

VDT作業の基準アイポイント

平 沢 尚 毅

1. はじめに

近年の情報関連技術の発達にともないディスプレイを利用した作業環境が増加している。例えば、TV 会議システム、原子力発電所等のプラントにおける監視制御室、医療分析システム、金融窓口システム等が挙げられるが、最も代表的なものとして、VDT (Visual Display Terminal) を利用した作業環境がある。VDT 作業環境下における作業姿勢一般を VDT 作業姿勢とした場合、この作業姿勢を拘束するのが CRT (Cathode Ray Tube)、キーボード、作業台ならびに椅子等の VDT 構成要素のレイアウトである。CRT ディスプレイ (以下ディスプレイと呼ぶ。) のレイアウトは頭頸部の姿勢や視覚等の負担と関係があり、この負担を軽減するためには利用者に適合したディスプレイのレイアウトが求められる。そのためには利用者の基準アイポイントをどこに設定するかということが重要な条件となる。本研究は利用者に適合したディスプレイレイアウトを設計するための条件である基準アイポイントを設定することを目的とする。

従来のアイポイントの設定には 2 種類の方法がある。1 つは、利用者の身体計測値である座面・眼高距離を利用する方法である。しかし、この計測値を基準としたガイドラインが実際に利用者に適合していないことが、Grandjean²⁾, Cornel¹⁾ らによって報告されている。もう 1 つの設定方法としては、実際の作業時のアイポイントを実測する方法である。これによれば、利用者の選

好値を求めることができるが、レイアウト設計ごとに実測していたのでは時間等の制約が大きくなる。本研究では既存の身体計測値を利用して作業時のアイポイントを推定する方法を提案する。この方法により、実測の手間を省略することができ、さらに利用者の選好値に近似した値を得ることができる。

2. 研究方法

ディスプレイの側面レイアウトの要素である『高さ』と『傾き』を決定するためのアイポイントの情報は眼高と視線の傾きである。したがって、アイポイントを設定するために、これらを求めることにする。

まず、必要となる眼高は身体計測値ではなく、作業時の眼高である。この2つの眼高の関係は、身体計測時を基準とした時の作業時の眼高鉛直方向変位を Δy とすれば、次のように表わせる。

$$(\text{作業時の眼高}) = (\text{身体計測時の眼高}) - \Delta y \quad (1)$$

Δy を求めることによって作業時の眼高を推定することができる。ただし、 Δy は作業時間の経過により変動することが予測されるが、今回は作業開始時点アイポイントの基準と考え、この時の Δy を求めた。

視線の傾きとは俯角(あるいは仰角)のことである。これを λ として求めた。

以上の Δy および λ を図1に図示した。

3. Δy の推定

1) Δy の計測方法

個人の身体計測値から Δy を推定するためには、単純には身体計測値と Δy との比を計測すればよい。しかし、この方法では Δy だけの情報が得られるのみである。眼の位置変化の特徴を明らかにすることができれば、より詳しい眼の位置情報を得ることができる。そこで、眼の位置変化を特徴づけるための計測を行った。この時に計測した部位を表1に示す。まず、座面高、キーボード作業台高を身体計測値に合わせて設定し、フランクフルトプレーン(耳珠点と

