐性の主観評価アンケートを実施した。その結果を表 4.3 に示す。

4.2.4 実験手順

評価実験は、2014 年 8 月 4 日から 9 月 6 日にかけて、京都大学工学部 1 号館 233 号室で行った。各グループの実験参加者は連続する 3 日間の実験に参加した。実験のプロトコルを図 4.6 に示す。実験では、実際のオフィスにおける勤務時間を想定するため、実験参加時間を各日 9 時から 17 時とした。いずれの実験参加者も初日に実験の説明を受けた後にタスクの練習を行い、2、3 日目に気流環境を変えてタスクを実施し、その知的生産性を計測した。図 4.6 の SET1~3 は伝票分類タスク 45 分間、数独タスク 20 分間及び SET 終了後のアンケート類から構成される。伝票分類タスクの 45 分間は、「9 時から 17 時まで作業すると仮定して、疲れない程度のペースで作業して下さい」と教示した。各日最後の SET4 は、1 日の最後の作業で作業意欲が向上する終末効果の対策のために実施することから解析対象外とする。また、数独タスクは、伝票分類タスクだけ実施することによる作業の単調さを軽減するために実施することから、解析対象外とした。最終日の 4SET 目には実験参加者インタビューを実施し、3 日間を通しての感想などをヒアリングした。

実験中は、実験参加者の生活統制を行った。以下に、生活統制をした内容を以下に記す。

- 朝食、昼食と飲物は実験者から支給した。
- 実験期間中はカフェインの含まれる飲食物は接種しないように教示した。
- 規則正しい生活を送るように統制するため、実験参加者には帰宅時に活動量計を模した機材を装着するように教示した。

表 4.3: 実験参加者の属性 (グループ分け・年齢・環境耐性)

実験グループ	実験参加者 No.	性別	年齢	暑さ	寒さ	湿気	乾燥	騒音	振動	風圧	悪臭	刺激臭	塵・埃
グループ1	1	男性	21	やや弱い	普通	弱い	やや強い	普通	やや弱い	普通	弱い	弱い	弱い
	2	男性	18	弱い	やや強い	とても弱い	やや弱い	普通	普通	普通	やや弱い	やや弱い	普通
	3	男性	21	やや弱い	やや弱い	やや弱い	やや強い	やや強い	普通	普通	やや強い	やや強い	弱い
	4	男性	20	とても弱い	やや強い	やや弱い	やや弱い	弱い	やや弱い	やや強い	とても弱い	とても弱い	とても弱い
グループ2	5	女性	20	強い	強い	普通	普通	やや弱い	やや弱い	普通	普通	やや弱い	普通
	6	女性	20	普通	普通	やや弱い	普通	やや強い	普通	普通	やや弱い	やや弱い	やや弱い
	7	女性	20	弱い	弱い	普通	普通	普通	普通	普通	弱い	普通	普通
	8	女性	21	普通	弱い	普通	普通	普通	普通	普通	弱い	弱い	普通
グループ3	9	男性	20	やや強い	やや弱い	やや強い	やや強い	普通	やや強い	強い	強い	普通	やや弱い
	10	男性	23	強い	やや強い	やや強い	普通	やや弱い	普通	やや強い	弱い	弱い	とても弱い
	11	男性	21	やや強い	普通	やや強い	やや強い	やや強い	やや強い	やや強い	弱い	弱い	やや強い
	12	男性	21	普通	強い	やや弱い	やや強い	弱い	やや弱い	普通	とても弱い	とても弱い	弱い
グループ4	13	女性	25	普通	弱い	弱い	普通	普通	普通	普通	弱い	弱い	普通
	14	女性	21	普通	やや弱い	普通	やや弱い	弱い	やや強い	普通	強い	強い	やや強い
	15	女性	19	やや弱い	普通	普通	普通	やや強い	普通	普通	普通	普通	普通
	16	女性	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
グループ5	17	男性	20	弱い	弱い	とても強い	普通	とても弱い	弱い	やや強い	普通	やや弱い	やや強い
	18	男性	19	やや弱い	やや強い	やや弱い	やや弱い	やや強い	やや強い	強い	普通	普通	やや弱い
	19	男性	23	弱い	普通	普通	普通	普通	普通	普通	やや弱い	やや弱い	やや弱い
	20	男性	22	やや弱い	やや強い	弱い	強い	普通	やや強い	やや強い	やや弱い	弱い	普通
グループ6	21	女性	21	やや弱い	普通	やや弱い	普通	やや弱い	普通	普通	弱い	弱い	弱い
	22	女性	18	普通	弱い	普通	普通	やや弱い	普通	普通	弱い	弱い	普通
	23	女性	21	やや弱い	弱い	普通	弱い	やや弱い	普通	普通	普通	やや弱い	弱い
	24	女性	21	とても弱い	弱い	弱い	普通	やや強い	強い	強い	普通	普通	やや弱い
グループ7	25	女性	19	やや強い	普通	やや強い	やや弱い	弱い	弱い	普通	普通	普通	普通
	26	女性	19	弱い	やや弱い	やや弱い	弱い	普通	普通	普通	やや弱い	やや弱い	やや弱い
	27	女性	21	普通	弱い	普通	やや弱い	普通	普通	普通	弱い	弱い	弱い
	28	女性	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

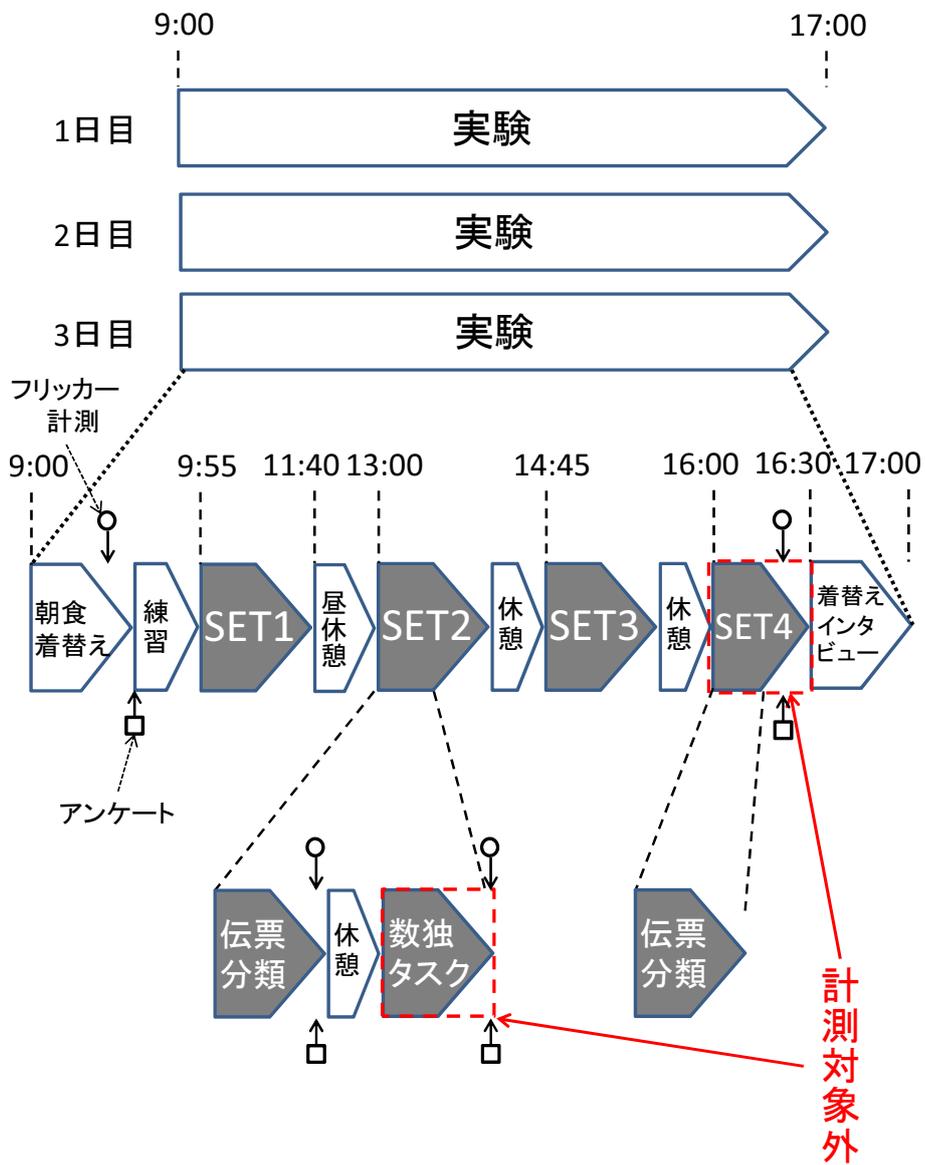


図 4.6: 評価実験の Protokol

4.2.5 計測項目

評価実験では、CTR、生理的脳疲労、主観的疲労、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 CTR の計測以外に複数の計測項目を設けたのは、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。以下に計測項目の詳細を述べる。

(1)CTR

本研究室で開発した CTR を知的生産性の評価指標として用いた^[24]。CTR とは、1 問あたりの解答時間から、タスクを行った一定時間内にどれだけ集中状態にあったかを示す指標である。内山らの研究によって、CTR がタスクへの習熟の影響を受けないことが明らかにされている^[24]。CTR によって、認知タスクの計測データから執務者の集中した時間の比率を算出でき、それにより、知的生産性の客観的かつ定量的な評価が可能となる。また、集中した時間の比率を算出することで評価することから、認知タスクの難易度には依存しない。

CTR 計測の原理である河野らの開発した知的生産性変動モデル^[25]を図 4.7 に示す。これは作業中の執務者の認知状態をモデル化したものである。作業が進行している作業状態と無意識のうちに作業が中断している短期中断状態を合わせて集中状態と定義し、意識的な休息をとっている長期休息状態を非集中状態と定義している。図 4.8 に、認知タスクの解答時間ヒストグラムと作業処理状態との関係図を示す。3 状態知的生産性変動モデルでは、作業状態と短期中断状態の 2 状態が遷移確率が一定のマルコフモデルを形成すると仮定している。このことから、図 4.8 に示すように、作業状態と短期中断状態のみからなる解答時間分布は、対数正規分布の形で示すことができる。すなわち、解答時間の短い部分である対数正規分布が集中状態となり、作業状態と短期中断状態のみを含む。対数正規分布以外の解答時間の長い部分では、作業状態と短期中断状態に加え、長期休息状態が含まれる。

この集中状態を対数正規分布に近似するために、本指標では 1 問あたりの解答時間の累積分布を、対数正規分布の累積分布関数で近似する。その際の評価方法として、実験値とシミュレーション値がどれだけ近い関数値になっているかを示す相関係数を算出する。図 4.9 に、相関係数が最も高い場合のシミュレーション値の実験値への近似を示す。本研究では、内山らの開発した CTR 解析ツール^[24]を用いて知的生産性を算出した。このツールにより、認知タスク 1 問あたりの解答時間を記録したファイルを選択することで解析を行い、結果の出力が可能である。図 4.10 に CTR 算出ツールの操作画面の例を示す。

本研究室で開発した評価ツールを使用するにあたって、入力データとなる知的生産性を計測するための認知タスクが必要である。評価実験では、対象をオフィスワーカーとして設定しており、オフィスワーカーに必要な能力である言語能力、計算能力、判断能力の3つを兼ね備えたタスクであることから3.3節で記した伝票分類タスクを使用した。

