

論文

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

A comparison of the effects of different VDT display modes on work efficiency and physiological and psychological responses

片山 徹也 Tetsuya Katayama

長崎ウエスレヤン大学 Nagasaki Wesleyan University
九州大学大学院芸術工学府
Graduate School of Design, Kyusyu University

庄山 茂子 Shigeko Shoyama

長崎県立大学大学院 University of Nagasaki

栃原 裕 Yutaka Tochihara

九州大学大学院芸術工学研究院
Faculty of Design, Kyusyu University

Abstract

A study was conducted involving 16 male students. We used a VDT screen which provides 16 gray scale levels and various brightness differences between characters and background to compare the effects of positive and negative display modes under the same conditions of brightness difference (L component values in the HLS color model: 32 to 255) on work efficiency and physiological and psychological responses. As a result, for the changes in the amount of work performed and entry error rate according to brightness differences, there was no significant difference between display modes. However, a weak correlation between the amount of work performed and entry error rate, and brightness differences was observed in positive display mode; the amount of work was greater and entry error rate was lower in color combinations providing larger brightness differences. The results of the CFF (Critical Fusion Frequency) test showed that fatigue levels were high with the color combination providing the largest brightness differences in positive display mode, and multiple color combinations, excluding that providing the largest brightness difference, in negative display mode. Subjective fatigue levels were lower in positive display mode, when there was a large difference in brightness between characters and background. In the color combination with the largest brightness difference, physiological and psychological fatigue levels varied with the display mode. Regarding the display quality, views on the functional (visibility and legibility) and esthetic (attractiveness and vividness) aspects varied between positive and negative display modes.

Keywords: Visual Display Terminals, Screen mode, Brightness Condition, Work Efficiency, Fatigue

要 旨

本研究では、男子大学生を対象に、文字色と背景色の明度差が異なるグレースケール16配色のVDT画面を用い、明度差（HLS方式色表現のL値の差32～255）が同一条件となる陽画表示と陰画表示における作業効率、生理反応及び心理評価を比較した。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低い相関が認められ、明度差が大きい配色ほど作業量が多く、誤入力率が低い傾向を示した。CFF値（点滅光と点灯光を弁別する際の周波数閾値）による疲労評価については、陽画表示では、明度差が最大の配色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配色の疲労度が高かった。主観評価による疲労感については、文字色と背景色の明度差が高い配色の場合、陽画表示の疲労感が低かった。生理的疲労度と心理的疲労感は、最大明度差の配色において表示モード間に違いがみられた。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。

キーワード：VDT、表示モード、明度条件、作業効率、疲労

1. はじめに

情報通信技術〔ICT (Information and Communication Technology)〕の進展にともない、教育機関においてICT活用学習が普及している。ICTを用いることで、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¹⁾。一方、ICT機器の普及により、VDT (視覚表示端末)の利用に起因して起こるIT眼症やVDT症候群の増加が報告されている²⁾。World Wide Web Consortium³⁾は、Web Content Accessibility Guidelines2.0 (以下WCAG2.0)を勧告し、ウェブコンテンツのアクセシビリティに関する適合基準を示した。また、厚生労働省⁴⁾により職場におけるVDT作業の環境整備基準が示されたが、労働環境におけるVDT作業と教育機関におけるICT活用学習との相違を配慮したガイドラインは策定されていない。特に、既存のガイドラインに、文字色より背景色が明るい陽画 (ポジティブ) 表示と文字色より背景色が暗い陰画 (ネガティブ) 表示の表示モードに関する基準は明記されていない。VDT作業時の画面条件に関して、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、細井ら⁵⁾はWorld Wide Web Consortiumの指針の根拠は曖昧であることを指摘している。

VDT作業に関するこれまでの研究において、画面の読みやすさには、文字色と背景色の配色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⁶⁾⁸⁾。グレースケール配色による文字色が黒の陽画表示では、文字色と背景色が異なる8配色間の誤入力率に有意差がみられ、WCAG2.0に適合する配色においても、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⁹⁾。グレースケール配色による文字色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、明度差が最大の配色と明度差の低い配色において疲労感が増加した¹⁰⁾。

陽画表示と陰画表示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¹¹⁾。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⁵⁾。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もの¹²⁾、日本語入力のかかな漢字変換の際、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もの¹³⁾、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¹⁴⁾等がある。このように、表示モードに関する評価結果は条件によって異なり、文字色と背景色の明度差が等しい配色条件において陽画表示と陰画表示を比較した研究はみられない。

