

新時代の表示媒体：電子ペーパー —その現状と媒体評価研究—

寇 冰冰*, 椎名 健**

A display medium in the new era: Electronic Paper —Present status and evaluation study of e-paper—

Bing bing KOU, Ken SHIINA

抄録

電子ペーパーはディスプレイと紙媒体の長所を両立させた理想的な表示メディアを目指しているといわれる。このコンセプトに基づいて、電子ペーパーに対するさまざまな期待や関心が集まりつつある。本論文は、電子ペーパーに求められる要件や実現形態などを概観した上で、電子ペーパーの課題や将来の用途を展望するため、読みに関するSD法を含む媒体の評価実験（8人、短時間での読書）、およびアンケート調査（20人）を実施した。評価実験の対象は電子ペーパー製品の一種類であるLIBRIe（ソニー）、CRTモニター、LCDモニター、および文庫本の4種類の媒体であった。その結果、読みやすさにおいて、LIBRIeは文庫本には及ばないが、既存のディスプレイより優れていること、一方、操作性においてLIBRIeはCRT、LCDにも劣ることが示唆された。アンケートの結果において、電子ペーパー製品の読みやすさは評価されたが、操作性と重量が改善点として挙げられた。また、現有の電子ペーパーの普及率は予想したほど高くなかった。

Electronic paper (e-P) is a display medium which is believed to aim at the ideal media with the advantages of display and paper.

On this concept, e-P has attracted various expectations and interests of people. Also, a rapid progress has been made in the technological development in this area.

This report consists of two parts: First, essential factors asked for the e-P and the realized forms of these factors were summarized. Then the present existing state of the technological development was outlined. Second, an experiment (8 participants, reading in short time) was carried out to evaluate four types of display media: an e-P book (LIBRIe, SONY), a CRT, a LCD and a pocket book. Then a questionnaire was administered to survey the task and the usage of the e-paper in the future from 20 students in the University of Tsukuba.

The results of the experiment in the comfortable reading suggested, that the e-P book was not as good as the pocket book but better than the CRT and LCD. On the other hand, in the easy handling, the e-P was inferior to the pocket book, CRT and LCD.

The answers of the questionnaire confirmed the experimental results, and suggested that people were not so familiar with the e-P book by that time.

* 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

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。その大部分の情報が電子画面を通じて配信されており、ディスプレイは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いる。しかし現在のディスプレイは、そのサイズや携帯性及び可読性の面で、「いつでもどこでも快適に情報が取れる」という理想の実現には障害となっている。結局、電子配布された電子文書などの情報は、ユーザーがディスプレイで見た後に、プリンタでハードコピーを作って確認するようなワークフローになっている。このような背景の中で、紙メディアとディスプレイの良さを兼ね備える新しい情報表示メディアとして、電子ペーパーが登場し、様々な業界から高い関心と注目を集めている。電子ペーパー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。

現在、電子ペーパーはまだ第一世代といわれる段階にあり、多くの表示技術や方式の研究に力を入れて盛んに開発の努力が重ねられている。しかし、電子ペーパーが一般ユーザーに受け入れられるためには、表示媒体としてのハードウェア的な研究だけではなく、視認性、操作性などのソフト的な側面を十分に検討する必要もある。特に、電子ペーパーに求められる表示特性を明らかにする意味で、既存の表示媒体との比較は不可欠である。しかしながら、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多く、電子ペーパーそのものを用いた研究はほとんどない。そこで、本研究では、現有の電子ペーパー製品は既存の表示媒体とどこが違うか、また、これからの電子ペーパーの開発はどこを目指すべきか等の課題について考察することを目的とし、既存のディスプレイ、文庫本、及び電子ペーパー製品の一つであるソニーの LIBRIe を用いた読書作業に関する評価実験と、電子ペーパーに関するアンケートを実施した。

本報告では、まず、電子ペーパーについて、そのコンセプトや求められる要件および商品化された製品の表示原理などを簡単に記述し、続いて、評価実験とアンケート調査の結果を紹介する。

2. 電子ペーパーの概観

一般的に、電子ペーパーのコンセプトは(図1)¹⁾、第

一世代の表示媒体である紙と第二世代の表示媒体であるディスプレイの長所を併せ持つ、次世代の理想的メディアとされている。そのコンセプトは求められる六つの要件を包含している²⁾。1) 優れた視認性：紙のように、文字は明瞭なコントラストを有し、表示面から目への不快、有害な刺激がないこと。2) 情報の書き換え機能：文字や画像の書き換えが簡単で自由にできること。3) ハンドリング性：薄膜軽量で持ち運びが自由で、折りたたむなどフレキシブルであること。4) 省エネルギー性：紙にコピーやプリントアウトをしなくても、情報を何千万回でも書き換えることで、紙の消費量を減らせること。そして、いったん表示面に文字や絵図が表示されれば、無電源で長時間保持できること。5) メモリ機能：紙のように、一旦書き込まれた情報は永久に保存でき、ユーザーが自由に書き込みした内容も保存が出来ること。6) 情報へのアクセス機能：知りたい情報をいつでもどこでもオンラインの状態ですべて調べられること。

