

*Original*

Analysis of Work Operations for a Multi-Step Assembly Task  
——1st Report: On-Job Digital Manual Presentation System Including Data Collection  
Function and Prediction Method for Operation Time ——

Masahiro ARAKAWA,<sup>1</sup> Akinari TABUSHI<sup>2</sup> and Masahiko FUYUKI<sup>1</sup>

Abstract

Many factories introduce assembly processes in which a single worker performs multi-step operations to complete products for multi-item, small-lot production. This type of assembly process results in reductions in production lead-time and inventories in the process. However, since workers continuously control operating processes composed of different operations to complete different types of products, operation error caused by the worker is possible. To reduce operation errors, a digital manual presentation system is introduced and is used to instruct workers on continuous operation procedures for products in actual factories. The presentation system naturally involves a function to collect operation time in the assembly process. In this paper, we focus on a function to collect operation time in the presentation system and develop a digital manual presentation system for analyzing operation properties using data collected from multi-step assembly tasks. First, we show the concept of a developed system and a data structure in which relations to operations and worker motions are included. Then, three types of operation difficulties are introduced and a method to estimate operation time is proposed as a function of the manual presentation system. The proposed method generates operation times using an evaluation of operation difficulties caused by worker's motions. The developed system is applied to an actual assembly process, and relations between operation properties and operation difficulties are analyzed from the operation times collected in the system. Analyzed results show that the operation difficulties cause operation times to increase and the amount of time increased depends on a worker's skill level. Moreover, the results show that the proposed method to estimate operation time generates an approximate operation time for the manufacture of new products.

Key words: Digital Manual, Assembly, Operation Analysis, Operation Time, Data Collection

---

<sup>1</sup> Kansai University

<sup>2</sup> Graduate School, Kansai University

Received: March 30, 2006

Accepted: November 17, 2006

## 多工程組み立て作業に対する作業分析の研究

——第1報:実績収集機能を含む On-Job デジタルマニュアル表示システムと  
作業時間予測法 ——荒川 雅 裕<sup>1</sup>, 田 伏 顕 也<sup>2</sup>, 冬 木 正 彦<sup>1</sup>

本研究では、多工程連続作業から構成される部品組み立て作業に対して、作業の実績収集と分析を行うためのデジタルマニュアル表示システムの構築と運用例を示す。はじめに、デジタルマニュアルの特徴を分類し、本研究で開発する実績収集と分析を目的とするデジタルマニュアル表示システムの位置づけを行う。そして、デジタルマニュアル表示システムによって工程ごとに収集される作業時間から、動作分析結果と関連付けることで同一あるいは類似製品の作業時間の算出方法を提案する。提案法では、動作分析から算出される作業時間からの乖離、および作業間での乖離が生じる要因として製品構造、作業者の姿勢を位置決め精度を考慮し、ニューラルネットワークにより作業時間を補正する。開発したシステムを実作業に適用し、デジタルマニュアル表示システムによる工程作業の評価例と作業時間の見積りの提案法の有効性を示す。

キーワード： Digital Manual, Assembly, Operation Analysis, Operation Time, Data Collection

## 1. はじめに

顧客ニーズの多様化、製品のライフサイクルの短命化により、製造現場においては受注生産を中心として多品種少量や変品種変量生産が導入されており、仕様の異なる多種類の製品を短いリードタイムで製造することが求められている。多数の生産現場では多品種少量、変品種変量の生産に柔軟に対応するため、セル生産方式を導入している〔1〕。セル生産方式の特徴として個々の作業者が連続する複数の工程作業を取り扱うことが挙げられ、手作業による部品組み立て工程に導入するケースが多い。また、溶接や旋盤加工などの高い技能を必要とする個別受注生産においても、個々の作業者は多工程の連続作業を担当するため、工場内ではセル生産に類似する工程が構成されている。

異なる仕様の製品を短いリードタイムで完成させるには、作業者ごとの技能を考慮した、作業の選定やスケジュールの作成が必要と考えられる。しかしながら、複数工程の連続作業においては、作業者ごとの作業分析や作業時間の見積りは以下の点で困難である。

- ・ 作業者間に技能差が存在し、作業時間差が生じる。
- ・ 個々の作業において作業時間の変動があるため、一つの製品の製造に要する総作業時間には変動が多く含まれる。
- ・ 同一動作によって行われる作業においても作業者

間で処理時間が異なる。

従来から、作業の分析や作業時間の見積りは作業時間の測定結果を利用する方法(ストップウォッチ法)や動作要素の規格時間の分析によるPTS法(MTM法, WF法, MODAPTS法など)によって行われている〔2〕。時間の測定結果を利用する方法では、時間測定や結果の分析に多くの工数が必要となる。各作業者の作業回数ごとの時間変動を継続的に測定することや、測定後、連続する作業からの特徴抽出は困難である。さらに、新しい作業や類似作業の作業時間の見積りには経験や勘による定式化やレイティングが必要とされる。一方、PTS法でも規格値に従って作業の動作を分解して時間を見積もるため、その分析には多数の工数がかかる。さらに、PTS法による動作分析では、製品の構造や特徴に依存する作業の困難さを動作時間に反映させているが、作業の困難さには個人差が存在し、作業時間に大きく影響するため、個人ごとの事前評価は困難である。

