

### 3次元組立作業動画の作業時間導出方法の研究

篠田 心治\*<sup>1</sup>, 小寺 抄宜\*<sup>2</sup>

A Study on the Time Calculation Method of 3 Dimensional Assembly Operation Animations

Shinji Shinoda\*<sup>1</sup>, Atsutaka Kodera\*<sup>2</sup>

**ABSTRACT** : In the field of manufacturing, business aim to reduce both production preparation lead time and the cost, which can be realized by avoiding the traditional prototype assessment step at the designing and production preparation stage, by utilizing the products' 3DCAD data. To realize such goals the authors have been working on the study that proposes possible alternative plans for an operation as virtually animated operations, by automatically generating as many plans as the possible assembly sequences. This study proposes the method for calculating the time value, which enables to evaluate the animations from time aspect, by applying MTM and MODAPT methods employed in PTS method. What characterizes the proposed method is that it can generate the time values directly based on the necessary information extracted from the products' 3DCAD data.

**Keywords** : Virtual Factory, 3DCAD, PTS, MTM, MODAPTS

(Received September 21, 2012)

#### 1. はじめに

迅速な商品開発が求められる現在の生産業界において、生産ラインの立ち上げを“試作品”を用いずに行う方法が注目を集めている。これは、3DCADデータを用い、組立作業の3次元CG(Computer Graphics, 以後「組立動画」と呼ぶ)を作成して、試作品を作る前段階で生産準備プロセスを完結するものである。これにより、リードタイム短縮とコストの削減を目指している。

このような背景に対し、組立動画を自動で作成し工程や作業の案を検討する方法が提案されている。これらの方法では、1つの完成品を作り出す全ての組立順序の数だけの作業の代替案が導出され、要素作業の数、両手の移動距離、やりづらさなどを用い評価されていた<sup>1)~4)</sup>。

しかし、両手の移動距離が少ない作業ややりづらさの少ない作業を評価することも確かに必要だが、実際の工場では時間のかからない作業が重要視される。また、時間値により工場の工程編成やラインバランスも考慮する

ことができる。このように、工場の生産管理を行う上で、時間値での作業評価を行うことは極めて重要な要素であると言える。また、現状作業が与えられた元で、時間値を求める方法は提案されていたが、設計時の3DCADの段階で多くの代替案に対し自動的に時間値を求める方法は提案されていない。

以上より、本研究では3DCADが与えられた段階で、すべての組立順序の数の組立動画に対して、時間値を導出する考え方、方法について提案する。

#### 2. PTS法の適用

従来研究において組立動画は、著者らに提案したVFDL (Virtual Factory Description Language) と呼ばれる言語で表現されている<sup>3)</sup>。VFDLとは、組立動画で出力される作業者の詳細な動作を文章構造で表したもので、1つのVFDLで1つの組立順序を表し、組立順序の数だけ存在する。VFDLのステップは、「伸ばす」、「掴み取る」、「運ぶ」、「組立てる」、「放す」、「置き放す」といった動作から成り立っている。また、部品の位置情報や「伸ばす」、「運ぶ」のステップにおける手の移動距離などの情報も含まれて

\*<sup>1</sup> : 成蹊大学理工学部教授(shinoda@st.seikei.ac.jp)

\*<sup>2</sup> : (株)日立製作所

いる(表1参照)。時間値導出にあたり、VFDLの各ステップに対し時間値を導出することを考える。

表1 VFDLの一部

F	4	1	0	1
3169.856	0	0	0.129	
伸ばす左手をAからBへ				
A	-200	0	1044	
B	0	0	0	
F	5	1	0	1
3169.856	0	0	0.258	
掴み取る5を部品置き場5から左手で4により				
F	6	1	0	1
4201.357	0	0	0.258	
運ぶ左手でAからBへ				
A	0	0	0	
B	-70.6	97	1024.5	
F	7	1	0	1
4229.957	0	0	1.548	
組立移動する左手でAPPからOFFSETへ				
APP	-70.6	97	1024.5	
OFFSET	-42	97	1024.5	

時間値の導出は、従来ではストップウォッチにより実測が基本であるが、この方法の適用は難しい。よって、VFDLの各ステップに時間値を導出するにあたり、国際的に認められた「規定時間」PTS法<sup>5)</sup>(Predetermined Time Standard)を用いることにした。PTS法とは、すべての人間の行う作業を基本動作に分析し、各基本動作に対し、その性質と条件に応じて定められた時間値を当てはめる方法である。PTS法には、MODAPTS法、MTM法等の手法がある。