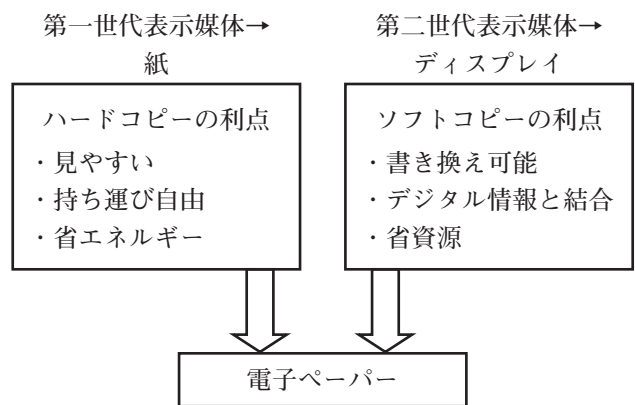


図1. 電子ペーパーのコンセプト

電子ペーパーの実現形態は色々と想定されているが、まとめると3種類に分けられる^{2,3)}。①分離型—表示媒体部と書き換え装置を分離するものである。これは現在の紙のように取り扱いが容易で、文字や画像が何度も書き換えられる電子ペーパーのことを指す。開発表明したりコー(株)のリライタブルペーパーや富士ゼロックス(株)の光書き込み型の電子ペーパーなどはこの分離型に属する。この型は紙のような携帯性という利点を持つ一方、一回の表示情報量が少ないという問題がある。②組み合わせ型—表示媒体部は書き換え機能を持たないが、表示部に書き換えユニットを一体化させて機能させるものである。2004年に発売された電子書籍端末ΣBook(松下電器)とLIBRIe(ソニー)はこの型に近いと言える。现阶段では、実現しやすい電子ペーパーの型であるが、耐衝撃性に弱く、かさばるという点では若干

弱点がある。③一体型—現状のLCDのように自身で書き換え機能を持つものである。この型は電子ペーパーの理想形態に一番近いと考えられるが、技術的なハードルが高く、種々の問題を解決しなければならない。

電子ペーパーの技術の発展と共に、そのコンセプト、求められる要件、及び実現形態も明確になってきたが、電子ペーパーの究極の理想形態が実現するまでにはなお時間がかかると思われる。

現在、電子ペーパーの表示方式には、物理変化や化学変化を利用する方式などがあり、様々な表示技術の研究が進められている。これらの技術をまとめると、液晶系、粒子移動系、リライト系とその他の四つの系統に大別できる⁴⁾。表1は表示技術を駆動手段と組み合わせて示したものである⁵⁾。代表的な方式は電気泳動方式、ツイストボール方式、サーマルリライタブル方式及び液晶方式などである⁶⁾。ここで、2004年に発売されたソニーの「LIBRIe (リブリエ)」と松下電器の「Σ book (シグマブック)」の表示方式原理について少し言及する。

ソニー (株) の読書専用端末LIBRIeは、米E-Ink社のマイクロカプセル型電気泳動方式の表示技術を採用した。マイクロカプセル型電気泳動方式の表示原理は図2⁷⁾に示される。透明なマイクロカプセルの中に、マイナ

スとプラスにそれぞれ帯電した黒/白の二種類の粒子および分散媒を封入し、これを二枚の電極付きのプラスチックシートで挟む。外部から電界を与えてカプセル内の粒子を移動させ、表側に集めたり、または底の側に集めたりすることで、白黒模様の画像が表示される⁸⁾。この方式の特徴として、紙と同じように光の反射により表示するため、一般的な液晶のような視野角の問題を有しないことであり、そして、明瞭なコントラスト(9:1、白が9、黒が1)と高い解像度(600×800ピクセル、約170ppi)⁹⁾により、紙のような滑らかな文字表示が可能になる。これらの特徴を備えるため、電子ペーパー用表示技術として有望であるが、応答性などの点で改良の待たれる課題を残している。

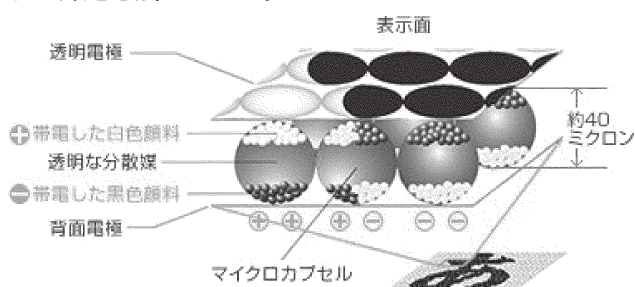


図2. E-ink方式電子ペーパーの構造と表示原理 (LIBRIeのオンライン製品情報により)

表1. 電子ペーパーの主な表示技術

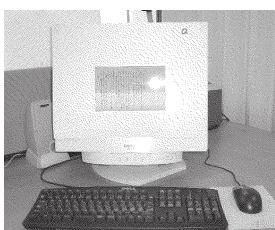
	液晶系	粒子移動系	リライト系	その他
電界	コレステリック液晶 —米Kent Display Systems 社 <松下電器—Σ Book>	ツイストボール方式 —Gyricon Media社 <Smart Paper> 電気泳動方式 ・マイクロカプセル型電気泳動方式— E-Ink社<ソニーLIBRIe> ・In-Plane型電気泳動方式—キャノン (株)<In-Plane EPD>		電界析出方式— ソニー (株) <EDD: Electro-deposition display>
	ポリマーネットワーク型液晶 —大日本インキ化学工業 (株) <PNLCD>	粉体トナー方式 ・絶縁性粒子—富士ゼロックス (株) <トナーディスプレイ> ・電子粉流体 —ブリジストン (株) <QR-LPD>		
光	光書き込み型液晶 —富士ゼロックス (株)			
熱			サーマルリライタブル方式 —リコー (株), 三菱製紙 (株), 凸版印刷 (株) <リライタブルペーパー>	
磁界		磁気ツイストボール方式 (明星大; 日立マクセル, 東海大)		