本研究では多工程組み立て作業に関して、作業時間の収集方法とともに収集情報から作業を分析して、分析結果を既存製品や新製品の作業改善、工程設計、計画立案などに活かす方法を検討する。

本論文では実績収集と作業分析を目的として、デジタルマニュアルを利用する情報システムの構築例を示す。はじめに、デジタルマニュアルの現状を概説し、開発するデジタルマニュアルの位置づけとシステムの特徴を示す。その後、具体的な組み立て作業をとりあげ、作業の困難さに対する、作業時間の特徴を示す。そして、組み立て作業に対して、作業の困難さを考慮する作

<sup>1</sup> 関西大学工学部

<sup>2</sup> 関西大学大学院

受付：2006年3月30日、再受付（1回）

受理：2006年11月17日

業時間の見積り法を提案し、実作業による提案法の適用例を示す。

## 2. デジタルマニュアルの現状と本研究で導入するシステムの特徴

国内におけるセル生産では、作業者の手作業を中心とし、一作業者が複数工程を担当することで、変品種変量や多品種少量の生産に柔軟に対応するものが多い。このようなセル生産方式では、一作業者が複数工程を担当することで一連する作業の並列処理を行えるため、作業員間の在庫滞留時間の削減とともに、リードタイムの短縮が可能となる〔3〕。しかしながら、一作業者が複数工程を担当するため、作業内容の理解に時間が掛かり、また、多品種への対応のため作業内容が大きく変化する製造では実作業がついていけず作業ミスが発生しうる〔4〕。

作業ミスの発生は製品の品質に影響するため、品質を維持するために作業ミスを排除する仕組みを工程に組み込むことが必要となる。この問題を解決するため、生産現場ではデジタルマニュアルが導入されている。本研究では、製造現場におけるデジタルマニュアルを、①作業内容をデジタル化し、②コンピュータの画面上で作業内容を説明するコンテンツおよび情報システム、を指すものと定義し、以後、議論に利用する。

デジタルマニュアルは、主に作業者が実作業を行う前の教育を目的として導入されている。コンテンツに動画や熟練者の意見など組み入れることで、熟練技術を必要とする作業の技能伝承に利用される場合が多い〔5〕。その一方で、多品種製品に対する作業の対応と作業ミスの抑制のために、実作業にデジタルマニュアルを導入する工場が存在する〔5〕-〔10〕。デジタルマニュアルによる画面の切り替えと作業者の実作業との同期化を行うことで、マニュアルによる作業指示によって多品種の製造への対応を行い、さらに、作業実施の確認の仕組みを組み入れて作業ミスの発生を防いでいる。たとえば、ドライバーやレンチなどにセンサーを設けて作業の確認を行うことで、製品の品質の維持や作業ミスの回避が行われている。

上記から、デジタルマニュアルを適用箇所によって On-Job(実作業への導入) と Off-Job(作業前の教育への導入) に分類し、特徴をまとめたものを表 1 に示す。On-Job のデジタルマニュアルの主目的は計画や管理情報を作業実施へ渡す処理によって実現され、副次効果は作業実施から実績情報を収集する処理によって実現される。このことから、On-Job のデジタルマニュアルは実作業と管理の情報システムとのインタフェースの役割を持つ。副次効果に関しては、現在のところ、

表 1 デジタルマニュアルの分類と特徴

	On-Job	Off-Job
適用箇所	実作業中 (ライン内, 製造工程内)	実作業前 (ライン外, 製造工程外)
主目的	作業指示, 作業確認 (作業ミスの排除)	導入教育, 技能伝承作業手順書, 取扱説明書
作業対象	多品種の製品を対象とする多工程作業 (主に, 部品組み立て作業)	多工程作業 (部品組み立て), 技能工程 (溶接, ロウ付けなど)
運用対象の製品 (導入事例)	(大型) プリンター, 電子ピアノ, 油圧ポンプ, 油圧モーターなどの組み立て作業	製造一般 (組み立て作業, 技能工, 検査・整備など作業手順書にも利用)
利用する情報の量	(一般に) 少 動画よりも静止画が好まれる (瞬時で作業内容が判断できるため)	多 (技能が高い作業ほど多, 動画が好まれる, 音声)
他のシステムとの連携	工具 (ドライバー, レンチ), PLC, ピックアップトレー, データベース (在庫管理システム) など	一般に, 単独システムとして利用 (音声, 動画のデータベースとの連携する場合あり)
副次効果	在庫管理, 作業員自身によるタクトタイムの管理, 作業員の責任意識にともなう自己改善活動	同一作業内容に対する継続的な改善 (知識伝達の改善)

実績情報を在庫管理や作業員自身によるタクトタイムの管理などの作業場内での生産管理への利用に留まっている。

本研究では、On-Job のデジタルマニュアルの実績収集機能に着目し、実績情報を上流工程である計画立案や工程計画あるいは製品設計へ利用することで、製造の特徴を考慮する各種の計画の立案や設計の実施する方法を検討する。

本論文では作業時間の実測値を利用し、①作業時間の実績収集と実績結果からの作業評価、②類似作業から構成される新規および類似製品の作業時間の見積り、を実現するためのシステムの構築と実施例を示す。

