

ワークステーションにおけるエルゴノミクス

An Approach to Workstation Ergonomics

池田正彦* Masahiko Ikeda
中山 剛** Takeshi Nakayama

機器システムが高度化し、その実用性が高まるにつれ使用時間が増大し、使用者の拡大多様化によりシステムと人間の調和に関する様々な新しい問題が生じてきている。

エルゴノミクスは人と機器の接点の改善策を発見し、機器設計とその利用技術に反映する方法論を確立する研究領域である。機器との調和に関する人間機能を総合的にとらえ、改善のための指標を定量的又は定性的に得ることが主な研究内容である。

こと人間に関する研究で、絶対的な結論を得ることは至難であるが、顧客の立場に立って共に問題を解決してゆくことは可能であり、必ずや機器技術の信頼性を高めることになろう。本稿ではその研究の一部を紹介する。

1 緒 言

ワークステーションと作業者の関係で現在最も関心がもたれているのは、ディスプレイ装置と目の関係であろう。日常生活での情報摂取の80%は目によってなされていると言われており、ディスプレイ装置と目の関係についての検証考察はワークステーションでのエルゴノミクス研究でも注力をしなければならない。

しかし、「眼精疲労」は実に多くの要因によって引き起こされるものであり、要因を総合的にとらえ問題点の位置付けの精度を上げることが研究の役割でもある。

負担の少ない作業とは、目的に向けて関係する機能がバランスよく作用している状態であり、その逆はストレスを生ずる。

本稿ではまず関係する要因の特定について触れ、その要因が相互にどのような関係を保つ必要があるかを述べる。次に、特に関心がもたれているディスプレイ装置の「見やすさ」についての検証例を紹介し、文字などの画像の鮮鋭度が情報処理時にいかに重要であるかを理論的に解説する。また、情報入力に欠かせないキーボードでの日本語入力時の使いやすさについての検証例も紹介しながら、末尾で今後の研究内容と体制について触れ、本研究推進に際し従来にない新しい視点からマンマシン インタフェースを洞察することの意義について述べる。

2 要因の体系

ワークステーションの使いやすさを決定する主な要因は、図1に示すように五つに大別することができる。第一の要因④は、表示画面の「見やすさ」で、画像の鮮鋭さ¹⁾、色彩の適切さ³⁾、外光反射の影響などが関与する。第2の要因⑤は、情報入出力の「操作のしやすさ」で、キーボードを代表例とすれば、感触や文字配列⁴⁾、入力法など^{5),6)}がその使いやすさを決定する。第3の要因である③は、特にワークステーションの使いやすさを決定する最大の要因である情報内容の「分かりやすさ」⁷⁾である。この要因はほとんどソフトウェアに依存する内容であり、文字や図記号の形が見やすく、分かりやすい次元から作業手順までも含んだ幅と奥行き深い問題である。当然④及び③の要因とは密接な関係にあり、この三つの要因がワークステーションの使いやすさを決定する主要因で