そこで、本研究では、文字色と背景色が異なるグレースケール配色のVDT画面を用い、明度差が同一条件となる陽画表示と陰画表示における作業効率、生理反応及び心理評価を比較することを目的とした。

2. 方法

(1) 文字色と背景色の明度差が異なるグレースケール配色の8画面を、陽画表示・陰画表示の表示モード別に設定した (表1)。明度差は、HLS方式色表現によるL値 (0~255の256階調) を8等分した階調の差を用いた。配色①から配色⑧の各々の条件における陽画表示と陰画表示の明度差は同一である。なお、陽画表示の配色①から⑤、陰画表示の配色①から④は、国際基準WCAG2.0によるレベルAA基準コントラスト比 4.5:1に適合する配色である。WCAG2.0が提示するコントラスト比は、RGB値により算出される相対輝度 (最も暗い黒を0、最も明るい白を1とする。) を用い、 $(L_1+0.05) / (L_2+0.05):1$ と表される (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)。本研究で使用了配色のコントラスト比は、表1に示すように最大が21:1、最小が1.3:1である。

表1 陽画表示と陰画表示の明度条件

表示モードと使用色	文字色と背景色の明度差 (階調の差)	コントラスト比	色度 (CIE XYZ表色系)			文字色と背景色のYの差
			X	Y	Z	
陽画表示	文字色 (黒)	—	—	—	—	—
	配色①	A	255	255	210.3	211.5
	配色②	A	223	224	155.0	157.4
	配色③	A	191	192	105.0	107.8
	背景色 配色④	A	159	160	68.9	71.7
	配色⑤	A	127	128	42.3	44.5
	配色⑥	A	95	96	23.8	23.7
	配色⑦	A	63	64	8.8	9.5
陰画表示	背景色 配色⑧	A	31	32	1.6	1.7
	文字色 (白)	—	—	—	—	—
	配色①	A	0	255	210.3	211.5
	配色②	A	31	224	155.0	157.4
	配色③	A	63	192	105.0	107.8
	背景色 配色④	A	95	160	68.9	71.7
	配色⑤	A	127	128	42.3	44.5
	配色⑥	A	159	96	23.8	23.7
陽画表示	配色⑦	A	191	64	8.8	9.5
	配色⑧	A	223	32	1.6	1.7

(2) 被験者：男子大学生16名（年齢：平均19.5歳, SD 0.6歳, 視力：裸眼又は矯正視力0.8～1.0）

(3) 実験場所：長崎県 大学内情報演習室

(4) 実験環境：

・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O-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）

ディスプレイ画面上の照度は、「VDT作業における労働衛生管理のためのガイドライン」（500lx以下）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。

・視距離：約40cm, 文字高：3mm（MS明朝10.5p）
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作業は困難であることから、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ため、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。

・ディスプレイ：NEC LCD17VM 17インチ薄型液晶（sRGB対応）、表示画素数1280×1024、輝度標準値270cd/m²

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

(5) 実験時期：2009年3月, 10月, 11月 16:00～19:00
陽画表示8日間, 陰画表示8日間の計16日間

(6) VDT作業課題：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）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」を入力する作業。指定文字の出現率は4.0%に設定した。

(7) 測定項目：

①作業効率（作業量, 誤入力率）

②生理指標（収縮期・拡張期血圧, 心拍数, CFF値）
CFF値（臨界融合周波数）は, 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。測定機器：デジタル自動血圧計 HEM-650（オムロン）、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, 画面に対するイメージ評価）

疲労感は、「自覚症しらべ」¹⁵⁾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（ほやけ感）の全5群における25の症状について作業前後に5段階で評価してもらった。画面に対するイメージ評価は, 全配色の作業終了後, 「見やすさ」, 「読みやすさ」, 「美しさ」, 「派手さ」について5段階で評価してもらった。

(8) 実験手順：

15分間の椅座位安静後, 生理指標を測定し, 疲労に関する症状を回答してもらった。30分間のVDT作業後, 生理指標を測定し, 疲労に関する症状を回答してもらった。連続作業の繰り返しによる停滞期及び配色の呈示順による影響を考慮し, 事前に練習作業を行った上で, 実験は1日の同一時間帯に1配色とした。各被験者は同一座席端末を用い, 陽画表示8配色, 陰画表示8配色がランダムになるよう呈示した。

