

電力中央研究所報告

オフィスを対象とした 執務者の便益評価手法の検討

— (その3) 光環境の色温度変化が疲労と視認性に及ぼす影響 —
研究報告：C17012

2018年 6月

 電力中央研究所



オフィスを対象とした執務者の便益評価手法の検討 - (その3) 光環境の色温度変化が疲労と視認性に及ぼす影響 -

安岡 絢子^{*1} 近藤 修平^{*1} 宮永 俊之^{*2}
岩田 利枝^{*3} 明石 行生^{*4}

キーワード： オフィス
光環境
色温度
疲労
視認性

Key Words : Office
Light environment
Color temperature
Fatigue
Visibility

Study on the method of benefit evaluation of the worker in the office environment - Part3 The effect of change in the color temperature on the fatigue and the visibility -

Ayako Yasuoka, Shuhei Kondo, Toshiyuki Miyanaga,
Toshie Iwata and Yukio Akashi

Abstract

We developed an experimental approach to evaluate the influence of color temperature on fatigue, visibility, and work efficiency and verified whether age differences influence the fatigue-reducing effects of changes in color temperature such as circadian rhythm.

We prepared a task light-type lamp capable of emitting random illuminance and color temperatures and devised an experimental method for subjects during which fatigue, visibility, and work efficiency, under different color temperatures, would be measured. The subjects included 16 young men and women and 12 middle-aged and elderly men and women who were exposed to 3 different color temperature settings. During the experiment, subjects performed tasks on a PC, and their physiological and psychological responses, degree of fatigue, and degree of visibility before and after the task were measured in the morning, noon, and evening. The visibility was measured by having subjects select the Landolt rings with openings in a specified direction on paper; a total of 8 sheets included 100 rings were used, and the rings differed in terms of size and contrast. The results are shown below.

1. According to the flicker measurement results, the younger subjects tended to reduced fatigue when working under 12000K lighting in the morning. As the Landolt rings decreased in size and had lower contrast, the number of searches decreased. However, the percentage of correct answers was about 90% or more for all Landolt ring types.

2. In the middle-aged and elderly subjects experienced the number of the Landolt ring searches was lower for smaller rings with low contrast. Meanwhile, there was a difference in the correct answer rate, depending on the type of the Landolt rings. However, the type of the Landolt rings with correct answer rates of 80% or more was largest number in the condition of the color temperature changes that were most similar to consideration the circadian rhythms.

Our results suggest that changes in color temperatures that simulate circadian rhythms can reduce morning fatigue in younger people and facilitate high visibility throughout the day for middle-aged and elderly people.

^{*1} エネルギーイノベーション創発センター カスタマーサービスユニット 主任研究員

^{*2} エネルギーイノベーション創発センター カスタマーサービスユニット 副研究参事

^{*3} 東海大学 工学部 建築学科 教授

^{*4} 福井大学 学術研究院工学系部門 教授

背 景

当所では執務者の便益向上に寄与するため、オフィスを対象とした顧客便益評価手法の検討を行っており、温熱環境が疲労や作業効率に及ぼす影響を検証している^{[1][2]}。一方で、光環境が視覚疲労や作業効率に及ぼす影響が明らかになっており^{注1)}、サーカディアンリズム^{注2)}や朝の覚醒を考慮して色温度を制御する照明^{注3)}が広まりつつある。しかし色温度変化が、加齢に伴う視認性の低下も含めた疲労や作業効率に及ぼす影響を検証した例は少ない。

目 的

色温度変化が疲労や視認性、作業効率に及ぼす影響を評価する実験手法を考案し、サーカディアンリズム等を考慮した色温度変化の疲労軽減効果を年代差で検証する。

主な成果

1. 被験者実験の手法の考案

任意の照度と色温度を設定できるタスクライト型照明を構築し、異なる色温度において疲労や視認性、作業効率を測定する被験者実験手法を考案した（表 1、図 1）。

被験者は若齢者男女 16 名と中高齢者男女 12 名とし、3 つの色温度条件を設定した。実験中は PC 作業を行い、作業前後の生理心理量と疲労および視認性を、朝、昼、夕に測定した。視認性は指示された向きのランドルト環を、紙面上で探索する方法で測定することとし、大きさ（2 条件／大： $\phi=4\text{mm}$ 、小： $\phi=2\text{mm}$ ）とコントラスト（4 条件／10%、20%、50%、100%）が異なる 8 枚の試験用紙を用いた（図 2）。

2. 色温度変化による疲労軽減効果の年代差

- ・ 若齢者は、フリッカー値^{注4)}の測定結果から、朝に色温度 12000K 下で作業を行うと疲労が減少する傾向にあった。目の疲労感は夕方ほど強くなったが、目の調整能力^{注5)}に変化は見られなかった。小さく、コントラストが弱い試験用紙ほど、探索スピード^{注6)}は遅くなったが、全種類の試験で正答率は概ね 9 割以上であった（図 3）。
- ・ 中高齢者は、全時間帯において、小さく、コントラストが弱い試験用紙ほど探索スピードは遅く、試験の種類によって正答率に差が見られた。8 割以上の正答率を得た試験の種類が最も多かった条件は、サーカディアンリズム等を考慮した色温度変化に近い条件 A（表 1）であった（図 4）。

以上の結果から、サーカディアンリズム等を考慮した色温度変化条件において、若齢者の朝の疲労軽減と中高齢者の一日をとおした視認性の高さがうかがえた。

注1) 石井ら. 日中の照度変動が作業効率と視覚疲労に与える影響. 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2013.

注2) 概日リズムのことで、昼夜の環境変化に適応するために発達した機構。光によって日々の体内時計リズムを整えることが生理機能の適切な調節につながる。

注3) 上田. 製造者から見た照明制御の現状と展望. 電気設備学会誌, Vol.38(1), 2018., S.Walerczyk, Human centric lighting, Architectural SSL pp.20 - 26, 2012

注4) 光の点滅周波数を変化させた時に、点滅を知覚する周波数閾値のこと。疲労により閾値は低下することから精神性疲労の評価指標に用いられる。

注5) 焦点調節応答距離の測定から、目の調整能力の疲労状態を測定した。
注6) 20秒間でランドルト環の向きを確認できた数を探索数と定義し、探索数が少ないほど探索スピードが遅いと判断した。

表 1 被験者実験の概要

条件・測定項目			時間帯・所要時間 (min)			【朝 10:00-12:00】			【休憩1】	【昼 13:00-15:00】			【休憩2】	【夕 16:00-18:00】		
			30	60	30	50	30	60	30	50	30	60	30			
条件	条件A	サーカディアンリズムや朝の覚醒を考慮した色温度変化に類似した条件	12000K			12000K	5000K			5000K	3000K					
	条件B	上記と逆に変化する条件	3000K			3000K	5000K			5000K	12000K					
	条件C	一定条件	5000K			5000K	5000K			5000K	5000K					
測定項目	生理量	耳内温、唾液アミラーゼ活性値 フリッカー値(精神性疲労) 焦点調節応答距離(目の調整能力の疲労)	【測定】 作業前	【作業】 Excel作業 (3種類)	【測定】 作業後	【休憩】 昼食	【測定】 作業前	【作業】 Excel作業 (3種類)	【測定】 作業後	【休憩】	【測定】 作業前	【作業】 Excel作業 (3種類)	【測定】 作業後			
	心理量	疲労感、ねむけ感、まぶしさ感 自覚症しらべ等														
	視認性 作業効率	視認性評価(探索数と正答率)														

- 実験期間: 2017年10月～11月
- 照度: アンビエント照明とタスク照明を合わせて650 lx一定になるように設定
- 色温度の目安: 「12000K = 晴天の青空」、「5000K = 正午の太陽光(昼白色)」、「3000K = 夕方～日没(電球色)」(色温度は分光放射照度計により机上面で測定)
- 被験者概要に関するアンケート、朝型夜型調査に関するアンケート、体調管理アンケート(毎回実験開始前)についても回答を得た。



図 1 被験者実験の様子

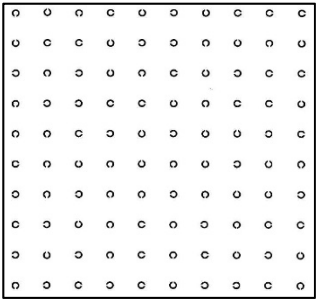
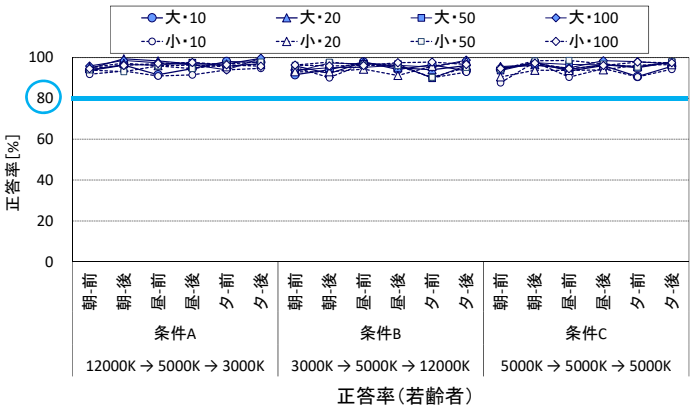


