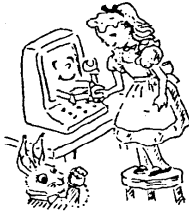


解説

計算機システムにおける人間的側面：総論



計算機システムと人間との関係†

林 喜 男**

はじめに

1980年代に入ってにわかに日本の情報社会の中で、OA (Office Automation) とか FA (Factory Automation) といった言葉がよく使われるようになった。事務の機械化、工場の機械化をさすものである。

OA や FA という言葉が氾濫してきて、実際に事務所や工場で、計算機システムが導入されはじめてくると、そのあとを追うように人間との関係が論じられるようになった。例えば、どうも計算機システムは使にくい、前にやっていた仕事より、より煩雑で疲れる、どうも肩がこる、目がつかれる、仕事に張りがなくなる、といった訴えが出てきた。もちろん生産性も向上しているだろうし、利点も多いようだ。

人間は、新しいものが出てくると、それをこばむ性質がある。今までの仕事に慣れてしまっているからだろうが、しかし今の計算機システムのなかで、人間に適しえない部分があり、それが人間の不満の原因となっていることはないだろうか、いいかえると、計算機システムと人間とのマッチングが悪いために、人間にとってそのシステムが使にくくなっているのではないか。このように考えると、使いやすい計算機システムを設計するためには、計算機システムと人間とのかかわり合いの部分について考え、そこに不適な点があればそれを改善すればよい、そのことによって前よりは使いやすいものにすることができるはずである。では、計算機システムと人間とのかかわり合いの部分には、どんな部分があるのだろうか。

1960年に Licklider¹⁾ は、IRE のヒューマンファクターの創刊号²⁾に、“人間とコンピュータの共生”に関する論文をのせ、その中で ①計算機と人間の言語

上の不一致 ②人間と計算機とのインタフェース ③人間の特性と計算機の特性との不一致（例えば、計算速度、エラー率が異なる）という3つの問題点をあげた。

1977年頃になると Licklider のような問題点についてはあまり耳にすることはなくなった。上記の問題点が完全に解決したためではなく、使用者が計算機の専門家である、という背景もあって、あまり文句がなくなったようだ。これには計算機システムのハード、ならびにソフトの改良・進歩があったからではあるが、しかし1980年代になると、またこれらの問題がクローズ・アップしてきた。その理由の一部は、使用者の層が広がったことによる。すなわち、OA に代表されるようにユーザの層が広がり、この人たちの訴えが多くなってきた。そこで、もう一度この計算機システムと人間とのかかわり合いを検討し、改善できるものは改善し、人間に適するように、計算機システム全般を見直さなくてはならなくなったのである。

1. 計算機システムと人間とのかかわり合い

計算機システムを使う人を ①オペレータ ②アクティブ・ユーザ ③パッシブ・ユーザの3種類に分けて、計算機システムと人間とのかかわり合いについて考えよう。というのは、計算機の使い方によってそのかかわり合いが異なり、その重点的な対策も異なるためである。①のオペレータは、他の利用者が計算機を利用する際、その計算機の運用を行って、利用者には計算機の機能を円滑に提供する仕事をする人である。②のアクティブ・ユーザは、ある問題の解決のためにプログラムを組んで計算機に通そうとする場合や、データ・ベースから問い合わせ、言語で必要な情報を引き出そうとするような、直接的にせよ間接的にせよ計算機を能動的に利用する意図をもった利用者をいう。③のパッシブ・ユーザは、銀行のオンラインサービスで、キャッシュカードを用いて現金を引き出そうとするよ

† Relationship between Computer Systems and Human by Yoshio HAYASHI (Department of Administration Engineering, Faculty of Science and Technology, Keio University).

** 慶應義塾大学理工学部

* IRE は現在の I.E.E.E. である。

うな人から、銀行の窓口業務で端末機を使用している銀行員のような、計算機を能動的に利用する意識はもたないが、結果として計算機システムとインタラクションを持つ利用者をいう。OA化が進むにつれて、この立場の利用者が今後増加してくるものと思われる。

計算機利用の初期には計算機の専門家が利用し、また情報処理のためのデータを入力する役割のキーパンチャという職業が成立していた。しかし、計算機を利用する層が増加するとともに、計算機システムをだれでも利用できるシステム設計への要請が生じてきた。これが計算機システムを人間工学的に設計する意図である。