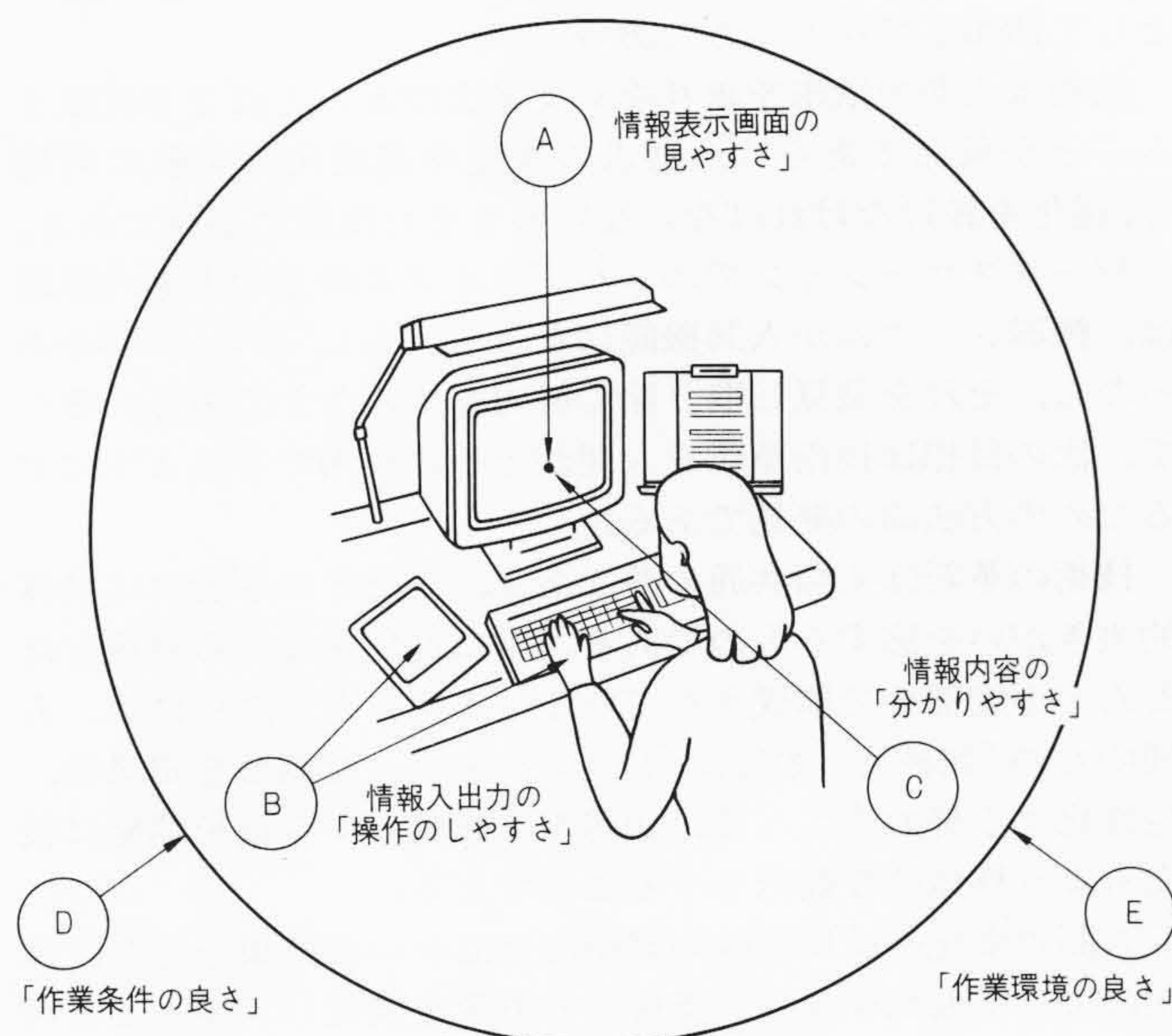


図1 ワークステーションの使いやすさ向上要因 使いやすさを向上する要因として、表示画面の「見やすさ」、情報入出力の「操作のしやすさ」、情報内容の「分かりやすさ」、「作業条件の良さ」、「作業環境の良さ」の5因子が挙げられ、これらが相互に関係する。

ある。要因④は、主として人体計測的な問題と使用時間などを内容とする「作業条件の良さ」である。

作業者に合った机、いす、そしてそれが調節できることとか、使用時間に自発性をもたせる作業管理をも含む要因である。要因⑤は、オフィスなどの環境がワークステーション作業に適しているか、という「作業環境の良さ」である。照明⁸⁾が適切にバランスがとれたものになっているか、騒音や空調に問題はないのか、という内容であるが特にスペースが十分であるか、という問題は照明環境とともにワークステーションの使いやすさを大きく左右する要因である。ここに機器はできる限りコンパクトに設計し、省スペースを達成しなければならない理由があるし、一方、ディスプレイ画面に映り込む照明用光源によって、作業者の視認度を低下させる問題を

* 日立製作所デザイン研究所 ** 日立製作所中央研究所 工学博士

機器側でも解決してゆく研究が必要となるゆえんである。

以上五つの要因は、各々単独に又は絡み合ってワークステーションの使いやすさに影響を及ぼし、使いやすきの向上を図る研究推進に当たっては、これらの関係を見極めることが基本である。例をあげれば、ディスプレイ画面に照明光源が映り込み見やすさを妨害する場合、管表面をエッチングなどで粗して乱反射させるノングレア処理を施す場合がある。しかし、作業内容が微細な情報を読み取るCAD (Computer Aided Design) 作業などの場合、画像は多少ぼけてしまい適切な解決法とは言えない。このような場合は管面に別の処理を利用すると同時に、照明光源をも直射しない処理(ルーバなどの取付け)をし、総合的な改善策を立てなければならない。

このように最終顧客の作業現場から共通する問題点を抽出し、製品開発に指針として反映させる研究は、多数の開発テーマに横断的に関与でき開発効率を大いに向上させる。

一般に横断的研究の結果を、標準化や規格化して固定することがあるが、人間の「頭脳」を対話の相手とするワークステーションでは事を急ぐべきではない。あくまでも推薦指針として活用してゆくべきである。

技術は人間の欲求を限りなく支え広げることにより貢献することが使命であろう。欲求の変化や高度化に柔軟に対応し、進化を続けなければならないのもまた技術の宿命である。

ワークステーションでのエルゴノミクス研究の当面の課題は、機器システムが人間機能にとって、もし「悪い」影響があったら、それを発見し取り除く努力をすることである。そして、次の目標は技術革新を人間が上手に利用できるようなするための方法論の発見である。

技術の革新は人類共通の夢であり、またその享受には具体的生きがいを感じるものである。常に進化を続ける技術とほとんど不変部分で構成されている「人間」との調和には、人間のもつ「快感」、「共感」、「向上心」といった概念を定量化、定性化する努力をもって、顧客が「感動」する技術開発に役立つよう具体的な翻訳をすることである。

