800lxと3lxの机上面照度が知的生産性に与える影響に関する被験者実験

SUBJECTIVE EXPERIMENTS ON PRODUCTIVITY UNDER 800LX AND 3LX LIGHTING CONDITIONS

西川 雅弥*, 西原 直枝**, 田辺 新一***

Masaya NISHIKAWA, Naoe NISHIHARA and Shin-ichi TANABE

In previous studies, it was difficult to evaluate the productivity only by task performance. In this study, we tried to evaluate productivity not only by task performance but also by human reaction, which especially meant fatigue. Fatigue was measured by subjective votes and biological signal, which were human voice and flicker value. It is said that the Lyapunov index of human voice has possibility to evaluate fatigue. The experiment was conducted under the condition of 800lx and 3lx to examine the effect of light environment on productivity. Subjects were fourteen. As a result of the experiment, we could not find a significant difference on task performance of addition task between 3lx and 800lx conditions. On the other hand, the increasing rate of symptoms from subjective votes was significantly higher on 3lx conditions than on 800lx, and a standard deviation of Lyapunov index of "g", "p" increased more under 3lx than 800lx. There were significant differences on fatigue in the experiment.

Keywords : *Productivity, Fatigue, Human voice, Lyapunov index, Light environment*
知的生産性, 疲労, 音声, リアプノフ指数, 光環境

1. はじめに

オフィス空間等の設計には在室者の快適性・健康性に加えて, 知的生産性の向上が求められるようになってきている。工場生産から知的生産へとビジネスがシフトしてきた現代では, オフィスにおける知的生産性の重要性も高まり, その評価が求められている。米国ではDorganら, FiskとRosenfeld, 欧州ではSeppänen, Wyon, Djukanovicらにより, 室内環境改善による経済効果を評価する研究が行われており, 執務者の人件費の高さから, 室内環境を改善することで執務者の知的生産性が上がれば, 経済的にも効率が良いことが報告されている^{1), 2), 3), 4), 5)}。知的生産性の評価手法については多くの方法が試みられているが, 本研究では, 知的生産性評価手法として作業効率だけでなく, その時の人体反応である疲労の測定を行い, 光環境を対象として被験者実験を行った。

本研究では, 知的生産性に影響を及ぼす可能性があると考えられる光環境を対象とした。Shahnava⁶⁾はVDT作業者に仕事場の照度を調節させたところ, 推奨照度は500~1000lxにもかかわらず, 100~250lxに選択が集まったと報告した。Hedge⁷⁾は作業場の照明をアップライトとダウンライトで比較し, VDT作業ではグレアが, 眼や作業効率に負担を与えることを報告した。一方, Saunders⁸⁾は, 読書時の作業面照度を申告によって被験者に評価させ, 400lx以下になると評価が大きく下がることを示した。Barnaby⁹⁾は生命保険会社の書類業務において, 照度変化による作業の正確性への影響を調べたところ, 550lxを基準に1100lxで2.8%, 1600lxで8.1%の上昇が見られたと報告した。さらに, 被験者申告では, 高照度環境下ではよりストレスが少なく, 動機付けが高く, 生産性が高いと評価されたと報告している。また, Cabak¹⁰⁾は織物工場において照度を変化させて作業をさせたところ, 1000lxで誤りが最低値となったことを示した。一方で, Mayo¹¹⁾による組み立て作業を対象とした研究

では照度レベルを下げたとしても, 生産性が向上したと報告している。その原因として, 作業者が被験者として選ばれたことにより作業者のモチベーションが上がり結果として生産性が向上するという, ホーソン効果が挙げられている。CIBSE¹²⁾の報告書が示すように, 光環境が作業効率に与える影響については, 心理的な要因が大きく影響し, 統一した見解が得られているとは言い難い。

温熱環境を対象とした実験では, 西原・田辺¹³⁾は25.5℃, 28℃, 33℃の温熱環境が知的生産性へ与える影響を調べた。作業成績による評価では統一した見解が得られなかったが, 疲労による評価では33℃条件において最も疲労が生じ, 作業効率による評価だけではなく, 疲労等の人体反応を合わせて評価することが重要であると報告している。

