

Effects of VDT Screen Brightness on Digital Contents Usability, Physiological and Psychological Responses

片山, 徹也
九州大学大学院芸術工学府

<https://doi.org/10.15017/21747>

出版情報 : 九州大学, 2011, 博士 (芸術工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

VDT 画面の明度条件がユーザビリティと生理的・心理的反応に及ぼす影響

Effects of VDT Screen Brightness on Digital Contents Usability, Physiological and
Psychological Responses

2012年 2月

片 山 徹 也

Tetsuya KATAYAMA

目次

第1章 序論	1
1.1. 研究の背景	1
1.2. 研究の目的	4
1.3. 本論文の構成	9
第2章 陽画表示画面における明度条件と作業効率及び疲労感との関連	11
2.1. はじめに	11
2.2. 実験方法	12
2.2.1. 明度差条件の設定	12
2.2.2. 実験時期、場所、対象者、方法	20
2.2.3. 実験内容	23
2.2.4. 分析方法	24
2.3. 結果	25
2.3.1. 作業量と誤入力率について	25
2.3.2. 作業前後の血圧・心拍数について	27
2.3.3. 作業前後の CFF 値について	28
2.3.4. 疲労感の評価について	29
2.3.5. 画面に対するイメージ評価について	39
2.4. 考察	40
2.4.1. 明度条件と作業効率について	40
2.4.2. 明度条件と生理指標による疲労度について	41
2.4.3. 明度条件と心理評価について	42
2.4.4. まとめ	43
第3章 陰画表示画面における明度条件と作業効率及び疲労感との関連	45
3.1. はじめに	45
3.2. 実験方法	46
3.2.1. 明度差条件の設定	46

3.2.2.	実験時期、場所、対象者、方法	51
3.2.3.	実験内容	51
3.2.4.	分析方法	52
3.3.	結果	52
3.3.1.	作業量と誤入力率について	52
3.3.2.	作業前後の血圧・心拍数について	53
3.3.3.	作業前後の CFF 値について	54
3.3.4.	疲労感の評価について	56
3.3.5.	画面に対するイメージ評価について	66
3.4.	考察	67
3.4.1.	明度条件と作業効率について	67
3.4.2.	明度条件と生理指標による疲労度について	68
3.4.3.	明度条件と心理評価について	69
3.4.4.	まとめ	70

第4章 VDT画面の明度条件が作業効率と生理的・心理的反応に及ぼす影響(1)

	一陽画表示と陰画表示の比較	72
4.1.	はじめに	72
4.2.	実験方法	73
4.2.1.	分析方法	74
4.3.	結果	75
4.3.1.	作業量と誤入力率による作業効率について	75
4.3.2.	血圧、心拍数、CFF 値による生理的反応について	79
4.3.3.	疲労評価による心理的反応について	83
4.3.4.	イメージ評価による心理的反応について	92
4.4.	考察	95
4.4.1.	表示モードと作業効率について	95
4.4.2.	表示モードと生理的反応について	96
4.4.3.	表示モードと主観的疲労感について	97
4.4.4.	画面に対するイメージ評価について	99
4.4.5.	まとめ	100

第5章 VDT画面の明度条件が作業効率と生理的・心理的反応に及ぼす影響(2)	
—同一明度差条件の比較—	101
5.1. はじめに	101
5.2. 実験方法	102
5.2.1. 明度差条件の設定	102
5.2.2. 実験時期、場所、対象者、方法	109
5.2.3. 実験内容	109
5.2.4. 分析方法	109
5.3. 結果	110
5.3.1. 作業量と誤入力率について	110
5.3.2. 作業前後の血圧・心拍数について	111
5.3.3. 作業前後のCFF値について	113
5.3.4. 疲労感の評価について	114
5.3.5. 画面に対するイメージ評価について	127
5.4. 考察	131
5.4.1. 作業量と誤入力率による作業効率について	131
5.4.2. 生理指標による作業負担について	132
5.4.3. 自覚症による主観的疲労感について	133
5.4.4. 画面に対するイメージ評価について	135
5.4.5. まとめ	136
第6章 総括	139
引用文献	145
巻末資料	
VDT作業課題問題用紙	154
自覚症しらべ記入用紙	155
VDT画面のイメージ評価票	156
謝辞	157

第 1 章

序論

1.1. 研究の背景

高度情報化社会における情報通信技術（ICT: Information and Communication Technology）の発達及び普及にともない、視覚表示端末（VDT: Visual Display Terminal）を用いて多様なデジタルコンテンツを利用する機会が急速に増加している。内閣府（2011）の調査によると、2011年3月末時点のパーソナルコンピュータの普及率は、単身世帯、外国人世帯をのぞく一般世帯で76.0%である。また、総務省（2010）の調査によると、世帯を対象とした2010年末におけるパーソナルコンピュータの保有率は83.4%、インターネット利用率は93.8%と報告されている。2010年までに日本をユビキタスネット社会へと発展させていくことを目標として、総務省が2006年に策定した「u-Japan政策」に基づき、高齢者・障害者を含めた誰もがICTを利活用し、その恩恵を享受できるよう情報バリアフリー関連施策が積極的に推進され、現在のICT関連政策に継承されている（総務省2006）。メディア教育開発センター（現・放送大学ICT活用・遠隔教育センター）（2006、2009）の調査報告では、全国の国公私立大学、短期大学及び高等専門学校においてコンピュータやインターネット、モバイル端末等を利用したICT活用教育を導入している学校数の割合は、2005年度は44.3%、2008年度は73.1%であり、3年間に28.8%も増加している。中央教育審議会は2008年12月、「学士課程教育の構築に向けて（答申）」において、教育研究上の目的等に即して情報通信技術を積極的に取り入れ、eラーニングや学習管理システム（LMS: Learning Management System）等のICT活用教育により教育方法の改善を図るよう提案した。教育機関においてICTを活用することで、大学等の授業内容の多様化・高度化や授業支援

の更なる充実が期待され、教育内容及び方法の改善をはじめとする様々な改革が進められている（文部科学省 2010）。現在、世界 33 カ国 200 校以上の大学が、インターネット上に大学の正規授業で用いられている教材を無償提供する OCW（Open Course Ware）に取り組んでいる（宮川ら 2009）。このような取り組みにより、教育機関が講義内容を電子教材として整備することで、ユビキタス学習環境における多様なコンテンツの供給が進められている。

情報通信技術の発達による社会及び教育の ICT 化にともない、VDT 作業の際、眼・頸肩腕・腰等の痛みや精神神経系等に異常をきたす疾患である VDT 症候群や、それらのストレスが中心となり発生する症状のうち特に眼症状が前景に出るテクノストレス眼症の患者数の増加が報告されている（高橋 2005、石川 2006）。職場における VDT 作業時の環境整備基準として、厚生労働省により「VDT 作業における労働衛生管理のためのガイドライン」（2002）が策定され、VDT 作業者の心身の負担をより軽減し、作業者が VDT 作業を支障なく行うための指針が示されている。労働環境における VDT 作業と比較すると、教育機関における ICT 活用は学習活動の一部であるため、VDT 作業が短時間となる場合があることや、単純入力型や拘束型の作業よりもテキストリーディングやテキストライティングが作業の中心となること、利用者に学齢差があること等、ICT 活用学習と労働環境における VDT 作業との相違点が多い。しかし、教育機関を対象とする VDT 使用環境や画面上の文字と背景の表示条件の基準値を明示したガイドラインは策定されていない。教育機関における ICT 活用を対象とする検討は、職場における VDT 作業従事者を対象とした先行研究と比較すると十分とはいえず、身体的疲労感や作業効率低下の要因となる画面上の問題点やそれらを改善するための具体策は明らかにされていないのが現状である。

ウェブコンテンツの国際規格については、World Wide Web Consortium（2008）が勧告した Web Content Accessibility Guidelines 2.0（以下 WCAG 2.0）により、文字色と背景色によるコン

トラスト比を用いた適合基準が示され、テキストの視覚的表現のための最低限のコントラスト比として4.5:1がレベルAAの基準値とされている。国内規格では、JIS X 8341-3「高齢者・障害者等配慮設計指針—情報通信における機器，ソフトウェア及びサービス— 第3部：ウェブコンテンツ」が、世界標準との国際協調を軸にWCAG2.0に準拠した達成基準及び実装方法を示す内容へ改正された（2010）。しかし、VDT画面の文字色と背景色の色彩条件については、国内外の規格策定の根拠となり得る見解の一致はみられないのが現状であり、World Wide Web Consortiumによる指針の根拠は曖昧であるとの指摘もある（細井ら2008）。

こうした背景において、ユーザビリティやアクセシビリティが十分に確保されていないデジタルコンテンツやウェブサイトがICT活用教育を含むVDT作業に用いられる場合もあると思われる。生田目ら（2011）は、ウェブデザインのリンク表現の検討において、アクセシビリティ要件とユーザビリティ要件を同時に満たすようなウェブデザイン方法が確立されていないことを指摘している。ユーザビリティとは、ISO 9241-11に基づき国内規格化されたJIS Z 8521(1999)により「特定の利用状況において、特定の利用者によって、ある製品が、指定された目標を達成するために用いられる際の、有効さ、効率、利用者の満足度の度合い」と定義されている。アクセシビリティとは、JIS Z 8071(2003)により、「高齢者、障害のある人、一時的な障害のある人及び健常者を含む広い範囲の人が、交通機関、建築物、情報通信機器類、生活用品等を使用できない状態から使用できる状態にし、あらゆる社会・経済活動に参加できるようにすること」とされ、使用できない状態から使用できる状態にするという点でユーザビリティの定義付けと区別される。本研究では、VDT画面上の文字と背景の明度差条件のうち、利用者にとってより快適で疲れにくい条件について検討することから、VDT作業における作業効率、生理的・心理的負担の軽減における有効性、見やすさや読みやすさの主観評価を総じてユーザビリティとして論じる。

近年、ヨーロッパから発祥したインクルーシブデザインや世界的に普及しているユニバーサルデザインの概念において、より多くの人を包含してデザインを実践していくことが求められている（平井 2007）。多くの人による利用を志向するユニバーサルデザイン化は ICT 分野においても進められ、ハードウェアだけでなく、画面の文字や色のコントラストが調整できるユーザー補助機能等、提示方法や操作方法に関するソフトウェア面の対応の重要度が増している（三樹ら 2005）。高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部が 2009 年に公表した「i-Japan 戦略 2015」では、デジタル技術が「空気」や「水」のように抵抗なく普遍的に受け入れられ、経済社会全体を包摂する存在となることを目指している。特に、「教育・人材」は三大重点分野の一つとして位置付けられ、学習意欲や学力向上を支援する ICT 活用の充実が期待されている。今後、職場における VDT 作業のみならず教育機関や家庭における e ラーニング等の VDT 機器を介した ICT の利活用は一層拡大し、VDT 機器の使用時間は長時間化すると考えられる。したがって、利用する誰もが使いやすいデジタルコンテンツや学習効果の高い ICT 活用教材の開発及び提供を進めていくためには、これまで以上にデジタルコンテンツのユーザビリティについて配慮し、作業効率の向上及び疲労の軽減に適した VDT 画面の表示条件を明示することが望まれる。

1.2. 研究の目的

これまで、VDT 作業における疲労、心理負担、画面条件等に関する研究は数多く報告されている。

まず、VDT 作業における疲労やストレスに関して、阿部ら（1985）は、VDT 作業者の目の自覚症状は、週作業頻度、一日のべ作業時間、一連続操作時間の増加とともに訴え率も増加する傾向がみられ、上肢を中心とする筋骨格系の症状と自律神経症状の訴え率も VDT 作業

の時間因子と関連がみられることを報告している。高橋ら（2009）は、VDT 作業者のストレスと疲労について、調査期間の総就業時間 2000 時間以下及び 4000 時間以上の VDT 作業群で相対的に交感神経系の亢進が示唆され、総就業時間によりストレス・疲労の程度が異なることを示した。Smith（1997）は、VDT 作業の心理的側面が仕事のストレスと関連し、その結果、身体的及び精神的健康に影響を与えることを報告し、健康な VDT 作業のための組織としての労働改善の方法を提言した。岩切ら（2004）は、照明環境の改善等によりグレア対策が進められている作業環境においては、視覚系の疲労には室内の気流が主に関連し、筋骨格系の疲労には VDT 機器や什器、作業姿勢に関する項目が関連することを報告している。Linら（2008）は、光色と環境照明レベルが VDT 視覚作業負荷に及ぼす影響を検討した結果、視力と主観的視覚疲労は光色によって有意に影響され、照明レベルは CFF（Critical Fusion Frequency、臨界融合周波数又はフリッカー値）閾値変化と視覚作業の反応時間に有意に影響することを報告している。生理指標による疲労評価に関しては、パーソナルコンピュータを用いた知的作業時において収縮期血圧値は下降傾向を示すことが報告されている（中山ら 2001）。また、VDT 作業における疲労評価について、皮膚表面温度の変化等の生体情報がストレス評価を表す指標として用いられているが（宮地ら 2005）、現在まで、VDT 作業者の疲労の程度を解析する手法を確立した研究はほとんどない。生体信号から疲労に関連する信号を抽出することは難しいものの、生体情報の変化が用いられている（八谷ら 2008）。VDT 作業時の疲労評価指標の一つである CFF 値の変化は、中枢疲労の判定や身体的疲労の測定に用いられることがある。CFF 値は日内変動がみられ、夜間から深夜にかけて低下し、覚醒水準の減衰、知覚機能の低下が起こると考えられている（市川ら 2006）。

次に、VDT 画面の配色に関して、戸梶（2001）の研究では、「読みやすい」、「疲れにくい」という 2 つの次元において無彩色同士の組合せが多く選ばれた。文字より背景の明度が高く、相互に明度差の

ある組合せが望ましいという傾向が見出されたが、ディスプレイ上の文字と背景の配色によっては、VDT 作業時の視認性と疲労度に悪影響があることを示した。若年者と高齢者に共通する読みやすい配色条件について、高橋ら（2003）は、陽画表示であること、輝度コントラスト比（背景色：文字色）は 5：1 以上、白又はうすい背景色に紺を基調とする濃い文字色であることを報告している。背景輝度と文字輝度の組合せと文字の色が VDT 視覚作業パフォーマンスに及ぼす効果について、Lin（2005）は、背景輝度と文字輝度のコントラスト比が小さい場合にはより高い画面輝度組合せにおいて成績がよく、コントラスト比が大きい場合にはより低い輝度組合せにおいて成績がよかったことを報告している。楨ら（2005）は、VDT 画面を通じて情報を伝達する場合、文字色と背景色の明度差が大きいほど読みやすさも配色の良さも評定が高く、読みやすさと配色の良さには、文字色と背景色の配色における明度差や輝度差が大きく影響することを報告している。視覚表示端末の色弁別における人間のパフォーマンスは、光源色、周囲の照明とモニタの背景色のレベルによって影響を受ける可能性があり、光源色と画面の背景色の両方が、人間の色弁別能力に大きく影響することが報告されている（Tseng ら 2010）。

画面表示には、陽画表示（ポジティブモード）と陰画表示（ネガティブモード）があり、陽画表示では文字より背景の明度が高く、陰画表示では文字より背景の明度が低い。この表示モードに関して、森本ら（1986）は VDT 画面上の陽画表示と陰画表示について、作業上好ましい文字輝度と背景輝度を求め、また主観的に好ましい文字色と背景色との組合せ、表示モードの違いによる疲労の差を検討し、陰画表示は陽画表示より好まれるが、作業疲労は逆に陽画の方が小さい傾向であることを示した。また、背景と文字に明るさの異なる無彩色同士を組み合わせした場合、陽画表示と陰画表示に対する読みやすさの評価は、世代間及び色覚特性の有無によって異なることが報告されている（細井ら 2008）。Buchner ら（2007）は、文書校正のパフォーマンスにおいて陰画表示より陽画表示の方が常に良好な結

果を示したが、それらの結果と周辺照明及び色コントラストには関連がみられず、色のコントラストは輝度のコントラスト不足を補填できないことを報告している。しかしながら、表示モードに関する研究は数多く、作業疲労が少なく作業能率も高い表示色は陽画表示に多かったとするものや（西村ら 1985）、高齢者の場合、製品設計においては陰画表示の方が概して読みやすさの評価が高かったもの（Tomioaka 2007）等、表示モードにより評価結果は異なる。また、窪田ら（1986）は適正なコントラストが確保された条件で表示モードの違いによる作業効率及び視覚負担の有意な差は認められなかったことを報じている。今村ら（1994）は、日本語入力のかな漢字変換の際、候補を選択する入力効率ではポジティブとネガティブの表示配色による明確な影響は認められなかったことを報告している。Pastoor（1990）は、テキストの読みやすさに関する主観的評価に表示極性や色相の影響はみられなかったことを示した。このように、陽画と陰画の表示モード間に差はみられなかったとの報告も多くなされている。以上から、各研究における条件によって陽画と陰画の表示モードに関する評価結果は一定しない。

年齢による視認特性に関しては、視覚発達心理学によると視認特性は 20 才前後で安定するとされる（小孫ら 1996）。明楽ら（2003）、畑木ら（2004）は、小学生から大学生まで多学年にわたる学齢発達段階ごとに見やすいと感じる画面条件が異なり、視認特性の学齢差があることを報告している。教育機関において ITC 活用教材を用いる場合は、成人利用者の使用を想定したユーザビリティやアクセシビリティを十分に確保することに加えて、児童・生徒・学生らの発達段階に適した画面条件のコンテンツを選定又は提供する等の考慮が必要であることがわかる。

VDT 製品の技術開発により、コンピュータ用ディスプレイは CRT（Cathode Ray Tube）から液晶（LCD: Liquid Crystal Display）へと移行したが、CRT ディスプレイと液晶ディスプレイには、リフレッシュレートに起因する画面のチラつきや色表現における発色性等、

製品の特性による相違点がある。また、視認性と可読性における作業パフォーマンス（検索スピード、読み取りスピード）は CRT ディスプレイと液晶ディスプレイで異なることが報告されている（窪田 1997）。CRT ディスプレイを用いた先行研究（森本ら 1986、戸梶 2001、高橋ら 2003）における表示色数等の条件は、以後普及した液晶ディスプレイ製品及びコンピュータ OS に該当しない。また、表示色の選定方法において、楨ら（2005）の研究では、実験当時に使用されたアプリケーションの初期設定カラーパレットの色が用いられ、色相・明度・彩度の各値の分布に偏りがある。高橋ら（2003）の研究における色選定は、色相・明度・彩度の設定が不統一であり、色彩三要素の構造に基づく系統立てた条件設定がなされていない。このため、現在主として利用される液晶ディスプレイ画面上における文字と背景の適切な明度差条件の設定に直接資するデータを明示するには至っていないのが現状である。加えて、WCAG2.0 の勧告、関連 JIS 規格の改定等、近年のガイドライン及び規格に準拠した研究は僅少であり十分とはいえない。

VDT 作業における画面の色条件や表示モードについて検討したこれまでの先行研究においては、評価結果や推奨される表示条件は異なっている。この要因として以下のことが挙げられる。VDT 画面上に表示される色は光源色であるが、それらの色は、(1) VDT 画面に表示されるデジタルコンテンツが有する表示色の設定値、(2) VDT 製品を介することで表示される光源色としての輝度、(3) 室内照明等による照度、この(1)～(3)の三条件が複合された視環境において知覚されると考えられる。吉武（2002）は、VDT 作業における人間工学的評価のための諸因子として、視機能や作業姿勢等のユーザーによる特性、気流や使用什器等の作業環境、作業内容等のタスクによる特性、使用するディスプレイ製品及びコンピュータの性能等、数多くの因子が存在することを報告している。こうした VDT 作業を構成する要素の多さは、VDT 作業効率や疲労の評価及び要因の特定を困難にしていると推察される。このため各報告における結果は一致しないと考

られる。

職場や教育機関における VDT 作業の際、前述の VDT 製品輝度や室内の照度について一定の調整は可能であるが、ソフトウェアや e ラーニング教材等のデジタルコンテンツにおいて文字や背景として設定された色情報の値を利用者・施設管理者が変更することは困難である。つまり、デジタルコンテンツ作成時に適切な値で文字や背景の表示色を設定することは、VDT 作業における快適な視環境整備の基盤であると考えられる。そこで本研究では、VDT 画面への表示色情報の一つである明度条件に着目し、無彩色によるグレースケールの陽画表示と陰画表示を用いて、VDT 画面上の文字と背景の明度差条件が大学生による VDT 作業時の作業効率、作業負担、主観評価に及ぼす影響について分析し、ユーザビリティの向上及び生理的・心理的負担の軽減に有用な VDT 画面の明度条件を明らかにすることを目的とする。今後、社会の ICT 化による VDT 機器の使用機会は、労働としての VDT 作業のみならず、教育機関における ICT 活用教育、家庭における私的使用、職域における研修教育、社会人のリカレント教育等、多方面においていっそう増加することが予測される。このことから、利用者の生理的・心理的負担を軽減し、誰もが快適に VDT 作業を行うための画面条件を明らかにすることの意義は大きいといえる。

1.3. 本論文の構成

本論文の題目は「VDT 画面の明度条件がユーザビリティと生理的・心理的反応に及ぼす影響」とし、全 6 章より構成される。各章の内容は以下の通りである。

第 1 章(本章)では、本研究の背景と目的について述べ、本論文の構成について示した。

第 2 章では、文字と背景の明度が異なる VDT 画面を用いて、文字より背景の明度が高い陽画表示 8 条件における明度条件と作業効率、生理反応、心理評価との関連について分析した。

第3章では、文字より背景の明度が低い陰画表示8条件における明度条件と作業効率、生理反応、心理評価との関連について分析した。

第4章では、白と黒の文字に対して明度が異なる背景との明度差条件について、陽画表示8条件と陰画表示8条件の表示モード間の作業効率、生理反応、心理評価を比較した。

第5章では、文字と背景の明度差が等しいグレースケールの10条件(陽画表示5条件、陰画表示5条件)について、作業効率、生理反応、心理評価を比較した。

第6章では、第2章から第5章において明らかになったVDT課題遂行時のVDT画面の明度条件と作業効率、生理反応及び心理評価との関連に基づき、ユーザビリティの向上と疲労の軽減に有用な明度条件について総括した。

なお、第2章は、人間-生活環境系学会誌(2010a)に掲載された「コンピュータ画面の明度条件と作業効率及び疲労感との関連」(片山徹也、庄山茂子、栃原裕、人間と生活環境17巻1号1-6)に基づいている。

第3章は、人間-生活環境系学会誌(2010b)に掲載された「コンピュータ陰画表示画面の明度条件と作業効率及び疲労感との関連」(片山徹也、庄山茂子、栃原裕、人間と生活環境17巻2号73-80)に基づいている。

第4章は、日本色彩学会誌(2011)に掲載された「VDT画面の表示モードが作業効率と生理的・心理的反応に及ぼす影響」(片山徹也、庄山茂子、栃原裕、日本色彩学会誌35巻2号91-100)及びThe Fourth International Conference on Human-Environment System (2011) Proceedingsに掲載された「THE EFFECTS OF DIFFERENT VDT DISPLAY MODES ON WORK EFFICIENCY AND PHYSIOLOGICAL AND PSYCHOLOGICAL RESPONSES」(Tetsuya Katayama, Shigeko Shoyama and Yutaka Tochiyara, The Fourth International Conference on Human-Environment System, Proceedings 493-497)に基づいている。

第 2 章

陽画表示画面における明度条件と作業効率及び疲労感との関連

2.1. はじめに

高度情報化社会における情報通信技術の進展にともない、教育機関においては ICT を活用した教育が推進され、大学生が VDT 機器を活用する教材やウェブサイト等のデジタルコンテンツを利用する機会は増加している。これまでの VDT 作業に関する研究において、作業時間、休止時間の有無、画面と眼の距離、画面の高さ、文字の見やすさ、グレアの有無、室内の気流、照明条件、作業姿勢等が身体的疲労感に関連すること、また、画面における文字の表示モード（陽画表示と陰画表示）は好ましさと疲労に影響を与えることが報告されている（阿部ら 1985、岩切ら 2004、森本ら 1986、Lin ら 2008）。また、画面の読みやすさには、文字色と背景色の組み合わせによる明度差やコントラストが大きく影響することが報告されている（Bruce ら 1982、Hill ら 1997）。片山ら（2009）による大学生を対象としたコンピュータ活用の実態に関する調査では、コンピュータ画面上の問題点と身体的疲労感とに関連が認められ、画面上の色彩条件に関わる複数の問題点が確認された。VDT 作業時における視認性及び疲労度への影響について、戸梶（2001）は、ディスプレイ上の文字色と背景色の色彩的組合せによっては、VDT 作業時の視認性と疲労度に悪影響があることを示している。しかし、コンピュータ OS のバージョンアップ及び VDT 製品の技術開発等によって、先行研究で用いられた表示可能色数等の条件が、現在の機器に該当しない場合もあるため、現在の VDT 画面における文字表示のための適切な条件を数値として明示するには至っていないのが現状である。

そこで、本章では、現在主として用いられる液晶ディスプレイ (TFT-LCD) 製品における文字と背景の明度に着目した。ここで表示可能な色数は 1600 万色を超えるが、本章では、一般的なテキスト表示において使用される無彩色による陽画表示画面 (ポジティブモード: 文字より背景の明度が高い条件) を用いて、明度差条件と作業効率及び疲労感との関連について検討した。

2.2. 実験方法

2.2.1. 明度差条件の設定

本研究では、無彩色で明度の異なる白、グレー7色、黒の計9色を設定した (表 2.1)。明度差は、HLS カラーモデルによる明度 L 値の階調の差を用い、L 値 (0~255) の 256 階調を 8 等分した 32 階調とした。これらの 9 色を用い、文字と背景の明度差の異なる 8 条件 (陽画表示 条件①から⑧) を設定した (図 2.1~図 2.9、表 2.2)。条件①から条件⑧の文字は全て黒 (L=0) とし、条件①の背景は最大明度差となる白 (L=255) とした。条件②より背景色の明度値を 32 ずつ下げ、条件⑧は最小明度差の 32 となる。HLS カラーモデルは Microsoft Windows アプリケーション等で採用されている色空間の表現方式の一つで、色相 (hue)、明度 (value)、彩度 (chroma) を 3 要素とするマンセル表色系に基づき、その一部を改変した色表現である (日本色彩研究所 2004) (図 2.10)。なお、表 2.1 に示すように HLS カラーモデルにおける色相 (Hue)、明度 (Lightness)、彩度 (Saturation) を示す H、L、S の各値は RGB 各値と互換可能である。陽画表示 8 条件のうち①から⑤の 5 条件は、WCAG2.0 によるレベル AA 基準のコントラスト比 4.5:1 に適合する明度差条件 (以下、基準内条件と記す) である。

WCAG2.0 において定義されるコントラスト比は sRGB 色空間における RGB 値により算出される。sRGB 色空間は IEC (国際電気標準会議) が定めた国際標準規格である (田島 1997、IEC 61996-2-1 1999)。

WCAG2.0 のコントラスト比算出に関する記述には「相対輝度 (Relative Luminance)」が用いられるが (日本規格協会情報技術標準化研究センター2009)、これは VDT 画面上における光源色としての実測輝度ではなく、ウェブコンテンツの文字と背景のコントラスト比を算出するための値であり、設定された各色の RGB 値 (0~255) を用いて以下のように規定される。

コントラスト比 $(L_1+0.05)/(L_2+0.05):1$

L_1 : 明るい方の色の相対輝度, L_2 : 暗い方の色の相対輝度

$L=0.2126*R+0.7152*G+0.0722*B$

if $R_{sRGB} \leq 0.03928$ then $R=R_{sRGB}/12.92$

else $R=((R_{sRGB}+0.055)/1.055)^{2.4}$

if $G_{sRGB} \leq 0.03928$ then $G=G_{sRGB}/12.92$

else $G=((G_{sRGB}+0.055)/1.055)^{2.4}$

if $B_{sRGB} \leq 0.03928$ then $B=B_{sRGB}/12.92$

else $B=((B_{sRGB}+0.055)/1.055)^{2.4}$

$R_{sRGB}=R_{8bit}/255$

$G_{sRGB}=G_{8bit}/255$

$B_{sRGB}=B_{8bit}/255$

WCAG2.0 に定義されるコントラスト比は 1:1 から 21:1 の範囲となる。明度値が最大である白 ($H=0$ $L=255$ $S=0$, $R=255$ $G=255$ $B=255$) と明度値が最小である黒 ($H=0$ $L=0$ $S=0$, $R=0$ $G=0$ $B=0$) との組み合わせの場合、コントラスト比は最大の 21:1 である。表 2.2 に示すように、条件①から⑧のコントラスト比は 1.3:1 から 21:1 である。

また、本研究で用いた明度 9 条件 (白、グレー 7 条件、黒) の CIE XYZ 表色系による色度を色彩輝度計 (図 2.11) で測定した。 XYZ 表色系は、1931 年に CIE (国際照明委員会) が導入した標準表色系である (JIS Z 8701 1999)。 XYZ 表色系の特徴として、三刺激値 X 、 Y 、 Z のうち Y は測光量を示し、光源色の場合、輝度 (cd/m^2)

の実測値となる。XYZ表色系による輝度Yは非線形であり、RGB値による明度値と一致しないが、本実験の環境下において使用したVDT機器の画面上における輝度を参考値として表2.2に示す。

表 2.1 白、グレー、黒の HLS 値及び RGB 値

	HLS			RGB		
	色相 (H値)	明度 (L値)	彩度 (S値)	R値	G値	B値
白 N9	0	255	0	255	255	255
N8	0	223	0	223	223	223
N7	0	191	0	191	191	191
N6	0	159	0	159	159	159
N5	0	127	0	127	127	127
N4	0	95	0	95	95	95
N3	0	63	0	63	63	63
N2	0	31	0	31	31	31
黒 N1	0	0	0	0	0	0

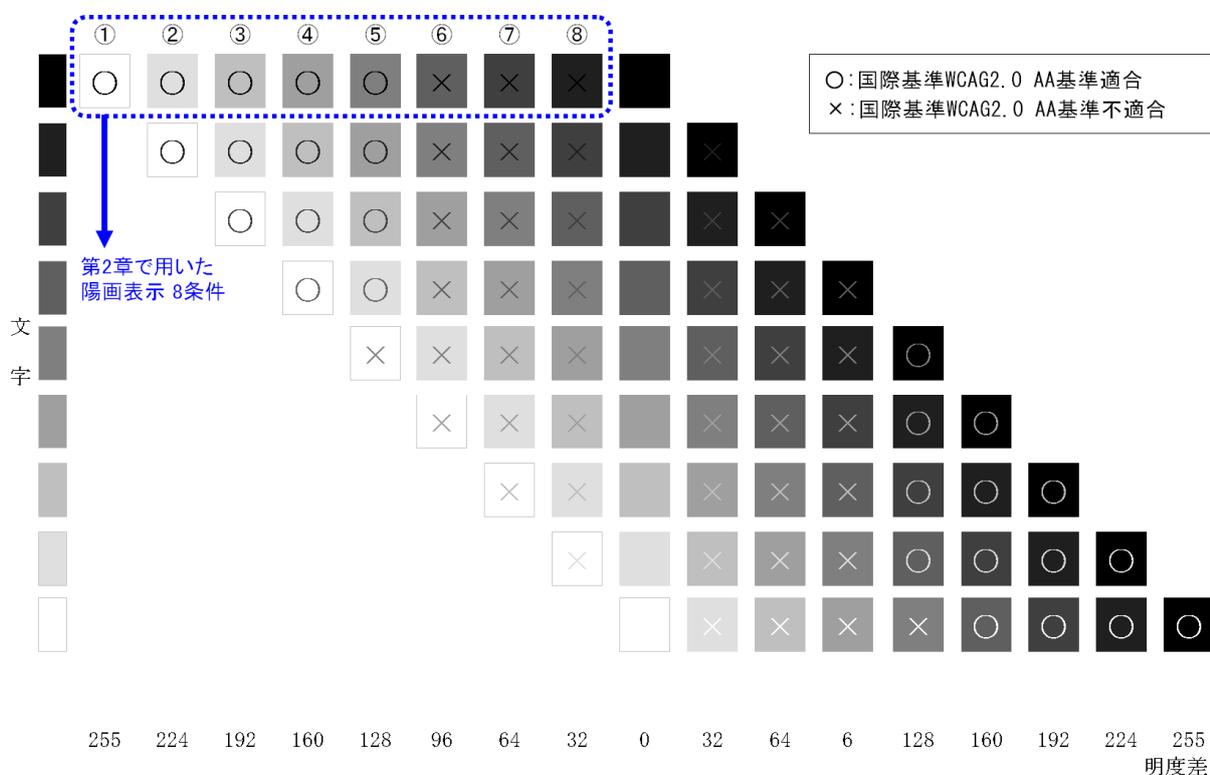


図 2.1 グレースケールによる文字と背景の明度差条件一覧

表 2.2 陽画表示 8 条件の明度及び色度

表示モードと条件		明度 (L値)	文字と 背景の 明度差 (階調の差)	コントラスト 比	色度(CIE XYZ表色系)			文字と 背景の Yの差	
					X	Y	Z		
文字(黒)		0	—	—	0.1	0.1	0.1	—	
陽 画 表 示	条件①	A	255	255	21.0:1	209.3	211.6	250.9	211.5
	条件②	A	223	224	15.8:1	155.0	157.5	200.9	157.4
	条件③	A	191	192	11.4:1	105.0	107.9	138.9	107.8
	条件④	A	159	160	7.9:1	68.9	71.8	90.0	71.7
	条件⑤	A	127	128	5.2:1	42.3	44.6	53.7	44.5
	条件⑥	A	95	96	3.3:1	22.2	23.8	28.0	23.7
	条件⑦	A	63	64	2.0:1	8.8	9.6	10.8	9.5
	条件⑧	A	31	32	1.3:1	1.6	1.8	2.0	1.7

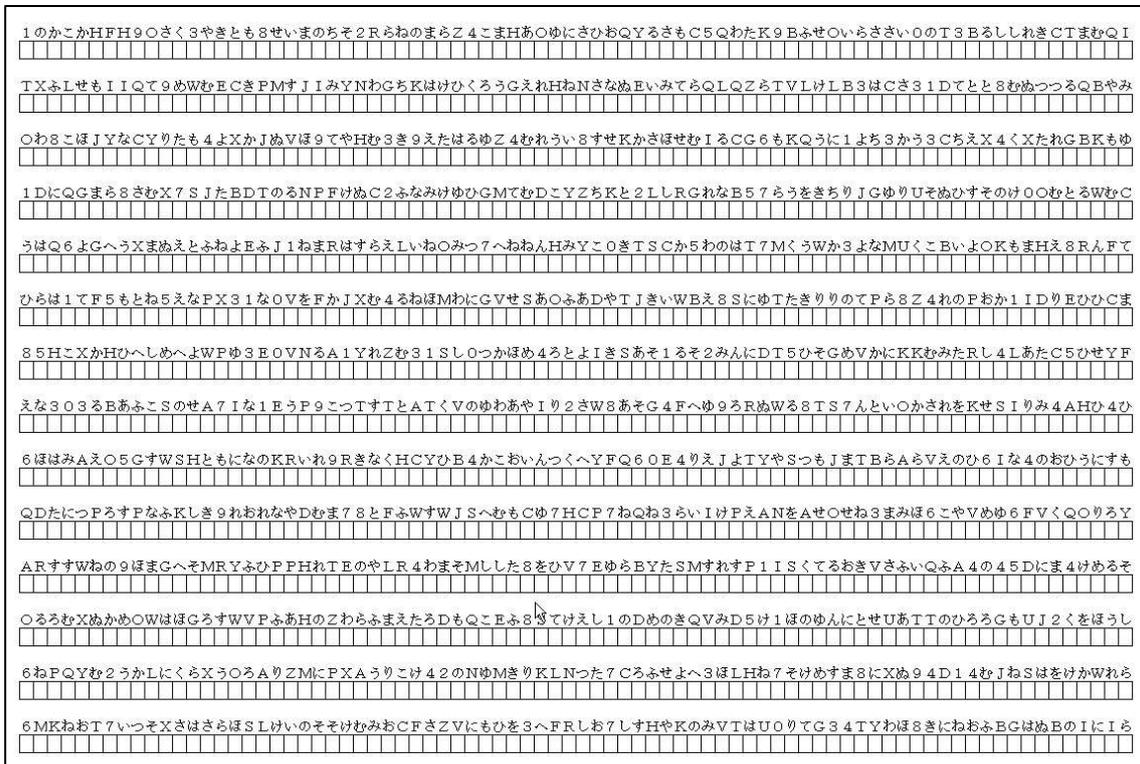


図 2.2 陽画表示 条件① 明度差 255



図 2.3 陽画表示 条件② 明度差 224

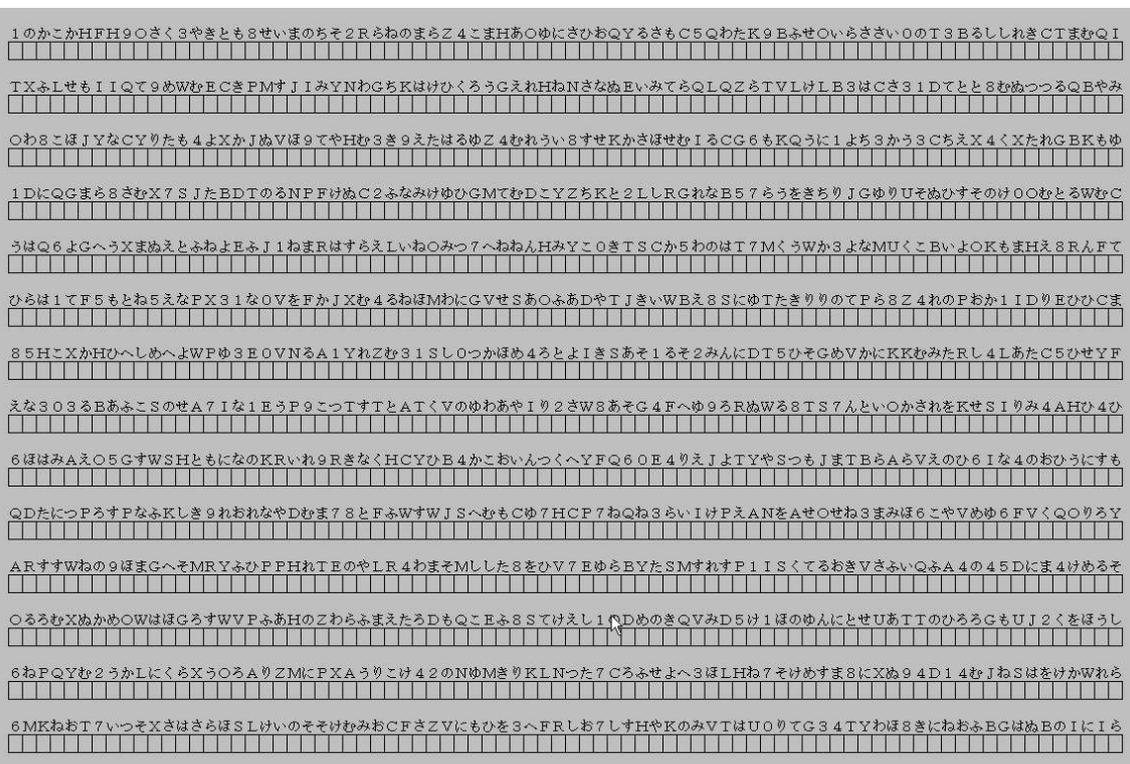


図 2.4 陽画表示 条件③ 明度差 192

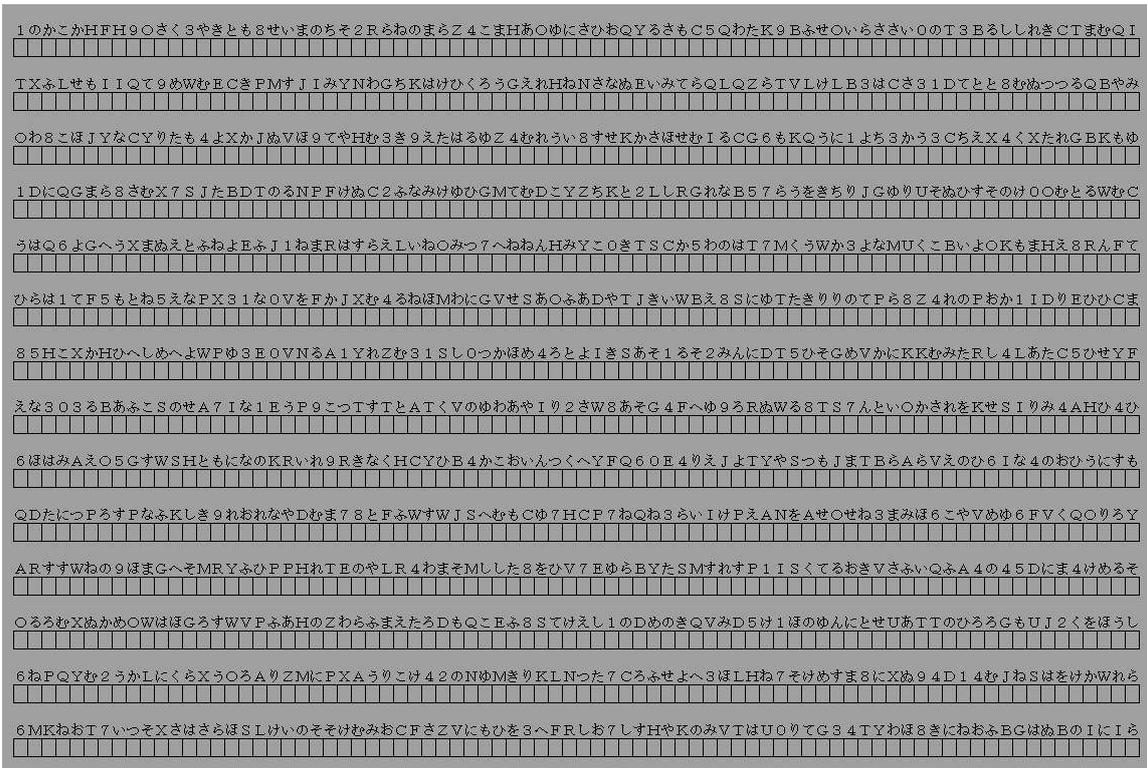


図 2.5 陽画表示 条件④ 明度差 160

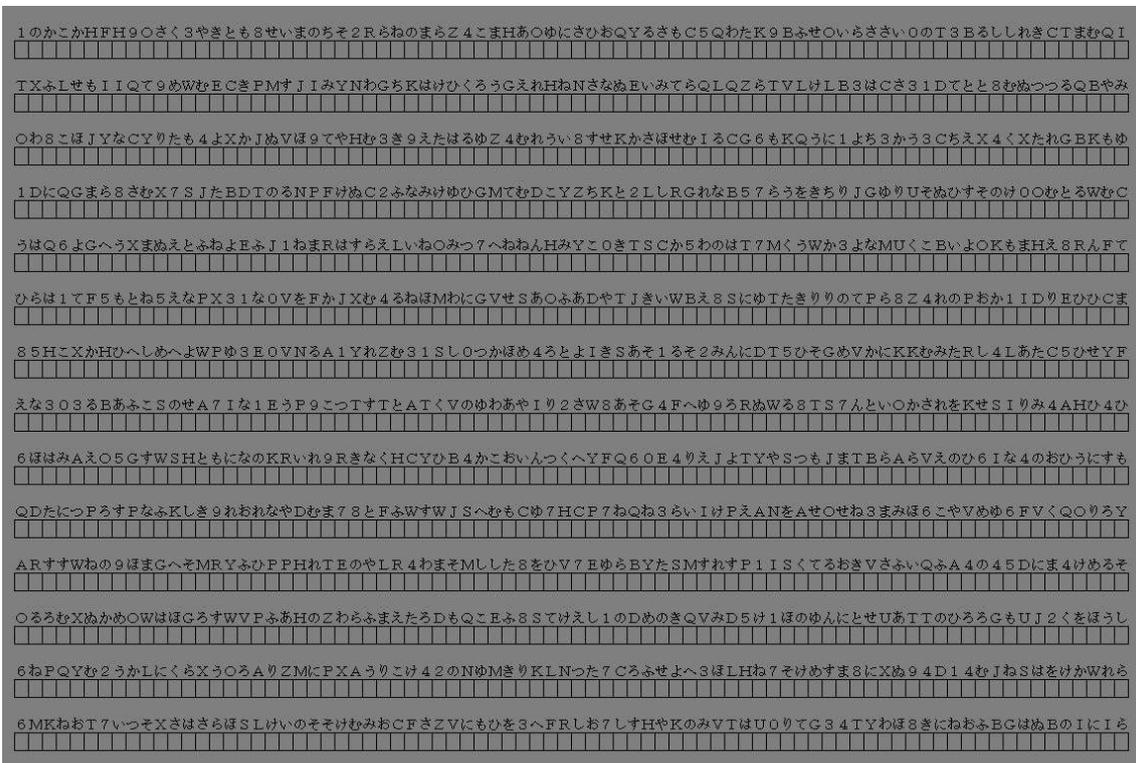


図 2.6 陽画表示 条件⑤ 明度差 128

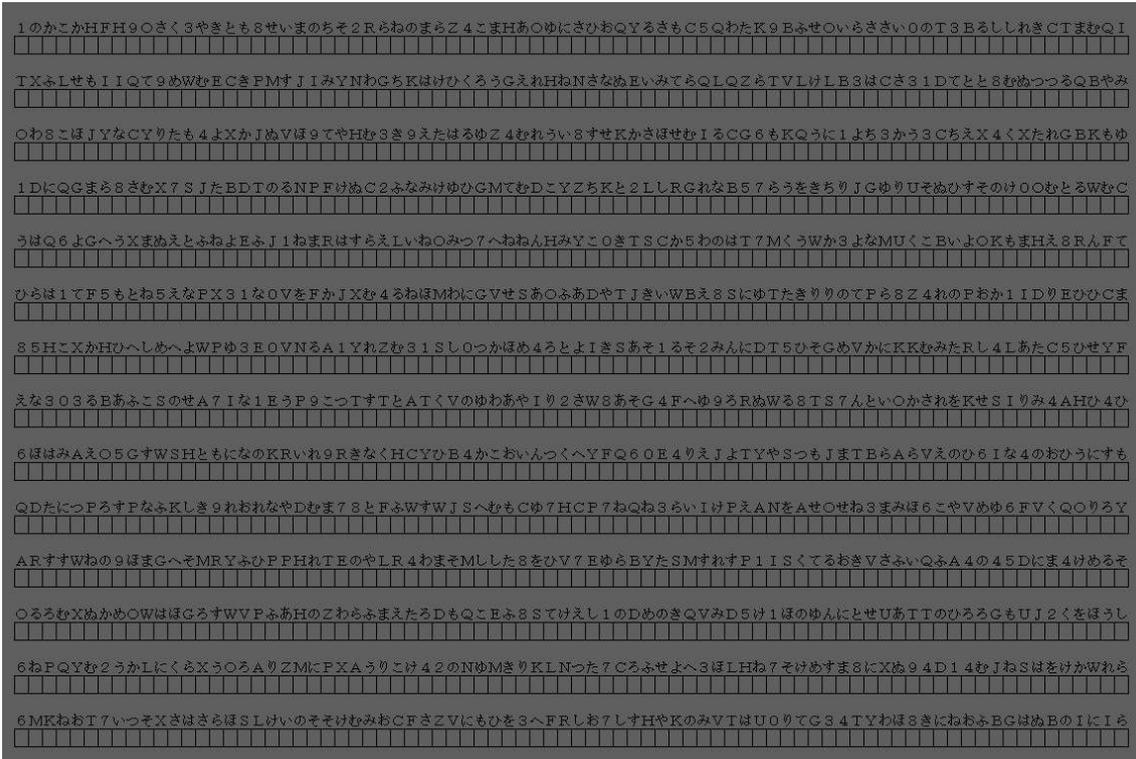


図 2.7 陽画表示 条件⑥ 明度差 96

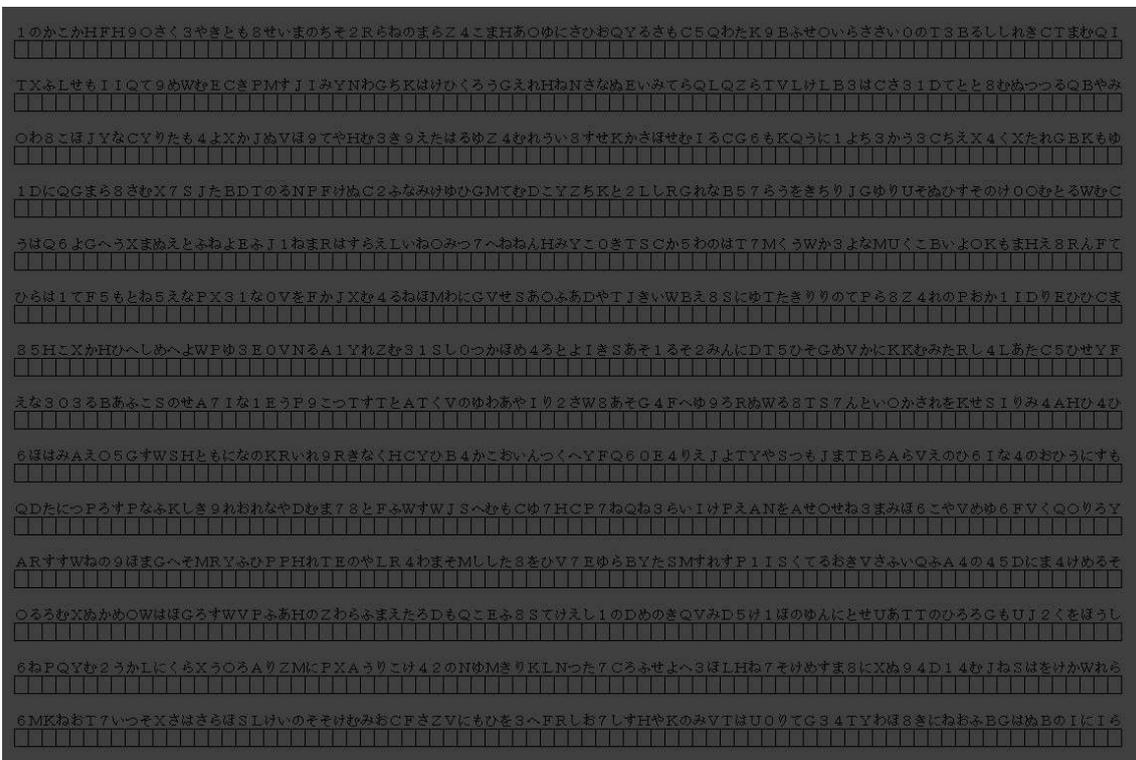


図 2.8 陽画表示 条件⑦ 明度差 64

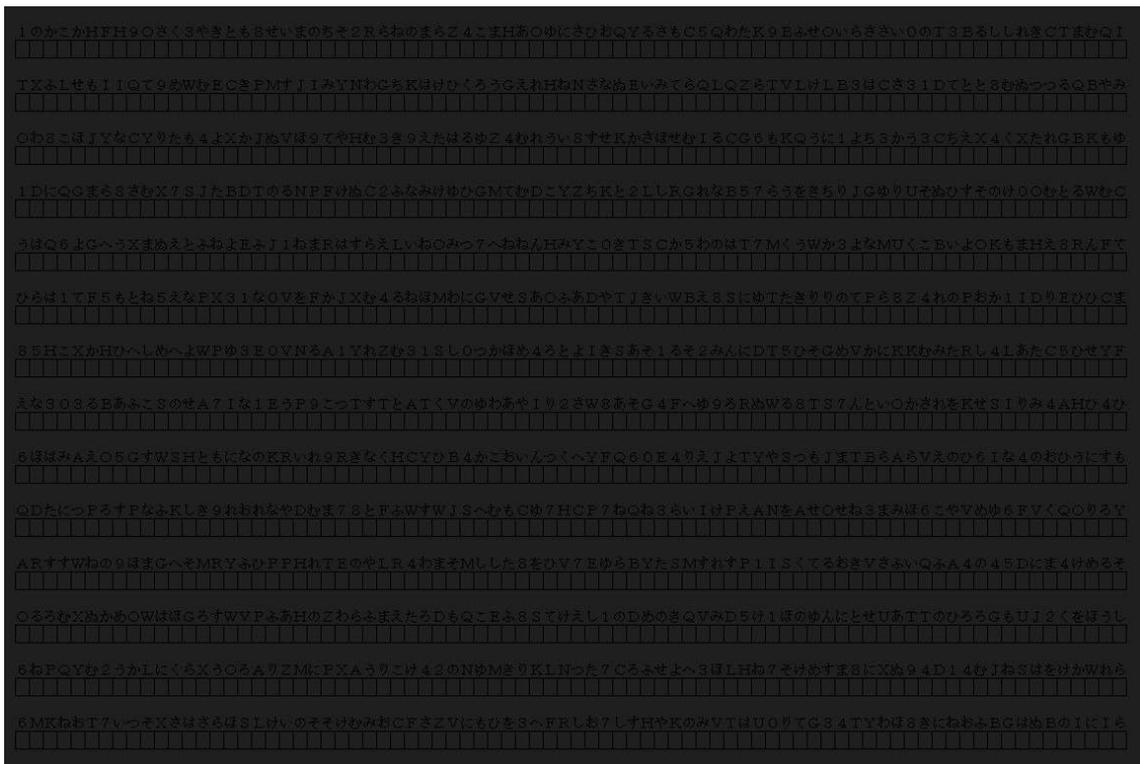


図 2.9 陽画表示 条件⑧ 明度差 32

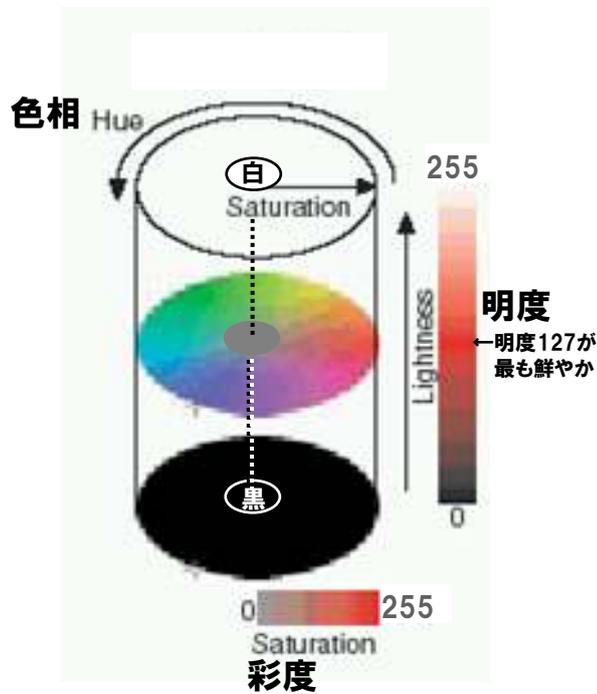


図 2.10 HLS カラーモデル



図 2.11 色彩輝度計

マルチメディアディスプレイテスタ 3298F (YOKOGAWA)

