ノートパソコンに搭載される入出力装置の人間工学設計要因

○吉武 良治 (日本アイ・ビー・エム(株) 人間工学)

Ergonomic design factors of display and keyboard for Notebook PCs

Ryoji Yoshitake (Human Factors, IBM Japan Ltd.)

1. はじめに

ノートブック型パーソナルコンピュータ (以下ノートパソコン) はモバイルコンピューティングの用途としての利用はもちろんであるが、最近ではオフィスの省スペース、省エネルギーの観点からも、その導入が急速に進んでいる。ノートパソコンの特徴のひとつは、キーボードとディスプレイが一体化され、持ち運びしやすく、どこでも容易に利用できるようなコンパクトにまとまっていることである。しかし、そのためにデスクトップ型 (据え置き型) パソコンと比較して、すべての部品の小型化を余儀なくされている¹⁾。CPU 基盤やハードディスクなどユーザが直接触れない、目にしない部品の高性能・小型化は、ユーザにとってのインパクトはほとんどないといえるが、直接触れるキーボードとポインティングデバイス、情報を表示するディスプレイの小型化はユーザの使い勝手を著しく低下させることがある。したがって、ノートパソコンの設計においては、どのような入出力装置を採用するか、或いはそれらをどのように設計するかが大きな課題となってきた。およそ 10 年前に本格的なノートパソコンが登場して以来、さまざまな技術革新とともに、それらの人間工学的な検討・改善がなされてきた。ここではノートパソコン用の小型キーボードとフラットパネルディスプレイについて、人間工学的要因やその検討事例などを時代背景を交えて概観する。近年 GUI の登場によって必須となったポインティングデバイスについては、本セッションの別発表²⁾を参照されたい。

2. 小型キーボードについて

2. 1 使いやすいキーボードとは

キーボードの歴史は、1873 年のショールズタイプライターから考えると 100 年以上の歴史があり、その間、配列や形状などの研究がなされてきた。それらの成果に基づいて ISO 等の人間工学規格³⁾において標準的な使いやすいキーボードの設計指針が示されている。例えば基準キー (手前から 3 列目のキー) の高さが 35mm 以下、キーピッチは $19 \pm 1\text{mm}$ 、押下圧は 0.25~1.5N、キーストローク深さは 1.5~6.0mm などである。具体的な数値が示されており、設計者にとって有意義ではあるが、実際にはその推奨範囲がかなり広いため、各社さらにその範囲のどこのポイントに設計の狙いを定めるかが製品の差別化になっているともいえる。

2. 2 ノート・キーボードの設計要因

ノートパソコンのキーボードも基本的にはこれらの規格に合致するように設計される。現在では一般的なノートパソコンでもこれらの規格に沿った設計を行うことはそれほど難しいことではない。しかしながら、携帯性を高めるために、前述の推奨範囲外に敢えて小さく、薄くを試みる場合もある。ここでは小型化、薄型化を進める上での人間工学上の要因を 4 つに分けて考える。

(1) キーボード配列の要因

(2) キースイッチの感触の要因

(3) キーの大きさ (キーピッチ) の要因

(4) キーボード位置 (パームレスト) の要因

(1)のキーボード配列については、QWERTY配列とDVORAK配列、或いはJISと新JIS配列にみられるような根本的な効率に関する議論ではなく、文字キー(Alphanumeric section)以外のキーを如何にうまく狭い範囲に配置するか、ということになる。A4サイズであれば、標準サイズ(約19mm)のキーを15列並べることが可能なため、ほとんどのタッチタイプキーはデスクトップの標準キーボード(OADGキーボード)と同一配列にできる。ノートパソコンによってはキーボードの配置スペースを先に決めて、いかにもそこに詰め込んだというような配列も見受けるが、原則的にはキーの数を変えずに、かつ編集キー等のグループを崩さずに配置することが望ましいといえる。

次に(2)のキースイッチの感触については、薄型化によって最も犠牲となるのはキーストローク深さである。適度なストローク深さ、さらに適度な重さとクリック感を確保しながら薄型化が進められてきた。一般にキースイッチの特性はストローク深さ(変位)と指にかかる力の関係を示す押下特性で表現することが多いが、最適な押下特性は好みや慣れによる影響が大きいため一概には言えない⁴⁾。しかしながら、意図した感触のスイッチを作り込むためには押下特性と人間の触感の関係を知ることが大切であり、ノートパソコンを対象としても試みられている⁵⁾。以前はデスクトップパソコンのキーボードに板バネ等を用いたはっきりとした感触のキースイッチが主流であったため、ノートパソコンのようにラバーを用いたスイッチでは頼りないとするユーザも多かったが、最近ではデスクトップキーボードもラバーを用いたものが主流となり、またその感触やスイッチ品質も改善され、市場に受け入れられてきたといえる。