松下電器の電子書籍端末Σ bookは、米 Kent Display Systems社のコレステリック液晶表示の技術¹⁰⁾を採用した。コレステリック液晶は記憶型液晶とも呼ばれ、画面表示を電力消費ゼロの状態でも表示し続けることが可能である。加える電圧の大きさによって、0Vに戻したときの状態が変わるという特性を利用し、青と白のモノクロ16階調の表示を行う。

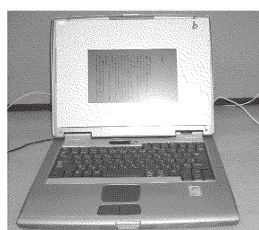
これまで、LIBRIeとΣ bookとを比較した研究は少ないが、面谷信¹¹⁾の比較実験によると、両者には異なる呈示条件における疲労度と読みやすさについて、差がほとんど見られなかった。しかし、LIBRIeの黒と白の表示に比べ、Σ bookが青と白の表示を行うため、読みにくいという声もある¹²⁾。以上のことから、本研究においては、電子ペーパーの代表として、ソニーの専用読書端末LIBRIeを選んだ。

3. 電子ペーパー評価実験

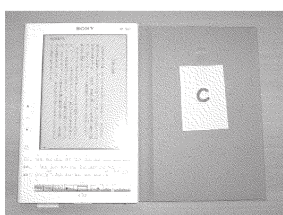
現有の電子ペーパーは既存の表示媒体の中にどう位置づけられるかを検討するため、17インチCRTモニター(Logitech製, LCM-17TS)、17インチノート型LCDモニター(DELL製, LATITUDE/D505)、文庫本(新潮文庫)の既存媒体3種類、及び最近発売された電子書籍リーダーLIBRIe(ソニー)、合計4種類の表示媒体を用いて、各媒体による読書作業に関する評価実験を実施した。実験に用いた4種類の媒体の例と実験中の実験協力者の様子は図3に示している。



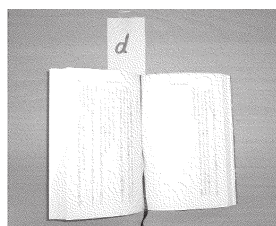
a. CRT モニター



b. LCD モニター



c. LIBRIe (ソニー)



d. 文庫本



e. 実験協力者の様子

図3. 四種類の表示媒体と実験協力者の様子

3.1 実験方法

3.1.1 読みコンテンツ

本実験では、一人の実験協力者に4種類の表示媒体で文章を読ませる。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く、また、作家が異なると文体の特徴が異なる。このことを配慮し、同一作家の4作品を読みコンテンツとして用意することとした。予備調査により、比較的読みやすい宮沢賢治の4作品(『よだかの星』、『セロひきのゴージュ』、『銀河鉄道の夜』、『風の又三郎』)を読みコンテンツとして選択した。

3.1.2 読み時間と読み順序

予備実験を行った結果、それぞれの表示媒体の特性を理解するために必要な最小限の時間が3分間であったことから、読み時間を3分間とした。4物語と4媒体をラテン方格法で組み合わせ、読み順序を各実験協力者に割り当てた。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。1つのコンテンツの読みの終了直後に、読みに関するSD法の評定を行い、実験協力者が2つの読みとSD評定を終えたところで、5分間の休憩時間を取った。

3.1.3 実験条件

本実験において、普段、本で読書する自然な状況に近い明るさ、及び“見えのコントラスト”を調整して実験条件を決めた。しかし、電子ペーパーは明るさの調整が不可能であった。4種類の媒体で表示する文章の文字サイズとフォントは文庫本を基準に統一した。目から媒体までの距離は、実験協力者が最も読みやすい距離とし、統制はしなかった。表2に実験環境と使用媒体に関する実験条件の詳細を示す。

表 2. 実験条件

机上照度	563 lx			
使用媒体	規格	表示画面 サイズ	テキスト呈示用ソフト	コントラスト (輝度比)
	a. 17インチXGA CRTモニター	18.8×14.1 cm	T-Time/ドットブック	12.4
	b. 17インチXGA 透過型LCDモニター	18.8×14.1 cm	T-Time/ドットブック	11.6
	c. 電子書籍端末リーダLIBRIe (ソニー)	12.3× 9.1 cm	BBeB(BroadBand eBook)	5.6
	d. 文庫本	15×10.4 cm (片面)		6.2
媒体呈示条件	好きな距離で自由に調整する			
読み コンテンツ	ア. よだかの星 (宮沢 賢治)	* 四つの表示媒体と四つの物語をラテン方格で組み 合わせ読む。		
	イ. セロひきのゴージュ (宮沢 賢治)			
	ウ. 銀河鉄道の夜 (宮沢 賢治)			
	エ. 風の又三郎 (宮沢 賢治)			
読みの時間	ひとつの表示媒体でひとつの物語を3分間で読む			