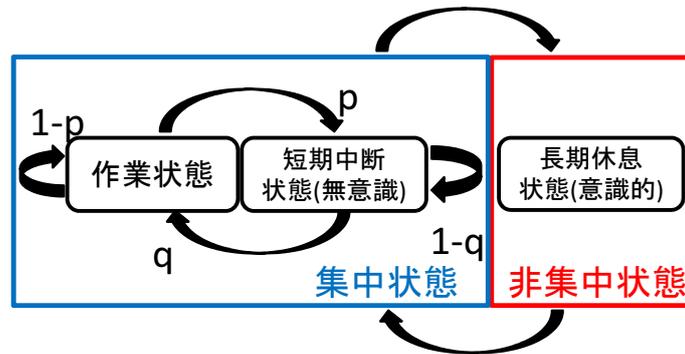


図 4.7: 知的生産性変動モデル

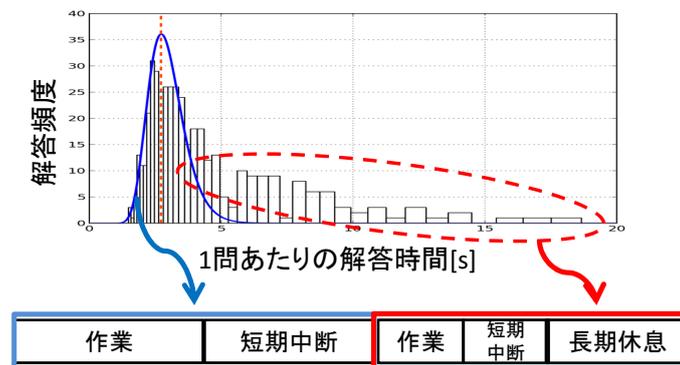


図 4.8: 解答時間ヒストグラムと作業処理状態との関係

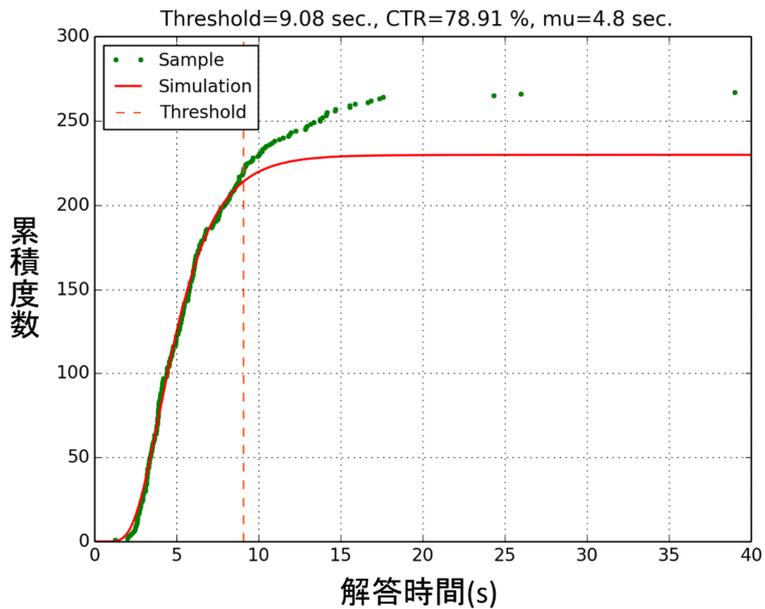


図 4.9: 累積実験値へのシミュレーションによる近似

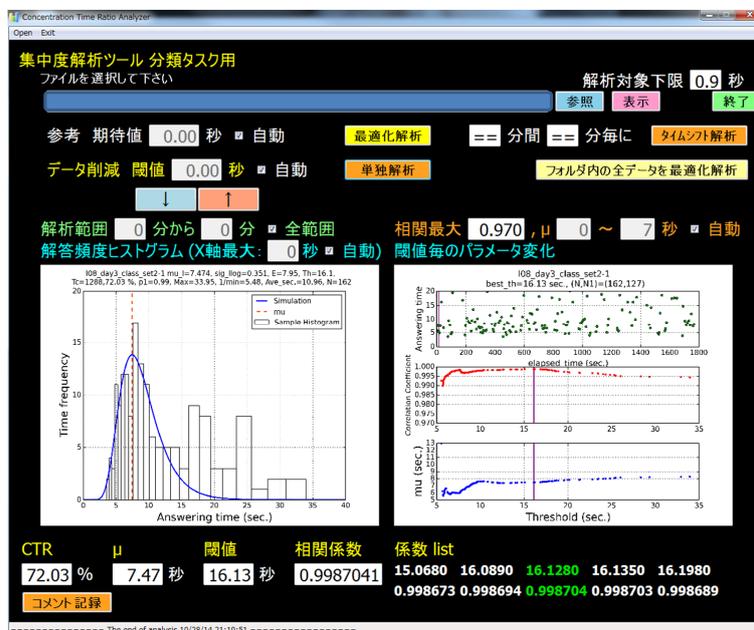


図 4.10: 集中時間比率 CTR 算出ツールの操作画面の例

(2) 生理的脳疲労

生理的脳疲労が気流環境の変化によって受ける影響を確認するために、実験開始前、SET1 伝票分類タスク終了時、SET1 数独タスク終了時、昼休憩終了時、SET2 伝票分類タスク終了時、SET2 数独タスク終了時、SET3 伝票分類タスク終了時、SET4 伝票分類タスク終了時に臨界融合周波数 (Critical Flicker Frequency; 以下、フリッカー値) を計測した。フリッカー値とは、高頻度に明滅する光を見せ、光の明滅の周波数が時間が経つにつれ変化する際に、視覚が光の明滅を感知できる周波数の限界値を指す。大脳皮質が疲労すると臨界融合周波数が低下するという性質を持つため、疲労の指標として利用されている^[26]。評価実験では、周波数を低下させていき、限界値で止めるというダウンシーケンスでフリッカー値を計測した。なお、フリッカー値の計測結果は、値の誤差が容易に発生するために、平均値ではなく中央値を結果として用いた。3回の計測のうち、1回だけ限界値で止めるのが早くなる、もしくは、遅くなることで他の2回と大きく違う値が計測された際も、中央値を結果として用いることで、誤差なく計測できる。

(3) 主観的疲労

疲労感や覚醒度が気流環境によって受ける影響を確認するために、日本産業衛生協会・産業疲労研究会が考案した自覚症しらべ^[27]を実施した。自覚症しらべは、ねむけ感、不安定感、不快感、だるさ感とぼやけ感の5項目に関して各5問計25問の質問項目があり、これに対して、1:まったくあてはまらない、2:わずかにあてはまる、3:少しあてはまる、4:かなりあてはまる、5:非常にあてはまるの5段階で回答し、各項目の合計点で評価する。本実験では、作業前後の覚醒度と眼疲労の変化を調べるために表4.4に示すねむけ感とぼやけ感の2項目についてのアンケートをiPadを用いて各タスクの直後に計測した。アンケート画面を図4.11に示す。

表 4.4: 計測した自覚症しらべの項目

1 群：ねむけ感	5 群：ぼやけ感
ねむい	目がしょぼつく
横になりたい	目がつかれる
あくびがでる	目がいたい
やる気がとぼしい	目がかわく
全身がだるい	ものがぼやける

自覚症しらべ

開始

	まったく あてはまらない	わずかに あてはまる	少し あてはまる	かなり あてはまる	非常によく あてはまる
頭がおもい	●	●	●	●	●
いらいらする	●	●	●	●	●
目がかたく	●	●	●	●	●
気分がわるい	●	●	●	●	●
おちついた気分だ	●	●	●	●	●
頭がいたい	●	●	●	●	●
目がいたい	●	●	●	●	●
肩がこる	●	●	●	●	●
頭がぼんやりする	●	●	●	●	●
あくびがでる	●	●	●	●	●
手や指がいたい	●	●	●	●	●
めまいがする	●	●	●	●	●
ねむい	●	●	●	●	●
やる気がとぼしい	●	●	●	●	●
不安な感じがする	●	●	●	●	●
ものがぼやける	●	●	●	●	●
全身がだるい	●	●	●	●	●
ゆうつな気分だ	●	●	●	●	●
腕がだるい	●	●	●	●	●
考えがまとまりにくい	●	●	●	●	●
横になりたい	●	●	●	●	●
目がつかれる	●	●	●	●	●
腰がいたい	●	●	●	●	●
目がしょぼつく	●	●	●	●	●
足がだるい	●	●	●	●	●

入力完了

図 4.11: 自覚症しらべの回答画面

(4) 室内環境の主観評価

心理面への室内環境の影響を調べるために、各SETの直後に気流環境の主観評価のアンケートをiPadを用いて実施した。アンケート画面を図4.12に示す。現在の室内環境について感じる印象について、20項目に関して、7段階で回答し評価した。図4.12に示す7段階評価の左の「非常に」を7、右の「非常に」を1と点数化し、スコアを算出する。

室内環境評価アンケート

現在の室内環境について感じる印象を選んでください。

開始

	非常に	かなり	やや	どちら でもない	やや	かなり	非常に
乾燥する	<input type="radio"/>						
(湿度が)快適	<input type="radio"/>						
(全身が)暑い	<input type="radio"/>						
(顔付近が)暑い	<input type="radio"/>						
(足元が)暑い	<input type="radio"/>						
(室温)快適	<input type="radio"/>						
空気が よどんでいる	<input type="radio"/>						
ほこりっぽい	<input type="radio"/>						
空気が循環	<input type="radio"/>						
風圧を感じる (空気の動き)	<input type="radio"/>						
快適	<input type="radio"/>						
悪臭がする	<input type="radio"/>						
(室内の音) うるさい	<input type="radio"/>						
(室外の音) うるさい	<input type="radio"/>						
(照明)明るい	<input type="radio"/>						
(照明)快適	<input type="radio"/>						
集中しやすい (部屋全体)	<input type="radio"/>						
快適	<input type="radio"/>						
眠くなる (部屋の環境)	<input type="radio"/>						
好き	<input type="radio"/>						
じめじめする	<input type="radio"/>						
不快	<input type="radio"/>						
寒い	<input type="radio"/>						
寒い	<input type="radio"/>						
不快	<input type="radio"/>						
すんでいる	<input type="radio"/>						
ほこりっぽくない	<input type="radio"/>						
停滞	<input type="radio"/>						
感じない	<input type="radio"/>						
不快	<input type="radio"/>						
悪臭がしない	<input type="radio"/>						
しずか	<input type="radio"/>						
しずか	<input type="radio"/>						
暗い	<input type="radio"/>						
不快	<input type="radio"/>						
集中しにくい	<input type="radio"/>						
不快	<input type="radio"/>						
目が覚める	<input type="radio"/>						
嫌い	<input type="radio"/>						

入力完了

図 4.12: 室内環境に関するアンケート画面

(5) 個人特性

実験参加者の個人特性が集中へ及ぼす影響を確認するために、KG 式日常生活質問紙^[28]、STAI^[29]、朝型夜型診断^[30]を実施した。

KG 式日常生活質問紙は、日常の行動に関する 55 項目の質問に関して、はい・いいえ・どちらでもないの 3 段階で回答し、その合計点より、活動性と関連のあるタイプ A、タイプ B を判別する。タイプ A 行動パターンは、Friedman と Rosenman により提唱された活動性の指標^[31]で、それぞれ次に示す特徴を持つ。

- タイプ A 行動パターン

- 競争心が強く攻撃的である
- 時間切迫感が強い
- ストレス環境に対して過剰な反応を示す
- 社会的に認められ、賞賛されたいと考えている

- タイプ B 行動パターン

- タイプ A 行動パターンの正反対の傾向。つまり、競争心、時間切迫感、社会的地位への欲求などがタイプ A 行動パターンと比較して少ない行動パターンである

STAI とは、現在の不安である状態不安と、普段からの不安である特性不安を測定するテストである。全 40 項目のうち、前半の 20 項目は状態不安検査であり、後半の 20 項目は特性不安検査である。各項目において、1 : 全くあてはまらない、2 : いく分あてはまる、3 : かなりよくあてはまる、4 : 非常によくあてはまる、の 4 段階で回答し、合計点による不安を 5 段階に分類する。

朝型夜型診断は、朝型度を点数化するアンケートである。普段の生活リズムなどに関する 19 項目の質問があり、それぞれの項目について点数が割り振られている。その合計点より朝型度を算出し、超朝型、朝型、中間型、夜型、超夜型に分類する。

4.3 実験結果と考察

評価実験では、実験の教示を守らず適切に作業に取り組まなかった実験参加者や実験期間中に体調不良であった実験参加者の合計 9 名を計測対象外とした。このため、そ

れ以外の 19 名の実験参加者の結果を解析の対象とした。解析対象外とした実験参加者の番号と解析対象外にした理由を表 4.5 に示す。

表 4.5: 解析対象外とした理由

実験参加者 No.	解析対象外の理由
5	作業中に居眠りをしていた。
6	悪い姿勢で作業をしていた。
11	実験期間中に体調不良であった。
13	実験期間中に体調不良であった。
16	作業中に居眠りをしていた。
19	実験期間中に体調不良であった
26	作業中に居眠りをしていた。
27	作業中に居眠りをしていた。
28	実験期間中に体調不良であった。

4.3.1 伝票分類タスク実施時の CTR

伝票分類タスクを実施し得られた解答時間データから、4.2.5 項で述べた手法により CTR を算出した。伝票分類における全実験参加者の CTR を表 4.6 と表 4.7 に示す。また、各気流環境ごとの比較を図 4.13 に示し、標準環境と弱・強気流環境での CTR の平均を表 4.8 に示す。標準環境下と弱・強気流環境下の CTR を対のある両側 t 検定で比較したところ、弱・強気流環境下での CTR が標準環境下での CTR と比較して、6.5%ポイント有意に高く ($p < 0.001$)、その向上率は 11.9%であった。

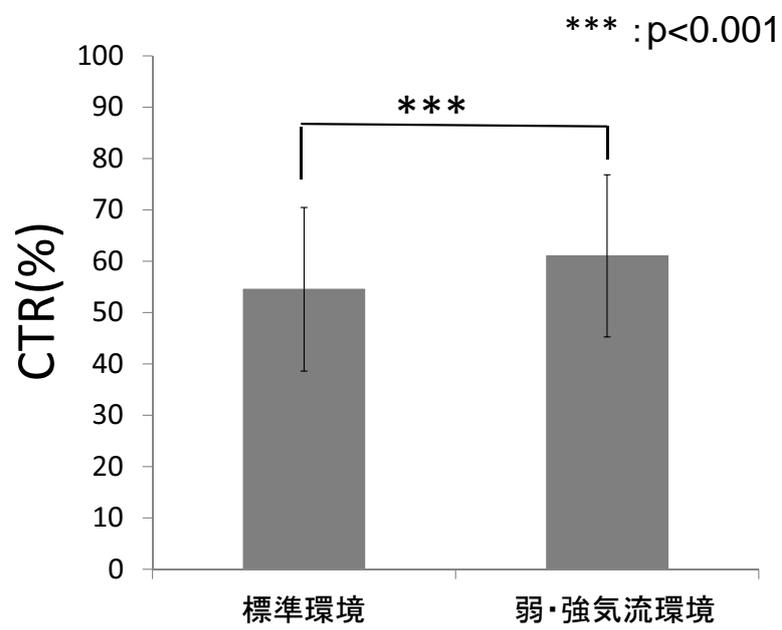


図 4.13: 伝票分類タスク実施時の CTR の全実験参加者の平均値の環境間比較

表 4.6: グループ1~4の実験参加者のCTR

	実験参加者 No.	SET 番号	標準環境 (%)	弱・強気流環境 (%)
グループ1	1	1	61.2	58.6
		2	64.1	62.1
		3	53.3	59.4
	2	1	61.5	72.9
		2	63.0	64.5
		3	58.7	59.4
	3	1	69.8	48.7
		2	66.4	69.6
		3	53.5	72.4
	4	1	43.6	40.0
		2	63.6	61.7
		3	45.6	65.4
グループ2	5	1	-	-
		2	-	-
		3	-	-
	6	1	-	-
		2	-	-
		3	-	-
	7	1	44.8	66.9
		2	49.4	31.3
		3	24.4	40.9
	8	1	35.8	48.8
		2	40.1	48.7
		3	45.4	48.3
グループ3	9	1	77.7	82.2
		2	43.3	61.0
		3	50.6	54.7
	10	1	43.1	72.0
		2	51.2	59.9
		3	53.0	50.1
	11	1	-	-
		2	-	-
		3	-	-
	12	1	48.2	62.7
		2	43.8	62.0
		3	49.7	66.5
グループ4	13	1	-	-
		2	-	-
		3	-	-
	14	1	72.1	77.5
		2	-	-
		3	58.5	76.0
	15	1	44.9	38.0
		2	59.2	41.9
		3	33.5	44.9
	16	1	-	-
		2	-	-
		3	-	-

