生産性向上に向けた建築作業者の動作手順評価に関する研究

ACTIVITY PROCESS ANALYZATION OF CONSTRUCTION WORKERS

石岡 宏晃*
Hiroaki ISHIOKA

The author demonstrated a new evaluation method of construction workers' activity sequence.

Firstly the author described the importance of transportation by the comparison between factory and construction site. Then the author classified the worker action into nine categories, which are 'Insert', 'Remove', 'Arts', 'Walk', 'Get', 'Carry', 'Place', 'Stay', and 'KAKUNIN', based on the change of condition (e.g. rotation, position, shape, and finishing). Secondly the author explained 'Action Array' which is based on the method of genetics. Thirdly the author explained the flow of calculation which reveals the 'Smoothness' of Action Array and 'Similarity' between pairs of Action Array. Finally the author verified the method by test calculation using sample data which was captured in the experimental construction of scaffoldings.

Keywords : *Work study, Construction worker, Sequence analysis, Productivity, Action array*

作業研究, 建築作業者, 手順分析, 生産性, 動作配列

1. 緒言

建築現場の運営においては、日々の作業が滞りなく進捗するよう計画の調整と作業の管理がおこなわれる。作業の進捗は、資材供給のタイミングやその作業日における配置計画など、その時々の作業環境に影響を受けている。建築作業者はその時々の作業環境に応じて柔軟に動作手順を調整しているため、より効果的な計画の調整すなわち“改善”を実施するためには、動作手順の実態を把握し改善の着眼点を得ることが重要である。

現在の現場実務においては、完成された施工数量を、その完成に要した投入人工〔人日〕で除算した“歩掛り”という数値を作業の進捗の評価基準としている。この歩掛りは、日々の投入人工をその根拠としており、すなわち主体作業・付帯作業・余裕・非作業、のすべてを含めた全作業^{注1)}に対する数値である。そのため、具体的に資材配置や動作手順を改善する際には、現場管理者あるいは施工実施者の主観を頼りにする以外に方法がないのが現状である。

著者は定量的な建築作業の把握に向け、既報¹⁾において建築作業者の動作データを記録する作業測定システムを構築するなど、新しい作業分析の手法構築に向けた取り組みを進めている。なお、本研究は建築作業者が1名あるいは2名程度で運搬可能な寸法および重量の部材を取り扱う作業を考察の対象としている。

本論では、動作手順の実態を把握し改善の着眼点を得ることを目的として建築作業者の動作手順評価手法を提案し、枠組足場施工実験において検証した。

本論の構成を示す。2章では作業分析に関係する既往研究を紹介し、これまでに実施された作業分析研究を振り返る。3章では建築作業における動作の特徴と運搬動作の重要性を述べ、本研究における動作分類を示す。4章では動作を記録する手法について、動作分類を配列として記録する手法を示す。5章では本研究における手順の評価値として位置付ける“円滑度”と“類似度”について、その計算方法を示す。6章では、施工実験のデータを用いた円滑度と類似度の計算結果と考察を示す。

2. 既往の研究

建築現場内における建築作業者の作業分析に関する研究は、田村ら²⁾による研究をはじめとして種々の取り組みが進められており、1990年にはそれまでに実施されてきた研究開発の内容を集め、日本建築学会から「作業能率測定指針³⁾」として作業測定の手法が網羅的に取りまとめられている。同指針において単位動作レベルで測定をおこなう手法は、時間研究として標準時間の設定を主眼に置いた手法が示されているが、手順の定量的な評価手法は示されていない。

* 清水建設株式会社 研究所 建修

Institute of Technology, SHIMIZU Corp., M.Arch.

単位動作をその手順と併せて取り扱う手法として、製造業において発展した標準時間設定法である MOST⁴⁾ (Maynard Operation Sequence Technique) がある。江口ら⁵⁾ は MaxiMOST^{注2)} 分析を建築作業に応用し、得られた標準時間を実績値と比較することで、工具使用のように規則的な作業では MOST 分析値は実績値とよく近似するが、小運搬や調整のような不規則な作業では実態との差異が生じやすいという課題を明らかにした。

工程分析の報告例として、三根ら⁶⁾ は内装・設備工事の纏まり工程を明らかにするとともに同工事内の4つの単位工程を明らかにし、建築工事に工程分析を適用するうえでの課題として、製造業に比べて作業者の動きの多い建築作業では、作業者の移動を旨く表現できない点を指摘している。

近年でも、志手ら⁷⁾ による高層集合住宅における揚重作業の調査事例や、蟹澤・権藤ら^{8) 9)} による工業化工法住宅の施工現場における作業測定と改善の事例など、現地に測定員を配置した測定は実施されているものの、その評価は測定員の主観、あるいは所要時間や実施回数による従来の評価手法を用いている。

上記の通り、作業測定結果を評価する上での手順や小運搬などの取り扱いは依然として明確になっていない。

3. 建築作業における動作

3.1 建築作業の特徴

日本建築学会は作業能率測定指針³⁾ において、『人間のおこなう動作は（中略）17種類の基本的な動作単位（Therblig：サブブリッグという）から構成される』としうえて、サブブリッグ記号が製造業主体で定義されているため『姿勢などの全身体的変化を伴う建築作業に対する動作分析にはなじみにくい面がある。』と指摘している。そのうえで、『状況に応じて、新たな動作単位を追加』することを推奨し、田村ら¹⁰⁾ の提案した追加記号を例示している。

田村ら¹⁰⁾ は『建築作業は工場作業に比較して、総合的、組立生産であり、しかも注文生産であることが多い。従って一定の進行的生産過程が同位置で一定の周期をもって繰り返されることがない。』と指摘したうえで、サブブリッグ記号と建築作業の要素の比較の中で“作業姿勢”と“身体移動”に関する不足を補うための追加記号を定義している。この指摘は、建築物という製品が現地一品生産かつヒトを包含する大寸法を持つという特徴が変化していないことから、今日の建築作業における動作においても継続して当てはまる。

3.2 建築作業における部材の状態変化

前述した田村らの指摘のとおり、建築作業は一定のプロセスを同位置で繰り返すことがない。しかしながら、同位置での実施という観点を除けば、規格化された標準品である部材を取り付ける繰り返し作業であるという点においては、建築物も電化製品等の製造業における生産物と同様である。建築作業者の動作研究をおこなう上では、動作が同位置で繰り返されないという特徴がデータ上でどのように顕出するのかを分析する必要がある。

