

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4）照度と色温度の変化が
中高齢者の疲労と視認性に及ぼす影響－

研究報告：C18007

2019年5月

 電力中央研究所



CRIEPI

**Central Research Institute of
Electric Power Industry**

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4) 照度と色温度の変化が中高齢者の疲労と視認性に 及ぼす影響 -

安岡 絢子*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

照度
色温度
疲労
視認性

Key Words : Office

Illuminance
Color temperature
Fatigue
Visibility

Study on the method of benefit evaluation of the worker in the office environment - Part4 The effect of change in the illuminance and the color temperature on the fatigue and the visibility of the middle-aged and elderly person -

Ayako Yasuoka, Toshiyuki Miyanaga, Toshie Iwata and Yukio Akashi

Abstract

It is known that light environment affects human circadian rhythm. The purpose of this study is to identify the effect of the change in illuminance and color temperatures of task lighting on the subject's fatigue, visibility, and work efficiency. Nineteen middle-aged and elderly men and women participated as subjects. They were exposed to 3 different light environments (Condition A; illuminance and color temperatures were constant, Condition B; Only color temperatures were changed, Condition C; illuminance and color temperatures were changed). The subjects were divided into two groups according to the age. The subjects under the age of 60 were included in Group M (11 subjects with average age of 53.3) and the subjects aged 60 and over were included in Group E (8 subjects with average age of 67.5). During the experiment, subjects performed PC tasks, 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 following results are obtained.

The results of flicker tests showed that the increment of the degree of fatigue from the morning to the evening under the condition C was greater than that under the fixed condition. Also, there was an increase in eye fatigue and brightness sensation as well as a significant decline in visibility over time. In Group E, sensitivity towards brightness was observed regardless of the conditions and time. In the evening, the condition B caused greater fatigue in the focus adjustment function than the fixed conditions. There was a significant decline in visibility from morning to evening.

It was shown that the conditions in which visibility declined differed between different age groups. The changes in eye conditions due to aging should be taken into account. A further study is required to develop lighting systems changing illuminance and color temperature for reducing eye fatigue and increasing the visibility.

*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、オフィスを対象に、光環境と疲労や視認性の関係に着目した顧客便益評価手法の検討を行っている。昨今、良質な睡眠を促すサーカディアンリズム^{注1)}等を考慮し、照度と色温度を変化させる照明が導入されつつあるが^{注2)}、それらの変化が作業時の疲労や視認性に及ぼす影響の検討事例は見当たらない。そこで前報^[1]では、被験者実験により、色温度変化が中高齢者の視認性向上に寄与する可能性を示した。しかし、照度変化も加味した、疲労や視認性への影響は明らかとなっていない。

目 的

中高齢者を対象に被験者実験を行い、照度と色温度の変化が、疲労や視認性に及ぼす影響について年齢群ごとに評価する。

主な成果

中高齢男女 19 名（M 群：59 歳以下、E 群：60 歳以上に分類^{注3)}）を対象に、疲労と視認性を評価する被験者実験を行った（表 1）。PC 作業前後の、精神疲労（フリッカー値^{注4)}）、視覚疲労（目の調節能力^{注5)}）、自覚疲労（目の疲労感等の主観申告）を測定した。また、印字の濃さが異なる 4 枚の試験用紙を用い、指示された向きのランドルト環を探索する方法で、視認性を評価した。結果を以下に示す。

- 1) 両群の全ての条件で、朝から夕方に掛けて、目の疲労感が増加した（図 1）。
- 2) 朝の高照度・高色温度（C）は、両群の PC 作業後の朝の視認性を向上させた。しかし、M 群は照度・色温度低下条件（C）において、E 群は照度一定・色温度低下条件（B）において、朝から夕方に掛けて、視認性が有意に低下した（図 2）。
- 3) 夕方の PC 作業に伴う疲労に着目すると、M 群は、照度・色温度変化条件（C）における精神疲労が、E 群は照度一定・色温度変化条件（B）における視覚疲労が、照度・色温度一定条件（A）に比べて高まった。

以上より、疲労や視認性の低下につながる照度と色温度の変化条件は、年齢群によって異なることが示唆された。疲労軽減と視認性向上を両立するような光環境を構築するためには、水晶体の白濁や光量の調節能力の低下といった、加齢に伴う目の特性を考慮した評価を、引き続き行っていくことが重要である。

注1) 概日リズム。光により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。

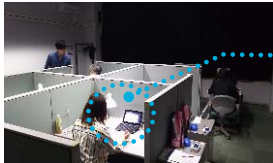
注2) 上田泰祐. 製造者から見た照明制御の現状と展望. 電気設備学会誌, Vol.38 (1), pp.16-19, 2018.

注3) 平均年齢は、M群（59歳以下 / 11名）が53.5歳、E群（60歳以上 / 8名）が67.5歳であった。

注4) 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。精神疲労の評価指標に用いた。

注5) 焦点調節応答距離の測定値から、目の調整能力の疲労状態を評価した

表 1 被験者実験の概要

時間帯・所要時間 (min)				【朝 10:00-12:00】			【休憩1】		【昼 13:00-15:00】			【休憩2】		【夕方 16:00-18:00】			
条件・測定項目				30	60	30	50	30	60	30	50	30	60	30			
条件	条件A	色温度[K]	一定	5000													
		照度[lx]		650													
	条件B	色温度[K]	変化	12000			3000		5000			3000					
		照度[lx]	一定	650													
	条件C	色温度[K]	変化	12000			3000		5000			3000					
		照度[lx]		800			400		650			400		500			
測定項目	疲労	生理量	精神疲労(フリッカー値) 視覚疲労(焦点調節応答距離)			【測定】	【作業】	【測定】	【休憩】	【測定】	【作業】	【測定】	【休憩】	【測定】	【作業】	【測定】	
		心理量	自覚疲労(目の疲労感等)			作業前	PC作業 (3種類)	作業後	昼食	作業前	PC作業 (3種類)	作業後		作業前	PC作業 (3種類)	作業後	
	視認性		探索数と正答率														
実験風景								視認性評価		【測定方法と評価方法】 - 指示した向きのランドルト環を探索 20秒間の探索数と探索範囲の正答率から視認性を評価							

●実験期間: 2018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各条件になるように設定

●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)