図 2 視認性試験用紙の一例 (測定方法と評価方法)

【測定方法と評価方法】

- ・ 被験者は実験者が指示した向きのランドルト環を上列の左から右に探索し、対象をチェックする。
- ・ 20秒間の探索数と探索範囲内の正答率を求める。

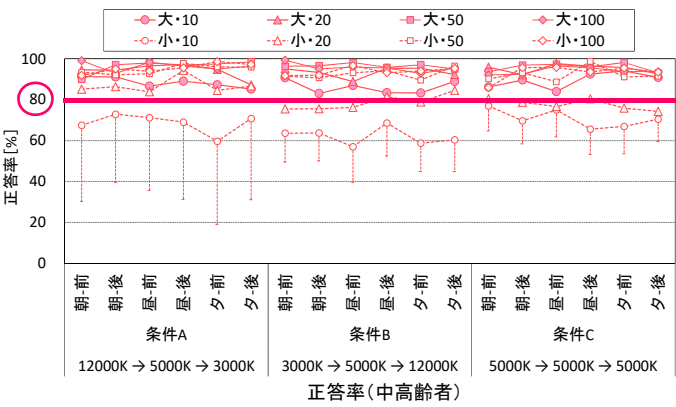


- 全条件、全時間帯において、概ね 9 割以上の正答率
- 全条件、全時間帯において、指標間に有意差なし

【凡例の説明】

例) 「大・10」 = 大きさ「大」・コントラスト「10%」

図 3 視認性評価の正答率 (若齢者)



- 8 割以上の正答率が得られた試験の種類は、条件 A が最も多い
- 全条件において、概ね全ての時間帯で「小・10」は「小・20」以外の試験と有意差あり (Tukey の HSD 法による多重比較検定: $P < 0.05$, $P < 0.01$)

図 4 視認性評価の正答率 (中高齢者)

関連報告書:

- [1] R15002 「オフィスを対象とした執務者の便益評価手法の検討 (その 1) 温熱環境が疲労時の作業効率に及ぼす影響」 (2016.05)
- [2] C16010 「オフィスを対象とした執務者の便益評価手法の検討 (その 2) 異なる温度条件下の生理心理量と作業効率の関係」 (2017.07)

目 次

1. はじめに.....	1
2. 実験概要.....	3
2.1 被験者概要.....	3
2.2 被験者着衣.....	3
2.3 実験日時.....	3
2.4 実験場所.....	3
2.5 実験条件.....	4
2.6 測定項目および測定方法.....	5
2.7 実験スケジュール.....	7
2.8 解析方法.....	8
3. 結果.....	9
3.1 生理量.....	9
3.2 心理量.....	10
3.3 視認性評価.....	12
4. 考察.....	14
5. おわりに.....	14
謝辞.....	14
参考文献.....	15

1. はじめに

本研究のねらい

疲労による経済損失は年間 1.2 兆円と試算されており、疲労は大きな社会問題となっている[1]。慢性疲労に悩む人の半数は、「疲労のために以前に比べて作業能力が低下し、十分に活動できていない」と感じており[1]、疲労の軽減、解消は喫緊の課題であると言える。

一方で、既往研究において、様々な物理環境要素やそれらの複合環境が人体に影響を与えることが示されており、健康や快適性、知的生産性といった視点から、在室者の環境のあり方が検討されている[2] [3] [4]。オフィス環境においては、実オフィスに対するアンケート調査から、節電環境下における照明の間引きが、業務効率や生産効率に悪影響を与えたと報告されている[5]。光環境は疲労や作業効率の重要な影響因子であり、適切な光環境の調整は、疲労軽減や作業効率向上といった執務者の便益向上につながり、生活の質の向上に寄与すると考えられる。そこで著者らは、疲労軽減につながるオフィスの光環境を実現するため、疲労を尺度としたオフィスの光環境評価手法の構築を目指すこととした。

本研究に関する既往研究

疲労の評価方法として、山口ら、水野らは唾液アミラーゼ活性と精神的ストレスの相関を[6] [7]、山田らは疲労に関する訴え、視覚探索課題の探索時間、心拍数から、疲労を評価可能であると報告している[8]。

疲労時の作業効率として、Mizuno らは、疲労負荷によって作業の反応速度と正確性に対する注意配分力が低下し、作業能率が低下することを明らかにしている。[9]。また安岡らは、パソコンを用いた認知機能の測定により、温熱環境と睡眠不足時の疲労および作業効率の関係を評価可能であることを示している[10] [11]。

光環境と疲労の関係を検証した既往研究として、滝野らは、照度 0lx と 800lx において、安静時および VDT 作業時の唾液アミラーゼを検討し、照明の有無が VDT 作業時のストレスや疲労に影響を与えるとしている[12]。

一方で、望月らはオフィスにおける VDT 作業時の分光分布が視覚疲労に与える影響を検討しており、蛍光灯と LED を対象に、作業後のフリッカー値、焦点調節応答時間、疲労に関する自覚症状申告を検証した結果、いずれにおいても光源の種類や設定照度による違いは示されなかったとしている[13]。

石井らは、日中のオフィス執務空間において、午前より午後の照度・色温度を低く設定することで、執務者の作業効率の低下が緩和され、視覚疲労も軽減できるとしている。一方で、昼休み中に急激に照度・色温度を変化させたため、一日を通したオフィス照明環境としては不快に感じる被験者もいたことも報告している[14]。この結果を受け、石井らは、執務空間の照度を連続的に低下させることで、作業効率・視覚疲労にどのような影響を与えるかを検討している。その結果、VDT 低輝度条件で照度を低下させることで英単語入力の作業効率が向上したが、視覚疲労は VDT 高輝度条件よりも増加したこと、VDT 高輝度で、午後から照度を下げた条件が最も視覚疲労が軽減され、数字検索と英単語入力の作業効率も向上したことを明らかにしている。照度が常時一定の環境より、時間と共に照度を低下させた方が、作業効率の低下を緩和することができ、オフィス照明環境の許容度も向上することを報告している[15]。

一方で、割田らは、単純作業は作業に集中するため、光環境の影響を受けにくい、知識創造作業は、作業内容によって異なる影響を受けることを明らかにしている。また、光環境を好みの雰囲気にすることが疲労軽減に有効であるが、光環境への満足度の高い空間が必ずしも作業効率を向上させる空間ではない可能性も示している。さらに、

作業効率が向上する照度・色温度の組み合わせは作業内容によって異なる傾向にあると報告しており、作業内容、満足度、疲労度を考慮した照明設定の必要性を説いている[16]。

また光源が視認性と作業効率に及ぼす影響を検証した既往研究として、明石らは、異なる大きさのランドルト環を印字した視認性評価用紙を用いて、複数の照度、色温度条件下において、指示されたランドルト環の向きを読み取る速度と正確性について、若齢者と高齢者で検証している。その結果、両年代において、照度とランドルト環の大きさが作業効率に影響することを示している[17]。

実空間での検証事例として、オフィス照明の色温度を4000Kと17000Kにした場合の執務者の覚醒、気分、パフォーマンス等を、アンケートで回答を得たところ、17000Kの高温照明の方が、昼間の眠気が有意に減少する結果が報告されている[18]。また、フィリップスのSchool Vision programでは、朝の30分間に12000Kに設定することで覚醒を促し、日中の活動期に5000～6500K、休憩後は2,700Kとすることで、成績が向上したことが示されている[19]。執務者の健康を考慮し、人のサーカディアンリズムに配慮した調光調色の照明制御を導入する事例も増加しており[20]、安河内らは、照度色温度可変照明制御が及ぼすパフォーマンスやサーカディアンリズムへの影響の研究から、適切な色温度と照度を制御することで生産性と健全なサーカディアンリズムの維持は可能であることを報告している[21]。

本研究の実施内容

照度や色温度と疲労、特に視覚疲労の関係が明らかになりつつあり、滞在する時間帯や、照度と色温度の組み合わせの考慮や、作業内容や執務者の好みに合わせることの必要性などが示されている。また実オフィスでは照度や色温度を変化させることで、覚醒や成績向上の実現、サーカディアンリズムの配慮を目指した照明制御が行われて

おり、色温度、照明制御と生産性の維持が示されている。しかし、オフィスでは同一空間において、多様な年代の多数の執務者が異なる作業を行っているが、加齢に伴う視覚系の能力の低下は、他の身体機能に比べて著しいことが知られており[22]、年代に合わせて環境を構築することは必要不可欠である。また加齢に伴い、コントラスト感度は低下することから[23]、視認性に着目した疲労の評価も重要であると考えられる。

そこで本研究では、以下の測定項目、条件を用いて、疲労を尺度とした光環境評価手法の構築を目指した実験手法を考案し、サーカディアンリズムや朝の覚醒の促進を考慮した色温度変化が疲労軽減や視認性、作業効率の関与に及ぼす影響を検証することとした。

1) サーカディアンリズムや朝の覚醒を考慮した色温度変化

サーカディアンリズムや朝の覚醒は、良質な睡眠につながり、疲労軽減にも寄与すると考えられる。本実験では、サーカディアンリズム等を考慮した色温度変化が、視認性も含めた一日の疲労軽減や作業効率に及ぼす影響を検証する。