2.2.2. 実験時期、場所、対象者、方法

実験は、2009年3月、11月16:00~19:00、全8日間にわたり長崎県で実施した。対象は、男子大学生16名（年齢：平均19.5歳、SD0.6歳、視力：裸眼又は矯正視力0.8~1.0）であった。画面の明度条件による影響を調べる目的から、連続作業の繰り返しによる停滞期及びサーカディアンリズム（概日リズム）による影響を考慮し、実験は1日の同一時間帯に1条件とした。各被験者は、8日間の実験期間中、同一座席端末を用いた。実験環境、VDT作業課題、実験手順を以下に記す。

(1) 実験環境：大学内情報演習室

- ・気温：平均24℃ SD0.4℃、相対湿度：平均57% SD5.3%（測定機器：DRETEC デジタル温湿計 0-206）
- ・照度：キーボード上平均700lx SD100lx、ディスプレイ画面上（画面中央）平均600lx SD100lx（測定機器：TOPCON ILLUMINATION METER IM-2D）
- ・視距離：約40cm、文字高：3mm（MS明朝、10.5ポイント）
- ・ディスプレイ：NEC LCD17VM(WH) 17インチ薄型液晶ディスプレイ

イ (sRGB 対応)、表示画素数 1280×1024、輝度標準値 270cd/m² (製品仕様書記載値)

- ・ コンピュータ : NEC PC-MY18AEZE4 (OS : Windows Vista)

厚生労働省による「VDT 作業における労働衛生管理のためのガイドライン」により、ディスプレイ画面上における照度は 500lx 以下 (ディスプレイ画面から発する光の明るさではなく、ディスプレイ画面に入射する光の明るさのこと。) と規定されている。本実験におけるディスプレイ画面上の照度 (平均 600lx) はこの基準に適合しないが、教育機関を対象とするガイドラインが策定されていない現状のため、大学生の VDT 作業実態に即した調査として既存の大学施設による照度を採用した。画面との視距離、文字高は、「VDT 作業における労働衛生管理のためのガイドライン」に準拠した。身体固定による VDT 作業は困難であり、大学生の VDT 使用の実態に即した環境における影響を調査することから、被験者の身体は固定せず、作業中は画面と目の距離が約 40cm となる姿勢を保つよう実験前に被験者へ説明した。

(2) VDT 作業課題 : 全角文字のアルファベット、数字、ひらがながランダムに表示された文字列 (1 行 80 文字、指定文字の出現率 4.0%) を見て、指定された 3 個の文字 (アルファベット、数字、ひらがなの各 1 種より 1 個) に「1」を、それ以外に「0」を入力する 30 分間の作業。

大学生を対象としたコンピュータ活用の実態調査において、1 日平均使用時間が 30 分未満及び 1 時間以内の VDT 利用者においても疲労を感じるという回答がみられ、非情報系学科の学生は作業時間と目の疲労感とに関連が認められた (片山ら 2009)。このため、本研究の VDT 作業時間の設定にあたっては明度差条件による影響の違いを検討する目的から、作業時間の長さが疲労へ及ぼす影響を考慮し、短

時間の作業時間を設定した。また、教育機関における 1 時限（45 分から 90 分間）の授業時間中の一部に VDT 作業が取り入れられるケースを想定し、授業時間内には教員による解説等、講義形式の時間帯も必要であることから、作業中に休憩時間を挟まない 30 分間の連続作業と設定した。VDT 作業の様子を図 2.12 に示す。

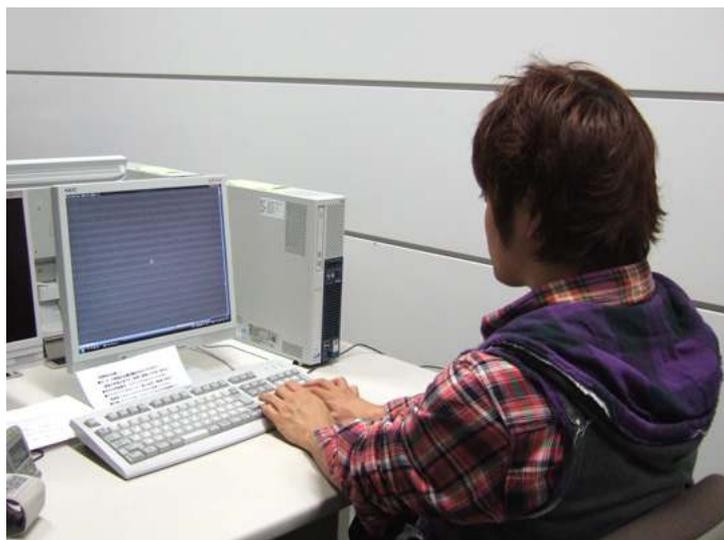


図 2.12 VDT 作業の様子

(3)実験手順：図 2.13 に示すように、15 分間の椅子安静の後、生理指標（収縮期血圧、拡張期血圧、心拍数、CFF 値）を測定し、「自覚症しらべ」を用いて疲労に関する症状を回答してもらった。30 分間の VDT 作業を行った後、作業前と同様に、生理指標（収縮期血圧、拡張期血圧、心拍数、CFF 値）を測定し、「自覚症しらべ」を用いて疲労に関する症状を回答してもらった。各条件の呈示順による影響が出ないように、条件①から⑧は各被験者に対してランダムに呈示した。実験最終日に、8 条件の各画面に対するイメージ評価を回答してもらった。

座位 安静 15min	測定 ・血圧、心拍 ・CFF値 ・自覚症 しらべ	VDT作業(文字検出) 30min	測定 ・血圧、心拍 ・CFF値 ・自覚症 しらべ	画面の イメージ 評価 (最終日)
-------------------	--------------------------------------	----------------------	--------------------------------------	----------------------------

図 2.13 実験プロトコル

2.2.3. 実験内容

実験は、次の(1)～(4)の内容について実施した。

(1) 作業効率（作業量、誤入力率）

本研究では、教育機関における授業時間中（1コマ45分から90分）において一定時間のVDT作業を取り入れる場合を想定した。授業時間内には教員による解説等の時間帯も必要であることから、教員の指示により学習者のVDT作業時間は一定となると考え、同一時間条件に発生した誤入力の割合として、各被験者の作業量に対する誤入力率を用いた。

(2) 生理指標（収縮期血圧、拡張期血圧、心拍数、CFF値）

収縮期血圧、拡張期血圧、心拍数は、デジタル自動血圧計（図2.14）により測定した。CFF値は、フリッカー測定器（図2.15）により測定し、赤色LEDを用い下降法にて3回測定した平均値を測定値とした。



図 2.14
デジタル自動血圧計 HEM-650
(OMRON)



図 2.15
フリッカー測定器ハンディフリッカー
FK-II (NEITZ)

(3) 心理評価（疲労感）

疲労感は、「自覚症しらべ」(城 2002) を用い、I 群（ねむけ感）、II 群（安定感）、III 群（不快感）、IV 群（だるさ感）、V 群（ぼやけ感）の全 5 群における各症状について作業前と作業後に 5 段階（1. まったくあてはまらない、2. わずかにあてはまる、3. すこしあてはまる、4. かなりあてはまる、5. 非常によくあてはまる）で評価してもらった。各群の症状は、以下の 25 症状である。

I 群（ねむけ感）

- ・あくびがでる　・ねむい　・やる気がとぼしい
- ・全身がだるい　・横になりたい

II 群（安定感）

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

III 群（不快感）

- ・頭がおもい　・気分がわるい　・頭がいたい
- ・頭がぼんやりする　・めまいがする

IV 群（だるさ感）

- ・肩がこる　・手や指がいたい　・腕がだるい　・腰がいたい
- ・足がだるい

V 群（ぼやけ感）

- ・目がいたい　・ものがぼやける　・目がつかれる
- ・目がしょぼつく

(4) 画面に対するイメージ評価

全条件の作業終了後、8条件の各画面に対するイメージ評価として、4組の形容詞対（1.見やすい－見づらい、2.読みやすい－読みづらい、3.美しい－醜い、4.派手な－地味な）について5段階で評価してもらった。各形容詞対の中央を「どちらでもない」、両側にむかって「やや」、「非常に」という尺度を設定した。

なお、本章の実験は、長崎県立大学一般研究倫理委員会の承認を受けて遂行した。

2.2.4. 分析方法

作業量、誤入力率及び生理指標測定値（収縮期血圧、拡張期血圧、心拍数、CFF値）は、外れ値による影響を受けにくくするために、測

定値の最大値と最小値を除く修正平均（トリム平均）を用いた。統計処理は SPSS Ver. 17.0 for Windows を用いた。

- (1) 作業量と誤入力率については、条件の違いによる平均値の差をみるために 8 条件間の一元配置分散分析を行い、有意差がみられた場合について Tukey 法による多重比較を行った。
- (2) 収縮期血圧、拡張期血圧、心拍数、CFF 値については、各条件における作業前後の平均値の差をみるために対応のある t 検定を行った。CFF 値については、作業前後の変動率を求め、明度差条件の違いによる平均値の差をみるために、8 条件間の一元配置分散分析を行い、有意差がみられた場合について Tukey 法による多重比較を行った。
- (3) 疲労感については、各条件における作業前後の疲労評価スコアの平均値の差をみるために対応のある t 検定を行った。
- (4) 画面に対するイメージ評価の 8 条件間の比較は一元配置分散分析を行った。

2.3. 結果

2.3.1. 作業量と誤入力率について

各明度差条件の作業量を図 2.16 に示す。作業量の平均値が最も少なかったのは条件⑧で入力セル数 4437、次に条件⑦で入力セル数 4695 であった。一元配置分散分析の結果、8 条件間の作業量に明度差要因による有意な主効果は認められなかった。入力セル数平均値の差が最も大きかったのは、条件①と⑧の組み合わせで 569 セル、基準内条件である①と⑤の組み合わせにおける差は 263 セルであった。

各明度差条件の誤入力率を図 2.17 に示す。誤入力率の平均値が最も高かったのは条件⑧で 1.29%、続いて条件⑥で 1.03%、条件①で 0.89% であった。一元配置分散分析の結果、8 条件間の誤入力率に明度差要因による有意な主効果が認められた ($F(7, 104)=3.41, P<0.01$)。

その後の多重比較において、条件⑧と条件②、④、⑤、⑦との4つの組み合わせで誤入力率に有意差が認められた（②-⑧ $p < 0.01$, ④-⑧ $p < 0.05$, ⑤-⑧ $p < 0.05$, ⑦-⑧ $p < 0.05$ ）。

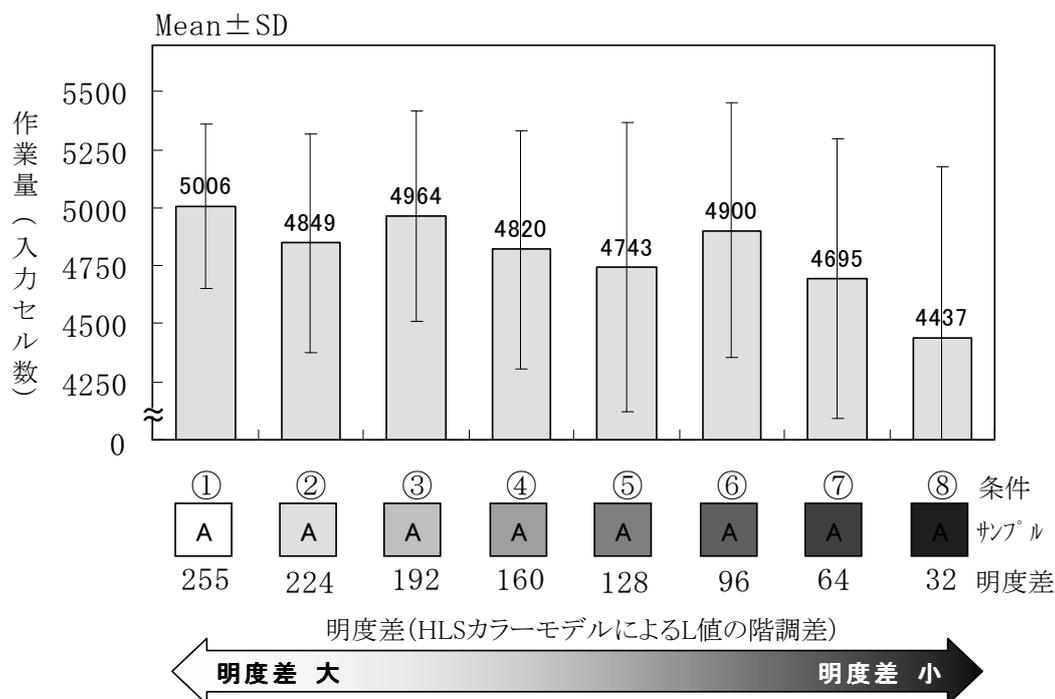


図 2.16 VDT 課題の作業量（陽画表示）

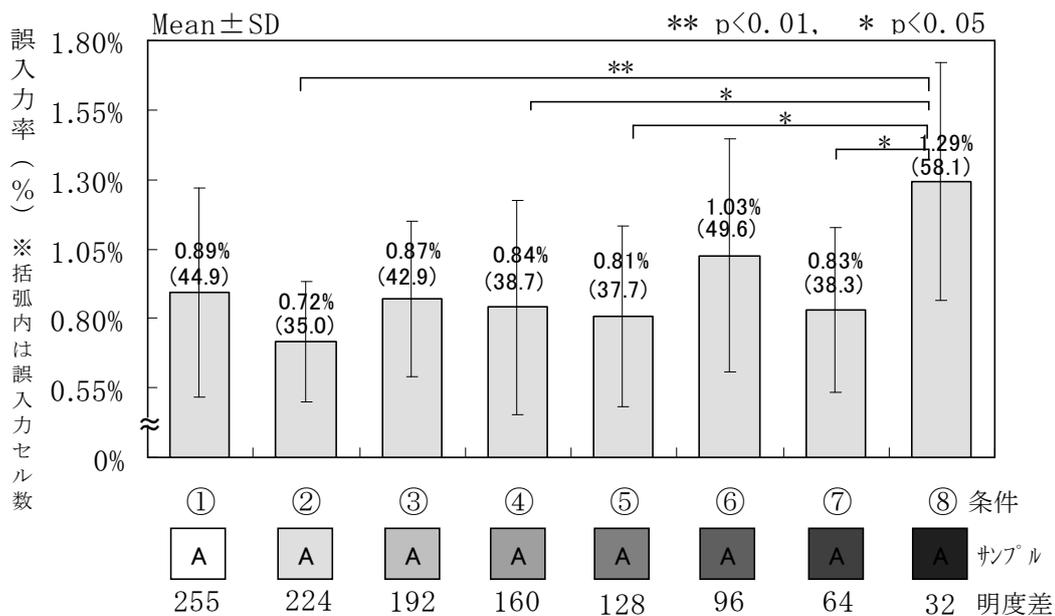


図 2.17 VDT 課題の誤入力率（陽画表示）

2.3.2. 作業前後の血圧・心拍数について

血圧及び心拍数は、動的筋作業等の作業活動や精神的緊張等により変動し、身体負担度の評価に用いられる場合がある。収縮期血圧及び拡張期血圧の測定値については、いずれの明度差条件においても作業前と作業後の測定値に有意差は認められなかった（図 2.18、図 2.19）。同様に心拍数についても、作業前と作業後の測定値に有意差は認められなかった。作業前と作業後の値の差については、収縮期血圧、拡張期血圧、心拍数とも、一元配置分散分析による 8 条件間での比較において明度差要因による有意な主効果は認められなかった。

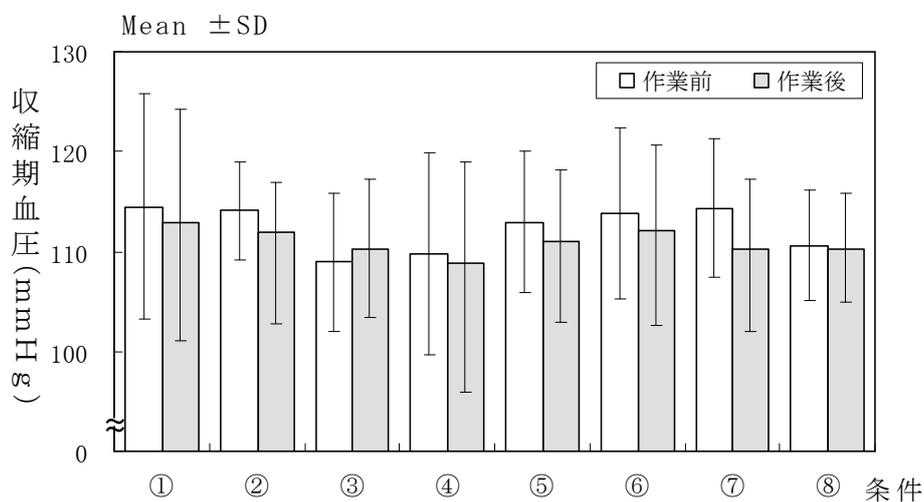


図 2.18 作業前後の収縮期血圧（陽画表示）

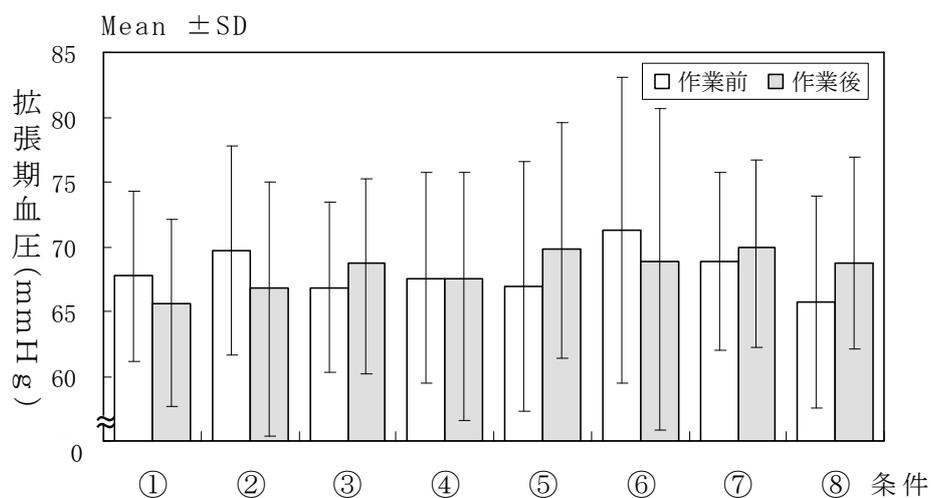


図 2.19 作業前後の拡張期血圧（陽画表示）

2.3.3. 作業前後の CFF 値について

CFF 値は、点滅光と点灯光を弁別する際の周波数閾値であり、疲労評価に用いられる指標のひとつである。VDT 作業後の CFF 値の低下が大きいことは、覚醒水準の減衰、知覚機能の低下が大きいことを示し、中枢疲労が大きくなると考えられる(市川ら 2006)。本研究では、明度差条件①、⑥、⑦、⑧の 4 条件において作業後の CFF 値が有意に低下した(条件①: $t(13)=3.140$, $p<0.01$, 条件⑥: $t(13)=2.500$, $p<0.05$, 条件⑦: $t(13)=3.710$, $p<0.01$, 条件⑧: $t(13)=4.830$, $p<0.001$) (図 2.20)。CFF の平常値は個人差が大きいため下記の式により CFF 値変動率を求めた。一元配置分散分析の結果、8 条件間の CFF 値変動率に明度差要因による有意な主効果が認められた ($F(7, 104)=2.97$, $P<0.01$)。その後の多重比較において、条件④と⑦、条件④と⑧の 2 つの組み合わせで CFF 値変動率に有意差が認められた (④-⑦ $p<0.01$, ④-⑧ $p<0.05$) (図 2.21)。

$$\text{CFF 値変動率 (\%)} = \frac{(\text{作業後 CFF 値} - \text{作業前 CFF 値})}{\text{作業前 CFF 値}} \times 100$$

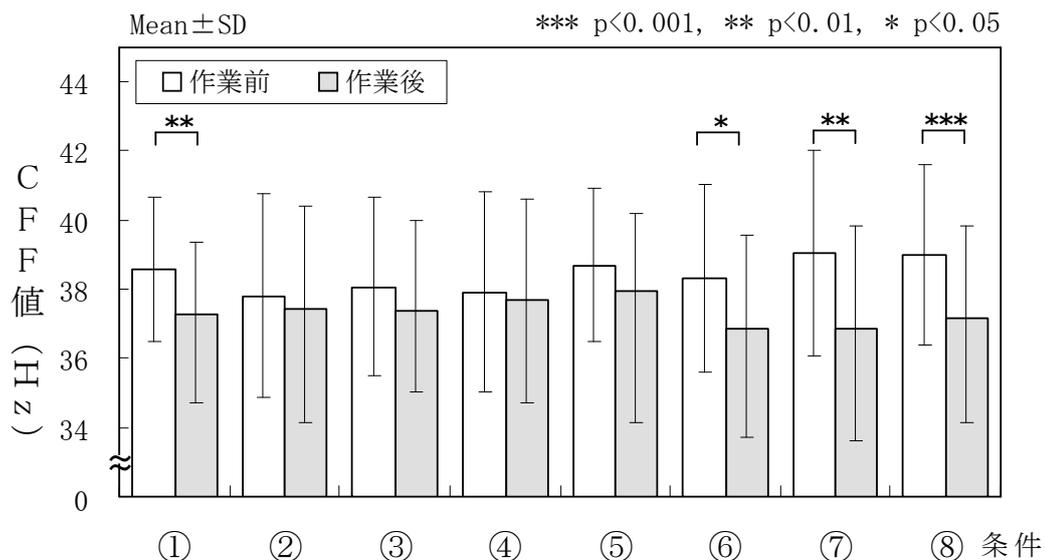


図 2.20 作業前後の CFF 値 (陽画表示)

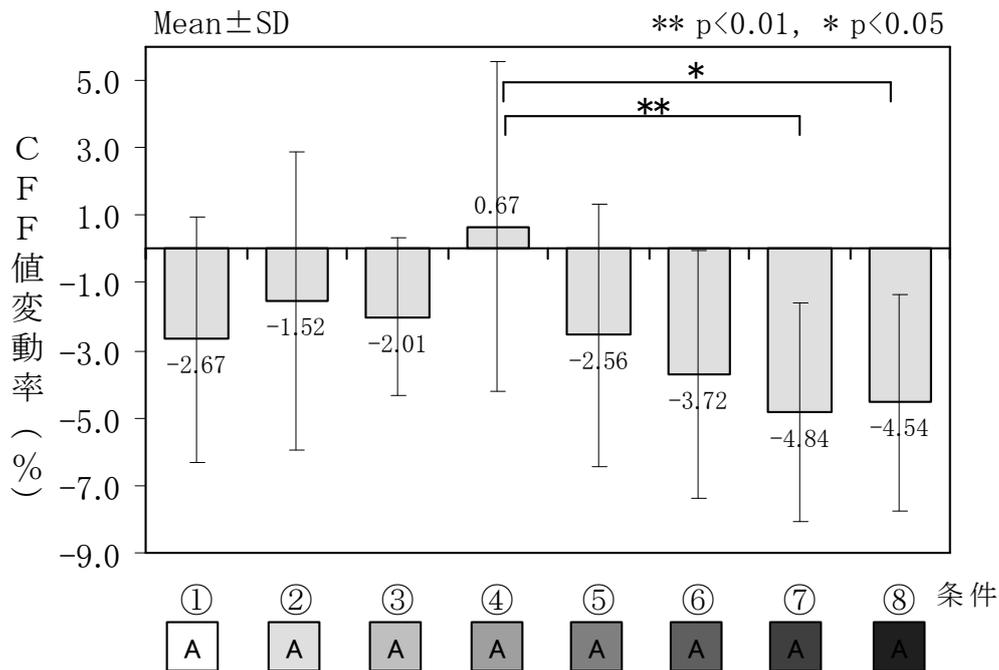


図 2.21 CFF 値変動率（陽画表示）

2.3.4. 疲労感の評価について

「自覚症しらべ」による作業前と作業後の疲労評価スコアの平均を条件ごとにプロットした。図 2.22 に示すように条件①では、全 5 群のうち V 群（ぼやけ感）の作業後のスコアが最も高かった。条件①では、25 項目の自覚症のうち 9 項目で作業前後のスコアに有意差が認められた。条件②では、II 群（不安定感）を除く 4 群（ねむけ感、不快感、だるさ感、ぼやけ感）における 12 項目で有意差が認められた（図 2.23）。条件③では、I から V の全ての群における 16 項目で有意差が認められた（図 2.24）。条件④では、I 群（ねむけ感）における作業前後のスコア差が比較的小さく、作業前後のスコアは 14 項目で有意差が認められた（図 2.25）。条件⑤では、V 群（ぼやけ感）に次いで I 群（ねむけ感）の症状で有意差が多く認められ、作業前後のスコアは 10 項目で有意差が認められた（図 2.26）。条件⑥では、I から V の全ての群における 18 項目で作業前後のスコアの

有意差が認められた（図 2.27）。条件⑦では、I 群（ねむけ感）を除く 4 群（不安定感、不快感、だるさ感、ぼやけ感）の 14 項目で有意差が認められた（図 2.28）。条件⑧では、I から V 群の 5 群全てにおいて有意差が認められ、特に I 群（ねむけ感）と V 群（ぼやけ感）においてスコアが上昇した症状が多くみられた。作業前後のスコアは 21 項目で有意差が認められた（図 2.29）。

条件別の程度をみるために、8 条件の作業前と作業後の疲労評価スコアに有意差のみられた項目数を表 2.3 にまとめた。有意差のみられた項目数が最も多かったのは条件⑧で 21 項目、次に条件⑥で 18 項目であった。有意差のみられた項目数が最も少なかったのは、条件①で 9 項目、次に条件⑤で 10 項目であった。8 条件とも、V 群（ぼやけ感）の全項目（目がかわく、目がいたい、ものがぼやける、目がつかれる、目がしょぼつく）において作業前後の疲労評価スコアに有意差がみられた。I 群（ねむけ感）では、基準内条件のうち条件②、③、④、⑤に有意差が認められた項目があるのに対して、条件①では有意差が認められる項目はなかった。

「自覚症しらべ」の I 群から V 群までの全 5 群のうち、作業前と作業後の疲労評価スコアに有意差のみられた項目数が最も多かったのは、目の疲労感を示す V 群（ぼやけ感）で 40 項目であった。各条件における V 群（ぼやけ感）総スコアの作業前後差を図 2.30 に示す。V 群（ぼやけ感）総スコアの作業前後の平均値の差が最も大きかったのは、条件⑧で 6.63、次に条件⑥で 5.56 であった。作業前後の平均値の差が最も小さかったのは条件②で 3.19 であった。8 条件間における V 群の総スコアの作業前後差については、一元配置分散分析の結果、明度差要因による有意な主効果は認められなかった。

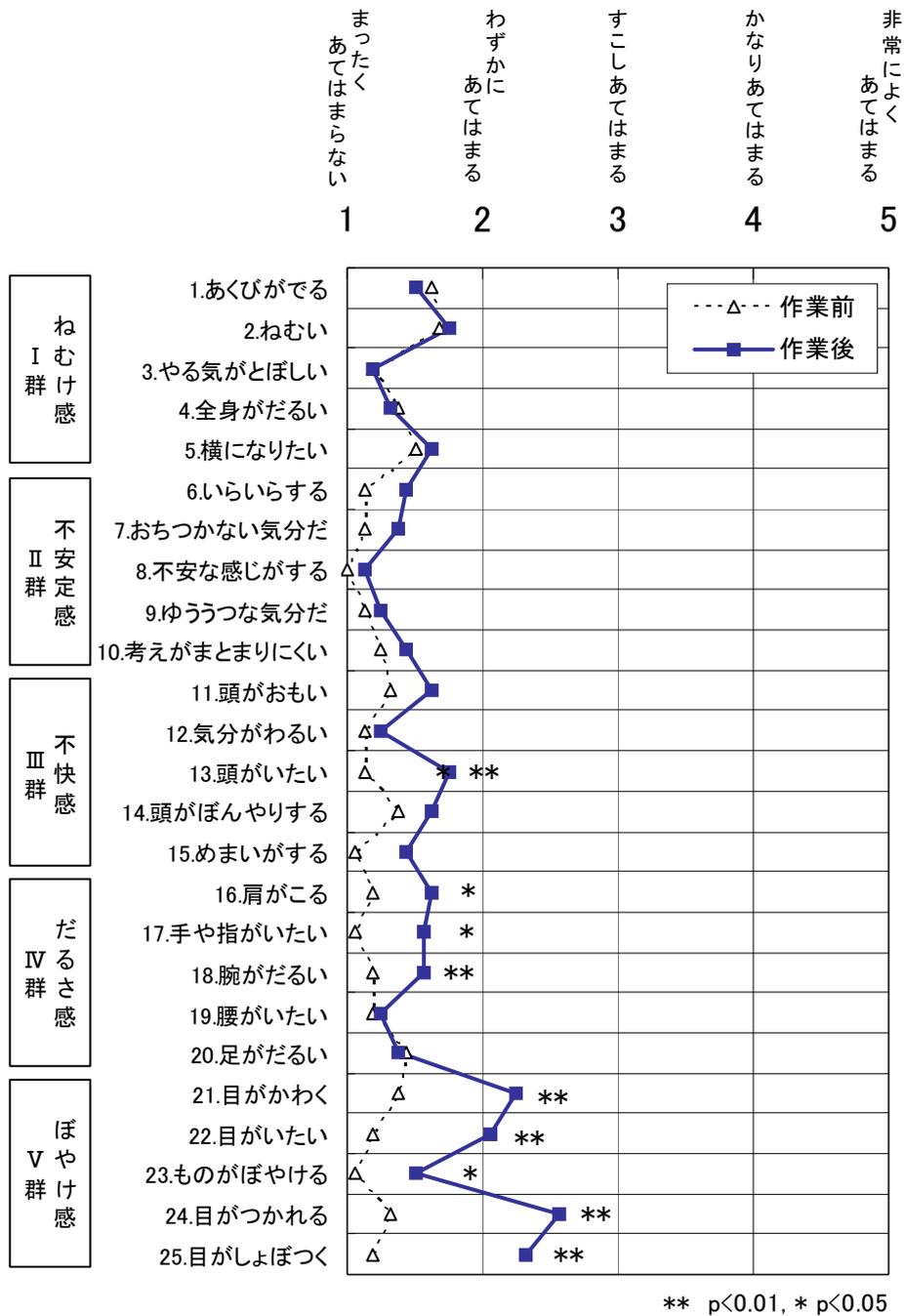


図 2.22 「自覚症しらべ」による疲労度の平均スコア
(陽画表示 条件①)

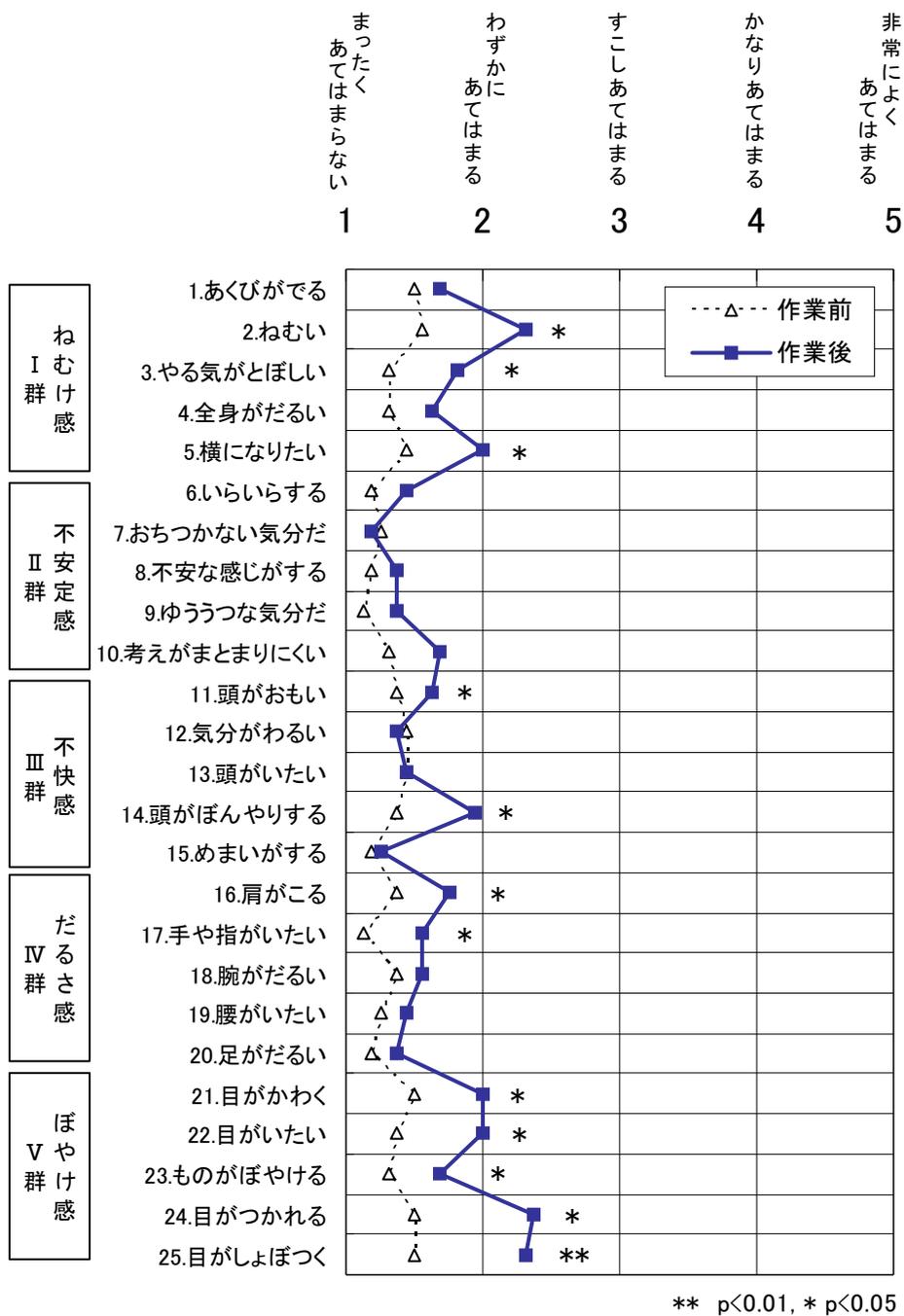


図 2.23 「自覚症しらべ」による疲労度の平均スコア
(陽画表示 条件②)

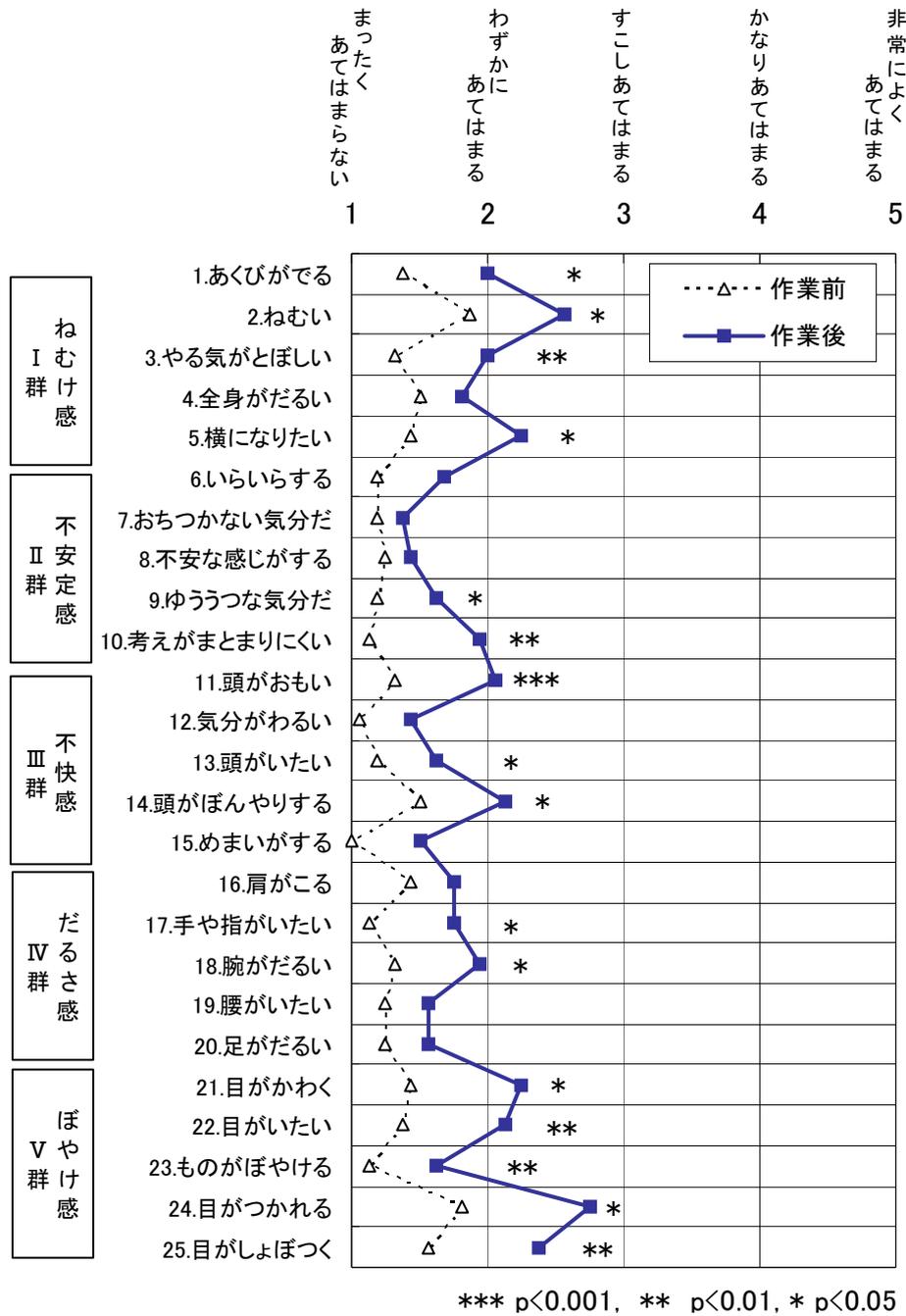


図 2.24 「自覚症しらべ」による疲労度の平均スコア
(陽画表示 条件③)

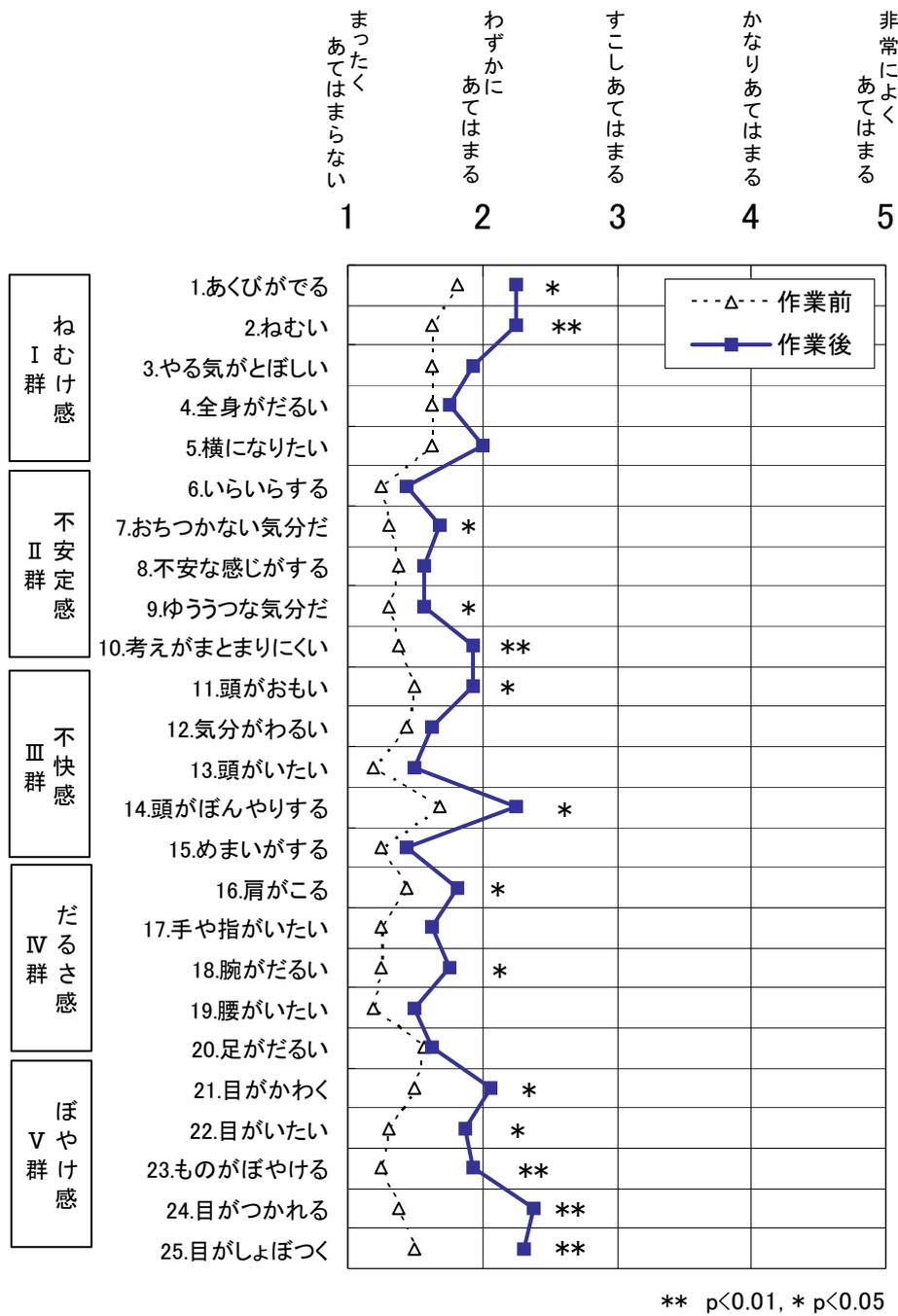


図 2.25 「自覚症しらべ」による疲労度の平均スコア
(陽画表示 条件④)

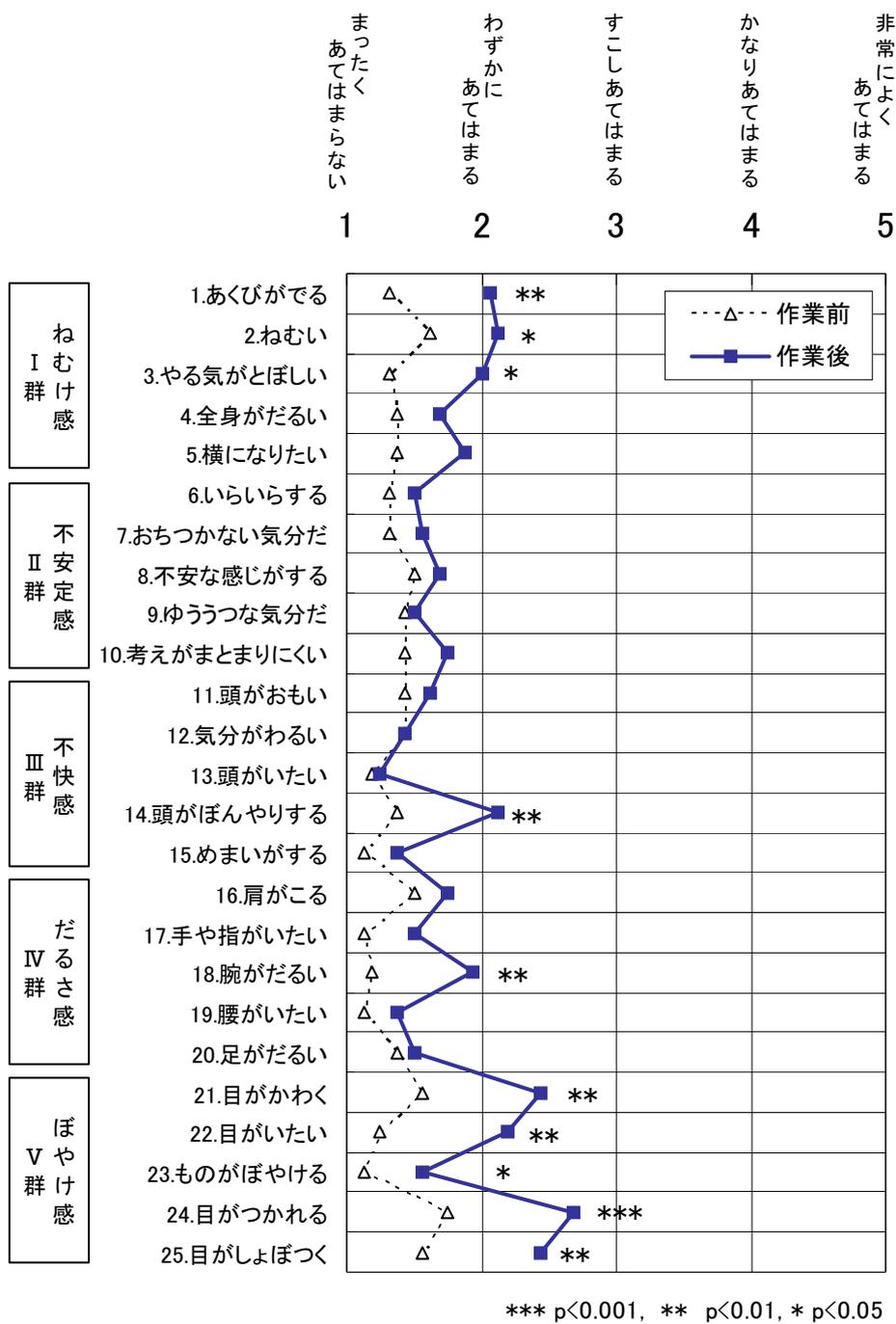


図 2.26 「自覚症しらべ」による疲労度の平均スコア
(陽画表示 条件⑤)

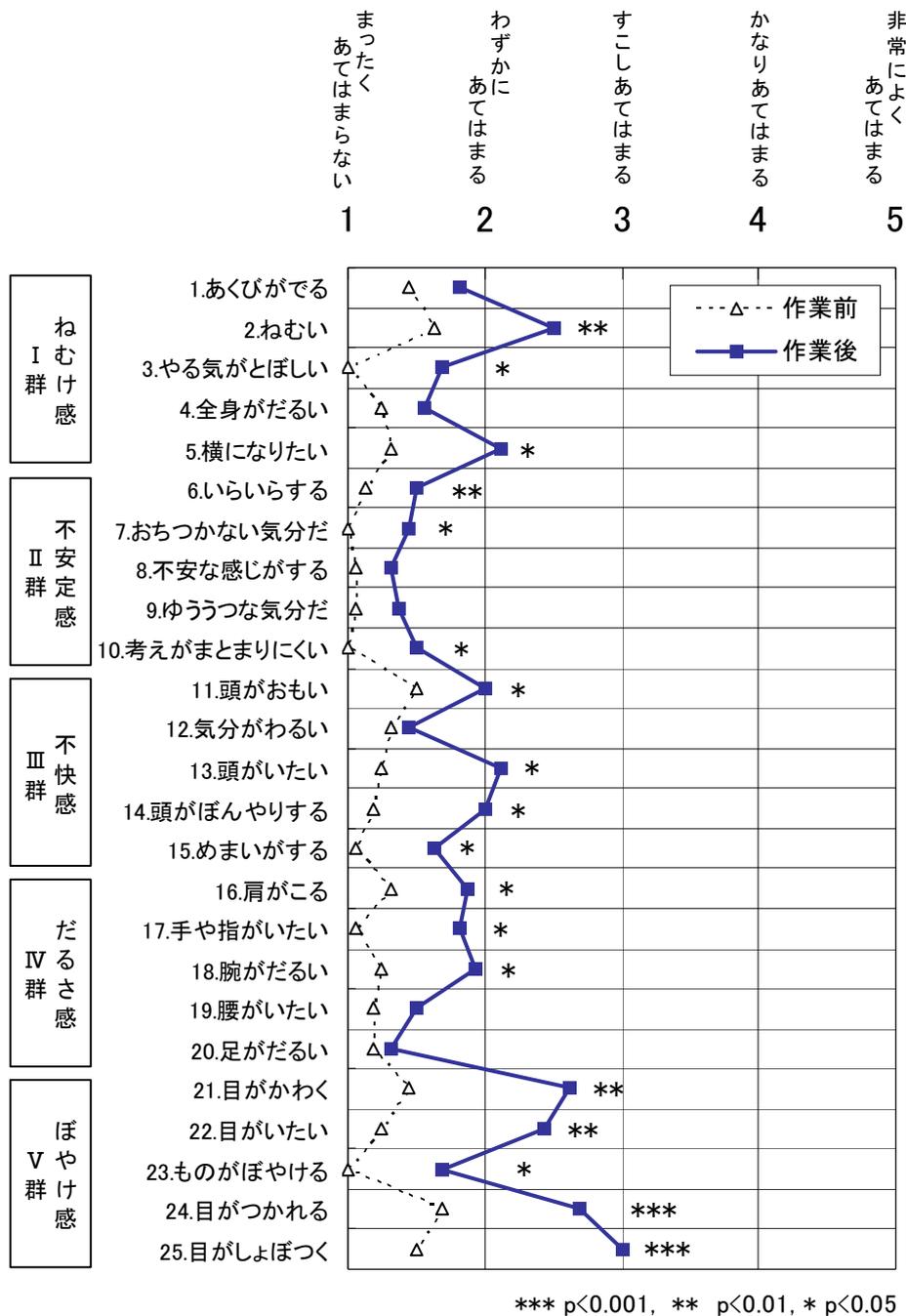


図 2.27 「自覚症しらべ」による疲労度の平均スコア
(陽画表示 条件⑥)

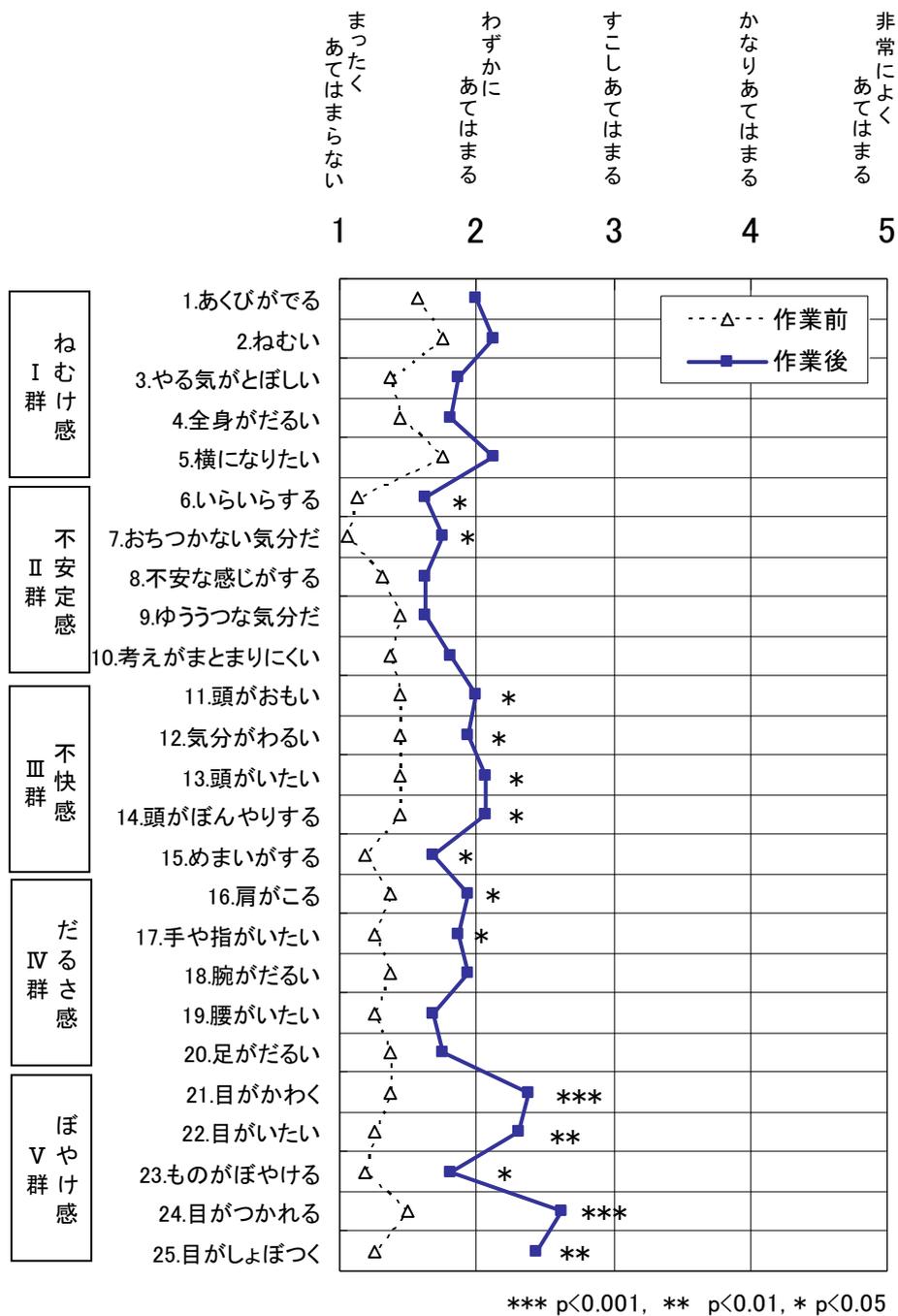


図 2.28 「自覚症しらべ」による疲労度の平均スコア
(陽画表示 条件⑦)

