

擬似高齢者メガネ装着時における可読性の評価

田村 徹*¹ 牛田 典彦*² 大石 巖*³

An estimation of reading speed for elderly people.
—By using the special glasses simulating age-related
transmittance reduction of the eye lens.—

Tohru TAMURA, Norihiko USHIDA, Iwao OHISHI

In order to estimate the legibility of elderly people, we tested reading speed of characters on a CRT display. The subjects put on the special glasses simulating the age-related transmittance reduction of the eye lens. There found no significant influence on reading speed whether the subjects put on the glasses or not. However, subjective rating of legibility was significantly lower with the glasses in the case of dark color characters on a blue background. These results indicate that dark color characters on a blue background should be avoided for elderly computer users.

1. はじめに

少子高齢化の進むなか、高齢者の数は年々増加している。また、一方では情報化社会の進展が目覚しく社会生活においてコンピュータが重要な役割を果たしつつある。コンピュータとユーザの間における情報の受け渡しは主に文字や画像などの視覚情報によって行われ、ユーザにとって視覚負担の少ない表示が電子ディスプレイに求められている。CRTディスプレイに求められる表示性能を視覚負担や作業効率など人間工学的視点より評価・検討した研究は過去に数多く行われ、その結果が国際規格¹⁾となっている。また、液晶ディスプレイを中心とするフラットパネルディスプレイの普及に伴い、フラットパネルディスプレイの表示性能に対する様々な評価・検討が行われ²⁾⁻¹⁴⁾、表示性能に対する国際規格化¹⁵⁾が進んでいる。

ところで、上述したような電子ディスプレイの

表示性能に関する研究は比較的若齢の被験者によって行われており、高齢者の視機能が若齢者に比べ、様々な点で異なることを考えると¹⁶⁾、表示コントラスト、明るさ、文字サイズなど若年者を対象とした研究結果をそのまま高齢のユーザに適用することには問題がある。特に、老人性縮瞳や水晶体の黄変は網膜へ到達する光の量の低下をもたらす、視力低下の原因となる。その結果、コンピュータディスプレイ上に表示された文字が読みにくくなることが考えられる。高齢者を対象としたコンピュータディスプレイの情報表示に関する研究としては、窪田らの行った液晶ディスプレイに対するものがあるが¹⁷⁾¹⁸⁾、文字の見易さを主観的に評価したもので文章の読み取り速度など作業効率の変化を調べた報告は少ない¹⁹⁾。

そこで、本研究では、高齢者の視力低下の一因である水晶体の黄変がディスプレイ上に表示された文章の読み取り速度に与える影響を調べることにする。実験では、高齢者の水晶体が黄変する程度を模擬したメガネを用い、そのメガネを若年者が装着した状態と、メガネなしの状態とで文章を読む速さの変化を調べることにした。

*1 東京工芸大学工学部画像工学科講師

*2 東京工芸大学大学院工学研究科画像工学専攻

*3 東京工芸大学工学部画像工学科非常勤講師(元教授)

2000年9月19日 受理

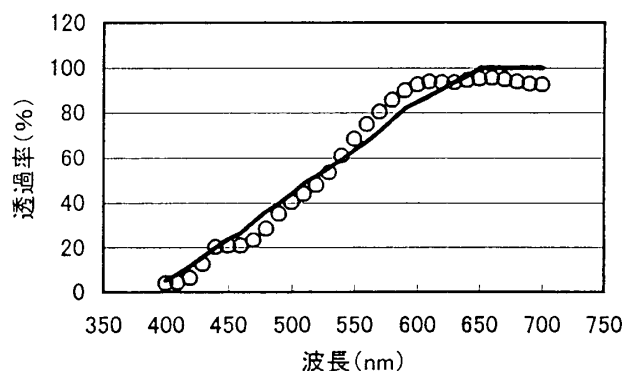


図1 擬似メガネの分光透過率 (○) と高齢者の水晶体の分光透過率 (—)