(9) 分析方法：

作業量, 誤入力率及び生理指標測定値は, 外れ値による影響を受けにくくするために, 16名の各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, 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配色間の比較は, 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。作業効率（作業量・誤入力率）と明度差との関連をみるためにPearsonの相関係数を求めた。

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。

④CFF値の作業前後の比較は, 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配色間の比較は, CFF値の平常値に個人差があるためCFF値変動率を用い, 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。CFF値変動率と明度差との関連をみるためにPearsonの相関係数を求めた。

⑤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。

⑥各表示モードにおける画面に対するイメージ評価の8配色間の比較は, 一元配置分散分析にて分析した。

3. 結果

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配色の作業量を図1に、誤入力率を図2に示す。作業量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。また、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。文字色と背景色の明度差が等しい配色の比較では、作業量と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配色間の作業量は、陽画表示・陰画表示のいずれも有意差はみられなかった。8配色間の誤入力率は、陰画表示に有意差はみられなかったが、陽画表示に有意差がみられた ($F(7,104)=3.41$, $p<0.01$)。

作業量と明度差との関連については、陽画表示で作業量と明度差との間に低い正の相関が認められた ($r=0.238$, $p<0.05$)。陰画表示では、作業量と明度差との相関はほとんど認められなかった ($r=0.009$, $p>0.05$)。誤入力率と明度差との関連については、陽画表示で誤入力率と明度差との間に低い負の相関が認められた ($r=-0.270$, $p<0.001$)。陰画表示では、誤入力率と明度差との相関はほとんど認められなかった ($r=-0.185$, $p>0.05$)。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

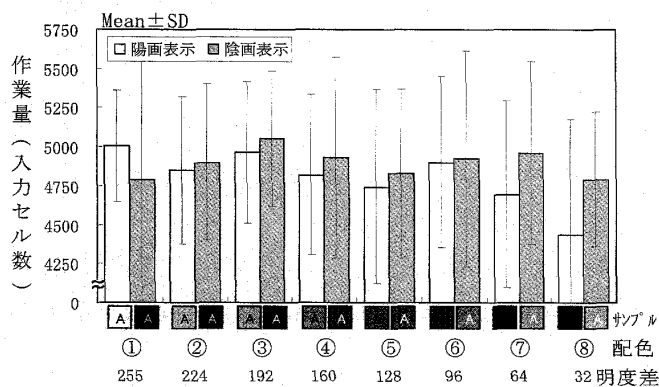


図1 8配色のVDT画面における作業量

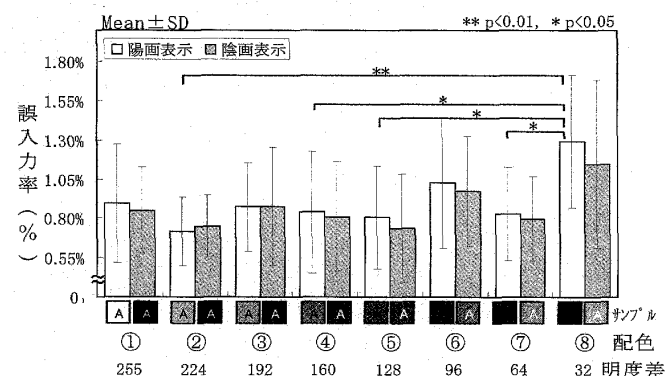


図2 8配色のVDT画面における誤入力率

表示において、文字色と背景色の明度差が大きい配色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た。

3.2. 血圧、心拍数、CFF値による生理的反応について

拡張期血圧、収縮期血圧、心拍数各々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。陽画表示と陰画表示の各8配色において、拡張期血圧、収縮期血圧、心拍数のいずれも、作業前後の測定値に有意差はみられなかった。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3)。同様に、収縮期血圧及び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。