3.1.4 評価項目

各媒体の表示特性を調べるため、読みやすさ、操作しやすさ、疲労度及び読書時の気分などの評価を行った。これは最初に 50 項目を選び、予備調査を経て、16 項目に絞り込み、5 段階尺度のSD法評価用紙を作成した。評価用紙は付録 1 に示した。

3.1.5 実験協力者

筑波大学図書館情報メディア研究科の大学院生 8 名 (男：2，女：6) が評価実験の実験協力者であった。

3.1.6 実験手順

- (1) CRT, LCD 及び LIBRIe (ソニー) のページめくりなどの操作方法を実験協力者に説明し、物語の 1 ページ目を各表示媒体の画面に呈示した状態で実験を開始した。
- (2) 実験前に、ラテン方格法で決めた媒体と読みコンテンツの組み合わせ順序を実験協力者に与え、3 分間読ませた。
- (3) それぞれの表示媒体の読み終了後、SD 評価用紙により表示媒体の評価を求めた。このとき、実験協力者は表示媒体を参照したければ、いつでも見ることが可能であった。
- (4) 全ての実験の終了後に、実験協力者のプロフィール (個人情報) 調査、と実験に関する自由記述による内観報告を求めた。

3.2 実験結果

3.2.1 読み速度

各表示媒体で実験協力者の平均読み量 (文字数) を「読み速度」として定義した。しかし、各媒体のページめくり時間が異なるため、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」を算出した。CRT, LCD 及び LIBRIe は画面が変わる時間をページめくり時間とし、各媒体に対し、実験の記録として取ったビデオから二十回 (20 ページ) のページめくり時間を手動計時し、ページめくりの平均時間を求めた。実験中の全ての読みは黙読であったが、文庫本は同じ方法で精密なデータを取るのが難しいと考え、文庫本のページめくり時間の計測だけは、別に、音読させて録音法により測定した。すなわち、文庫本のページの変り目の前後五行ずつの文章を実験協力者に音読させ、それを録音し、実験終了後に録音を再生して、声が中断した時間を手動計時した。一人の実験協力者につき、5 回のページめくり時間を測定し、平均値を求め、これを本のページめくりの時間として定義した。表 3 に各媒体の読み速度の比較、図 4 に各表示媒体の読み速度を示す。これによると文庫本の読み速度は最も速く、ほかの三種類の表示媒体間の差はほとんどなかった。そして、「正味の読み速度」と「読み速度」の差は LIBRIe (ソニー) の方がやや高かった (これは LIBRIe のページめくり時間が長いことを反映している) が、他の媒体ではその差がほとんどなかった。

表3. 各媒体の読み速度の比較

CRT	読み平均量 字/分	650
	ページめくりの平均時間 (秒)	0.54
	正味の読み平均量 字/分	656
LCD	読み平均量 字/分	646
	ページめくりの平均時間 (秒)	0.54
	正味の読み平均量 字/分	652
LIBRIe	読み平均量 字/分	622
	ページめくりの平均時間 (秒)	4.03
	正味の読み平均量 字/分	666
文庫本	読み平均量 字/分	806
	ページめくりの平均時間 (秒)	1.78
	正味の読み平均量 字/分	830

1 分間に読めた文字数

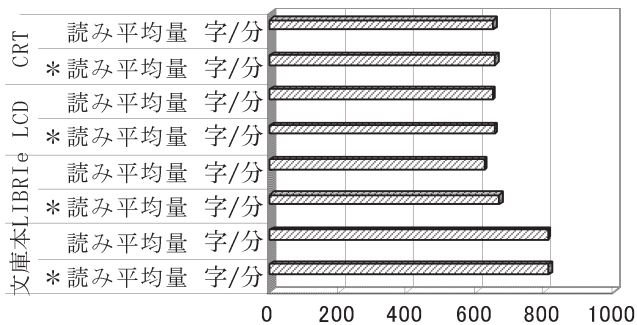


図4. 各媒体の平均読み速度

(*読み平均量 字/分=正味の読み平均量 字/分)

3.2.2 評価得点プロフィール

5段階のSD評価尺度の結果を用い、媒体ごとに評価プロフィールを作成した。LIBRIeの各項目の平均評価得点の降順に基づき、各媒体の平均評価得点プロフィールを並べ替えたものを図5に示す。各項目の平均評価得点を全体的に見ると、文庫本の評価は最も高く、続いてLIBRIe、そしてCRTとLCDの評価点が低かった。また、CRTとLCDの評価プロフィールは類似していた。16項目のうち、「新しい」と「美しい(画面全体)」の2項目では、LIBRIeが4種類の表示媒体の中で評価値が最も高かった。一方、LIBRIeは「ページをめくりやすい」と「扱いやすい」及び「軽快な」では、4種類の表示媒体の中で最も低い評価で、「表示面が明るい」の項目では、LCDと同じく低い一方、「手や肩が疲れない」では、文庫本と同程度に良好な評価であった。