2. 実験方法

2-1 擬似メガネ

水晶体において、加齢とともに光の波長が短い領域での透過率が長波長光に比べ相対的に低下する現象が生じることが知られており、水晶体の黄変と呼ばれている。図1の実線は、岡嶋らが水晶体加齢モデルに基づいて、20歳の人々の平均的な水晶体の分光透過率に対する80歳の人々の平均的な分光透過率を求めた結果である²⁰⁾。本実験で使用した模擬メガネの分光透過率を図1の(○)に示す。横軸が光の波長で、縦軸に透過率をプロットしている。光の波長が、600 nm以上ではほぼ100%透過するが、波長が短くなるにつれて透過率が低下し、500 nmでおよそ40%、400 nmでは5%程度の透過率となっている。図1からわかるように実験で使用した模擬メガネは20歳の人と80歳の人での水晶体の分光透過率の差とよく一致して

おり、20歳の人がこの模擬メガネを着用することで80歳の人々の水晶体の分光透過率をシミュレートすることができる。

2-2 文章読み取り速さの測定方法

文章を読み取る速さの測定では、文章をディスプレイ上に表示し、実験者の合図とともに被験者が文章を読み始め、文章全体を読み終わるまでの時間を測定した。その際、できる限り自然の状態に近いよう、特に声に出して読むのではなく、黙読することとした。図2に実験に使用した文章の一部を示す。この際、被験者が斜め読み等、文章を飛ばして読むことのないように2重文字を文章中に漢字5箇所、ひらがな5箇所挿入し2重文字を発見したら口頭で知らせるプルーフリーディング法²¹⁾を採用した(図2の下線部)。2重文字の発見個数を記録し、発見個数が同程度と見なせる場合には文章の読み取りが同程度であると考え読み取り時間を比較する。被験者には2重文字の申告時にも文章の読み取りは続けるように教示し、実験前に十分練習を行った上で実験を開始した。

読み取り時間の測定に使用する文章は、ほぼ同じ文字数でまとまった意味のある文章とし、朝日新聞の「天声人語」より選んだ。文字数は句読点や「」などの記号を除いて各文章とも約700文字であった。フォントは10 ptの明朝体とし、スクロールの必要をなくするため文章全体を一画面内に表示した。

これまでの国会答弁では、政府は総じて、「君」の意味例えば「国民統合の象徴としての天皇をもつ日本の国が、永う歌」(1984年、森喜朗文相=現自民党幹事長)のよう国」というふうに受け取れないこともない。ところが今回は「天皇」と宣言した。

「君」は、戦前前も「天皇」を指していた。前にも紹介し」の教科書は、子どもたちにこう教えた。<「君がが代」の

図2 文章の例、下線は2重文字の例

表1 実験条件 (cd/m²)

白背景黒文字条件			黒背景白文字条件			青背景条件		
背景輝度	文字輝度	Contrast	背景輝度	文字輝度	Contrast	背景輝度	文字輝度	Contrast
3.6	0.04	90	0.04	3.6	90	6.1	0.04	153
10.2	0.04	255	0.04	10.2	255	6.1	1.68	3.6
36.1	0.04	903	0.04	36.1	903	6.1	3.6	1.7
95.6	0.04	2390	0.04	95.6	2390	6.1	10.2	1.7
						6.1	20.5	3.4
						6.1	36.1	5.9
						6.1	95.6	15.7

2-3 実験条件

本実験では、文章表示の背景の明るさと色と表示文字の明るさの組み合わせを以下のように設定した。まず、①：背景の条件として黒背景(背景輝度：0.04 cd/m²)、青背景(背景輝度：6.1 cd/m²、色度座標：0.146,0.071)と白背景(背景輝度を変える条件)を選んだ。そのうち、②：黒背景と青背景では背景輝度を固定し、文字の表示輝度を変化させた。また、③：白背景では文字の表示輝度を黒表示(表示輝度：0.04 cd/m²)に固定し、白色背景の輝度を変化させた。あわせて15通りの背景と文字の組み合わせを選択した。それぞれの背景と文字の組み合わせと、その際の文字と背景のコントラスト比を表1にまとめた。

被験者は黒背景白文字条件および白背景黒文字条件で5名(男性3名,女性2名)、青背景条件で8名(男性4名,女性4名)とした。各被験者が同一実験条件に対して擬似メガネを装着した状態とメガネを装着していない状態で、それぞれ2回ずつ異なる文章を読み、その読み取り速度と2重文字の発見個数を測定した。擬似メガネを装着しての測定と装着しない状態での測定は異なる日に行い、擬似メガネに順応するためにメガネをかけた状態で30分経過した後、実験を開始した。

