

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： 執務環境と休憩環境の統合温熱制御が
知的集中へ及ぼす影響の実験研究

指導教員： 下田 宏 教授

氏名： 杉田 耕介

提出年月日： 平成29年2月10日(金)

論文要旨

題目：執務環境と休憩環境の統合温熱制御が知的集中へ及ぼす影響の実験研究

下田宏研究室, 杉田 耕介

要旨：

近年、世界的にエネルギー問題が深刻化し、企業でもエネルギー消費量の削減のために、オフィスの設定温度の緩和やクールビズなどの省エネルギー活動を実施している。しかし、これらの活動は、エネルギー消費量の削減を重要視し、オフィス環境の快適性を軽視する傾向にあるため、執務者の知的生産性へ悪影響を及ぼす恐れがある。そこで、オフィス環境を見直す際には、エネルギー消費量の削減だけでなく知的生産性も考慮する必要がある。知的生産性へ影響を及ぼすと考えられるオフィス環境の要素の中でも、室温や気流などの要素から構成される温熱環境に着目すると、執務環境の温熱制御が知的生産性へ寄与することが既往研究から示唆されている。また、執務者は一日中業務を続けているわけではなく適度に休憩を取りながら従事しており、その環境に着目してレイアウトなどの視覚的な要素が休憩の質やその後の作業効率に与える影響を調べた研究も存在する。このように、執務環境と休憩環境のどちらか一方の環境要素の変化にのみ着目した研究事例は数多く存在するが、執務環境と休憩環境の環境制御を統合的に行い、知的生産性へ及ぼす影響を評価した研究事例は少なく、特に執務環境と休憩環境の統合的な温熱制御に着目した研究に関しては未だ報告例がない。さらに、これらの研究では主観評価でのみ知的生産性への影響を実証しており、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、執務環境と休憩環境の統合的な温熱環境の中でも室温制御に着目し、2つの環境間の温度差も考慮に入れた制御手法を提案し、評価実験を行うことで知的生産性の向上効果を客観的かつ定量的に検証することを目的とする。本研究では、夏期と冬期に分けて制御手法をそれぞれ提案しており、その制御手法は計3回の試行実験により好印象の条件を抽出し詳細を決定した。その結果、執務環境は涼しい環境、休憩環境は執務環境に比べて高温の環境を設計し、執務環境から休憩環境へ入室する際に曝露される温刺激と、休憩環境から執務環境へ入室する際に曝露される冷刺激を用いた温熱制御の手法を提案した。提案した温熱制御の手法によって、休憩の質の向上や休憩から作業への素早い切り替えを促し、知的生産性の向上効果を期待した。

さらに本研究では、夏期と冬期に被験者実験を実施し、提案した温熱環境条件(提案環境)と執務環境および休憩環境の間に温熱差を作らない標準環境の2条件における、認知タスクの解答時間、および疲労感、環境に対する印象に関するアンケート結果から、提案環境が知的生産性を向上させる効果を調べた。認知タスクの解答時間から集中時間比率 CTR を算出することで、タスク時の知的集中を評価したところ、夏期における提案環境が標準環境と比較して CTR が有意に高くなる傾向があることを客観的かつ定量的に示した。また、夏期と冬期の評価実験で知的生産性の向上効果が見られたグループと逆に低下したグループを分類し、温熱制御による影響を比較したところ、夏期と冬期で CTR が向上したグループと低下したグループの間に共通点が存在することが確認された。例えば、夏期であれば熱的中立から暖かい側の温度は不快に感じられやすく、CTR が低下したグループでは温刺激や暖かい室温の休憩環境に対する印象が悪かった。冬季でも同様に、CTR が低下したグループでは、不快に感じられやすい冷刺激や涼しい室温の執務環境に対する印象が悪かった。

目次

第 1 章 序論	1
第 2 章 研究の背景と目的	3
2.1 研究の背景	3
2.2 既往研究	4
2.2.1 知的生産性の概念と評価	4
2.2.2 温熱制御に関する既往研究	6
2.2.3 休憩環境に関する既往研究	7
2.3 研究の目的と意義	7
第 3 章 夏期における統合温熱制御の提案	9
3.1 夏期における温熱制御と人間の反応に関する既往研究	9
3.2 執務環境と休憩環境の統合温熱制御	10
3.3 統合温熱制御環境構築のための試行実験	11
3.4 提案する統合温熱制御	17
第 4 章 夏期における統合温熱制御の評価	19
4.1 実験の目的と概要	19
4.2 実験の方法	19
4.2.1 環境条件	19
4.2.2 実験参加者	23
4.2.3 実験手順	25
4.2.4 測定項目	27
4.3 実験結果	34
4.3.1 比較タスク実施時の CTR と CTR 変化率	35
4.3.2 主観的感情状態	38
4.3.3 主観的疲労・主観的モチベーション	38
4.3.4 室内環境の主観評価	40

4.3.5	実験参加者インタビューの結果	41
4.4	まとめと考察	41
4.4.1	温熱条件間における CTR の比較	41
4.4.2	統合温熱制御による知的集中向上の効果	42
第 5 章	冬期における統合温熱制御の提案	50
5.1	冬期における温熱制御と人間の反応に関する既往研究	50
5.2	執務環境および休憩環境の温熱制御	51
5.3	統合温熱制御環境構築のための試行実験	52
5.4	提案する統合温熱制御	57
第 6 章	冬期における統合温熱制御の評価	59
6.1	実験の目的と概要	59
6.2	実験の方法	59
6.2.1	環境条件	59
6.2.2	実験参加者	62
6.2.3	実験手順	62
6.2.4	計測項目	63
6.3	実験結果	66
6.3.1	比較タスク実施時の CTR と CTR 変化率	66
6.3.2	主観的疲労	69
6.3.3	主観的集中・モチベーション	71
6.3.4	室内環境の主観評価	73
6.3.5	実験参加者インタビューの結果	76
6.4	まとめと考察	76
6.4.1	温熱条件間による CTR の比較	76
6.4.2	統合温熱制御による知的集中向上の効果	77
第 7 章	結論	88
	謝辞	90
	参考文献	91

付録 A	夏期評価実験の結果の詳細	付録 A-1
A.1	基本属性アンケート	付録A-1
A.2	計測対象とした実験参加者の集中時間比率 CTR	付録A-3
A.3	計測対象とした実験参加者の集中時間比率 CTR の変化率	付録A-5
付録 B	冬期評価実験の結果の詳細	付録 B-1
B.1	基本属性アンケート	付録B-1
B.2	計測対象とした実験参加者の集中時間比率 CTR	付録B-2
B.3	計測対象とした実験参加者の集中時間比率 CTR の変化率	付録B-2

目 次

2.1	Woods らによる人間反応評価のための推理モデル ^[13]	5
3.1	統合温熱制御の基本的な概念	10
3.2	試行実験時に着用する服装	12
3.3	比較問題の提示インターフェース	12
3.4	試行実験1の実験プロトコル	14
3.5	PMV と PPD の関係 ^[41]	14
3.6	夏期における統合温熱制御	18
4.1	夏期評価実験における執務室レイアウト	20
4.2	夏期評価実験(グループ6)における執務室レイアウト	21
4.3	夏期評価実験における休憩室レイアウト	22
4.4	夏期評価実験の実験風景	22
4.5	夏期評価実験における温熱環境条件	23
4.6	夏期評価実験における実験プロトコル	26
4.7	大石らによる3状態集中モデル ^[45]	28
4.8	集中時間比率 CTR の算出方法	29
4.9	自覚症しらべのアンケート回答画面	32
4.10	マグニチュード推定法による疲労感とモチベーションの評価アンケート	33
4.11	環境評価アンケート	34
4.12	CTR 平均値の環境条件間比較	36
4.13	各 SET における CTR 平均値の環境条件間比較	36
4.14	午前計測と午後計測における CTR 変化率の平均値の環境条件間比較 .	37
4.15	MMS (倦怠) のスコアの全タスク終了時と全休憩終了時の比較	38
4.16	自覚症しらべ(ねむけ感)のスコアの全タスク終了時と全休憩終了時 の比較	39
4.17	自覚症しらべ(だるさ感)のスコアの全タスク終了時と全休憩終了時 の比較	39

4.18	室内環境の主観評価 (全身が暑い・部屋環境が快適)	40
4.19	室内環境の主観評価 (室温が作業効率を向上)	40
4.20	「効果あり」、「逆効果」グループの属性評価の手順	44
4.21	室内環境の主観評価 (全身が暑い) の「午前効果あり」 - 「午前逆効果」 間比較	45
4.22	基本属性アンケートの「午後効果あり」 - 「午後逆効果」間比較	45
4.23	「効果あり」、「逆効果」グループへ与えた効果の評価手順	46
4.24	統合温熱制御による「午前効果あり」への影響	47
4.25	統合温熱制御による「午前逆効果」への影響	47
4.26	統合温熱制御による「午後効果あり」への影響	48
4.27	統合温熱制御による「午後逆効果」への影響	49
5.1	冬期における統合温熱制御の基本的な概念	51
5.2	冬期試行実験の実験プロトコル	53
5.3	冬期試行実験における執務室レイアウト	54
5.4	冬期における統合温熱制御	58
6.1	冬期評価実験の実験風景	60
6.2	冬期評価実験における温熱環境条件	61
6.3	冬期評価実験で使用した実験参加者の服装	62
6.4	冬期評価実験における経過アンケート	64
6.5	CTR 平均値の環境条件間比較	67
6.6	各 SET における CTR 平均値の環境条件間比較	67
6.7	午前計測と午後計測における CTR 変化率の平均値の環境条件間比較	68
6.8	自覚症しらべ (ねむけ感) のスコアの各タスク前後における環境条件 間比較	69
6.9	自覚症しらべ (だるさ感) のスコアの各タスク前後における環境条件 間比較	70
6.10	経過アンケート (疲労感) のスコアの各タスク前後における環境条件 間比較	70
6.11	経過アンケート (集中) のスコアの各タスク前後における環境条件間 比較	71

6.12 経過アンケート（モチベーション）のスコアの各タスク前後における 環境条件間比較	72
6.13 室内環境の主観評価（全身が暑い）	74
6.14 室内環境の主観評価（室温が快適）	74
6.15 室内環境の主観評価（空気が澄んでいる）	75
6.16 室内環境の主観評価（集中しやすさ）	75
6.17 冬期評価実験における基本属性アンケートの「午後効果あり」-「午後 逆効果」間比較	79
6.18 冬期評価実験における基本属性アンケートの「午後効果あり」-「午後 逆効果」間比較	80
6.19 統合温熱制御による「午前効果あり」への影響	81
6.20 統合温熱制御による「午前逆効果」への影響	83
6.21 統合温熱制御による「午後効果あり」への影響	84
6.22 統合温熱制御による「午後逆効果」への影響	86

表 目 次

3.1	試行実験1における温熱環境条件	13
3.2	試行実験2における温熱環境条件	16
4.1	夏期評価実験における環境条件の実施順	24
4.2	多面的感情状態尺度 (MMS) による「集中」、「倦怠」の評価質問項目 ^[38]	30
4.3	自覚症しらべの項目 ^[37]	31
4.4	計測対象外とした理由	35
4.5	夏期の統合温熱制御の評価実験における CTR 変化率 (条件間差)	44
4.6	夏期評価実験における各グループの属性	45
5.1	冬期の統合温熱制御にむけた試行実験における環境条件	55
6.1	冬期評価実験における環境条件の実施順	61
6.2	計測対象外とした理由	66
6.3	冬期の統合温熱制御の評価実験における CTR 変化率 (条件間差)	78
6.4	冬期評価実験における各グループの属性	80
A.1	夏期における評価実験参加者の基本属性アンケート結果	付録A-2
A.2	夏期における評価実験参加者の CTR 結果	付録A-4
A.3	夏期における評価実験参加者の CTR 変化率	付録A-6
B.1	冬期における評価実験参加者の基本属性アンケート結果	付録B-1
B.2	冬期における評価実験参加者の CTR 結果	付録B-2
B.3	冬期における評価実験参加者の CTR 変化率	付録B-3

第 1 章 序論

近年、地球規模でエネルギー問題や環境問題が深刻化しており、エネルギー消費量を削減し、効率的に利用することが重要である^[1]。日本では、2011年に発生した東日本大震災に伴い生じた福島第一原子力発電所事故により、かつてないほどの電力供給低下に伴い深刻な電力不足が懸念され、各地で節電行動が積極的に実施された。特にオフィスにおける節電行動は容易に行うことができるため、照明の間引きや空調の設定温度の緩和などオフィス環境の見直しが行われた^[2,3]。しかし、これらの省エネルギー活動は消費エネルギーの削減に重点を置く余り、オフィス環境の快適性を損ない、執務者の知的作業の効率を低下させる可能性がある。近年の情報化社会の進展に伴い、知的成果物の価値が高まったことから、オフィスで業務の大半を知的作業が占めている。そのため、知的作業の効率の低下は労働時間の増加を招き、結果的にエネルギー消費量の増加につながる可能性がある。よって、オフィスでは、エネルギー消費量の削減だけでなく、知的作業の効率、つまり知的生産性の維持・向上を考慮した環境構築が必要となる。

オフィス環境を構成する要素の中には、照明、音、温熱など様々な要素が存在する^[4]。日本のオフィスでは空調の設定温度や制御法に対して不満を抱く執務者が多く、温熱環境が執務者の快適性に影響を強く及ぼしていることがわかる^[5]。そこで、温熱環境に着目すると、室温、相対湿度や気流などの温熱環境要素の変化が知的生産性へ及ぼす影響を評価した研究がなされてきた^[6]。また、実際に執務者がオフィス業務を行う際、適度な休憩を取りながら業務を遂行していると考えられる。そこで、執務者の休憩時間の長さやリフレッシュルームといった休憩を取るための環境におけるレイアウトなどが、執務者の快適性や疲労回復へ及ぼす影響を調べた研究が存在する^[7-9]。しかし、休憩を取る環境における温熱制御が快適性や知的生産性へ及ぼす影響を評価した研究事例は少なく、更には、業務を行う執務環境と休憩環境における統合的な温熱制御が知的生産性へ及ぼす影響を評価した研究事例は報告されていない。

そこで、本研究では、執務環境と休憩環境の温熱環境の中でも制御が比較的容易で、エネルギー消費量および知的生産性への影響が大きい室温の制御に着目し、2つの環境の間にある温度差を考慮した制御法を提案するとともに、知的生産性や休憩の質へ及ぼす影響を評価することを目的とする。この研究を通じて、これまでに実証されて

いなかった執務環境と休憩環境の統合温熱制御の効果や2つの環境の間に存在する環境差が執務者へ心理生理的へ及ぼす影響を調べることで、執務者の知的生産性の向上や休憩の質の向上、それに伴う労働時間の減少へのつながりを明らかにし、人件費の削減およびエネルギー消費量の削減に貢献できることを期待する。

本論文は第1章の序論を含め、7章で構成されている。第2章では、研究の背景と既往研究について述べ、本研究の目的を述べる。第3章では夏期における統合温熱制御の提案のために実施した試行実験について述べた後、提案する夏期における統合温熱制御の手法を述べる。第4章では、提案する夏期における統合温熱制御の評価実験と結果について述べる。第5章では冬期における統合温熱制御の提案のために実施した試行実験について述べた後、提案する冬期における統合温熱制御の手法と結果を述べる。第6章では提案する冬期における統合温熱制御の評価実験と結果について述べる。第7章では結論として本研究の結果をまとめ、今後の課題について述べる。

第 2 章 研究の背景と目的

本章では、近年のオフィスビルにおける省エネルギー化を目的とした環境改善が知的生産性へ及ぼす影響について述べ、関連研究として、知的生産性評価、温熱制御に関する研究および休憩環境に関する研究について説明した後、本研究の目的と意義を述べる。

2.1 研究の背景

近年、日本では東日本大震災によって発生した原発事故に伴う電力供給低下等に伴い、国内全体のエネルギー消費量は減少傾向にあるが、部門別のエネルギー消費量を見ると業務部門におけるエネルギー消費量は増加傾向にある^[1]。業務部門は、事務所・ビル、デパート、ホテルなど9業種に大別され、その中でも事務所・ビルによるエネルギー消費の割合が最も多い。そこで、オフィスビルにおけるエネルギー消費量削減のため、経済産業省は企業に向けて空調機器の設定温度の緩和やOA機器のスタンバイモード設定など様々な節電活動を推進している^{[2][3]}。しかし、これらの節電活動ではオフィスビル全体のエネルギー消費量の削減を重要視し、オフィス環境の快適性を軽視する傾向にあるため、執務者の知的生産性を低下させる危険性がある。オフィスワークでは、情報管理や情報処理などの知的作業が大半を占めるため、知的作業の効率、つまり知的生産性の低下は労働時間増加による人件費の増加や電力消費量の増加を招く可能性がある。以上より、オフィス環境を構築する際には、エネルギー消費量の削減だけでなく知的生産性も考慮する必要がある。

オフィス環境を構成する要素の中で、知的生産性に影響を及ぼす代表的な要素として、照明・音・温熱などが挙げられ^[4]、その中でも室温・相対湿度・気流などの環境要素から構成される温熱環境は、人間の快適性と密接に関係し知的生産性に寄与することが既往研究から示唆されている^{[5][6]}。また、執務者がオフィスワークを行う際、知的作業と疲労回復のための休憩を繰り返し行うことが考えられることから、休憩を取るためのスペース等の休憩環境におけるレイアウトや休憩の長さが、執務者の快適性や知的生産性に及ぼす影響を調べた研究が数多くある^[7-9]が、休憩環境の温熱制御が知的生産性に及ぼす影響を評価した研究例は少ない。このように、執務環境または

休憩環境のどちらか一方の環境要素にのみ着目した研究事例は数多く存在するが、執務環境と休憩環境の環境制御を統合的に行い、知的生産性に及ぼす影響を評価した研究は少なく、執務環境と休憩環境の統合的な温熱制御に着目した研究事例はない。

そこで、執務環境と休憩環境の統合的な温熱制御の手法を提案し、執務者の知的生産性に及ぼす影響を評価することができれば、オフィスビル全体の総合空調の改良など、エネルギー消費量を削減しながら知的生産性を維持するようなオフィス環境の設計も可能になる。このようなオフィス環境の改善によって、執務者の知的生産性の低下が数%でも抑えることができた場合、その利益の金額換算値は環境改善費用を大きく上回るという報告もある^[10]。そのため、オフィス環境の改善による知的生産性への影響を評価する意義は大きい。

次節では以上のような研究背景に関連して、知的生産性の評価手法、執務環境における温熱制御と知的生産性の関係、休憩環境における環境制御と知的生産性の関係について検討した既往研究を挙げる。

2.2 既往研究

2.2.1 知的生産性の概念と評価

一般的に生産性とは「投入物（インプット）に対する産出量（アウトプット）の比率」を指し、少ないインプットに対してアウトプットが多ければ生産性が高いことを意味する。また、労働者数を投入量とし、一定期間内に生み出された付加価値を産出量とみなした場合の比率を労働生産性と呼び^[11]、生産効率を測る指標として用いられている。近年、高度情報社会の進展によって、知的作業により生み出される価値の重要性が高まり、人間の行う作業の多くは知的作業となったため、知的作業における生産性を指す知的生産性を対象とする研究が増えた。しかし、アウトプットとしてアイデアの創造などの作業を含めるか否かを始めとして、既往研究では様々な知的生産性の定義がある^{[11][12]}。Woodsらは既往研究から知的作業に影響を与える要因を分析し、作業効率とコスト要因によって知的生産性は決定されるものと定義している^[13]。図2.1にそのモデルを示す。

このモデルによると、温度や空気質などの環境要素や設備やサービスなどのビルディングシステムを含む物理的要因は、環境への適応度や耐性といった個人特性の影響を受けた後、心理生理的な人間の反応を経て、作業効率に影響を及ぼすとしている。一方で、給料、インセンティブなどの経済的モチベーションやチャンス、安定性など

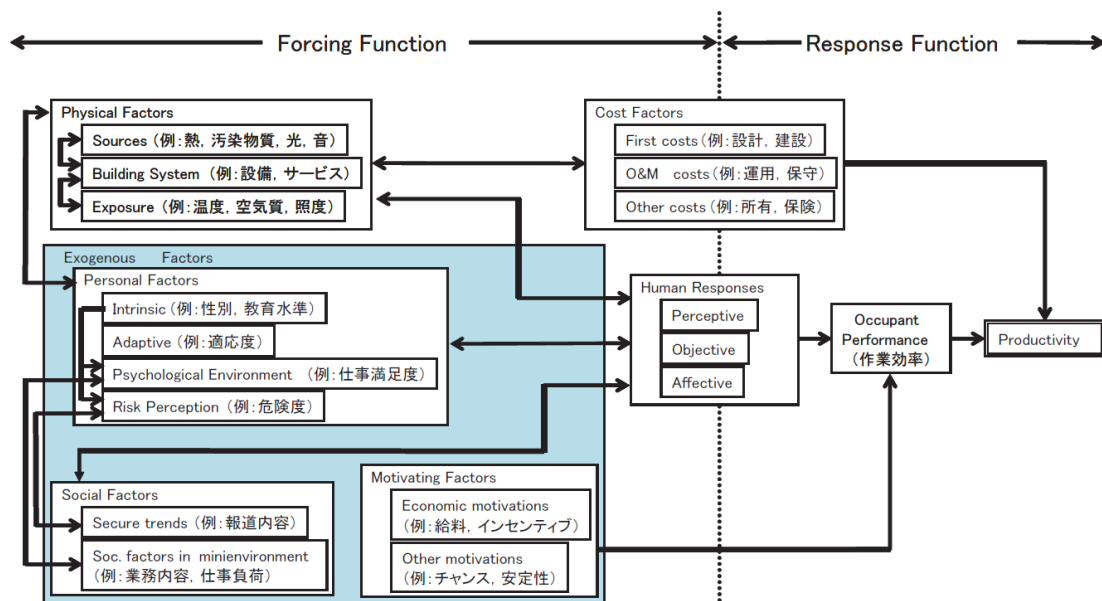


図 2.1: Woods らによる人間反応評価のための推理モデル^[13]

を含むモチベーション要因は直接的に作業効率に影響を及ぼすとしている。このように、物理的要因から間接的に、モチベーション要因から直接的に影響を及ぼされる作業効率とその他のコスト要因によって、最終的に知的生産性が決定するとしている。また、村上らによると、知的活動は第1階層を「情報処理」、第2階層を「知識処理」、第3階層を「知識創造」とした3つの階層から成り、主なオフィスワークである情報処理と知識処理は、快適性・健康性・利便性を満たすような執務空間への改善により良い影響が及ぶとしている。このときの「執務空間の改善コスト」をインプットとし、「生産性向上によりもたらされる利益の金額換算値」をアウトプットとして考えたときの比率を知的生産性と定義し、経済指標として捉えている^[6]。このように、知的生産性は「コスト要因と利益」または「コスト要因と作業効率」から決定されるものとされる。

本研究では室内環境の変化が執務者の知的生産性に与える影響を評価し、オフィス環境の改善が知的生産性の向上および労働時間短縮に効果があることを期待している。そのため、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」を知的生産性として定義する。

2.2.2 温熱制御に関する既往研究

温熱環境は、環境要素である室温、相対湿度、気流、平均放射温度と人間要素である活動量、着衣量の6要素から構成され^[4]、これらの要素が複合的に人間の温冷感へ影響し、快適性や知的生産性に寄与することが数多くの既往研究により報告されている^{[4][15]}。また、オフィスビルにおける電力消費量の中でも空調機器は照明機器に次いで消費電力量が多いため^[1]、温熱制御が知的生産性および電力消費量に及ぼす影響を調べた研究が数多く存在する^[16]。岩下らによるオフィスの節電対策が業務に与える影響調査では、「空調の設定温度の緩和が業務の妨げに感じている」という執務者の回答が最も多く、照明の減光などに比べて温熱環境要素の制御は不満につながりやすいことが示唆されている^[5]。このように温熱環境と人間の快適性に強い関係があることは、温熱環境に対する許容範囲が照明環境など他の環境に対する許容範囲に比べて小さいことから示唆されている^[17]。

室温とパフォーマンスの関係を調べた Weilin らの研究では、22℃～26℃の範囲の室温がパフォーマンス発揮において最適であるとし、26℃を越えるとパフォーマンスに悪影響を及ぼす可能性があることを示唆している^[18]。また、Seppanen らは室温とパフォーマンスの関係式を作成し、室温が22℃の時が最大パフォーマンスを発揮できるとし、22℃を超えると作業効率が低下するというモデルを示している^[19]。このように室温とパフォーマンスの間に関係があることは既往研究より明らかである。さらに、Gwak らはパフォーマンスの向上につながる生理的メカニズムに関する考察において室温が覚醒度に影響を及ぼす要素であるとし、許容範囲の中であれば室温の変動が覚醒度の向上に寄与し、パフォーマンス向上効果があることを脳波計測により確認した^[20]。一方で、小竹らは作業難易度が高い場合、執務者の覚醒度は向上するが、熱的刺激に対する感受性が低下する傾向があり、作業難易度の違いによって環境感度も変化すると報告している^[21]。このような温熱環境とパフォーマンスの関係を調べた研究では執務環境を対象とした研究がほとんどであり、執務者が業務内容によって部屋や場所を移動することで生じる環境差や、休憩環境で行われる疲労回復が人間やパフォーマンスに与える影響などを検討した研究は少ない。屋内と屋外の間の環境差による熱的刺激を想定し、その熱的刺激が快適性に及ぼす影響を調べた事例として、Liu らは室温、湿度といった温熱環境要素の違いによって変化する皮膚温と、温熱環境に対する熱的満足度の関係式を用いて、室温が25℃の部屋を基準に28℃、30℃、32℃の部屋へ往復および順応した際の熱的満足度の変化を調べた^[22]。その結果、夏期では高温の部屋へ移動した際の満足度が著しく低下する傾向が見られたほか、大き

な温度差を感じたときほど室温と体感温度の間に相違が生じることを示唆している。

2.2.3 休憩環境に関する既往研究

オフィス環境改善に関する研究では、執務者が作業を行う執務環境に着目した事例が一般的だが、すでに述べたように現代社会では知的作業の増加によってストレスや脳疲労の蓄積が問題となるため、ストレス軽減や脳疲労の回復を目的とした休憩環境のあり方について検討する必要がある。そこで、厚生労働省は快適な職場環境の形成を目的に、執務者の疲労を回復するための設備の設置又は整備に努めることを企業に義務付けている^[23]。このような背景から、企業から執務者が休憩をとるために利用できる空間の設置が検討されているが、どのような環境を構築すべきか知見が少ないという課題がある。大山らの調査によると、休憩環境を利用する目的は、気分転換や疲労回復、発想転換が過半数を占めており^[24]、リフレッシュによって知的生産性向上を感じたと回答した執務者が全体の約7割に達していることから、休憩による作業効率の向上効果が期待できる。また休憩環境に必要な心理的要素として、リラックス感やメリハリ感が多く挙げられ、これらの心理的要素を促すような環境制御やレイアウト構築が必要であると述べている^[25]。実用的な事例として、オフィスビルの屋上を緑化することで視覚的な解放感やリラックス感を促す試みなどが進められている^[26,27]。一方で、広瀬ら^[28]は、休憩時の覚醒度変化の状態を5段階に分類した知見^[29]を基に、休憩時の覚醒度の変化が休憩後の作業パフォーマンスに影響することを示した。また、休憩時間の長さが休憩後の作業集中に及ぼす研究なども進められている^[8,9]。このように、休憩環境に求められる要素の調査や緑視率など視覚的な刺激を人間に与えて快適性を向上させるといった事例は多く存在するが、休憩環境の温熱環境に着目し、その温熱制御が快適性や知的生産性に与える影響を検討した研究は少ない。

2.3 研究の目的と意義

以上の背景より、既往研究では執務環境と休憩環境のどちらか一方の環境要素のみに着目し、知的生産性に及ぼす影響を評価した事例が多いが、執務環境と休憩環境の両方の環境要素に着目し、統合的に環境制御を行った事例は少ない。更に、執務環境と休憩環境の統合的な温熱制御に着目し、知的生産性に及ぼす影響を評価した事例はない。

そこで、本研究では、執務環境と休憩環境の温熱環境の中でも制御が比較的容易で、

エネルギー消費量および知的生産性への影響が大きい室温の制御に着目し、2つの環境の間にある温度差を考慮した制御法を提案するとともに、知的生産性や休憩の質に及ぼす影響を評価することを目的とする。そこで、執務環境と休憩環境の統合的な温熱制御が執務者の知的生産性を向上させるような効果を確認することができれば、執務環境と休憩環境の環境制御が執務者に及ぼす影響に関する新たな知見を得ることが期待できる。さらに、本研究室で開発した集中時間比率 CTR (Concentration Time Ratio; 以下、CTR) ^[30] を用いることで客観的かつ定量的に知的作業の集中を評価できることから、より信頼性の高い評価が可能である。また、本研究によって得られた知見は、オフィスにおける知的生産性の向上効果およびエネルギー消費量の削減に寄与する環境構築に貢献できると期待できる。

第 3 章 夏期における統合温熱制御の提案

本章では、まず夏期における温熱制御と人間の反応に関する既往研究について述べる。続いて、夏期における統合温熱制御の方法の基本的な考え方について説明した後、本研究で提案する統合温熱制御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、提案する統合温熱制御について説明する。

3.1 夏期における温熱制御と人間の反応に関する既往研究

夏期の温熱制御が執務者の快適性へ与える影響について調べた研究として、古川ら^[31]は、夏期において 27℃の室温のときに熱的中立で快適に感じやすく、27℃を超えると暑い側の申告が増加すると述べている。佐々ら^[32]による室温快適性と心理生理反応との関係について調べた研究でも、夏期において 26℃～28℃付近の室温は快適に感じやすく、各部位の皮膚温の差が少なく皮膚温変動も少ないことを確認している。また、安岡ら^[33]が示した温熱感と室温に対する快適範囲および許容範囲の関係によると、夏期における許容範囲は 21℃～29℃であり、快適範囲は 21℃～28℃である。27℃のときに熱的中立の申告が多い^[31]ことから考えると夏期における快適範囲は、熱的中立から低温側に広がっていることが考えられる。これらより、夏期の快適温度は、「建築物における衛生的環境の確保に関する法律（通称：建築物衛生法）」の管理基準で定められた室温（17℃～28℃）の範囲では、26～28℃付近の室温が生理心理的に快適に感じやすく、オフィスなど執務者の活動量が増える状況下では更に低い室温でも快適に感じる事が考えられる。室温と知的生産性の関係については、2.2.2 項でも述べたように、22℃～26℃の範囲がパフォーマンス発揮に最適である^[18]ことから、活動量や着衣量が増える状況下では快適温度が低温側に偏移することが考えられる。また、夏期における温度差が執務者の快適性へ及ぼす影響について調べた研究^{[22][34]}では、低温の環境へ入ったときに感じる冷刺激は快適に感じやすく、37℃の環境から 22℃の環境へ移動するような大きな冷刺激に曝露される場合でも快適側の申告が比較的多いと述べており、逆に温度差は小さくても高温の環境へ入ったときに感じる温刺激は不快に感じやすい傾向があると述べている。

