

解説



各種システムにおける人間的側面

CAD/CAM システム†

長 嶋 幸 一†

1. CAD/CAM システムの目的

従来、設計作業は紙と鉛筆、消しゴム、製図器具などを使って人手で製図を通して行われてきた。CADの目的は設計工程において設計技術者がコンピュータを利用してより敏速で効率的に最適な設計を行うことにある。CAMの目的はCADの設計情報によりコンピュータを利用した工作機械を使って自動的に物を加工し省力化を図ることにある。本項では近年急速に普及しはじめたCADシステムのうちで、対話という、人間と深い関係をもつグラフィック・ターミナルに焦点をあてて解説する。

2. グラフィック・ターミナルの概要

2.1 機能

グラフィック・ターミナル(以下ターミナルと呼ぶ)は、ホストコンピュータに接続され、人間とホストコンピュータとの対話のために使われる。ターミナルの対話機能は単に図形情報の入出力だけでなく、入力された図形の追加、修正、削除や編集の指示も行える。ターミナルには図形情報や編集指示のデータを、ホストへ入出力するだけのノンインテリジェント形のもの、ターミナルで、ある程度のデータの処理、加工を行うインテリジェント形のものがある。後者は前者に比べ対話応答が速く、ホストへの負荷軽減、データ伝送量の低減などの長所を持つが、高価である。

2.2 構成

ターミナルは、通常出力機器としての表示装置、少なくとも1つの入力機器、これらの制御装置の3種から構成される。ターミナルは外観から入出力機器と制御装置のすべてが一体になったものと、これらが全く別々で自由に配置できるもの、適当な組合せで一体化

したものなどがある。また構成機器として他に机、椅子などが作業に必要であるが、実際にはターミナル専用で筐体の一部となっているものも多い。

a. 出力機器

対話のための表示用としてCRTディスプレイが一般に用いられる。CRTは表示方式により2つに分けられる。電子ビームをつねに走査し目にちらつきを感じさせない程度にこれをくり返すリフレッシュ型と、一度走査すると、その軌跡を電氣的に管面に蓄積し発光状態を保つストレージ型がある。ストレージ型は安価でちらつきがないが、部分消去ができず、輝度の変化がつけにくい、暗いなどの点から対話型のディスプレイには使われにくくなってきている。また、CRTは電子ビームの走査方式によりランダムスキャン方式とラスタスキャン方式に分けられる。ランダムスキャンは図形を、線に従ってビームを振らせて表示していく。ラスタスキャンは、テレビ画面のようにCRTのスクリーン全面にビームを一様に走査し、図形に応じてその輝度を変化させて表示する。この他に出力機器としてCRTディスプレイの表示をそのまま用紙に写しとるハードコピーがある。

b. 入力機器

入力機器はターミナルの用途に応じて数種類のうちから選択して用いられる。一般的にはキーボード、ファンクションキー、コントロールダイヤル、タブレット、ライトペンなどが普及しており、他にジョイスティック、トラックボール、ムースなどがある。入力情報によって機能別に分類すると次のようになる。

i) 命令

- ① キーボードからの文字列
- ② ファンクションキーからの専用命令
- ③ タブレット、ライトペンによる命令メニューからのポインティング入力

ii) 命令のパラメータ

- ① 文字列

† CAD/CAM System by Yukikazu NAGASHIMA (Engineering Department Systems Engineering Division, Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd.).