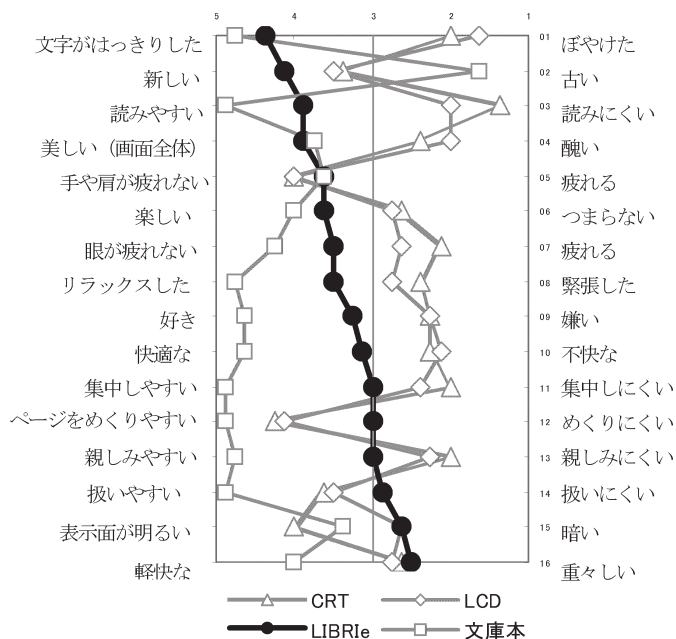


図5. 評価得点のプロフィール

3.2.3 因子分析

表示媒体の読みやすさ、操作性、疲れの程度及び読書時の気持ちよさなどに関する16項目の評価得点を因子分析により処理した。その結果、4因子が得られ、第1因子を「快適性」、第2因子を「操作性」、第3因子を「視認性」、第4因子を「新奇性」と命名した。表4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す。その結果と評価得点プロフィールを総合して見ると、第1因子では文庫本が優れる傾向があり、次がLIBRIe、LCDとCRTの順番であった。これは印刷物が快適であり、可読性が高い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因子では、文庫本、CRT、LCDとLIBRIeの順位になり、操作性について、LIBRIeの評価が低いことが指摘される。この点に関して、実験協力者の内観報告からLIBRIeが操作しにくいというコメントもあり、同じ傾向を示した。第3、4因子については、特に目立った傾向は見られなかった。また、正味の読み速度はどの因子得点に対しても相関が認められなかった。

表 4. 因子分析

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	読みやすい	<u>.945</u>	.103	-.043	-.067	第 1 因子 pleasantness 快適性
6	文字がはっきりした	<u>.880</u>	-.118	.211	-.011	
13	好き	<u>.877</u>	.366	-.026	.004	
12	楽しい	<u>.871</u>	.212	-.038	.153	
10	快適な	<u>.870</u>	.309	.002	-.226	
14	親しみやすい	<u>.848</u>	.370	-.164	-.136	
16	リラックスした	<u>.832</u>	.333	.021	-.084	
2	美しい	<u>.825</u>	-.178	.285	.164	
7	集中しやすい	<u>.767</u>	<u>.466</u>	-.227	-.127	
3	眼が疲れない	<u>.683</u>	.110	-.348	-.082	
11	快適な	<u>.581</u>	<u>.472</u>	.370	.189	
9	ページをめくりやすい	.110	<u>.940</u>	-.303	-.024	第 2 因子 controllability 操作性
8	扱いやすい	.358	.872	.065	.023	
5	表示面が明るい	-.037	-.343	<u>.914</u>	-.112	第 3 因子 visibility 視認性
15	新しい	-.051	-.160	-.070	<u>.871</u>	第 4 因子 novelty 新奇性
4	手や肩が疲れない	-.040	-.033	-.024	<u>.645</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。)

3.3 実験の考察

電子ペーパーに関する読み速度の測定, 評価得点の平均プロフィール及び因子分析の結果を基に, 4 種類の表示媒体を比較した。その結果, LIBRIe は文庫本に比べて読みやすさや操作性などに関して劣り, LIBRIe は CRT と LCD よりは読み速度や読みの快適性などにおいて勝ることが示唆された。

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。本研究の評価実験の結果から, 現有の電子ペーパー製品—LIBRIe は読みやすさに関して, 依然として紙媒体とディスプレイの間に位置することをうかがわせた。操作性 (特にページめくり時間) においては, 既存のディスプレイにも及ばないことが示唆された。しかし, 今回の実験においては実験協力者数が比較的少なく, 電子ペーパーは LIBRIe の一種類のみであったため, 今後より多くの実験協力者を対象に, 現有のすべての電子ペーパーの製品を用いて実験を行ってい

くことが課題である。

4. 電子ペーパーに関するアンケート調査

電子ペーパーの課題や将来の用途などに関する検討は, 専門家により立ち上げられた学会, セミナーにおいて盛んに行われてきたが, これまでのところ, 一般のユーザー側のニーズを聞き取ることがほとんどなかったと思われる。電子ペーパーに必要なクオリティを高める技術的向上の方向性を探るためにも, ユーザー側のニーズの把握も重要である。そこで, 本研究は, ユーザー側の意見を集収する調査のプロトタイプとして, ユーザーのニーズを聞き取ることに着目したアンケート調査を実施した。

4.1 アンケートの内容

本調査は新しいメディアである電子ペーパーの課題や

将来の応用面を探ることを目的とした。そのため、電子ペーパーに対する熟知度、発売された電子ペーパーの製品に触れた経験、電子ペーパー製品の改善点及び電子ペーパーの将来の応用に関する四つのカテゴリーに渡り、13項目の質問を設けた。アンケート用紙と集計結果は付録2に示した。