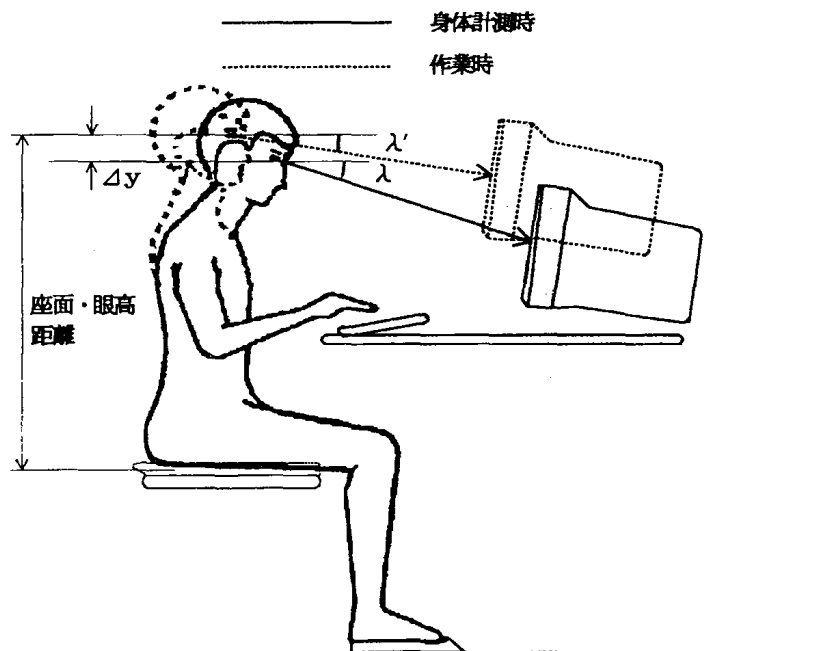


図1 身体計測時および作業時のアイポイント

眼窩点とを結ぶ耳眼水平面)を水平にして、座高を計測する場合と同じ姿勢をとらせることから計測を始めた。この時の計測部位は座面・眼高距離である。次に、閉眼したまま、VDT作業を開始する時と同じ姿勢をとらせ、この間の

表1 動作計測部位

No	計測部位
1	外眼角点 (目尻部)
2	耳珠点 (耳軟骨部)
3	頸椎点 (身体背面第7頸椎上)
4	肩峰点 (胸骨柄上)
5	身体背面第4胸椎上
6	身体背面第8胸椎上

姿勢変化を計測した。なお、椅子は被験者の動きを拘束しないように背もたれのないものを利用した。計測器には応用計測研究所の動作計測器 ARTIST-Gを用い、データはPC9801VX (NEC社製)に転送し解析を行なった。被験者はVDT作業経験1年以上の男女25名である。(男子18名、女子7名)この結果、計測した身体部位の動作の特徴をあげると表2のようになった。特に、身体計測時の姿勢から作業姿勢へと変化する場合の眼の位置変化は、第4胸椎付近にある任意の点を相対的な中心とした回転運動と見なすことができ

表2 各部位の動作の特徴

No	計測部位	動作特徴
1	外眼角点	下側後方に中心をもつ円弧を描く
2	耳珠点	外眼角点と平行な円弧を描く
3	頸椎点	下側後方に中心をもつ円弧を描く
4	肩峰点	いったん前傾してから後方へ戻る動きをする
5	第4胸椎	上下前後どちらの方向へも動いていない
6	第8胸椎	身体後方へ平行移動しており上下の移動はない

た⁴⁾。図2にその事例を示す。

この結果、 Δy は身体計測値を利用して図3のように求めることができる。回転運動の中心と眼の位置との鉛直方向とのなす角を身体計測時の時は γ 、作業姿勢の時は γ' とし、回転半径を r とすれば、

$$\Delta y = r \cos \gamma - r \cos \gamma' = r (\cos \gamma - \cos \gamma') \quad (2)$$

となる。ここで、VDT差尺等のVDT構成要素の寸法値算出に利用されることが多い座高を用いて、「 $k = r / \text{座高}$ 」とすれば式2は、

$$\Delta y = k \times \text{座高} (\cos \gamma - \cos \gamma') \quad (2')$$

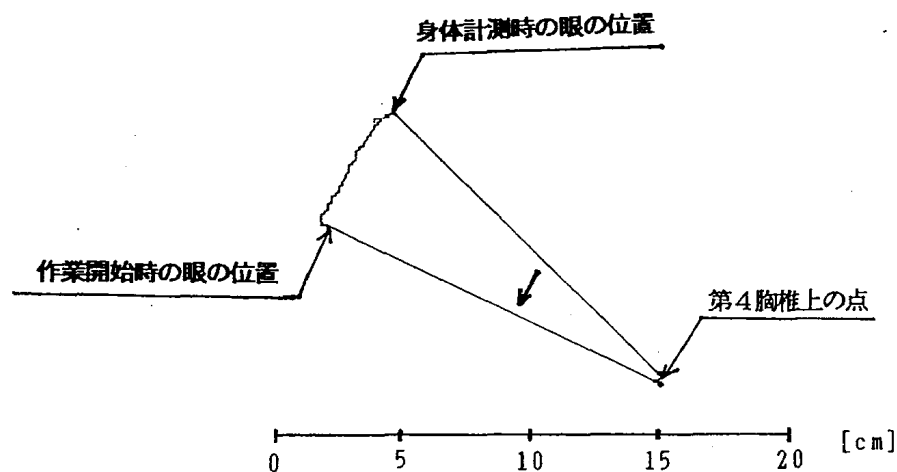
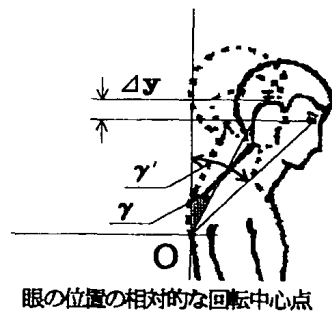


