

異なる表示媒体の読みに関する統制条件下における比較研究

— 読書媒体としての読みやすさについて —

寇 冰冰*, 椎 名 健**

A comparative study for reading novel over various media under controlled condition

— Focusing on the character of various media for novel reading —

Bingbing KOU, Ken SHIINA

抄録

2004年に、紙とディスプレイの良さを兼ね備えることを目標とした次世代型の表示媒体、電子ペーパーを利用した新読書媒体が市場に登場した。本論文は、1つの電子ペーパー製品（ソニーの電子書籍端末リーダ：LIBRIe）と既存のディスプレイ（CRTとLCD）、および紙媒体を用い、それぞれの読書媒体としての表示性能に着目した。LIBRIeとハードコピーは読書台を利用する等によって、他媒体との呈示条件を可能な限り類似させた「統制条件」下で、30分間の読書における各媒体の読みやすさについて、主観的評価、及び客観的評価を実施した。その結果、主観評価における快適度の順序は、紙 > LIBRIe > CRT ≒ LCD となり、主観的な疲労度の強さの順序は、CRT ≒ LCD > LIBRIe ≒ 紙となった。紙媒体はほぼすべての主観評価の項目において、その優位性が検証された。客観評価について、「読み速度」は4つの媒体でほぼ同じであったが、「文章理解テストの正答率」は、紙媒体で最も高得点であった。一方、30分間の読み前後間のコントラスト感度（CS）、フリッカー融合頻度（CFF）及び視力の変化は、どの測定値でも媒体間に有意差が見られなかった。電子ペーパー製品（LIBRIe）は、現段階では、ある程度は紙媒体に近づいているが、特に操作性の面において課題を残す結果となっていた。

Abstract

A new type of reading media appeared on the market in 2004 using the technology of e-paper, which is expected as an ideal media with the advantages of paper and display. In this study, we evaluated the comfortability of four reading media (e-paper, CRT, LCD, paper) in subjective as well as objective methods for 30 minutes reading under controlled condition. The results in the subjective evaluation showed as follows: the order of pleasantness was paper > LIBRIe > CRT ≒ LCD, and subjective fatigue-evaluation was CRT ≒ LCD > LIBRIe ≒ paper. The results proved that the paper was still the top medium in almost all the items used in the subjective evaluation. In the objective evaluation, the reading speed was almost the same for all media, but the correct answer rate was the highest with the paper among the four media. As for the changes of measured values before and after the 30-minute-reading, the contrast sensitivity (CS), critical flicker fusion frequency (CFF) and visual acuity showed no statistical difference between any media. The current e-paper product (LIBRIe) was getting close to paper in some aspects for reading, but some problems were clarified to remain especially in the aspect of its operation or handling.

* 筑波大学大学院図書館情報メディア研究科博士前期課程
Master's Program
Graduate School of Library, Information and Media Studies, University
of Tsukuba

** 筑波大学大学院図書館情報メディア研究科
Graduate School of Library, Information and Media Studies, University
of Tsukuba

1. はじめに

紙は廉価で軽量のため、千年以上もの間優れた表示媒体としてその不動の地位を維持しており、第一世代の表示媒体と呼ばれている。しかし、現代の情報社会において、紙媒体はデジタル情報を検索できないことや、書き換えができないことなどの短所を露呈した¹⁾。現在、ブロードバンド通信と無線技術の爆発的な成長により、世界は急速に「つながり」を深めてきており、人々は膨大な量の情報にアクセスできるようになった。これらの情報の大半は電子画面を通じて配・受信されており、ディスプレイはすでに人と情報を結ぶインターフェースとして不可欠な存在になって、CRT (cathode ray tube) や液晶 (LCD: liquid crystal display) などのディスプレイは第二世代の表示媒体と呼ばれている。しかし、ディスプレイは長時間にわたり文字を読むと目が疲れることや、自由に持ち運べないことなどの欠点がある¹⁾。このような背景の中で、紙とディスプレイの良さを兼ね備え、次世代の表示媒体を目指した電子ペーパーの表示技術が登場した。電子ペーパーには、加速度的に進みつつある情報化社会を、よりヒューマンフレンドリーで快適なものにすることが期待されている^{2) 3)}。

人間は使いやすい、読みやすい表示媒体の開発にいろいろな努力を重ねてきた。今話題の次世代の表示媒体として期待される電子ペーパーも、その試みの一つに過ぎないといえるだろう。究極の次世代における理想の表示媒体の開発や発展を考える上にも、システム開発と同時に、人間にとって本当に優しくて使いやすい表示システムであるために必要な特性の検討も進めなければならない。そのような理想的な媒体としての特性データベースを作り上げるには、新旧の表示媒体間の比較は不可欠である。しかし、実際のところ既存の表示媒体を横断的に比較した系統的な研究は少ない。1980年代にディスプレイ上で文章が読まれるようになった頃から、一般にディスプレイは紙より読みにくいことが認識され、両表示媒体間の比較研究も行われてきた。例えば、VDT (Visual Display Terminal) と Paper の作業時の眼精疲労についての評価研究は多数報告されたが、表示媒体の特性によるユーザの生理的、心理的効果あるいは作業性との関係に着目した研究は少ない⁴⁻⁸⁾。

電子ペーパーの表示技術を使用した携帯型電子書籍専用端末 (松下電器のΣbook<シグマブック>) と (ソニーのLIBRIe<リブリエ>) は2004年に発売されたばかりであるため、その新媒体を含めた比較研究はさらに

少ない^{9) 10)}。磯野ら⁹⁾ はソニーの電子書籍端末リーダーLIBRIeを用い、文庫本と比較した。アコモドポリレコーダ (HS-9型, KOWA製) を使い、読書による目の調節機能の変化を測定した結果では、LIBRIeと文庫本のいずれにおいても90分間の連続読書条件下では視覚疲労が少なく、二つの媒体の間に差は見られなかった。しかし、既存のパソコンディスプレイとの比較や、読み速度などの作業効率については評価実験を行わなかったため、電子ペーパー製品の読書媒体における位置づけを明確にしたとはいいがたい。小川¹⁰⁾ は松下電器の電子書籍端末Σbookを使い、ディスプレイLCDと紙の本を比較対象として、眼球運動を測定した。その結果、Σbookは読みやすさの点では、パソコンディスプレイ (LCD) とほぼ同じ水準であり、紙の本の優位性はゆるがないという結論を得た。この研究の問題点も浮上している。つまり、同じe-paperでも、Σbookは青白の表示を行うため、LIBRIeの黒白の表示に比べて読みにくいという指摘があり (LIBRIeはコントラスト比が9:1と高いが、Σbookにおいては4:1である)、Σbookは既存の電子ペーパー技術を代表できないという懸念がある。また、その実験では読み時間を一定にしていなかったなどの実験計画の面にも問題点がある。

上記のように、これまでの研究では、紙と既存のディスプレイの特性を比較したものが主流で、新読書媒体としての電子ペーパーを含めた比較研究は未だ少ないのが現状である。また、紙と既存ディスプレイの比較は、主観的評価研究からは答えがすでに出ているようであるが、客観的評価をもって両者の差が見られた例はわずかである。さらに、その数少ない差が見られた報告の間にも、結果が相違する場合もある。例えば、紙での読み速度はディスプレイでの読み速度より早かったという報告がある (解釈として、紙での読書は読みやすいため、読み速度が早かった)⁵⁾ 一方、紙よりもディスプレイでの読み速度が早かったという報告もある (解釈として、ディスプレイでの読書は読みにくく、早く読み終わらせる気持ちから読み急ぎで読み速度を向上させた)¹¹⁾。結局、紙とディスプレイの比較についても再考察の余地があると考えられる。

我々は、すでに第一世代の表示媒体である紙と第二世代の表示媒体の代表的なディスプレイ (CRTとLCD)、及び次世代の表示媒体として期待される電子ペーパー製品の一つである電子書籍端末 (ソニーのLIBRIe) を用いて、短時間 (3分間) の読書における読みやすさについて主観評価を行った³⁾。しかし、より正確に各表示媒体の読みやすさを評価するために、より長時間読書時の読

書について,系統的に且つ多角的側面からの評価実験の必要性を感じていた。そこで,本研究では,読書媒体としての読みやすさという点に着目し,紙とディスプレイ(CRT, LCD)およびLIBRIeを用い,長時間(30分間)の読書について,様々の角度から評価実験を行い,各表示媒体の読みやすさについて系統的な比較を行った。