### 3. MTM法とMODAPTS法の比較

PTS法を適用するにあたり、PTS法の中でも、簡易的な方法であるMTM法とMODAPTS法に注目し、比較した。

まず、MTM法とはメソッドタイム設定法(Method Time Measurement)と呼ばれ、「手を伸ばす」、「運ぶ」、「定置する」などの基本動作から成っている。そして、基本動作ごとにさまざまな変動因が存在し、それによって時間値が変化する(表2参照)。TMUと呼ばれる単位を用い、1TMUを0.036秒と定義している。また、それぞれの時間値はデータカードと呼ばれるものに記載されている。例えば、「手を伸ばす」であれば、距離の情報、決まった位置に伸ばすのか、乱雑に置かれた中の目的物に手を伸ばすのかなどの到着位置の情報、始めから一定の速度の動作なのか、徐々に加速していく動作なのかなどの動作タイプの情報、の3つの情報が必要になり、それらにより時間値が決定する。

表2 MTM法の基本動作と変動因

基本動作	変動因
Reach(手を伸ばす)	距離・到着位置・動作のタイプ
Move(運ぶ)	距離・目的地の状態・動作のタイプ・重量
Grasp(つかむ)	目的物の状態・大きさ
Release(はなす)	動作のタイプ
Position(定置する)	はめ合いの度合い・対称性・取り扱い難易度
Disengage(ひきはなす)	はめ合いの度合い・取り扱い難易度
Apply Pressure(おす)	付加的な力

一方MODAPTS法(Moduar Arrangement of Predeteramined Time Standards)は、動作時の使用身体部位と所要時間との関係に注目したものである。人間の上肢の動作を移動動作と終局動作、その他の動作に分け、21種類の記号で表している。また、MODという単位を用い、1MODを0.129秒と定義している。さらに、動作分類番号と時間値とを一致させ、簡単に時間値が計算できるようにになっている。

表3 移動動作

記号	定義	移動距離(約cm)
M1	指の動作	2.5
M2	手の動作	5
M3	前腕の動作	15
M4	腕の動作	30
M5	伸ばしきった腕の動作	45

例えば、「手を伸ばす」という動作の場合、どこの身体部位を動かしたかという情報だけで時間値を求めることができる(表3参照)。腕を使った動作であればM4より4MOD、つまり0.516秒となる。

このように、MODAPTS法はMTM法に比べ、少ない情報で、時間値を求めることができる。そのため、システム化するにあたり、MODAPTS法を中心とした時間値導出方法を提案する。

### 4. MODAPTS法について

前章ではMODAPTS法を適用することを提案したが、この章では、さらに詳しくMODAPTS法について説明する。まず、「移動動作」、「終局動作」、「その他の動作」について説明する。

「移動動作」とは物に手を伸ばしたり、運んだりする動作である。MODAPTS法においては、表3のようにその動作で使われる、“身体部位”により時間値を区別している。また、その移動距離の目安も示してある。

「終局動作」とは、手を伸ばしてから物を掴む動作、物を運んでから置く動作で、移動動作が行われた後の目的を達成するための動作である。表4のように、GetとPut

の2種類に分けられる。掴む動作の場合は、表4のようにG0～G3の3つに分類される。例にあるように、マッチ箱を掴むような容易な動作の場合はG1となり、机の上のコインを掴むような注意力を必要とする動作はG3となる。次に置く動作の場合は、注意力を要するかどうかで、表4のようにP0～P5の3つに分類される。例にあるように、ボールペンにキャップをはめるような、目で見ながら簡単に行える動作をP2とし、ネジの溝にドライバーの先端をあてはめるような複雑な動作をP5とする。

表4 掴む動作Get (G)、置く動作Put (P)

記号	定義	例
G0	指または手のひらで物に触れる動作	押しボタンに触れる
G1	指を閉じるだけの簡単なつかみ動作	マッチ箱をつかむ
G3	注意力を要し、単純に指を閉じるだけでは行えないような複雑または難しいつかみ動作	机の上にピタッと置いてある座金をつかむ
P0	注意をしなくて大体の位置に物を置く動作(目で見なくても行える動作)	部品を机の上に普通に置く
P2	注意力を要し、1回の修正動作を行って物を置く動作(目で見ながら少しの修正を行う動作)	ボールペンにキャップをはめる
P5	注意力を要し、2回以上の修正動作を行って物を置く動作(目で見ながら行う最も複雑な動作)	ネジの溝にドライバーの先端をあてはめる