3.2 執務環境と休憩環境の統合温熱制御

3.1節で述べた知見から、夏期における執務環境と休憩環境の統合温熱制御の基本的な概念を図3.1に示す。

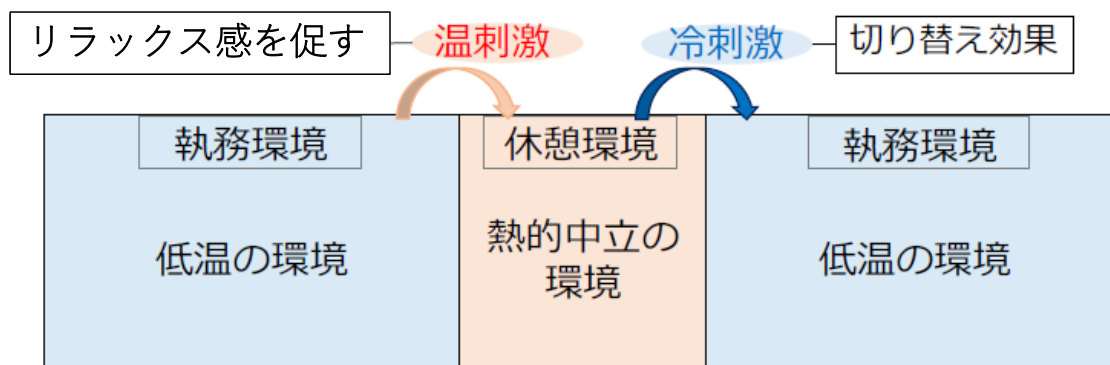


図 3.1: 統合温熱制御の基本的な概念

提案制御においては、執務環境は低温の環境とする。これは、休憩時と比較して作業時は執務者の身体活動量 [Met (Metabolic Equivalent)] が高くなることから、快適温度が熱的中立より低温側に広がると考えられるためである。更に、2.2.2節でも述べたように、パフォーマンス発揮に適した室温は22℃付近と低温環境である^[19]ためである。次に、休憩環境は熱的中立な環境とする。これは、作業時と比較して休憩時は執務者の身体活動量が低くなるため、3.1節で述べた26℃～28℃の快適温度が最も快適性の高い室温であると考えられるためである。

図3.1に示す温刺激は、低温の執務環境から熱的中立な休憩環境に移動した際に得られる温度差による刺激である。温刺激は、不快に感じさせない程度の大きさにすることで、執務者が休憩環境に入室した際に暖かく快適な印象を与えてリラックス感を促す。これにより、副交感神経優位にし、休憩の質の向上を期待する。

また、図3.1に示す冷刺激は、熱的中立な休憩環境から低温の執務環境に移動した際に得られる温度差による刺激である。夏期における冷刺激は快適に感じやすいことから大きな温度差を付ける。Gwakら^[20]によると、温度変化には覚醒度を向上させる可能性があることから、冷刺激には覚醒度を向上させることで休憩から作業への素早い気持ちの切り替え効果を期待する。

本研究では、以上に示すような条件を満たす統合温熱制御を実施する。次節では、この統合温熱制御における室温設定等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る。

3.3 統合温熱制御環境構築のための試行実験

試行実験では、複数の統合温熱制御の条件を探索的に試行し、執務環境と休憩環境の室温および環境間の温度差が、執務者の快適性と知的生産性へ与える影響を調べることで統合温熱制御の詳細を決定することを目的とした。試行実験は、2016年7月23～24日（以下、試行実験1）、8月11日・8月16日（以下、試行実験2）の計2回に分けて京都大学吉田キャンパス総合研究10号館（旧工学部1号館）地下1階010号室および008号室で実施した。実験参加者は健康な男子大学生を対象とした。これは、一般的に女性は男性に比べて、室温が熱的中立な環境より低温の環境では寒さを感じやすく^[35]、本研究ではこのような性別属性による影響を除くためである。2回の試行実験では、実験参加者に対して室内環境の印象を問うアンケートを実施し、室内環境に対する快適性や知的生産性に影響を及ぼす条件を抽出し、統合温熱制御の詳細を決定した。

試行実験1では、執務環境の室温、休憩環境の室温、温刺激と冷刺激の大きさ（すなわち、温度差）、実験プロトコルについて検討した。試行実験2では、試行実験1の結果を参考に、執務環境と休憩環境の室温制御を改良し、統合温熱制御の詳細を検討した。2回の試行実験では、温熱制御以外の要因が快適性および知的生産性へ及ぼす影響を防ぐために、机上面照度を 700 ± 20 lux、 CO_2 濃度を800ppm以下、騒音レベルを55dB以下に統一して実施した。また、実験期間中は着衣量の違いが実験参加者の温熱感へ及ぼす影響を防ぐために、着衣量を0.7cloに統制した。図3.2に試行実験で統制した服装を示す。実験期間中、実験参加者が実施する作業には、本研究室で開発した認知タスクである比較問題^[36]を使用した。比較問題は、オフィスワークで使用される言語能力、計算能力、判断能力の3つの能力を必要とする認知タスクである。問題内容は、単語の意味カテゴリーを比較する問題（以下、単語比較）と、数字の大小を比較する問題（以下、数字比較）が同時に出題され、正誤を解答する。単語比較では、地名、人工物、動物、植物の4つの意味カテゴリーに属する単語から2つの単語が出題され、その2つの単語が同じカテゴリーに属するか、異なるカテゴリーに属するかを判断する。数字比較では、4桁の数字が不等式で出題され、不等式の正誤を判断する。比較問題の実施にはiPadを使用し、図3.3に示すようなブラウザ上で動作するアプリケーションを使用した。

(1) 試行実験1

試行実験1では、執務環境の室温、休憩環境の室温、温刺激と冷刺激の大きさ、実



図 3.2: 試行実験時に着用する服装

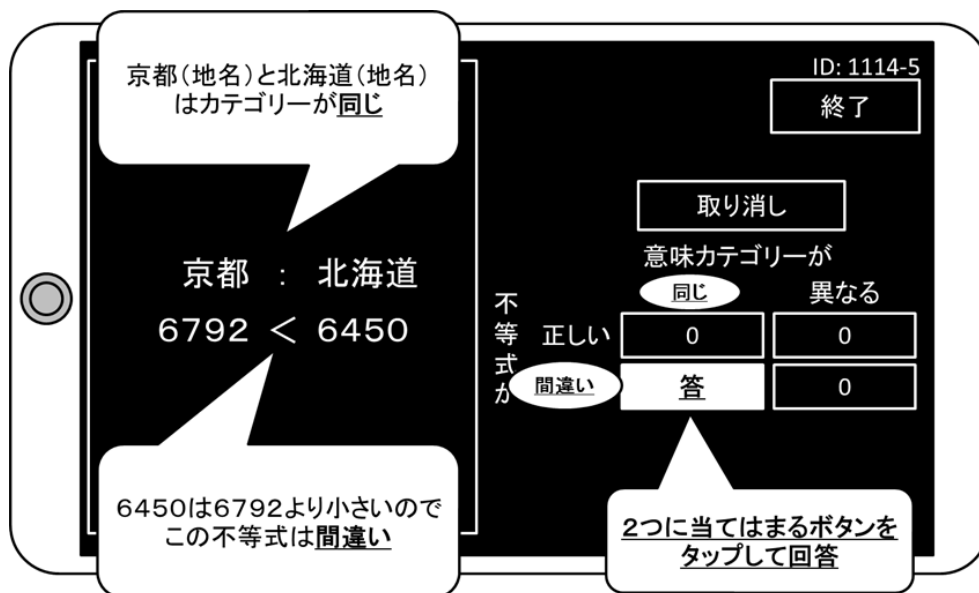


図 3.3: 比較問題の提示インターフェース

験プロトコルについて検討した。実験は、健康な男子大学生8名を対象に、図3.4に示す2日連続の実験プロトコルで実施した。実験プロトコルでは休憩の前後に比較問題を実施することで、執務環境と休憩環境の室温、温刺激や冷刺激が執務者の知的生産性や疲労へ与える影響について検証し、また室内環境による心理的影響を調べるための環境評価アンケート、室内環境の変化が執務者の身体的疲労を問うアンケート^[37]、室内環境の変化が執務者の作業遂行時の感情状態へ及ぼす影響を確認するための多面的状態尺度^[38]を随時実施することで温熱感や快適性を調べた。試行した温熱環境条件を表3.1に示す。表3.1におけるPMV (Predicted Mean Vote; 予測温冷感申告)^[39]は、暑い、寒いといった人間の温熱感を7段階評価尺度で表した指標であり、温熱環境要素である室温、相対湿度、気流、平均放射温度、活動量、着衣量の6要素をFanger^[40]の快適方程式に適用することで求められる。図3.5にPMVとPPD (Predicted Percentage Dissatisfied; 予測不快者率)の関係を示す。図3.5から、PMVが涼しい、暖かい側に振れるにつれて熱的不快性を表すPPDの値が増加することがわかる。試行実験1では表3.1に示すように、条件日ごとに執務環境の室温のみ変化させており、条件Aでは各環境間に3℃の温度差を付け、条件Bでは1℃の温度差を付けることで、熱的刺激の大きさの違いが執務者の快適性等へ与える影響を検証した。

表 3.1: 試行実験1における温熱環境条件

	執務環境室温 (PMV)	休憩環境室温 (PMV)	湿度	気流速度
7月23日 条件A	23.0 ± 0.5℃ (-0.24)	26.0 ± 0.5℃ (0.48)	60 ± 10%	0.1m
7月24日 条件B	25.0 ± 0.5℃ (0.37)	26.0 ± 0.5℃ (0.48)	60 ± 10%	0.1m

試行実験1の実験参加者のアンケート^{[37][38]}の結果の一部を下記に示す。各アンケート項目について、条件Aと条件Bの間に対のある両側t検定を行い比較した。

- 「休憩室の室温」の項目において、2条件ともに中立の印象であった。
- 「休憩環境の室温快適性」の項目において、条件Bの方が快適である傾向が見られた。(n.s.)
- 「集中」の項目において、条件Bの方が午前の練習後で有意に低い傾向が見られた。(p < 0.05)

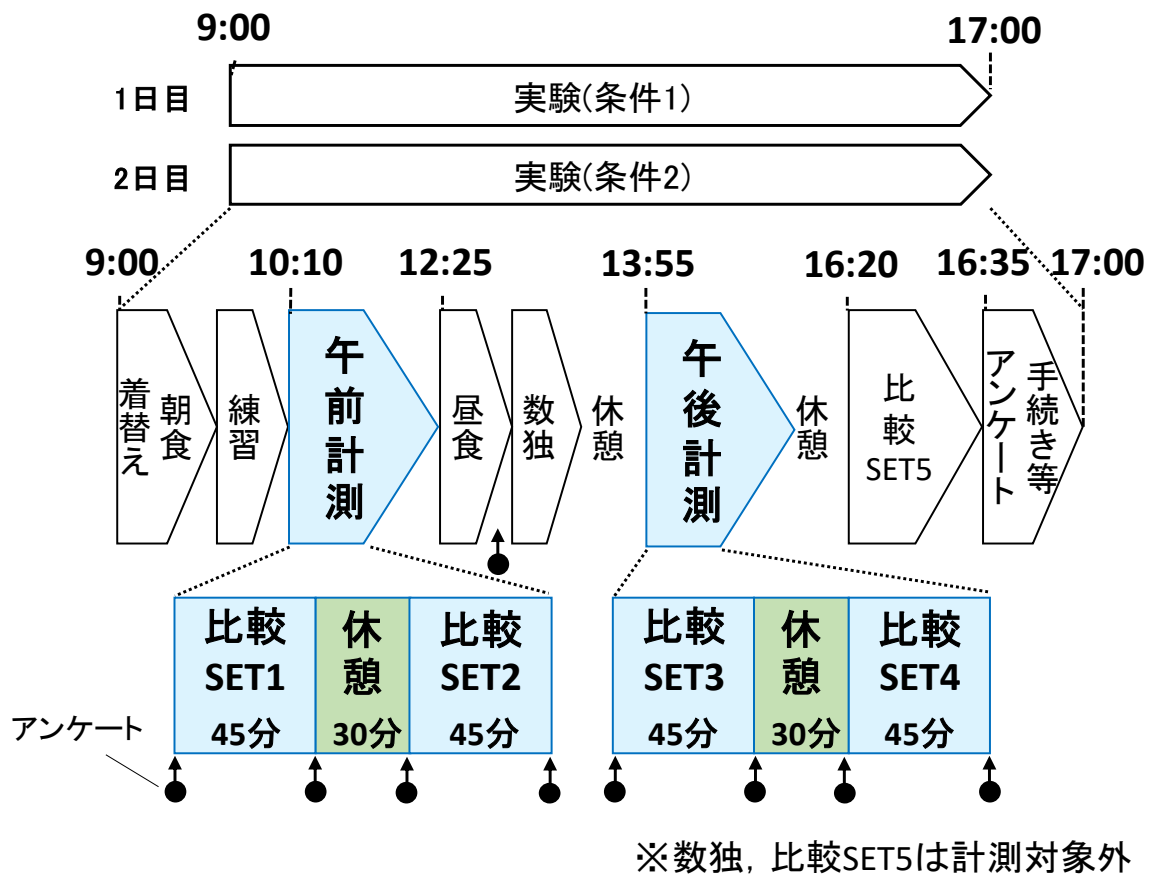


図 3.4: 試行実験 1 の実験プロトコル

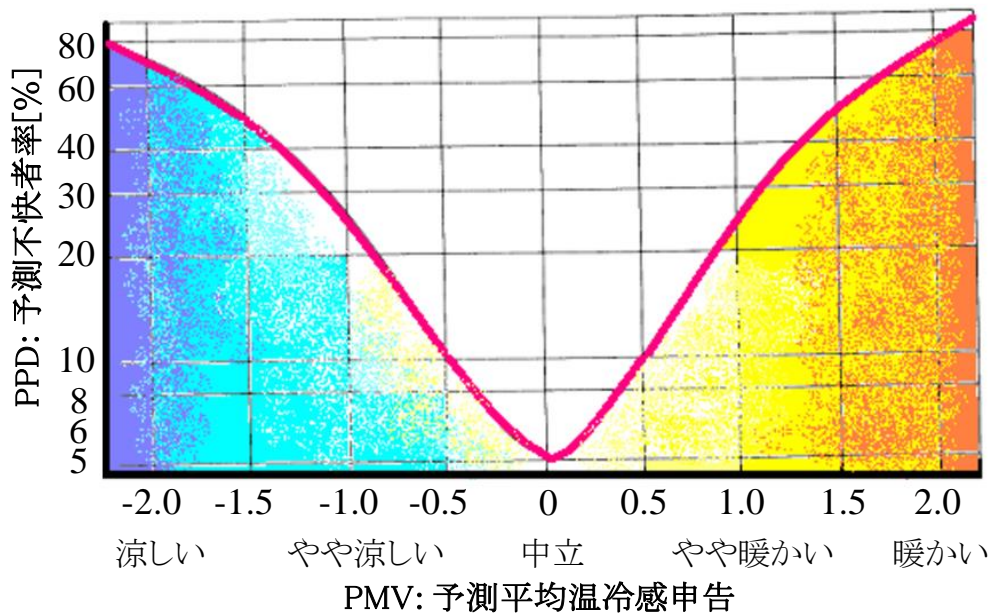


図 3.5: PMV と PPD の関係 [41]

- 「モチベーション」の項目において、条件 B の方が一日通して有意に低い。(p < 0.01)
- 「だるさ感」の項目において、条件 B の方が一日通して有意に低い傾向が見られた。(p < 0.05)

試行実験 1 の実験参加者のインタビュー結果の一部を下記に示す。

- 条件 A の方が、休憩環境に比べて執務環境が涼しかったため、眠気が軽減されて作業に集中することができた。
- 寒さが苦手なため、条件 A の執務環境は寒く感じたがより集中することができた。
- 条件 A の方が、執務環境が寒く、休憩環境が暑かったため集中を保ちづらかった。
- 2 日目の比較問題 SET1 終了時に、同じ作業をまだやるのかと思うとモチベーションが下がった。

以上の結果より、休憩環境は同じ室温であるにも関わらず、「室温快適性」のアンケート項目では条件 B の方が快適に感じられ、インタビューでも「暑く感じた」という意見があったことから、温刺激が休憩環境の印象に悪影響を与えた可能性が考えられる。また、提案する温熱制御環境の検討のために設定した条件 A に関するインタビューにおいて、「涼しかったため作業に集中することができた」という意見を 8 名中 4 名が述べていたものの、不快な印象として「寒かった」という意見を 3 名が述べ、「集中を保ちづらい」という意見も 1 名が述べていた。よって、23℃の室温は作業効率に良い影響を与える可能性はあるが、寒く不快に感じる参加者もいたことによって、環境に対する印象が低下したと考えられる。

さらに、「集中」「モチベーション」のアンケート項目の結果から、実験 1 日目に比べて 2 日目の方が実験に対する意欲が低下していることが考えられ、インタビューからも 2 日目の SET1 終了時にモチベーションが低下したという意見が確認された。「だるさ感」のアンケート項目の結果から、実験 1 日目に比べて 2 日目は疲労が蓄積していることが考えられる。以上より、2 日連日で行う実験プロトコルではモチベーション等の統制が不十分であると考えられる。以上の結果を参考に試行実験 2 の実験設計を行った。

(2) 試行実験 2

試行実験2では、試行実験1の結果を参考に執務環境と休憩環境の室温制御を改良し、統合温熱制御の詳細を検討した。実験は、健康な男子大学生8名を対象に、図3.4と同様の実験プロトコルとしたが、実験参加者のモチベーションや疲労の回復のために実験日の間に期間を設けることとし、実験の1日目と2日目の間に4日間の期間を空け、両日とも平日に実施した。試行実験2を実施した際の温熱環境条件を表3.2に示す。

試行実験2では表3.2に示すように、1日目に標準条件、2日目に温熱制御条件の2条件を設定し比較した。標準条件は、執務環境の室温を26℃、休憩環境の室温を27℃と執務者が熱的中立な印象を持つような室温に設定しており、環境間の温度差も1℃と熱的刺激をほとんど感じない条件にしている。これに対して、温熱制御条件は、執務環境の室温を25.5℃、休憩環境の室温を27℃に設定し、休憩後の比較問題SETにおける執務環境の室温を23℃まで一時的に低下させ、比較問題開始後10分程度で25.5℃まで上昇させる制御を行った。これは、執務環境から休憩環境へ移動する際に受ける温刺激を小さくすることで休憩環境に対する印象の悪化を低減し、休憩環境から執務環境へ移動する際に受ける冷刺激を大きくすることで、覚醒度を向上させ、休憩から作業への素早い気持ちの切り替え効果を期待した。その後、10分程度で室温を25.5℃まで上昇させることで、低温に順応させないことで、寒いと感じる不快感の軽減を期待した。また、標準条件と温熱制御条件の休憩環境において、人体に直接曝露しない程度に弱い気流を発生させることで、空気の循環を行い執務者周辺の空気質の向上を図った。

表 3.2: 試行実験2における温熱環境条件

	執務環境			
	室温 (休憩直後)	湿度	気流速度	PMV(休憩直後)
8月11日標準条件	26.0 ± 0.5℃ (26.0 ± 0.5℃)	60 ± 10%	0.2m	0.42(0.42)
8月16日温熱制御条件	25.5 ± 0.5℃ (23℃ ± 0.5℃)	60 ± 10%	0.2m	0.26(-0.38)
	休憩環境			
	室温	湿度	気流速度	PMV
8月11日標準条件	27.0 ± 0.5℃	60 ± 10%	0.5m	0.35
8月16日温熱制御条件	27.0 ± 0.5℃	60 ± 10%	0.5m	0.35

試行実験2の実験参加者のアンケート^{[38][37]}の結果の一部を下記に示す。各アンケートの回答について、条件Aと条件Bの間に対のある両側t検定を行い比較した。

- 「休憩環境の室温」の項目において、2条件ともにやや暖かい印象であった。
- 「休憩環境の室温快適性」の項目において、2条件ともに快適な印象であった。
- 「集中」の項目において、2日目の温熱制御条件の方が午前の練習後に有意に低い傾向が見られた ($p < 0.05$)。

試行実験2の実験参加者のインタビュー結果の一部を下記に示す。

- 2日目の方が、執務環境が涼しく作業効率が上がったような気がした。
- 2日目の休憩から執務環境へ戻ったときに、少し寒く感じたが、目が覚めて集中が高まった。
- モチベーション変化による大きな影響は無かった。

以上の結果より、休憩環境の「室温」「室温快適性」のアンケート項目で有意な差はなく、条件間で温刺激による主観的な印象の差はなかった。また、インタビューで、2日目の温熱制御条件の方が「執務環境が涼しく集中できた」「休憩から戻った直後は少し寒かった」というような意見を8名人中4名が述べており、作業中に寒かった、集中できなかったなどの否定的な意見は見られなかった。これらより、温刺激を小さくすることによる休憩環境への不快感の低減、冷刺激を大きくすることによる休憩から作業への気持ちの切り替え効果、そして冷刺激を与えた後の室温上昇による不快感の低減が確認された。一方で、アンケートにおいて「モチベーション」「だるさ感」の項目の結果には差はなかったが、「集中」の項目の結果が2日目の練習後において有意に低い傾向が見られたことから、実験日ごとの体調等の統制が不十分であると考えられ、実験実施日において改善の余地がある。

3.4 提案する統合温熱制御

本研究では、3.3節で述べた試行実験の主観評価の結果を参考に設計した夏期における統合温熱制御を提案する。提案する統合温熱制御の概要を図3.6に示す。執務環境の室温は25℃に設定し、休憩環境の室温は27℃に設定する。また、この際のPMVの値は、執務環境では0で中立、休憩環境では0.28でやや暖かい側の中立であることから、移動時の温刺激は小さく、執務者に不快感を与えず程よくリラックス感を与えることで作業から休憩に気持ちを切り替える効果を期待している。また、休憩環境で

は執務者周辺に風速 0.5m の弱い気流を曝露することで、空気の循環による空気質の向上および印象の向上を期待している。休憩後の執務環境の室温は一時的に 22℃まで低下させ、作業開始後 10 分程度で 25℃まで上昇させる。執務環境においては室温低下時の PMV を中立とやや涼しいの中間の -0.46 とすることで、休憩環境から執務環境への移動時に受ける冷刺激を大きくし、休憩から作業への気持ちの切り替え効果を期待している。また、低温の環境への順応を防ぐために執務環境の室温を上昇させることで、寒さによる不快感の低減を狙う。以上の執務環境と休憩環境の統合温熱制御により執務者の知的生産性の向上効果を期待する。

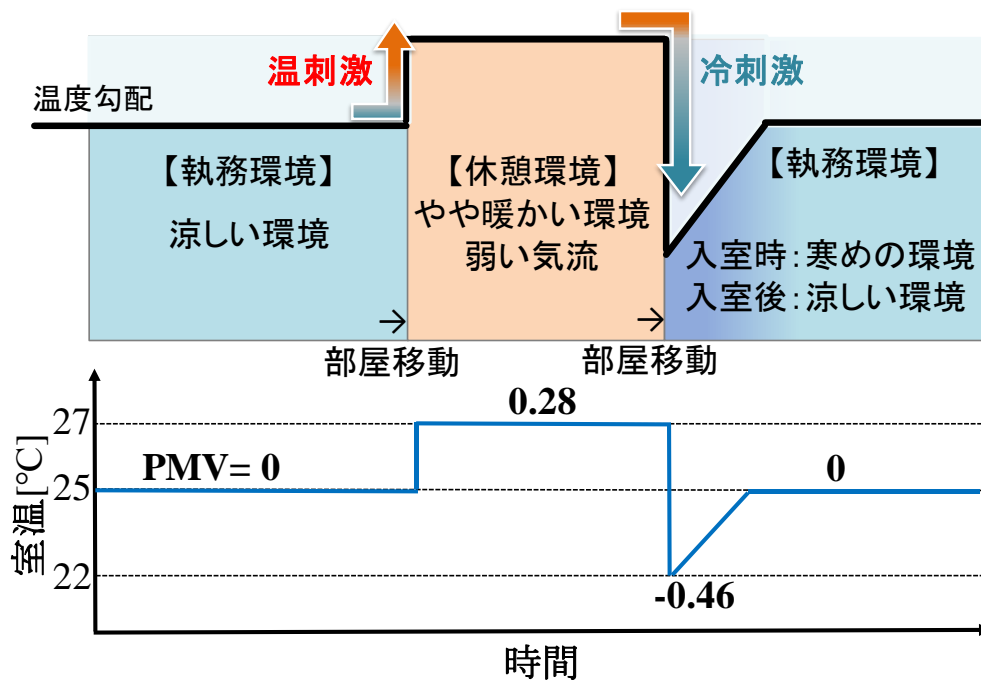


図 3.6: 夏期における統合温熱制御

第 4 章 夏期における統合温熱制御の評価

本章では、3章で提案した夏期における統合温熱制御の知的生産性へ及ぼす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。実験の目的について述べた後、実験方法について説明し、最後に結果と考察を述べる。

4.1 実験の目的と概要

本評価実験は、提案した統合温熱制御が執務者の集中および心理的要因へ及ぼす影響を評価することを目的とする。実験には健康な男子大学生 38 名が参加し、2016 年 8 月 20 日～10 月 8 日に京都大学総合研究 10 号館 010 号室を執務環境とし、008 号室を休憩環境として被験者実験を実施した。環境条件は、執務環境と休憩環境の間に温熱差を作らない標準環境条件と、3章で述べたように執務環境と休憩環境の温熱条件に温熱差をつけることで参加者に温度変化による刺激を与えるように制御する提案環境条件の 2 条件を設定した。2 条件間で知的生産性へ及ぼす影響の違いを調べるために、本研究室で開発した CTR^[30] を用いて知的作業における集中時間の持続（以下、知的集中）を測定することで、客観的かつ定量的に知的生産性を評価した。また、CTR に加えて、環境条件ごとの執務環境と休憩環境の印象や疲労感などを調べるために複数の主観評価アンケートを実施した。

4.2 実験の方法

4.2.1 環境条件

(1) 室内環境

グループ 1～5 で使用した執務室とグループ 6 で使用した執務室のレイアウトをそれぞれ図 4.1、図 4.2 に示し、休憩室のレイアウトを図 4.3 に示す。また、執務室での作業風景を図 4.4 に示す。外光の影響を防ぐため、執務室と休憩室の窓は遮光した。また、温熱制御以外の要因による影響を防ぐために、机上面照度を $700 \pm 20\text{lux}$ 、 CO_2 濃度を 1000ppm 以下、騒音レベルを 55dB 以下に統一し、机上面の反射による影響を抑え

るために執務室の机はアンチグレアの灰色の布で覆った。執務室の机には、実際のオフィスの机で感じる視覚ノイズに合わせるため、図4.3に示すように20冊程度の書籍を机の上に設置した。執務室の中央には正面に座る実験参加者の顔が見えないようにするために高さ1200mmのついたてを設置し、実験参加者の座席を区切るために高さ900mmのついたてを座席周辺に設置した。また、温度むらが生じないように執務室と休憩室のそれぞれの部屋の四隅にサーキュレータを設置し、空気を循環させた。

