

作業過程をセンシングするための作用素に基づく アノテーション実験

笹間 亮平[†] 服部 正嗣^{††} 柳沢 豊^{††} 岡留 剛^{††}

[†] 京都大学大学院 情報学研究科

^{††} 日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所

E-mail: [†]sasama@sys.i.kyoto-u.ac.jp, ^{††}{takashi_hattori, yutaka}@cslab.kecl.ntt.co.jp,
houmi@idea.brl.ntt.co.jp

あらまし Therblig 分析法は、作業者の動作を基本動作の集合として分析し、無駄な基本動作を省くことで作業の効率化を狙う。従来この方法による分析は人手により行われており、分析者の負担が重く自動化が望まれている。この自動化の方法としては、作業の過程を機械的にセンシングして文節化する方法がある。しかし Therblig 分析法で用意されている基本動作の語彙セットでは、センシングについて考慮されておらず、センサ情報から基本動作への変換ができなかった。本報では、作業過程を機械的に分解して分析するための、「作用素」と呼ぶ新しい語彙セットを提案する。そしてこの作用素を用いて、人手による作業過程のアノテーション実験を通して、作用素の有効性を検証した。

キーワード コンテキストウェア、センシング、アノテーション、作業分析

An Annotation Experiment Based on Elemental Physical Effects for Sensing Work Process

Ryohei SASAMA[†], Takashi HATTORI^{††}, Yutaka YANAGISAWA^{††}, and
Takeshi OKADOME^{††}

[†] Graduate School of Informatics, Kyoto University

^{††} NTT Communication Science Laboratories, NTT Corporation

E-mail: [†]sasama@sys.i.kyoto-u.ac.jp, ^{††}{takashi_hattori, yutaka}@cslab.kecl.ntt.co.jp,
houmi@idea.brl.ntt.co.jp

Abstract Therblig analysis is one of the most popular methods to analyze human movement for improvement of operations. In this analysis, an observer manually has to denote an operating process as a series of elemental 17 actions, which are called 'therbligs'. To reduce the cost of this notation, we introduce various types of sensor devices for automatic notation of human movement. But the existing set of therbligs is not suitable for this notation because several therbligs are ambiguous and redundancy. Therefore, we propose new word set for automatic notation using sensor devices. In this paper, we also describe the results of an experiment to evaluate our proposed word set.

Key words context-aware, sensing, annotation, work analysis

1. はじめに

製品の組み立てや整理といった作業の、冗長性を除去することを目的とする研究に、動作分析 [1] と呼ばれる研究がある。この代表的な動作分析の手法の一つに Therblig 分析法 [2] がある。この分析法では、2つのフェーズを通して作業過程の効率化を行う。まず第1フェーズでは、作業者の個々の動作を17の基本動作 (Therblig) の組み

合わせで表現する。これを「作業過程の Therblig への分解」と呼ぶ。第2フェーズでは、分解により得られた Therblig の列から作業の効率化を妨げている動作を発見して、これを除去する。この結果、作業効率を改善することができる。

従来、Therblig 分析法の第1フェーズにおいて、作業過程の Therblig への分解は、分析者が手作業で行っていた。分析者は、作業過程を撮影したビデオ映像等を見な

がら、作業者の目（頭部）・右手・左手といった複数の体部位に対してそれぞれ分解の作業を行うため、大きな労力を要する。さらに、作業過程の解釈に関する一意性についての問題があった。例えば、一見何の作業もしていないように見える作業者の状態に、「考える」か「休む」のどちらの Therblig を割り当てるかは、分析者の判断によって異なる可能性がある。これらの問題を回避するためには、作業過程の分解作業を機械的にかつ一意に行う枠組みを作ることが必要である。

分析作業の自動化の試みとしては、高木らによる手法 [3] がある。この手法では、作業者の身体に加速度センサ等を取り付けて体部位の動きを測定することで、「伸ばす」や「歩く」といった基本動作を検出する。しかしこの手法では、Therblig にある「組み合わせる」等いくつかの動作を検出することができず、十分に分析が行えなかった。この理由は、作業者の身体に取り付けたセンサ情報のみから「組み合わせる」の検出を行っているためだと考えられる。そのため、作業者のみでなく作業に関連する物がどのような状態であるかを知り、総合的にどの Therblig へ作業を分解するかを判断する必要がある。