本被験者実験では, 光環境を対象とし, 机上面照度に大きな違いを設け, 紙面作業を被験者に課すことで, 知的生産性への影響を調査した。作業成績だけでなく疲労の測定を行うことにより, 知的生産性を評価し, 疲労を用いた知的生産性評価に関して検討することを目的とした。疲労の主観的評価として「自覚症状しらべ」¹⁴⁾を行うとともに, 客観的評価として音声から算出されるリアプノフ数による疲労測定^{15), 16), 17)}, フリッカー値の測定による方法を用い, その有効性についても検討した。

2. 被験者実験方法

(1) 実験期間・場所

実験は2002年10月24日~11月15日に, 早稲田大学55号館のマルチメディアスタジオにて行った。図1に実験風景を示す。

(2) 実験条件

実験環境条件は, JIS Z 9110¹⁸⁾の適正照度基準内である800lxに照度を設定した条件と, 暗くて作業に適さないと考えられる3lxに設

* 東京電力(株) 修士
(当時: 早稲田大学理工学部)

** 早稲田大学理工学研究所 客員研究員・博士

*** 早稲田大学理工学術院建築学科 教授・工博

The Tokyo Electric Power Company Inc.
(Then: Dept. of Architecture, Waseda University, MA)
Visiting Researcher, RISE, Waseda University, Ph. D.
Prof., Dept. of Architecture, Waseda University, Dr. Eng.

定した条件を設けた。加えて、作業の学習効果を除くため、実験の第1回目に800lxで練習条件を設け、条件ごとに110分の曝露実験を行った。実験は、健康上の配慮、安全確保を示した上で行った。実験スケジュールを表1に示す。各

図1 実験風景

被験者は1週間に1度実験に参加し、3週間に渡って3条件すべてを1回ずつ行った。なお、曜日や時間帯による影響を極力少なくするために、同じ曜日の同じ時間帯の実験に1名ずつ参加した。実験条件の実施順序は、第1週目を必ず練習条件とし、実験条件の実施条件による影響を極力少なくするために、800lx条件と3lx条件を実施する順番は被験者ごとにランダムに組んだ。順序Aで参加したものが7名、順序Bで参加したものが7名となった。照度はデジタル照度計(MINOLTA:T-1M)を用いて測定した。空気温度および放射温度、相対湿度は、床上1.1mの高さでそれぞれ銅-コンスタンタン熱電対、グローブ温度計、湿度センサ(TDK製)を用いて測定した。表2に机上面照度、空気温度、放射温度、相対湿度の測定結果を示す。

表1 実験スケジュール

	実施日	実験時間帯	順序A	順序B
第1週	10/24(Thu), 10/25(Fri), 10/29(Tue), 10/30(Wed)	10:00-12:00	練習	練習
第2週	10/31(Thu), 11/1(Fri), 11/5(Tue), 11/6(Wed)	12:30-14:30 14:30-16:30	800lx	3lx
第3週	11/7(Thu), 11/8(Fri), 11/12(Tue), 11/13(Wed)	16:30-18:30	3lx	800lx

※11/14, 15は予備日とした。

表2 実験環境 (S.D.)

実験条件	机上面照度 [lx]	空気温度 [℃]	放射温度 [℃]	相対湿度 [%RH]
練習	788 (12.8)	23.6 (0.1)	23.7 (0.1)	37 (0.2)
800lx	791 (20.1)			
3lx	3 (0.1)			

(3) 被験者

被験者は、健康な大学生年齢の、矯正視力0.7以上の男性14名とした。被験者体躯を表3に示す。被験者には実験終了後、正当な報酬に加えて、作業に取り組む動機を一定に保つために成績優秀者にボーナスを支払った。

表3 被験者体躯 (S.D.)