図2 眼の位置変化



眼の位置の相対的な回転中心点

r : Oと眼との距離
 Oを中心としたときの半径
 γ, γ' : 眼とOを結ぶ直線と鉛直線とのなす角

$$\Delta y = r \cos \gamma - r \cos \gamma'$$

図3 Δy を求める方法

となり、さらに、「 $k \times (\cos \gamma - \cos \gamma')$ 」を定数Kとおくと

$$\Delta y = K \times \text{座高} \quad (3)$$

とまとめることができる。したがって、式3と式1から、特定の個人の身体計測値より作業姿勢時の眼高を推定することができる。また、同じようにして水平方向の眼の位置変化も推定できる。

2) Δy を求めるためのパラメータの計測

式3の定数Kを求めるために式2'にあるパラメータについて、1)で計測したデータを分析した。この結果が表3であり、Kの値は0.07となった。したがって、作業時の眼高は次式で求めることができる。

$$(\text{作業時の眼高}) = (\text{身体計測時の眼高}) - 0.07 \times (\text{座高}) \quad (4)$$

この結果を評価するために、表4にある身体計測時と作業時との眼高の差の実測値⁸⁾と、4式による算出結果とを比較した。表5に示すように、1982年に計測した男子の座高平均は89.2cm、女子座高平均は83.8cmである。これを式4に代入した結果、男子の差は6.2cm、女子は5.8cmとなり、ほぼ実測結果と等しいとみなすことができる。よって、4式を作業時の眼高を求める式とし

表3 Δy を求めるためのパラメータ

被験者No	γ	γ'	k	K
1	45.2	52.4	0.35	0.03
2	45.3	60.7	0.36	0.08
3	40.2	48.7	0.42	0.04
4	45.6	63.0	0.42	0.10
5	42.2	49.7	0.39	0.04
6	42.8	58.2	0.39	0.08
7	43.2	53.3	0.36	0.05
8	44.8	56.5	0.40	0.06
9	42.3	51.5	0.40	0.05
10	41.4	58.8	0.38	0.09
11	47.3	64.5	0.37	0.09
12	45.2	63.7	0.39	0.10
13	45.2	64.5	0.35	0.10
14	38.2	55.8	0.35	0.08
15	46.1	62.1	0.36	0.08
16	42.3	61.5	0.40	0.11
17	43.2	53.0	0.37	0.05
18	42.8	59.2	0.38	0.08
19	38.9	56.2	0.38	0.08
20	38.9	51.5	0.36	0.06
21	49.1	58.6	0.39	0.05
22	40.2	57.4	0.39	0.09
23	45.2	64.4	0.36	0.10
24	40.2	51.6	0.36	0.05
25	47.3	61.7	0.38	0.08
平均				0.07
標準偏差				0.02

表4 身体計測時と作業時との眼高の差 (戸上⁹⁾)

男子	6.1 cm
女子	5.3 cm

表5 身体計測値 (1982)

	パーセントイル	身長	座高	座面・眼高距離
男子	95%ile	177.5	94.0	81.4
	50%ile	168.6	89.2	77.0
	5%ile	159.6	84.4	72.6
女子	95%ile	164.9	88.6	77.0
	50%ile	157.7	83.8	72.3
	5%ile	150.5	79.0	67.6

て用いることにする。

4. 俯角の計測

1) 計測方法

被験者には3の実験と同じ要領で閉眼のまま姿勢変化をさせた。その後、眼を開けてもらい、眼から60cmの周上に1cm四方のポイントを移動し、見やすい位置を指摘してもらった。頭部は固定して動かないように指示した。この時の俯角(λ)を計測した。これを10数回繰り返した後、俯角が一定してきた段階からのデータを計測した。被験者は20~30歳の男性延べ91名。いずれも、1年以上のVDT作業経験者である。