そこで我々は、作業者の動作のセンシングだけでなく、作業に関連する物（道具、材料）の状態もセンシングする方法を用いる。こうすることで、作業者だけの状態からはセンシングができなかった動作についても、物に取り付けたセンサの情報を使うことで補完し、推論することが可能になる。ただし、従来 Therblig は作業者の動作を表す単語群であり、道具や材料の状態を表す単語を含んでいない。このため、作業者だけでなく作業に関連する物も表現できる拡張された語彙セットである「作用素」を提案する。

本研究では、上記の作業者と作業に関連する物の状態を表す基本単語群として、Therblig 及び物の機能表現に用いられる土屋らの機能定義用語 [4] を基にした「作用素」を新たに選定した。そして選定した作用素が、作業の作用素へ一意で隙間ない分解が可能か調べるために、作用素を用いて作業にアノテーションする予備実験を行った。このアノテーション実験は、4 種類の家具を組み立てるタスクを作業者と作業に関連する物に対して行った。そして、全てのタスクに対して、作用素を用いることで作業の作用素への一意で隙間ないアノテーション可能であることを検証した。その結果、全てのタスクに対して過不足なく一意にアノテーションを行うことができることを確認した。

2. 作用素の選定

前節で述べたように本研究では、作業者・作業に関連する物の双方の状態の包括的な基本単語群（要素）を定めておく必要がある。作業者の状態の基本要素としては 17 の Therblig がある。一方、道具や材料の状態の基本要素としては、土屋らの 50 の機能定義用語がある [4]。そこで本研究では、Therblig と機能定義用語を基に作業者・作業に関連する物の状態を示す基本単語群を定義するアプローチを取る。我々は、この基本単語群に含まれる単語のことを「作用素」と呼ぶ。そして作業過程を作用素へ自動的に分解することを目標とする。

分解を自動化する上で重要なことは、分解の結果が一意になることである。いいかえれば、作用素への分解を一意に行える「一意性」が保証される必要がある。しかし、単純に従来の 17 の Therblig に 50 の機能定義用語

表 1 17 の Therblig

空手移動	つかむ	運ぶ	組み合わせる	使う
分解する	手放す	位置決め	調べる	さがす
選ぶ	考える	前置き	保持	休む
避け得る遅れ	避け得ない遅れ			

表 2 50 の機能定義用語

発生させる	取り出す	得る	交換する
変える	移動させる	増加させる	減少させる
上げる	下げる	増巾させる	供給する
伝える	作動させる	回転させる	直線運動させる
通す	導く	流す	与える
押す	形成する	接続する	切り替える
集める	受ける	たくわえる	分ける
固定する	取りつける	保持する	支える
押える	締め付ける	耐える	防ぐ
除去する	遮断する	絶縁する	決める
調整する	制限する	保護する	維持する
補強する	円滑にする	美しくする	ゆるくする
便利にする	表示する		

を加えた 67 の単語群を用いると、分解結果が一意にならない。これは、67 の単語の中に、意味的に重複するものが多数含まれてからである。分解の一意性を保証するためには、まず、この冗長性を取り除く必要がある。意味の重複は次の (A) から (E) のいずれかの原因により発生している。

- (A) 同意の単語が他に含まれる
- (B) 他の単語の組み合わせで表現できる
- (C) 解釈が一意に定めにくく恣意性を持つ
- (D) 他の単語との間に意味的に包含関係を持つ
- (E) 状態を表す単語と状態の変化を表す単語が区別なく含まれる

こうした冗長性を排除し、作用素が一意性を持つようにするため (A) から (E) にそれぞれ以下のような操作を施す。

17 の Therblig と 50 の機能定義用語を足した 67 の基本要素に対し、まず、(A) に属する単語を統合した。次に (B), (C) に属する単語は除去した。この操作で選出した単語群に対し、(D) に関係する単語については、包含関係について整理する。(E) に関係する単語は、状態を表すものと状態の変化を表すものに明確に分類する。このようにして作用素の選定を行った。

作用素の選定の基となる 17 の Therblig を表 1 に、50 の機能定義用語を表 2 に示す。以下、実際行った作用素の (A) から (E) に対する選定例をそれぞれいくつか挙げる。

(A) 同意のものを統合

- 「Therblig: 運ぶ」と「機能定義用語: 移動させる」は同意である。よって、統合して「移動させる」とする。
- 「Therblig: 分解する」と「機能定義用語: 分ける」も同意であるので統合し「分解する」とする。
- 「Therblig: 保持」と「機能定義用語: 保持する」も同意であるので統合し「保持する」とする。