2) 視認性の評価

視認性は、既往研究の視認性評価用紙を用いて評価することとした[19]。加齢に伴うコントラストの感度の影響も検証するため、ランドルト環の大きさに加え、コントラストの違いも条件に設定することで、異なる色温度条件下における疲労や視認性等の関係について、年代で比較することとした。

3) タスク照明による光環境制御

現在、導入が増えつつあるサーカディアンリズムを考慮した照明制御は、アンビエント照明を用いた事例が多いが、アンビエント照明の変化は影響が集団的である。また制御システムは大掛かりであると言える。そこで、簡易に執務者の疲労軽減につながる光環境を構築するため、タスク照明による光環境制御に着目した。

4) 疲労を把握するための生理心理量測定

異なる種類の疲労や疲労の要因を把握するため、生理心理量の測定も行った。

なお本研究では色温度の影響を明確に把握するため、照度を一定とし、色温度のみの変化とした。

以下、2章に実験概要を、3章に測定結果、4章に考察、5章にまとめを示す。

2. 実験概要

本実験は、東海大学内の倫理審査と承認を受けた。また被験者に対しては、実験内容を文章および口頭で説明し、事前に承認を得て実施した。実験前日は飲酒を控え、十分な睡眠を取るよう指示した。実験開始時にアンケート用紙による体調等の申告および日常生活に関するアンケートの回答を得た。また、被験者には正当な報酬を支払うこととした。

2.1 被験者概要

被験者は健康な日本人の青年男女 28 名とし、20～30 代の若齢者 16 名（男性 11 名、女性 5 名）と、40～60 代で老眼の症状があると申告があった中高齢者 12 名（男性 4 名、女性 8 名）に分類した。申告から、実験中の裸眼もしくは矯正視力は、全被験者において両眼で 0.7 以上であった。

被験者の普段の活動時間帯が、日中の眠気や作業効率に影響する可能性があることから、朝型夜型調査を行った。朝型夜型調査は、体調のよい時間帯や疲れを感じる時間帯、起床後の目覚め具合等に関する 19 個の質問項目からなる。回答結果を点数化することで、「明らかな夜型」、「ほぼ夜型」、「中間型」、「ほぼ朝型」、「明らかな朝型」の 5 つに分類する[24]。調査の結果、若齢者、中高齢者ともに「中間型」が最も多いが、中高齢者は「朝型」側の被験者も多く見られた。被験者属性は、表 1 に示す。

2.2 被験者着衣

被験者自身の着衣と靴を着用して行うこととし、色温度への評価の影響を防ぐため、華美な色の着衣は避けるように事前に依頼した。

2.3 実験日時

実験は 2017 年 10 月 3 日から 11 月 24 日に実施し、10 時から 18 時頃の時間帯に統一した。

2.4 実験場所

実験は電力中央研究所狛江地区 3 棟 4 階（東京都狛江市）に位置する実験室（D:7.5m×W:7.5m×H:3.0m）を用いた（以下、実験室）。実験室および実験室の平面図を図 1～図 3 に示す。各ブースに被験者用の机、椅子および実験で用いるノート PC を設置した。南面窓は黒の遮光カーテンで日射を遮った。被験者は各日最大 4 名までとし、実験作業中は、実験者が被験者の作業を妨げないように、実験室内で待機、測定作業を行った。

表 1 被験者概要

	Sub	性別	年齢	視力矯正	朝型夜型
若 齢 者	1	女性	22	コンタクト	中間型
	2	女性	21	コンタクト	中間型
	3	男性	21	コンタクト	中間型
	4	男性	23	コンタクト	—
	5	男性	22	裸眼	—
	6	女性	22	裸眼	中間型
	7	男性	21	裸眼	中間型
	8	男性	20	裸眼	夜型
	9	男性	19	眼鏡	夜型
	10	女性	21	コンタクト	中間型
	11	女性	21	コンタクト	中間型
	12	男性	20	眼鏡	中間型
	13	男性	32	眼鏡	中間型
	14	男性	30	眼鏡	中間型
	15	男性	22	裸眼	—
	16	男性	22	裸眼	中間型
中 高 齢 者	21	女性	55	眼鏡	中間型
	22	女性	60	眼鏡	中間型
	23	女性	59	裸眼	朝型
	24	男性	63	眼鏡	明らかな朝型
	25	女性	52	眼鏡	朝型
	26	男性	66	眼鏡	明らかな朝型
	27	女性	48	裸眼	中間型
	28	女性	54	眼鏡	中間型
	29	男性	65	眼鏡	朝型
	30	女性	55	眼鏡	中間型
	31	女性	52	眼鏡	中間型
	32	男性	63	裸眼	中間型
平均年齢 (SD)	若 齢 者		22.4(3.5)		
	中 高 齢 者		57.7(5.8)		
視力矯正 合計(人)	若 齢 者		中 高 齢 者		
	裸眼		6	3	
	眼鏡		4	9	
	コンタクトレンズ		6	0	
朝型夜型 調査	明らかな朝型		0	2	
	朝型		0	3	
	中間型		11	7	
	夜型		2	0	
	明らかな夜型		0	0	



図 1 実験室内の様子

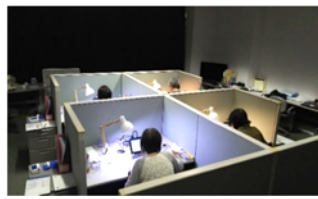


図 2 実験風景



図 4 12000K・650lx



図 5 5000K・650lx

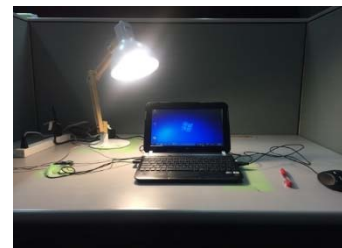


図 6 3000K・650lx

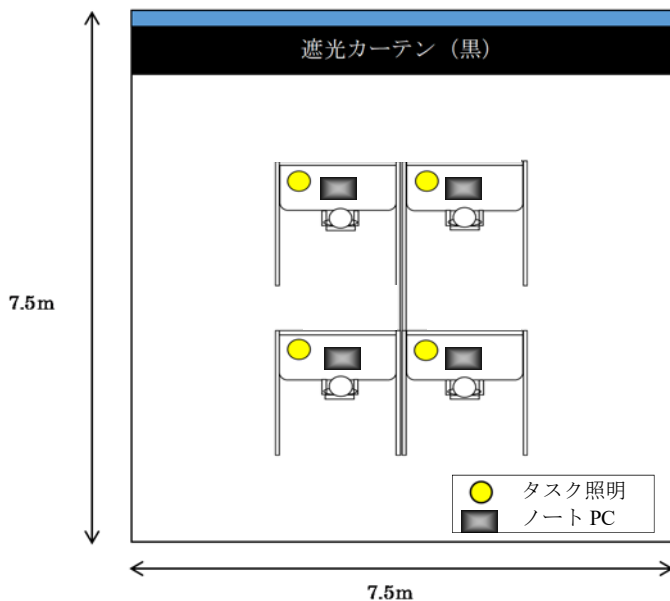


図 3 実験室の平面図

2.5 実験条件

光環境は、作業を行う机上面の色温度、照度を条件とした。照度条件は JIS 照明基準[25]の屋内作業 500lx（普通の視作業）～750lx（やや緻密な視作業）を参考に 650lx 一定とした。照度の内訳は、アンビエント照明を 300lx 程度になるように間引き等で調整し、タスク照明（350lx）と合わせて、作業面が 650lx になるように設定した。

日中の高輝度照明による覚醒に関する報告[18]と、時間帯に合わせた色温度変化による覚醒と成績向上に関する報告[19]を参考に、本実験では 12000K を上限の値とし、以下の 3 条件を設定した。各色温度は図 4～図 6 に示すとおりである。各色温度への曝露時間の詳細は 2.7 節に示す。

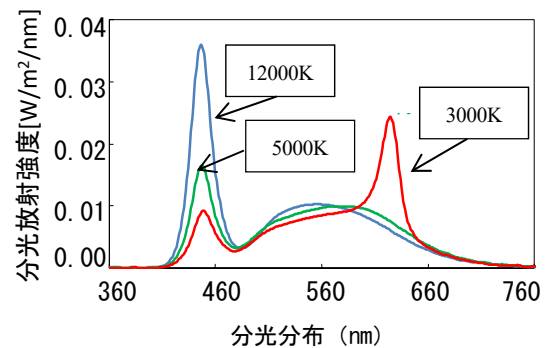


図 7 各色温度の分光波形

- 条件 A：朝 12000K → 昼 5000K → 夜 3000K
- 条件 B：朝 3000K → 昼 5000K → 夜 12000K
- 条件 C：朝 5000K → 昼 5000K → 夜 5000K

なお、各条件で使用した 12000K、5000K、3000K の分光波形を図 7 に示す。本実験に用いた LED は、3000K において 625nm にもう一つのピークを持つという特徴があった。本実験は、各被験者ブース内のタスク照明を変更することで条件設定を行う。そのため、ブースによる遮蔽によって、