4.2 アンケートの回答者・実施方法

本アンケート調査では、情報学を専門とした筑波大学図書館情報メディア研究科の大学院生20名(男:9,女:11)を回答者とし、アンケートの配布と回収は電子メールにより実施した。

4.3 アンケートの結果と考察

アンケートの結果(付録2の中に)と考察を四つのカテゴリーに沿って、以下にまとめた。

1) 電子ペーパーに対する熟知度

アンケート調査の実施前に、85%の回答者は既に電子ペーパーのことを聞いたことがあるとし、その中で47%は「少し知っている」、24%は「よく知っている」、18%は「かなり知っている」、11%は「聞いたことがある」と回答した。これは最近、いろいろなところで電子ペーパーの話題が増えてきたことに繋がるが、あくまでも話題として取り上げられたことに留まり、ユーザーの本当の熟知度としてはそれほど高くなっていないと考えられる。しかし、今回のアンケートが小規模であり、回答者も情報学専門の大学院生に限られるため、さらにアンケートの規模を広げ、この結果を検討する必要があると考える。

2) 発売された電子ペーパーの製品に触れた経験

発売された電子ペーパーの製品(ソニーの電子書籍端末リーダー LIBRIe と松下電器の電子書籍リーダー Σ book)に触れた経験に関する質問に対し、回答者60%は「経験」が「ある」、40%は「ない」と回答した。回答者の55%の人はLIBRIeに触れ、30%の人は Σ bookに触れたことがあった。両方とも触れた比率は25%であった。製品に触れた場所の質問に対して、LIBRIeには「電気店」と「知人のところ」と「講義や演習」の三箇所の選択率がほぼ同じ程度であったが、 Σ bookには「講義や演習」の選択率が7割弱と高い割合であった。

今回のアンケートは小規模で、回答者が情報専門の学生であったとしても、現有の電子ペーパーの普及率はそれほど高くないことが読み取れた。また、今回のアンケートでは、 Σ bookよりLIBRIeの方が普及していることが示唆された。

3) 電子ペーパー製品の改善点

現有の電子ペーパー製品の改善点に関する選択肢のうち、「ページめくり」についてLIBRIeが82%、 Σ bookが50%であった。評価実験において、読み速度測定により得られたデータから、LIBRIeのページめくりスピードが遅いことがうかがえ、実験協力者の内観報告から「LIBRIeのページをめくる時に、一瞬ブランクアウトするような不快感がある」というコメントもあった。この点が実際にLIBRIeに触れた回答者による改善点の選択率の高さにつながっていると思われる。その他に、「書き込み機能」の選択は、LIBRIeが64%、 Σ bookが33%であり、「製品の重量」の選択は、LIBRIeが45%、 Σ bookが50%であった。このような数値は、現有の電子ペーパー技術がユーザーに充分満足できるレベルに達していないことを示している。ただし、「解像度」についてはLIBRIeの9%に対し、 Σ bookが50%であった。これはLIBRIeの解像度に対しては、ユーザーの満足度がかかなり高いことを反映していると思われる。

「今の電子ペーパー製品を使ってみたいですか?」という質問に対し、半分の回答者は「いいえ」と答えた。これは、ユーザーが電子ペーパーの製品を厳しく評価しているからであり、今後、ユーザーに充分な選択理由を提供しない限り、新たな表示媒体として受け入れられることは難しいと考えられる。

4) 電子ペーパーの将来の応用

電子ペーパーの将来について、90%の回答者は「表示媒体の種類として存在する」の選択肢を選び、「表示媒体の主流になる」を選択した回答者は10%であった。しかし、「受け入れられずに消える」を選択した回答者はいなかった。最後の電子ペーパーの将来的な応用に関する自由回答について、回答率は75%であった。

電子ペーパーを生かせる分野とそれぞれの具体的な実用例に基づき、自由回答を以下のようにまとめた。

① 図書館や大学、企業や公共施設の資料室など、大量の書籍や資料を扱う機関における応用。

実用例：a. 利用者に数枚の電子ペーパーを配り、本や資料の貸し出しを電子化すること。例えば、借りたい本や資料を簡単にダウンロードすることができ、期限が過ぎたら内容が自動消去される。

b. 電子ペーパーで巨大な絵本を作り、日ごとに違う絵本を子ども達に読み聞かせることができる。

② 定期的にはまたは頻繁に情報を更新する業界における応用。

- 実用例： a. 雑誌（電子ジャーナル）や新聞システムへの応用。
b. スーパーマーケットの値札やバスの時刻表（臨時変更により自動的に変わる）などに応用する。
c. 町中の広告掲示板や株市場の株情報掲示板などに利用する。
d. 会社、大学及び研究に関連する機関において、プレゼンテーションや会議の席で配布資料の代わりに利用する。

③ IT分野において、既存の情報端末と一体化することによる利用。

- 実用例： a. 電子ブックに携帯電話（または携帯メール）の機能をつけることにより、場所を限らずに本が読め、メールも出来る。
b. 電子ペーパーの技術をノートパソコンやタブレットPCの表示ディスプレイに利用する。