## 3. 実績収集機能を有するデジタルマニュアル表示システム

### 3.1 システムの概要

図 1 は開発するシステムの構成と運用時における情報の流れを示す。システムは次の 3 種類のコンポーネントから構成する。

- ①計画・実績統合データ構造コンポーネント
- ②作業評価コンポーネント
- ③デジタルマニュアル表示コンポーネント

①のコンポーネントでは、計画と実績データ、製品の部品構成のデータ、作業と動作の階層データを格納す

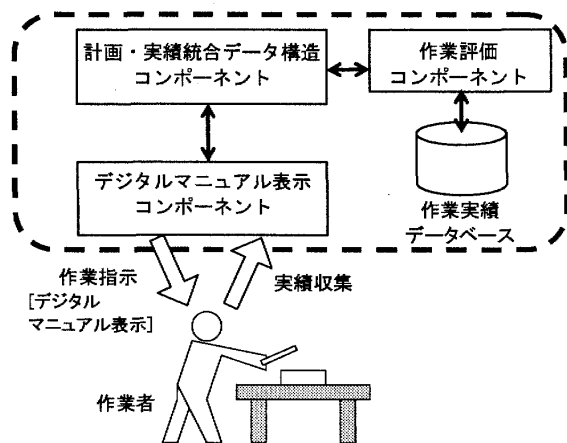


図1 デジタルマニュアル表示システム概要図

る。これらのデータを関連付け、製品や中間製品の製造ごとに作業と動作の分類を行う。そして、動作にPTS法の既定動作を対応させることで、作業時間の見積りや動作分析を行なう。動作の階層構造を一つの中間製品の製造ごとにまとめることで、複数の連続する工程作業に分割する。分割した工程作業に関する3DCADの表示画像から、デジタルマニュアルを作成する。

デジタルマニュアルはデジタルマニュアル表示コンポーネントに組み込み、作業員への作業指示に利用する。そして、工程作業ごとのマニュアルのページの切り替えと同期させて時刻を収集する。作業評価コンポーネントは、収集した作業時間とPTS法によって分類した動作と標準作業時間から、工程作業や作業員の技能に関する評価を行う機能を含む。

②のコンポーネントは作業分析と作業時間の見積り機能を、③のコンポーネントは作業指示と実績の収集機能を有する。

### 3.2 計画・実績統合データ構造コンポーネント

図2は計画・実績統合データ構造のクラス図を示す。データ構造は、計画と実績データを格納するジョブ情報関連のデータ構造、製品の部品構成を表すBOM構造、作業と動作の階層データ構造から構成する。データ構造はオブジェクト指向に基づいて設計しており、以下の特徴を有する。

- (1) オペレーション(工程作業)中心のデータ構造
- (2) 静的データと動的データの分離
- (3) 部品構成情報、作業・動作情報、ジョブ関連情報の連携

ジョブ情報関連のデータ構造はBOM構造に連結することで、M-BOM(Manufacturing BOM)を構成する。さらに、作業と動作の階層データ構造はBOMと

関連付けており、製品の部品構成から作業および動作へ展開する。図2の作業・動作情報のデータ構造では“作業”は“主作業”と“付随作業”に分類し、複数の“動作”と関連付ける。“動作”の内容は“移送”、“設置”、“移動”、“実作業”に分類し、これらの動作の組合せとして表現する。分解した作業の作業時間を格納するため、“動作”の要素と“時間”の各クラスを関連付ける。“時間”は“主動作”と“補助動作”に分類し、PTS法による既定動作に基づく作業時間を格納することで動作分析や作業時間の算出を行なう。図2において最上位の“作業”クラスではCompositeパターン[11]を利用し、複数の作業の階層構造を表現する。下位層では作業の修正、拡張を考慮し、Strategyパターン[11]によって各クラスを関連付ける。本システムでは簡略PTS法の一つであり、分析効率が高いMODAPTS法[12]を適用する。作業実績データベースには過去に作業済みの実績情報を格納しており、新規製品の作業時間の算出に利用する。製品の部品構成を中間製品と部品の階層構造で表現し、個々の中間製品とその中間製品の製造に必要な作業を関連付けることで製品を完成するまでの作業構成を表現する。図3は、図4(a)の椅子型構造物の製造について、図2から構成される中間製品と作業の階層表現の一部を示している。図3の階層表現の最下層は動作を示しており、各動作に対してMODAPTS法から標準作業時間の算出に利用する。

### 3.3 作業評価コンポーネント

作業評価コンポーネントは、収集した作業開始・終了時刻を利用して、各工程作業の難易度や各作業員の能力を評価する機能を含める。さらに、新しい製品に必要な作業時間を作業員の技能を考慮して算出する方法を提案し、機能としてシステムに含める。作業時間を