表示媒体の「読みやすさ」を評価するには,いろいろな測定項目と着眼点がある。本研究では,「読みやすさ」の評価として,主観的な評価と客観的な測定を含めている。さらに,主観的な評価として,総合的な快適度と疲労度の測定および内観報告を含めた。客観的な測定には作業効率と測定機器による疲労度の検出を含めている。また,作業効率とは,ここでは読み速度と文章理解テストの正答率をカバーする領域と考えている。

一方,各表示媒体の比較を行う際に,それぞれの媒体の表示条件を考慮して,(1)それぞれの表示環境・条件をできるだけ統一した「統制条件」下での評価方法と,それぞれの媒体の良さに着目して,(2)読み手がより自然で,より快適な読書環境を自由に選択・調整して設定できる「自由条件」下における評価方法がある。本研究は,「統制条件」下の評価に重点を置いた。つまり,画面の明るさ,媒体の位置などの客観的条件をできるだけ統一した上で,各媒体の評価を行った。(近い将来,「自由条件」の研究を報告する予定である。)

2. 実験方法

2.1 評価方法

本研究では,各媒体の比較のために,主観評価法と客観評価法を併用した。主観評価法は,主として,言語的手段により得られた実験協力者本人の主観的な評価を解析する手法である¹²⁾。客観評価法は,主として,実験協力者の生体反応を測定し,その測定値から心理状態を定量化する手法である¹³⁾。主観評価法だけを使用することには,実験協力者の回答意図が入るといった弱点がある¹⁴⁾。一方,客観評価法だけを用いる場合,物理量を測る測定器に頼りすぎる危険性も存在する。そのために,本研究では,主観評価法と客観評価法を併用することにした。

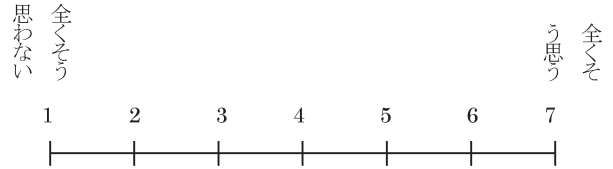
主観評価法にも客観評価法にも多様な測定法が含まれる。そこで,本研究の目的に合わせ,以下のような方法を選択した。

2.1.1 主観評価法

主観評価法として,評定尺度法を用いた。評定尺度法はある対象を評価したり,考え方,態度,好みなどを評

価したりするときに,あらかじめ規定された規則に従って測定する方法である。評定尺度法にはいくつかのタイプがある¹⁵⁾。本研究では,各媒体の読みやすさについて詳しく比較するため,例1に示すような具体的な評価項目を持つ7段階の評定尺度を用いた。

例1:表示した文字の解像度はよい。



本実験の主観評価の評価項目は,先行文献を参考に¹⁶⁻¹⁸⁾,総合的な快適度に関する22項目,及び疲労度に関する14項目を採用した。評価用紙は付録1に示した。

2.1.2 客観評価法

客観評価法として,表1に示すように,作業効率と疲労度の測定を行った。

表1 客観評価法の概要

測定法		測定器	測定タイミング
作業効率	①読み速度 ②正味の読み速度	ビデオカメラ (Handycam DCR-PC7 NTSC, SONY)	実験中・後
	③文章理解テストの正答率		読みの直後
疲労度の測定	③フリッカ一値の変化	FLICKER TESTER MR-20	読みの前後
	④コントラスト感度の変化	CS TESTER by University of South Dakota	読みの前後
	⑤視力の変化	Landolt 環視力表	読みの前後

「読み速度」は作業効率の目安として最も多く使われてきた方法である。本研究では,各表示媒体で実験協力者の平均読み量(文字数/分)を「読み速度」として定義した。そして,各媒体のページめくり時間が異なることを配慮し,別に,各媒体のページめくり時間を除いて,「正味の読み速度」も算出した。ページめくり時間の測定は,映像編集ソフトAdobe premiere 6.0を用いて,各媒体の実験中の記録ビデオを利用して測った。

各媒体による読書後,読んだ文章の内容について問題

を作成し、テストを行った。この文章理解テストの正答率も作業効率の一部と見なした。

先行研究では、作業効率以外の客観評価法としては、目の調節機能変化⁹⁾と眼球運動測定¹⁰⁾しか使われなかった。しかし、目の調節機能変化と眼球運動測定のいずれも、測定に準備時間がかかり、実験協力者の負担も大きい上に、その後の主観評価に影響を及ぼす可能性がある。結局、先行研究では眼球調節機能を疲労度の測定に利用したが、その結果では媒体間の差は検出されなかった^{9) 10)}。

視覚心理学の視点から、目の疲労は視覚系の空間的・時間的神経応答特性を低下させることが想定される。文献には^{9) 10)}、目の調節機能変化や眼球運動測定などを用いて各読書媒体での読書の疲労度を評価したが、各媒体の間に差が見られなかった。本研究では、フリッカー値(critical flicker frequency, 略称CFF)の変化とコントラスト感度(contrast sensitivity, 略称CS)の変化、及びランドルト環テストから得た読み前後の視力の変化を客観評価の測定方法として選んだ。

フリッカー値は点滅して提示される光の交替周期数を増減することにより、ちらつき(フリッカー)あるいは一様な融合光が感じられる。この境目の交替周期数を臨界融合頻度という¹⁹⁾。フリッカー値は目の時間的解像度と関係する問題であり、フリッカー値の変化は産業疲労の測定に利用されてきたことはよく知られている。

コントラスト感度とは、最小のコントラストで特定の対象があるかどうかを検出する力である(定量的には、空間正弦波パターンコントラストを変化させ、縞を知覚する最小のコントラストというコントラスト閾の逆数を指す)²⁰⁾。コントラスト感度は目の空間的解像度に関わる問題であり、特にコントラストが低くなった場合の情報得られるため、近年注目されてきた²¹⁾。

ランドルト環も空間解像度の測定であるが、白地に黒色で描かれたコントラストの高い環状図形に切れ目を入れたもので、環状図形の切れ目がやっと見える閾値を測る。ランドルト環テスト法は最小可読閾の視力の検査によく利用される(定量的には、ランドルト環の切れ目の方向をようやく言い当てることのできる切れ目の幅の視角の逆数を用いる)。

フリッカー値の変化及びコントラスト感度の変化は、目の疲れの客観評価法として、文献に用いた目の調節機能変化⁹⁾や眼球運動測定¹⁰⁾と同様な効果を持つ²²⁾。しかも、フリッカー値、コントラスト感度、ランドルト環視力の測定は、測定時間が短く、手間がかからないため、実験協力者に過重な負担をかけず、機器測定から発

生する疲れを最小限にできる。本研究では、測定の側面が異なる3種の時空的解像度を用いて、実験協力者の読み前後で測定して、その変化を疲労の指標として、客観評価法の一つとして用いた。

2.2 表示媒体と実験条件

表示媒体はそれぞれの表示原理と特性を持っている。テレビ画面などで有名なブラウン管を採用しているCRTディスプレイは電気信号を光に変換し、人間の目に見える像を発生させる。LCDディスプレイは2枚のガラス板の間に液晶という液体を封入し、電圧をかけることによって液晶分子の向きを変え、光の透過率を増減させることで像を表示する。ブラウン管や液晶はそれ自体が発光せず、背後に仕込んだバックライトの光を使って表示するため、透過型表示デバイスという。透過型表示デバイスで文章を読むときは、目がバックライトに当たる状態になり、人は不快感を覚え、ちらつきやグレアなどの現象が生じる。一方、紙媒体で読書する時は、バックライトが要らず、光は紙に反射されて目に入るため、反射型表示デバイスという。電子ペーパーでは原理的に紙と同様にバックライトがなく、反射型表示デバイスである^{2) 3)}。そのため、電子ペーパーはちらつきがなく、CRTとLCDディスプレイよりコントラストが高く、視野角も広いので、紙に印刷された文字と同じように読みやすい。しかも電子ペーパー製品は薄型・軽量で、低消費電力であるという優れた特徴をもつため大きく注目されている。

本研究では、既存の表示媒体の読書時の快適性を比較するため、ディスプレイの典型としてCRTと現在最もよく使われているLCDの二種類を用いた。なお、現在発売されている電子書籍専用端末はソニーのLIBRIeと松下電器のΣbookの2種類が市場に出ているが、LIBRIeの黒と白の表示に比べ、Σbookが青と白の表示を行うため、読みにくいという声もある(LIBRIeはコントラスト比が9:1と高いが、Σbookにおいては4:1)。そこで、本研究においては、LIBRIeを電子ペーパーの代表として選択した。さらに、以上の3種類の電子媒体に紙媒体を加えて、四つの媒体を比較対象にした。