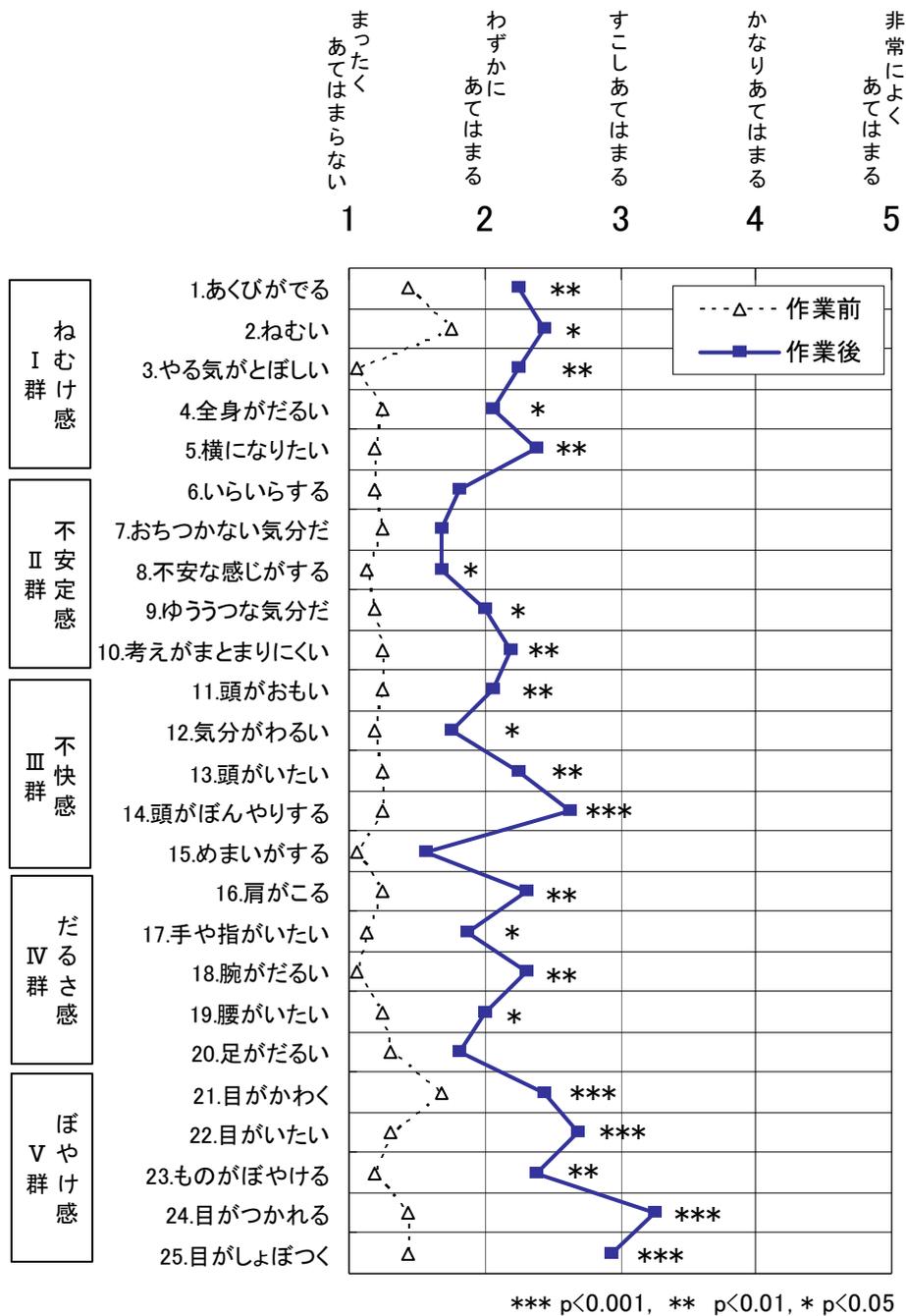


図 2.29 「自覚症しらべ」による疲労度の平均スコア
(陽画表示 条件⑧)

表 2.3 作業前と作業後の疲労度に有意差のみられた項目数
(陽画表示)

自覚症 \ 条件	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	計
	A	A	A	A	A	A	A	A	
I 群(ねむけ感)	0	3	4	2	3	3	0	5	20
II 群(不安定感)	0	0	2	3	0	3	2	3	13
III 群(不快感)	1	2	3	2	1	4	5	4	22
IV 群(だるさ感)	3	2	2	2	1	3	2	4	19
V 群(ぼやけ感)	5	5	5	5	5	5	5	5	40
計	9	12	16	14	10	18	14	21	114

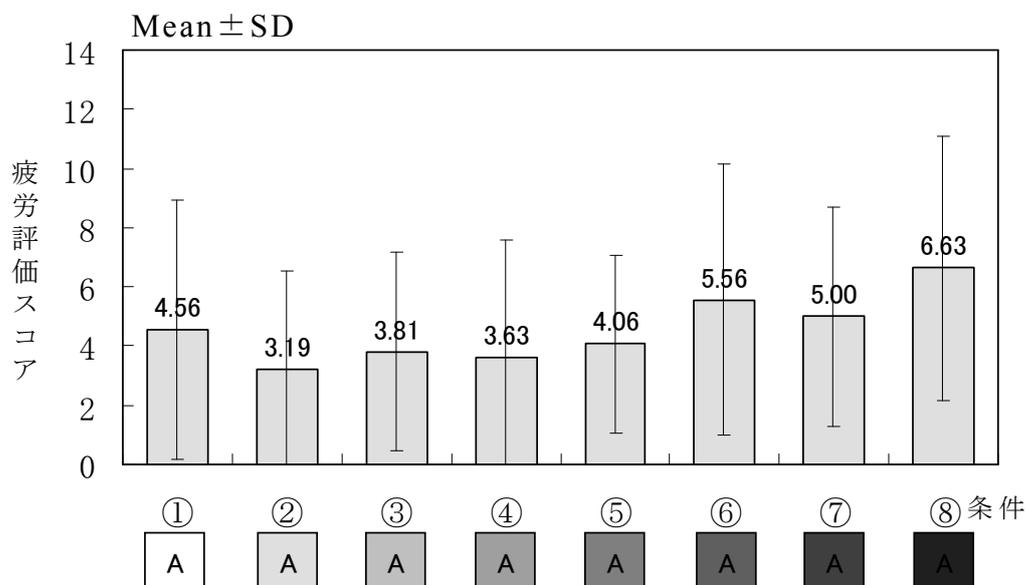


図 2.30 V 群 (ぼやけ感) 総スコアの作業前後差 (陽画表示)

2.3.5. 画面に対するイメージ評価について

全条件の VDT 課題作業終了後、各条件の画面に対して抱いたイメージの平均を求めた。図 2.31 はそのイメージプロフィールである。WCAG2.0 に適合しない条件⑥、⑦、⑧では、文字と背景の明度差が小さい条件ほど、見やすさ、読みやすさ、美しさ、派手さの 4 項目とも評価が低かった。見やすさ、読みやすさの評価平均値は条件②が

最も高く、条件①と③の評価は類似した。美しさ、派手さの評価平均値は条件①が最も高かった。一元配置分散分析の結果、8条件間の見やすさのイメージ評価に明度差要因による有意な主効果が認められた ($F(7, 120)=49.76, P<0.001$)。同様に 8条件間の読みやすさ、美しさ及び派手さのイメージ評価についても明度差要因による有意な主効果が認められた (読みやすさ: $F(7, 120)=40.45, P<0.001$, 美しさ: $F(7, 120)=34.32, P<0.001$, 派手さ: $F(7, 120)=22.67, P<0.001$)。

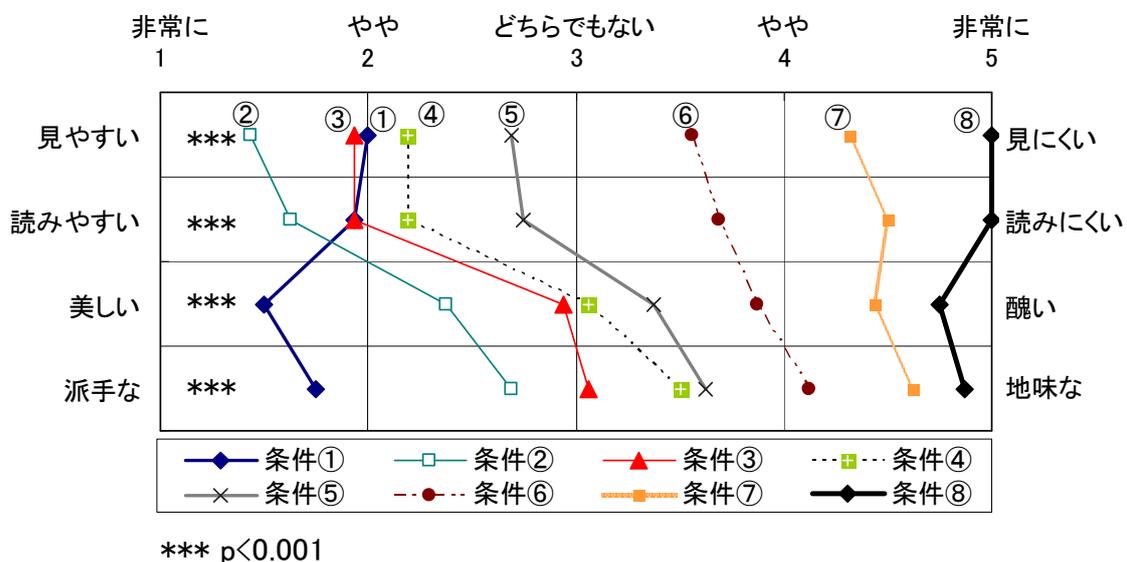


図 2.31 画面に対するイメージ評価 (陽画表示)

2.4. 考察

2.4.1. 明度条件と作業効率について

本章で用いた陽画表示の 8 明度差条件のうち、ウェブコンテンツアクセシビリティの国際基準 WCAG2.0 におけるレベル AA 基準のコントラスト比 4.5 : 1 に適合する条件は、条件① (明度差:255) から⑤ (明度差:127) であった。基準内条件である条件①から⑤において、作業量・誤入力率とも有意差は認められなかったことから、前述の WCAG2.0 によるコントラスト比が適切に設定されていることが推定

される。基準内条件のうち条件②、④、⑤は条件⑧に対して誤入力率が有意に低かったのに対して、条件①は条件⑧に対して有意差が認められなかった。これらのことから、一般的に初期設定として用いられることの多い黒文字（L 値:0）に対して明度差が最大となる白背景（L 値:255）より、わずかに明度差を落とした条件（L 値の差:159～223 前後）の方が作業効率の向上に適している可能性が推察される。条件①と⑤との作業量の差は30分間のVDT作業によるものであるが、長時間の作業になれば本結果より差が大きいと推測される。したがって、WCAG2.0に適合する場合においても明度条件は作業効率に影響を及ぼすことが考えられる。

教育機関のICT活用学習にて用いられる文書作成や表計算等のソフトウェア、eラーニング教材等の文字表示は、白背景に黒文字の表示が多くみられるが、これらの表示色を学習者や教員が変更することは難しい。VDT作業効率の向上を図るためには、VDT製品本体の設定輝度を下げる、またはソフトウェアの設定変更が可能な場合は白背景を明度が比較的高いグレーに変更する等の対策を講じることで改善される可能性がある。

2.4.2. 明度条件と生理指標による疲労度について

生理指標による疲労評価の結果、文字と背景の明度条件の違いは作業前後の血圧及び心拍数に影響を与えるほどではなかったと考えられる。ただし、明度条件以外に被験者の緊張や安堵等の心理変化による影響も考えられるため、測定方法について今後検討が必要である。CFF値については4条件で作業後のCFF値が有意な低値を示した。CFF値の低下は覚醒水準の減衰に起因する知覚機能の低下を反映し、視覚系を含む知覚連合皮質における視覚情報処理能力の減衰を表していると考えられている（橋本1963）。そのため、CFF値の変化は中枢疲労の判定に用いられることがある。本研究ではVDT作業後のCFF値が概ね低下する傾向がみられ、先行研究と一致した。基準内条件のうち条件④（明度差:160）のCFF値変動率は、基準外の条

件である⑦と⑧より有意に低かったことから、WCAG2.0に適合する明度条件は作業負担の軽減に有用であるといえる。ただし、基準内条件である条件①～⑤の5条件では、条件①のみ作業後のCFF値が有意な低値を示し、条件②～⑤では作業前後に有意な差はみられなかったことから、国際基準に適合する条件においてもCFF値による疲労評価は必ずしも一定せず、最大明度差の場合、他の条件より疲労度が増加する可能性があると考えられる。CFF値は、中枢疲労により低下することが報告されているが（西村ら1985）、自発的な興奮や外からの興奮刺激によって鋭敏に変化する生理学的特性があることから、CFF値の変動に対する他の要因についても考慮する必要がある。

2.4.3. 明度条件と心理評価について

30分間のVDT作業により、「自覚症しらべ」を用いた疲労評価において作業後の疲労評価スコアが有意に高かった項目の数は、条件⑧が最も多く、次いで条件⑥であった。また、画面に対するイメージ評価において「見やすさ」、「読みやすさ」で評価が低かったのは条件⑧、⑦、⑥であり、いずれも国際基準に適合しない条件であったことから、国際基準に適合する条件は疲労感の軽減及び見やすさや読みやすさにおけるユーザビリティの向上に有用であるといえる。

国際基準に適合する①～⑤の5条件に着目すると、文字と背景の明度差が最大となる条件①はI群（ねむけ感）の症状5項目（目がかわく、目がいたい、ものがぼやける、目がつかれる、目がしょぼつく）全てにおいて作業前後の疲労評価スコアに有意差はみられなかった。画面に対するイメージ評価では、最大明度差の条件①より明度差を落とした条件②は他の条件と比較して「見やすい」という評価であったが、「美しい」、「派手な」イメージは条件①の評価が最も高かった。これらのことから、白と黒による最大明度差の条件は、眠気を抑制する効果を持つ一方で、画面の広範囲を占める最大明度の白背景は、光源色としての輝度の高さから眩しさを感じさせ、見にくさの原因の一つになった可能性が考えられる。視野内で過度に

輝度が高い点や面が見える際、光源から直接又は間接に受ける眩しさによっておきる不快感や見にくさのことをグレアという（厚生労働省 2002）。グレアの問題は VDT 作業において視覚負担を助長する要因として指摘されている（Hultgren ら 1974）。したがって、明度差が大きい条件の画面は、派手で美しいと感じられる印象を与えることで、画面を注視する意識を喚起させる効果が期待されるものの、視認性や可読性におけるユーザビリティ確保の点で、長時間の VDT 作業には明度差をやや抑えた条件の画面が適していると考えられる。

VDT 作業における作業疲労の調査、研究は数多くなされている。尹ら（1987）は、VDT 作業を特徴づける 2 因子である「作業価値」と「変化性」が乏しい作業は、より疲労感を訴えるとともに、生理的負担も大きい過疲労状態になることを報告している。したがって、学習活動を含む VDT 作業による疲労を検討する場合、作業内容が及ぼす影響についても考慮する必要がある。Mazloum ら（2008）は VDT 作業の時間制限及び作業要求の結果としての量的過負荷は、作業者の主観的、心理生理学的測定値に影響を及ぼすことを報告している。また、山口ら（2005）は、作業時間が短い場合は、生理機能変動では疲労度が高い場合でも、自覚症としては疲労感がまだ高くなっていない場合もあり得るため、心理指標は慎重に適用する必要があることを指摘している。このことから、30 分間の VDT 作業より長時間の作業では、作業効率及び疲労感にさらに差が認められる可能性がある。特に、現在では VDT 作業のみならずゲーム等の一定姿勢による長時間注視についても今後の対策が求められる問題の一つと考えられる。

2.4.4. まとめ

本章では、文字より背景の明度が高い陽面表示画面を用いて検討した。その結果、文字と背景の明度値によるコントラスト比が国際基準値 4.5 : 1 以上に適合する条件は、画面へのイメージ評価におけるユーザビリティの向上及び疲労感の軽減に有用であるといえる。

CFE 値による疲労評価及び画面に対するイメージ評価において、文字と背景のコントラスト比が国際基準に適合する条件のうち、明度差が最大となる白背景に黒文字の条件は、国際基準に適合する他の条件より疲労の軽減及び見やすさ等の機能性の評価が低かった。したがって、文字表示の初期設定として用いられることの多い黒文字（L 値:0）に対して明度差が最大となる白背景（L 値:255）より、背景の明度差をわずかに落とした条件（背景の L 値:159～223 前後）の方が作業効率の向上に適していることが示唆された。ICT 活用学習にて用いるソフトウェア、e ラーニング教材等の文字表示は、白背景に黒文字の表示が多くみられるため、VDT 製品本体の設定輝度を下げる等の対策を講じることで VDT 作業時の視環境が改善される可能性がある。ウェブコンテンツや e ラーニング教材等の VDT 画面を介して利用するデジタルコンテンツの文字表示の条件設定においては、国際基準への適合のみならず文字と背景が最大明度差となる条件は避ける等、文字と背景を適切な明度に設定するための十分な配慮が求められる。

第3章

陰画表示画面における明度条件と作業効率及び疲労感との関連

3.1. はじめに

第2章では、白文字と黒及びグレー背景による陽画表示画面8条件を用い、大学生のVDT課題遂行における作業効率、生理反応及び心理評価を測定した。その結果、陽画表示においては、黒文字に対して明度差が最大となる白背景より明度差をやや抑えた条件の方が作業効率の向上に適していることが示唆された。陽画表示の場合、文字と背景の明度のコントラスト比が国際基準に適合する条件においても、作業効率及び疲労感は明度差条件によって異なることが認められた。陽画表示画面を用いた第2章と同様に、陰画表示画面においても、文字と背景の明度差条件によっては、作業効率や疲労感に影響を及ぼす場合が考えられる。

陽画表示と陰画表示の表示モードに関するこれまでの研究において、表示モードは好ましさと疲労に影響を与えることが報告されている(森本ら1986)。しかしながら、文書校正のパフォーマンスについて陰画表示より陽画表示の方が常に良好な結果を示したとするもの(Buchnerら2007)、適正なコントラストが確保された条件で、表示モードの違いによる作業効率及び視覚負担の有意な差は認められなかったもの(窪田ら1986)、高齢者の場合、製品設計においては陰画表示モードの方が概して読みやすさの評価が高かったもの(Tomioka 2008)等があり、使用機器、作業環境、作業内容等によって、表示モードに関する評価結果は異なる。

そこで、第3章では、第2章で使用したグレースケール(白、黒、グレー7条件)により文字を白、背景をグレー及び黒とする陰画表示

画面（ネガティブモード：文字より背景の明度が低い条件）を用いて、明度差条件と作業効率及び疲労感との関連について検討した。

3.2. 実験方法

3.2.1. 明度差条件の設定

第2章で用いたグレースケールを用い、文字を白、背景をグレー及び黒とする陰画表示8条件を設定した（表3.1、図3.1～図3.9）。明度差は、第2章と同様にHLSカラーモデルによるL値（0～255の256階調）の階調差32に設定した。条件①から⑧の文字は全て白（L=255）とし、条件①の背景は最大明度差となる黒（L=0）とした。条件②より背景の明度値を32ずつ上げ、条件⑧は最小明度差の32となる。本章で用いた陰画表示8条件のうち①から④の4条件は、WCAG2.0によるレベルAA基準のコントラスト比4.5:1に適合する。条件①から⑧のコントラスト比は1.3:1から21:1である。陰画表示8条件の明度及びCIE XYZ表色系による色度を表3.1に示す。

表 3.1 陰画表示8条件の明度及び色度

表示モードと条件		明度 (L値)	文字と 背景の 明度差 (階調の差)	コントラスト 比	色度(CIE XYZ表色系)			文字と 背景の Yの差	
					X	Y	Z		
文字(白)		255	—	—	209.3	211.6	250.9	—	
陰 画 表 示	条件①	A	0	255	21.0:1	0.1	0.1	0.1	211.5
	条件②	A	31	224	16.5:1	1.6	1.8	2.0	209.8
	条件③	A	63	192	10.5:1	8.8	9.6	10.8	202.0
	条件④	A	95	160	6.4:1	22.2	23.8	28.0	187.8
	条件⑤	A	127	128	4.0:1	42.3	44.6	53.7	167.0
	条件⑥	A	159	96	2.6:1	68.9	71.8	90.0	139.8
	条件⑦	A	191	64	1.8:1	105.0	107.9	138.9	103.7
	条件⑧	A	223	32	1.3:1	155.0	157.5	200.9	54.1

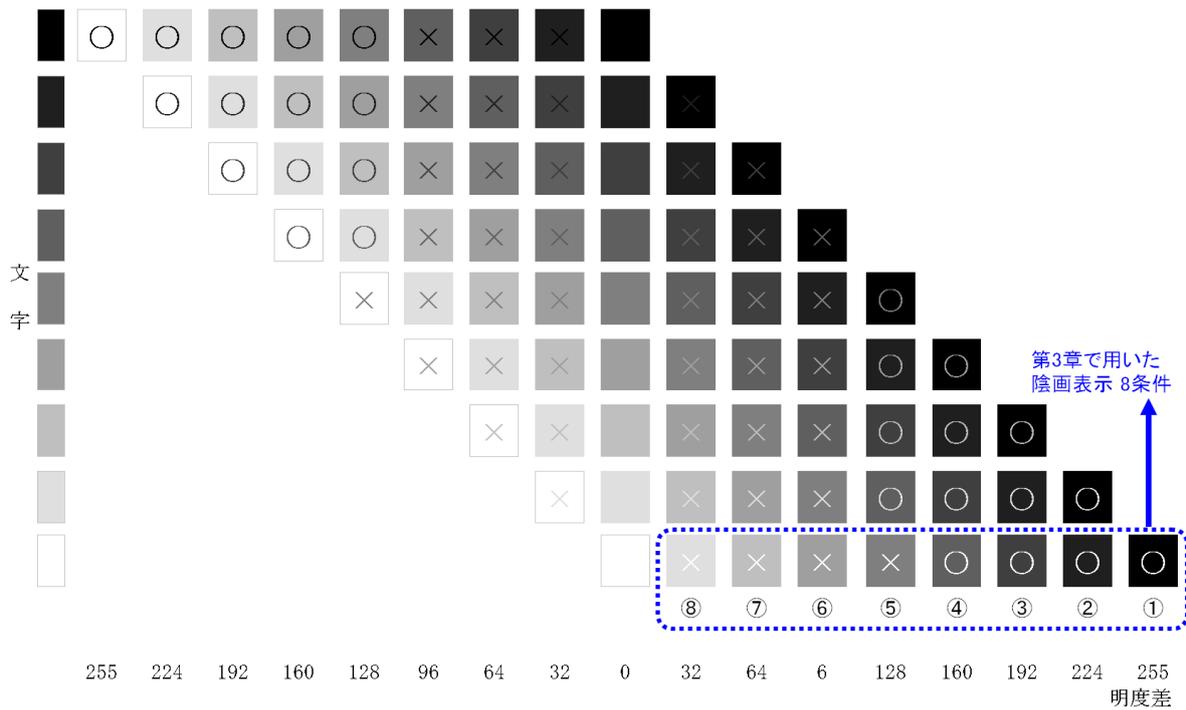


図 3.1 グレースケールによる文字と背景の明度差条件一覧

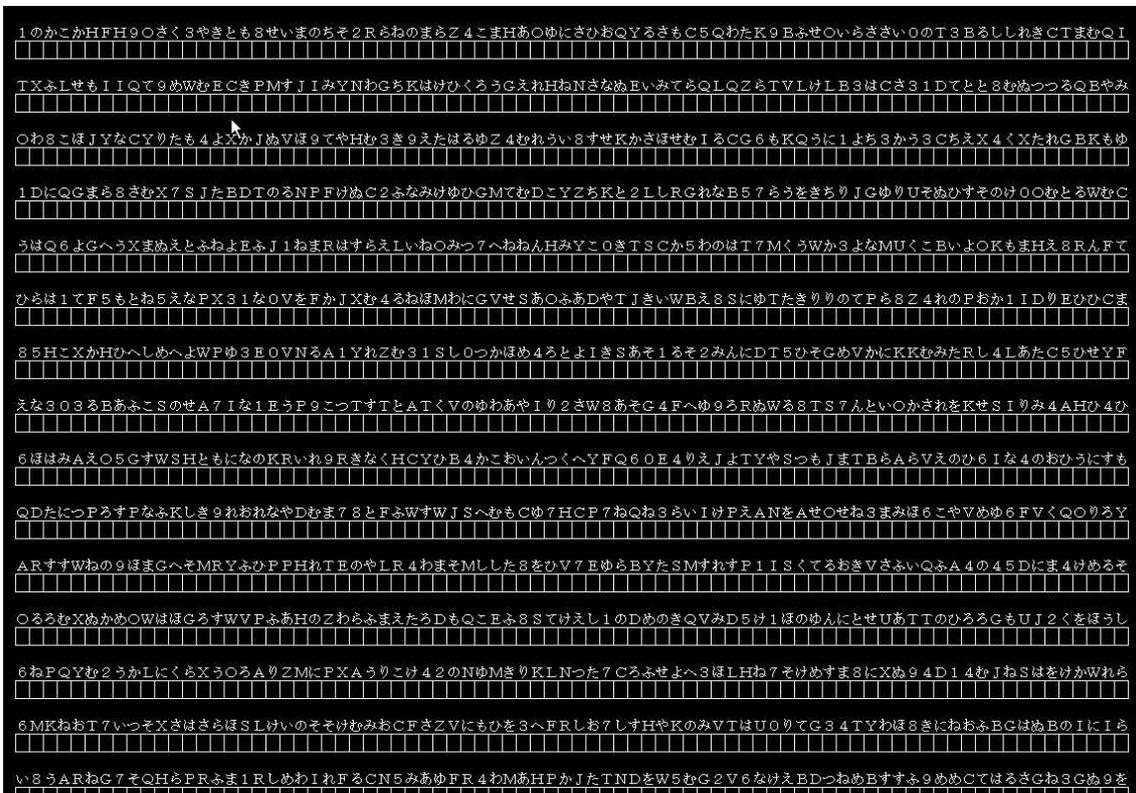


図 3.2 陰画表示 条件① 明度差 255

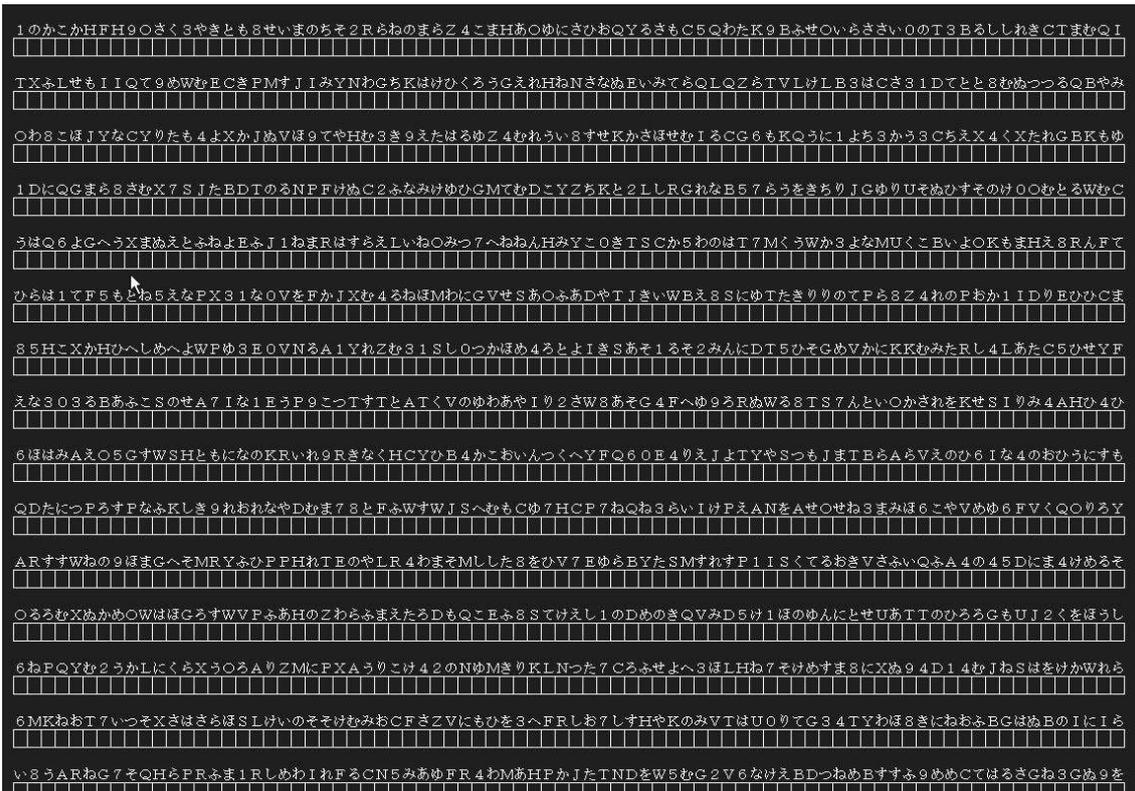


図 3.3 陰画表示 条件② 明度差 224

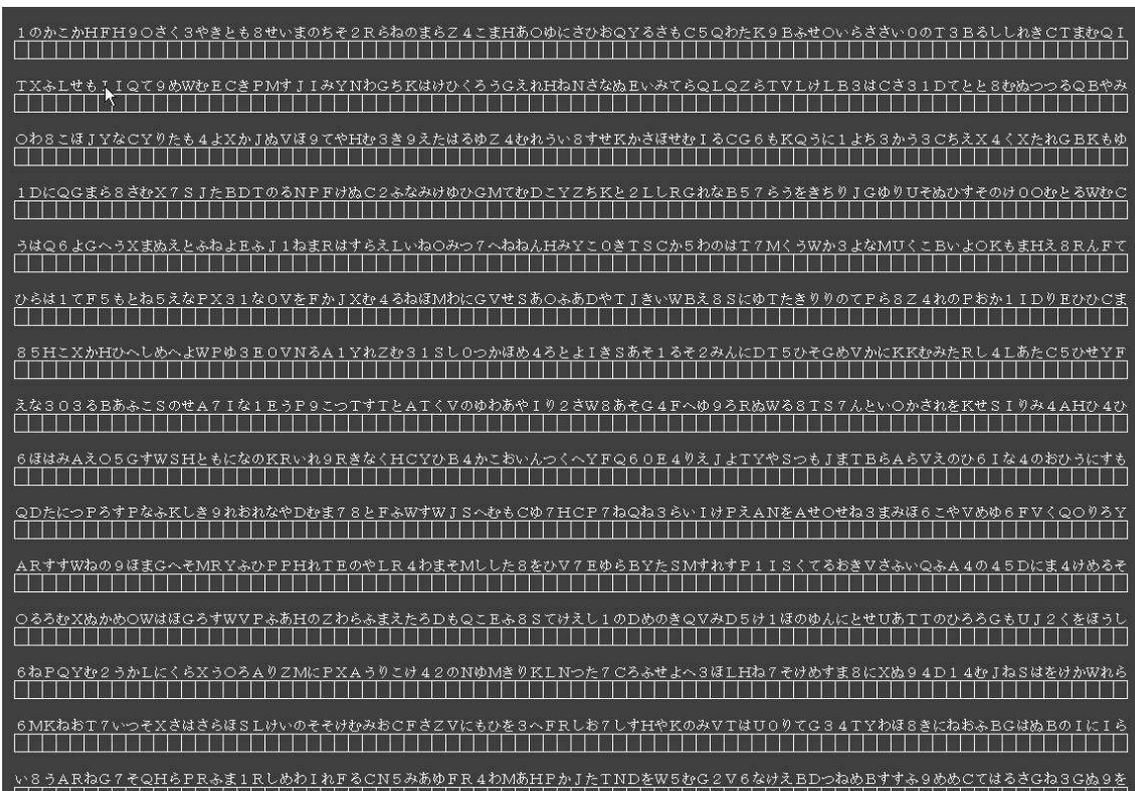


図 3.4 陰画表示 条件③ 明度差 192

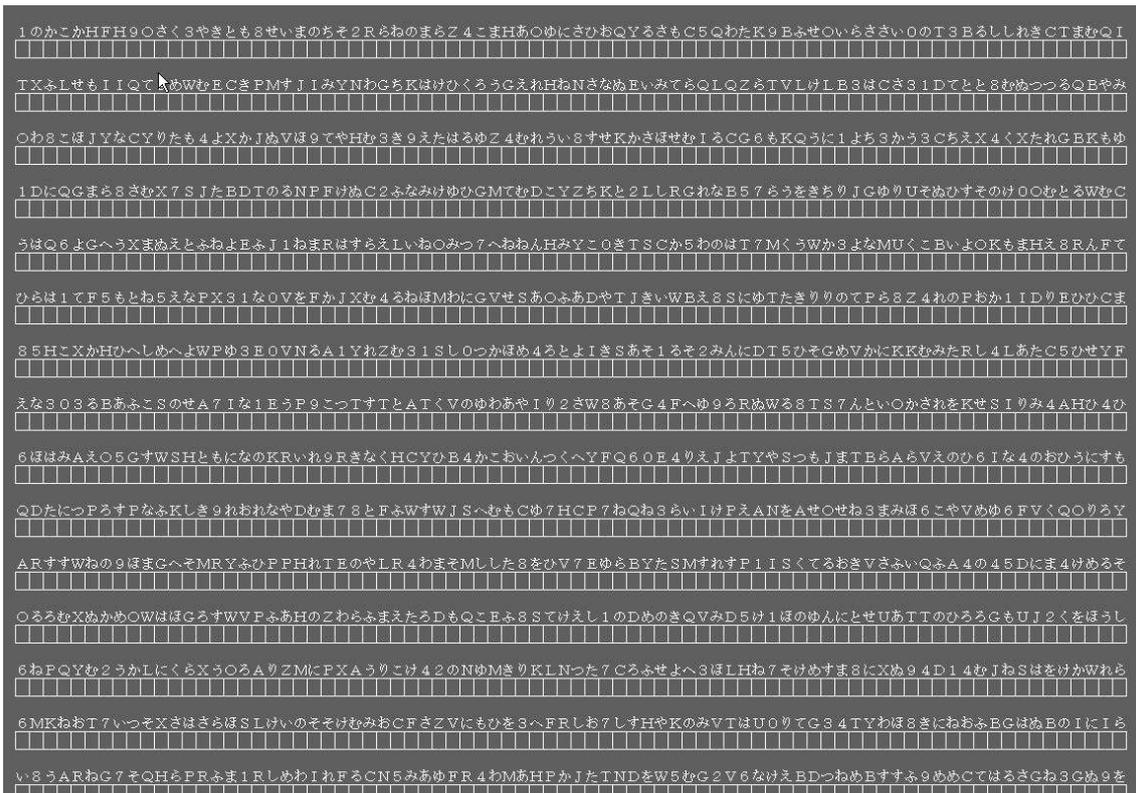


図 3.5 陰画表示 条件④ 明度差 160

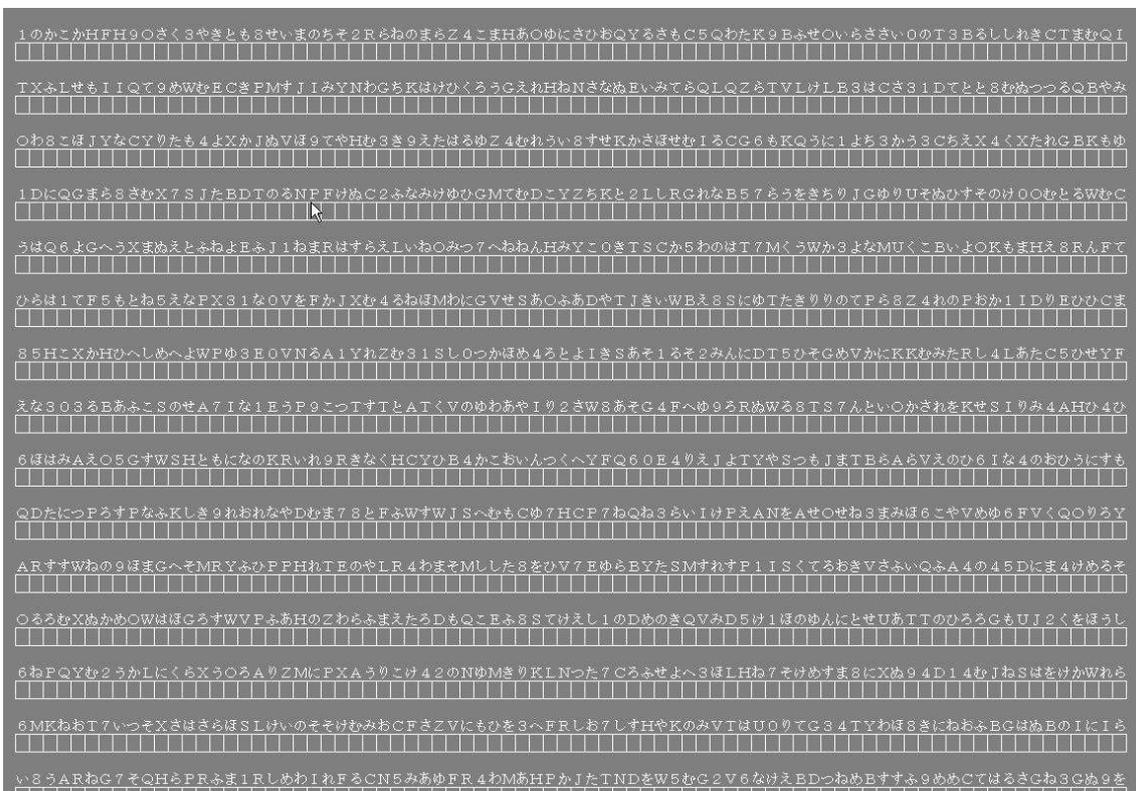


図 3.6 陰画表示 条件⑤ 明度差 128

1のかこかHFH9○さく3やきとも8せいまのちそ2RらねのまらZ4こまHあ○ゆにさびおQYるさもC5QわたK9Bふせ○いらささい○のTSBるししれきCTまむQI
TXふLせもIIQて9めWむECきPMすJIみYNわGちKはけひくろうGえれHねNさなぬEいみてろQLQZらTVLけLB3はCさ31Dてとと8むあつづるQBやみ
○わ8こほJYなCYりたも4よXかJぬVほ9てやHむ3き9えたはるゆ乙4むれうい8すせKかさほせむIるCG6もKQうに1よち3かう3CちえX4くXたれGBKもゆ
1DにQCまら8さむX7SJたBDTのるNPFけぬC2ふなみけゆひGMてむDこYZちKと2LしRGれなB57らうをまぢりJGゆりUそぬひすそのけ○○むとるWむC
うはQ6よGへうXまぬえとふねよEふJ1ねまRはすらえしいね○みつ7へおねんHみYこきTSCか5わのはT7MくうWか3よなMUくこBいよOKもまHえ8RんFて
ひらは1てF5もとね5えなPX31なOVをFかJXむ4るねほMむにGVせSあ○ふあDやTJきいWBえ8SにゆTたきりりてPら8Z4れのPおか1IDりEひCま
85HこXかHひへしめへよWPFゆ3E○VNるA1Yれ乙む31S○つかほめ4るとよIきSあそ1るそ2みんにDT5ひそGめVかにKKむみたRし4LあたC5ひせYF
えな3○3るBあふこSのせA7Iな1EうP9こつTすTとATくVのゆわあやIり2さW8あそG4Fへゆ9るRぬWる8TS7んとい○かされをKせSIRみ4AHひ4ひ
6ほはみAえ○5GすWSHともにのKRいれ9RきなくHCYひB4かこおいんつくへYFQ6○E4りえJよTYやSつもJまTBらAるVえのひ6Iな4のおひうにすも
QDたにっPろすPなふKしき9れおれなやDむま78とFふWすWJSへむもCゆ7HCP7ねQね3らいIけFえANをAせ○せね3まみほ6こやVめゆ6FVくQ○りるY
ARすすWねの9ほまGへそMRYふひPPHれTEのやLR4わまそMした8をひV7EゆらBYたSMすれすP1ISくてるおきVさふいQふA4の45Dにま4けめるそ
○るろむ文ぬかめOWはほGろすWVPふあHのZわらふまえたるDもQこEふ8Sてけえし1のDめのきQVみD5け1ほのゆんにとせUあTTのひろるGもUJ2くをほうし
6ねPQYむ2うかLにくろXう○るAりZMにPXAうりこけ42のNゆMきりKLNつた7Cるふせよへ3ほLHね7そけめすま8にXぬ94D14むJねSほをけかけれら
6MKねおT7いっそXさはさらほSLけいのそそけむみおCFさZVにもひを3へFRしお7しすHやKのみVTはU○りてG34TYわほ8まにねおふBGぬぬBのIにIら
い8うARねG7そQHらFRふま1RしめわIれFるCN5みあゆFR4わMあHPかJたTNDをW5むG2V6なけえBDつねめEすすふ9めゆCてはるさGね3Gぬ9を

図 3.7 陰画表示 条件⑥ 明度差 96

1のかこかHFH9○さく3やきとも8せいまのちそ2RらねのまらZ4こまHあ○ゆにさびおQYるさもC5QわたK9Bふせ○いらささい○のTSBるししれきCTまむQI
TXふLせもIIQて9めWむECきPMすJIみYNわGちKはけひくろうGえれHねNさなぬEいみてろQLQZらTVLけLB3はCさ31Dてとと8むあつづるQBやみ
○わ8こほJYなCYりたも4よXかJぬVほ9てやHむ3き9えたはるゆ乙4むれうい8すせKかさほせむIるCG6もKQうに1よち3かう3CちえX4くXたれGBKもゆ
1DにQCまら8さむX7SJたBDTのるNPFけぬC2ふなみけゆひGMてむDこYZちKと2LしRGれなB57らうをまぢりJGゆりUそぬひすそのけ○○むとるWむC
うはQ6よGへうXまぬえとふねよEふJ1ねまRはすらえしいね○みつ7へおねんHみYこきTSCか5わのはT7MくうWか3よなMUくこBいよOKもまHえ8RんFて
ひらは1てF5もとね5えなPX31なOVをFかJXむ4るねほMむにGVせSあ○ふあDやTJきいWBえ8SにゆTたきりりてPら8Z4れのPおか1IDりEひCま
85HこXかHひへしめへよWPFゆ3E○VNるA1Yれ乙む31S○つかほめ4るとよIきSあそ1るそ2みんにDT5ひそGめVかにKKむみたRし4LあたC5ひせYF
えな3○3るBあふこSのせA7Iな1EうP9こつTすTとATくVのゆわあやIり2さW8あそG4Fへゆ9るRぬWる8TS7んとい○かされをKせSIRみ4AHひ4ひ
6ほはみAえ○5GすWSHともにのKRいれ9RきなくHCYひB4かこおいんつくへYFQ6○E4りえJよTYやSつもJまTBらAるVえのひ6Iな4のおひうにすも
QDたにっPろすPなふKしき9れおれなやDむま78とFふWすWJSへむもCゆ7HCP7ねQね3らいIけFえANをAせ○せね3まみほ6こやVめゆ6FVくQ○りるY
ARすすWねの9ほまGへそMRYふひPPHれTEのやLR4わまそMした8をひV7EゆらBYたSMすれすP1ISくてるおきVさふいQふA4の45Dにま4けめるそ
○るろむ文ぬかめOWはほGろすWVPふあHのZわらふまえたるDもQこEふ8Sてけえし1のDめのきQVみD5け1ほのゆんにとせUあTTのひろるGもUJ2くをほうし
6ねPQYむ2うかLにくろXう○るAりZMにPXAうりこけ42のNゆMきりKLNつた7Cるふせよへ3ほLHね7そけめすま8にXぬ94D14むJねSほをけかけれら
6MKねおT7いっそXさはさらほSLけいのそそけむみおCFさZVにもひを3へFRしお7しすHやKのみVTはU○りてG34TYわほ8まにねおふBGぬぬBのIにIら
い8うARねG7そQHらFRふま1RしめわIれFるCN5みあゆFR4わMあHPかJたTNDをW5むG2V6なけえBDつねめEすすふ9めゆCてはるさGね3Gぬ9を

図 3.8 陰画表示 条件⑦ 明度差 64

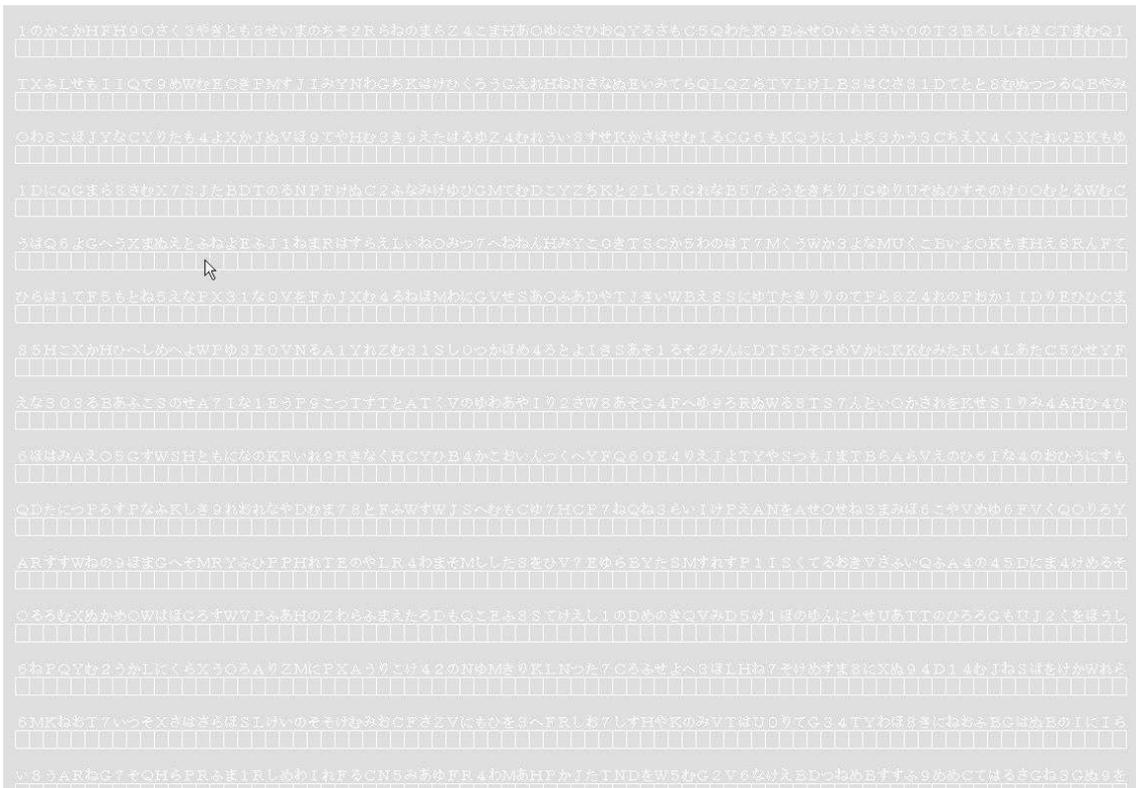


図 3.9 陰画表示 条件⑧ 明度差 32

3.2.2. 実験時期、場所、対象者、方法

実験は、2009年10月～11月 16:00～19:00、全8日間にわたり長崎県で実施した。対象は、第2章の陽画表示と同一の男子大学生16名である。陽画表示画面と同様に、実験は1日の同一時間帯に1条件とし、各被験者は、8日間の実験期間中、同一座席端末を用いた。実験環境、VDT作業課題、実験手順は第2章と同じである。詳細は第2章で既述した。

3.2.3. 実験内容

実験は、次の(1)～(4)について実施した。第2章の実験内容と同じである。詳細は第2章で既述した。

- (1) 作業効率（作業量、誤入力率）
- (2) 生理指標（収縮期血圧、拡張期血圧、心拍数、CFF 値）
- (3) 心理評価（「自覚症しらべ」による疲労感）
- (4) 画面に対するイメージ評価

3.2.4. 分析方法

第 2 章と同じ方法で分析した。詳細は第 2 章で既述した。

3.3. 結果

3.3.1. 作業量と誤入力率について

各明度差条件の作業量を図 3.10 に示す。作業量の平均値が最も多かったのは条件③で入力セル数 5052 であった。作業量の平均値が最も少なかったのは条件①で入力セル数 4789、次に条件⑧で 4791 であった。一元配置分散分析の結果、8 条件間の作業量に明度差要因による有意な主効果は認められなかった。入力セル数平均値の差が最も大きかったのは、国際基準に適合する条件①と③の組み合わせで 263 セルであった。

各明度差条件の誤入力率を図 3.11 に示す。誤入力率の平均値が最も低かったのは条件⑤で 0.73% であった。誤入力率の平均値が最も高かったのは条件⑧で 1.15%、次に条件⑥で 0.97% であった。一元配置分散分析の結果、8 条件間の誤入力率に明度差要因による有意な主効果は認められなかった。

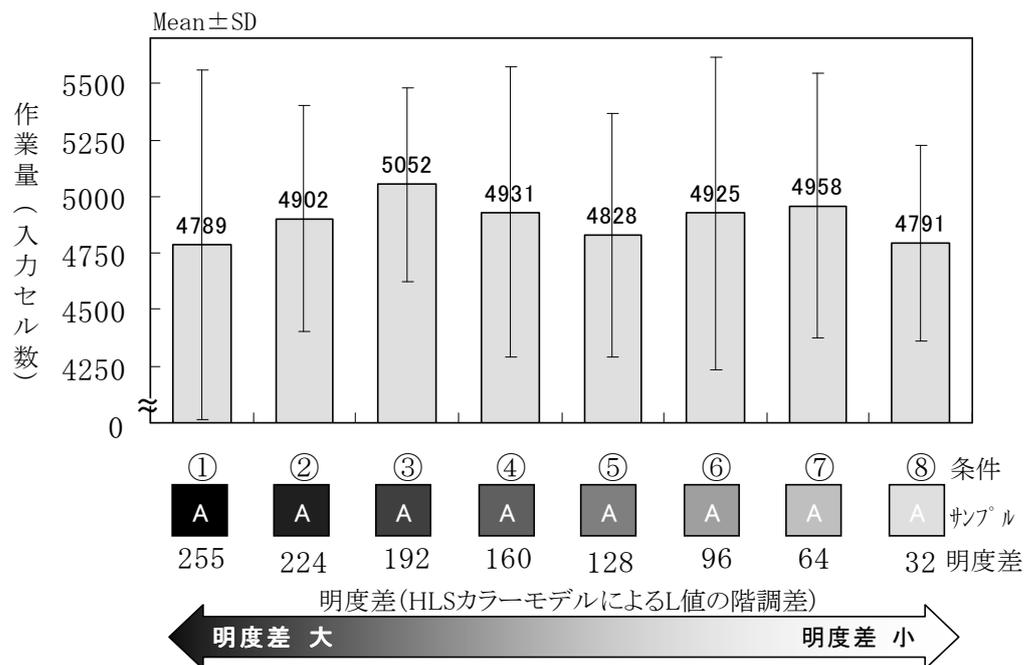


図 3.10 VDT 課題の作業量 (陰画表示)

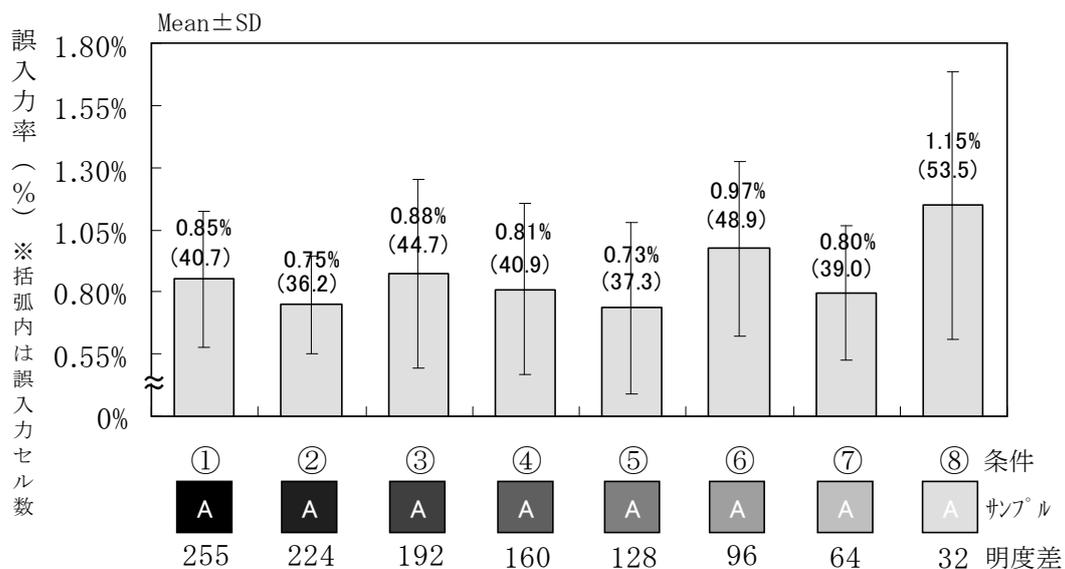


図 3.11 VDT 課題の誤入力率 (陰画表示)

3.3.2. 作業前後の血圧・心拍数について

収縮期血圧及び拡張期血圧の測定値については、いずれの明度差条件においても作業前と作業後の測定値に有意差は認められなかった (図 3.12、図 3.13)。同様に心拍数の測定値についても、作業前と作業後の測定値に有意差は認められなかった。作業前と作業後の値の差については、収縮期血圧、拡張期血圧、心拍数とも、一元配

置分散分析による 8 条件間での比較において明度差要因による有意な主効果は認められなかった。

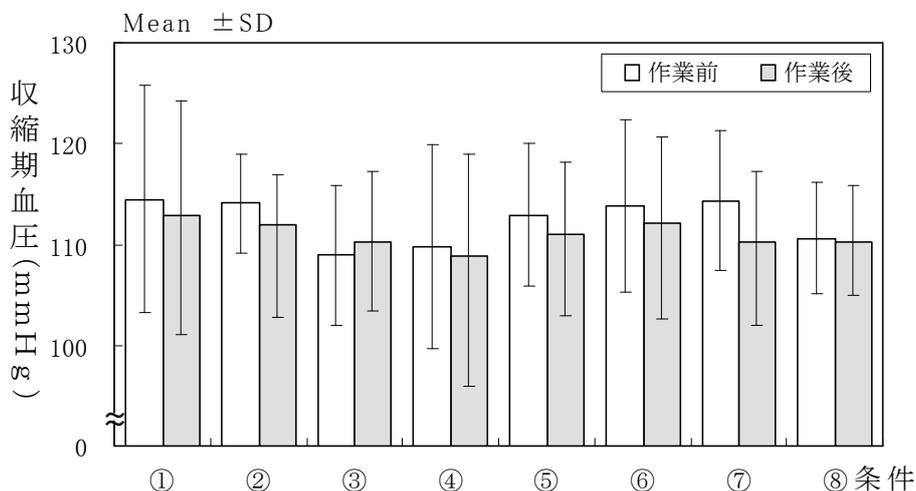


図 3.12 作業前後の収縮期血圧（陰画表示）

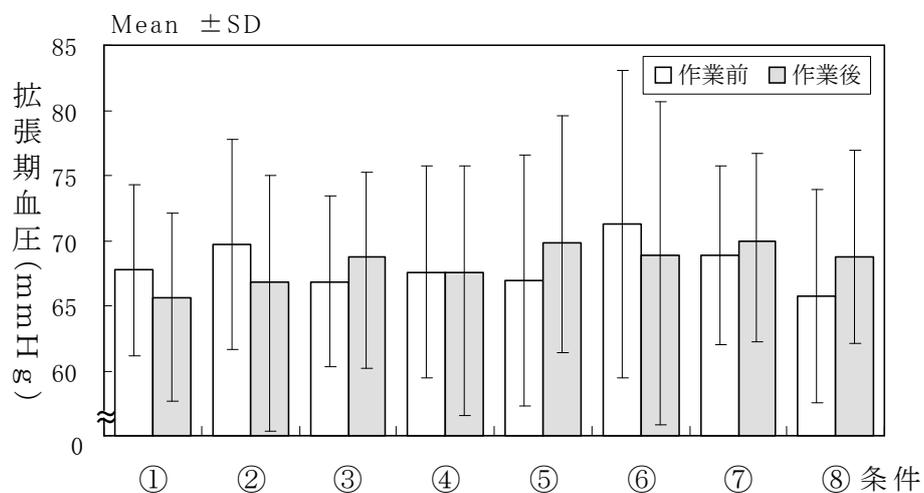


図 3.13 作業前後の拡張期血圧（陰画表示）

3.3.3. 作業前後の CFF 値について

作業前後の CFF 値の平均値については、全ての条件において作業後の CFF 値が低下した。条件②、③、⑤、⑥、⑦、⑧の 6 条件において、作業後の CFF 値が有意な低値を示した（条件②： $t(13)=5.266$, $p<0.001$, 条件③： $t(13)=3.495$, $P<0.01$, ⑤条件： $t(13)=10.367$,