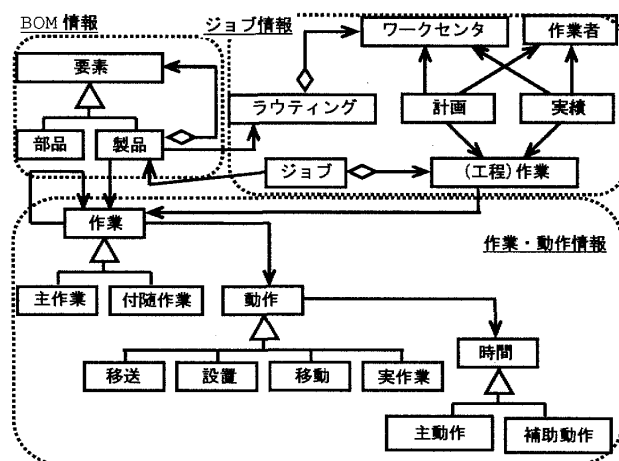


図2 計画・実績統合データ構造概要図

算出する方法 (以下、提案法と略記) はニューラルネットワーク (以下、NN と略記) を利用し、作業者の姿勢、製品構造などの作業の特徴から MODAPTS 法による標準作業時間からの補正値を算出する方法である。図 5 は提案法による作業時間の算出の概要を示す。提案法では、NN を利用して複数種類の作業の難易度をデジタルマニュアル表示システムから収集した作業時間の計測値と MODAPTS 法から算出した標準作業時間の比に定量的に関連付けることで、新規製品の組立てに現われる同様の難易度を有する作業の作業時間を算出する。提案法の実施には、作業を分析に妥当な単位に分割し、分割した作業ごとに高精度に作業時間を測定する必要がある。以上の特徴から、提案法はデジタルマニュアル表示システムによる実績収集機能と組み合わせることで利用可能となる。

ニューラルネットワークの構造は、入力ユニット数を 3、出力ユニット数を 1 とする。入力は「作業姿勢」、「ボルト密集」、「支持」に関する工程作業の難易度を設定し、3 から 5 段階で評価する。各評価項目の基準を付録に示す。「ボルト密集」と「支持」は製品構造に依存する作業の難易度として選定した。出力は MODAPTS 法から算出される標準作業時間に対する作業時間の比とする。教師データでは標準作業時間に対する実測値を利用する。MODAPTS 法と NN の導入によって、

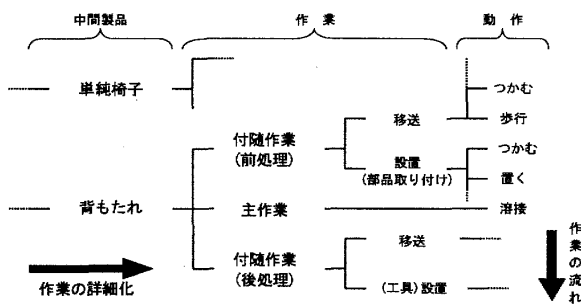
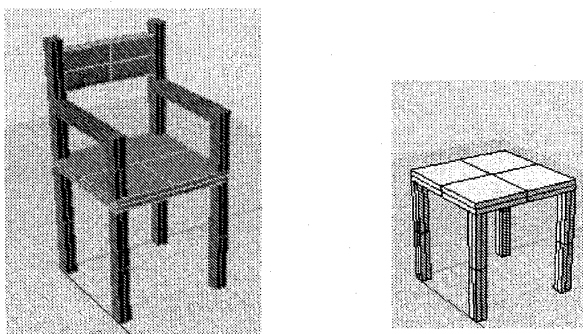


図 3 作業と動作に関するデータ構造の表現例



(a) 背もたれ・腕付き椅子 (b) 単純椅子

図 4 組み立て製品例

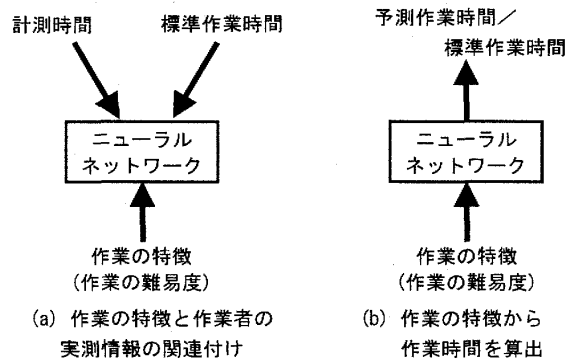


図 5 作業者の技能を考慮する作業時間の算出の概要図

提案法は以下の特長を含む。

- (1) MODAPTS 法の動作表現は MTM 法や WF 法に比べて少ないため、計画・実績統合データ構造から分析に必要な工程作業数が少数で済む。
- (2) 作業者ごとの作業実績を利用することで、個人差が生じる同一作業に対して作業時間の算出が可能となる。

### 3.4 デジタルマニュアル表示コンポーネント

データ構造の表現から得られた作業順序に従って、3DCAD の画像による作業指示画像を作成する。作業指示と作業時間の収集を実現するためのデジタルマニュアル表示コンポーネントに以下の機能を組み込む。

- ① 作業順序に従うマニュアル画面の表示
  - ② (マウスの) ボタンの押下による作業の表示画面の切り替えと切り替え時刻の記録
  - ③ 実績情報の計画・実績統合データ構造への格納
- 機能②によって、作業者が意識することなく、作業時間の収集、蓄積を可能とする。機能③によって、実測データを計画・実績統合データ構造によって表現された動作や作業の構成に対応付け、作業分析に利用する。

図 6 はマニュアルの作業指示画面の表示例を示す。画面は、3DCAD 画像を利用した作業方法の表示、作業に利用する部品リストの表示、作業順序に従った作業リストの表示から構成する。本研究のシステムではマウスの利用は必然ではなく、デジタルマニュアルの画面を切り替えるトリガーとなる装置 (ドライバーや安全確認のスイッチなど) で代用が可能である。

### 4. 実績収集による作業分析・評価事例

#### 4.1 作業条件

一人完結型セル生産方式の作業に対して、システムの適用例を示すとともに作業分析の実施例を示す。さらに、収集した実績情報を利用して、作業者の技能を考慮する新しい製品の作業時間の見積り例を示す。作業評