本実験では、LIBRIeとハードコピーは読書台を利用し、できる限り各媒体間での実験条件を統一させた統制条件下で行った。実験条件の詳細は表2に示す。なお、本実験は天井蛍光灯を唯一の光源とする実験室で行った。

統制条件下での各表示媒体により表示状況場面を図1に示す(LIBRIeとハードコピーは読書台を用いた)。

表 2 実験条件

	規格	画面サイズ	表示エリア	フォント	文字サイズ	字間・行間の距離	コントラスト比	机上照度	読み距離
使用媒体	17インチ SXGA CRT モニター	33.8×27.1 cm	12×7.5 cm	イワタ中細明朝体	9.5ポイント	字間 (0) 行間 (8)	10 : 1	590 lx	40 cm
	17インチ SXGA 透過型 LCD モニター	33.8×27.1 cm					10 : 1		
	電子書籍端末リーダー (LIBRIe)	12.3×9.1 cm					9 : 1		
	ハードコピー (紙)	B5 版					15 : 1		
読みコンテンツ	角田光代の 6 つ作品を長さほぼ同じような 4 つの文章に組み替えた。 ア.『まどろむ夜の UFO』、イ.『キルト&空中庭園』、ウ.『対岸の彼女』、エ.『もう一つの扉&ギャグの夜』								
読み順序	4 媒体と 4 文章をランダムに組み合わせ、実験協力者に与えた。								
読み時間	ひとつの表示媒体でひとつの物語を 30 分間読む。								

※照度計 (YOKOGAWA, 3281A) により照度を測定した。
ミノルタ輝度計 nt-1*P よりコントラスト比を測定した。

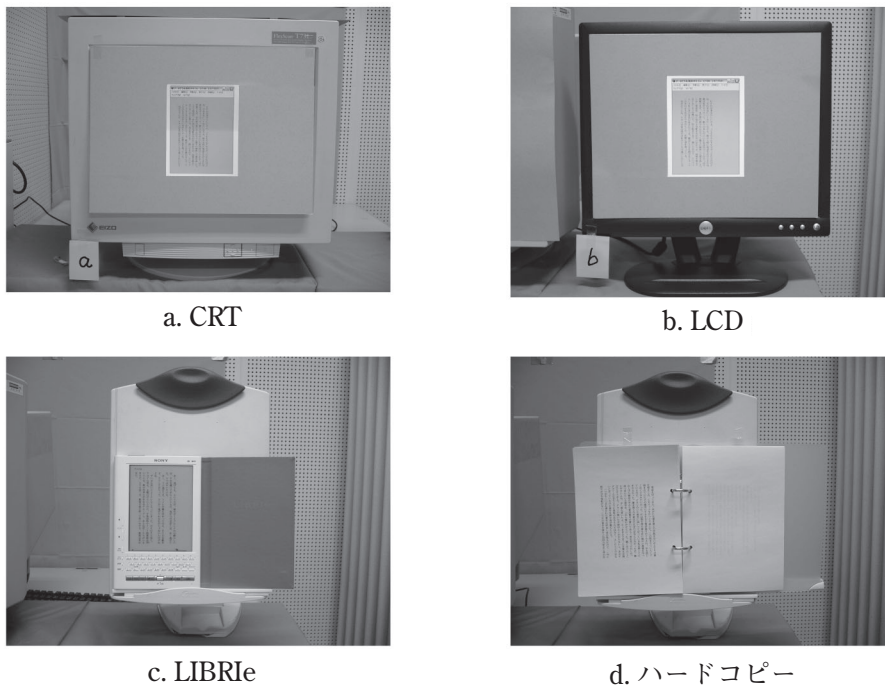


図 1 実験に使用した四種類の媒体

2.3 読みコンテンツ

本研究では、一人の実験協力者に 4 種類の表示媒体で物語を 30 分間読ませた。この場合、同じコンテンツであれば、読み慣れが生じる可能性が高いため、いくつかの異なった作品を読みコンテンツとして用いた。また、

作家が異なると文体の特徴が異なるので、媒体の比較には複雑な要素が混入する危険性があると考えられる。そのため、比較的読みやすい角田光代のいくつかの作品を読みコンテンツとして選択した。同じ作者の異なる作品は文体が似ているもので、作品が違ってても文体は変えら

れるものではない、という考えを採用している。これらの作品を下文に示すようなほぼ同じ長さの四つの文章に組み合わせた。ア、『対岸の彼女』、イ、『まどろむ夜のUFO』、ウ、『キルト』&『空中庭園』、エ、『もう一つの扉』&『ギャグの夜』。四つの媒体と四つの文章をランダムに組み合わせ、それぞれの媒体で実験協力者にそれぞれ違う作品を読ませた。一人の実験協力者は各媒体につき一回の読みしか行わないため、4種類の媒体を評価するのに合計4回の読みを行った。すなわち、各実験協力者は表示媒体についても、読みコンテンツについても各1回だけの読みを行った。また、各実験協力者間で、読みの順序は、表示媒体についても、作品についても異なっていた。予備実験でこれらの作品を数人の実験協力者に読ませ、ほぼ等しい読み速度であることを確認した。また、実験後のインタビューから、各作品のストーリーの流れはどれも分かりやすく、特に文脈が難しい作品はないことが分かった。前文に記述したいろいろな工夫と併せて、本研究では文章の違いが読みやすさに与える影響を最小限に留めることができたと考えている。

紙の読みコンテンツは出版された作品のハードコピーを用い、LIBRIeの読みコンテンツはTime book townのネット電子本屋からダウンロードしたものを用いた。また、CRTとLCD用の読みコンテンツは電子本屋でダウンロードした電子テキストを、T-time5.5というソフトを介して読めるようにした。

2.4 実験協力者

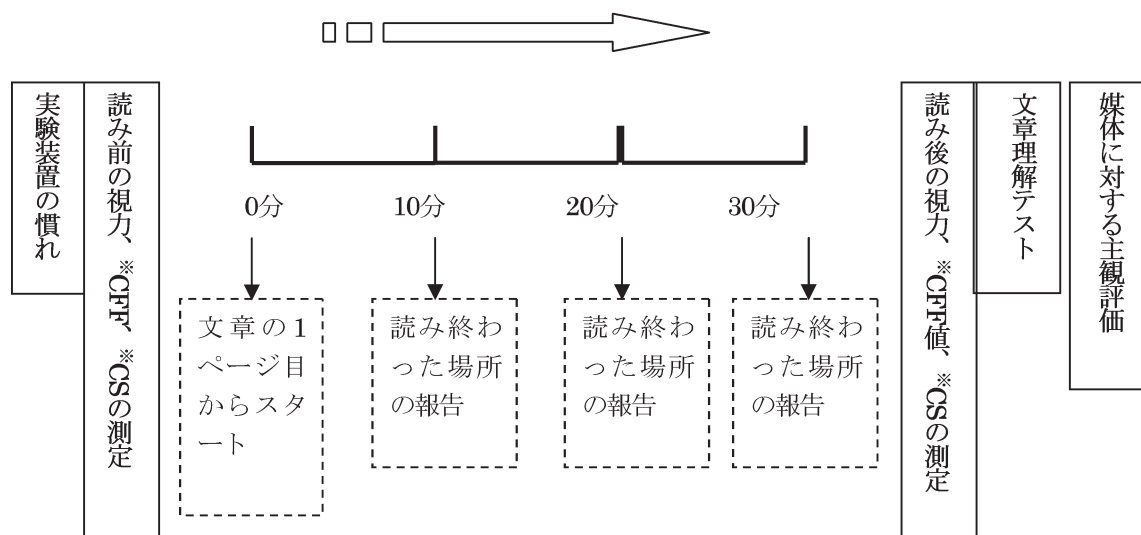
筑波大学図書館情報メディア研究科の院生14人(男：5, 女：9)が評価実験の協力者であった。