被験者はいずれも学部の4年次生で視力は矯正も含め1.0以上である。

3. 実験結果

3-1 2重文字の発見個数

各実験条件における2重文字の平均発見個数と標準偏差を表2に示す。白背景黒文字条件と黒背

表2 2重文字の平均発見個数と標準偏差
白背景黒文字条件

背景輝度	メガネ装着時		メガネなし	
	平均発見数	標準偏差	平均発見数	標準偏差
3.6	9	0.94	9.2	1.03
10.2	8.4	1.51	9.4	0.70
36.1	9	1.41	9.1	1.20
95.6	9.1	0.88	9.3	0.67

黒背景白文字条件

背景輝度	メガネ装着時		メガネなし	
	平均発見数	標準偏差	平均発見数	標準偏差
3.6	8	1.41	8.8	1.23
10.2	8.6	0.70	8.7	1.25
36.1	8.5	1.18	8.7	1.34
95.6	8.8	1.03	8.9	0.99

青背景条件

背景輝度	メガネ装着時		メガネなし	
	平均発見数	標準偏差	平均発見数	標準偏差
0.04	7.9*	0.39	9.1*	0.93
1.68	9.0	1.21	9.1	0.96
3.6	8.4	1.26	9.4	0.96
10.3	8.6	1.26	9.4	0.89
20.5	9.2	0.91	9.3	1.00
36.1	8.8	1.11	9.3	0.86
95.6	8.9	1.12	9.6	0.73

* : p<0.05

景白文字条件は5名の被験者が同一条件で2回実験を行っており、それぞれ10回の測定結果の平均値と標準偏差である。青背景条件では被験者は8

名であるため 16 回の測定結果を平均したものと標準偏差を示している。漢字とひらがな合わせて 10 箇所の内、各条件ともおよそ 9 箇所程度の 2 重文字を発見している。

本研究の目的は文章の読み取り速度が擬似メガネを装着した状態とメガネをかけていない状態とで異なるかを調べることである。そこで、まず擬似メガネを装着した条件とメガネをかけていない条件とで 2 重文字の発見個数が等しいと見なせるかどうかを検定する。これは、2 重文字の発見個数が同程度であれば、文章の質的な読み取り程度が等しいと見なせ、その際の読み取り効率、すなわち読み取り速度を互いに比較することができるためである。検定には t 検定を用い、擬似メガネ装着時とメガネなしでの 2 重文字の平均発見個数の差を有意水準 5% にて検定した。その結果、青背景条件の文字輝度が 0.04 cd/m² の条件でメガネ装着時の発見個数が同じ条件におけるメガネなし時に比べ有意に少なかった。その他の条件に関しては擬似メガネ装着時とメガネなし時の間で 2 重文字発見個数に有意な差は見出されなかった。したがって、青背景条件の文字輝度が 0.04 cd/m² の時を除いた条件において文章の読み取り程度は同程度であったと推定できるので、その際の読み取り速度を比較することにする。なお、青背景条件の文字輝度が 0.04 cd/m² の時に関しては、条件間で発見個数の差が最も大きい被験者 1 名のデータを除くと、メガネ装着時とメガネなし時の間で 2 重文字の発見個数に有意な差がないため、青背景条件については、この被験者のデータを除いた 7 名の読み取り速度を比較することとする。

3-2 文章の読み取り速度

結果を図 3(白背景黒文字条件)、図 4(黒背景白文字条件)、図 5(青背景条件)に示す。横軸が背景輝度(cd/m²)もしくは表示文字の輝度(cd/m²)で、縦軸が 1 分間に読み取った文字の数(word/min)の平均値を示している。誤差棒は標準偏差の大きさを示す。「メガネあり」が擬似メガネを装着して実験を行った時の結果で、「メガネなし」は擬似メガネを装着せずに実験した結果である。