性別	人数	年齢	身長 [cm]	体重 [kg]	体表面積 ^{*1} [m ²]	Rohrer ^{*2} Index[-]
男	14	20.8 (1.3)	175.0 (7.5)	67.4 (9.6)	1.83 (0.15)	126.2 (19.5)

*1: 高比良の式 $A=72.46W^{0.425} \times H^{0.725}$, *2: Rohrer Index= $W/L^3 \times 10^7$

(4) 測定項目

被験者は実験開始時と作業前後に、光環境に関する申告、メンタルワークロードの申告、及び、疲労の主観的評価のための申告と客観的評価のための生体信号測定を行った。また、作業成績による評

価も行った。メンタルワークロードには、日本語版NASA-TLX^{19), 20)}を用い、並列して作業への集中度の申告を行った。疲労の主観的評価には、自覚症状しらべ¹⁴⁾と眼精疲労申告を行った。疲労の客観的評価には、生体信号として音声疲労計測、フリッカー値²¹⁾の測定を行った。図2に光環境・眼精疲労に関する申告用紙を示す。

疲労の主観的評価には、日本産業衛生協会産業疲労研究会作成「自覚症状しらべ」¹⁴⁾による申告を用いた。自覚症状しらべは、労働科学・人間工学の分野や労働環境の現場で長年利用されており、既往研究データの蓄積が多く実績がある。自覚症状しらべの中身は、疲労一般の訴え10項目からなるI群、心的症状の訴え10項目からなるII群、神経感覚的症状10項目からなるIII群で構成されており、各項目に対して○×で申告する。自覚症状しらべの症状項目を表4に示す。訴え率は式(1)に基づき算出し、30項目全体に対する訴え率を「総合訴え率」と定義した。

$$\text{訴え率(\%)} = \frac{\text{その対象集団の総訴え数}}{\text{項目の数} \times \text{対象集団の人数}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (1)$$

吉竹¹⁴⁾は、自覚症状しらべの各症状群間の順序関係は、一般型「I>III>II」、精神作業・夜勤型「I>II>III」、肉体作業型「III>I>II」の3種に大別され、総合訴え率が高い場合に精神作業・夜勤型が生じやすいと報告している。また、吉竹¹⁴⁾は、多くのフィールド調査結果から、総合訴え率Tが大きいために、II群の訴え率のTに対する割合(II/T)が増加することを報告している。

音声疲労計測には音声疲労計測システム(CENTE)¹⁵⁾を用いた。音声疲労計測システムは、音声からリアプノフ数を計算し、リアプノフ数から疲労や眠気の検出をするシステムである。音声を含めた生体信号はカオス的であると考えられている。カオス的な波形からアトラクタを再構成することができ、このアトラクタの形状のぶれ具合を示す数値がリアプノフ数である。リアプノフ数の解釈として、塩見^{16), 17)}は2つの考えを提案している。1つ目は、リアプノフ数の増大は対環境適応力の低下を示し、疲労の自覚はその後起こるという解釈である。2つ目は、リアプノフ数を脳に対する負荷レベルと考え、脳に対する負荷が疲労を自覚させるという解釈である。この場合、ある作業において興味のない作業だとするとリアプノフ数が増加し負担を与える可能性があるとしている。しかし、疲労に対するリアプノフ数の解釈は未だ定まっていない。

音声測定は、「あ」および50音の各行を対象として事前に行ったリアプノフ数分析結果よりシステムが読み取りにくかった音声を除外し、構音点²²⁾の違いを考慮して、母音である「あ」5秒間と「あ行」10回、子音である「が行」10回と「ば行」10回を読み上げる作業とした。また、各行をランダムに混合させた音声測定するため、朗読を作業として加え、音声測定も行った。リアプノフ数は1秒ごとに計算され、計算されたリアプノフ数は各音の平均値および標準偏差を用いることで評価した。また、個人内の変化を見るために作業前の値を基準として変化率を求めることで、リアプノフ数について考察した。サウンドボードはSound Blaster Extigyを用い、マイクはECM-MS907(SONY)を使用した。データは16bit, 44100Hz, モノラルのPCM形式でパソコンに保存した。