2.5 実験手順

本実験では、表示媒体を一種類ずつ読ませ、評価を以下に示した手順(図2)で行った。

- (1) 本研究の要旨を実験協力者に説明してから、フリッカー値(略称:cff値)とコントラスト感度(略称:CS)の測定装置に慣れるまで測定の練習をした。
- (2) 読み前の視力、フリッカー値、コントラスト感度を測定した。
- (3) 今回、評価する表示媒体のページめくりの仕方などを実験協力者に説明し、文章の1ページ目から30分間読ませた。この間、途中の読み速度の変化を見るため、10分ごとに読み終わった場所を報告させた。
- (4) 30分間の読み終了の直後に、視力、フリッカー値、コントラスト感度を再度測定した。
- (5) 測定終了後、まず文章理解テスト、続いて媒体に対する主観評価(評価用紙)を行った。

一回の読み時間が長いため、4種類の表示媒体の読み実験の間には、30分以上の休憩を入れた。4種類の媒体の評価をすべて終了後、アンケート調査により、実験協力者の個人情報と実験全般に対する自由記述を求めて、内観報告として用いた。



*CFF：フリッカー値の略称

*CS：コントラスト感度の略称

図2 一種類の表示媒体での読み・評価の流れ

3. 実験の結果と考察

3.1 主観評価の結果と考察

3.1.1 総合的な快適度に関する主観評価

① 評価得点プロフィール

総合的な快適度に関する7段階の主観評価の結果を用い、媒体ごとに評価得点プロフィールを作成した。各媒

体の平均評価得点プロフィールを図3に示す。図3において、各評価の点を繋いで得た縦の線が右に来るほど、その媒体の総合評価が高いため、4種類の読書媒体の総合的な快適度についての優劣順位は、ハードコピー(紙) > LIBRIe > CRT ≒ LCDであった。22項目のうち、「表示した文字の大きさは十分である」、「読書媒体としての重量は適切である」と「読書媒体としての新奇性を感じる」の3項目では、LIBRIeは4種類の媒体の中で最

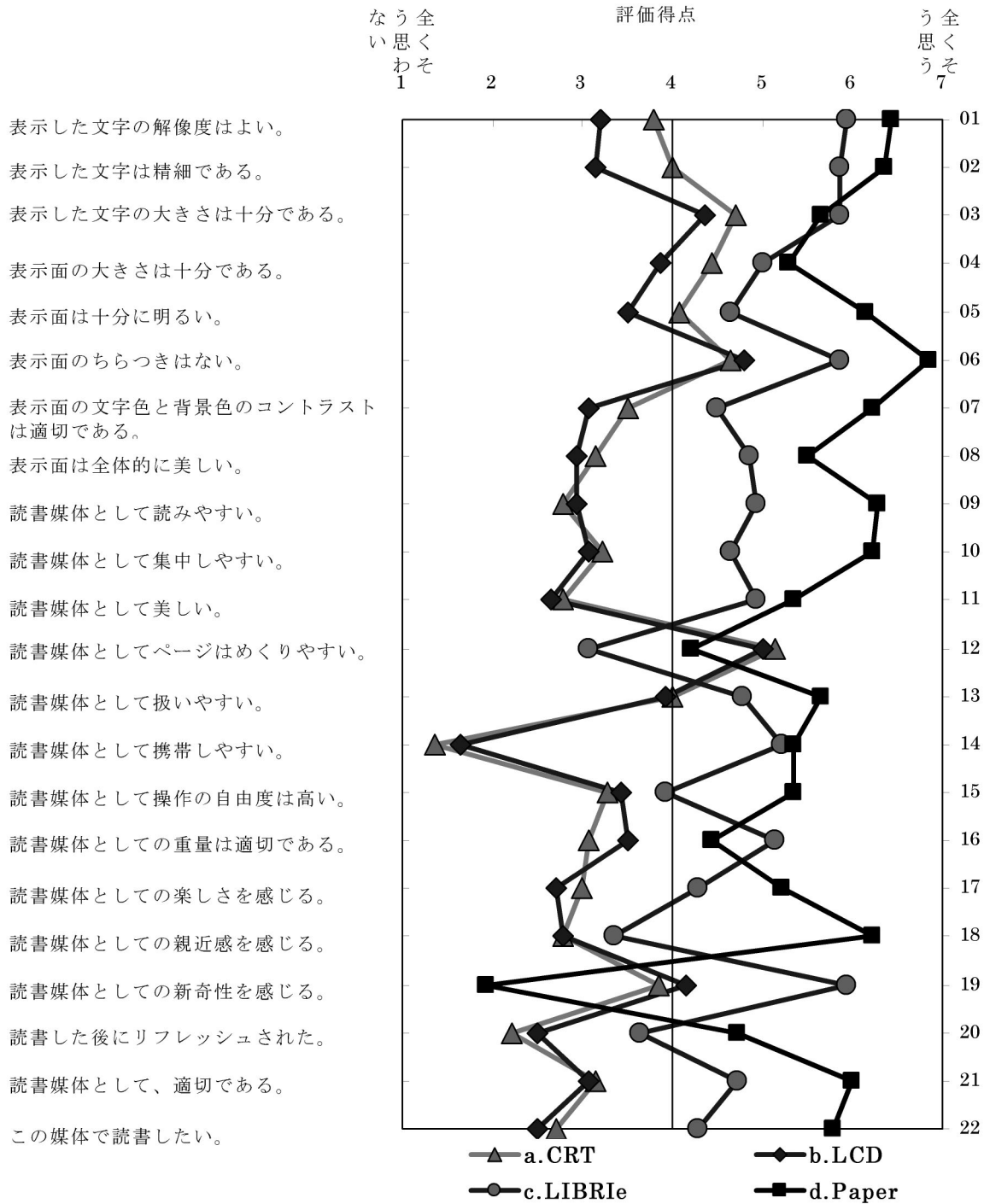


図3 総合的な快適度に関する項目の評価得点プロフィール

も高い評価を得た。一方、CRTは「読書媒体としてのページはめくりやすい」の1項目で4種類の媒体の中でトップの評価を得た。これらに対し、ハードコピー（紙）は22項目のうち18項目において、4種類の媒体の中で評価値が一番高かった。また、CRTとLCDの評価プロフィールは類似していた。そのため、評価得点プロフィールの平均評価得点を全体的に見ると、ハードコピー（紙）の評価が最も高く、続いてLIBRIe、そしてCRTとLCDの評価点が低くなっていることが分かる。

② 因子分析及び分散分析

総合的な快適度に関する22項目の評価得点の結果はSPSS9.0 for Windowsを用いて因子分析を行った。因子の抽出には主因子法を用い、バリマックス回転を行った。

表3にバリマックス回転後の因子負荷量を因子ごとに降順で並べ替えた因子分析を示している。その結果、四つの因子が抽出された。それぞれを「快適性」、「操作性」、「明示性」と「親近性」と命名した。

表3 因子分析の結果

番号	項目	因子負荷量				因子名
		第1因子	第2因子	第3因子	第4因子	
1	解像度	<u>.824</u>	.228	.266	-.161	第1因子 pleasantness 快適性
2	精細さ	<u>.764</u>	.337	.243	-.186	
8	美しさ（表示面）	<u>.746</u>	.300	.357	.042	
9	読みやすさ	<u>.706</u>	<u>.438</u>	.285	.221	
11	美しさ（媒体）	<u>.692</u>	<u>.456</u>	.332	.009	
7	コントラスト	<u>.650</u>	.222	.398	.315	
17	楽しさ	<u>.637</u>	.309	.355	.154	
10	集中しやすさ	<u>.608</u>	<u>.400</u>	.122	.336	
5	明るさ	<u>.576</u>	.184	.310	.327	
12	ページめくり	<u>.557</u>	<u>.420</u>	-.122	.010	
20	リフレッシュ	<u>.519</u>	.104	<u>.463</u>	.218	
6	ちらつき	<u>.451</u>	.303	.092	.218	
13	扱いやすい	.096	<u>.842</u>	.215	.029	
15	操作の自由度	.185	<u>.627</u>	-.044	.164	
22	読書したい気分	<u>.469</u>	<u>.601</u>	.301	.315	
14	携帯性	<u>.555</u>	<u>.575</u>	.228	.025	
21	読書媒体の適切さ	<u>.417</u>	<u>.510</u>	<u>.478</u>	.304	
16	重さ	.218	<u>.402</u>	.104	-.052	
4	大きさ（表示面）	.262	.099	<u>.748</u>	.007	第3因子 visibility 明示性
3	大きさ（文字）	.332	.134	<u>.734</u>	-.288	第4因子 novelty 親近性
19	新奇性	.044	-.021	.156	<u>-.829</u>	
18	親近感	<u>.410</u>	.391	.263	<u>.515</u>	