2) 計測結果

計測した結果、俯角は平均 -24.9° 、標準偏差 8.8° であった。ヒストグラムを図4に示す。これから、俯角は $-30^\circ \sim -20^\circ$ に集中していることがわかる。

この結果を他の知見と比較してみる。

Grandjean²⁾によれば、作業者の選好する俯角は約 -9° であるとしている。

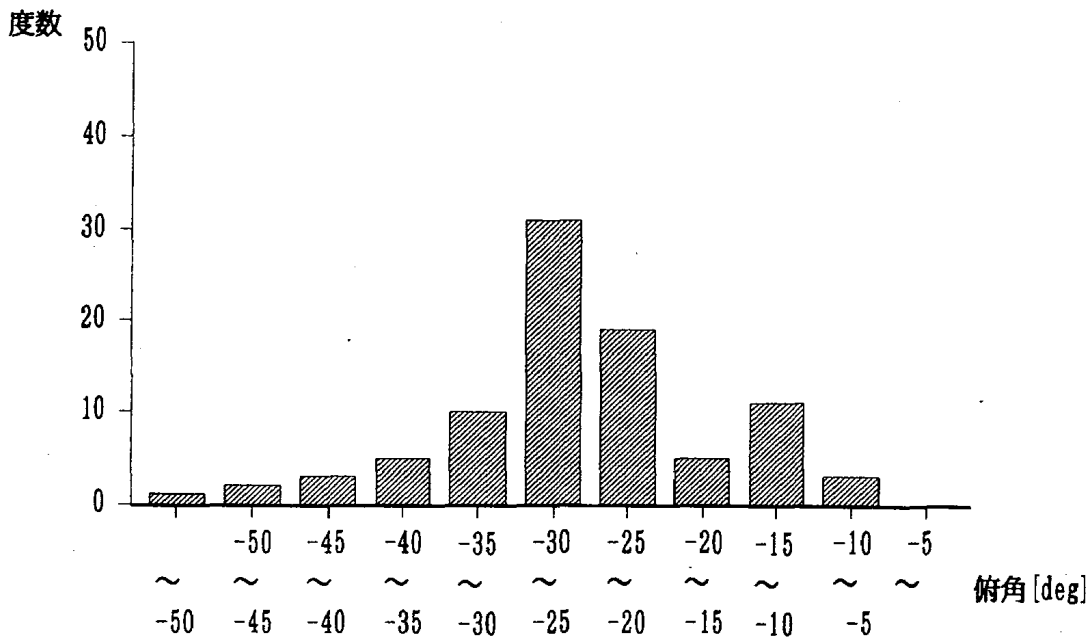


図4 俯角の度数分布

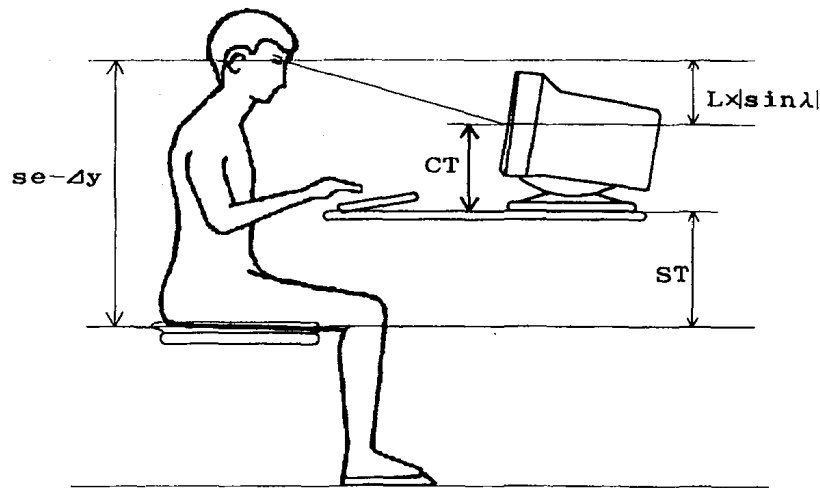
また、窪田⁶⁾らのフランクフルトプレーンを強制的に水平に固定した実験では、被験者の選好値の平均は約 -10° となっている。一方、Kroemer⁵⁾らの実験によれば、平均 -29° となっている。斉藤⁸⁾の報告によれば、一般の事務作業では -30° より下方に傾いているとされる。今回の結果はKroemerや斉藤らの知見に近い。

