

短距離移動動作時間の推定法について

ID0, Masatoshi / 井戸, 正敏

(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)

28

(開始ページ / Start Page)

145

(終了ページ / End Page)

155

(発行年 / Year)

1992-02

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00003878>

短距離移動動作時間の推定法について

井戸正敏*

A Study on Estimate Method for Transport and Reach Motion time at Short Distance

Masatoshi IDO*

ABSTRACT

This paper deals with the time estimate for Transport and Reach motion at short distance(2—10cm). From the result of the previous experiment based on the triangle model the time estimate for Transport motion at long distance(10—25cm) is suggested. In this model, it is found that the acceleration period is influenced by distance moved, and the deceleration period is influenced by the terminal control level(TCL) and the distance moved for Transport motion, and that the deceleration period is influenced by the distance moved only for Reach motion.

The purpose of present paper is to discuss the experiment equation based on this model for time estimate of Transport and Reach motion at short distance. It is considered at short distance that time required for Transport motion is influenced by the distance moved and TCL which is the clearance between objects and that time required for Reach motion is influenced by the distance moved.

Two experiments are executed by eight right-handed male students served as subject at a normal pace. In Exp.1, twenty combination of five distance and four terminal control levels are provided. In Exp.2, five combination of distance are considered. Each model task is to reach or to transport from a start point and to a terminal point.

The experimental equations for the time estimate of Transport and Reach motion are obtained through the result of two experiments at short distance. Transport motion time can be estimated by using two equations in which the variables are the distance moved and / or the clearance between objects, and Reach motion time can be estimated from the distance moved of one variable equation.

Lastly, the characteristics of estimated time values clarified by comparison of the estimated time values with Methods Time Measurement(MTM) and Detailed Work-Factor Analysis(WF).

§ 1. はじめに

本研究は、小物部品の組立作業を対象とした簡易な作業時間推定法の開発を目的とした一連の研究である。今回は、短距離（ここでは移動直線距離10cm以下）移動動作について、その時間特性を明らかにし、時間推定法の検討を行う。

短距離の手の移動動作を観察すると、肩を支点とする場合と、手首を支点とする場合がある。また、移動動作には、物体に手を“伸す(Reach)”と、物体を“運ぶ(Transport, Move)”形態とがある。

前回までに、肩を支点とする移動距離10~40cmの範囲を対象として、それぞれの形態の移動動作の時間特性を明らかにし、その時間推定法について検討を行った[1,2]。そこでの時間推定は、手の速度の三角型速度モデルに基づいて行われている。Transport動作では、移動距離と手が目的地へ移動するときのコントロールの程度(Terminal Control Level 以下TCLという)を時間への影響要因として、距離 d において、手の移動の最高速度時点までの加速域時間(t_1)は、TCLに影響をうけずほぼ一定であり、最高速度時点以後の減速域時間は、移動距離とTCLとに影響を受ける。手のコントロールレベルが高くなるに従い、減速域時間は t_2 から t_3 の方向へ伸延していく(Fig 1)。この場合、これらの原因によって、伸延される減速域時間と加速域時間との比率をTCLの条件によって求めると、移動距離に対して指数曲線的傾向を有する。これが三角型速度モデルの時間特性である。

一方、Reach動作においては、減速域時間はTCLの影響を受けず、移動距離のみが影響要因であることが明らかとなり、したがって、加速域時間と減速域時間とに差がない三角型速度モデルとなる。

この三角型速度モデルに基づいて、短距離の移動動作時間を求める場合、手の移動速度を正確に測定する高性能な測定装置を必要とする。そこで、Transport動作については、三角型速度モデルの特性を適用し、Reach動作は、TCLがその時間に影響しないことから、移動距離のみを影響要因として、時間特性の検討を行う。