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、中枢疲労及び身体的疲労が大きくなることが報告されている¹⁶⁾。本研究では、全ての配色においてVDT作業後のCFF値が低下した。陽画表示では、配色①、⑦、⑧の3配色でCFF値の有意な低下が認められた (配色①: $t(13)=3.140$, $p<0.05$, 配色⑦: $t(13)=4.011$, $p<0.05$, 配色⑧: $t(13)=3.241$, $p<0.05$) (図4)。陰画表示では、配色②、③、⑤、⑥、⑦、⑧の6配色でCFF値の有意な低下が認められた (配色②: $t(13)=5.266$, $p<0.001$, 配色③: $t(13)=3.495$, $p<0.05$, 配色⑤: $t(13)=10.367$, $p<0.001$, 配色⑥: $t(13)=5.220$, $p<0.001$, 配色⑦: $t(13)=3.150$, $p<0.05$, 配色⑧: $t(13)=4.663$, $p<0.001$) (図5)。下記の式によりCFF値変動率を求めた。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。陽画表示と陰画表示のいずれも8配色間のCFF値変動率に有意差が認められた (陽画表示: $F(7,104)=2.98$, $p<0.01$, 陰画表示: $F(7,104)=2.12$, $p<0.05$)。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低い正の相関が認められ、文字色と背景色の明度差が小さい配色ほど作業後のCFF値が低下する傾向がみられた (陽画表示: $r=0.255$, $p<0.001$, 陰画表示: $r=0.285$, $p<0.001$)。しかし、明度差が最大の配色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配色もみられた。

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

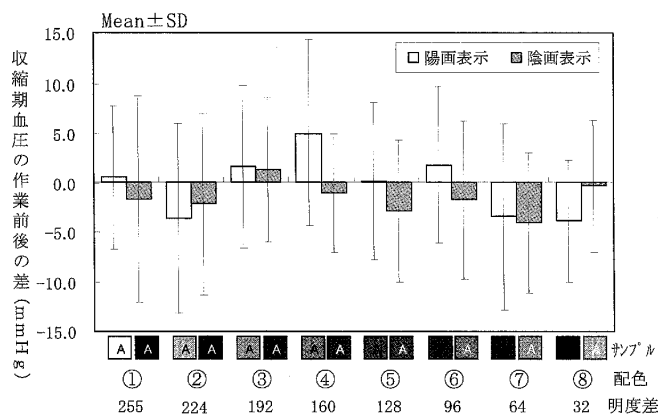


図3 収縮期血圧の作業前後の差

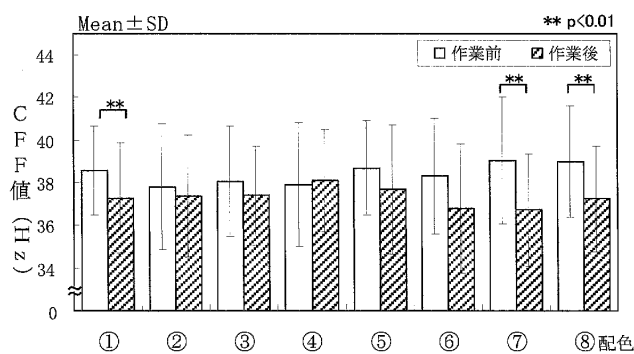


図4 作業前後のCFF値（陽画表示）

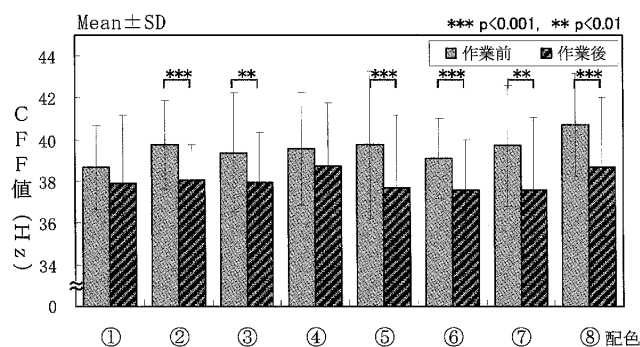


図5 作業前後のCFF値（陰画表示）

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配色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6に示す配色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（4.全身がだるい： $t(15)=-2.45$, $p<0.05$, 12.気分がわるい： $t(15)=-2.61$, $p<0.05$, 19.腰がいたい： $t(15)=-2.24$, $p<0.05$, 20.足がだるい： $t(15)=-2.45$, $p<0.05$, 25.目がしょぼつく： $t(15)=-2.33$,

$p<0.05$). 図7に示す配色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、陽画表示と陰画表示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（3.やる気がとぼしい： $t(15)=2.76$, $p<0.05$, 16.肩がこる： $t(15)=2.78$, $p<0.05$, 18.腕がだるい： $t(15)=3.87$, $p<0.01$, 21.目がかわく： $t(15)=-2.67$, $p<0.05$). 他の配色における結果を表2に示す。配色②では、3項目で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（7.おちつかない気分だ： $t(15)=-2.52$, $p<0.05$, 13.頭がいたい： $t(15)=-2.76$, $p<0.05$, 21.目がかわく： $t(15)=-3.58$, $p<0.01$). 配色③から⑦では、表示モード間の疲労感に有意差はみられなかった。

