

入出力デバイスとしての電子ペーパーと その活用について

渡 辺 卓 也

キーワード：情報機器・デバイス・教育学習方法

1. はじめに

この文章は、私がキーボードを打鍵したり、マウスで文字列をドラッグしたりしながら、パソコンのワープロソフトで作成したものである。現在、パソコンによって論文やレポートを作成することは当然のことのようにになっているが、それ以前、こうした文書を作成する作業は、調査・思考・表現といったプロセスに大別され、それぞれに固有の手法やツールが存在していた。調査には、書籍や雑誌をはじめとする文献が必要であり、大量の文献を管理している図書館を利用するにはそれなりのスキルが必要であった。思考には、情報を外部化して構造化したり、討論によって内容を検討する手法が必要とされた。そして表現には、文書作成や発表についての技術的な手法を習得することが重視された。

1990年代以降、インターネットの普及、パソコンの性能やソフトの機能の向上にともない、上記のプロセスはすべて一台のパソコンで行うことが可能になった。また、文字、画像、音声、動画等多くのマルチメディア情報がパソコンで利用可能になった。インターネット上には、様々な情報がこれらの多様なかたちで日々蓄積され、利用されている。近年はYouTubeをはじめとする動画サイトにさまざまな動画がアップロードされ、利用者も増大している。その一方で、我々はインターネットを、ほとんど情報を取得することに利用しており、情報を発信・表現することは比較的少ない。さらに、情報発信はほとんど文字というメディアを介しておこなわれている。たとえば携帯電話は通話を主体とする電話が携帯性を備えたことで普及した機器であったが、現在この機器で最もよく利用される機能はメールである。YouTubeに動画を投稿する人よりは、視聴する人の方が圧倒的多数であり、動画に対するコメントはもっぱら文字で行われるようになっている。

このように、ネット上を流通する情報の多くが文字を媒体としている理由の一つには、コンピュータをはじめとする情報機器が実装している入出力デバイスが、文字の入出力を効率的に行う特徴をもっているという事実がある。本稿は、現在幅広く利用されている情報機器に実装された入出力デバイスの特徴を概観し、コンピュータが普及する前にメディアの主流を担って

きた紙と筆記具という手法とのデバイス的な観点からの比較を行う。次に、近年開発が進み、実用段階が近付いているという電子ペーパーの入出力デバイスとしての可能性を検討し、主にその教育・学習面での活用法についての提言を試みるものである。

2. 入力デバイスとしてのキーボード

現在、コンピュータの入力デバイスとしてもっとも利用されているのはキーボードである。キーボードはアルファベットや数字、記号の文字を1個または複数個ずつキーに割りあて、キーを打鍵することで文字を入力する。その発端は、19世紀中期にアメリカで開発されたタイプライターである。キーの文字配列については数種類の方式があり、いくつもの変遷があったようだが、いわゆる QWERTY 配列（手前から4段目の文字配列が、左から QWERTY であることからそう呼ばれている）が主流となった（文献 [1]）。キーボードは電信による文字送信装置にも採用され、文字入力デバイスとしてのシェアを高めていった。こうしたことから、20世紀半ばにアメリカで誕生したコンピュータが大型計算機から時分割システム、事務用機器の中核へと一般化と実用化を高めてゆく中で、キーボードが主要な入力デバイスとして採用されたことは自然な流れであったと言ってよいだろう。

キーボードの最大の特徴は、文字を高速で入力できることである。欧米で使用されているアルファベットは大文字小文字それぞれ26文字であり、シフトキーの利用によって26個のキーですべてのアルファベットを入力できる。QWERTY 配列の打鍵操作上の妥当性はともかくとして、キー配列を記憶する訓練によって相当な速度で文字入力を行うことができる。19世紀後期のアメリカで、1分間に100ワード以上のタイプ入力速度が記録されている。1ワードは平均5文字程度と考えられるから、1分間に500タッチ以上という速度である。当時のタイプライターは、キーを打鍵すると機械的に活字ハンマーが跳ね上がって紙に印字する機構であり、文字入力速度は機械的な制限を受けていたと考えられるが、そうした中でも人間の通常の発話ペースに対応して口述筆記ができるほどの入力速度が実現できたのである。現在パソコンに実装されているキーボードには、タイプライターのような機械的な制限はほとんど存在しないので、当時よりも多くの人が高速なタイプ入力を達成していると思われる。