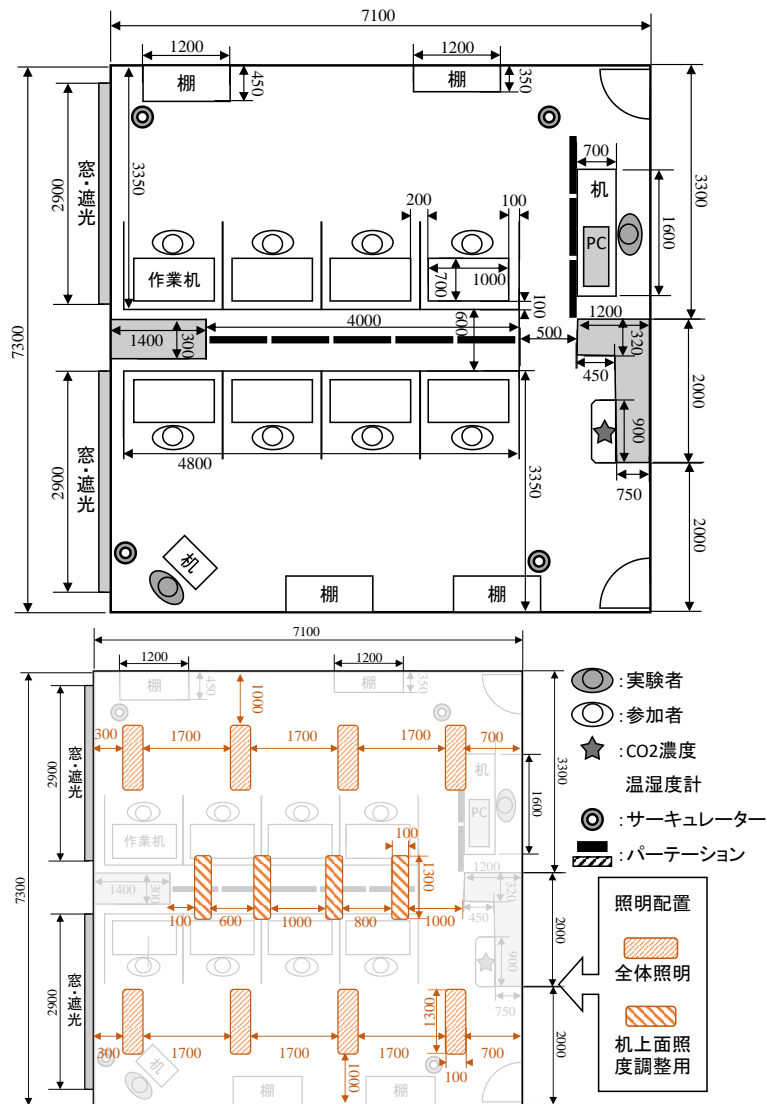


図 4.1: 夏期評価実験における執務室レイアウト

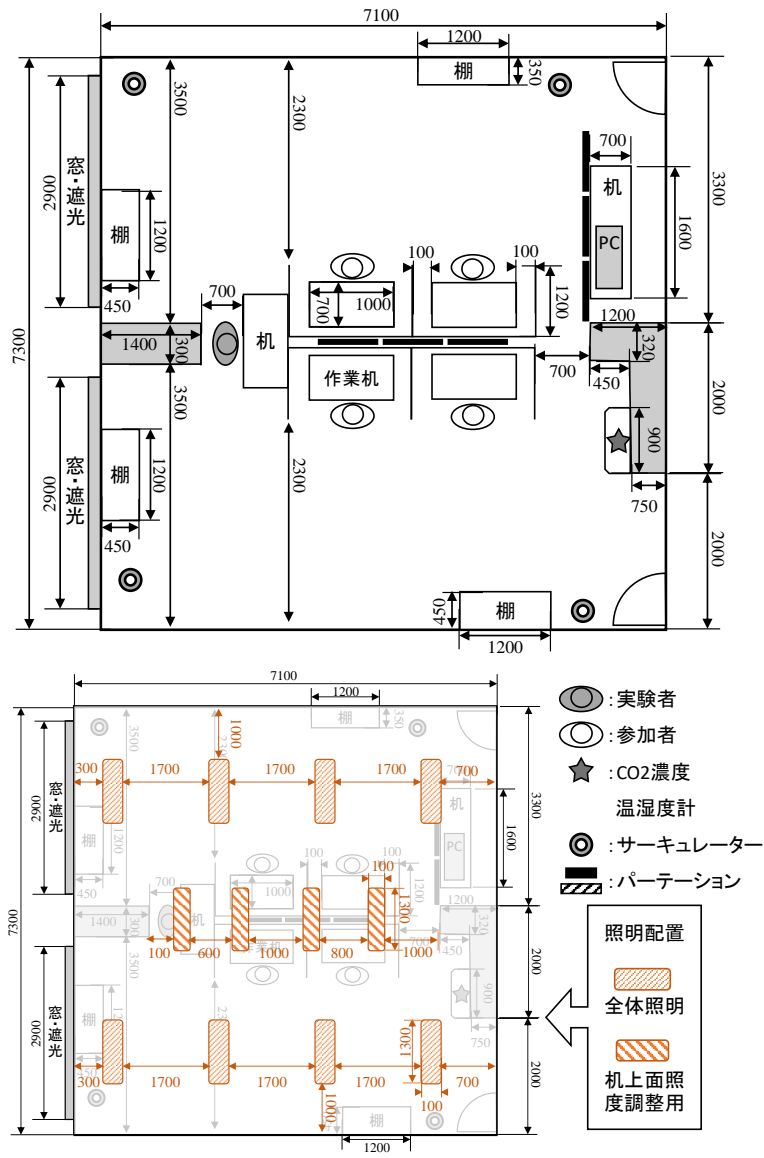


図 4.2: 夏期評価実験(グループ6)における執務室レイアウト

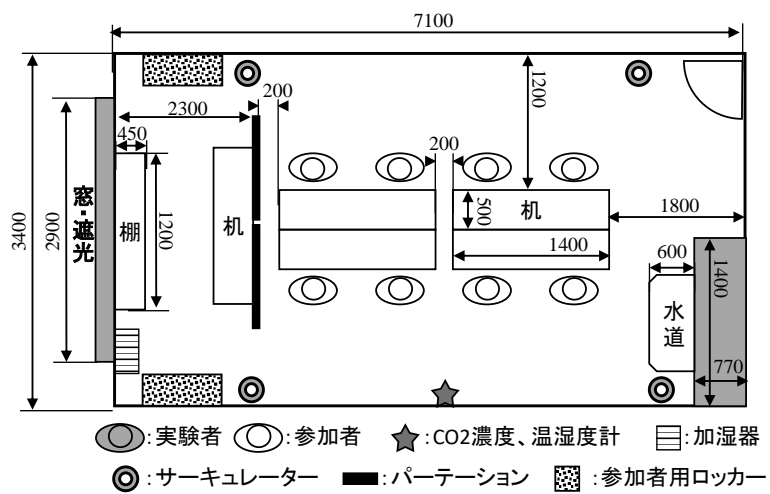


図 4.3: 夏期評価実験における休憩室レイアウト



図 4.4: 夏期評価実験の実験風景

(2) 温熱環境条件

本評価実験では環境条件を標準環境条件と提案環境条件の2条件を設定し、詳細を図4.5に示す。また、参加者の着衣は3.3節と同様の服装を用いて着衣量を0.7cloに統一し、活動量^[42]は執務環境下での事務作業時と同等と仮定して1.1met、休憩環境下では椅座静位状態であるため1.0metとしてPMVを計算した。実験は2日間で実施し、モチベーションの統一と疲労蓄積の軽減を目的に実験1日目と2日目の間に6日間の期間を設けて同じ曜日に実施した。環境条件を1日1条件とし、参加者グループでなるべく環境条件順序のカウンターバランスを取るようにした。表4.1に各グループにおける環境条件の実施順を示す。

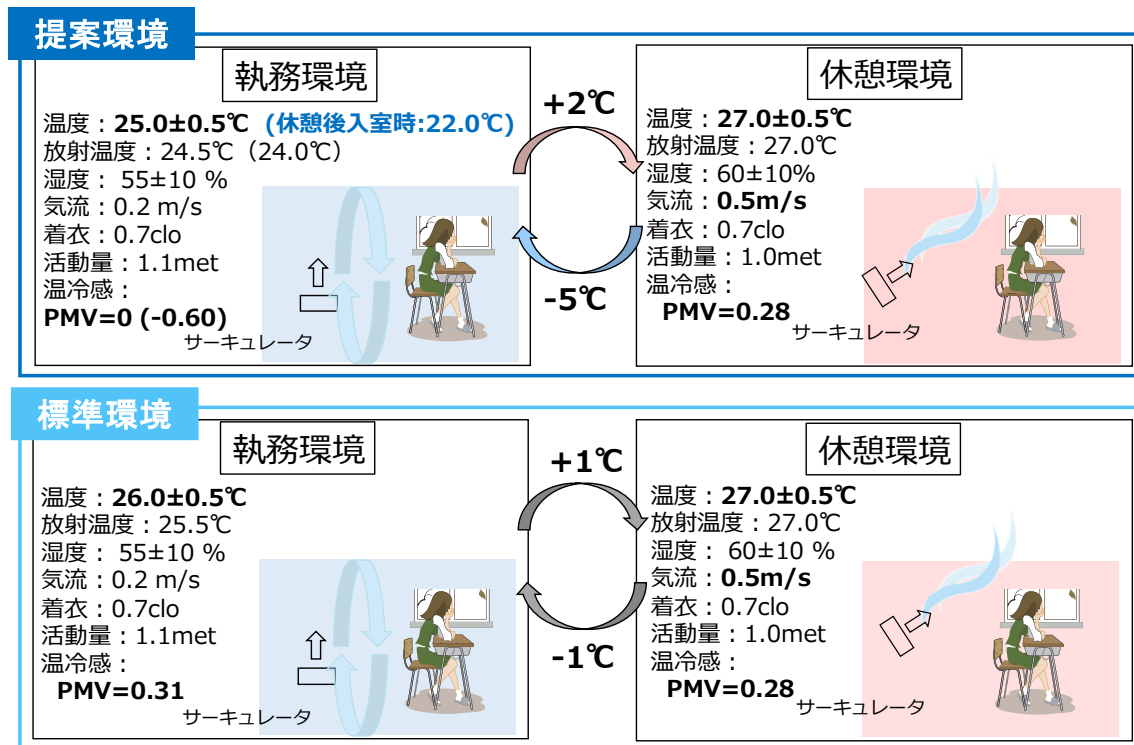


図 4.5: 夏期評価実験における温熱環境条件

4.2.2 実験参加者

実験参加者は健康な男子大学生 38 名で、1 グループ 8 名のグループ (グループ 1~5) と 1 グループ 4 名のグループ (グループ 6)、合計 6 グループに分けて実験を実施

表 4.1: 夏期評価実験における環境条件の実施順

	1 日目	2 日目	参加人数
グループ 1	標準条件	提案条件	7(1 人途中退場)
グループ 2	提案条件	標準条件	8
グループ 3	提案条件	標準条件	8
グループ 4	標準条件	提案条件	5(2 人欠席、1 人途中退場)
グループ 5	標準条件	提案条件	6(1 人欠席、1 人途中退場)
グループ 6	提案条件	標準条件	4

した。実験参加者を募集する際に BMI(Body Mass Index) の申告値と、実験で実施する認知タスクを事前に実施した成績によりスクリーニングを行った。BMI 値は 18.5 ~ 25.0 に制限し、体型による温熱感の違いが実験に影響しないようにした。認知タスクには比較問題^[36]を使用し、その問題解答数と式 4.1 に示す誤答率からスクリーニングを行った。これは、実験に参加するにあたって計測を問題なく行うことができるかを事前に確認するためである。実際には、実験応募者に PC または携帯端末から比較問題のサイトにアクセスしてもらい、説明ページを参照後、解答ページにて 30 分間解答させた。30 分間の実施データから、問題解答数 N_{all} 、誤答数 N_{error} を計測し、式 4.1 に示す誤答率 ($Error[\%]$) を求めた。実施したスクリーニングの基準を以下に示す。スクリーニングにより採用した実験参加者には、実験前に年齢、室内環境への耐性に関するアンケートを実施した。

- 問題解答数 $N_{all} > 300$ であること
- 式 4.1 に示す誤答率 $< 10\%$ であること

$$Error = \frac{N_{error}}{N_{all}} \times 100[\%] \quad (4.1)$$

4.2.3 実験手順

本評価実験は図4.6に示す実験プロトコルに従い、各日9時から17時まで実施した。1日目と2日目にそれぞれ異なる環境条件を設定し、午前計測と午後計測の区間で温熱制御を行った。午前計測と午後計測では、まず執務環境にて比較問題を45分間実施した後、休憩環境に移動し30分間の休憩を取り、その後、再び執務室に移動し45分間の比較問題を実施し、1問あたりの解答時間を実施時間中に連続して計測した。また、図4.5に示した温熱制御を午前計測と午後計測で同様に行い、各タスクの前後に環境の印象や疲労感を問うアンケート、実験終了時に2日間を総括して実験に対する意欲や環境に対する印象の変化を問うインタビューを実施した。また、比較問題のみを実施することによる単調性がもたらすモチベーションの低下を回避するためにゲームタスクとしてのような数独タスクを昼食後に20分間実施したが、このパフォーマンスは知的生産性評価の計測対象外とした。数独とは、各列、各行および3×3のブロックにある空欄の中に1から9までの数字を重複なく配置するというルールのパズルである。また、1日の最後に終末効果によって作業意欲が向上する等の影響を回避するために、比較問題SET5を実施し知的生産性評価の計測対象外とした。

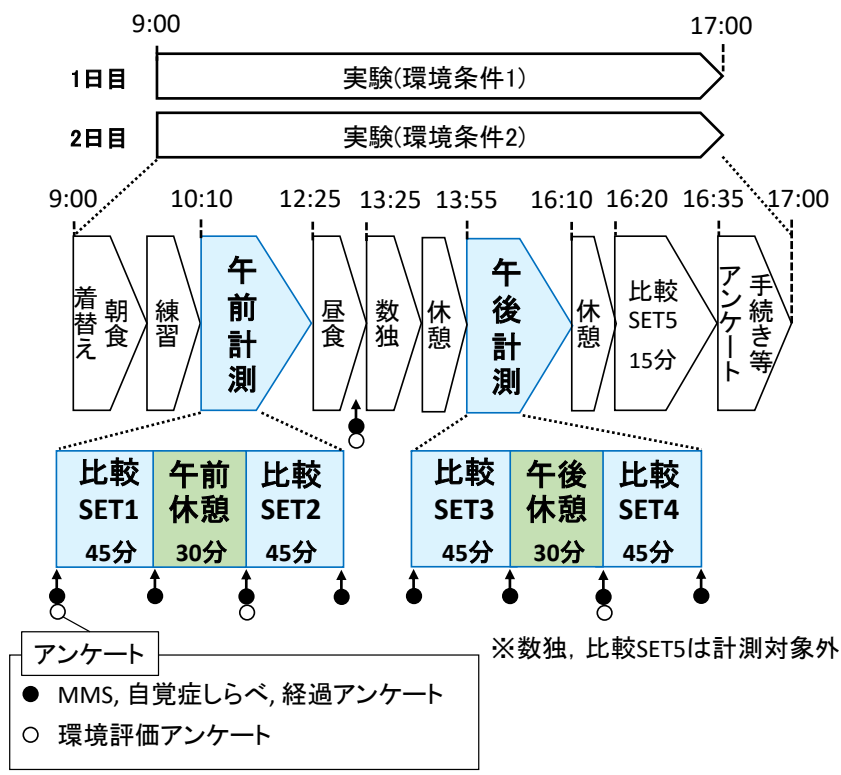


図 4.6: 夏期評価実験における実験プロトコル

また、各タスクの開始時にはなるべく正確に問題を解くように実験参加者に対し教示した。さらに、実験期間中の居眠りは、覚醒度の低下により、環境変化に対する感度の低下や作業進行に悪影響を及ぼすと考えられるため、作業中および休憩中は絶対に眠らないよう教示した。また、実験参加者の体調変化による実験への影響を軽減するために、実験前日と実験開始時に以下の教示をすることで生活の統制を行った。

- 実験前日は、過度な喫煙や飲酒を控え、規則正しい生活を送ること
- 実験当日は、カフェインを含む飲食物の摂取を控えること
- 実験期間中は、配布される朝食と昼食、飲料水以外はを摂取しないこと

4.2.4 測定項目

本評価実験では、CTR、主観的感情状態、主観的疲労・主観的モチベーション、室内環境の主観評価を計測した。客観的指標である CTR の他に複数の主観的計測項目を設けることで、CTR に寄与した心理生理的要因を抽出し、提案した統合温熱制御の知的集中への効果を検討する。

(1)CTR

本研究室で開発した CTR は、知的集中度を客観的かつ定量的に評価することが可能な指標である。河野ら^[43]は、Card ら^[44]の人間の認知活動特性を記憶システムと情報処理システムに分した人間-情報処理モデルを参考に、認知タスク実施時の執務者の作業処理状態を3つの状態に分類できるとした。具体的には、注意が作業に向き作業も進行している状態である「作業状態」、注意が作業に向いているが無意識のうちに作業を中断している状態である「短期中断状態」、意識的に休息を取り作業が中断している状態である「長期休息状態」である。大石ら^[45]は上記の3状態において、「作業状態」と「短期中断状態」を集中状態、「長期休息状態」を非集中状態に対応させて、図4.7に示す集中-非集中モデルを提案した。また、集中-非集中モデルで、「作業状態」と「短期中断状態」の遷移確率を一定であると仮定すると、認知タスク1問に要した解答時間(以下、解答時間)の解答頻度ヒストグラムは図4.8に示すように対数正規分布の形に近似できるとした。このときの対数正規分布関数は、式4.2で表すことができる。図4.8において、短い解答時間の対数正規分布が集中状態であり、「作業状態」と「短期中断状態」からなる。さらに、対数正規分布以外の長い解答時間の

部分が非集中状態であり、「作業状態」と「短期中断状態」に加え「長期休息状態」からなる。集中状態の合計時間 T_c は、式 4.3 に示すように $F(t)$ の期待値 $\exp(\mu + \frac{\sigma^2}{2})$ と総解答数 N によって表される。そして、認知タスクの実施時間 T_{total} に対する集中状態の合計時間 T_c の割合から式 4.4 により CTR を算出し、オフィスにおける知的生産性を集中時間比率、つまり知的集中を用いて評価することができるとした^[45]。執務者の作業状態は、温度などの物理的要因から快適性や覚醒度などの心理生理的要因を経由して間接的に影響を受け、加えてモチベーション要因から直接的に影響を受ける。そのため、温度変化などの室内変化が執務者の知的生産性へ及ぼす影響を測定する場合、実験期間中のモチベーションや疲労をなるべく一定に保つように統制し、その影響を抑えた上で、CTR を用いて執務者の知的集中を測定すればよい。

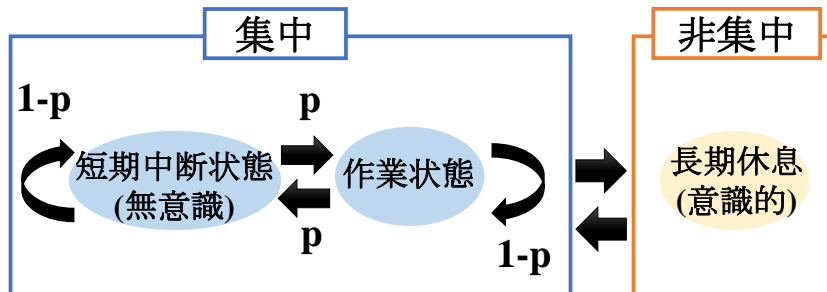


図 4.7: 大石らによる 3 状態集中モデル^[45]

$$F(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma t} \exp \left[-\frac{(\ln(t) - \mu)^2}{2\sigma^2} \right] \cdot p \quad (4.2)$$

$$T_c = \exp \left(\mu + \frac{\sigma^2}{2} \right) \cdot N \quad (4.3)$$

$$CTR = \frac{T_c}{T_{total}} \quad (4.4)$$

t は解答時間、 e^μ は最頻値、 σ は標準偏差である。また、本研究では、休憩環境入室時に曝露される温刺激が休憩の質へ及ぼす影響、休憩環境から執務環境入室時に曝露される冷刺激が休憩から作業への気持ちの切り替えを促し、CTR へ及ぼす影響を調べるために、式 4.5 に示す休憩前後の比較問題の CTR から CTR 変化率を算出した。CTR 変化率は、休憩前の比較問題 SET(SET1, 3) での CTR を基準にしたときの、休憩後の比較問題 SET(SET2, 4) での CTR が変化した比率を表す。

$$CTR \text{ 変化率} = \frac{CTR_{\text{休憩後}} - CTR_{\text{休憩前}}}{CTR_{\text{休憩前}}} \times 100 \quad (4.5)$$

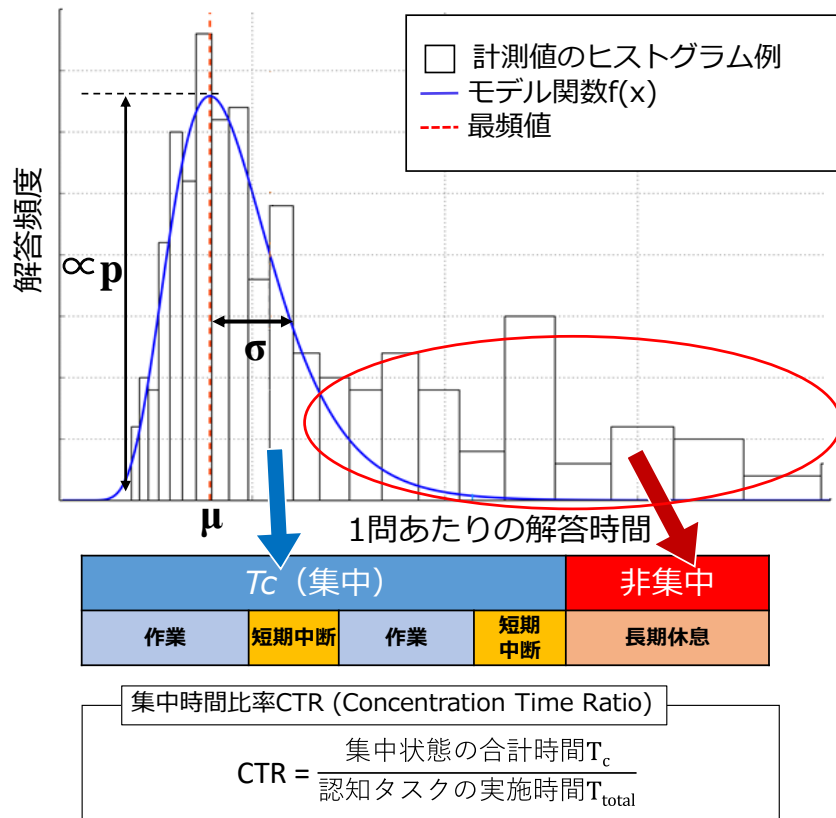


図 4.8: 集中時間比率 CTR の算出方法

(2) 主観的感情状態

室内環境の変化が執務者の作業遂行時の心理、特に感情状態へ及ぼす影響を調べるため、多面的状態尺度 (Multiple Mood Scale、以下 MMS)^[38] を用いた。MMS は、集中、抑鬱・不安、活動的快、非活動的快、倦怠、敵意、親和、驚愕の感情状態に関する 8 因子の評価が可能で、各因子につき 10 項目の質問項目、計 80 項目の質問項目から構成される質問用紙である。回答者は各質問項目を「全く感じていない」、「あまり感じていない」、「少し感じている」、「はっきり感じている」の 4 段階評価で回答し、各因子ごとに合計点を集計することで、回答時点の感情状態を評価することができる。本評価実験では、認知タスク遂行時の知的集中、作業への意欲を調べるために、「集中」、「倦怠」の 2 因子、計 20 項目の質問項目を採用し、各タスクの前後に iPad 上で回答を行うアンケート形式で実施した。表 4.2 に「集中」と「倦怠」の質問項目を示す。

表 4.2: 多面的感情状態尺度 (MMS) による「集中」、「倦怠」の評価質問項目^[38]

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

(3) 主観的疲労・主観的モチベーション

室内環境の変化が執務者の身体的疲労および覚醒度へ及ぼす影響を調べるために、自覚症しらべ^[37] とマグニチュード推定法を用いた疲労感の主観的評価、計 2 種類のアンケートを実施した。また、モチベーションの経時的変化が知的集中へ及ぼす影響を調べるため、マグニチュード推定法を用いたモチベーションに関するアンケート評価を行った。自覚症しらべは、ねむけ感、不安定感、不快感、だるさ感、ぼやけ感の疲労状態に関する 5 つの群をそれぞれ評価することができ、各群につき 5 項目の質問

項目、計 50 項目の質問項目から構成される質問用紙である。回答者は各質問項目を「まったくあてはまらない」～「非常によくあてはまる」の 5 段階評価（+1～+5）で回答し、各群ごとに合計点を集計することで、回答時点の疲労状態を評価することができる。本評価実験では、作業と休憩前後の覚醒度と身体的疲労を調べるために、ねむけ感、だるさ感、ぼやけ感の 3 群、計 15 項目の質問項目を採用し、各タスク前後に iPad 上で回答を行うアンケート形式で実施した。図 4.9 にアンケート回答画面を示し、表 4.3 に採用した 3 群の質問項目を示す。また、心理量を直接的に推定する方法であるマグニチュード推定法を用いた「疲労感」、「モチベーション」の評価アンケート用紙を図 4.10 に示す。実験当日の朝集合時点での疲労感を 0、モチベーションを 50 とし、個人の裁量で「これ以上作業を継続できないほどの疲労感」を 100、「全くやる気が起きない」状態のモチベーションを 0、「やる気に満ちている」状態のモチベーションを 100 とした場合の各タスク前後における疲労感とモチベーションについて、記入形式でアンケート用紙への回答を求めた。

表 4.3: 自覚症しらべの項目^[37]

I 群	IV 群	V 群
ねむけ感	だるさ感	ぼやけ感
ねむい	腕がだるい	目がしょぼつく
横になりたい	腰がいたい	目がつかれる
あくびがでる	手や指がいたい	目がいたい
やる気がとぼしい	足がだるい	目がかわく
全身がだるい	肩がこる	ものがぼやける

自覚症しらべ

今のあなたの状態についてお聞きます。
次のようなことについて、どの程度当てはまるか回答してください。

質問項目	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	非常にあてはまる
目がかわく	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
目がいたい	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
肩がこる	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
あくびがでる	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
手や指がいたい	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ねむい	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
やる気がとまらい	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ものがまよめる	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
全身がだるい	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
腕がだるい	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
横にびりたい	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
目がつかれる	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
腰がいたい	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
目がしょぼつく	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
足がだるい	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

回答完了

図 4.9: 自覚症しらべのアンケート回答画面

(4) 室内環境の主観評価

室内環境による心理的影響を調べるために、図 4.11 に示す 20 項目について、中央の「どちらでもない」を 0 として、-3~+3 の 7 段階で印象評価を行うアンケートを実施した。アンケートの回答時点は練習後(執務環境)と各休憩後(休憩環境)で実施し、iPad 上で回答するアンケート形式で実施した。

室内環境評価アンケート

現在の(直前に実施した作業中の)室内環境について、適切だと思う印象を選択してください

質問項目	非常に	かなり	どちら	どちら	かなり	非常に	
			でもない	でもない			
			いい	いい			
乾燥する環境である	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	じめじめする環境である
(湿度が)不快な環境である	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	快適な環境である
(顔付近が)寒い環境である	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	暑い環境である
(足元が)寒い環境である	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	暑い環境である
(全身が)寒い環境である	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	暑い環境である
(室温が)不快な環境である	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	快適な環境である
(空気が)すんでいる環境である	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	よどんでいる環境である
(空気が)停滞している環境である	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	循環している環境である
(風圧を)感じない環境である	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	感じる環境である
(空気の動きが)不快な環境である	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	快適な環境である
(室内の音が)静かな環境である	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	うるさい環境である
(室外の音が)静かな環境である	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	うるさい環境である
(音環境が)不快な環境である	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	快適な環境である
(集中)しにくい環境である	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	しやすい環境である
(部屋全体が)不快な環境である	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	快適な環境である
(部屋の環境が)嫌い	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	好き
(湿度が作業効率を)低下させている	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	高めてくれる
(室温が作業効率を)低下させている	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	高めてくれる
(風圧が作業効率を)低下させている	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	高めてくれる
(音が作業効率を)低下させている	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	高めてくれる

回答完了

図 4.11: 環境評価アンケート

4.3 実験結果

実験参加者 38 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不十分だった実験参加者や実験者の教示に従わず作業成績が著しく低い実験参加者の計 11

名を計測対象外とし、それ以外の 27 名を計測対象とした。計測対象外とした理由と実験参加者の参加者番号を表 4.4 に示す。

表 4.4: 計測対象外とした理由

実験参加者番号	解析対象外とした理由
1	作業中に居眠りをしていた
6	作業中の総解答数が少ない
8	作業中に居眠りをしていた
10	作業中の総解答数が少ない
12	実験期間中に体調不良であった
18	実験期間中に体調不良であった
25	実験期間中に体調不良であった
27	作業中に居眠りをしていた
36	作業中に居眠りをしていた
37	作業中の総解答数が少ない
38	作業中に居眠りをしていた

4.3.1 比較タスク実施時の CTR と CTR 変化率

計測対象の実験参加者の比較問題の解答データから 4.2.4 項で述べた手法を用いて集中時間比率 CTR を算出した。各環境条件日の CTR の平均値と各 SET ごとの CTR の平均値をそれぞれ図 4.12、図 4.13 に示し、午前計測 (SET1-SET2 間) と午後計測 (SET3-SET4 間) における CTR 変化率の結果を図 4.14 に示す。提案環境下と標準環境下の CTR をそれぞれ対のある両側 t 検定で比較したところ、提案環境下での CTR が標準環境下での CTR と比較して、2.3% ポイント有意に高い傾向 ($p < 0.05$) が見られた。また、CTR 変化率は、午前計測において 1.9% ポイントの向上、午後計測において 2.4% ポイントの向上が見られたが有意差は見られなかった。

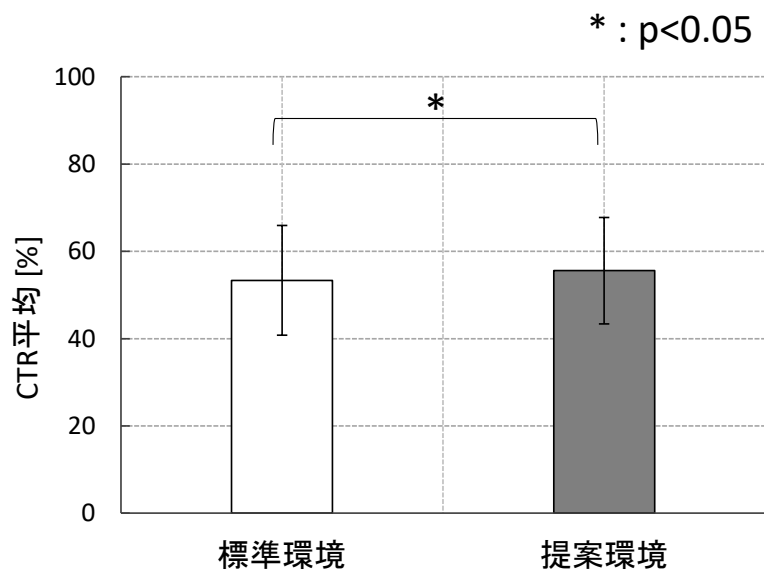


図 4.12: CTR 平均値の環境条件間比較

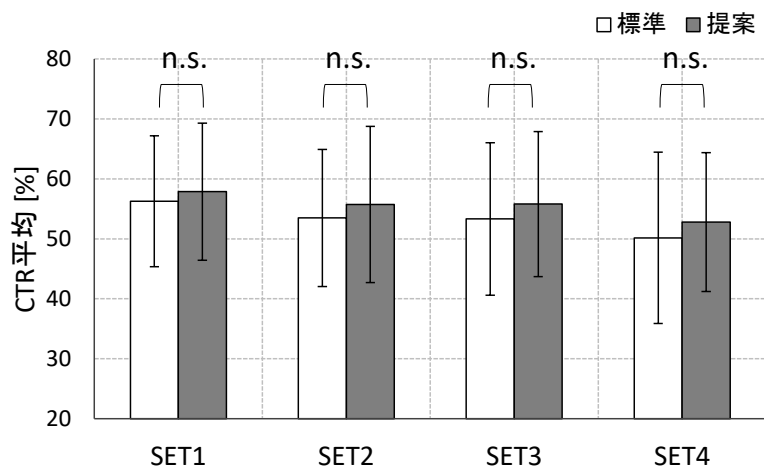


図 4.13: 各 SET における CTR 平均値の環境条件間比較

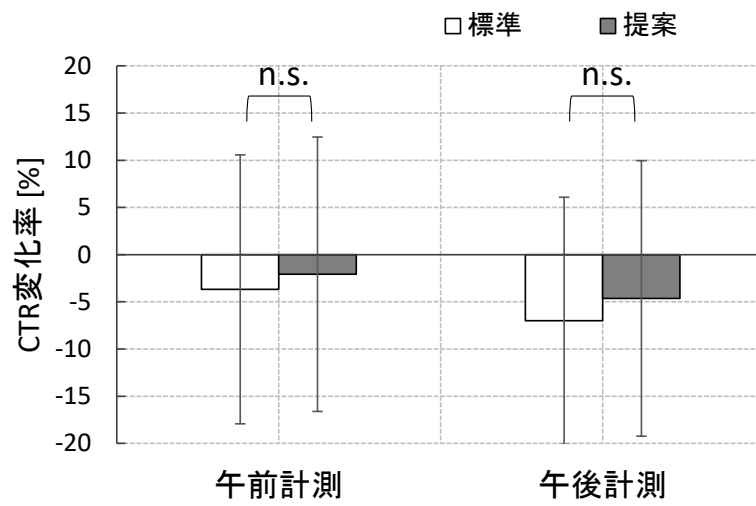


図 4.14: 午前計測と午後計測における CTR 変化率の平均値の環境条件間比較

4.3.2 主観的感情状態

MMS の倦怠の項目について、計測対象の実験参加者 (N=27) で平均した結果を図 4.15 に示す。環境条件間で比較するために、各タスク後と各休憩後、条件日全体に対応する計測結果をそれぞれ対のある両側 t 検定を行った結果、提案環境の方が一日通して有意に倦怠が高い傾向が見られた ($p < 0.05$)。