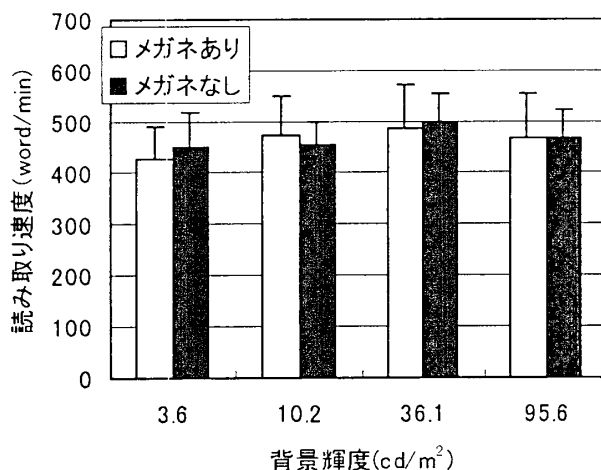


図 3 文章読み取り時間の比較
白背景黒文字条件

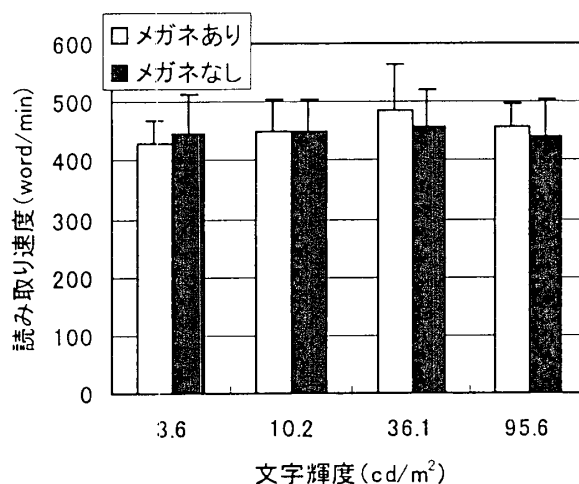


図 4 文章読み取り時間の比較
黒背景白文字条件

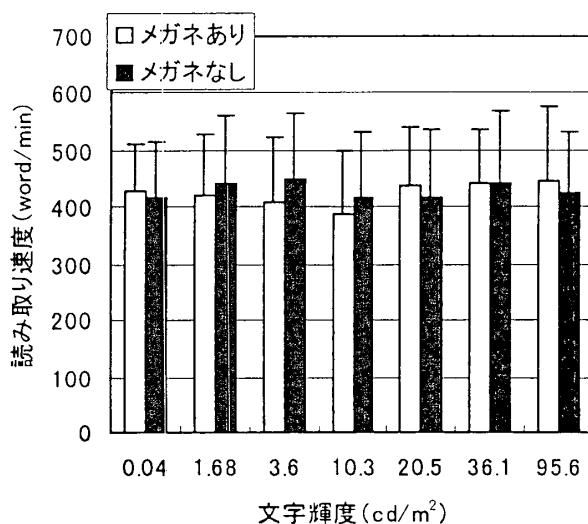


図 5 文章読み取り時間の比較
青背景条件

まず、白背景黒文字条件(図3)について、各背景輝度条件ごとに擬似メガネを装着した時の読み取り速度の平均値とメガネを装着していない時の読み取り速度の平均値の差について見てみる。背景輝度が3.6 cd/m²と36.1 cd/m²では、それぞれ19(word/min)、13(word/min)、メガネを装着しない条件での読み取り速度が大きい。また、背景輝度が10.2 cd/m²の条件では20(word/min)ほどメガネを装着した時の読み取り速度が大きく、背景輝度が95.6 cd/m²の条件では両者でほとんど差は見られなかった。一方、各条件での標準偏差の大きさを見ると平均値の差に比べて大きいため、平均値の差が統計的に意味があるかどうかを検定する必要がある。そこで、平均値の差についてt検定を行った。検定の結果は、いずれの条件に対しても有意水準5%にて有意な差は見出されなかった。したがって、白背景黒文字条件では擬似メガネを装着した際とメガネなしでの文章読み取り速度に有意な差があるとは言えないと判断できる。同様に、黒背景白文字条件(図4)、青背景条件(図5)についても擬似メガネ装着時とメガネなしでの読み取り速度について検定を行ったところ、両者に有意な差(p<0.05)は見出されなかった。

本実験において高齢者の水晶体の分光透過率を模擬したメガネを使用して、文章の読み取り速度への影響を調べた。しかし、少なくとも本実験における条件下で読み取り速度への影響は確認されなかった。

4. 考察

本実験では、高齢者のコンピュータ利用を想定し、高齢者において網膜照度を低下させ視力低下の一因となるとされる水晶体の透過率が低下する現象の影響について、コンピュータディスプレイ上に表示された文字情報の読み取り効率を文章読み取り速度を指標にして測定した。結果としては、水晶体の透過率低下による文章の読み取り速度への影響は有意な差として検出されなかった。しかし、擬似メガネを装着した場合とメガネなしとで表示画面を観察すると、特に背景が青色の場合、文字の主観的な見易さの差が大きいと感じられ