他の色温度条件に曝露される時間は小さいと判断し、同日の各被験者の条件は、同一としなかった。

各色温度条件は、市販のタスクライトに取り付けた P 社製の色温度、照度可変型の LED 照明（RGB 発光源搭載のフルカラーLED／電球型）を、パソコンによる遠隔操作することで構築した。

各被験者は 3 条件全てに参加することとし、条件の提示はランダムとした。また、温熱環境は家庭用エアコンを用いて、被験者が暑くも寒くもない温熱環境になるように調整した。

2.6 測定項目および測定方法

2.6.1 物理環境

実験中の温度および相対湿度、照度は、T&D 社製のおんどとり TR-74Ui（測定精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 5\%\text{RH}$ ）を用い、温湿度は被験者近傍のブース壁周辺、照度は机上面で測定した。また、照度および分光分布は、コニカミノルタ社製の分光放射照度計 CL-500A を用いた。

2.6.2 生理量

1) 体内温

体内温として簡便な耳内温を採用した。測定には、オムロンヘルスケア株式会社製の「MC-510」（測定精度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ）を使用し、測定対象時間帯に測定し、結果を読み取り記録した。

2) 唾液アミラーゼ

ストレス推定の指標として用いられる唾液アミラーゼの測定を行った。測定は、ニプロ株式会社製の唾液アミラーゼモニター「DM-3.1」と唾液アミラーゼモニターチップを用いた。測定対象時間帯に測定し、結果を読み取り記録した。各測定時に 2 回ずつ測定し、平均値を解析に用いた。

3) フリッカー値

精神性疲労の測定に、柴田科学社製のデジタルフリッカー測定器 DF-1 型を用いた。光を高速で

点滅させると、人は光のちらつきを判別できないが、徐々に点滅周波数を低下させると、ちらつきを判別可能になる。この判別可能な臨界融合周波数をフリッカー値と呼ぶ。フリッカー値計測は疲労に伴う大脳皮質を含む中枢神経系の興奮性あるいは緊張度や覚醒度の変動に伴って変化するちらつき知覚閾値を計測していると考えられており、精神性疲労の評価指標として用いられている[26]。被験者は測定機内の評価点の点滅を認識したタイミングでスイッチを押し、押された時点の周波数を測定した。値が小さいほど疲労が大きいことを示す。各測定に 3 回ずつ測定し、平均値を用いた。

4) 焦点調節応答距離

目の調節能力の疲労を評価するため、KOWA NP 社製のアコモドメータを用いて連続近点距離を測定し焦点調節応答距離を求めた。実験では現出近点距離（50mm の距離から遠方に移動する視標が、はっきり見えた時に応答スイッチを押す）と消失近点距離（400mm の距離から近方に移動する指標が、はっきり見えなくなった時に応答スイッチを押す）を測定した。距離が長いほど目の調節能力が疲労状態であることを示す。両眼で各 10 回ずつ測定し平均値を用いた。

2.6.3 心理量

以下の項目について、対象時間帯に被験者に申告用紙を配布し申告を得た。13) ～ 15) の眠気に関する質問項目は、KSS (Kansei Gakuin Sleepiness Scale) [27]を参考とした。なお、1) ～ 15) は同一の申告用紙で配布した。

1) 部屋の明るさ感

「非常に明るい」、「明るい」、「やや明るい」、「どちらでもない」、「やや暗い」、「暗い」、「非常に暗い」の 7 段階とした。

2) 机上の明るさ感

「非常に明るい」、「明るい」、「やや明るい」、
「どちらでもない」、「やや暗い」、「暗い」、「非常に暗い」の7段階とした。

3) 画面の明るさ感

「非常に明るい」、「明るい」、「やや明るい」、
「どちらでもない」、「やや暗い」、「暗い」、「非常に暗い」の7段階とした。

4) 照明環境への満足感

「非常に満足している」、「満足している」、「やや満足している」、「どちらでもない」、「やや不満」、「不満」、「非常に不満」の7段階とした。

5) PC画面の見やすさ感

「非常に見やすい」、「見やすい」、「やや見やすい」、「どちらでもない」、「やや見にくい」、「見にくい」、「非常に見にくい」の7段階とした。

6) 目の乾燥感

「非常に乾いている」、「乾いている」、「やや乾いている」、「乾いていない」の4段階とした。

7) 部屋の温度感

「非常に寒い」、「やや寒い」、「涼しい」、「やや涼しい」、「どちらでもない」、「やや暖かい」、「暖かい」、「やや暑い」、「暑い」の9段階とした。

8) 部屋の快適感

「非常に快適」、「快適」、「やや快適」、「どちらでもない」、「やや不快」、「不快」、「非常に不快」の7段階とした。

9) 身体の疲労感

「非常に疲れている」、「疲れている」、「やや疲れている」、「疲れていない」の4段階とした。

10) 目の疲労感

「非常に疲れている」、「疲れている」、「やや疲れている」、「疲れていない」の4段階とした。

11) まぶしさ感

「非常にまぶしい」、「まぶしい」、「ややまぶしい」、「どちらでもない」、「あまりまぶしくない」、「まぶしくない」、「全くまぶしくない」の7段階とした。

12) 照明の色の快適感

「非常に快適」、「快適」、「やや快適」、「どちらでもない」、「やや不快」、「不快」、「非常に不快」の7段階とした。

13) ねむけ感

「非常に感じる」、「感じる」、「やや感じる」、「感じない」の4段階とした。

14) 視野の広さ感

「非常に広く感じる」、「広く感じる」、「やや広く感じる」、「どちらでもない」、「やや狭く感じる」、「狭く感じる」、「非常に狭く感じる」の7段階とした。

15) 思考の鈍化感

「非常に感じる」、「感じる」、「やや感じる」、「感じない」の4段階とした。

16) 自覚症しらべ

作業に伴う疲労の経時変動変化を把握するため、日本産業衛生学会の産業疲労研究会が作成した自覚症しらべ[28]を用いた。25個の項目について、「1:まったくあてはまらない」～「5:非常によくあてはまる」の5段階とした。申告結果は、以下の群に分類し平均値から評価した。

I 群 ねむけ感：ねむい、横になりたい、あくびがでる、やる気がとぼしい、全身がだるい

Ⅱ群 不安定感：不安な感じがする、ゆううつな気分だ、おちつかない気分だ、いらいらする、考えがまとまりにくい

Ⅲ群 不快感：頭がいたい、頭がおもい、気分がわるい、頭がぼんやりする、めまいがする

Ⅳ群 だるさ感：腕がだるい、腰がいたい、手や指がいたい、足がだるい、肩がこる

Ⅴ群 ぼやけ感：目がしょぼつく、目がつかれる、目がいたい、目がかわく、ものがぼやける

2.6.4 視認性評価

指示された向きのランドルト環を探索する課題を用いて、視認性を評価した[17]。ランドルト環は、大きさ 2 条件（大： $\phi=4\text{mm}$ 、小： $\phi=2\text{mm}$ ）、コントラスト 4 条件（10%、20%、50%、100%）の計 8 条件とし、各測定時に 8 条件（8 枚）について評価を行った。1 枚の試験用紙に記載されたランドルト環は 100 個（10 個 $\times$ 10 個）とした。被験者は実験者が指示した向きのランドルト環を上列の左から右に 20 秒間探索し、対象の指標にチェックを入れた。20 秒間で探索した数（以下、探索数）および探索した範囲に含まれる対象数とチェック数から正答率を求めた。試験用紙の一例と探索順およびチェック方法を図 8 に示す。

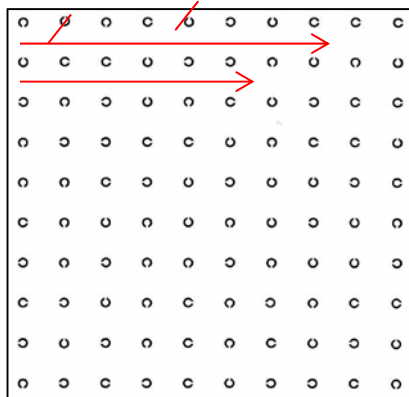


図 8 視認性試験用紙の一例
（探索順とチェック方法）

2.6.5 実験中の作業負荷

実験時、ノート PC を用いて、オフィスでの執務作業を模擬したエクセル作業を課した。作業内容は、以下に示す 3 つを実施した。

（1）抹消作業

ランダムに提示された図形に対し、指示された図形と異なる場合は「0」、一致する場合は「1」を入力する。作業時間は 10 分間とした。

（2）探索作業

画面上に表示した 5 文字の英語列と、被験者に配布した紙面上に印字された 5 文字の英語列を順次比較し、異なる文字のみ、PC 上の英数字に色を付ける。作業時間は 40 分間とした。

（3）思考作業

質問の正誤を、○か×にチェックすることで回答する作業である。作業時間は 10 分間とした。

2.7 実験スケジュール

実験スケジュールおよび測定項目を表 2 に示す。

被験者は実験室に入室後、体調管理アンケートの記入と活動量計の装着を行う。実験前の測定として、耳内温、唾液アミラーゼ活性、フリッカー値、焦点調節応答距離の測定と、主観申告アンケート、自覚症しらの申告を得た。測定後、3 種類のエクセル作業を計 60 分間行い、作業終了後に、実験開始時と同様の測定、申告を得た。上記の内容を、朝（10 時～12 時頃）、昼（13 時～15 時頃）、夕（16 時～18 時頃）の 3 時間帯で行うこととし、各時間帯の間に 50 分間の休憩を挟んだ。また昼食は、朝と昼の間の休憩時に実験者が用意した食事を取ることにした。休憩時、昼食時も極力、各ブース内の照明条件下で過ごすこととし、食事以外の水分摂取とお手洗いは、休憩時間中に済ますことにした。

