

動作速度からみたピンチ動作時間の研究

井戸, 正敏 / ID0, Masatoshi

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

Bulletin of the Faculty of Engineering, Hosei University / 法政大学工学部
研究集報

(巻 / Volume)

23

(開始ページ / Start Page)

193

(終了ページ / End Page)

203

(発行年 / Year)

1987-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00003957>

動作速度からみたピンチ動作時間の研究

井戸正敏*

A study on Time of Pinching Motion from a Viewpoint of the Motion Velocity

Masatoshi Ido*

Abstract

The present study examines the time of pinching motion from a viewpoint of the motion velocity. In this paper the pinching motion time is defined as the duration to close fingers in conformity with the product-feeding system. Experiments were carried out using the diameter of object to be pinched as a factor on the product-vertical and horizontal feeding systems. Eight right handed male students as the subject performed 10 trial under 8 conditions.

As the results, the following experimental equations are obtained. On the vertical system the pinching motion time is shown as a log-linear and on the horizontal system is shown as a log-log linear. Therefore the pinching motion time is possible to be estimated using the distance between the faces of object to be pinched as a variable.

§ 1. 緒 言

把握動作は掌を補助とした指の複合動作である。その動作形態は、把握対象物体とそれが置かれている環境(物体の供給方法)さらに作業目的に合目しうるべく使用される指や掌によって決まり、Schesinger⁽¹⁾によれば12種類に分類される程、複雑多岐にわたっている。したがって把握動作の時間を推定する場合は、把握対象物体の特性、物体の供給方法、把握形態などの影響要因を考慮する必要がある、推定の手続きは複雑である。

ここでは、把握動作の中でよく発生する把握形態であるピンチ(摘み型)動作の時間について、その動作速度の特性から実験を通して検討を行った。その結果、時間推定式を得たので提案する。

本研究は簡易な既定動作時間推定法を開発することを目的とした一連の研究である⁽²⁾⁽³⁾。

§ 2. 把握動作の形態と時間

2.1 把握動作の形態

MTMの定義によれば把握動作は“目的を持って行う次の動作にそなえて、その目的物をしっかり手の支配下におく (gaining sufficient control) ため、手や指を動かす行為”としている。⁽⁴⁾ 要するに作業目的に合致するように、対象物体が置かれている環境拘束の状態に能動的に働きかけ対象物体への環境拘束を取り除き指や掌による拘束状態に移すことである。MTMやWFでは物体の供給方法・作業方法などに関連して把握形態は多岐にわたる分類になっている。

指や掌による物体の拘束状態には種々の構造があり、指の運動学的側面から把握形態を見ると次の9種類が挙げられている⁽⁵⁾。

1) Grip(にぎり)

Power Grip(5本指でしっかりとにぎる), Precision Grip(ペンなどを持つ)

Hook Prehesion(母指以外の4本指できぎる)

2) Grasp(つかみ)

palmar Grasp(ソフトボールをつかむ), Pincer Grasp(ピンポン玉をつかむ)

3) Pinch(つまみ)

Pulp Pinch(指頭つまみ), Lateral Pinch(横つまみ), Tip Pinch(指尖つまみ)

2.2 ピンチ動作の把握

いま、作業台上で行われる小物の組立作業を想定すると、工具をにぎるといった把握形態以外は、ほとんどの場合部品を取るといったピンチ動作の把握形態である。この把握形態は物体の大きさや、物体の把握の容易さなどにより選択されると考えられる。すなわち、次の動作としての「定置」あるいは「保持」といった作業目的に合うようにFig. 1に示す物体の把握軸方向(把握の自由度)により、また物体の把握面間の大きさ(把握間距離)により選択されると考えられる。

生産の場における把握の自由度は、多くの場合対象物体の供給方式に関係する。たとえば、対象物体のX, Y, Zの各軸方向からの把握が可能な供給の場合には、把握の自由度は3となり最大になる。しかし、物体の置かれた環境あるいは次の動作の関係で把握の自由度は2, 1と小さくなる。把握の自由度が小さい場合、把握形態の変化は考えられないが、大きい場合には、把握間距離によって把握形態が異なると考えられる。Fig. 2に示すように供給治具を用いて把握の自由度を大きくすれば、指頭つまみ・横つまみのいずれかで把握可能になる。逆に物体の把握方法が限定されて把握の自由度が小さく、かつ把握間距離が小さい物体であると指尖つまみでなければ把握ができにくくなると考えられる。このように把握形態は物体の供給方式と把握間距離に大きな影響を受け、物体の形状による影響は少ないものとする。今回は物体の重