したがって、ここでは、肩を支点とするTransport動作とReach動作とを分け、実験手続きに基づき、それぞれの動作時間の推定法について考察を行う。

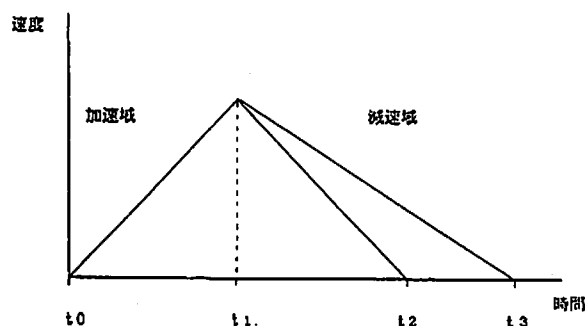


Fig. 1 移動動作の三角型速度モデル

§ 2. 短距離Transport動作の推定

2.1 短距離Transport動作時間の求め方

移動距離が10~25cmの場合、三角型速度モデルに基づいて、Transport動作時間は式(1)により推定される[1]。

$$T = 5.309d^{0.417} (1 + 3.758R^{-0.462}) \quad (1)$$

ただし、 d : 移動距離、 $10 \leq d \leq 25\text{cm}$

R : TCL(ユトリ)、 $6 \leq R \leq 18\text{mm}$

式(1)は移動距離に応じた手の移動の最高速度時点までの加速域時間の関数とTCL(ユトリ)の効果としての加速域時間と減速域時間との比の関数との積で、Transport動作時間を推定する構造となっている。前述したように短距離の動作速度の正確な測定は、測定方法を工夫する必要があるので、時間値の求め方として次の前提をおく。

- (1) 三角型速度モデルにおいては、式(1)から $R=17.6\text{mm}$ のときに加速域時間と減速域時間が等しくなる。したがって、短距離 d における $R=18\text{mm}$ の場合の実験値を求めて、その1/2の値を加速域時間と仮定する。
- (2) 短距離 d における $6 \leq R \leq 18\text{mm}$ の条件を満たす実験値を求め、この値から上記(1)で求めた時間値の差を求め、これを減速域時間と仮定する。
- (3) (1)、(2)の手続きによって求められた加速域時間と減速域時間の比率を求め、前述の三角型速度モデルの特性と同様な傾向が認められる場合には、その特性により短距離のTransport動作時間の推定法を考察する。
- (4) 三角型速度モデルにしたがわない場合は、移動距離とユトリとの関係特性を検討し、新たな推定法を考察する。

以上の前提から、短距離のTransport動作時間の求め方は、次のように整理することができる。三角型速度モデル特性に従う場合は式(2)を考える。そうでない場合は式(3)を仮定する。

$$T = f(d) \{1 + f(R)\} \quad (2)$$

$$T=f(d,R) \quad (3)$$

ただし、 d =移動距離、 $2 \leq d < 10\text{cm}$

$R=\text{TCL(ユトリ)}$ 、 $6 \leq R \leq 18\text{mm}$

2.2 短距離Transport動作時間の測定

以上の考え方にに基づき、短距離のTransport動作時間を測定するために、次のような実験を行った。

2.2.1 モデル作業と実験要因

右手にピン(2φ×60mm)を持ち、被験者の前面作業台上の基点(SP)及び目的地(TP)の二点間を運ぶ作業をモデルとした。実験要因として、距離(A)は2,4,6,8,10cm(直線距離)の5水準とし、ピン径と目的地の円形盤との差(ユトリ)をTCL(B)とし、それぞれ6,10,13,18mmの4水準を設定した。

2.2.2 動作時間の測定および実験方法

Transport動作の開始時点から終了時点までの時間を、それぞれ基点および目的地点にマイクロスイッチを設置し、それにマルチタイマー(竹井機器製)を接続し測定を行った。測定単位は10msである。目標地点には、マイクロスイッチに連動するTCL要因の大きさ可変の円形盤を使用した。

被験者は右利き男子学生8名を採用した。実験は20通りの作業を被験者ごとにランダムな順序で行った。作業ベースは基本的にはMTMベースとしたが、前回の実験結果[1]と整合性を得るために、式(1)より移動距離10cmにおける各TCL条件下の時間値を求め、この時間に合わせたベースとし、被験者には十分練習を行わせた。