‡ 三井造船(株)システムエンジニアリング事業部技術部

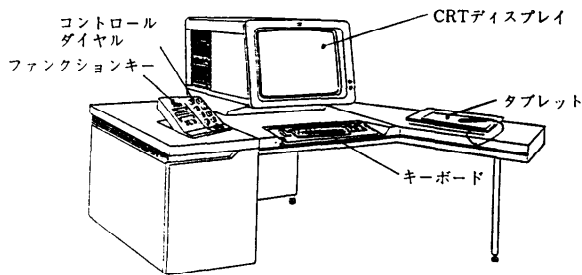


図-1 グラフィック・ターミナル外観図

- キーボード
- タブレット、ライトペンによる文字メニューからのポインティング入力

② ポインティング：表示図形の中から自分の要求するものを指定する。

- タブレット、ライトペン、マウス

③ ポジショニング：これから表示する図形や文字の入るべき位置を指定する。

- タブレット、ライトペン、コントロールダイヤル、ジョイスティック、トラックボール、マウス

2.3 利用形態

図-1 のような構成の代表例を用いて利用形態を説明する。

(1) ターミナルの起動

キーボードを使ってターミナルの接続、アプリケーションプログラムの起動を行う。

(2) 図形入力

ファンクションキーを押し図形入力用の基本命令を選択する。タブレットにより、画面の命令メニューの中から詳細命令を選択し、次に各種パラメータの入力を行う。パラメータにはキーボードからの文字や数値、タブレットから画面上のカーソルマークに対応した位置、タブレットからのポインティングによる図形指示などがある。

(3) 図形編集

図形編集用の命令を選択し、図形入力と同じ操作により行う。図形編集命令には追加、修正、削除、複写などがある。コントロールダイヤルである図形をX、Y方向に移動、拡大するなどの補助機能もある。複写には、縦横の比を変えたり、軸対称に反転などの修正を行う機能もある。

(4) 図形ファイルの登録

図形入力や編集により完成した図面は、図面登

録命令により、ホストの記憶装置に分類して保存される。

通常、最初に図形入力機能を使って、手書き図面やスケッチなどの資料をもとに標準図を作成し登録する。以後は標準図を繰り返し使って、図形編集機能により修正しながら新しい設計を進めて行く。したがって作業としては図形編集が最も比重が高く、次に図形入力となり、これらの作業時間が大半を占める。

3. グラフィック・ターミナルの設置環境

3.1 温湿度・騒音

表-1 に作業別の至適温度を示す。ターミナルによる設計作業は、ほとんどが手先作業で R. M. R. (エネルギー代謝率) は、0.5~1.0 と推定される。したがって表から乾球温度で 20~25℃ が快適であろう。湿度は快適な温度範囲では、熱的快適性にはほとんど影響をあたえないとされている。

騒音は耳ざわりな音という極めて主観的なものであるため、個人差や馴れに大きく影響されるとともに、一定レベルか間欠かでも差がある。JIS の A スケールで測定した例を、表-2 に示す。騒がしさについて会話妨害レベル (SIL) という単位を用いた評価を、図-2 に示す。(a) は小さい静かな事務所、(b) は一般の事務所である。SIL は、オクターブフィルタを使った 600~1200, 1200~2400, 2400~4800 c/s の 3 つのバンドでの音圧レベルの算術平均をとったものである。

3.2 照明

ターミナルでは、眼の作業域は人間の前におかれたディスプレイの画面と、机上の入力装置および設計資料に二分される。ディスプレイ画面は、それ自身が発光するため、通常の照明条件と異なるので 4 節でも詳しく説明する。

(1) 照 度

明るさとともに視力は、図-3 のように向上するが

表-1 筋肉作業と精神作業の至適温度 (三浦, 鈴木)

乾球温度 (D. B.) [°C] (RH 50~60%)	実効温度 (E. T.) [°C]	筋 力 作 業		精神作業
		RMR 3.5 (≒4.5kcal/min)	RMR 1.7 (≒2.8kcal/min)	RMR
20	18	かなりよい	よい	好ましくない
25	22	快適でない	かなりよい	よい
30	26	好ましくない	快適でない	快適でない

注) RMR: エネルギー代謝率

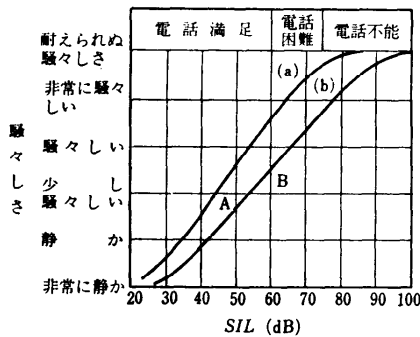


図-2 事務室における SIL と騒がしさの関係

表-2 騒音レベル (ホン) による騒音の許容値

室 名	ホン (A)
放送スタジオ	25
音楽ホール	30
病院	35
劇場 (500 席程度)	35
教室	40
会議室	40
アパート、ホテル	40
住宅	40
映画館	40
図書館	40
小事務室	45
レストラン	50
体育館	55
大事務室	50
工場	60~70