(3)のキーの大きさに関しては、A4/レター

サイズ以上のパソコンでは問題とならないが、携帯性を高めたサブノートパソコンの設計に際して非常に問題となる。最も議論となるのがタッチタイピングできる最小限のピッチである。人によって手や指の大きさが異なり、またタイピングの方法も異なるため、意見が分かれるのは当然である。我々はこの課題に対してひとつの指針を与えるための実験を行った⁶⁾。ある基準に基づいて指が太い或いは細いタッチタイピストを選び、標準サイズキーボードとそれより段階的に小さい4種類のキーボードのタイピング作業を課した。標準キーボードとの比較の結果、指の太さが標準的な日本人女性や指が細い日本人男性では15mmピッチ(縮小率79%)でもパフォーマンスの低下を招かなかった。一方、比較的指の太い米国人クラスでは16.7mmピッチよりも小さいピッチで急激なパフォーマンスの低下を招いた。この結果はタイピング方法や慣れなどで個人差があることは予測できるが、設計指針として十分に有効であった。

(4)のキーボードの位置については使い方や条件によって最適な位置が異なる。机上で使う場合、基準キーの高ささえ十分に低ければ、机上がパームレストとして使えるため、本体にパームレストは必要ない(デスクトップキーボードと同条件)。かえって中途半端なパームレストが邪魔になる場合もある。しかしながら、ノートパソコンはラップトップなど不安定な場所で使用することが多く、この場合には、手首を休めるというよりも本体を押さえ、安定させる上で十分なパームレストがあった方が非常に使いやすい。最近の多くのノートパソコンがパームレストを備えているひとつの理由であると思われる。最適なパームレストの広さも手の大きさによってユーザごとに異なることは容易に推測できる。それらはキーボードの傾斜角度やパームレストの形

状などでも変動はするが、実験⁷⁾によると最適なパームレスト奥行きD(cm)として次のような範囲が推定されており、設計者及び購入者の目安となる。

$$0.67L-6.9 \leq D \leq 0.67L-3.4$$

(Lはユーザの手の大きさ：「手長」)

3. フラットパネルディスプレイについて

3. 1 FPDの変遷と人間工学的課題

ノートパソコンの発展はフラットパネルディスプレイ（以下 FPD）の技術革新によるところが非常に大きい。この革新の時期にはいくつかの段階があり、それぞれ人間工学的な課題も異なっていた。1980 年代中盤のラップトップパソコンと呼ばれていた時期にはプラズマディスプレイと液晶ディスプレイ（以下 LCD）がそれぞれ棲み分け、共存していたが、消費電力の違い等から 1980 年代終りに登場した本格的なノートパソコンでは LCD の独断場となった。初期のノートパソコン搭載の LCD は、STN 型のモノクロでブルーなどの色みがあり、バックライト付と反射型があった。この時期は見やすさにもっとも影響する輝度／コントラスト等も十分でない場合が多く、反射型 LCD ではもちろん、バックライト付 LCD においても、EL バックライト等比較的暗いものが多かった。このように VDT ディスプレイを対象とした人間工学規格⁸⁾の要求を満たさない場合も多く、この時期には実使用上人間工学的に問題がないか⁹⁾、何から改善する必要があるか¹⁰⁾という課題が中心であった。

その後 STN LCD の改善が進むとともに 1992 年頃には高画質の TFT 型 LCD の量産が可能になった。Windows 等のグラフィカルユーザインタフェース (GUI) の普及とともに、ディスプレイのカラー化は必須の条件となり、高画質であると同時にカラー化に有利な TFT/LCD の採用が進みはじめた。TFT/LCD

は STN LCD に比べて明らかに優れてはいたが、初期の TFT/LCD にはまだ人間工学的な課題もかなり存在した。表面反射率の高さ¹¹⁾、輝度や色の観視角依存性^{12,13)}、画素欠陥¹⁴⁾等の課題に対してトレードオフを考慮しつつ人間工学的な設計指針の検討が必要であった。このように FPD に対する人間工学的な要因が CRT ディスプレイと異なることから、FPD の特性を考慮した FPD のための ISO 人間工学国際規格¹⁵⁾ 制定も進んでいる。

最近では上記の課題を解決する技術がすでに採用されていたり、あるいは採用されつつある。TFT/LCD はすでに人間工学的に高いレベルでの差別化¹⁶⁾が始まっている。さらにこれからの話題としては見やすい反射型 LCD の実用化であり、商品化に先立ってその人間工学的な要求事項の検討が¹⁷⁾行われている。