データを入力するのに使いやすい入力装置の研究、プリント出力した場合に、その結果を把握しやすい印刷書式の研究、さらにはプログラム作成時における計算機によるバックアップシステムの開発、またプログラムを組みやすいプログラミング言語等の開発がのぞまれてきた。

利用者のタイプによって多少の違いはあるが、人間と計算機システムとのかかわり合いをまとめると

①計算機を利用する際の問題 ②人間と計算機とのインタフェースの人間工学的問題 ③計算機システムのソフトウェアの問題 の3つが考えられる。

①はアクティブ、あるいはパッシブ・ユーザが計算機を利用する際に、計算機システムを利用するときのマニュアル、ドキュメンテーション、あるいは訓練方式といったものである。日本では、計算機システムを他社に先がけて早く世の中に出そうとして、マニュアル類が不完全なものを提供している計算機メーカーが少なくない。

②はキーボードの配列、ディスプレイの文字・輝度、人間との相対距離等、人間が作業する上で作業しやすい設計、すなわち人間工学的な問題である。

③はプログラミングの際、プログラムしやすいプログラム言語やその誤りを、すばやく発見するシステムといった、ソフトウェア工学と最近いわれている分野で、人間にとって使いやすいソフトウェアの提供をめざすものである。

①と③は認知科学に属する研究分野であり、②は人間工学の分野である。最近の人間工学は、①と③をソフトウェア・アーゴニクス（人間工学）と呼んでいる。すなわちこのことは、人間の情報処理過程の中で、問題の理解過程や認知過程を捉えて文書化するか、またデフォルト機構やプロンプト機構を考える

といったことである。人間の思考過程に適したソフト・システム作りである。

以上のかかわり合いを解決するためにはまず、人間側の特性を知らなくてはならないので、計算機システムを人間に適するように設計する上での、人間特性について考えて行こう。

2. ハードウェアの人間工学

2.1 人間の特性

a) 視力と室内照明

人間の目の視細胞は、錐体細胞と桿体細胞よりなり、錐体細胞は明るいとき、桿体細胞は暗いときに活躍する細胞である。照度が0.1ルクス以上のときは、錐体細胞が活躍し、これを明視という。0.01ルクス以下のときは、暗視といい桿体細胞が活躍する。明るいところから急に暗いところに行っても、まわりがよく見えない、すなわち明視状態から急に、暗視の状態にうつるのには時間がかかる。これを暗順応というが、最近電気事情もよくなり、停電も少なくなり、室内照明も100ルクス以下のところは、あまりないので暗視状態の生理・心理的現象のことはあまり必要がなくなったので、ここでは、明視における生理・心理的現象にかぎってのべることにする。

物を見分ける能力を視力といって、これは識別できる最小視角の逆数で定義される。視角1分のとき、視力を1とする。この視力に影響する要因は ①背景輝度 ②視標と背景輝度との対比 の2つである。一般に背景輝度が明るいほど、対比が大きいほど、見やすくなる。図-1は、対比のちがいによる輝度と視角との関係を示したものである。ここでコントラスト C とは、

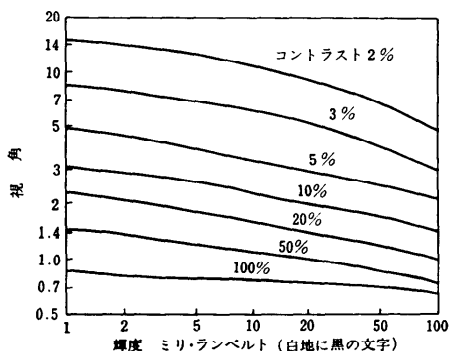


図-1 コントラストのちがいによる輝度と視角との関係 (McCormic, Human Engineering)