④ デザイン分野の活用

- 実用例： a. ユーザーのニーズにより、いつでも好きなように変えられる家の壁紙に応用する。
b. 鞆やスーツケースなどの表面に張り、季節ごとにまたは気分により、模様や色を変える。
c. 電子布により、いつでもおしゃれな洋服が作られる。

5. まとめ

本研究では電子ペーパーの全貌を概説し、電子ペーパー製品の1つであるLIBRIe（ソニー）と既存の表示媒体を用い、読みの評価実験及び電子ペーパーに関するアンケート調査を行った。

評価実験の結果を前述の電子ペーパーに求められる要件と合わせて考察すると、読みの特性として備えるべき「優れた視認性」に関して、現有の電子ペーパー製品の一種であるLIBRIeはまだ完成した閾に至らないが、既存のディスプレイよりはかなり視認性がよいことが示唆された。すなわち、読みに関して、LIBRIeは既存の表示媒体の中でも紙に近い位置にあると思われた。評価実験の結果から、電子ペーパーは全ての要件をクリアするには、まだ時間がかかりそうであるが、それを目標として着実に歩みを進めているといえる。また、電子ペー

パーの応用について、現在可能性が最も高いと考えられてきたのは電子新聞¹³⁾と電子書籍¹⁴⁾であった。しかし、今回のアンケート調査の集計結果からは、今後の電子ペーパーの技術の発達に伴って、さらに広範な分野に電子ペーパーの応用が広がる可能性も高い。現在、産業界においても、電子書籍以外の応用として、表札、腕時計、そして衣装ファッションなどの製品化が試みられている。

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、必ずしも今後その目標に沿い、これまで頼りつつある紙の変わりに次世代の表示媒体になりきれとは限らない。何故ならば、従来の紙には大きな弱点がなく、数千年間にわたって発展してきたという歴史性がある。紙は安価であり、様々な筆記用具を用いて、その上に書くことができる。さらに、多くの人は紙に対する感覚を楽しんでいる。紙に触る感触、紙やインクの匂い、そして何にも増して、人は本棚にたくさんの本を置いた景色が好きである。

人は習慣的な動物である。アンケート調査の結果に反映された通り、多くの人にとって、十分な選択理由を与えられなければ（魅力がなければ）、ついに電子ペーパー製品を利用しないことも考えられる。電子ペーパーは紙の親近性、利便性、およびデジタル・メディアの機能性を組み合わせた製品として期待されているが、本研究の結果から現段階ではそれを利用する十分な選択理由を与えることが出来ていないようである。人々は、電子ペーパーという名前をつけることによって、この技術に対する期待感を表現している。しかし、電子ペーパーという名前はこの技術の将来の流行と成功を期待させるが、技術が追いついたとしても、そこには依然としてユーザーの心理が立ちだかつて来るかもしれない。

謝辞

評価実験とアンケート調査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。ここに記して感謝致します。

参考文献：

- 1) 面谷 信. “電子ペーパー—ねらいと開発の現状—”. 表面技術. Vol.55, No.12, 2004, p.874-879.
- 2) 北村孝司. “電子ペーパーの概要とトナーディスプレイ”. JAGAT (オンライン). 入手先 <<http://>

www.jagat.or.jp/story_memo_view.asp?StoryID=3895> (参照 2005-2-10).

- 3) 面谷 信. “紙への挑戦 電子ペーパー”. 東京. 森北出版. 2003. p.20.
- 4) “電子ペーパー：「The Last Book」へ向けた取り組みと今後の課題”. 毎日新聞 (オンライン). 入手先 <http://www.mainichi-msn.co.jp/it/coverstory/news/20041019org00m300076000c.html> (参照 2004-10-19).
- 5) 面谷 信. “紙への挑戦 電子ペーパー”. 東京. 森北出版. 2003. p.78.
- 6) 面谷 信. “電子ペーパーの現状と応用展望”. 情報管理. 第47巻, 第10号, 2005, p.687-697.
- 7) LIBRIe 製品情報. Sony Drive (オンライン). 入手先 <http://www.sony.jp/products/Consumer/LIBRIE/products/products_01.html> (参照 2004-12-16).
- 8) 横井利彰. “電子ペーパーがわかる本”. 工業調査会. 2002, p.39.
- 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) “電子ペーパー：「The Last Book」へ向けた取り組みと今後の課題”. 毎日新聞 (オンライン). 入手先 <http://www.mainichi-msn.co.jp/it/coverstory/news/20041019org00m300076000c.html> (参照 2004-10-19).
- 11) 面谷 信. “紙の使いやすさの本質を探る実験”. 電子ペーパー懇談会. 第二回電子ペーパーシンポジウム配布資料. 2005.
- 12) 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”. 慶応義塾大学卒論. 2004. (オンライン). 入手先 <http://www.slis.keio.ac.jp/~ueda/sotsuron04/04ogawa.pdf> (参照 2005-3-29)
- 13) 川居秀幸. “電子ペーパーの将来像を考える (その1): 電子新聞—技術委員会第7部会活動報告—”. 日本画像学会誌. 第43巻, 第5号, 2004, p.313-321.
- 14) 面谷 信. “電子ペーパーの現状と応用展望”. 情報管理. 第47巻, 第10号, 2005, p.687-697.