このような高速入力デバイスの出現は、人間の思考を文字によって外部化する上で画期的な役割を果たしたと言えるだろう。しかし、キーボードに固有の問題もいくつか存在する。第一に、導入時の困難がある。高速入力を行うには、キー配列を覚え、訓練しなければならない。この点、欧米の言語に比べて、ひらがなだけでもアルファベットの2倍あり、さらにカタカナと数万におよぶ漢字を使用する日本語では状況は深刻である。こうした多様な文字を持つ日本語をキーボードから入力するため、さまざまな工夫が行われてきたが、現在でもアルファベット並の高速入力の実現は難しい。第二に、文字入力という操作の身体性にかかわる問題がある。つまり、打鍵による文字入力という操作が、従来の手書きの運動とは身体的に全く異なってい

るということからくる弊害が考えられる。日本語は本来、使用する文字の多様さを文化的な特徴とする面があり、書き方教育を初等教育において重視してきたが、キーボードや携帯電話の使用は手書き文字の想起における困難や誤変換など深刻な状況をもたらしている。さらに、継続的利用による、腱鞘炎など肉体的障害発症の恐れがある。

3. マウス等、ポインティングデバイス

マウスは、その移動により画面上のマウスカーソルを動かし、クリックにより位置情報などの入力を行う機器である。手でつかんで机上をすべらせて操作するよう、一定の大きさを持ち、平らな底面を持っている。マウスがコンピュータの本格的なデバイスとして導入されたのは、ゼロックス社のアラン・ケイ等が開発した Alto が端緒である。その後 Alto に搭載されたグラフィカル・ユーザー・インターフェース（GUI）に刺激され、基本ソフトまでも GUI で実現しようという動きが急速化して、マウスの入力デバイスとしての地位が定着したと言える。

パソコンの GUI において、マウスは手の延長としてさまざまな入力操作を媒介する。おもな用途は、マウスの動作を介してのメニューの選択、範囲の選択、オブジェクトの描画や移動などである。メニューを選択したりボタンを押すという動作は、マウスを移動させて画面上のポインタを移動し、目的の場所でマウスのボタンをクリックすればよい。このような単純な操作は少しの訓練でほとんど直感的に行えるようになる。

しかし線描のような繊細な操作に関しては、随意性の点で問題が多い。たとえばマウスによる手書き文字入力は、日本語変換ソフトに搭載されている手書きインターフェースを介して行うことができ、読み方がわからない漢字や記号を入力する場合などには有用性が高いものである。この使用法は情報リテラシー等の授業の中でも取り上げ、学生に文字学習のツールとしての利用を推奨してはいるが、実際にはあまり利用されているようには見えない。その要因の一つに、マウスによる漢字の手書き入力操作の困難が考えられる。われわれがパソコン利用以前に文字を手書きしていた動作とマウスによる手書き文字入力とを比較すると、本質的に異なる点がある。第一に、操作するマウスの本体と、ディスプレイ上のポインタとが物理的に離れているということである。第二に、マウスで線を引く際にはマウスボタンを押しながら移動するドラッグという操作を多用するが、ドラッグによって繊細な線描を行うには訓練が必要である。

まして、図形の描画のような操作では、文字の入力よりも一段上の繊細さが必要とされ、従来の筆記用具のように手の延長として機能するためにデバイスにもデザイン性が追求される。マウス操作では筆圧に相当する表現が直感的に行えないため、移動速度などを筆圧に変換するような疑似的な方法が取られることになる。デザイナー等、線描をよく行う人は、マウスよりも繊細な入力が行えるペンとタブレットの組み合わせを利用しているが、一般には普及していない。

また、マウスを操作する時は片手を使うため、キーボードから片手を離す必要がある。そのため、たとえばチャートの作図のように文字入力を行いながらもたびたび線描を行いたいという時には操作の不連続性が煩雑に感じられる。このようなマウスによる手の拘束を解消して、キーボードを操作しながらポインティングできることをねらって開発されたデバイスがトラックポイントやトラックボールであり、キーボードの中心部の隙間に埋め込まれたものや、手前に配置されたものが多い。これらはキーから指を離さずにポインティング操作を行えることが利点ではあるが、ポイントの位置や移動速度などを指だけで調整する操作はマウスほど容易ではない。

4. 出力デバイス

最初の出力デバイスとしての印刷

印刷はコンピュータにとって最古のデバイスであると同時に、今もってなおパソコンの主要な出力デバイスである。かつて時分割システムの端末から、パソコンへと移行する時期には、テレタイプが端末として使用されていた。テレタイプはロール紙に印字するキーボード端末で、キーボードからの入力も、通信先からの応答もロール紙に印字され、入力も出力も同一のデバイスによって確認できるという意味で、紙のメディアとしての特性が活かされる部分もあった。ただし紙への印字は逐次的に行われるため、ファイルの編集は1行ずつの処理をコマンドによって行う、ラインエディタによらねばならない。その他にも、誤操作による大量の出力の発生による印刷資源の大量消費や、印字にかかる時間的な問題を持っていた。