3. 2 LCD の人間工学設計の要因と考慮点

前述したように LCD の具体的な設計要因としては、輝度／コントラスト、表面処理、均一性や観視角特性などがあり、さらにフレーム周波数や応答速度などで ISO 規格¹⁵⁾の要求項目に上げられているような項目がよく知られている。それぞれこれらの人間工学設計を考える場合に重要なことは、LCD 等の機器の要因以外に、

- ・ 照明、空調等の環境の要因
- ・ 業務内容や休憩等の作業の要因
- ・ ユーザの違い等の人間特性の要因

をすべて考慮する必要がある。したがって、LCD の人間工学設計は他の要因の範囲や制限などを理解し、規定した上で行うことになり、前提が代われれば各項目の設計方針も変わってくることになる。特にノートパソコンの場合には、デスクトップパソコンよりも利用場所や利用目的が多岐にわたることが予想されるため、これらの考慮が必要となる。例えば照

明条件は見やすさを大きく左右する上に、屋外使用も想定されるノートパソコンでは、どの程度の明るさまで実使用に耐えうるかということは重要な考慮点である。

またノートパソコンのディスプレイの場合には、どこまでの品質（画質）がユーザにとって本質的に必要か、ということに特に焦点が当てられる。各社のノートパソコンはサイズや消費電力、あるいは価格等で凌ぎを削っており、ユーザにとってバランスのよい設計が求められる。例えば輝度と色再現性は、消費電力を一定とすれば一般にトレードオフの関係にある。それらのバランスは目的によって異なるため、電力消費をも考慮した上で最適設計が求められる。さらにノートパソコンのレベルでのトレードオフも重要であり、LCDの消費電力は減少しているが、CPU等でその分を消費しているという実態¹⁸⁾もある。

4. おわりに

ノートパソコンは携帯性を備えた上で、できるだけ使い勝手の低下を招かないように配慮され、進化してきた。たとえ優れた商品でも意図しない目的に利用されたり、利用方法を誤るとその性能を発揮できない。よってその配慮点をできるだけユーザに知ってもらうことは、利用の際に有効であると思われる。本シンポジウムで紹介される「ノートパソコン利用の人間工学ガイドライン」ではその一部も盛り込まれることになっており、ノートパソコンの利用者に広く紹介したい。

参考文献

- 1) 村瀬：モバイルコンピュータにおける実装技術。情報処理 38(12), 1065-1072, 1997.
- 2) 山田，土屋：パッド式ポインティング・デバイスのユーザビリティ評価。本誌，1998.
- 3) ISO/FDIS 9241-4: Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) Part4: Keyboard requirements. 1997.
- 4) Yoshitake R. et al.: An analysis of users' preference on keyboards through ergonomic comparison among four keyboards. *Appl. Human Sci*, 16(5), 205-211, 1997.
- 5) 吉武，勝浦：薄型キーボードの押下特性とその感触に関する検討。人とシステム 3(1), 1-7, 1997.
- 6) Yoshitake R.: Relationship between key space and user performance on reduced. *Appl. Human Sci*, 14(6), 287-292, 1995.
- 7) 吉武，土屋：ノート型 PC に必要なパームレストに関する研究。生理人類誌 2(1), 39-45, 1997.
- 8) ISO 9241-3: Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) Part3: Visual display requirements. 1992.
- 9) Lanzetta M. T.: Comparing the readability of display technologies - paper, CRT and LCD. Proceedings of SID Int. Symposium. 336-339, 1988.
- 10) 吉武，土屋：STN 液晶ディスプレイの見やすさに影響を与える要因の検討。人間工学 29(4), 1993.
- 11) 窪田：液晶ディスプレイの反射特性と反射グレアの関係。照学誌 79(5), 226-233, 1995.
- 12) 田村，吉武：液晶ディスプレイにおける観視角依存特性の評価方法の検討。映像情報メディア学会誌 51(11), 1951-1955, 1997.
- 13) Hatoh H. et al.: Psychophysical evaluation of viewing-angle characteristics of liquid-crystal display. *Journal of SID*. 2(1), 21-29, 1994.
- 14) Tamura T. & Y. Gohda: A psychometric scale of TFT/LCDs with a few defecting sub-pixels. *HCI Int*. 95, 20(B), 667-672, 1995.
- 15) ISO/DIS 13406-2: Ergonomic requirements for visual display units based on flat panels-Part2: Requirements for flat panel displays. 1997.
- 16) 吉武：光学測定と主観評価の対応づけによる液晶ディスプレイの総合画質向上に関する研究。照学誌 81(11), 991-1003, 1997.
- 17) 窪田：反射型液晶ディスプレイに求められる明度とコントラストの条件。テレビジョン学会誌 50(8), 1091-1095, 1996.
- 18) 池田：開発者が語るノート PC の進化の方向。フラットパネルディスプレイ 1997。日経 BP 社，120-123, 1997.