量は考慮しないものとする。従って、ここでは把握の自由度が2と1のピンチ動作を対象に検討を行う。

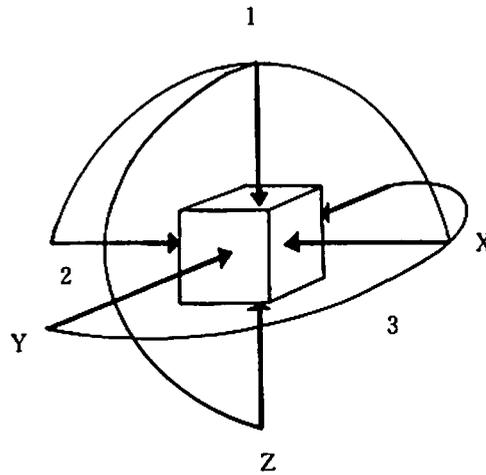


Fig. 1 把握の自由度

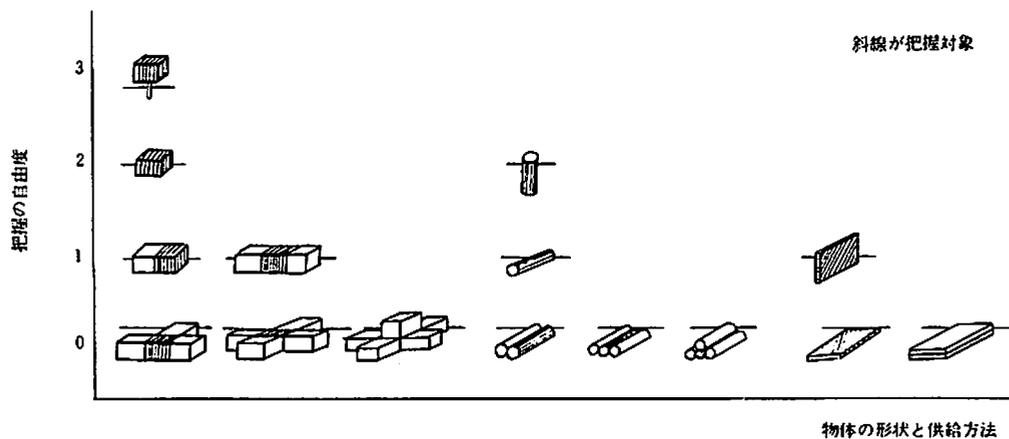


Fig. 2 物体の供給方法における把握の自由度

2.3 ピンチ動作の把握時間

通常、動作の開始前に予め作業目的に合致するように対象物体の認識が行われているので、把握のための先行動作である「空手の移動」の過程で、指は対象物体の大きさに合わせて開いた状態で物体に接近する。接近が終了すると指の閉じる動きが始まる。この過程では作業状態や把握状態の状態認識とそれに対応する動作制御が行われる。したがって手の移動動作はわずかしかが行われぬ。この把握動作を手の動作速度からみると対象物体に手をのぼす速い速度状態が終了後に遅い動作速度部分として表われる。把握動作終了後は運び動作となり再び速い速度状態となり速度の上から把握動作を区別することができ、その時間の測定が可能となる。

ここでは、ピンチ動作の把握時間は、物体の供給方式に応じた指を閉じる時間であると定義

し、物体を把握する時の指の対立位面間の距離を変数とする関数で表わされると考え、式(1)によって推定可能であるか実験的手続きによって考察する。なお、指の対立位置間の距離は測定が困難なため、対象物体の把握間距離(直径)とする。

$$T=f(x)$$

ただし T：ピンチ動作の把握時間

X：対象物体の把握間距離

§ 3. 実験の方法

3.1 測定装置

手の動作速度を測定することによりピンチ動作の区分を行い、その結果からピンチ動作時間を求める方法をとった。そのために動作速度の測定にはFig. 3に示す「動作速度測定装置」を使用した。この装置は光半導体位置計測装置(浜松フォトニクス製)とマイクロコンピュータシステムを接続したもので、手に装着したL・E・Dターゲットからの光をセンサーヘッドが捉えて、二次元の位置を計測する構造になっている。位置の計測データは10ms単位で取り込みフロッピーディスクに保管される。