「その他の動作」とは、移動、終局動作以外の手の動作を補っている動作である。表5にその一部を示した。E2は目の動作で、作業者が何かを注意深く検査したり、次の作業を行う前に1つの領域を見渡したり、何かに焦点合わせする場合の動作である。R2は物を掴み直す動作で、鉛筆を掴んでから字を書こうとする場合などに現れる。D3は、動作と動作の間に現れる瞬間的判断と決定のための時間である。A4は、非常にきついバルブなどを開けようとする動作などに現れる。

表5 その他の動作

記号	定義
E2	目の動作。「30度以内の視線移動」「焦点合わせ」
R2	つかみなおし。指先で物をつかみなおす動作
D3	瞬間的判断とそれに反応しての対応動作全体
A4	力をこめて画鋏を止めるような圧力を加える動作

## 5. MODAPTS法を用いた時間値導出方法

### 5.1 VFDLとMODAPTS法の対応

VFDLの各ステップに対して時間値を導出するために、VFDLの各動作をMODAPTS法の移動動作と終局動作、その他の動作に表6のように対応させた。VFDLの「伸ばす」、「運ぶ」、「組立移動する」の動作は、移動動作に対

応させる。また、「掴み取る」、「組立てる」、「放す」、「置き放す」は終局動作に対応させる。最後に「持ち直す」をその他の動作に対応させる。

表6 VFDLとMODAPTS法の対応

VFDL	MODAPTS	
伸ばす	移動動作	M1～M5
運ぶ		
組立移動する		
掴み取る	終局動作	G1,G3
組立てる		P2,P5
放す		P0
置き放す		P2
持ち直す	その他	R2

次にそれぞれの動作について細かく対応させる。

<1>伸ばす, 運ぶ, 組立移動する(移動動作)

MODAPTS法では、使用する身体部位により、時間値を区別していたが、VFDLに対応するにあたり、表7のように距離により定義し、対応させる。距離の定義は表3で示してあった移動距離の目安を使い、それぞれの目安の中間値をとり、その動作の範囲とした。

表7 移動動作の定義

記号	定義	移動距離
M1	指の動作	0～3.75cm
M2	手の動作	3.75～10cm
M3	前腕の動作	10～22.5cm
M4	腕の動作	22.5～37.5cm
M5	伸ばしきった腕の動作	37.5～60cm

<2>掴み取る (終局動作)

この対応には、組立作業のやりづらさを評価した先行研究の情報を用いる<sup>4)</sup>。先行研究では、組立作業を「取る」「位置決め」「組付け」のプロセスに分類し、それぞれに細かな評価指標を設けることで評価を行っている。その評価指標は以下のとおりである。

表8 やりづらさ要因

取る	大きさ(小)
	厚み
	取り扱い注意
位置決め	部品対称性
	接点
	特殊組付け
	方向注意
組付け	位置決め箇所数
	組付け力

表8の「取る」を参照し、大きさ(小)、厚み、取り扱い

い注意、のいずれかにやりづらさがあればG3とし、それ以外をG1に対応させる。

<3>組立てる (終局動作)

この対応にもやりづらさの先行研究の情報を用いる。表8の「位置決め」を参照し、部品対称性、接点、特殊組付けのいずれかにやりづらさがあればP5とし、それ以外をP2に対応させる。また、方向注意のやりづらさがあれば、Pの値にD3を付加し、位置決め箇所数のやりづらさがあれば、M1、E2を付加し、対応させる。さらに、「組付け」のやりづらさがあれば、その他の動作で圧入を意味するA4を付加し、対応させる。

<4>放す (終局動作)

触れていた手を放すので、P0に対応させる。

<5>置き放す (終局動作)

決まった場所に置くので、P2に対応させる。

<6>持ち直す (その他の動作)

持っている物の方向を変える動作より、R2に対応させる。

5.2 時間値導出アルゴリズム

次に、時間値導出アルゴリズムについて説明する。

- 1.VFDLの1つのステップについて、動作の種類を明らかにする。
- 2.各動作について上の5.1のルールに対応させ、時間値を求める。
- 3.同様にして、すべてのステップについて、1, 2を繰り返すことで時間値を導出することができる。それにより、1つのVFDL、つまり1つの組立順序に対し時間値を導出することができる。さらに、そのVFDLから時間値の入った組立動画を得ることが可能となる。