(5) 実験手順

図3に実験手順を示す。被験者は実験説明後に、視環境調査票及び自覚症状しらべに記入し、フリッカー値測定を行った。その後、

実験室に入室し、約110分間の曝露実験を開始した。被験者は入室後、光環境に関する申告とフリッカー値測定及び音声測定を行い、約15分間椅座静位安静にした。その後、第2回目のフリッカー測定と申告及び音声測定、10分間の朗読を行った。朗読は約10分間で読める程度の長さの随筆²³⁾とした。文字の大きさは11ptとした。その後20分間の紙面上における加算テストを行った。課した加算テストは、3桁の数字をランダムに組んだ、3桁の足し算とした。フォントの大きさは11ptとした。次に2回目の朗読を行った。朗読後、加算テスト後は各回それぞれフリッカー値測定と日本語版NASA-TLXを加えた申告、音声測定を行った。その後10分間椅座静位安静にし、フリッカー値測定と申告、音声測定を行った。音声測定の対象音声は、「あ」5秒間、「あ行」10回、「が行」10回、「ば行」10回とした。また、各行をランダムに混合させた音声を測定するために、朗読についても音声測定を行った。

表4 自覚症状しらの症状項目¹⁴⁾

I 群	II 群	III 群
頭がおもい	考えがまとまらない	頭がいたい
全身がだるい	話をするのがいやになる	肩がこる
足がだるい	いらいらする	腰がいたい
あくびがでる	気がちる	いき苦しい
頭がぼんやりする	物事に熱心になれない	口がかわく
ねむい	ちょっとしたことが思い出せない	声がかすれる
目がつかれる	することに間違いが多くなる	めまいがする
動作がぎこちない	物事に気がかかる	まぶたや筋肉がピクピクする
足もとがたよりない	きちんとしていられない	手足がふるえる
横になりたい	根気がなくなる	気分がわるい

図2 眼精疲労・光環境に関する申告

図3 実験手順図

(6) 統計解析

実験条件別の申告の比較には、危険率を5%として定め、分散分析を行った後、ポストホックテストとして最小有意差法（フィッシャーのLSD）を用い統計解析を行った。また、作業前後の比較には対応のあるt検定を用いた。

3. 被験者実験結果・考察

(1) 光環境に関する申告

光環境に関する申告結果を表5に示す。明るさ感は、3lx条件が練習条件、800lx条件よりも申告値が有意に低く、「暗い」側の申告

であった（ $p<0.01$ ）。明るさ調節に対する要求は、3lxが練習条件、800lx条件よりも高く、「明るくしたい」側の申告であった（ $p<0.01$ ）。光環境に対する受容度では、3lx条件は練習条件、800lx条件よりも有意に低く、「受け入れられない」側の申告が得られた（ $p<0.01$ ）。まぶしさ感に関する申告では有意な差は認められなかった。文字の読みやすさは3lx条件が練習条件、800lx条件よりも有意に低く、「読みにくい」側の申告だった（ $p<0.01$ ）。

表5 光環境に関する申告 (S.D.)

	練習(800lx)	800lx	3lx
明るさ感	0.5 (0.86)	0.7 (0.91)	-1.9 (0.65)
明るさ調節に対する要求	0.1 (0.60)	0.1 (0.68)	1.8 (0.73)
受容度	0.4 (0.37)	0.5 (0.34)	-0.4 (0.39)
まぶしさ感	-0.4 (0.41)	-0.4 (0.39)	-0.5 (0.76)
文字の読みやすさ	1.0 (1.01)	0.7 (0.91)	-1.5 (0.88)

(2) 作業成績

図4に、20分間行った加算テストの単位時間あたりの正答数を示す。加算テスト作業の単位時間あたりの正答数において、3つの条件間に有意な差は認められなかった。また、回答数、正答率でも3つの条件間に有意な差は認められなかった。

温熱環境よりも直接的に作業成績に影響が出ると考えられる机上面照度を対象とした実験を行ったが、環境条件間において、2時間弱の短時間曝露では、作業成績に有意な差は認められなかった。西原と田辺による温熱環境を対象とした短時間曝露の実験¹³⁾でも、作業成績に統一した見解は得られなかったと報告している。光環境による生産性への影響を評価する場合、短時間作業の作業成績結果から評価することは難しいと考えられる。