付録 1. 評価用紙

評価する媒体 a b c d

*先にご覧になった表示媒体に関して, 下記の項目に基づいて評価してください。(○をつけてください。)

	5 4 3 2 1	
1. 読みやすい	-----	読みにくい
2. 美しい (画面全体)	-----	醜い
3. 眼が疲れる	-----	疲れない
4. 手や肩が疲れる	-----	疲れない
5. 表示面が明るい	-----	暗い
6. 文字がはっきりした	-----	ぼやけた
7. 集中しやすい	-----	集中しにくい
8. 扱いやすい	-----	扱いにくい
9. ページをめくりやすい	-----	めくりにくい
10. 快適な	-----	不快な
11. 軽快な	-----	重々しい
12. 楽しい	-----	つまらない
13. 好き	-----	嫌い
14. 親しみやすい	-----	親しみにくい
15. 新しい	-----	古い
16. リラックスした	-----	緊張した

付録 2. アンケート用紙 & 結果

(* 括弧の中の斜体数字は選択肢に選んだ人数とその人数が回答者全員に占めた比率を示している。)

性別：男・女 年齢： 職業：

下記の問題にお答えください。

- 1. 今回の電子ペーパーの紹介資料を読む前に, 電子ペーパーのことを聞いたことがありますか?
 - a. はい → 次の問題へ進む (17人, 85%)
 - b. いいえ → 2. にジャンプ (3人, 15%)
- 電子ペーパーのことをどれくらいにご存知ですか?
 - a. 大変よく知っています (4人, 24%)
 - b. かなり知っています (3人, 18%)
 - c. 少し知っています (8人, 47%)
 - d. 聞いたことある (2人, 11%)
- 2. 発売された電子ペーパーの製品に触れたことがありますか?
 - a. はい (12人, 60%) b. いいえ (8人, 40%)

※ a. を選んだ方は次の問題をお答えください。 b. を選んだ方は 3. にジャンプしてください。

- 1) 触れた製品は以下のどれですか? (複数回答可)
 - a. ソニーの電子書籍端末リーダー LIBRIe (略語: LIBRIe) → 2) -①-②-③へ (11人, 55%)
 - b. 松下電器の電子書籍リーダー Σ Book (略語: Σ

- Book) → 3) -①-②-③へ (6人, 30%)
- 2) -① LIBRIe をどこで触れました? (複数回答可)
- a. 電器店で (4人, 36%)
 - b. イベントや図書フェアで (0人, 0%)
 - c. 講義や演習で (6人, 55%)
 - d. 知人が持っていたので (4人, 36%)
 - e. 自分が持っている (0人, 0%)
 - f. そのほか: 実験で (2人, 18%)

-②触れた感想はいかがでしたか?

- a. 感動した (0人, 0%)
- b. 思ったよりよかった (4人, 36%)
- c. まあまあ (5人, 45%)
- d. 思ったよりよくなかった (2人, 18%)

-③LIBRIeの改善点があるとすれば、どんなところですか? (複数回答可)

- a. 解像度 (1人, 9%)
(もっと文字がはっきり見えるように)
- b. 製品の重量 (5人, 45%)
- c. ページめくり (9人, 82%)
- d. 書き込み機能 (7人, 64%)
(自由にメモを書き込めるように)

- 3) -①Σ Book をどこで触れました? (複数回答可)
- a. 電器店で (2人, 33%)
 - b. イベントや図書フェアで (0人, 0%)
 - c. 講義や演習で (4人, 67%)
 - d. 知人が持っていたので (0人, 0%)
 - e. 自分が持っている (0人, 0%)
 - f. そのほか: _____ (0人, 0%)

-②触れた感想はいかがでしたか?

- a. 感動した (0人, 0%)
- b. 思ったよりよかった (0人, 0%)
- c. まあまあ (5人, 23%)
- d. 思ったよりよくなかった (1人, 17%)

-③Σ Bookの改善点があるとすれば、どんなところですか? (複数回答可)

- a. 解像度 (3人, 50%)
(もっと文字がはっきり見えるように)
- b. 製品の重量 (3人, 50%)
- c. ページめくり (3人, 50%)
- d. 書き込み機能 (2人, 33%)
(自由にメモリを書き込めるように)

- 4) 今の電子ペーパーの製品を使ってみたいですか?
- a. はい (3人, 25%)
 - b. いいえ (5人, 42%)
 - c. 分からない (4人, 33%)

3. これから、電子ペーパーの技術がどういうことに生かされると思いますか? 下から選んでください。(複数回答可)

- a. 電子ブック (13人, 65%)
- b. 電子新聞 (10人, 50%)
- c. 広告のポスターや掲示板 (13人, 65%)
- d. 教科書 (6人, 30%)
- e. そのほか: _____ (5人, 25%)

4. あなたは電子ペーパーの将来について、どう思いますか? (複数回答可)

- a. 表示媒体の主流になる。 (2人, 10%)
- b. 表示媒体の一種類として存在する。 (18人, 90%)
- c. 受け入れられずに消える。 (0人, 0%)
- d. そのほか: _____ (0人, 0%)

5. 3番の選択肢以外に、電子ペーパーの技術はどの分野で、どのように使えそうですか? ご自由に書いてください。(この問題の回答は本文の128ページ目の「4) 電子ペーパーの将来の応用」の部分にまとめている。)