6. 適用結果

この方法をT社の製品Aに適用した。製品Aは部品数が37個の製品で、組立順序が71万通り存在する。今回はその71万通りの組立順序それぞれに対するVFDLにこのアルゴリズムを適用し、71万通りすべての時間値を導出した。

求めた時間値をヒストグラムにした(図1参照)。

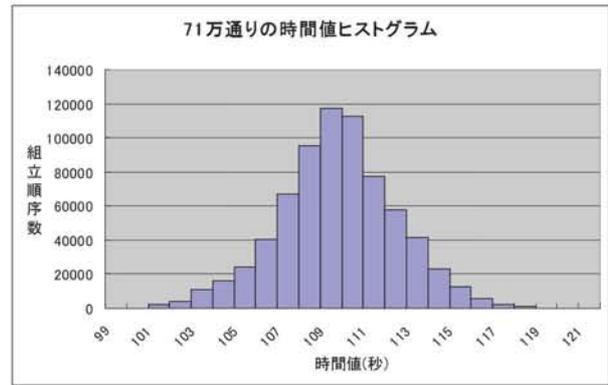


図1 製品Aの総組立順序の組立時間の分布

この結果から、製品Aの最短の組立時間は、99.517秒で3通り存在することが分かった。また、実際に現場で行なわれている作業順序での時間値は、101.194秒で71万通りの中でもかなり早い作業であることが分かる。

次に、時間値とVFDLのステップ数との相関図を作ると図2のようになる。

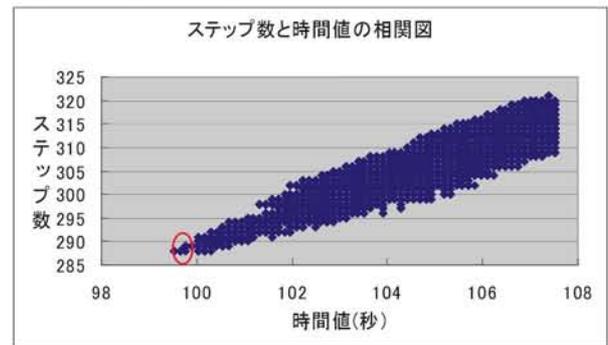


図2 ステップ数と時間値の相関図

ステップ数と時間値の相関係数を出すと、0.9622となり、正の相関があると言え、ステップ数が増加すると時間値も増加していることが分かる。

図2の赤い丸は、時間値が最短の組立作業順序である。これを見ると、時間値とステップ数も最少になっていることが分かる。

さらに、時間値の入ったVFDLから組立動画を導出した(図3参照)。



図3 組立動画

## 7. 結論

本研究では,MODAPTS法とVFDLを対応させることによって,時間値の入ったVFDLを求めることができた。さらに,時間値に対して動く組立動画を作成することも可能となった。

本研究の方法を用いることにより,設計時の3DCADデータだけから,すべての組立順序に対し時間値を自動で導出できるようになった。そして,時間値による作業評価が可能となり,最も効率のよい作業を知ることが出来る。

## 参考文献

- 1) 篠田心治, 丹羽明, 他 10 名, 「部品から完成品までの網羅的な仕事の代替案を表現・評価するバーチャル・ファクトリーの基礎的考察—手を用いた組立作業の場合—」, 日本経営工学会論文誌, Vol.53, No.2, pp.139-149, 2002 年
- 2) 篠田心治, 丹羽明, 他 6 名, 「3DCAD データを用いた新たな生産準備プロセス構築の基礎的研究」 IE レビュー誌, Vol.44, No.4, pp.73-80, 2003 年
- 3) Shinji Shinoda, Kazuhiro Shimozawa, 他 4 名: 「A PROPOSAL FOR PROTOTYPE-FREE PRODUCTION PREPARATION PROCESSES UTILIZING 3DCG ANIMATIONS” , The Journal of Industrial Engineering and Management Systems, Vol8, No2, pp.109-120, 2009 年
- 4) Hiroki Yamanaka, Toshiyuki Matsumoto, Shinji Shinoda, and Akira Niwa : 「A FUNDAMENTAL STUDY FOR CREATING 3D CG ANIMATION OF AN ASSEMBLY WORK」, The Journal of Industrial Engineering and Management Systems, Vol.11, No.2,pp.188-195
- 5) 藤田彰久: 「新版 IE の基礎」, 建帛社, 1997 年