既往の工程分析においては、JISの工程図記号（JIS_Z_8206）を用いて、作業を加工・運搬・停滞・検査の4つの大分類で捉えることとしている³⁾。これらは製品の状態変化に着目して定義されており、位置変化は全て運搬として単純化されている。その他、製品の形状変化あるいは性質変化を加工、変化がない状態を停滞、合否評

価の変化を検査とする分類である。

著者は繰り返し位置の変化が与える影響の把握に向けて、建築作業者の状態変化に着目した状態変化の図化を試みた。部材の状態変化を、位置変化・姿勢変化・形状変化と捉えて考察し、得られた結果を図1に示す。なお、本研究は、作業実施スペース全体を俯瞰できる程度に距離を設けた測定を想定しており、主として建築作業者と同等程度あるいは同等以上の寸法を持った部材を対象とする。微小部品（例えばネジや釘）の状態変化を対象とはしていない。

横軸には部材の時系列の姿勢変化を左から右へ示し、荷姿・保管姿勢・運搬姿勢・加工姿勢・完成姿勢の5種の姿勢をとると捉えた。縦軸には部材の時系列の位置変化を示し、現場外・貯蔵位置・加工位置・完成位置の4種の位置をとると捉えるとともに、それらの間には位置変化の軌跡である運搬経路が存在すると捉える。

形状変化は加工によってのみ発生する変化であり、図中には搬入時の形状の部材を灰色で示し、加工によって形状変化した部材を黒色で示した。図は左下から右上に向かった時系列を示す。

前述した位置・姿勢が定義されるタイミングについて考察する。

完成位置と完成姿勢は部材個別のパラメータであり、これは設計図（あるいは施工図）において規定すべき属性である。また加工姿勢・運搬姿勢・保管姿勢に関しては、その部材の形状・寸法によってパターン分け出来る属性と考える。さらに加工位置・貯蔵位置に関しては、現場内の配置計画や搬入計画によって規定される属性であるため、これら計画情報との連携が必要となると考えられる。

運搬経路は、運搬の終着点である完成位置と、運搬の始発点である貯蔵位置との2点が事前に決まっていますが、併行作業の影響を受けて時々刻々変化するという点に注意する必要がある。

さらに図中で着目すべきは、荷姿において複数の部材がまとまった状態にあるという点である。図中の中央の四角は、荷姿からまとまりを解かれた個々の部材に対して繰り返し実施される動作を示しており、運搬という工程を処理する実施主体の能力に応じてまとまりとなる数量が変化し、繰り返しプロセスの回数が増える点を考慮する必要があると言える。

以上の考察から、一定のプロセスを同位置で繰り返すことがないという建築作業の特徴は、位置変化プロセスと姿勢変化プロセスとを含んだ“運搬作業”を分析することにより定量的に明らかになると著者は捉えた。

Fig.1 The process of change of state

3.3 動作の分類

建築作業者の運搬動作の変化を捉えることを目的として、本研究における動作分類を検討する。前述した部材の状態変化の考察を踏まえて、既往の工程図記号とリンクさせたかたちで、建築作業者の状態変化を根拠とした建築作業者単体における動作分類を表1に示す9分類として定義した。

Table1 Category of Worker's Action					
classification in this paper 本論文における動作分類			classification in JIS Z8206 JIS Z8206 の分類		
No.	Category of Action 動作分類	Change of State 状態変化	Sym- bol 記号	Name of Sym- bol 記号の 名称	Ele- ment of Pro- cess 要素 工程
		(対象) 運搬対象物と 建築作業者 focus: workers and parts			
1	Insert 取付け	Parts to component 部品から完成品の構成物 へ変化させる動作	○	Ope- ration 加工	Ope- ration 加工
2	Remove 取外し	Component to parts 完成品の構成物から部品 へ変化させる動作			
3	Arts 加工	Shape 形状変化の動作			
4	Walk 歩行	位置変化の動作 (空手の移動)	○	Trans- port 運搬	Trans- port 運搬
5	Get 持上げ	姿勢変化の動作 (空手→部材保持)			
6	Carry 運搬	位置変化の動作 (部材保持の移動)			
7	Place 設置	姿勢変化の動作 (部材所持→空手)			
8	Stay 停滞	Nothing 位置・姿勢・形状 変化なし	Nothing (as planned) 変化なし 計画と整合	▽ Sto- rage 貯蔵	Stay 停滞
			Nothing (no planned) 変化なし 計画と不整合	D Delay 滞留	
9	KAKU NIN 確認	Variety check (Quantity, Quality, Location, Sequence, Proceed, Situation) 合否評価の変化 (数量・品質・位置 ・手順・進捗・状況)	State of Inspection (Quantity) 合否の変化 (数量)	□ Quan- tity In- spec- tion 数量 検査	In- spec- tion 検査
			State of Inspection (Quality) 合否の変化 (品質)	◇ Qual- ity In- spec- tion 品質 検査	

表の左には本論における9種の動作分類を示し、右には比較のため既往の分類であるJIS_Z8206における工程分類を示した。

加工は性質変化と形状変化とを分け、性質変化のうち部品から完成品の構成物とする動作を重視することが建築作業における手戻りの検出には必要と考え、取付けと取外しとして分割した。

運搬は、前述したとおり建築作業の動作では作業姿勢と身体移動を認識すべきであり、それらの考慮が可能な要素とするため、運搬対象物に向かう動作を歩行、運搬対象物を保持する動作を持上げ、運搬対象物を保持して目的位置に向かう動作を運搬、運搬対象物を

開放する動作を設置、として4つに分割した。

停滞に関しては、作業者に着目する場合には貯蔵という概念はそぐわないため上位要素である停滞のみとして定義した。

検査に関しては、数量や品質に関する検査以外にも、位置や手順の計画との差異の評価や、進捗や状況に応じた行動選択をおこなうための種々の評価の動作を統合して、広義に確認として定義する。

本分類においては、2章で言及した「小運搬」は“歩行・持上げ・運搬・設置”を繰り返しながらその都度微小な別動作を挟むデータとして把握され、「調整」は“確認”として把握されるか、あるいは微小な動作として“取付け”に含まれた形で把握されるものと想定される。

本分類は建築作業者の位置変化と部材所持の有無の変化、ならびに動作の終着地点における部材の完成に着目して手順を分類しており、各動作分類が付与された実際の作業者の動作は、それを構成する建築作業者の四肢の変化にバリエーションがある。実際の作業者の動作を測定データとする測定手法と、得られた測定データを解釈して動作分類を付与する分類手法とに依拠する。より正確で再現性の高い測定手法と分類手法との検討については今後の課題としたい。