人間の変化や成長に強い好奇心と温かい洞察眼をもち、技術によって変化や成長を支援する方策を発見してゆくことがエルゴノミクス研究の核心である。

3 要因の検証例

3.1 表示画面の「見やすさ」に関する検証¹⁾

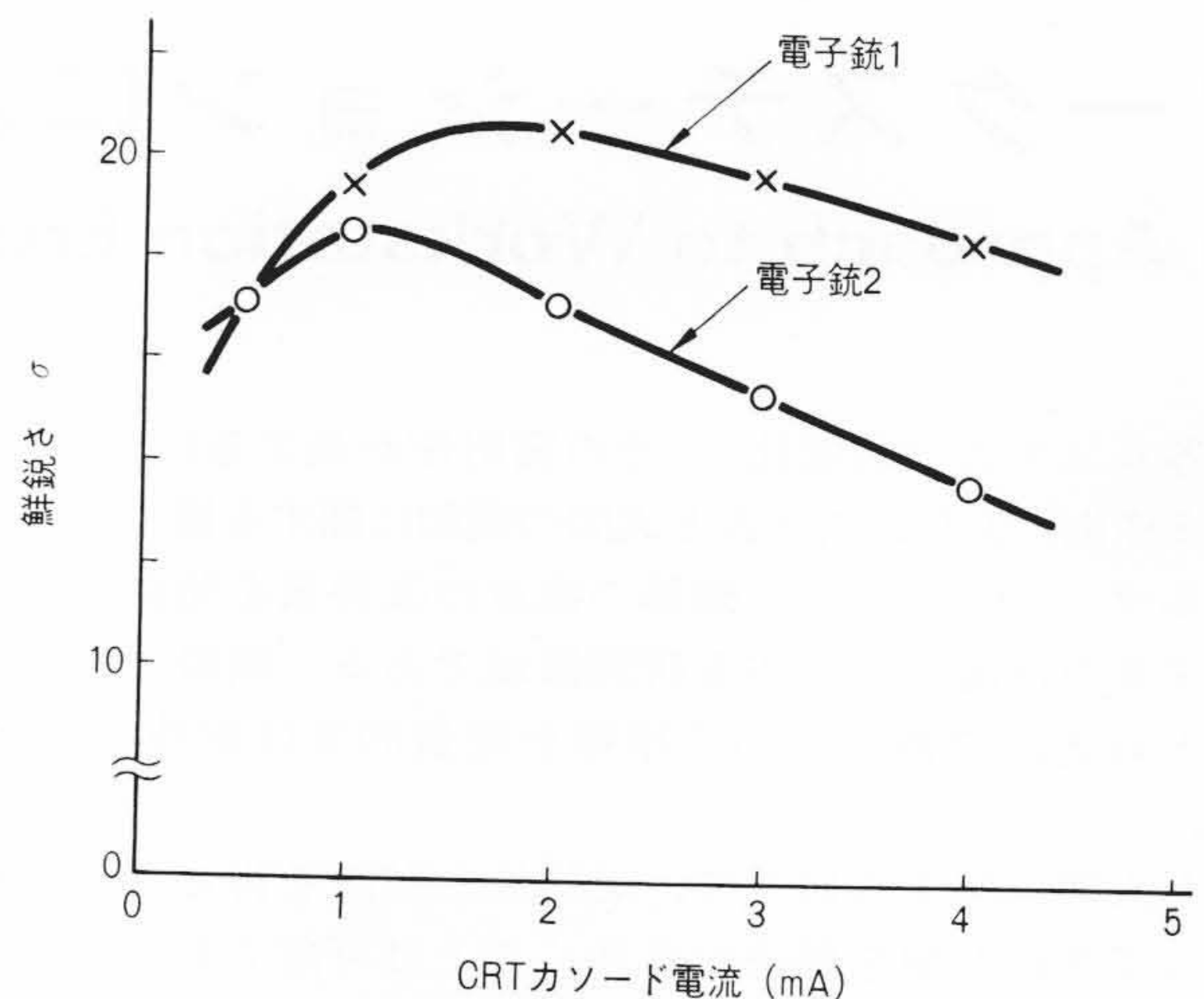
ここでは、「見やすさ」のほぼ80%を決定する表示画像の鮮鋭さの研究について紹介する。画像の鮮鋭さがいかに情報の伝達の基本を占めているかは、身近な例ではカラー写真がいかに色彩が美しくても、ピントぼけであったらそれは失敗作として全く意味性を失うことでも理解できるであろう。

鮮鋭さを表わす心理尺度を Q_s で表わし、画像のコントラストを C 、実効輝度を L_0 で表わすと、実験の結果 Q_s は次式で表わすことができる。

$$\begin{aligned} Q_s = & 0.78 \log S + 0.35 \log C \\ & + 0.11 \log L_0 + 0.4 \log S \log C \\ & + 0.28 \log S \log L_0 \\ & + 0.16 C \log L_0 \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

(1)式から鮮鋭さ Q_s は画像の鮮鋭度係数 S とコントラスト C 、実効輝度 L_0 の影響を受けるが、鮮鋭度係数 S の影響が最も大きく、コントラスト C の影響がそれに次ぎ、実効輝度 L_0 の影響は最小であることが分かる。