(*評価項目は4因子の因子負荷量の大きい順に並べ替えてある。アンダーラインは0.40以上のものを示す。)

さらに、因子得点に基づき、因子ごとに4媒体の分散分析(1要因被験者内計画)を行った。結果を図4に示す。明示性以外の3因子とも媒体間に有意差が見られた(快適性: $F_{(3, 39)} = 27.19, p < .01$, 操作性: $F_{(3, 39)} = 6.97, p < .01$, 親近性: $F_{(3, 39)} = 22.55, p < .01$)。さらに、LSD法を用いて多重比較を行った結果、快適性の因子(MSe=0.317, $p < .05$, LSD=0.434)において、ハードコピー ≧ LIBRIe > CRT ≧ LCD, 操作性の因子(MSe = 0.472, $p < .05$, LSD = 0.530)において、ハードコピー ≧ LIBRIe > CRT ≧ LCD, 親近性の因子(MSe = 0.339, $p < .05$, LSD = 0.449)において、ハードコピー > LCD ≧ CRT > LIBRIeという因子ごとの各媒体間の有意差の順序が見られた。

因子得点の分散分析から、第1因子の快適性ではハードコピー(紙)とLIBRIeがLCDとCRTより優れていることが明らかになった。これはLIBRIeが紙に近い表示品質を持ち、CRTやLCDより快適に読めることを示唆している。実験協力者の内観報告からも、4種類の表示媒体の読みやすさの順番に関して同様の記述が見られた。第2因子の操作性では、ハードコピー(紙)とLIBRIeの因子得点はCRTとLCDの因子得点よりは高かった。本実験は実験条件をすべて統制したため、ハードコピー(紙)とLIBRIeは書見台に置いて見るという形であった。そのため、実験協力者は紙とLIBRIeを手で持たずに操作ができたことで、紙とLIBRIeの操作性得点の向上につながったのではないかと考えられる。第3因子の明示性では、4つの媒体間には有意差が見られなかった

が、因子得点の平均からハードコピー(紙) > LIBRIe > LCD > CRTという順序傾向がうかがわれた。第4因子の親近性に関しては、ハードコピー(紙)の因子得点が一番高く、LIBRIeが一番低く、CRTとLCDが中間で、ほぼ同じであった。この親近性に関する結果は各媒体の社会市場への出現順序と関係するように思えた。

3.1.2 疲労度に関する主観評価

① 評価得点プロフィール

疲労度に関する7段階尺度の結果について、媒体ごとの平均評価得点プロフィールを図5に示す。図5において、各評価の点を繋いで得た縦の線が左に来るほど、この媒体での読書は疲れやすいことを示す。14項目の中で、上から1~7番の項目は目に関する疲れを、8~14番の項目は体に関する疲れを評価している。評価得点プロフィールから、疲労度に関する14項目のほぼすべてにおいて、疲れの少ない順序は、ハードコピー(紙)、LIBRIe、LCD、CRTとなっているように見えた。このことから、読書の媒体として、ハードコピー(紙)は最も疲れにくく、ディスプレイ(LCD、CRT)は最も疲れやすく、電子ペーパー製品(LIBRIe)はハードコピー(紙)とディスプレイ(LCD、CRT)の間に位置することが分かる。特に、評価点で4点(中間点)を越え、疲労を示した項目は紙とLIBRIeに関してはゼロであるのに、LCDに関しては2個、CRTに関しては5個存在した。

② 分散分析

本研究では、疲労度に関して、身体疲労と眼精疲労は区別して分析する。それは、生理心理学の視点から、身体疲労は主として大きな筋組織である身体筋の疲労や血行不順が原因であり、これが肩こりや姿勢の疲労として実感される。一方、眼精疲労は、一方では脳の疲労や脳の出血としての網膜及び視神経の疲労であり、これに眼球調節や眼球運動に関わる毛様体筋や外眼筋などの細かい組織としての筋疲労が加わる。自覚の観点からも身体疲労と眼精疲労は極めてよく区別されるところである。数量的な分析のため、疲労度に関わる各項目の評価得点を標準化し、分散分析を行った。疲労度に関する評価項目ごとの平均得点と平均標準化得点を表4に示す。

まず、疲労度に関する全項目(14)の標準化得点を用いて、4媒体の一要因分散分析を行った。その結果、媒体間の疲労度の差は有意であった($F_{(3, 39)} = 22.01, p < .01$)。LSD法を用いた多重比較を行ったところ(MSe = 0.104, $p < .05$, LSD = 0.249)、CRT・LCDの標準化得点の平均はハードコピー(紙)・LIBRIeより高かった