表 2 実験スケジュール

条件・測定項目			時間帯・所要時間 (min)			【朝 10:00-12:00】			【休憩1】	【昼 13:00-15:00】			【休憩2】	【夕 16:00-18:00】		
			30	60	30	30	60	30	50	30	60	30	50	30	60	30
条件	条件A	サーカディアンリズムや朝の覚醒を考慮した色温度変化に類似した条件	12000K			12000K			12000K	5000K			5000K	3000K		
	条件B	上記と逆に変化する条件	3000K			3000K			3000K	5000K			5000K	12000K		
	条件C	一定条件	5000K			5000K			5000K	5000K			5000K	5000K		
測定項目	生理量	耳内温、唾液アミラーゼ活性値 フリッカー値(精神性疲労) 焦点調節応答距離(目の調整能力の疲労)														
	心理量	疲労感、ねむけ感、まぶしさ感 自覚症しらべ等	【測定】 作業前	【作業】 Excel作業 (3種類)	【測定】 作業後	【休憩】 昼食	【測定】 作業前	【作業】 Excel作業 (3種類)	【測定】 作業後	【休憩】	【測定】 作業前	【作業】 Excel作業 (3種類)	【測定】 作業後			
	視認性 作業効率	視認性評価(探索数と正答率)														

- 実験期間: 2017年10月～11月
- 照度: アンビエント照明とタスク照明を合わせて650 lx一定になるように設定
- 色温度の目安: 「12000K = 晴天の青空」、「5000K = 正午の太陽光(昼白色)」、「3000K = 夕方～日没(電球色)」(色温度は分光放射照度計により机上面で測定)
- 被験者概要に関するアンケート、朝型夜型調査に関するアンケート、体調管理アンケート(毎回実験開始前)についても回答を得た。

2.8 解析方法

本研究では、各条件における年代差の分析は、表計算ソフトウェア Excel を用いて t 検定を行った。その他の分析については、条件別にテューキーの HSD 法による多重比較検定を行った。この検定は任意の有意水準で HSD の値を求め、各要素の平均の差がそれを超えるようであれば、その要素対は互いに有意な差があるとする統計解析法である。有意水準は $P < 0.01$ を非常に有意、 $P < 0.05$ を有意とする。

3. 結果

3.1 生理量

3.1.1 耳内温

図 9 に耳内温の値を年代比較で示す。条件に関わらず中高齢者の方が耳内温は高かった。若齢者は朝に低く、夕方にかけて上昇する傾向にあり、条件 B の朝では、年代間で有意差が認められた ($P<0.01$)。朝型夜型アンケートにおいて、若齢者は中間型～夜型、中高齢者は朝型～中間型であり、中心となる活動時間帯の違いが、体温に影響した可能性が考えられ、色温度ではなく、時間帯の影響が大きかったと推察される。

3.1.2 唾液アミラーゼ活性値

図 10 に唾液アミラーゼ活性値の変化率を示す。実験前から実験後を引いた値である。条件に関わらず、若齢者より中高齢者の方が作業後の唾液アミラーゼ活性値は増加傾向にあり、条件 B の昼では年代間に有意差が認められた ($P<0.01$)。しかし色温度との明確な関連は見られなかった。

3.1.3 フリッカー値

フリッカー値は、3 回の測定値の平均を解析に用いることとした。なお、データの分布を正規分布に従うと仮定し、標準正規分布で平均値から標準偏差の 2 倍離れた値を、外れ値とみなした。作業に伴う精神疲労の状態を把握するため、図 11 に作業前後のフリッカー値の変化率を年代比較で示す。変化率 R は以下の式で求めた。

$$R = (\chi_b - \chi_a) / \chi_a \cdots \cdots \text{式 (1)}$$

χ_a : 作業前の値 χ_b : 作業後の値

フリッカー値は、測定値が小さいほど精神疲労が大きい状態であることを示す。本実験で求める変化率は、変化率が小さいほど、作業前から作業

後に掛けて疲労が大きくなったことを示している。

条件 A において、若齢者は朝 (12000K) に最も疲労が減少したが、時間帯の間に有意差は認められなかった。中高齢者は時間帯による違いは小さく、いずれも変化無し～減少側であった。また、各時間帯において、年代間に有意差は認められなかった。

条件 B において、若齢者では夕 (12000K) が最も作業による疲労が少なく、中高齢者は、夕 (12000K) よりも朝 (3000K) や昼 (5000K) の方が少ない傾向にあったが、時間帯による変化は小さく、年代間にも有意差は認められなかった。

条件 C は、年代に関わらず朝 (5000K) が最も疲労が増加する傾向にあったが、有意差は認められなかった。

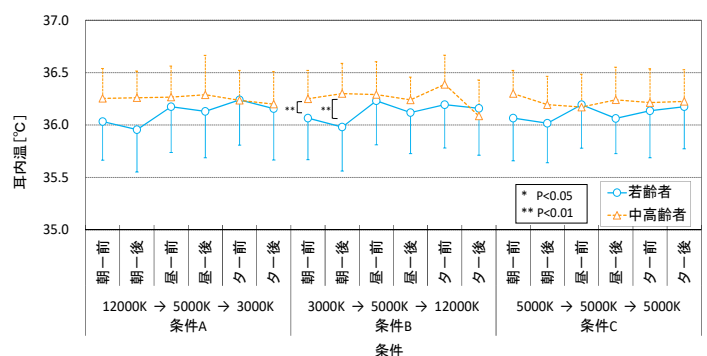


図 9 耳内温の年代比較

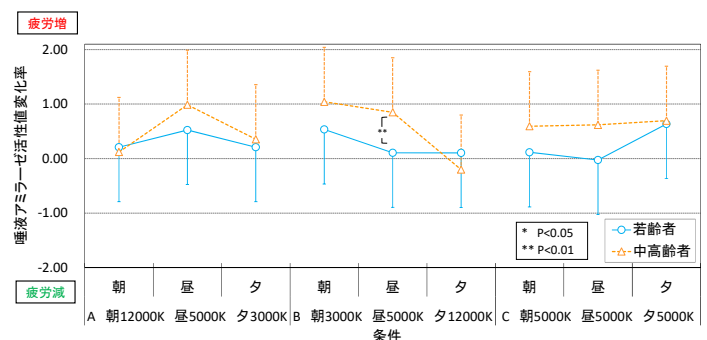


図 10 唾液アミラーゼ活性値の変化率の年代比較

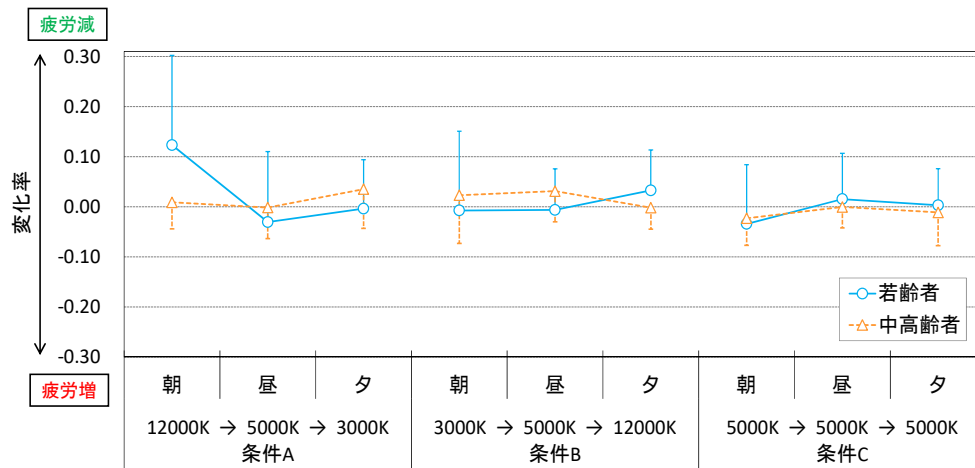


図 11 フリッカー値からみた作業による疲労変化の年代比較

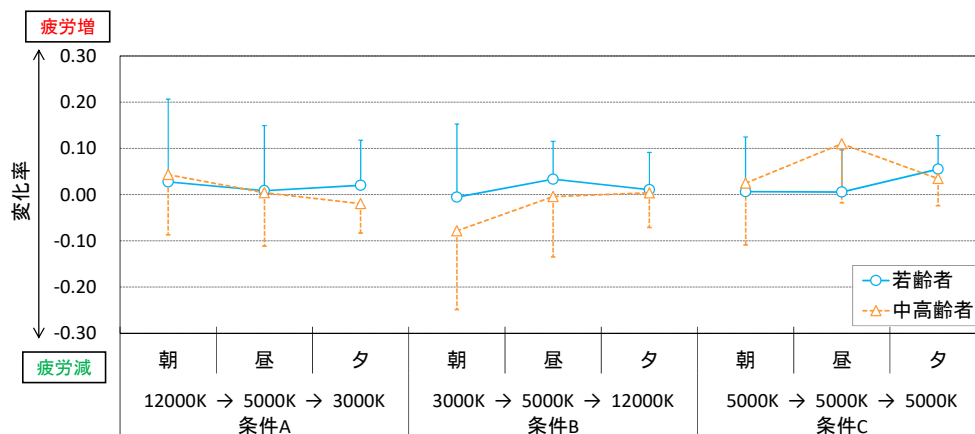


図 12 焦点調節応答距離からみた作業による疲労変化の年代比較

3.1.4 焦点調節応答距離

焦点調節応答距離は、10 回の測定値の平均を解析に用い、フリッカーと同様の方法で、現出近点距離と消失近点距離の外れ値をそれぞれ除去した。解析対象の現出近点距離と消失近点距離の平均値を用い、式 (1) から変化率 R を求めた。