表 4.7: グループ5~7の実験参加者のCTR

	実験参加者 No.	SET 番号	標準環境 (%)	弱・強気流環境 (%)
グループ5	17	1	63.9	73.5
		2	49.2	75.7
		3	61.2	69.2
	18	1	37.9	89.9
		2	33.5	57.7
		3	84.9	87.4
	19	1	-	-
		2	-	-
		3	-	-
	20	1	57.7	69.2
		2	62.9	60.6
		3	54.0	59.5
グループ6	21	1	87.9	86.1
		2	84.9	79.6
		3	82.4	79.6
	22	1	76.6	71.0
		2	43.8	49.1
		3	69.2	77.9
	23	1	75.7	76.7
		2	73.1	66.8
		3	67.0	79.0
	24	1	21.2	26.1
		2	23.9	13.9
		3	21.8	33.6
グループ7	25	1	56.1	60.6
		2	45.8	51.4
		3	47.3	56.6
	26	1	-	-
		2	-	-
		3	-	-
	27	1	-	-
		2	-	-
		3	-	-
	28	1	-	-
		2	-	-
		3	-	-

表 4.8: 知的生産性の比較

CTR 平均値 (弱・強気流環境)(%)	CTR 平均値 (標準環境)(%)	CTR 平均値の差	向上率
61.1	54.6	6.5 ポイント***	11.9 %

*** : $p < 0.001$

4.3.2 生理的脳疲労

標準環境と弱・強気流環境でのフリッカー値測定の実験参加者のスコアの平均値とその比較を図 4.14 に示す。実験開始前、SET1 伝票分類タスク終了時、SET1 数独タスク終了時、昼休憩終了時、SET2 伝票分類タスク終了時、SET2 数独タスク終了時、SET3 伝票分類タスク終了時、SET4 伝票分類タスク終了時のスコアをそれぞれ対のある両側 t 検定で比較し、有意差があるかを調べた。SET1 数独タスク終了時のスコアは、昼休憩終了時、SET2 伝票分類タスク終了時、SET2 数独タスク終了時のスコアと比較して有意に高い傾向があった。加えて、SET1 伝票分類タスク終了時のスコアは昼休憩終了時のスコアと比較して有意に高い傾向があった。つまり、伝票分類タスクと数独タスクを続けることで脳系の疲労が蓄積されたと考えられる。しかし、フリッカー値の変動は小さいため、脳系の疲労は CTR に差を与えない程度であったと考えられる。

次に、標準環境と弱・強気流環境それぞれでのフリッカー値測定の実験参加者の平均のスコアをそれぞれ図 4.15、図 4.16 に示す。実験開始前、SET1 伝票分類タスク終了時、SET1 数独タスク終了時、昼休憩終了時、SET2 伝票分類タスク終了時、SET2 数独タスク終了時、SET3 伝票分類タスク終了時、SET4 伝票分類タスク終了時をそれぞれ対のある両側 t 検定で比較した。標準環境で、SET1 数独タスク終了時のスコアは、SET2 数独タスク終了時のスコアと比較して有意に高い傾向があった。一方、弱・強気流環境では、実験開始前、SET1 伝票分類タスク終了時、SET1 数独タスク終了時、昼休憩終了時、SET2 伝票分類タスク終了時、SET2 数独タスク終了時、SET3 伝票分類タスク終了時、SET4 伝票分類タスク終了時の間で脳疲労に差は確認できなかった。この結果より、弱・強気流環境は、脳疲労が蓄積されにくい環境である可能性が考えられる。

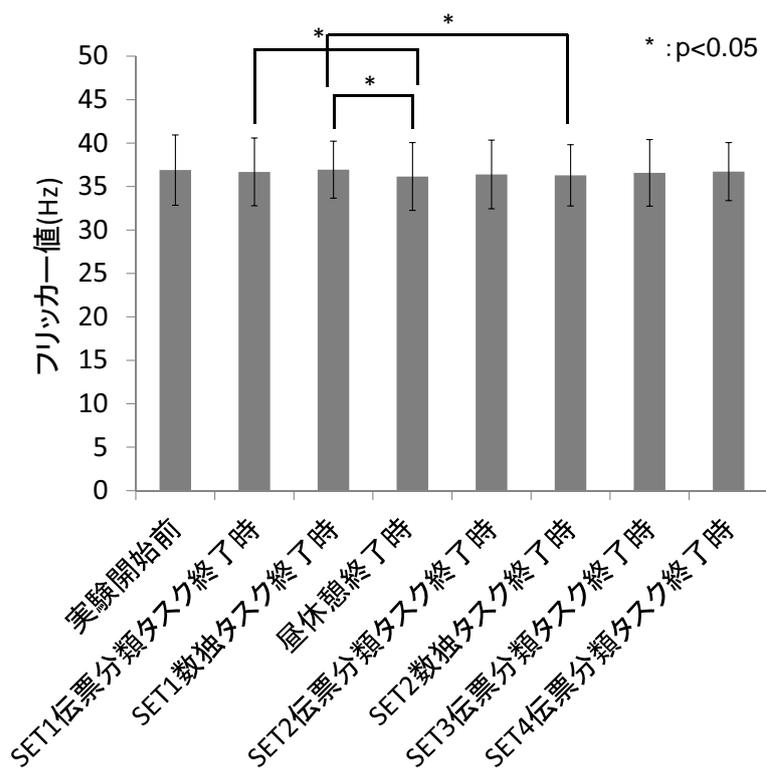


図 4.14: フリッカー値 (全実験参加者の平均値)

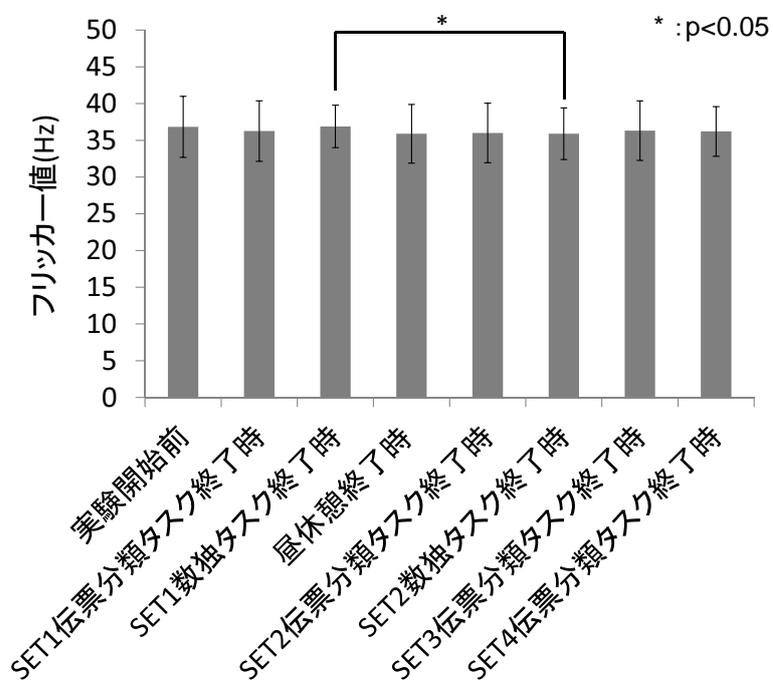


図 4.15: フリッカー値 (標準環境)

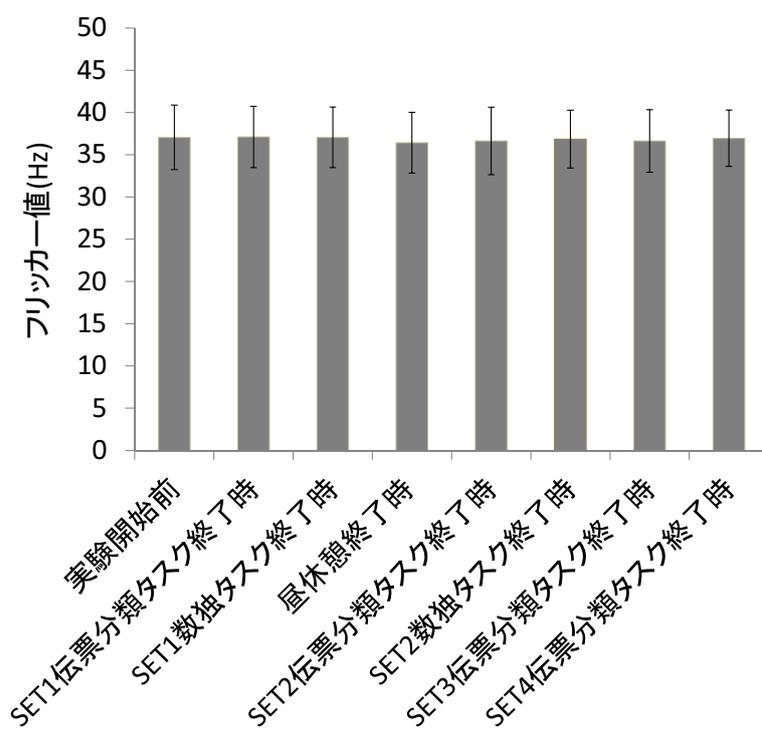


図 4.16: フリッカー値 (弱・強気流環境)

4.3.3 主観的疲労

SET1 伝票分類タスク終了時、SET1 数独タスク終了時、昼休憩終了時、SET2 伝票分類タスク終了時、SET2 数独タスク終了時、SET3 伝票分類タスク終了時、SET4 伝票分類タスク終了時の自覚症しらべのスコアを図 4.17、図 4.18 に示す。それぞれのデータ間に差があるのかを調べるため、対のある両側 t 検定で比較し、それぞれの間の有意差を調べた。

ねむけ感では、昼休憩終了時、SET2 伝票分類タスク終了時、SET2 数独タスク終了時、SET3 伝票分類タスク終了時、SET4 伝票分類タスク終了時のスコアは、SET1 数独タスク終了時のスコアと比較して有意に高くなっていた。これは、伝票分類タスクが単調な作業であることから、ねむけが誘発されたためだと考えられる。また、SET1 伝票分類タスク終了時のスコアは SET1 数独タスク終了時と比較して有意に高くなっていた。これは、単調な作業である伝票分類タスクによって生じたねむけが、数独タスクによって緩和されたことが原因だと考えられる。さらに、実験参加者インタビューの結果より、多くの実験参加者が、数独タスクの方が伝票分類タスクと比較して高いモチベーションで作業に取り組めたと意見しており、実験参加者のモチベーションの向上がねむけを緩和させたと考えられる。また、SET3 伝票分類タスク終了時のスコアは SET4 伝票分類タスク終了時と比較して、有意に高くなっていた。これは、SET4 の伝票分類タスクは一日の最後の SET であり、終末効果によってモチベーションが向上し、ねむけが緩和されたことが原因だと考えられる。

ぼやけ感では、SET1 数独タスク終了時のスコアが、SET2 伝票分類タスク終了時、SET2 数独タスク終了時、SET3 伝票分類タスク終了時、SET4 伝票分類タスク終了時のスコアと比べて有意に高い結果となった。これは、iPad を注視して作業を行い、伝票と iPad を交互に注視する作業によって、目の疲労が蓄積されたことが原因だと考えられる。また、SET1 伝票分類タスク終了後のスコアは SET1 数独タスク終了時と比較して有意に高く、SET2 伝票分類タスク終了時のスコアは SET2 数独タスク終了時と比較して高く、加えて、SET3 伝票分類タスク終了時のスコアは SET2 数独タスク終了時と比較して高かった。これは、作業の種類が伝票と iPad を交互に注視する伝票分類タスクから紙を用いて行う数独タスクに変化したことで、目の疲れが緩和されたことが原因だと考えられる。

次に、気流環境間における自覚症しらべのスコアを図 4.19、図 4.20 に示す。各データを、それぞれ対のある両側 t 検定で比較した。その結果、ねむけ感とぼやけ感ともに弱・強気流環境のスコアは標準環境と比較して高かったが、有意な差はなかった。