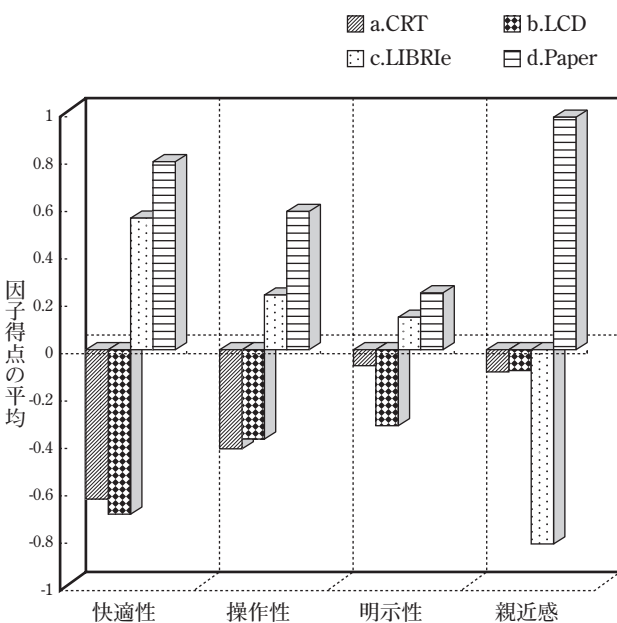


図4 因子ごとに各媒体の因子得点の比較

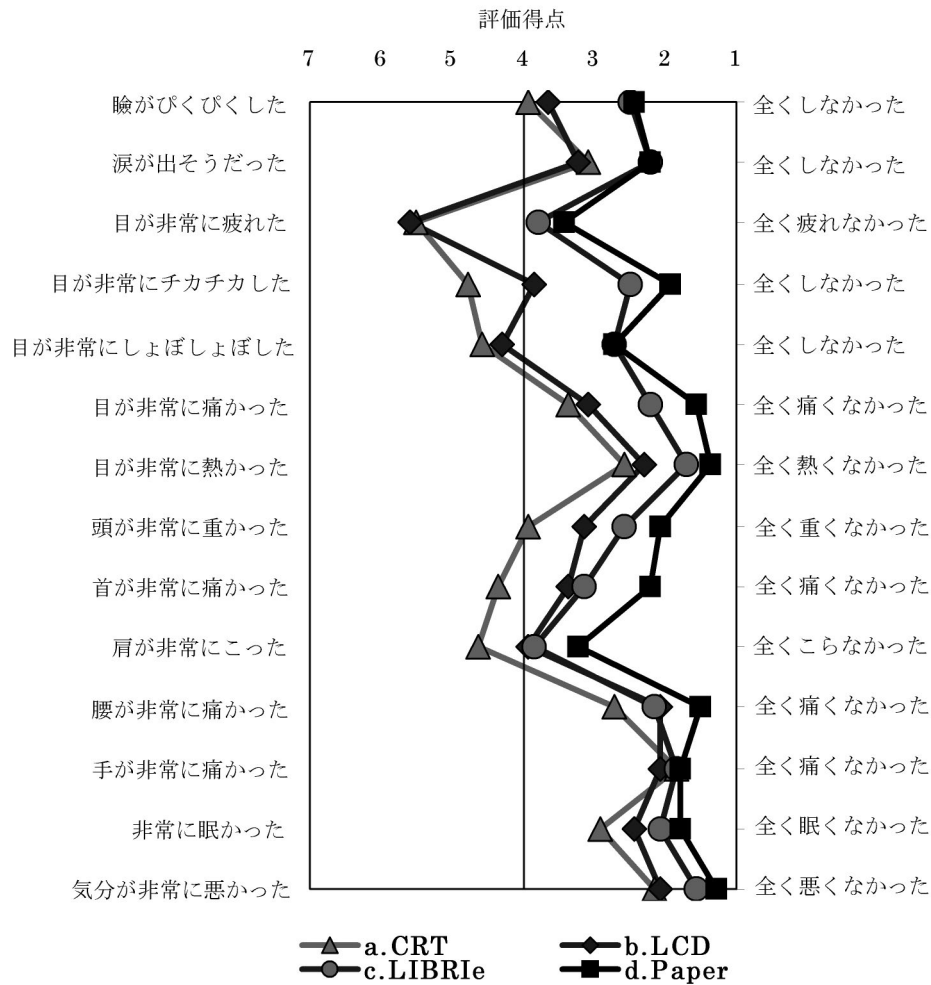


図5 疲労度に関する項目の評価得点プロフィール

表4 疲労度に関する評価項目ごとの平均得点と平均標準化得点

項目	a. CRT		b. LCD		c. LIBRIe		d. Paper	
	得点	標準化得点	得点	標準化得点	得点	標準化得点	得点	標準化得点
1	3.929	0.801	3.643	0.629	2.500	-0.057	2.429	-0.100
2	3.071	0.286	3.214	0.372	2.214	-0.229	2.214	-0.229
3	5.500	1.745	5.214	1.573	3.786	0.715	3.429	0.501
4	4.786	1.316	3.857	0.758	2.500	-0.057	1.929	-0.400
5	4.571	1.187	4.286	1.015	2.714	0.072	2.714	0.072
6	3.357	0.458	3.071	0.286	2.214	-0.229	1.571	-0.615
7	2.571	-0.014	2.286	-0.186	1.714	-0.529	1.357	-0.744
8	3.929	0.801	3.143	0.329	2.571	-0.014	2.071	-0.315
9	4.357	1.058	3.357	0.458	3.143	0.329	2.214	-0.229
10	4.643	1.230	3.929	0.801	3.857	0.758	3.214	0.372
11	2.714	0.072	2.071	-0.315	2.143	-0.272	1.500	-0.658
12	1.857	-0.443	2.071	-0.315	1.857	-0.443	1.786	-0.486
13	2.929	0.200	2.429	-0.100	2.071	-0.315	1.786	-0.486
14	2.143	-0.272	2.071	-0.315	1.571	-0.615	1.286	-0.787
Mean	3.597	0.602	3.189	0.357	2.490	(0.063)	2.107	(0.293)
S.D.	1.057	0.635	0.914	0.549	0.672	0.404	0.632	0.380

が, CRTとLCDの間およびハードコピー(紙)とLIBRIeの間有意差が見られなかった(CRT ≒ LCD > ハードコピー(紙) ≒ LIBRIe)。

次に, 疲労度の14項目を1-7番の「目の疲れ」と8-14番の「体の疲れ」という疲労領域に分けて, 疲労領域(2) × 媒体(4)の2要因被験者内の分散分析を行った。目と体の疲れの標準化得点の平均を図6に示す。その結果, 疲労領域と媒体の交互作用が有意であった($F_{(3, 39)} = 4.09, p < .05$)。疲労領域の単純主効果を検定したところ, CRTでは5%水準で有意であり($F_{(1, 13)} = 5.22$), LCDでは1%水準で有意であった($F_{(1, 13)} = 9.16$)。LIBRIeとハードコピー(紙)では疲労領域に有意差はなかった。また, 媒体の単純主効果は, 「目の疲れ」と「体の疲れ」とともに1%水準で有意であった(「目の疲れ」 $F_{(3, 39)} = 19.52$, 「体の疲れ」 $F_{(3, 39)} = 10.85$)。LSD法を用いた多重比較の結果, 「目の疲れ」では(MSe = 0.185, $p < .05$, LSD = 0.332), CRT ≒ LCD > ハードコピー(紙) ≒ LIBRIeという有意差の順序が見られた。「体の疲れ」では(MSe = 0.126, $p < .05$, LSD = 0.274), CRT > LCD ≒ LIBRIe > ハードコピー(紙)という有意差の順序が見られた。

分散分析の結果をみると, 4媒体の読書時の疲労度の順序はCRT ≒ LCD > LIBRIe ≒ ハードコピー(紙)というようになっていた。これは, 読書時においてディスプレイは他の媒体より疲れやすいことを示している。また, LIBRIeとハードコピー(紙)との間に疲労度について有意差はないという結果は, 磯野ら⁹⁾の報告と一致している。これは, 電子ペーパー製品であるLIBRIeは紙と近い表示品質を持っているから, 紙と同様に疲れのないのではないかと推測している。本研究は読み環境が統制条件下であったという制限つきではあるが, 疲労度評価

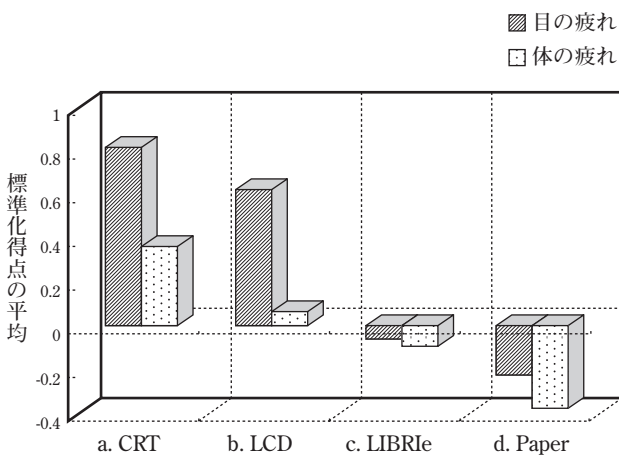


図6 媒体ごとの「目の疲れ」と「体の疲れ」の比較

の結果をさらに目の疲れの評価と体の疲れの評価に分けて分散分析した結果から, 目の疲れは体の疲れより大きいという傾向が見られた。

3.1.3 内観報告と考察

実験後, 実験協力者(14人)に読書に用いた各媒体の読みやすさの順番をつけさせ, その結果を内観報告として表5にまとめた。

表5に示すように, 実験協力者14人の中で, 13人(93%)は紙媒体が最も読みやすいと報告した。その理由の一つは, 紙媒体が数千年間にわたって発展してきた歴史性, および人々が紙媒体に馴染みや親近感を持っていることにあるのではないかと考えられる。そして, 11人(78%)は自身の感覚に基づいて各媒体の読みやすさを紙 > LIBRIe > ディスプレイの順番で報告した。すなわち, 読みやすさについて, LIBRIeは既存の電子表示媒体の中で最も紙媒体に近い位置にあると思われた。電子ペーパーの究極目標は紙とディスプレイの長所を併せ持つことであるが, 現段階の電子ペーパー製品(LIBRIe)は, ある程度その目標を達成したが, 超えなければならないハードルが残っていると言える。

表5 実験協力者による内観報告

読みやすさの順番	人数
紙 > LIBRIe > CRT > LCD	6
紙 > LIBRIe > LCD > CRT	5
紙 > LCD > CRT > LIBRIe	1
紙 > CRT > LCD > LIBRIe	1
LIBRIe > 紙 > LCD > CRT	1

3.2 客観評価の結果と考察

3.2.1 作業効率について

① 読み速度と正味の読み速度

4媒体のそれぞれの「読み速度」と「正味の読み速度」およびページめくり時間を表6と図7に示した。「読み速度」と「正味の読み速度」の速度(2) × 媒体(4)の2要因被験者内の分散分析を行ったところ, 交互作用が有意であった($F_{(3, 39)} = 143.61, p < .01$)。媒体の単純主効果を検定したが, 「読み速度」においても「正味の読み速度」においても有意差はなかった。速度の単純主効果を検定したところ, 四つの媒体ともに1%水準において有意であった(CRT: $F_{(1, 13)} = 83.32$, LCD: $F_{(1, 13)} = 86.79$, LIBRIe: $F_{(1, 13)} = 153.37$, ハードコピー: $F_{(1, 13)} = 153.36$)。この結果から, 媒体の呈示条件(表示エリア, 文字サイズ, コントラスト, 読み距離など)を

表6 各媒体の読み速度の比較

a.CRT	読み平均量 (字) /分	701
	ページめくりの平均時間 (秒)	0.54
	正味の読み平均量 (字) /分	707
b.LCD	読み平均量 (字) /分	701
	ページめくりの平均時間 (秒)	0.54
	正味の読み平均量 (字) /分	707
c.LIBRIe	読み平均量 (字) /分	685
	ページめくりの平均時間 (秒)	3.10
	正味の読み平均量 (字) /分	719
d.Paper	読み平均量 (字) /分	704
	ページめくりの平均時間 (秒)	1.78
	正味の読み平均量 (字) /分	725