(B) 他の単語の組み合わせで表現できる単語を除去

- 「機能定義用語：発生する」と「機能定義用語：得る」を組み合わせで「機能定義用語：交換する」を表すことができる。例えば、モータが電気をトルクに交換する場合は、モータが電気を得て、トルクを発生する。よって、「機能定義用語：交換する」は除去できる。

- 「機能定義用語：上げる」と「機能定義用語：下げる」を組み合わせることで「機能定義用語：維持する」を表すことができる。例えば温度の上げ下げで温度を維持することができる。よって、「機能定義用語：維持する」は除去できる。

- 「機能定義用語：発生する」はトルク・音・信号等の発生を意味する。この内、トルクの発生は「機能定義用語：押す」と「機能定義用語：回転させる」を組み合わせることで表すことができる。つまりトルクは回転させながら押すことで発生する。よって「発生する」は、トルクを除去し、音・信号等の発生を意味するとする。

(C) 分析者の恣意が入る単語を除く

- 分析者が「Therblig：さがす」又は「Therblig：考える」を割り当てる際、どちらを割り当てるかが分析者によって異なることがある。例えば作業者が辺りを見回している状態を分析者が見たとき、作業者が何かを「探している」のか「考えている」かを判別することは難しい。よって「Therblig：さがす」と「Therblig：考える」は除去した。

- 「機能定義用語：美しくする」も同様に分析者の解釈が一意に定まらない。よって除去した。

(D) 包含関係について整理

- 「機能定義用語：固定する」と「Therblig：組み合わせる」は包含関係がある。「Therblig：組み合わせる」の特殊な場合（組み合わせた後に分離できないように組み合わせる）が「機能定義用語：固定する」であり、鉄の溶接などがこれに当たる。

- 「機能定義用語：遮断する」と「機能定義用語：制限する」の間にも包含関係がある。「機能定義用語：制限する」の特殊な場合（ある空間における他の物の移動を制限する）が「機能定義用語：遮断する」に当たる。

(E) 状態を表すものと状態の変化を表すものに分類

- 「Therblig：手放す」は瞬間的に起こる。つまり、状態の変化を表しているといえる。

- 「Therblig：つかむ」も瞬間的に起こる。つまり、これも状態の変化を表しているといえる。

- 「機能定義用語：押す」は持続的な状態を表している。

図1に選定された作用素とその作用素の種類及び単語の説明を示す。なお包含関係は、箇条書きの中の「-印」が「●印」に対して下位である。包括関係と種類については、作用素を割り当てる際の次の2つのルールを作ることで、一意の割り当てができるようにする。まず、包含関係について述べる。作業・作業に関する物の状態が包含関係を持つ作用素のいずれも割り当てても可能なときには、より下位の作用素を割り当てるようにす

る。例えば、作業者が「組み合わせる」と「接続する」のどちらにも当てはまる動作をしたときは、「組み合わせる」の特殊な場合（一時的に組み合わせる）である「接続する」を割り当てる。一方、種類については、作業・作業に関する物の状態の割り当てには、状態の作用素の前と後には状態の変化の作用素を割り当てるようにする。例えば、「ページをめくる」という作業過程は図2のようになる。ただし、「動いている」、「休んでいる」、「発生している」、「吸収している」は、状態の作用素と状態の変化の作用素を交互に割り当てるルールの例外である。これらの作用素の種類は状態であるが、これらは連続で割り当ててことを認める。これは、例えば「動いている」、「休んでいる」の間に割り当て得る状態の変化の基本要素が、作用素の中に存在しないためである。一意性の他に、作用素に求められる要件として、あらゆる作業過程が作用素の組み合わせで必ず表現できる十分性が保証されなければ、作業過程を作用素に分解できない。Therbligが作業者の状態を表す十分性を持つことは、経験的に知られている。また機能定義用語も道具や材料の状態を表す十分性を持つことが経験的に知られている。作用素はTherbligと機能定義用語を基にしているが、作用素の選定の際にTherbligと機能定義用語の内の一部を除去したため十分性が失われている可能性がある。そのため次節で作用素の一意性と十分性の両方について検証する。

3. 作業過程のアノテーション

本節では、前節で選定した作用素を用いて作業にアノテーションを行うことで、作用素の一意性と十分性の検証する。予備実験として、分析者が作業を撮影した映像を見ながら、手作業で作業にアノテーションする実験を行う。