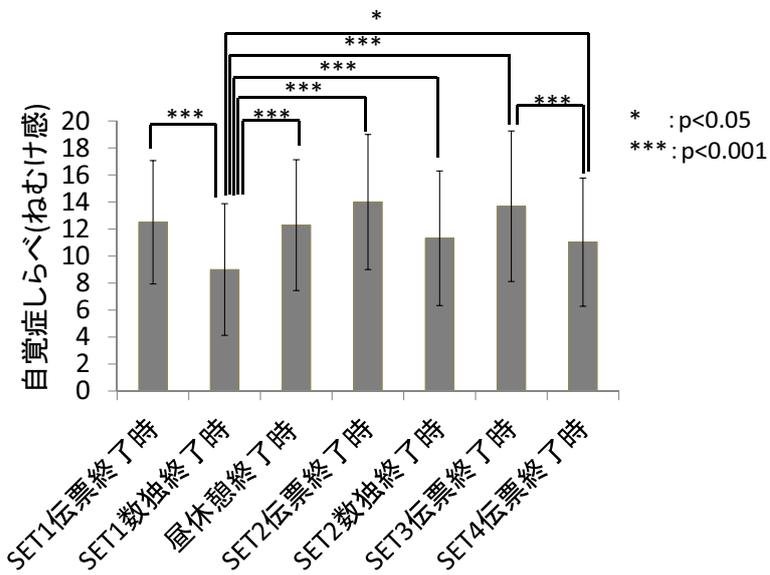


図 4.17: 自覚症しらべ (ねむけ感) のスコアの全 SET と昼休憩終了時間の比較

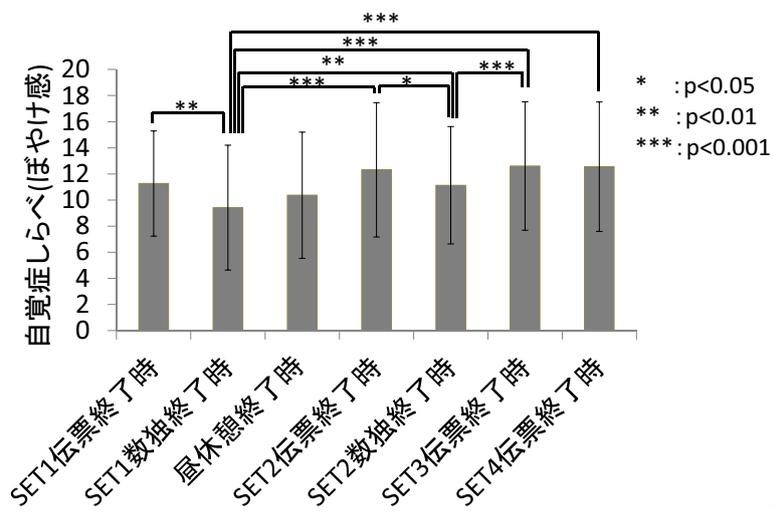


図 4.18: 自覚症しらべ (ぼやけ感) のスコアの全 SET と昼休憩終了時間の比較

.eps

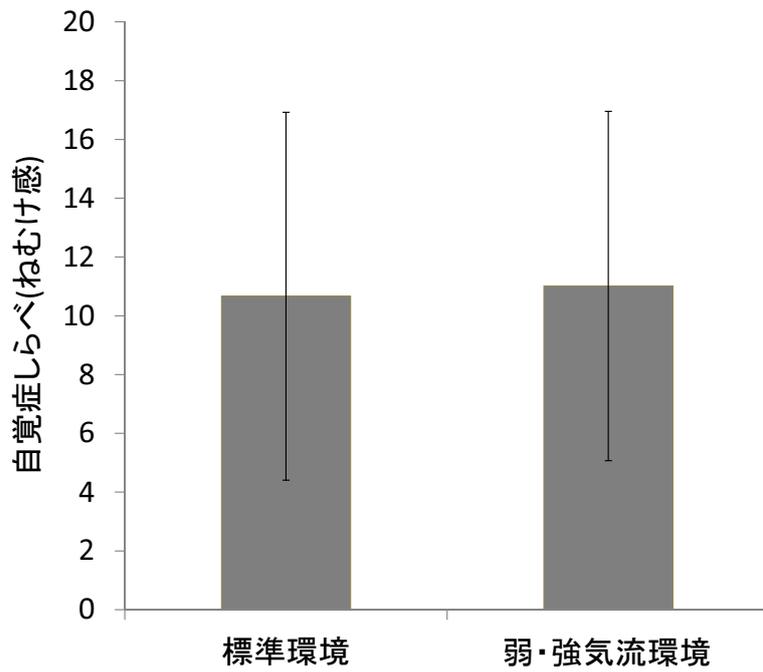


図 4.19: 自覚症しらべ (ねむけ感) のスコアの環境間比較

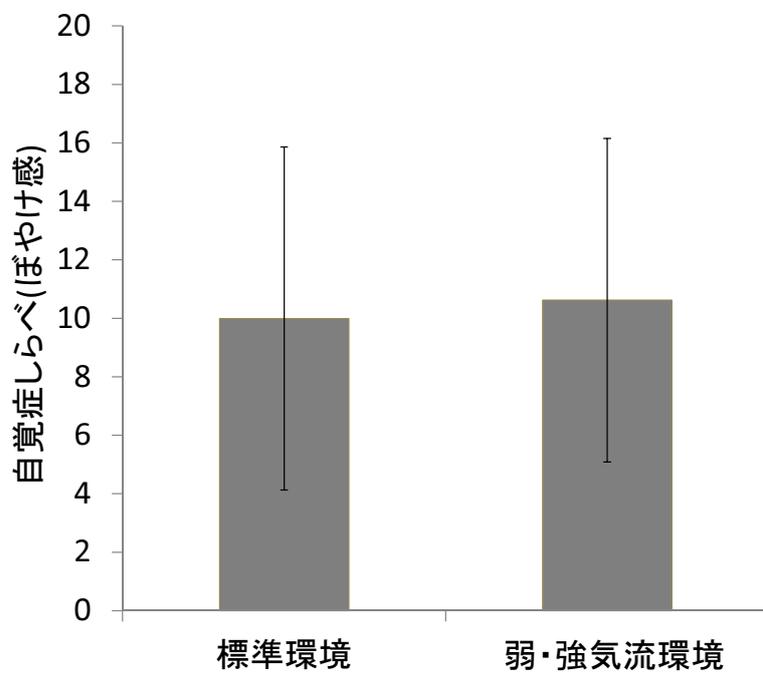


図 4.20: 自覚症しらべ (ぼやけ感) のスコア環境間比較

4.3.4 室内環境の主観評価

各気流環境間での室内環境の主観評価を比較した結果として、「部屋環境が好き」と「眠くなる」を図4.21に、「部屋全体が快適」と「集中しやすい」を図4.22に、「照明が快適」と「照明が明るい」を図4.23に、「室外音がうるさい」と「室内音がうるさい」を図4.24に、「悪臭がする」と「気流が快適」を図4.25に、「風圧を感じる」と「空気が循環している」を図4.26に、「ほこりを感じる」、「空気が澱んだ」を図4.27に、「室温が快適」、「足元が暑い」を図4.28に、「顔付近が暑い」、「全身が暑い」を図4.29に、「湿度が快適」、「湿度が乾燥」を図4.30にそれぞれ示す。

「室内音がうるさい」、「風圧を感じる」、「空気が循環」では、弱・強気流環境の主観評価結果は標準環境と比較して、有意に高かった。加えて、「気流が快適」、「室温が快適」、「湿度が乾燥」では、弱・強気流環境の主観評価結果は標準環境と比較して有意に高い傾向があった。「気流が快適」、「室温が快適」の主観評価結果より、実験参加者にとって弱・強気流環境は標準環境と比較して、室内環境の快適性が高かったと考えられる。また、「空気が循環」の主観評価結果で、弱・強気流環境の主観評価結果が標準環境と比較して有意に高くなった原因として、弱・強気流環境の定期的に送風される強気流と常時送風される弱気流によって室内の空気が循環されたためだと考えられる。

また、「空気が澱んだ」、「足元が暑い」、「顔付近が暑い」、「全身が暑い」では、標準環境の主観評価結果は弱・強気流環境の主観評価結果と比較して、有意に高かった。「足元が暑い」、「顔付近が暑い」、「全身が暑い」の主観評価結果より、標準環境における実験参加者の体感温度は弱・強気流環境と比較して、高かったと考えられる。加えて、「空気が澱んだ」の主観評価結果より、弱・強気流環境の空気質を向上させる効果があったため、標準環境の主観評価結果は弱・強気流環境よりも有意に高くなったと考えられる。その他の主観評価結果については、気流環境間での有意差は確認できなかった。

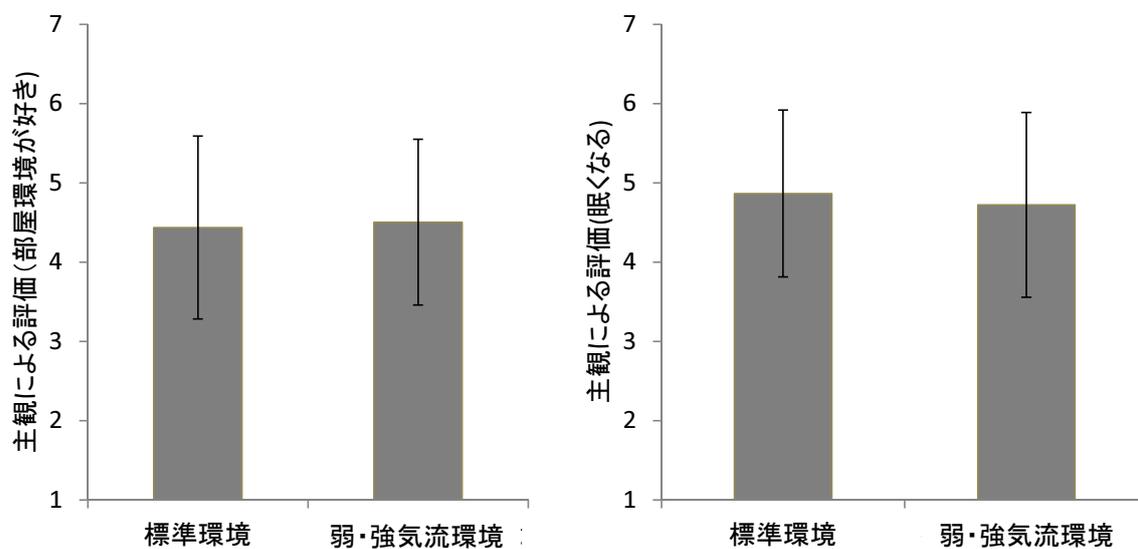


図 4.21: 室内環境の主観評価(部屋環境が好き・眠くなる)

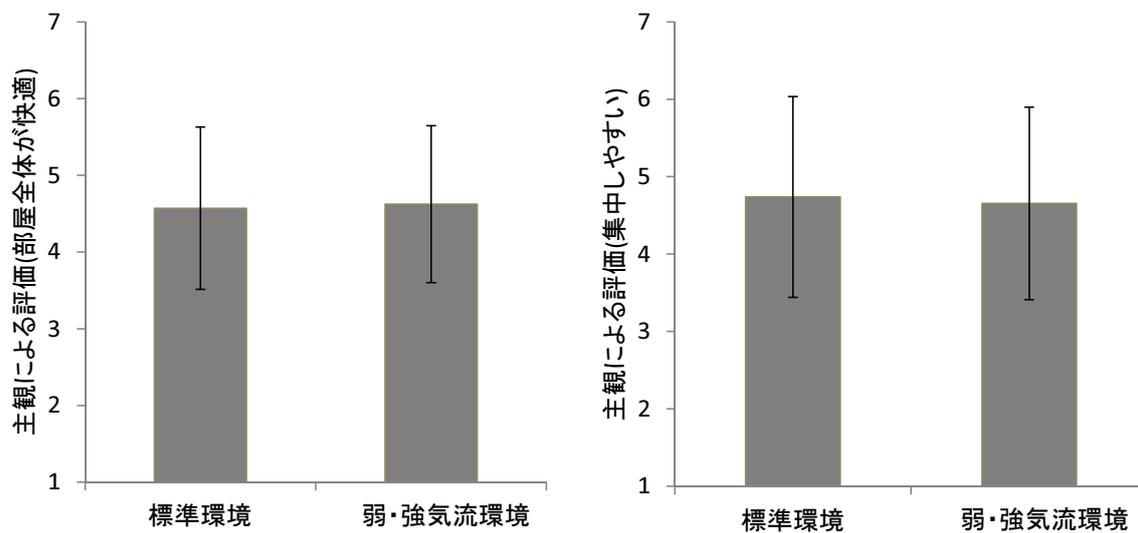


図 4.22: 室内環境の主観評価(部屋全体が快適・集中しやすい)

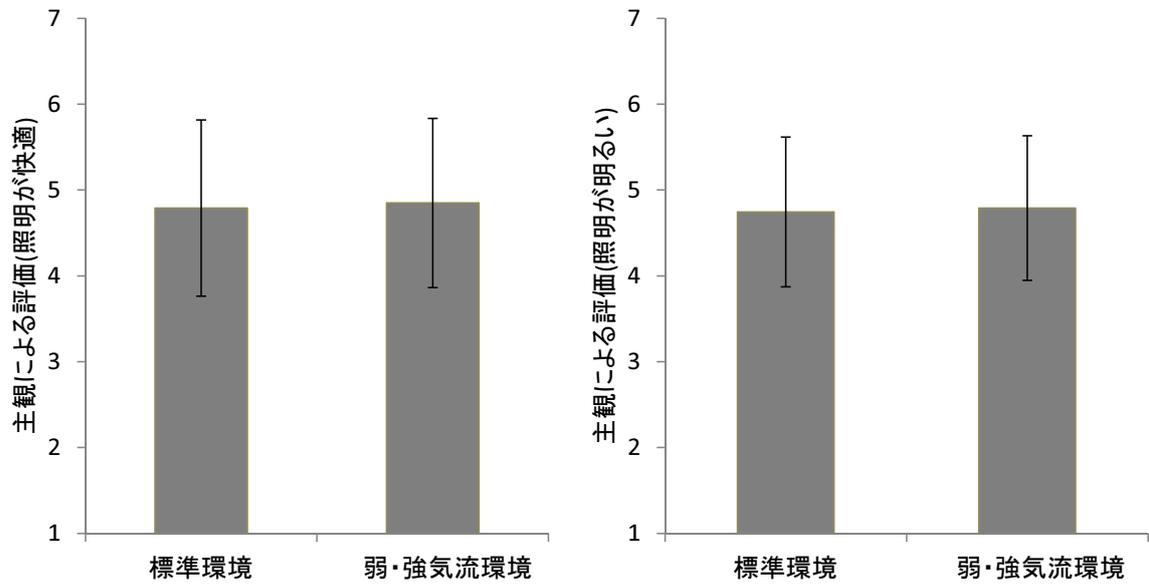


図 4.23: 室内環境の主観評価 (照明が快適・照明が明るい)

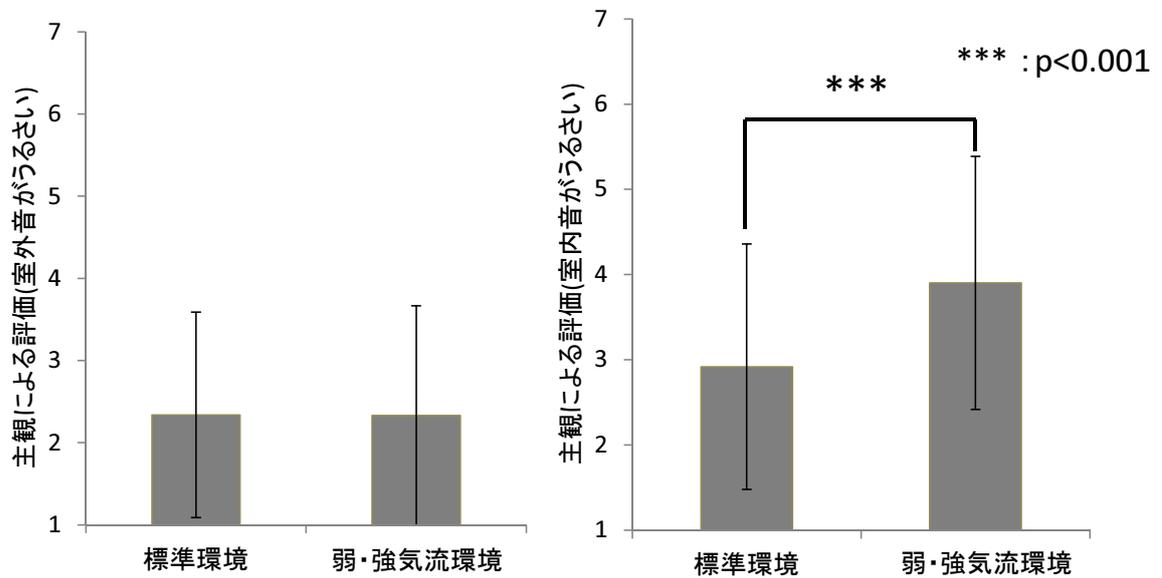


図 4.24: 室内環境の主観評価 (室外音がうるさい・室内音がうるさい)