ディスプレイの出現と印刷機能の分化

ブラウン管（CRT）ディスプレイの出現により、出力デバイスにおいて、表示デバイスと印刷デバイスという分化が生じる。これによって、印刷資源の大量消費という問題の解消と並行して、ディスプレイで表示するものと紙に印刷するものとの分化がおこる。たとえばディスプレイではどうしても表示が一時的なものになるため、コマンド操作やファイル編集作業などの表示が主流になる。また、ディスプレイ表示は端末やパソコン本体に付随しているので、その場にいるものしか見れないという空間的な制約がある。一方で印刷機能は、ディスプレイの一時的や場所限定性という短所を補う存在へと転化する。パソコンによって紙に印刷されるものは、他人に送る文書や、後でゆっくり見たいもの、そして書きこみによって訂正したいものなどになっていった。印刷機器の独立性はこのデバイスの特色をなしている。現在でも印刷は基本的にプリンタという機器に依存している。それは印刷機器が精密機械としての性質を持つこと、印字にかかる時間的なコストから処理系としてのパソコン本体を開放すること、などの理由があり、このことが表示デバイスと印刷デバイスを時空間的に分離していることには着目しなければならない。

液晶の出現

2000年以降、液晶による薄型ディスプレイの価格が低廉化し、パソコンやテレビへの普及が進んだ。液晶は現在のパソコンにおいて、最も使用されている出力デバイスで、従来主流であった CRT に比べて薄くて軽いことが長所である。近年は液晶ディスプレイの価格の低廉化がすみ、24インチ程度の大画面液晶も普及が進んでいる。この程度の大きさになると、A 4 版の文書が実寸で見開き表示できることから、文書作成上の閲覧性の問題はかなり改善しているといつてよい。また、マルチディスプレイ機能によって複数のディスプレイを接続して連動表示する方式も活用されている。

5. デバイスと機器の携帯性

上記のようにデバイスは新技術の実現によって多様化し、また電子部品の小型化とともに、パソコン自体の小型化にも貢献した。こうして小型化したパソコンには、省スペースや携帯性という付加価値が生まれている。最初、計算器室に置かれていたコンピュータがパソコンとなって個人のデスクトップ（机上）に置かれるようになった。デスクトップパソコンは移動ができない半面、大型画面で画像を扱う作業や、複数のウィンドウを開いて並行作業を行うことに利用されている。また、印刷機器であるプリンタも据え付けで使用される機種がほとんどであることから、印刷はデスクトップパソコンを介して行われることが多い。

ついでプラズマや液晶による薄型ディスプレイの出現や小型化にともない、携行性にすぐれたラップトップ（膝上）パソコンが出現する。ラップトップパソコンは薄型ディスプレイからなる表示デバイス部と、本体とキーボードやトラックポイント等からなる入力デバイス部が蝶番に結合され、非使用時にはこれらが折りたたまれて半分の大きさになる。デスクトップパソコンが経済性や安定性などから、移動を必要としない職場や家庭に置かれることが多いの対し、ラップトップパソコンはさらに小型化を進め、省スペース性から小型のデスクトップとして用いられたり、出張等の移動時に携行され、その後ノートパソコンと呼ばれるようになる。近年は高速無線 LAN 技術の発達普及にしたがい、通信端末としても注目されている。小型化の進行によってサブノート、ミニノートというカテゴリーも出現している。しかし立ったままの使用や歩きながらの使用に適するほどの携帯性はまだない。

さらなる小型化はパームトップ（掌上）への流れを形作るかにも見えたが、現在は携帯情報端末（PDA）や携帯電話が多機能化して小型情報端末の主流を占めている。小型情報端末の入力デバイスの中には、携帯電話のように番号キーを複数回押す操作でかな入力を行うものや、PDA の中には極めて小型化されたフルキーボードを実装するものがある。このため、片手で持ち、操作できるほどの大きさや軽さを実現し、立ったまま、および移動しながらの使用も可能であるなど、携帯性においてはもっともすぐれている。ただし入出力デバイスが非常に小型化されているため、操作性や表示性には制限がある。若者はコミュニケーションツールとして

携帯電話を常備し、メールを中心手段としたコミュニケーションを行っている。利用料金という経済的な事情もあるが、複数の相手から送受信できること、通信にかかる時間に任意性があること、そして時空間を問わずにコミュニケーションが行えることなど、従来の電話をはるかに超えた機能と自由度を有していることが大きな理由であろう。

このように、情報端末の多機能化や多様化は著しい勢いで進んでいる。そのことが情報端末の利用機会や利用者数を拡大したことは間違いない。その一方で旧来からのメディアである紙というものも依然として利用されている。