A と B を、隣接する 2 つの面の輝度を表わすとするとし、 $A > B$ のとき、

$$C = \frac{A - B}{A} \times 100$$

とあらわす。例えば、白い紙に印刷された文字の対比は、

$$C = \frac{(\text{白紙の輝度}) - (\text{文字の輝度})}{\text{白紙の輝度}} \times 100$$

となる。CRT 表示上の典型的な場合は、背景輝度が 20 cd/m^2 で、文字の輝度が 140 cd/m^2 ぐらいであるから

$$C = \frac{140 - 20}{140} \times 100 \approx 86\%$$

となる。一般に人間にとって見やすい A 対 B の値は、10 対 1 から 3 対 1 の間にあるとよいといわれている。

また、CRT ディスプレイ上の画像の見え方には、周囲の明るさも影響する。一般に人間は CRT ディスプレイ上のスクリーンの輝度と、その室内の輝度が等しく、しかも視野内で輝度が一樣のときは、対象の認知が一番容易である。いいかえると周囲の輝度と、CRT 上のスクリーンの輝度が等しいときが、明度の弁別域が最小となる。裏を返せば、周囲の視野の輝度が中心部の他の輝度より大きくなると、最も弁別が困難となる。このことは、CRT ディスプレイを置いてある室内の照明と位置によっては、人間にとって見やすくもなり、見えにくくもなるということを意味している。図-1 から、対比が 100% に近ければ、室内の明るさはそれほど影響はしない。しかし、同じ明るさで対比が異なると、その見え方は大きくかわることがわかる。

計算機システムの端末作業では、CRT ディスプレイ上の文字を読んだり、机の上の書類を見たり、字を書いたりしなくてはならない。そこに室内照明のむずかしさがある。書類は白地に黒字で書かれたものが多く、対比 C の値は 100% に近い。室内照明が 500 ルックスだとし、白地の反射が完全拡散面なら、反射率を 60% とすると、地の輝度は約 300 cd/m^2 となる。したがって、端末のブラウン管の輝度 140 cd/m^2 と比べると、その比は約 2 対 1 となっている。このくらいの室内の明るさであれば、明るさの対比からいって適当な明るさということになる。

作業者は、CRT ディスプレイばかり見ているわけではないので、必ずしも作業者の目は、CRT の画面上の背景輝度に順応しているわけではなく、そのため

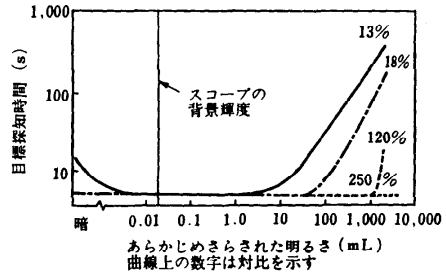


図-2 あらかじめさらされた明るさに対する目標探知時間との関係 (人間工学ハンドブック, コロナ社)

に目標を認知するのに時間がかかったり、見おとしたりする。作業環境の明るさと、CRT の画面上の明るさとのちがいがどの程度であれば、視認性に大きな影響を与えないかを調べると、図-2 に示されるように、画面上の目標と背景輝度のコントラストが 100% 以上であれば、CRT の画面上の背景輝度の 100 倍ぐらいの明るさまでは、たいした影響をうけないことが分かる。ここでいうコントラストは、{(目標の輝度) - (背景輝度)} / 背景輝度、の百分率があらわす。CRT ディスプレイの場合は、目標輝度の方が背景輝度より大きいので、一般にコントラストは前の例で

$$C = \frac{140 - 20}{20} \times 100 = 600(\%)$$

となる。図中の%は、このコントラストの値を示す。

この図から、作業場の明るさが 200 ミリ・ランペルト (約 630 ルックス) の明るさにさらされていた作業者が、CRT の背景輝度が 0.022 ミリ・ランペルトの場合では、対比が 120% 以上であれば、目標探知時間に大きな影響をうけることはないことを示す。

b) まぶしさ

照明学会の定義によると、「まぶしさとは、不快、苦痛、あるいは見え方を損ずるような視野内における高輝度、あるいは著しい輝度の差によって起こる効果である。」という。このまぶしさとは ①光源によるまぶしさと ②反射によるまぶしさ に大別できる。

CRT ディスプレイを使った作業では、①と②がともに関係してくる。目標の輝度が大きければ、コントラストが大きく見えやすくなるが、①のまぶしさが増してくるので作業者はむやみに輝度を上げるようなことはしない。図-3 は、室内の明るさと、快適な目標輝度との関係を示したものである。室内が明るければ目標輝度を、暗い場合より大きくとっている。