$P < 0.001$, ⑥条件: $t(13) = 5.220$, $P < 0.001$, 条件⑦: $t(13) = 3.150$, $P < 0.01$, ⑧条件: $t(13) = 4.663$, $P < 0.001$) (図 3.14)。CFF 値の平常値は個人差が大きいため第 2 章で記した CFF 値変動率を用いた。CFF 値の平均値が最も低下したのは、条件⑧で変動率-5.58%、次に条件⑤で変動率-5.02%であった。一元配置分散分析の結果、8 条件間の CFF 値変動率 (図 3.15) に明度差要因による有意な主効果が認められた ($F(7, 104) = 2.12$, $P < 0.05$) が、その後の Tukey 法による多重比較において有意差の認められる条件組み合わせはみられなかった。

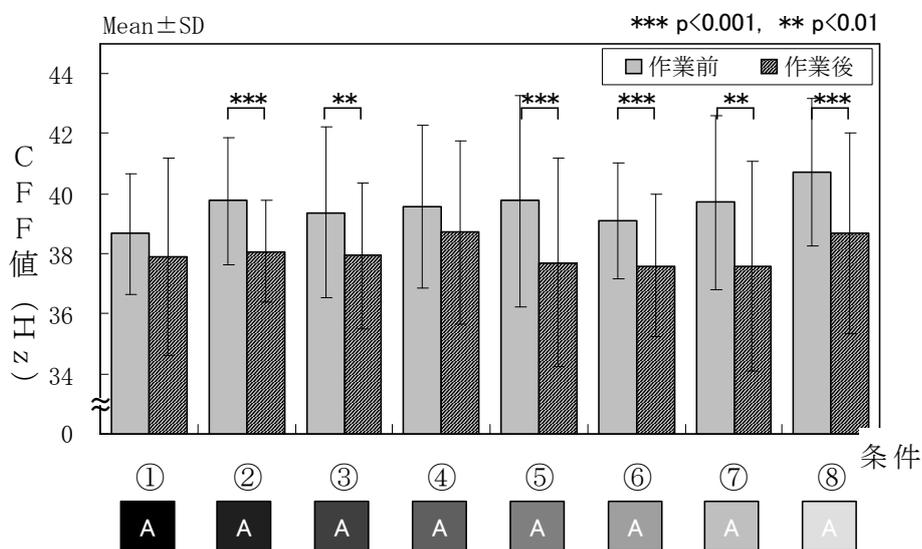


図 3.14 作業前後の CFF 値 (陰画表示)

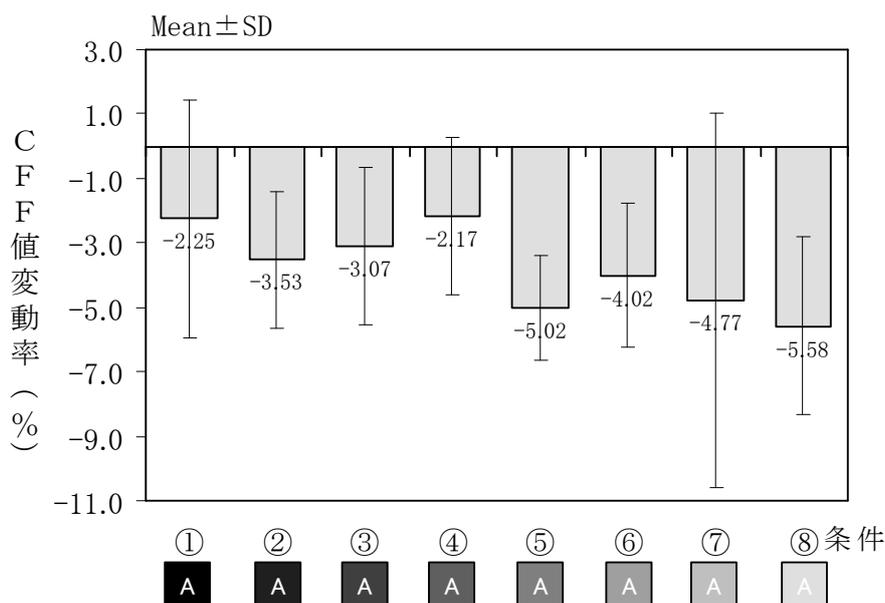


図 3.15 CFF 値変動率 (陰画表示)

3.3.4. 疲労感の評価について

「自覚症しらべ」による作業前と作業後の疲労評価スコアの平均を条件ごとにプロットした。図 3.16 に示すように条件①では、全 5 群のうち V 群（ぼやけ感）の作業後のスコアが最も増加した。条件①では、25 項目の自覚症のうち 12 項目で作業前後のスコアに有意差が認められた。条件②では、I 群（ねむけ感）を除く 4 群（不安定感、不快感、だるさ感、ぼやけ感）における 14 項目で有意差が認められた（図 3.17）。条件③と条件④では、I 群から V 群までの全ての群における 12 項目で有意差が認められた（図 3.18、図 3.19）。条件⑤では、V 群（ぼやけ感）のスコアが増加したが、スコアの前後差は条件①より小さかった。また、I 群（ねむけ感）のスコアがやや増加した。条件⑤の作業前後のスコアは 9 項目で有意差が認められた（図 3.20）。条件⑥では、I 群から V 群までの全ての群における 11 項目で作業前後のスコアの有意差が認められた（図 3.21）。条件⑦では、I 群から V 群までの全ての群における 15 項目で作業前後のスコアの有意差が認められた（図 3.22）。条件⑧では、I 群から V 群までの全ての群において有意差が認められ、特に、目に関する自覚症を示す V 群（ぼやけ感）において作業後のスコアが増加した。条件⑧の作業前後のスコアは 19 項目で有意差が認められた（図 3.23）。作業前後に有意差がみられた疲労評価スコアは、いずれの条件においても作業後が高かった。

条件別の程度をみるために、8 条件の作業前と作業後の疲労評価スコアに有意差のみられた項目数を表 3.2 にまとめた。有意差のみられた項目数が最も多かったのは条件⑧で 19 項目、次に条件⑦で 15 項目であった。有意差のみられた項目数が最も少なかったのは、条件⑤で 9 項目、次に条件⑥で 11 項目であった。8 条件のうち、条件①、②、③、⑦、⑧の 5 条件は、V 群（ぼやけ感）の全項目（目がかわく、目がいたい、ものがぼやける、目がつかれる、目がしょぼつく）において作業後の疲労評価スコアが有意に高く、条件⑤、⑥、⑦は V 群（ぼやけ感）の 4 項目において作業後の疲労評価スコアが

有意に高かった。有意差のみられた項目数が最も少なかったのは、条件⑤で 9 項目、次に条件⑥で 11 項目であり、2 条件とも WCAG2.0 に適合しない条件であった。

「自覚症しらべ」の I 群から V 群までの全 5 群のうち、作業前と作業後の疲労評価スコアに有意差のみられた項目数が最も多かったのは、目の疲労感を示す V 群（ぼやけ感）で 37 項目であった。各条件における V 群（ぼやけ感）総スコアの作業前後差を図 3.24 に示す。V 群（ぼやけ感）総スコアの作業前後の平均値の差が最も大きかったのは、条件⑧で 7.06、次に条件①で 6.63 であった。作業前後の平均値の差が最も小さかったのは条件⑤及び⑥で 4.00 であった。8 条件間における V 群の総スコアの作業前後差については、一元配置分散分析の結果、明度差要因による有意な主効果は認められなかった。

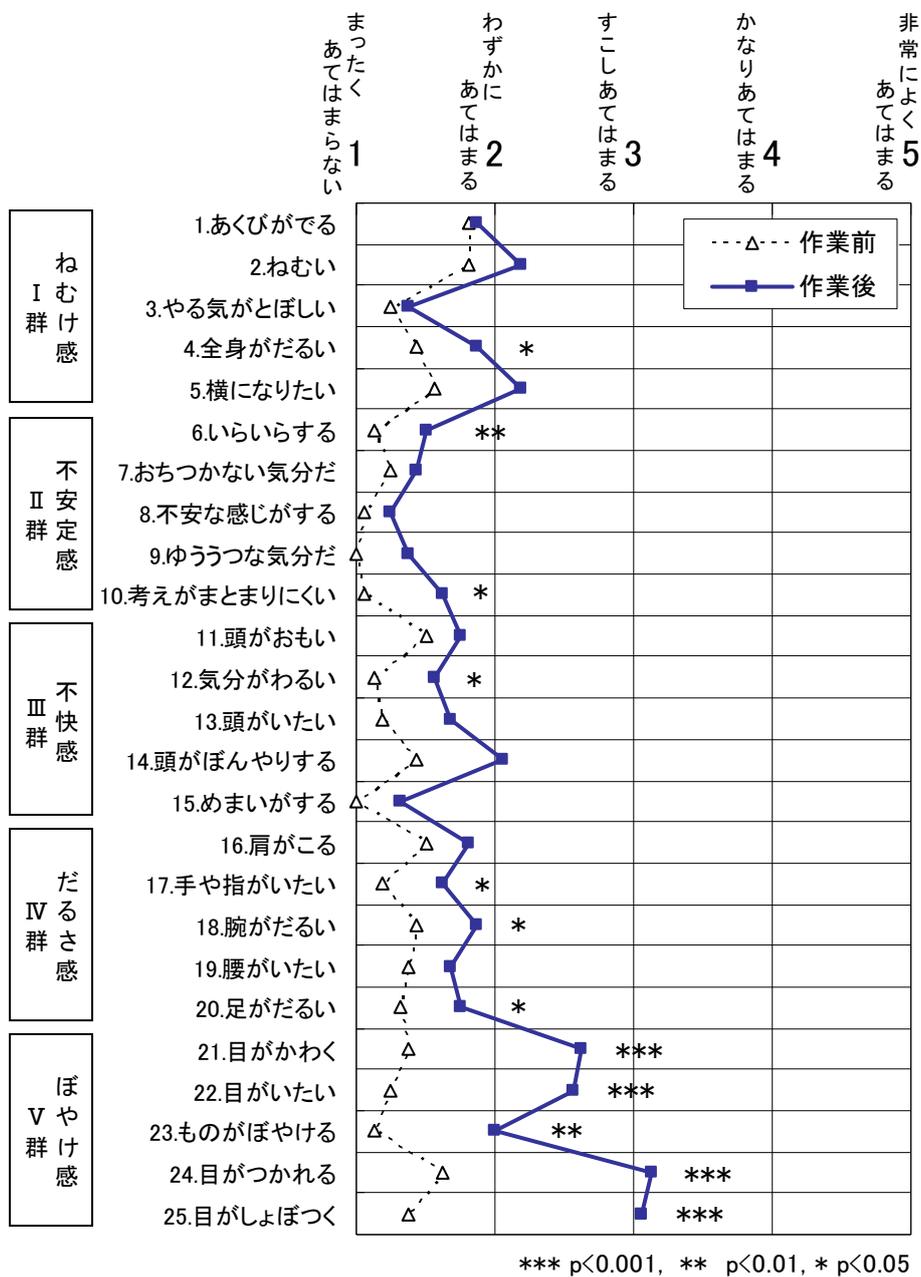


図 3.16 「自覚症しらべ」による疲労度の平均スコア (陰画表示 条件①)

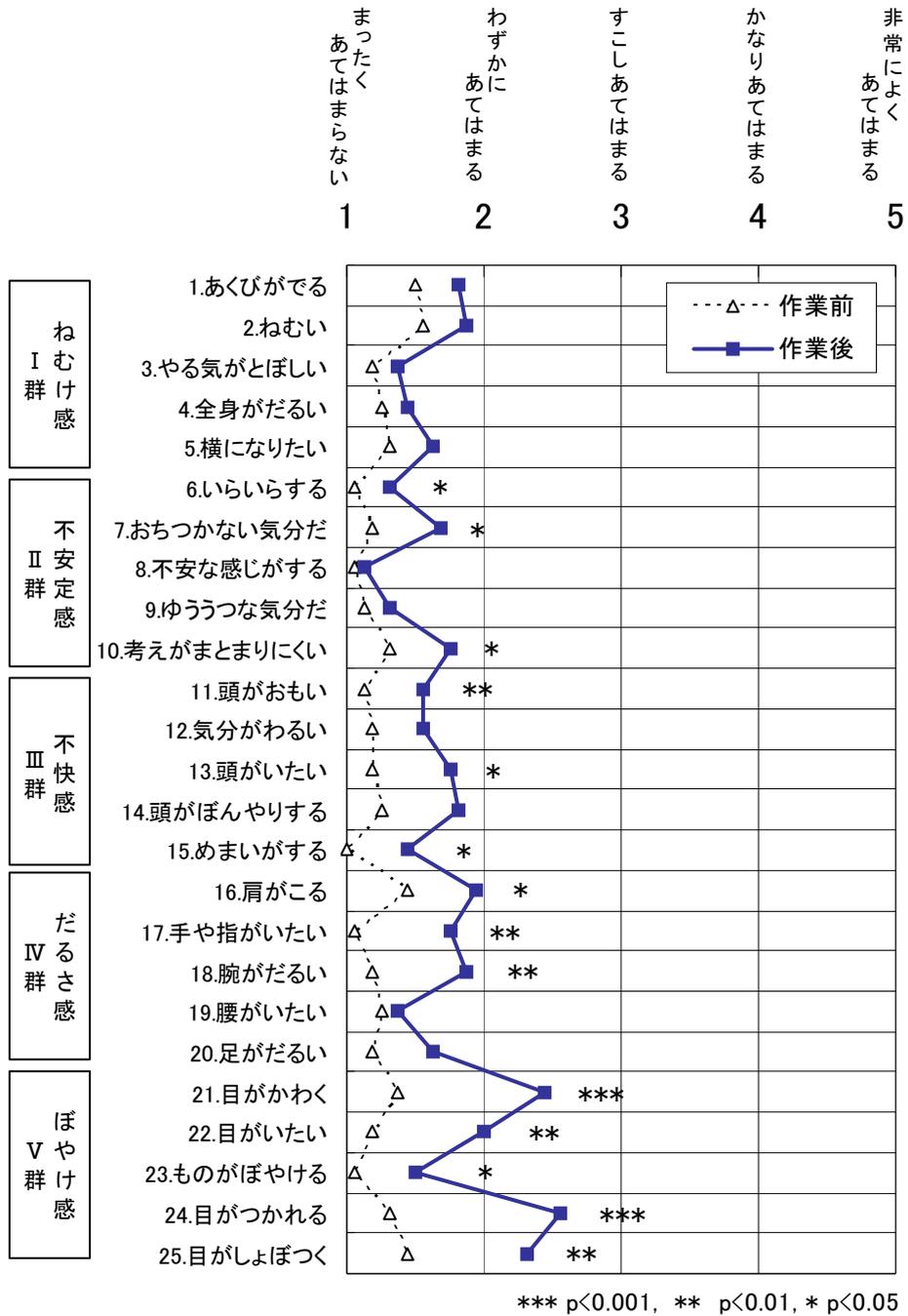


図 3.17 「自覚症しらべ」による疲労度の平均スコア
(陰画表示 条件②)

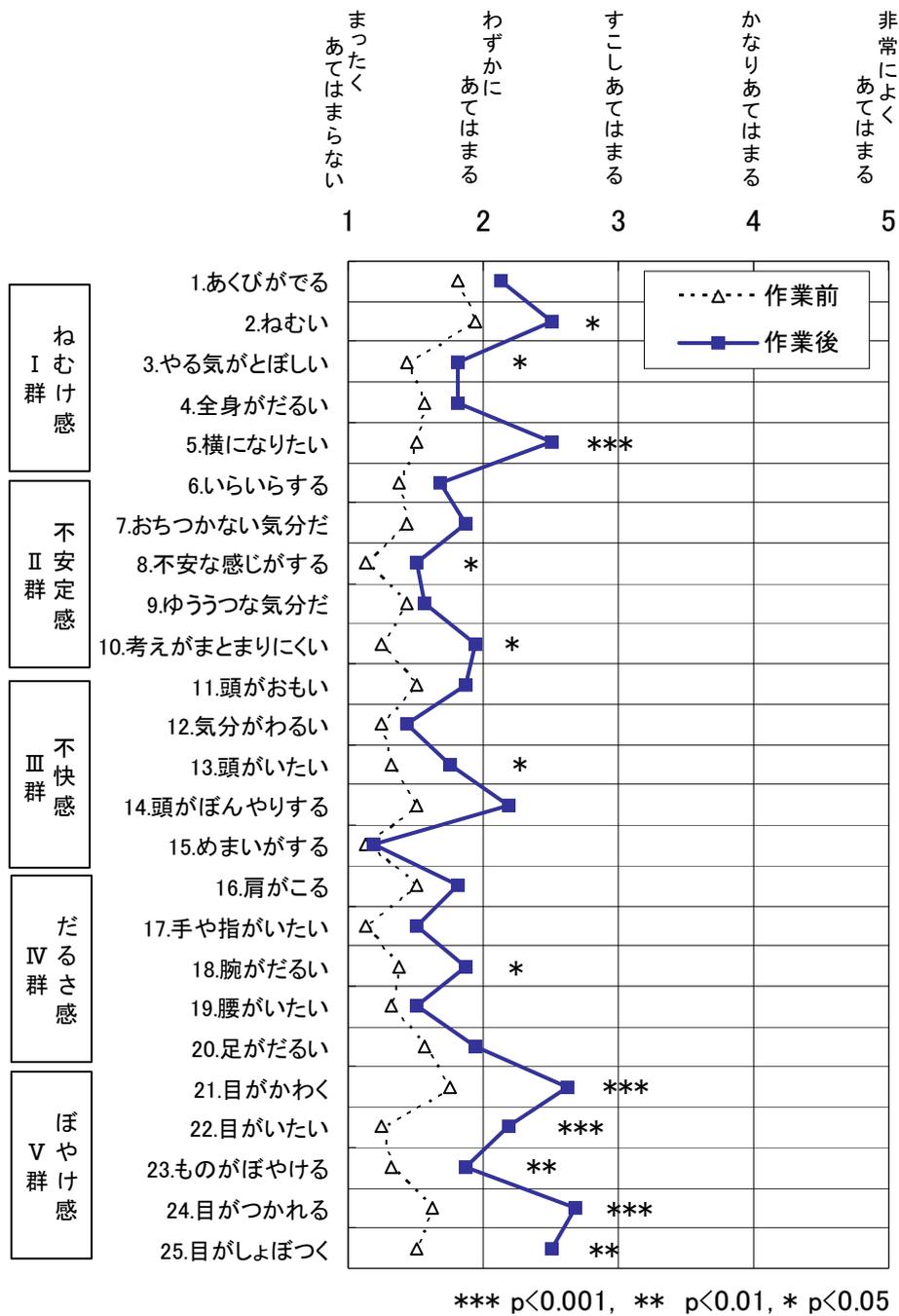
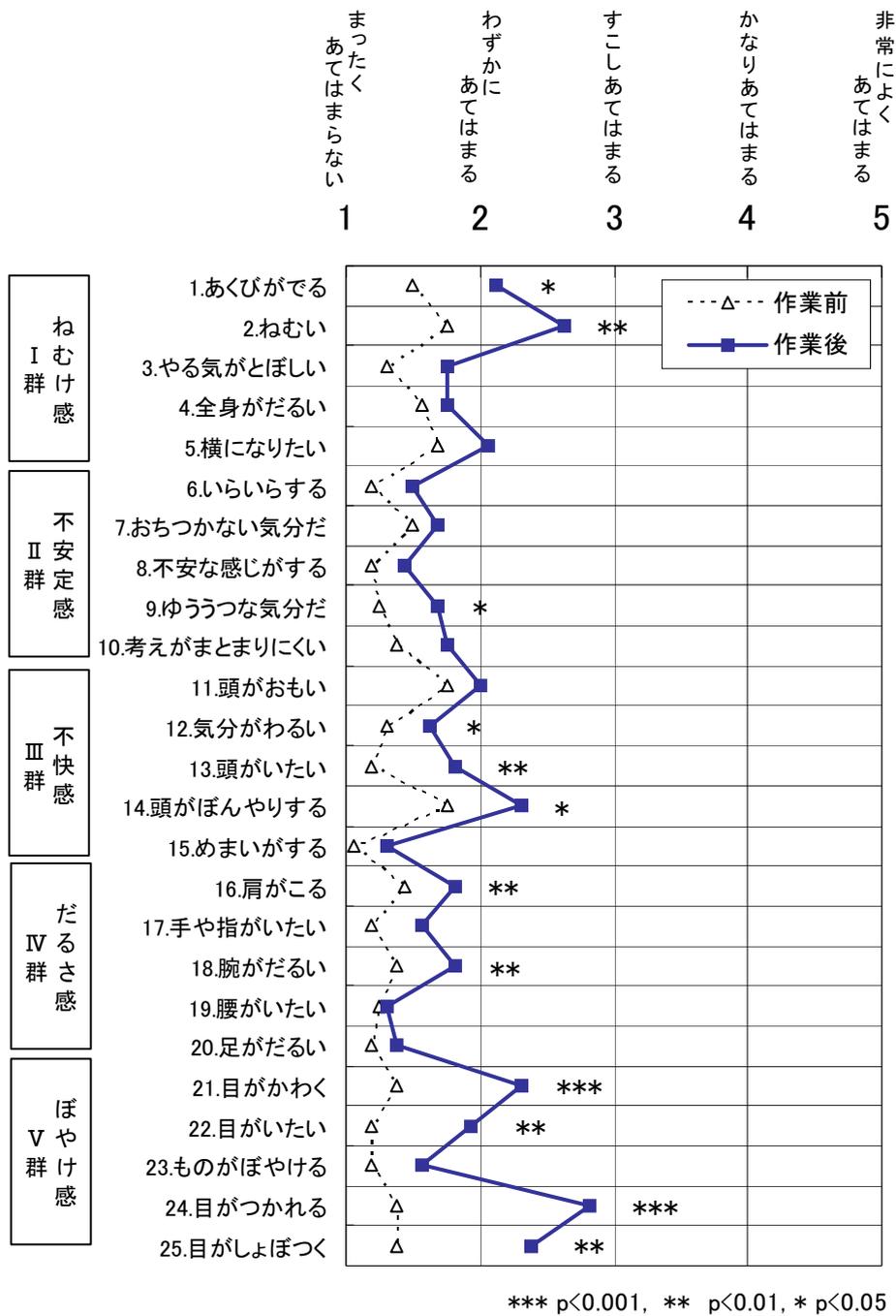


図 3.18 「自覚症しらべ」による疲労度の平均スコア
(陰画表示 条件③)



*** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05

図 3.19 「自覚症しらべ」による疲労度の平均スコア
(陰画表示 条件④)

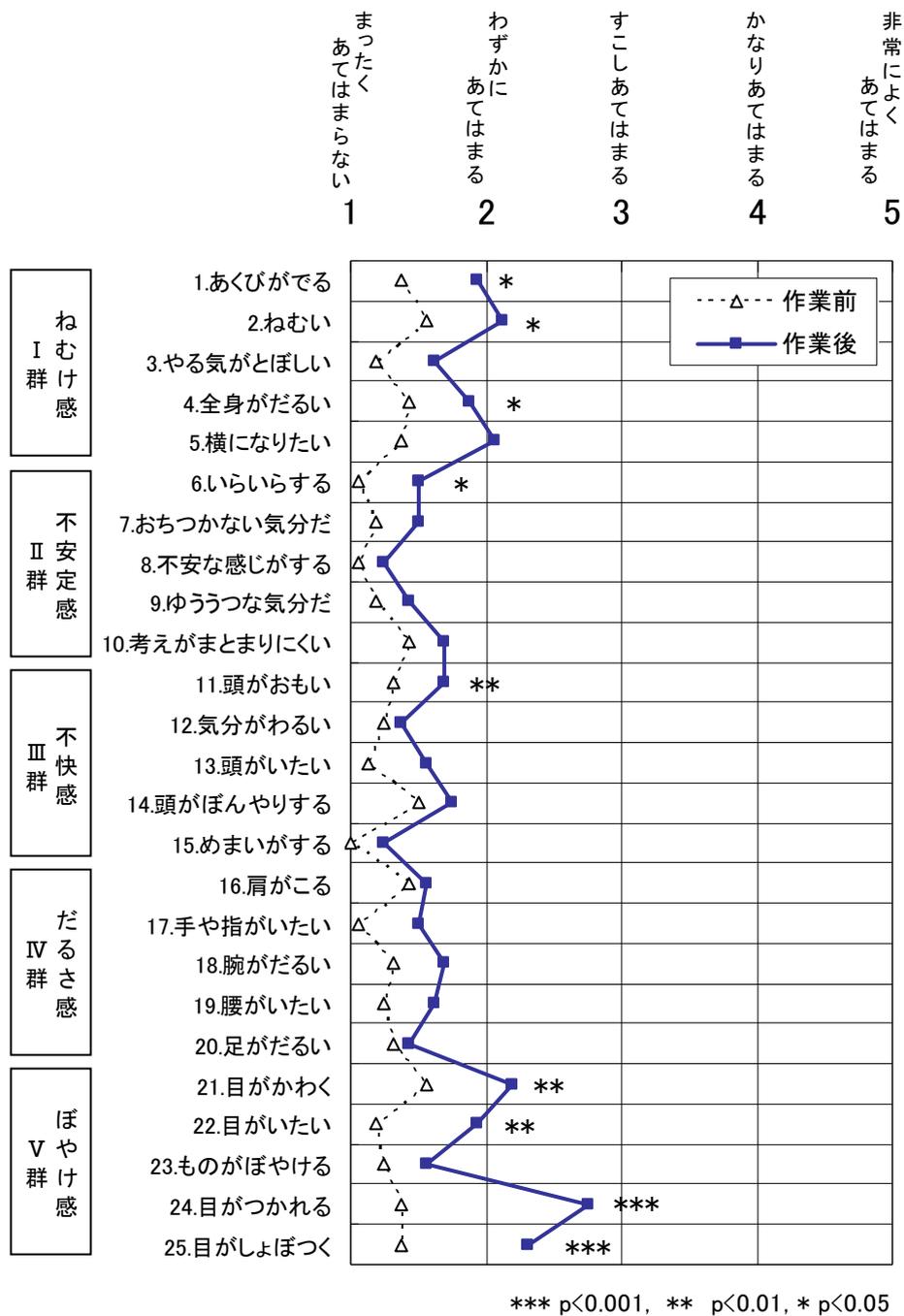


図 3.20 「自覚症しらべ」による疲労度の平均スコア
(陰画表示 条件⑤)

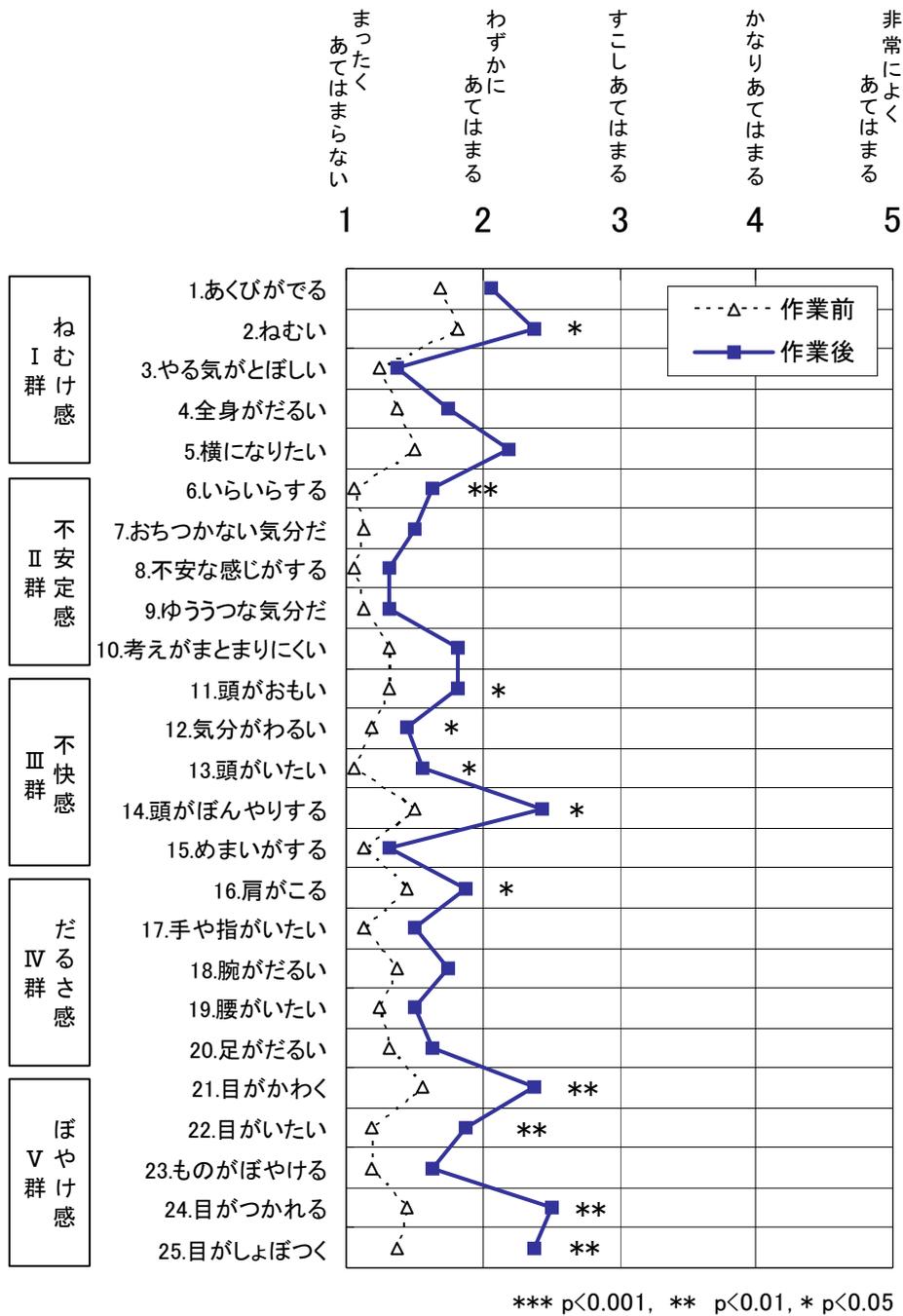


図 3.21 「自覚症しらべ」による疲労度の平均スコア
 (陰画表示 条件⑥)

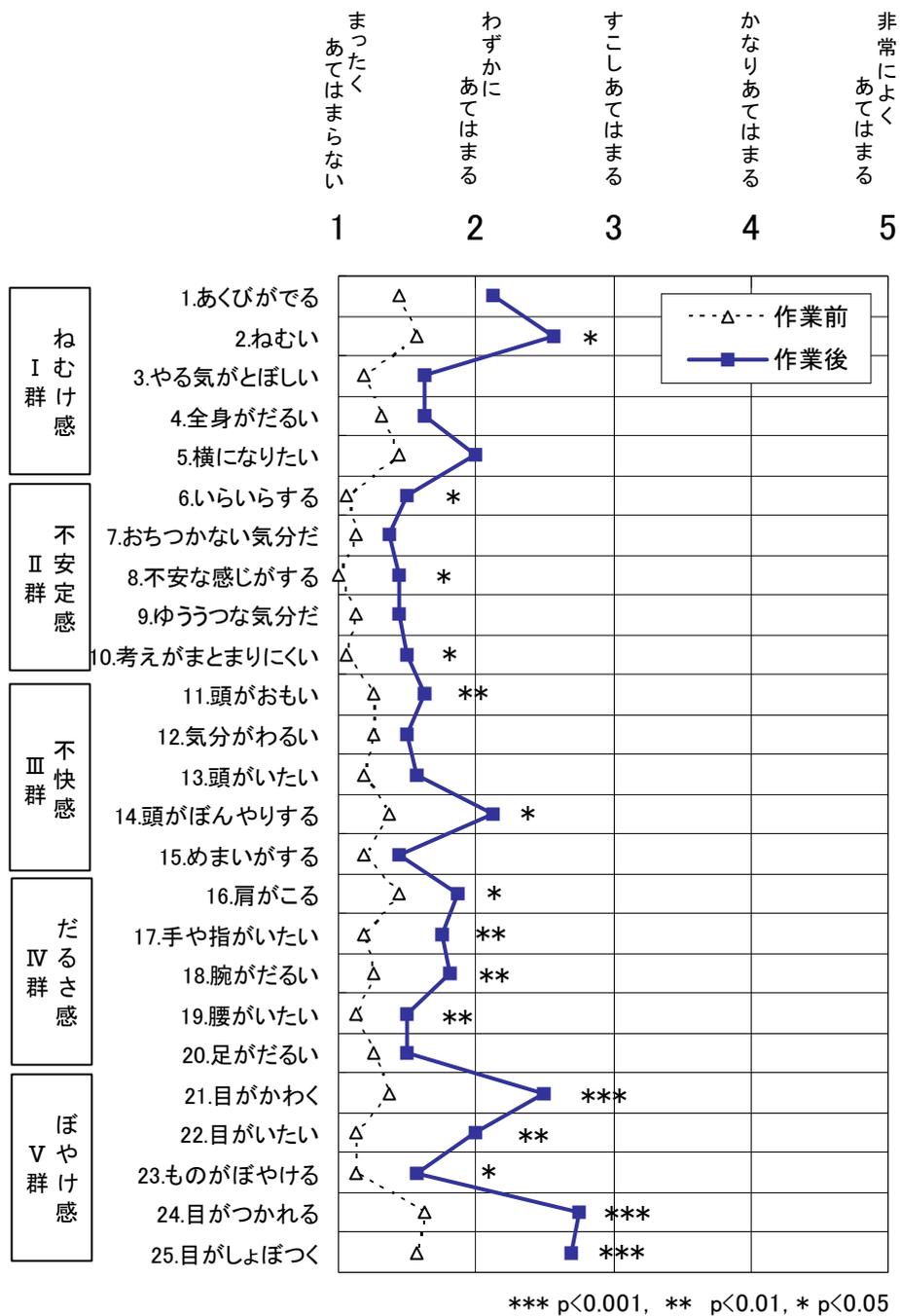


図 3.22 「自覚症しらべ」による疲労度の平均スコア
(陰画表示 条件⑦)

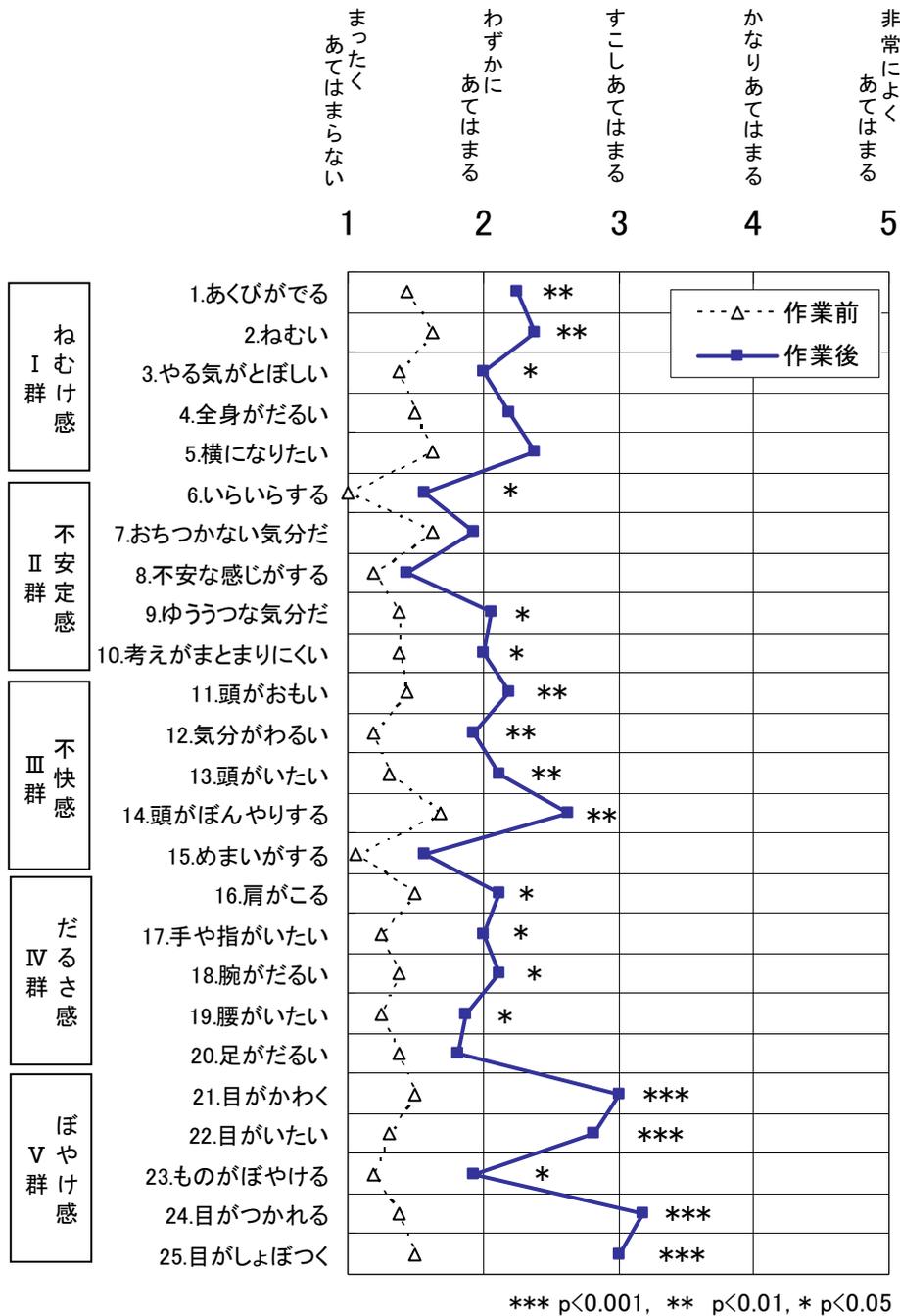


図 3.23 「自覚症しらべ」による疲労度の平均スコア
(陰画表示 条件⑧)

表 3.2 作業前と作業後の疲労度に有意差のみられた項目数
(陰画表示)

自覚症 \ 条件	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	計
I 群(ねむけ感)	1	0	3	2	3	1	1	3	14
II 群(不安定感)	2	3	2	1	1	1	3	3	16
III 群(不快感)	1	3	1	3	1	4	2	4	19
IV 群(だるさ感)	3	3	1	2	0	1	4	4	18
V 群(ぼやけ感)	5	5	5	4	4	4	5	5	37
計	12	14	12	12	9	11	15	19	104

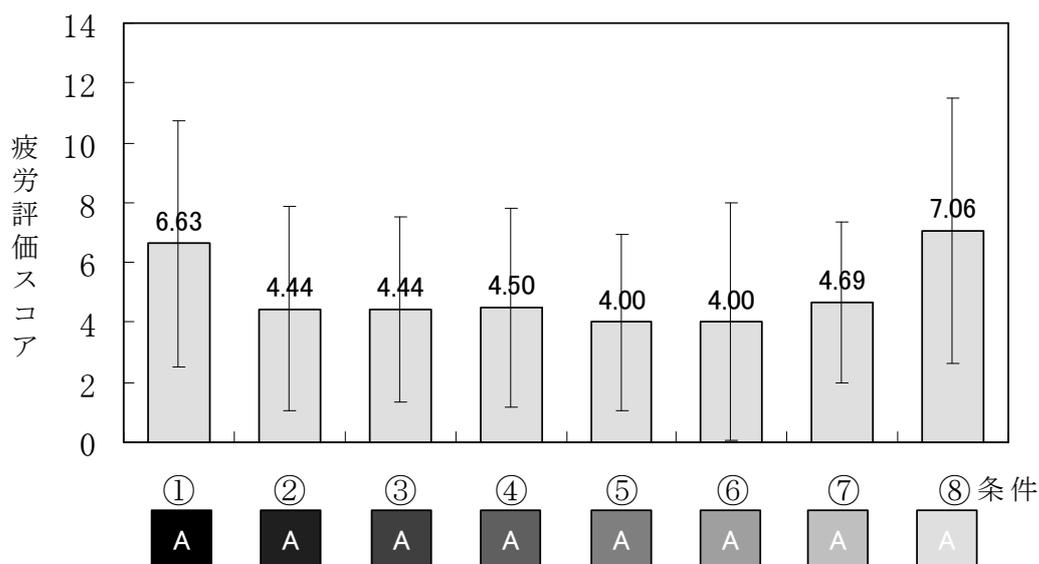


図 3.24 V 群 (ぼやけ感) 総スコアの作業前後差 (陰画表示)

3.3.5. 画面に対するイメージ評価について

全条件の VDT 課題作業終了後、各条件の画面に対して抱いたイメージの平均を求めた。図 3.25 はそのイメージプロフィールである。WCAG2.0 に適合しない条件⑥、⑦、⑧は、文字と背景の明度差が小さい条件ほど、見やすさと読みやすさの 2 項目の評価が低かった。見

やすさの評価平均値は条件②が最も高かった。読みやすさの評価平均値は、条件①から⑤までの5条件において条件②、③、④が類似し、条件①が最も低かった。一元配置分散分析の結果、8条件間の見やすさのイメージ評価に明度差要因による有意な主効果が認められた ($F(7, 120)=22.76, P<0.001$)。同様に8条件間の読みやすさ及び美しさのイメージ評価についても明度差要因による有意な主効果が認められた (読みやすさ: $F(7, 120)=19.72, p<0.001$ 美しさ: $F(7, 120)=2.30, p<0.05$)。8条件間の派手さのイメージ評価に明度差要因による有意な主効果は認められなかった。

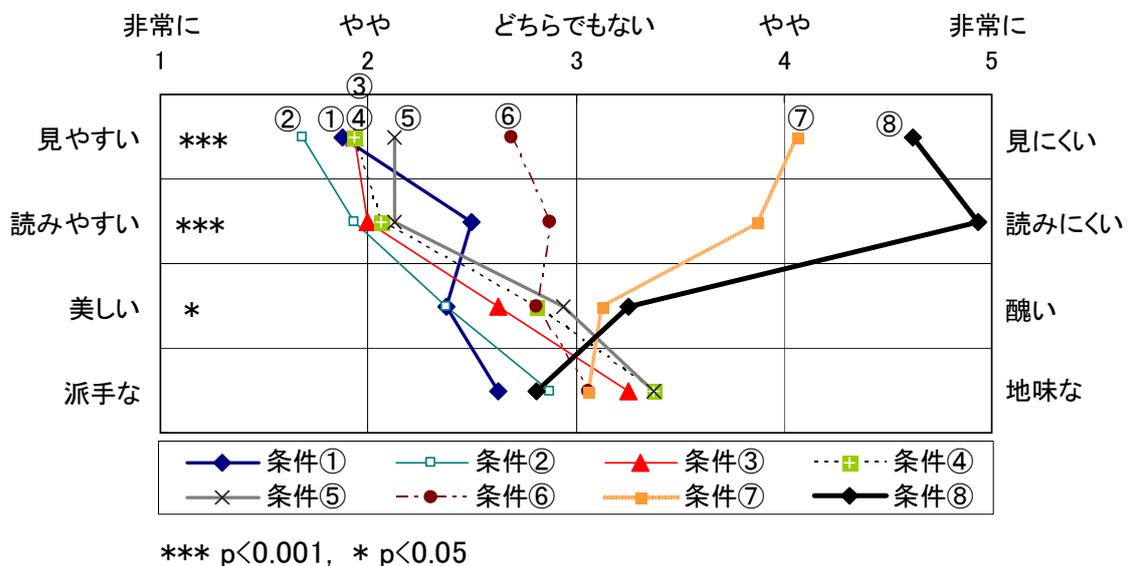


図 3.25 画面に対するイメージ評価 (陰画表示)

3.4. 考察

3.4.1. 明度条件と作業効率について

本章で用いた陰画表示の8明度差条件のうち、ウェブコンテンツアクセシビリティの国際基準 WCAG 2.0 においてレベル AA 基準のコントラスト比 4.5 : 1 に適合する条件は、条件① (明度差:255) から条件④ (明度差:160) までの4条件であった。陰画表示においては

8 条件間の作業量及び誤入力率に有意差はみられなかった。本実験の作業時間は 30 分間であったが、長時間の作業においては、文字と背景の明度条件が作業効率に影響を及ぼす場合が考えられる。第 2 章の陽画表示画面では 8 条件間の誤入力率に有意差がみられたが、本章の陰画表示画面では 8 条件間の誤入力率に有意差がみられなかった。このことから、明度条件が作業効率に与える影響は、陽画と陰画の表示モードにより異なることが推測される。

3.4.2. 明度条件と生理指標による疲労度について

第 2 章で既述したように、VDT 作業後の CFF 値の低下が大きい場合、中枢疲労の程度が大きくなると考えられる。本実験では、8 条件のうち 6 条件で VDT 作業後の CFF 値が有意に低下した。国際基準に適合する条件①（明度差:255）と条件④（明度差:160）の CFF 値は作業前後に有意差が認められなかったが、基準外の条件はいずれも作業後の CFF 値が有意に低下した。これより、陽画表示と同様に、陰画表示においても国際基準に適合する明度条件は作業負担の軽減に有用であることが推察される。本実験において、CFF 値変動率の多重比較では 2 条件間の有意差はみられなかったが、明度差要因による有意な主効果は認められた。したがって、VDT 作業の遂行が可能である明度差を有する文字表示条件においても、コントラスト比が低く国際基準に適合しない条件の場合、生理指標による疲労度に影響を及ぼす可能性が考えられる。

VDT 作業者の疲労に関する研究では、生体信号に基づく疲労の解析手法を確立することは難しいものの、生体情報の変化が用いられている（中山ら 2001、宮地ら 2005、八谷ら 2008）。本研究では、いずれの条件においても作業前後の血圧及び心拍数測定値に有意差は認められなかった。このことは被験者の心理的变化等の要因による影響も推測されるため、疲労評価に用いる生理指標の選定及び測定手法についてさらに検討を行い、疲労度の定量的評価に関する精度を向上させる必要があると思われる。

3.4.3. 明度条件と心理評価について

陰画表示 8 条件を用いた本実験において、作業後の疲労評価スコアが有意に高かった項目の数は条件⑧が最も多く、次いで条件⑦であり、いずれも文字と背景の明度差が著しく低い条件であった。作業前と作業後の疲労評価スコアに有意差のみられた項目数が最も少なかったのは、条件⑤で 9 項目、次に条件⑥で 11 項目であり、この 2 条件はいずれも国際基準に適合しない。また、国際基準に適合する 4 条件(①～④)間における疲労評価には顕著な差がみられなかった。これらの結果より、陰画表示においては、主観評価による疲労感の程度と国際基準への適合の可否とは必ずしも一致せず、国際基準に適合しない条件においても適度な明度差が保持された文字表示では、心理的疲労感が軽減されることが明らかとなった。

山口ら(2005)は、VDT 作業の作業時間が短い場合は、生理機能変動では疲労度が高い場合でも、自覚症としては疲労感が高くなっていない場合もあり得ることを報じている。本実験においても、30 分間の VDT 作業では、国際基準に適合しない一部の条件において、CFP 値変動による疲労度の増加は認められるものの、「自覚症しらべ」による疲労評価スコアは低く、生理指標変動と心理評価による疲労感が一致しない条件もあり、山口らの報告と共通する傾向がみられた。ただし、これらの条件においても VDT 作業が長時間に及ぶ場合は、生体情報と主観情報の双方とも疲労が増加する可能性が考えられる。

画面に対するイメージ評価について、国際基準に適合する 4 条件(①～④)を比較すると、見やすさの評価は条件②が最も高く、読みやすさの評価は条件②、③、④が類似し、最大明度差の条件①が最も低かった。美しさ及び派手さの評価については、8 条件間に顕著な差はみられなかった。本実験では、画面の機能性に関わる見やすさや読みやすさでは 8 条件間の明度差により評価が異なったが、審美性に関わる評価では顕著な差がみられなかった。ウェブページの文字の読みやすさについて、Hall ら(2003)は陰画表示より陽画表示の評価が高かったが、文字と背景の条件組合せと評価結果との関

係は複雑であり、ウェブガイドラインと矛盾する場合があることを報告している。ウェブサイト等のデジタルコンテンツにおいて、審美性の印象評価が高い条件の場合でも、可読性や視認性が低い条件は、作業効率の低下や疲労感の増加の要因となる可能性があるといえる。

以上のことから、VDT 作業のための適正な条件が整備された室内環境下の陰画表示画面の場合、文字と背景の明度差が国際基準に適合する条件のうち、明度差を抑えた条件（文字と背景の明度 L 値の差:160~224）は、作業効率の向上及び疲労感の軽減に有用であると推察される。しかし、畑木ら（2004）は学齢発達段階ごとに見やすいと感じる画面条件が異なり、視認特性の学齢差があることを報告していることから、教育機関の ICT 活用学習においては、学齢及び作業内容の特性や作業時間によって適切な明度条件は異なる場合があると考えられる。今後は、教育機関の ICT 活用学習に適した VDT 作業環境の基準となる指針が必要といえる。

3.4.4. まとめ

本章では、文字より背景の明度が低い陰画表示画面を用いて検討した。その結果、作業効率については、明度差条件による影響に顕著な差はみられなかった。自覚症による疲労評価については、国際基準への適合の可否と疲労感の程度は必ずしも一致せず、国際基準に適合しない条件においても適度な明度差を有する条件では心理的疲労感が軽減されることが確認された。また、明度差が最大となる黒背景に白文字の条件は、国際基準に適合する他の条件より読みやすさの評価が低く、イメージ評価において心理的負担を増加させる場合があると考えられることから、白文字（L 値:255）の場合、黒背景（L 値:0）より明度差をやや抑えた条件（背景の L 値:31~95）の方が心理的作業負担の軽減に有用であると推察される。

第 2 章の陽画表示と同様に陰画表示においても、文字と背景の明度差が最大となる条件は、見やすさ又は読みやすさの評価において

VDT 作業の推奨画面条件として適していない可能性が示唆された。ウェブサイトのアクセシビリティを確保するという目的により、国際基準のコントラスト比は下限値のみ規定されている。しかしながら、VDT 作業をより快適にするための推奨基準を明示するという観点からはコントラスト比の上限値についても今後想定することが求められる。ただし、WCAG2.0 はウェブコンテンツ作成のためのガイドラインであることから、ICT 活用教育で使用されるウェブサイト以外のソフトウェア及び ICT 教材等を開発・利用する際のガイドラインについては今後の検討と策定が必要である。

陰画表示において、作業効率、生理指標、心理評価、画面に対するイメージ評価は、第 2 章の陽画表示による結果と異なる点がみられたことから、VDT 画面上の文字と背景の明度条件がユーザビリティ及び生理的・心理的反応に与える影響は、陽画と陰画の表示モードによって異なることが示唆された。

第 4 章

VDT 画面の明度条件が作業効率及び生理的 心理的反応に及ぼす影響 (1)

－陽画表示と陰画表示の比較－

4.1. はじめに

第 2 章及び第 3 章では、デジタルコンテンツのユーザビリティを向上させ、疲労感を軽減する VDT 画面の明度条件を検討するために、グレースケールによる陽画表示画面 8 条件と陰画表示画面 8 条件を用い、大学生の VDT 課題遂行における作業効率、生理反応及び心理評価を測定した。その結果、文字が黒の陽画表示では、文字と背景の明度が異なる 8 条件間の誤入力率に有意差がみられ、WCAG2.0 に適合する条件においても、作業効率及び疲労感は明度条件によって異なることが認められた。文字が白の陰画表示では、作業量及び誤入力率に有意差がみられず、明度差が最大の条件と明度差の低い条件において疲労感が増加した。これらのことから、VDT 作業における画面上の明度条件がユーザビリティ及び生理的・心理的反応に与える影響は、陽画と陰画の表示モードによって異なることが示唆された。

陽画表示と陰画表示に関するこれまでの研究において、背景と文字に明るさの異なる無彩色同士を組み合わせさせた場合、陽画表示と陰画表示に対する読みやすさの評価は、世代間及び色覚特性の有無によって異なることが報告されている（細井ら 2008）。しかしながら、作業疲労が少なく作業能率も高い表示色は陽画表示に多かったとする報告（1985 西村ら）や、Web ページの文字の読みやすさへの影響は陰画表示の方がよい結果に繋がったとする報告（Humar ら 2008）もあり、研究によって表示モードに関する評価結果は異なる。また、日本語入力のかな漢字変換の際、候補を選択する入力効率ではポジ

ティブとネガティブの表示モードによる明確な影響は認められなかったもの（今村ら 1994）等、陽画と陰画の表示モード間に差がみられなかったとの報告もあり、表示モードに関する評価は一定ではないことがわかる。

これまでの報告において結論が異なる要因として、第 1 章にて既述した以下のことが挙げられる。VDT 画面上に表示される色は光源色であるが、それらの色は、(1)VDT 画面に表示されるデジタルコンテンツが有する表示色の設定値、(2)VDT 製品を介することで表示される光源色としての輝度、(3)室内照明等による照度、この(1)～(3)の三条件が複合された視環境において知覚されると考えられる。加えて、VDT 作業における人間工学的評価のための諸因子には、視機能や作業姿勢等のユーザーの特性、気流や設備等の作業環境、作業内容等のタスクの特性、使用するディスプレイ製品及びコンピュータの性能等、数多くの因子が存在する（吉武 2002）。このような要因により、各報告における評価結果が異なっていると推察される。

そこで、VDT 画面に表示されるデジタルコンテンツの文字や背景を適切な値で設定するための明度条件を明らかにするという本研究の目的に基づき、本章では、グレースケールの VDT 画面を用い、陽画表示と陰画表示の表示モードが作業効率、生理反応及び心理評価へ及ぼす影響について比較することを目的とした。