ここで鮮鋭度係数 S は、表示系のフォーカスの視覚的な良さを表わす測度で、次式のように系の空間周波数特性 $R(V)$ を



注：略語説明 CRT (Cathode Ray Tube)
図2 カソード電流と鮮鋭さの関係 CRT (Cathode Ray Tube) のカソード電流に対して、鮮鋭さの最適領域が存在する。画面輝度はカソード電流に比例するので、カソード電流は輝度に置き換えてよい。

目の空間周波数特性 $E(V)$ で重み付けた積分値で得られる。

$$S = \frac{\int_0^{V_c} R(V) E(V) dv}{\int_0^\infty E(V) dv} \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 V は観視眼から見た空間周波数で、画面上で明暗の正弦波状変化が視角1度の中になん波入っているかで定義され、 V_c は上限周波数である。またコントラスト C は、画像中の最高輝度と最低輝度との比で、次式で表わされる。

$$C = \frac{L_{\max}}{L_{\min}} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、
 $L_{\max}$ ：表示文字又は画像の最高輝度(rlx)
 $L_{\min}$ ：文字の背景輝度又は画像の最低輝度(rlx)
である。実効輝度 L_0 は次式で表わされる。

$$L_0 = L_{\max} - L_{\min} \dots\dots\dots (4)$$

$L_{\min}$ は、主として表示管面上での外来光の反射によって決まるので、実効輝度 L_0 は最高輝度 $L_{\max}$ から外来光による成分を差し引いた、表示管の実質的な明るさを表わす。

(3)式のコントラスト C は、
 $C \geq C_0$ の範囲では、 $C = C_0$ とする。
 C_0 の値は次のように表示内容によって異なる。

階調のある一般画像では、 $C_0 = 40$ 、文字やパターンなどの2値画像では、 $C_0 = 15$ とする。

この式は最適なフォーカス範囲や外光のあるときのコントラスト範囲、あるいはそのときのCRT (Cathode Ray Tube) のパネル透過率の設定など、CRTディスプレイの設計と使用上の種々の問題解決に適用できる。図2は2種類の電子銃について、カソード電流と鮮鋭さの関係を求めたものである。輝度とカソード電流はほぼ比例するので、横軸は画面の輝度とみてもよい。

図2に見るように、カソード電流の小さな暗い画像ではフォーカスは良いが、コントラストが低いため鮮鋭さが低下する。また、明るすぎてもコントラストは大となるがフォーカスが悪くなるため、やはり鮮鋭さが低下する。したがって、鮮鋭さが最大となる明るさが存在し、この領域でCRTを使用

するように、外光条件などを考慮してディスプレイを設計してゆけば基本技術を最適な形で生かしたものとなる。

3.2 「操作のしやすさ」に関する検証

ここではキーボード上での文字配列を代表例として紹介する⁴⁾。この種の研究は欧米で長い研究の歴史があるが、我が国では仮名キーボードが一部の人の使用に限られていたため、研究例が少ない。しかし、日本語ワードプロセッサやワークステーションなどで、その使いやすさの要求が高まり、仮名漢字変換入力方式の発達とともに仮名キーボードが一般ユーザーの間に普及するようになった。しかし、現在のJIS規格4段キーによる文字配列は、打ちにくい小指などに負担がかかり過ぎてエルゴノミクス的に見たときに問題が多い。これを改善するために、現在JIS規格改訂作業が進められており、3段配列のキーボードが検討されているようである。

日立製作所では、仮名キーボード改善のためのエルゴノミクス的研究を行ない、実験データとキーボード打けんモデルに基づいて図3、4に示すような仮名文字配列のキーボードの提案を行なっている。このキーボードは、すべての仮名の2文字の組合わせの日本語中での出現頻度、親指から小指までの各指の打けん速度への影響などを考慮したモデルに基づいて設計されている。このキーボードの効果は、図5に示すように評価され、4段配列の改善文字配列キーボードは、現行のJIS配列より28%、3段配列の改善案は約49%打けん速度が大であると見積もられる。

以上のように、キー配列の良しあしが入力操作のしやすさの基本を大きく左右することが分かるが、人間の機能は一つの視点からだけではの評価は、必ずしも正しくない場合がある。特に官能的な評価は、手に触れるもの、目に写るものに関しては抜かすことのできない要因である。キーボードでの官能評価をモニタによって試みた結果について触れておく。約50人のモニタの実使用後アンケートを解析した結果、キーボードの使いやすさの評価因子は重要順に、