アノテーションの対象とする作業は、家具を組み立てる作業である。この作業過程には、様々な種類の作業・作業に関連する物の状態が存在する。このため、家具を組み立てる作業は、作用素の一意性・十分性を検証するタスクとして適している。

作業過程は、パイプ・ジョイント・板の部品を組み合わせる椅子・机・棚・荷押し車を組み立てるという4種類を選んだ。これらの作業過程を撮影した動画データに、作用素を用いてアノテーションを試みた。作業のアノテーションには、アノテーションツール Anvil [5] を用いた。それぞれの作業過程についてのアノテーション実験では、作用素を用いて全ての作業者と作業に関連する物に対してアノテーションを行い、作用素の一意性を検証する。

アノテーションツール Anvil は、作業が撮影された映像を参照しながら、GUIを通してアノテーションを行うことができる。Anvilのインターフェイスの概観を図3に示す。AnvilのGUIは、メインウィンドウ、ビデオウィンドウ、エレメントウィンドウ、アノテーションウィンドウの4つのウィンドウで構成される。ビデオウィンドウに表示されるビデオ映像は、メインウィンドウ下部のビデオコントロールで再生・停止・早送り・巻き戻し等の操作が可能である。アノテーションウィンドウの上部には現在のビデオ再生位置（時間）があり、左部には作業・作業に関する物（登場物）がある。これを用いて、作業または作業に関する物の、ある時間帯に対して予め定めた作用素を割り当てる作業を繰り返すことでアノテーションを行う。エレメントウィンドウには、アノテーショ

- ・状態:動いている 自身が位置を変化している
- ・状態:休んでいる 自身が位置を変化してなく、何にも作用していない
- ・状態:移動させている 対象の位置を変化させている
 - －状態:変形させている 対象の形を変化させている
 - －状態:回転させている 対象を回している
- ・状態:発生している 音・信号などを発生している
- ・状態:吸収している 音・信号などを吸収している
- ・状態:接触している 対象に接している
 - －状態:押している 対象に圧力を掛けている
 - －状態:トルクを与えている 対象にトルクを与えている
 - －状態:支えている 対象を支えている
- ・状態:制限している 対象を限定、制約している
 - －状態:遮断している 対象の移動を制限している
 - －状態:導いている 対象をある空間に導いている
 - －状態:保護している 対象を守っている
- ・状態の変化:組み合わせ 複数の対象を組み合わせる
 - －状態の変化:固定する 複数の対象を組み合わせた後に分離ができないように組み合わせる
 - －状態の変化:接続する 複数の対象を組み合わせた後に分離ができるように組み合わせる
- ・状態の変化:分ける 複数の対象を分ける
- ・状態の変化:手放す 対象を手放す
- ・状態の変化:接触する 対象に接する
 - －状態の変化:押す 対象に圧力を掛ける
 - －状態の変化:つかむ 対象をつかむ

図 1 選定された作用素

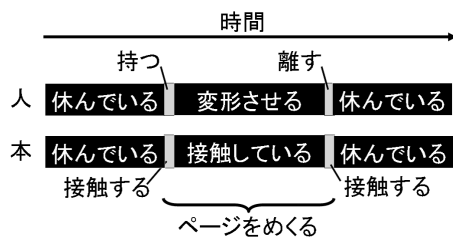


図 2 「ページをめくる」を作用素で表現した例



図 3 Anvil の概観

ンウィンドウで作用素を割り当てる際に、作用素の詳細が表示される。

3.1 作業過程（タスク）

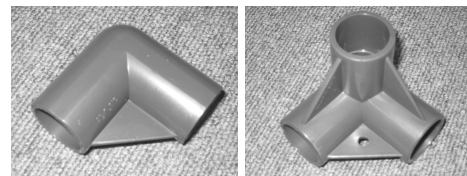
本実験での家具を組み立てるタスクに使用する部品には、パイプ、ジョイント、板がある。

- ・パイプ：長さ 30cm のパイプ（短いパイプ）4 本、長さ 45cm のパイプ（普通の長さのパイプ）20 本、長さ 120cm のパイプ（長いパイプ）4 本
- ・ジョイント：二足ジョイント 2 個、三足ジョイント 8 個、四足ジョイント 8 個、キャスター付きジョイント 4 個
- ・板 3 枚