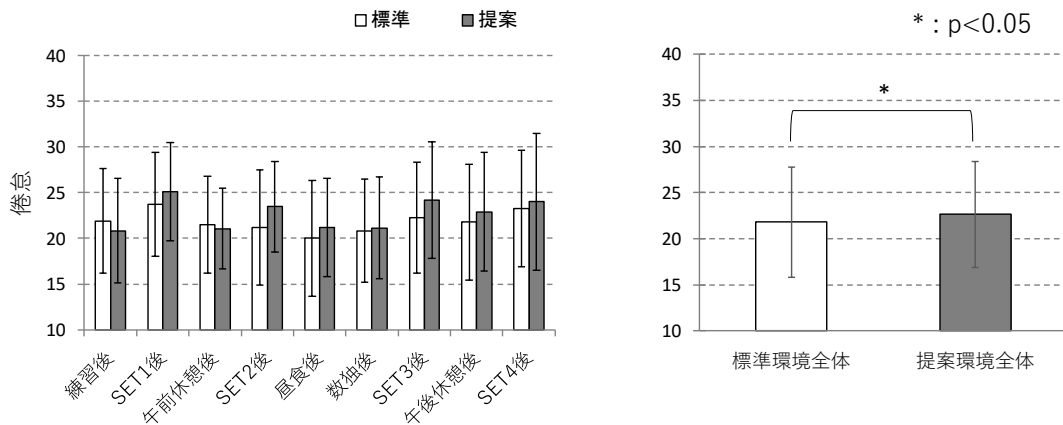


図 4.15: MMS (倦怠) のスコアの全タスク終了時と全休憩終了時の比較

4.3.3 主観的疲労・主観的モチベーション

自覚症しらのねむけ感、だるさ感の項目について、各環境条件ごとに計測対象の実験参加者 (N=27) で平均した結果をそれぞれ図 4.16、図 4.17 に示す。環境条件間で比較するために、各タスク後と各休憩後、条件日全体に対応する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、ねむけ感が一日通して提案環境の方が有意に高く ($p < 0.01$)、だるさ感が一日通して、また SET2 後において提案環境の方が有意に高い傾向が見られた ($p < 0.05$)。

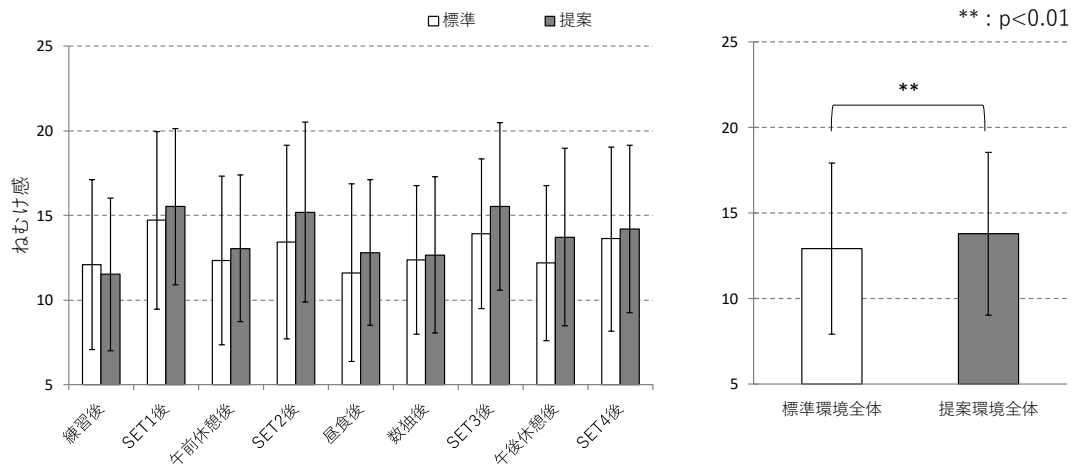


図 4.16: 自覚症しらべ (ねむけ感) のスコアの全タスク終了時と全休憩終了時の比較

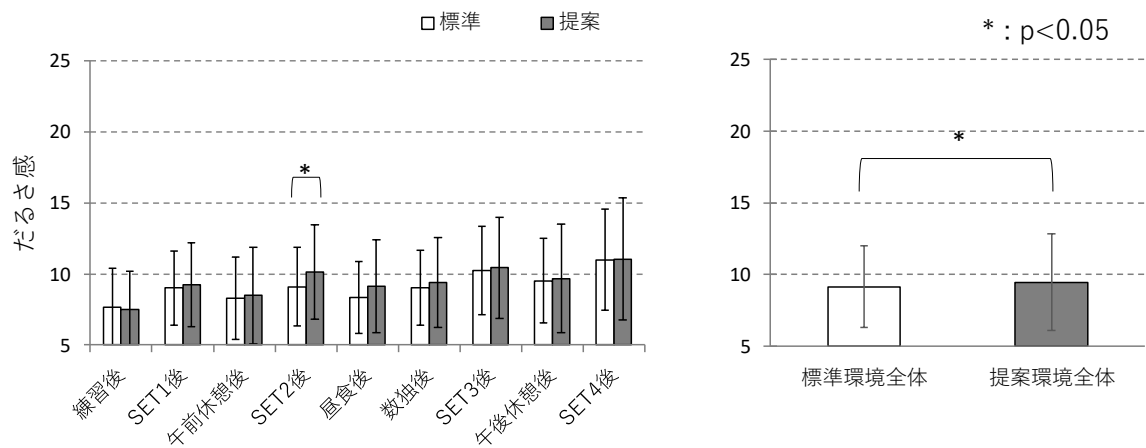


図 4.17: 自覚症しらべ (だるさ感) のスコアの全タスク終了時と全休憩終了時の比較

4.3.4 室内環境の主観評価

環境評価アンケートの「全身が暑い」、「部屋環境が快適」、「室温による作業効率の向上」について、各環境条件ごとに計測対象の実験参加者 (N=27) で平均した結果をそれぞれ図 4.18、図 4.19 に示す。環境条件間で比較するために、練習後と各休憩後、条件日全体に対応する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、午前休憩後において「全身が暑い」に有意傾向が見られ ($p < 0.05$)、「部屋環境が快適」に有意差が見られた ($p < 0.01$)。また、一日通して、「室温による作業効率の向上」に有意傾向が見られた ($p < 0.05$)。

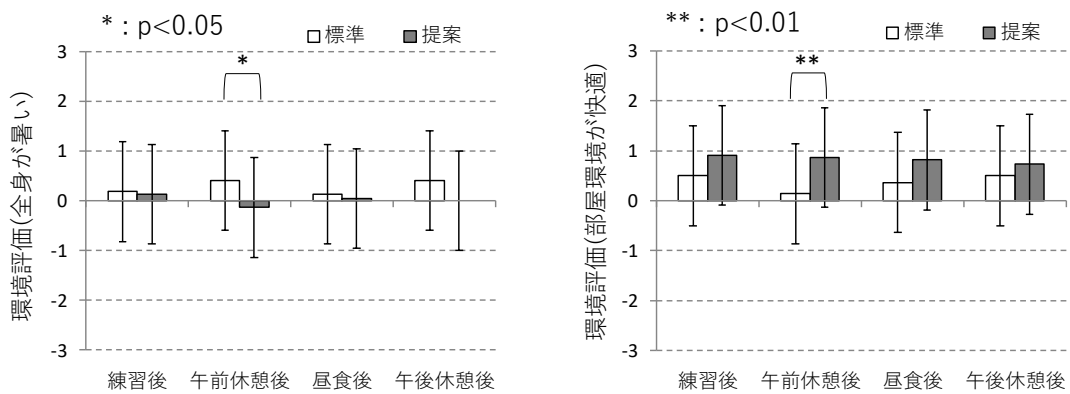


図 4.18: 室内環境の主観評価 (全身が暑い・部屋環境が快適)

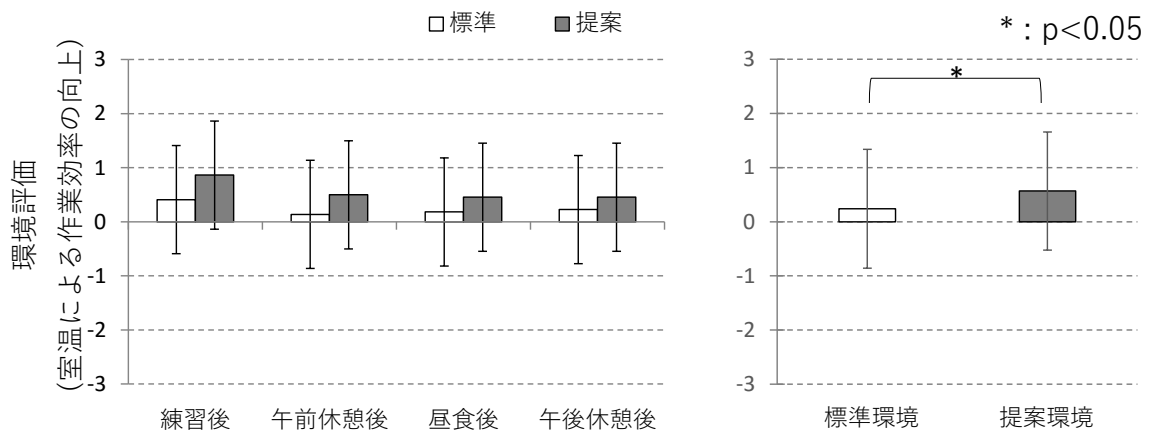


図 4.19: 室内環境の主観評価 (室温が作業効率を向上)

4.3.5 実験参加者インタビューの結果

本評価実験の実験参加者インタビューの結果の一部を以下に記載する。

- 提案環境条件時の休憩環境の印象
 - － 休憩室は暖かく、休憩の用途に適した温度設定だと感じた。
 - － 空気が澱んでいるように感じ、やや暑かった。
 - － 温度変化があることで、閉塞感が和らいた点は良かった。
- 提案環境条件時の執務環境の印象
 - － 執務室の方が室温が過ごしやすく、入室の瞬間にスイッチが入るような感覚になった。
 - － 休憩後の執務室の寒さが気になって集中しづらかった。
 - － 執務入室時は寒く感じたが、すぐに慣れ、作業をするには快適であった。

上記のようなインタビューの結果から、休憩環境においては暖かくリラックス感を得た、または休憩室に移動時の温刺激を好意的に感じたような場合において良い印象があった一方で、設定した温刺激や高めの室温設定が必要以上に暑い印象や、空気の澱み等の悪い印象につながった場合もあったと考えられる。

執務環境に関しても、提案制御設計時の意図通り入室時の冷刺激によって休憩から作業へのスムーズな移行を促す効果を得られたという意見があった一方で、やはり必要以上に寒さを感じた参加者においては不快感が起これば集中が妨げられたという悪い影響があったと推察される。

4.4 まとめと考察

4.4.1 温熱条件間における CTR の比較

図 4.12 に示した CTR 平均が、提案環境が標準環境と比較して 2.3% ポイント向上し、有意傾向 ($p < 0.05$) が見られたことから、提案した統合温熱制御が知的集中の向上に寄与する可能性がある。図 4.18、図 4.19 の「全身が暑い」、「部屋環境が快適」および「室温による作業効率の向上」のアンケート結果から午前の休憩後、つまり提案環境における休憩環境ではより涼しく、快適に感じており、休憩後の作業効率が向上

すると感じていたことが確認でき、温熱環境によって知的集中が促されていると考えられる。図 4.5 に示したように提案環境では標準環境と比較して休憩環境へ入室した際に 1℃大きい温刺激に曝露されるため、その温刺激によって順応後はより涼しく快適な印象を与えたことが推測される。

また、インタビューの結果によると、休憩環境から執務環境への入室時に温度差によって切り替えられたというような意見が得られたことから、冷刺激の曝露によって覚醒度の向上や作業への気持ちの切り替え効果があったと推測される。加えて、図 4.17 の提案環境アンケート結果から、提案環境では SET2 後において、だるさ感をより大きく感じていることが確認できた。したがって、統合温熱制御下では、温刺激による休憩環境の快適性の向上と冷刺激による切り替え効果が促進され、知的集中が向上し、作業の集中した結果、作業後のだるさ感が高まったと考えられる。一方で、図 4.15、図 4.16 の倦怠、ねむけ感が一日通して提案環境が標準環境と比較して高いことから、統合温熱制御による疲労回復の促進効果はこの実験では確認できなかった。

4.4.2 統合温熱制御による知的集中向上の効果

統合温熱制御では、一日を通しての作業状態に加えて、休憩の前後での作業状態の変化も期待できるため、休憩前後での CTR の変化に関しても注目して考察を行う。付録 A に示す全参加者の CTR 変化率の計算結果から、休憩後の比較問題 (SET2, SET4) において提案環境によって CTR が向上している参加者も見られるが、一方で大きく CTR が低下している実験参加者もいた。インタビューの結果からも、休憩後の執務室が必要以上に寒く集中に悪影響を及ぼした等の意見が確認されたことから、統合温熱制御が実験参加者の知的集中に与えた影響をより詳細に検討する必要があると考えられる。また、図 4.18 に示した環境評価アンケートの結果で、午前では見られた有意差が午後では見られなかったことから、環境への慣れやサーカディアンリズムによる体温変化によって午前と午後で環境の感じ方が異なると考えられる。そこで、午前と午後における統合温熱制御が知的集中へ与える影響に着目し、以下の手順で分析を行った。

1. CTR 変化率を用い、統合温熱制御によって知的集中が向上した実験参加者と低下した実験参加者を午前と午後に分けて、「午前効果あり」、「午前逆効果」、「午後効果あり」、「午後逆効果」の 4 グループに分類する
2. 「午前効果あり」と「午前逆効果」、「午後効果あり」と「午後逆効果」のそれぞれ

れの主観評価結果を比較することで、各グループの属性を抽出する

3. 各グループにおいて、属性を考慮し、環境条件間で主観評価の比較を行うことで、統合温熱制御による知的集中向上の効果/逆効果について調査する

(1) 統合温熱制御による知的集中向上の効果/逆効果の分類

統合温熱制御による知的集中向上の効果を「効果あり」と「逆効果」に分類するため、式4.6を用いてCTR変化率の環境条件間での差分(以下、CTR変化率(条件間差))を午前と午後に分けて算出し、CTR変化率(条件間差) >3%であれば「効果あり」とし、CTR変化率(条件間差) <-3%であれば「逆効果」とした。表4.5に「午前効果あり」、「午前逆効果」、「午後効果あり」、「午後逆効果」に分類された実験参加者とCTR変化率(条件間差)を示す。

$$\text{CTR 変化率 (条件間差)} = \text{提案環境 CTR 変化率} - \text{標準環境 CTR 変化率} \quad (4.6)$$

(2) 属性の差による影響の検討

図4.20に示す手順で、「午前効果あり」と「午前逆効果」、「午後効果あり」と「午後逆効果」の間にある属性の差を抽出した。「午前効果あり」と「午前逆効果」、「午後効果あり」と「午後逆効果」の間の主観評価の結果について比較するため、F検定を用いて等分散性を調べた後、二標本の両側t検定を標準環境と提案環境についてそれぞれ行った。そして、有意差(p<0.01)や有意傾向(p<0.1)の見られる特徴的な結果から、各グループの環境に対する属性を検討する。

「午前効果あり」と「午前逆効果」間の環境評価アンケートの「全身が暑い」の結果を図4.21に、「午後効果あり」と「午後逆効果」間の基本属性アンケートの結果を図4.22にそれぞれ示し、これらの結果から考えられる各グループの属性を表4.6に示す。図4.21に示すように、室内環境の「全身が暑い」の項目について、「午前効果あり」と「午前逆効果」の間で比較したところ、「午前逆効果」は提案環境下の昼食後、午後休憩後で有意に暑く感じている傾向が見られた。一方で、標準環境では有意差は見られなかった。つまり、「午前逆効果」は「温刺激を感じやすい」属性を持つグループであったと考えられる。また、図4.22に示すように、基本属性アンケートの結果について、「午後効果あり」と「午後逆効果」の間で比較したところ、「乾燥」の項目で有意傾向(p<0.1)が見られた。この結果より、「午後効果あり」は「乾燥」に弱く、「午後逆効果」は「乾燥」に強い属性であったことがわかる。

表 4.5: 夏期の統合温熱制御の評価実験における CTR 変化率 (条件間差)

午前効果あり (N = 9)		午前逆効果 (N = 7)	
参加者番号	CTR 変化率 (条件間差)[%]	参加者番号	CTR 変化率 (条件間差)[%]
2	8.4	4	-5.7
3	3.1	7	-41.7
11	15.4	13	-14.3
17	8.4	14	-12.7
21	4.5	23	-6.1
22	14.7	29	-8.1
24	9.7	35	-20.3
37	30.8		
38	49.2		

午後効果あり (N = 8)		午後逆効果 (N = 5)	
参加者番号	CTR 変化率 (条件間差)[%]	参加者番号	CTR 変化率 (条件間差)[%]
2	11.7	7	-41.2
9	27.8	17	-10.9
11	11.3	22	-8.5
13	23.0	29	-11.0
14	6.1	34	-5.1
19	7.5		
30	13.9		
37	27.5		

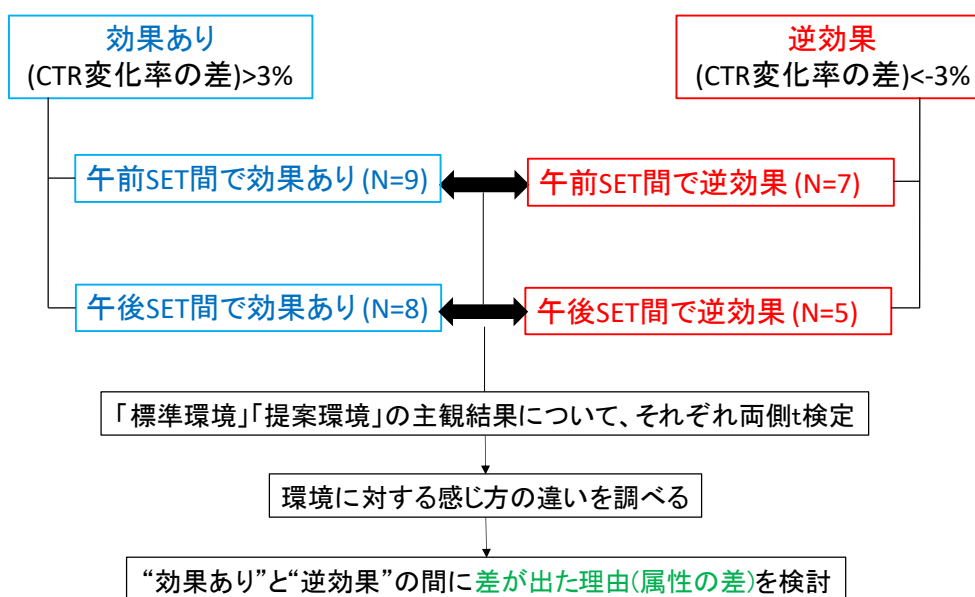


図 4.20: 「効果あり」、「逆効果」グループの属性評価の手順

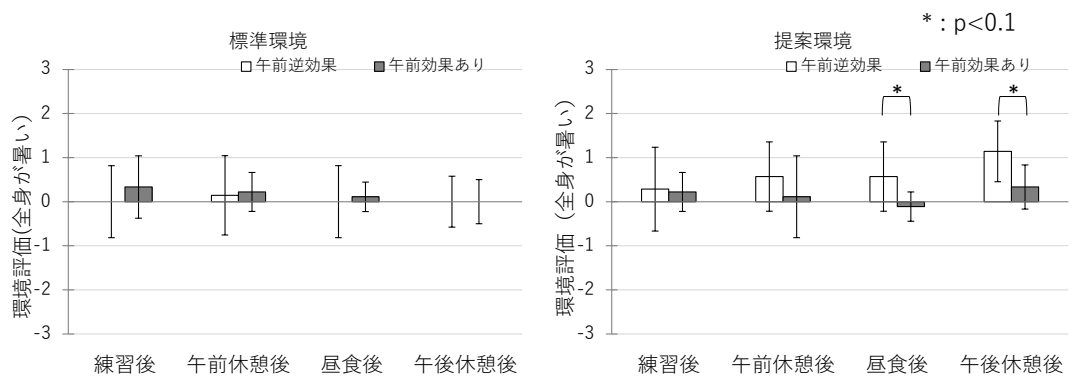


図 4.21: 室内環境の主観評価(全身が暑い)の「午前効果あり」-「午前逆効果」間比較

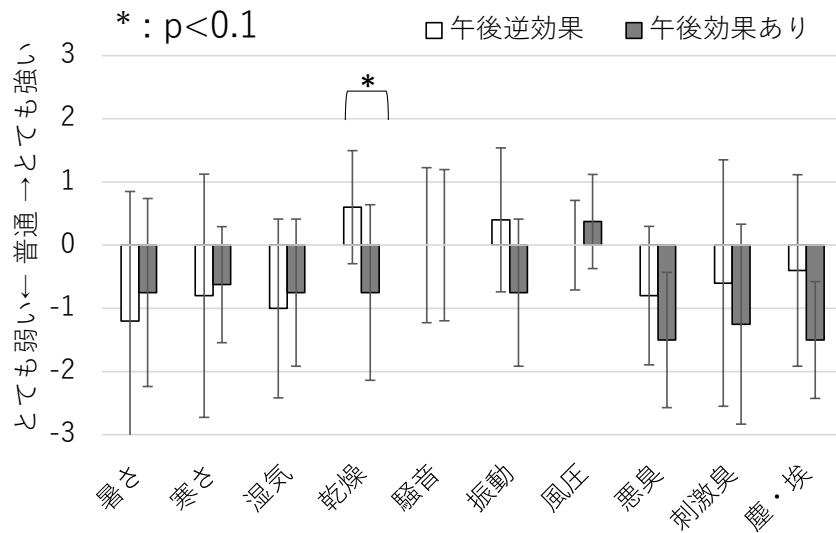


図 4.22: 基本属性アンケートの「午後効果あり」-「午後逆効果」間比較

表 4.6: 夏期評価実験における各グループの属性

午前逆効果	午前効果あり
温刺激に敏感	(特になし)
午後逆効果	午後効果あり
乾燥に強い	乾燥に弱い

(3) 統合温熱制御による知的集中の向上/低下

表 4.6 に示した属性の検討結果を踏まえて、図 4.23 に示す手順で、「午前効果あり」、「午前逆効果」、「午後効果あり」、「午後逆効果」の各グループの主観評価結果を環境条件間で対のある両側 t 検定を行うことで、統合温熱制御による知的集中向上の効果と逆効果について検討した。「午前効果あり」と「午前逆効果」の主観評価の結果を環境条件間で比較した内容と、推測される考察内容を用いて集中向上の効果と逆効果について検討した結果を図 4.24、図 4.25 に示す。図 4.24、図 4.25 は、標準環境の印象と比較した提案環境の印象について示す。

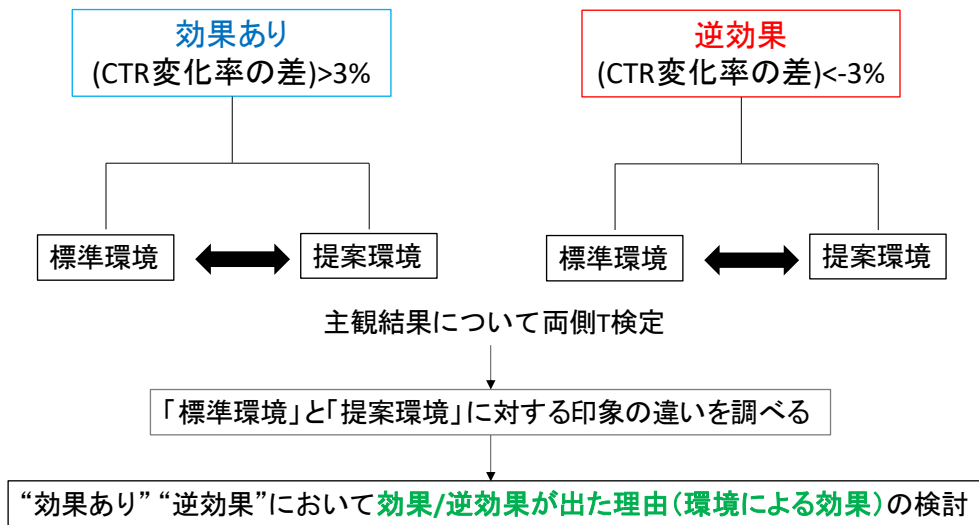


図 4.23: 「効果あり」、「逆効果」グループへ与えた効果の評価手順

図 4.24 に示すように、「午前効果あり」では SET1 後の執務環境で「集中」の項目において有意に高い傾向 ($p < 0.1$) が見られ、午後休憩後の休憩環境で「集中しやすさ」の項目において有意に低い傾向 ($p < 0.1$) が見られた。また、一日通しての休憩環境の作業効率に関する複数の項目で有意に低い傾向 ($p < 0.1$) が見られた。以上より、執務環境と休憩環境とで作業と休憩の気持ちの切り替えが効率よく行われたことと、休憩環境では休憩が促されたことが推測される。その結果、一日全体の「集中」の項目において有意に高い傾向を示し、「ねむけ感」の項目において有意に低くなったことにより、CTR 向上の効果につながったと考えられる。また、SET2 後に「だるさ感」の項目において有意に高い傾向を示したのは、作業パフォーマンスが向上したことにより疲労がより蓄積されたためが起こったためであると考えられる。

図 4.25 に示すように、「午前逆効果」では執務環境 (SET1 後、SET2 後) で「ねむけ感」と「倦怠」が有意に高い傾向 ($p < 0.1$) が見られ、休憩環境 (一日全体) で「室温

提案環境

午前効果あり

- : 有意差、有意傾向が見られた項目の内容 (**: $p < 0.01$, * : $p < 0.1$)
- : 考察内容

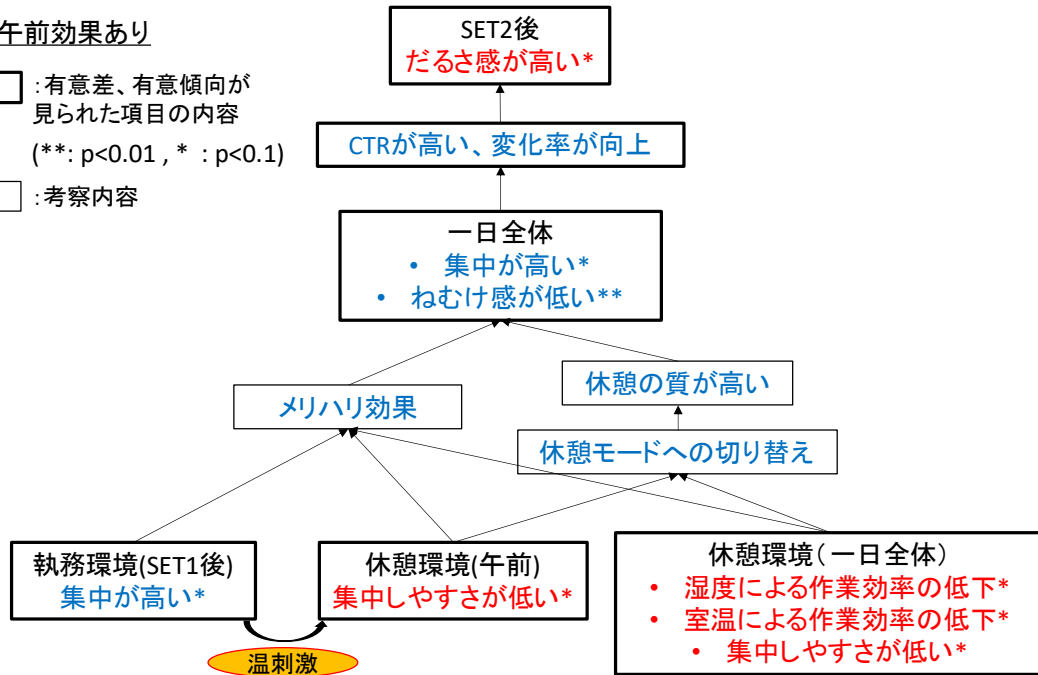


図 4.24: 統合温熱制御による「午前効果あり」への影響

提案環境

午前逆効果

- 温刺激に敏感

- : 有意差、有意傾向が見られた項目の内容 (**: $p < 0.01$, * : $p < 0.1$)
- : 考察内容

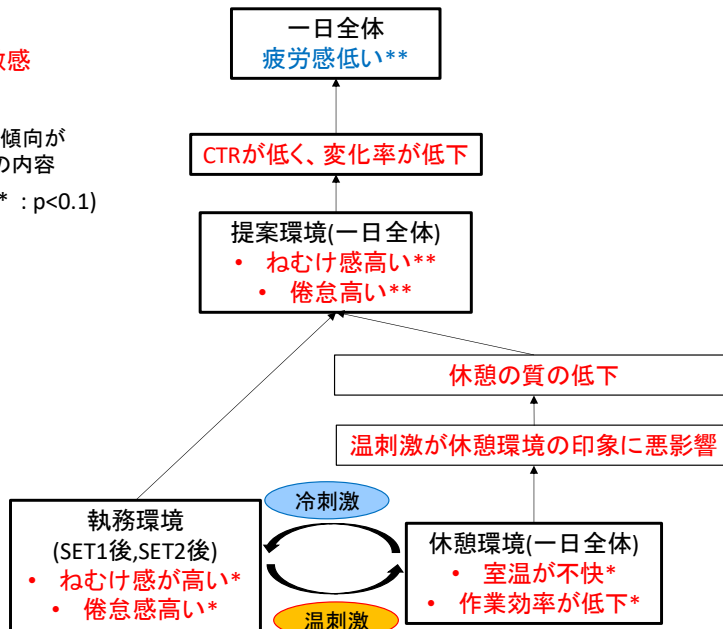


図 4.25: 統合温熱制御による「午前逆効果」への影響

が不快」、「室温による作業効率の低下」で有意傾向が見られた。また、「午前逆効果」は温刺激に敏感な属性であることから、温刺激により室内環境の印象に悪影響が及び、休憩の質が低下したことが推測される。その結果、(一日全体)で「ねむけ感」と「倦怠」が有意に高くなり、知的集中の低下につながったと考えられる。また、提案環境条件(一日全体)の「疲労感」が有意に低くなったのは、知的集中の低下によって作業パフォーマンスが低下したためであると考えられる。

