取置作業における適正作業域に関する研究*

川上満幸^{*1}, 井上文彦^{*2}
上野俊夫^{*3}, 鵜飼隆好^{*4}

A Reasonable Work Area for "Get and Place" Activities

Mitsuyuki KAWAKAMI, Fumihiko INOUE,
Toshio UENO, and Takayoshi UKAI

As the 21st century begins, Japan will have the largest ratio of population of advanced aged people in the world, resulting in a considerable depreciation of labor productivity in the present labor type intensive of work. This research presents a proposal to improve productivity while providing a more reasonable work area. The method of research was to observe and measure the vertical and horizontal movements of a typical sitting worker performing "get and place" actions. The valuation index used in the experiment was obtained by measuring the motion locus, the motion velocity, the amount of myoelectric energy, the motion time and the difference in the work burden from two directions: vertical and horizontal. The results indicated a regression curve expressing the relationship between the motion time and vertical/horizontal angles. This indicated that a work area which takes into consideration the vertical and horizontal positioning of the worker can minimize the motion time, resulting in a more efficient and reasonable work place.

Key Words: Human Engineering, Working Conditions, Positioning, Reasonable Work Area, "Get-and-Place Work Motion Time, Motion Velocity, Motion Locus

1. 緒 言

我が国は21世紀の初めには、年少人口比(0~14歳)と高齢人口比(65歳以上)が逆転し、65歳以上の人が人口の25%を占めると厚生省人口問題研究所は推計している。このような社会的背景から、現在、官・学・民一体となったその対策に関する研究活動が活発に行われている。特に生産現場においては、中高年齢者を対象にした労働生産性の向上と作業負担の軽減を目指した職務再設計の観点からの研究活動が行われている。

また、最近の産業界の動向は、産業用ロボットの導入を中心として、自動化の方向にあるのは周知の事実であるが、他方においてはトヨタ自動車の例に見られるように、マンパワー重視のマン-マシンシステムとして生産システムを再設計している。すなわち、労働集約型の職務内容の見直しと再評価の傾向にあるのもまた事実といえよう。

そこで、本研究では後者の労働集約型の職務内容を

対象とし、同一の作業内容における作業能率の向上と作業負担の軽減を目的とした適正な作業域を設計するための作業システムの設計要因を考察することを目的としている。

2. 研究の方法

適正作業域を設計するための主たる要因としては、作業域の水平・垂直方向の設定角度が考えられる。

労働集約型の作業は手部および腕部を中心に行われているため、人間の手の動作特性の分析が必要になる。さらに生産現場では微細な組立作業を行う場合も多く、元来の標準時間設定法の一つであるPTS法(Predetermined Time Standards)による動作時間値の設定ならびに管理では不合理な状況が発生する場合がある。人間の動作研究については、M. E. Mandel⁽¹⁾により、動作とその速度の関係は一般に、加速-定速-減速からなり、それに費やす動作時間の比率はそれぞれ40%, 20%, 40%になっている。また筋力の力を加える度合いが一定で運動を妨げるものが何もないと仮定すると距離の増加率は時間の増加率の二乗に比例することが明らかになっている。また、速度波形、加速度波形からみた上肢運動の研究⁽²⁾⁽³⁾、Fittsの法則と動作時間に関する研究⁽⁴⁾、作業者1人当たりが受けつつ適

* 原稿受付 1995年1月20日。

^{*1} 正員, 東京都立科学技術大学 (●191 日野市旭が丘6-6)。^{*2} 学生員, 東京都立科学技術大学学生院。^{*3} 正員, 神奈川大学 (●221 横浜市神奈川区六角橋3-27)。^{*4} 正員, 北海道大学 (●060 札幌市北区北13条西8丁目)。

正作業量に関する研究⁽⁵⁾ などがあるが、これらの研究は人間の手腕部の動作特性に関する研究内容であり、対象となる作業を遂行するための作業域についてはギルブレスの創案した動作経済の原則⁽⁶⁾ の域を出ていないと考える。

そこで本研究では、多くの工場で行われている組立作業における座位姿勢での部品の取置作業を対象にし、水平・垂直方向の設定角度(水平方向は図1に示した0°~180°、垂直方向は図2に示した0°~60°)を要因とし、取扱部品の重量(図3に示した形状の100gと1000gの直方体)が人間の動作特性(取置作業時間、動作速度、動作軌跡)と作業負担(筋放電量)に与える影響について実験的アプローチから考察を行い、より科学的根拠に基づいた適正作業域設定のための実験式を提唱するために次の考え方を示す。すなわち、設定角度を垂直方向4水準、水平方向5水準の計20の組合せ条件における動作時間値を二元配置による分散分析の結果から、有意差の認められた要因を対象にして