4.2. 実験方法

本章は、第 2 章及び第 3 章におけるグレースケールによる陽画表示 8 条件と陰画表示 8 条件の VDT 画面を用いた実験結果を比較分析した。（図 4.1）

実験方法のうち、明度差条件の設定、実験時期、場所、対象者、方法、実験内容は第 2 章、第 3 章で既述した。

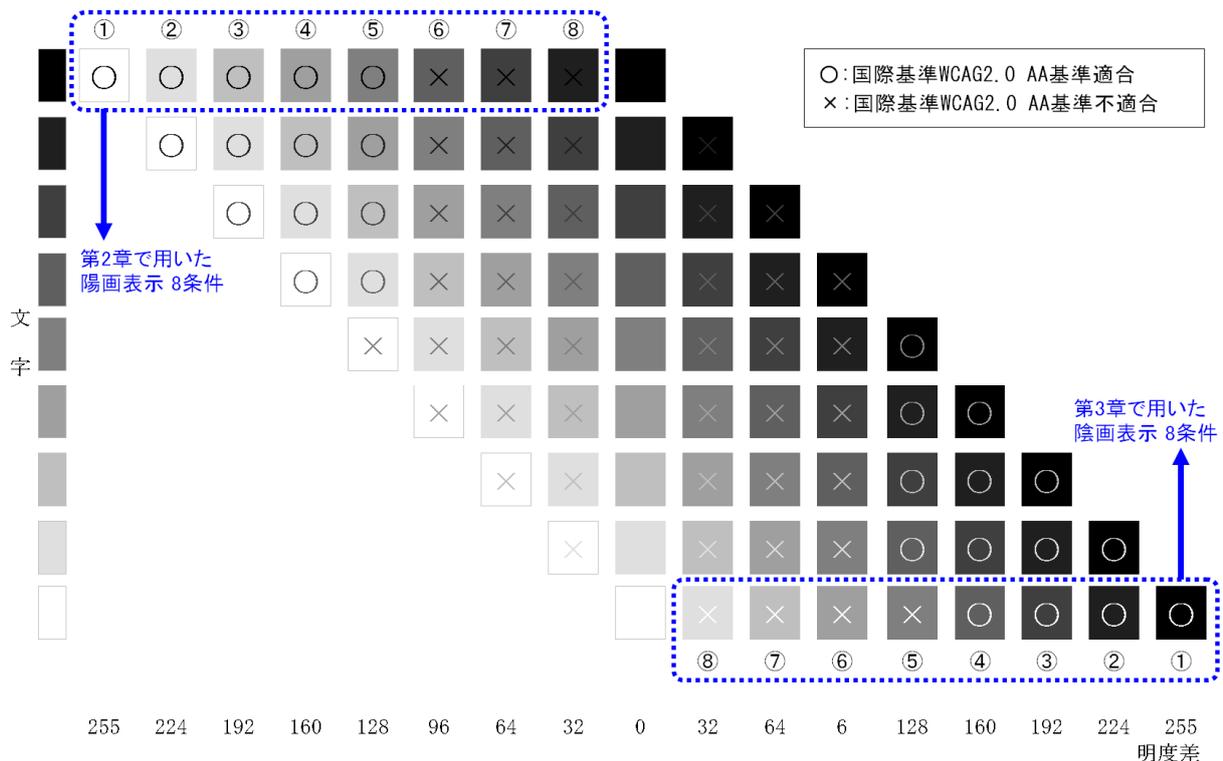


図 4.1 グレースケールによる文字と背景の明度差条件一覧

4.2.1. 分析方法

陽画と陰画の表示モード間の比較について、以下の方法により分析した。

- (1) 作業量、誤入力率、生理指標の各測定値の明度差による変化は、表示モードによって差がみられるか二元配置分散分析を行った。
- (2) 陽画表示と陰画表示の各表示モードにおける作業量、誤入力率の8条件間の比較は、一元配置分散分析を行い、有意差が認められた場合について Tukey 法による多重比較を行った。作業量、誤入力率の表示モード間の比較は、対応のある t 検定にて分析した。
- (3) 拡張期血圧、収縮期血圧、心拍数の作業前後の比較、作業前後差の表示モード間の比較は、対応のある t 検定にて分析した。
- (4) CFF 値の作業前後差及び CFF 値変動率の表示モード間の比較は対応のある t 検定にて分析した。各表示モードにおける8条件間の CFF 値変動率の比較は一元配置分散分析を行い、有意差が認められた場合について Tukey 法による多重比較を行った。

- (5) 作業効率（作業量・誤入力率）と明度差との関係、CFF 値変動率と明度差との関係は Pearson の積率相関係数を求めた。
- (6) 疲労評価スコアの作業前後差の表示モード間の比較は、対応のある t 検定にて分析した。
- (7) 画面に対するイメージ評価の各明度差条件における表示モード間の比較は、対応のある t 検定にて分析した。

4.3. 結果

4.3.1. 作業量と誤入力率による作業効率について

陽画表示と陰画表示の各条件の作業量を図 4.2 に、誤入力率を図 4.5 に示す。二元配置分散分析の結果、作業量及び誤入力率のいずれも、表示モード要因と明度差要因の組み合わせによる有意な交互作用はみられなかった。また、作業量及び誤入力率のいずれも表示モード要因による有意な主効果はみられなかった。陽画表示の条件①と陰画表示の条件①のように文字と背景の明度差が等しい 2 条件間の比較では、作業量及び誤入力率のいずれも陽画表示と陰画表示の表示モード間に有意差はみられなかった。各表示モードにおける 8 条件間の作業量については、第 2 章及び第 3 章に既述したとおり一元配置分散分析の結果、陽画表示・陰画表示のいずれも明度差要因による有意な主効果はみられなかった。また、8 条件間の誤入力率については、陰画表示で明度差要因による有意な主効果はみられなかったが、陽画表示で有意な主効果がみられた ($F(7, 104)=3.41$, $p<0.01$)。

作業量と明度差との関係については、陽画表示で作業量と明度差との間に有意な正の相関が認められた ($r=0.238$, $p<0.05$) (図 4.3)。陰画表示では、作業量と明度差との相関は認められなかった ($r=0.009$, $p>0.05$) (図 4.4)。誤入力率と明度差との関係については、陽画表示で誤入力率と明度差との間に有意な負の相関が認められた ($r=-0.270$, $p<0.01$) (図 4.6)。陰画表示では、誤入力率と明度

差との相関は認められなかった ($r=-0.185, p>0.05$) (図 4.7)。以上より、作業量及び誤入力率の明度差による変化に表示モード間の有意な差はなかったが、陽画表示において文字と背景の明度差が大きい条件ほど作業量がやや多く、誤入力率がやや低い傾向がみられ、作業効率と明度差との関係は表示モードにより異なった。

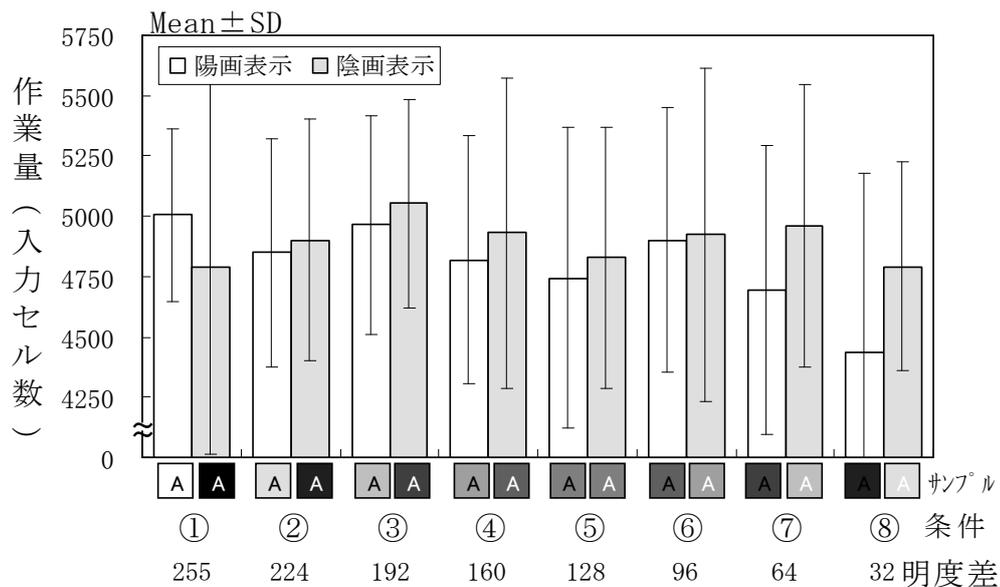


図 4.2 VDT 課題の作業量

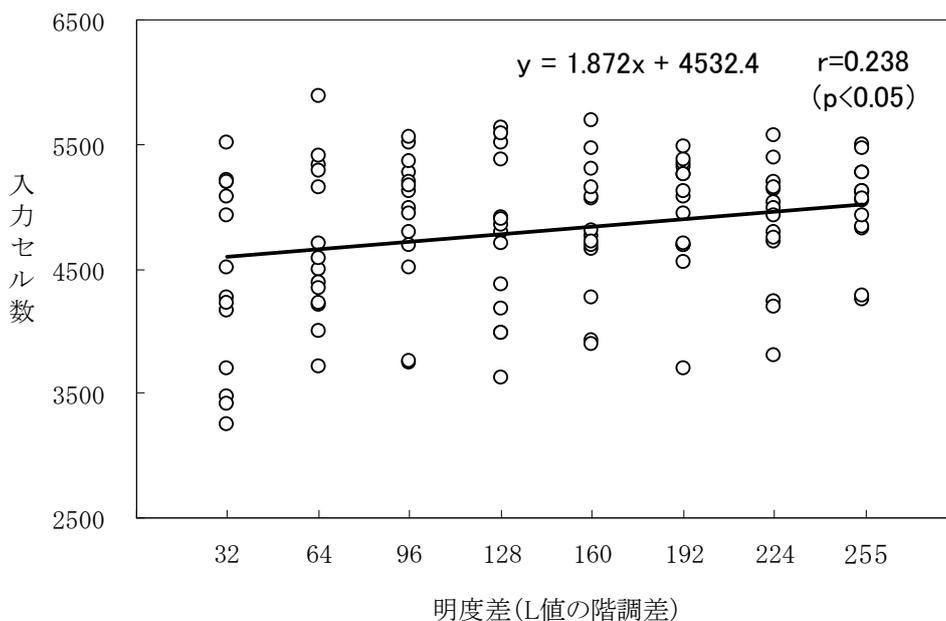


図 4.3 作業量と明度差の関係 (陽画表示)

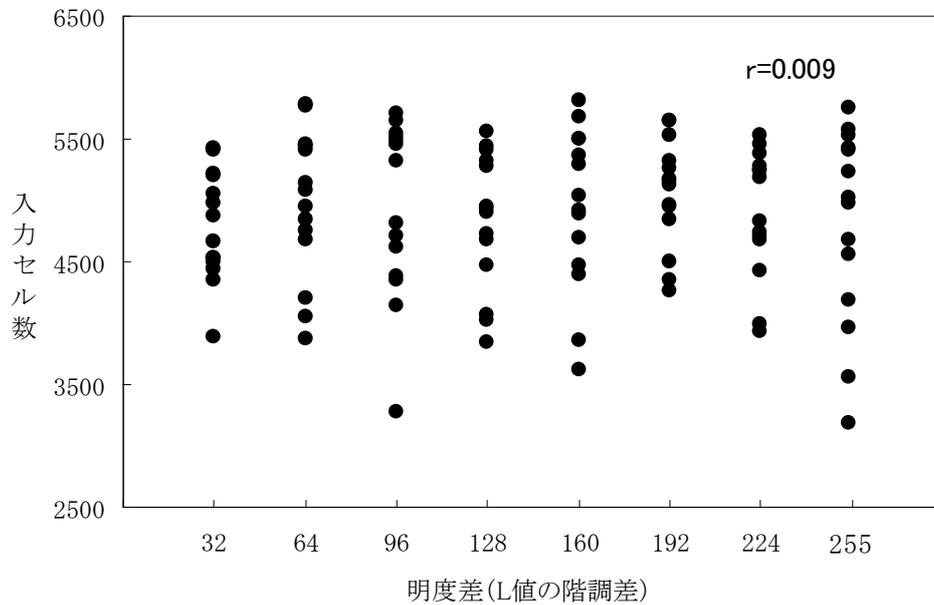


図 4.4 作業量と明度差の関係（陰画表示）

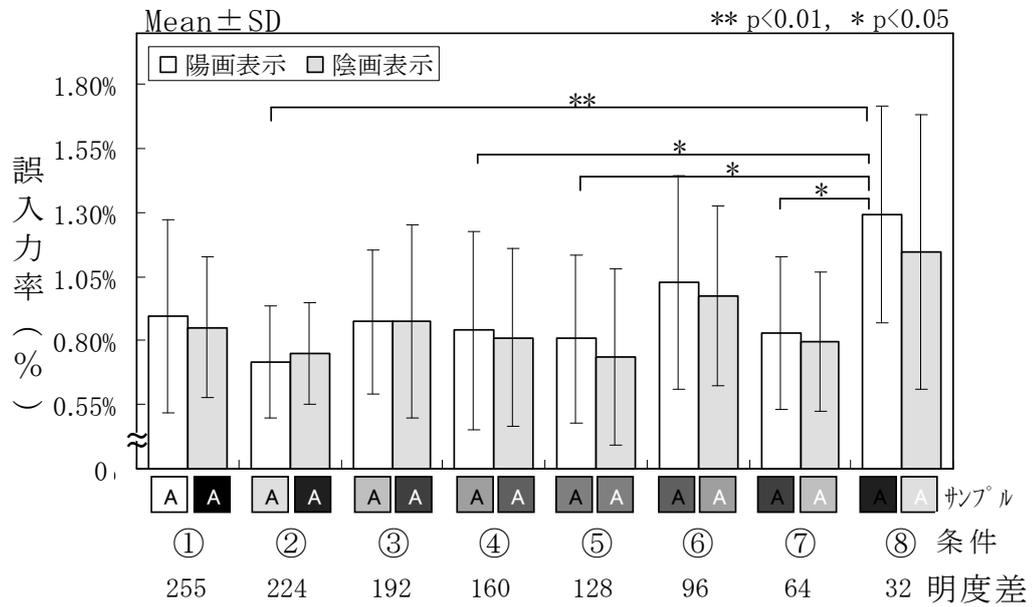


図 4.5 VDT 課題の誤入力率

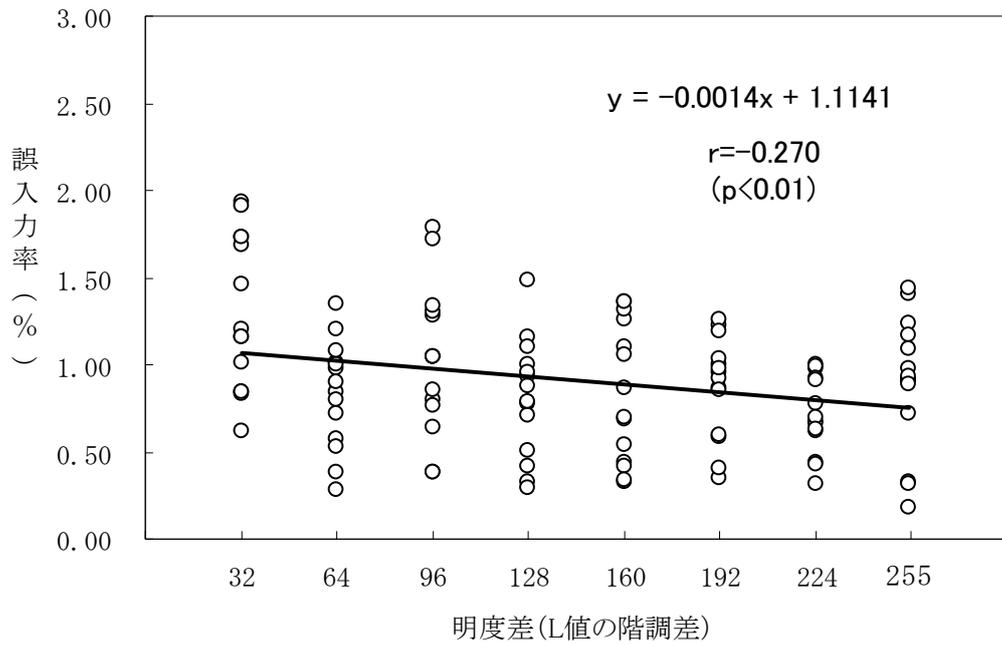


図 4.6 誤入力率と明度差の関係（陽画表示）

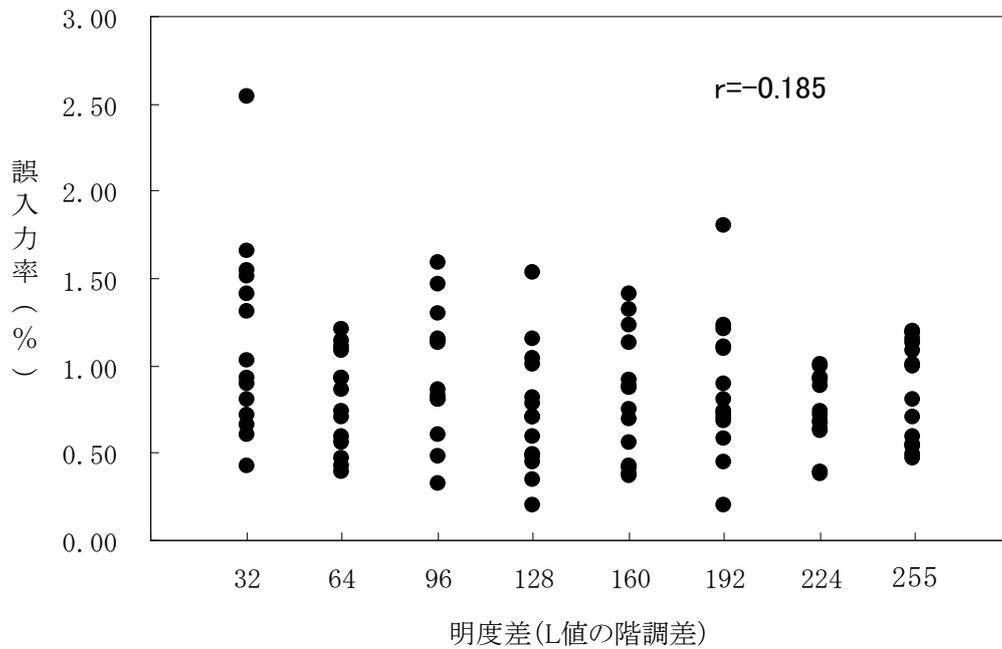


図 4.7 誤入力率と明度差の関係（陰画表示）

4.3.2. 血圧、心拍数、CFF 値による生理的反応について

二元配置分散分析の結果、収縮期血圧、拡張期血圧、心拍数のいずれも、10 条件の作業前後の差に、表示モード要因と明度差要因の組み合わせによる有意な交互作用はみられなかった。また、収縮期血圧、拡張期血圧、心拍数のいずれも表示モード要因による有意な主効果はみられなかった。陽画表示と陰画表示の各 8 条件において、収縮期血圧、拡張期血圧、心拍数のいずれも、作業前と作業後の値に有意差はみられなかった。収縮期血圧及び拡張期血圧の作業前後の差については、明度差が等しい陽画表示と陰画表示の間に有意差はみられなかった（図 4.8、図 4.9）。同様に、心拍数の作業前後の差についても、明度差が等しい陽画表示と陰画表示の間に有意差はみられなかった。

二元配置分散分析の結果、CFF 値変動率に表示モード要因と明度差要因の組み合わせによる有意な交互作用はみられなかった。CFF 値の作業前後の差については、明度差が等しい陽画表示と陰画表示の間に有意差はみられなかった（図 4.10）。同様に、CFF 値変動率についても、明度差が等しい陽画表示と陰画表示の間に有意差はみられなかった（図 4.11）。各表示モードにおける 8 条件間の CFF 値変動率については、第 2 章と第 3 章にて既述したように陽画表示と陰画表示のいずれも 8 条件間に有意差が認められた（図 2.21、図 3.15）。

CFF 値変動率と明度差との関係については、陽画表示と陰画表示のいずれも、CFF 値変動率と明度差との間に有意な正の相関が認められ、文字と背景の明度差が小さい条件ほど作業後の CFF 値が低下する傾向がみられた（陽画表示： $r=0.255$, $p<0.01$, 陰画表示： $r=0.285$, $p<0.01$ ）（図 4.12、図 4.13）。しかし、明度差が最大の条件①では、陽画表示のみ作業後の CFF 値が有意に低下し、前述の相関関係と一致しない条件もみられた。

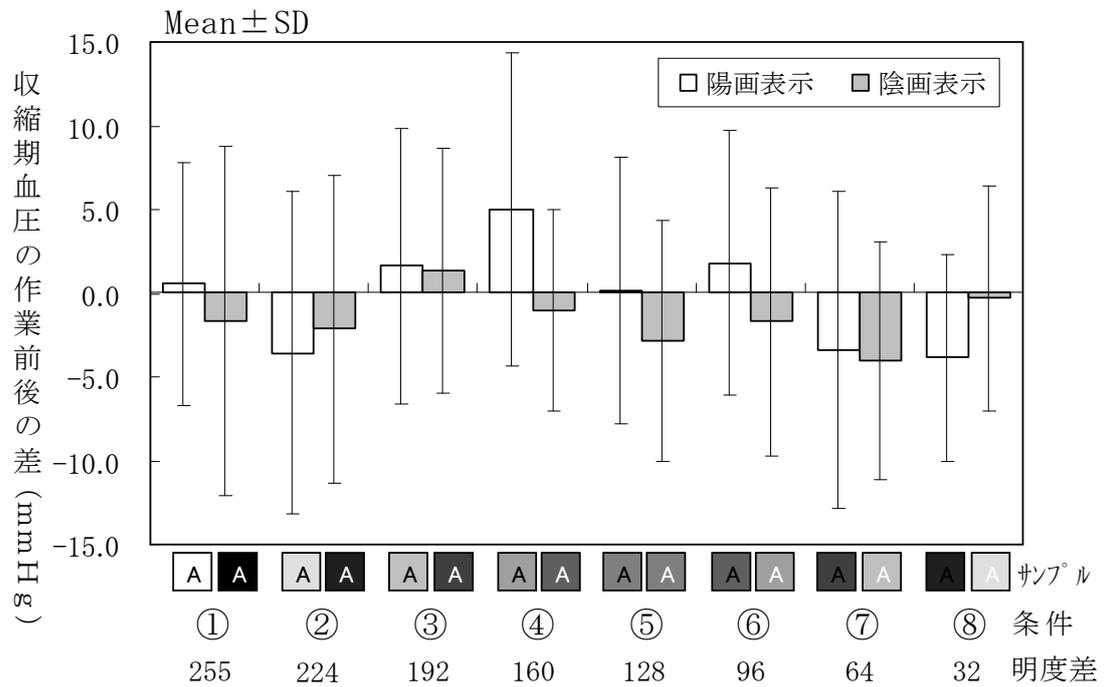


図 4.8 収縮期血圧の作業前後の差

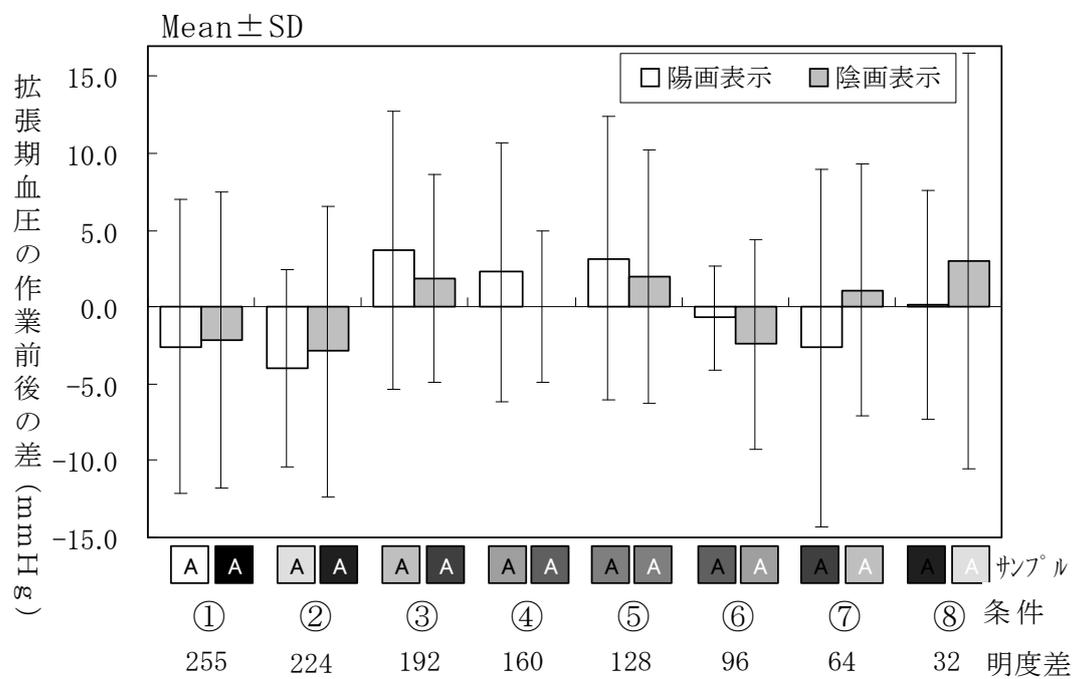


図 4.9 拡張期血圧の作業前後の差

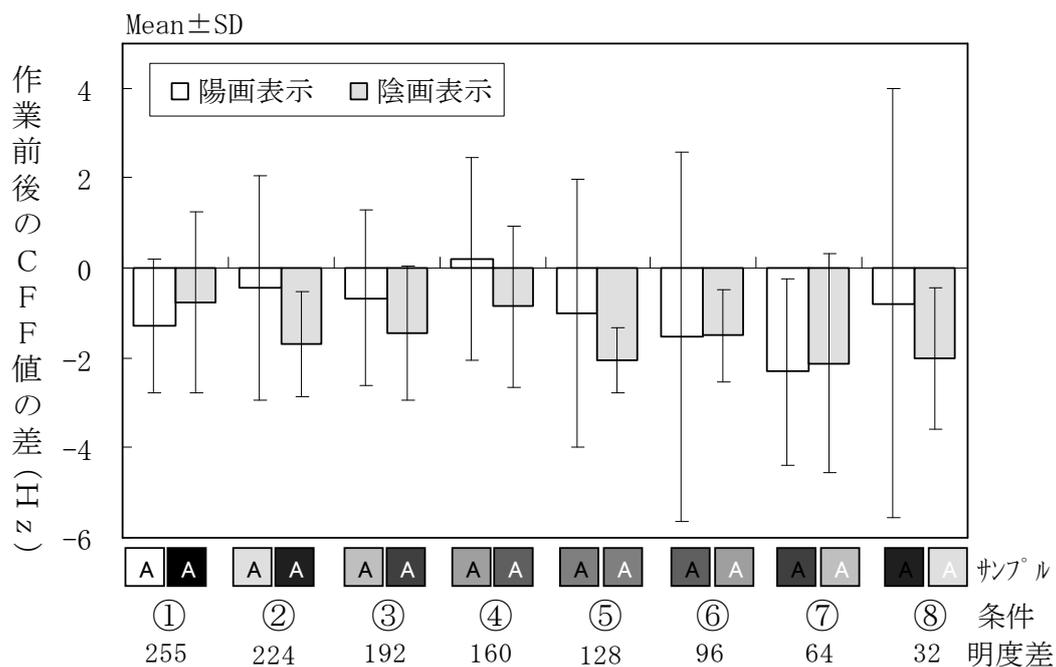


図 4.10 作業前後の CFF 値の差

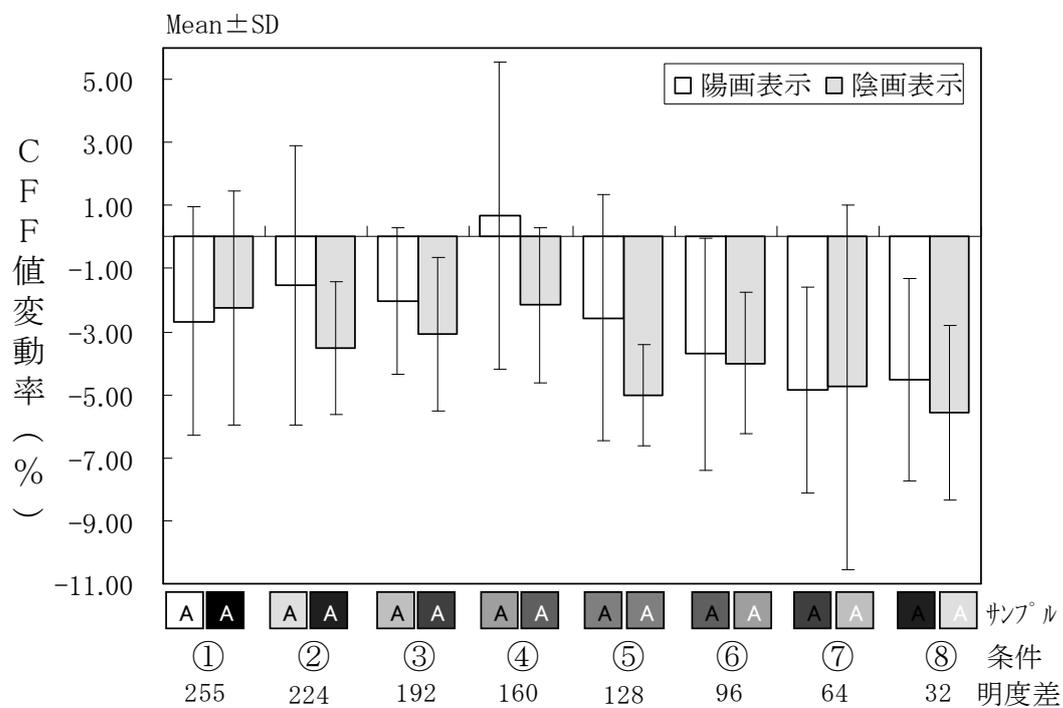


図 4.11 CFF 値変動率

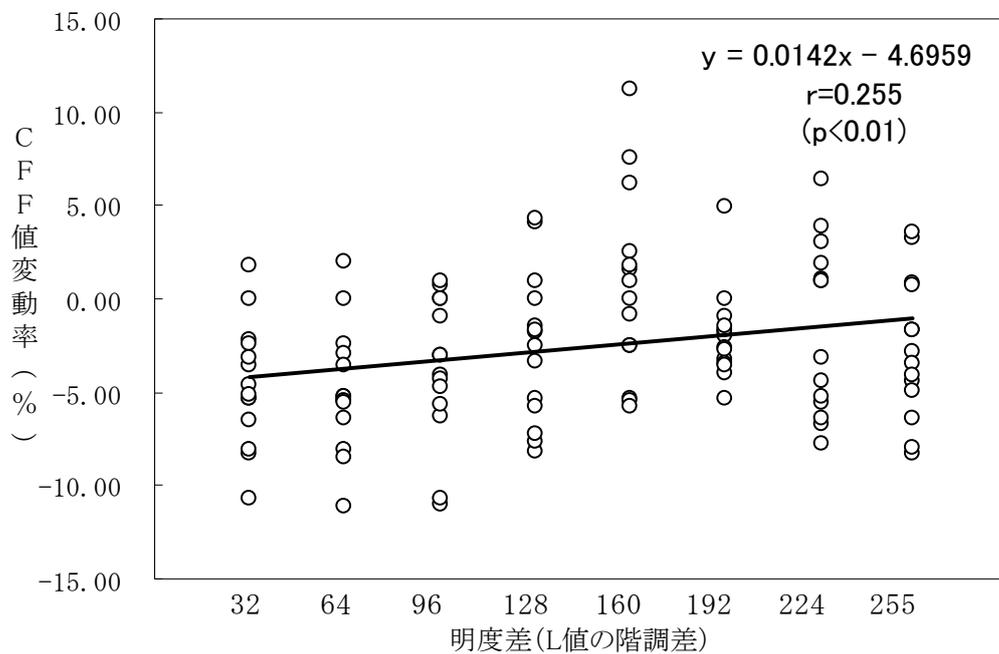


図 4.12 CFF 値 変 動 率 と 明 度 差 の 関 係 (陽 画 表 示)

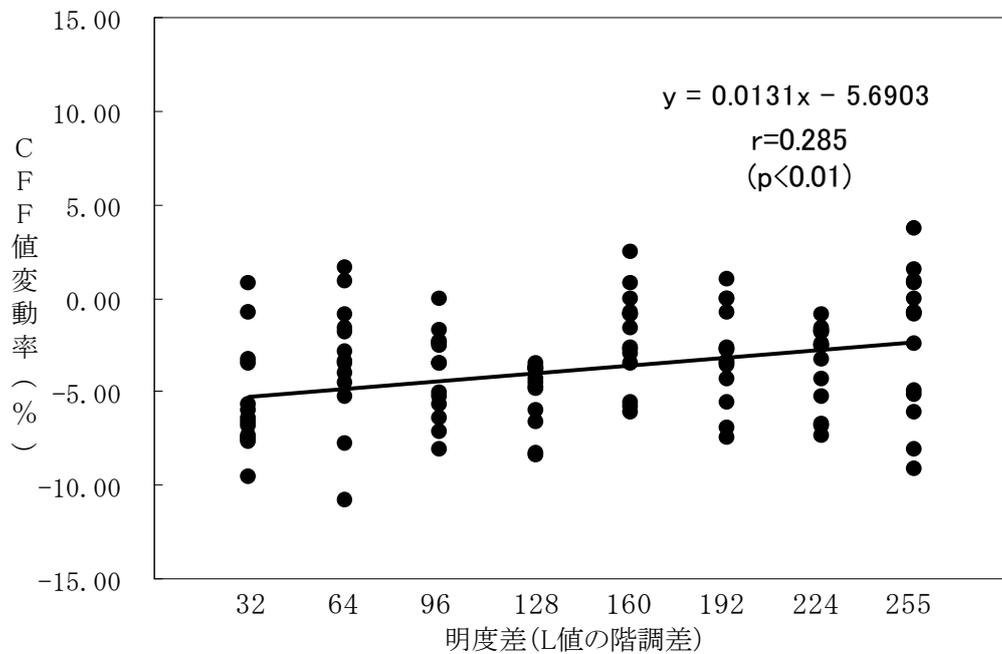


図 4.13 CFF 値 変 動 率 と 明 度 差 の 関 係 (陰 画 表 示)

4.3.3. 疲労評価による心理的反応について

陽画と陰画の各表示モードにおける疲労評価スコアの作業前後の差の平均を明度差条件ごとにプロットした。疲労評価スコアの作業前後の差が大きいほど心理的疲労感が高いことを示す。以下、疲労評価スコアの作業前後の差を疲労感と記載する。図 4.14 に示す条件①では、I 群（ねむけ感）で 1 項目、III 群（不快感）で 1 項目、IV 群（だるさ感）で 2 項目、V 群（ぼやけ感）で 1 項目の計 5 項目で陽画と陰画の表示モード間に有意差がみられ、5 項目とも陰画表示の疲労感が高かった。（全身がだるい： $t(15)=-2.45$, $p<0.05$, 気分がわるい： $t(15)=-2.61$, $p<0.05$, 腰がいたい： $t(15)=-2.24$, $p<0.05$, 足がだるい： $t(15)=-2.74$, $p<0.05$, 目がしょぼつく： $t(15)=-2.33$, $p<0.05$) 条件②では、II 群（不安定感）で 1 項目、III 群（不快感）で 1 項目、V 群（ぼやけ感）で 1 項目の計 3 項目で陽画と陰画の表示モード間に有意差がみられ、3 項目とも陰画表示の疲労感が高かった（おちつかない気分だ： $t(15)=-2.52$, $p<0.05$, 頭がいたい： $t(15)=-2.76$, $p<0.05$, 目がかわく： $t(15)=-3.58$, $p<0.01$)（図 4.15）。条件③から⑥までの 4 条件では、表示モード間の疲労感に有意差はみられなかった（図 4.16、図 4.17、図 4.18、図 4.19）。条件⑦では、I 群（ねむけ感）の 1 項目で陽画と陰画の表示モード間に有意差がみられ、陰画表示の疲労感が高かった（ねむい： $t(15)=-2.30$, $p<0.05$)（図 4.20）。図 4.21 に示す条件⑧では、I 群（ねむけ感）で 1 項目、IV 群（だるさ感）で 2 項目、V 群（ぼやけ感）で 1 項目の計 4 項目で、陽画と陰画の表示モード間に有意差がみられ、4 項目中 3 項目で陽画表示の疲労感が高かった（やる気がとぼしい： $t(15)=2.76$, $p<0.05$, 肩がこる： $t(15)=2.78$, $p<0.05$, 腕がだるい： $t(15)=3.87$, $p<0.01$, 目がかわく： $t(15)=-2.67$, $p<0.05$)。各条件における疲労評価スコアの作業前後差の比較と有意差のみられた項目数を表 4.1 に示す。

「自覚症しらべ」のうち、目の疲労を示す V 群（ぼやけ感）について、陽画表示と陰画表示の各条件における疲労評価総スコアの作

業前後の差を図 4.22 に示す。条件①において、陽画表示より陰画表示の疲労感が有意に高かった ($t(15)=-2.75, p<0.05$)。条件②から⑧の 7 条件では、表示モード間の V 群（ぼやけ感）の疲労感に有意差はみられなかった。

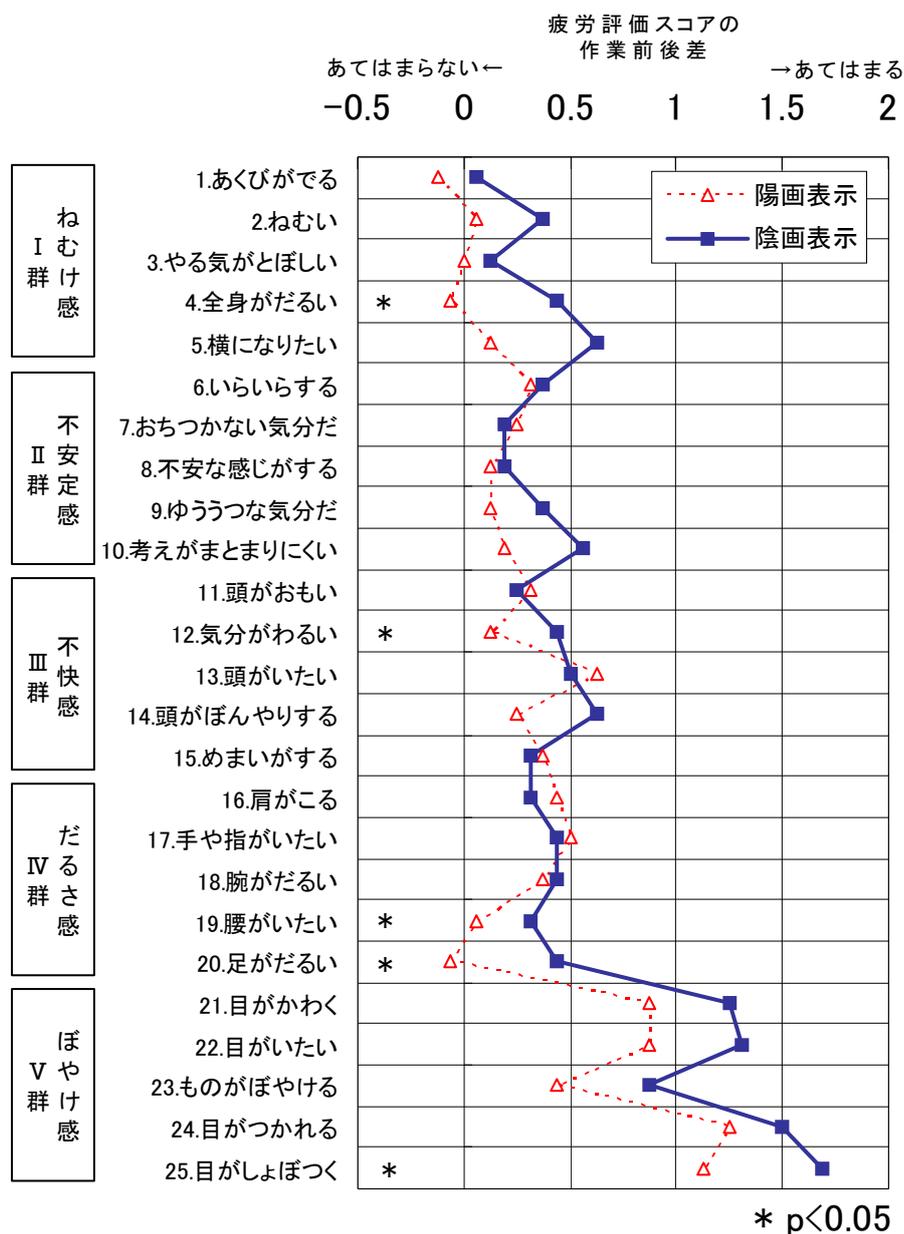


図 4.14 「自覚症しらべ」による疲労評価スコアの作業前後の差
(条件① 陽画表示・陰画表示)

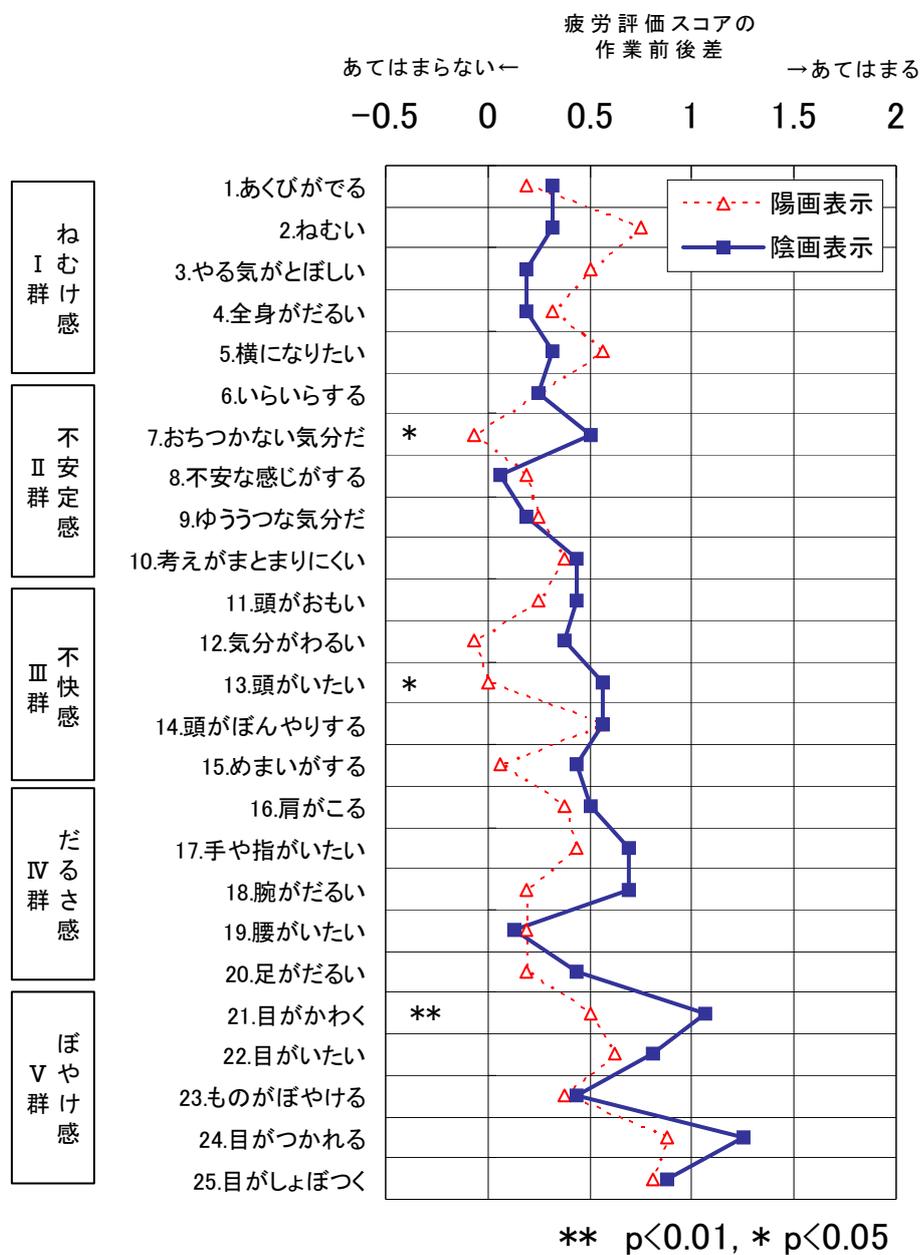


図 4.15 「自覚症しらべ」による疲労評価スコアの作業前後の差
(条件② 陽画表示・陰画表示)

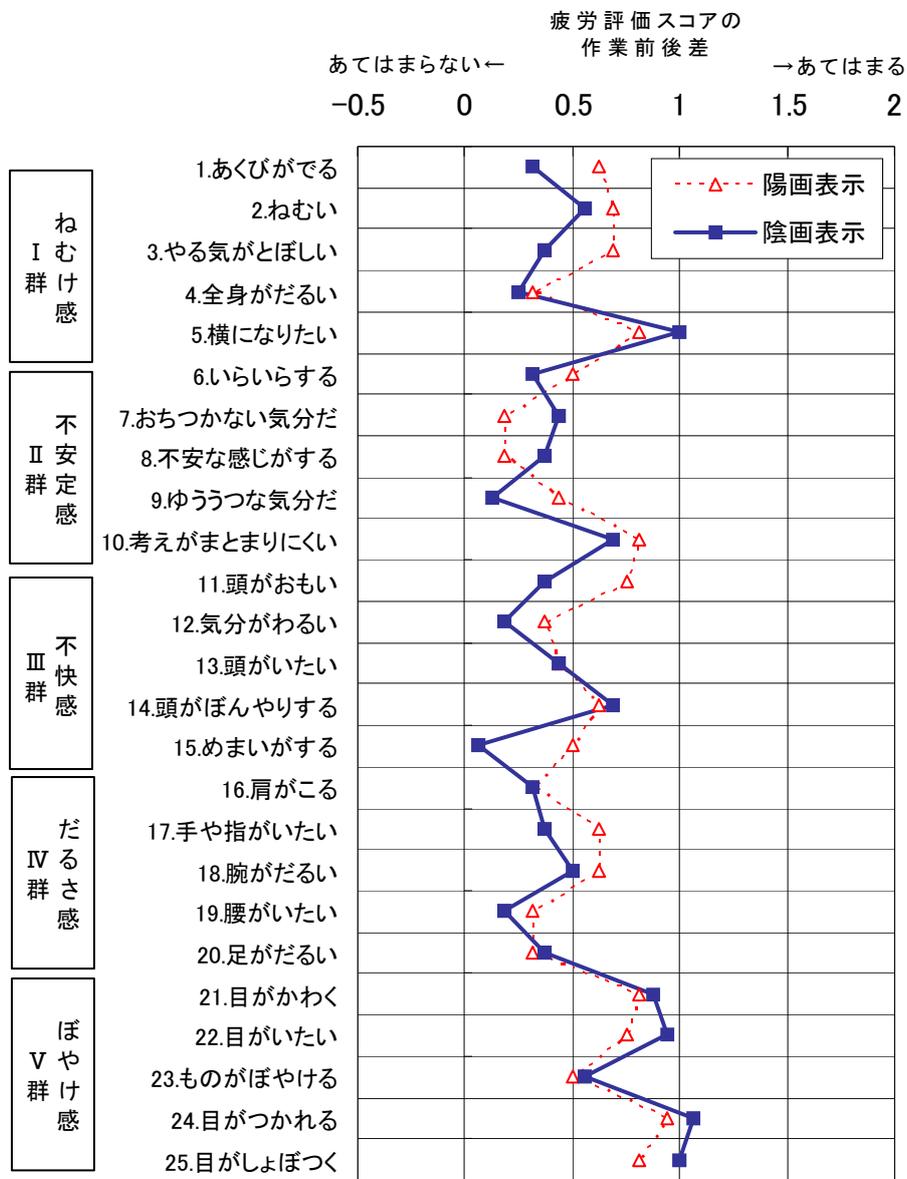


図 4.16 「自覚症しらべ」による疲労評価スコアの作業前後の差
(条件③ 陽画表示・陰画表示)

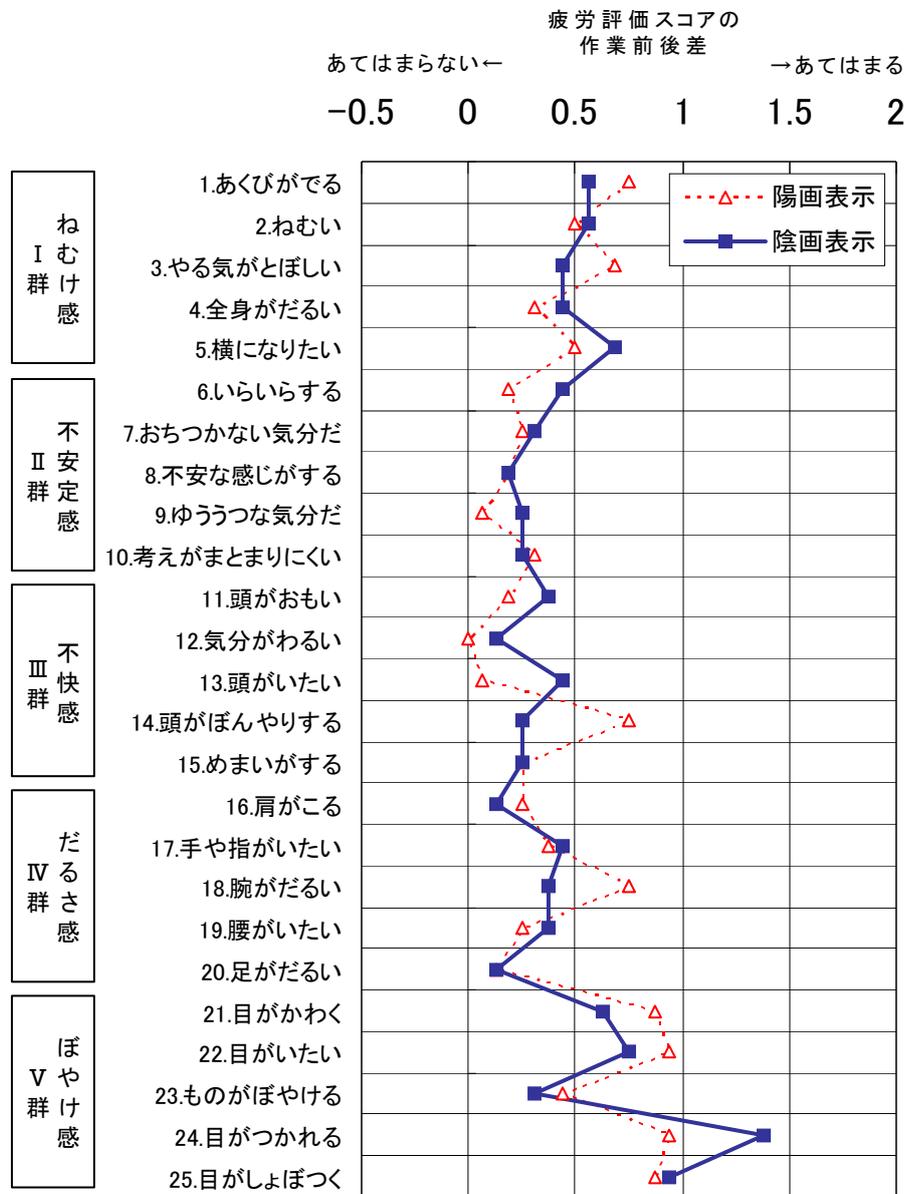


図 4.18 「自覚症しらべ」による疲労評価スコアの作業前後の差
(条件⑤ 陽画表示・陰画表示)

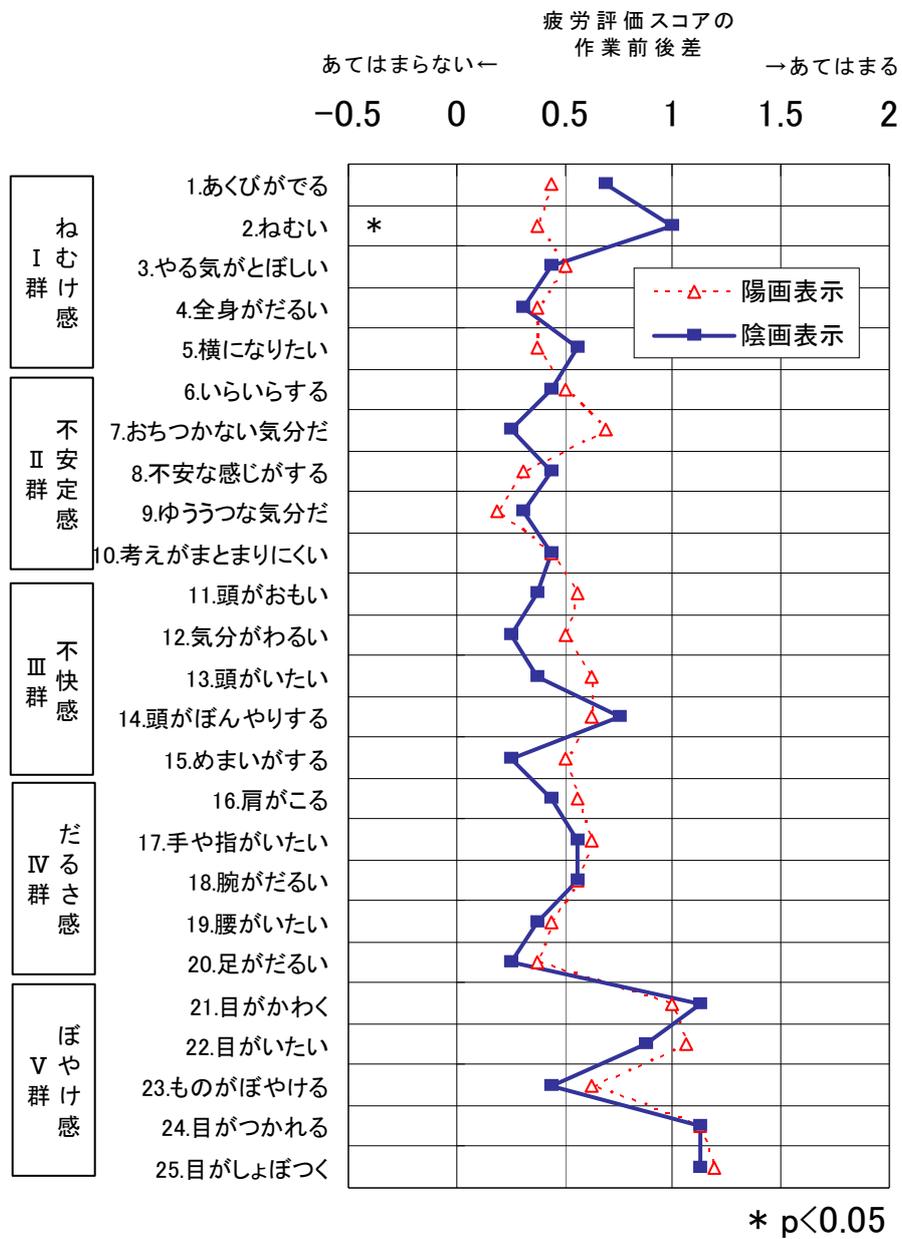


図 4.20 「自覚症しらべ」による疲労評価スコアの作業前後の差
(条件⑦ 陽画表示・陰画表示)