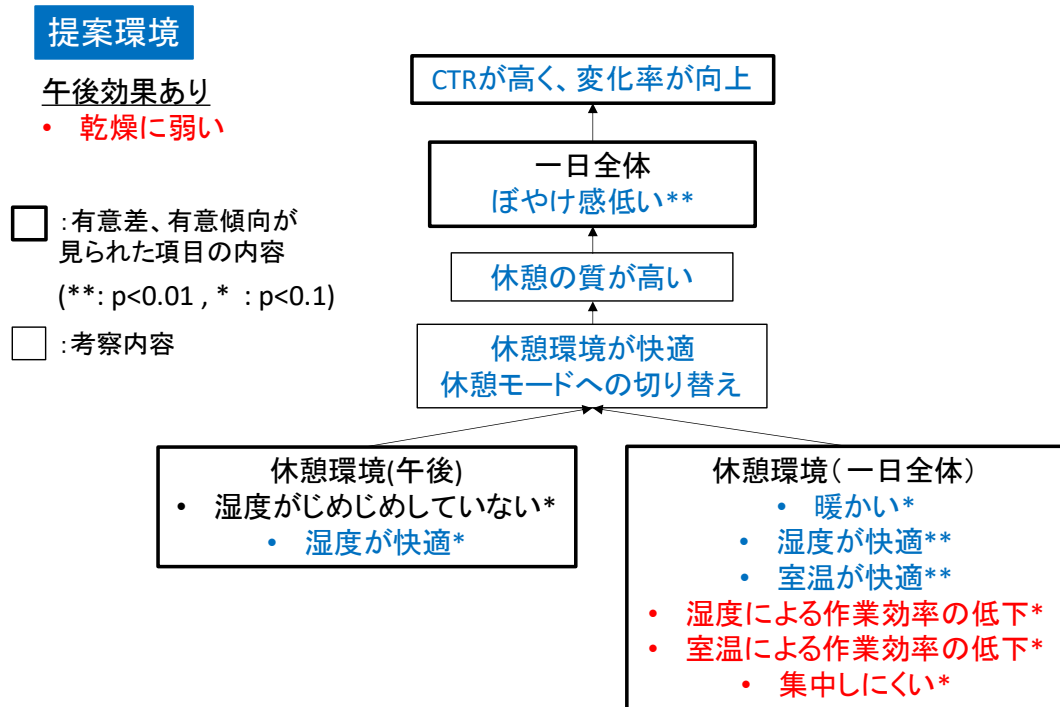


図 4.26: 統合温熱制御による「午後効果あり」への影響

図 4.26 に示すように、「午後効果あり」では、休憩環境(午後)で「湿度が快適」が有意に高い傾向が見られた。また、休憩環境(一日全体)で「室温」が有意に暖かい傾向($p < 0.1$)が見られ、「湿度が快適」、「室温が快適」が有意に高い($p < 0.01$)一方で、「湿度による作業効率の低下」、「室温による作業効率の低下」、「集中しにくい」が有意傾向($p < 0.1$)が見られたことから、休憩環境では作業から休憩への気持ちの切り替えが行われ休憩の質が高まったと推測される。その結果、提案環境条件(一日全体)で「ぼやけ感」が有意に低く($p < 0.01$)、知的集中の向上につながったと考えられる。

図 4.27 に示すように、「午後逆効果」では、休憩環境(午後)において「室温」で有意に暖かい傾向($p < 0.1$)が見られ、休憩後に「モチベーション」が有意な低下($p < 0.01$)につながったと考えられる。その結果、提案環境条件(一日全体)で、「集中」に有意

提案環境

午後逆効果

- 乾燥に強い

- : 有意差、有意傾向が見られた項目の内容
(** : $p < 0.01$, * : $p < 0.1$)
- : 考察内容

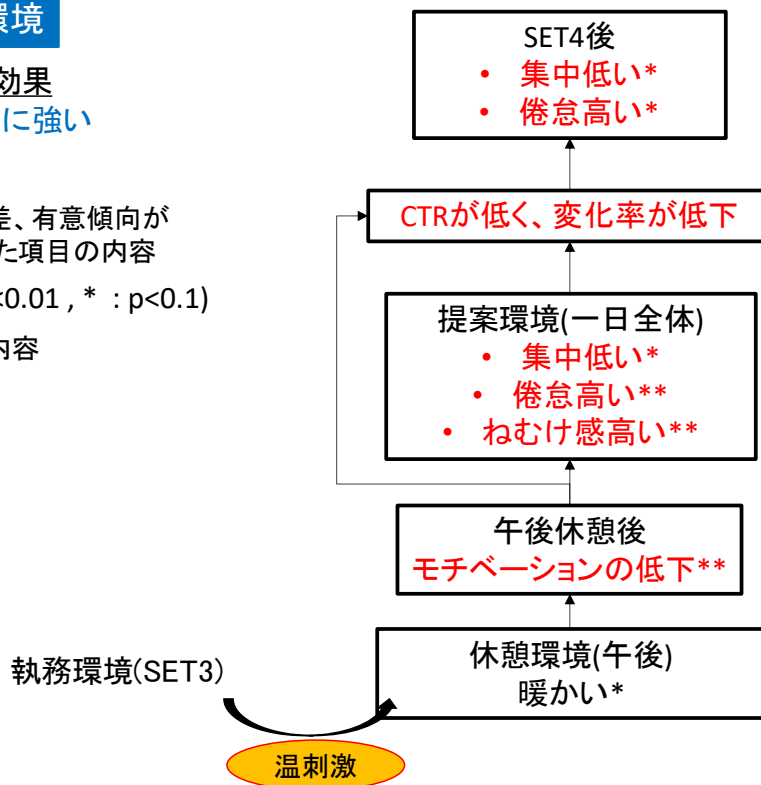


図 4.27: 統合温熱制御による「午後逆効果」への影響

に低い傾向 ($p < 0.1$)、「倦怠」と「ねむけ感」で有意に高い ($p < 0.01$) ことが見られ、知的集中の低下につながったと考えられる。また、SET4 後の「集中」に有意に低い傾向 ($p < 0.1$)、「倦怠」に有意に高い傾向 ($p < 0.1$) が見られたのは、知的集中の低下によって作業パフォーマンスが低下したためであると考えられる。

第 5 章 冬期における統合温熱制御の提案

本章ではまず、冬期における温熱制御と人間の反応に関する既往研究について述べる。続いて、基本的な冬期における統合温熱制御の方法について説明した後、本研究で提案する統合温熱制御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、提案する統合温熱制御について説明する。

5.1 冬期における温熱制御と人間の反応に関する既往研究

冬期における統合温熱制御を提案するにあたって、夏期における統合温熱制御とは使用する季節が異なるため、改めて調整すべき要素に関して考えるために、既往研究の調査を行った。

冬期の温熱制御による執務者の快適性に与える影響について、安岡ら^[33]が行った18℃～28℃の室温について温冷感を9段階(-4～+4)で評価した調査報告によると、冬期は夏期と比較して温冷感に個人差が大きく出やすいとし、例えば22℃の部屋で実施した結果では、やや暖かい(+1)から非常に寒い(-4)と申告にばらつきが多い。また、安岡らは、冬期における快適温度の範囲が、ASHRAE^[46]が示す快適温度範囲22.2℃～25.6℃より上限値が高温側に広がったとしている。更に、快適感と温冷感の関係についても述べており、冬期は熱的中立から高温側の印象を受けるほど快適感が向上し、逆に熱的中立から低温側の印象を受けるほど不快感が増加するとしており、これは夏期における快適感と温冷感の関係と反対の傾向を示している。以上より、冬期において、温刺激は比較的快適に感じられ、冷刺激は不快に感じられる可能性が高いと考えられる。

室温と知的生産性との関係について、2.2.2項では、22℃～26℃の室温範囲がパフォーマンス発揮に最適である^[18]と述べたが、冬期では人間の基礎代謝量が年間で最も高くなり、低温環境に身体が順応していることが考えられるため^[47]、パフォーマンス発揮に最適な室温範囲が低温側に振れることが考えられる。以上より、冬における統合温熱制御の温刺激は過度に大きくなるように注意し、さらに全体の室温を夏期と比較して低温側に調整する必要があると考えられる。

5.2 執務環境および休憩環境の温熱制御

4.3節で述べた夏期における統合温熱制御の評価実験では、図4.18に示したように、午前の休憩環境では環境評価(部屋環境が快適)に有意差が見られたが、午後の休憩環境には有意差が見られなかった。また、図4.25、図4.27に示した統合温熱制御による「午前逆効果」と「午後逆効果」への影響に着目すると、「午前逆効果」は休憩環境の室温を不快に感じていたことに対して、「午後逆効果」は休憩環境の室温によってモチベーションが低下した。このように、室温が執務者の快適性や知的集中度へ及ぼす影響は午前と午後で異なり、その原因としてサーカディアンリズムや熱的刺激への慣れなどが考えられる。そこで、夏期の評価実験から得られた知見と、5.1節で述べた知見を考慮し、冬期における統合温熱制御を検討した。冬期における統合温熱制御の基本的な概念を図5.1に示す。

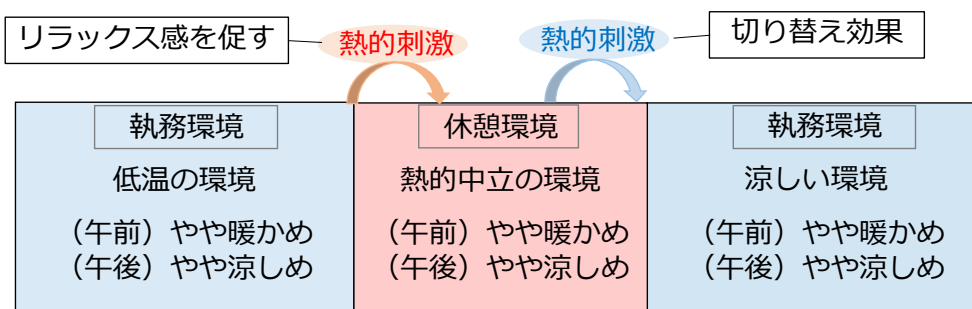


図 5.1: 冬期における統合温熱制御の基本的な概念

提案制御において、執務環境は低温の環境とし、休憩環境は熱的中立の環境とする。これは冬期では、温冷感が熱的中立から高温側であるほど快適に感じやすいため、温刺激を大きく、逆に冷刺激は不快に感じやすいため小さくする。夏期と同様に温刺激にはリラックス感を促し、そして副交感神経有意にすることで、休憩の質の向上を図る。また、冷刺激には覚醒度を向上させ、休憩から作業への素早い気分の切り替え効果を期待する。また、人間にはサーカディアンリズム^[48]と呼ばれる、およそ24時間周期で体温や血圧などが変動する内因性リズムが存在し、これも制御時に考慮に入れなければならないと考えられる。サーカディアンリズムによる体温変動には個人差はあるが、午前6時前後で体温が最も低く、その後、正午にかけて産熱が行われ体温が約1℃上昇する。午後になると体温が安定し、16時前後をピークに放熱が始まり体温が低下する。そこで、体温が低く、産熱過程にある午前では、産熱を妨げないように室温をやや高く設定することで、不快感を感じさせないようにする。また、体温が

高く安定した午後では、午前と比較して同じ室温でも暑く感じる事が考えられるため、室温をやや低く設定する。

5.3 統合温熱制御環境構築のための試行実験

試行実験では、5.2節で述べた温熱制御に沿った条件を探索的に試行し、執務環境と休憩環境の室温および環境間の温度差が、執務者の快適性と知的生産性に与える影響を調べることで統合温熱制御の詳細を決定することを目的とした。試行実験は、2016年11月19～21日に京都大学吉田キャンパス総合研究10号館地下1階010号室を執務環境とし、008号室を休憩環境として実施した。実験参加者は健康な男子大学生8名を対象とした。

夏期の評価実験では、実験参加者が38名のうち10名もの実験参加者を作業中の居眠りや比較問題の総解答数が著しく少ない等の理由から計測対象外にした。対象外になった参加者が多かった理由として、実験に対する意欲や作業中の緊張感の統制が不十分であったと考えられる。原因として、夏期の評価実験のインタビューの結果から、「45分間の比較問題は非常に長く、回数を重ねるごとに作業への意欲が低下した。」、「反対側に座っている参加者が居眠りをしているのを見て、緊張が緩んだ。」等の意見が得られたことから、実験プロトコルによる認知負荷が大きいことや執務室のレイアウトに問題があったことが挙げられる。そこで、本試行実験では、実験に対する意欲と作業中の緊張感の統制するために、実験プロトコルの改善と執務室のレイアウトの変更を行った。本試行実験プロトコルでは、認知負荷および単調性の軽減による作業への意欲の維持を目的に、図5.3に示すように、比較問題の実施時間を30分に短縮し、昼休憩後の数独の実施時間を30分に延長した。また、実験開始直後に作業パフォーマンスが向上する初頭効果を見捨てるために、実験は3日連続で実施し、1日目を練習日として計測対象外にした。

また、図4.1に示した執務室のレイアウトでは、実験者と実験参加者の物理的距離が長い、実験者からの死角が存在し監視が行き届かない実験参加者がいた等の問題点が考えられたため、図5.3に示すように、実験者と実験参加者の距離を縮め、実験者による実験参加者の監視が行き届くように改善した。

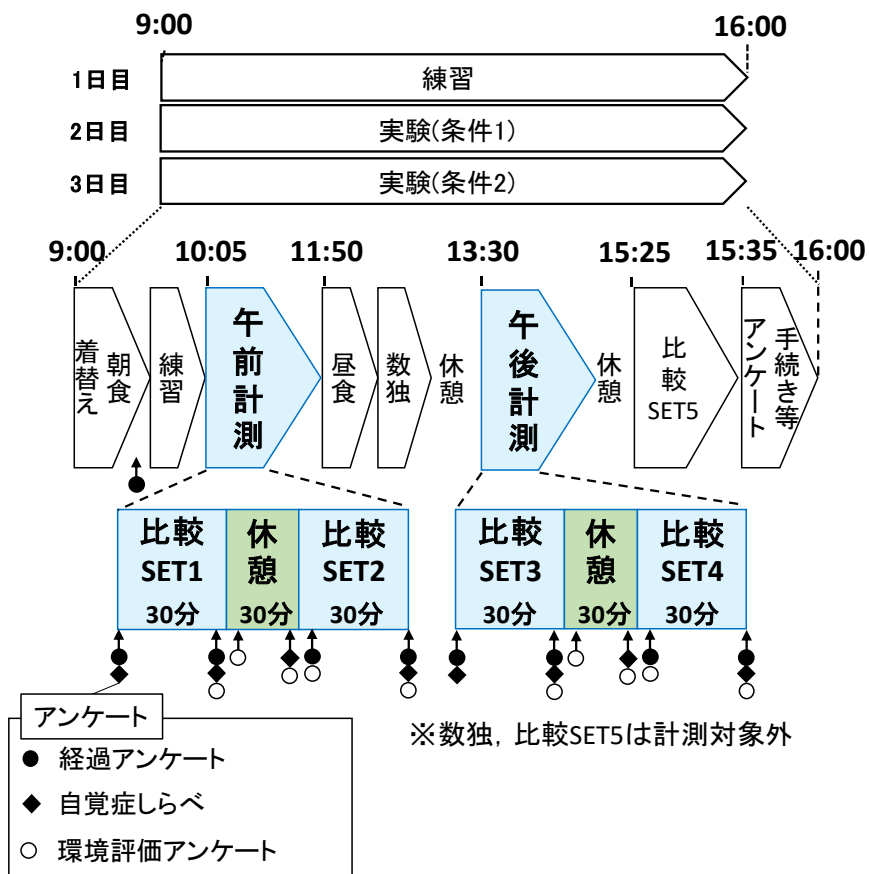


図 5.2: 冬期試行実験の実験プロトコル

試行した室温条件を表 5.1 に示す。また、湿度を $50 \pm 10\%$ 、風速 0.1 m、机上面照度を 700 ± 20 lux、Macro CO_2 濃度を 800 ppm 以下、騒音レベルを 55dB 以下に統一し、着衣量を 0.9 clo に統制した。実験期間中、実験参加者に実施させる作業には比較問題を使用し、その一問あたりの解答時間を計測した。更に、温冷感や快適性を調べるために、環境評価アンケート、自覚症しらべ、経過アンケートを随時実施し、実験終了時に室内環境に対する印象や実験プロトコルによる疲労、実験中の緊張感等を自由記述のアンケート形式(以下、終了時アンケート)で質問した。

表 5.1: 冬期の統合温熱制御にむけた試行実験における環境条件

		執務環境	執務環境(休憩直後)	休憩環境
11月20日 標準環境	午前室温	21.5 ± 0.5 °C	21.5 ± 0.5 °C	22.0 ± 0.5 °C
	午前 PMV	-0.38	-0.38	-0.52
	午後室温	21.5 ± 0.5 °C	21.5 ± 0.5 °C	22.0 ± 0.5 °C
	午後 PMV	-0.38	-0.38	-0.52
11月21日 温熱制御環境	午前室温	22.0 ± 0.5 °C	23.0 ± 0.5 °C	23.5 ± 0.5 °C
	午前 PMV	-0.31	-0.12	-0.22
	午後室温	21.5 ± 0.5 °C	22.5 ± 0.5 °C	23.0 ± 0.5 °C
	午後 PMV	-0.38	-0.18	-0.3

試行実験で実施した各アンケートの項目については、環境条件間で対のある両側 t 検定を行い比較した。その結果、温冷感を問う項目では有意差は見られなかったが、「室温の快適性」の項目において、温熱環境条件の執務環境の室温が、標準環境条件と比較して有意に快適である傾向 ($p < 0.5$) が見られた。よって、執務環境の室温設定は適当であると考えられる。また、経過アンケートの「モチベーション」や自覚症しらべの項目に有意差は見られなかったため、連日実施による実験に対する意欲の低下や疲労の蓄積などによる、温熱環境条件以外からの影響は抑えられたと考えられる。

次に、実験終了時に実施した終了時アンケートの結果について述べる。他の実験参加者や実験者の様子による作業進行への影響を質問したところ、「特に影響はなかった」、「実験者に解答データなどを監視されているような気がして、緊張感を保つことができた」などの回答が複数あり、執務環境のレイアウトにより実験中の緊張感が統制されたと考えられる。提案環境における温刺激、冷刺激が意図通りに設計できていたかを確認するために、執務環境と休憩環境間の環境差による作業進行への影響について質問したところ、複数の実験参加者から「気づかなかった」、「特に影響はなかつ

た」などの回答を得られたことから、主観的な印象に影響を及ぼすほど熱的刺激は大きくなかったと考えられ、過度な刺激を与え過ぎないようにするという設計時のコンセプトに沿った制御ができていたと考えることができる。

5.4 提案する統合温熱制御

本節では、5.3節で述べた試行実験の結果を参考に設計した冬期における統合温熱制御を提案する。冬期における統合温熱制御の概要を図5.4に示す。

午前の執務環境の室温は22℃に設定し、その後の休憩環境の室温25℃に設定する。この際のPMVが執務環境で-0.22、休憩環境で0.26であることから、温刺激ははっきりと感じられる大きさにした。これは、冬期における快適温度の範囲が熱的中立より高温側に広がっているため、温刺激は大きいほど快適に感じられるためである。また、休憩環境の室温を25℃に設定した理由として、29℃を中心とした25℃～31℃の範囲に中立温熱帯という人間の代謝量が最低となり、覚醒度が低下する温度範囲が存在し^[49]、基礎代謝量の高い冬期では中立温熱帯が29℃より低温側に広がっている可能性が高い。そのため、休憩環境の室温を25℃以上に設定すると中立温度帯に含まれ、休憩時に覚醒度を大幅に低下させ、休憩後の作業に悪影響を及ぼす危険性が考えられるためである。そして、休憩後の執務環境入室時のみ室温を23℃に設定し、10分程度で22℃に戻すことで、入室時に曝露される冷刺激を小さくする。これは冬期における快適温度の範囲が熱的中立より高温側に広がっているため、冷刺激のような低温側への熱的刺激は不快に感じやすいと考えられるためである。午後の執務環境と休憩環境の室温は、人間のサーカディアンリズムによる体温変化を考慮して1℃低い室温に設定している。これは、体温が低く産熱が行われる午前に比べて、体温が高く安定する午後では、午前と同様の設定室温をやや暑く不快に感じられる可能性があるためである。

冬期における統合温熱制御に期待する効果として、執務環境から休憩環境へ入室する際には夏期と異なりやや大きい温刺激により執務者の快適性の向上およびリラックス感の促進を期待し、休憩後の執務環境入室時には不快でない程度の冷刺激を曝露することで、執務者の覚醒度の向上および作業へのスムーズな気分の切り替え効果を期待する。以上の冬期における統合温熱制御が知的集中度へ与える影響を評価するために実施した評価実験について次章で説明する。

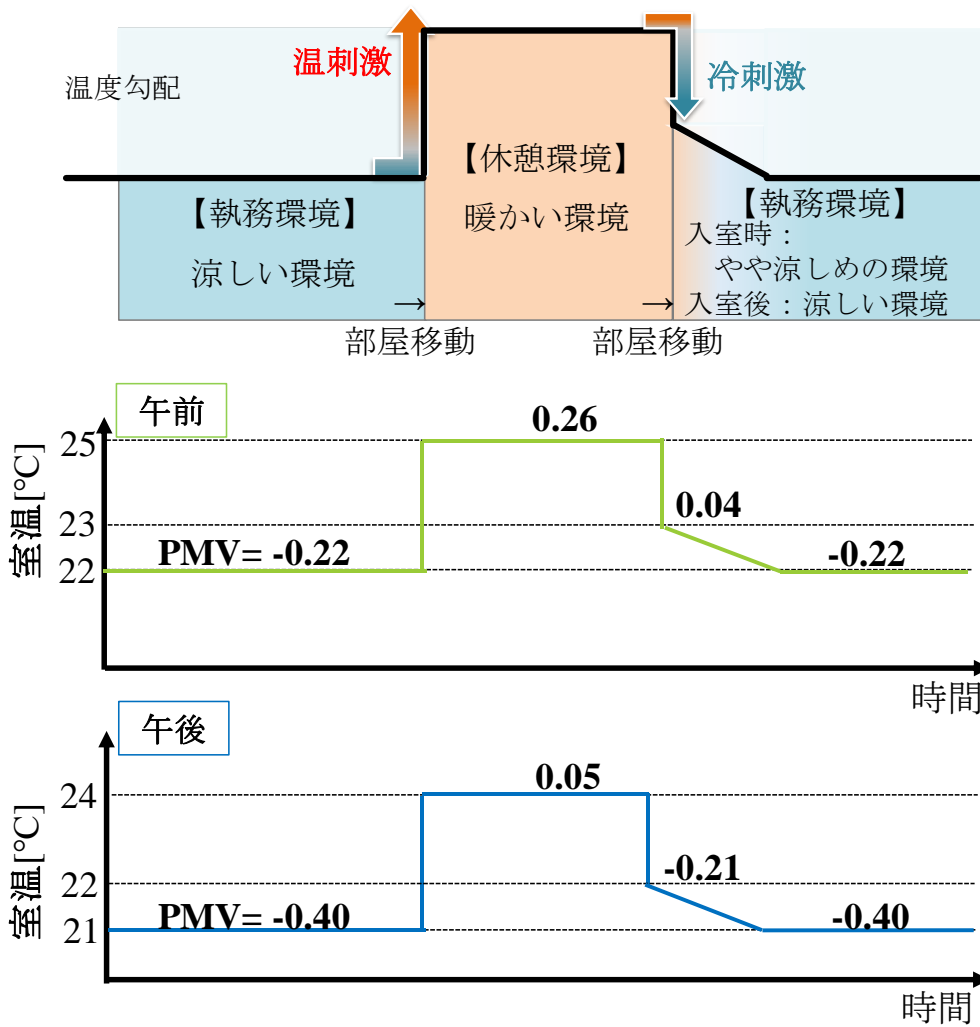


図 5.4: 冬期における統合温熱制御

第 6 章 冬期における統合温熱制御の評価

本章では、5章で提案した冬期における統合温熱制御が知的生産性へ及ぼす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。実験の目的について述べた後、実験方法について説明し、最後に結果と考察を述べる。

6.1 実験の目的と概要

本評価実験では、提案した冬期における統合温熱制御が執務者の集中及び心理的要因へ及ぼす影響を評価することを目的とする。実験には健康な男子大学生 29 名が参加し、2016 年 12 月 2 日～2017 年 1 月 9 日で京都大学京都大学総合研究 10 号館 010 号室を執務環境とし、008 号室を休憩環境として被験者実験を実施した。環境条件は、執務環境と休憩環境の間に温熱差を作らない標準環境条件と、5章で述べたように執務環境と休憩環境の温熱条件に温熱差をつけることで参加者に温度変化による刺激を与えるように制御する提案環境条件の 2 条件を設定した。2 条件間で知的生産性へ及ぼす影響の違いを調べるために、CTR を用いて知的集中を測定することで、客観的かつ定量的に知的生産性を評価した。また、CTRに加えて、環境条件ごとの執務環境と休憩環境の印象や疲労感などを調べるために複数の主観評価アンケートを実施した。

6.2 実験の方法

6.2.1 環境条件

(1) 室内環境

執務室のレイアウトは 5.3 節の図 5.3、休憩室のレイアウトは 4 章環境条件項の図 4.3 と同様のレイアウトで本評価実験を実施した。図 6.1 に執務室での作業風景を示す。実験参加者 4 名につき、実験者 1 名が監視等行い、執務室の中央には実験参加者を 4 名ずつに分けるために高さ 1650mm のパーテーションを設置した。また、各実験参加者の正面に高さ 1200mm のパーテーションを設置することで、正面及び斜め前方に座っている実験参加者の様子が見えないようにした。さらに、各実験参加者の両隣に

は900mmのパーテーションを設置することで、各実験参加者の作業スペースを確保した。本評価実験では、温熱制御以外の要因による影響を防ぐために、机上面照度 $650 \pm 20\text{lux}$ 、 CO_2 濃度を 1000ppm 以下、騒音レベルを 55dB 以下に統一して実験を実施した。さらに、照明による机上面の反射の影響を抑えるために執務室の机上面はアンチグレアの灰色の布で覆い、机上面の視覚ノイズが実際のオフィスと比較して少ないため、図6.1に示すように20冊程度の書籍を机上面に設置した。また、室内に温度むらや空気の澱みが生じないように執務室と休憩室の四隅にはサーキュレータを設置し空気を循環させた。この際、気流が実験参加者に直接曝露することのないように風向を調節した。



図 6.1: 冬期評価実験の実験風景

(2) 温熱環境条件

本評価実験では環境条件を標準環境条件と提案環境条件の2条件を設定し、詳細を図6.2に示す。実験は3日間で実施し、1日目は練習日とし、2日目と3日目に環境条件を1日1条件ずつ設定し、参加者グループでなるべく環境条件順序のカウンターバランスを取るようにした。表6.1に示すような順番で各グループに環境条件を振り分けた。また、参加者の着衣は、着衣量を 1.0clo に統一し、図6.3のような服装で統一した。

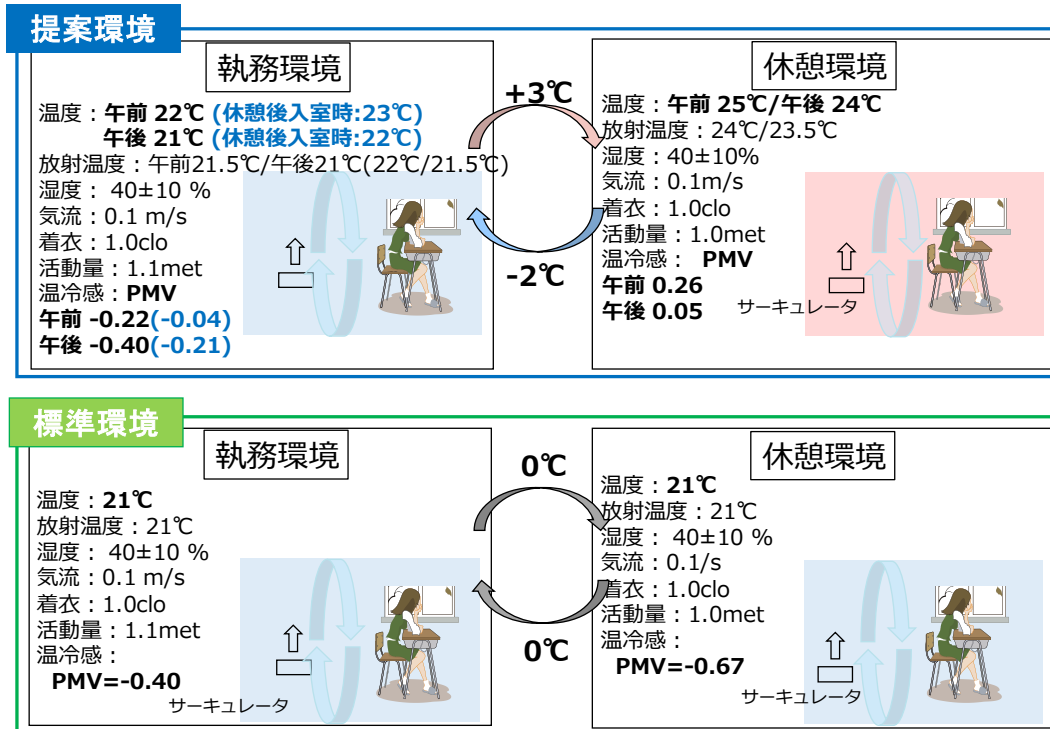


図 6.2: 冬期評価実験における温熱環境条件

表 6.1: 冬期評価実験における環境条件の実施順

	2日目	3日目
グループ1	標準条件	提案条件
グループ2	提案条件	標準条件
グループ3	提案条件	標準条件
グループ4	標準条件	提案条件



図 6.3: 冬期評価実験で使用した実験参加者の服装

6.2.2 実験参加者

実験参加者は健康な男子大学生 29 名で、1 グループ 8 名のグループとし、合計 4 グループに分けて実験を実施した。実験参加者のうち 3 名が体調不良を理由に実験には不参加であったため、あらかじめ実験参加者の人数から除いている。実験参加者を募集する際には、BMI(Body Mass Index)の申告値と、実験で実施する認知タスクを事前に実施し、その成績によりスクリーニングを行った。BMI 値は 18.5~25.0 に制限し、体型による温熱感の違いが実験に影響しないようにした。認知タスクには比較問題を使用し、その問題解答数と式 4.1 に示す誤答率からスクリーニングを行った。これは、実験に参加するにあたって計測を問題なく行うことができるか調査するためである。スクリーニングにより採用した実験参加者には、実験前に年齢、室内環境への耐性に関するアンケートを実施した。

6.2.3 実験手順

実験手順については、第 4.2.3 節で述べた方法との変更点を述べる。本評価実験は、5.3 節の図 5.2 に示した実験プロトコルに従い、各日 9 時から 16 時まで実施した。夏期の評価実験プロトコルとの違いは、3 日連続で実施し、1 日目に練習日を設けたこ

とである。さらに、比較問題の実施時間を30分に短縮し、数独の実施時間を30に延長したことに加えて、執務環境と休憩環境の間の環境差に対する主観評価をより正確に行うため、アンケートを実施する時点を各タスクの前後で増やした。