直交分解による回帰式の推定を行い、直交多項式を用いることにより提唱する実験式を導出する。

3. 実験の内容

実験の内容は表1に示すとおりであるが、動作特性の測定には、ハイスピード・ビデオ・システム(ムーヴィアス HSV-400; ナック社製, 400コマ/s)を用いて撮影し、撮影したフィルムからXYコーディネータ(HSV-400用; ナック社製)にデータをインプットし、動作解析ソフト(ナック社製)により、動作速度および動作軌跡を解析する。また、動作時間はHSV-400に内蔵されている時間記録計(1/1000s)によりタイムスタディを行う。これらの解析にあたっては、動作の始点から終点までを測定するため、上肢の移動部位を明確にする必要がある。そこで図2に示した手の甲の位置にマークをする。

Table 1 A contents of the experiment

作業域 (設定角度)	Fig. 1, 2に示した垂直方向4水準×水平方向5水準の計20の設定角度とする。
作業負担 (取扱部品の重量)	Fig. 3に示した直方体(7×7×19.5cm)の重量物で100gと1000gの2種類とする。
被験者	ランダムに抽出した身長170cm~180cm、年齢21~23歳の男子4名。
作業時間	作業条件1条件につき1分間の同一距離(30cm)の取置作業を2回繰り返す。
筋放電量 (測定位置)	Fig. 4に示した僧帽筋(筋1)、三角筋(筋2)、腕橈骨筋(筋3)の3カ所とする。
データの 収集方法	実験データは被験者にカメラを意識させないような配慮をし、作業環境も可能な限り、同一条件のもとで収集する。

Fig. 1 Horizontal area

Fig. 2 The condition of measurement and vertical area

Fig. 3 Work Burten

Fig. 4 Gaging points of myoelectric potential

作業負担については、単位時間当たりの筋放電量(μV)を4 CHANNEL MEMORYを用いて測定する。なお、測定位置は図4に示す筋肉である。また、被験者の動作速度は長時間持続可能な最大速度とする。

なお、実験の対象となる被験者は可能な限り体型的、年齢的に近い人からランダムに抽出し、作業内容に十分習熟するまで訓練を行うが、これは可能な限り個人差によるばらつきを少なくしたデータの収集に配慮したことによる。また、各実験条件前後の影響がないように実験の条件間に十分な休憩をとらせ、残留疲労のないことを確認し、データを収集する。

4. 結果と考察

(1) 動作速度 作業条件別に動作速度の分析を行い、動作速度波形に違いの認められたものを図5~8に示す。図5は作業負荷100gの場合の水平方向B(36~72°)における垂直方向0°と60°の動作速度波形の推移を示したものである。図5から、垂直方向においては、往路の場合、最高速度に達するまでの速度の推移にさほどの差異が認められなかったが、定速の後、減速域において設定角度の低い条件ほど動作時間が短くなっていることがわかった。図6は作業負荷100gの場合の垂直方向20°における水平方向A(0~36°)、C(72~108°)E(144~180°)の動作速度波形の推移を示したものである。図6から水平方向については、特

に100gの場合、図1に示したC:72~108°に設定した作業域に比べて、A:0~36°、E:144~180°の作業域は最高速度が小さく、減速域に要する動作時間も多いたことが認められた。これは体の正面に当たる作業域よりも、体の両側に近い作業域(ここでは作業域A、Eに相当する)は、取置作業における肘や肩の関節の伸縮の度合いが小さく、急激な加速を行うのが困難であると考えられる。

図7は往路における垂直方向20°、水平方向B(36~72°)の場合の作業負荷(100g, 1000g)の違いに見られる動作速度波形の推移を示したものである。図7から往路においては作業負荷の小さい条件(100g)のほうが最高速度に達するまでの動作時間が短く、少ない時間で動作が遂行されている。また減速域においても同様の傾向にあることがわかった。次に、作業負荷の大きい条件(1000g)の場合は、小さい条件(100g)に比べて、最高速度に達するまでの加速域ならびに減速域で動作時間を多く要しているが、この点は100gの条件に比べて作業負荷の大きいことに起因していると考えられる。

図8は復路における垂直方向0°、水平方向B(36~72°)の場合の作業負荷(100g, 1000g)の違いに見られる動作速度波形の推移を示したものである。図8から、図7に示した垂直方向20°の設定角度に対し、0°の場合は、ゆるやかに加速-定速-減速で推移し、最