1000 lx あたりから飽和し始める。一方、明度の相対的識別能力は、図-4 のように 100~1000 rlx が最もよい。rlx (ラドルックス) は、輝度で lx に反射率を掛けたもの。

a. 机上の作業域

図-5 に示すようにすべての活字が普通に読めるには、1000 lx 程度必要である。また、JIS では表-3 のような基準がある。作業時に参照する資料の細かさによるが、500~1000 lx が望ましい。

b. CRT 画面の作業域

オペレータは主にディスプレイを見ながら、机上の作業域 (設計資料や入力機器) にも眼を向けて作業を進める。これらの輝度が一律でないと疲れを生じる。これは瞳孔が明暗に順応し、無意識に調節動作を行うためである。トンネルに入ったときのような、明所から暗所への順応 (暗順応) が遅い。

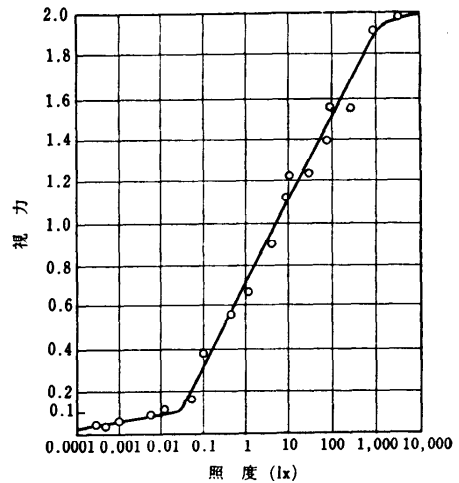


図-3 明度識別閾値

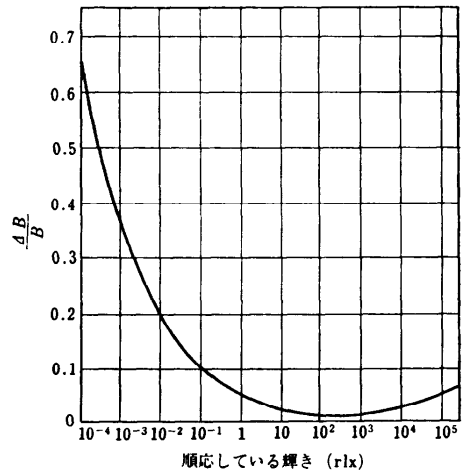


図-4 照度と視力

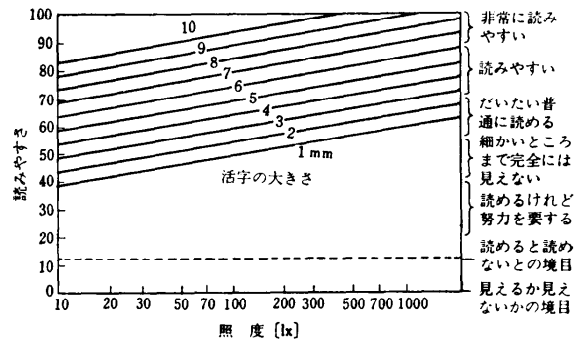


図-5 照度と読みやすさの関係 (印東, 河合)

表-3 工場における照度基準 (JIS Z 9110 に対応)