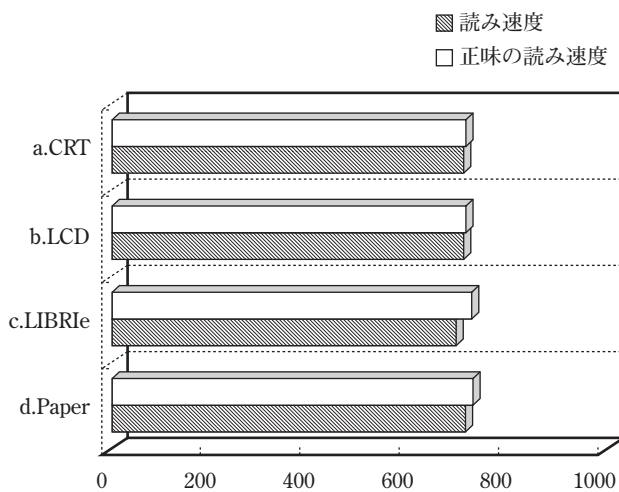


図7 各媒体の読み速度と正味の読み速度

統制する場合、四つの媒体の間で読み速度はほぼ変わらないことが分かった。ただ、LIBRIeのページめくり時間が長いので、「読み速度」と「正味の読み速度」の差がやや高かった。

更に、10分ごとに取った読み速度を、表7と図8に示した。「正味の読み速度」を用いて、10分ごとの速度(3)×媒体(4)の2要因被験者内の分散分析を行った。その結果、交互作用は有意でなかった($F_{(6,78)} = 1.11ns$)。単純主効果について、10分ごとの速度は有意であった($F_{(2,26)} = 11.91, p < .01$)が、媒体差は有意でなかった($F_{(1,39)} = 0.10ns$)。LSD法を用いた多重比較の結果、10分ごとの速度では(Mse = 7398.659, $p < .05$, LSD = 33.413)、20~30分の平均速度 > 10~20分の平均速度 > 0~10分の平均速度、という有意差の順序が見られた。この結果から、30分間の読みの過程中、どの媒体でも読み速度が少し増えている傾向が見られた。その原

表7 各媒体の10分ごとの「読み速度」と「正味の読み速度」

	0-10分		10-20分		20-30分	
	読み速度	読み味の速度	読み速度	読み味の速度	読み速度	読み味の速度
a.CRT	664	670	699	705	769	776
b.LCD	672	678	729	736	740	747
c.LIBRIe	666	699	699	734	706	741
d.Paper	669	689	726	748	759	782

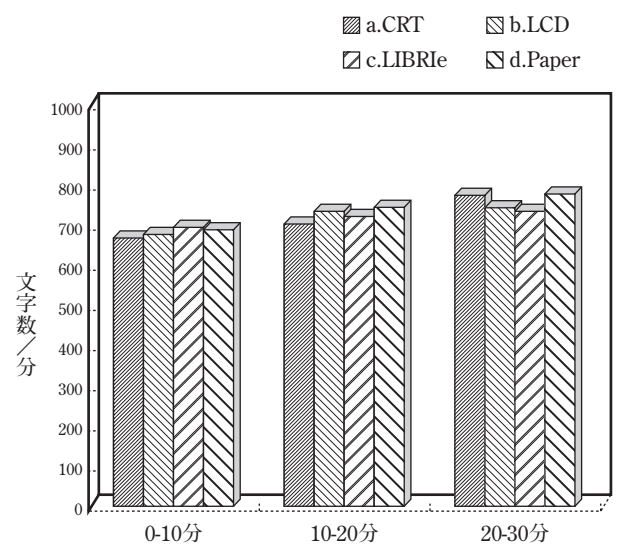


図8 各媒体の10分ごとの「正味の読み速度」

因として二つが考えられる。一つは、研究協力者の読書過程において、読書媒体に対する慣れが生じて、読書速度が早くなったことである。もう一つは、読書時間の延長によって物語に関する実験協力者の心内モデルの形成が明確化するにつれて、小説のストーリーに対する予測が強まることによって、読み速度が上がったことである。

② 文章理解テストの正答率

30分間の読書後に、文章理解のテストを行った。その正答率を、表8と図9に示した。分散分析の結果、媒体間で有意傾向が見られた($F_{(3,39)} = 2.73, p < .10$)。LSD法を用いた多重比較の結果、正答率について、(Mse = 113.874, $p < .05$, LSD = 8.237)、ハードコピー(紙) > LCD ≒ CRT ≒ LIBRIeという順の傾向が見られた。ここでもハードコピー(紙)の優位性が確認された。これは、人間は、普段、紙媒体の読書に慣れている影響があると

表 8 各媒体の正答率

	Mean	S.D.
a.CRT	89	11.867
b.LCD	93	8.806
c.LIBRIe	85	15.469
d.Paper	96	7.284

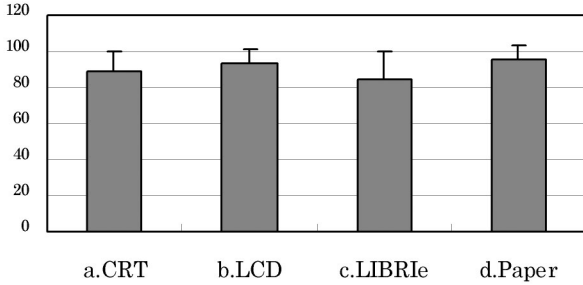


図 9 各媒体の正答率

思われるが、ハードコピー（紙）での読書は、快適で、疲れにくいことが高い正答率を得た理由と考えられる。一方、LIBRIeはページめくり時間が長いいため、実験協力者の集中力を低下させ、ストーリーの一貫性を妨げたため正答率が低くなったと考えられる。この点に関して、実験後の内観報告からも LIBRIeによる読書は集中しにくいというコメントがあり、この傾向を支持した。

3.2.2 疲労度に関する客観評価

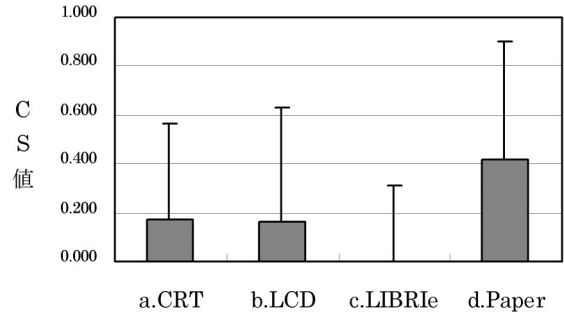
疲労度の客観評価として、作業効率のほかに、コントラスト感度（略称：CS）とフリッカー値（略称：CFF）、及び視力に関して、読み前後の変化を見た。各測定値は、表 9 と図 10 に示される。さらに、三つの測定値について、4 媒体ごとの 1 要因被験者内の分散分析を行った。その結果、三つの測定値のいずれも、媒体間の平均値の差に有意差はなかった。このことは、30 分間という読書時間では、測定された生理的指標で捉えられるほどの疲労は蓄積されていないことを示唆しており、これら媒体の 30 分以内の連続使用は生理学的に許される範囲であることを意味するとも考えられる。標準偏差が大きいことも各媒体の間に有意差が見られなかった原因の一つと思われる。その理由として、疲労度の生理指標測定値に実験協力者の個人差が大きいことと、機械の測定のばらつきが大きいことが上げられる。

3.1 で示されたように、主観評価からも紙媒体の優位性が確認された。そして、LIBRIeは既存の電子表示媒体の中で最も紙媒体に近い位置にあるという結果が得られた。一方、客観評価の結果において、紙媒体を利用した

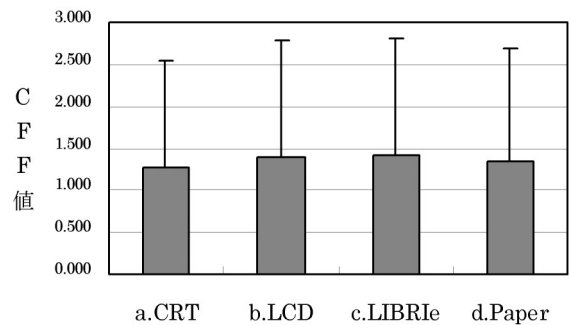
表 9 各媒体の疲労度に関する客観評価結果※

		a.CRT	b.LCD	c.LIBRIe	d.Paper
CS の 変 化	Mean	0.176	0.167	0.001	0.421
	S.D.	0.386	0.467	0.307	0.479
	N (人)	14	14	14	14
CFF の 変 化	Mean	1.275	1.392	1.406	1.342
	S.D.	1.275	1.392	1.406	1.342
	N (人)	14	14	14	14
視 力 差	Mean	0.036	0.050	0.021	-0.029
	S.D.	0.081	0.130	0.108	0.110