た。そこで、各表示条件に対して文字の見易さを主観評価することにした。

主観評価では、文章の読み取り速度を測定した条件と同じ条件でディスプレイ上に文章を表示し、表示された文章が、1：非常に見にくい、2：見にくい、3：普通、4：見やすい、5：非常に見やすい、の5段階評価尺度を用い表示文字の見易さを評価した。被験者は文章の読み取り実験に参加した被験者と同一である。各条件における平均評定値と標準偏差の値を表3に示す。白背景黒文字条件と黒背景白文字条件では、擬似メガネを装着した時とメガネなしとで文字の見易さの主観評価値に有意(p<0.05)な差は見られない。一方、青背

表3 表示文字の見易さに関する主観評価結果
白背景黒文字条件

背景輝度	メガネ装着時		メガネなし	
	平均発見数	標準偏差	平均発見数	標準偏差
3.6	1.5	0.50	1.6	0.50
10.2	2.1	0.74	2.0	0.50
36.1	2.6	0.22	2.6	0.42
95.6	3.5	0.87	4.0	0.71

黒背景白文字条件

背景輝度	メガネ装着時		メガネなし	
	平均発見数	標準偏差	平均発見数	標準偏差
3.6	1.4	0.22	1.4	0.55
10.2	2	0.35	2.2	0.27
36.1	3	1.22	2.7	0.76
95.6	3.6	0.89	3.9	0.74

青背景条件

背景輝度	メガネ装着時		メガネなし	
	平均発見数	標準偏差	平均発見数	標準偏差
0.04	2.1	0.52	2.8	0.92
1.68	2.1*	0.50	3.1*	1.12
3.6	1.5*	0.71	2.4*	0.79
10.3	1.2	0.37	1.5	0.65
20.5	1.7	0.75	1.5	0.60
36.1	3.3*	0.65	2.4*	0.42
95.6	3.6	1.12	3.9	0.73

* : p<0.05

景条件では、文字輝度が背景輝度よりも暗い場合、平均評定値はいずれもメガネなしの方が高く、表示文字輝度が 1.68 cd/m^2 と 3.6 cd/m^2 の条件ではメガネなしの平均評定値がそれぞれ3.1, 2.4であるが、同じ条件において擬似メガネを装着した場合の平均評定値は2.1, 1.5となり、有意な差で見やすいと判断された。しかし、同じ青背景条件においても文字輝度が背景輝度より高い場合には、必ずしもメガネなしの方が高い平均評定値とはならず、文字輝度が 36.1 cd/m^2 の条件では、むしろ擬似メガネを装着した方(平均評定値: 3.3)が同じ条件でメガネなし(平均評定値: 2.4)に比べ有意の差で見やすいと判断された(表3の青背景条件内*印)。

文字が見易いかどうかを主観評価した結果によれば、青背景に黒文字を表示した場合には特に擬似メガネを装着すると表示文字が見にくくなることがわかった。これは、擬似メガネの分光透過率が短波長領域で低く、特に青背景の場合には背景が暗くなる影響が大きくなる現れるためと考えられる。したがって、高齢者にとって青背景上に黒文字を表示することは若年者と比べて文字の見易さが一層低下すると結論できる。

5. まとめ

本研究では、高齢者の水晶体における分光透過率の変化を模擬したメガネを使用し文章の読み取り速度を測定し、その変化から高齢者に好ましい文字表示のあり方について調べることを目的とした。測定結果によると、白背景黒文字条件、黒背景白文字条件、青背景条件ともに擬似メガネを着用した場合とメガネなしの条件で文章読み取り速度に有意な差はなく加齢による水晶体の分光透過率の低下は文章読み取り速度には影響しないことがわかった。しかし、一方で表示文字の見易さを主観的に評価した結果によると、青背景上に黒文字を表示すると擬似メガネを装着することで文字の見易さが擬似メガネを装着しない時と比較して有意に低下することがわかった。

高齢者の水晶体透過率の変化に対し、文字読み取り速度および文字の見易さを評価した結果、読

み取り速度の低下は見られないが、青背景上に黒文字表示を行うと文字の見易さが若年者に比べ低下することがわかった。従って、高齢者に対して青背景上に黒文字表示を行うことは好ましくないと結論することができる。