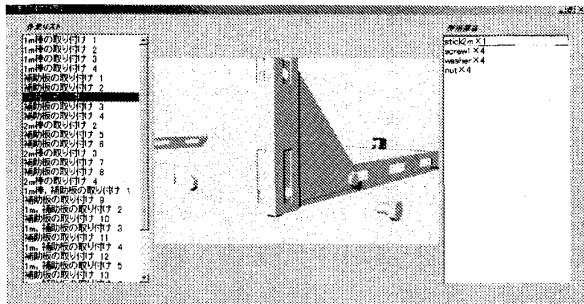


図6 デジタルマニュアル表示例

左側画面：工程作業のリストと現在の作業の指示  
 中央画面：3DCAD による作業シミュレーション  
 右側画面：表示された作業に必要な部品

表2 ProductA の部品

部品	数量	部品	数量
アングル (1m)	7	ボルト (M12)	34
アングル (2m)	2	ナット	34
三角プレート	10	ワッシャー	34

価では被験者による組み立て作業の実験を行う。組み立て作業の製品は図7に示す穴あきアングルの組合せとボルト締めから製造される椅子型の構造物 ProductA である。表2は一つの構造物の製造に必要な部品構成と部品点数を示す。ボルト締めはソケットレンチで行う。構造物の製造は18の工程作業に分類され、表3はProductAについて、作業順序に基づく作業内容と「作業姿勢」、「ボルト密集」、「支持」に対する作業の難易度、作業パターンを示す。3項目の難易度はNNの入力値となる。表中のA, B, C等は作業パターンを表しており、同一記号ならば、MODAPTSによる連続動作の表記が同一であることを表す。なお、距離や重量による補正に関する記号は無視している。

表4は各作業の動作とMODAPTS法の動作要素との関係を示す。各動作は、「移送」、「移動」、「設置」、「(ボルト)締め」、「(ボルト類)準備」から構成し、MODAPTS法による1から6種類の動作要素によって構成する。例えば、作業“op-1”は「(ボルト類)準備」、「移送」、「移動」、「設置」、「(ボルト)締め」から構成し、MODAPTS法で115の動作要素から表現される。作業“op-18”は「(ボルト類)準備」と「(ボルト)締め」から構成され、136の動作要素で表現される。組み立て作業の被験者は21から24歳の健常な男性4名(被験者をA,B,C,Dと略記)であり、各人に同一作業の製造を1日あたり3から4回、総回数13から15回行った。

4.2 作業の評価と分析

図8は各被験者の製造回数に対する一製品の製作に費やした作業時間の推移を示す。全被験者には4もし

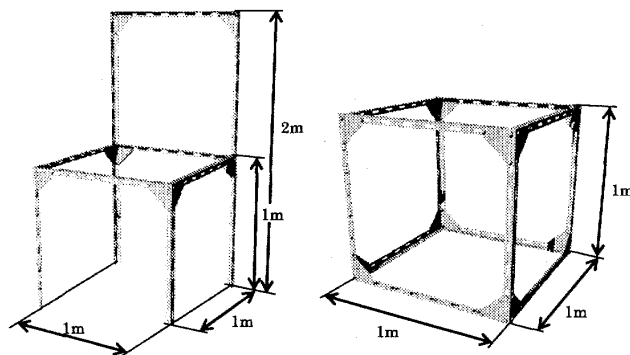


図7 作業対象の構造物  
 (左:ProductA, 右:ProductB)

表3 ProductA の製造に関する工程作業と作業難易度

JS:1 本のアングルの取り付け (( ) 内はアングル長さ)  
 JT:三角プレートの取り付け  
 \*1: 作業姿勢 \*2: 支持 \*3: ボルト密集

工程作業	作業内容	*1	*2	*3	作業パターン
op-1	JS(1m): No.1	1	1	1	A
op-2	JS(1m): No.2	1	1	1	B
op-3	JS(1m): No.3	1	1	1	B
op-4	JS(1m): No.4	1	1	1	C
op-5	JT : No.1	1	2	1	C
op-6	JT : No.2	1	2	1	C
op-7	JS(1m): No.5	2	3	3	D
op-8	JT : No.3	1	2	1	C
op-9	JT : No.4	1	2	1	C
op-10	JS(1m): No.6	2	3	3	D
op-11	JT : No.5	1	2	1	C
op-12	JT : No.6	1	2	1	C
op-13	JS(2m): No.1	2	4	3	C
op-14	JT : No.7	1	2	1	C
op-15	JT : No.8	1	2	1	C
op-16	JS(2m): No.2	2	4	3	D
op-17	JS(1m),JT	4	4	1	E
op-18	JT : No.9	4	4	1	F