「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配色における疲労評価総スコアの作業前後の差を図8に示す。配色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（ $t(15)=-2.75$, $p<0.05$). 配色②から⑧の7配色では、表示モード間の疲労感に有意差はみられなかった。

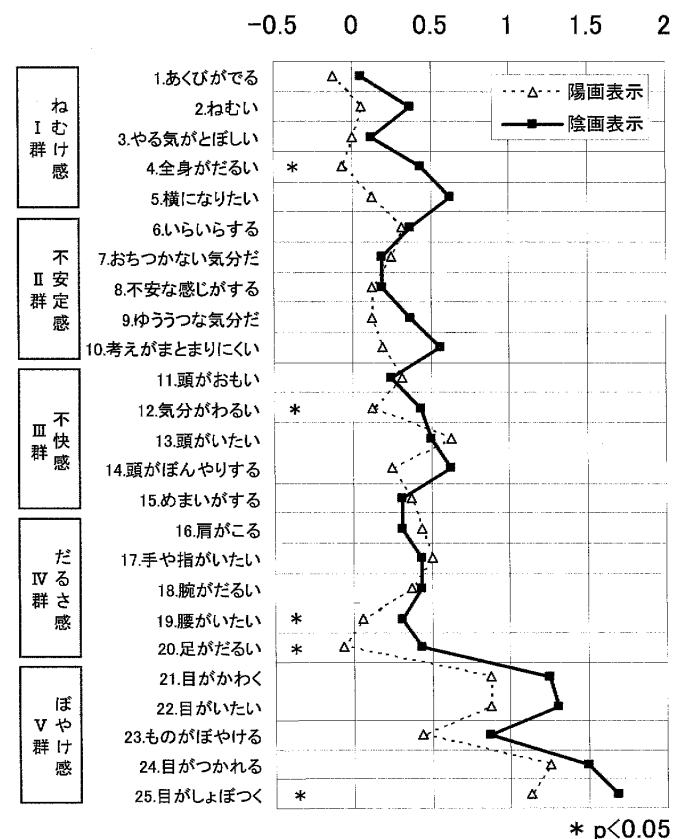


図6 疲労評価スコアの作業前後の差（配色①）

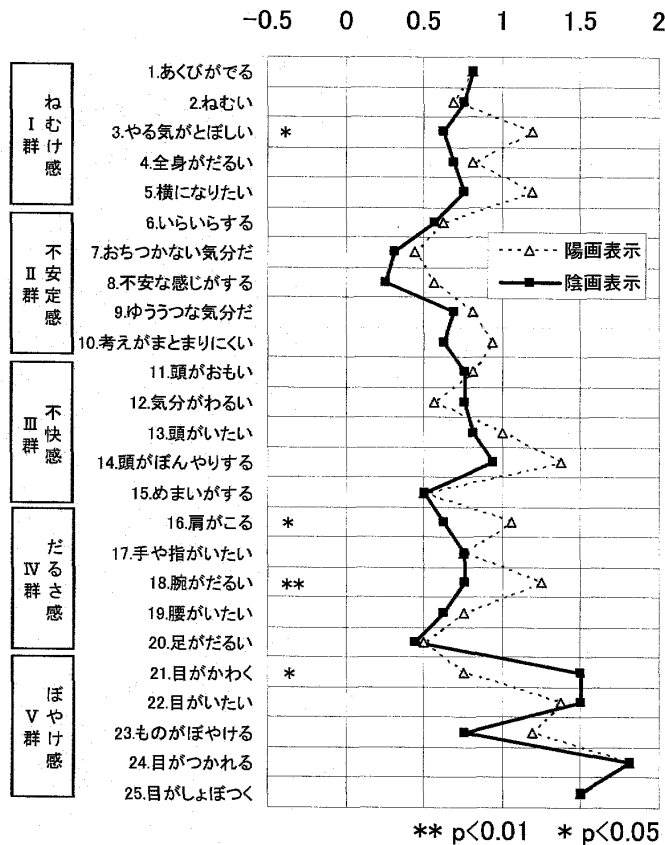


図7 疲労評価スコアの作業前後の差 (配色⑧)