一般に、若い人は目標輝度をさげてコントラストを

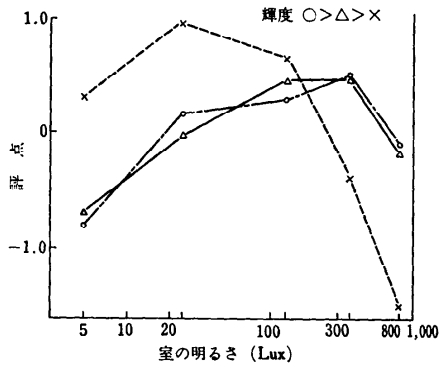


図-3 室の明るさと目標輝度による見えやすさの評点との関係（一対比較法による）（著者未発表）

落して、①のまぶしさをのがれているが、年齢とともに目標輝度を上げ、コントラストを大きくして視認性を上げているようである。

CRT ディスプレイで、現在多くの事務室で見られるまぶしきは、②によるものが多い。これは、周囲の明るさが 800 cd/m^2 あり、スクリーン上の反射率が10%あるとすると、そのコントラストは前の例で

$$C = \frac{140+80-(20+80)}{20+80} \times 100 = 120(\%)$$

となり、反射がない場合、600% だったのが120%に落ちる。反射率が大きくなると、このコントラストの値が急速に落ち、視認性が悪くなる。これが眼精疲労の1つの原因になる。したがってスクリーンからの反射を少なくする設計が必要となる。

c) 目の調節力

人は像を網膜上に結ぶために、水晶体を調節する。この調節する能力を、調節力というが、図-4に示すように調節力は年齢とともに急激に減少する。

実際 CRT 画面上の像を鮮明に見るのに、毛様筋を調節するわけだが、ある年齢以上になると特に静止画像では、目を細めて焦点深度を大きくして見ているようである。したがって、CRT ディスプレイだけ見ているのではなく、書類や書きものをしたりする事務作業では、見るものの視距離を一定とした配置が重要となる。これが、作業空間とディスプレイとの配置の人間工学の問題となる。

2.2 作業空間の設計（ハードウェアの人間工学）

端末機のもので正しい作業姿勢を図-5に示す。人間工学的に重要なことは図中に示すようにディスプレイのスクリーンの中心と視線のなす角度すなわち見る角

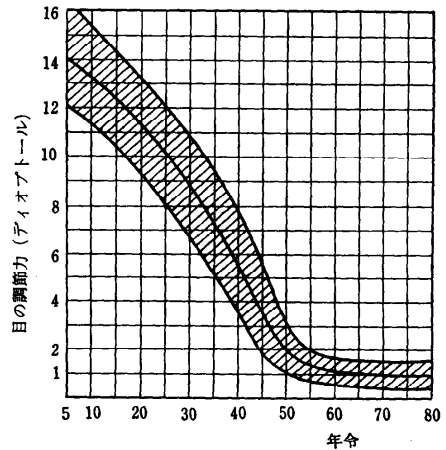


図-4 年齢による目の調節力との関係⁴⁾(Hartmann)

度を 20° にすること、肘と指先とのなす角度を 90° 以上にすること、また膝関節角度を 90° 以上にすること、脚空間を十分広くとること、フット・レストをもうけ、キーボードの傾斜角を $5^\circ \sim 15^\circ$ にすること等があげられる。Grandjean²⁾ は VDT* の作業姿勢と眼精疲労について調べた。そこではいろいろな端末機を使用している人の訴えをもとに、痛みを訴えた部位を図で示しているが、ここでは典型的な例としてデータ・エントリ・ターミナルを使用している女性53名、対話型ターミナルを使用している女性109名、タイプライタ作業者78名と普通の事務作業者55名についての痛みの訴えの%とその部位を図-6に示す。