くは5回の製造回数で作業時間がほぼ一定となる熟達が見られる。しかしながら、熟達が得られた時点においても、作業時間は被験者ごとで5から20%の変動が、被験者間でも約30%の差が生じている。最新3回の実験結果を取った平均時間においても、全被験者の作業時間はMODAPTS法による標準作業時間に比べて30から75%大きく現れている。図9は各工程作業における作業時間の実測値とMODAPTS法による標準作業時間、および技能依存度を示す。図中の“MODAPTS”はMODAPTS法による標準作業時間を示す。工程作業*i*の技能依存度  $ROC_i$  を導入し、以下の式によって定義する。

$$ROC_i = \sum_{k=1}^K (ROT_i / ROD_k) / K \quad (1)$$

$$ROT_i = \sum_{k=1}^K (OTMES_{ik} / OTMOD_i) / K \quad (2)$$

$$ROD_k = \sum_{i=1}^I (OTMES_{ik} / OTMOD_i) / I \quad (3)$$

ここで、 $ROT_i$  は工程作業  $i$  の作業時間比であり、MODAPTS 法による標準作業時間に対する実測値の比によって計算する。 $ROD_k$  は作業員  $k$  の全工程作業に関する困難さを表す。 $OTMES_{ik}$  は、工程作業  $i$ 、作業員  $k$  について本システムによる作業時間の実測値、 $OTMOD_i$  は工程作業  $i$  に関する MODAPTS 法による標準作業時間である。また、 $K$  は作業員数、 $I$  は工程作業数である。作業時間の比  $ROT_i$  は大きな値ほど困難な作業を意味し、作業員ごとの作業の困難さ  $ROD_k$  は大きい値ほど作業員によって時間差が現れることを意味する。

表 3 と図 9 より同一の作業パターンであっても 3 評価項目の難易度が高い作業ほど、MODAPTS 法による標準作業時間と実測値の差および技能依存度が大きく現れる。例えば、作業 op-1、op-2 では全項目の作業の難易度は 1 であり、MODAPTS 法による標準作業時間と実測値の作業時間比は 1.0 から 1.4 程度である。しかしながら、作業 op-13、op-16 では全項目の難易度に大きい値を取っており、作業時間比は 2.7 から 2.8

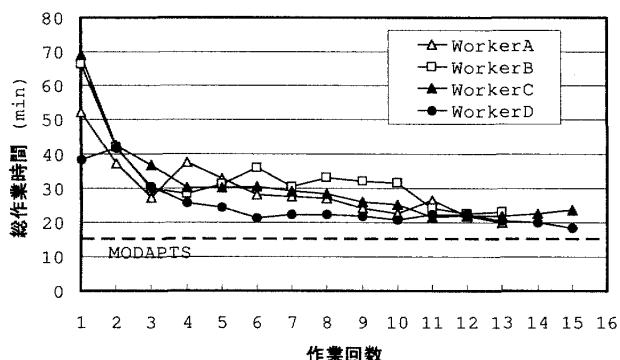


図 8 作業回数に対する総作業時間の変化

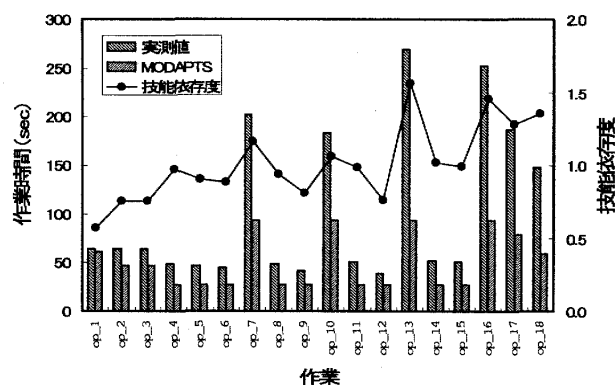


図 9 工程作業における MODAPTS 法による標準作業時間と実測値の比較

表 4 工程作業に現れる動作と MODAPTS 法の動作要素と表記の関係

動作	MODAPTS 法の動作要素	MODAPTS 法の表記
移送	歩行 重量補正	W5 L1
移動	歩行	W5
設置	移動動作 判断 置く動作 つかむ動作 かがんで元に戻る 重量補正	M1,M2,M3,M4,M5 D3 P0,P2 G0,G1,G3 B17 L1
ボルト締め (接続処理)	移動動作 つかむ動作 置く動作 クランク動作 つかみ直し 圧力を加える	M1,M2,M3,M4,M5 G0,G1,G3 P0,P2,P5 C4 R2 A4
ボルト準備 (接続準備)	歩行 移動動作 つかむ動作	W5 M1,M2,M3,M4,M5 G0,G1,G3

である。

図 10 は作業員 A,B に関して、作業の難易度に対する実測値と MODAPTS 法による標準作業時間の比を示す。縦軸は各工程作業に関する比の平均値であり、横軸は各難易度を 0.0 から 1.0 に正規化した値を示す。いずれも総作業時間に姿勢が与える影響は大きく、ボルト密集度が与える影響は小さい。結果の分布は異なる作業員で同一傾向を示しており、作業員によって難易度に対する勾配が異なる。この結果は作業の難易度を作業員ごとに評価する必要性を示唆する。

実験の観察から、作業員のデジタルマニュアルへの目視は、作業の熟達の程度が高まると目視は部品のピックアップと同時にされるようになり、画面を目視する時間は部品のピックアップの作業時間に含まれる。