表2 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

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

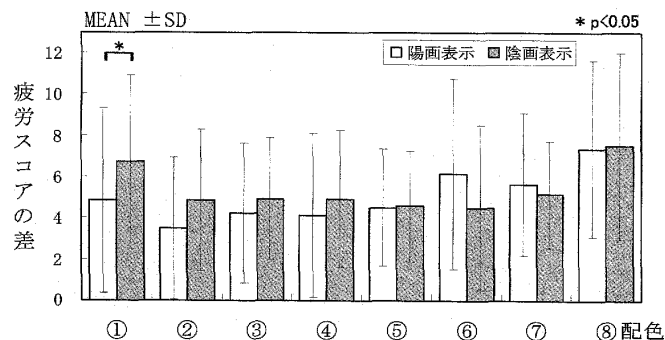


図8 V群(ぼやけ感)の疲労スコアの作業前後差

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全配色のVDT課題作業終了後、各配色の画面に対して抱いたイメージの平均を求めた。図9・10はそれらのイメージプロフィールである。陽画表示では、8配色間の「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 (見やすさ: $F(7,120)=49.76$, $p<0.001$, 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: $F(7,120)=22.67$, $p<0.001$)。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 (見やすさ: $F(7,120)=22.76$, $p<0.001$, 読みやすさ: $F(7,120)=19.72$, $p<0.001$ 美しさ: $F(7,120)=2.30$, $p<0.01$)。配色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配色ほど評価値が高かったが、陰画表示では8配色全てにおいて評価値が近似した。

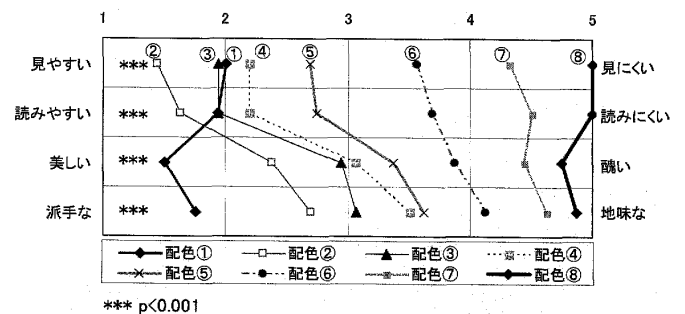


図9 陽画表示画面に対するイメージ評価

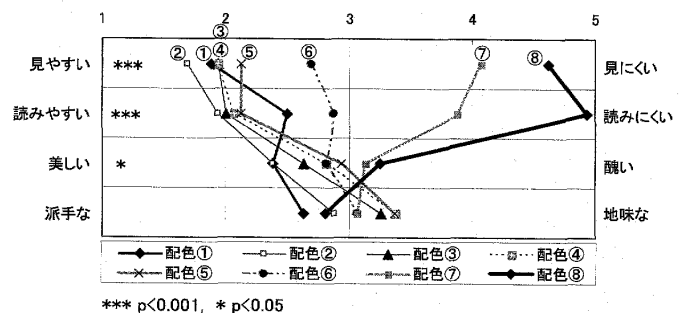


図10 陰画表示画面に対するイメージ評価

4. 考察

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配色間の比較では、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) と明度差との間に低い正の相関が認められたが、陰画表示では、作業効率と

明度差との相関はほとんど認められなかった。陽画表示において、文字色と背景色の明度差が大きい配色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とから、グレースケース配色による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ある。しかしながら、本研究において、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。また、同一明度差の配色による陽画と陰画の表示モード間の作業量と誤入力率に有意差はみられず、明度差が作業効率に及ぼす影響について表示モード間に顕著な差異はみられなかった。これらのことから、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、文字色と背景色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いえない。ただし、長時間のVDT作業や高齢者を対象とする場合、表示モードによってVDT画面の明度差が作業効率に及ぼす影響は異なることが推測される。

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プマン効果が発生する¹⁷⁾。本研究では、陽画表示において明度差と作業量とに低い正の相関が認められ、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、明度差が低い配色では陽画表示においてリープ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は、おおむね明度に対応するが明度に対して均等間隔になっていない¹⁸⁾。このため、本研究で用いた配色では、表1に示すように、HLS方式色表現による明度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、配色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。このことから、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、文字色と背景色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。