6. 入出力デバイスとしての紙と筆記具

紙の発明以来、我々は紙に何かを書き、紙に書かれた何かを読むという作業をずっとやり続けてきた。半紙に筆と墨で書く、画用紙にクレヨンで書く、ハガキや便せんペンで書く等、これらの行為に共通する構造は、「メディア（＝紙）に筆記具で書く」ということである。洞窟の壁や粘土板が紙に置き換わったとき、その画期的な点は携帯性と保存性にあったと言えるだろう。そして、同一の文書を印刷によって大量増殖するという知見も、紙の普及なしには生まれなかった。

かつて文書作成において、紙は無くてはならないものであった。図書館や書店で紙の文献を入手して読み、紙のノートに要点をまとめた。下書き、添削、清書というプロセスもすべて紙を用いて行った。完成した論文も紙に印刷されて刊行されるものであった。

現在では文書作成のほとんどのプロセスがパソコンを用いて行えるようになっている。われわれはディスプレイ画面で文書のレイアウトを確認しながら作成し、完成した文書もディスプレイ画面で確認するだけですましている。ペーパーレスという言葉がさかんに喧伝された時もあった。にもかかわらず、紙に書かれた文書は今もって無くなっていない。

紙が利用され続けているのはなぜであろうか。たとえば上記の文書作成過程について考えてみよう。文献の入手は、既存の書籍の多くが紙という実体をとっているため、必然的に紙の利用になる。既存の書籍はともかく、現在刊行されているものについても、流通面、権利面等の事情から電子化が急速に進むことは必ずしも期待できない。論文の刊行においても印刷・製本というスタイルが相変わらず行われている。また、文献を読んでいて、要点を抽出したり、ヒントが得られたとき、図書館の本に書き込んではいけないし、自分の本であったとしても、当該個所に書き込むだけでは後で探せなくなるなどの問題点も出てくる。こうしたメモ的な記述をするためにノートパソコンを立ち上げたり、携帯電話に文字を入力するのは慣れない者には億劫である。そこで手帳に書き込んだり、付箋を貼ったりということになる。こうした即時性が要請される軽い作業には、今でも紙に手書きという操作が一番であろう。また、文書作成過程はワープロソフトによってほとんどパソコン上で行えるが、添削や校正のように書き込みを必要とする作業は紙に印刷したものによって行うことも依然として多い。それは書き込めると

いう紙の特性にもよるが、紙に書かれた情報が固定していることや、閲覧のしやすさが修正箇所の発見を促しているのではなかろうか。

このように、文書作成のプロセスひとつ見ても、紙はそれ以外のパソコンの入出力デバイスでは置き換えられない特徴をもっていることがわかる。よく指摘されている紙の特性をまとめてみよう。(文献〔2〕 p122 を参考)

- (1) **ページ全体表示** 紙に作成された文書や図は、1 ページないし見開きで全体を見渡せるようにデザインされていることが多い。これは、紙の軽量性と大きさの具有という特性によるところが大きい。
- (2) **複数枚同時閲覧** 複数枚の紙を両手で持ったり、机上に広げたりして、同時に複数の紙を見ながら相互に参照したり、比較したりという作業が容易にできる。
- (3) **自由保持** 紙に書かれたものが保持するために特別な操作やエネルギーは必要としない。
- (4) **閲覧場所自由度** 紙は軽量性と大きさを具有しながら、折りたたんで携行することができる。また多数の紙を綴じることによって大量の情報を携行しながら、自由にそれを閲覧することができる。

さらに、紙は書き込みという入力デバイスの機能も備えている。紙の書き込み機能は、教育・学習においては無くてはならないものである。

同時に、紙がもつ本質的な弱点もある。

- (1) **情報の容積効率** 媒体と情報とが分かちがたく結合していることは紙の宿命である。そのため記述された情報は紙の大きさによって制限され、文字サイズによる視認性と文字数による情報量とのトレードオフが存在する。
- (2) **情報流通の効率** これも上記の宿命により、紙による情報伝達には媒体自体の運送を伴う。
- (3) **資源** 紙の原料としての木材等の消費、および製造過程に資源を要する。

このような紙の特質と比較して情報端末に実装されているデバイスの問題点を整理してみると、次のようになるだろう。

- (1) **閲覧性** ディスプレイには画角の狭さからくる閲覧性の問題がある。大画面ディスプレイやマルチディスプレイ機能を実現できるのはデスクトップパソコンを利用する場合に限られており、携行性をそなえた情報端末においては閲覧性の問題は依然としてある。また、閲覧性と関連して、同一の姿勢を取り続けることによる疲労や、液晶のバックライトを継続的に注視することによる疲労などの問題もある。
- (2) **入力操作と視覚確認の分離** 出力デバイスと入力デバイスの分離によるものとして、入力操作と視覚による確認の分離がある。文字入力でも、アルファベットのように表音文字による入力においては、キー入力のみを正確に行えばよく、視覚による入力確認の重要性はそれほど深刻なものではない。しかし日本語のように多様な文字体系を持つ場合、キーボー