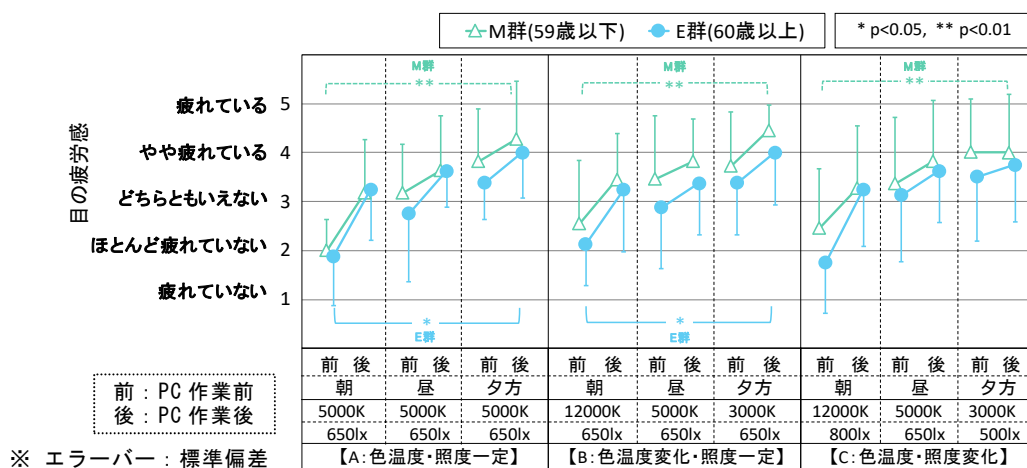


図 1 目の疲労感（自覚疲労）の経時変動

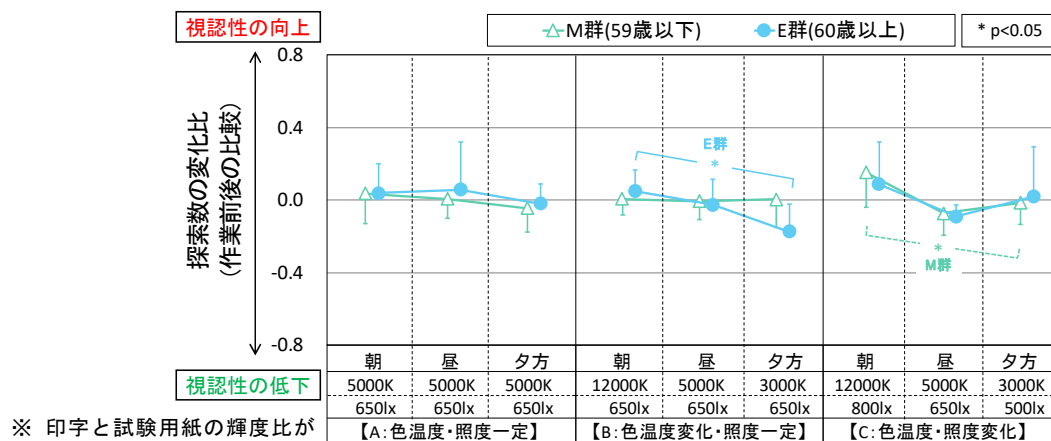


図 2 作業に伴う探索数（視認性）の変化比

関連報告書:

[1] C17012「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」（2018.06）

目 次

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

1. はじめに

既往研究において、物理環境要素やそれらの複合環境が人体に影響を及ぼす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、適切な室内環境のあり方や調整方法が検討されている[1] [2] [3]。特にオフィスの光環境に関して、安河内らは、適切に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が可能であることを報告しており[4]、実空間においても、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が増加している[5]。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、成績が向上した結果を示すなど[6]、色温度と照度変化と生産性等との関連を検証する研究が進められている。

このように光環境は、生産性等の重要な影響因子の一つであるといえ、適切な光環境の調整、変化は、作業効率向上といった執務者の便益向上につながると考えられる。しかし、サーカディアンリズム等を考慮した光環境変化が、疲労軽減とどのような関係にあるかを検証した例は見当たらない。疲労が社会問題となっていることから、著者らは、疲労軽減に寄与する光環境変化に着目し、疲労を尺度としたオフィスの光環境評価手法の検討を行うこととした[7]。

オフィス環境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[8]、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[9]、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。そこで前報[7]では、色温度変化環境における作業後の疲労や視認性を測定、

評価する被験者実験手法を考案し、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に及ぼす影響の年代差を検証した。その結果、照度一定条件の場合、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。また時間帯に関わらず、中高齢者は、12000K よりも 3000K の方が目の疲労が小さい傾向にあった。生産性とサーカディアンリズムには、色温度に加えて照度も影響すると報告されているが[4]、前報[7]では、照度と色温度のいずれの要因が疲労軽減や視認性に関連があるかを把握するため、色温度のみ変化条件とした。本報では、照度も条件として加え、生産性やサーカディアンリズムを考慮した照度や色温度変化が、疲労軽減と視認性の維持に寄与するかについて検証することとした。

なお、前報[7]に引き続き、タスクライトを用いた検証を行うことで、既存オフィスビルや新設オフィスにおいても、簡易で安価に疲労軽減に寄与する光環境を構築できるシステムの実現を目指す。また前報[7]において、若齢者は条件や時間帯に関わらず視認性が確保されていたことから、本報では中高齢者のみを対象として実験を実施する。特に、加齢の影響を把握するため、中高齢者をさらに年齢群で分類した検証とする。

今後、労働年齢の引き上げに伴い、加齢を考慮したオフィス環境の構築は必要不可欠であると予想され、簡易に個人や年齢特性に応じて調整できる光環境構築システムは、多様な年代が働くオフィスの生産性や疲労軽減に寄与できるといえる。

以下、2章に実験概要を、3章に実験結果、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と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った。

2.1 被験者概要

被験者は、健康な日本人男女 19 名（男性 6 名、女性 13 名）とし、老視の症状があると申告した中高齢者（平均年齢 59.4 歳）を対象とした。申告による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[10]。その結果、日中の眠気によって作業効率に影響する可能性が高い「明らかな夜型」の被験者はいなかったことから、19 名全員を本実験の対象被験者として解析を行った。被験者属性の詳細は表 1 に示す。

なお、現在、高年齢者の雇用については、高年齢者雇用安定法において、「定年を定める場合は、その定年年齢は 60 歳以上とする必要」が定められている。一方で、定年年齢を 65 歳未満に定めている事業主は、「65 歳までの定年の引き上げ」、「65 歳までの継続雇用制度の導入」、「定年の廃止」のいずれかの措置を実施する必要がある[11]。また国家公務員の定年も 60 歳から 65 歳以上に段階的に引き上げるように議論されており、今後、労働年齢は引き上げられるといえる。加齢に伴う身体変化等も加味した検証を行うため、本報では 19 名の被験者を 59 歳以下（以下、M 群）と 60 歳以上（以下、E 群）の 2 グループに分類した。

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、評価への影響を防ぐため、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 2018 年 10 月 11 日から 11 月 16 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

分類群	Sub	性別	現年齢	作業時の視力矯正	朝型夜型
M群 (59歳以下)	A	女性	49	眼鏡	中間型
	B	女性	49	裸眼	中間型
	C	女性	51	裸眼	ほぼ朝型
	D	女性	52	眼鏡	中間型
	E	女性	53	眼鏡	ほぼ朝型
	F	女性	53	眼鏡	中間型
	G	女性	53	眼鏡	中間型
	H	女性	56	眼鏡	中間型
	I	女性	56	眼鏡	中間型
	J	女性	58	裸眼	ほぼ朝型
	K	女性	58	眼鏡	ほぼ夜型
E群 (60歳以上)	L	女性	60	眼鏡	中間型
	M	女性	60	裸眼	中間型
	N	男性	64	裸眼	ほぼ朝型
	O	男性	65	眼鏡	ほぼ朝型
	P	男性	67	眼鏡	明らかな朝型
	Q	男性	72	眼鏡	中間型
	R	男性	73	眼鏡	ほぼ朝型
	S	男性	79	裸眼	中間型
分類			平均(SD)		
59歳以下			53.5(3.2)		
60歳以上			67.5(6.7)		
全体			59.4(8.6)		