作業に伴う目の焦点調節能力の疲労状態を把握するため、図 12 に作業前後の焦点調節応答距離の変化率を年代比較で示す。焦点調節応答距離は、測定値が大きいほど目の調節能力が疲労状態であることを示しており、変化率が大きいほど、作業に伴い、疲労が大きくなったことを示している。

若齢者において、色温度と疲労の関係は見られなかった。一方、有意差は認められなかったが、中高齢者は条件 A、条件 B とともに、12000K よりも 3000K の方が、作業による目の調節能力の疲労が小さい傾向にあった。

3.2 心理量

3.2.1 目の疲労感

図 13 に、主観申告による目の疲労感を年代比較で示す。値は全被験者の平均値である。疲労感の増加は、若齢者、中高齢者ともに、全条件において、朝（作業前）から夕（作業後）に掛けて見られた ($P<0.05$, $P<0.01$)。各時間帯の間に休憩を取ったが、目の疲労は前の時間帯の作業前のレベルまでは戻らず、目の疲労は蓄積される傾向にあった。また、年代に関わらず、朝は、条件 A (12000K)、条件 C (5000K) において、作業後に有意に疲労感が増加した ($P<0.05$, $P<0.01$) が、条件 B (3000K) では有意な増加は見られなかった。

3.2.2 まぶしさ感

図 14 に、各条件の主観申告によるまぶしさ感を同様に示す。中高齢者よりも若齢者の方がまぶしい側に評価する傾向にあり、条件 B の昼（作業前：5000K）では有意差が見られた（ $P<0.01$ ）。また年代、時間帯に関わらず、3000K より 12000K の方がまぶしい側に評価される傾向にあったが、作業前後のまぶしさ感の増加割合は、夕より朝の方が大きい傾向にあった。まぶしさ感には色温度の影響がうかがえたが、作業に伴うまぶしさ感の変化度は、時間帯の影響が考えられる。

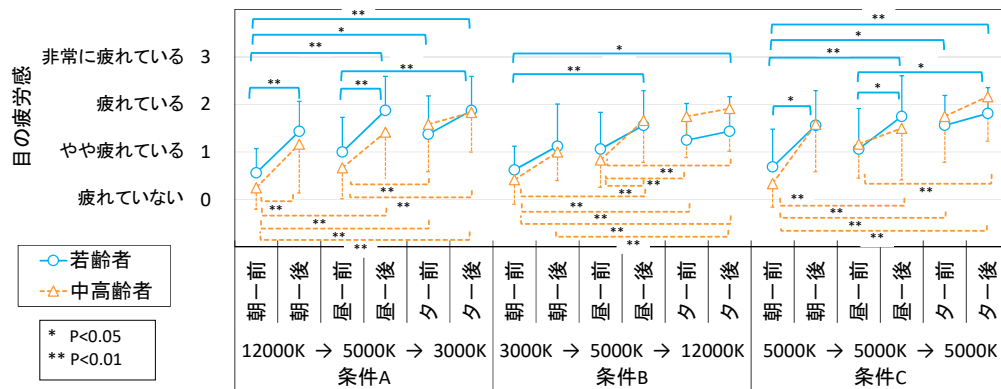


図 13 目の疲労感の年代比較

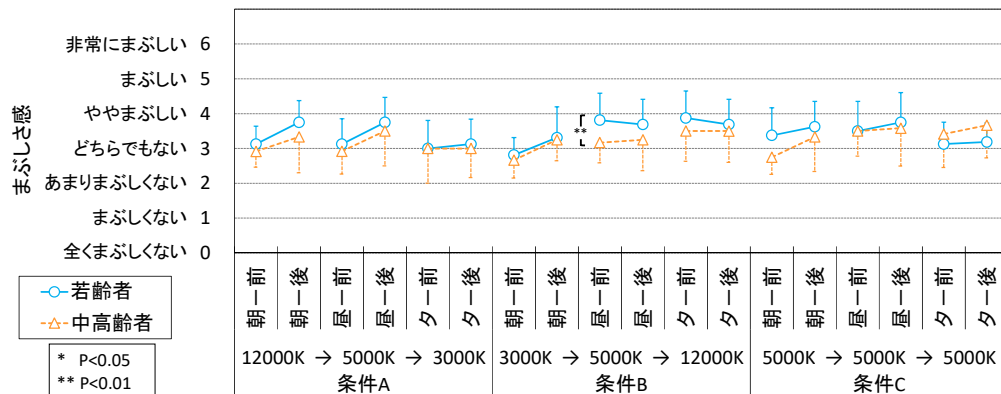


図 14 まぶしさ感の年代比較

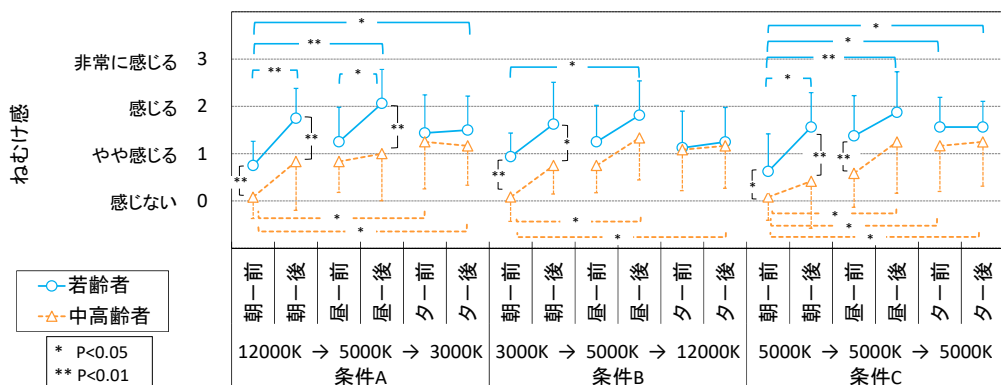


図 15 ねむけ感の年代比較

3.2.3 ねむけ感

図 15 に各条件の主観申告によるねむけ感を同様に示す。若齢者の方が眠気を感じており、朝は全条件で年代間に有意差が認められた（ $P<0.01$ ）。しかし色温度との関連は見られず、時間帯による影響が大きかったと考えられ、活動時間帯の年代差が影響したと推察される。一方、いずれの年代でも、全条件において、朝と昼は作業に伴い、ねむけ感が増加する傾向にあり、有意差が認められる時間帯もあったが、夕は増加が抑えられた。

3.2.4 自覚症しらべ

図 16 (1) ～ (5) に自覚症しらべの結果を群別 (2.6.3 項) に年代比較で示す。年代ごとの全被験者の平均を図に示した。

(1) I 群のねむけ感は、中高齢者に比べて若齢者の方が高い傾向にあり、条件や時間帯によって有意差が認められた ($P<0.05$, $P<0.01$)。

若齢者は条件 A と B において、朝 (作業前) から昼 (作業後) に掛けてねむけ感が有意に増加したが ($P<0.01$, $P<0.05$)、夕のねむけ感の増加は抑えられており、図 15 の主観申告のねむけ感と同様の傾向にあった。一方、中高齢者は朝 (作業前) から夕 (作業後) に掛けて緩やかにねむけ感が増加したが、有意差な増加は認められなかった。

(2) II 群の不安定感は、年代、時間帯、色温度の影響による特徴的な傾向は見られなかった。

(3) III 群の不快感について、朝 (作業前) と夕 (作業後) を比較すると、若齢者は条件 C で、中高齢者は条件 B で有意に増加した ($P<0.05$)。また条件 A では、若齢者において朝 (作業前) から昼 (作業後) に掛けて有意に増加した ($P<0.05$)。しかし各条件、各時間帯に年代差は認められなかった。

(4) IV 群のだるさ感では、条件 B の中高齢者において、朝 (作業前) から夕 (作業後) にかけて有意に増加したが ($P<0.05$)、年代の違いは得られなかった。

(5) V 群のぼやけ感では、若齢者は条件 A の朝 (作業前) から昼 (作業後) と夕 (作業後) に有意差が認められたが ($P<0.01$)、他の条件や時間帯に有意な変化は認められなかった。一方で、中高齢者は全ての条件において、朝 (作業前) から夕 (作業後) に掛けて有意にぼやけ感が増加した ($P<0.01$)。ぼやけ感は「目がしょぼつく、目がつかれる、目がいたい、目がかわく、ものがぼやける」から評価しており、若齢者に比べ中高齢者は目への疲労が大きかったと推察される。