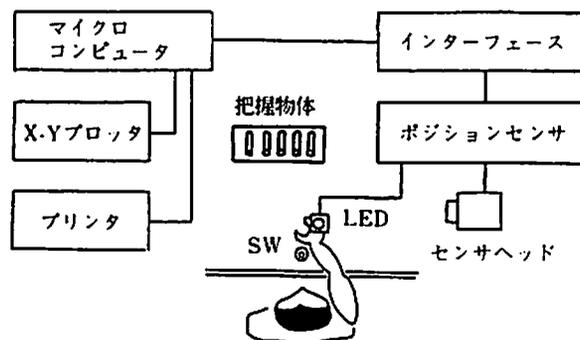


Fig. 3 動作速度測定装置の概念図

3.2 モデル作業

ピンチ動作時間を得るために次のような単純作業をモデルとした。作業台上の作業者手前にあるスイッチボタンに右手を置き、そこより、250mm前方へ手を移動して真鍮製円筒形のピンをつまみ、手前のスイッチボタンへ戻る。途中スイッチボタンの前面に50mm×50mmの穴がありそこへピンを落とすという単純繰り返し作業である。

ピンの大きさは小物品の組立を想定し長さ40mm、直径2, 4, 6, 8mmの4種類とした。またピンの供給方法として、水平供給と垂直供給の二方法とした。

3.3 ピンの供給方法

水平供給とは、ピンを横にして一定の間隔で把握作業点へピンを供給する方法である。この

場合ピンのコロガリを防止する為にピンの運搬板上にU字型のコロガリ防止具を把握の障害にならないよう十分配慮して取付けた。

垂直供給はピンを立て供給する方法である。直径200mmの円盤の縁に沿って把握に支障をきたさない間隔で穴をあけ、その穴にピンを立て円盤を回すことにより把握作業点へピンが供給されるようにした。ピンの供給は両方法とも実験補助者が行った。

3.4 動作の区分方法と時間の測定

モデル作業を行った場合の手の動作速度と時間の関係および同時点における手の動作距離と時間の関係を重ね合わせて見るとFig. 4のようになる。

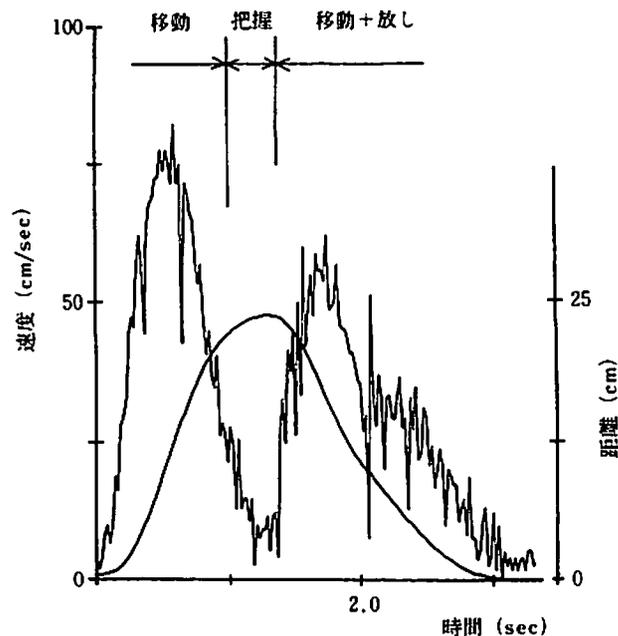


Fig. 4 動作速度と時間と移動距離

図中のなめらかな曲線は手の移動距離と時間の関係を示している。スイッチボタンを始点とし250mmの距離にピンが置かれているので、手の移動はその地点まで時間の経過とともに正の方向に変化する。ピンの場所へ到達すると移動の変化は極端に小さくなり時間のみが経過しピンチ動作が行われていることを示している。その後、負の方向への距離の変化が見られ手が元の位置へ戻っていることを示している。

一方、他の折線は手の動作速度と時間の関係を示している。まず、把握対象物に向かって手が移動する加速域と減速域とで第一の山を形成している。続く第一の谷はピンチ動作の際の手の移動速度を示し、第二の山はピンを持った手の移動速度を示すが、減速域ではピンを手から放す動作が加わるので、第一の山に較べると若干減速域が長い。第二の谷はスイッチボタンへ手が戻り、スイッチを押している状態の手の移動速度を示す。