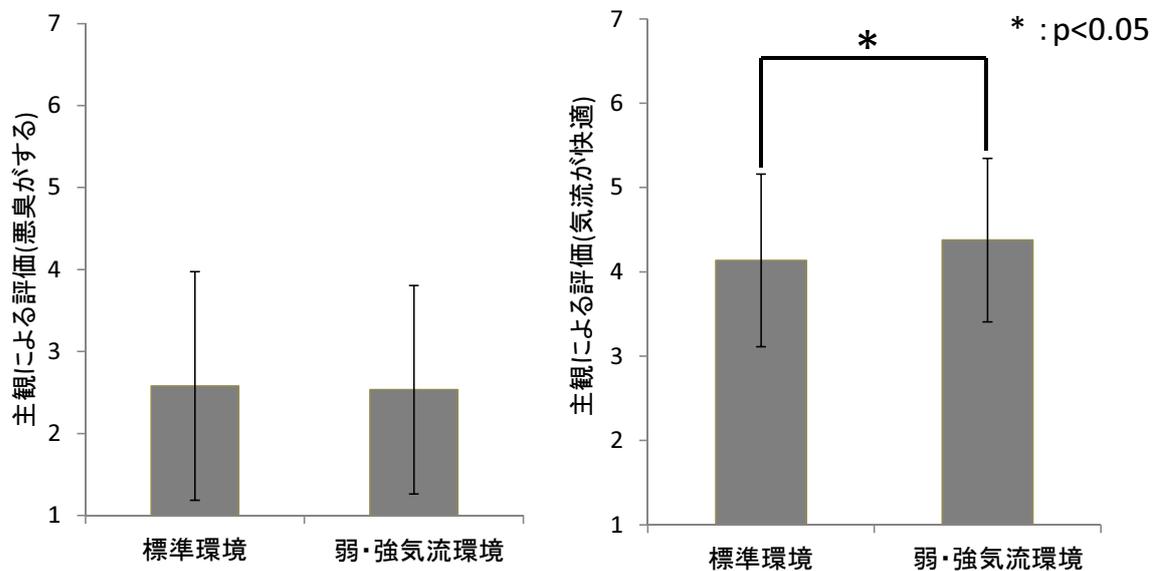


図 4.25: 室内環境の主観評価 (悪臭がする・気流が快適)

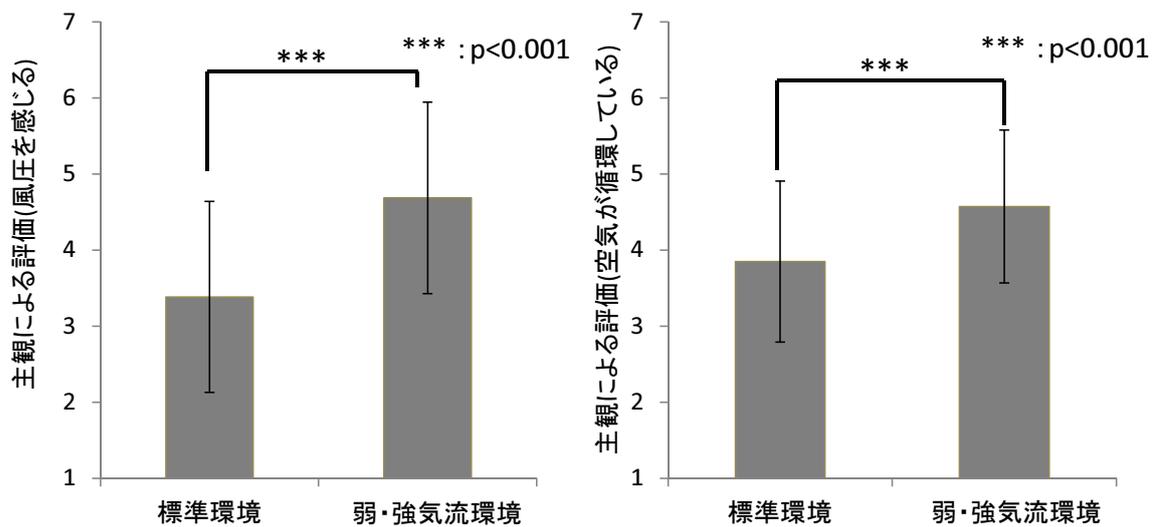


図 4.26: 室内環境の主観評価 (風圧を感じる・空気が循環している)

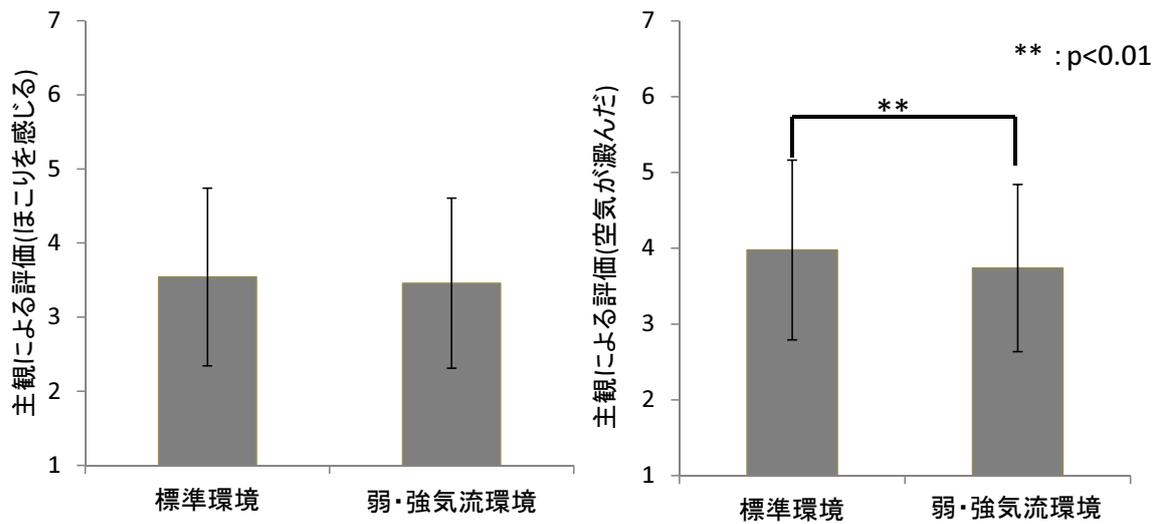


図 4.27: 室内環境の主観評価 (ほこりを感じる・空気が澁んだ)

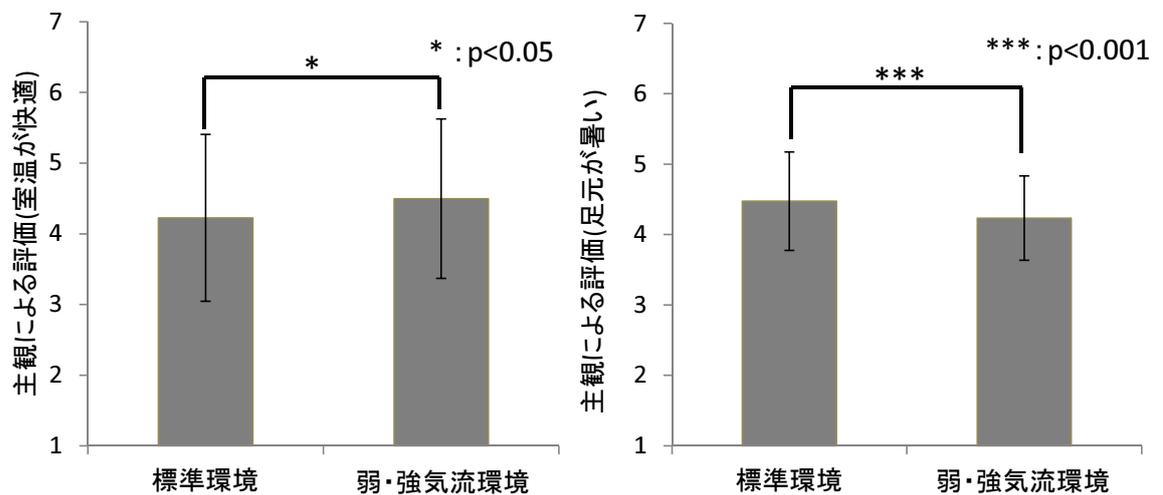


図 4.28: 室内環境の主観評価 (室温が快適・足元が暑い)

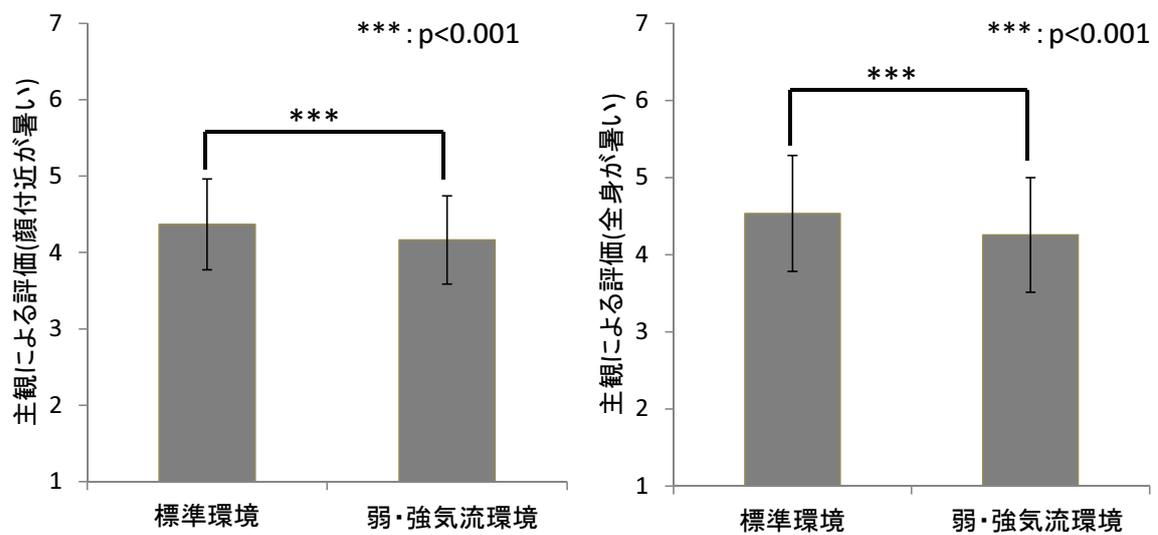


図 4.29: 室内環境の主観評価 (顔付近が暑い・全身が暑い)

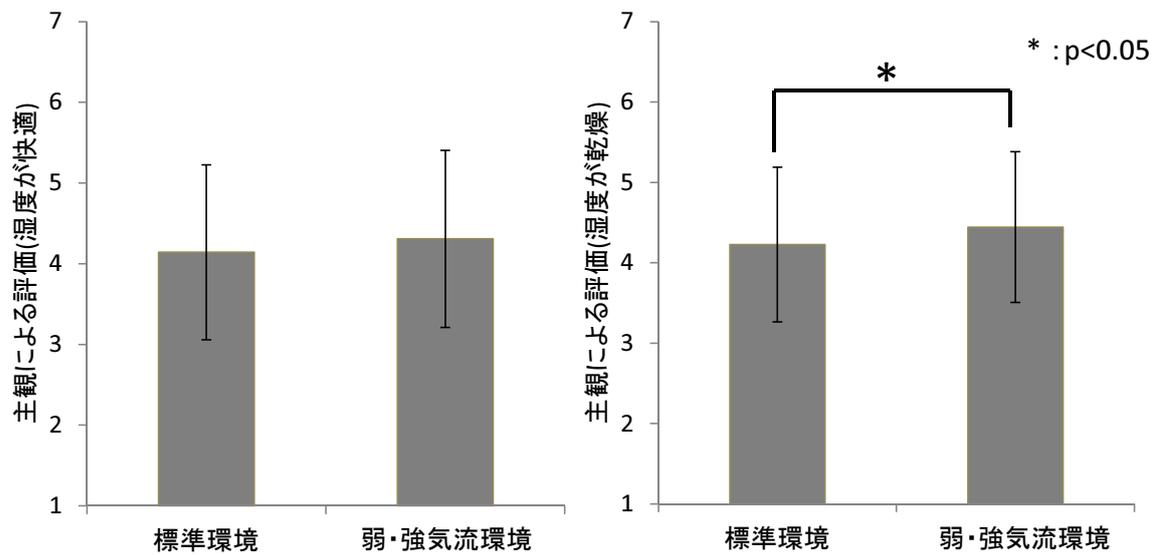


図 4.30: 室内環境の主観評価 (湿度が快適・湿度が乾燥)

4.3.5 個人特性

KG 式日常生活質問紙を用いたタイプ別判断の結果を表 4.9 に、STAI の結果を表 4.10 に示す。また、朝型夜型診断の結果を表 4.11 に記す。表 4.9 に示す通り、実験参加者のうち 20 人がタイプ A 行動パターンであり、8 人がタイプ B 行動パターンであった。また、表に示す通り、1 人が朝型、22 人が中間型、2 人が夜型、2 人が超夜型であった。実験参加者の多くが中間型であり、日が明るくなり初めてから起き始め、日が落ち始めると活動量が低下するタイプの人が多かった。

4.3.6 実験参加者インタビューの結果

評価実験の実験参加者インタビューの結果の詳細を付録 B に示す。また、実験参加者インタビューの結果の一部を記す。

- 弱気流
 - 空気が循環して、澄んでいる気がした。それにより、快適な環境であった。
- 強気流
 - 作業中の眠いときに、強気流による刺激によって、目が覚めた。
 - 強気流が送風されることで、涼しく感じ作業がはかどった。

実験参加者インタビューの結果より、評価実験でも強気流による実験参加者の覚醒度を向上させる効果を確認できた。そして、強気流の定期的な送風によって、実験参加者の体感温度の低下を引き起こし、集中力の増加につながったと考えられる。また、弱気流の送風により、実験参加者周辺の空気質向上につながり、快適な環境であったという意見が得られた。

表 4.9: KG 式日常生活質問紙による実験参加者のタイプ

	実験参加者 No.	タイプ
グループ 1	1	A
	2	B
	3	B
	4	A
グループ 2	5	A
	6	A
	7	A
	8	B
グループ 3	9	A
	10	A
	11	B
	12	B
グループ 4	13	A
	14	A
	15	A
	16	B
グループ 5	17	A
	18	B
	19	A
	20	B
グループ 6	21	A
	22	A
	23	A
	24	A
グループ 7	25	A
	26	A
	27	A
	28	A