4.2. 表示モードと生理的反応について

今回の研究において、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配色間の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配色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配色条件（陽画：①～⑤、陰画：①～④）のCFF値に着目すると、陽画表示では配色①のみ有意に低下し、陰画表示では配色②、③の2配色で有意に低下した。これらのことから、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配色を含む明度差（HLS方式色表現による明度差が128から255）の配色に関しては、陽画表示では明度差が最大の配色で疲労しやすく、陰画表示では、最大明度差を除く配色の方が疲労しやすいことが推察される。

VDT作業の疲労に関するこれまでの研究において、生理指標により疲労の程度を解析する方法を確立したものはみられない。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く、生体情報の変化を代用としている¹⁹⁾。本研究では、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。各配色におけるVDT作業前のCFF値は一定しなかったが、このことはCFF値の平常値の個人内及び個人間の差が大きいことが一因として考えられる。CFF値以外の生理指標に疲労度が表出する可能性もあるため、疲労評価のための生理指標の選定について今後検討が必要である。

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、配色③～⑦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、文字色と背景色の明度差が大きく十分な可読性が得られる配色①・②では、配色①の5項目、配色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、文字色と背景色の明度差が高い配色の場合、陽画表示の方が疲労感の抑制に適用していることが示唆された。しかしながら、配色①に着目すると、陽画表示、陰画表示とも明度差が小さい

配色ほどCFF値が低下する傾向がみられたにもかかわらず、陽画表示の配色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、陰画表示の配色①にはみられなかった(図4, 図5)。これに対して、目の疲労感を示す自覚症しるべ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8)。明度差が最大となる配色①において、生理指標による疲労度と主観評価による疲労感は、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、文字色が黒、背景色が白の配色は、大学生にとって日頃使用する頻度の高い配色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場合、光源色としての輝度の高さがCFF値に影響を及ぼしている可能性があげられる。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が⁴⁾、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、明度の高い背景色を用いる場合は、グレアへの影響も配慮する必要がある。

明度差が最小の配色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配色の場合、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(LCD: liquid crystal display)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²⁰⁾。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、明度差が小さい配色の場合、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²¹⁾は、JIS Z8721「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方式色表現に換算するとL値10.2に相当し、本研究における配色間の最小明度差(L値の差32)より小さい値である。したがって、文字色と背景色の明度差が小さい配色において、知覚上は弁

別できる配色の場合でもVDT作業を継続することによって生じる弊害が危惧される。

4.4. 画面に対するイメージ評価について

本研究において、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った。陰画表示の場合、「見やすさ」、「読みやすさ」は、配色①から⑤の5配色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。これらのことから、陰画表示画面の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ことが推察される。特に、陰画表示の①～⑤の配色を用いる場合、「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」と感じる配色であっても、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。Hallら²²⁾は、ウェブページの読みやすさについて、陰画表示より陽画表示の評価が高かったが、配色組合せと結果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。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、作業時の心理負担が増加すると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。以上より、ICTを活用した教材等のコンテンツにおいて利用者の印象評価の高い画面条件を提供することが求められる。

以上、本研究により、文字色と背景色の異なるグレースケール画面を用いたVDT作業において、文字色と背景色の明度差が同一となる陽画と陰画における作業効率は、表示モード間に顕著な差は認められなかったが、CFF値による疲労評価及び心理的疲労感は、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。

本研究の対象は男性のみであったため、今後、性差についても検討が必要である。VDT作業に適した画面の色彩条件及び表示モードについてさらに検討することにより、使用目的や使用時間に応じて、ICT活用学習における作業効率の向上及び疲労の抑制に適したVDT画面の推奨条件を提示できる可能性がある。

5. まとめ

本研究では、男子大学生を対象に、文字色と背景色の明度差が異なるグレースケール16配色のVDT画面を用い、明度差（HLS方式色表現のL値の差32～255）が同一条件となる陽画表示と陰画表示における作業効率、生理反応及び心理評価を比較した。その結果を以下にまとめる。

- ①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低い相関が認められ、明度差が大きい配色ほど作業量が多く、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ほとんど認められなかった。
- ②CFF値による疲労評価については、陽画表示では、明度差が最大の配色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配色の疲労度が高かった。
- ③主観評価による疲労感については、文字色と背景色の明度差が高い配色の場合、陽画表示の疲労感が低かった。最大明度差の配色における生理的疲労度と心理的疲労感とは、表示モード間に違いがみられた。
- ④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。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご協力いただきました長崎県立大学の学生の皆様、ご助言いただきました九州大学大学院芸術工学研究院の山下由己男教授に感謝いたします。