手の移動距離と速度とを対比してみると、手が250mmの場所にあつてピンチ動作を行っている時点では、手の動作速度も極端に遅い速度帯として対応している。このように手をのばし、ピンを把握し、手を元の位置へ戻すときの速度の違いが確認できる。

予備実験により手の移動距離と動作速度を調べた結果、第一の山を過ぎて25cm/sec以下に減速された後、10cm/sec以下の速度帯になり、やがて10cm/secを越えてピンチ動作が完了することがわかったので、ピンチ動作の区分点(V_i)は1サイクルの作業のピンチ動作が終了する点Pを基準として、区分を容易にするためにP以下の速度は0に変換し、次の条件で設定した。

$$\text{ピンチ動作開始 } V_{i-1} > 25\text{cm/sec} > V_i$$

$$\text{ピンチ動作終了 } V_i < 10\text{cm/sec} < V_{i+1}$$

以上の手続きにより、ピンチ動作時間値は動作区分内の位置計測データの個数(1個10ms)から求めた。

3.5 被験者と実験データ

被験者は右利き男子学生8名を採用した。実験に際して十分に練習を行わせ、習熟効果を配慮し、さらに実験中は十分休憩を与えて疲労による影響も配慮した。

実験はピンの供給方法2種類とピンの直径4種類の8通りの作業について、ピンの供給方法ごとにピンの直径および被験者をランダムな順序で行った。

作業測定では、データを連続測定して処理するので、作業開始後作業が安定する5サイクル目からの10サイクルの平均値を1個の実験データとして採用した。また、被験者は繰り返しデータとした。

§ 4. 実験結果と考察

4.1 垂直供給の場合のピンチ動作時間

ピンの直径の大きさごとに動作時間の平均値をプロットすると、ピンの直径が大きくなるに従い時間値が逡減する指数曲線の傾向が見られた。そこで、時間値を対数に変換して再びプロットするとFig. 5に示すようにピンの直径の大きさに対して、ほぼ直線的な傾向が得られたので回帰分析を行った。その結果Table 1の分散分析表に示す通り一次が有意となり、供給方法が垂直の場合のピンチ動作の時間値は、ピンの直径を変数とする対数線形式で推定可能であることが判明した。

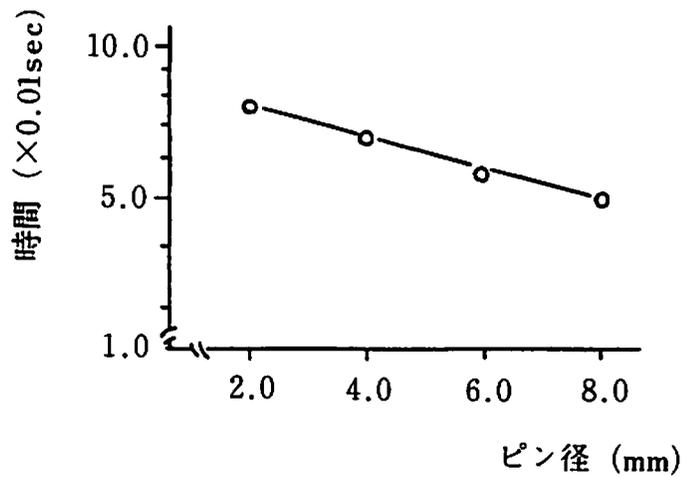


Fig. 5 垂直供給の場合の動作時間

Table 1 垂直供給による把握動作時間の分散分析表

要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比
回帰変動	0.1544	1	0.1544	322.0400
誤差変動	0.0144	30	0.0005	
高次変動	0.0005	2	0.0002	0.4969
級間変動	0.1549	3	0.0516	104.0770
級内変動	0.0139	28	0.0005	
全変動	0.1688	31		