分析に用いたデータは、作業開始後、安定した10サイクル目からの10サイクルを分析対象とした。作業測定では連続測定してデータ処理をするので、前記10サイクルの平均値を1回の実験データとし、被験者を繰り返しデータとした。

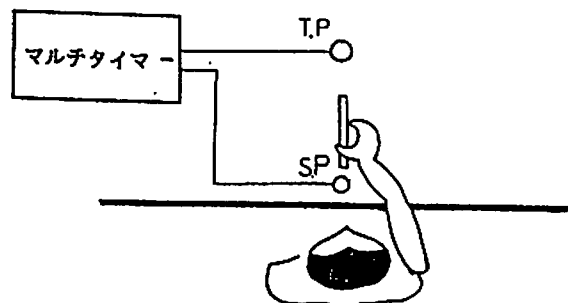


Fig. 2 短距離Transport動作時間の測定装置の概念図

2.3 短距離Transport動作時間の測定結果と考察

各移動距離におけるTCLとTransport動作時間の測定の結果は、Fig.3のようになった。2～6 cmの距離では、時間値はほぼ一定で、TCLによる影響にみられず、6 cmを越えると、時間値はTCLが低く（ユトリが大きく）なるにしたがって逓減し、指数曲線的傾向で小さくなり、TCLの効果が認められる。

さらに、前述の手続きによって、各移動距離における $R=18.0\text{mm}$ の場合のTransport動作時間の1/2を加速域時間とし、加速域時間を差し引いた時間を減速域時間として求め、移動距離ごとに、加速域時間と減速域時間との比率を求めた。結果はFig.4に示すようになった。移動距離2～6 cmでの比率はほぼ1に近い値であった。距離が伸延するにつれ、その比率は大きくなり、異なった値を示した。距離10cmにおいては、前回[1]の結果と近似していた。

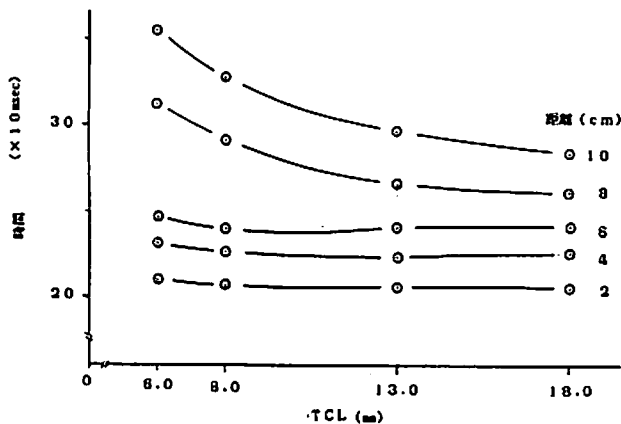


Fig. 3 移動距離ごとのTCLとTransport動作時間の関係

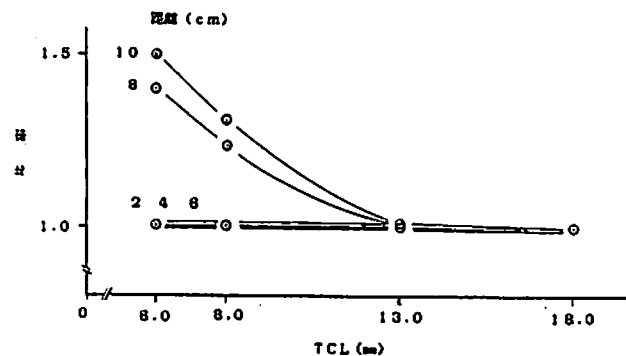


Fig. 4 移動距離ごとのTCLと比率の関係

以上の測定結果から、移動距離が6 cm以下の場合、加速域時間と減速域時間には差がなく、減速域時間には、TCLによる影響が見られないことがわかった。6～8 cmへと距離が伸延するにつれて、TCLによる効果が発現することから、この間にTCL効果の閾値が存在することを示唆しているものと考えられる。6 cm以下では、目的地点での条件にかかわらず、手を目的地へ移動するコントロールレベルはほぼ同程度であると推察され、この距離におけるTransport動作時間は主に移動距離の要因に影響をうけ、6 cmを越えると手のコントロールの程度は序々に高くなり、比率の増大として顕在化し、動作時間は移動距離とTCLの要因に影響をうけるものと考えられる。