表 4.10: STAI(状態不安・特性不安) のスコア

	実験参加者 No.	状態不安	特性不安
グループ 1	1	43	50
	2	46	49
	3	43	52
	4	37	56
グループ 2	5	35	54
	6	39	47
	7	43	51
	8	32	49
グループ 3	9	47	44
	10	42	58
	11	51	38
	12	51	58
グループ 4	13	46	44
	14	46	49
	15	42	47
	16	42	44
グループ 5	17	41	44
	18	39	51
	19	37	50
	20	46	54
グループ 6	21	39	38
	22	39	47
	23	45	49
	24	32	53
グループ 7	25	46	50
	26	39	51
	27	34	57
	28	47	44

表 4.11: 朝型夜型診断の朝型度のスコアと実験参加者のタイプ

	実験参加者 No.	朝型度のスコア	タイプ
グループ 1	1	49	中間型
	2	49	中間型
	3	28	超夜型
	4	27	超夜型
グループ 2	5	46	中間型
	6	56	中間型
	7	50	中間型
	8	34	夜型
グループ 3	9	49	中間型
	10	46	中間型
	11	52	中間型
	12	46	中間型
グループ 4	13	69	中間型
	14	55	中間型
	15	51	中間型
	16	38	夜型
グループ 5	17	56	中間型
	18	-	-
	19	60	中間型
	20	53	中間型
グループ 6	21	48	中間型
	22	54	中間型
	23	52	中間型
	24	45	中間型
グループ 7	25	63	朝型
	26	46	中間型
	27	50	中間型
	28	51	中間型

4.4 考察

4.4.1 各気流環境における CTR の比較

図 4.13 に示したように、CTR による評価で、伝票分類タスクでは弱・強気流環境が標準環境と比較して有意に高い結果となった。また、4.3.6 項に示した実験参加者インタビューの結果より、弱・強気流環境が実験参加者の覚醒度を向上させる効果と実験参加者周辺の空気質の向上による室内環境に対する快適性を向上させる効果があったと推測される。それにより、弱・強気流環境での CTR が標準環境と比較して、有意に高い結果となったと考えられる。

加えて、図 4.25、図 4.28、図 4.26、図 4.27 に示した「気流が快適」、「室温が快適」、「空気が循環している」、「空気が澱んでいる」の主観評価結果より、弱・強気流環境下で実験参加者が気流と室温に対して快適であり、空気が循環していると感じたと推測される。それにより、弱・強気流環境の主観評価結果が標準環境と比較して有意に高くなったと考えられる。

一方で、図 4.29 に示した「顔付近が暑い」、「全身が暑い」の主観評価結果より、弱・強気流環境は標準環境と比較して実験参加者の体感温度が低かったと考えられる。そして、図 4.28 に示した「室温が快適」の主観評価結果より、弱・強気流環境は標準環境と比較して、室温が快適と感じていた。つまり、実験参加者は、弱・強気流環境で送風される気流によって体感温度の低下を引き起こされ、それが室内温度に対する快適性の向上につながったと考えられる。

4.4.2 SET 間での知的生産性の比較

SET 間で CTR を比較した結果を図 4.31 に示す。各気流環境において SET 間で差があるのかを対のある両側 t 検定を用いて調べた。その結果、SET3 で弱・強気流環境の CTR は標準環境と比較して有意に高かった。

SET3 のみ標準環境と弱・強気流環境で有意差が生じている理由として、一日の疲労が蓄積され覚醒度が低下するであろう SET3 で、強気流による実験参加者の覚醒度を向上させる効果が、実験参加者の CTR を向上させた可能性が考えられる。しかし、生理的脳疲労の指標であるフリッカー値測定からは、その兆候は確認できなかった。

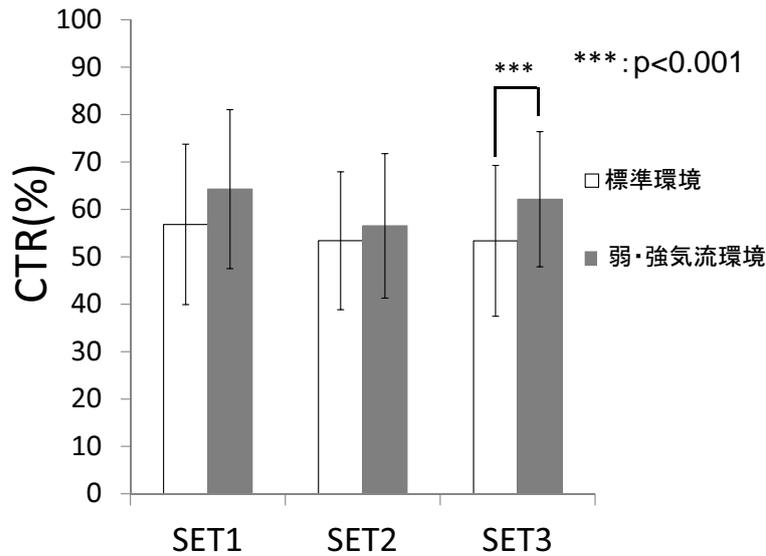


図 4.31: 全実験参加者の SET ごとの CTR の平均値の環境間比較

4.4.3 弱・強気流環境の作業への影響

実験参加者毎に SET1、SET2、SET3 の CTR の平均値を算出し、標準環境と弱・強気流環境の条件間で比較した。その結果、表 4.12 に示すように実験参加者 No.15 と No.21 のみが標準環境の CTR の平均値が弱・強気流環境の CTR の平均値と比較して高かった。

表 4.12: 実験参加者 No.15 と No.21 の CTR の 3SET の平均値

実験参加者 No.	標準環境 (%)	弱・強気流環境 (%)
グループ 4 15	45.9	41.6
グループ 6 21	85.1	81.1

また、実験参加者 No.15 と No.21 の実験参加者インタビューの結果の一部を以下に記す。

- No.15
 - － 強気流によって、机の上の伝票が飛びそうになり、気になった。
 - － 強気流送風時に生じる騒音によって集中が阻害された。
- No.21

– 強気流の送風によって、目が乾燥した。もう少し風は弱い方が良かった。

実験参加者 No.15 の SET1、SET2、SET3 の CTR の平均値が、弱・強気流環境が標準環境と比較して低くなった理由として、「伝票分類タスクの伝票に注意が向かった」、「空気清浄機から生じる騒音」の2つが推測される。本来、伝票分類タスクに向けられるはずの注意が、強気流によって飛びそうになった伝票と空気清浄機から生じる騒音に向けられ、結果、集中力の低下につながったと考えられる。

また、実験参加者 No.21 の SET1、SET2、SET3 の CTR の平均値が、弱・強気流環境が標準環境と比較して低くなった理由として、強気流が実験参加者の顔付近に送風されることで、目が乾燥し、作業に支障が出たことが原因であると推測される。

4.4.4 強気流の送風時に生じる騒音の影響

実験期間中の標準環境、弱気流送風時と強気流送風時の騒音レベルを表 4.13 に示す。

表 4.13 に示すように、空気清浄機から強気流が送風される際に、最大 57.2dB の騒音が生じる。実験参加者インタビューより、「強気流の送風時に生じる騒音により、集中が途切れた」という意見が得られた。さらに、図 4.24 に示すように、「室内音がうるさい」という主観評価結果で、弱・強気流環境は標準環境と比較して、有意に高い結果となっている。

実験参加者インタビューと主観評価アンケートの結果より、強気流の送風時に生じる騒音は実験参加者の集中を阻害していた可能性が示唆される。しかし同時に、「強気流の送風時の騒音によって、目が覚めた」という意見も得られた。つまり、強気流送風時の空気清浄機の騒音が実験参加者の低下傾向にある覚醒度を向上させた可能性も示唆される。評価実験では、本研究で提案する弱・強気流環境が実験参加者の知的生産性を向上させることを客観的かつ定量的に評価できた。しかし、その効果が強気流と弱気流による効果だけでなく、強気流の送風時に生じる騒音も実験参加者の知的生産性を向上させた可能性がある。

今後は、空気清浄機から生じる騒音の知的生産性への影響を調査する必要がある。また、気流による知的生産性への影響のみを抽出するためには、空気清浄機から生じる騒音のレベルを執務者が感知しない程度に抑えた気流環境を構築する必要がある。

表 4.13: 標準環境・弱気流送風時・強気流送風時の騒音レベル

標準環境	弱気流送風時	強気流送風時
46.9dB 以下	47.0dB 以下	57.2dB 以下

第 5 章 結論

近年は、省エネルギーと知的生産性の両方を考慮した最適な執務環境の設計が必要とされている。特にオフィスでは、取り組みの容易さやエネルギー削減効果の観点から、冷暖房の調整や照明の間引きなどが行われている。しかし、このような取り組みはオフィスワーカーの知的作業の効率である知的生産性を低下させる要因となっている。そこで、オフィスワーカーの知的生産性を低下させない、もしくは向上させるような執務環境を設計し、知的生産性と省エネルギーの両方を考慮する必要がある。そのため、照明、温熱、音環境などの様々な環境要素と知的生産性との関係性が研究されてきたが、本研究は、その中でも温熱環境に着目した。温熱環境の要素には、室内温度、放射温度、気流、相対湿度、着衣量、活動量の 6 要素が存在する。既往研究では、室内温度、相対湿度、着衣量の変化が知的生産性へ与える影響を追求した研究は数多くなされてきた^[1-5,7]が、温熱環境要素の 1 つである気流と知的生産性との関係性を追求した研究は少なく、さらに、それらは主観による評価であり^[8-10]、客観的かつ定量的に評価した例はない。そこで本研究では、既往研究で主観評価によって知的生産性を向上させる効果を持つことが実証されており、かつ、未だ気流環境の変化による知的生産性の変動が客観的かつ定量的に評価されていないことから、温熱環境要素の 1 つである気流に着目した。そして、知的生産性を向上させる気流環境を提案し、実験室評価実験を行い、本研究室で開発した CTR^[24]を用いることでその有効性を客観的かつ定量的に評価した。

第 2 章では研究の背景および知的生産性の概念と定義を述べた。その後、温熱環境の変化が知的生産性に与える影響を追求した既往研究について述べ、それらを踏まえた本研究の目的と意義を述べた。

第 3 章では、気流と知的生産性に関する既往研究についてまとめ、次に強気流と弱気流の執務者に期待する効果を記した。さらに、本研究で提案する弱・強気流環境の詳細を決定するために実施した試行実験について述べ、最後に、弱・強気流環境について記した。

第 4 章では、第 3 章で述べた弱・強気流環境が知的生産性に与える影響を調べるために実施した評価実験について述べた。そして、弱・強気流環境の知的生産性の向上効果を集中時間比率 CTR を用いて検証した。その結果、弱・強気流環境は気流がない

標準環境と比較して、集中時間比率 CTR の値が 6.5%ポイント有意に高い結果となり、弱・強気流環境の知的生産性を向上させる効果を客観的かつ定量的に示した。

室内環境の気流については様々な気流環境が考えられ、本研究ではそのうちの一例を提案し、評価しただけである。他に、執務者の体動をセンサで検知することで執務者の作業の進行具合を判断し、執務者の覚醒度が低くなったタイミングで気流を暴露するなどの様々な気流環境が考えられる。このように、様々な気流環境に変化させた場合の知的生産性への影響の評価が今後の課題である。また、本研究で提案・評価した弱・強気流環境を実際のオフィス環境で評価する必要がある。窓からの遮光、室内温度や湿度が統制できないオフィスで実証実験を行い、弱・強気流環境の知的生産性を向上させる効果を確認し、実用に向けて研究を発展させていくことが今後の課題となる。

謝 辞

本研究だけでなく、論文執筆、研究会、雑誌会等で多くのご意見をくださり、社会に出るにあたっての様々な助言をして下さった下田 宏 教授に深く感謝いたします。

研究に関する様々なご指導だけでなくイベントの開催など研究室での生活に関わることを教えていただきました石井 裕剛 助教に深く感謝いたします。

また、プロダクティビティチームとして知的生産性研究に取り組み、実験の実施や多くの助言をいただきましたパナソニック株式会社の大林 史明 様とパナソニックエコシステムズ株式会社の谷口 和宏 様に心より感謝いたします。

実験の実施、研究の相談など多くの助言をして下さった博士課程の宮城 和音 さん、昨年度修士課程をご卒業された内山 皓介 さん、修士課程1回生の金川英弘君、古田真也君、学部4回生の下中尚忠君に心より感謝いたします。

さらに、研究生活をおくる上で、仲良くしてくださいました博士課程の北村尊義さん、同期の瀬尾恭一君、井上 弘輝君、半田大樹君、上東大祐君に深く感謝いたします。

また、研究生活をおくる上で、日頃からお世話していただきました普照 郁美さんに心より感謝いたします。

最後に、修士1回生から現在に至るまで有意義に研究生活を送れたのも、周りの方々の御助力があつてのことだと思えます。心より深くお礼申し上げます。

参考文献

- [1] Ramio Niemela, Mika Hannula, Sari Rautio, Kari Reijula, Jorma Railio: The effect of air temperature on labour productivity in call centres-a case study. *Energy and Building*, **34**, pp. 759–764 (2002).
- [2] Lei Fang, David Peter Wyon, Geo Clausen, Povl Ole Fanger: Impact of indoor air temperature and humidity in an office. *Indoor Air*, **14**, pp. 74–81 (2004).
- [3] Kwok Wai Tham: Effects of temperature and outdoor air supply rate on. *Indoor Air*, **14**, pp. 119–125 (2004).
- [4] Hitomi Tsutumi, Shin ichi Tanabe, Junkichi Harigaya, Gen Nakamura Yasuo Iguchi: Effect of humidity on human comfort and productivity after step. *Building and Environment*, **42**, pp. 4034–4042 (2007).
- [5] Li Lan, Pawel Wargoeki, Zhiwei Lian: Quantitative measurement of productivity loss due to thermal discomfort. *Energy and Buildings*, **43**, pp. 1057–1062 (2011).
- [6] 羽田正沖, 西原直枝, 田辺新一 川口玄: 夏季に室温を高めを設定したオフィスにおける知的生産性. *日本建築学会環境系論文集*, **74**, pp. 1329–1337 (2009).
- [7] 大熊涼子, 石野久彌, 中山哲士: 冬季 20℃室温における着衣と熱的快適性に関する研究. *日本機械学会環境系論文集*, **73**, pp. 307–312 (2008).
- [8] 流田慎也, 黒崎優一, 中川優一, 三村良輔, 篠塚大輔, 佐々木真人, 柳井崇, 秋元孝之, 田辺新一: タスク空調システムが導入された実オフィスにおける知的生産性評価. *日本建築学会大会学術講演梗概集*, pp. 1185–1186 (2007).
- [9] Hideyuki Amai, Shinichi Tanabe, Takashi Akimoto, Takeshi Genma: Thermal sensation and comfort with different task conditioning systems. *Building and Environment*, **42**, pp. 3955–3964 (2007).
- [10] Jan Karczmarczyk, Arsen K Melikov, De Sliva: Effect of warm air supplied facially on occupants comfort. *Building and Environment*, **45**, pp. 848–855 (2010).