- (1) 押したときの感触が良いこと(主にばね圧)。

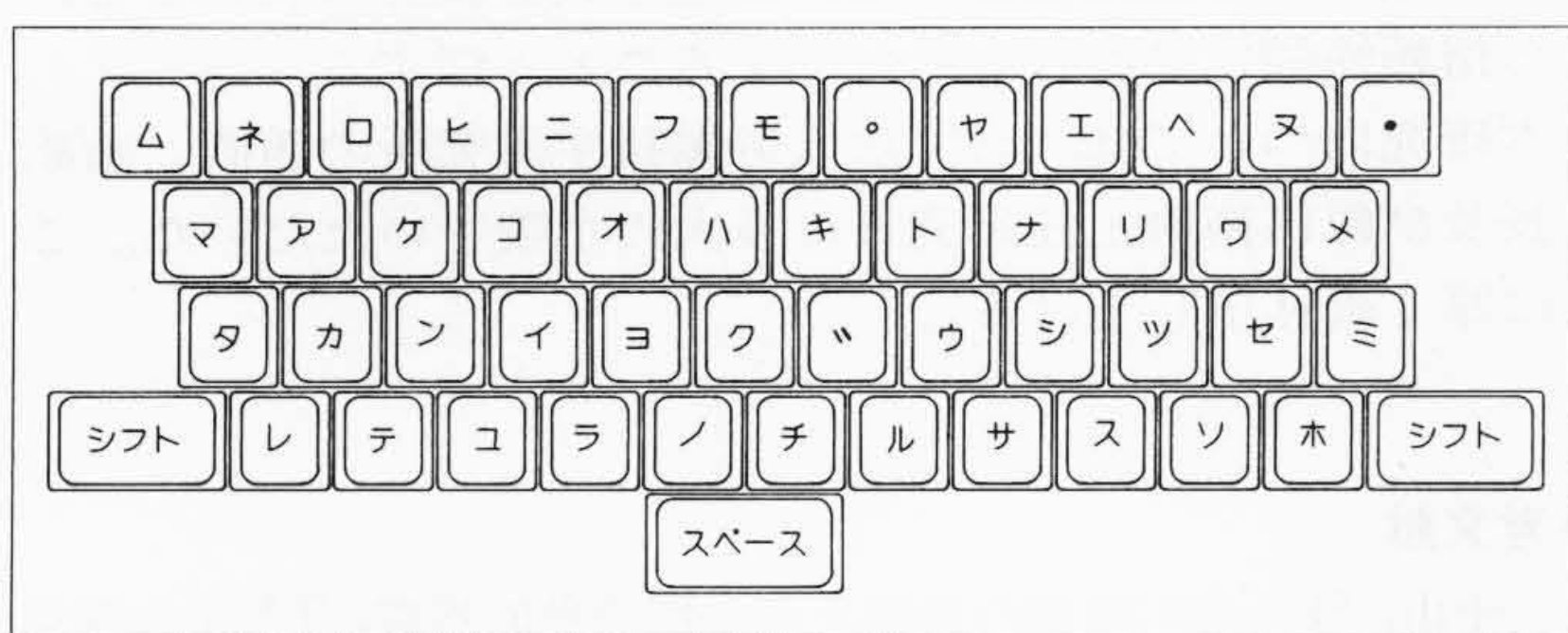


図3 4段配列改良キーボード 現在のJIS規格キーボードと同じ4段キー配列の場合の改良案である。

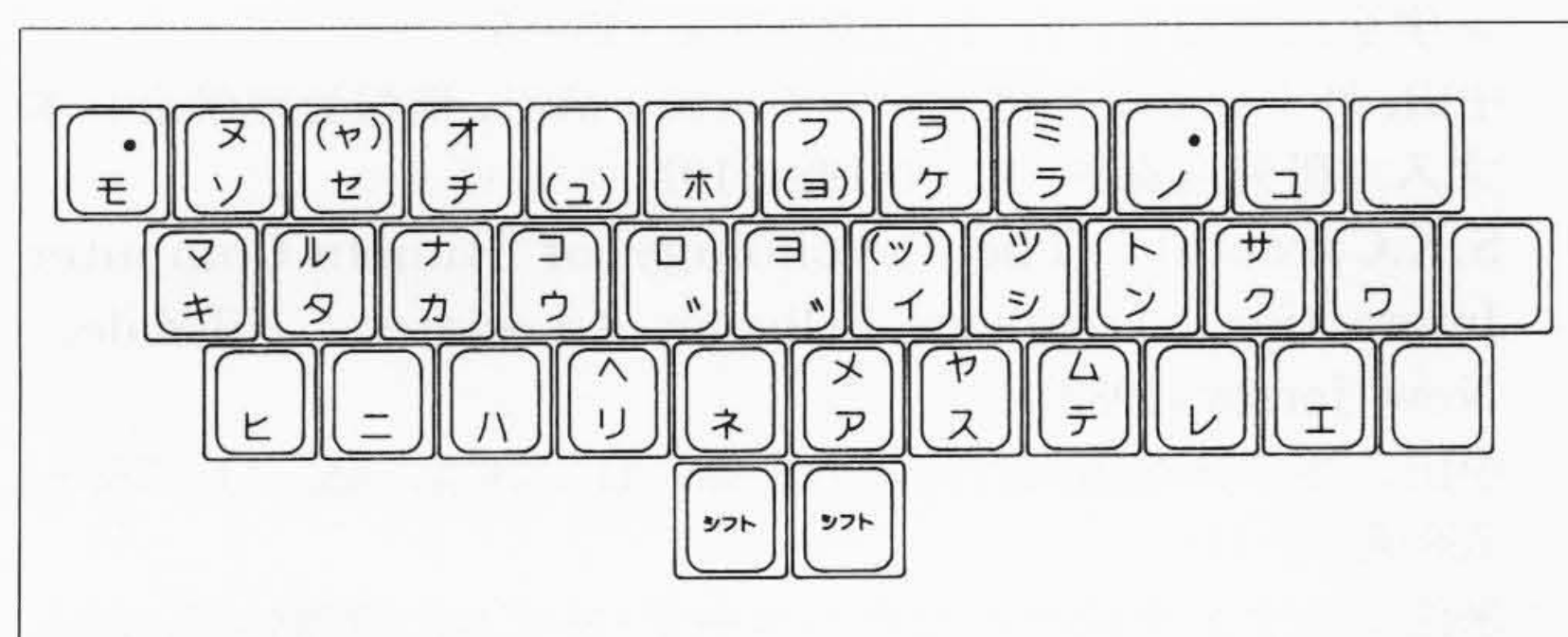