図 1 実験室内の様子



図 2 実験風景

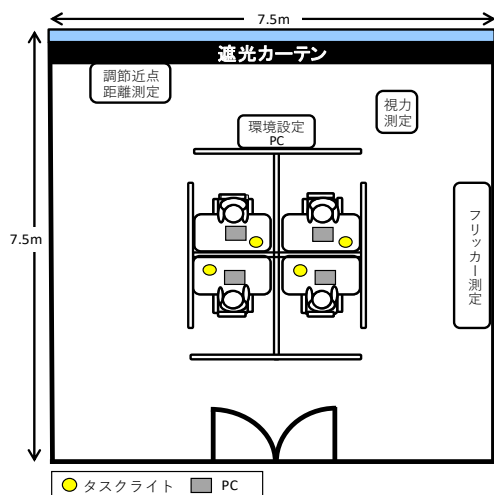


図 3 実験室の平面図

2.5 実験条件

作業を行う机上面の色温度、照度を実験条件とした。照度の内訳は、アンビエント照明が 300lx 程度になるように間引き等で調整し、タスク照明と合わせて、作業面照度が設定条件になるように構築した。各条件の色温度と照度の組合せと提示順を表 2 に示す。また、各組合せの分光放射強度と条件曝露時の様子を図 4 と図 5 に示す。曝露時間は 2.7 節に示す。条件 A は、色温度 5000K、照度 650lx 一定条件とした。条件 B は、前報[7]で、中高齢者の視認性が最も確保された、色温度を 12000K から 3000K に低下させる条件を基に、中高齢者の目の調節能力の疲労が小さい傾向にあった 3000K を休憩中に設定する条件とし、照度は 650lx 一定とした。条件 C は、条件 B の色温度変化に加え、照度も低下させることとし、休憩中は作業中よりも照度を低く設定した。なお 12000K は、日中の高輝度照明による覚醒に関する報告[12]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[6]を参考に、本実験の上限の値としている。また、照度条件は JIS 照明基準[13]の屋内作業 500lx（普通の視作業）～750lx（やや緻密な視作業）を参考に一定条件は 650lx を採用し、変化条件は 800lx から 500lx への低下および休憩中は 400lx とした。

表 2 光環境条件

	朝	休 1	昼	休 2	夕
A	5000K				
	650lx				
B	12000K	3000K	5000K	3000K	
	650lx				
C	12000K	3000K	5000K	3000K	
	800lx	400lx	650lx	400lx	500lx

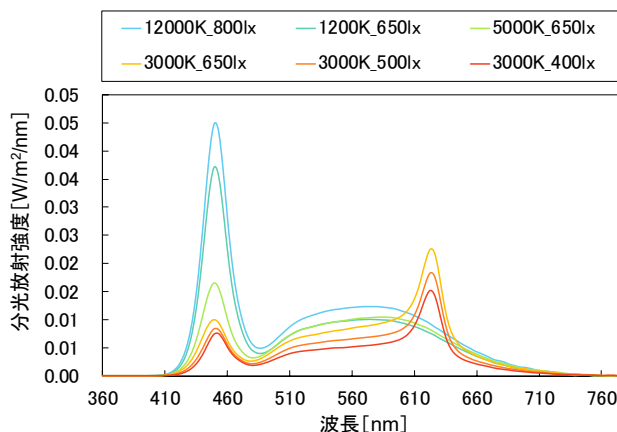


図 4 各色温度と照度の組合せパターンの分光波形



図 5 提示した照度と色温度の例

なお、本報はサーカディアンリズムを考慮した条件設定であることから、サーカディアンリズムの調整を担うホルモンであるメラトニンに着目した。メラトニンの分泌は夜間睡眠と同期し、眠気

の始まりや睡眠傾向と一致する[14]。夜間に掛けてメラトニンが多く分泌されることで、スムーズな入眠につながるとされている。メラトニンは、夜間に分泌されるホルモンだが、明るい場所では分泌が抑制されるという特徴を持ち [15]、日中の高照度光は、夜間のメラトニン分泌を促進し、夜間の睡眠の質を上げるとの報告もある[16]。そこで、各照度と色温度の組合せ 6 種類について、メラトニン抑制光束を算出し、各条件のサーカディアンリズムへの影響を検証することとした。

メラトニン抑制光束は光束の算出時に、視感度をメラトニン抑制分光感度に代えて算出することとし、以下の式で算出した。

$$\begin{aligned} & \text{メラトニン抑制光束 [lmM]} \\ & = k \int M(\lambda) I(\lambda) d\lambda \quad \cdots \cdots \text{式 (1)} \end{aligned}$$

k : 係数

$M(\lambda)$: メラトニン抑制分光感度[17]

$I(\lambda)$: 分光放射束 [W/nm]

上記で得られた 6 種類のメラトニン抑制光束を、各条件に当てはめて経時変動で図 6 に示す。高照度、高色温度ほどメラトニンを抑制する組み合わせであり、条件 B、条件 C は、朝から夕方にかけてメラトニン抑制が緩和された。夜間に向けてメラトニンの分泌を促す変化であり、サーカディアンリズムを考慮した条件であるといえる。

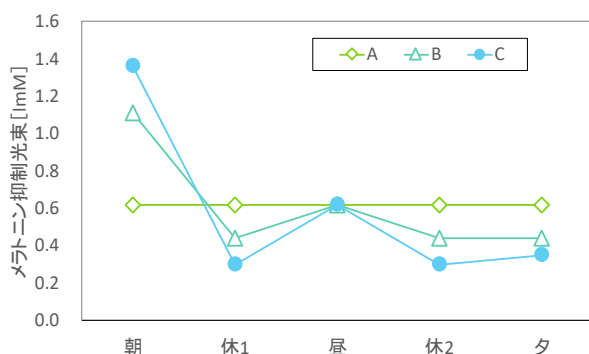


図 6 各色温度の分光波形

また本実験は、各ブース内のタスク照明を変更して条件設定を行う。そのため各ブースの遮蔽により、他の被験者の条件の曝露は小さいと判断し、同日内の各被験者の条件は統一としなかった。

各照明条件は、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、実験への慣れの影響を防ぐため、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 疲労（生理量）

1) オートリフレクトメータ（視力）

時間経過による視力の変動を把握するため、NIDEK 社製のオートリフレクトメータ AR-600 を用いて、球面屈折力、柱面屈折力、軸角度を各測定時間帯に両目について測定した。

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

柴田科学社製のデジタルフリッカー測定器DF-1型を用いて、フリッカー値を測定した。人は、光を高速で点滅させると、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、精神疲労の評価指標として用いられている[18]。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。各測定時に5回ずつ測定し、3～5回目の平均値を各被験者の測定値とした。本報では、フリッカー値を、精神疲労として評価する。

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、その平均値を各被験者の値とした。本報では、目の調節能力の疲労を視覚疲労として評価する。

2.6.3 疲労（心理量）

対象時間帯に被験者に申告用紙を配布し、申告を得た。17)～19)の眠気に関する項目は、KSS (Kansei Gakuin Sleepiness Scale) [19]を参考とし、1)～25)は同一の申告用紙で配布した。本報では、主観申告を自覚疲労として評価した。