以上のように作業者の選好する俯角の見解は2分している。この原因は頭頸部の傾きが影響していると考えられる。フランクフルトプレーンが水平となる状態では眼の安静位とされる $-15^{\circ} \sim -10^{\circ}$ が適正な俯角と考えられるが、これに頭頸部の傾きが加わると、実際の俯角はさらに下方に傾くと考えられる。頭頸部の傾きは作業姿勢を前傾とするか、後傾とするかによって変わるものであるから、作業者が選好する俯角は作業によって分類する必要がある。すなわち、背もたれ等を利用して後傾姿勢がとれるデータ入力等の作業と、ディスプレイ注視以外に机上のドキュメントやキーボードを頻繁に見る作業では、ディスプレイに対して基準とすべき俯角は分ける必要がある。前者の場合の俯角は約 $-15^{\circ} \sim -10^{\circ}$ であり、後者では約 $-30^{\circ} \sim -25^{\circ}$ と考えたほうがより現実の作業を反映していると思われる。

5. ディスプレイ注視点高の算出

以上の3, 4の実験の結果得られた基準アイポイントをディスプレイ注視点高の算出へ適用してみる。図5のようにディスプレイ注視点高と、作業者との関係を示すモデルは、作業台面・ディスプレイ中心点距離をCT, 座面・作業台面距離をST, 視距離をL, 俯角を λ , 座面・眼高距離(身体計測値)をse, 座高をshとした場合に次の式で記述できる³⁾。

$$L \times |\sin \lambda| + CT + ST = se - 0.07 \times sh \quad (5)$$



$$\text{関係式 } se - \Delta y = L \times |\sin \lambda| + CT + ST$$

図5 ディスプレイ注視点高と作業者との幾何学的な関係を示すモデル

また, STはVDT差尺⁹⁾であるから,

$$ST = sh / 3 - 5 \text{ cm} \quad (6)$$

となる。

したがって, 式6は, 次のように展開できる。

$$\begin{aligned} CT &= -L \times |\sin \lambda| - (sh / 3 - 5) + se - 0.07 \times sh \\ &= -L \times |\sin \lambda| + se - (1 / 3 + 0.07) \times sh + 5 \end{aligned} \quad (7)$$

VDT 作業の場合に推奨される視距離 L は40~70cmであるから⁷⁾、これを利用して CT と λ の関係、すなわちディスプレイ注視点高と俯角の関係を示すことができる。例えば、7式に表5の男子身長50パーセンタイルの身体計測値を代入することにより、この身長に適合したディスプレイ注視点高を得ることができる(図6)。この図から、前傾姿勢を主とする作業では、要求されるディスプレイの注視点高は11~29cmであり、後傾姿勢を主とする場合は28~39cmであることがわかる。一般的なパーソナルコンピュータのディスプレイは14インチサイズである。また、画面中心までの高さは約13cmあり、通常のデスクトップ型のコンピュータ本体の高さは約15cmである。したがって、50パーセンタイルの身長の男性は、後傾姿勢を主とする作業ではコンピュータ本体の上にディスプレイを置き、前傾姿勢を主とする場合では作業台上に置くことが望ましいことがわかる。ただし、グレア等がない適正なディスプレイに対する入射角が得られている場合である。また、最近普及しているノート型パーソナルコンピュータの場合は、ディスプレイ画面下端の作業台面からの高さは約5cmであるから、画面下部の表示は必ずしも見やすいとはいえない。さらに、ノート型パーソナルコンピュータは後傾姿勢を主とする作業には適合しない可能性もありうることをわかる。