2日目と3日目にそれぞれ異なる環境条件を設定し、午前計測と午後計測の区間で温熱制御を行った。午前計測と午後計測では、まず執務環境にて比較問題を30分間実施した後、休憩環境に移動し30分間の休憩を取り、その後、再び執務室に移動し30分間の比較問題を実施し、1問あたりの解答時間を実施時間中に連続して計測した。また、図6.2に示した温熱制御を午前計測と午後計測で行い、各タスクの前後に環境の印象や疲労感を問うアンケート、実験終了時に3日間を総括して実験に対する意欲や環境に対する印象の変化を問うインタビューを実施した。また、比較問題のみを実施することによる単調性を回避するためにダミータスクとして数独タスクを昼食後に30分間実施し、知的生産性評価の計測対象外とした。また、1日の最後に終末効果によって作業意欲が向上する等の影響を回避するために、比較問題SET5を実施し知的生産性評価の計測対象外とした。

また、実験期間中は4.2.3に示した内容と同様の教示を行うことで、実験中の居眠りを禁止し、実験期間中の生活統制を行った。

6.2.4 計測項目

本評価実験では、CTR、主観的疲労、主観的モチベーション、主観的集中、室内環境の主観評価を計測した。室内環境の変化が執務者の身体的疲労および覚醒度へ及ぼす影響を調べるために、自覚症しらべ^[37]とマグニチュード推定法を用いた疲労感の主観的評価の計2種類のアンケートを実施した。そして、主観的モチベーションと主観的集中の経時変化がCTRへ及ぼす影響を調べるために、マグニチュード推定法を用いたモチベーションと集中の主観的評価を行った。さらに、室内環境の変化による心理的影響を調べるために、環境評価アンケートを実施した。これらは4.2.4

夏期の評価実験で計測した項目との違いとして、主観的感情状態を計測するMMSを除き、マグニチュード推定法で計測する「集中」の項目を追加した。MMSはアンケート実施時点での感情状態を計測しており、作業遂行時の感情状態を測定するには不適當であると考え除外し、作業終了時に作業遂行時の印象について評価できるマグニチュード推定法を用いて「集中」の項目を測定した。図6.4にしめすようなアンケート用紙(以下、経過アンケート)を用いて、マグニチュード推定法による「主観的疲労」、「主観的集中」、「主観的モチベーション」の項目の測定を行った。経過アンケー

トのアンケート回答時の基準値の設定に関して、主観的疲労は「全く疲労を感じない」状態を0、「これ以上作業を継続できないほどの疲労感」を100、主観的モチベーションは「全くやる気が起きない」状態を0、「やる気に満ちている」状態を100、主観的集中は「全く集中できない」を0、「これ以上ない程の集中ができそう」を100と実験参加者の個人の裁量で設定してもらい、各タスク前後に記入形式で回答を求めた。

客観的指標である CTR の他に以上のような複数の主観的計測項目を設けることで、CTR に寄与した心理生理的要因を抽出し、提案した統合温熱制御の知的集中への効果を検討する。

経過アンケート

記入日 _____ 月 _____ 日 参加者番号 _____

本日の睡眠時間： _____ 時間

それぞれのタスクにおけるあなたの状態についてお聞きます。
下の表を、1～100の数値でお答えください。

		① 作業による疲労の蓄積 (回復した場合は減少) 0：全く疲労を感じない 100：これ以上作業を継続できないほどの疲労感	② 作業に対するモチベーション 0：全くやる気が起きない (起きなかった) 100：やる気に満ちている (満ちていた)	③ 作業に対する集中度 0：全く集中ができない (できなかった) 100：これ以上ない程の集中ができそう(できた)
朝 集合時				
比較問題 SET 1	(開始)			
	(終了)			
比較問題 SET 2	(開始)			
	(終了)			
比較問題 SET 3	(開始)			
	(終了)			
比較問題 SET 4	(開始)			
	(終了)			

図 6.4: 冬期評価実験における経過アンケート

客観的指標である CTR の他に複数の主観的計測項目を設けることで、CTR に寄与した心理生理的要因を抽出し、提案した統合温熱制御の知的集中への効果を検討する。

6.3 実験結果

実験参加者 29 名のうち、体調不良などの理由で実験期間中の統制が不十分だった実験参加者、こちらの教示に従わず作業成績が著しく低い実験参加者の計 5 名を計測対象外とし、それ以外の 24 名を計測対象とした。計測対象外とした理由と実験参加者の参加者番号を表 6.2 に示す。

表 6.2: 計測対象外とした理由

実験参加者 No.	解析対象外とした理由
4	作業中に居眠りをしていた
6	作業中に居眠りをしていた
14	実験期間中に体調不良であった
27	作業中の総解答数が少ない
30	作業中の総解答数が少ない

6.3.1 比較タスク実施時の CTR と CTR 変化率

計測対象の実験参加者 (N=24) の比較問題の解答データから CTR を算出した。各環境条件日の CTR の平均値と各 SET ごとの CTR の平均値をそれぞれ図 6.5、図 6.6 に示し、午前計測 (SET1-SET2 間) と午後計測 (SET3-SET4 間) における CTR 変化率の結果を図 6.7 に示す。提案環境下と標準環境下の CTR をそれぞれ対のある両側 t 検定で比較したところ、提案環境下での CTR が標準環境下での CTR と比較して、1.6% ポイントの向上が見られたが有意な差はなかった。また、CTR 変化率は、午前計測において 1.7% ポイントの向上、午後計測において 4.9% ポイントの向上が見られたが有意な差はなかった。

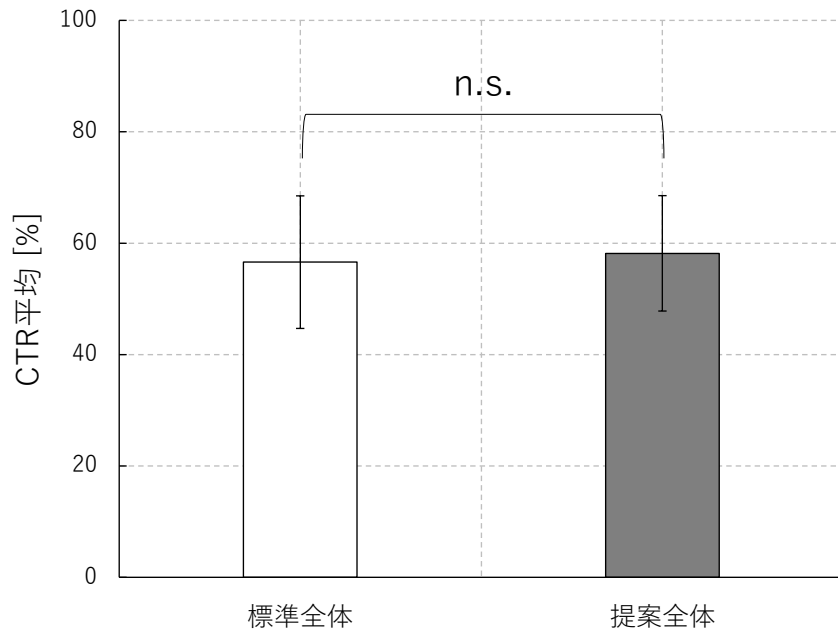


図 6.5: CTR 平均値の環境条件間比較

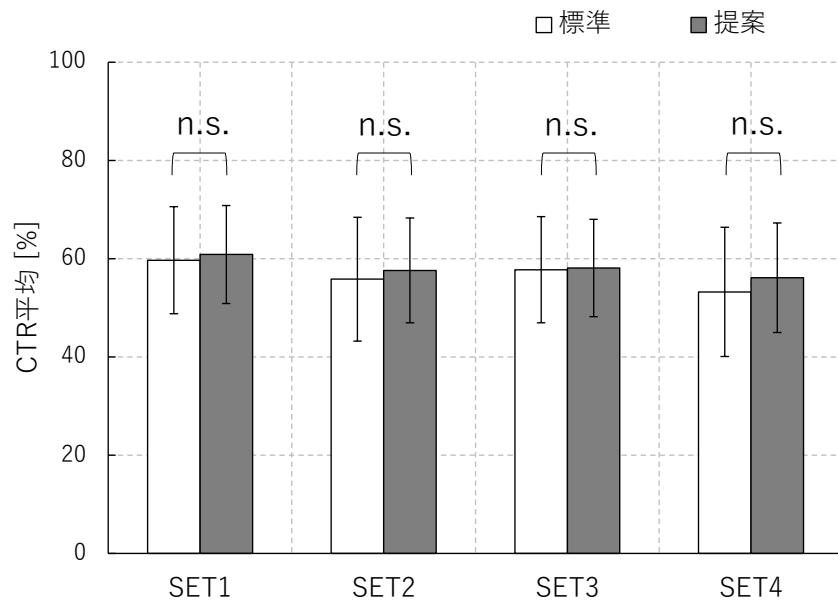


図 6.6: 各 SET における CTR 平均値の環境条件間比較

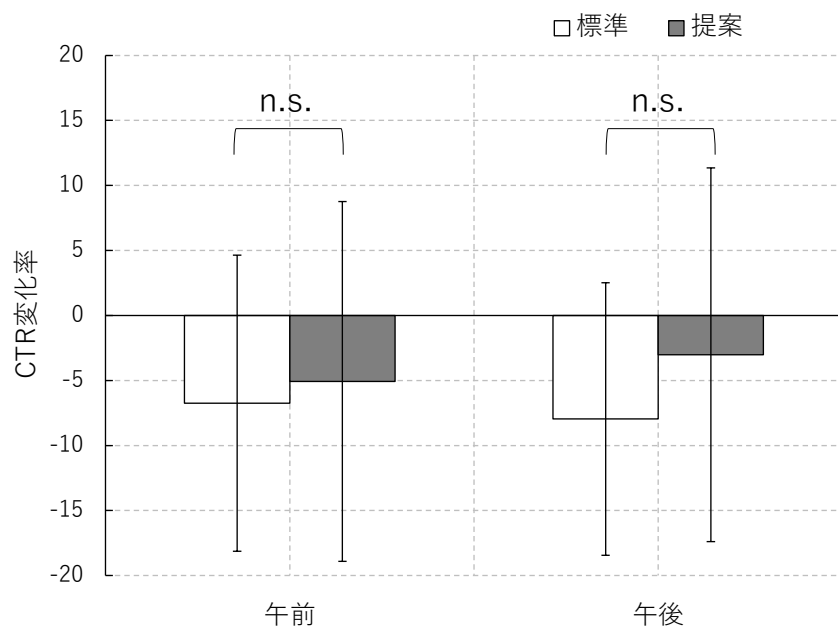


図 6.7: 午前計測と午後計測における CTR 変化率の平均値の環境条件間比較

6.3.2 主観的疲労

自覚症しらべの「ねむけ感」、「だるさ感」の項目、さらに経過アンケートの「疲労感」の項目について、計測対象の実験参加者 (N=24) で平均した結果結果をそれぞれ図 6.8～図 6.10 に示す。環境条件間で比較するために、各タスク前後と各休憩後で測定した計測結果にそれぞれ対のある両側 t 検定を行った。

「ねむけ感」は提案環境の方が、午前休憩後、SET3 後、SET4 後において有意に高い傾向が見られ ($p < 0.05$)、「だるさ感」は提案環境の方が、SET4 後において有意に高い傾向が見られた ($p < 0.05$)。

また、「疲労感」は提案環境の方が、SET3 前、SET3 後に有意に高い傾向 ($p < 0.05$) が見られ、午後休憩後、SET4 後に有意に高く ($p < 0.01$)、午後の時点から提案環境において疲労感の蓄積が確認された。

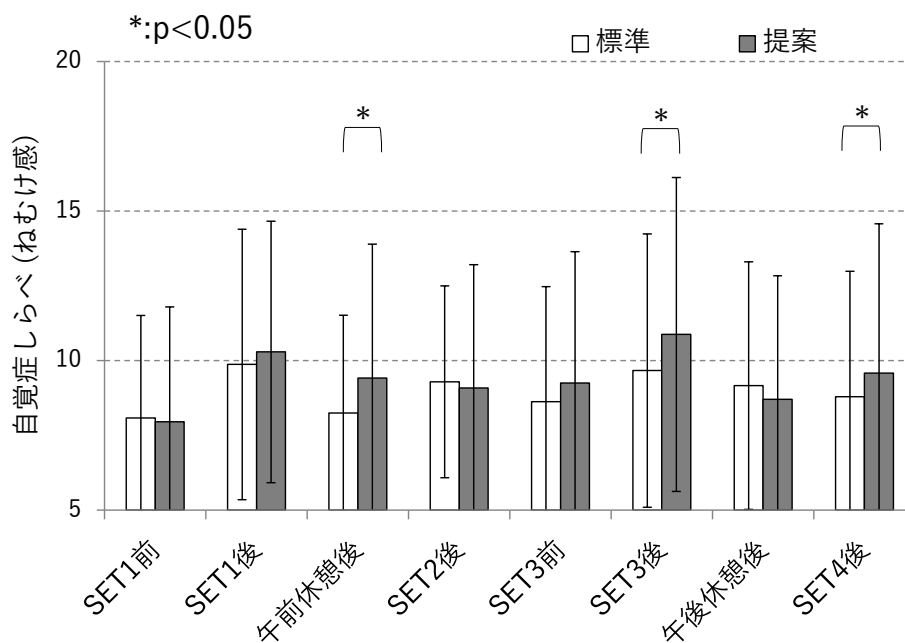


図 6.8: 自覚症しらべ（ねむけ感）のスコアの各タスク前後における環境条件間比較

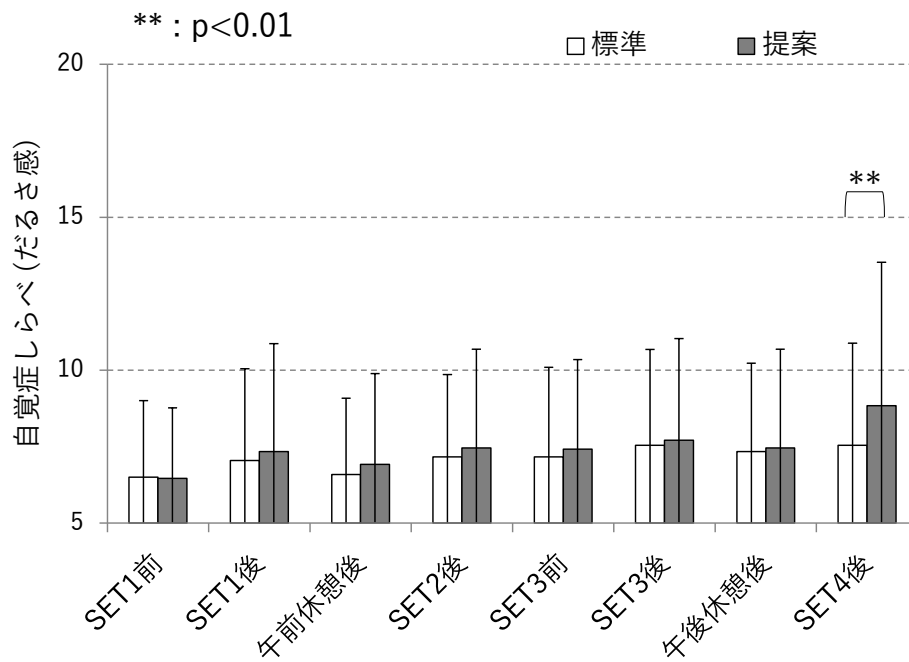


図 6.9: 自覚症しらべ（だるさ感）のスコアの各タスク前後における環境条件間比較

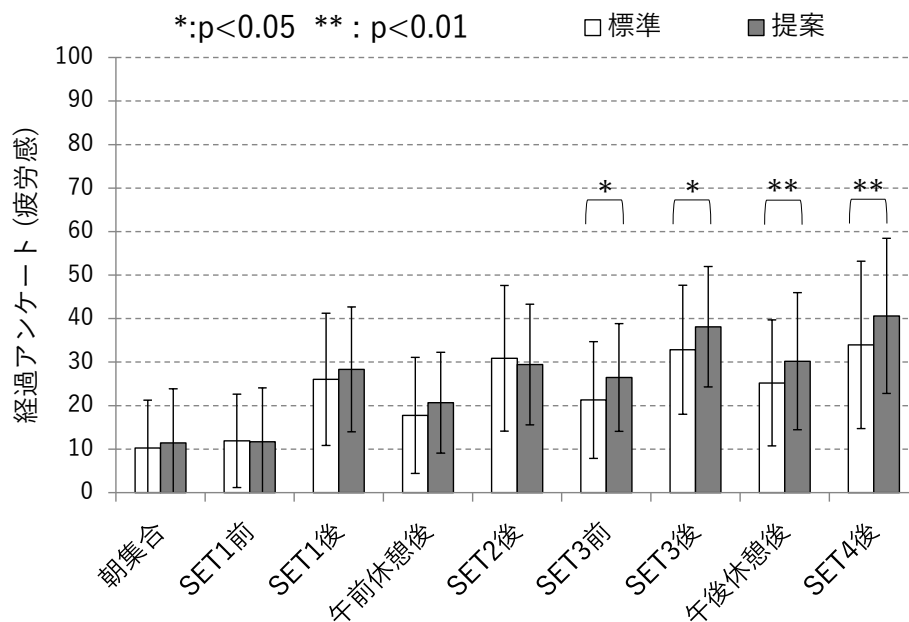


図 6.10: 経過アンケート（疲労感）のスコアの各タスク前後における環境条件間比較

6.3.3 主観的集中・モチベーション

経過アンケートの「主観的集中」、「主観的モチベーション」の項目について、計測対象の実験参加者 (N=24) の計測結果を平均し、環境条件間で対のある両側t検定を行って比較した結果をそれぞれ図 6.11、図 6.12 に示す。

「主観的集中」、「主観的モチベーション」はともに、提案環境の方が、午後休憩後において有意に高い傾向 ($p<0.05$) が見られた。6.3.2 項で述べた「疲労感」では午後休憩後から有意に高かったことから、1日の後半に当たる午後休憩の時点で、疲労が蓄積し、集中、モチベーションの低下を招いた可能性がある。

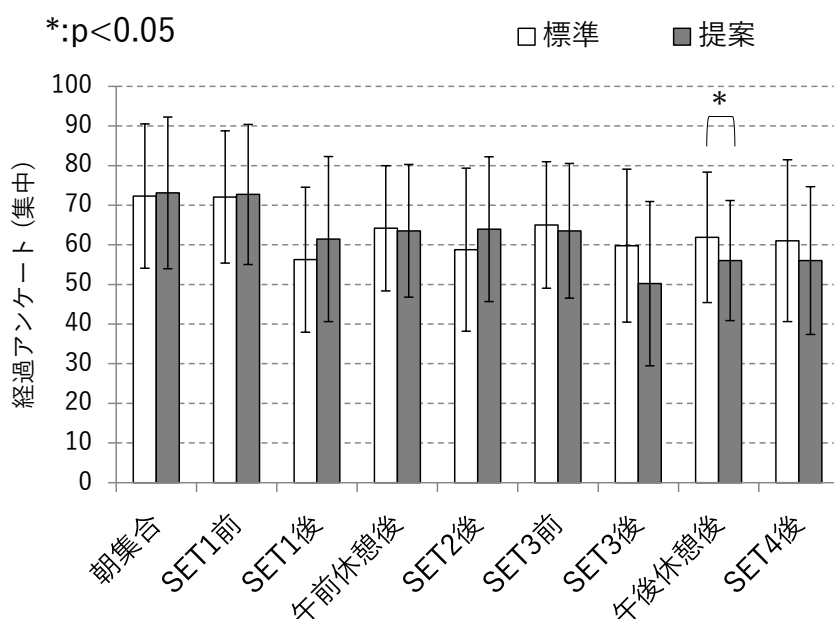


図 6.11: 経過アンケート (集中) のスコアの各タスク前後における環境条件間比較

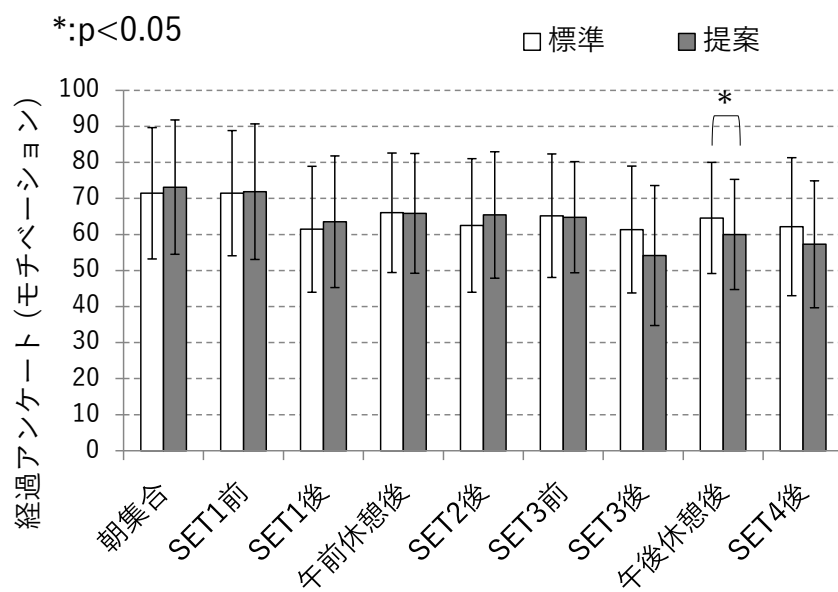


図 6.12: 経過アンケート (モチベーション) のスコアの各タスク前後における環境条件間比較

6.3.4 室内環境の主観評価

環境評価アンケートの「全身が暑い」、「部屋環境が快適」、「室温による作業効率の向上」について、計測対象の実験参加者 (N=24) の計測結果を平均し、環境条件間で対のある両側 t 検定を行って比較した結果をそれぞれ図 6.13～図 6.16 に示す。

「全身が暑い」は提案環境の方が、午前と午後の休憩環境で有意に暑く ($p<0.01$) 感じられ、SET4 前では有意に寒い傾向が見られた。そして、「室温が快適」は提案環境の方が、午前と午後の休憩環境で有意に快適 ($p<0.01$) に感じられ、休憩後の執務環境にあたる SET3 前、SET4 前で有意に不快な傾向 ($p<0.05$) が見られた。

「空気が澄んでいる」は提案環境の方が、午前と午後の休憩環境で有意に澁んでいる ($p<0.01$) と感じられ、休憩後の執務環境にあたる SET2 前、SET4 前後では澄んでいる側に有意差 ($p<0.01$) と有意傾向 ($p<0.05$) が見られた。

さらに「集中しやすさ」は提案環境の方が、午後休憩後の SET4 前後で集中しにくい側に有意差 ($p<0.01$) と優位傾向 ($p<0.05$) が見られた。

以上より、提案環境では、休憩環境の室温が暖かく快適に感じられており、一方で室温が標準環境より高い分、空気に澁みを感じている。さらに、提案環境では、休憩環境から執務環境へ入室した直後の SET4 前で寒く、SET2 前、SET4 前で不快に感じられており、室温が標準環境より寒い分、空気が澄んでいるように感じている。つまり、提案制御では、休憩環境へ入室した際に曝露される温刺激および休憩環境の室温設定も快適に感じられている。一方で、SET4 に着目すると、休憩環境から執務環境へ入室した際に曝露される冷刺激が寒く不快に感じられており、集中が妨げている可能性がある。

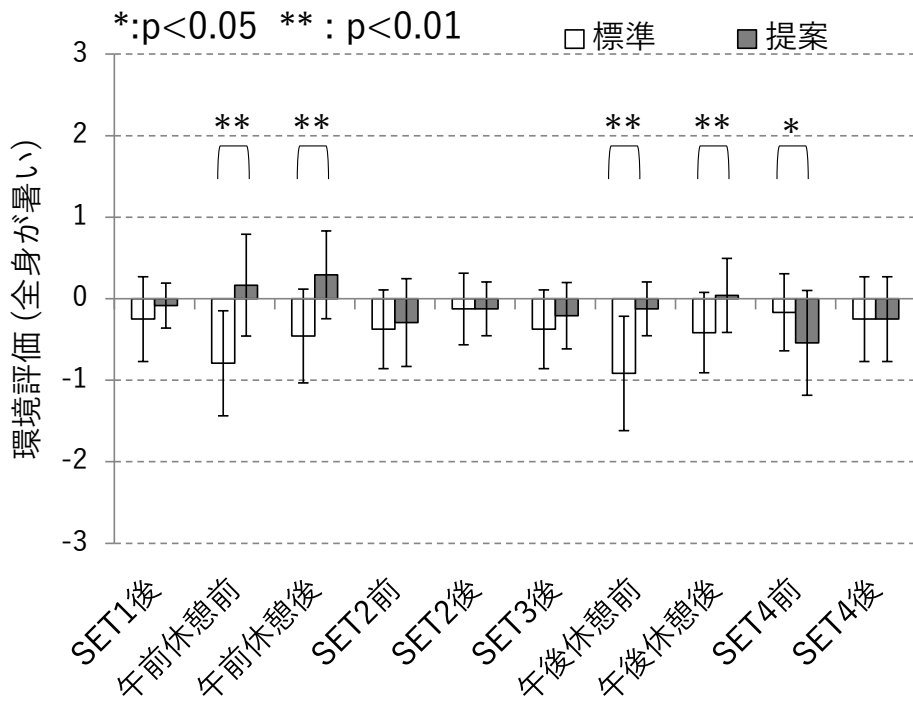


図 6.13: 室内環境の主観評価 (全身が暑い)

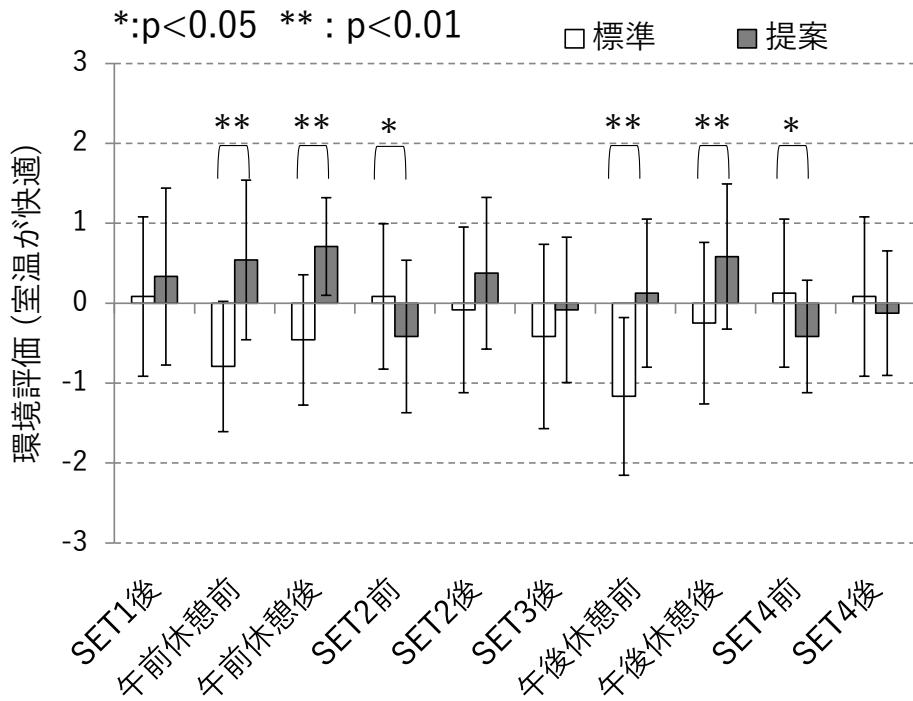


図 6.14: 室内環境の主観評価 (室温が快適)

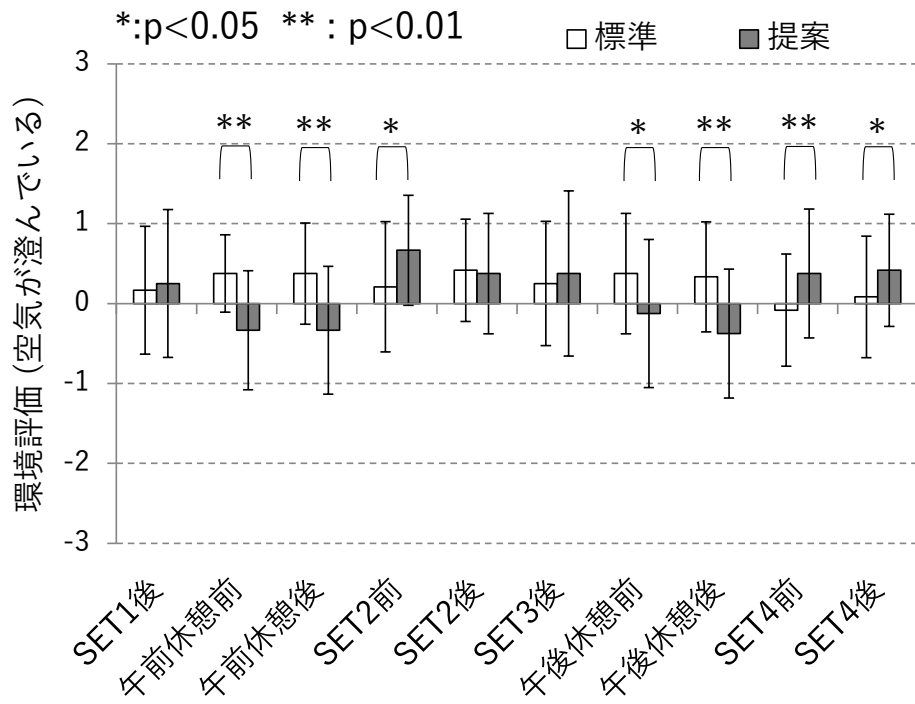


図 6.15: 室内環境の主観評価 (空気が澄んでいる)

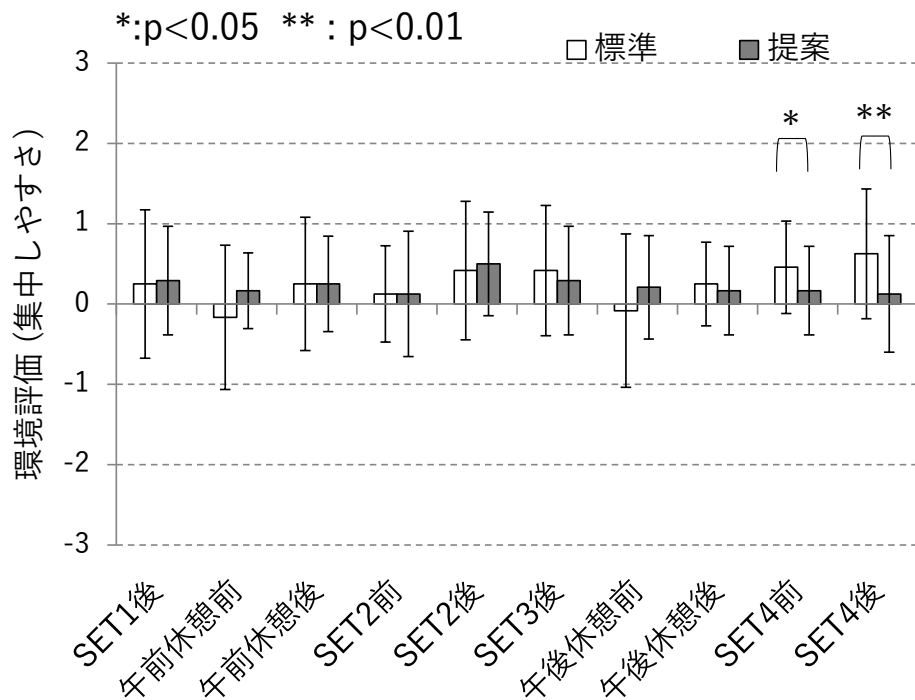


図 6.16: 室内環境の主観評価 (集中しやすさ)