ドによる文字入力でも入力・変換・確定といった一連の操作が必要であり、それらが入力デバイスと出力デバイスの併用を伴うため、これらのデバイスが空間的に分離していることが操作上大きな影響を及ぼしていると考えられる。

- (3) **入力デバイスの問題** また、入力デバイス内でも、キーボードやテンキーによる文字入力手段とポインティングデバイスによる図形描画手段の分離による操作の不連続性、ポインティングデバイスによる手書き文字入力や図形入力時の不随意性などがある。
- (4) **その他** これは必ずしもデバイス自体の問題とはいえないが、即時性の無さ、つまりシステムの立ち上がりの遅さも快適な使用を妨げる大きな要因である。さらに資源面からみると、ディスプレイが電力消費を伴うことは、紙が資源を消費することと同質の問題を持っている。

7. 電子ペーパー

現在、紙の持つ特質を生かしつつ、表示を電子的に行う電子ペーパーの技術が実現性を高めている。具体的には、電気泳動方式やコレステリック液晶方式などが実用段階に入っており、すでに2004年に電子書籍の表示端末として実用化されている（文献〔2〕）。他にもさまざまな表示方法が研究途上である。電子ペーパーの特性は、反射光を利用した疲れにくい表示（反射型）、表示が一定時間保持されること（メモリ性）、薄型軽量、電源の心配からの解放、など、従来の紙の特性をできるだけ取り入れながら、デジタル技術との連携を目指すものである。電子ペーパーの用途や実現方法にはいろいろな方向性があり、すべてがすぐに実現できるわけではない。ただ、将来的な可能性も含めて、これまでの入出力デバイスとの機能的な比較を試みれば図1のようになるだろう。この図は、情報端末の入出力デバイスとしての電子ペーパー、ならびに従来の出力デバイスとしてのディスプレイ、印刷、そして入力デバイスとしてのキーボードとポインティングデバイスを配置し、それぞれの特性を四角いボックスに記述したものである。実線の矢印は、電子ペーパーが各デバイスに対して持つ優位性を示し、破線の矢印は各デバイスが電子ペーパーに対して持つ優位性を示している。現状では電子ペーパーの実現性に関して未解決の部分も多いが、他のデバイスのいろいろな短所を補う可能性があることがわかる。また、現在のところ、電子ペーパーは表示デバイスとしての需要が主として考えられているようであるが、タッチセンサ等の入力機構と連動することで、これら入出力デバイスの機能を統合する可能性を持っていることも理解できるだろう。

8. 電子ペーパー情報端末

ここでは、上述のような電子ペーパーのうち、電氣的な書き換えが可能で、タッチセンサを具えたような入出力デバイスを実装した情報端末を想定し、これを「電子ペーパー情報端末」と呼ぶことにする。この情報端末がどのような機能を持つべきかを検討してみよう。

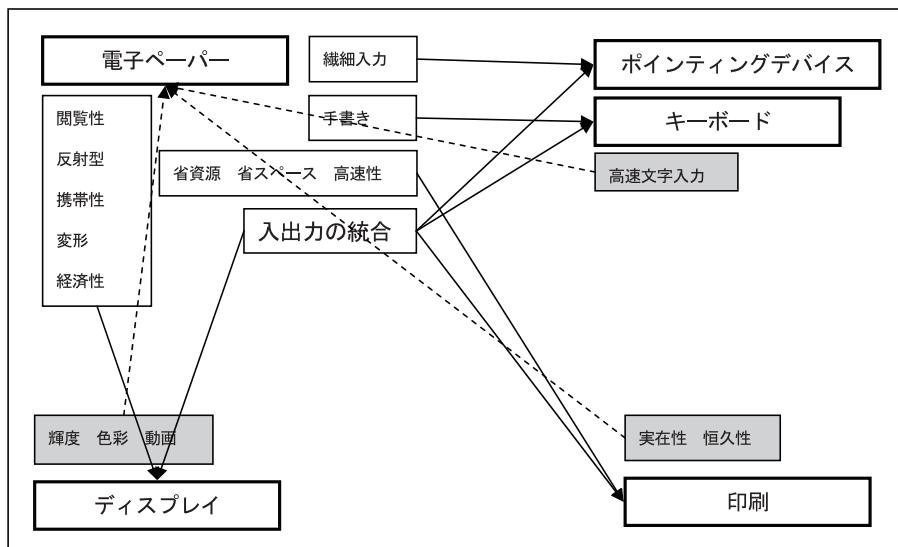


図1 電子ペーパーと他の入出力デバイスとの特性における比較

電子ペーパーの外観

実際に携行されている紙を考えると、手帳サイズから新聞紙までさまざまであり、電子ペーパーのサイズも携帯性と閲覧性の双方から決定することが望ましい。たとえばよく流通している書籍のように、ふだんはA5版で折りたたんで携帯し、必要に応じて見開きにするというデザインが考えられる。電子ペーパーは現在のところ2つ折りにするのは難しいので、A5版の電子ペーパー2枚を蝶番にして実装してもよいだろう。その際、継ぎ目は目立たないように、また2枚のペーパーにまたがる操作がしやすいような滑らかさをもっていることが望ましい。