図4 3段配列改良キーボード 文字キーを上下2段に分け、上段の文字を入力する場合は同じ側のシフトキーと同時打けんすると、3段配列の仮名文字キーボードが実現できる。

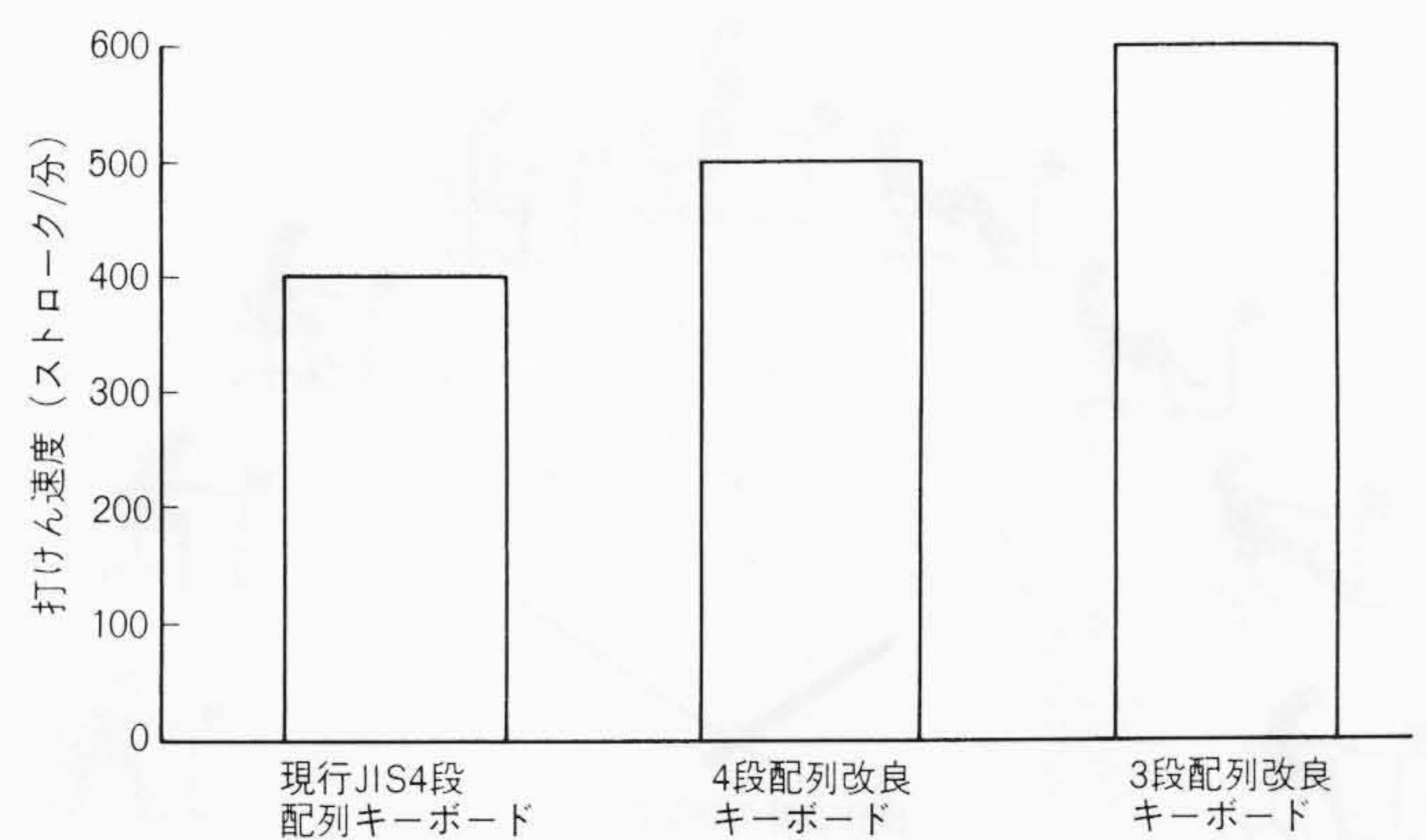


図5 キーボードの差異による打けん速度 日立製作所が開発した仮名文字配列評価モデルによって予測した改良キーボードの打けん速度で、4段で現行より28%、3段で49%大であると見積もられている。