4. 動作手順の表現

4.1 建築作業における動作手順の特徴

田村らが他種工業との差異に『動作には環境に応じた弾力性が求められる』と記述¹⁰⁾したとおり、建築現場という作業空間では複数の建築作業者により複数の作業が同時並行的に実施されているため、建築作業者は動作中に、実施環境に応じた調整を実施する。

すなわち、観測される動作手順は、並行作業に対する調整を含んだ情報であり、作業者自身が想定した手順とは異なる場合があるという点に注意すべきである。並行作業のない環境において観測された動作手順は、作業者自身が想定した動作手順とみなすことができる。

4.2 動作手順の観測

動作は建築作業者毎に観測される事象であるため、動作手順も個別に存在する。その観測においては時系列的な記録が望ましく、個々の動作が測定点間に埋没しにくい測定間隔での記録が求められる。

本研究においては、建築現場内で実施される動作を1秒に1回の測定により記録する。この測定間隔は、人間の一般的な歩行周期から設定^{注3)}するとともに、建築現場内の動作に関する予備調査として建築現場内の作業風景の観察を実施し、部材の持上げなどの動作が数秒の継続時間を持つという結果を得て決定した。

1秒間隔で記録される動作分類のイメージを図2に示す。

Fig.2 Action Array (1Hz)

現実世界において連続している動作を、等間隔に離散化して記録

する。図中の事例では、歩行（Walk）が 2 測定点（＝2 秒）、持上げ（Get）が 3 測定点（＝3 秒）、運搬（Carry）が 3 測定点（＝3 秒）で記録された例を示している。

本論では、この動作分類を離散的に記録したデータを、その頭文字をつなげた配列データとして取り扱うことを提案する。この配列データを本論では「動作配列（Action Array）」と呼称する。

図 2 の下段に示したとおり、この例においては「WWGGGCCCC」という動作配列が記録される。

動作配列の特徴は、時間に関する情報が配列における文字数として記録される点にあり、これは動作分類と当該動作の経過時間を 1 対のデータで記録する既往のメモーション手法とは異なる。

著者は動作手順の観測を動作配列データの記録として実施することの利点が、ICT による自動測定との相性の良さにあると考える。等間隔の離散データ取得はセンサ計測が基本とする記録方法であるため、将来的な測定法の発展を視野に入れ、動作配列化を起点とする分析を志向する。

4.3 動作配列の取り扱い

建築作業者の動作を連続して記録する動作配列は長大となることが想定されるため、そのデータ利用には工夫が必要となる。

著者は長大な文字列のデータの活用法を調査する中で、遺伝子研究分野における手法が、動作配列の活用に効果的であると考える。

当該分野は、2003 年に約 30 億文字のヒトの全 DNA 塩基配列が解明され、データベースの整備が進むとともに、その分析手法も発展しており、詳細な解説は参考文献 11) をご覧いただきたいが、長大な文字列のサンプルを収集し、その類似部分や非類似部分を特定し、サンプルが発現している特性との関係性を分析することで、長大な文字列中の価値ある部分とその機能を特定する研究分野である。

著者は当該分野で明らかにされた遺伝子情報の「転写・翻訳」のプロセス（セントラルドグマ）が、建築生産における実績データを標準化するプロセスと共通する概念であると考える。

すなわち、シンプルな 4 種の文字により記載された遺伝子（≒設計情報）が転写を繰り返す中で必要な部分のみに限定され、複雑な分子構造を持つタンパク質（≒観測される実態）に翻訳される、というプロセスを逆に読み、動作配列データをシンプルなデータに翻訳・転写することで、全体系としての作業を分析・評価する手法を検討していきたい。

4.4 動作手順の抽出

記録された動作配列は、テキストが動作分類の情報をもち、その文字数が時間に関する情報を持っている。手順を評価する上では、動作の先行後続関係に着目するために、時間情報を除去することで動作手順のみに圧縮する必要がある。時間情報の除去により、取付時間の異なる複数の部品を取り扱う作業においても、運搬作業の手順に着目した評価を行うことが可能となる。

はじめに動作配列の持つ時間情報について考察する。動作配列においては、連続して記録されているテキストの文字数を継続時間と捉えることは前述したが、動作分類の内、停滞（Stop）を時間情報と捉えるべき場合も存在する。それは、停滞が作業者自身が想定した動作手順には含まれておらず、実施環境との調整によって発生する時間の遅延であるためである。

すなわち、手順分析の目的が“作業者が想定した動作手順”の分

析にある場合には、停滞を時間の遅延と捉えて除去の対象とし、手順分析の目的が“測定された動作手順”の分析にある場合には、停滞を動作として捉えて除去の対象としない。

上記の通り、分析目的に応じた停滞の取り扱いに留意しながら、動作配列の圧縮は連続した文字を一文字に縮約することでおこなう。

なお、停滞を示す“S”の除去は文字の縮約の前に実施し、前の動作の継続として捉えて、一つ前の動作分類で上書くこととする。

4.5 繰り返し発生する動作手順

本手法においては、動作分類を 9 種類に単純化している。そのため、動作手順の調整がなく円滑に実施されている場合には、図 1 で示した位置変化と姿勢変化が滞ることなく実施されるため、作業者の動作は歩行（Walk）に始まり持上げ(Get)・運搬(Carry)して設置(Place)する、などの基本的な動作のユニットを繰り返すかたちで観測されることになる。この基本的な動作のユニットは、圧縮された動作配列上に定型文（上記の例では“WGCP”）として繰り返し確認されることになる。本研究においてはこの定型文を、「動作セット（Action Set）」と呼称する。

動作セットは、建築作業における一般的な状態変化の連続を想定することで、表 2 に示す 7 種の基本形に分類された。

Table2 Action Set			
No.	Name of Action Set 動作セット名	Action Set	Outline 概要
1	Serve 小運搬	WGCP	Walk-Get-Carry-Place 目的とする対象物にアプローチし、把持し、目的地に運搬し、設置する動作
2	Attach 取付け	WGCI	Walk-Get-Carry-Insert 目的とする対象物にアプローチし、把持し、当該対象物の完成位置に運搬し、取り付ける動作
3	Detach 取外し	WRCP	Walk-Remove-Carry-Place 目的とする完成物にアプローチし、取外し、目的地に運搬し、設置する動作
4	Check1 手元確認	WGKP	Walk-Get-KAKUNIN-Place 目的とする対象物にアプローチし、把持し、検査等を実施し、配置する動作
5	Check2 対面確認	WK	Walk-KAKUNIN 目的とする対象物にアプローチし、把持せずに、検査等を実施する動作
6	Craft1 手元加工	WGAP	Walk-Get-Arts-Place 目的とする対象物にアプローチし、把持し、加工し、設置する動作
7	Craft2 対面加工	WA	Walk-Arts 目的とする対象物にアプローチし、把持せずに、加工する動作