1) 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。

2) 室内全体の明るさ感

「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。

3) 現状の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。

4) 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。

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。

6) 目の乾湿感

「潤っている」、「やや潤っている」、「どちらともいえない」、「やや乾いている」、「乾いている」の5段階。

7) 温度感

「寒い」、「やや寒い」、「適当」、「やや暑い」、「暑い」の5段階。

8) 湿度感

「湿った感じ」、「やや湿った感じ」、「どちらともいえない」、「やや乾いた感じ」、「乾いた感じ」の5段階。

9) 現状の温熱環境への満足感

「満足」、「やや満足」、「どちらでもない」、「やや不満」、「不満」の5段階。

10) 現状の空気環境への満足感

「満足」、「やや満足」、「どちらでもない」、「やや不満」、「不満」の5段階。

11) 現状の音環境への満足感

「満足」、「やや満足」、「どちらでもない」、「やや不満」、「不満」の5段階。

12) 部屋の空間の快適度

「快適」、「やや快適」、「どちらでもない」、「やや不快」、「不快」の5段階。

13) 身体の疲労感

「疲れていない」、「ほとんど疲れていない」、「どちらともいえない」、「やや疲れている」、「疲れている」の5段階。

14) 目の疲労感

「疲れていない」、「ほとんど疲れていない」、「どちらともいえない」、「やや疲れている」、「疲れている」の5段階。

15) まぶしさ感

「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」の5段階。

16) 照明の色の快適感

「快適」、「やや快適」、「どちらでもない」、「やや不快」、「不快」の5段階。

17) ねむけ感

「非常に感じる」、「感じる」、「やや感じる」、「あまり感じない」、「感じない」の5段階。

18) 視野の広さ感

「広く感じる」、「やや広く感じる」、「どちらともいえない」、「やや狭く感じる」、「狭く感じる」の5段階。

19) 思考の鈍化感

「非常に感じる」、「感じる」、「やや感じる」、「あまり感じない」、「感じない」の5段階。

20) 作業への集中のしやすさ

「しやすい」、「ややしやすい」、「どちらでもない」、「ややしにくい」、「しにくい」の5段階。

21) 創造的な活動のしやすさ

「しやすい」、「ややしやすい」、「どちらでもない」、「ややしにくい」、「しにくい」の5段階。

22) 総合的な満足度

「満足」、「やや満足」、「どちらともいえない」、「やや不満」、「不満」の5段階。

23) 照明環境と知的生産性向上度の関係

「向上」、「やや向上」、「変わらない」、「やや低下」、「低下」の5段階。PC作業後のみとした。

24) 照明への不満点

照明への不満点を自由記述で回答を得た。

25) 自覚症しらべ

疲労の経時変化を日本産業衛生学会が作成した自覚症しらべを用いて評価した[20]。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

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[21]。ランドルト環は、大きさ 1 条件（小： $\phi=2\text{mm}$ ）、コントラスト 4 条件（10%、20%、50%、100%）の計 4 条件とし、コントラストは、以下の式で求めた。

コントラスト = $\{(L_2-L_1)/L_2\} \times 100 (\%)$ ……式 (2)

L_1 ：ランドルト環の輝度

L_2 ：試験用紙の輝度

1 枚の試験用紙に記載されたランドルト環は 100 個（10 個×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、また制限時間内で最後に探索した箇所にカギ括弧を入れた。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 7 に示す。各測定時に 4 条件（4 枚）について評価を行うこととした。

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パソコン作業を画面上で課した。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。

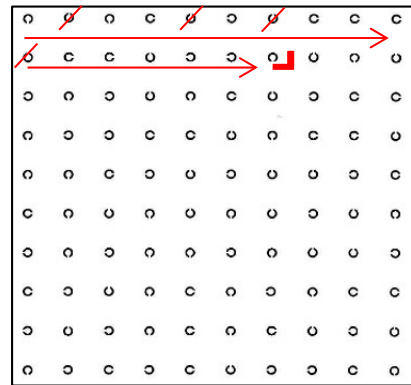


図 7 視認性試験用紙の一例
（探索順とチェック方法）

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、視力、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）、夕方（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、休憩時間中とした。

2.8 解析方法

本報では、各条件における統計的分析は、表計算ソフトウェア Excel により次の手法を用いて行った。また前述のとおり、各被験者の測定値は、各測定時間帯に複数回測定し、その平均値を用いた。ただし、フリッカー値（各3回測定）と焦点調節応答距離（各10回測定）については、複数回の測定結果に対する外れ値の除去をIQE検定により行った上で、平均値を求め、その被験者の測定値とした。なお各被験者の測定値は、各年齢群において、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。年齢群の比較は、 t 検定を行うこととし、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。有意水準は $P < 0.01$ を非常に有意、 $P < 0.05$ を有意とする。

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】	【夕方 16:00-18:00】			
				30	60	30	50	30	60	30	50	30	60	30	
条件	条件A	色温度[K]	一定	5000											
		照度[lx]		650											
	条件B	色温度[K]	変化	12000			3000	5000			3000				
		照度[lx]	一定	650											
	条件C	色温度[K]	変化	12000			3000	5000			3000				
		照度[lx]		800			400	650			400	500			
測定項目	疲労	生理量	精神疲労(フリッカー値) 視覚疲労(焦点調節応答距離)	【測定】 作業前	【作業】 PC作業 (3種類)	【測定】 作業後	【休憩】 昼食	【測定】 作業前	【作業】 PC作業 (3種類)	【測定】 作業後	【休憩】	【測定】 作業前	【作業】 PC作業 (3種類)	【測定】 作業後	
		心理量	自覚疲労(目の疲労感等)												
		視認性	探索数と正答率												

●実験期間: 2018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各条件になるように設定

●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)

3. 結果

3.1 疲労（生理量）

前報[7]では、色温度を低下させる条件において、一日を通した視認性の高さがうかがえた。このことから、一定条件と変化条件を比較することで、照度や色温度の変化が、作業に伴う疲労度に影響するかに着目した。本報の生理量の結果では、「作業前後の測定値から求めた疲労の変化比」を「作業に伴い発生した疲労度」とし、条件 B（照度一定・色温度変化）と条件 C（照度・色温度変化）を、条件 A（照度・色温度一定）と比較することで検証した。

また光環境条件群（条件 A～条件 C）の 3 群の比較は、条件別に Tukey の HSD 法による多重比較検定を行った。また測定値の分布の正規性は F 検定を、各時間帯等における年齢群（M 群、E 群）の 2 群間の有意差の検定は t 検定を使用した。有意水準は、いずれも $p < 0.01$ を非常に有意、 $p < 0.05$ を有意とした。

なお、作業前後の測定値の変化（変化比）を検証する際は、を以下の式で求めた。

$$\text{変化比} = (\chi_b - \chi_a) / \chi_a \cdots \cdots \text{式 (3)}$$

χ_a : 作業前の値 χ_b : 作業後の値

3.1.1 視力

測定値および作業前後の変化比について、条件群、年齢群で比較したが、有意な差は認められなかった。

3.1.2 唾液アミラーゼ活性値

年齢群に関わらず、朝や昼を中心に、作業後の唾液アミラーゼ活性値は増加する傾向が見られたが、有意な変化は認められなかった。また、各条件において、作業前後の変化比を時間帯で比較したが、有意差は認められなかった。

3.1.3 フリッカー値（精神疲労）

図 8 に作業前後のフリッカー値の変化比を、条件 A と比較した結果について示す。縦軸の「変化比の比較」の値が大きいほど、作業に伴う精神疲労が、条件 A よりも小さかったことを指す。