したがって、これらの動作時間特性から、時間値を推定する場合には、移動距離6 cmを区分点として検討することが必要となる。

まず、2～6 cmの移動距離のTransport動作時間の影響要因について検討する。Table 1 は移動距離(A)とTCL(B)とを要因とする分散分析の結果である。距離要因のみが有意となった。距

離に対する動作時間の関係をFig.5に示すと直線的傾向を示した。回帰分析を行った結果、Table 2に示すように高次に有意が見られず、この区間におけるTransport動作時間は、移動距離を変数とする一次式で推定可能な特性であることが判明した。回帰式を求めると式(4)が求められた。

$$T_{2-6} = 18.43 + 1.02d \quad (4)$$

ただしd:移動距離 $2 \leq d \leq 6$ (cm)

また、回帰係数の誤差推定値は

$$S_0(b_0) = 0.2118$$

$$S_0(b_1) = 0.0490$$

回帰係数の有意性を検定するt値は

$$t_0 = |87.002| > 1.971 = t(94, 005)$$

$$t_1 = |20.793| > 1.971 = t(94, 005)$$

となり有意を示した。

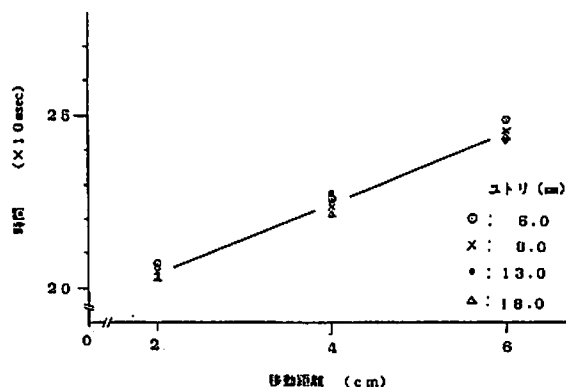


Fig. 5 移動距離2～6cmのTransport動作時間

要因	平方和	自由度	分散	分散比
距離 A	266.0590	2	133.0290	206.3370**
T C L B	2.1602	3	0.7201	1.1169
A×B	1.5117	6	0.2520	0.3908
誤差	54.1562	84	0.6447	
計	323.8870	95		

Table. 1 移動距離2～6cm区間の
Transport動作時間の分散分析表

要因	平方和	自由度	分散	分散比
回帰変動	266.1000	1	266.1000	432.3340
誤差	57.8567	94	0.6155	
高次	0.0090	1	0.0090	0.0145
級間	266.1090	2	133.0550	231.9080
級内	57.8477	93	0.6220	
全変動	323.9570	95		

Table. 2 移動距離2～6cm区間の
Transport動作時間の分散分析表

一方、6～8 cmの移動距離におけるTransport動作時間の分散分析の結果はTable 3 のように、距離(A)、TCL(B)および両者の交互作用(A×B)が有意となった。さらに比率においても特定の傾向がみられなかった。距離6 cmはTCLの効果がみとめられないので、区分点にして除き、8～10cmについて重回帰分析を行うと、距離とTCLを変数とする多項式で推定できることがわかった。

回帰式を求めると式(5)となり、回帰係数の誤差推定値および回帰係数の有意性を検定するt値は以下のようになり有意を示した。

$$T_{8-10} = 16.27 + 2.14d - 0.49TCL \quad (5)$$

ただし、d:移動距離、 $8 \leq d \leq 10$ (cm)