回帰式は(2)の通りである。また回帰係数の誤差推定値は式(3)のように小さく、回帰係数の有意性を検定するt値は式(4)、寄与率は式(5)に示す通りである。さらに、推定値の信頼幅は式(6)となり誤差は3.2%以下である。

$$\hat{y} = 0.94 - 0.03x \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{Se}(b_0) &= 0.009 \\ \text{Se}(b_1) &= 0.002 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} t_0 &= |99.44| > t(30, 0.05) = 2.04 \\ t_1 &= |17.95| > t(30, 0.05) = 2.04 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$R^2 = 0.91 \quad (5)$$

$$\alpha = \pm [3.94 - 1.30x + 0.13x^2]^{\frac{1}{2}} \times 10^{-2} \quad (6)$$

以上から円筒形状物の垂直供給の場合のピンチ動作時間は、対象物体の直径により求められてもよいと判断される。

4.2 水平供給の場合のピンチ動作時間

ピンの直径が小さくなるに従ってピンチ動作時間は加速度的に増加する傾向が見られた。そこで、時間値およびピンの直径を対数に変換して平均値をプロットするとFig. 6に示す直線的傾向が見られたので回帰分析を行った。結果はTable 2に示す通り一次が有意となり、水平供給の場合のピンチ動作時間値は対数線形式で推定可能であることが判明した。

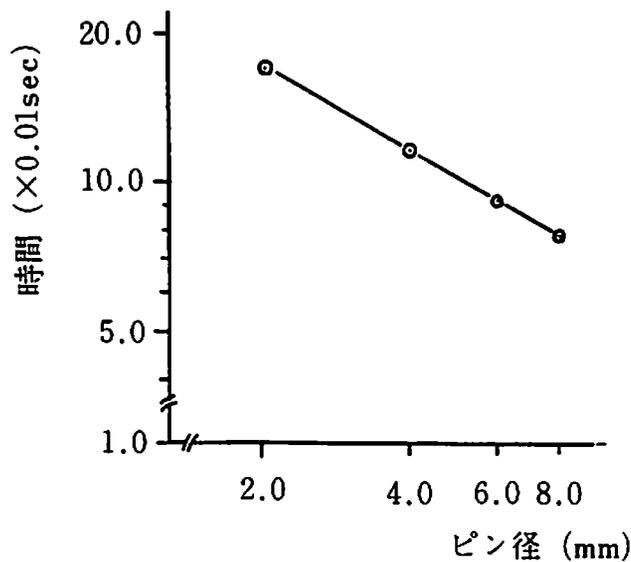


Fig. 6 水平供給の場合の動作時間

Table 2 水平供給による把握動作時間の分散分析表

要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比
回帰変動	0.5135	1	0.5135	860.3460
誤差変動	0.0179	30	0.0006	
高次変動	0.0011	2	0.0005	0.8778
級間変動	0.5146	3	0.1715	285.0310
級内変動	0.0168	28	0.0006	
全変動	0.5314	31		

回帰式は式(7), 回帰係数の誤差推定値は式(8), 回帰係数値の有意性を検定する t 値は式(9), 寄与率は式(10), 推定値の信頼幅は式(11)に示すとおりであり誤差は4.2%以下である。

$$\hat{Y} = 1.40 - 0.56x \quad (7)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Se}(b_0) = 0.013 \\ \text{Se}(b_1) = 0.019 \end{array} \right\} \quad (8)$$

$$\left. \begin{array}{l} t_0 = |107.33| > t(30, 0.05) = 2.04 \\ t_1 = |-29.33| > t(30, 0.05) = 2.04 \end{array} \right\} \quad (9)$$

$$R^2 = 0.97 \quad (10)$$

$$\alpha = \pm [0.083 - 0.213x + 0.153x^2]^{\frac{1}{2}} \times 10^{-1} \quad (11)$$

以上から水平供給の場合にも円筒形状物のピンチ動作の時間値は, 把握される物体の直径に関係していることが判明し, 直径で求めてもよいと判断される。

4.3 ピンチ動作時間の推定式

把握対象物体の供給方法によってピンチ動作時間の推定式は, 式(2)と式(7)として得られた。式(2)は時間値を対数変換してあるため再変換し, また時間の測定単位が10msであるから整理すると, 垂直供給の場合の動作時間の推定式は式(12)のようになる。

$$T = 10^{\hat{Y}} \times 10^{-2} (\text{sec}) \quad (12)$$

$$\text{ただし, } \hat{Y} = 0.94 - 0.03x$$

一方, 式(7)は把握対象物体の直径および動作時間値を対数に変換しているため, これを再変換し, また時間の測定単位が10msであるから, 水平供給の場合の動作時間の推定式は式(13)のように整理される。