CSの変化



CFFの変化



視力差

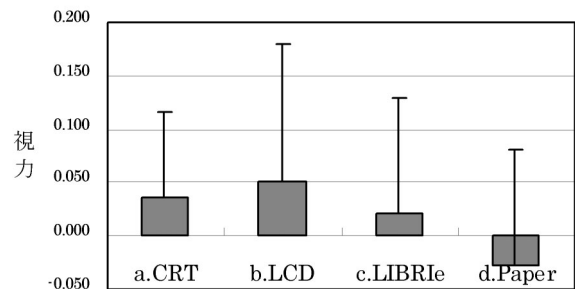


図 10 各媒体の疲労度に関する測定値

読書では「文章理解テストの正答率」が高得点で、紙の優位性を支持しているが、疲労度の生理指標（CS値の変化、CFF値の変化および視力差）の測定結果には、内観報告での読みやすさの順番が反映されなかった。これは30分間での読書時において各媒体の疲れの差は主観的には感じられるものの、客観的な生理指標で差を取るのが難しい程度のものであったと考えられる。先行研究においても客観評価（眼の調節機能変化及び眼球運動測定）による媒体差は得られなかった^{9) 10)}。これは客観的な評価または生理的指標の限界を示しているであろう。より感度の優れた指標の開発が待たれるところである。

4. まとめ

各媒体の呈示条件を統制し、30分間の読書における4種類の表示媒体の読みやすさについて、主観評価と客観評価を行い、以下のような結果を得た。

- 1) 紙媒体と電子媒体との比較を主観評価と客観評価を交えて多角的に検討を行った結果、読書媒体としての読みやすさにおいて紙媒体が最も優位であった。
- 2) 電子ペーパー製品であるLIBRIeは読みやすさが紙媒体より劣っていたが、ディスプレイ（CRTとLCD）より勝っていた。しかし、親近性の因子において、LIBRIeは紙媒体より、またディスプレイ（CRTとLCD）よりも劣っていた。
- 3) ディスプレイ（CRTとLCD）は読みやすさにおいて、紙媒体とLIBRIeより劣っていたにも関わらず、媒体の呈示条件（表示エリア、文字サイズ、コントラスト、読み距離など）が統制された四つの媒体の間で、読み速度に変わりはない。そして、四つの媒体のいずれにおいても、30分間の読書中に読み速度が上昇していることが、10分ごとの点検により明らかになった。なお、紙媒体を用いた読書は文章理解テストで最も高い正答率を得た。
- 4) 疲労度に関する主観評価において、紙媒体とLIBRIeはディスプレイ（CRTとLCD）より疲れにくいという結果が得られたが、疲労度の生理指標（CS値の変化、cff値の変化および視力差）の測定結果から、各媒体間の疲労度に有意差が見られなかった。

本研究は4種類の媒体（電子書籍端末リーダー：LIBRIe、CRTとLCDおよび紙）を用い、各媒体の呈示条件を可能な限り統制し、30分間の読書における各媒体の読みやすさについて主観的、及び客観的な評価を行った。しかし、この結果はあくまでも4媒体の呈示条件を

統制した状況下で得られたものであった。ここには、例えば紙媒体、LIBRIeを読む時に、自分の手で持たずに、書見台に置いて読むという日常的読書からすると不自然な点も含まれている。今後、4種類の媒体の呈示条件を読み手の好みで自由に調整・選択させた場合の、読みやすさを評価した結果を検討し、呈示条件が媒体の読みやすさに与える影響を解明する予定である。

謝辞

評価実験にあたって多数の協力者の方々にご協力いただきました。また、審査の過程で、編集審査員の方々より多くの有益なコメントを頂きました。ここに記して感謝いたします。

参考文献：

1. Carol Bergfeld Mills, Linda J. Weldon: Reading Text From Computer Screens, ACM Computing Surveys, Vol.19, No.4, 1987, p.329-358
2. 面谷 信. “紙への挑戦電子ペーパー—情報世界を変えるメディア—”. 森北出版. 2003. p.4
3. 寇 冰冰, 権名 健. “新時代の表示媒体: 電子ペーパー”. 図書館情報メディア研究. 2005, Vol. 3, p.121-131
4. Carol Bergfeld Mills, Linda J. Weldon: Reading Text From Computer Screens, ACM Computing Surveys, Vol.19, No.4, 1987, p.329-358
5. Kenton O'Hara & Abigail Sellen: A Comparison of Reading Paper and On-Line Documents, Proceedings of CHI'97, 1997
6. 岡野 翔, 面谷 信. “電子ペーパーのめざす読みやすさの検討—読書作業性に及ぼす媒体呈示条件の影響—”. Japan Hardcopy 2004論文集. 2004, p.193-196
7. 吉川宏和, 境 秀知, 面谷 信, 高橋恭介. “各種ディスプレイおよびハードコピーに対する主観・客観評価の比較”. Japan Hardcopy 2001論文集. 2001, p.123-126
8. 矢口博之, 植村八潮, 市野学. “電子ディスプレイデバイスにおける文章の可読性評価について”. 人間工学. 第40巻. 特別号. 2004, p.292-293
9. 磯野春雄, 高橋茂寿, 滝口雄介, 山田千彦. “電子ペーパーで読書した場合の視覚疲労の測定”. 映像情報メディア学会誌. Vol.59, No.3, 2005, p.403-406

10. 小川瑞希. “電子書籍の読まれ方と紙の本の読まれ方. 眼球運動測定による比較実験”. 平成 16 年度. 慶應義塾大学・文学部・図書館情報学専攻. 卒業論文. 2004. オンライン. 入手先 <<http://www.slis.keio.ac.jp/~ueda/sotsuron04/04ogawa.pdf>> (参照 2005-5-14)
11. 諸岡由紀子. “紙とディスプレイの比較: 眼球運動測定を通じて”. 平成 15 年度. 慶應義塾大学文学部図書館・情報学専攻. 卒業論文. 2003. オンライン. 入手先 <<http://www.slis.keio.ac.jp/~ueda/sotsuron03/morooka03.pdf>>
12. オンライン. 入手先 <http://gc.sfc.keio.ac.jp/class/2005_14630/slides/02/69.html>
13. 大石 巖, 畑田豊彦, 田村 徹. “シリーズ 先端ディスプレイ技術①ディスプレイの基礎”. 共立出版. 2001, p.207
14. 大石 巖, 畑田豊彦, 田村 徹. “シリーズ 先端ディスプレイ技術①ディスプレイの基礎”. 共立出版. 2001, p.164
15. 大山 正, 岩脇三良, 宮埜壽夫. “心理学研究法 データ収集・分析から論文作成まで”. サイエンス社. 2005, p.52
16. 寺崎正治, 岸本陽一, 古賀愛人. “多面的感情状態尺度の作成”. The Japanese Journal of Psychology, Vol.62, No6, 1992, p.350-356
17. 大山 正, 瀧本 誓, 岩澤秀紀. “セマンティック・ディファレンシャル法を用いた共感覚性の研究”. 行動計量学. 第 20 巻, 第 2 号, 1993, p.55-64
18. 栗本晋二, 岩崎常人, 野村恒民, 野呂影勇, 山本栄, 小松原明哲. “VDT 作業と paper 作業における眼精疲労の比較検討”. 臨床眼科. 37(8), 1983, p.1099-1104
19. 和田陽平, 大山 正, 今井省吾 (編). “感覚・知覚心理学ハンドブック”. 東京. 誠信書房. 1969, p.238
20. 大山 正, 今井省吾, 和気典二 (編). “新編 感覚・知覚心理学ハンドブック”. 東京. 誠信書房. 1994, p.560
21. 松田隆夫. 『視知覚』. 培風館. 2002, p.69
22. 大石 巖, 畑田豊彦, 田村 徹. “シリーズ 先端ディスプレイ技術①ディスプレイの基礎”. 共立出版. 2001, p.207

(平成 18 年 3 月 24 日受付)

(平成 18 年 6 月 29 日採録)