### 4.3 新規製品の作業時間見積り

本節では図 7 の ProductB に対する作業時間の見積りを行う。ProductB の製造は、図 7 の ProductA の

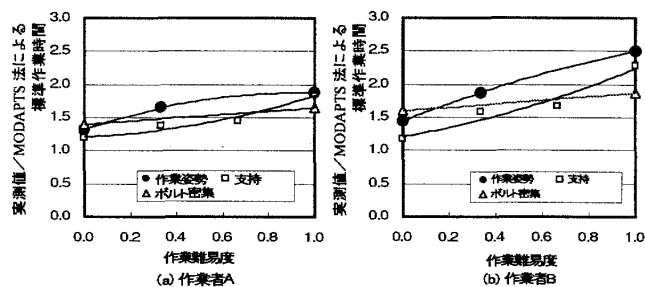


図 10 作業の難易度が作業時間に及ぼす影響

表5 ProductB の部品

部品	数量	部品	数量
アングル (1m)	12	ボルト (M12)	56
アングル (2m)	0	ナット	56
三角プレート	16	ワッシャー	56

表6 ProductB の製造に関する工程作業と作業難易度

JS:1 本のアングルの取り付け (( ) 内はアングル長さ)

JT:三角プレートの取り付け

\*\*1:作業姿勢 \*2:支持 \*3:ボルト密集

工程作業	作業内容	*1	*2	*3
op-b1	JS (1m) :No.1	1	1	1
op-b2	JS (1m) :No.2	1	1	1
op-b3	JS (1m) :No.3	1	1	1
op-b4	JS (1m) :No.4	1	1	1
op-b5	JT :No.1	1	2	1
op-b6	JT :No.2	1	2	1
op-b7	JS (1m) :No.5	2	3	3
op-b8	JT :No.3	1	2	1
op-b9	JT :No.4	1	2	1
op-b10	JS (1m) :No.6	2	3	3
op-b11	JT :No.5	1	2	1
op-b12	JT :No.6	1	2	1
op-b13	JS (1m) :No.7	2	3	3
op-b14	JT :No.7	1	2	1
op-b15	JT :No.8	1	2	1
op-b16	JS(1m) :No.8	2	3	3
op-b17	JS(1m), JT: No.1	1	4	1
op-b18	JT :No.9	1	4	1
op-b19	JS(1m), JT: No.2	1	4	2
op-b20	JT :No.10	1	4	1
op-b21	JS(1m), JT :No.3	1	4	2
op-b22	JT :No.11	1	4	1
op-b23	JS(1m), JT :No.4	4	4	2
op-b24	JT :No.12	4	4	2

製造に含まれる作業と類似する作業の組合せによって行われる。表5はProductBの一つの製造に必要な部品構成と部品点数を示す。表6はProductBの製造に関して、作業内容と作業の難易度を示す。

NNを用いて作業時間を見積るため、前節で得られたProductAの製造の各工程作業について、最新5回の実測値の平均値とMODAPTS法による標準作業時間の比、そして3項目の作業の難易度を教師データとして、NNの学習を行う。NNの学習後、ProductBの各工程作業について、難易度とMODAPTS法による標準作業時間から作業時間を算出する。NNの中間層は1階層とし、ユニット数を9とする。NNの学習には誤差逆伝播法を適用し、収束判定に利用する計算精度を0.001、繰り返し計算の終了条件を100,000回に設定する。

ProductBの製造に関する総作業時間について、MODAPTS法による標準作業時間は22.22分であり、NNから算出した作業時間は作業員A, B, C, Dに対して、それぞれ34.1, 41.2, 35.9, 37.1分であった。デジタルマニュアル表示システムを利用してProductBの製造を3回行ったところ、作業員A, B, C, Dの総作業時間の平均値と標準偏差はそれぞれ、33.2 (3.75), 42.5 (2.26), 35.1 (3.12), 38.4 (5.24)分であった。なお、( )内の値は標準偏差である。測定結果は、MODAPTS法による標準作業時間に比べて41~91%大きい、NNによる計算値とは2~4%程度の差であった。

図11に作業員Aについて、各工程作業に関する“(実測値-見積り作業時間)/MODAPTS法による標準作業時間”を示す。ここで、“見積り作業時間”はMODAPTS法による標準作業時間、あるいはNNによって算出される作業時間を指し、以下、この値を“標準作業時間比”と記述する。作業番号が小さく、難易度が小さい作業(例えば、op-b2からop-b4の作業)では提案法による作業時間は実測値とMODAPTS法による標準作業時間とほぼ一致する。一方、作業番号が大きく、作業の難易度が大きい作業(例えば、op-b22を除く、op-b17からop-b24の作業)では、標準作業時間比はMODAPTS法によって0.6から1.4の範囲となるが、提案法による標準作業時間比は±0.2の範囲にある。図11において、提案法では、三角プレートの取り付け作業(表6のJTの作業)における標準作業時間比が部品の取り付け作業の値に比べて大きい。これは、三角プレートの取り付け作業での標準作業時間が他の作業の標準作業時間に比べて1/2~3/4程度の大きさのため、提案法による標準作業時間比に大きな値が算出され、総作業時間の計算では実測値の数%の近似値が得られている。

以上の結果から、提案法によって、ある製品の組み立て作業を教師データとして、類似作業から構成される製品の組立て作業時間の近似値の算出を可能とし、作業員によっては数%の精度で作業時間を算出できることを示した。

NNによる作業時間の算出では、各工程作業の作業時間の計測が必要であるため、デジタルマニュアルによる実績収集機能の導入が不可避であり、提案法は実績収集の機能を含むOn-Jobデジタルマニュアル表示システムと組み合わせることで運用を可能とする。