コントローラー

電子ペーパー単体としては、本来の紙が持つ携帯性や閲覧性をできるだけ踏襲するように軽量にするべきで、記憶、通信等の中核的な処理機能を担うコントローラーが別途必要であり、システム全体の携帯性を要求すると、それは現在のミニノートパソコンや携帯電話などの小型情報端末が担うことになるだろう。コントローラーと電子ペーパー間の通信は無線で行われる必要があるだろう。

複数のペーパーへの表示機能

液晶ディスプレイに対して電子ペーパーが非常に薄く軽量で、かつ安価に実現できるならば、複数のペーパーを常時携帯して同時に使い分けることができるようにするべきだ。そのためコントローラーは登録した複数の電子ペーパーに対して以下のような表示機能を有していることが望ましい。

入出力デバイスとしての電子ペーパーとその活用について

- (1) 複数ペーパーによる独立表示 たとえばウィンドウシステムの1つ1つのウィンドウが個々の電子ペーパーに表示できる。
- (2) ペーパー間の表示コンテンツの切り替え
- (3) 複数ペーパーへの同一コンテンツ表示
- (4) 複数ペーパーによる連結表示 マルチウィンドウ表示と同様に、結合した複数の電子ペーパーによって大画面表示ができる。

ペーパーへの手書き入力、タッチ操作機能

電子ペーパーが表示だけを行うのでは、その価値は半分しか発揮されない。タッチセンサを搭載することで、電子ペーパー上でリアルタイムに手書き入力やタッチ操作を行えることがぜひとも必要である。タッチセンサの搭載は後述するようにとりわけ教育・学習環境には強力な機能をもたらす可能性がある。さらに携帯性や操作の直感性を考慮すると、専用ペンによる接触と手やその他の物体による接触とを区別できる機能があることが望ましく、これらからの接触を同時にいくつか許容できるとさらによい。もちろん、高速の文字入力を行えるよう、コントローラーや付属のキーボードなどからの文字入力にも対応するべきであろう。

9. 電子ペーパー情報端末を活用した教育・学習

上記のような情報端末が実現したとして、これを活用すればどのような教育や学習活動が展開されるかを考えてみよう。電子ペーパーが紙の携帯性や閲覧性および低廉な価格を実現できれば、ほとんどすべての学習者が、初等教育、あるいは学習の初期段階からこのデバイスを複数枚携帯することができる。

初等教育における手書き学習の促進

電子ペーパー情報端末では手書きによる文字入力、図形の描画などを同じデバイスを使ってほぼ連続的な操作で行える。子どもの手書きデータの蓄積は発達科学や教育学において重要な研究資料ともなりうる。キーボードによる高速文字入力の習得にも、同一デバイスが使用できるという点で学習上の連続性が期待される。

普通教室における活用

普通教室のさまざまな授業において、電子ペーパーの活用が促進されることも期待される。これまで、いろいろな教育現場においてすべての学習者が情報端末を教育に活用するべく、情報教室の活用やノートパソコンの貸与などの方策が実施されてきたが、十分な効果があげられていない場合も多い。情報教室については、教室の数が少なく複数のクラスで共有することが困難なこと、教室の移動を伴うこと、教員の設備操作における熟練の必要性、教室を自習用に

開放することの保安上の困難などが主な障壁となる。ノートパソコンについては、多数の端末のメンテナンス上の負担、学習者側の経済的負担増、携行するにはやや重いなどの要因がある。また、現在の普通教室で学習者がノートパソコンと教科書、資料を同時に開いて学習するには、使用できる机等の個人的なスペース上の困難がある。教材のデジタル化によって机上をパソコンのみにすることも考えられるが、複数資料の同時閲覧や、書き込みといった学習上の操作がかなり限定されてしまう。

電子ペーパーを複数枚活用すると、机上のスペースに電子ペーパーによる教科書、資料、ノートを置くことができる。これらのコンテンツはコントローラーを通じて画像配信される。すべてのペーパーには同一の専用ペンで書き込みを入れられ、高速文字入力が必要であれば付属のキーボードを使用して入力できる。学習者はレイヤー機能によってそれらの書き込みを不可視にして、あとの学習に役立てることができる。設定によっては教員が学習者のノートを回収することもできる。