Table3 Partially missed forms of Action Set			
No.	Base form 基本形	Partially missed form1 (by short distance) 欠落型①（位置変化微小）	Partially missed form2 (by light weight) 欠落型②（対象物軽量）
1	WGCP	GCP, WGP, GP	WCP, WGC, WC
2	WGCI	GCI, WGI, GI	WCI
3	WRCP	RCP,WRP, RP	WRC
4	WGKP	GKP	WKP, WGK
5	WK	K	-
6	WGAP	GAP	WAP, WGA
7	WA	A	-

また、下記 2 つの条件においては表 3 に示す欠落型となることが

想定される。

(条件Ⅰ) 位置変化微小による歩行／運搬の未検出

(条件Ⅱ) 対象物軽量による持上げ／設置の未検出

5. 動作手順の評価方法

5.1 円滑度の計算方法

動作手順を評価する指標の一つとして“円滑度 (Smoothness)”を提案する。順調な流れで実施されているか否かの指標であり、評価対象となる作業があるいはその周囲の状況を知る上で重要な要素となると考える。本論における“円滑”とは手順がルーチン化して繰り返し実施されている状況を指すものである。

手順の円滑度は、圧縮された動作配列の長さに対する動作セットの占有率として式(1)の通り定義する。

$$R_{smoothness} = \frac{\sum l_{action\ set(i)}}{L_{compressed\ action\ array}} \dots (1)$$

動作配列が全て動作セットにより構成されている場合を最も円滑な手順とし、その場合、円滑度は 1.0 を示す。

円滑度の計算は観測された動作手順の評価を目的とするため、動作配列の圧縮においては、停滞“S”を除去しない。

圧縮された動作配列に対して、動作セットを長さの順 (4 文字→3 文字→2 文字→1 文字) に検索を掛け、重複のないように動作セットの合計文字数を計算し、圧縮された動作配列長で除算することで円滑度の数値を取得する。なお、得られた動作セットの種類と数を集計すれば、得られた円滑度の値とあわせて動作の振り返りに使用できる。円滑度の計算と同時に集計し記録することが望ましい。

5.2 類似度の計算方法

動作手順を評価する指標の一つとして“類似度 (Similarity)”を提案する。手順を改善していく上では、長時間の作業を記録した複数の長大な動作配列から、似通ったあるいは全く異なる作業手順となったタイミングを抽出し、改善の検討対象を絞り込むことが重要であるためである。

類似度には 2 つの使用方法があると考える。一つは圧縮した動作配列同士の全体の類似度を計算し、動作手順全体の傾向を把握する方法であり、もう一つは圧縮した動作配列を部分的な短い動作配列として走査しながら類似度を計算し、繰り返し手順の発生位置と傾向を把握する方法である。

類似度計算には、長さの異なる文字列同士の距離計算においても対応できる編集距離の計算手法であるレーベンシュタイン距離^{注4)}の計算手法を用いる。

2 つの圧縮された動作配列の類似度は、比較する文字列同士のレーベンシュタイン距離を、2 つの圧縮された動作配列の平均の長さで除算した値として式(2)の通り定義する。

$$R_{similarity} = \frac{L_{levenshtein}(Com.a.a.i, Com.a.a.j)}{(L_{com.a.a.i} + L_{com.a.a.j})/2} \dots (2)$$

平均長で除算するのは、複数の類似度を比較する際を考慮している。すなわち、レーベンシュタイン距離が 10 として計算された場

合に、それが平均長 100 の場合と 1000 の場合とでは類似の度合いが異なるため、平均長で除算することで類似度の大小という要素を含めることを目的としている。なお、二つの文字列が完全に一致しない場合には編集距離は両者の文字数の合計 (片方を全文字削除+他方を全文字入力) となるため、類似度は完全に不一致の際に最大値 2.0 を示す。類似度計算は、作業条件に対して作業者が想定した動作手順の差異を分析することに主眼を置くため、動作配列の圧縮においては、停滞“S”を除去することとする。

6. 枠組足場作業への適用

6.1 施工実験の概要

前述した手法を検証するため、円滑度と類似度の計算による動作手順の評価手法を枠組足場施工実験における作業に適用した。

試験体は、1200mm 幅・1700mm 高の 2 段 2 スパンの枠組足場試験体とした。外観ならびに施工ステップを図 3 に示す。実施場所は弊社実験施設内とし、平坦な床に測定の際のデータ確認を目的に 1m 幅のグリッドを表示した。実験スペースの外観を図 4 に示す。

被験者は 4 名とし、習熟による値の変動を抑えるため、当該実験環境において日常的に仮設足場工事を実施する業者に所属し、仮設足場にも実験場にも精通する作業者とした。実験実施にあたり収集した被験者データを表 4 に示す。被験者は 30 代から 50 代の男性であり、足場工事に従事して 5 年以上の経験を持つ熟練工である。

Fig.3 Test piece of the experimental construction

Fig.4 The field of the experimental construction

Table4 Data of research participants

ID	年齢 Age	勤続年 Duration [year]	申告身長 R.Height [cm]	着靴身長 M.Height [cm]	申告体重 R.Weight [kg]	着衣体重 M.Weight [kg]	握力 Grip Strength (L/R) [kg]			
							1st day		2nd day	
							Morning	Finish	Morning	Finish
A	50s	15	165	166.3	62	62.85	46/44	45/44	40/41	45/44
B	40s	15	182	183.1	57	58.00	34/34	31/32	30/36	32/34
C	50s	25	172	174.6	57	60.85	30/39	30/38	27/34	26/35
D	30s	5	165	167.1	60	62.35	43/46	50/53	43/49	50/52

実験は 2 日間で実施し、1 日目に 1 人作業による組立作業と解体作業を実施し、2 日目に 2 人作業による組立作業と解体作業を実施した。組立作業と解体作業の間には 5 分以上の小休止を挟みながら、1 人作業は各被験者に組立作業と解体作業を計 10 作業、2 人の組作業は各組計 12 作業を実施させ、各被験者に 22 作業、4 名で延べ 88 作業を実施させた。作業は 2 か所での同時実施としたため、1 人作