図4 加算テスト単位時間あたりの正答数

(3) メンタルワークロード

図5にRTLXを示す。実験条件および申告時間による有意な差は認められなかった。日本語版NASA-TLXと並列して、作業への集中度の申告を行った。図6に作業への集中度の申告結果を示す。作業への集中度は、朗読2後において、3lx条件が練習条件および800lx条件よりも有意に低い申告結果となった（ $p<0.05$ ）。実験条件および申告時間による有意な差は認められなかった。

図5 RTLX

図6 作業への集中度

(4) 自覚症状しらべ

自覚症状しらべの訴え率を表6に示す。群間比較を行うと、800lx条件では初期申告から最後の申告まで「Ⅰ>Ⅲ>Ⅱ」の一般型が得られた。一方、3lx条件では加算作業後、朗読2後、安静後において「Ⅰ>Ⅱ>Ⅲ」の精神作業型・夜勤型となり、練習条件では初期申告以外は「Ⅰ>Ⅱ>Ⅲ」の精神作業型・夜勤型となる結果が得られた。800lx条件では一般型が作業を通して変わらなかったのに対し、3lx条件では作業後にⅡ群の訴え率が上昇した。また、練習条件は順応後からⅡ群の訴え率が上昇した。800lx条件での順応後のⅡ/Tは0.3、朗読2後のⅡ/Tは0.7となり、3lx条件での順応後のⅡ/Tは0.2、朗読2後は0.8であった。また、練習条件での順応後のⅡ/Tは0.9、朗読2後は0.9であった。3lx条件では、800lxに比べて作業により疲労を強く感じられたと考えられる。練習条件では作業前から他条件に比べ、高い値を示した。

表6 自覚症状しらべ訴え率

		訴え率[%]				構成比			群間比較
		Ⅰ群	Ⅱ群	Ⅲ群	総合訴え率(T)	Ⅰ/T	Ⅱ/T	Ⅲ/T	
練習(800lx)	初期申告	7	6	8	7	1.0	0.9	1.1	Ⅲ>Ⅰ>Ⅱ
	順応後	14	8	5	9	1.5	0.9	0.6	Ⅰ>Ⅱ>Ⅲ
	朗読1後	20	15	11	15	1.3	1.0	0.7	Ⅰ>Ⅱ>Ⅲ
	加算作業後	24	11	11	15	1.6	0.8	0.7	Ⅰ>Ⅱ>Ⅲ
	朗読2後	26	17	16	20	1.3	0.9	0.8	Ⅰ>Ⅱ>Ⅲ
	安静後	27	15	6	16	1.7	0.9	0.4	Ⅰ>Ⅱ>Ⅲ
800lx	初期申告	6	1	4	4	1.5	0.4	1.1	Ⅰ>Ⅲ>Ⅱ
	順応後	14	2	4	7	2.0	0.3	0.6	Ⅰ>Ⅲ>Ⅱ
	朗読1後	19	6	9	11	1.7	0.6	0.8	Ⅰ>Ⅲ>Ⅱ
	加算作業後	20	6	8	11	1.8	0.5	0.7	Ⅰ>Ⅲ>Ⅱ
	朗読2後	22	11	14	16	1.4	0.7	0.9	Ⅰ>Ⅲ>Ⅱ
	安静後	20	5	6	10	2.0	0.5	0.6	Ⅰ>Ⅲ>Ⅱ
3lx	初期申告	12	4	4	7	1.8	0.5	0.6	Ⅰ>Ⅲ>Ⅱ
	順応後	19	1	4	8	2.3	0.2	0.5	Ⅰ>Ⅲ>Ⅱ
	朗読1後	28	12	13	18	1.6	0.7	0.7	Ⅰ>Ⅲ>Ⅱ
	加算作業後	25	11	10	19	1.9	0.6	0.5	Ⅰ>Ⅱ>Ⅲ
	朗読2後	39	19	14	24	1.6	0.8	0.6	Ⅰ>Ⅱ>Ⅲ
	安静後	30	13	9	17	1.8	0.8	0.5	Ⅰ>Ⅱ>Ⅲ