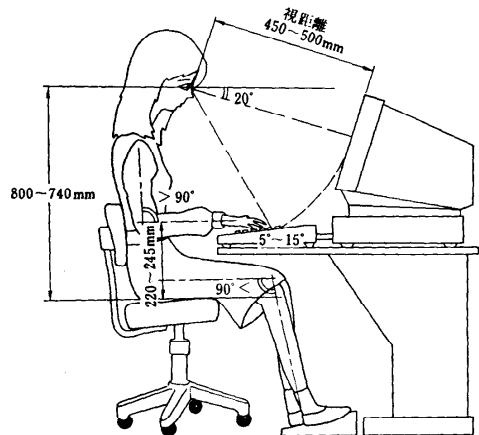


図-5 VDT 作業の作業姿勢⁴⁾

* VDT とは Visual Display Terminal の略

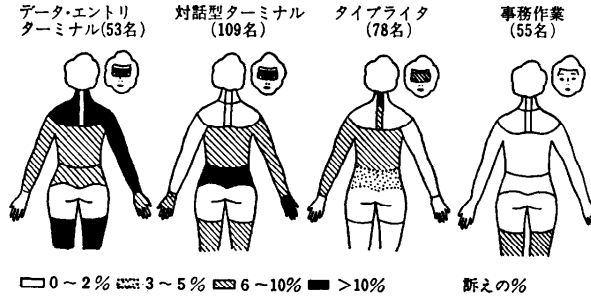


図-6 異なった事務作業の体や目の訴えの割合³⁾

10%以上の人が目ならびに肩、背、腕、手、足が痛いという。その他は胴体が6~10%の訴え率を示しているが、一般事務作業では訴えない。この痛みの訴えの原因はなにかについて調べるため、この論文では主成分分析を行っている。その結果を紹介すると、第1因子は視距離、第2因子は手の支持台、第3因子は椅子の高さと出ている。このことはVDT作業では作業姿勢とCRTディスプレイの位置ならびにキーボード

の高さが、またキーボード作業するとき手を支持する空間が必要なことが分かる。

最後にこの計算機システムのハードの人間工学のまとめとして、表-1にその推奨値を、表-2に特にVDT作業で人間工学的に考慮しなくてはならない要因についてあげておく。これはCohen³⁾が99人について調査した項目で、しばしばわずらわしいという頻度の高い順に項目をあげたものである。訴えの総数の割合ではスクリーンのグレア、文字の輝度、文字の可読性、フリッカ；スクリーンの輝度といった項目が高い値を示している。

表-1 マン・コンピュータ・インタフェースの人間工学的推奨値 (Cohen)³⁾

	推奨値
・作業場の照明	500~700Lux
・作業台の記入用紙とCRTスクリーン上の文字との輝度比	3:1~10:1
・CRTスクリーン上の背景輝度対文字の輝度比	1:5~1:10
・CRTスクリーン上の背景輝度	16~20 cd/m ²
・作業姿勢	
キーボードの高さ*	750~800 mm
視点と水平面とのなす角	男 10~20 度 女 20~30 度

* ホーム・キーから床までの高さ

表-2 わずらわしいという訴えの多い順にならべた人間工学的考慮すべき要因 (Cohen)³⁾

	しばしばわずらわしいという訴えの数	訴えの総数の割合
① スクリーンのグレア	45	85%
② 文字の可読性	28	69%
③ スクリーンの高さ	27	54%
④ フリッカ (スクリーン)	26	68%
⑤ 文字の輝度	23	70%
⑥ スクリーンの角度	18	45%
⑦ スクリーンの輝度	18	62%
⑧ キーボードの傾斜角	14	39%
⑨ VDTからの騒音	14	34%
⑩ キーボードの高さ	13	37%
⑪ 視距離	13	35%
⑫ キーボード作者との距離	10	33%
⑬ キーボードからのグレア	9	26%

3. ソフトウェアの人間工学

1章でのべたように計算機を使う人には3種類のタイプがあることをのべた。ソフトウェアの人間工学はこのタイプによって人間工学的に考慮すべき要件は異なってくるのは当然である。そこでここでは主に対話形計算機を使うアクティブ・ユーザを対象として話しを進めて行きたいと思う。

計算機システムを設計するに当たってまず考えなくてはならないことはStewart⁴⁾によると、

(1) 文書化のデザイン：これは計算機システムを使用する利用者はまず説明書を読んで、そのシステムを利用するわけであるが、その説明書が冗長であったり、複雑だったり、ときには間違っていたり、理解が困難であったりすることがしばしばある。したがってこの文書化のデザインは利用者理解しやすいような配慮をする必要がある。このためには文字表示、画像表示を人間にいかにか容易に情報のやりとりができるようにデザインするかが重要になる。したがって必要な情報がどこにあり、それをどうやって引っぱり出すかが問題である。英国におけるPrestelとよばれるシステムは、キーボード上の2~3のインストラクション

キーとスクリーン上のメニュー選択番号を用いて必要な情報をデータ・ベースから呼び出す方式をとっている。この例では必要情報をえるためのメニュー選択のためにかなりの時間がかかる欠点がある。