業の際には残り 2 名は待機の状態となり、2 人作業の繰り返しの際よりも長い休憩時間が与えられた。

1 人作業は、各作業とも A と B の同時実施、C と D の同時実施を繰り返すかたちでおこなった。2 人の組作業は、ペアを固定（A と B、C と D のペア）とし、2 段目に上がることを片方の被験者のみ（B と D）とするよう制約を設けた。2 段目に上がる被験者を段上作業担当者、上がらない被験者を段下作業担当者と呼称する。

実験時の温湿度は 25℃65%前後で推移した。熱中症などによる作業速度低下は無いと仮定し、データを取り扱う。

6.2 仮置きによる動作の省略

作業の進捗において特筆すべき事象として「仮置きによる動作の省略」が観察された。写真 1 は 1 段目の最初の建枠は不安定のため、事前に筋かいを足元に仮置きすることで、建枠を把持しながら筋かいを取付ける様子である。写真 2 は、2 段目の構築時には筋かい等の棒材をまとめて段上に仮置きすることで昇降のための歩行動作を省略する様子である。2 人作業の場合にもこれらの仮置きは積極的に実施されており、作業位置近傍に部材を準備することで後続の動作を省略する工夫が被験者に定着している様子が観察された。

Photo1 Storage situation 1

Photo2 Storage situation 2

6.3 データ化作業

データ化は、既報¹⁾において示したデータ化作業用システムを用いて、以下に示すプロセスにおいてデータ化作業をおこなった。

- ・施工実験で得られた俯瞰位置からの動画ならびにカメラパラメータファイルをシステムに読込む
- ・動画から 1 秒毎のフレーム画像が画面に表示される
- ・画像中の被験者位置(足元)と高さ情報をクリックで指定する(内部処理によって作業者の XYZ 座標を計算)
- ・ポップアップボタンから動作分類^{注5)}、部材分類等を選択する
- ・上記のデータと、選択した内容を追記した画像が保存される
- ・以上のプロセスを分析対象期間分の画像に実施することで、最終的に、いつ(時刻)・誰が(被験者 ID)・どこで(XYZ 座標)・何をしたか(動作分類・部材分類)、を 1 行とした時系列(1 秒間隔)のデータとして出力される。

得られたデータから、動作分類の頭文字を読み取ることで動作配列データを作成した。

6.4 作業終了時間と動作構成

組立作業ならびに解体作業の各回は、表 5 に示す作業終了時間により実施された。横軸に繰返し回数、縦軸を作業終了時間としたグラフを図 5 に示す。休憩をはさんだ前後での実施であった点が影響したと思われる作業時間の変動が複数見受けられる。

1 人作業(solo-Attach, solo-Detach)においてはおよそ 10 分程度であった作業が、2 人作業とすることで 5 分程度での完了となっている。作業時間の変化に関する考察は本論では割愛する。

本事例における全作業を合計した場合の動作構成を図 6 に示す。図は圧縮前の動作配列の文字数と、圧縮された動作配列の文字数とを集計した結果である。すなわち前者は動作時間構成を示し、後者は時間情報を除いた動作手順上の発生数構成を示す。円グラフの周囲は 9 動作の比率を示し、中央には加工系の 3 種(取付け I・取外し R・加工 A)と、運搬系の 4 種(歩行 W・持上げ G・運搬 C・設置 P)とを合わせた比率を示した。本事例においては、作業時間の過半が運搬系動作に使用されているとともに、動作発生数の 8 割は運搬系動作と停滞により占められている。作業時間という視点においても、時間情報を除いた動作手順という視点においても、運搬系動作と停滞との影響が大きいことが明らかになった。

Table5 Finish time [h:mm:ss]

	A	B	C	D
Solo Attach				
case1	0:16:27	0:15:08	0:16:47	0:15:37
case2	0:15:16	0:13:05	0:15:57	0:12:33
case3	0:16:18	0:16:17	0:16:09	0:11:10
case4	0:14:54	0:12:54	0:13:49	0:13:31
case5	0:14:29	0:12:41	0:12:23	0:10:06
Solo Detach				
case1	0:12:52	0:12:34	0:14:00	0:13:34
case2	0:13:46	0:12:10	0:12:27	0:12:02
case3	0:13:30	0:11:32	0:11:57	0:11:23
case4	0:11:24	0:11:20	0:11:20	0:11:08
case5	0:10:29	0:10:41	0:11:11	0:08:31
Pair Work	A & B Attach	C & D Attach	A & B Detach	C & D Detach
case1	0:06:41	0:07:08	0:05:04	0:05:44
case2	0:06:55	0:06:25	0:05:15	0:05:09
case3	0:07:42	0:06:50	0:05:21	0:04:56
case4	0:07:20	0:07:02	0:05:10	0:05:22
case5	0:07:18	0:06:18	0:05:12	0:05:07
case6	0:07:13	0:06:15	0:05:26	0:05:25

Fig. 5 Finish time

a) Action Array

b) Compressed Action Array

Fig. 6 Component ratio of action category (1)

6.5 円滑度による作業の評価

6.5.1 円滑度の計算

前章の計算方法に従って、各回の円滑度を求めた。結果を表 6 ならびに図 7 に示す。

1 人作業における円滑度は、組立作業と解体作業双方で、0.7~0.9 の間の値が得られた。組立作業の被験者 C と D には、前述した作業時間とは逆の動きのグラフが得られている。すなわち作業時間の短縮と円滑度の向上に相関がある事例が得られた。

2人作業における円滑度は、おおよそ0.6~0.85の間の値が得られた。被験者Aの3回目は最低値の0.5を示した。総じて1人作業に比べて低い円滑度となる傾向と言える。動作配列に戻り原因を観察したところ、停滞（Stop）の発生が各所で発見された。2人作業における手待ちの発生が、円滑度の低下として顕在化した。

本事例の円滑度の平均は約0.78であり、すなわち動作手順上の約12%の動作が動作セットに該当しなかった。それぞれの構成を図8に示す。動作セットに該当しない動作の57.2%は停滞Sであった。

停滞以外の動作は、停滞により分断された動作である場合が多い（例えばWSWや、ISIなど）。停滞に依らない例として、手戻りの発生がRCI（取外し・運搬・取付け）として検出された。