6.3.5 実験参加者インタビューの結果

本評価実験の実験参加者インタビューの結果の一部を以下に記載する。

- 統合温熱制御時の休憩環境の印象
 - － 室温が心地よく快適であった
 - － 暖かく快適であったが、頭がぼーっとした
 - － やや暑く、空気が澱んでいるように感じた
- 統合温熱制御時の執務環境の印象
 - － 空気が澄んでいるようで頭が冴えたが、最後の SET では寒さで作業に支障が出た
 - － 寒さで無理やり集中させられている感じがした
 - － 室温が暖かく快適で、作業がやりやすかった

以上のようなインタビューの結果から、休憩環境においては暖かく感じられた場合において良い印象があった一方で、温刺激や設定室温が必要以上に暑さや空気の澱み等の悪い印象につながった場合もあったと考えられる。

執務室に関しても、提案制御設計時の意図通り入室時の冷刺激によって覚醒度の向上を促す効果や、午前の室温設定が作業効率を向上させる効果が得られたという意見があった一方で、特に午後において室温設定や冷刺激により必要以上に寒さを感じた参加者においては不快感が起こり、作業を妨げられたという悪い影響があったと推察される。

6.4 まとめと考察

6.4.1 温熱条件間による CTR の比較

図 6.5 に示した CTR 平均が、提案環境が標準環境と比較して 1.6% ポイント向上し、CTR 向上率では午前で 1.7% ポイントの向上、午後で 4.9% ポイントの向上が見られたが、それぞれ有意な差はなかった。

各環境条件について計測した主観評価の項目では、図 6.13、図 6.14 の「全身が暑い」、「室温が快適」のアンケート結果から、提案環境における休憩環境ではより暖か

く、快適に感じていることが確認でき、温熱環境によってリラックス感が促されていると考えることができる。一方で、提案環境における午後休憩後の執務環境ではより寒く、不快に感じていることに加えて、図6.16の「集中しやすさ」のアンケート結果から同時点で集中しにくいと感じていることが確認でき、冷刺激による寒さによって知的集中に悪影響を及ぼしている可能性がある。さらに、図6.9、図6.10の「だるさ感」、「疲労感」のアンケート結果から、午後のSET前、つまり提案環境における午後の執務環境で疲労を感じ、同条件の午後休憩後の執務環境で更なる疲労の蓄積が確認でき、午後の温熱制御によって疲労が促されている可能性がある。

以上より、提案環境の午後の執務環境における21℃の室温設定と休憩後に曝露される冷刺激は、必要以上に寒さを感じさせ、快適性の低下と疲労の増加につながることを考えられる。ただし、CTRとCTR変化率では有意差はなかったものの向上が見られたため、不快に感じる室温であっても作業効率は向上する可能性を考えることができる。

インタビューの結果によると、執務環境の室温によって頭が冴えたという意見が得られたことから、覚醒度の向上や作業への気持ちの切り替え効果があったと推測される。また、執務環境の室温が快適で作業効率が向上したという意見が得られた一方で、寒さによって無理に集中させられたという意見も得られたことから、提案した執務環境の設定温度に対する温熱感には個人差が大きく現れることが考えられる。

休憩環境に関するインタビュー結果では、室温が快適であった、心地よかったという意見が得られたことから、温刺激の曝露と休憩環境の室温設定によるリラックス感の促進効果があることが考えることができる一方で、執務環境の温熱制御による疲労の蓄積が大きかったため、疲労回復の促進効果はこの実験では確認できなかった。

6.4.2 統合温熱制御による知的集中向上の効果

統合温熱制御では、一日を通しての作業状態に加えて、休憩の前後での作業状態の変化も期待できるため、休憩前後でのCTRの変化についても注目して考察を行う。付録Bに示す全参加者のCTR変化率の計算結果から、休憩後の比較問題(SET2, SET4)において提案環境によってCTRが向上している参加者も見られるが、一方で大きくCTRが低下している実験参加者もいた。インタビューの結果からも、休憩後の執務室が必要以上に寒く集中に悪影響を及ぼした等の意見が確認されたことから、統合温熱制御が実験参加者の知的集中に与えた影響をより詳細に検討する必要があると考えられる。検討方法については、4.4.2に示した手順と同様に分析を行う。

(1) 統合温熱制御による知的集中向上の効果/逆効果の分類

統合温熱制御による知的集中向上の効果を「効果あり」と「逆効果」に分類するため、CTR 変化率 (条件間差) を午前と午後に分けて算出し、CTR 変化率 (条件間差) <3% であれば「効果あり」とし、CTR 変化率 (条件間差) >-3% であれば「逆効果」とした。表 6.3 に「午前効果あり」、「午前逆効果」、「午後効果あり」、「午後逆効果」に分類された実験参加者と CTR 変化率 (条件間差) を示す。

表 6.3: 冬期の統合温熱制御の評価実験における CTR 変化率 (条件間差)

午前効果あり (N = 10) [%]		午前逆効果 (N = 9) [%]	
参加者 No.	CTR 変化率 (条件間差)	参加者 No.	CTR 変化率 (条件間差)
3	6.2	2	-10.9
8	10.5	7	-13.4
9	10.5	10	-5.2
12	26.5	11	-10.8
19	13.8	17	-35.2
21	16.3	18	-8.5
24	5.4	22	-5.7
25	14.1	28	-16.2
26	28.4	32	-4.3
31	16.3		
午後効果あり (N = 12) [%]		午後逆効果 (N = 7) [%]	
参加者 No.	CTR 変化率 (条件間差)	参加者 No.	CTR 変化率 (条件間差)
1	79.2	12	-6.9
2	25.5	16	-19.8
3	3.8	17	-3.7
5	6.2	20	-7.4
7	15.3	24	-38.3
10	9.0	25	-12.7
11	8.6	28	-4.2
19	22.5		
21	8.4		
26	10.7		
31	11.6		
32	10.2		

(2) 属性の差による影響の検討

まず、図 4.20 に示す方法で、「午前効果あり」と「午前逆効果」、「午後効果あり」と「午後逆効果」の間にある属性の差を抽出した。「午前効果あり」と「午前逆効果」、「午後効果あり」と「午後逆効果」の間の主観評価の結果について比較するため、F 検定を用いて等分散性を調べた後、二標本の両側 t 検定を標準環境と提案環境についてそれぞれ行った。そして、有意差 ($p < 0.01$) や有意傾向 ($p < 0.1$) の見られる特徴的な結果から、各グループの環境に対する属性を検討する。「午前効果あり」と「午前逆効果」間の基本属性アンケートの結果を図 6.17 に、「午後効果あり」と「午後逆効果」間の基本属性アンケートの結果を図 6.18 に示し、これらの結果から考えられる各グループの属性を表 6.4 に示す。図 6.17 に示すように、「風圧」の項目について「午前効果あり」と「午前逆効果」の間に優位傾向が見られたため、「午前効果あり」は風圧に弱い属性であり、「午前逆効果」は風圧に強い属性であったことがわかる。また、図 6.17 に示すように、「乾燥」の項目について「午後効果あり」と「午後逆効果」の間に優位傾向が見られたため、「午後効果あり」は乾燥に強い属性であり、「午後逆効果」は乾燥に弱い属性であったことがわかる。

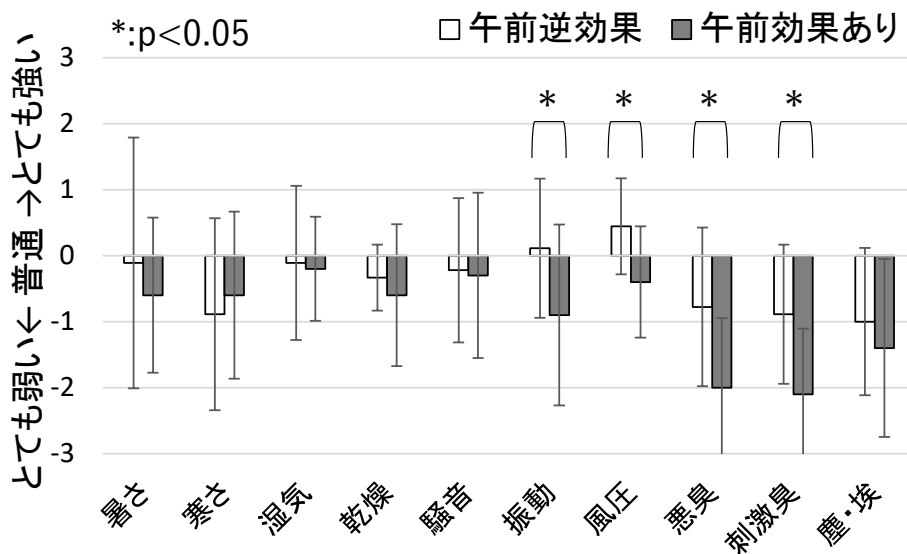


図 6.17: 冬期評価実験における基本属性アンケートの「午後効果あり」-「午後逆効果」間比較

(3) 統合温熱制御による知的集中の向上/低下

表 6.4 に示した属性の検討結果を踏まえて、4.4.2 項の図 4.23 に示した手順で、「午前効果あり」、「午前逆効果」、「午後効果あり」、「午後逆効果」の各グループの主観評価

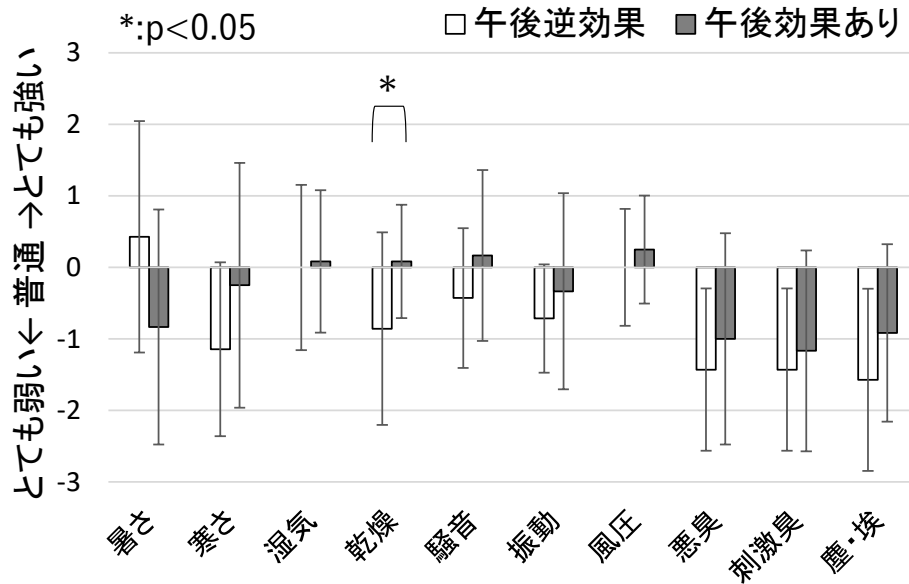


図 6.18: 冬期評価実験における基本属性アンケートの「午後効果あり」-「午後逆効果」間比較

表 6.4: 冬期評価実験における各グループの属性

午前逆効果	午前効果あり
風圧に弱い	風圧に強い
午後逆効果	午後効果あり
乾燥に弱い	乾燥に強い

結果を環境条件間で対のある両側t検定を行うことで、統合温熱制御による知的集中向上の効果と逆効果について検討した。

「午前効果あり」と「午前逆効果」の主観評価の結果を環境条件間で比較した内容と、推測される考察内容を用いて集中向上の効果と逆効果について検討した結果を図6.19、図6.21に示す。これらの図6.19、図6.21では、標準環境の印象と比較した提案環境の印象について示す。

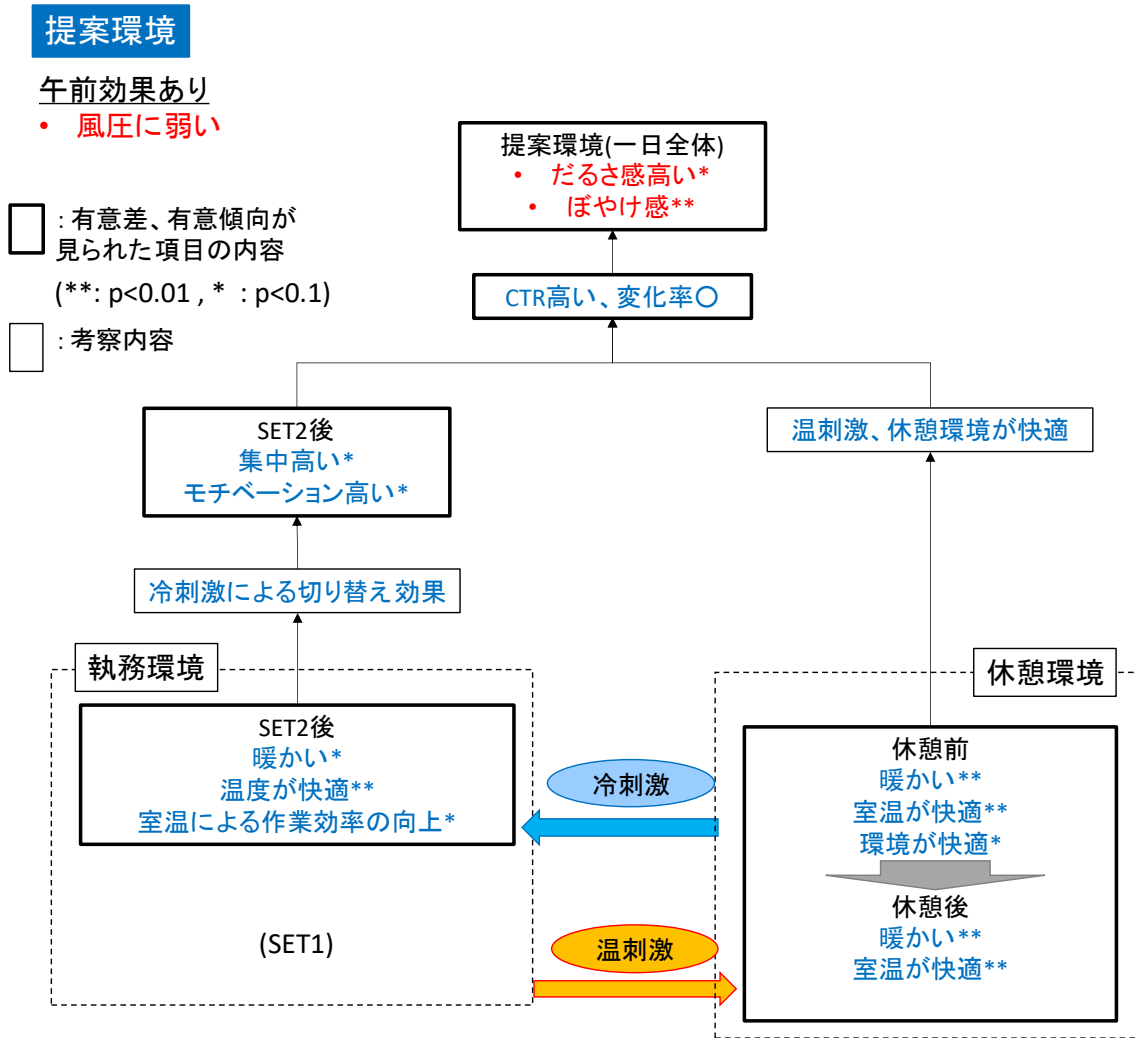


図 6.19: 統合温熱制御による「午前効果あり」への影響

図6.19に示すように、「午前効果あり」ではSET1後に休憩環境へ入室した際に「室温」が有意に暖かく感じられ ($p < 0.01$)、「室温が快適」が有意に高く ($p < 0.01$)、「環境が快適」が有意に高い傾向 ($p < 0.1$)が見られた。インタビュー結果から、休憩室入室時は特に暖かく感じたという意見が得られたことから、温刺激を暖かく快適に感じたことにより、部屋環境の印象の向上につながったことと推察される。次に30分の休

憩を終えた休憩後では、「室温」と「室温が快適」に関しては入室時と同様に、有意に暖かく ($p<0.01$)、有意に快適に ($p<0.01$) 感じられていたが、「環境が快適」で有意傾向はなかった。そして、休憩環境から執務環境に移動した際に冷刺激に曝露された後に実施した SET2 の終了時、つまり SET2 後において、「室温」が有意に暖かい傾向 ($p<0.1$) が見られ、「温度が快適」で有意に高く ($p<0.01$)、「室温による作業効率の向上」で有意に高い傾向 ($p<0.1$) が見られた。さらに、SET2 後では「集中」と「モチベーション」がそれぞれ有意に高い傾向 ($p<0.1$) が見られた。インタビュー結果から、温度差で頭が冴えた、また、暖かく快適で作業効率が向上したという意見が得られたことから、冷刺激による休憩から作業への気持ちの切り替え効果と室温が快適な範囲であったことによって、集中の向上だけでなくモチベーションの向上にも寄与した可能性が考えられる。以上より、CTR の向上の効果につながったと考えられる。また、一日通しての提案環境において「だるさ感」が有意に高い傾向 ($p<0.1$) を示し、「ぼやけ感」が有意に高く ($p<0.01$) になったのは、作業パフォーマンスが向上したことにより疲労がより蓄積されたためが起こったためであると考えられる。

図 6.20 に示すように、「午前逆効果」は SET1 後に休憩環境へ入室した際に「室温」が有意に暖かい傾向 ($p<0.1$) が見られ、「温度が快適」が有意に高い傾向 ($p<0.1$) が見られ、「環境が快適」が有意に高い ($p<0.01$) 一方で、「空気の澱み」が有意に感じられた傾向 ($p<0.1$) を示した。休憩後の印象についても、「室温」、「温度が快適」、「環境が快適」では好印象側に有意差と有意傾向が示されたことから、温刺激および休憩室の室温設定が快適性の向上につながったが推察される。しかし、休憩後に「ねむけ感」が有意に高い傾向 ($p<0.1$) が見られたことから、休憩環境の快適性は高かったものの眠気を誘発させた可能性がある。

そして、休憩環境から執務環境に移動した際、「室温が不快」が有意に高い傾向 ($p<0.1$) が見られ、SET2 後においても「室温が不快」が有意に高い傾向 ($p<0.1$) が見られた。標準環境と比較して提案環境では午前の執務環境の室温が 1°C 高いにも関わらず室温を不快に感じていることから、冷刺激による温度変化を不快に感じ、その後の執務環境の印象に悪影響を及ぼした可能性が推察される。しかし、SET2 後において「集中」が有意に高い傾向 ($p<0.1$) が示された。

以上より、休憩環境において誘発された眠気により覚醒度が低下し、執務環境へ移動した際に曝露された冷刺激により快適性は低下したものの、覚醒度が向上したため、主観的に集中の向上を感じている。しかし、眠気による覚醒度の低下の影響の方が大きかったため、結果的に CTR の低下につながったと推測される。また、一日通

提案環境

午前逆効果

- 風圧に強い

□ : 有意差、有意傾向が見られた項目の内容
(**: $p < 0.01$, * : $p < 0.1$)

□ : 考察内容

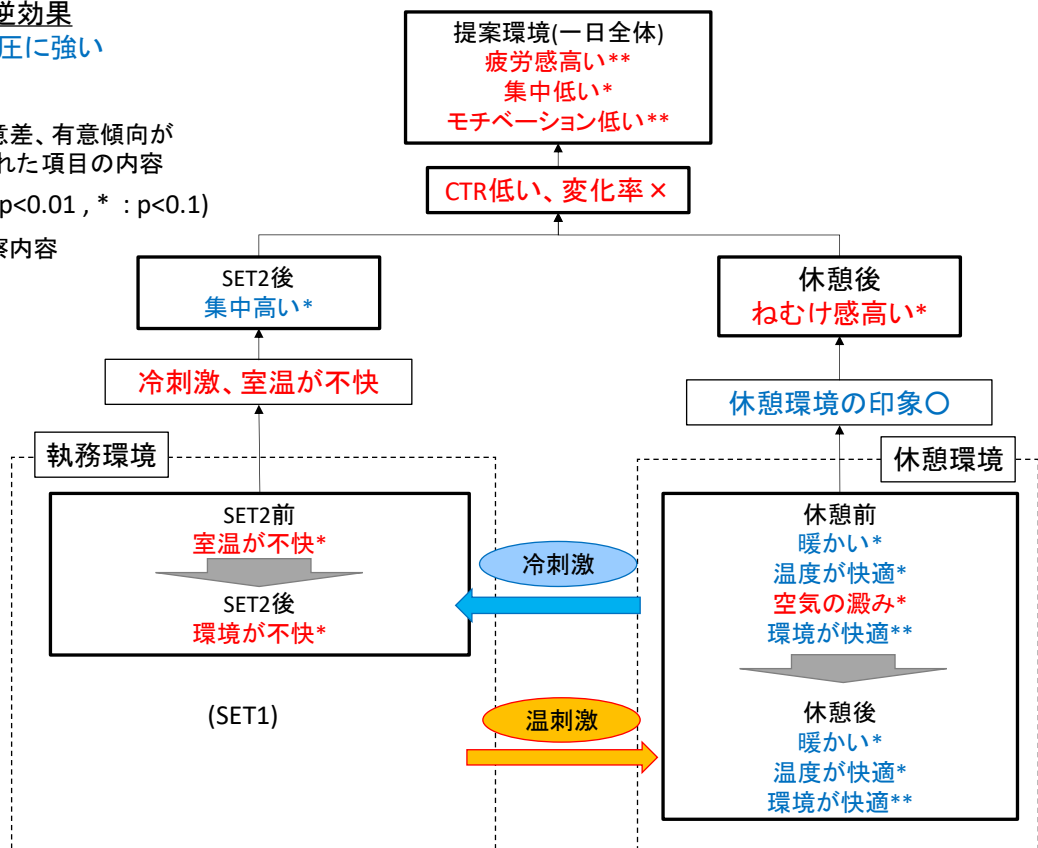


図 6.20: 統合温熱制御による「午前逆効果」への影響

しての提案環境において、「疲労感」と「集中」だけでなく「モチベーション」にまで有意に低下している。理由として、冷刺激による快適性の低下が「疲労感」、「モチベーション」の低下を招き、休憩環境における眠気sの誘発が「集中」の低下を招いたと考えることができる。

提案環境

午後効果あり

- 乾燥に強い

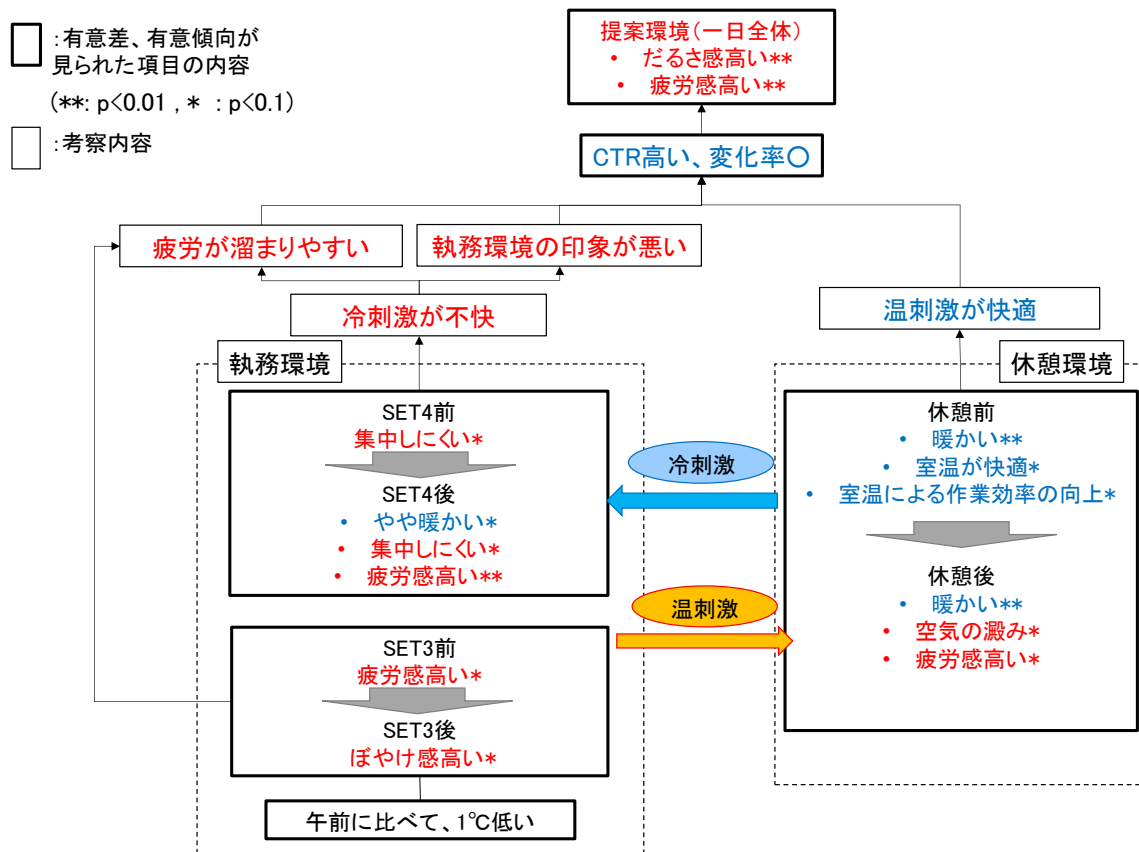


図 6.21: 統合温熱制御による「午後効果あり」への影響

図 6.21 に示すように、「午後効果あり」は SET3 前で「疲労感」が有意に高い傾向 ($p < 0.1$) が見られ、SET3 後で「ぼやけ感」有意に高い傾向 ($p < 0.1$) が見られた。これは、提案環境では執務環境の室温を午前より 1°C 低下させたことによって引き起こされたと考えられる。次に、執務環境から休憩環境へ移動した際に、「室温」が有意に暖かく ($p < 0.01$)、「室温が快適」、「室温による作業効率の向上」がそれぞれ有意に高い傾向高い傾向 ($p < 0.1$) を示している。また、休憩後では「室温」が有意に暖かく ($p < 0.1$) 感じている一方で、「空気の澱み」を有意に感じている傾向 ($p < 0.1$) と「疲労感」が有

意に高い傾向が見られた。これより、温刺激による休憩環境の快適性の向上効果が見られた一方で、設定した室温に対し必要以上に暑さを感じたために、空気の澁みを感じさせたと推察される。疲労感については、SET3前で「疲労感」が有意に高い傾向が見られたため、その蓄積により優位傾向が現れたものと考えられる。

そして、休憩環境から執務環境に移動した際、つまりSET4前で「集中しにくい」が有意に高い傾向 ($p<0.1$) が見られ、冷刺激の曝露による印象の低下が考えられる。また、SET4後で「室温」が有意に暖かい傾向 ($p<0.1$) が見られ、「集中しにくい」が有意に高い傾向 ($p<0.1$) が見られ、「疲労感」が有意に高くなった ($p<0.1$)。これより、冷刺激により集中を阻害されるような悪い印象を受け、また、SET3に続いて執務環境の温熱制御により疲労感の増加が確認された。これは、午前より執務環境の室温が1℃低いことに加えて、冷刺激によって更なる身体的負担がかかったためであると推察される。インタビュー結果から、寒さによる強制的に集中させられたという意見が得られたことから、低温環境に加えて冷刺激により覚醒度の向上が促され、結果的にCTRの向上につながったと考えられ、一方で、一日通しての提案環境で「疲労感」、「だるさ感」が有意に高くなっていることから、疲労が蓄積されやすい環境であることが考えられる。

図6.22に示すように、「午後逆効果」はSET3後で、「ねむけ感」が有意に高い傾向 ($p<0.1$) を示し、「疲労感」が有意に高くなった ($p<0.01$)。これは午前より執務環境の室温を1℃低下させた影響が出たものと考えられる。次に、執務環境から休憩環境へ移動した際に、「室温」が有意に暖かく ($p<0.01$)、「室温が快適」が有意に高く ($p<0.01$)、「集中しやすい」が有意に高い傾向 ($p<0.1$) を示した。休憩後では「室温」が有意に暖かく ($p<0.01$)、「室温が快適」が有意に高い傾向 ($p<0.1$) を示し、「疲労感」が有意に高い傾向 ($p<0.1$) を示した。これより、温刺激による快適性の向上が確認され、休憩後の「疲労感」に関しては、SET3後と比較して有意差が有意傾向に推移したことから疲労の回復効果が確認された。

そして、休憩環境から執務環境に移動した際、つまりSET4前で「室温」が有意に寒く ($p<0.01$)、「室温が不快」が有意に高い傾向 ($p<0.1$) が示された。SET4後では、「室温」が有意に寒く ($p<0.01$)、「室温が不快」が有意に高い傾向 ($p<0.1$) が示され、「疲労感」が有意に高く ($p<0.01$)、「集中しにくい」が有意に高い傾向 ($p<0.1$) が示された。これより、冷刺激により必要以上の寒さを感じ、さらに休憩後においても必要以上に寒さを感じていることから設定した室温も寒く不快であったと考えられる。したがって、疲労感が余計に蓄積されたと考えられる。また、SET3前後、SET4後にお

提案環境

午後逆効果

- 乾燥に弱い

□ : 有意差、有意傾向が見られた項目の内容
 (**: $p < 0.01$, * : $p < 0.1$)