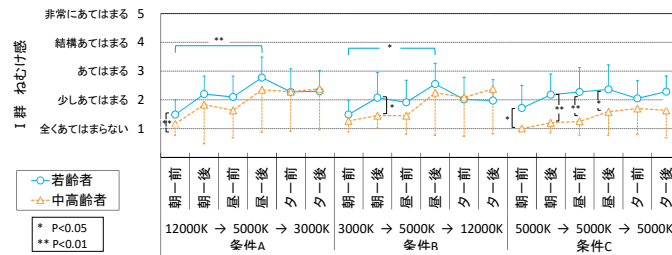
3.3 視認性評価

図 17 に若齢者の探索数を示す。条件、時間帯に関わらず、「小・10」の探索数は、他の指標に比べて最も少なく、「小・20」以外の指標との間で、概ね全ての時間帯において有意差が認められた。また大よりも小の方が、コントラストの違いによる探索数の差が大きい傾向にあった。しかし、条件、時間帯の間に有意差は認められず、色温度や時間帯と探索数に関連は見られなかった。

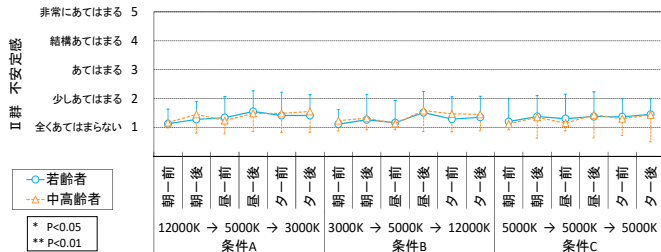
図 18 に若齢者の正答率を示す。条件、時間帯に関わらず、概ね全ての指標で 90%以上の正答率となり、指標間での有意差は認められなかった。探索数と同様に、色温度や時間帯と正答率に関連は見られなかった。

図 19 に中高齢者の探索数を示す。探索数は、若齢者に比べて 10～25 個程度少ない傾向にあった。条件、時間帯に関わらず、「小・10」の探索数は最も少なく、「小・20」以外の指標との間で、全ての時間帯において有意差が認められた。また若齢者に比べて指標間の差が大きくなった。一方で、「小・50」、「小・100」よりも「中・10」の方が探索数は少なく、小さい場合でも、コントラストが強い方が視認性は高い可能性がうかがえた。しかし条件、時間帯の間に有意差は認められず、色温度や時間帯と探索数に関連は見られなかった。

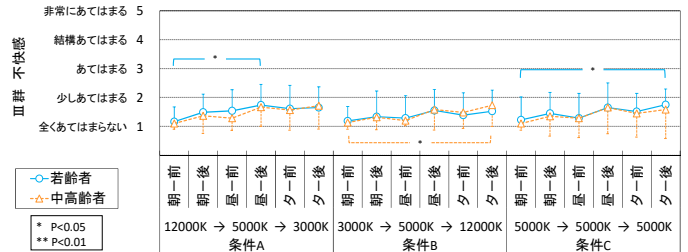
図 20 に中高齢者の正答率を示す。若齢者と異なり、正答率においても指標間の差が大きくなった。色温度や時間帯との明確な関連は認められなかったが、時間帯による変動も大きかった。条件 A は「小・10」以外の指標は 85%以上の正答率であり、「小・10」と他の指標は全時間帯において有意差が認められた。条件 B は指標間の差が他条件よりも大きく、「小・10」、「小・20」の正答率が条件 A より低くなった。条件 C は「小・10」と「小・20」以外の指標は 85%以上の正答率であり、「小・10」は「小・20」以外の全指標と、朝・前以外の時間帯で有意差が認められた。



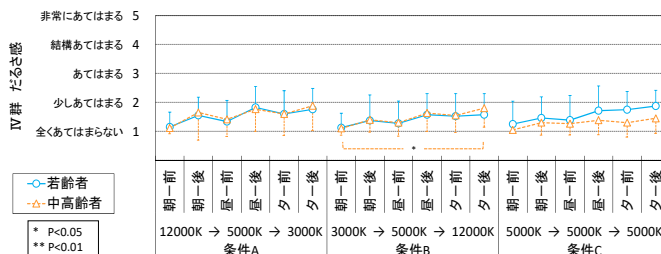
(1) I群 ねむけ感



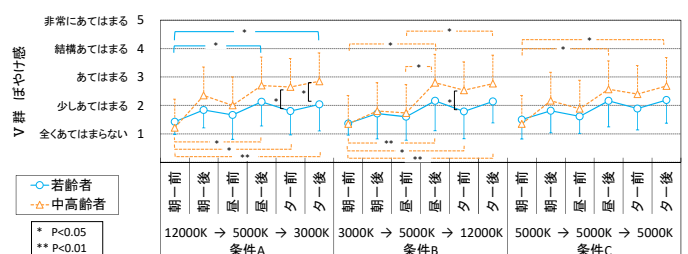
(2) II群 不安定感



(3) III群 不快感



(4) IV群 だるさ感



(5) V群 ぼやけ感

図 16 自覚症しらの年代比較

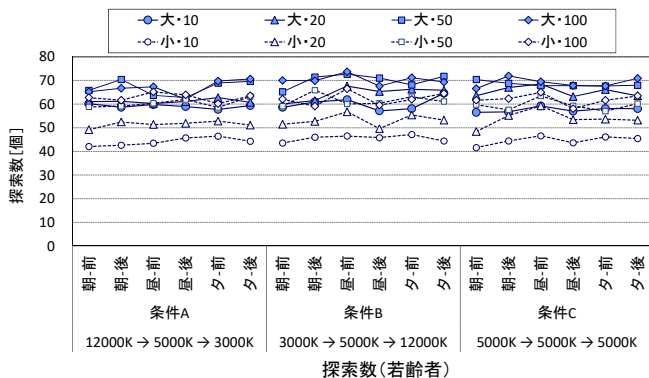


図 17 視認性評価の探索数(若齢者)

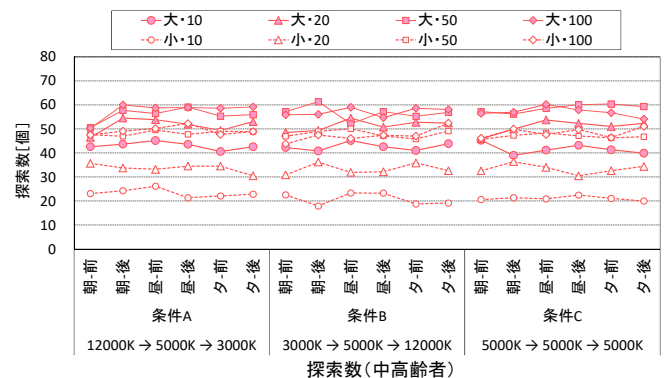


図 19 視認性評価の探索数(中高齢者)

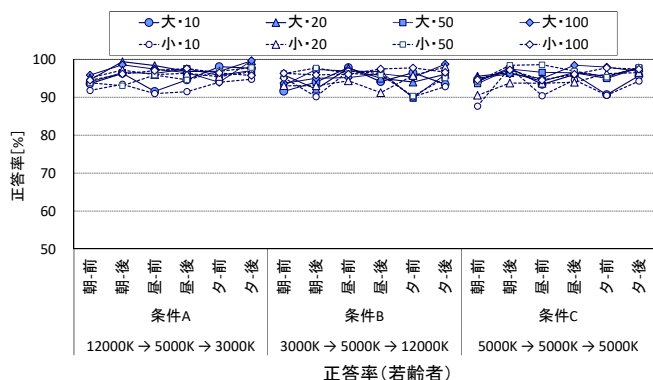


図 18 視認性評価の正答率(若齢者)

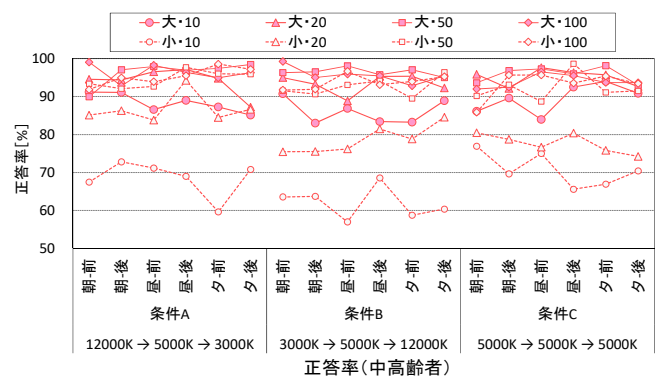


図 20 視認性評価の正答率(中高齢者)

【凡例】 例)「大・10」= 大きさ「大」・コントラスト「10%」

○ 全条件において、概ね全ての時間帯で「小・10」は「小・20」以外の指標と有意差あり (P<0.05, P<0.01)