条件 B は、M 群の朝を除き、条件 A よりも作業に伴う精神疲労が小さい傾向にあった。一方で条件 C は条件 A と同程度の時間帯が多く、特に M 群の夕方方は条件 A に比べて、より大きい側となり、条件 BC 間に有意差が認められた ($p < 0.05$)。作業に伴う精神疲労は、一定条件と比較した場合、色温度のみが変化した場合 B の方が小さい傾向にあったと推察される。

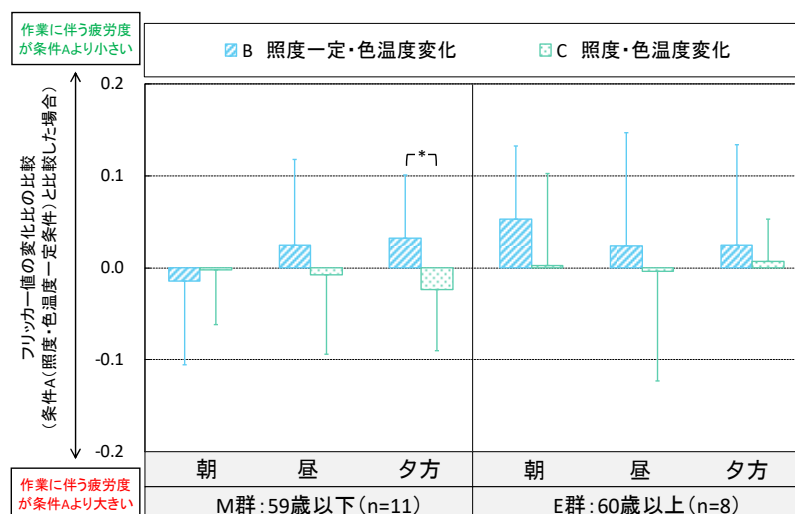


図 8 フリッカー値の変化比(条件 A との比較)

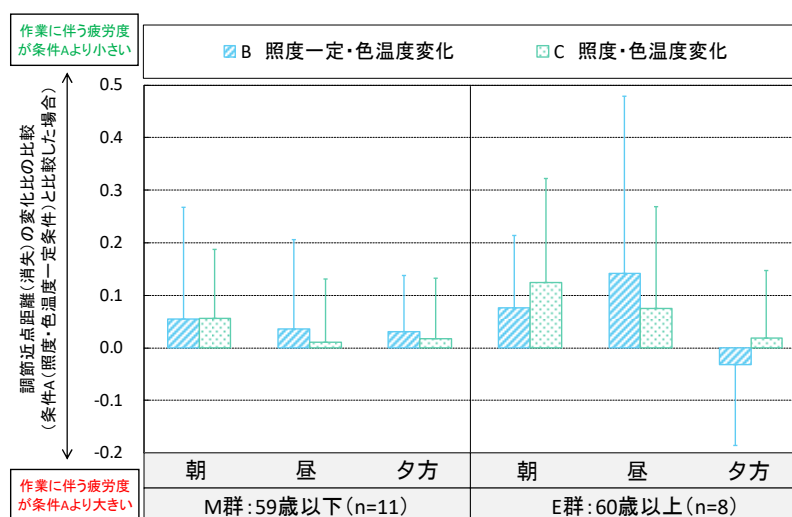


図 9 調節近点距離(消失)の変化比(条件 A との比較)

3.1.4 焦点調節応答距離（視覚疲労）

図 9 に作業前後の焦点調節応答距離（消失）の変化比を、条件 A と比較した結果について示す。縦軸の「変化比の比較」の値が大きいほど、作業に伴う視覚疲労が、条件 A よりも小さかったことを指す。両群、両条件ともに、夕方ほど条件 A との差が小さくなる傾向がうかがえ、E 群の夕方における条件 B は、条件 A よりも作業に伴う疲労が大きくなった。しかし、一定条件よりも条件 B や条件 C の方が、作業に伴う疲労は小さい時間帯が多かった。

3.2 疲労（心理量）

生理量の結果から、一定条件に比べて、変化条件の方が、作業に伴う疲労が小さい時間帯が多く見られた。時間帯によっては、変化条件が疲労を緩和させる可能性がうかがえたことから、各条件における心理評価を、自覚疲労として検証した。

3.2.1 目の疲労度

図 10 に、主観申告による目の疲労感を、各条件について、年齢群比較で示す。値は全被験者の平均値である。有意差は認められなかったが、いずれの条件においても、M 群の方が目の疲労度が高い傾向にあった。両年齢群ともに、作業後の方

がより疲れている側に評価する傾向にあり、朝の作業前から夕方の作業後を比較したところ、M 群は全ての条件において ($p<0.01$)、E 群は条件 A と条件 B において ($p<0.05$)、目の疲労感が有意に増加しており、M 群の方が増加割合は大きかった。

3.2.2 まぶしさ感

図 11 に、主観申告によるまぶしさ感を、同様に示す。いずれの条件、時間帯においても、E 群の方がまぶしい側に評価する傾向にあり、条件 A の朝は、作業前後の各々において、年齢群間に有意差が認められた ($p<0.01$, $p<0.05$)。一方、経時変化に着目すると、朝から夕方に掛けて、条件 A と条件 B は、まぶしさ感が緩和されるか、変化が小さかったが、条件 C は、照度が低下したにも関わらず、よりまぶしい側に評価される傾向にあり、M 群は、朝の作業前から夕方の作業後に掛けて、有意にまぶしい側評価に移行した ($p<0.05$)。

3.2.3 自覚症しらべ（ぼやけ感）

図 12 に、自覚症しらべのぼやけ感の結果を同様に示す。いずれの年齢群ともに、朝から夕方に掛けて、ぼやけ感を感じる側に移行した。特に条件 C の M 群は、昼の作業前から夕方の作業後に掛けて、有意に増加した ($p<0.05$)。