ここで各ジョイントの形状例を図 4 に示す。

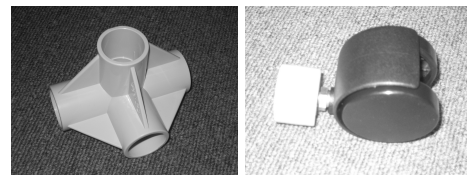
3.2 アノテーションツール Anvil

以上の部品を使用し、4 種類の家具を組み立てる作業過程に対してアノテーションを行う。作業者は各作業過程をそれぞれ 2、3 分程度で行う。図 5 に各タスクで組み立てられる家具の完成図を示す。各タスクで使用する部



(a) 二足ジョイント

(b) 三足ジョイント



(c) 四足ジョイント

(d) キャスター付きジョイント

図 4 ジョイントの種類

品の種類と数を以下に示す。

- ・タスク A：普通の長さのパイプ 11 本、二足ジョイント 2 個、三足ジョイント 2 個、四足ジョイント 2 個、板 1 枚で椅子を組み立てる。
- ・タスク B：普通の長さのパイプ 8 本、長いパイプ 4 本、三足ジョイント 8 個、板 1 枚で机を組み立てる。
- ・タスク C：普通の長さのパイプ 16 本、三足ジョイント 8 個、四足ジョイント 4 個、板 3 枚で棚を組み立てる。
- ・タスク D：短いパイプ 2 本、普通の長さのパイプ 10 本、二足ジョイント 2 個、三足ジョイント 2 個、四足ジョイント 4 個、キャスター付きジョイント 4 個、板 1 枚で荷押し車を組み立てる。

3.3 実験環境

アノテーションの際に、第 3.1 節で示した作業者と作業に関する各部品を識別する必要がある。しかし、部品の中でも特にパイプは同形状のものの数が多く、映像の中で見分けることが困難である。そこでパイプの識別のため、白・緑・黒・青のパイプを用意し、黄・赤・黒・白のカラーテープを巻くことで 28 本（短いパイプ 4 本、普通のパイプ 20 本、長いパイプ 4 本）を区別した。

作業過程の記録については、図 6 のように 2 台のカメ

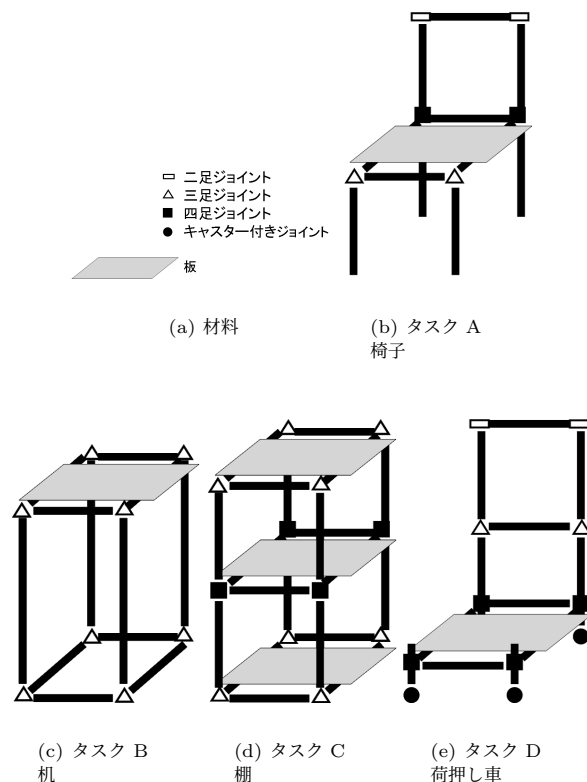


図 5 家具の完成図

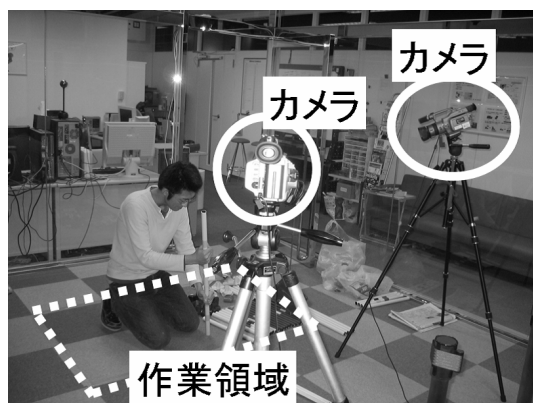


図 6 実験の様子

ラを配置して撮影した。タスク開始時に、予め部品は作業領域内に置いておき、作業者は作業領域内で作業を行うようにすることで、作業者の手元が常に映るようした。なお、組み立てに必要な部品だけがあらかじめ用意されているのではなく、タスク開始時には一定数の部品を置いておくようにした。