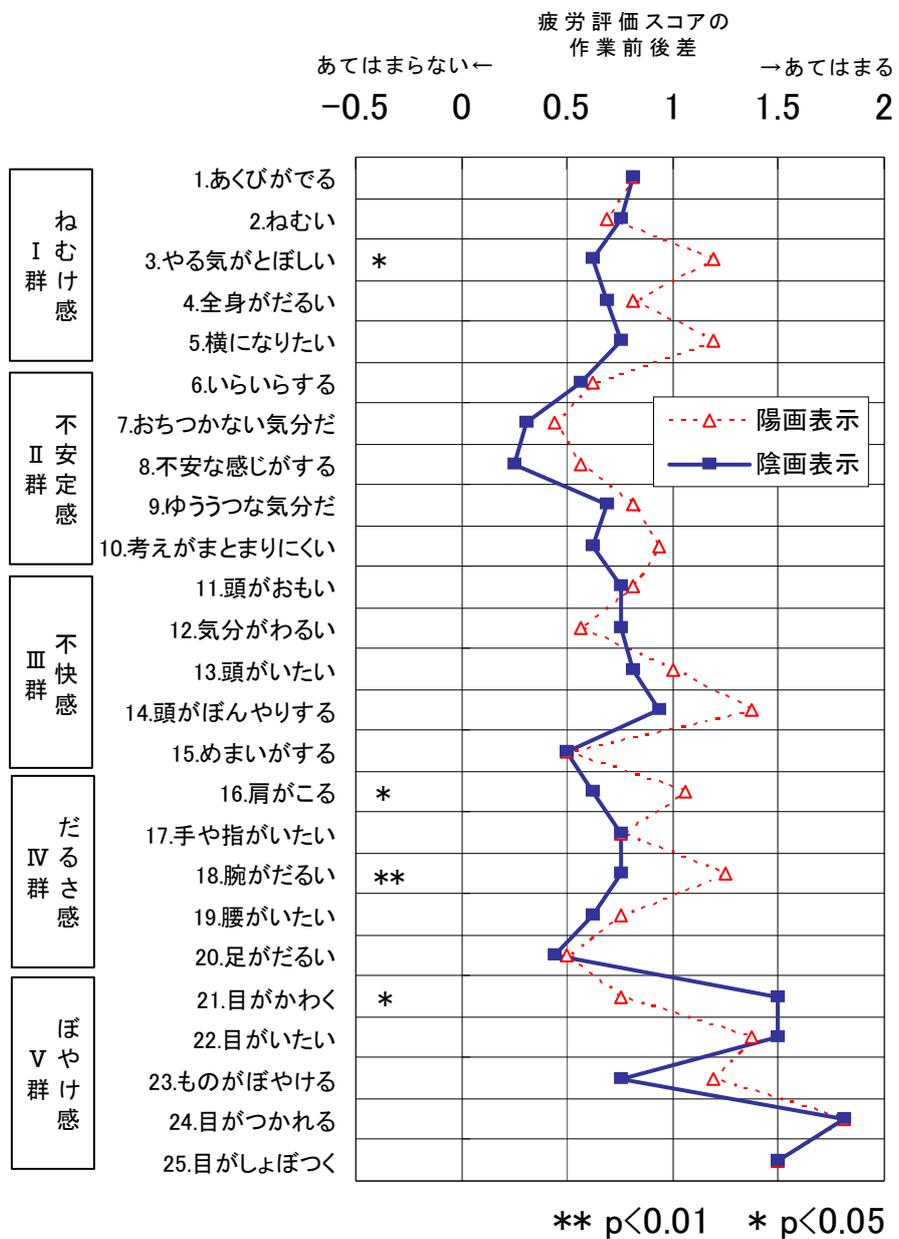


図 4.21 「自覚症しらべ」による疲労評価スコアの作業前後の差
(条件⑧ 陽画表示・陰画表示)

表 4.1 疲労スコアの作業前後差の比較と有意差のみられた項目数

	条件①		条件②		条件③~⑥ 項目数	条件⑦		条件⑧	
	疲労評価スコアの作業前後差		疲労評価スコアの作業前後差			疲労評価スコアの作業前後差		疲労評価スコアの作業前後差	
	項目数	項目数	項目数	項目数		項目数	項目数	項目数	項目数
	陽画	陰画	陽画	陰画		陽画	陰画	陽画	陰画
I群(ねむけ感)	A < A	1	—	0	—	A < A	1	A > A	1
II群(不安定感)	—	0	A < A	1	—	—	0	—	0
III群(不快感)	A < A	1	A < A	1	—	—	0	—	0
IV群(だるさ感)	A < A	2	—	0	—	—	0	A > A	2
V群(ぼやけ感)	A < A	1	A < A	1	—	—	0	A < A	1
計	5		3		0	1		4	

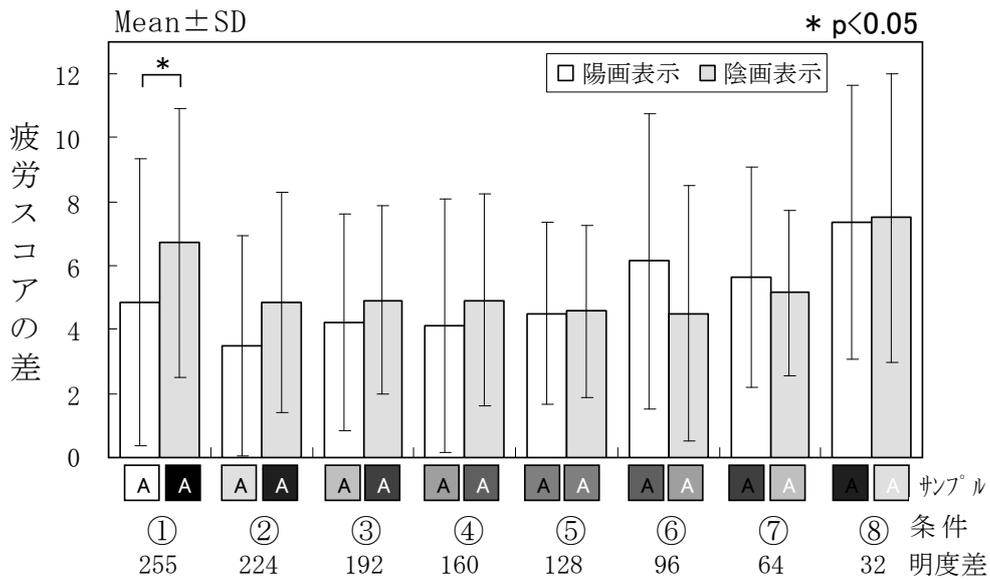


図 4.22 V群 (ぼやけ感) 総スコアの作業前後差

4.3.4. イメージ評価による心理的反応について

陽画表示と陰画表示による 8 条件の VDT 課題作業終了後、各条件の画面に対して抱いたイメージの平均を求めた。図 4.23 は①から⑧までの 8 条件各々における陽画と陰画のイメージプロフィールであ

る。各明度差条件における表示モード間のイメージ評価を比較した結果、条件①では、美しさと派手さの 2 項目で表示モード間に有意差がみられた(美しさ: $t(15)=-3.21$, $p<0.01$, 派手さ: $t(15)=-3.05$, $p<0.01$)。条件②~④は表示モード間に有意差がみられなかった。条件⑤では、読みやすさの 1 項目で表示モード間に有意差がみられた ($t(15)=2.18$, $p<0.05$)。条件⑥では、4 項目全てにおいて表示モード間に有意差がみられた(見やすさ: $t(15)=3.05$, $p<0.01$, 読みやすさ: $t(15)=2.21$, $p<0.05$, 美しさ: $t(15)=4.00$, $p<0.01$, 派手さ: $t(15)=2.64$, $p<0.05$)。条件⑦では、読みやすさ、美しさ、派手さの 3 項目で表示モード間に有意差がみられた(読みやすさ: $t(15)=2.44$, $p<0.05$, 美しさ: $t(15)=4.87$, $p<0.001$, 派手さ: $t(15)=4.28$, $p<0.001$)。条件⑧では、見やすさ、美しさ、派手さの 3 項目で表示モード間に有意差がみられた(見やすさ: $t(15)=2.44$, 美しさ: $t(15)=4.74$, $p<0.001$, 派手さ: $t(15)=5.94$, $p<0.001$)。以上の結果から、条件①では審美性に関する項目において陰画表示の評価が陽画表示より高かった。条件⑤~⑧では機能性・審美性のいずれの項目においても陽画表示の評価が陰画表示より全般に高かった。

各表示モードにおける 8 条件間の比較では、第 2 章、第 3 章にて既述したように、陽画表示では、8 条件間の見やすさ、読みやすさ、美しさ、派手さの 4 項目全てのイメージ評価に有意差が認められた(図 2.31)。陰画表示では、見やすさ、読みやすさ、美しさの 3 項目のイメージ評価に有意差が認められた(図 3.25)。条件①から⑤の読みやすさは、陽画表示では明度差によって評価値が異なるが、陰画表示では評価値が近似した。美しさ、派手さは、陽画表示では明度差が大きい条件ほど評価値が高かったが、陰画表示では 8 条件全てにおいて評価値が近似した。

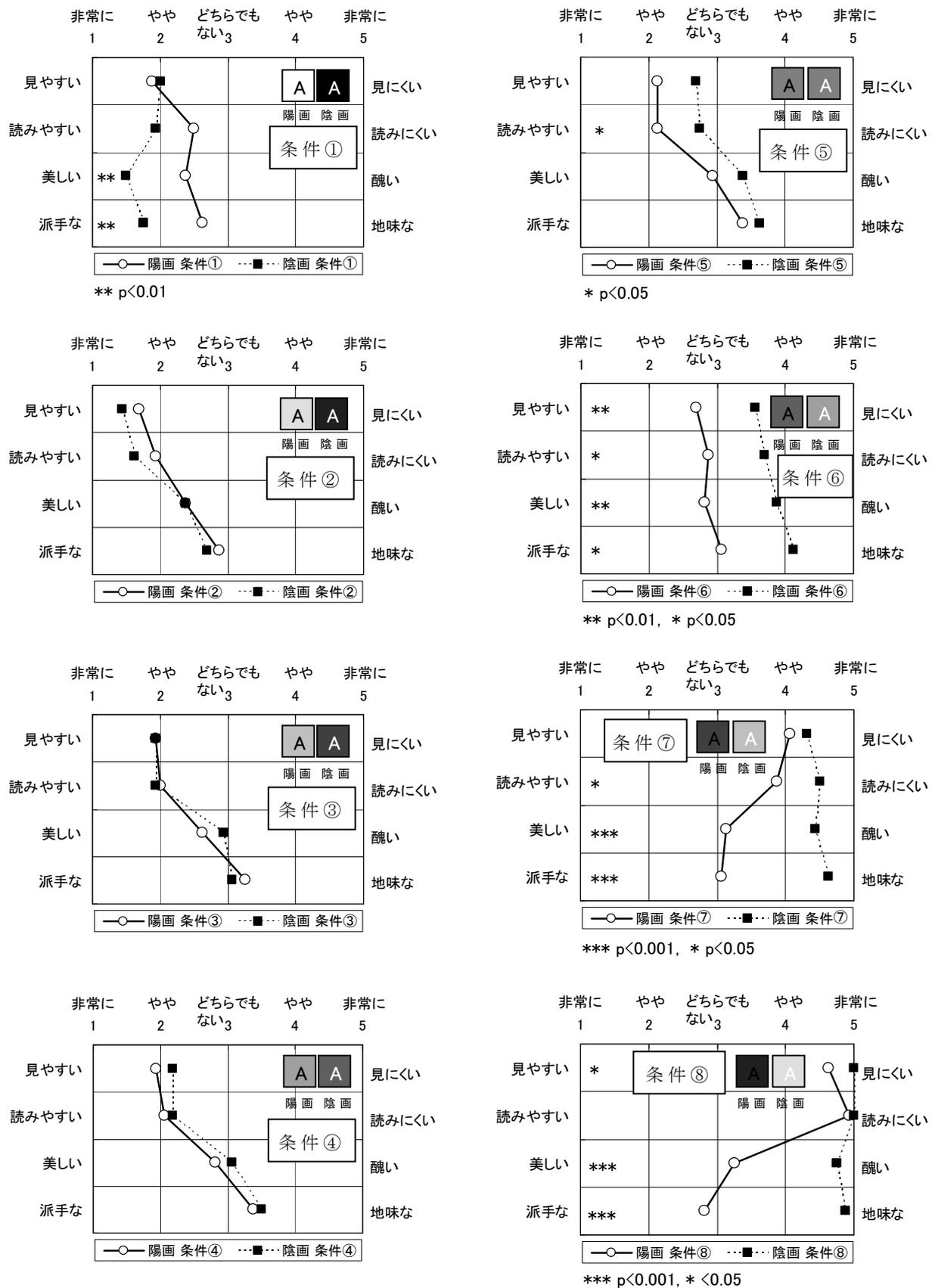


図 4.23 画面に対するイメージ評価 (8 条件)

4.4. 考察

4.4.1. 表示モードと作業効率について

各表示モードにおける 8 条件間の比較では、陽画表示の誤入力率に有意差がみられた。また、陽画表示では、作業効率（作業量・誤入力率）と明度差との間に有意な正の相関関係が認められたが、陰画表示では、作業効率と明度差との相関関係は認められなかった。陽画表示において、文字と背景の明度差が大きい条件ほど作業量がやや多く、誤入力率がやや低い傾向を示した。これらの結果より、グレースケールによる VDT 画面の場合、陽画表示における作業効率は陰画表示より明度差の影響を受けやすい可能性が考えられる。

しかしながら、明度差が作業効率に及ぼす影響について表示モード間の対応はみられず、各明度差条件における作業効率の表示モード間の比較においても有意差はみられなかった。したがって、陽画表示と陰画表示の比較という観点において、若年者の短時間の VDT 作業の場合、文字と背景の明度差は表示モード間の作業効率に著しい影響を及ぼす要因とは言い難い。ただし、長時間の VDT 作業や高齢の利用者を対象とする場合、表示モードによって VDT 画面の明度差は作業効率により影響を及ぼすことが推測される。

文字とそれを囲む背景の領域における輪郭の発生は、多くを明暗の差に依存し、色調が異なっても明度が近似していると輪郭は明瞭さを失い、境目がぼやけて認めにくくなるリーブマン効果が発生する（松田 1995）。本章における表示モード間の比較では、陽画表示において明度差と作業量とに有意な正の相関関係が認められ、文字と背景の明度差が低くなるほど作業量が減少する傾向がみられたが、陰画表示にはみられなかった。このことから、明度差が低い条件では陽画表示においてリーブマン効果が生じやすいことが考えられる。1931 年に CIE（国際照明委員会）が標準表色系として導入した XYZ 表色系において、三刺激値 X 、 Y 、 Z のうち測光量を示す Y の値は反射物体の視感反射率であり、物体色の明度とおおむね相関する

が、明度に対して均等間隔になっていない（大田 1993）。このため、表 2.2 と表 3.1 に示すように、本章で比較した陽画表示と陰画表示の各条件において、HLS カラーモデルによる明度 L 値の文字と背景の差は陽画、陰画とも均等間隔であるが、XYZ 表色系による三刺激値 Y の文字と背景の差は不均等であり、条件②から⑧をみると三刺激値 Y の差は陰画表示より陽画表示の方が小さい。したがって、陽画表示では、明度差が小さいほど可読性の確保は難しく、明度条件による影響を受けやすいといえる。陽画表示は、ICT 活用コンテンツの一般的なテキスト表示に多く用いられる表示モードであることから、グレースケールの陽画表示において、文字と背景の明度を設定する場合、審美性やデザイン性だけでなく作業効率へ及ぼす影響について十分に考慮することが必要である。

4.4.2. 表示モードと生理的反応について

陽画表示と陰画表示の比較において、血圧及び心拍数の明度差による変化には、表示モード間の有意差はみられなかった。CFF 値変動率の明度差による変化には、表示モード間の有意差はみられなかったが、各表示モードにおける 8 条件間の CFF 値変動率に有意差が認められた。陽画表示、陰画表示のいずれも文字と背景の明度差が小さいほど CFF 値が低下する傾向がみられたが、陽画表示のみ明度差が最大の条件①で作業後の CFF 値が有意に低下し、明度差との相関関係とは異なる結果がみられた。国際基準に適合する条件（陽画：①～⑤、陰画：①～④）の CFF 値に着目すると、陽画表示では条件①のみ有意に低下し、陰画表示では条件②、③の 2 条件で有意に低下した。以上の結果より、陽画と陰画の表示モードに関わらず明度差が低くなるほど疲労しやすい傾向がみられるが、国際基準に適合する条件を含む明度差（HLS カラーモデルによる明度差が 128 から 255）の場合、陽画表示では明度差が最大の条件で疲労しやすく、陰画表示では、最大明度差を除く条件の方が疲労しやすいことが推察される。

VDT 作業前後の血圧、心拍数に有意差はみられなかったが、CFF 値の変動を用いて疲労の程度を評価した。各条件における VDT 作業前の CFF 値は一定しなかったが、この原因として CFF 値の平常値の個人内及び個人間の差が大きいことや CFF 値の日内変動による影響が推測される。また、CFF 値以外の生理指標に疲労度が表出する可能性もあり得る。したがって、疲労の定量的評価に用いる複数の生理指標について、それらの有効性を検証するためのさらなる検討が必要であると考えられる。

4.4.3. 表示モードと主観的疲労感について

「自覚症しらべ」による疲労評価スコアの作業前後の差は、条件③～⑥について表示モード間に有意差はみられなかった。しかし、文字と背景の明度差が大きく十分な可読性が得られる条件①・②では、条件①の 5 項目、条件②の 3 項目の合計 8 項目で表示モード間に有意差がみられ、8 項目とも陰画表示における疲労感が高かった。このことから、文字と背景の明度差が高い条件の場合、陽画表示の方が疲労感の軽減に適していることが示唆された。しかしながら、条件①に着目すると、陽画表示、陰画表示とも明度差が小さい条件ほど CFF 値が低下する傾向がみられたにもかかわらず、陽画表示の条件①のみ作業後の CFF 値が有意に低下し、疲労度の増加がみられたが、陰画表示の条件①にはみられなかった（図 4.10、図 4.11）。これに対して、目の疲労感を示す自覚症しらべ V 群（ぼやけ感）の疲労スコアは、陽画表示より陰画表示が有意に高かった（図 4.22）。つまり、明度差が最大となる条件①において、CFF 値による疲労評価は陽画表示で疲労度が高く、主観評価は陰画表示で心理的疲労感が高いという結果になり、陽画と陰画の表示モード間で一致しなかった。このことの一因として、陽画表示のうち、文字が黒、背景が白の条件は、被験者である大学生にとって日頃から使用する頻度の高い条件であることから慣れがあり、主観的疲労感には影響を及ぼしにくい、VDT 画面の大部分が白色のため、光源色としての輝度の高

さや眩しさによるグレアが CFF 値に影響を及ぼしている可能性が考えられる。第 2 章で既述したように、光源から直接又は間接に受ける眩しさによる不快感や見にくさであるグレアは、VDT 作業において視覚負担を助長する要因として指摘されている(Hultgren ら 1974)。画面への映り込みによる反射グレアだけでなく、画面自体の輝度が直接グレアを生じさせる場合もあるため、明度の高い背景を用いる場合は、グレアへの影響も配慮する必要がある。

明度差が最小の条件⑧では、作業前後の疲労スコアに有意差のみられた項目数は陰画表示より陽画表示モードの方が多く、作業前後差の比較で有意差のみられた 4 項目中 3 項目において、陽画表示の方が有意に高かった。これは、明度差が極めて小さい条件の場合、陽画表示より陰画表示の可読性が高かったことが考えられる。液晶ディスプレイのうち、液晶テレビやコンピュータのモニタに採用される透過型 LCD は、印加電圧によりバックライトから液晶パネルへ透過する光量を制御し、加法混色によるカラー表示が表現される(篠田ら 2007)。この動作原理上、透過型 LCD では完全な黒表示が困難とされるため、明度差が小さい条件の場合、白に近い高明度色同士による陰画表示より、黒に近い低明度色同士による陽画表示の明度差は弁別しにくいことが推測される。

無彩色の明度弁別閾について、増子ら(1994)は、JIS Z 8721「三属性による色の表示方法」で規定する明度差 N0.32(白から黒を 26 段階に区分)又は N0.64 で正眼者を含む全被験者が弁別可能であったことを報告している。明度差 N0.64 は、HLS カラーモデルに換算すると L 値 10.2 に相当し、本研究における条件間の最小明度差(L 値の差 32)より小さい値である。したがって、文字と背景の明度差が小さい条件の場合、知覚上は文字と背景が弁別できる条件においても VDT 作業を継続することによって生じる作業負担や疲労への弊害が危惧される。

4.4.4. 画面に対するイメージ評価について

画面の機能性（見やすさ、読みやすさ）に関するイメージ評価と審美性（美しさ、派手さ）に関するイメージ評価は、明度差が同一の条件においても、陽画と陰画の表示モードにより異なった。陽画表示の場合、全ての評価項目で明度差により評価値が異なり、条件⑤～⑧では機能性、審美性のいずれの項目においても陽画表示の評価が陰画表示より全般に高かった。これらの結果から、明度差 128 以下の条件を用いる場合、陽画表示は見やすさや美しさの双方において適していることが推察される。一方、陰画表示の場合、見やすさ、読みやすさは、条件①から⑤の 5 条件において評価値が近似し、美しさ、派手さは全ての明度条件において評価値が近似したことから、陰画表示では見やすさや美しさへの評価に対して明度差による基準を設けることは困難であると思われる。特に、陰画表示の①～⑤の条件を用いる場合、見やすさ、読みやすさのイメージ評価に顕著な差はみられなかったが、疲労の程度は一定しなかったことから、主観評価では見やすい、読みやすいと感じる条件であっても、明度差によって疲労度を増加させる場合があり得ることに留意する必要がある。画面に対するイメージ評価が読みにくい等のマイナス評価の場合、VDT 作業の継続により心理負担の増加が予想されることから、作業効率の悪化あるいは主観的疲労感や生理的疲労度の増加に影響を及ぼす可能性がある。

したがって、ICT を活用した教材等のデジタルコンテンツの作成において VDT 作業者のイメージ評価がより高い画面条件を提供することが求められる。また、教育機関において電子書籍等のデジタル文献の活用も普及しつつある状況から、利用者は長時間にわたり画面を注視することが予測される。そのため、電子書籍閲覧ソフトウェアや専用端末において、陽画と陰画の表示モードを選択できる機能が充実することにより作業負担の軽減が期待できる。

4.4.5. まとめ

本章では、第2章の陽画表示と第3章の陰画表示による結果に基づき表示モード間の比較検討を行った。その結果、明度差が作業効率に及ぼす影響について表示モード間の対応はみられなかった。自覚症による疲労評価において、文字と背景の明度差が高い条件の場合、陽画表示の方が疲労感の軽減に適していることが示唆された。しかしながら、明度差が最大となる条件に着目すると、CFF値による疲労評価は陽画表示で疲労度が高く、主観評価は陰画表示で心理的疲労感が高いという結果になり、陽画と陰画の表示モード間で一致しなかった。このため、生理的負担と心理的負担の双方の観点から共通して推奨できる表示モードは見出されなかった。また、VDT画面の見やすさや読みやすさの機能性に関する評価と美しさや派手さの審美性に関する評価は、明度差が同一となる条件においても陽画と陰画の表示モードにより異なることが示された。陽画表示と陰画表示の双方とも文字と背景の明度差が最大となる条件より、背景の明度差をやや落とした条件の方が見やすさや読みやすさの評価が高かったことから、コントラスト比は表示モードに関わらず最大の21:1よりもやや低い方が印象評価において望ましいと考えられる。

第 5 章

VDT 画面の明度条件が作業効率と生理的・心理的 反応に及ぼす影響 (2)

— 同一明度差条件の比較 —

5.1. はじめに

陽画と陰画の表示モードが VDT 作業におけるユーザビリティと生理的・心理的反応に及ぼす影響を検討するために、第 4 章では、第 2 章の陽画表示と第 3 章の陰画表示における作業効率、生理指標による疲労評価、主観的疲労感及び画面に対するイメージ評価を比較した。その結果、作業量と誤入力率による作業効率については、表示モード間に顕著な差は認められなかったが、陽画表示における作業量及び誤入力率と明度差との間に有意な相関関係が認められた。CFF 値による疲労評価、自覚症による主観的疲労感、画面に対するイメージ評価については、陽画と陰画の表示モードによって異なることが認められた。

液晶ディスプレイにおける明度とコントラストに関する研究において、利用者が読み取りやすいと感じる表示輝度とコントラストの最適条件は、室内の照度条件及び陽画と陰画の表示モードによって異なり、照明条件が上昇するにつれて最適な表示輝度とコントラストが高めに移動することが報告されている (窪田 1996)。しかしながら、VDT 画面の明度及びコントラストに関するこれまでの研究において、文字と背景の明度差が同一となる複数の条件間を比較した研究はみられない。

そこで本章では、文字と背景の明度差が等しいグレースケール 10 条件を用い、明度差が同一となる複数の条件間において、VDT 作業効率、生理指標による疲労度、主観的疲労感及びイメージ評価に差が

みられるか検証するとともに、差が見られた場合、VDT 作業に適した画面条件について明度差以外の諸要因を含めて検討することを目的とした。

5.2. 実験方法

5.2.1. 明度差条件の設定

第2章及び第3章で用いたグレースケール（表2.1）を用い、文字と背景の明度差が同一となる10条件を設定した（図5.1～図5.11）。HLSカラーモデルのL値256階調を8等分した階調差32の場合、図5.1に示すように、文字と背景の明度差が128の条件のみWCAG2.0に適合する条件と適合しない条件の双方を有する。そこで、国際基準への適合の可否を含めて検討するために、本章では明度差が128の条件を採用した。本章で用いた10条件の明度差は全て128で同一である。条件P1からP5は陽画表示、条件N1からN5は陰画表示である。条件P1からP4とN1からN4の8条件は、WCAG2.0によるレベルAA基準のコントラスト比4.5:1に適合し、条件P5とN5は適合しない。陽画表示と陰画表示による5組の条件組み合わせ（P1とN1、P2とN2、P3とN3、P4とN4、P5とN5）の各々のコントラスト比は等しく、最大は条件P2とN2の6.2:1、最小は条件P5とN5の4.0:1である（表5.1）。

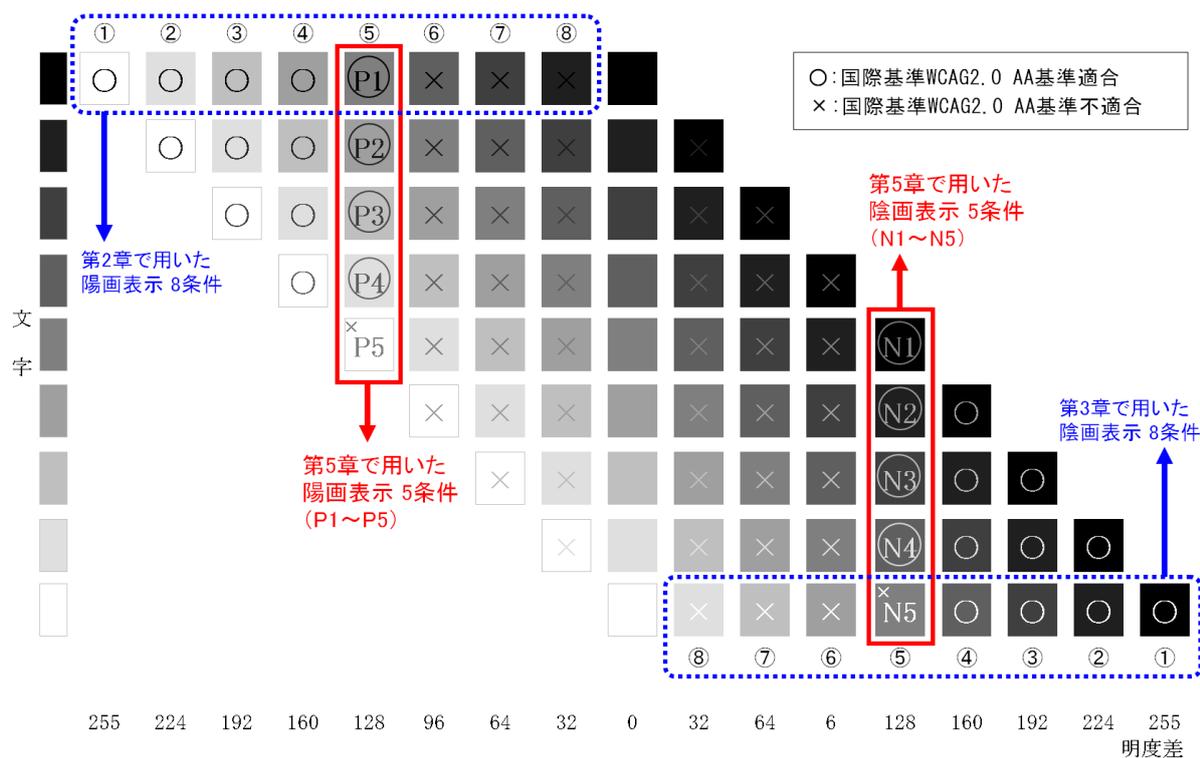


図 5.1 グレースケールによる文字と背景の明度差条件一覧

表 5.1 同一明度差 10 条件の明度条件

表示モード	条件	サンプル	文字の明度 (L値)	背景の明度 (L値)	文字と背景の明度差 (階調差)	CIE XYZ 表色系 Yの差 (背景色-文字色)	国際基準 WCAG2.0	
							コントラスト比	レベルAA 基準
陽画表示	P1	A	0	127	128	44.5	5.2:1	適合
	P2	A	31	159	128	70.1	6.2:1	適合
	P3	A	63	191	128	98.3	5.7:1	適合
	P4	A	95	223	128	133.8	4.8:1	適合
	P5	A	127	255	128	167.0	4.0:1	不適合
陰画表示	N1	A	127	0	128	-44.5	5.2:1	適合
	N2	A	159	31	128	-70.1	6.2:1	適合
	N3	A	191	63	128	-98.3	5.7:1	適合
	N4	A	223	95	128	-133.8	4.8:1	適合
	N5	A	255	127	128	-167.0	4.0:1	不適合

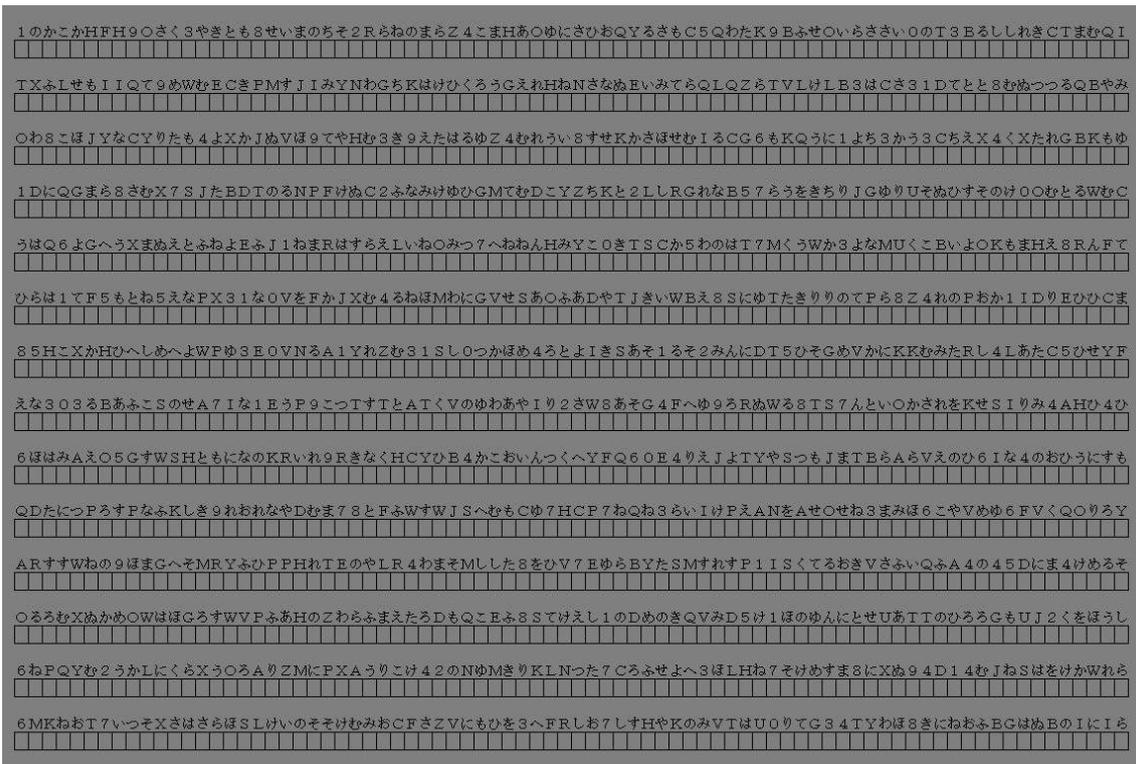


図 5.2 陽画表示 条件 P1 明度差 128

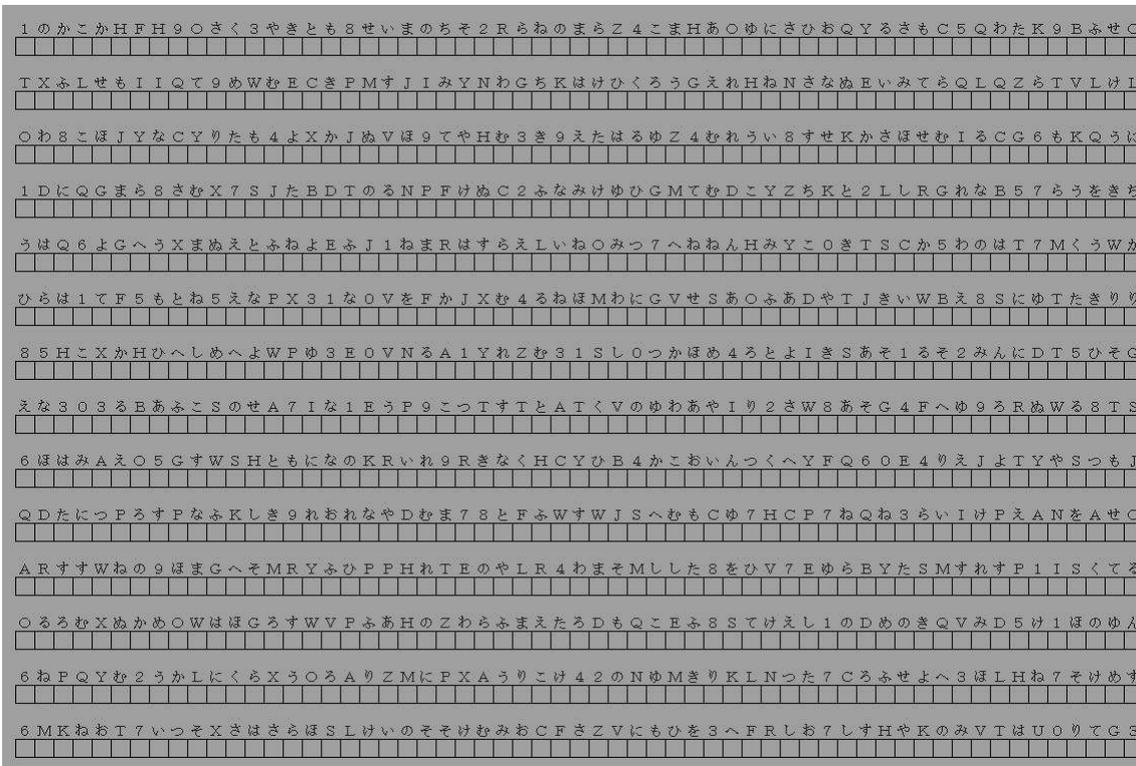


図 5.3 陽画表示 条件 P2 明度差 128



図 5.4 陽画表示 条件 P3 明度差 128



図 5.5 陽画表示 条件 P4 明度差 128

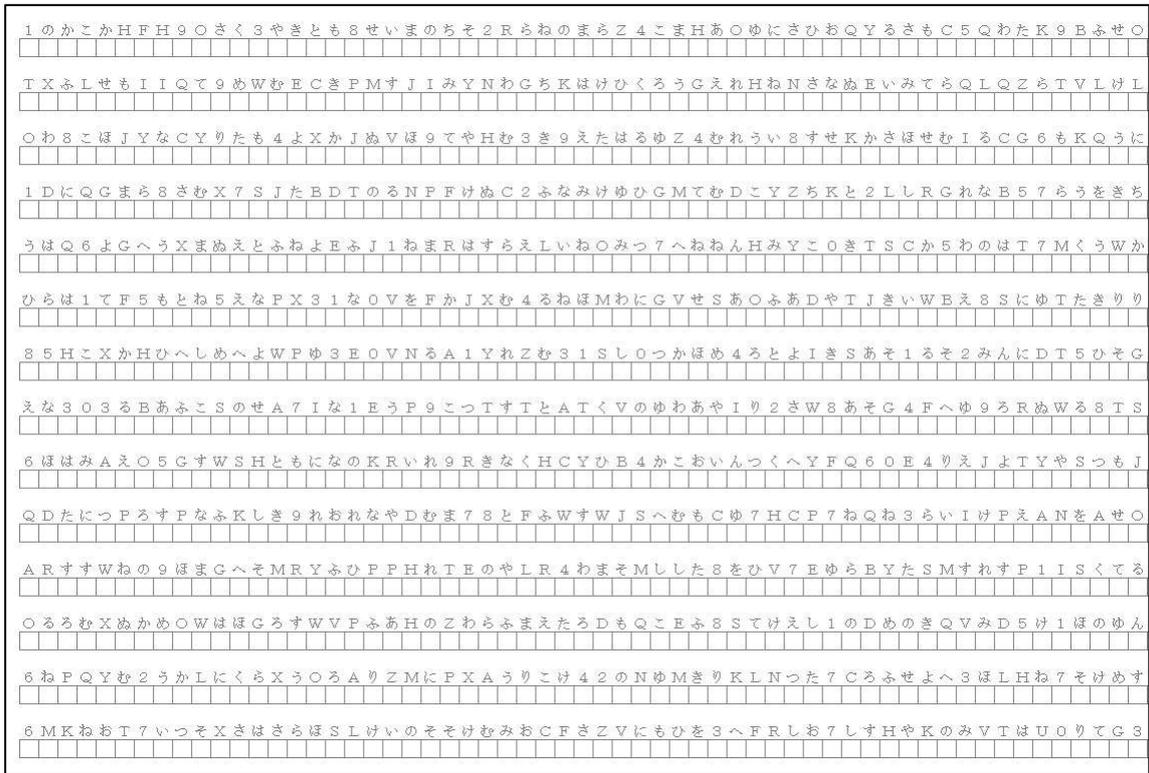


図 5.6 陽画表示 条件 P5 明度差 128



図 5.7 陰画表示 条件 N1 明度差 128



図 5.8 陰画表示 条件 N2 明度差 128

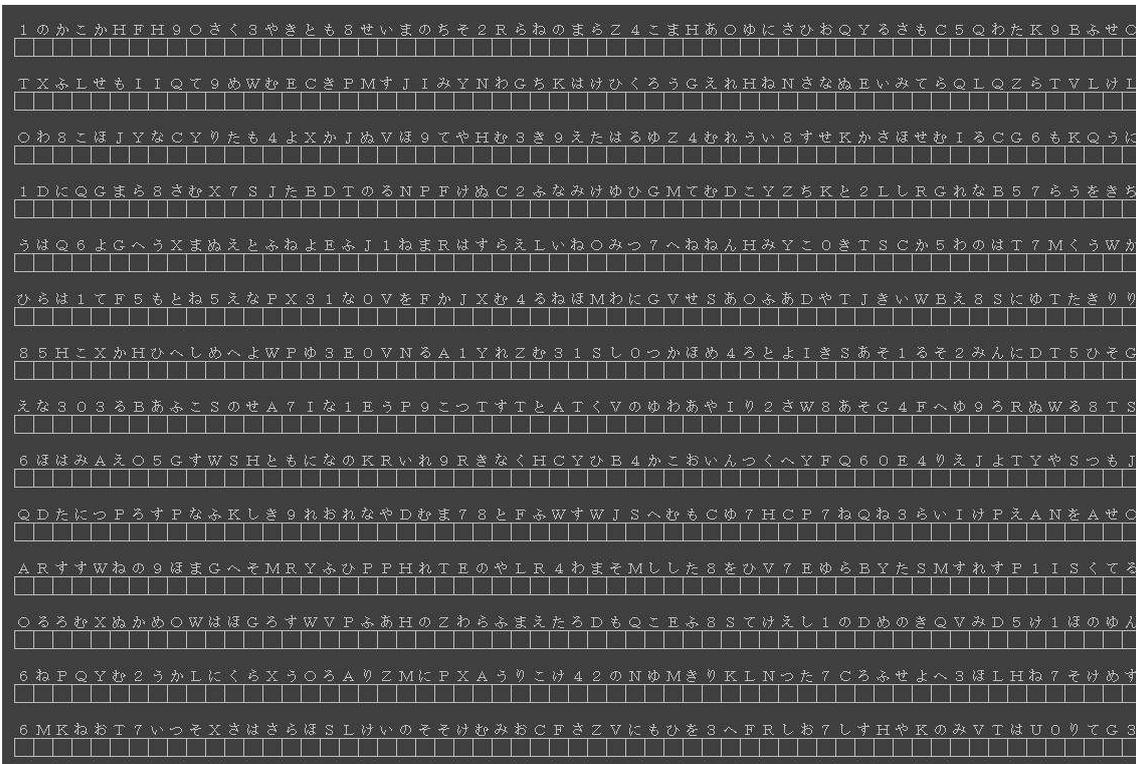


図 5.9 陰画表示 条件 N3 明度差 128

1のかこかHFH9○さく3やきとも8せいまのちそ2RらねのまらZ4こまHあ○ゆにさひおQYるさもC5QわたK9Bふせ○
TXふL世もIIQて9めWむECきPMすJIみYNわGちKはけひくろうGえれHねNさなぬEいみてらQLQZらTVLけL
○わ8こほJYなCYりたも4よXかJぬVほ9てやHむ3き9えたはるゆZ4むれうい8すせKかさほせむIるCC6もKQうに
1DにQGまら8さむX7SJたBDTのるNPFけぬC2ふなみけゆひGMてむDこYZちKと2LしRGれなB57らうをさち
うはQ6よGへうXまぬえとふねよEふJ1ねまRはすらえしいね○みつ7へねねんHみYこ0きTSCか5わのはT7MくうWか
ひらは1てF5もとお5えなPX31なOVをFかJXむ4るねほMむにGVせSあ○ふあDやTJきいWBえ8SにゆTたきりり
85HこXかHひへしめへよWFゆ3EOVNるA1YれZむ31Sし0つかほめ4るとよIきSあそ1るそ2みんにDT5ひそG
えな303るBあふこSのせA7Iな1EうP9こつTすTとATくVのゆわあやIり2さW8あそG4Fへゆ9るRぬWる8TS
6ほほみAえ○5GすWSHともになのKRいれ9RきなくHCYひB4かこおいんつくへYFQ60E4りえJよTYやSつもJ
QDたにつPろすFなふKしき9れおれなやDむま78とFふWすWJSへむもCゆ7HCP7ねQね3らいIけFえANをAせ○
ARすすWねの9ほまGへそMR YふひPPHれTEのやLR4わまそMした8をひV7EゆらBYたSMすれすP1ISくてる
○るるむXぬかめ○WはほGろすWVPふあHのZわらふまえたるDもQこEふ8Sてけえし1のDめのきQVみD5け1ほのゆん
6ねPQYむ2うかLにくらXう○るAりZMにPXAうりこけ42のNゆMきりKLNつた7Cろふせよへ3ほLHね7そけめす
6MKねおT7いつそXさはさらほSLけいのそそけむみおCFさZVにもひを3へFRしお7しすHやKのみVTはU○りてG3

図 5.10 陰画表示 条件 N4 明度差 128

1のかこかHFH9○さく3やきとも8せいまのちそ2RらねのまらZ4こまHあ○ゆにさひおQYるさもC5QわたK9Bふせ○いらささい○のT3BるししれきCTまむQI
TXふL世もIIQて9めWむECきPMすJIみYNわGちKはけひくろうGえれHねNさなぬEいみてらQLQZらTVLけLB3はCさ31Dてとと8むぬつるQBやみ
○わ8こほJYなCYりたも4よXかJぬVほ9てやHむ3き9えたはるゆZ4むれうい8すせKかさほせむIるCC6もKQうに1よち3かう3CちえX4くXたれGBKもゆ
1DにQGまら8さむX7SJたBDTのるNPFけぬC2ふなみけゆひGMてむDこYZちKと2LしRGれなB57らうをさちりJGゆりUそゆひすのけ○むとるWむC
うはQ6よGへうXまぬえとふねよEふJ1ねまRはすらえしいね○みつ7へねねんHみYこ0きTSCか5わのはT7MくうWか3よなMUくこいよOKもまHえ8RんFて
ひらは1てF5もとお5えなPX31なOVをFかJXむ4るねほMむにGVせSあ○ふあDやTJきいWBえ8SにゆTたきりりのてPら8Z4れのPおか1IDりEひCま
85HこXかHひへしめへよWFゆ3EOVNるA1YれZむ31Sし0つかほめ4るとよIきSあそ1るそ2みんにDT5ひそGゆVかにKKむみたRし4LあたC5ひせYF
えな303るBあふこSのせA7Iな1EうP9こつTすTとATくVのゆわあやIり2さW8あそG4Fへゆ9るRぬWる8TS7んとい○かざれをKせSIRみ4AHひ4ひ
6ほほみAえ○5GすWSHともになのKRいれ9RきなくHCYひB4かこおいんつくへYFQ60E4りえJよTYやSつもJまTBらAらYえのひ6Iな4のおひうにすも
QDたにつPろすPなふKしき9れおれなやDむま78とFふWすWJSへむもCゆ7HCP7ねQね3らいIけFえANをAせ○せね3まみほ6こやVめゆ6FVくQ○りるY
ARすすWねの9ほまGへそMR YふひPPHれTEのやLR4わまそMした8をひV7EゆらBYたSMすれすP1ISくてるおきVさふいQふA4の45Dにま4けめるそ
○るるむXぬかめ○WはほGろすWVPふあHのZわらふまえたるDもQこEふ8Sてけえし1のDめのきQVみD5け1ほのゆんにとせUあTTのひろるGもU12くをほうし
6ねPQYむ2うかLにくらXう○るAりZMにPXAうりこけ42のNゆMきりKLNつた7Cろふせよへ3ほLHね7そけめすま3にXぬ94D14むJねSはをけかWれら
6MKねおT7いつそXさはさらほSLけいのそそけむみおCFさZVにもひを3へFRしお7しすHやKのみVTはU○りてG34TYわほきねあふBCはぬBのIにIら
い8うARねG7そQHらPFRふま1RしめわIれFるCN5みあゆFR4わMあHPかJたTNDをW5むG2V6なけえBDつねめBすすふ9めめCてはるさGね3Gぬ9を

図 5.11 陰画表示 条件 N5 明度差 128

5.2.2. 実験時期、場所、対象者、方法

実験は、2009年3月、10月、11月、2010年2月、3月 16:00～19:00、期間中の6～8日間にわたり長崎県で実施した。対象は、第2章及び第3章の実験と同一の男子大学生16名である。実験は1日の同一時間帯に1～2条件とした。各被験者は、実験期間中同一座席端末を用いた。実験の環境、VDT作業課題、実験方法、実験環境は第2章及び第3章と同じである。詳細は第2章で既述した。

5.2.3. 実験内容

実験は、次の(1)～(4)の内容について実施した。第2章及び第3章の実験内容と同じである。詳細は第2章で既述した。

- (1) 作業効率（作業量、誤入力率）
- (2) 生理指標（収縮期血圧、拡張期血圧、心拍数、CFF値）
- (3) 心理評価（「自覚症しらべ」による疲労感）
- (4) 画面に対するイメージ評価

5.2.4. 分析方法

- (1) 作業量、誤入力率の10条件間の比較は、一元配置分散分析を行い、有意差が認められた場合についてTukey法による多重比較を行った。
- (2) 拡張期血圧、収縮期血圧、心拍数の作業前後の比較は対応のあるt検定にて分析した。
- (3) CFF値の作業前後の比較は対応のあるt検定にて分析した。10条件間のCFF値変動率の比較は一元配置分散分析を行った。
- (4) 疲労評価スコアの作業前後の比較は、対応のあるt検定にて分析した。
- (5) 画面に対するイメージ評価の各表示モードにおける5条件間の比較は一元配置分散分析を行い、有意差が認められた場合についてTukey法による多重比較を行った。画面に対するイメージ評価の各明度差条件における表示モード間の比較は、対応のあるt検

定にて分析した。

5.3. 結果

5.3.1. 作業量と誤入力率について

10 条件の作業量を図 5.12 に、誤入力率を図 5.13 に示す。作業量の指標とした入力セル数の平均値が最も多かったのは条件 P4 で 5446 セル、平均値が最も少なかったのは条件 P1 の 4743 セルであった。10 条件間の作業量に明度差要因による有意な主効果が認められ ($F(9, 130)=2.34, p<0.05$)、その後の多重比較により、条件 P1 と P4 の組み合わせにおいて有意差が認められた ($p<0.05$)。誤入力率はいずれの条件も 0.62% から 0.97% と 1% 未満で近似し、10 条件間の誤入力率に明度差要因による有意な主効果はみられなかった。

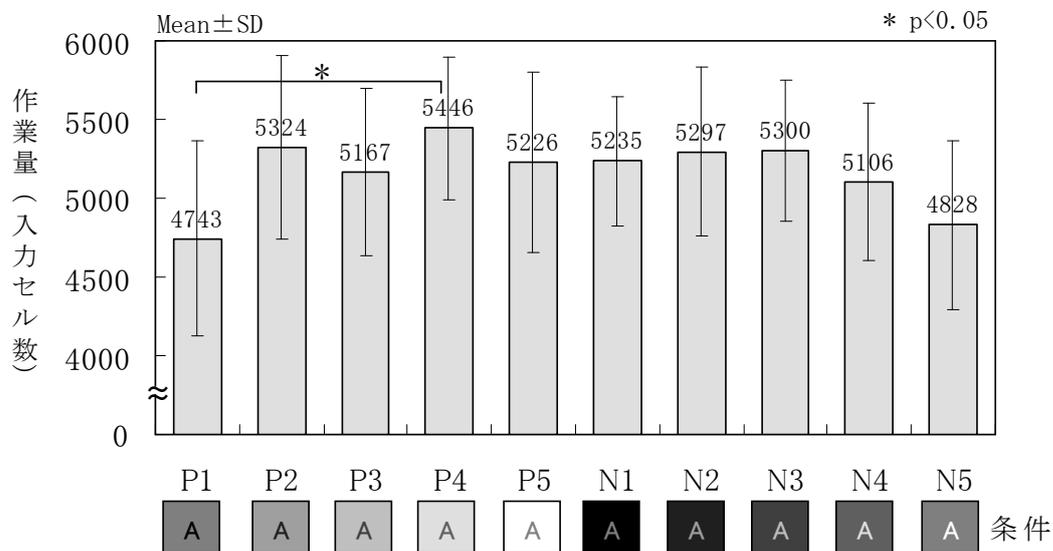


図 5.12 VDT 課題の作業量

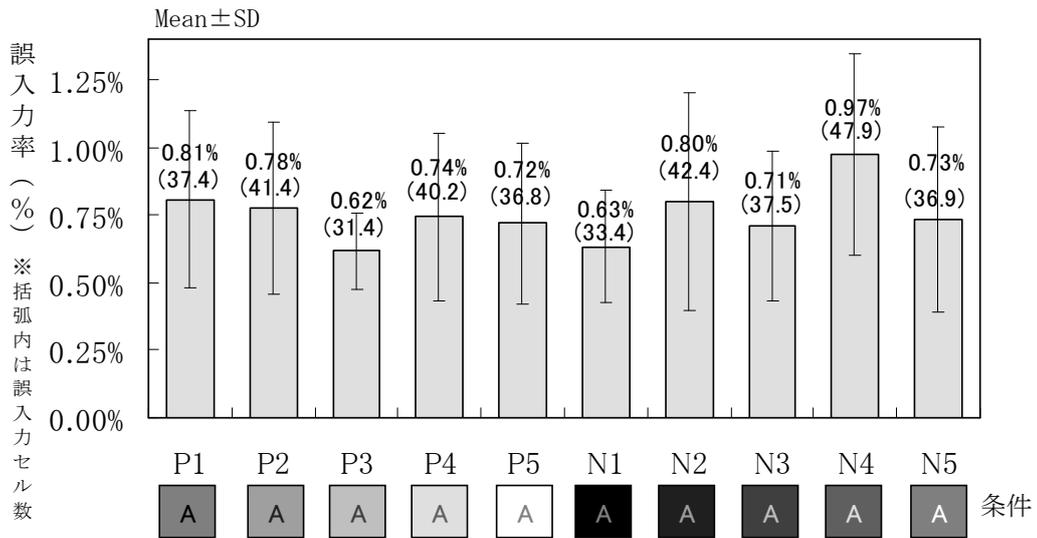


図 5.13 VDT 課題の誤入力率

5.3.2. 作業前後の血圧・心拍数について

各条件における作業前と作業後の収縮期血圧、拡張期血圧、心拍数をそれぞれ図 5.14、図 5.15、図 5.16 に示す。収縮期血圧については、条件 N4 において作業後に有意な低値を示した ($t(13)=3.913$, $p<0.01$)。拡張期血圧については、条件 P5、N1、N4 の 3 条件において作業後に有意な低値を示した (条件 P5 : $t(13)=2.262$, $p<0.05$ 、条件 N1 : $t(13)=2.293$, $p<0.05$ 、条件 N4 : $t(13)=2.572$, $p<0.05$)。心拍数については、条件 P3、P5、N1、N4 の 4 条件において作業後に有意な高値を示した (条件 P3 : $t(13)=-3.987$, $p<0.01$ 、条件 P5 : $t(13)=-3.454$, $p<0.01$ 、条件 N1 : $t(13)=-4.634$, $p<0.001$ 、条件 N4 : $t(13)=-2.948$, $p<0.05$)。