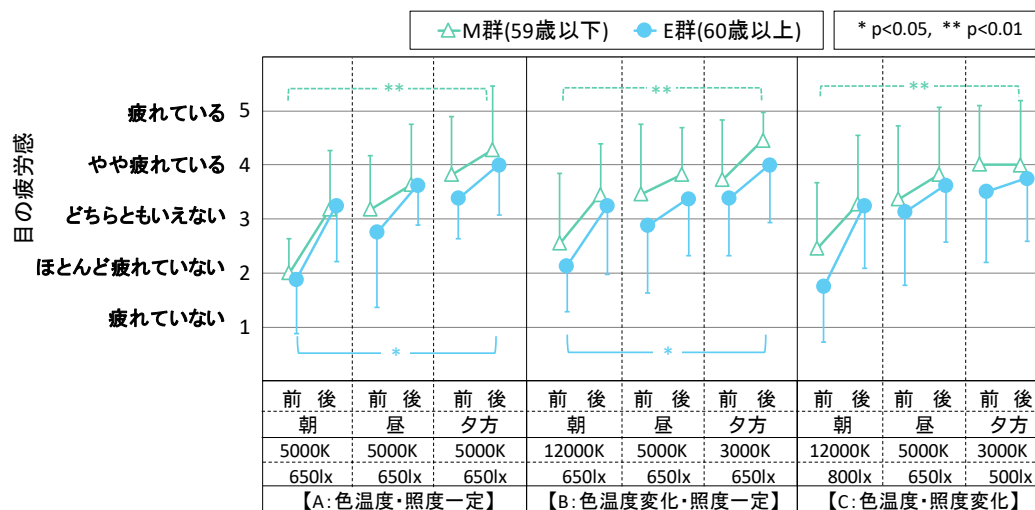


図 10 目の疲労感の経時変動

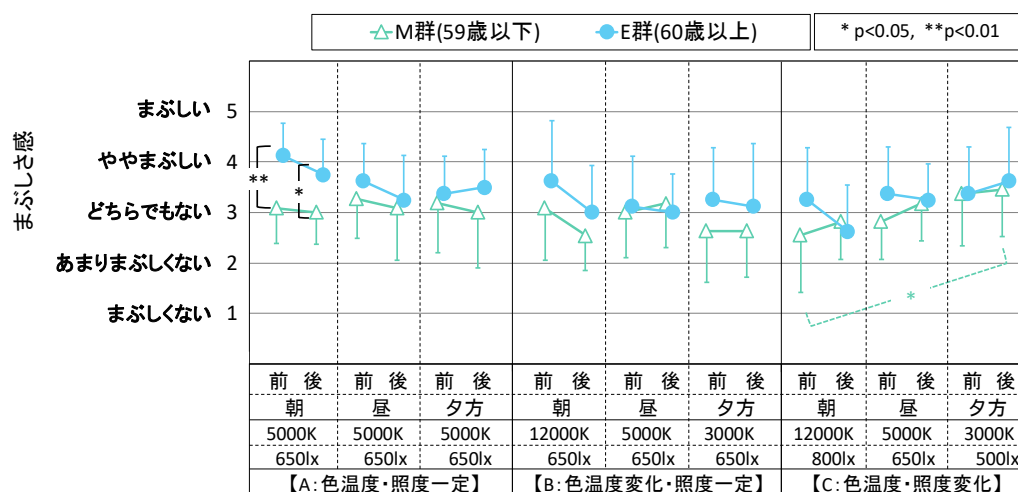


図 11 まぶしさ感の経時変動

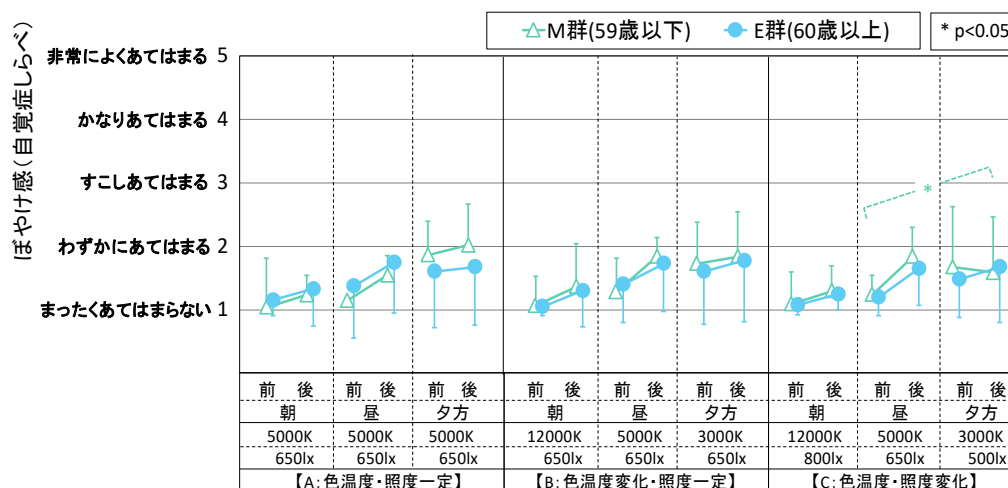


図 12 ぼやけ感(自覚症しらべ)の経時変動

3.3 視認性

図 13 に視認性評価の探索数を累積度数で示す。年齢群と指標のコントラスト別に示しており、全条件、全時間帯の結果である。凡例の C「数値」はコントラストを表しており、数値が大きいほど指標の色が濃くなる。

いずれのコントラストにおいても、M 群よりも E 群の方が探索数は少なくなった。また両年齢群において、C50 と C100 の探索数の差は小さく、同程度であったことから、本報で示したコントラスト条件の場合、C50 は被験者が比較的視認しうる下限値であったと判断し、C50 に着目した。

図 14 に M 群、図 15 に E 群についての探索数 (C50) を、条件比較の累積度数で示す。M 群については、条件間の差はほとんど見られなかったが、E 群は、条件 C の探索数がやや低い傾向がうかがえた。

作業前後の探索数の変化比 (C50) を図 16 に示す。縦軸の変化比が大きいほど、作業後に探索数が増加し、視認性が向上したことを示す。条件に関わらず、年齢群間に有意差は認められなかった。条件 A は作業前後の変化が小さい結果となったが、条件 B は、E 群において朝から夕方にかけての有意な低下が認められた ($p<0.05$)。一方で条件 C は両年齢群ともに、他条件に比べて、朝の作業後の視認性の向上がうかがえたが、夕方は認められず、特に M 群の変化比は、朝から夕方に掛けて有意な低下となった ($p<0.05$)。

視認性評価の正答率 (C50) の結果を図 17 に示す。概ね M 群の方が正答率が高い傾向にあり、条件 A と条件 B における昼の作業前および、条件 C における昼の作業後は、有意差が認められた ($p<0.05$)。しかし、探索数の変化比が夕方に掛けて有意に低下した条件 C (図 16) は、夕方の作業後の正答率が E 群よりも有意に低くなった ($p<0.01$)。

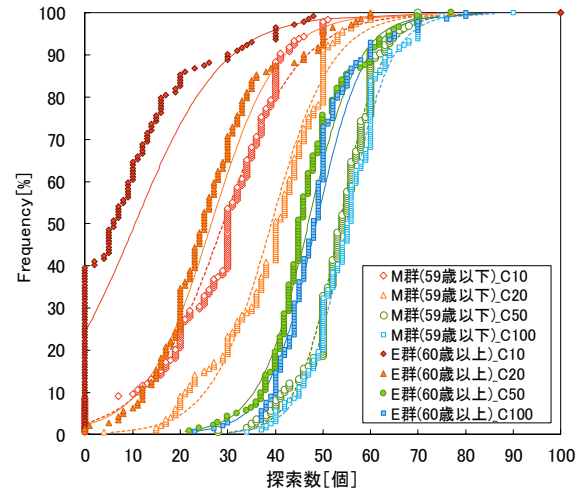


図 13 探索数(視認性評価)の累積度数分布

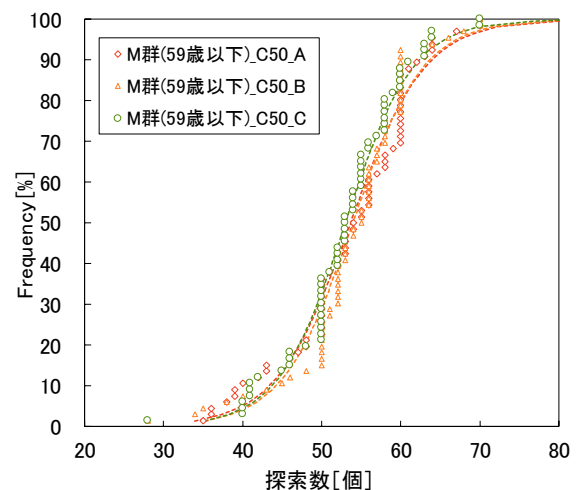


図 14 M 群の探索数(C50)の累積度数分布(条件別)