- [11] 齊藤武雄, 山田昇: 都市温暖化と快適性評価に関する研究. 日本機械学会論文集, **63**, pp. 295–302 (1997).
- [12] 中島隆信: 日本経済の生産性分析. 日本経済新聞社 (2006).
- [13] Nisha P.Sensharma, James E.Woods: An Extension of a Rational Model for Evaluation of Human Responses, Occupant Performance and Productivity. *Healthy Building* (2000).
- [14] Weilin Cui, Guoguang Cao, Jung Ho Park, Qin Ouyang, Yingxin Zhu: Influence of indoor air temperature on human thermal comfort, motivation and performance. *Building and Environment*, **68**, pp. 114–122 (2013).
- [15] Kwok Wai Tham, Henry Cahyadi Willem: Room air temperature affects occupants' physiology, perceptions and mental alertness. *Building and Environment*, **45**, pp. 40–44 (2010).
- [16] Li Lan, Zhiwei Lian, Li Pan: The effects of air temperature on office workers' well-being, workload, and productivity-evaluated with subjective ratings. *Applied Ergonomics*, **42**, pp. 29–36 (2010).
- [17] Husson, Pierre: Humidity control improves productivity, cuts waste. *Plant Engineering*, pp. 57–60 (2006).
- [18] 大熊涼子, 石野久彌, 中山哲士: オフィス着衣条件における冬季 20℃暖房の温熱環境. 日本建築学会大会学術講演概集, pp. 1035–1036 (2006).
- [19] 田辺新一, 野部達夫, 李晟在, 西村秀生: 等温気流型タスク空調に関する研究 その1 タスクユニットの概要と被験者実験. 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp. 185–188 (2002).
- [20] 森戸直美, 西宮肇, 都築和代: 冷房の気流が睡眠と皮膚温に及ぼす影響-被験者実験による冷房方法の比較-. 空気調和・衛生工学会論文集, **161**, pp. 19–27 (2010).
- [21] David Peter Wyon: The effects of indoor air quality on performance and productivity. *Indoor Air*, pp. 92–101 (2004).

- [22] 空気調和・衛生工学会: 快適な温熱環境のメカニズム-豊かな生活空間をめざして, pp. 109-118. 空気調和・衛生工学会, 丸善出版 (2006).
- [23] 宮城和音, 金川英弘, 島村祐太, 大林史明, 石井裕剛, 下田宏: 集中度向上照明の提案とオフィス適応時の知的生産性評価. ヒューマンインタフェースシンポジウム 2014, pp. 955-960.
- [24] 内山皓介, 宮城和音, 石井裕剛, 下田宏, 大林史明, 岩川幹生: 作業への集中に着目した知的生産性評価ツールの開発. ヒューマンインタフェースシンポジウム 2013, pp. 371-378.
- [25] 河野翔: 意識的な休息に着目した知的生産性変動モデルの提案と評価. Master's thesis, 平成 23 年度エネルギー科学研究科修士論文, 京都大学.
- [26] 西村武, 森本一成: 精神疲労推定のための CFF の測定方法と条件の検討-VDT 作業による疲労を対象として-. 人間工学, **22**, pp. 203-210 (1986).
- [27] 日本産業衛生学会・産業疲労研究会編集委員会 (編): 産業疲労ハンドブック. 労働基準調査会 (1988).
- [28] 田中雄治, 中田すみ, 山崎勝之: 某企業従業員における TypeA の分布-KG 式日常生活質問紙による TypeA. pp. 33-45 (1992).
- [29] 日本産業衛生学会・産業疲労研究会編集委員会 (編): 産業疲労ハンドブック. 労働基準調査会 (1988).
- [30] 石原金由, 宮下彰夫, 犬上牧, 福田一彦, 山崎勝男, 宮田洋: 日本語朝型-夜型 (Mornings-Eveningness) 質問紙による調査結果. The Japanese Journal of Psychology, **57**, pp. 87-91 (1986).
- [31] Meyer Friedman, Ray H. Rosenman, et al: Association of specific overt behavior pattern with blood and cardiovascular findings. The Journal of the American Medical Association 169, pp. 1286-1296 (1959).

付録 A 試行実験のアンケート類資料

以下に、試行実験1の実験参加者インタビューの結果を示す。

表 A.1: 試行実験1の実験参加者インタビューの結果 (空気が循環を感じたか)

日程	実験参加者 No.	空気が循環を感じたか
6月12日	H01	循環を少し感じた。
	H02	特に感じなかった。
	H03	空気が澱んでいない感じがした。
	H04	特に感じなかった。
6月13日	H05	循環を少し感じた。
	H06	足元に空気の流れを感じた。
	H07	循環を感じて空気がすっきりした感じがした。
	H08	あまり感じなかった。
6月14日	H09	感じた。
	H10	空気が澄んでいる気がした。
	H11	あまり感じなかった。
	H12	あまり感じなかった。

表 A.2: 試行実験 1 の実験参加者インタビューの結果 (午前と午後の室温の違いと作業への印象)

日程	実験参加者 No.	午前と午後の室温の違いと作業への印象
6月12日	H01	午後の方が暑かった。午後の環境下で強気流が送風されると気持ち良く、作業しやすかった。
	H02	午後の方が少し暑かった。午後に送風された強気流は良かった。
	H03	午前に強気流が送風されることで少し寒く感じた。
	H04	部屋が暖かい気がした。午後の方が気流は良かった。
6月13日	H05	午後に強気流が送風されることでひんやりと気持ちいい。
	H06	午前は送風されると少し肌寒い。しかし、午後は、気持ちよい。
	H07	午後に強気流が送風されることで、すっきりする。
	H08	午前に比べて午後に強気流を送風されることは不快ではないが、気流自体ない方がよい。
6月14日	H09	午後は暑い。午後の気流が気持ちよかった。
	H10	午前は少し寒く、気流が送風されることで肌寒い。
	H11	午後はあたたかい。ちょうど良い温度であった。
	H12	午後は暑かったが、気流で少し気持ち良かった。

表 A.3: 試行実験 1 の実験参加者インタビューの結果 (強気流の集中への影響)

日程	実験参加者 No.	強気流の集中への影響
6月12日	H01	F-VXJ90-WZ は涼しめで冷気を感じる。
	H02	作業の後半 2 回は、強気流が気持ち良い。
	H03	強気流が気持ちよく感じた。リフレッシュされた。
	H04	F-VXJ90-WZ の方が風を感じた。
6月13日	H05	強気流がくることでリフレッシュ効果。集中への阻害感は無かった。
	H06	横から気流が来るよりも後ろから送風される方がよい。
	H07	強気流はない方が過ごしやすい。
	H08	送風間隔は 15 分に 1 回くらいでよかった。
6月14日	H09	顔に直接当たったときは不快だった。
	H10	後方から送風される強気流は顔にも当たらず、気持ち良かった。
	H11	顔に当たると不快だった。
	H12	気流が顔に直接送風され、髪の毛が揺れることで不快だった。

表 A.4: 試行実験 1 の実験参加者インタビューの結果 (どの気流環境が良かったか)

日程	実験参加者 No.	どの気流環境が良かったか
6月12日	H01	あまり差は感じなかった。
	H02	1-A と 1-D。強気流の強さがちょうどよかった。他の条件は強すぎて、集中が途切れた。
	H03	1-A。理由はわからないが、作業しやすい環境であった。
	H04	1-D。体に直接強気流が当たらないのが良かった。
6月13日	H05	差は感じなかった。
	H06	1-C の後方から気流が送風される条件は良かった。真横にあると、作業中に視界にはいって邪魔。
	H07	1-B と 1-C 条件時の強気流は集中を阻害した。
	H08	差は感じなかったが、空気清浄機がもう少し速くにあれば良かった。
6月14日	H09	1-B と 1-C の気流は強すぎて、不快であった。
	H10	1-C。後方から気流が送風されるのは、良かった。顔にも当たらないから。真横にあると気になってしまう。
	H11	1-D の風量の弱い気流が一番良かった。
	H12	あまり違いを感じなかった。

以下に、試行実験2の実験参加者インタビューの結果を示す。

表 A.5: 試行実験 2 の実験参加者インタビューの結果 (気流環境毎の印象)

日程	実験参加者 No.	気流環境毎の印象
7月3日	I01	2-A は、定期的にくる風が良かった。2-B は、乾燥していた。2-C は、ずっと風が当たっているのが不快。2-D は、空気清浄機が離れて置いていたのが良かった。
	I02	2-A は、じめっとしていた。2-B は、最後の方に気流が何回も送風されて不快。2-C は、心地よかった。2-D は、上半身全体に送風されていた。
	I03	2-A は、風で髪の毛が揺れたのが気になった。2-B は、乾燥を感じた。2-C は、常に気流がきて何回か邪魔だと感じた。2-D は、遠くに空気清浄機が設置されており、あまり目に入らずに良かった。
	I04	2-A は、定期的に気流が来ていた。2-B は、2-A との違いがあまりわからない。2-C は、常時気流がきていた。2-D は、体全体に気流が当たって、気持ち良かった。
7月4日	I05	2-A は、湿度が低くてよかった。2-B は、寒いときと温かいときがあった。2-C は風が当たっていた。2-D は時々強い風がきた。
	I06	2-A は、標環境よりも良かった。2-B は、今までになかった匂いがした。2-C は、今までよりもじめっとしていた。2-D は、最初は暑かったが、風がでてきてから良い感じ。
	I07	2-A はじめっとしていた。2-B は、時々強い風でリフレッシュと同時に当たっているときは少し寒い。2-C は 2-B より強く無い風がずっと吹いている。最後の方が乾燥を感じた。
	I08	2-A は乾燥していた。2-B は、気流が強い時と弱い時の繰り返しのように感じた。2-C は、音が静かで当たっている感じも少ない。2-D は、たまに強い風があたっているなど感じた。
7月5日	I09	2-A は、定期的な風がくることで、リフレッシュとなった。2-B は、後半に強い風が来た。2-C は、肌寒く感じた。2-D は、強い風が後方から来た。空気清浄機から生じる騒音が気になった。
	I10	2-A は、乾燥を感じた。2-B は、2-A とあまよ変化を感じなかった。2-C は、常に気流を感じ、集中しづらかった。2-D は、上半身全体に送風されて気持ち良かった。
	I11	2-A は、乾燥していた。少し暑かった。2-B は、後半にたくさん気流が送風されて邪魔だった。2-C は、気流が常に送風されて体が冷えた。2-D は、上半身全体に気流を感じ、リフレッシュ効果があった。
	I12	2-A は、すこし暑かった。2-B は、気流の送風時間が長く感じた。2-C は、常に気流を感じた。2-D は、空気清浄機が他の条件よりも後方に配置されており、作業中に気にならずに良かった。

表 A.6: 試行実験2の実験参加者インタビューの結果 (どの気流環境が良かったか)

日程	実験参加者 No.	どの気流環境が良かったか
7月3日	I01	2-A が良かった。定期的を送風されることで、リフレッシュ効果。
	I02	2-C が良かった。
	I03	気流とかはわからないが、2-D は速くに設置されており、気にならずに良かった。
	I04	2-D は上半身全体に風がでており、心地よかった。
7月4日	I05	2-D が一番良かった。
	I06	2-A が一番良い。
	I07	2-D が一番良い。
	I08	2-C は、あまり気流を感じず、集中できた。
7月5日	I09	2-A は、眠い時に気流によって目が覚めて集中できた。
	I10	2-D は、気流が心地よく良かった。
	I11	2-D は、気流が心地よく良かった。
	I12	2-C は常に気流を感じて、心地よい体感温度であった。

表 A.7: 試行実験2の実験参加者インタビューの結果 (どの気流環境が悪かったか)

日程	実験参加者 No.	どの気流環境が悪かったか
7月3日	I01	2-C は、作業の邪魔になって悪かった。
	I02	2-A は、じめっとしており、不快だった。
	I03	特になかった。
	I04	2-C は肌寒く感じて良くなかった。
7月4日	I05	2-D が一番良くなった。風が強くて髪の毛が動くのが気になる。
	I06	特になし
	I07	2-A と 2-B が良くなかった。2-B は気流有と無の差が激しくて心地良くない。
	I08	2-C が一番良くない。疲れて眠い時に、弱弱い風は睡魔を誘う。
7月5日	I09	2-D は、騒音が気になって集中できなかった。
	I10	2-C は、常時気流が送風されることで、集中できなかった。
	I11	2-A は、乾燥がしており、気になって集中でいなかった。
	I12	2-A は少し暑く集中できなかった。

以下に、試行実験3の実験参加者インタビューの結果を示す。

表 A.8: 試行実験2の実験参加者インタビューの結果(4日間を通して、部屋環境の違いに対する気づき)

実験参加者 No.	4日間を通して、部屋環境の違いに対する気づき
J01	あまり変わったことはない。
J02	あまりなかった。
J03	違いはなかった。3日目と4日目は風があった。
J04	日による違いは感じなかった。

表 A.9: 試行実験2の実験参加者インタビューの結果(強気流への気づき・印象)

実験参加者 No.	強気流への気づき・印象
J01	気付いた。
J02	気付いた。強気流は心地よく、集中できた。
J03	気付いた。
J04	気付いた。強気流によってリフレッシュできた。

表 A.10: 試行実験2の実験参加者インタビューの結果(弱気流への気づき)