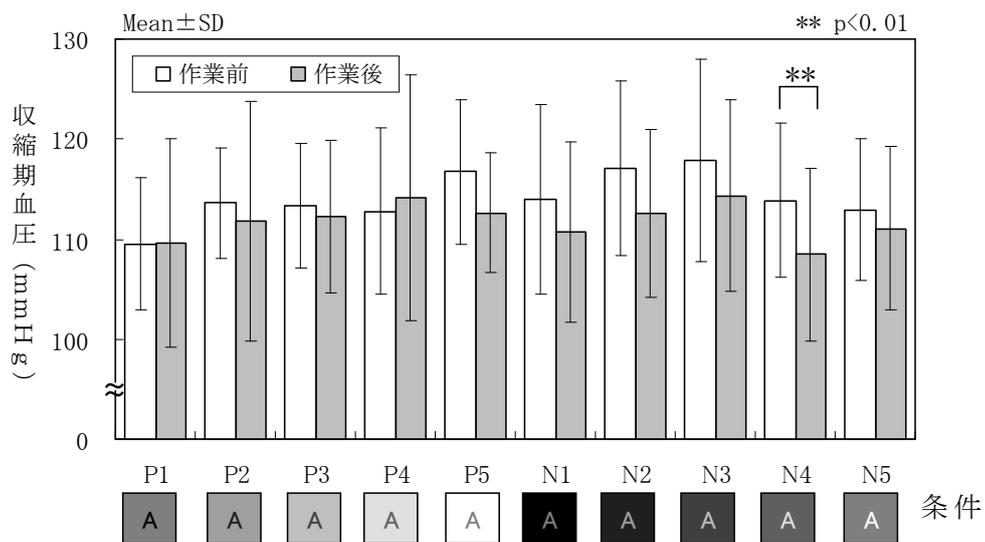


図 5.14 作業前後の収縮期血圧

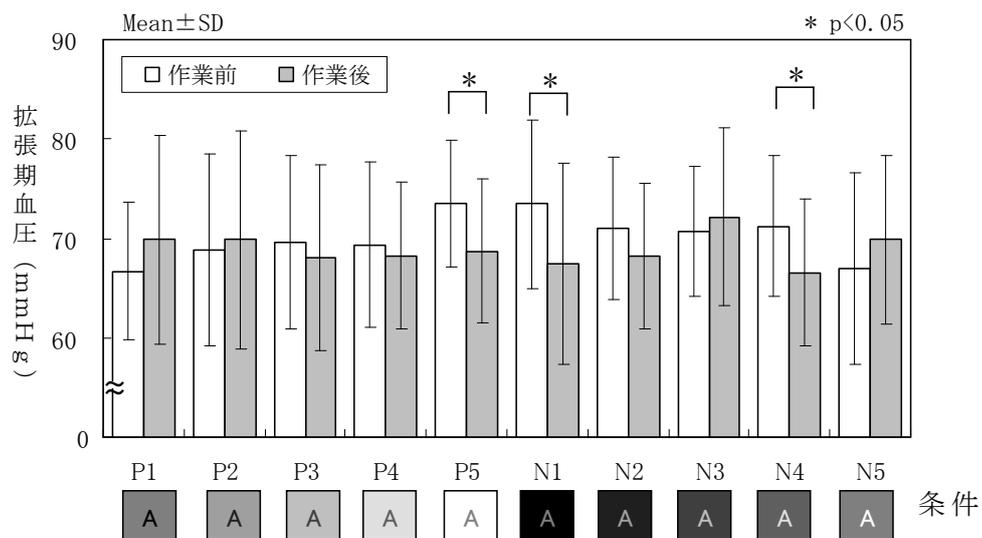


図 5.15 作業前後の拡張期血圧

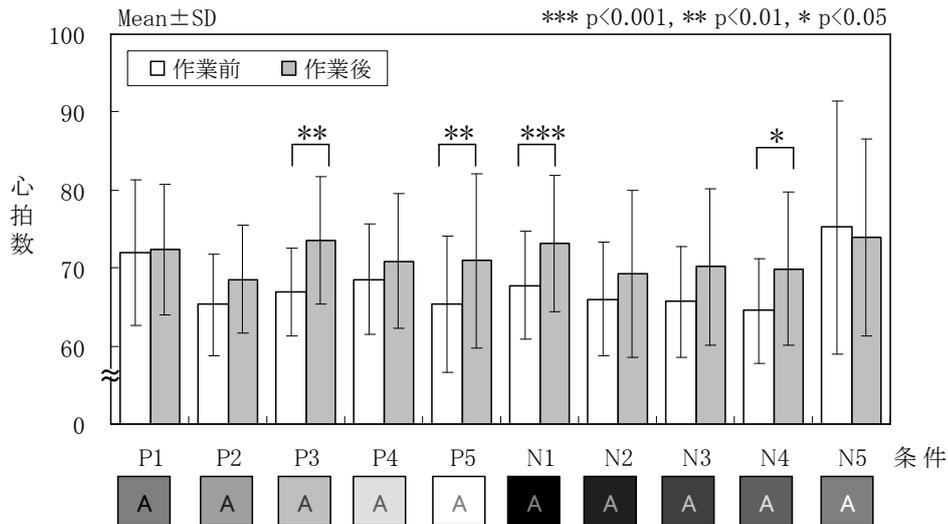


図 5.16 作業前後の心拍数

5.3.3. 作業前後の CFF 値について

CFF 値については、全ての条件において VDT 作業後の平均値が低下した。陽画表示では、P2、P3、P4、P5 の 4 条件で作業後の CFF 値が有意な低値を示した（条件 P2 : $t(13)=3.652$, $p<0.01$, 条件 P3 : $t(13)=3.127$, $p<0.01$, 条件 P4 : $t(13)=3.017$, $p<0.01$, 条件 P5 : $t(13)=5.007$, $p<0.001$ ）。陰画表示では、N1、N2、N3、N4、N5 の 5 条件で作業後の CFF 値が有意な低値を示した（条件 N1 : $t(13)=8.919$, $p<0.001$, 条件 N2 : $t(13)=5.111$, $p<0.001$, 条件 N3 : $t(13)=3.562$, $p<0.01$, 条件 N4 : $t(13)=2.627$, $p<0.05$, 条件 N5 : $t(13)=10.367$, $p<0.001$ ）（図 5.17）。

CFF 値変動率の平均値が最も低下したのは条件 N2 で -5.34%、次に条件 N5 で -5.02%であった。分散分析の結果、10 条件間の CFF 値変動率に明度差要因による有意な主効果はみられなかった（図 5.18）。

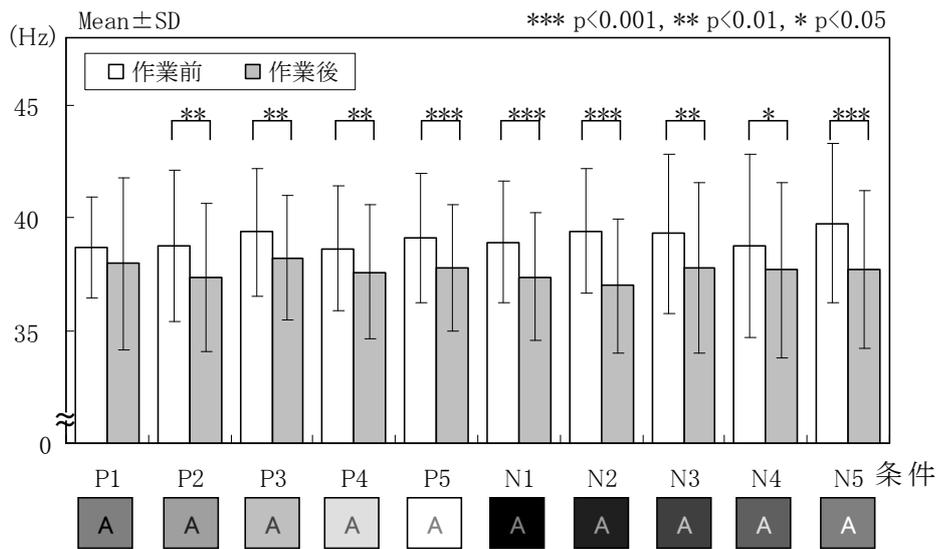


図 5.17 作業前後の CFF 値

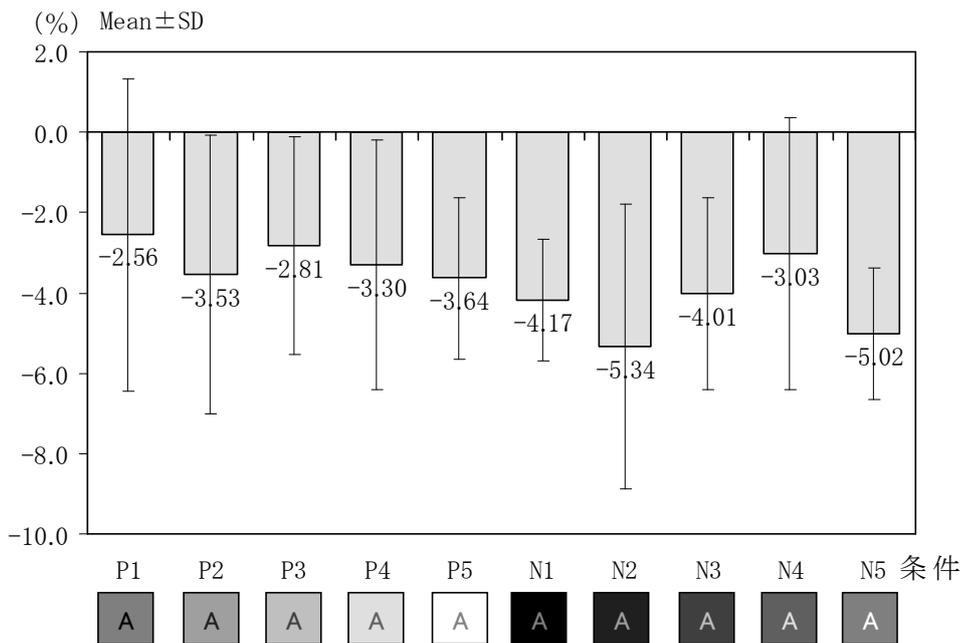


図 5.18 CFF 値変動率

5.3.4. 疲労感の評価について

「自覚症しらべ」による作業前と作業後の疲労評価スコアの平均を条件ごとにプロットした。図 5.19 に示す条件 P1 では、5 群 25 項目の自覚症のうち 10 項目で作業後のスコアが有意に高かった。作業前と作業後の疲労評価スコアに有意差のみられた項目数が最も多か

ったのはV群(ぼやけ感)の5項目であった(目がかわく:t(15)=-3.95, p<0.01, 目がいたい:t(15)=-3.17, p<0.01, ものがぼやける:t(15)=-2.78, p<0.05, 目がつかれる:t(15)=-4.36, p<0.001, 目がしょぼつく:t(15)=-3.66, p<0.01)。次いで有意差のみられた項目数が多かったのは、I群(ねむけ感)の3項目であった(あくびがでる:t(15)=-3.87, p<0.01, ねむい:t(15)=-2.45, p<0.05, やる気がとぼしい:t(15)=-2.71, p<0.05)。III群(不快感)とIV群(だるさ感)では各1項目で有意差がみられた(III群 頭がぼんやりする:t(15)=-3.50, p<0.01, IV群 腕がだるい:t(15)=-2.82, p<0.05)。II群(不安定感)では、作業前と作業後の疲労評価スコアに有意差はみられなかった。条件P2からN5の作業前後の疲労評価スコアを図5.20から図5.28に示す。

条件P2からN5の9条件についても条件P1と同様に分析し、作業前と作業後の疲労評価スコアに有意差のみられた項目数を表5.2にまとめた。有意差のみられた項目数が最も多かったのは条件N2で16項目、次に条件N3で15項目であった。有意差のみられた項目数が最も少なかったのは、条件N5で9項目、次に条件P1で10項目であった。I群からV群の自覚症のうち、群別に有意差のみられた項目数が最も多かったのは、10条件とも目の疲労を示すV群(ぼやけ感)であった。

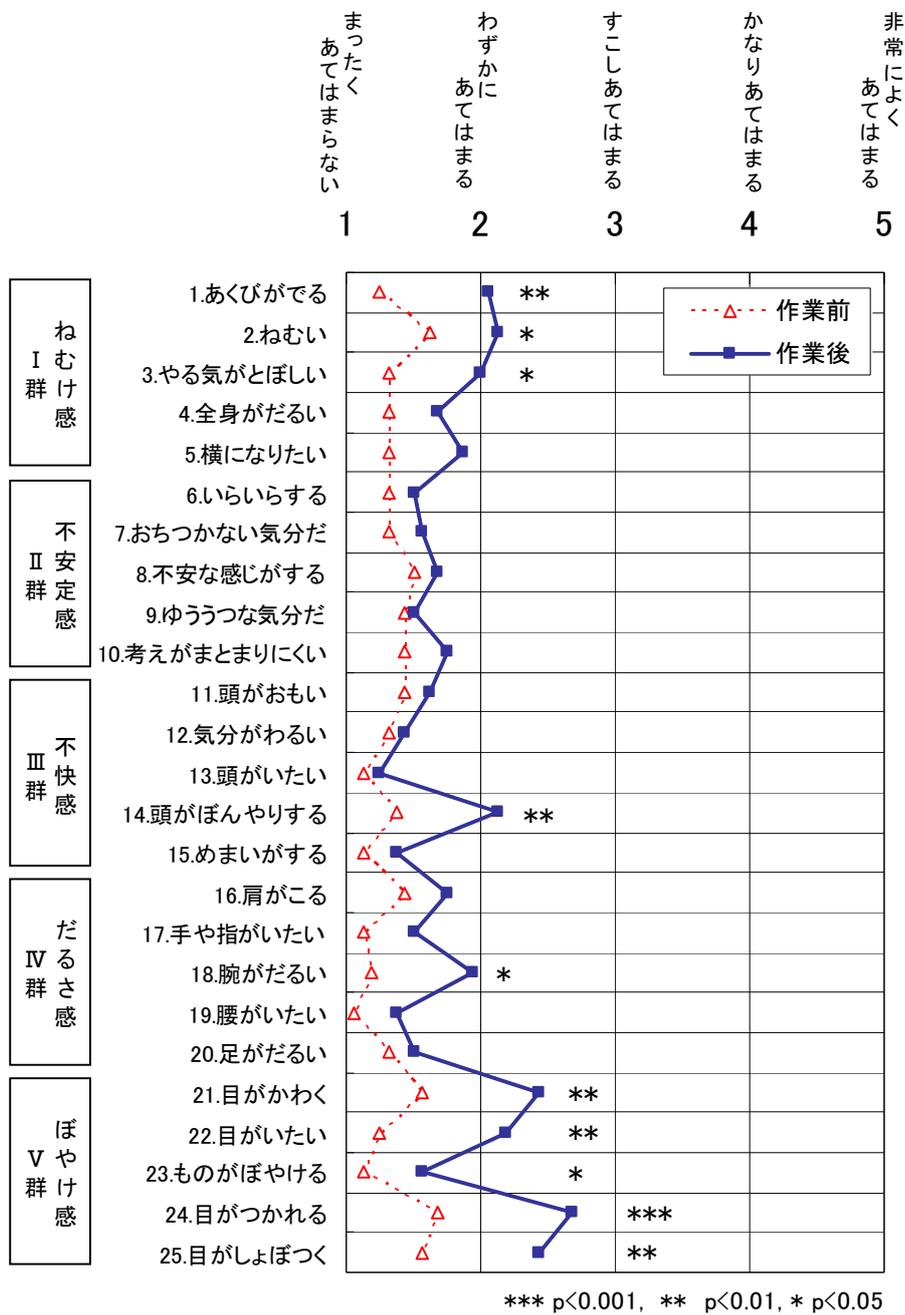


図 5.19 「自覚症しらべ」による疲労度の平均スコア
(陽画表示 条件 P1)

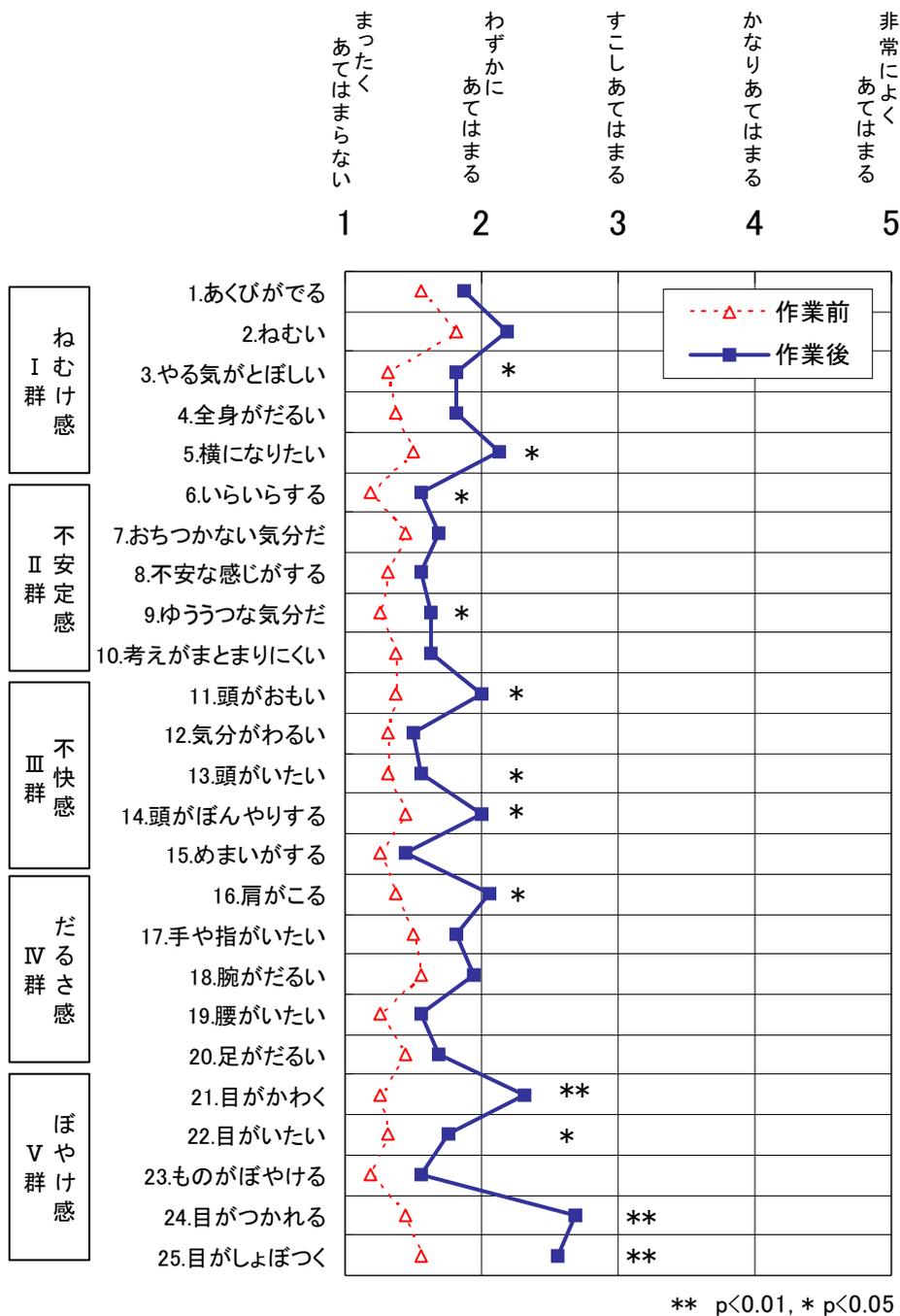


図 5.20 「自覚症しらべ」による疲労度の平均スコア
(陽画表示 条件 P2)

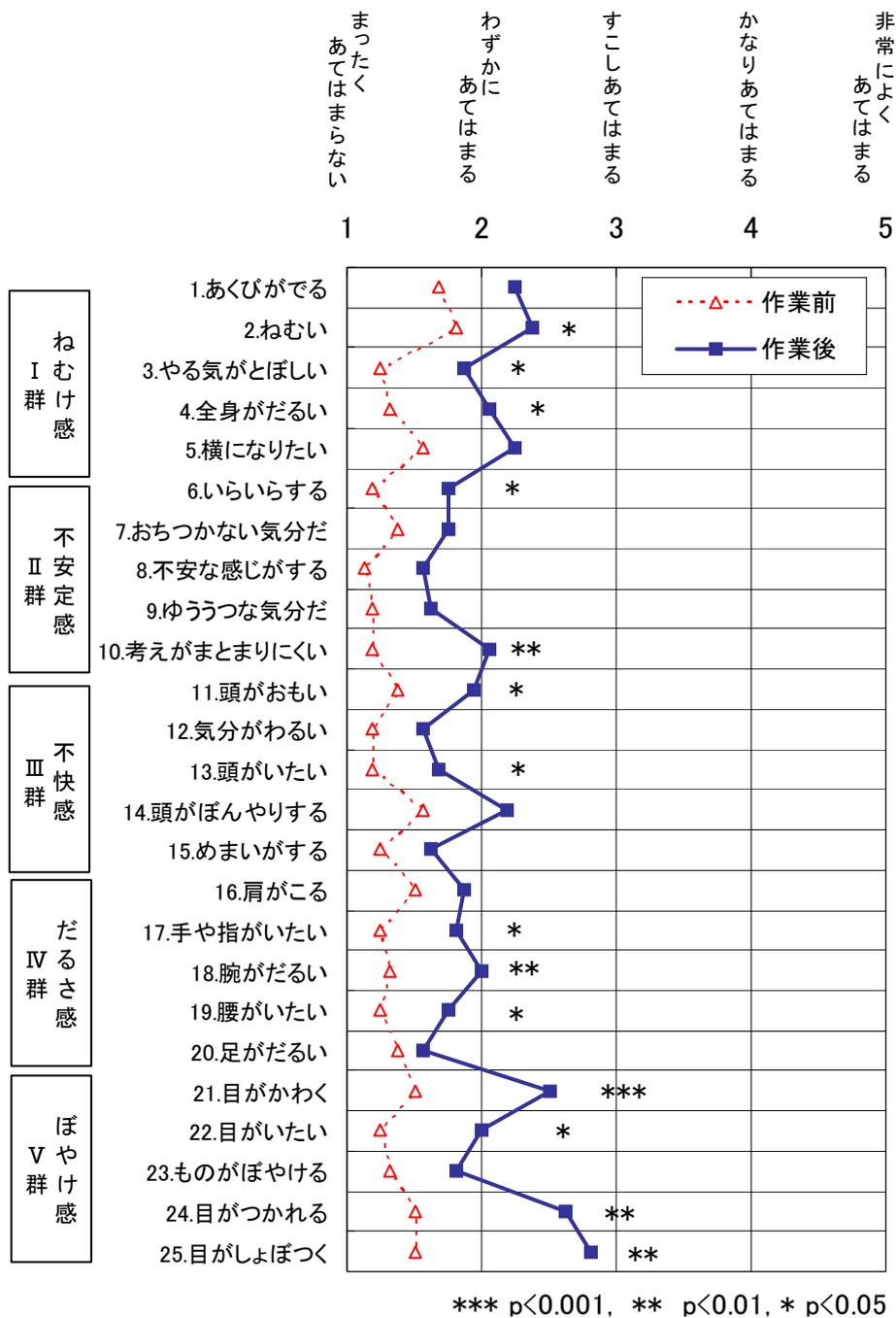
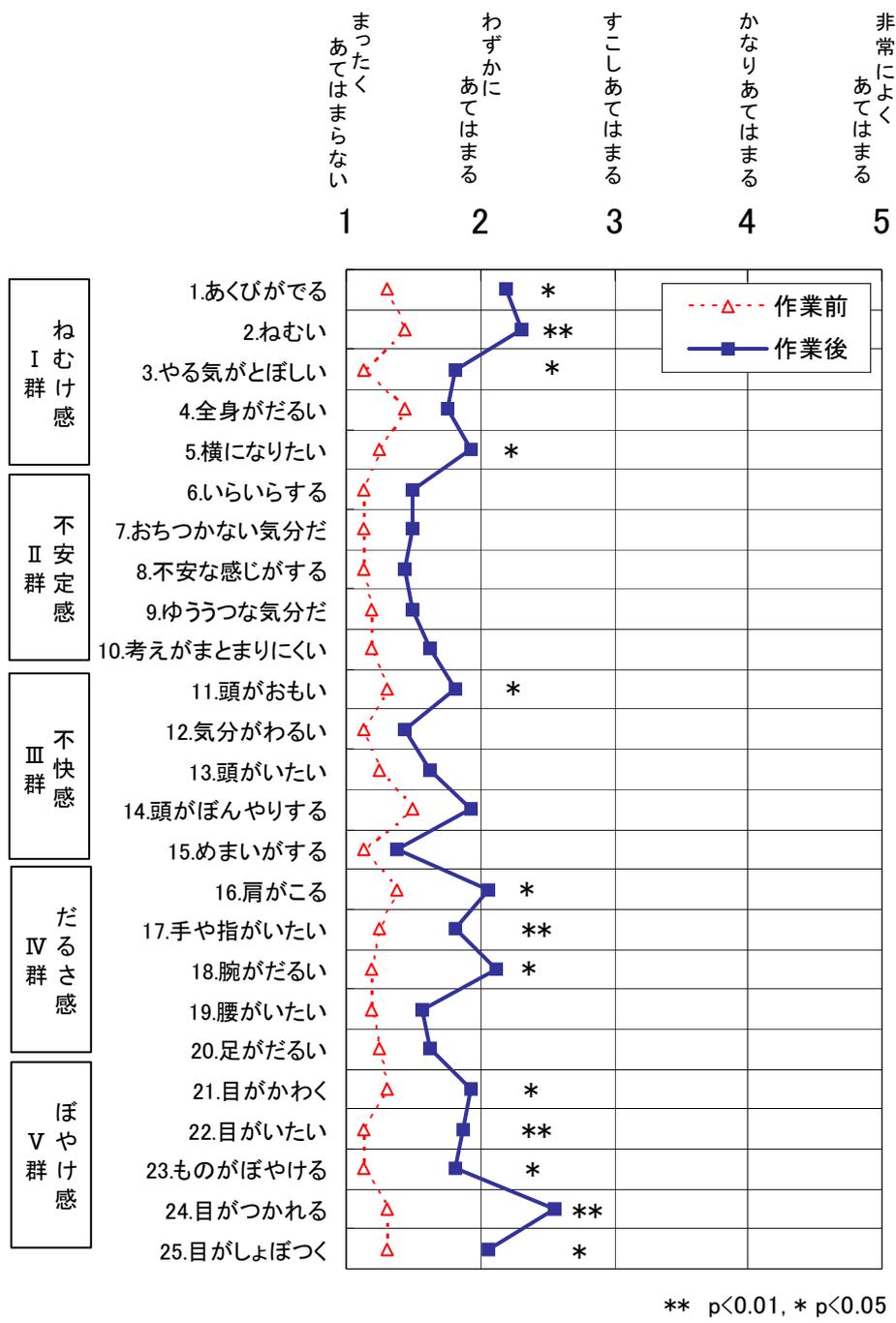


図 5.21 「自覚症しらべ」による疲労度の平均スコア
(陽画表示 条件 P3)



** p<0.01, * p<0.05

図 5.22 「自覚症しらべ」による疲労度の平均スコア (陽画表示 条件 P4)

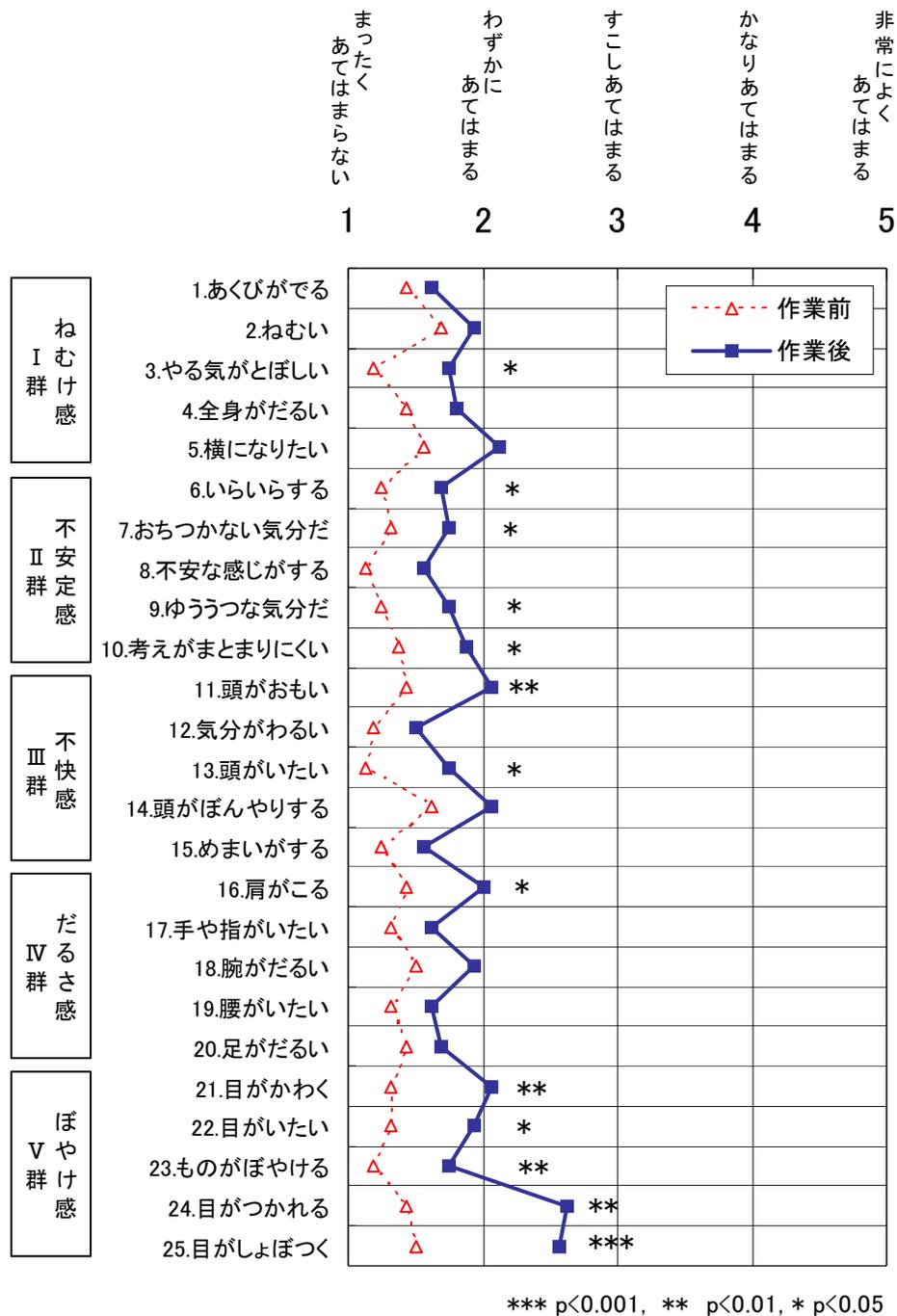


図 5.23 「自覚症しらべ」による疲労度の平均スコア
(陽画表示 条件 P5)

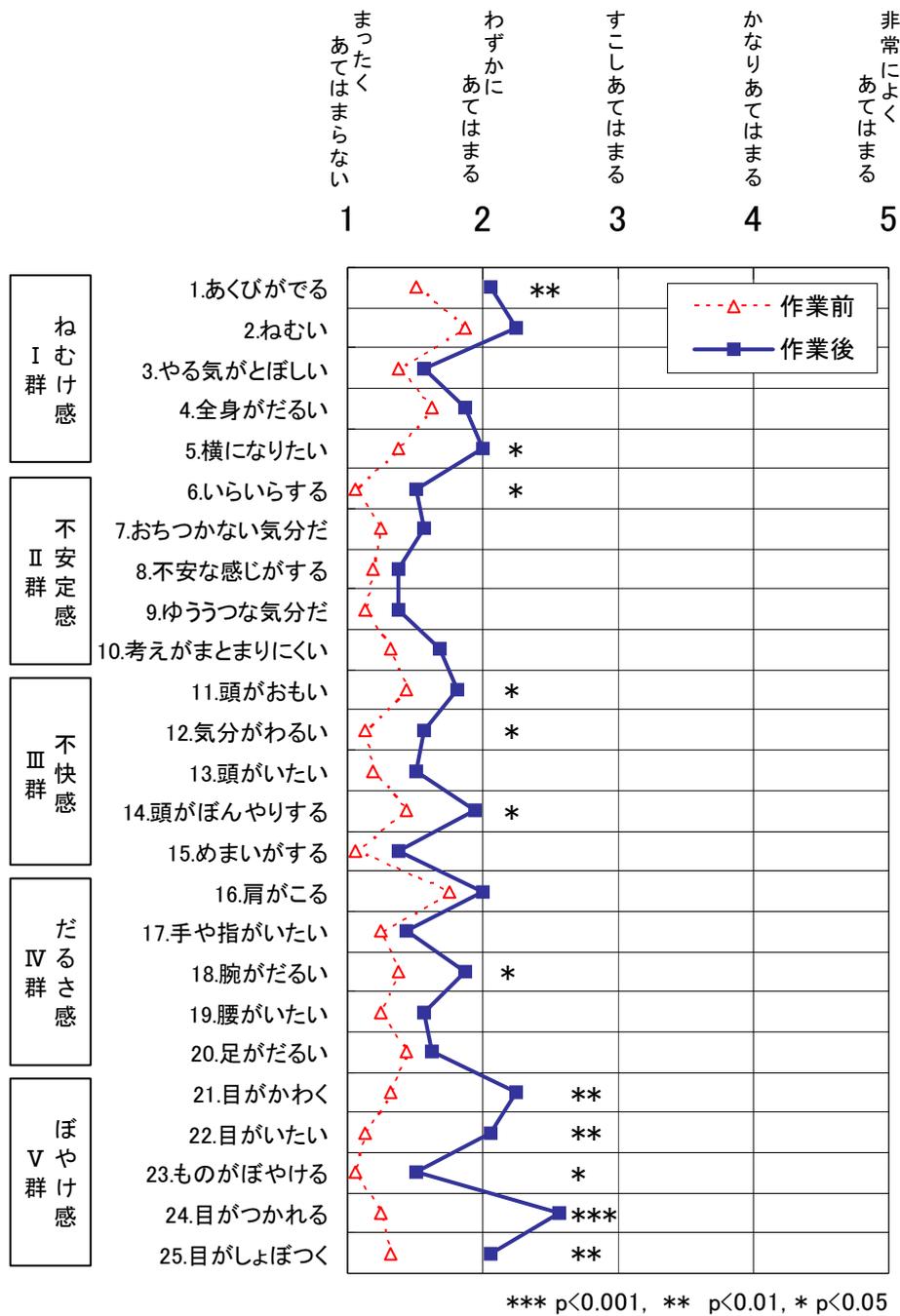


図 5.24 「自覚症しらべ」による疲労度の平均スコア
(陰画表示 条件 N1)

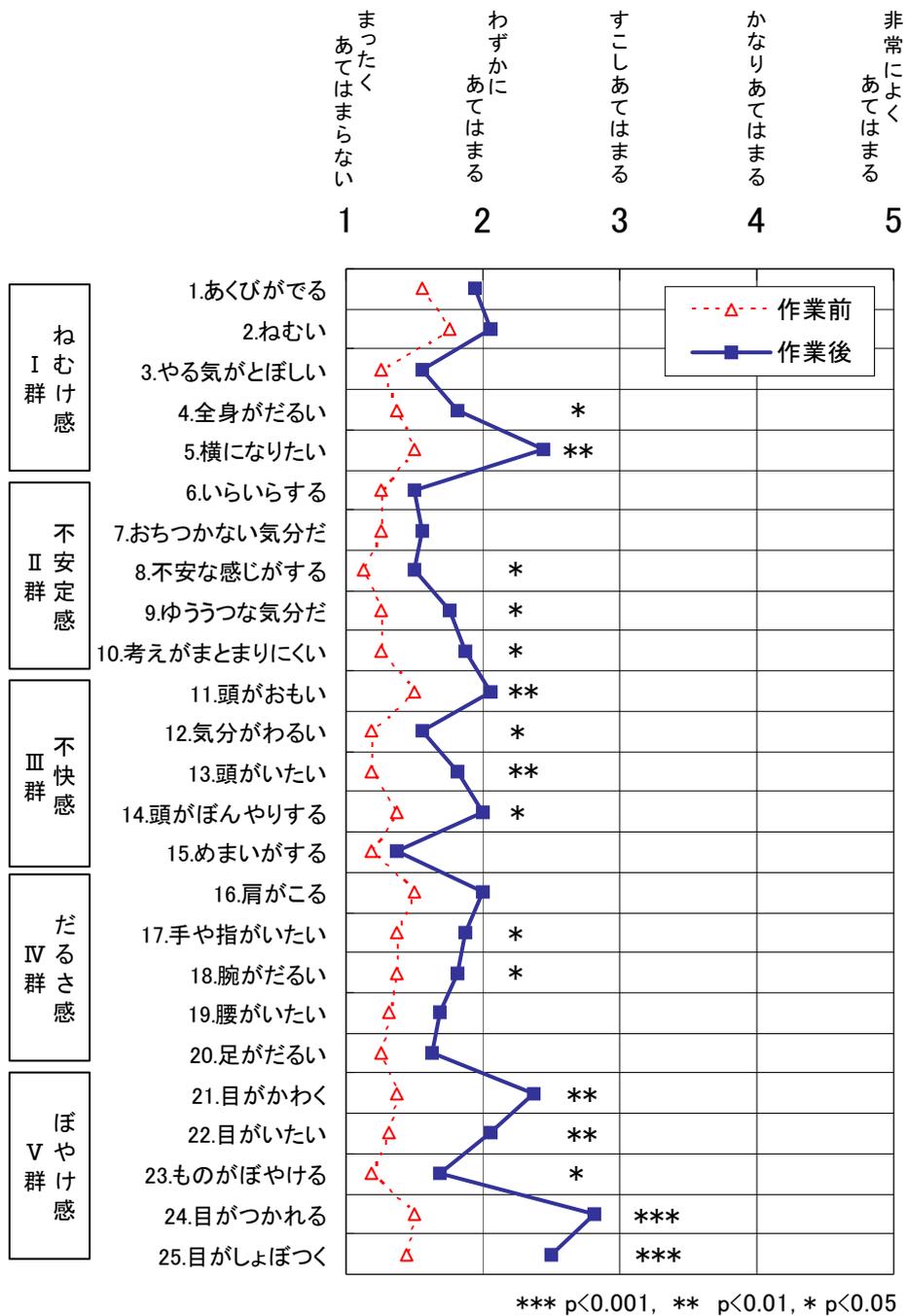


図 5.25 「自覚症しらべ」による疲労度の平均スコア
(陰画表示 条件 N2)

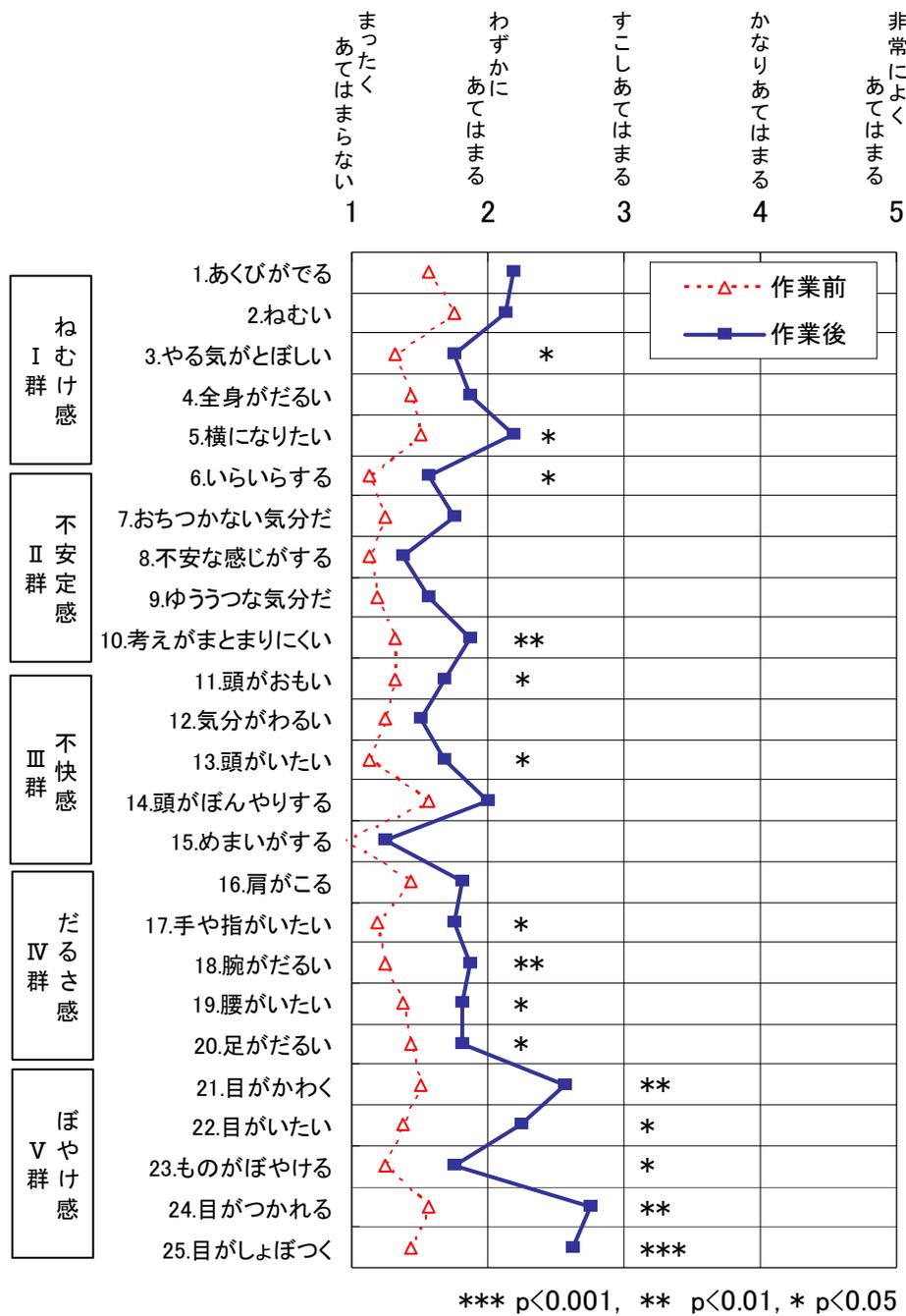


図 5.26 「自覚症しらべ」による疲労度の平均スコア
(陰画表示 条件 N3)

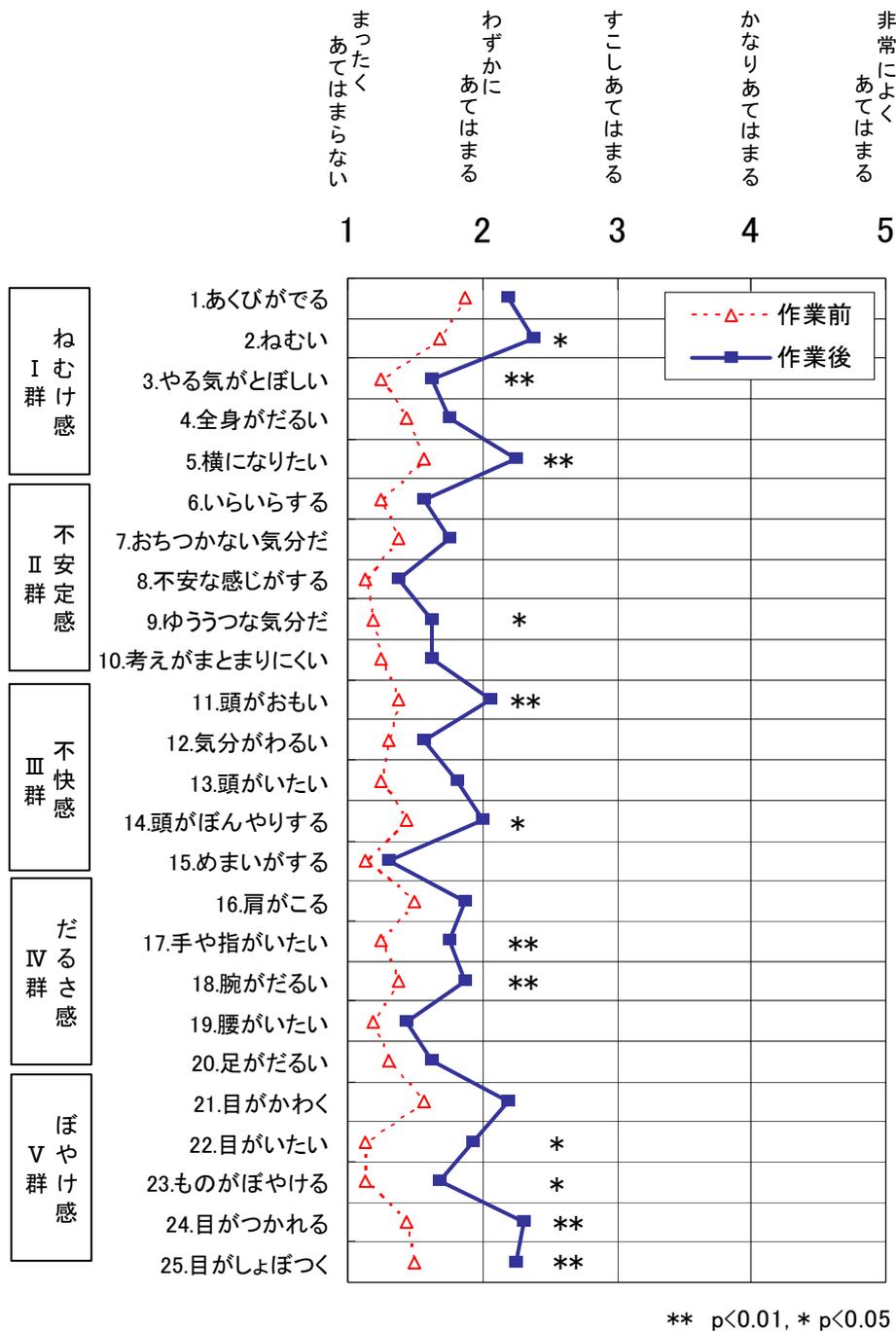


図 5.27 「自覚症しらべ」による疲労度の平均スコア
(陰画表示 条件 N4)

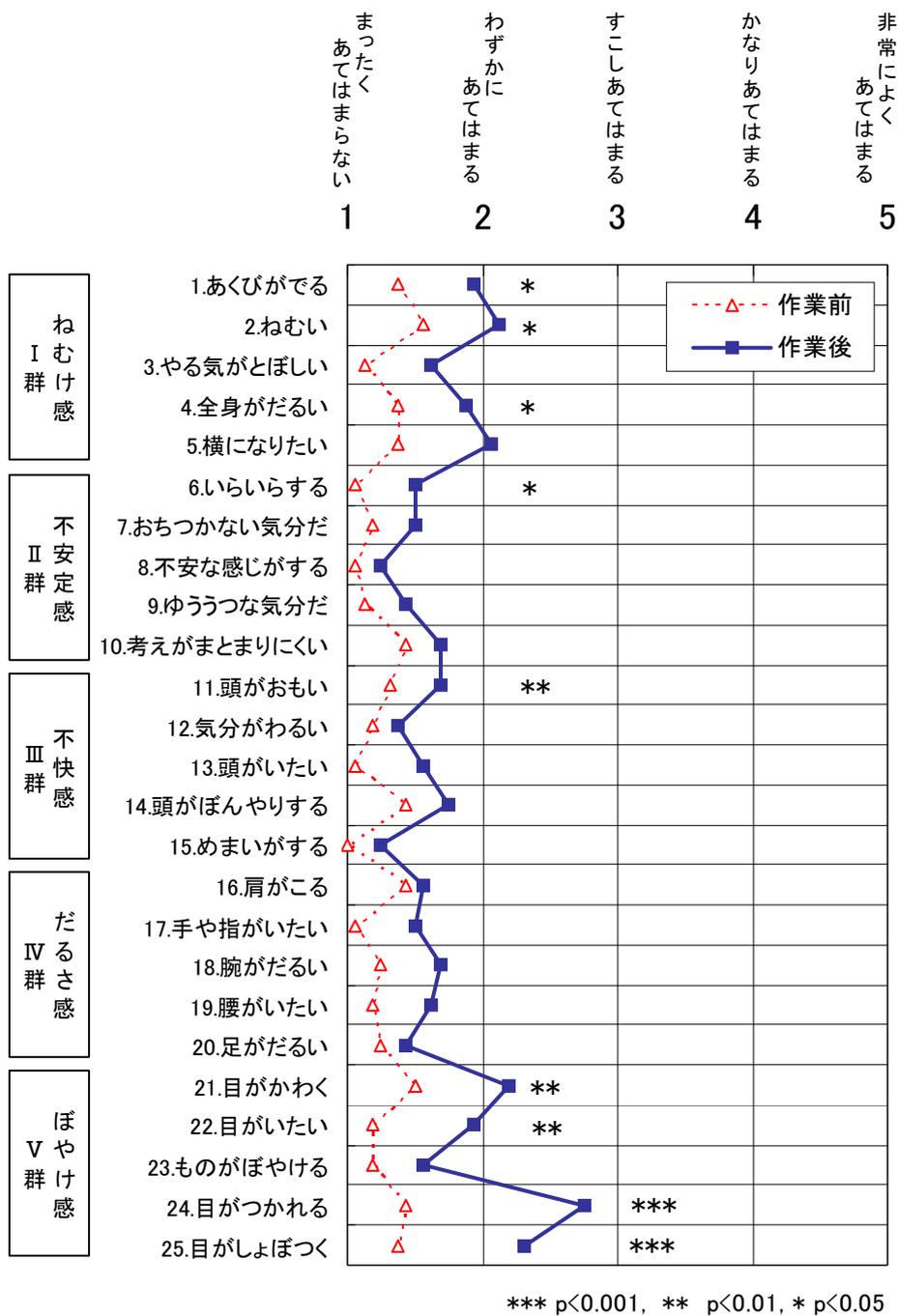


図 5.28 「自覚症しらべ」による疲労度の平均スコア
(陰画表示 条件 N5)

表 5.2 作業前後の疲労スコアに有意差のみられた項目数

条件 自覚症		P1	P2	P3	P4	P5	N1	N2	N3	N4	N5
		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
I 群 (ねむけ感)	1.あくびがでる	t(15)=-3.87 **			t(15)=-2.78 *		t(15)=-3.58 **				t(15)=-2.18 *
	2.ねむい	t(15)=-2.45 *		t(15)=-2.18 *	t(15)=-3.66 **					t(15)=-2.42 *	t(15)=-2.76 *
	3.やる気がほしい	t(15)=-2.71 *	t(15)=-2.74 *	t(15)=-2.82 *	t(15)=-2.71 *	t(15)=-2.18 *			t(15)=-2.15 *	t(15)=-3.00 **	
	4.全身がだるい			t(15)=-2.42 *				t(15)=-2.15 *			t(15)=-2.15 *
	5.横になりたい		t(15)=-2.82 *		t(15)=-2.71 *		t(15)=-2.61 *	t(15)=-4.04 **	t(15)=-2.91 *	t(15)=-3.15 **	
	小計	3	2	3	4	1	2	2	2	3	3
II 群 (不安定感)	6.いらいらする		t(15)=-2.62 *	t(15)=-2.33 *		t(15)=-2.41 *	t(15)=-2.41 *		t(15)=-2.78 *		t(15)=-2.15 *
	7.おちつかない気分だ					t(15)=-2.41 *					
	8.不安な感じがする							t(15)=-2.42 *			
	9.ゆううつな気分だ		t(15)=-2.42 *			t(15)=-2.24 *		t(15)=-2.74 *		t(15)=-2.78 *	
	10.考えがまとまりにくい			t(15)=-3.22 **		t(15)=-2.24 *		t(15)=-2.61 *	t(15)=-3.09 **		
	小計	0	2	2	0	4	1	3	2	1	1
III 群 (不快感)	11.頭がおもい		t(15)=-2.82 *	t(15)=-2.18 *	t(15)=-2.45 *	t(15)=-3.10 **	t(15)=-2.42 *	t(15)=-3.09 **	t(15)=-2.42 *	t(15)=-3.91 **	t(15)=-3.00 **
	12.気分がわるい						t(15)=-2.41 *	t(15)=-2.42 *			
	13.頭がいたい		t(15)=-2.24 *	t(15)=-2.24 *		t(15)=-2.61 *		t(15)=-3.48 **	t(15)=-2.52 *		
	14.頭がぼんやりする	t(15)=-3.50 **	t(15)=-2.33 *				t(15)=-2.45 *	t(15)=-2.44 *		t(15)=-2.52 *	
	15.めまいがする										
	小計	1	3	2	1	2	3	4	2	2	1
IV 群 (だるさ感)	16.肩がこる		t(15)=-2.91 *		t(15)=-2.91 *	t(15)=-2.33 *					
	17.手や指がいたい			t(15)=-2.33 *	t(15)=-3.09 **			t(15)=-2.45 *	t(15)=-2.52 *	t(15)=-3.16 **	
	18.腕がだるい	t(15)=-2.82 *		t(15)=-3.47 **	t(15)=-3.76 **		t(15)=-2.74 *	t(15)=-2.78 *	t(15)=-3.10 **	t(15)=-3.16 **	
	19.腰がいたい			t(15)=-2.24 *					t(15)=-2.41 *		
	20.足がだるい								t(15)=-2.42 *		
	小計	1	1	3	3	1	1	2	4	2	0
V 群 (ぼやけ感)	21.目がかわく	t(15)=-3.95 **	t(15)=-3.78 **	t(15)=-4.14 ***	t(15)=-2.44 *	t(15)=-3.50 **	t(15)=-3.53 **	t(15)=-3.87 **	t(15)=-3.78 **		t(15)=-3.10 **
	22.目がいたい	t(15)=-3.17 **	t(15)=-2.78 *	t(15)=-2.67 *	t(15)=-3.50 **	t(15)=-2.82 *	t(15)=-3.76 **	t(15)=-3.22 **	t(15)=-2.91 *	t(15)=-2.93 *	t(15)=-3.50 **
	23.ものがぼやける	t(15)=-2.78 *			t(15)=-2.42 *	t(15)=-3.09 **	t(15)=-2.41 *	t(15)=-2.45 *	t(15)=-2.24 *	t(15)=-2.76 *	
	24.目がかかれる	t(15)=-4.36 ***	t(15)=-3.87 **	t(15)=-3.20 **	t(15)=-4.04 **	t(15)=-4.07 **	t(15)=-5.18 ***	t(15)=-4.39 ***	t(15)=-4.07 **	t(15)=-3.42 **	t(15)=-5.37 ***
	25.目がしょぼつく	t(15)=-3.66 **	t(15)=-3.46 **	t(15)=-3.88 **	t(15)=-2.67 *	t(15)=-4.58 ***	t(15)=-3.22 **	t(15)=-4.26 ***	t(15)=-4.28 ***	t(15)=-3.50 **	t(15)=-4.39 ***
	小計	5	4	4	5	5	5	5	5	4	4
計		10	12	14	13	13	12	16	15	12	9