照度 [lx]	作 業	場 所
3 000	精密機械、電子部品の製造、印刷工業などでのきわめて細かい視作業	制御室などの計器室、制御盤
2 000	組立 a 検査 a 試験 a 選別 a	
1 500	設計 製図	
1 000	繊維工業での選別、検査、印刷工業での植字、校正、化学工業での分析など細かい視作業	設計室、製図室
750	組立 b 検査 b 試験 b 選別 b	
500	一般の製造工程などでの普通の視作業	制御室
300	組立 c 検査 c 試験 c 選別 c 包装 a	
200	倉庫内の事務	
150	小物製品の包装などの視作業	電気室 空調機械室
100	包装 b	
75	荷造 a	出入口、廊下、通路 作業を伴う倉庫 階段、洗面所、便所
50	大きな製品の包装などの視作業	
30	包装 c	
20	荷造 b, c	屋内非常階段 倉庫 屋外動力設備
15	—	
10	—	
	—	屋外 (原料、材料などの置場、通路、構内警備用)

注) (1) 事務・管理部門については、JIS Z 9110 の付表1の事務所を参照のこと。

(2) 同種作業名について、見る対象物および作業の性質に応じ、次の三つに分ける。

- ・表中のaは、細かいもの、暗色のもの、対比の弱いもの、特に高価なもの、衛生に関係する場合、精度の高いことを要求される場合、作業時間の長い場合などを表す。
- ・表中のbは、中間の場合に対応する。
- ・表中のcは、粗いもの、明色のもの、対比の強いもの、がんじょうなものの、さほど高価でないものを表す。

(3) 危険作業、視対象物の反射率が低いときは1.5~2倍の照度とする。

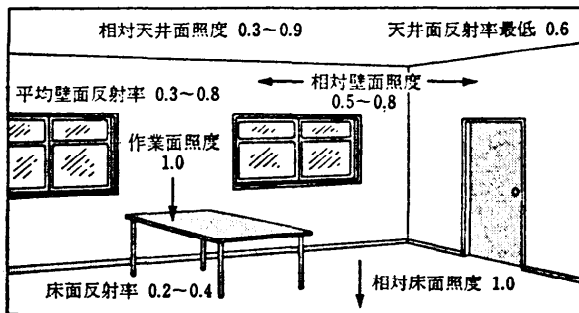


図-6 部屋の各面の反射率および相対照度の推奨値 (IES)

CRTの管面輝度は照明の管面反射による一定値に、表示画面の発光輝度という可変量を加えたものとなる。照明は管面の最小輝度を決定するので、コントラストにも影響する。暗い方がコントラストが大きくなるとなることになるが眼が疲れやすくなる。英国照明学会の推奨の図-6に示す相対壁面照度0.5~0.8が参考となる。これは机上の作業面の輝度(照度×反射率)を1として、管面輝度(照度×反射率)を0.5~0.8と

するような管面への照明が望ましいということになる。

c. 作業域の背景の照度

前述の図-6が参考となる。作業域より周囲の方が明るいときには著しく視力が低下する。

(2) 直接グレイ

輝度の高い光源や照明器具、窓などが視野にあると視覚機能が損われる。光源の輝度が高いほど、大きいほど、視線方向に近いほどまぶしく感じる。したがって作業時の視野内に光源が入らないよう配慮が必要である。この場合の視野は頭部を固定して眼球運動だけで網膜中心窩に映る範囲である注視野(半径44°の円形)を用いる。

(3) 間接グレイ

光源から視作業対象物が近い場合や対象物の反射率が大きい光沢紙やガラス板の場合、光源の反射によるまぶしさがある。これを防ぐには、

図-7の α を40°以上とるのが望ましい。

3.3 作業スペース

人間には固有の空間を占有したいという本能があり、パーソナルスペースと呼ぶ。これは作業室を狭い部屋にするとか区切りを設ける場合に重要となる。人間が活動する室内の空間として心理的に圧迫を感じないためには、2.7m 四方、2.2m 高さ以上とる必要がある。