4. 考察

既往研究において[18]、朝の覚醒を促す色温度変化は、成績向上につながるとの結果が示されている。本実験では、全条件において、朝から夕方にかけて眠気が生じる傾向にあり、朝の覚醒効果を確認することはできなかった。しかし、サーカディアンリズムに配慮し、朝の覚醒を促す色温度変化条件は、他条件に比べ、若齢者の朝の疲労軽減と中高齢者の一日をとおした高い視認性につながる可能性が示唆された。

一方、本実験では、目の疲労感と視認性の関係には年代差が見られ、ぼやけ感が強い中高齢者の方が、視認スピードや正確性は悪い傾向が見られた。加藤らは、視認能力の日変化を年代で比較した結果から、生理量への影響や視認能力の低下をもたらす疲労は、被験者が自覚する疲労と必ずしも一致しない可能性を示している[29]。疲労感に加え、視認性との関連が高い自覚症状を詳細に検証する必要があると考えられる。

本実験結果から、タスク照明によるサーカディアンリズム等に配慮した色温度変化が、若齢者の朝の疲労減少と中高齢者の一日をとおした視認性の向上につながる可能性がうかがえた。しかし、朝に 12000K 下で作業した際の、目の疲労感の申告は両年代において有意に増加しており、滞在時間や作業内容、照度との関連等が、今後の検討課題であると考えられる。

5. おわりに

色温度変化が疲労や視認性、作業効率に及ぼす影響を評価する実験手法を考案し、サーカディアンリズム等を考慮した色温度変化の疲労軽減効果を年代差で検証した。主な成果を、以下に示す。

1. 被験者実験の手法の考案

任意の照度と色温度を設定できるタスクライト型照明を構築し、異なる色温度において疲労や視

認性、作業効率を測定する被験者実験手法を考案した。

被験者は若齢者男女 16 名と中高齢者男女 12 名とし、3つの色温度条件を設定した。実験中はPC作業を行い、作業前後の生理心理量と疲労および視認性を、朝、昼、夕に測定した。視認性は指示された向きのランドルト環を、紙面上で探索する方法で測定することとし、大きさ（2条件／大： $\phi=4\text{mm}$ 、小： $\phi=2\text{mm}$ ）とコントラスト（4条件／10%、20%、50%、100%）が異なる8枚の試験用紙を用いた。

2. 色温度変化による疲労軽減効果の年代差

- ・ 若齢者は、フリッカー値の測定結果から、朝に色温度 12000K 下で作業を行うと疲労が減少する傾向にあった。目の疲労感は夕方ほど強くなったが、目の調整能力に変化は見られなかった。小さく、コントラストが弱い試験用紙ほど、探索スピードは遅くなったが、全種類の試験で正答率は概ね 9 割以上であった。
- ・ 中高齢者は、全時間帯において、小さく、コントラストが弱い試験用紙ほど探索スピードは遅く、試験の種類によって正答率に差が見られた。8 割以上の正答率を得た試験の種類が最も多かった条件は、サーカディアンリズム等を考慮した色温度変化に近い条件 A であった。

以上の結果から、サーカディアンリズム等を考慮した色温度変化条件において、若齢者の朝の疲労軽減と中高齢者の一日をとおした視認性の高さがうかがえた。

謝辞

実験の実施、データの取りまとめにご協力いただきました東海大学 工学部建築学科 浅井勇助様、及川真晃様、長岡佳宏様に深くお礼申し上げます。また、実験にご参加いただきました被験者の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 科学技術振興調査費成果報告書「疲労および疲労感の分子・神経メカニズムとその防御に関する研究」
- [2] 西原直枝、田辺新一. 温熱環境における知的生産性と疲労感. 第38回熱シンポジウム暑熱環境と人間・社会－温熱感研究の社会的貢献－, 2008.
- [3] 堀江悟郎. 室内環境要因の複合作用に関する研究（そのⅠ）. 日本建築学会近畿支部研究報告集（計画系）, 22号, pp.41-43, 1982.
- [4] 堀江悟郎. 室内環境要因の複合作用に関する研究（そのⅡ）. 日本建築学会近畿支部研究報告集（計画系）, 22号, pp.44-47, 1982.
- [5] 木村幸, 西尾健一郎. 東日本大震災後の事業所節電行動の継続状況-2011年夏と2012年夏のアンケート調査の比較-. 電力中央研究所報告 Y12023, 2013.
- [6] 山口昌樹, 金森貴裕, 金丸正史, 水野康文, 吉田博. 唾液アミラーゼ活性はストレス推定の指標になり得るか. 医用電子と生体工学. Vol. 39, No. 3, 2001.
- [7] 水野康文, 山口昌樹, 吉田博. 唾液アミラーゼ活性はストレス指標になり得るか. YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW, 技術論文, 2002.
- [8] 山田晋平, 三宅晋司. 精神疲労を評価する指標の探索. 人間工学, Vol. 48, No. 6, 2012.
- [9] Mizuno, K., Watanabe, Y. Fatigue Science for Human Health. Springer, New York. pp.47-54, 2008.
- [10] 安岡絢子, 岩松俊哉, 宮永俊之, 都築和代, 武田裕司. オフィスを対象とした執務者の便益評価手法の検討－（その1）温熱環境が疲労時の作業効率に及ぼす影響－. 電力中央研究所報告 R15002, 2016.
- [11] 安岡絢子, 岩松俊哉, 宮永俊之, 都築和代, 武田裕司. オフィスを対象とした執務者の便益評価手法の検討－（その2）異なる温度条件下の生理心理量と作業効率の関係－. 電力中央研究所報告 C16010, 2017.
- [12] 滝野天嶺. VDT作業後の疲労と机上面照度に関する研究. 知的システムデザイン研究室第140回月例発表会, 2012.
- [13] 望月悦子, 木村洋. VDT作業時の視覚疲労評価-分光分布が視覚疲労に与える影響-. 日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）. 2009.
- [14] 石井千恵子, 望月悦子. 照度・色温度の変化が視覚疲労・作業効率に与える影響. 第54回照明学会全国大会講演論文集, 講演No.8-22, 2012.
- [15] 石井千恵子, 望月悦子. 日中の照度変動が作業効率と視覚疲労に与える影響. 日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）, 2013.
- [16] 割田智裕, 伊香賀俊治, 張本和芳, 市原真希, 佐藤大樹, 多和田友美, 佐藤啓明. 照度・色温度が知的生産性に与える影響の検討（その2）作業効率及び満足度, 疲労度の結果. 日本建築学会学術講演梗概集（北陸）, 2010.
- [17] PR Boyce, Y Akashi, CM Hunter, JD Bullough. The impact of spectral power distribution on the performance of an achromatic visual task. Lighting Res. Technol. 35.2, pp.141-161, 2003.
- [18] A. U Viola, L.M Kames, L. JM Schlangen, D, J Dijk. Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality. Scand K Work Environ Health, 34(4), pp.297-306, 2008.
- [19] S. Walerczyk, Human centric lighting, Architectural SSL pp.20 - 26, 2012
- [20] 上田泰祐. 製造者から見た照明制御の現状と展望. 電気設備学会誌, Vol.38 (1), pp.16-19, 2018.
- [21] 安河内朗, N. Qiong, 戸田直宏, 野口公喜. 日中の照度色温度可変照明制御がパフォーマンス

ス及びサーカディアンリズムに及ぼす影響.
照明学会第 45 回全国大会, 2012.

- [22] 大島正光. 老化と生理機能. 医学のあゆみ, 97-9, pp.659-660, 1976.
- [23] 長嶋紀一. 加齢に伴う感覚・知覚の変化. 心理学評論, 27, pp.283-394, 1984.
- [24] 石原金由, 宮下彰夫, 犬上牧, 福田一彦, 山崎勝男, 宮田洋. 日本語版朝型-夜型 (Morningness-Eveningness) 質問紙による調査結果. 心理学研究. 57, pp.87-91, 1986.
- [25] JIS 照明基準 JIS Z 9110
- [26] 岩木直, 原田暢善. 日常的に利用可能な疲労計測システムの開発-フリッカー疲労検査を PC やスマートフォンを使って生活環境で実現-. Synthesiology, Vol.7, No.4, pp.220-227, 2014.
- [27] 石原金由, 齋藤敬, 宮田洋. 眠気の尺度とその実験的検討. The Japanese Journal of Psychology, Vol.52, No.6, pp.362-365, 1982.
- [28] 久保智英, 城憲秀, 武山英麿, 榎原毅, 井上辰樹, 高西敏正, 荒薦優子, 村崎元五, 井谷徹. 「自覚症しらべ」による連続夜勤時の疲労感の表出パターン of 検討. 産業衛生学雑誌, Vol. 50, No. 5, pp.133-144, 2008.
- [29] 加藤彩, 井上容子. 生活行為が視認性の日変化に及ぼす影響 高齢者と若齢者の比較. 日本家政学会第 58 回大会, Ga-13, 2006.

電力中央研究所報告

〔不許複製〕

編集・発行人 一般財団法人 電力中央研究所
エネルギーイノベーション創発センター所長
神奈川県横須賀市長坂2-6-1
e-mail enic-rr-ml@criepi.denken.or.jp

発行・著作・公開 一般財団法人 電力中央研究所
東京都千代田区大手町1-6-1

ISBN978-4-7983-1701-4