$$T = \hat{Y} \times 10^{-2} (\text{sec}) \quad (13)$$

$$\text{ただし } \hat{Y} = 10^{1.4} \cdot X^{-0.56}$$

$$= 25.12X^{-0.56}$$

§ 5. 推定時間値の比較検討

実験式から得られた時間値が既存のPTS法での時間差とどの様に対応するか, MTMとWFとを中心に比較検討を行った。

5.1 垂直供給の場合の比較

実験におけるモデル作業のピンチ動作は, MTMではG1Aと分析される。その時間値は0.072秒が与えられる。G1Aの対象は大きさに関係がない⁽⁴⁾としているので, 本実験値とは直接対比はできないが, 実験値の対象物体の直径が2mmの時の時間値に近似している。この大きさは人間の指の把握可能な最小の大きさと考えられるので, MTMの場合には把握条件の最も厳しい時間

値が単一で与えられていると推察される。

WFでは「つまみ型」握みとして1/2F1と分析され⁽⁶⁾、時間値は標準ペース(100%ペース)に換算すると0.06秒が与えられる。母指と他の指の間に物体をはさんで握める大きさが対象となり単一の時間値となっている。この場合も直接対比はできないが、実験値の中間値に近似しており、指で握む場合の平均値が与えられていると推察される。

以上をまとめるとTable 3のようになる。このように容易な把握である垂直供給の場合にはMTM, WF共に対象物体の大きさの規定はなく単一時間値を与えているが、今回の実験結果からみると、MTMでは最大値が、WFでは平均値が与えられていると推察され、対象物体の大きさによってはかなりの差が生じることになる。

5.2 水平供給の場合の比較

MTMでは直径2mmの物体は、極めて小さい単一目的物としてG1Bと分析され、時間値は0.126秒が与えられる。また直径6～8mmの場合はG1Aと分析するのが妥当であると考えられる。これらと実験値とを比較すると実験値の方がやや大きな時間値となっている。

WFでは物体の直径が2mmの場合はF1Pと分析され、直径が大きくなるに従い1/2F1P, 1/2F1と分析されよう。それぞれに対応した実験値を見ると上限値はほぼ近似しているが、直径が大きくなるに従い実験値の方がやや大きい時間値になっている。

以上をまとめるとTable 3のようになり、対象物体の直径の大きさや物体の供給方法がピンチ動作時間に影響を与える要因であることを示している。

Table 3 MTM, WFの実験値との比較

垂直供給の場合				単位 sec	
ピン径	実験値	MTM	WF		
2.0	0.076	0.072 (G1A)	0.060 (0.048) (1/2F1)		
4.0	0.066				
6.0	0.058				
8.0	0.050				
水平供給の場合				単位 sec	
ピン径	実験値	MTM	WF		
2.0	0.170	0.126 (G1B)	0.173 (0.138) (F1P)		
4.0	0.116				
6.0	0.092		0.072 (G1A)	0.086 (0.069) (1/2F1P)	
8.0	0.078			0.060 (0.048) (1/2F1)	

§ 6. 結 言

小物品の組立作業で発生頻度が多いピンチ動作について円筒形状ピンを用いて実験作業を行い、ピンチ動作時の手の移動速度から動作時間を捉え、その時間値の推定方法を考察した。

その結果、対象物体の供給方法により動作時間の推定式は異なるが、対象物体の把握間距離(ピンの直径)を変数とする対数線形式で推定可能であることが判明した。また、実験値とMTM、WFとの比較をし位置づけを明らかにした。

対象物体の把握間距離と供給方法を指定すれば時間値が容易に求められるので、概略の時間値を知りたい場合には十分対応できると考える。また、推定が難しいとされている把握動作の時間の解明に手がかりを与えた。

参 考 文 献

- 1) 大島正光：“人間の手の運動”，計測と制御，p938，Vol. 7, No. 12(1968).
- 2) 井戸正敏：“動作速度からみたアセンブリ動作の構造と時間”法政大学工学部研究集報第22号 p227～234 (1986).
- 3) 井戸正敏：“同時動作時間におけるオクレ補償の研究”法政大学工学部研究集報第22号 p236～246(1986).
- 4) 遠藤健児，新宮哲郎，坂崎春樹，熊谷智徳：「作業測定」改訂第二版金原出版 p279(1968).
- 5) 中村隆一，斎藤宏：「基礎運動学」第二版医歯薬出版 p173(1983).
- 6) 池永謙一編：「WF入門」日本能率協会 p90～106(1965).