TCL:ユトリ、 $6 \leq TCL \leq 18$ (mm)

$$Se(b_0) = 1.866$$

$$Se(b_1) = 0.199$$

$$Se(b_2) = 0.043$$

$$t_0 = |10.766| > 2.000 = t(61, 0.05)$$

$$t_1 = |-11.555| > 2.000 = t(61, 0.05)$$

要 因	平方和	自由度	分 散	分 散 比
距 離 A	929.2660	2	464.6330	298.6630**
T C L B	263.4920	3	87.8307	56.4570**
A×B	120.8280	6	20.1380	12.9446**
誤 差	130.6800	84	1.5557	
計	1444.2700	95		

Table. 3 移動距離6～10cm区間の
Transport動作時間の分散分析表

要 因	平方和	自由度	分 散	分 散 比
回 帰	632.922	2	316.4610	124.71**
残 差	154.797	61	2.53766	
計	787.7190	63		

Table. 4 移動距離8～10cm区間の
Transport動作時間の分散分析表

§ 3. 短距離Reach動作時間の推定

3.1 短距離Reach動作時間の求め方

移動距離10～25cmのReach動作時間を推定する前回の実験において[2]、Reach動作時間の影響要因として、手の移動距離とTCLとを考慮した。この動作におけるTCLは手の移動の目的地に置かれた把握物体の大きさ（物体の直径）とその物体の供給方法（水平と垂直供給）である。実験結果は移動距離のみが時間値への影響要因であることが判明しているため、短距離Reach動作でも移動距離のみを要因として動作時間の推定が可能であると考えられる。

したがって、ここでは手の移動距離を時間影響要因として、肩を支点とする短距離Reach動作時間の推定を検討する。

3.2 短距離Reach動作時間の測定方法

動作時間の測定は、被験者前面作業台上の基点と目的地点にマイクロスイッチを設置し、それにマルチタイマー（竹井機器製、測定単位10ms）を接続して行った。つまり、目的地点には右手母指が物体把握開始時点で着地する場所にマイクロスイッチを埋込み、その上に薄板を固定し、指の離着に伴うスイッチ信号により計測した。

把握物体は6φ×20mmの真鍮製ピンとし、これを水平供給した。ピンの供給は実験補助者に行わせた。モデル作業は基点から手を伸ばし目的地点で水平供給されるピンを把握し、復路途中でピンを箱に入れ、基点に戻る繰返し作業である。移動距離要因(A)は、2,4,6,8,10cmの5水準を設定した。その他の測定手続きは、前述の短距離Transport動作時間の測定と同様である。

3.3 短距離Transport動作時間の測定結果と考察

測定の結果はFig.6に示すように移動距離に対し直線的傾向がみられた。分散分析の結果は距離が有意となる。回帰分析の結果は高次変動の有意差は認められず、一次式で推定可能な特性であることが判明した。推定式は式(6)のようになる。

$$T_{2-10} = 27.59 - 1.07d \quad (6)$$

ただしd:移動距離、 $2 \leq d \leq 10\text{cm}$

$$S.(b_0) = 0.3018$$

$$S.(b_1) = 0.0046$$

$$t_0 = |58.282| > 2.025 = t(38, 0.15)$$

$$t_1 = |23.446| > 2.025 = t(38, 0.05)$$

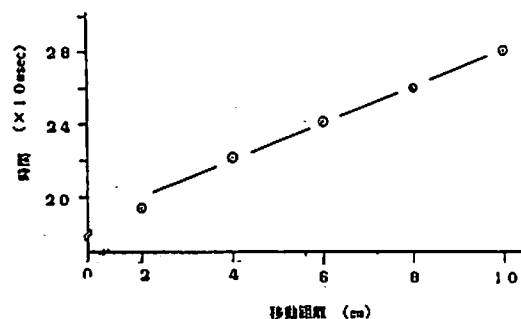


Fig. 6 短距離のReach動作時間

要 因	平方和	自由度	分 散	分 散 比
距 離 A	366.20	4	91.55	138.05**
残 差	23.21	35	0.66	
計	389.41	39		