追記

本研究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いたしました。

文献

- 1) 文部科学省: 平成21年度文部科学白書 我が国の教育水準と教育費, (2010) 41-42
- 2) 高橋洋子: 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 (2005) 1029-1032
- 3) World Wide Web Consortium: Web Content Accessibility Guidelines 2.0, <http://www.w3.org/TR/WCAG20/> (2008)
- 4) 厚生労働省: 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 (2002)
- 5) 細井広康, 名取和幸, 小林信治: 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) (2008) 20-21
- 6) Bruce, M. and Foster, J. J.: The Visibility of colored Characters on Colored Backgrounds in View Date Displays, Visible Language, 16-4 (1982) 382-390
- 7) Hill, A. L. and Scharff, L. V.: 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 (1997) 742-746
- 8) 槇究, 田中奈苗, 留目真由香: 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 (2005) 2-13
- 9) 片山徹也, 庄山茂子, 栃原裕: 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 (2010) 1-6
- 10) 片山徹也, 庄山茂子, 栃原裕: 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 (2010) 73-80
- 11) 森本一成, 西村武, 新居雅行: 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 (1986) 1133-1139
- 12) 西村武, 森本一成: 成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 (1985) 726-730
- 13) 今村浩一郎, 宗森純, 長澤庸二: 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 (1994) 51-58
- 14) Tomioka, Kei: Study on Legibility of Characters for the Elderly —Effects of Character Display Modes on Legibility—, Journal of PHYSIOLOGICAL ANTHROPOLOGY and Applied Human Science, 26-2 (2007) 159-164
- 15) 城憲秀: 新しい「自覚症しらべ」の提案, 産業衛生学雑誌, 44-臨時増刊 (2002) 220
- 16) 市川博, 本多薫, 大橋正和: 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

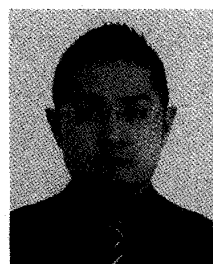
会誌, 1-1 (2006) 64-72

- 17) 松田隆夫: 視知覚, 培風館 (1995) 82
- 18) 大田登: 色彩工学, 東京電機大学出版局 (1993) 121-127
- 19) 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: 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) (2008) 66-79
- 20) 篠田博之, 藤枝一郎: 色彩工学入門, 森北出版, (2007) 177-179
- 21) 増子正, 錦野弘, 吉川恵士, 西條一止: 弱視者の明度弁別に関する研究, 特殊教育学研究, 32-2 (1994) 33-38
- 22) Hall, R. H., Hanna, P.: The Effect of Web Page Text-Background Color Combinations on Retention and Perceived Readability, Aesthetics and Behavioral Intention, Ninth Americas Conference on Information Systems, (2003) 2149-2156

(投稿受付日: 2010年9月24日)

(掲載決定日: 2011年4月1日)

著者紹介



かたやま てつや
片山 徹也

2010年長崎県立大学大学院国際情報学研究科修士課程修了修士(情報メディア学)

現在, 長崎ウエスレヤン大学現代社会学部専任講師, 九州大学大学院芸術工学府博士後期課程芸術工学専攻

日本色彩学会, 日本生理人類学会, 人間-生活環境系学会, 日本家政学会



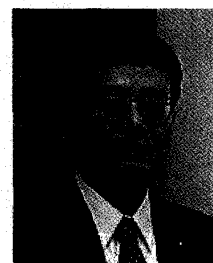
しゅうやま しげこ
庄山 茂子

2001年九州芸術工科大学大学院芸術工学研究科博士後期課程修了

博士(芸術工学)

現在, 長崎県立大学大学院国際情報学研究科長・教授

日本色彩学会, 日本生理人類学会, 人間-生活環境系学会, 日本家政学会, 日本繊維製品消費科学会, 日本デザイン学会



とちはら ゆたか
栃原 裕

1972年九州芸術工科大学卒業

医学博士

現在, 九州大学副学長, 九州大学大学院芸術工学研究院デザイン人間科学部門長・教授

日本生理人類学会, 日本人間工学会, 空気調和・衛生工学会, 日本生気象学会, 人間-生活環境系学会, 日本産業衛生学会