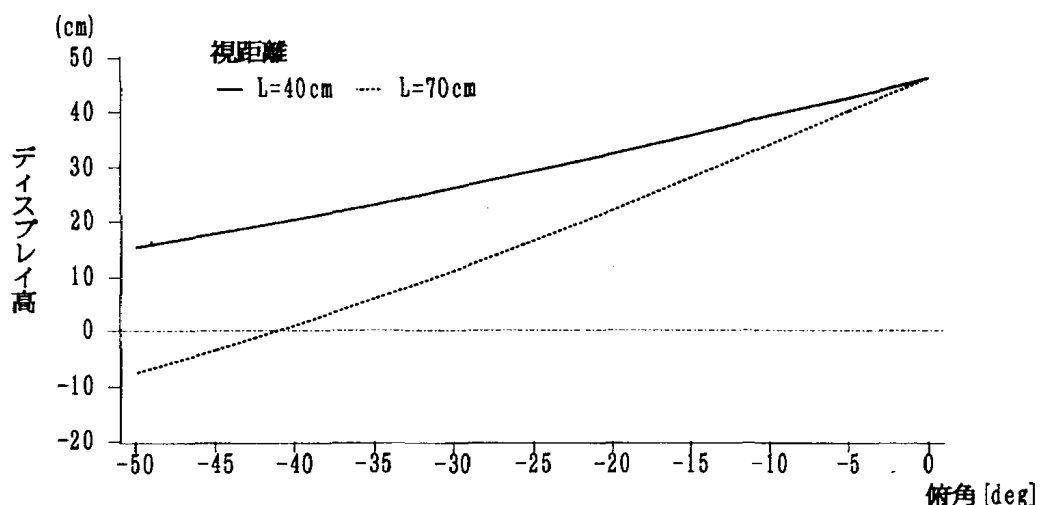


図6 俯角に対するディスプレイ注視点方 (男子身長50%ile)

6. まとめ

本研究ではディスプレイレイアウト設計のために基準となるアイポイントの設定を行った。基準とするアイポイントは眼高と視線の傾きによって示すことができる。基準とする眼高は次式により設定した。

$$(\text{作業時の眼高}) = (\text{身体計測時の眼高}) - 0.07 \times (\text{座高})$$

視線の傾きは作業によって分類する必要を提案した。前傾姿勢が要求される作業では視線の傾きは $-30^{\circ} \sim -25^{\circ}$ であり、後傾姿勢が要求される作業では $-15^{\circ} \sim -10^{\circ}$ である。今回の基準アイポイントの値はVDT作業のみでなく、今後さらに普及することが予測されるディスプレイを利用した作業環境や教育環境の設計支援や評価に適用可能である。今後、適用事例を増やしながらか、ヒューマンインターフェイス設計支援・評価ツールへと拡張をはかりたい。

参 考 文 献

- 1) Cornel, P. and Kokot, D.: Naturalistic Observation of Adjustable VDT Stand Usage, p496-500, Proceedings of HFS 32th, 1988
- 2) Grandjean, E.: Ergonomics in Computerized Offices. Taylor & Francis, 1987
- 3) 平澤尚毅, 野呂影勇他: オペレータとワークステーションのパラメトリックモデルの開発, 人間工学, Vol. 25, 特別号, p 270-271, 1989
- 4) 辛島光彦, 駒井浩臣他: VDT 作業の姿勢モデルに関する研究-身体寸法値の作業姿勢時への換算方法について-, 人間工学, Vol. 26, 特別号, p 124-125, 1990
- 5) Kroemer, K.H.E. and Hill, S.G.: Preferred line of sight angle. ERGONOMICS. vol 29, No. 9, p 1129-1134, 1986
- 6) 窪田悟: VDT スクリーンに対する好ましい視線の角度, 人間工学, Vol. 23, 特別号, p 58-59, 1987
- 7) 野呂影勇編: 図説エルゴノミックス, 日本規格協会, p 108-109, 1990
- 8) 斉藤進, 外山みどり他: VDT 作業時の視線の高さ解析とワークステーション設計への提案, 人間工学, Vol. 28, 特別号, p 462-463, 1992
- 9) 戸上英憲, 野呂影勇: VDT 作業台の最適高さの研究, 人間工学, Vol. 23, No. 3, p 155-162, 1987

[謝 辞]

本研究は島田寿一氏(日産自動車株)ならびに戸上英憲先生(産業医科大学)にご協力頂きました。ここに感謝の意を表します。

また, 本研究は平成元年度の(財)姿勢研究所助成研究「VDT 作業モデルの研究」の一環として行なわれたものであることを付記し, 謝意を表します。