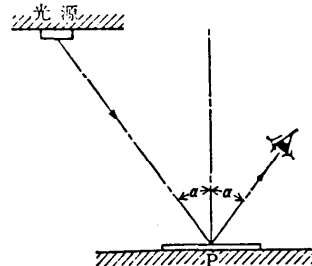


図-7 光源位置と反射グレイ

4. グラフィック・ターミナルの操作性

4.1 機器配置の要因

機器配置を決める要因には、人間の機能的特性と機械側の機能的要求がある。前者は主に視覚的特性と人間の作業領域であり、後者には機器の種類、機能、操作頻度がある。

(1) 作業姿勢

作業として各種入力動作が考えられるが、上肢の軽作業の場合エネルギー代謝の最も少ない椅座姿勢が適している。

(2) 視 覚

a) 通常視線

静止しているときの自然な視線で椅座姿勢では、約15°下向きである。

b) 最適視角

視力は網膜上の中心の最も先鋭な部分から離れると急速に低下し、中心より2°で約40%となる。この部分を注視点と呼ぶ。読書などでは眼球を動かすことによって注視点を移動させている。この眼球運動のみで対応できる範囲を注視野と呼び約44°である。しかし、実際には物を見る場合は、7°をこえたと頭部の運動によって眼球運動を助けるようになる。

c) 視 界

椅座位のオペレータが容易に注意を転じることのできる範囲は、図-8とされている。

d) 明視距離

近点を視る場合には、レンズをとりまく毛様筋を弛めることにより、レンズ自身の弾力でその厚さを増し焦点距離を短くする。このときの最短を近点距離といい、年齢とともに延長する。目を過度に緊張させることなく、しかも楽な姿勢で細かい物を見ることのできる距離を明視距離という。普通30cmと言われているが、42才をすぎると30cmをこすので老眼鏡が必要となる。

(3) 作業領域

a) 最適作業領域

最も楽に速く作業のできる領域である。垂直方向：背もたれの角度を変えたときの様子を図-9に斜線で示す。近低点、近高点、遠低点、遠高点の4点で拘束される。近低点は肘が体に接し前膊が水平にあるとき、近高点は肘

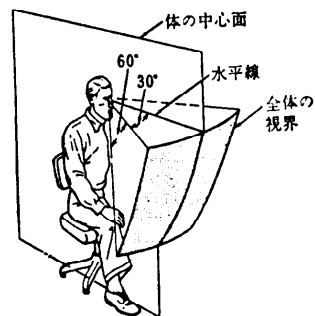


図-8 椅座位の視界

が体に接し前膊が肘の所で15°上方へ曲げられた位置で決定される。また遠高点は腕を肩から水平に伸ばすことにより、さらに遠低点は腕を伸ばして近低点の高さまで下げられた所で決定される。

水平方向：米国の資料では約59cmの幅というデータがある。これは肩幅より約15cm広い範囲である。

b) 最大作業領域

椅座姿勢で関節を最大限に動かして得られる作業域である。最適作業域を外れてしまう場合には、体に密着した動作や側方に離れる動作は極力避けるべきである。

4.2 機器配置の実例

2.3 利用形態で述べたように、操作の頻度はタブレットが最も多く、ファンクションキー、ダイヤル、キーボードはアプリケーションによって順位は異なるが、タブレットに比べるとはるかに少ない。図-10に配置例を示す。タブレットは右手操作を考えやや右よりに、キーボードは両手操作を考え正面に、ファンクションキー、ダイヤルは左手操作とし、ディスプレイをさえぎらない程度で中央よりに配置する。また入力