## 5. ま と め

本研究では、多工程組立て作業に対して、デジタルマニュアルを利用して、作業時間の収集機能を有する情報システムの開発を行った。さらに、多工程組立て



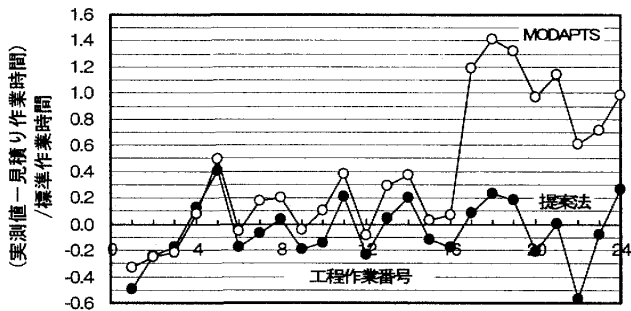


図 11 各工程作業における NN と MODAPTS 法の見積り作業時間の比較 (作業者 A)

作業時間の予測値の算出法を提案した。提案法は作業の困難さを考慮し、ニューラルネットワークによって MODAPTS 法による標準作業時間を補正する方法である。提案法は実績収集機能を含むデジタルマニュアル表示システムと組み合わせられ、一人完結型セル生産方式による構造物の組み立て作業に適用して、システムの導入効果と提案する作業時間の算出法の有効性を調べた。実験結果から、提案法は鉄製アングルによる製品の組み立て作業を教師データとして、類似製品の組立て作業時間を数%程度の誤差で見積ることを示した。多工程組み立て作業に対して、本研究で開発したシステムの発展のため、以下の研究を今後進めていく予定である。

- (1) 複雑な作業から作成される製品の作業時間算出に関する作業難易度の評価項目の検討
- (2) 組み立て作業に関する作業要素の標準化の検討と要素の組み合わせによる最適作業工程法の提案
- (3) 作業者ごとに見積もった作業時間に基づく、スケジューリング法の開発

本研究の調査にあたり、ローランド DG の関伸一氏にご協力を頂いた。また、実験遂行にあたり、関西大学工学部システムマネジメント工学科松尾由宇君、渡邊潤一君、山根健一君、山澤秀雄君にご協力頂いた。ここに皆様に深謝致します。本研究は(日本学術振興会)科学研究費補助(基盤研究 B)「統合化製品ライフサイクルマネジメントによる事業創造プロセスのモデル化と管理方法(課題番号 17310100)」の一環としての研究活動である。

## 参考文献

- [1] 日刊工業新聞社:「セル生産システム」, pp.1-50(2002)
- [2] 千住鎮雄, 川瀬武志, 佐久間章行, 中村善太郎, 矢田博:「作業研究」, 日本規格協会, pp.151-204(1994)
- [3] 坂爪裕:「なぜセル生産方式の導入後に継続的な改善活動が必要になるのか」, IE レビュー, 235, pp.6-13(2004)

- [4] 遠藤正一:「セル生産システムの構築とパフォーマンスの改善」, IE レビュー, 235, pp.22-28(2004)
- [5] 太田光洋:「ものづくりにおける技能・技術伝承 IT 活用による熟練技能伝承「e-Meister 活動」」, 化学工学, 化学機械協会, Vol.69, No.4, pp.195-199(2005)
- [6] 関伸一:「新たな製品ライフサイクルマネジメントを目指して進化するデジタル屋台-日本のモノづくりを DVE が変えている!」, 経営システム, 日本経営工学会, Vol.15, No.2, pp.116-120(2005)
- [7] 宮下一夫:「セル生産方式を導入しての同期化生産ラインの再構築」, IE レビュー, 235, pp.35-40(2004)
- [8] 長尾陽一, 太田英明, 宮崎利彦, 松永好弘, 太田徹:「仕損じ防止機能を組み込んだ組み立て作業指示システムの開発」, 第 49 回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, pp.49-50(2005)
- [9] 「コンベアラインの究極を目指す」, NIKKEI MONOZUKURI, 10, pp.77-79(2005)
- [10] 「判断・確認を機械で助け作業の抜けを防止」, NIKKEI MONOZUKURI, 7, pp.58-61(2004)
- [11] Gamma, E.(著), Helm, R., Johnson, V., E, 本位田真一(訳), 吉田和樹, 「オブジェクト指向における再利用のためのデザインパターン」, ソフトバンク, pp.175-346(1995)
- [12] 日本モダプツ協会:「モダプツ法実践マニュアル」, 技報堂出版, pp.16-36(1995)
- [13] Karhu, O., Correcting working postures in industry: "A practical method or analysis", Applied Ergonomics, 8, pp.199-201(1977)

## 付 録

### 作業の難易度の評価指標

作業の難易度を表す評価指標の値は、数値が大きいほど困難と仮定する。「作業姿勢」では当該作業で最も主要な動作中の姿勢を基にして、OWAS による AC 値を採用する。AC 値は 1 から 4 段階で与える [6]。「支持」は「ボルト締め」動作における、部材の位置を固定するための部材を手で支持するための負担を表し、

- 1: 支持なし, あるいは治具による支持
- 2: 指で支持
- 3: 手で支持
- 4: 腕で支持

とする。「ボルト密集」は複数のボルトが密集することによる作業の難易度を評価するものである。締め付け作業の対象となるボルト付近に存在するボルト数を表す。評価値はボルトを扱うための作業の難易度を意味する。