(5) 眼精疲労

1以上の申告を「症状あり」、0を「症状なし」として、各項目を合わせた眼精疲労の総合訴え率を個人ごとに求めた。訴え率を平均した総合訴え率の結果を図7に示す。3lx条件は、800lx条件に比べて作業により眼精疲労の訴え率が高くなることがわかった。

(6) 音声疲労計測

「あ」「あ行」「が行」「ば行」のリアプノフ数の平均値と標準偏差を時系列で求めたところ、条件および時間間に有意な差は認められなかった。また、朗読においても条件および時間間に有意な差は認められなかった。そこで、順応後（作業前）と2回の朗読作業および加算作業を終えた全作業後に注目し、解析を行った。全作業前と

後におけるリアプノフ数の平均値と標準偏差を求め、作業前を基準値として平均値と標準偏差の変化率をそれぞれ個人ごとに算出した。「が行」のリアプノフ数平均値と標準偏差の変化率を図8、図9に示す。「ば行」のリアプノフ数の平均値と標準偏差の変化率を図10、図11に示す。

図9より「が行」標準偏差の変化率は、3lx条件において作業前より作業後の方が有意に高く（ $p<0.05$ ），作業後において3lx条件が練習条件（ $p<0.05$ ），800lx条件（ $p<0.05$ ）よりも高かった。また、図11より「ば行」標準偏差の変化率は、3lx条件において作業前より

図7 眼精疲労訴え率

図8 「が行」のリアプノフ数平均値の変化率

図9 「が行」のリアプノフ数標準偏差の変化率

図10 「ば行」のリアプノフ数平均値の変化率

図11 「ば行」のリアプノフ数標準偏差の変化率

り作業後の方が高く ($p<0.10$), 作業後において3lx条件が練習条件 ($p<0.05$), 800lx条件 ($p<0.05$) よりも高かった。

(7) フリッカー

作業前と作業後のデータを抽出し、全作業前後におけるフリッカー値の変化を検討した。図12に作業前後におけるフリッカー値の結果を示す。図13に作業前を基準としたフリッカー値の変化率を示す。図12より、フリッカー値は3lx条件において作業前より作業後の方が有意に低かった($p<0.05$)。図13より、フリッカー値の変化率は3lx条件において作業前より作業後の方が有意に低かった ($p<0.05$)。

図12 フリッカー値

図13 フリッカー値の変化率

4. まとめ

本研究では、知的生産性評価に作業成績だけでなく疲労を用い、机上上面照度の違いが知的生産性に与える影響を調査した。

- 1) 光環境に関する申告から、3lx条件に比べ、800lx条件は明るく、受け入れられるという申告結果が得られた。
- 2) 800lxと3lx条件間の作業成績に有意な差は認められなかった。
- 3) NASA-TLXのRTLXでは条件間に有意な差が認められなかった。作業への集中度では、3lx条件が練習条件および800lx条件よりも朗読2後に有意に低かった。
- 4) 自覚症状しらべによる評価では、800lx条件では最後まで「Ⅰ>Ⅲ>Ⅱ」の一般型であったが、3lx条件では加算作業後、朗読2後、安静後において「Ⅰ>Ⅱ>Ⅲ」の精神作業型・夜勤型となった。また、眼精疲労申告からも総合訴え率において3lx条件での増加に有意差が認められた。
- 5) 「が行」「ば行」のリアプノフ数標準偏差の変化率が、3lx条件で作業後に有意に増加し、他の2条件よりも有意に高い値となった。また、フリッカー値およびフリッカー値変化率が3lx条件で作業後に有意に減少した。
- 6) 自覚症状しらべ、リアプノフ数の結果から、練習条件では疲労をより感じている結果が得られた。
- 7) 疲労の主観および客観的評価は3lx条件においてより疲労している結果を示した。リアプノフ数については既往実験の少なさからその解釈は定まっていないが、同様の結果が得られた。短時間作業における机上上面照度の違いが知的生産性に与える影響を評価