文字表示装置を利用した会話手法の中には、コマンド方式、すなわち利用者からコンピュータに対しなんらかの問合せ、指令を入力するとそれに応じた表示をする方式、メニュー選択方式すなわちコンピュータは利用者の指定可能な事項を列挙し、利用者の中から必要なものを指定させる方式と、空欄記入方式とがある。これは乗車券の購入申込用紙のように記入の必要な項目だけ空欄にした形を整えた表示を利用者に与えその空欄に必要な事項をうめさせる方式である。会話方式はどうかであれ、文書化には十分考慮する必要がある⁹⁾。

(2) 導入方式: はじめて計算機システムを利用する人にとってやる気を起させる方法である。これは自分が誤まりをおかしたときに直ちにそれを修正することができるようなシステムを作ることである。われわれが経験していることであるが、エラーがどこで起り、どんな理由で起ったか分からない場合が多い。これで計算機アレルギーになる人が多いので、利用者による気を起させるためにはこのエラー回復機能を計算機にもたせることが重要となる。例えば利用者に計算機に次に行うべき指令をするコマンド言語で、そのコマンドに必要な情報を与え損ったとき ①プロンプト: 必要な情報を利用者に対し補足するよう促す ②デフォルト: 不足した情報を計算機が妥当と解釈して自動的に補う、という方式があるが、これなども利用者の心理行動を配慮した設計をすることがのぞましい。

(3) 簡略化: コマンド語を簡略化して使うとキーの打ちこみが簡単になる。実際に利用しているといつも出てくる語はなるべく簡略した方が使いやすい。

(4) 配置: 情報の配置と形式、これは文字を単に羅列して表示するのではなく、あたかも表であるかのような一見して意味が十分理解できるような形式にすべきである。これによって表示が見やすく、その内容が理解しやすくなる。そのためにはグループ化、スペースのとり方、必要情報のみを表示する、矛盾のないこと、簡明化等を考慮することである。

(5) 順序: 会話の順序は利用者の作業順序にしたがって順序づけをすること、例えばマニュアルからデータをもらわなくてはならないとき、マニュアルの順序でデータを与えることが必要である。

(6) 図表化: これは一見して状況が分かるような図表を用意することである。

(7) 利用者思考の形式と手順: このことは設計されたシステムについて一般利用者にテストしてもらい、その理解できない点をチェックして再設計しなおすことが重要で、とかく設計者がよかれとやったことが利用者にとって煩雑であったり、不十分であったりすることが多い。

(8) エラー: エラーははやく発見でき、修正努力が最小になるように考慮する必要がある。

(9) システム応答時間: 応答時間が長いと人間の短期記憶に負担がかかり、極端の場合次に何をすべきかを忘れてしまうことがある。人間の作業速度、思考速度に合った時間がよい。一般に利用者は2秒以下の遅れなら時間の応答と感じており、4秒以上では不自然な中断感を持つといわれている。しかも応答時間にばらつきがあると利用者は心理的に大きく影響するようである。

(10) 設計されたシステムの評価: 利用者が使いやすいといった観点から人間工学的に評価する方法、例えば VDT 作業をする際の VDT システムの人間工学的チェックリストを用いて評価する⁹⁾。

最後にまとめて設計手順をのべると、(1) 会話の目的決定と必要情報の明確化 (2) 利用者の決定 (3) 会話方式の選定 (4) 応答時間の検討 (5) 装置の選定 (6) 会話構造の決定 (7) エラー、故障、秘密保護の考慮 (8) プログラミング (9) 実現システムの検討の順で行うとよい。

参 考 文 献

- 1) Licklider, J. C. R.: Man-Computer Symbiosis, IRE Trans. on Human Factors in Electronics, HFE-1, No. 1, pp. 4-11 (1960).
- 2) Hünting, W., Läubli, T. and Grandjean, E.: Postural and Visual Loads at VDT Workplaces I. Constrained Postures, Ergonomics, 24, No. 12, pp. 917-931 (1981).
- 3) Stammerjohn, L. W., Smith, M. J. and Cohen, B. G. F.: Evaluation of Work Station Design Factors in VDT Operations, Human Factors, 23, No. 4, pp. 401-412 (1981).
- 4) Stewart, T.: Communicating with Dialogues, Ergonomics, 23, No. 9, pp. 909-919 (1980).
- 5) 林 喜男編: 人間工学, 日本規格協会(昭和56年).
- 6) Cakir Hart Stewart: Visual Display Terminals, Appendix I Ergonomic Checklist for VDTs and VDT Workplaces, John-Wiley (1980). (昭和58年2月18日受付)