情報系科目における活用

これまで情報系科目において行われてきたパソコンの操作法等の教育に関しても事情が変わってくる。パソコンで動作したアプリケーションソフトのほとんどがコントローラーと電子ペーパー上で操作できることが期待される。そうしたアプリケーションの実習に情報教室は必ずしも必要ではなくなる。

現行のウィンドウシステムならば、デジタル教材やヘルプシステムを同一画面内に表示して参照しなければならず、閲覧や操作がかなり煩雑である。また、情報教室における授業では、教員がパソコンを操作する様子を教員用ディスプレイやスクリーンに投影して提示することがよく行われているが、学習者に視線の変更を強要する等の問題がある。複数枚の電子ペーパーが活用できる環境ならば、教材やヘルプファイルを別ペーパーに表示して参照しながら、アプリケーションのみを表示したペーパーでの操作に専念できることになる。

また、CRTや液晶ディスプレイは学習者の前方に位置するため、視界を妨げる存在であった。こうした障害は、電子ペーパーの導入によって無くなることになるが、このことが学習者間によいインタラクションをもたらすのか、単なる私語の増大をもたらすかは授業運営方法に関わることである。

ちなみに、アプリケーションが電子ペーパー上で動作するということはアプリケーションの操作に関していくつかの新しい視点を提供する。第一に、学習者はこの電子ペーパーを持ち歩いたり、持ち上げたりして誰かに見せることができるので、操作方法がわからないときに誰かに見せながら指示を受けたり、複数人で討議しながらアプリケーションを操作することも容易になる。第二に、アプリケーションによって生成したデータを印刷するとき、電子ペーパーへの印刷は印刷プレビューと同じになる。とりわけ、ワープロや、電子ペーパーでの表示を前提

とした Web デザインについては、原理的には完全な WYSIWYG (What You See Is What You Get) 環境が実現する。ただしコンテンツの発色や解像度など、電子ペーパーの表示能力に依存する点が多い。また、インターフェースとしての操作パネルやメニューは、電子ペーパーを表示デバイスとした場合に操作性が最適化されるように再構成する必要があるであろう。第三に、電子ペーパーが反射光であるという特性は、昼間野外でのアプリケーションの可視性がよいという点では液晶に対して有利である。反面暗い場所では何らかの光的補強が必要になる。

レポートの作成

レポートを作成する際には、文章の構造を組み立てることが重要になる。Microsoft Word 等のワープロにはアウトライン機能があり、見出しの順序や階層レベル変更、自動番号生成を行うことができる。また、アイデアプロセッサと言われる種類のアプリケーションでは、KJ 法のような発想法にならって項目をカード化し、カード間の関係を図示化できる機能を持つものもある。これらの機能は文章構造の編集作業に有効ではあるが、いくつかの理由から文書作成教育において幅広く活用される状況には至っていない。理由の一つは、文章構造の編集はアウトラインにせよ図示化にせよ、構造全体を見渡せる環境で行わなければ効率が上がらないということである。1 枚の小さな電子ペーパーではこの事情は変わらないが、複数枚を連結して大画面として操作できるという機能が実現すれば、構造編集のプロセスは見通しのよいものになるだろう。もう一つは、キーボードとポインティングデバイスによる、文字入力と図形描画における操作の不連続性があげられる。電子ペーパーによって、入力デバイスが統一されると、こうした操作上の障壁が軽減されることが期待される。

大きな電子ペーパー黒板

電子黒板はすでに液晶技術によって実用化されているが、すべての普通教室に導入される段階にはいたっていない。電子ペーパーにおいても、黒板ほどの大面積に迅速な表示が行えて、なおかつ複数の同時タッチ操作に対応するものが低廉な価格で実用化される見通しはまだ立っていないが、実用化されれば次のような活用法が考えられるだろう。

- (1) 専用チョークによる黒板への直接板書
- (2) 手元の電子ペーパーに手書きしながらの黒板表示
- (3) 複数の参加者による、同時板書
- (4) 黒板上の情報の保存、配信

課題配信、作成、提出、添削のフロー

課題を実施するときは問題用紙、解答用紙を学習者の電子ペーパーに配信する。これらの用紙は実際にはサーバー上に置かれたデータをブラウズしているだけで、ローカルには保存され

なくてもよい。

学生は解答欄に手書きで解答を入力できる。この入力された手書きのベクタまたはラスターデータはレイヤーに保存されている。もし有能な手書き文字認識エンジンがある場合は、文字認識データもさらに別レイヤーに作成されるだろう。