する上で、作業成績だけではなく、疲労を評価することが重要であることが示唆された。

謝辞

本研究を遂行するにあたりお力を貸してくださった廣瀬尚三様、田中幸治様、鷺田久美子様に心から感謝の意を表します。また、被験者としてご参加くださった方々へ御礼申し上げます。なお、本研究の一部は科学研究費（基盤研究(A)2課題番号14205085および特別研究員奨励費1501063）により実施した。本研究は、早稲田大学理工学研究所プロジェクトの一環として実施されました。ここに記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Dorgan C. B., M. S. Kanarek, A. J. Willman : Health and Productivity Benefits of Improved Indoor Air Quality, ASHRAE Trans, 98, (1A), pp.658-665, 1998
- 2) Fisk W., Rosenfeld A. : Estimates of improved productivity health from better indoor environments, Indoor Air 1997, pp.158-172, 1997
- 3) Seppänen O., Fisk W. J., Faulkner D. : Cost-benefit analysis of the night-time ventilative cooling in office building, Healthy Buildings 2003, 2003
- 4) Wyon D. P., Fisk W. J. : Research needs and approaches pertaining to the indoor climate and productivity, Healthy Buildings 2000, pp.1-8, 2000
- 5) Djukanovic R., Wargocki P., Fanger P. O. : Cost-benefit analysis of improved air quality in an office building, Proceedings of Indoor Air 2002, pp.808-813, 2002
- 6) Shahnnavaz H. : Lighting conditions and workplace dimensions of VDU operators, Ergonomics 25, pp.1165-1173, 1982
- 7) Hedge A., Sims W. R. and Becker F. D. : Effects of lensed-indirect and parabolic lighting on the satisfaction, visual health and productivity of office workers, Ergonomics 38(2), pp.260-280, 1995
- 8) Saunders J. E. : The role of the level and diversity of horizontal illumination in an appraisal of a simple office task, Lighting Res. Technol. pp.137, 1969
- 9) Barnaby J. F. : Lighting for productive gains, Lighting Des., pp.20-28, Feb 1980
- 10) Cabak L. : Technika prostriedia v textilnom priemysle Bezpenapraca, 4(6), pp.18-24, 1973
- 11) Mayo E. : The social problems of an individual civilization, Harvard University School of business, Cambridge, MA, 1945
- 12) CIBSE : "Environmental factors affecting office worker performance : A review of evidence", Technical Memoranda TM24, Chartered Institution of Building Services Engineers (London), 1999
- 13) 西原直枝, 田辺新一 : 中程度の高湿環境下における知的生産性に関する被験者実験, 日本建築学会環境系論文集, 568, pp.33-39, 2003
- 14) 吉竹博 : 改訂産業疲労-自覚症状からのアプローチ-, 労働科学研究所出版部, 1993
- 15) 塩見格一 : 音声から眠気や疲労を検出する試みについて, 第37回飛行機シンポジウム, 1999
- 16) 塩見格一 : カオス論的疲労予知技術について, 電子航空研究所研究発表会第1回, pp.109-112, 2001
- 17) Shiomi K. and Hirose S. : Fatigue and Drowsiness Predictor for Pilots and Air Traffic Controllers, 45th Annual ATCA Conference, 2000
- 18) 日本工業標準調査会 : JIS Z 9110-1979, 照度基準, 経済産業, 電気技術, (社)照明学会, 1958
- 19) 芳賀繁, 水上直樹 : 日本語版NASA-TLXによるメンタルワークロード測定-各種室内実験課題の困難度に対するワークロード得点の感度-, 人間工学Vol.32(2), 1996
- 20) Hart S. G. and Staveland L. E. : Development of NASA-TLX (Task Load Index) : Results of empirical and theoretical research. In P. A. Hancock and N. Meshkati (eds.), Human Mental Workload, North-Holland, pp.139-183, 1988
- 21) 大久保孝夫 : 疲労・作業効率を測る, 加藤象二郎編著 : 初学者のための生体機能の測り方13章pp.179-183, 日本出版サービス, 東京, 1999
- 22) 本郷利憲ほか : 標準生理学第4版pp.360, 医学書院, 東京, 1996
- 23) 寺田寅彦 : 茶碗の湯, 寺田寅彦随筆集第2巻, 岩波書店, 東京, 1964

(2007年7月10日原稿受理, 2007年11月26日採用決定)