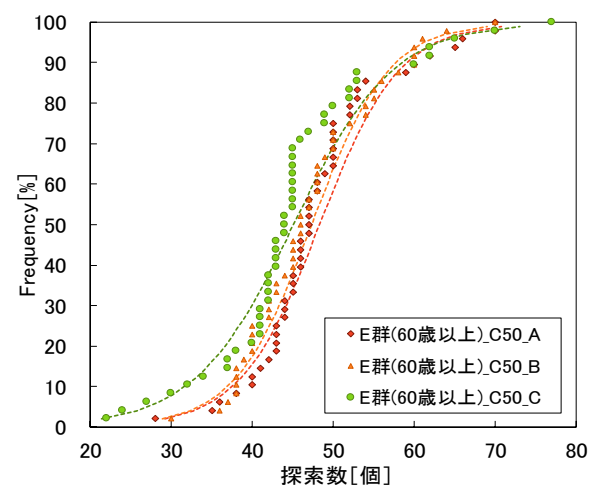


図 15 E 群の探索数(C50)の累積度数分布(条件別)

E 群は、M 群に比べて、作業後に正答率が高くなる時間帯が多く、条件 B の昼の作業後と条件 C の夕方の作業後において、M 群よりも有意に高くなった ($p<0.05$, $p<0.01$)。しかし、探索数の変化比が夕方に掛けて有意に低下した条件 B (図 16) は、朝よりも夕方の方が、正答率が上がる傾向がうかがえた。

なお、本報では、サーカディアンリズムを考慮した条件として、夕方に掛けて照度、色温度が低下しメラトニン抑制が緩和される条件が含まれており、低照度がねむけを誘発する可能性があることから[22]、ねむけが視認性に及ぼす影響を検証した。しかし、年齢群、条件、時間帯に関わらず、ねむけ感と探索数の関係に相関はなく、本報において、ねむけ感が視認性の評価作業に及ぼした影響は小さいと考えられる。

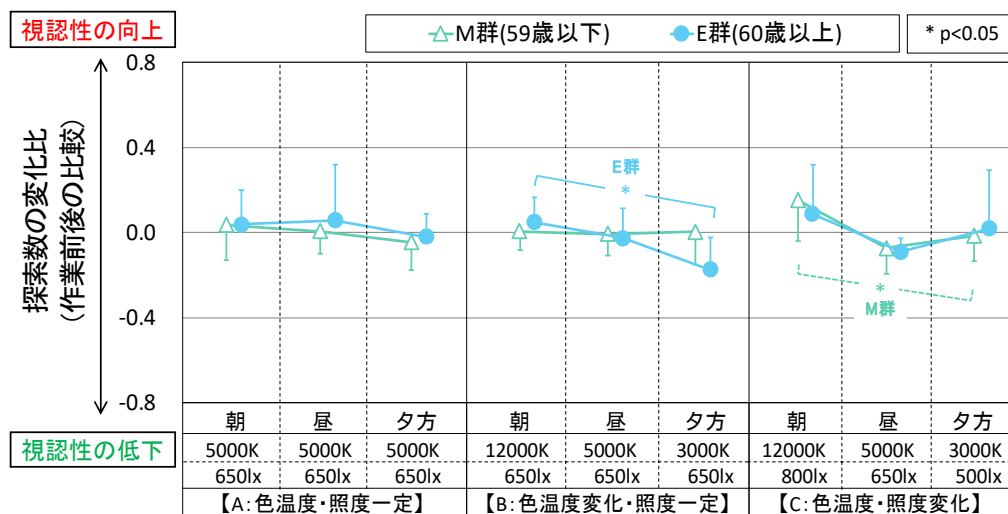


図 16 探索数 (C50) の変化比の経時変動

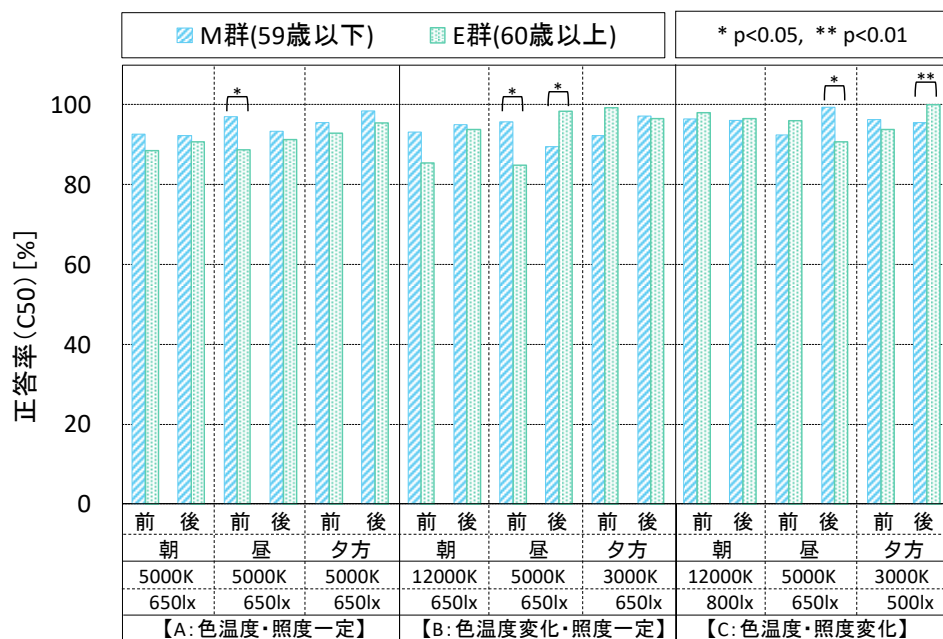


図 17 各時間帯における正答率 (C50) の年齢群比較

4. 考察

本報では、照度と色温度の変化が疲労や視認性に及ぼす影響について、年齢差に着目して検証した。その結果、朝から夕方に掛けての疲労や視認性の低下につながる光環境条件は、年齢群によって異なった。詳細を、以下に示す。

【M群（59歳以下）の場合】

照度・色温度低下条件（C）において、朝から夕方に掛けて、目の疲労感、まぶしさ感、ぼやけ感のいずれにおいても有意な増加が認められ、作業に伴う視認性は有意に低下した。朝は、視作業後に視認性が向上したが、朝の照度は 800lx であり、一般的な屋内作業の照度である 500～750lx よりも高かったことが、視認性向上に寄与した可能性が考えられる。しかし、夕方は、作業に伴う精神疲労が、照度・色温度一定条件（A）より大きくなった。

照度が低下した、照度・色温度低下条件（C）においてのみ、夕方に掛けてまぶしさ感が有意に増加したことから、一日の照度低下が、夕方の評価や視認性に影響したと推察される。人は、視野内にきわめて輝度の高い部分があると、まぶしさを感じ、対象が見えにくくなり、目の不快感や疲労感を起こす場合があります（グレア）、照度が高くなるときは、照明器具にシェードをつけてグレアを防止するなどの工夫が必要となってくる。特に目が順応している輝度よりも著しく輝度の高い部分がある場合にも、グレアが発生する[23]。照度・色温度低下条件（C）は、朝は 800lx と高い照度であったが、夕方に掛けて照度は低下した。本報では、極力光源が目に入らないようにタスクライトの角度を調整したが、時間経過に伴う照度低下は、タスクライトの光源と作業中の PC 画面の輝度差につながった可能性が考えられる。時間経過に伴い生じた輝度差は、夕方に掛けて視野内にグレアを生じさせ、まぶしさ感や目の疲労感の