Table6 Smoothness

Solo Attach	A	B	C	D
case1	0.76	0.83	0.76	0.77
case2	0.83	0.89	0.80	0.85
case3	0.73	0.74	0.83	0.89
case4	0.72	0.87	0.85	0.81
case5	0.72	0.90	0.87	0.90
Solo Detach	A	B	C	D
case1	0.79	0.82	0.77	0.79
case2	0.76	0.84	0.86	0.84
case3	0.73	0.89	0.84	0.82
case4	0.76	0.84	0.89	0.79
case5	0.79	0.86	0.81	0.84
Pair Attach	A	B	C	D
case1	0.68	0.72	0.81	0.71
case2	0.64	0.81	0.79	0.69
case3	0.50	0.72	0.74	0.76
case4	0.64	0.71	0.69	0.70
case5	0.66	0.72	0.78	0.73
case6	0.66	0.70	0.72	0.75
Pair Detach	A	B	C	D
case1	0.80	0.86	0.70	0.71
case2	0.70	0.83	0.81	0.78
case3	0.72	0.85	0.74	0.82
case4	0.73	0.82	0.75	0.74
case5	0.65	0.73	0.72	0.76
case6	0.63	0.82	0.79	0.80

Fig. 7 Smoothness

a) Action Set b) Out of Action Set

Fig.8 Component ratio of action category (2)

円滑度の計算と共に、動作セットの集計を実施した。結果の一例として、被験者AとBの1人作業と2人作業それぞれにおいて3回目のデータを円グラフとした。結果を図9に示す。

図9上段の2つの円グラフは被験者Aと被験者Bの1人作業3回目の実施時における動作セットの構成比率である。被験者Aは被験者Bに比べて検出された動作セットの種類が多く、WGK, WK

など確認に関連する動作セットがある。なお、作業時間は被験者Aが16分18秒、被験者Bが16分17秒と差はなく、円滑度も被験者Aが0.73、被験者Bが0.74と差がない。

図9中段の2つの円グラフはAとBがペアとなって実施した2人の組作業の3回目の実施時における動作セットの構成比率である。段下での運搬を担当したAと段上での取付を担当したBとでは構成比率に大きく差が現れた。いずれも担当に応じた動作セットの比率が高くなっている。また、図9下段の円グラフは、中段の2つの円グラフを統合した構成比率を示している。これを見ると、2人作業の場合の構成比率と構成数とが、1人作業の場合の構成比率と構成数とほとんど変化していないことが読み取れる。

Fig.9 Component ratio of Action Set

6.5.2 円滑度に関する考察

本論で提案した円滑度の効果を考察する。図6と図8の動作構成に示したとおり、円滑度を低下させる主たる要因は動作手順上の停滞“S”の発生であった。そこで停滞の発生状況を、圧縮された動作配列上で観察すると、停滞が動作セットと動作セットの間で発生している場合と、動作セット内で動作セットを分割するように発生している場合とがあることが明らかとなった。前者は停滞を示す“S”1文字が円滑度を低下させるが、後者は分割された動作セットの文

字も円滑度を低下させることになり、すなわち動作手順中の停滞の発生タイミングの影響の多少を評価する効果があるといえる。これは単なる動作分類のみで評価するのではなく、動作セットを定義して円滑度を計算する本論の手法の効果である。

図 9 の事例においては、1 人作業における構成比率と構成数が保存されたまま 2 人作業における個々の作業者に分割されていることが確認された。施工実験特有の現象であるか否かは今後、事例を収集し一般化に向けて考察を進めたい。

6.6 類似度による作業の評価

6.6.1 類似度の計算

前章の計算方法に従って、各回の動作配列全体を用いて類似度を計算した。6.1 に示した通り、延べ 88 作業の 88 個の動作配列があり、総当たりで計算して 3916 個の類似度の値を得た。結果を図 10 に示す。

図は横軸と縦軸にそれぞれ動作配列に付与した ID を記載している。ID は「被験者 ID (a/b/c/d) + 組立作業か解体作業か (A/B) + 1 人作業か 2 人作業か (solo/pair) + 繰返し回数 (01~06)」として定義し付与した。マトリックス上の交差位置には、それぞれ該当する 2 つの動作配列同士の類似度を記載した。

図中の色は、図の右上の凡例に示した通り、白塗りに黒文字が手順が類似したペアを表し、黒塗りに白文字となるほど手順が類似しないペアを示している。図の左下から右上への対角線は同一の動作配列の類似度であり、類似度=0.00 すなわち完全一致している。

図中の階段状の凡例に示した通り、実験条件の特性の組み合わせから、下記の(1)~(10)のエリアに分類ができる。

- (1) 1 人作業組立と 1 人作業組立の比較
- (2) 1 人作業解体と 1 人作業解体の比較
- (3) 2 人作業組立と 2 人作業組立の比較
- (4) 2 人作業解体と 2 人作業解体の比較
- (5) 1 人作業組立と 1 人作業解体の比較
- (6) 1 人作業解体と 2 人作業組立の比較
- (7) 2 人作業組立と 2 人作業解体の比較
- (8) 1 人作業組立と 2 人作業組立の比較
- (9) 1 人作業解体と 2 人作業解体の比較
- (10) 1 人作業組立と 2 人作業解体の比較

図 10 のエリア(1)(2)とエリア(3)(4)の一部は同一作業の類似度であり 0.08~0.49 を示した。エリア(3)(4)の他方は 2 人作業における段上/段下で担当の違う動作配列の類似度であり 0.57~0.87 を示した。エリア(5)は 1 人作業における組立/解体の動作配列の類似度であり 0.84~1.01 を示した。エリア(6)(10)は人数と組立/解体とのどちらも異なる動作配列の類似度であり 0.81~1.45 を示した。エリア(7)は 2 人作業における組立/解体の動作配列の類似度であり、段下担当同士では 0.39~0.62、段上担当同士では 1.22~1.53、異なる担当同士では 0.84~1.21 を示した。エリア(8)(9)は組立解体を共通とした人数の異なる動作配列の類似度であり、0.53~0.91 を示した。

エリア(7)における段下担当同士の類似度は 0.50 以下の値も示しており同一作業の類似度と同等の結果が読み取れる。これは 2 人作業における段下の運搬担当の動作手順は、組立作業と解体作業とで