- (2) 見たときの印象が良いこと(形態, 色彩, 仕上げ)。

- (3) 適度なクリック感とストローク

が主要因であることが分かった。その他、キートップの指先へのなじみ(形状と表面仕上げ)が大切であることも判明した。

入力装置は作業内容や手順に最適な方法が開発され、多様化の兆しを見せている。人が情報を入力するときにも最も適した工夫を実現してゆくためにも、以上のような検証を積み上げることが最短距離をゆく道程と考える。

4 検証例に関する考察

以上ワークステーションの使いやすさを決定する要因のうち、「見やすさ」と「操作のしやすさ」の改善のための検証例を紹介したが、その他の要因についても、日立製作所では後述のような研究体制で推進をしている。その中でも情報内容の「分かりやすさ」については、その研究姿勢に最も確かさが要求され、

- (1) 直接表示とその操作に関する原理

- (2) ユーザーの期待充足の原理

- (3) マルチウィンドウなどによる並列作業空間拡大原理

といった原理に基づき、各問題解決に当たって基本に忠実に研究を進めることが成果につながる近道と考える。

またワークステーションを使用する際の「作業条件の良さ」については、従来ややもすると固定的な姿勢を良しとして作業者が押し付けられていた例もあるが、やはり人間は動的な姿勢⁸⁾が基本で、それに対応できる条件設定が大切である。図6には長時間作業した場合、姿勢がどのように変化したかの調査をもとに模式図化したものであるが、同じ姿勢は10分でも続かない。ディスプレイ装置の角度調節、キーボードの傾斜角度調節などの機器側の柔軟性と同時に机、いす、照明設備と合わせた総合的な取り組みが必要である。また本稿では触れなかったが、何よりも人間関係が充実していること、作業スペースにゆとりのあることが、作業上の負担を軽減する大きな要因であることが調査によって言われている。特に後者は、機器をコンパクトに設計することにより実現できる部分を含んでおり、商品力強化のために具体的に貢献する明解な技術である。このように各要因に立脚した検証を、各ワークステーション作業に反映する指標としてまとめ、作業者の心身負担⁸⁾を軽減することがエルゴノミクス研究の役割である。