増大につながり、視認性の有意な低下の一要因になった可能性が考えられる。

【E群（60歳以上）の場合】

照度一定・色温度変化条件（B）において、朝から夕方に掛けて、目の疲労感は無意に増大し、作業に伴う視認性は、有意に低下した。特に、夕方は、作業に伴う視覚疲労が、照度・色温度一定条件（A）より大きくなった。

また、E群はM群より、まぶしい側に評価する時間帯が多く見られた。人は加齢に伴い、水晶体の白濁と黄変によって視力が低下し、進行すると白内障と診断される。水晶体が白濁すると、眼球に入射した光が内部で散乱するため、ものが二重に見えたり、かすんだり、まぶしいなどの症状が生じる[23]。本報において、白内障の診断を受けたという被験者はいなかったが、年齢を重ねるほど、白濁する傾向にあることから、E群がM群よりもまぶしさ側に評価した一要因として考えられる。

一方、E群は、照度・色温度低下条件（C）の一日の探索数が他条件よりも少なかった。これは、M群と同様に、タスクライトの光源とPC画面の輝度差が影響した可能性が一要因として考えられる。これに加え、人は加齢に伴い、瞳孔による光量の調節能力が著しく低下し、特に暗順応への影響は大きいこと、さらに光量の調節能力の低下と、白濁による水晶体の透過率の低下は、暗い環境での見えにくさにつながることが明らかとなっている[24]。照度・色温度低下条件（C）は、他条件に比べて休憩時間や夕方の照度が低い設定であったことから、暗い環境での見えにくさが、視認性の低下につながった可能性も推察される。

しかし、照度一定・色温度低下条件（B）は、昼の休憩（休2）以降の照度が、照度・色温度低下条件（C）より高いにもかかわらず、作業に伴う視認性は、朝から夕方に掛けて有意に低下した。また、M群とは異なり、照度が低下した条件Cに

において、朝から夕方に掛けての、有意な疲労感やまぶしさ感の増大、作業に伴う視認性の低下は見られなかった。このことから、60 歳以上の E 群において、休憩中や夕方の照度の低さが、疲労や視認性低下につながるか否かは、詳細な検討が必要である。

望月らは、20 代の若齢者に比べ、60 代の高齢者の方が、光源の大きさや輝度に関わらず、グレアを感じにくい、同じグレア感に対する不満は高いことを示している[25]。また、加藤らは、視認能力の日変化を年代で比較した結果、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。特に高齢者は、若齢者よりも主観的疲労感への影響が小さいが、若齢者よりも生理量や視認能力への影響が大きい場合もあることから、日変化への配慮が必要であると報告している[26]。

以上のことから、本実験では、疲労や視認性の低下に影響する照度、色温度の変化条件は、年齢群によって異なることが示唆されたが、目の特性や生理量に加え、環境に対する心理評価の年齢差も考慮し、適切な光環境を構築することが重要であると考えられる。

5. おわりに

中高齢者を対象に被験者実験を行い、照度と色温度の変化が、疲労や視認性に及ぼす影響について年齢群ごとに評価した。主な成果は、以下のとおり。

中高齢男女 19 名（M 群：59 歳以下、E 群：60 歳以上に分類）を対象に、疲労と視認性を評価する被験者実験を行った。PC 作業前後の、精神疲労（フリッカー値）、視覚疲労（目の調節能力）、自覚疲労（目の疲労感等の主観申告）を測定した。また、印字の濃さが異なる 4 枚の試験用紙を用い、指示された向きのランドルト環を探索する方法で、

視認性を評価した。結果を以下に示す。

- 1) 両群の全ての条件で、朝から夕方に掛けて、目の疲労感が増加した。
- 2) 朝の高照度・高色温度（C）は、両群の PC 作業後の朝の視認性を向上させた。しかし、M 群は照度・色温度低下条件（C）において、E 群は照度一定・色温度低下条件（B）において、朝から夕方に掛けて、視認性が有意に低下した。
- 3) 夕方の PC 作業に伴う疲労に着目すると、M 群は、照度・色温度変化条件（C）における精神疲労が、E 群は照度一定・色温度変化条件（B）における視覚疲労が、照度・色温度一定条件（A）に比べて高まった。

以上より、疲労や視認性の低下につながる照度と色温度の変化条件は、年齢群によって異なることが示唆された。疲労軽減と視認性向上を両立するような光環境を構築するためには、水晶体の白濁や光量の調節能力の低下といった、加齢に伴う目の特性を考慮した評価を、引き続き行っていくことが重要である。

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 4 回生 大久保拓馬様、中澤優輔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] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] S. Walerczyk, Human centric lighting, Architectural SSL pp.20 - 26, 2012
- [7] 安岡絢子, 宮永俊之, 岩田利枝, 明石行生. オフィスを対象とした執務者の便益評価手法の検討ー（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ー. 電力中央研究所報告C17012, 2018.
- [8] 大島正光. 老化と生理機能. 医学のあゆみ, 97-9, pp.659-660, 1976.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 高年齢者の雇用. 厚生労働省 HP, https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/koyou_roudou/koyou/jigyounushi/page09.html (2019.2.11 閲覧)
- [12] 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.
- [13] JIS 照明基準JIS Z 9110
- [14] 井上雄一、林光緒. 眠気の科学-そのメカニズムと対応-, 朝倉書店, 2011.
- [15] Higuchi S, Motohashi Y, Liu Y, Ahara M, Kaneko Y. Effects of VDT tasks with a bright display at night on melatonin, core temperature, heart rate, and sleepiness. J Appl Physiol, 94(5), pp.1773-1776, 2003.
- [16] Mishima K, Okawa M, Shimizu T, Hishikawa Y. Diminished melatonin secretion in the elderly caused by insufficient environmental illumination. J Clin Endoct Metab, 86(1), pp.129-134, 2001.
- [17] Brainard GC, Hanifin JP, Greeson JM, Byrne, Glickman G, Gerner E, Rollag MD. Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. J Neuroscience, 21: 6405-6412, 2001
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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の検討. 産業衛生学雑誌, Vol. 50, No. 5, pp.133-144, 2008.
- [21] 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.
- [22] Kaida K, Takahashi M, Haratani T, Otsuka Y, Fukasawa K, Nakata A. Indoor exposure to natural bright light prevents afternoon sleeping. Sleep, 29(4), pp.462-469, 2006.
- [23] 三浦昌生. 基礎力が身につく建築環境工学 第二版. 森北出版, 2017.
- [24] 大内孝子. 住まいと環境 住まいのつくりを環境から考える. 彰国社, 2010.

- [25] 望月悦子, 岩田利枝, 塚見史郎, 木村健一. 大きい光源による高齢者と若齢者の不快グレア感に関する実験研究. 日本建築学会計画系論文集, 第 528 号, pp.17-22, 2000.
- [26] 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.



CRIEPI

**Central Research Institute of
Electric Power Industry**

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

ISBN978-4-7983-1743-4