高齢者の視力低下の原因として考えられるのは水晶体の透過率変化だけではなく、他の要因も存在する。たとえば、老人性縮瞳による網膜照度の低下、眼光学系内での光の散乱、神経系の変化等がある。今後の課題として、これらの要因と読み取り速度の関係や表示文字の見易さとの関係を調べる必要があると考えられる。

参考文献

1. ISO 9241-3: Ergonomic requirements for office work with visual display terminals(VDTs)-Part 3: Visual display terminals.
2. 窪田悟: 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, Vol. 50, No 6, pp 768-774(1996)
3. 吉武良治, 田村徹: TFT 液晶ディスプレイに要求される輝度に関する検討, 照明学会誌, Vol.78, No 6, pp 268-275, (1994)
4. 窪田悟, "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, vol.5, No 3, pp 181-190, (1997).
5. 田村徹: TFT/LCDとCRTディスプレイの文章読み取り速度に関する比較—ディスプレイの精細度による影響—, 映像情報メディア学会誌, vol.52, No.1, pp 116-118, (1998).
6. Ishikawa, M., Tanaka, M., Okamoto, M., Fukuoka, N. and Hatoh, H, "Quantitative comparison of LCD viewing-angle improvement brought about by various methods", Journal of SID, vol.3, pp 237-241, (1995).
7. 田村徹, 吉武良治, "液晶ディスプレイにおける観視角依存特性の評価法の検討", 映像情報メディア学会誌, vol.51, No.11, pp 1951-1955, (1997).
8. Shimodaira, Y., Takahashi, M., Muraoka, T., Yamamoto, K., Ishii, Y. and Matsuura, M., "A Proposal for Defining Maximum Viewing Angles of TFT-LCDs Based on Subjective Evaluation of Picture Quality.", SID 94 DIGEST, pp 337-340, (1994).

9. 石黒秀一, 栗田泰市郎, "8倍速CRTによるホールド発光型ディスプレイの動画質に関する検討", 信学技報, EID 96-4, pp 19-26, (1996).
10. 田村徹, 牛田典彦, 大石巖: 液晶ディスプレイにおける動画質の評価, 信学技報, EID 2000-48, pp 19-23, (2000).
11. 田村徹, "液晶ディスプレイの色再現特性 —階調による色度変化—", 映像情報メディア学会誌, vol.52, No. 10, pp 1527-1529, (1998).
12. 田村徹, 大石巖, "液晶ディスプレイにおける白色色度点の階調に対する変化と画質の関係 —肌色評価への影響—", 映像情報メディア学会誌, vol.54, No.1, pp 93-100, (2000).
13. 田村徹, 大石巖: ディスプレイにおける色再現範囲が画質に及ぼす影響—肌色評価への影響—, 映像情報メディア学会誌, vol.54, No.6, pp 892-900, (2000).
14. 鈴木貴博, 下平美文, 大橋剛介, 池田弘明, "ディスプレイにおける色再現範囲の画像品質に対する影響", 映像情報メディア学会誌, vol.53, No 8, pp 1147-1152, (1999).
15. ISO/FDIS 13406-2: Ergonomic requirements for work with visual displays based on flat panels - Part 2: Ergonomic requirements for flat panel displays.
16. 高齢者の視覚特性を考慮した照明視環境の基礎研究, (社)照明学会, 視覚特性の年齢効果に関する特別研究委員会(1999)
17. 窪田悟: 反射型液晶ディスプレイに要求される文字表示条件—ユーザーの年齢による違い, 映像情報メディア学会誌, vol.51, No 10, pp 1754-1760, (1997).
18. 窪田悟, 松戸堅治, 丸本耕次: 高齢者の視覚特性に適合した液晶ディスプレイの文字表示条件—表示輝度, コントラスト, 文字サイズの主観的な適正値の若齢者との比較—, 映像情報メディア学会誌, vol.53, No 9, pp 1335-1342, (1999).
19. 窪田悟, 松戸堅治: 加齢による視覚特性の変化がLCDからの文字情報の読み取り速度に及ぼす影響, 信学技報, EID 2000-50, pp 31-36, (2000).
20. 岡嶋克典, 岩田三千代: 水晶体加齢モデルによる高齢者の照明シミュレーションと最適照度の検討, 照明学会誌, Vol.82, pp 564-572(1998).
21. Gould J. D.: Reading from CRT displays can be as fast as Reading from paper, Human Factors, Vol.29, No.5