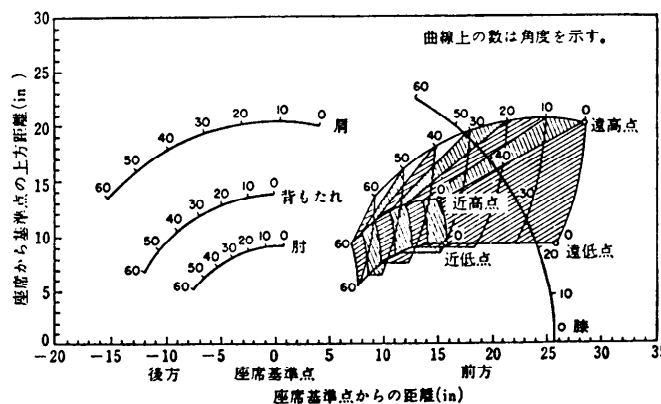


図-9 椅座位の最適作業域

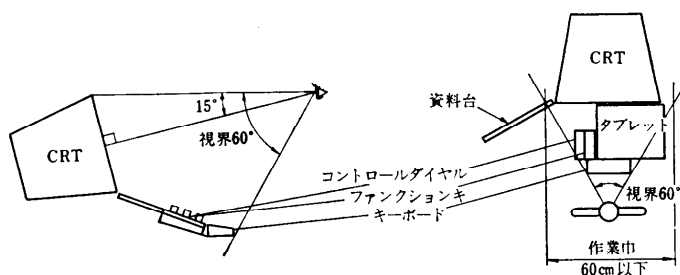


図-10 グラフィック・ターミナル配置例

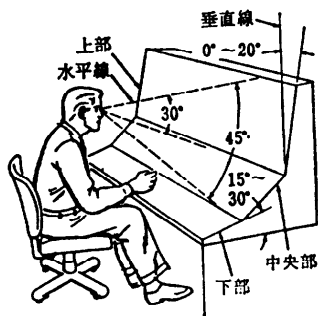


図-11 パネル形状

機器は最適作業領域で、しかも最適視角に近い位置とし、見やすいよう水平より 15° ~ 30° 傾斜をつけておく。図-11が参考となる。CRT ディスプレイは、通常視線に垂直とし眼との距離は明視距離の 30cm より少し長くとする。この距離で画面が視界の上部一杯に入るようにする。作業時参照する設計用の資料は、操作机の上に置くことが多いが、視角の外に置くこととなり視線の移動のため頭部や身体を動かす必要がでてくる。資料台を設けディスプレイにできるだけ近づけて、ディスプレイと同じ傾きとするのが望ましい。ただし照明には十分配慮する必要がある。

4.3 機器の機能性

(1) CRT ディスプレイ

a) 画面の大きさ

視距離を 30cm として説明するが長くなるときは比例で考えればよい。米国国立労働安全衛生研究所の勧告では 45~50cm としている。これは個人差、年齢差、疲労の影響による近点距離（最も近くにピントを合わせることのできる距離）の延びを考慮したものである。画面の大きさは、大きいほど多くの図形を一度に映し出せる。視界から考えると約 60° の幅が目安となる。これは視距離 30cm で約 35cm 幅の画面に相当する。縦横比 3:4 (26×35cm) の CRT に換算す

ると約 18 インチとなる。

b) 解像度

眼の解像力は、最も好い条件のもとで白地に黒い線を見る場合、線幅は視角で 0.5 秒（視距離 30cm の CRT 上で 0.0007mm）である。2 点の分離能力は、間隔 30 秒（CRT 上で 0.04 mm）、線と線のくい違いは 5~1 秒（0.007~0.0015mm）である。CRT の分解能は網膜の中心

窩の視細胞の直径に対応する 0.02mm（視距離 30cm）が理想的といえる。しかし、設計でグラフィック・ディスプレイを使用する場合：実用的には 2 点の分離能力に相当する 0.04mm 程度の分解能で十分と思われる。また従来の鉛筆書きの製図を仮定すると線幅は、最小 0.2~0.3mm であるから分解能は、0.1~0.15mm 程度で十分であろう。

c) 最小輝度、最大輝度

最小輝度は CRT が発光していないとき、周囲の照明が管面反射する輝度である。

最大輝度は不快グレイ（不快を感じるまぶしさ）を生じないで、画面の平均輝度を他の作業域の輝度と同程度までに押さえるべきである。不快グレイは光源と背景の輝度差が大きいほど、光源が大きいほど、感じやすくなる。