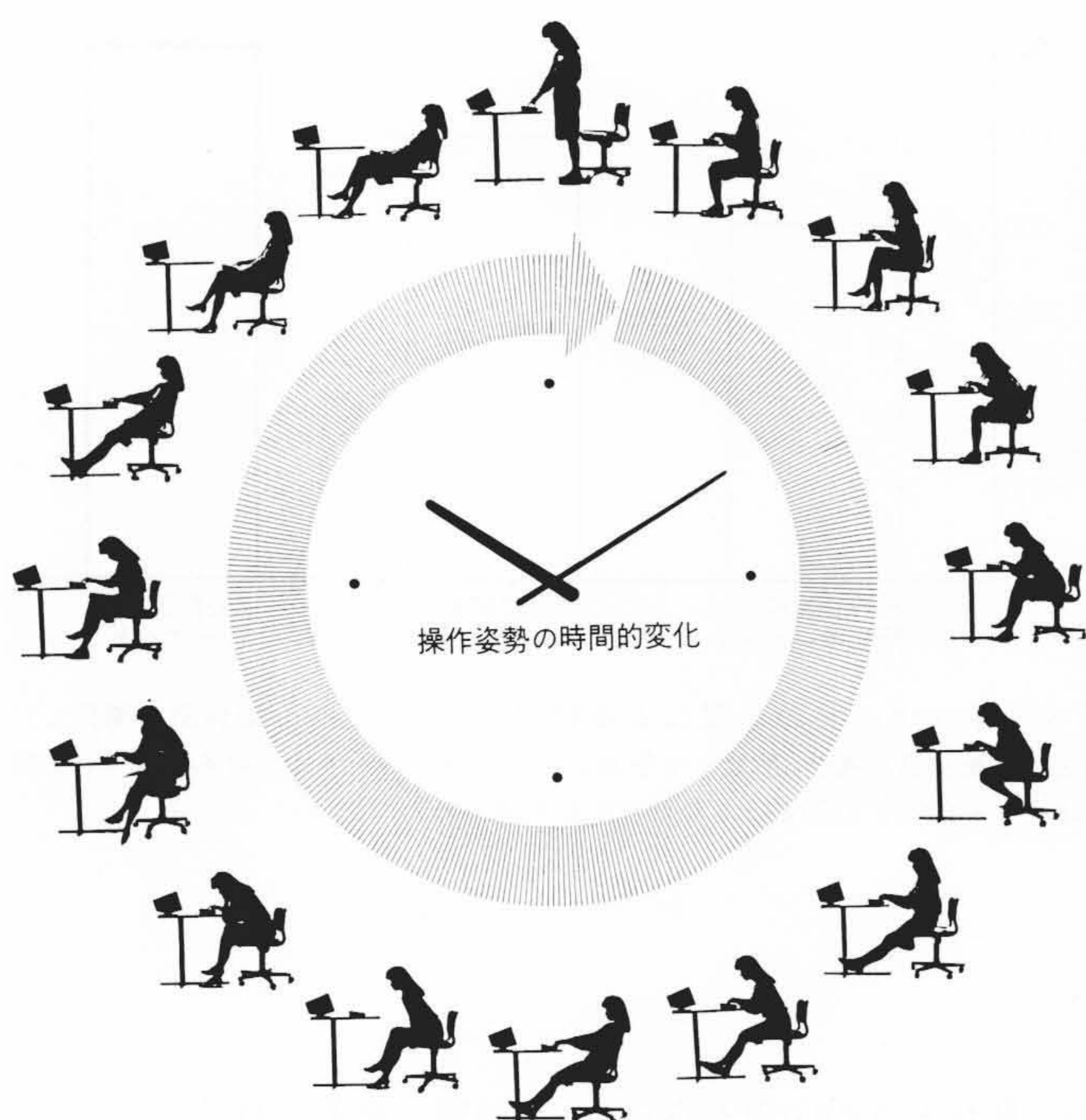


図6 作業姿勢の時間的変化 ワークステーション作業姿勢は、時々刻刻変化する。固定的姿勢はない。

5 研究体制

ワークステーションでのエルゴノミクス研究は、現在全社的規模の横断プロジェクト体制によって推進している。各事業所の代表者によって構成されるプロジェクトは、採り上げるテーマが具体的になること、討議内容、研究成果が横断的に活用されることで効率の高い推進が可能である。

研究テーマは前に触れた五つの要因について優先度を定め、今後もフォローしてゆくが、本稿では紹介できなかったディスプレイ画面の色調、輝度、色彩配列と視負担との関係の研究成果については次の機会に報告したい。

最近エルゴノミクスの領域をより拡大した定義をする新しい言葉として、「ヒューマンウェア」という新語をしばしば耳にする。公共機関でも既に使い始めているが、このような広がりを見せているのは、エレクトロニクス技術がいかに社会環境に与える影響が大きいかを予見させる。労働省は、ワークステーション作業に関するガイドラインを発表した。

このように、社会的な展開をし始めたエルゴノミクス研究の推進に当たっては、情報を広く求め一企業としての研究から、社会的責務を負った研究にまで高めてゆくことが目標となろう。それには、今後の研究体制も社内の力の結集はもとより、社外専門分野の協力をより充実してゆくことが必要である。このような新しい視点からのマンマシンインタフェース改善技術の加味により、社会に貢献する技術力にいつその厚みを加えることになると考える。

今回、前述のプロジェクト(ヒューマンウェア研究プロジェクト)活動の一環として、ワークステーション使用現場での習熟促進を助けることを目的としたマニュアルを編集した(図7)。機器特性を十分とらえていなかったり、またその特性を十分に引き出せないことから、使用する人との調和が見いだせないことが起こる。操作マニュアルだけではすべての情報を伝えきれないことも多いので、補足する役割を果たす機能が必要になる。そこで、だれにでも分かりやすく、しかも気



図7 ワークステーションに関するユーザーズマニュアル ワークステーションと人間との調和を、分かりやすく解説したマニュアルである。

軽に見ることが出来るマニュアルを作成した(日立製作所情報事業本部から発刊、NO.SP-054)。

主としてワークステーション作業現場の管理者向けに編集したが、オペレータの人でも十分理解できる内容であり、ユーザーの段階でも活用できると考える。

機器システムの良い環境作りには、このような使用環境、営業活動環境の充実に役立つ研究推進も重視してゆきたい。

6 結 言

人間の機能で最も高度な情報処理にかかわる機器システムでの対話性向上研究は、世界的にも新しい領域である。エレクトロニクス技術とその利用技術の今後の進展を図るにつけ、人間の基本機能との調和研究はその重要性が高まる。基本機能を踏まえ機器利用に際しての多様な状況に対応できるワークステーションの供給は、柔軟性のある機器設計製作技術によって支えられる。エルゴノミクス研究成果は、人間にかかわる基本と変化部分の条件設定を機器設計に反映させ、その信頼性強化に奥行きを付与することと信ずる。

本研究については、財団法人労働科学研究所の西岡 昭副所長及び飯田裕康主任研究員に多大の示唆をいただいた。ここに厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 中山, 外: 表示画像の鮮鋭さの心理物理的指標, TV学会視覚情報研究会資料, VVI28-1(1978)
- 2) 鎧沢: 文字形態および文字配列に関する読みやすさの心理要因分析, テレビジョン学会技術報告, 5, 18(1981-9) VVI45-1
- 3) 鎧沢, 外: 文字画像における配色と見易さの関係, テレビジョン学会技術報告, 7, 19(1983-9) VVI59-5
- 4) 中山, 外: 仮名文字鍵盤配列の評価と設計, 情報処理学会日本文入力研究会資料, 17-4(1984-10)
- 5) S.K.Cardetal: The Psychology of Human-Computer Interaction, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey(1983)
- 6) 中山, 外: 日本語入力方式の評価, 日立評論, 65, 11, 765~768(昭58-11)
- 7) 来住: エディタ設計のためのユーザ・モデル, 情報処理, 25, 9, 926~933(1984)
- 8) 日立製作所: VDT IN THE OFFICE 人とOA機器との対話を考える。(1984-11)