類似するという結果である。

繰返し手順の発生傾向に関して、エリア(7)の被験者 a の 2 人作業解体 4 回目(aB-pair04)と被験者 c の 2 人作業組立 4 回目(cA-pair04)とを比較した結果を図 11 に示す。比較は図 11 左側の拡大図にある通り、n から n+11 文字目^{注6)}とする部分配列を 1 文字目から順に抽出 (1~12 文字を配列 1, 2~13 文字を配列 2, …とする抽出) し、総当たりで類似度計算を実施している。図 11 右側の全体図は左から右に被験者 c の 2 人作業組立 4 回目における圧縮した動作配列を示し、上から下に被験者 a の 2 人作業解体 4 回目における圧縮した動作配列を示している。図の左上から右下に向かった時系列となっており、白色となるほど類似していることをあらわす。

完全一致となる部分配列 (この場合は WGCPWGCPWGCP を中心にその変形) が確認されている。繰り返し動作は双方の手順の中盤に発生していることが読み取れる。これは 2 人での組立作業の序盤は段下作業担当者も取付け動作を実施し、解体作業の終盤は段下作業も取外し動作を実施するため、双方ともに運搬動作を専任する中盤でのみ類似するという事象であり、事実と整合している。

Fig. 11 Results of partial similarity calculation (12text)

6.6.2 類似度に関する考察

本事例は同一企業に所属し十分に業務経験のある作業者に、同一環境で同一工種の作業を実施させた場合の結果であり、技能の違い・技能教育文化の違い・作業環境の違い・工種の違い、に言及できるものではないが、組立と解体の違い・1 人作業と 2 人作業による作業分担の違いに言及するものである。組立と解体の違いは、動作配列上には取付け“I”か取外し“R”のいずれが発生するかという違いであり、作業分担の違いは、取付け“I”と取外し“R”が段上担当者の動作配列に集中し、段下担当者の動作配列は運搬が大部分を占めることになるという違いとして表出する。

前項の結果から、本論で提案した類似度は、取付け“I”と取外し“R”の相違により高い値となり、運搬作業の実施が多い場合に低い値となる傾向があることが明らかとなった。

本研究における類似度計算は、文字列の長さに応じて増加する性質のある編集距離の影響を緩和する目的で、比較する配列長の平均で距離を除算することを特徴とする。類似度の最大値 1.53 が検出されたエリアが、動作配列長が異なる 1 人作業と 2 人作業との比較(エリア(6),(8),(9),(10))ではなく 2 人作業同士の比較 (エリア(7)) において検出されたことは、平均距離による除算が効果を発揮しているということであり、本論における定義の妥当性が示された。

Fig. 10 Results of similarity calculation

また、2 人作業における段下の運搬担当の動作手順が、組立と解体で類似するというエリア(7)における結果は、運搬を専任とすることにより、運搬担当者の手順を統一する効果を表している。さらに図 11 の通り、動作配列の部分ごとに類似度を確認した例は、複数の手順において類似点と相違点の発生タイミングを定量的に取得できた結果を示している。同図においては白色の領域が横長の形状をしており、すなわち横方向に配置した cA-Pair04 の動作配列のほうが同一手順を繰り返す安定した流れといえる。改善の着眼点は、図中の黒色となった部分にあると考えられる。同一手順の繰り返しが途切れた部分に着目し、他のデータを参照し原因を探る次の検討に移ることが可能となる。類似度による手順評価の効果が示された。

7. 結言

本論においては、はじめに建築作業における動作の捉え方を再確認し、運搬動作の重要性に言及しながら、本研究における動作分類を定義した。次に、動作手順の特徴について言及しながら、本研究における動作手順の記録手法として「動作配列」の考えを示した。さらに動作配列を基にした手順の評価値として、円滑度と類似度の計算手法を提案した。最後に、施工実験によるデータを用いて当該手法を検証した。本研究により、これまでは勘と経験という主観的評価に頼ってきた手順評価に新たな定量的な指標を提案した。今後は、当該手法を実際の建築現場の作業測定に適用することで、建築現場特有の手順の特性を定量的に明らかにしていく予定である。

参考文献

- 1) Hiroaki ISHIOKA: Interface System for Capturing Workers' 3D Paths in The Construction Processes, AIJ Journal of Technology and Design, Vol.21, No.49, pp.1269-1272, 2015.10 (in Japanese)
石岡宏晃: 建築作業における運搬経路分析のための 3 次元座標取得インタフェースシステムの開発, 日本建築学会技術報告集, Vol.21, No.49, pp.1269-1272, 2015.10
- 2) Yasushi TAMURA, et al.: Kenchikugensekounogourikanikansurukenyu dai-ippo dousakeizainogensokushian (Study on reationalization of construction site work vol.1 Private ideas of principles of motion economy), Proceedings of AIJ Conference in Kanto chapter, vol.33, A45-A48, 1963.01 (in Japanese)
田村恭, ほか 4 名: 建築現場施工の合理化に関する研究 第一報:動作経済の原則私案, 日本建築学会関東支部学術研究発表会梗概集, 第 33 号, A45-A48, 1963.01
- 3) Recommended Practice for Method Improvement on Construction Work, AIJ, 1990 (in Japanese)
作業能率測定指針, 日本建築学会, 1990
- 4) Kjell B. Zandin: MOST: Work measurement systems (second edition, revised and expanded) (trans. by Shigeyasu SAKAMOTO), JMAC, 1993.06 (in Japanese)
シェル・B・サンディン: MOST 画期的な標準時間の設定法, 坂本重泰訳, 日本能率協会, 1993.06
- 5) Eguchi, A., Masamura, Y., Dobashi, T., Yoshida, T.: Creation of Time Standard for Building Work Based on MOST, Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering (Transactions of AIJ), AIJ, No.490, pp.135-144, 1996.12 (in Japanese)
江口敦士, 正村芳久, 土橋稔美, 吉田知洋: MOST 法による建築工事の標準時間設定 建築生産における PTS 法の適用に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第 490 号, pp.135-144, 1996.12
- 6) Mine, N., Takada H., Kunugi T.: Process Analysis of Interior Finishing and Building Services Works A Study of Housing Project Interior Finishing Works Part 1, Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering (Transactions of AIJ), No.534, pp.233-240,

2000.08 (in Japanese)

三根直人, 高田博尾, 梶隆: 内装・設備工事の工程分析 集合住宅における内装工事に関する研究 その 1, 日本建築学会計画系論文集, 第 534 号, pp.233-240, 2000.08