したがってラスタスキャンの場合は画面全体を白で塗りつぶしたとき、周囲の作業域の輝度と同程度となるような輝度が最大となる。図-12 にカラーテレビの実験例を示す。

またランダムスキャンの場合は、線画で発光面積が

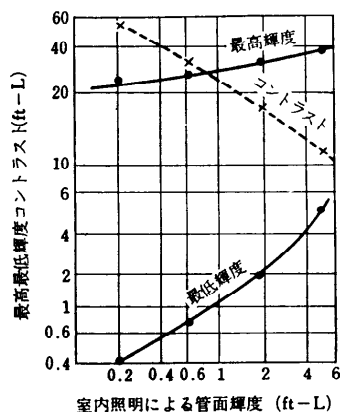


図-12 室内照明の明るさと最高輝度およびコントラストとの関係 (田所 1968)

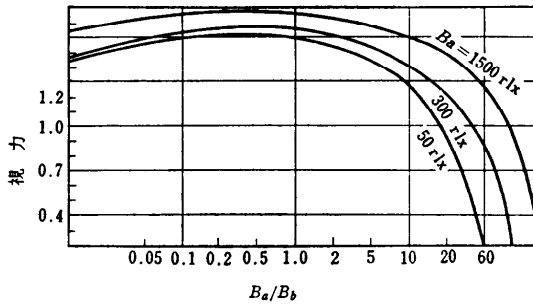


図-13 周囲の明るさ B_a と中心 (5°) の明るさ B_c との比が視力におよぼす影響

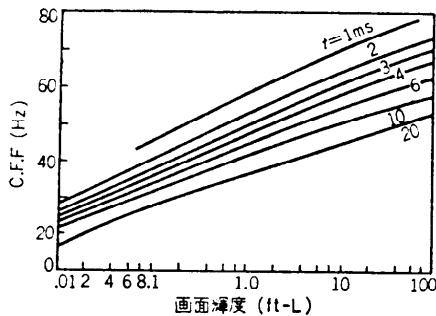


図-14 受像管の画面を全面白く光らせ、高さの5倍の距離から見た場合の臨界交照数 (CFF)

小さいため不快グレイはラスタスキャンより高い輝度で発生する。画面全体の平均輝度もラスタスキャンよりはるかに小さい。

最大輝度に関する目安として 図-13 で視力のあまり低下しない $B_a/B_c=0.1\sim1.0$ の範囲、すなわち最大輝度が最小輝度の1~10倍が望ましい。ただし不快グレイは別に考える必要がある。

d) コントラスト

物の識別は背景と指標との輝度の違いと色の違いで行われる。その識別能力は指標の大きさにも影響される。一般的にコントラストが大きいほど、視力は上昇する。しかし、複数の指標があるときには、一方の指標を注視すると他方は背景として作用する。したがって互いに背景として存在しても視力を低下しない範囲として、前述の 図-13 より推定した、1~10倍が参考となる。

e) フリッカ

CRT ディスプレイは画面を毎秒30~60回程度繰り返して表示している。眼の残像作用によ

りフリッカ (ちらつき) を感じないように繰り返し回数が設定されている。その回数は CRT では、蛍光体の残光特性により大きく変化するが、図-14 にテレビの実験例を示す。フリッカは光源が大きいほど、輝度が高いほど感じやすくなる。また眼の疲労状態にも影響される。

なお動画がスムーズに見えるには、毎秒15枚以上とされている。

(2) タブレット

タブレットはスタイラスペンの位置をカーソルマークで対応させて画面上に表示する。この対応をうまく行う条件には、スタイラスペンとカーソルマークの移動量の比、反応時間の遅れ、動きのなめらかさなどがある。移動量の比は大きすぎると操作速度は増すが位置ぎめが困難になる。滑らかに移動させるには、毎秒15回以上スタイラス位置からカーソル位置へ変換し表示させねばならない。スタイラスペンには内蔵のプッシュボタンにより、ペン先を押す入力操作がある。このストロークは3mm、抵抗は140g前後が使いやすい。また握りやすいペン形状も重要な問題である。

(3) ファンクションキーおよびキーボード

プッシュボタンの操作性の条件として、直径1.25cm以上、変位0.3~1.25cm、抵抗140~270g、間隔0.6~2.5cm などがある。この他にも抵抗特性をはじめ低く急速に上昇し操作完了で低くなるような操作確認ができること、誤動作を避けるため慣性がないこと、指の腹がフィットするためのくぼみをつけるこ