Table. 5 移動距離 2－10cm区間の
Reach動作時間の分散分析表

要 因	平方和	自由度	分 散	分 散 比
回帰変動	364.2300	1	364.2330	549.7320
誤 差	25.1774	38	0.6626	
高 次	1.9684	3	0.6561	0.9895
級 間	366.2010	4	91.5503	138.0610
級 内	23.2090	35	0.6631	
全 変 動	389.4100	39		

Table. 6 移動距離 2－6 cm区間の
Reach動作時間の分散分析表

§ 4 . 短距離移動動作時間の推定式

短距離Transport動作時間の推定は、6～8 cmの移動距離機関にTransport動作時間に対するTCL効果の閾値の存在が示唆されることから、6 cmを区分点とし、2～6 cmまでは移動距離のみを変数とする一次の推定式で、8～10cmでは移動距離とTCLを変数とする推定式で可能となった。なお、6～8 cmの区間に対しては式(5)を外挿して求めることが考えられる。

短距離Reach動作時間は、移動距離のみを変数として一次式で推定可能となった。それぞれの推定式をまとめて示すと以下のようになる。推定値の時間単位は10msである。

短距離Transport動作時間の推定式

移動距離 $2 \leq d \leq 6$ cmの場合

$$T_1 = 18.43 + 1.02d$$

移動距離 $8 \leq d < 10$ cmの場合

$$T_2 = 16.27 + 2.14d - 0.49TCL$$

ただし TCL:ユトリ、 $6 \leq TCL \leq 18$ mm

短距離Reach動作時間の推定式

$$T_3 = 17.59 - 1.07d$$

ただし d:移動距離、 $2 \leq d < 10$ cm

§ 5 . 短距離移動動作推定時間の特徴

本研究の短距離移動動作推定時間の特徴を示すために、既存のPTS法と比較する。比較対象は、MTM(Methods Time Measurment)とDWF(Detailed Work-Factor Analysis)である[3,4]。

比較にあたり推定値は移動距離が2点間の直線距離で求められているので、MTMの時間値を調整し、またWFとの比較ではWF時間値を125%に調整した。

MTMおよびWFではケースあるいはワークファクターで手の移動のコントロールの程度を区分しているが、推定値のTransport動作では移動距離6 cm、Reach動作では10cm未満までは同一のコントロールとなり、移動距離のみによって時間値を求めるのが大きな特徴と云える。

Transport動作時間の推定値はTCLの高い場合と低い場合と、その中間の場合とし、ユトリが6,12,18mmのときの推定値を比較対象とした。

Fig.7にWFにおける腕(A)の基礎、1WF、2WF時間と、MTMにおけるReach動作とMove動作のケースA,B,C時間と推定値を示した。図に示すようTransport動作の推定値は、移動距離6 cmまではWFの1WF動作時間に近似しているが、8～10cmでは急激にTCLによる差が生じ、TCLの低い方では1WF動作時間に、高い方では2WF動作時間に近似している。Reach動作の推定値は1WF動作時間に近似している。両推定値は一部分でWFの線形的傾向と同一な特徴を有している。

これに対してMTMは指数曲線的傾向を有しているので、移動距離が2～4 cm附近まで、両推定値とはかなり大きな時間の差異がある。6 cm以上の距離では、TCLの低い推定値とM-C、R-Cに近似している。