Fig. 5 Motion Velocity I

Fig. 7 Motion Velocity III

Fig. 6 Motion Velocity II

Fig. 8 Motion Velocity IV

高速度に達するまでの加速域、また減速域において多くの時間を要していることがわかる。また、作業負荷条件の違いについては、設定角度 20° の場合と同様の傾向を示すことがわかった。

(2) 動作軌跡 作業条件別に作業動作軌跡を分析した結果を図9、10に示す。

図9は作業負荷1000g、水平方向B($36\sim 72^\circ$)に対し、垂直方向 20° と 60° における往路の動作軌跡の比較を示したものである。図9から垂直方向の往路の場合、設定角度が高くなると直線的な動作移動をしており、目的地点に向かって、設定角度の低い条件よりも大きく弧を描き、長い距離で作業が遂行されていることがわかった。

また、図10は作業負荷100g、水平方向B($36\sim 72^\circ$)に対し垂直方向 60° における往復路の動作軌跡の比較を示したものである。図10から復路の場合は、動作軌跡が折れ線の動きになっており、目標着地点に対しスムーズな位置決め動作がなされておらず、その困難さが認められる。これは復路における目標着地点が作業者の体側に近いために、取扱重量物を取置作業の視界の中に入れる必要性に起因していると考えられ、“位置決め”、“運ぶ”という基本動作の繰り返しが行われているといえる。

(3) 筋放電量 作業条件別に図4に示した筋使用部位の放電量を分析した結果を図11に示す。図11

は作業負荷100g、1000gの違いにより差異が認められた腕橈骨筋の放電量を示したものである。図11から次のことがいえる。作業負荷1000gの場合は100gの場合に比べて筋放電量が顕著に多いことが認められる。このことは動作特性の一つである移動動作に付随する保持動作に起因していると考えられる。この点は、前述の「(1)動作速度」の結果とも整合していることがわかる。

また、標準時間設定法の一つであるPTS法の中でMTM(Methods Time Measurement)の基準によれば、取扱重量物が1000g以下ならば、時間値TMU(Time Measurement Unit, 1 TMU=0.006 min)の補正係数は1.00になっているが、本研究の結果から判断して、作業負荷(取扱重量)の違いによる補正係数の見直しを検討する必要があるのではないと思われる。この点は次に述べる動作時間において、表2に示した重量間で危険率1%で有意差が認められている点や前述の動作速度の結果の比較検討からも同様のことがいえる。

(4) 動作時間 各条件における繰返し数40回の平均動作時間をもとにし、それぞれの要因(水平方向および垂直方向の角度)が動作時間に与える影響を見るために、二元配置による分散分析を行った。表3は作業負荷100gの往路における結果、表4は作業負荷100gの復路における結果、表5は作業負荷1000gの往路における結果、表6は作業負荷1000gの復路における結果を示したものである。これらの結果から、1000g復路の水平方向の条件以外はいずれも危険率5%以上で有意差が認められた。

Table 2 *t*-test (Brachioardialis)

危険率(%)	自由度	t 値	t	検 定
1	19	2.8609	42.3003	棄却 $\mu_a \neq \mu_b$

Fig. 9 Motion Locus I

Fig. 10 Motion Locus II

Fig. 11 Brachioardialis of Myoelectric potential

このことにより、作業域設定には水平・垂直方向の設定角度が動作時間に与える影響は大であることがわかった。

そこで、適正角度を求めるために、有意差の認められた要因に関し、直交分解による回帰係数の推定⁽⁷⁾を行い、直交多項式による回帰式を求めると、表7に示した実験式が得られた。ただし、分散分析の結果でも述べたように、作業負荷1000gの復路の条件では水平方向に有意差がなかったため、時間値Zは垂直方向の角度Xによってのみ表された。これらの式を用いて、XとYに関してのそれぞれの極値を求め、適正作業域設定のための動作時間値を最小にする垂直・水平方向における設定角度を求めると⁽⁸⁾作業条件別

に表7に示した角度が得られた。これらの結果をもとにして、その平均値を求めてみると、垂直方向：19.3°、水平方向38.4°が得られた。

したがって、本研究における作業条件においては、適正作業域を設定する基準として、垂直方向19.3°、水平方向38.4°の位置が作業効率の高い設定角度であると考えられる。

5. 結 言

作業システム設計において、座位姿勢における取置作業の適正作業域を設定するための基本的な設計要因をえるために、垂直、水平方向における設定角度、ならびに作業負荷(取扱重量)の違いから考察を行った。

Table 3 Two-Way ANOVA (100g, Approach route)

要因	平方和	自由度	分 散	分散比
垂直	130496	3	43498.0	4.741**
水平	341504	4	85376.0	9.306**
垂直*水平	46400	12	3866.6	0.421
誤差	7155970	780	9147.3	
合計	7674370	799		