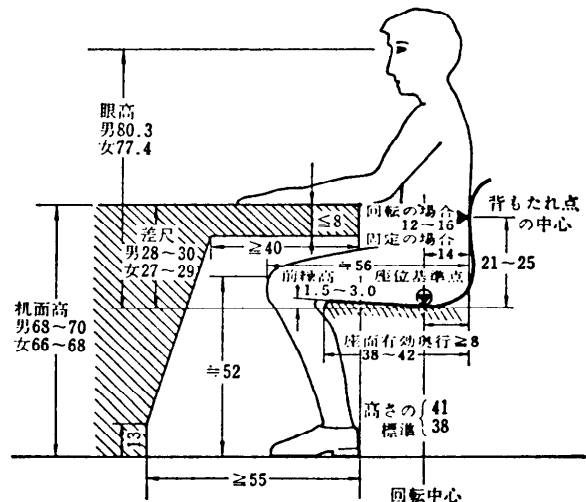


図-15 作業いすと機の機能寸法

と、などの条件がある。また操作確認にはクリック音を発生する方法もあるが、人によって耳ざわりに感じることもあるので調節できるとよい。各プッシュボタンの識別のためのコーディングも操作速度、誤操作防止、疲労に影響する。識別方法には位置、形状、寸法、色、説明文などがあり各ボタンの機能や頻度により決定される。

(4) コントロールダイヤル

ダイヤルの操作性の条件は直径 2.5~10cm, 厚み 1.25~7.5cm, 間隔 2.5~5cm, 慣性がないこと, つまみの配置は操作のとき, 他のダイヤルが手の動きを妨げない, などである。抵抗の大きさは 5 cm 以下の直径では, 操作にはほとんど影響しないので軽い方がよい。

(5) 椅子

人間の作業の中心となるもので, 作業に適した, 疲れの少ない, よい姿勢を保つという重要な役割をもつ。図-15 に関係寸法を示す。作業用椅子の条件を示すと

a) 座面は水平くらいで座骨点をしっかり支え, クッションが柔かすぎないこと。

b) 背もたれが第4腰椎(ベルト付近)をしっかり支えられること。

c) 高さ調節のできること。

4.4 対話機能

ターミナルを使った設計作業は, ある命令を与え, 目標とする処理結果を得る。これを操作ループと呼ぶ。この繰り返しによって対話処理が行われる。対話機能の操作性を決定する要因を以下に示す。

- ① 命令に対する応答時間が十分短いこと。
- ② 命令の入力方法が簡単で労力の少ないこと。

③ 同一結果を得るのに, パラメータの与え方の異なる多種の命令があること。

④ 一命令で多機能をもつ命令が用意されていること。

⑤ 命令選択を助ける適切なガイダンス表示がされること。

⑥ 誤操作に対する適切な警報, エラー表示がされること。

5. グラフィック・ターミナルの安全性

ターミナルの安全性に関するものは, X線放射, 耐震性, 視力低下などが考えられる。CRT からの X線放射は微量で, 日常自然に受ける量とあまり変わらず人体には影響はない。耐震性は, CRT の破損に注意する以外は通常のオフィス機器と同様に考えればよい。視力低下は人間工学的に配慮されたターミナルであれば, 近距離を注視する作業と同等と考えられる。

参 考 文 献

- 1) 人間工学ハンドブック編集委員会: 人間工学ハンドブック, pp. 99-172, 349-385, 金原出版(1966)。
- 2) 近藤 武: 人間工学データブック, pp. 233-268, コロナ社(1972)。
- 3) 浅居喜代治: 現代人間工学概論, pp. 129-164, オーム社(1980)。
- 4) 樋渡涓二: 視覚とテレビジョン, p. 104, 109, 日本放送出版協会(1968)。
- 5) 小原二郎: 人間工学からの発想, pp. 124-136, 講談社(1982)。
- 6) 日本音響材料協会: 騒音対策ハンドブック, p. 46, 47, 技報堂(1966)。

(昭和 58 年 2 月 10 日受付)