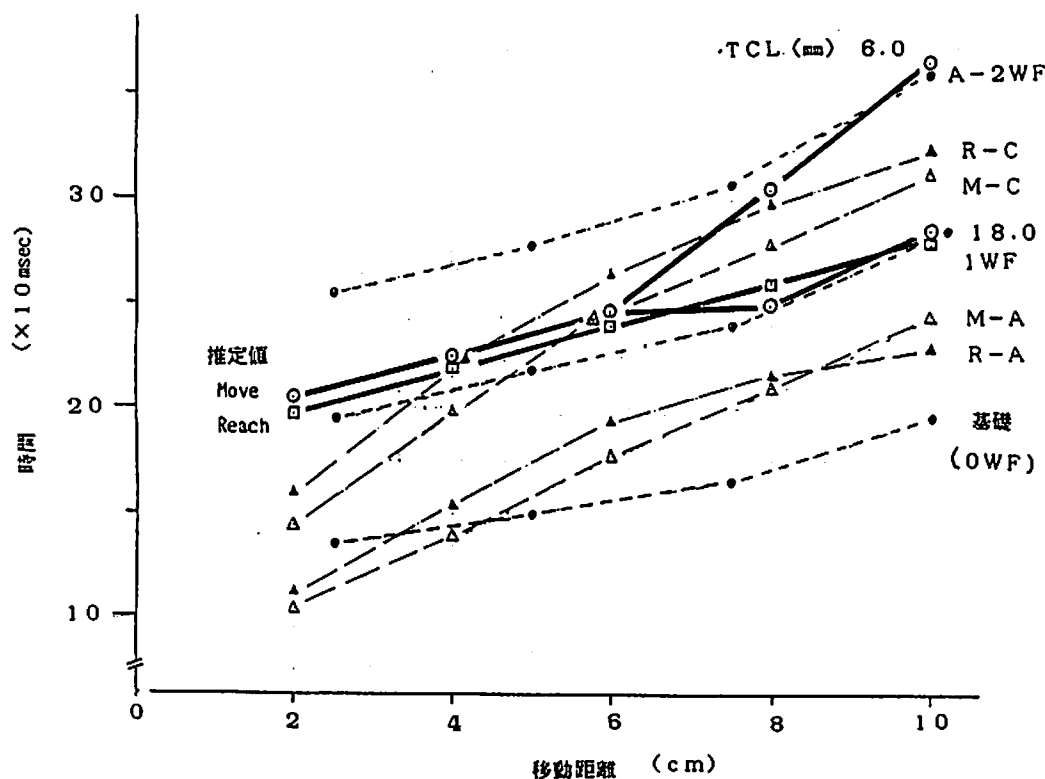


Fig. 7 短距離におけるMTMとWFと推定値の比較

§ 6. おわりに

前回移動距離10～40cmの移動動作時間の推定法を検討し、残された問題として2～10cmの短距離の移動動作時間の推定法を検討した。ここでは移動動作を動作時間の影響要因の違いから、Transport動作とReach動作とに区別して推定式を求めた。Transport動作では移動距離6cmまでは移動距離を変数とし、それ以後は移動距離とTCL(ユトリ)を変数とする推定式を得、Reach動作では移動距離のみを変数とする推定式が得られた。

これにより移動動作は関数で求められることが可能となり、反復の多い単純な作業時間の推定には有効であると考えられる。

生産の自動化が著しい一方で、それを支える単純繰返し作業が増加しており、今後この分野での生産性の向上が重要な課題となってくると考えられる。従来、作業時間の管理は組織的かつ専門的に行われてきたが、海外労働力の受入れや、高齢者雇用等を考えると、作業者が主体的に管理できる方策を構築しておくことが望まれよう。

本研究は、作業者自身が作業にあたって、自己の作業能力を評価できる簡便なシステムの開発を最終目的としている。この自己能力評価の簡便な手段として、携帯性のある簡易な作業時間推定機の開発が必要となり、作業を構成する動作時間の推定は、それぞれの関数から求めることが推定機設計上の要件であると考えている。

参考文献

- [1] 井戸正敏：“上肢運動によるトランスポート時間推定モデルについて”、法政大学工学部研究集報、P.233～248、第26号（1990）
- [2] 井戸正敏：“三角型速度モデルに基づくReach動作時間推定について”、法政大学工学部研究集報、P.123～134、第27号（1991）
- [3] 林茂彦訳：「メソッド・タイム設定法」、技報堂、P57～84（1966）
- [4] 上田茂人編：「WF分析法」、技報堂、P20～146（1956）