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

5.3.5. 画面に対するイメージ評価について

全条件の VDT 課題作業終了後、各条件の画面に対して抱いたイメージの平均を求めた。図 5.29、図 5.30 は陽画表示と陰画表示のイメージプロフィールである。陽画表示の条件 P1~P5 では、5 条件間の読みやすさ、美しさ、派手さの 3 項目のイメージ評価に有意差が認められた（読みやすさ： $F(4, 75)=2.62$, $p<0.05$, 美しさ： $F(4, 75)=5.47$, $p<0.001$, 派手さ： $F(4, 75)=12.79$, $p<0.001$ ）。その後の多重比較により有意差がみられた条件組み合わせを表 5.3 に示す。陽画表示の条件 P1~P5 において、読みやすさは条件 P1-P5 の組み合わせで有意差がみられた（ $p<0.05$ ）。美しさは、条件 P2-P4（ $p<0.05$ ）と条件 P2-P5（ $p<0.001$ ）の 2 組で有意差がみられた。派手さは、条件 P1-P5（ $p<0.001$ ）、条件 P2-P4（ $p<0.05$ ）、条件 P2-P5（ $p<0.001$ ）、条件 P3-P5（ $p<0.001$ ）、条件 P4-P5（ $p<0.01$ ）の 5 組で有意差が認められた。陰画表示の条件 N1~N5 では、5 条件間の見やすさと読みやすさの 2 項目のイメージ評価に有意差が認められた（見やすさ： $F(4, 75)=5.29$, $p<0.001$, 読みやすさ： $F(4, 75)=3.43$, $p<0.05$ ）。その後の多重比較により、見やすさは条件 N1-N4（ $p<0.05$ ）と N1-N5（ $p<0.001$ ）、の 2 組で、読みやすさは条件 N1-N5（ $p<0.01$ ）で有意差が認められた。陽画表示では見やすさ、読みやすさの評価値が近似し、陰画表示では美しさ、派手さの評価値が近似した。

同一明度差の 10 条件のうち、RGB 値によるコントラスト比が同一となる条件 P1-N1（コントラスト比 5.2:1）、P2-N2（コントラスト比 6.2:1）、P3-N3（コントラスト比 5.7:1）、P4-N4（コントラスト比 4.8:1）、P5-N5（コントラスト比 4.0:1）の条件組み合わせ 5 組におけるイメージプロフィールを図 5.31 に示す。各組み合わせにおけるイメージ評価を比較した結果、P1-N1 では、見やすさと読みやすさの 2 項目で有意差がみられた（見やすさ： $t(15)=-3.78$, $p<0.01$, 読みやすさ： $t(15)=-2.67$, $p<0.05$ ）。P2-N2 では、派手さの 1 項目で有意差がみられた（派手さ： $t(15)=-2.20$, $p<0.05$ ）。P3-N3 及び P4-N4 ではイメージ評価に有意差はみられなかった。P5-N5 では、見やすさ、読みやす

さ、派手さの 3 項目で有意差がみられた（見やすさ： $t(15)=-4.58$, $p<0.001$, 読みやすさ： $t(15)=-4.74$, $p<0.001$, 派手さ： $t(15)=4.58$, $p<0.001$ ）。

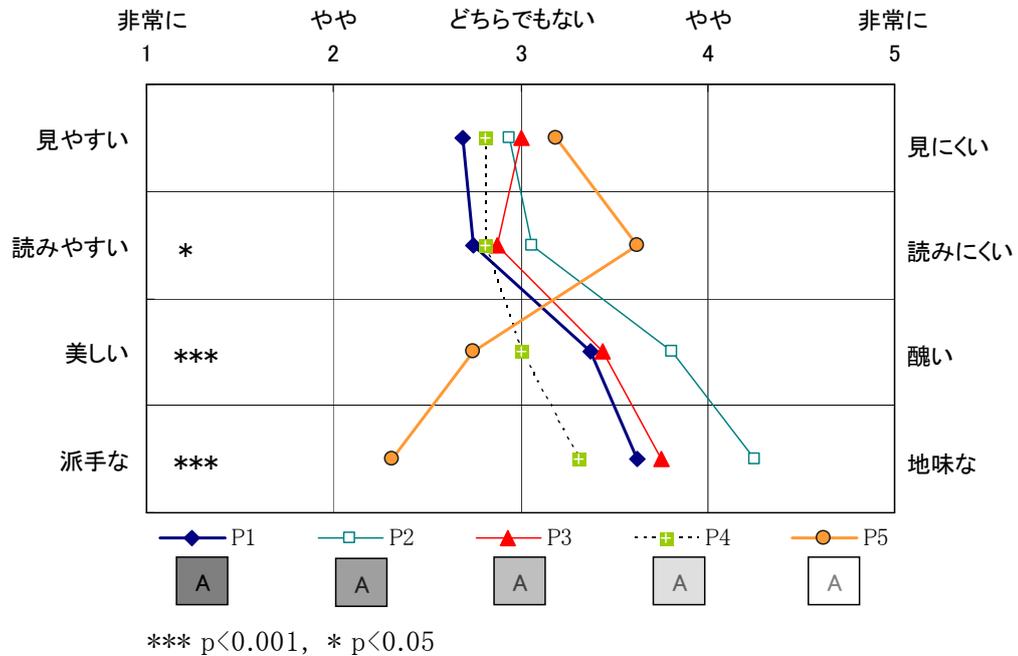


図 5.29 画面に対するイメージ評価（陽画表示）

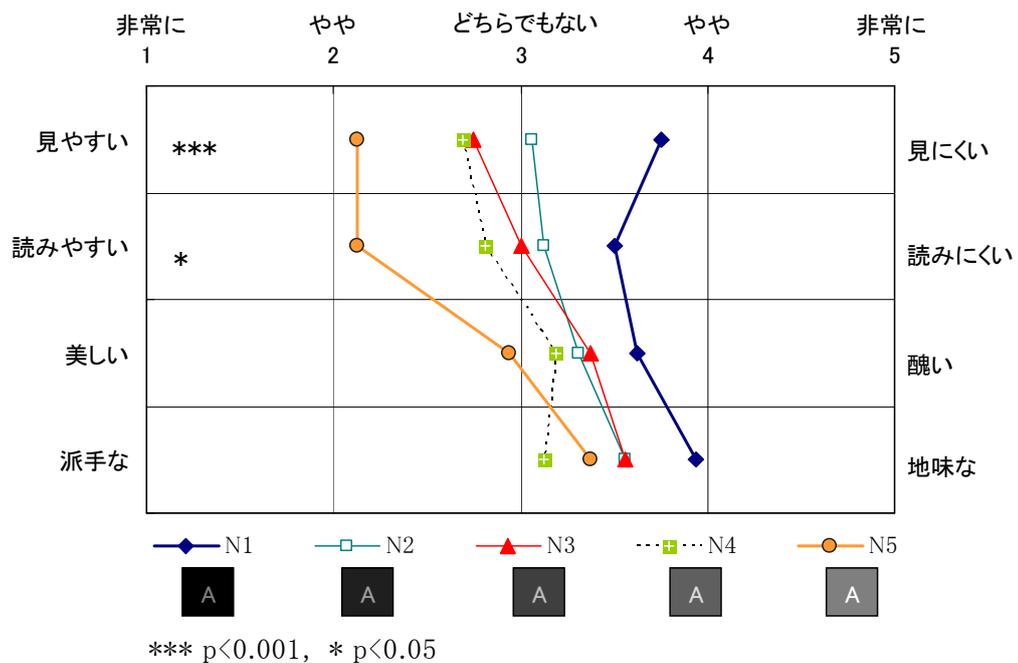


図 5.30 画面に対するイメージ評価（陰画表示）

表 5.3 画面のイメージ評価値に有意差のみられた
条件組み合わせと評価の比較

	条件組み合わせ			
	陽画表示		陰画表示	
見やすさ	-	-	N1 < N4	*
			N1 < N5	***
読みやすさ	P1 > P5	*	N1 < N5	**
美しさ	P2 < P4	*	-	-
	P2 < P5	***		
派手さ	P1 < P5	***		
	P2 < P4	*		
	P2 < P5	***	-	-
	P3 < P5	***		
	P4 < P5	**		

*** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05

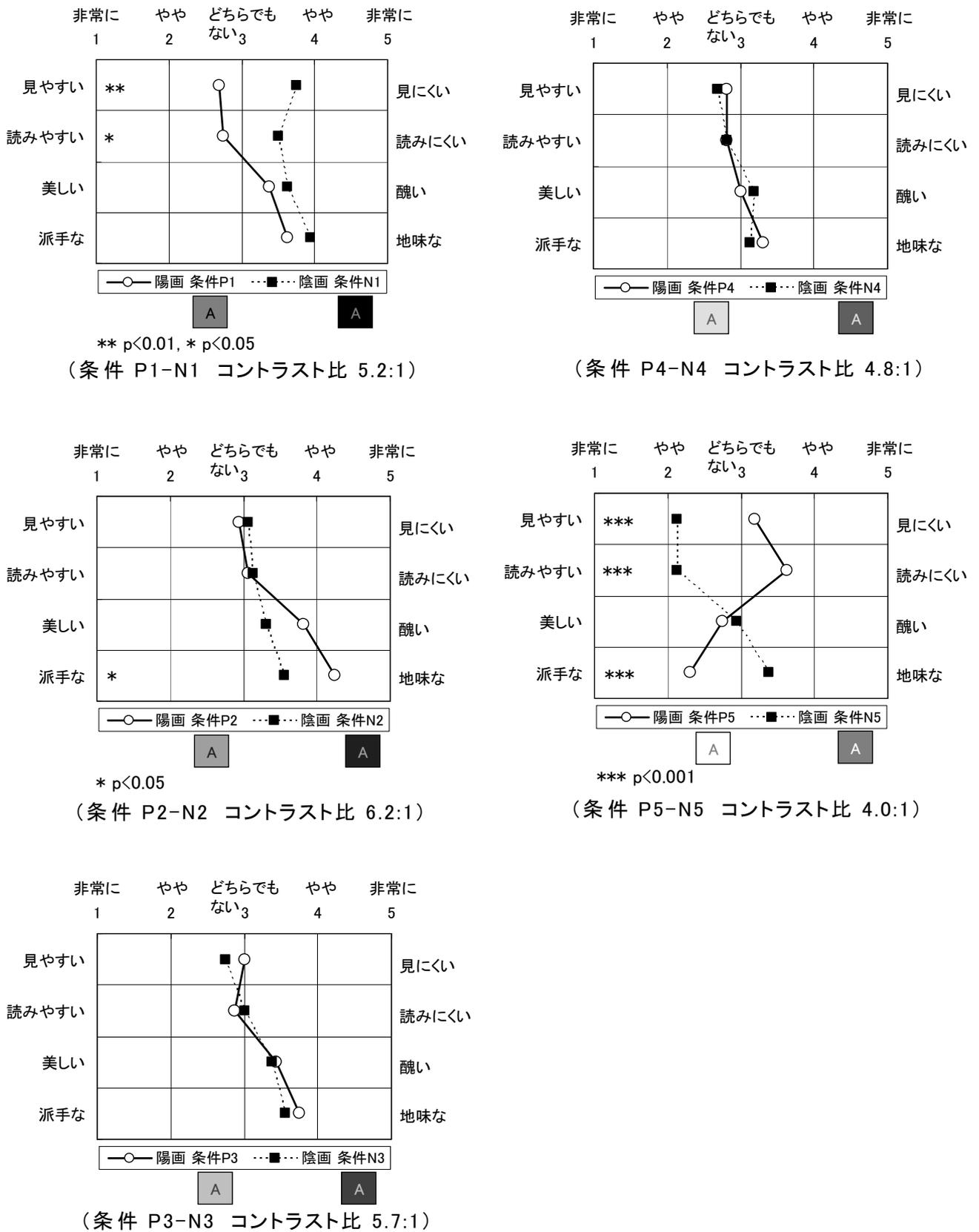


図 5.31 画面に対するイメージ評価 (同一コントラスト比 5 条件)

5.4. 考察

5.4.1. 作業量と誤入力率による作業効率について

文字と背景の明度差が同一となる 10 条件において、誤入力率については 10 条件間に有意差はみられなかったが、作業量については 10 条件間に有意差がみられた。このうち条件 P1 と P4 はいずれも文字と背景の明度条件によるコントラスト比が国際基準 WCAG2.0 に適合するが、条件 P1 の作業量は条件 P4 より有意な低値を示した。本実験の作業効率の結果全般より、文字と背景の明度差が同一の場合、条件間の作業効率に顕著な差はみられなかったが、条件 P1 のような黒文字に対して陽画表示 5 条件内で最も明度が低いグレー背景を組み合わせた条件は作業量の向上に適していない可能性が示唆された。

陽画と陰画の表示モードに着目すると、作業量について陽画表示同士の条件組み合わせ（条件 P1 と P4）に有意差がみられ、陰画表示（条件 N1～N5）の 5 条件間には有意差がみられなかったことから、陽画表示における作業効率は、陰画表示より条件による影響を受けやすいと考えられる。このことは、第 4 章における明度差が異なる条件を用いた陰画と陽画の表示モードの比較結果と共通する。

WCAG2.0 が規定する文字と背景の RGB 値によるコントラスト比は 4.5 : 1 以上（レベル AA 基準）であるが、条件 P1 のコントラスト比は 5.2 : 1 であり、条件 P4 の 4.8 : 1 より高いコントラスト比を有する。しかし、条件 P1 の作業量は条件 P4 より有意に少なかった。また、条件 P5 と N5 のコントラスト比 4.0 : 1 は WCAG2.0 の基準値 4.5 : 1 に適合しないが、他の条件との作業量に有意差はみられなかった。これらの結果より、本章で用いた 10 条件のコントラスト比の範囲（4.0 : 1～6.2 : 1）において、コントラスト比は作業効率へ著しい影響を及ぼす要因とは言い難い。しかしながら、WCAG2.0 に適合する場合においても作業効率が低下する明度条件が確認されたことから、国際基準値を満たす明度条件及びコントラスト比を有する文字表示の場合についても、作業効率以外に利用者の疲労度や主観評価にお

いて生理的・心理的負担のより少ない明度条件を選定する等の配慮が求められる。

5.4.2. 生理指標による作業負担について

VDT 作業者の心拍数について、高橋ら（2009）は作業時間が増加し身体的・精神的緊張状態になることで交感神経系が刺激され心拍数が上昇することを報告している。本実験では、3 条件（P5、N1、N4）において作業後の拡張期血圧が有意な低値を示した。また、4 条件（P3、P5、N1、N4）において作業後の心拍数が有意な高値を示した。この 4 条件には WCAG2.0 に適合する条件（P3、N1、N4）と適合しない条件（P5）を含む。CFR 値については、10 条件中 P1 を除く 9 条件において作業後の値が有意に低下したが、CFR 値変動率については 10 条件間に有意差がみられなかった。このうち条件 N4 は、収縮期血圧、拡張期血圧、心拍数の 3 項目全てにおいて作業後の値が有意に変動した。また、陽画表示 5 条件の中で背景の明度が最も低い条件 P1 は、作業効率においてやや劣る傾向がみられたが、CFR 値による疲労評価に関しては作業後の有意な低下がみられず、疲労しにくいことが推察される。

このように一部の条件において生理指標測定値の有意な変動はみられたが、それらの変動と明度条件に関する規則性は見出されなかったことから、本章の 10 条件における文字と背景の明度条件の違いが生理指標による疲労度へ及ぼした影響は顕著ではなかったと考えられる。本章の 10 条件において、作業前後の生理指標測定値が有意に変動した条件の数は第 2 章の陽画表示 8 条件及び第 3 章の陰画表示 8 条件における結果より多くみられた。しかし、生理指標の変動を用いた疲労の定量的評価は難しく、本実験における生理指標の変動についても実験開始前の緊張感や終了後の安堵感等、被験者の精神状態が影響を及ぼした可能性も推測できる。

本実験により、国際基準に適合する条件群（P1～P4、N1～N4）と適合しない条件群（P5、N5）において、生理指標の変動に関する対

応はみられなかったことから、WCAG2.0 のレベル AA 適合基準値であるコントラスト比 4.5 : 1 に比較的近い文字表示条件では、国際基準への適合の可否と作業負担の程度は必ずしも一致しないことが示唆された。

5.4.3. 自覚症による主観的疲労感について

本実験の結果において、「自覚症しらべ」による作業後の疲労評価スコアが有意な高値を示した自覚症の項目数が多い明度差条件ほど疲労感が高かったといえる。作業前と作業後の疲労評価スコアに有意差がみられた項目数は、全 10 条件とも文字と背景の明度差が同一であるにも関わらず、最小 9 項目から最大 16 項目であり一定しなかった。したがって、明度差が同一の条件においても VDT 作業者の主観的疲労感は、文字と背景の明度の組み合わせ条件によって異なるといえる。文字と背景のコントラスト比に着目すると、疲労感が最も高かった条件 N2 (16 項目) のコントラスト比は最も高い 6.2 : 1、条件 N3 (15 項目) は次に高い 5.7 : 1 であり、いずれも WCAG2.0 のレベル AA 基準 4.5 : 1 に適合する。一方、疲労感が最も低かった条件 N5 (9 項目) のコントラスト比は最も低い 4.0 : 1 であり、WCAG2.0 に適合しない。陰画表示において、背景の明度が最も高い条件は国際基準に適合しないが、疲労感はこの条件より低いことが確認された。これより、文字と背景の明度差 128、コントラスト比 4.0 : 1 ~ 6.2 : 1 の条件下では、コントラスト比を確保することによって必ずしも VDT 作業時の主観的疲労感が軽減されるとはいえず、コントラスト比が国際基準に適合しない場合においても条件によっては主観的疲労感を軽減する場合があるといえる。

陽画表示 (P1~P5) と陰画表示 (N1~N5) の各 5 条件のうち、背景の明度が低い順の 3 条件である陽画表示 P1~P3 と陰画表示 N1~N3 を比較すると、陰画表示 N1~N3 の疲労感が高かった。また、背景の明度が高い陽画表示 P5 と陰画表示 N5 では、陽画表示 P5 の疲労感が高かった。このように文字と背景に用いられる 2 つの明度値が等し

い条件においても、それぞれの明度値が文字に設定されるか背景に設定されるかによって疲労感は異なったことから、画面の広範囲を占める背景とそこに配置される文字とのコントラストの知覚に差が生じた可能性が考えられる。国際基準 WCAG2.0 において明るい方の色と暗い方の色によるコントラスト比の基準値は規定されているが、それらの色を文字と背景のどちらに設定すべきかについて、表示モードの区別は示されていない。より疲れにくい画面条件を提示するためには、同一明度差条件においても陽画と陰画の表示モードが疲労感に影響を及ぼす場合があることに留意する必要がある。

文字と背景のコントラストの知覚において、視対象と背景との明度差によって視対象本来の明度よりも明るく又は暗く見える現象を明るさの明度対比（又は同時対比）という（松田 1995）。明度対比は明度の差が大きいほど顕著に現れる現象であるが、本章で用いた 10 条件はいずれも異なる明度の文字と背景を組み合わせることで、全条件の明度差が同一となるよう設定したことから、この 10 条件間において知覚される明度対比の程度が極端に異なるとは考えにくい。本実験では各条件の明度値とは別に文字と背景の光源色としての色度を測定したが、第 4 章で既述したように色度のうち XYZ 表色系における三刺激値 Y は実測輝度に対応し、明度値に対して均等間隔になっていない。このため、本章で用いた 10 条件の文字と背景の明度 L 値の階調差は全て 128 で等しいが、輝度差を示す XYZ 表色系による三刺激値 Y の値の差は不均等である。表 5.1 に示すように、条件 P1 と N1 の輝度差は絶対値 44.5 だが、条件 P5 と N5 の輝度差は絶対値 167.0 であり、陽画と陰画の各表示モードにおいて背景の明度が高い条件ほど輝度差は大きいことがわかる。したがって、文字と背景の明度差が同一に設定された条件の場合、文字と背景の弁別には RGB 値によるコントラスト比に加え、 XYZ 表色系の三刺激値 Y が示す輝度差も影響を及ぼす可能性が推測される。それらの要因により、各条件における視認性や可読性が異なる場合、条件及び表示モードによって疲労感に差が生じると推察される。特に、背景に

白が使用される場合、光源色である白背景の輝度の高さによる眩しさから生じる不快感が作業者の心理評価に影響を及ぼす可能性についても、今後検討を行う必要があると考えられる。

5.4.4. 画面に対するイメージ評価について

同一明度差の条件において、画面に対するイメージ評価のうち、機能性（見やすさ、読みやすさ）に関する評価と審美性（美しさ、派手さ）に関する評価は陽画と陰画の表示モードにより異なった。見やすさ、読みやすさは、陽画表示では評価が近似したが、陰画表示では背景の明度が高い条件ほど評価が高かった。美しさ、派手さは、陽画表示では背景の明度が高い条件の評価が高かったが、陰画表示では評価が近似した。これらの結果から、同一明度差条件において背景の明度値が高い陽画表示条件では審美性の評価が高く、背景の明度値が高い陰画表示条件では機能性の評価が高い傾向がみられた。条件 N5 は WCAG2.0 に適合しないが、陰画表示 5 条件間の比較において見やすさと読みやすさの評価値は最も高く、国際基準に適合する他の条件より機能性に関する評価は高かった。この結果は、ウェブページの読みやすさに関する条件組み合わせと結果との関係は複雑であり、ウェブガイドラインと矛盾する場合があることを示した Hall ら（2003）の報告と一致した。

RGB 値によるコントラスト比が同一となる陽画表示と陰画表示の条件組み合わせ 5 組（P1-N1、P2-N2、P3-N3、P4-N4、P5-N5）において、見やすさ及び読みやすさのイメージ評価を比較した結果、背景の明度値が低い組み合わせ P1-N1 では陽画表示の条件 P1 の評価が高かったが、背景の明度値が高い組み合わせ P5-N5 では陰画表示の条件 N5 の評価が高かった（図 5.31）。このように明度差、コントラスト比ともに同一となる 2 条件間の見やすさ、読みやすさのイメージ評価は表示モードによって異なった。この要因として、背景に黒（明度 L 値：最小値 0）が用いられた条件 N1 は、完全な黒表示が困難とされる透過型 LCD（液晶ディスプレイ）としての動作原理上、他の条

件より黒背景とグレー文字は弁別しにくいことが推測される。一方、背景に白（明度 L 値：最大値 255）が用いられた条件 P5 は、高輝度の白背景による眩しさから見にくさや読みにくさを感じる場合が考えられる。

以上より、文字と背景の明度差条件が同一の文字表示において、文字と背景の明度条件の組み合わせによって画面に対するイメージ評価は異なることが確認された。また、実測輝度による輝度差が同一となる 2 条件において、疲労感とイメージ評価の比較結果が陽画と陰画の表示モードによって異なる場合が認められ、高輝度差の条件が必ずしも心理的反応において高評価とはいえなかったことから、明度差及び輝度差以外に、イメージ評価に影響を及ぼす条件として VDT 作業内容や作業時間等の VDT 作業を構成する他の要因も考えられる。同一明度差条件において、陽画と陰画の表示モード間のイメージ評価が異なる場合がみられたことから、画面の広範囲を占める背景の明度値は VDT 画面の機能性や審美性に関わる印象評価に影響を及ぼすことが推察される。

本章の結果から無彩色を用いた同一明度差となる条件間のイメージ評価に差がみられたが、有彩色が加わると同一明度差となる色の組み合わせはさらに多岐にわたる。ICT 活用学習において学習者自らが画面上の色を設定するソフトウェアもあるため、今後、有彩色を用いた更なる研究が必要と考えられる。

5.4.5. まとめ

本章では、文字と背景の明度差が同一（L 値の階調差 128）となる 10 条件間において、VDT 作業効率、疲労、イメージ評価に差がみられるか検証した。その結果、10 条件間の作業効率に顕著な差はみられなかったが、黒文字（L 値 0）に対するグレー背景（L 値 127）の条件は作業量の向上に適していない可能性が示唆された。生理指標の変動と明度条件との規則性は見出されなかった。しかし、陰画表示で背景の明度が最も高い条件（白文字:L 値 255、グレー背景:L 値

127) は、WCAG2.0 に不適合ながら疲労感是最も低く、見やすさや読みやすさのイメージ評価は最も高かった。この結果から、文字と背景のコントラスト比 4.0:1~6.2:1 の条件下で、同一明度差の場合、国際基準への適合の可否と疲労感及び主観評価の程度は一致しないことが示唆された。イメージ評価結果より、画面の広範囲を占める背景の明度値は VDT 画面の機能性や審美性に関わる印象評価に影響を及ぼすことが推察される。本章では、明度差に加え光源色としての輝度差にも着目したが、高輝度差の条件が必ずしも生理的・心理的反応において高評価とはいえなかった。本章にて、同一明度差条件においても、文字と背景による明度の組み合わせが作業効率と心理的反応に及ぼす影響は異なることが確認された。その要因については、VDT 作業を構成する明度差及び輝度差以外の因子も踏まえたさらなる検討が必要と考えられる。

第 2 章から本章までの結果を踏まえると、VDT 機器の機能特性としての輝度に加え、作業環境における照度も VDT 画面上のコントラストを知覚するための要素である。厚生労働省による「VDT 作業における労働衛生管理のためのガイドライン」では室内環境における入射光による照度基準のみ示され、画面上の照度による画面からの反射光の許容基準は示されていない。しかし、画面からの反射光は文字の見えのコントラストに影響する因子の一つであり、VDT 作業の遂行において十分に配慮すべき事項である。本研究にて検討した明度設定値は、VDT 機器による輝度と作業環境による照度とを介することによって知覚上のコントラストを決定づける。したがって、ICT 活用コンテンツの作成者が適切な表示色を設定するとともに、利用者及び職場や教育機関の環境衛生管理者が機器調整及び環境整備を適切に行うことは、VDT 作業の快適な視環境構築に不可欠といえる。

現在、VDT 機器としてコンピュータ用ディスプレイ製品のみならず、タブレット PC と呼ばれる平板状の外形にタッチパネル方式による文字入力／表示機能を備えた端末やスマートフォン等の携帯情報端末が普及しつつあることから、新たな VDT 機器の活用を見据えて VDT

作業ガイドラインを再検討する必要性は高いといえる。また、教育機関を対象とする VDT 作業ガイドラインが示されていないため、職場における VDT 作業との作業特性の違いに配慮し、ICT 活用学習に適した教育環境を整備するための指針及びガイドラインの策定が求められる。

第 6 章

総括

本研究は、社会の高度情報化により普及している ICT (Information and Communication Technology) 活用におけるユーザビリティの向上という観点から、視覚表示端末 (VDT: Visual Display Terminal) 画面の文字と背景の明度差条件に着目したものである。VDT 作業の遂行において、画面上の明度差及び配色は視認性や疲労度に影響を及ぼすことが報告されている。職場における VDT 作業のみならず教育機関における e ラーニング等の ICT 活用学習の導入により VDT 機器の使用機会は増加していることから、電子教材やウェブサイトの画面上の明度条件によっては作業効率や生理的疲労及び主観的疲労感に影響を及ぼしていることが推察される。そこで、無彩色のグレースケールによる文字表示を用い、VDT 画面の明度条件が作業効率や生理的・心理的反応に及ぼす影響について分析し、ユーザビリティの向上と疲労の軽減に有用な明度差条件を明らかにすることを目的とした。

まず、第 2 章では、男子大学生を対象に、文字より背景の明度が高い陽面表示 8 条件 (条件①～⑧) を用いて、VDT 画面の明度条件が作業効率、作業負担、主観的疲労感、画面に対するイメージ評価に及ぼす影響について分析した。明度差は、HLS カラーモデルの L 値の階調差 32 に設定した。条件①～⑧の文字は全て黒 (L=0) とし、条件①の背景は最大明度差となる白 (L=255) とした。条件②より背景の明度値を 32 ずつ下げ、条件⑧は最小明度差の 32 となる。条件①～⑤の 5 条件は、ウェブコンテンツの国際基準 WCAG2.0 に適合する。実験の結果、作業効率については、8 条件間の誤入力率に有意差が認められた。しかし、最大明度差の条件①と最小明度差の条件⑧とでは誤入力率に有意差は認められなかった。WCAG2.0 に適合する条件①～⑤のうち①の誤入力率は基準外条件との有意差がみられず、基準

内条件の中で最も誤入力率が高かった。血圧、心拍数については、いずれの条件においても作業前と作業後の測定値に有意差は認められなかった。CFF 値変動率については複数の条件組み合わせにおいて有意差が認められた。本研究では VDT 作業後に CFF 値が概ね低下する傾向にあり、先行研究と一致した。CFF 値変動率及び自覚症による疲労評価により、文字と背景の明度値によるコントラスト比が国際基準値 4.5 : 1 以上に適合する条件は、画面へのイメージ評価におけるユーザビリティの向上及び疲労感の軽減に有用であるといえるが、国際基準に適合する条件においても、低い明度差は疲労感を増加させる場合があることが確認された。陽画表示の VDT 画面の場合、作業効率の向上及び疲労の軽減の点から、黒文字 (L 値:0) 対して明度差が最大となる白背景 (L 値:255) より、背景の明度差をわずかに落とした条件 (背景の L 値:159~223 前後) の方が作業効率の向上に適していることが示唆された。したがって、ウェブコンテンツや e ラーニング教材等の VDT 画面を介して利用するデジタルコンテンツの文字表示については、国際基準への適合のみならず最大明度差の条件を避ける等、文字と背景を適切な明度に設定するための十分な配慮が求められる。

次に、第 3 章では、第 2 章と同じ男子大学生を対象に、文字より背景の明度が低い陰画表示 8 条件 (条件①~⑧) を用い、第 2 章と同様に VDT 画面の明度条件が作業効率、作業負担、主観的疲労感、画面に対するイメージ評価に及ぼす影響について分析した。条件①から条件⑧の文字は全て白 (L=255) とし、条件①の背景は最大明度差となる黒 (L=0) とした。条件②より背景の明度値を 32 ずつ上げ、条件⑧は最小明度差の 32 となる。条件①~④の 4 条件は、ウェブコンテンツの国際基準 WCAG2.0 に適合する。実験の結果、作業効率については、8 条件間の作業量と誤入力率に有意差は認められなかった。血圧、心拍数については、いずれの条件においても作業前後の測定値に有意差は認められなかった。CFF 値については、全ての条件において作業後に低下した。8 条件のうち 6 条件において作業後の CFF

値が有意に低下し、国際基準に適合する条件①と④の CFF 値変動率は、国際基準に適合しない条件⑤、⑦、⑧より有意に低かった。疲労感については、明度差が最大の条件及び明度差の低い条件において疲労評価スコアが増加した。画面に対する見やすさのイメージ評価は、条件②が最も高かった。第 2 章の陽画表示と同様に陰画表示においても、文字と背景の明度差が最大となる条件は、見やすさ又は読みやすさの評価において VDT 作業の推奨画面条件として適していない可能性が示唆された。これらのことから、陰画表示の場合、白文字に対して明度差が最大となる黒背景より、明度差をやや抑えた背景の方が作業効率の向上に適している可能性が考えられる。国際基準に適合する明度条件は作業負担の軽減に有用といえるが、国際基準に適合する条件においても明度差が最大の条件は疲労感を増加させる場合が確認された。これらのことから、VDT 作業における画面上の明度条件がユーザビリティ及び生理的・心理的反応に与える影響は、陽画と陰画の表示モードによって異なることが推察された。

第 4 章では、第 2 章の陽画表示と第 3 章の陰画表示による作業効率、生理指標による作業負担、主観的疲労感、イメージ評価を比較し、陽画と陰画の表示モードが VDT 作業におけるユーザビリティ及び生理的・心理的反応に及ぼす影響について分析した。その結果、作業量及び誤入力率の明度差による変化には、表示モード間の有意差はみられなかったが、陽画表示では、作業量及び誤入力率と明度差との間に有意な相関が認められ、明度差が大きい条件ほど作業量が多く、誤入力率が低い傾向を示した。陰画表示では、作業効率と明度差との間に相関は認められなかった。CFF 値による疲労評価については、陽画表示では、明度差が最大の条件の疲労度が高かった。陰画表示では、最大明度差を除く複数の条件の疲労度が高かった。主観評価による疲労感については、文字と背景の明度差が高い条件の場合、陽画表示の疲労感が低かった。しかしながら、明度差が最大となる条件に着目すると、CFF 値による疲労評価は陽画表示で疲労度が高く、主観評価は陰画表示で心理的疲労感が高いという結果にな

り、陽画と陰画の表示モード間で一致しなかった。このため、生理的負担と心理的負担の双方の観点から共通して推奨できる表示モードは見出されなかった。画面に対するイメージ評価については、陽画と陰画の表示モードによって、機能性（見やすさ、読みやすさ）に関する評価と審美性（美しさ、派手さ）に関する評価は異なった。以上より、作業効率において表示モード間に顕著な差は認められなかったが、作業負担及び心理的疲労感は、明度差が同一となる条件においても陽画と陰画の表示モードによって異なることが認められた。

第5章では、第2章、第3章と同じ男子大学生を対象に、国際基準への適合の可否や明度差以外の諸要因を含めて検討するために、文字と背景の明度差が等しいグレースケール10条件（P1からP5、N1からN5）を用い、同一明度差のVDT画面が作業効率と作業負担に及ぼす影響について検討した。10条件の明度差は全て128で同一である。陽画表示のP1からP5のうち、背景の明度が最も高い条件はP5（白背景）、最も低い条件はP1である。陰画表示N1からN5のうち、背景の明度が最も高い条件はN5、最も低い条件はN1（黒背景）である。条件P1からP4、条件N1からN4の8条件は国際基準WCAG2.0に適合する。実験の結果、陽画表示で背景の明度が最も低い条件のみ他の条件より作業量が少ない場合がみられたが、その他の条件間の作業効率に顕著な差はみられなかった。生理指標による作業負担について、拡張期血圧は3条件で作業後の値が有意に低く、心拍数は4条件で作業後の値が有意に高かった。CFF値による疲労評価により、陽画表示のうち背景の明度が最も低い条件P1において作業負担が軽減されると推測されるが、生理指標により作業負担の増加がみられる明度差条件の共通性は少なかった。しかし、陰画表示で背景の明度が最も高い条件はWCAG2.0に適合しないが、自覚症による疲労感は最も低く、画面の見やすさや読みやすさの評価は最も高かった。このことから、文字と背景のコントラスト比が国際基準適合値に比較的近い条件の場合、明度差が同一の条件においても国際基準

への適合の可否と生理指標による作業負担の程度は必ずしも一致しないことが示唆された。明度差・コントラスト比ともに同一となる2条件間において、見やすさ及び読みやすさのイメージ評価は表示モードによって異なった。画面の広範囲を占める背景の明度値はVDT画面の機能性や審美性に関わる印象評価に影響を及ぼすことが推察される。本章にて、同一明度差条件においても文字と背景による明度の組み合わせが作業効率と心理的反応に及ぼす影響は異なることが確認された。その要因については、VDT作業を構成する明度差及び輝度差以外の因子をも踏まえたさらなる検討が必要と考えられる。

以上より、文字と背景のコントラスト比がウェブコンテンツの国際基準に適合する条件において、明度差が最大となる条件より明度差をやや抑えた条件は、作業効率の向上及び疲労の軽減に適している可能性が示唆された。また、陽画と陰画の表示モードによって、生理的疲労度、主観的疲労感、画面に対するイメージ評価は異なることが認められた。大学生を対象とするVDT作業におけるユーザビリティ及び生理的・心理的反応は、無彩色による条件の場合、VDT画面の明度条件及び表示モードによって異なることが示された。したがって、デジタルコンテンツの画面上の条件設定において、国際基準への適合とともに利用者の生理的・心理的負担の軽減に配慮した条件を用いることで、VDT作業時の視環境はより快適になると考えられる。教育機関におけるVDT作業については、ICT活用学習にて活用される電子教材等の開発・利用に関するガイドラインの検討と策定が望まれる。ICT活用学習における作業効率の向上を図るためには、VDT製品本体の設定輝度を下げる等の対策により改善される可能性がある。また、教育機関においても今後普及することが予測される電子書籍の閲覧においては、陽画と陰画の表示モード選択機能を活用することで、画面に対するイメージ評価の向上が期待できる。

本研究では、色彩の三属性である色相、明度、彩度のうち明度に着目し無彩色によるグレースケールを用いたが、色相及び彩度が異なる条件の場合、作業効率や疲労へさらに影響を及ぼすことが予測

される。今後は、VDT 作業に適した画面上の色彩条件を明示するために、有彩色についても同様の研究を継続したいと考えている。また、本研究では若年男性を対象とし VDT 作業時間は 30 分間であったが、利用者の性差並びに年齢差、そして長時間の VDT 作業についても検討が必要である。近年、コンピュータ用のモニターは大型化、そして高輝度化する傾向にあり、画面の表示画素数や輝度数による影響も懸念される。また、有機 EL ディスプレイやスマートフォン等のモバイル端末用ディスプレイ等、液晶ディスプレイを含む VDT 製品の技術開発も目覚ましい。多様な VDT 機器を誰もが快適に活用し、デジタルコンテンツの恩恵を広く享受できる ICT 環境を総合的に構築するためには、VDT 作業を構成する多岐の要素とともに、コントラスト感度や視覚認知の年齢差等、利用者が有する多様な視覚特性及び色覚特性にも十分に配慮することが求められる。

ICT の利活用がさらに拡大することが予測される今後の高度情報社会において、VDT 機器はますます多様化し、それらの使用機会及び利用者数は益々増加すると考えられる。本研究の成果が社会及び教育機関における VDT 作業を快適に行うための視環境整備並びにデジタルコンテンツ作成時の一指針として寄与できれば幸いである。

引用文献

阿部真雄、上畑鉄之丞、松岡敏夫、千田忠男、星本米芳、古見耕一(1985)VDT作業従事者の自覚疲労症状、杏林医学会雑誌 16(4): 495-501

Bruce, M. and Foster, J. J. (1982)The Visibility of colored Characters on Colored Backgrounds in View Date Displays. Visible Language, 16(4): 382-390

Buchner, A. and Baumgartner, N. (2007)Text-background polarity affects performance irrespective of ambient illumination and colour contrast. Ergonomics, 50(7): 1036-1063

中央教育審議会(2008)学士課程教育の構築に向けて(答申)
http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/__icsFiles/afielldfile/2008/12/26/1217067_001.pdf, 23-24

八谷百合子、大貝晴俊、岡崎浩子、藤崎丈詞、内田和彦、織田進、和田太、森晃爾(2008)独立成分分析を利用した VDT 入力作業時の疲労の評価、ITヘルスケア誌 1(2): 66-79

Hall, R. H. and Hanna, P. (2003)The Effect of Web Page Text-Background Color Combinations on Retention and Perceived Readability, Aesthetics and Behavioral Intention. Ninth Americas Conference on Information Systems, 2149-2156

畑木紀男、上村祐子、日向洋平、山口有美仔、山口晴久(2004)中学生の VDT 作業の視覚認知特性、岡山大学教育実践総合センター紀要 4(1): 81-89

橋本邦衛(1963)Flicker 値の生理学的意味と測定上の諸問題: Flicker Test

の理論と実際、産業医学 5(9)： 563-578

Hill, A. L. and Scharff, L. V. (1997) Readability of screen displays with various foreground/ background color combinations, font styles, and font types. Proceedings of the Eleventh National Conference on Undergraduate Research, II: 742-746

平井康之 (2007) インクルーシブデザインとワークプレイスプロダクティビティ、建築雑誌 122(1564)： 24-25

細井広康、名取和幸、小林信治 (2008) 文字の可読性評価における年齢と色覚特性の影響：ネガポジ表示と色み情報の関与、日本色彩学会誌 32 (SUPPLEMENT)： 20-21

Hultgren, G. V. and Knave B. (1974) Discomfort glare and disturbances from light reflections in an office landscape with CRT display terminals. Applied Ergonomics, 5(1)： 2-8

Humar, I., Gradisar, M. and Turk T. (2008) The impact of color combinations on the legibility of a Web page text presented on CRT displays. International Journal of Industrial Ergonomics, 38(11-12)： 885-899

市川博、本多薫、大橋正和 (2006) ICT の進展による VDT 作業の増加と疲労やストレスとの関係 — テレワークや e-learning を例として —、情報社会学会誌 1(1)： 64-72

IEC 61996-2-1(1999)： Multimedia systems and equipment - Colour measurement and management - Part 2-1: Colour management - Default RGB colour space - sRGB

今村浩一郎、宗森純、長澤庸二(1994)次候補表示方法の入力効率に及ぼす影響についての検討、情報処理学会研究報告 人文科学とコンピュータ研究会報告 94(14): 51-58

石川哲(2006)診断の指針 治療の指針 テクノストレス眼症、総合臨床 55(5): 1541-1543

岩切一幸、毛利一平、外山みどり、堀口かおり、落合孝則、城内博、斉藤進(2004)VDT 作業者の身体的疲労感に影響する諸因子の検討、産業衛生学雑誌 46(6): 201-212

片山徹也、庄山茂子(2009)大学生のコンピュータ活用時における身体的疲労感と画面上の問題点との関連、人間と生活環境 16(1): 43-49

片山徹也、庄山茂子、栃原裕(2010a)コンピュータ画面の明度条件と作業効率及び疲労感との関連、人間と生活環境 17(1): 1-6

片山徹也、庄山茂子、栃原裕(2010b)コンピュータ陰画表示画面の明度条件と作業効率及び疲労感との関連、人間と生活環境 17(2): 73-80

片山徹也、庄山茂子、栃原裕(2011)VDT 画面の表示モードが作業効率と心理的・生理的反応に及ぼす影響、日本色彩学会誌 35(2): 91-100

Katayama, T., Shoyama, S. and Tochiara, Y. (2011) THE EFFECTS OF DIFFERENT VDT DISPLAY MODES ON WORK EFFICIENCY AND PHYSIOLOGICAL AND PSYCHOLOGICAL RESPONSES. The Fourth International Conference on Human-Environment System, Proceedings: 493-497

小孫康平、田多英興(1996)コンピューターディスプレイ上の平仮名文字の読みやすさと瞬目活動の関係、教育システム情報学会誌 16(2): 75-84

高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部(2009)i-Japan 戦略 2015～国民
主役の「デジタル安心・活力社会」の実現を目指して～

<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/090706honbun.pdf>

厚生労働省(2002)VDT 作業における労働衛生管理 ガイドラインと解説、中央
労働災害防止協会

窪田悟、大倉元宏(1986)CRT ディスプレイの表示モードおよび適正コントラス
トに関する実験的研究、テレビジョン学会誌 40(12): 1245-1251

窪田悟(1996)透過型液晶ディスプレイに求められる表示輝度とコントラスト
の条件、テレビジョン学会誌 50(6): 768-774

窪田悟(1997)LCD と CRT の視認性および可読性の比較、ディスプレイアンドイ
メージング 5(3): 181-190

Lin, C. C. (2005)Effects of screen luminance combination and text color on
visual performance with TFT-LCD. *International Journal of Industrial
Ergonomics*, 35(3): 229-235

Lin, C. J., Feng, W. Y., Chao, C. J. and Tseng, F. Y. (2008)Effects of VDT
Workstation Lighting Conditions on Operator Visual Workload. *Industrial
Health*, 46(2): 105-111

槇究、田中奈苗、留目真由香(2005)読みやすさと配色の良さの両立—文字色と
背景色の組み合わせの評価—、日本色彩学会誌 29(1): 2-13

増子正、錦野弘、吉川恵士、西條一止(1994)弱視者の明度弁別に関する研究、
特殊教育学研究 32(2): 33-38

松田隆夫(1995)視知覚、培風館：67-69, 82

Mazloun, A., Kumashiro M., Izumi H. and Higuchi Y. (2008) Quantitative Overload: a Source of Stress in Data-Entry VDT Work Induced by Time Pressure and Work Difficulty. *Industrial Health*, 46(3): 269-280

メディア教育開発センター(現 放送大学 ICT 活用・遠隔教育センター)(2006) eラーニング等の IT を活用した教育に関する調査報告書 2005 年度：
<http://www.nime.ac.jp/reports/001/2005/>

メディア教育開発センター(現 放送大学 ICT 活用・遠隔教育センター)(2009) eラーニング等の ICT を活用した教育に関する調査報告書 2008 年度：5-24

三樹弘之、細野直恒(2005)IT のユニバーサルデザイン—ISO 13407、JIS X 8341 などへの対応、丸善株式会社

宮川繁、福原美三(2009)オープンコースウェアの世界の動向：MIT および国際コンソーシアムの活動を中心として、工学・工業教育研究講演会講演論文集 平成 21 年度：402-403

宮地卓、内田和彦、藤崎丈詞、八谷百合子、吉川里江、宋裕姫、織田進、森晃爾、大貝晴俊(2005)生体情報による VDT(Visual Display Terminals)作業時の疲労評価(第二報)、産業衛生学雑誌 47: 429

文部科学省(2010)平成 21 年度文部科学白書 我が国の教育水準と教育費：41-42

森本一成、西村武、新居雅行(1986)：VDT 画面の表示モードに対する好みと疲労、テレビジョン学会誌 40(11)：1133-1139

明楽晃、山口有美、山口晴久、末長光人(2003)学齢に適した VDT テキストリーディングのための画面構成とその認知特性、岡山大学教育実践総合センター紀要 3(1): 129-138

中山光幸、上野昌彦(2001)知的作業が学習者の血圧変動に与える影響、電子情報通信学会総合大会講演論文集 2001 年 情報・システム(1): 202

内閣府(2011)消費動向調査 主要耐久消費財等の普及率(一般世帯): 第8表

生田目美紀、北島宗雄(2011)ユーザビリティとアクセシビリティを両立させるリンク表現の検討—視線計測によるウェブデザインに関する研究(1)、デザイン学研究 58(2): 105-112

日本規格協会(1999)JIS Z 8521 人間工学—視覚表示装置を用いるオフィス作業—使用性についての手引

日本規格協会(1999)JIS Z 8701 色の表示方法—XYZ表色系及び $X_{10} Y_{10} Z_{10}$ 表色系

日本規格協会(2003)JIS Z 8071 高齢者及び障害のある人々のニーズに対応した規格作成配慮指針

日本規格協会(2010)JIS X 8341-3:2010 高齢者・障害者等配慮設計指針—情報通信における機器、ソフトウェア及びサービス—第3部:ウェブコンテンツ

日本規格協会情報技術標準化研究センター(2009)ウェブコンテンツ・アクセシビリティ・ガイドライン(WCAG)2.0(翻訳)

<http://www.jsa.or.jp/stdz/instac/committee-acc/W3C-WCAG/WCAG20/index.html>

日本色彩研究所(2004)デジタル色彩マニュアル、株式会社クレオ：26-37

西村武、森本一成(1985)視覚疲労推定のための CFF の測定法の検討、テレビジョン学会誌 39(8)：726-730

大田登(1993)色彩工学、東京電機大学出版局：121-127

Pastoor, S.(1990)Legibility and subjective preference for color combinations in text. Human Factors, 32(2)：157-171

篠田博之、藤枝一郎(2007)色彩工学入門、森北出版：177-179

Smith, M. J. (1997)Psychosocial aspects of working with video display terminals(VDTs) and employee physical and mental health. Ergonomics, 40(10)：1002-1015

総務省(2006)u-japan 政策

http://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ict/u-japan/

総務省(2010)平成 22 年通信利用動向調査報告書(世帯編)：19-34

城憲秀(2002)新しい「自覚症しらべ」の提案、産業衛生学雑誌 44-臨時増刊：220

田島譲二(1997)ネットワークにおける画像の色再現、電子情報通信学会技術研究報告 コミュニケーションクオリティ 97(350)：29-34

高橋純一、山西潤一、佐々木和男(2003)高齢者に対応したコンピュータ画面上の文字の配色とサイズの検討、日本教育工学会論文誌 27(2)：127-134

高橋圭太、井上浩(2009)心拍変動による VDT 作業者のストレス・疲労の定量的

検討、秋田大学工学資源学部研究報告 30: 1-7

高橋洋子(2005)五感の生理 病理と臨床(10)IT眼症とVDT症候群、医学のあゆみ 214(12): 1029-1032

戸梶重紀彦(2001)VDT作業時の画面表示色設定に関する人間工学的研究、広島大学マネジメント研究 1: 39-48

Tomioka, K. (2007) Study on Legibility of Characters for the Elderly -Effects of Character Display Modes on Legibility-. Journal of PHYSIOLOGICAL ANTHROPOLOGY, 26(2): 159-164

Tseng, F.Y., Chao, C.J., Feng, W.Y. and Hwang, S.L. (2010) Assessment of human color discrimination based on illuminant color, ambient illumination and screen background color for visual display terminal workers. Industrial health, 48(4): 438-446

山口晴久、山口有美、笠井俊信(2005)VDT文書入力作業の作業時間による心理負担測定のための評価尺度の開発、日本教育工学会論文誌 28(4): 295-302

尹哲皓、秋庭雅夫、圓川隆夫、伊藤謙治(1987)VDT作業内容の違いによる生理・心理的影響の考察、日本経営工学会誌 38(2): 132-138

吉武良治(2002)フラットパネル検査の最新動向 ディスプレイ人間工学的評価の解説 (ISO 13406 の概要)、映像情報 Industrial34(6): 81-89

World Wide Web Consortium(2008)Web Content Accessibility Guidelines 2.0, <http://www.w3.org/TR/WCAG20/>

卷末資料

配色番号①

「さ」、「F」、「7」

の下の入力欄に数字の「1」を入力してください。

その他の欄には数字の「0」を入力してください。

配色⑧ 作業前

自覚症しらべ

回答者番号 _____ 番 (男 ・ 女 _____ 歳)

記入日・時刻 平成21年 _____ 月 _____ 日 午前・午後 _____ 時 _____ 分記入

いまのあなたの状態についてお聞きします。 つぎのようなことについて、どの程度あてはまりますか。すべての項目について、1「まったくあてはまらない」～ 5「非常によくあてはまる」までの5段階のうち、あてはまる番号1つに○をつけてください。

	まったくあてはまらない	わずかにあてはまる	すこしあてはまる	かなりあてはまる	非常によくあてはまる
1 頭がおもい	1	2	3	4	5
2 いらいらする	1	2	3	4	5
3 目がかわく	1	2	3	4	5
4 気分がわるい	1	2	3	4	5
5 おちつかない気分だ	1	2	3	4	5
6 頭がいたい	1	2	3	4	5
7 目がいたい	1	2	3	4	5
8 肩がこる	1	2	3	4	5
9 頭がぼんやりする	1	2	3	4	5
10 あくびがでる	1	2	3	4	5
11 手や指がいたい	1	2	3	4	5
12 めまいがする	1	2	3	4	5
13 ねむい	1	2	3	4	5
14 やる気がとぼしい	1	2	3	4	5
15 不安な感じがする	1	2	3	4	5
16 ものがぼやける	1	2	3	4	5
17 全身がだるい	1	2	3	4	5
18 ゆうつな気分だ	1	2	3	4	5
19 腕がだるい	1	2	3	4	5
20 考えがまとまりにくい	1	2	3	4	5
21 横になりたい	1	2	3	4	5
22 目がつかれる	1	2	3	4	5
23 腰がいたい	1	2	3	4	5
24 目がしょぼつく	1	2	3	4	5
25 足がだるい	1	2	3	4	5

作業前

血圧 上()/下()、心拍()

＜ アンケート回答用紙 ＞

コンピュータ画面のイメージ評価について

回答者番号	
-------	--

記入日 平成 年 月 日 時 分

質問. コンピュータ画面を見てどのように感じるかについてお聞きます。あてはまる番号1つに○をつけてください。

画面①	見やすい	1	2	3	4	5	見づらい
	読みやすい	1	2	3	4	5	読みづらい
	美しい	1	2	3	4	5	醜い
	派手な	1	2	3	4	5	地味な

画面②	見やすい	1	2	3	4	5	見づらい
	読みやすい	1	2	3	4	5	読みづらい
	美しい	1	2	3	4	5	醜い
	派手な	1	2	3	4	5	地味な

画面③	見やすい	1	2	3	4	5	見づらい
	読みやすい	1	2	3	4	5	読みづらい
	美しい	1	2	3	4	5	醜い
	派手な	1	2	3	4	5	地味な

画面④	見やすい	1	2	3	4	5	見づらい
	読みやすい	1	2	3	4	5	読みづらい
	美しい	1	2	3	4	5	醜い
	派手な	1	2	3	4	5	地味な

画面⑤	見やすい	1	2	3	4	5	見づらい
	読みやすい	1	2	3	4	5	読みづらい
	美しい	1	2	3	4	5	醜い
	派手な	1	2	3	4	5	地味な

画面⑥	見やすい	1	2	3	4	5	見づらい
	読みやすい	1	2	3	4	5	読みづらい
	美しい	1	2	3	4	5	醜い
	派手な	1	2	3	4	5	地味な

画面⑦	見やすい	1	2	3	4	5	見づらい
	読みやすい	1	2	3	4	5	読みづらい
	美しい	1	2	3	4	5	醜い
	派手な	1	2	3	4	5	地味な

画面⑧	見やすい	1	2	3	4	5	見づらい
	読みやすい	1	2	3	4	5	読みづらい
	美しい	1	2	3	4	5	醜い
	派手な	1	2	3	4	5	地味な

謝 辞

本研究は、九州大学大学院芸術工学府博士後期課程芸術工学専攻において、九州大学副学長 同大学大学院芸術工学研究院 枋原裕教授のご指導のもとに行いました。本研究の遂行ならびに本論文の執筆にあたりまして、ご指導とご助力を賜りましたことに深謝の意を表します。また、長崎県立大学大学院 国際情報学研究科長 庄山茂子教授には、本研究の基盤となりました長崎県立大学大学院修士課程における研究を継続するにあたり、終始懇切なるご指導とご鞭撻をいただきました。ここに深く感謝申し上げます。

本研究の遂行にあたり、貴重なご教示をいただくととともに本論文の細部にわたりご指導をいただきました九州大学大学院芸術工学研究院 安河内朗教授、山下由己男教授に心より感謝申し上げます。また、励ましとご助言をいただきました九州大学大学院芸術工学研究院デザイン人間科学部門の諸先生方、独立行政法人労働安全衛生総合研究所 岩切一幸様に心より御礼を申し上げます。そして、日頃より温かく見守っていただきました長崎県立大学 貞森直樹教授、同大学 流通・経営学科長 岩重聡美教授、福岡女学院大学 南川啓一教授に深く感謝申し上げます。調査を実施するにあたり、長期間の実験に快くご協力下さいました長崎県立大学大学院の平桂子様、長崎県立大学の学生諸氏の皆様に深く御礼を申し上げます。

本大学院における研究の機会を与えていただきました長崎ウエスレヤン大学 森泰一郎学長をはじめ、温かいご支援を下さいました米崎貞博参事、Joseph Z. Romero 教授、南川恵講師、教職員の皆様に深く御礼申し上げます。

多くの方々のお支えとご指導をいただきまして本論文は完成いたしました。心より感謝申し上げます。

2012年（平成24年）2月

片 山 徹 也