提出の操作を行うと、これらのレイヤーデータのみがサーバーに送信される。教官は提出されたレイヤーデータを解答用紙画面に重ねて表示しながら、手書き操作によって採点できる。手書き採点は添削手書きレイヤーに、書き込んだコメントの文字認識情報は添削文字認識レイヤーに作成される。採点結果を受け取った学生は、解答用紙、解答手書きレイヤー、解答文字認識レイヤー、添削手書きレイヤー、添削文字認識レイヤーなどを必要に応じて重ねて表示することで、添削結果を確認できる。この際、文字認識レイヤーは音声読み上げにも利用できる。

教員は学生に答案を返却した後も、解答を複写して保存、分析したいということがよくある。手書きを含めてレイヤーデータを残しておくことは、複写の作業も削減する。

このしくみは、授業評価アンケートなどにも応用できる。回答方法はマウス操作によるよりも、紙とペンによる操作の方がより多くの人にスムーズに行えることから、回収率向上につながる。見開きのレイアウトが、自分の回答状況の確認を容易にし、誤答の減少にも貢献するであろう。また、アンケートを実施するのにオンライン方式を利用する際にも、必ずしも情報教室を確保する必要はなくなる。

レイヤーによるアニメーション

レイヤーごとに異なる画像を作成して、これらのレイヤーを順次切り替えて表示するように設定すると、簡単なアニメーションを再生することができる。利用者は紙を手にする手軽さで、逐次的な図解によって物事をより深く理解することができる。

数式を取り入れる

数式は入力が難しい。論文作成システムとして多用されている TeX の数式処理や、ワープロの数式エディタが利用されているが、高速入力は今もって難しく、現状でも手書きが最も速く入力できる。現実の授業において、教師が積分方程式を板書するのをパソコンにリアルタイムに入力できるのは相当にマニアックな学生であろう。この事情は文字入力と手書き入力ができるだけ連続的な方法で行われるデバイスがあればかなり改善するはずである。

電子図書館や電子書籍の利用

多くの書籍をデジタル化して自由に閲覧できる電子図書館のプロジェクトが展開している。また市販の書籍についても、デジタル化された電子書籍として供給する動きがある。電子書籍の普及は、決してはかばかしくはないが、デジタル化によるメリットもあり、電子ペーパーの

普及によって実用化に拍車がかかることは期待されることである。

見開きの電子ペーパーに電子書籍を表示しての読書は、従来の読書にかなり近い行為になると思われる。反射光であることは目の疲労を軽減して連続的な読書を可能にする。紙のような携帯性は読書時の自由な姿勢を許容する。ただページをめくるという操作がかなり異なっている。この操作がペンや指によるタッチに置き換わること自体はあまり大きな問題とはならないであろうが、めくる途中に次のページが少しのぞくことや、パラパラとページを高速にめくるような機能は従来の読書において自然に行えていたことで、従来の読書との連続性から考えると実現できる方がよいであろう。

複数の電子ペーパーを活用すれば、同一の書籍の異なるページを表示することができる。それによって、本文から表示を切り替えることなく巻末の注釈を読んだり、文中の相互参照箇所を別のペーパーに表示することができる。また A 5 版に表示されているページを A 3 版の電子ペーパーに転送して拡大したり、逆に A 3 版 1 枚に 16 ページを一覧表示したりなどが自由にできる。

レイヤー機能による書き込みは電子書籍の閲覧においても是非実現したい機能である。図書館で借りる書籍には書き込みをすることができない。電子図書館の文献はサーバーからダウンロードして表示するだけで、ローカルに書き込み等のレイヤー情報が保存するようにすれば、元の文献データに影響を与えることなく自由に書き込みができ、いつでもそれを再現することができる。また、文献とレイヤー情報を合わせて検索できる機能は検索効率を著しく改善するだろう。

10. おわりに

1977年、アラン・ケイ等が開発した Alto に搭載されたシステムを、彼らは「暫定ダイナブック」と呼んだ。ダイナブックとは、彼らが構想した、子供でも自由に持ち歩き、さまざまな表現を可能にする携帯型のコンピュータである。ケイはコンピュータを道具ではなく、誰もが意識せずに操作できるメディアのようなものであるべきだと主張している。それから30年たった現在、コンピュータや携帯情報端末が普及、多様化している現状には隔世の感がある。しかし、こうした機器はケイの言うメディアとはかなり異なるものになっていると思われる。デバイスの特性が我々の思考や行動様式を規定することに、われわれはもっと自覚的になるべきであろう。電子ペーパーが今後のデバイスとしてどのように発展するかも、われわれの自覚にかかっているといえよう。

参考文献

- [1] 安岡孝一、安岡素子 著「キーボード配列 QWERTY の謎」2008 NTT 出版
- [2] 日本画像学会 編 面谷 信 監修「電子ペーパー」2008 東京電機大学出版局