実験参加者 No.	弱気流への気づき
J01	わからない。
J02	覚えていない。
J03	覚えていない。
J04	なかったような気がした。

表 A.11: 試行実験 2 の実験参加者インタビューの結果 (4 日間を通して、どの日が作業をしていてつらかったか)

実験参加者 No.	4 日間を通して、どの日が作業をしていてつらかったか
J01	説明・練習日が見つからなかった。最初は慣れのがしんどかった。
J02	練習。説明日は慣れずにしんどかった。最終日は慣れてきた。
J03	3 日目はしんどかった。
J04	説明・練習日がしんどかった。2 日目以降はそれほどしんどくなかった。

表 A.12: 試行実験 2 の実験参加者インタビューの結果 (時間帯による作業のはかどり具合)

実験参加者 No.	時間帯による作業のはかどり具合
J01	昼食後はやる気がでるが眠かった。
J02	朝一番が集中できた。昼食後は眠かった。
J03	昼食後は毎回眠かった。
J04	朝一と昼食後は眠かった。

表 A.13: 試行実験 2 の実験参加者インタビューの結果 (気流環境 2 条件のどちらが良いか)

実験参加者 No.	気流環境 2 条件のどちらが良いか
J01	3-B の方が良かった。
J02	3-A の方が作業しやすかった。
J03	3-B の方が作業しやすかった。
J04	3-B の方が作業しやすかった。

付録 B 評価実験のアンケート類資料

以下に、試行実験1の実験参加者インタビューの結果を示す。

表 B.1: 評価実験の実験参加者インタビューの結果 (1~3 日目の環境の比較、集中のしやすさ)

実験参加者 No.		1~3 日目の環境の比較、集中のしやすさ
グループ 1	1	標準環境が一番集中できた。説明・練習日慣れていなかったため集中できなかった。
	2	実験室環境に慣れたことで、標準環境が一番集中できた。弱・強気流環境の日の昼食後が集中できなかった。
	3	標準環境が一番集中できた。説明・練習日は慣れていなかったことと眠気によって集中できなかった。
	4	標準環境が一番集中できた。朝早く起きることに慣れ、生活リズムに慣れてきたため。
グループ 2	5	説明・練習日が一番集中できた。弱・強気流環境の日は、疲労感によってなかなか集中できなかった。
	6	説明・練習日が一番集中できた。弱・強気流環境の日は、作業に飽きて集中できなかった。標準環境の日は最終日なので、集中できた。
	7	弱・強気流環境の日が一番集中できた。標準環境は集中できなかった。最終日は集中できた。
	8	説明・練習日が一番集中できた。標準環境の日は気が緩んで集中できなかった。
グループ 3	9	標準環境の日の夕方は集中できなかった。
	10	弱・強気流環境の日が一番集中できた。理由はわからない。
	11	全て同じくらい集中できた。日による差はなかった。
	12	あまり日による差は感じなかったが、弱・強気流環境の日が一番集中できた。
グループ 4	13	標準環境の日が集中できた。
	14	弱・強気流環境の日が集中できた。
	15	標準環境の日は、眠くなり集中できなかった。
	16	弱・強気流環境の日が集中できた。
グループ 5	17	標準環境の午前中は集中でき、午後は疲れによって集中できなかった。弱・強気流環境の日は集中できなかった。
	18	2-B 日間通して、集中できなかったが、特に、標準環境は集中できなかった。
	19	体調不良のために標準環境の日は全く集中できなかった。
	20	説明・練習日は体調良くなかったので集中できなかった。
グループ 6	21	弱・強気流環境の日は、腕の疲れによって集中できなかった。
	22	説明・練習日は、作業に慣れていないために、作業の進行が遅くなってしまった。
	23	説明・練習日と弱・強気流環境の日は集中できた。
	24	説明・練習日は集中できたが、弱・強気流環境と標準環境の両方共集中できなかったが、弱・強気流環境の日の方が集中できた。
グループ 7	25	標準環境が一番集中でき、弱・強気流環境が一番集中できなかった。
	26	説明・練習日が一番集中できた。弱・強気流環境の日は眠たかった。
	27	標準環境の日が一番集中できた。説明・練習の日は、緊張と眠気のために集中できなかった。
	28	標準環境の日が一番集中でき、弱・強気流環境の日が一番集中できなかった。

表 B.2: 評価実験の実験参加者インタビューの結果 (時間帯による集中のしやすさ)

実験参加者 No.	時間帯 (朝・昼・夕方) による集中のしやすさの比較
グループ 1	1 朝が一番集中できた。昼食後は非常に眠かった。
	2 朝が一番集中できた。昼食後は眠かった。
	3 夕方が一番集中できた。朝と昼は眠くて集中できなかった。
	4 夕方が一番集中できた。昼食後は眠くて集中できなかった。
グループ 2	5 昼食後が一番集中できた。
	6 朝と夕方は集中できたが、昼食後は眠く集中できなかった。
	7 朝は集中できた。
	8 3日間とも朝は集中できなかった。昼と夕方は同じくらい集中できた。
グループ 3	9 夕方はやる気がでて集中できた。昼食後は眠くてぼーっとした。
	10 夕方は、最後のタスクということで集中できた。
	11 昼食後は集中できなかった。
	12 夕方はモチベーションが上がって集中できた。昼食後は眠かった。
グループ 4	13 朝が一番集中でいた。夕方は集中できなかった。
	14 朝が一番集中できた。昼食後は集中できなかった。夕方は、最後だからがんばろうと思い、集中できた。
	15 昼食後が一番集中できた。朝はまだ眠くて集中できなかった。
	16 昼食後は集中できなかった。
グループ 5	17 疲れていないので、朝は集中できた。
	18 昼食後は眠くて集中していない。
	19 昼と夕方が一番集中できた。
	20 朝は集中できた。作業が進むにつれて眠くなってきた。
グループ 6	21 2日目の午前中と最終日の夕方は集中できた。
	22 昼食後は集中できなかった。
	23 夕方は一番疲れており、眠くて集中できなかった。
	24 昼食後は眠かった。
グループ 7	25 夕方は疲れて眠かった。
	26 昼食後は眠くて集中できなかった。
	27 夕方になると疲れと眠気によって集中できなかった。
	28 朝と昼食後は眠かった。

表 B.3: 評価実験の実験参加者インタビューの結果 (強気流への気づき、印象)

	実験参加者 No.	強気流への気づき、印象
グループ 1	1	説明・練習日は暑かった。気流には気づいた。
	2	説明・練習日は暑かった。気流には気づいた。
	3	気流に気づいた。
	4	気流に気付いた。
グループ 2	5	気流に気付いて、空気が循環しているのに気付いた。
	6	気流に気付いていた。
	7	3日目の朝、部屋の湿気が強い気がした。
	8	毎日気流がでていた気がする。
グループ 3	9	気流がでていたか覚えていない。
	10	気流の動き、湿度、気温の違いを感じた。
	11	強気流に気付いた。強気流で涼しく感じた。
	12	気流に気付いた。気流も空気清浄機から生じる騒音もない方が集中しやすかった。
グループ 4	13	気流の変化に気付いた。
	14	弱・強気流環境下の日は、空気が循環しているのに気付いた。
	15	気流に気付いた。標準環境では、室内の空気が滞っている気がした。
	16	気流に気付いた。
グループ 5	17	気流に気付いた。2日目は湿度が高かった。弱・強気流環境下では涼しかった。
	18	温度は3日間通して暑かった印象。気流には気づいたが、いつ送風されていたかは覚えていない。
	19	気流に気付いた。
	20	気流に気付いた。空気清浄機からの騒音で気づいた。
グループ 6	21	気流に気付いた気流が強かったので、集中できなかった。
	22	気流に気付いた。風が寒かった。
	23	気流に気付いた。室内が暑かったので、気流によって涼しく感じた。
	24	気流に気付いた。気流が送風される瞬間は気になった。しかし、送風されるうちに、慣れ、目が覚めて作業がはかどった。
グループ 7	25	気流に気付いた。
	26	気流に気付いた。強い風があたることで、気づいた。
	27	気流に気付いた。
	28	気流に気付いた。風が身体に当たったことと、空気清浄機から生じる音によって気づいた。

表 B.4: 評価実験の実験参加者インタビューの結果 (弱気流に気付いたか)

実験参加者 No.		弱気流に気付いたか
グループ 1	1	なんとなくあったような気がする。
	2	気付いた。
	3	気付かなかった。
	4	気付いた。風を感じた。
グループ 2	5	気付いた、空気が循環していて気持ち良かった。
	6	気付かなかった。
	7	気付かなかった。
	8	覚えていない。
グループ 3	9	覚えていない。
	10	覚えていない。
	11	覚えていない。
	12	覚えていない。
グループ 4	13	覚えていない。
	14	かすかに伝票が揺れていたなので、気づいた。
	15	気付いた。標準環境の時は、空気が滞っている気がした。
	16	気づいていない。
グループ 5	17	覚えていない。
	18	気づいていない。
	19	気づいていない。
	20	気づいていない。
グループ 6	21	覚えていない。
	22	気付いた。少し弱い気流があったような気がした。
	23	覚えていない。
	24	覚えていない。
グループ 7	25	覚えていない。違いを感じなかった。
	26	気付いた。
	27	気づいていない。
	28	覚えていない。

表 B.5: 評価実験の実験参加者インタビューの結果 (強気流に対する印象)

実験参加者 No.		強気流に対する印象
グループ 1	1	強気流が当たることで涼しく感じ、集中しやすくなった。ただ、空気製造機から生じる騒音が集中を阻害した。
	2	強気流が当たることで涼しく感じ、集中しやすくなった。ただ、空気製造機から生じる騒音が集中を阻害した。
	3	空気清浄機から生じる騒音と強気流によって、集中が途切れた。しかし、眠いときに強気流が当たることで眠気覚ましになった。
	4	強気流によって涼しく感じた。しかし、空気清浄機から生じる騒音が気になった。
グループ 2	5	最初は空気清浄機から生じる騒音が大きくて驚いた。それによって、集中が途切れた。しかし、慣れによって、強気流が心地よくなった。
	6	気流が送風されることで、眠気が飛んだのでよかった。
	7	伝票分類タスクの作業中に、強気流によって風がめくれることが気になり、集中が途切れた。
	8	強気流が送風されることで、集中が途切れた。眠いと思っているときには目が覚めた。
グループ 3	9	強気流は涼しくて良かった。
	10	強気流は邪魔であった。
	11	室内が暑かったので、強気流は良かった。
	12	強気流によって伝票分類タスクの紙が崩れるので、もう少し弱くてよいと思った。
グループ 4	13	強気流が送風された瞬間集中できなくなった少し涼しくなった。
	14	強気流の送風時と空気清浄機の騒音によって、集中が阻害される。
	15	強気流が顔に当たって、不快であった。
	16	強気流があたることで涼しく感じ、目が覚めた。
グループ 5	17	強気流があたることで涼しく感じ、目が覚めた。
	18	強気流が涼しく感じ、気持ちよかった。作業が捗る感じがした。
	19	強気流の送風時に集中が2,3秒止まった。全体的には涼しかった。
	20	強気流が涼しくてよかった。しかし、空気清浄機の騒音によって集中が途切れた。
グループ 6	21	強気流の送風によって、目が乾いた。もう少し弱い風の方が良かった。
	22	もう少し弱い風の方が良かった。強気流の冷たい風によって、集中が途切れた。
	23	強気流によって伝票分類タスクの伝票が動いて作業しづらかった。また、空気清浄機の騒音が気になった。
	24	強気流によって伝票の風が飛んだりしたので、もう少し風は弱い方が良い。
グループ 7	25	強気流によって伝票がめくれてしまい、邪魔だった。しかし、気流によって空気が循環していた気がしたので、快適であった。
	26	強気流が来たとき、目覚めに良いと思った。空気清浄機の騒音は途中から気にならなくなった。
	27	強気流は涼しくて気持ち良い。空気清浄機の騒音は途中から気にならなくなった。
	28	強気流によって集中が途切れる。体に直接気流が当たるのが好ましくなかった。

表 B.6: 評価実験の実験参加者インタビューの結果 (強気流の風量や送風時間・間隔について)

実験参加者 No.		強気流の風量や送風時間・間隔について
グループ 1	1	ちょうど良かった。
	2	もう少し弱い方が良い。
	3	もう少し弱い方が良い。
	4	ちょうど良かった。空気清浄機から生じる騒音が静なら、送風間隔を今以上に短くしてほしい。
グループ 2	5	風量はちょうど良かったと思う。
	6	ちょうど良かった。
	7	体感的には、ちょうど良い強さ。ただ、伝票分類タスクの伝票が飛びそうなので弱い方が良い。
	8	もう少し弱い方が良い。
グループ 3	9	ちょうど良かった。
	10	風量が強すぎるとは思わなかった。送風時間はもう少し長くてもよかった。
	11	もう少し弱い方がいい。
	12	伝票分類タスクの伝票が飛ぶので、もう少し弱くても良いとも思った。
グループ 4	13	送風間隔はちょうど良かった。
	14	送風間隔が短いと集中が切れる感じがする。
	15	伝票分類タスクの伝票が飛びそうになったので、もう少し弱くても良い。強気流が出る時に、もう少し徐々に風量を上げてほしい。
	16	これ以上送風間隔が短くなると、不快に感じると思う。
グループ 5	17	風量はもう少し弱い方が良い。空気清浄機の騒音がうるさい。
	18	ちょうど良かった。
	19	もうすこし弱くてもよい。
	20	もうすこし風量は強くてもよい。
グループ 6	21	強気流は、目が乾くのももう少し弱い方が良かった。もうすこし送風時間が長く、送風間隔が長い方が良い。
	22	もうすこし弱い気流の方が良い。冷たい強気流が来ることで、集中が切れた。強気流は弱い風が長時間吹いている方が良い。
	23	空気清浄機の騒音が気になった。また、伝票分類タスクの伝票が動いて、作業がしにくかった。強気流の風量は、もう少し弱い方が良い。また、送風間隔はもう少し長い方が良い。
	24	強気流によって、伝票分類タスクの伝票が飛んだりしたので、もう少し弱い方が良い。また、覚醒気が吹いたり止まったりするのが、気になったので、ずっと吹いている方が良いと思った。
グループ 7	25	強気流の風量は少し強かった。
	26	今以上に送風間隔は短くても良い。
	27	強気流の風量と送風間隔はちょうど良かった。
	28	強気流の風量は弱い方が良い。送風間隔は、もう少し弱い風量で送風間隔を短くすればよいと思う。