Table 5 Two-Way ANOVA (1000 g, Approach route)

要因	平方和	自由度	分 散	分散比
垂直	584128	3	194709.0	27.264**
水平	251968	4	62992.0	8.820**
垂直*水平	137888	12	11490.7	1.609
誤差	5570560	780	7141.7	
合計	6544540	799		

Table 4 Two-Way ANOVA (100, Return route)

要因	平方和	自由度	分 散	分散比
垂直	219648	3	73216.0	7.988*
水平	240096	4	60024.0	6.557**
垂直*水平	72480	12	6040.3	0.660
誤差	7140480	780	9154.4	
合計	7672700	799		

Table 6 Two-Way ANOVA (1000 g, Return route)

要因	平方和	自由度	分 散	分散比
垂直	617632	3	205877.0	18.567**
水平	98752	4	24688.0	2.226
垂直*水平	120416	12	10034.7	0.905
誤差	8648930	780	11088.4	
合計	9485730	799		

Table 7 Regressions and Reasonable angles

作業条件	実 験 式	適正角度
重量物100g 往路	$Z = 722 - 2.54X + 5.64 \times 10^{-2} X^2 - 2.62 \times 10^{-1} Y + 3.45 \times 10^{-3} Y^2$ $+ 2.10 \times 10^{-2} X Y - 6.57 \times 10^{-4} X^2 Y - 9.51 \times 10^{-5} X Y^2 + 3.11 \times 10^{-6} X^2 Y^2$	X = 25.9° Y = 35.5°
重量物100g 復路	$Z = 695 - 2.70X + 6.48 \times 10^{-2} X^2 - 2.73 \times 10^{-1} Y + 2.52 \times 10^{-3} Y^2$ $+ 1.64 \times 10^{-2} X Y - 6.63 \times 10^{-4} X^2 Y - 3.04 \times 10^{-5} X Y^2 + 2.61 \times 10^{-6} X^2 Y^2$	X = 21.3° Y = 5.4°
重量物1000g 往路	$Z = 854 - 1.45X + 3.51 \times 10^{-2} X^2 - 1.24Y + 4.53 \times 10^{-3} Y^2$ $- 3.53 \times 10^{-2} X Y + 5.92 \times 10^{-4} X^2 Y + 3.62 \times 10^{-4} X Y^2 - 5.43 \times 10^{-6} X^2 Y^2$	X = 21.1° Y = 74.4°
重量物1000g 復路	$Z = 778 - 4.70 \times 10^{-1} X + 2.69 \times 10^{-2} X^2$	X = 8.7°

(注) Xは垂直方向の角度(ただし、 $0^\circ \leq X \leq 60^\circ$)、Yは水平方向の角度(ただし、 $0^\circ \leq Y \leq 180^\circ$)、Zは時間値(単位は(ms)である。

研究の結果,

(1) 標準時間設定法である MTM 基準から判断して作業負荷(取扱重量)の違いによる動作時間見積のための補正係数の見直しを検討する必要がある。

(2) 適正作業域設計のための設定角度を求める実験式を提案することができた。

(3) 提案した実験式を適用することにより, 適正作業域の設計基準として, 垂直方向は 19.3° , 水平方向は 38.4° の位置が作業効率の高い, すなわち望ましい設定角度であることを指摘しえた。

(4) 実務において, 適正作業域の設計基準として用いる場合は, 変動係数垂直方向 0.33, 水平方向 0.73 において, 部品箱等を設置する中心点を垂直方向 19° , 水平方向 38° を基準値としてよい。

文 献

- (1) Mandel M. E., 山内訳, 動作・時間研究の理論と実際, (1961), 505-508, 紀伊国屋書店.
- (2) 柴田・大場・猪岡, 位置決め精度が必要な人間上肢運動に関する実験的考察, 日本人間工学会誌, 29-5(1993), 281.
- (3) 宮代, 加速度波形からみた上肢運動の制御過程について, 日本経営工学会誌, 36-3(1985), 202-207.
- (4) 宮代・横溝, 両手動作の困難度と視覚フィードバックとの関係について, 日本経営工学会誌, 38-1(1987), 34-35.
- (5) 川上・上野, 部品の種類数と点数からみた適正作業量に関する研究, 組立作業システムの設計に関する研究, 日本経営工学会誌, 40-6(1990), 421-426.
- (6) 池永, 作業研究, (1988), 86-89, 森北出版.
- (7) 鷲尾, 実験計画法入門, (1974), 207-212, 日本規格協会.
- (8) 安藤・朝尾, 実験計画法演習, (1987), 204-214, 日科技連出版.