- 7) Shide, K., Kanisawa, H., Ishida, S., Yuasa Y., Someya, S.: Research on Productivity of Interior Finish Work in High-rise Buildings Part 9 Outline of Search Procedure in Supply Chain of Interior Finish Work, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, F-1, pp.1289-1290, 2011.08 (in Japanese)
志手一哉, 蟹澤宏剛, 石田祥子, 湯浅洋一, 染谷俊介: 高層集合住宅における内装仕上工事の生産性に関する研究 (その 9) 場内物流に関する考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集, F-1, pp.1289-1290, 2011.08
- 8) Takatsuji, K., Kanisawa H., Watanabe, C., Gondo, T., Tsunashima, A., Matsumura, S.: Productivity Improvement of Industrialized Detached Houses Part 1 Quantitative Analysis Based on the Man-hour Investigation, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, F-1, pp.147-148, 2015.09 (in Japanese)
高辻慶太, 蟹澤宏剛, 渡辺千晴, 榎藤智之, 網島淳, 松村秀一, 工業化工法住宅の生産性向上に関する研究 その 1 工数調査に基づく定量的分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, F-1, pp.147-148, 2015.09
- 9) Watanabe, C., Gondo, T., Takatsuji, K., Kanisawa H., Tsunashima, A., Matsumura, S.: Productivity Improvement of Industrialized Detached Houses Part 2 Detecting Problems and Improving Construction Method, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, F-1, pp.149-150, 2015.09 (in Japanese)
渡辺千晴, 榎藤智之, 高辻慶太, 蟹澤宏剛, 網島淳, 松村秀一, 工業化工法住宅の生産性向上に関する研究 その 2 作業における問題点・改良提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集, F-1, pp.149-150, 2015.09
- 10) Yasushi TAMURA, et al., Kenchikugensekounogourikanikansuru kenkyu dai-niho saaburikkukigounoteian (Study on reationalization of construction site work vol.2 Proposition of thetblig), Proceedings of AIJ Conference in Kanto chapter, vol.33, A49-A52, 1963-01 (in Japanese)
田村恭, 他 4 名, 建築現場施工の合理化に関する研究 第二報: サブリング記号の提案, 日本建築学会関東支部研究発表会梗概集, 第 33 号, A49-A52, 1963-01
- 11) Ikegami, M. and Ebihara, M.: Molecular Biology, Kodansya Ltd., 2013.11 (in Japanese)
池上正人・海老原充: 分子生物学 (第 2 版) 新バイオテクノロジーテキストシリーズ, 講談社, 2013.11

注

- 注 1) 全作業を主体作業・付帯作業・余裕・非作業と分ける分類は「作業能率測定指針 (日本建築学会 1990)」における定義による。
- 注 2) MOST 手法は、基本となる BasicMOST のほか、微小な時間の作業を取扱う MiniMOST と、比較的長い作業を取り扱う MaxiMOST とから成る。
- 注 3) 建築設計資料集成 - 人間 (日本建築学会, 2003.1) の p.58 欄外, において、右足接地から次の右足接地までの時間を指す歩行周期について『歩行周期は正常人ではほぼ 1Hz である』としている。
- 注 4) レーベンシュタイン距離: 一方の文字列を他方の文字列に書きなおすために必要な「追記・削除・置換」の操作の回数により定義する。異なる長さの文字にも対応できる。なお本研究においては「置換=削除+追記」ととらえ、追記と削除にコスト 1, 置換にコスト 2 を付与する。
例①: ABCD と ACDB →2 (B 削除・B 追加)
例②: ABCD と BCDA →2 (A 削除・A 追加)
- 注 5) 動作分類においては下記の客観的判断ルールを設けた。
「前の画像から比較して建築作業者の足の位置が変化している場合を移動と定義し、移動中かつ保持部材有りの場合は“運搬”を付与。移動中かつ保持部材無しの場合は“歩行”を付与。移動していない場合に、空手から部材を保持する一連の動作には“持上げ”を付与。逆の場合は“設置”を付与。部材を完成位置に取り付ける動作である場合には“取付け”を付与。部材を完成位置から取り外す動作である場合には“取外し”を付与。何らかの動作が確認できない場合には“停滞”を付与。前述のいずれの条件にも当てはまらない動作には“確認”を付与。」
- 注 6) 複数の部分配列長による出力結果を比較し、動作セット 3 つ分の 12 文字が、今回例示した比較対象に対して傾向をよく表していると判断した。

ACTIVITY PROCESS ANALYZATION OF CONSTRUCTION WORKERS

Hiroaki ISHIOKA *

* Institute of Technology, SHIMIZU Corp., M.Arch.

The author demonstrated a new evaluation method of construction workers' activity sequence.

Chapter 2 describes the previous works in the field of work study in Japan. Analyzes of activities at construction sites in Japan originally started in 1960s and these methods were compiled into "Recommended Practice for Method Improvement on Construction Work" (AIJ, 1990).

Chapter 3 describes the actions at construction sites. The sequence of construction can be regarded as the sum of the sequences of each parts transportation. So the author classified the worker action to nine categories, these are 'Insert', 'Remove', 'Arts', 'Walk', 'Get', 'Carry', 'Place', 'Stay', and 'KAKUNIN', based on the change of condition (e.g. rotation, position, shape, and finishing).

Chapter 4 describes the method to record action categories. The author describes new datasets named 'Action Array'. It is an array of capital letters of action categories which was captured in construction activity on 1Hz. The author focused on methods in genetics (e.g. transcription and translation in the Central dogma of molecular biology) for solving the problem on translation from capturing data to sequence information.

Chapter 5 explains the flow of calculation of 'Smoothness' of Action Array and 'Similarity' between pairs of Action Array. The proposed method needs compression of action array, which is a step for shorten consecutive letters. Smoothness is a ratio of sum length of 'Action Set' to the length of Compressed Action Array. Action Set means some words which are repeatedly shown in compressed action array. The author classified 7 standard types and 22 derivative types. Similarity is a ratio of the Levenshtein distance to the average length of pair of compressed action array.

$$R_{smoothness} = \frac{\sum l_{action\ set(i)}}{l_{compressed\ action\ array}} \quad \text{-----}(1)$$

$$R_{similarity} = \frac{L_{levenshtein}(Com.a.a.i, Com.a.a.j)}{(L_{com.a.a.i} + L_{com.a.a.j})/2} \quad \text{-----}(2)$$

Chapter 6 presents the verification of the proposed method by test calculation using sample data which was captured in the experimental construction of scaffoldings. The author got 88 action arrays from the experimental construction and calculated 88 smoothness score and 3916 similarity score. Some results of analysis were shown in chapter 6.

(2017 年 6 月 9 日原稿受理, 2017 年 9 月 14 日採用決定)