□ : 考察内容

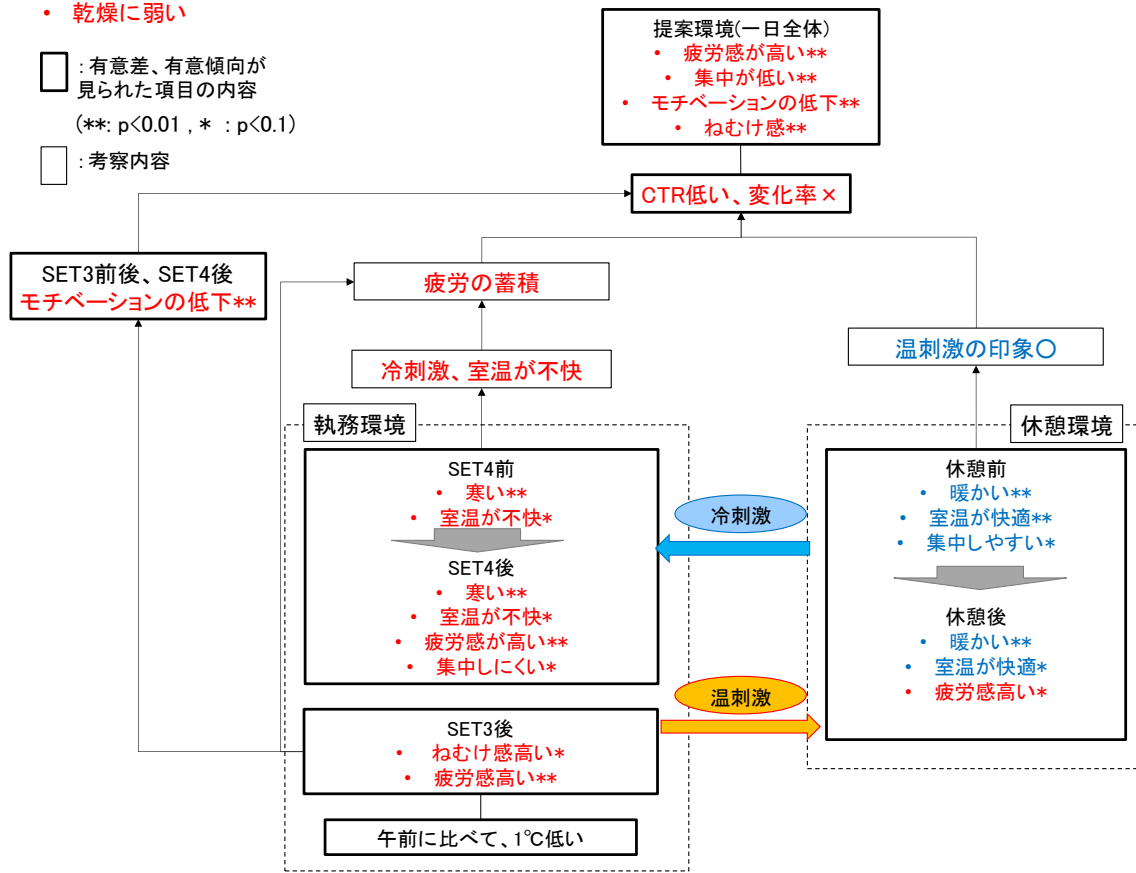


図 6.22: 統合温熱制御による「午後逆効果」への影響

いて、「モチベーション」が有意に低くなった。これより、不快な室温範囲における冷刺激と低温環境はモチベーションに悪影響を及ぼす可能性がある。このように、「午後逆効果」は休憩環境に対しては、暖かく快適な印象を持ち、疲労の回復効果が見られた一方で、執務環境に対しては、必要以上に寒く不快に感じ、疲労の蓄積だけでなくモチベーションの低下も招き、結果的に CTR が低下したと考えられる。

第 7 章 結論

近年、地球規模のエネルギー問題を背景に、企業ではエネルギー消費量の削減のために、オフィスの設定温度の緩和やクールビズなど様々な省エネルギー活動が実施されている^[1-3]。しかし、これらの省エネルギー活動はエネルギー消費量の削減を重要視する一方で、オフィス環境の快適性を軽視する傾向にあるため、執務者の知的作業の効率、つまり知的生産性の低下を招く可能性がある。近年の情報化社会の進展に伴い、知的成果物の価値が高まり、オフィスの業務の大半は知的作業となった。そのため、知的生産性の低下は労働時間の増加を招くばかりか、人件費やエネルギーコストの増大にもつながる。そこで、オフィス環境の改善を行う際には、エネルギー消費量の削減だけでなく、知的生産性へ悪影響を与えないような環境構築が必要である。知的生産性へ影響を及ぼすと考えられるオフィス環境の要素として、照明、音、温熱などが挙げられるが、その中でも室温、相対湿度、着衣量などの要素から構成される温熱環境は人間の快適性と強い関係にある。そのため、執務環境の温熱制御が知的生産性へ及ぼす影響を調べた研究は数多く存在する^[4-6]。また、執務者は一日中業務を続けているわけではなく適度に休憩を取りながら従事しており、その環境に着目してレイアウトなどの視覚的な要素が休憩の質やその後の作業効率に与える影響を調べた研究^[7,8]も存在する。このように、執務環境と休憩環境のどちらか一方の環境要素の変化にのみ着目した研究事例は数多く存在する^[9,10]が、執務環境と休憩環境の環境制御を統合的に行い、知的生産性へ及ぼす影響を評価した研究事例は少なく、特に執務環境と休憩環境の統合的な温熱制御に着目した研究に関しては未だ報告例がない。さらに、これらの研究では主観評価でのみ知的生産性への影響を実証しており、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、執務環境と休憩環境の統合的な温熱制御の中でも室温制御に着目し、2つの環境間の温度差も考慮に入れた制御手法を提案し、評価実験を行うことで知的生産性の向上効果を客観的かつ定量的に検証することを目的とする。本研究では、執務環境と休憩環境の温熱制御に着目し、2つの環境の間にある温度差を考慮した制御法を提案するとともに、知的生産性や休憩の質へ及ぼす影響を調べるために評価実験を実施し、集中時間比率 CTR^[30]を用いて知的作業の集中を評価した。第3章では、夏期における統合温熱制御を検討するために、夏期の温熱制御が人間の快適

性へ及ぼす影響を評価した既往研究について説明し、得られた知見を基に夏期における統合温熱制御の基本的なコンセプトを定め、温熱制御の詳細を決定するために実施した試行実験について記した。最後に、提案する夏期における統合温熱制御について記した。

第4章では、第3章で述べた統合温熱制御が知的生産性へ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。統合温熱制御の知的生産性の向上効果を調べるためにCTRを用いた。その結果、提案した温熱環境条件(提案環境)は執務環境および休憩環境の間に温熱差を作らない標準環境と比較したところ、CTRが2.3%ポイント有意に高い傾向($p < 0.05$)が見られた。また、知的生産性の向上効果が見られたグループと逆に低下したグループを分類し、温熱制御による影響を比較したところ、CTRが低下したグループでは温刺激や暖かい室温の休憩環境に対して不快感を感じ、それがねむけ感の増加やモチベーションの低下を招き、パフォーマンスの低下につながったと考えられる。

第5章では、冬期における統合温熱制御を検討するために、冬期の温熱制御が人間の快適性へ及ぼす影響を評価した既往研究について説明し、得られた知見を基に冬期における統合温熱制御の基本的なコンセプトを定め、温熱制御の詳細を決定するために実施した試行実験について記した。最後に、提案する冬期における統合温熱制御について記した。

第6章では、5章冬期における統合温熱制御の提案章で述べた統合温熱制御が知的生産性へ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。評価実験では、提案した温熱環境条件(提案環境)は執務環境および休憩環境の間に温熱差を作らない標準環境と比較したところ、有意差は見られなかった。また、知的生産性の向上効果が見られたグループと逆に低下したグループを分類し、温熱制御による影響を比較したところ、CTRが低下したグループでは冷刺激や涼しい室温の休憩環境に対して不快感を感じ、それが疲労感の増加やモチベーションの低下を招き、パフォーマンスの低下につながったと考えられる。

謝 辞

本研究を進めるに当たって、論文執筆、ミーティング、研究会、雑誌会等の様々な機会でご意見をくださり、また、本研究以外でも、就職活動、講義、普段の生活において数多くご相談に乗っていただいただけでなく数々の貴重なお言葉をお掛けくださった下田宏教授に心より感謝の意を申し上げます。また、数々の機会で私の至らぬ点についてご指導およびご救済をして頂きましたことに深く感謝いたします。

研究に関して様々なご意見をくださっただけでなく、定期的な研究室イベントなどの開催など様々な有意義な機会をご提案いただきました石井裕剛准教授に心より感謝の意を申し上げます。また、数々の機会で私の至らぬ点についてご指導およびご救済をして頂きましたこと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、実験の実施、ミーティング、懇親会など様々な機会でご支援およびご意見をしてくださっ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から感謝の意を申し上げます。

また、本研究を進めるに当たって、研究の相談、ご助言、励ましの言葉など様々なサポートをしてくださった同期の下中尚忠君、修士1回生の上田樹美さん、緒方省吾君に心より感謝いたします。

そして、日頃から仲良くしてくださいました同期の浦山大輝君、木村太郎君、遠藤竜太君、そして、上下関係なく接してくださった修士1回生の大橋由暉君、辻雄太君、岩崎達郎君、更に礼儀正しく接してくださった電気電子工学科4回生の日下部曜君、久留島隆史君、原園友規君に心より感謝いたします。

また、日頃からお世話をして頂き、研究生生活のサポートをして頂きました普照郁美様、山田美保様に心より感謝の意を申し上げます。

最後に、修士1回生から現在に至るまで、数多くの方々のご助力により、有意義な時間を過ごすことができました。心より感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 経済産業省資源エネルギー庁: エネルギー白書 2016: http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2016pdf/whitepaper2016pdf_2_1.pdf, Accessed January 10, (2016).
- [2] 経済産業省資源エネルギー庁: 夏季の節電メニュー (事業者の皆様) 東北・東京・中部・北陸・関西・中国・四国・九州, www.meti.go.jp/setsuden/pdf/150522/150522_01f.pdf, (2015).
- [3] 経済産業省資源エネルギー庁: 冬季の節電メニュー (事業者の皆様) 東北・東京・中部・北陸・関西・中国・四国・九州, www.meti.go.jp/setsuden/pdf/151030/151030_01f.pdf, (2015).
- [4] 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, Vol.63, pp.114-122,(2006).
- [5] 岩下剛, 花田良彦, 合原妙美: 室温の違いが作業効率に及ぼす影響, 日本建築学会環境論文集, No. 585pp.55-60, (2004).
- [6] 村上周三: 建築空間と知的活動の階層モデル, 2012.3.15 知的生産性研究委員会, No.5, (2012).
- [7] William S. Helton, Paul N. Russell: Brief mental breaks and content-free cues may not keep you focused, *Exp Brain Res*, No. 219, pp.37-46, (2012).
- [8] Julian Lim, Kenneth Kwok: The effects of Varying Break Length on Attention and Time on Task, *HUMAN FACTORS*, Vol. 58, No.3, pp.472-481, (2016).
- [9] Ralph E. Janaro, Stephen E. Bechtold: A study of the reduction of fatigue impact on productivity through optimal rest break schedule, Vol. 28, No. 4, pp. 459-466, (1985).
- [10] Lomonaco, C., Miller, D.: Environmental Satisfaction, Personal Control and the Positive Correction to Increased Productivity, Johnson Controls, Inc. (1997).

- [11] 中島隆信: 日本経済の生産性分析, 日本経済新聞社, (2001).
- [12] 生産性研究所: 研究開発と知識生産性, 社会経済生産性本部, (1997).
- [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, Workshop 9 (2000).
- [14] Zhang H, Huizenga C, Arens E, Yu T: Considering individual physiological differences in a human thermal model, *Therm Biol*, Vol. 26, pp.401-408, (2001).
- [15] de Dear R, Brager G: Developing an adaptive model of thermal comfort and preference, *ASHRAE Trans*, Vol. 104, pp.145-167, (1998).
- [16] 多和田友美, 伊香賀俊治, 村上周三, 内田匠子, 上田悠: 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, (2010) .
- [17] Richard de Dear, Gail S. Brager, J Reardon: Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference, *ASHRAE Transactions*, Vol.104, no.1, pp.145-167, (1998).
- [18] 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*, Vol.68, pp.114-122 (2013).
- [19] O. Seppanen, W.J. Fisk, Q. Lei: Effect of temperature on task performance in office environment, Lawrence Berkeley National Laboratory (2006).
- [20] Jongseong Gwak, Motoki Shino, Kazutaka Ueda, Minoru Kamata: Effect of changes in the thermal factor on arousal level and thermal comfort, *IEEE International Conference on System, Man, and Cybernetics*, pp.923-928, (2015).
- [21] 郭 鐘声, 小竹 元基, 鎌田 実, 上田 一貴: 室内空間の温熱的要素の変化と作業難易度の違いが心理生理学的指標に及ぼす影響, *日本機械学会論文集*, Vol.82, no.840, pp.1-14, (2016).

- [22] Hong Liu, Jianke Liao, Dong Yang, Dong Yang, Xiuyuan Du, Pengchao Hu, Yu Yang, Baizhan Li,:The response of human thermal perception and skin temperature to step-change transient thermal environments, *Building and Environment*, Vol. 73, pp.232-238, (2014).
- [23] 労働行政研究所: 労働安全衛生関係令集, *労働行政*, pp.21-42, (2015).
- [24] 大山能永, 森川泰成, 中村芳樹: オフィスワーカーによるリフレッシュの現状について, *日本建築学会技術報告集*, No.17, pp. 269-274, (2003).
- [25] 大山能永: 「リフレッシュルーム」の望ましき測定方法の提案, *日本建築学会技術報告集*, No. 596, pp.1-6 (2005).
- [26] 木野村泰子, 下村孝: オフィスワーカーが休憩のために訪れる屋上の現状と屋上緑化の今後のあり方, *Vol.68*, pp.114-122 (2013).
- [27] 佐々木ゆき, :緑化された屋上における景観要素の違いが利用者の景観評価に及ぼす影響, *ランドスケープ研究*, Vol. 71, No. 5, pp. 827-832, (2008).
- [28] 廣瀬文子, 長坂彰彦: 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).
- [29] 橋本邦衛: *安全人間工学*, 中央労働災害防止協会, (1988).
- [30] Kosuke Uchiyama, Koutarou Ooishi, Kazune Miyagi, Hirotake Ishii, Hiroshi Shimoda: Process of Evaluation Index of Intellectual Productivity Based on Work Concentration, *ICSTE 2013*, (2013).
- [31] 古川雅子, 久保博子, 岡田愛理, 磯田憲生, 杉崎智子, 岡田覚: オフィス空間における温熱環境と執務者の温熱快適性に関する研究, *人間生活環境系シンポジウム報告集*, no. 37, pp. 57-58, (2013).
- [32] 佐々尚美,:温熱的生理心理反応の個人差に関する研究, *日本建築学会計画系論文集*, No. 542, pp. 35-40, (2001).
- [33] 安岡絢子, 久保博子, 磯田憲生, 木村文雄: 住空間における生理心理反応からみた温熱的快適範囲の季節差に関する研究, *日本建築学会環境系論文集*, Vol. 76, No. 663, pp. 479-484, (2011).

- [34] Jing Xiong,:Effect of temperature steps on human health and thermal comfort, Building and Environment, Vol. 94, No. 1, pp. 144-154, (2015).
- [35] Jungsoo Kim,: Gender differences in office occupant perception of indoor environment quality, Building and Environment, Vol. 70, pp. 245-256, (2013).
- [36] 上田 樹美, 辻 雄太, 下田 宏, 石井 裕剛, 大林 史明, 谷口 和宏: オフィス環境における知的集中計測のための認知課題の開発, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2016 論文集, pp.403-410, (2016).
- [37] 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).
- [38] 寺崎正治, 岸本陽一, 古賀愛人: 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)
- [39] ISO: Predicted Mean Vote, ISO 7730, (1994).
- [40] P. O. Fanger: Thermal comfort : analysis and applications in environmental engineering, McGraw-Hill, (1972).
- [41] 空調調和衛生工学会: 図解空調・給排水の大百科, オーム社, (1998).
- [42] 田辺新一: 建築環境学 (木村健一編), 丸善, (1992) .
- [43] 河野翔: 意識的な急速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 24 年度エネルギー科学研究科修士論文, 京都大学, (2012).
- [44] S. K. Card, T. P. Moran, A. Newell: The Psychology of Human-Computer Interaction, Erlbaum Associates, (1983).
- [45] 大石晃太郎: 知的生産性評価のための客観的集中指標の開発, Master's thesis, 平成 24 年度エネルギー科学研究科修士論文, 京都大学, (2013).
- [46] ASHRAE: 2001 ASHRAE fundamentals Handbook(SI), Chapter.8.12, CONDITIONS FOR THERMAL COMFORT, (2001).
- [47] 島岡章, 町田和彦, 熊江隆, 菅原和夫, 倉掛重精, 岡村典慶, 末宗淳二郎: 基礎代謝の季節変動について, 日本生気象学会雑誌, Vol. 24, No. 1, pp. 3-8, (1987).

- [48] Derk-Jan Dijk, Charles A. Czeisler: Paradoxical timing of the circadian rhythm of sleep propensity serves to consolidate sleep and wakefulness in humans, *Neuroscience Letters*, Vol. 166, No. 1, pp. 63-68, (1994).
- [49] Haskell, E. H., Palca, J. W., Walker, J. M., Berger, R. J. and Herler, H. C.: The effects of high and low ambient temperatures on human sleep stages, *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, Vol. 51, pp.494-501, (1981).

付録 A 夏期評価実験の結果の詳細

A.1 基本属性アンケート

表 A.1: 夏期における評価実験参加者の基本属性アンケート結果

グループ	実験参加者	年齢	暑さ	寒さ	湿気	乾燥	騒音	振動	風圧	悪臭	刺激臭	塵・埃
Group1	1	20	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	2	25	1	-1	0	0	1	1	0	-2	-2	-2
	3	26	-1	1	-2	0	-2	0	0	-2	-2	-2
	4	18	1	1	2	2	0	0	2	0	-1	-2
	途中退場		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	6	21	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	7	18	-3	-1	-3	0	-2	2	1	-2	-3	1
	8	23	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Group2	9	22	-1	1	0	-2	2	-2	0	-2	-2	-2
	10	20	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	11	21	0	-1	0	0	0	0	0	-2	-2	-1
	12	20	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	13	24	-2	0	0	0	-2	-2	1	-2	-2	-2
	14	23	0	-1	0	-2	-1	-1	0	0	-1	0
	15	19	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	16	24	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Group3	17	20	-1	2	-2	2	1	0	0	0	2	-2
	18	18	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	19	22	1	-1	-1	1	0	0	0	-1	0	-1
	20	20	-1	-1	0	-2	0	0	0	0	0	-1
	21	21	-2	-2	-2	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2
	22	21	2	-2	0	1	0	-1	0	0	0	0
	23	19	0	1	0	-1	-1	1	-2	-2	-2	0
	24	23	-2	1	0	0	0	0	0	-1	-1	-3
Group4	25	23	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	26	22	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	27	19	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	欠席		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	29	24	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	30	19	-3	-3	0	0	1	1	-1	0	0	1
	途中退場		-3	-2	-3	-3	0	-2	0	-3	-3	-3
欠席		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Group5	33	22	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	34	22	-1	0	0	0	0	0	0	-2	-2	-2
	35	18	1	-2	2	-2	-2	-1	1	-2	-2	-2
	36	18	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	37	26	-2	0	-2	0	0	0	2	0	2	-1
	38	24	-2	-3	-1	2	0	0	0	-1	-1	0
	途中退場		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
欠席		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Group6	41	18	1	-2	0	2	0	0	0	-2	-2	-2
	42	22	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	43	23	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	44	23	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

3	とても強い
2	強い
1	やや強い
0	普通
-1	やや弱い
-2	弱い
-3	とても弱い

A.2 計測対象とした実験参加者の集中時間比率 CTR

表 A.2: 夏期における評価実験参加者の CTR 結果

グループ	参加者 I D	標準環境平均				提案環境平均			
		SET1	SET2	SET3	SET4	SET1	SET2	SET3	SET4
Group1	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	2	70.66	68.23	66.75	68.27	55.31	58.07	51.57	58.77
	3	81.48	76.07	80.35	80.14	84.54	81.58	79.17	78.59
	4	56.85	54.78	53.90	47.94	59.06	53.55	53.04	46.62
	途中退場	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	7	33.25	47.55	48.13	59.23	40.94	41.47	55.37	45.35
	8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Group2	9	50.22	39.63	42.20	30.99	57.79	45.82	41.18	41.68
	10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	11	58.54	53.89	47.52	44.35	62.22	66.85	62.97	65.90
	12	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	13	48.50	37.62	56.28	51.64	53.95	34.14	44.04	50.56
	14	63.60	68.84	66.85	56.07	55.47	53.01	53.19	47.84
	15	N/A	N/A	40.01	41.50	N/A	N/A	38.89	33.24
	16	N/A	N/A	22.59	23.60	N/A	N/A	30.42	33.34
Group3	17	73.56	62.29	64.60	68.43	61.04	56.84	57.16	54.34
	18	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	19	47.98	49.17	44.45	37.87	55.45	56.24	56.23	52.11
	20	59.43	54.72	59.40	49.15	69.32	61.99	68.19	55.06
	21	53.85	57.13	55.46	45.23	65.11	72.04	68.12	54.83
	22	63.34	55.58	57.21	54.34	59.46	60.90	65.33	56.51
	23	32.91	30.98	41.99	29.03	48.19	42.46	42.50	30.30
	24	56.23	43.01	46.88	38.59	68.54	59.07	62.44	50.75
Group4	25	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	26	59.36	51.32	N/A	N/A	52.86	45.16	N/A	N/A
	27	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	欠席	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	29	58.57	60.43	72.65	73.47	66.10	62.83	58.37	52.59
	30	42.67	38.06	46.60	36.09	57.26	50.42	44.40	40.54
	途中退場	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	欠席	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Group5	33	54.76	56.20	N/A	N/A	46.45	38.35	N/A	N/A
	34	67.23	67.01	66.19	66.51	67.07	68.10	66.47	63.42
	35	62.00	67.24	67.02	63.59	76.49	67.42	69.01	66.19
	36	51.79	42.74	N/A	N/A	29.84	26.35	N/A	N/A
	37	46.50	43.51	41.36	45.56	39.16	48.69	40.89	56.30
	38	55.08	45.57	47.42	42.56	54.02	71.28	74.00	67.02
	途中退場	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	欠席	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Group6	41	58.26	65.43	43.77	49.75	61.13	70.25	56.35	65.05
	42	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	43	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	44	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

A.3 計測対象とした実験参加者の集中時間比率CTRの変化率

表 A.3: 夏期における評価実験参加者のCTR変化率

グループ	参加者 I D	標準環境		提案環境	
		午前	午後	午前	午後
Group1	1	N/A	N/A	N/A	N/A
	2	-3.4	2.3	5.0	14.0
	3	-6.6	-0.3	-3.5	-0.7
	4	-3.6	-11.1	-9.3	-12.1
	途中退場	N/A	N/A	N/A	N/A
	6	N/A	N/A	N/A	N/A
	7	43.0	23.1	1.3	-18.1
	8	N/A	N/A	N/A	N/A
Group2	9	-21.1	-26.6	-20.7	1.2
	10	N/A	N/A	N/A	N/A
	11	-7.9	-6.7	7.4	4.6
	12	N/A	N/A	N/A	N/A
	13	-22.4	-8.2	-36.7	14.8
	14	8.2	-16.1	-4.4	-10.1
	15	N/A	N/A	N/A	N/A
	16	N/A	N/A	N/A	N/A
Group3	17	-15.3	5.9	-6.9	-4.9
	18	N/A	N/A	N/A	N/A
	19	2.5	-14.8	1.4	-7.3
	20	-7.9	-17.3	-10.6	-19.3
	21	6.1	-18.4	10.6	-19.5
	22	-12.2	-5.0	2.4	-13.5
	23	-5.8	-30.9	-11.9	-28.7
	24	-23.5	-17.7	-13.8	-18.7
Group4	25	N/A	N/A	N/A	N/A
	26	N/A	N/A	N/A	N/A
	27	N/A	N/A	N/A	N/A
	欠席	N/A	N/A	N/A	N/A
	29	3.2	1.1	-4.9	-9.9
	30	-10.8	-22.6	-11.9	-8.7
	途中退場	N/A	N/A	N/A	N/A
	欠席	N/A	N/A	N/A	N/A
Group5	33	N/A	N/A	N/A	N/A
	34	-0.3	0.5	1.5	-4.6
	35	8.5	-5.1	-11.9	-4.1
	36	N/A	N/A	N/A	N/A
	37	-6.4	10.2	24.3	37.7
	38	-17.3	-10.3	32.0	-9.4
	途中退場	N/A	N/A	N/A	N/A
	欠席	N/A	N/A	N/A	N/A
Group6	41	12.3	13.7	14.9	15.4
	42	N/A	N/A	N/A	N/A

付録 A-6

付録 B 冬期評価実験の結果の詳細

B.1 基本属性アンケート

表 B.1: 冬期における評価実験参加者の基本属性アンケート結果

グループ	実験参加者	年齢	暑さ	寒さ	湿気	乾燥	騒音	振動	風圧	悪臭	刺激臭	塵・埃
Group1	1	24	-2	2	1	1	2	-2	0	1	1	-1
	2	19	-2	-2	0	-1	2	2	2	-1	-1	1
	3	21	1	-2	0	-1	-1	-3	-1	-3	-3	-3
	居眠り	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	5	19	2	2	2	2	0	0	0	0	0	-2
	居眠り	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	7	21	-3	-2	-2	0	-1	0	1	-3	-3	-2
	8	25	0	1	-2	0	1	1	0	-1	-1	-1
Group2	9	26	0	0	0	0	-2	-3	-2	-3	-3	-3
	10	21	-1	1	-1	0	-1	0	0	0	0	-1
	11	22	-2	-2	0	0	1	1	0	-1	-1	-2
	12	21	-1	0	1	-2	1	-1	-1	-2	-2	-1
	欠席	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	体調不良	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	欠席	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	16	24	0	-2	-1	1	0	-1	0	0	0	-2
Group3	17	24	2	-1	2	0	0	0	0	-1	-1	-2
	18	24	1	-1	0	-1	0	0	0	0	0	0
	19	19	-2	0	0	0	0	0	0	-1	-2	1
	20	20	2	0	0	-1	0	0	1	0	0	1
	21	20	-2	0	0	0	1	0	1	-2	-2	-1
	22	19	1	-1	0	0	-1	0	0	0	0	-1
	23	20	-1	0	0	-1	0	0	0	-2	-2	-2
	24	20	0	0	0	0	-1	-1	-1	-2	-2	-2
Group4	25	23	-2	-3	-1	-3	-2	-2	0	-3	-3	-3
	26	25	-1	-2	0	0	1	0	0	-3	-3	0
	解答数少ない	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	28	23	2	-2	-1	-1	-1	0	1	-2	-2	-2
	体調不良	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	解答数少ない	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	31	21	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1
	32	25	1	2	1	0	-1	-2	0	1	0	0

B.2 計測対象とした実験参加者の集中時間比率 CTR

表 B.2: 冬期における評価実験参加者の CTR 結果

グループ	参加者 I D	標準環境				提案環境			
		SET1	SET2	SET3	SET4	SET1	SET2	SET3	SET4
Group1	1	51.8	37.2	53.1	36.0	56.0	39.7	49.4	72.6
	2	54.1	55.2	58.1	41.0	53.1	48.4	45.5	43.7
	3	64.8	64.5	69.2	67.0	66.0	69.8	61.1	61.5
	居眠り	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	5	65.3	60.6	60.1	50.8	73.3	68.6	73.5	66.7
	居眠り	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	7	49.7	49.0	49.0	37.0	55.2	47.0	43.7	39.7
	8	63.5	53.6	51.4	46.9	59.2	56.2	49.9	46.3
Group2	9	70.7	68.1	63.8	56.0	61.8	66.0	67.3	58.7
	10	52.3	51.4	54.6	46.6	50.6	47.1	45.8	43.2
	11	56.6	56.1	64.8	56.6	64.0	56.5	61.4	58.9
	12	72.3	59.8	73.9	75.7	66.4	72.5	79.9	76.3
	欠席	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	体調不良	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	欠席	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	16	47.4	47.2	48.9	54.0	48.9	48.7	53.1	48.1
Group3	17	61.2	66.5	65.2	80.1	74.7	54.9	57.4	68.4
	18	65.9	67.7	64.2	64.4	63.8	60.1	59.5	60.9
	19	54.7	42.8	44.8	35.5	52.9	48.7	57.2	58.2
	20	58.4	52.4	50.2	49.2	62.4	57.7	56.7	51.4
	21	45.1	46.4	47.2	47.9	44.4	52.9	43.4	47.7
	22	80.3	80.9	73.5	70.6	74.7	71.0	70.4	66.7
	23	53.0	56.2	57.7	59.9	57.2	60.6	57.2	58.6
	24	44.9	41.3	33.9	40.1	53.0	51.6	51.6	41.3
Group4	25	67.7	51.9	53.0	46.1	56.1	50.9	56.3	41.8
	26	39.2	26.2	41.8	32.2	48.0	45.7	54.7	48.0
	解答数少ない	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	28	62.9	64.9	65.6	55.6	62.2	54.1	63.4	51.1
	欠席	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	解答数少ない	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	31	71.8	60.7	67.4	62.1	71.2	71.8	61.3	63.6
	32	78.6	79.1	74.7	66.0	85.3	82.2	74.8	73.7

B.3 計測対象とした実験参加者の集中時間比率 CTR の変化率

表 B.3: 冬期における評価実験参加者の CTR 変化率

グループ	参加者 I D	標準環境		提案環境	
		午前	午後	午前	午後
Group1	1	-28.19	-32.20	-29.11	46.96
	2	2.03	-29.43	-8.85	-3.96
	3	-0.46	-3.18	5.76	0.65
	居眠り	N/A	N/A	N/A	N/A
	5	-7.20	-15.47	-6.41	-9.25
	居眠り	N/A	N/A	N/A	N/A
	7	-1.41	-24.49	-14.86	-9.15
	8	-15.59	-8.75	-5.07	-7.21
Group2	9	-3.68	-12.23	6.80	-12.78
	10	-1.72	-14.65	-6.92	-5.68
	11	-0.88	-12.65	-11.72	-4.07
	12	-17.29	2.44	9.19	-4.51
	欠席	N/A	N/A	N/A	N/A
	体調不良	N/A	N/A	N/A	N/A
	欠席	N/A	N/A	N/A	N/A
	16	-0.42	10.43	-0.41	-9.42
Group3	17	8.66	22.85	-26.51	19.16
	18	2.73	0.31	-5.80	2.35
	19	-21.76	-20.76	-7.94	1.75
	20	-10.27	-1.99	-7.53	-9.35
	21	2.88	1.48	19.14	9.91
	22	0.75	-3.95	-4.95	-5.26
	23	6.04	3.81	5.94	2.45
	24	-8.02	18.29	-2.64	-19.96
Group4	25	-23.34	-13.02	-9.27	-25.75
	26	-33.16	-22.97	-4.79	-12.25
	解答数少ない	N/A	N/A	N/A	N/A
	28	3.18	-15.24	-13.02	-19.40
	欠席	N/A	N/A	N/A	N/A
	解答数少ない	N/A	N/A	N/A	N/A
	31	-15.46	-7.86	0.84	3.75
32	0.64	-11.65	-3.63	-1.47	