3.4 実験のゴール

前述したように、本実験の目的は選定した作用素の一意性と十分性を検証である。本実験におけるアノテーションは、作業者(身体, 右手, 左手)に加え、作業に関する物(パイプ 28 本, ジョイント 22 個, 板 3 枚)の計 56 に対して行った。全タスクに対するアノテーションを行う実験を通して、作用素を用いて計 56 の作業・作業に関する物に対して一意にアノテーションを行うことが可能か、また隙間なくアノテーションを行うことが可能かを

確かめる。これらが確かめられれば、家具を組み立てるという作業に対して、作用素が一意性・十分性を持つといえる。

前節の作用素の選定において、作用素間の包含関係を整理したが、完全に包含関係を見つけることができていない可能性がある。そのため、全てのタスクを通して常に包含関係が成り立つような作用素があるかについても調べる。もしこのような作用素が存在すれば、作用素をさらに整理しなおす必要がある。包含関係を見つけやすくするため、作用素を分類しながらアノテーションを行う。例えば作業者が右手で物を持ちながら右手を移動させたら、右手に対して「支えている」と「移動させる」の両方の作用素を割り当てる。この時、まず右手の分類 I に「支えている」を割り当て、次に右手の分類 II に「移動させる」を割り当てる。

3.5 実験結果

実験の結果、全タスクに対するアノテーション実験を通して、作用素の一意性と十分性を確認できた。提案する作用素を用いた場合には、一意にアノテーションが可能であったが、その一方で Therblig を用いた場合には一意にアノテーションができなかった例を図 7 に示す。椅子を組み立てるタスクの部品を選ぶ作業において、Therblig で一意にアノテーションできず、2 種類の解釈が存在した。この 2 種類に解釈したアノテーション結果を図 7(a) に示す。図 7(a) 中の作業者の目(頭部)に対するアノテーションで点線で囲んだ部分は、作業者の目が辺りを見回している場面である。Therblig の場合、この作業者の頭部の動作に対して「休む」、「さがす」、「考える」についてアノテーションが一意に行えなかった。また、作業者の左手に対するアノテーションで点線で囲んだ部分は、作業者が左手を動かし部品を探っている場面であるが、この作業者の左手の動作に対しても同様に「さがす」、「空手移動」が一意にアノテーションできなかった。一方、図 7(b) は作用素を用いてアノテーションを行った結果である。Therblig を用いた場合にはできなかった、点線で囲んだ部分で囲んだ時間帯における作業者の頭部と右手に対する一意なアノテーションが、作用素を用いた場合は可能であった。

十分性に関しては、作用素を用いることで、隙間のないアノテーションが可能であったことで確認できた。その一例である、棚を組み立てるタスク C に対するアノテーションの結果の一部を図 8 に示す。この結果は、隙間なくアノテーションができていることを示している。

また、作用素間に包含関係があるかを確かめるために、上記で述べた分類を利用して、同時に起こる作用素を全タスクで確認した。その結果、手が部品を「移動させる」のときは常に手は「動いている」であり、部品に「接している」であることが分かった。しかし、磁力で物が移動する現象もあるため、これらは一般的に包含関係にあるとは言えない。

4. 考 察

4.1 作用素の検証

前節で示したように、全てのタスクのアノテーション実験において、作用素を用いて全ての作業・作業に関する物に対して一意に、かつ作用素の割り当てのない時間が存在しないようにアノテーションすることができた。このことから、本実験の 4 種類の家具組み立てタスクに対しては、作用素は十分性を持つといえる。これらのタ



(a) Therblig によるアノテーション結果



(b) 作用素によるアノテーション結果

図 7 一意性の検証



図 8 十分性の検証

スクの中には、部品を選ぶ、部品を運ぶ、部品を組み合わせるといった製品の組み立てで行われる作業が十分に含まれていると考えられる。よって組み立て作業に対して、作用素は十分性を持つことが推測される。また、Therblig で一意にアノテーションできない作業に対しても、作用素を用いることで一意にアノテーションを行うことができた。Therblig では作業を一意にアノテーションすることのできなかった要因は、「考える」、「さがす」等の、意味解釈が一意にならない単語が含まれたためである。我々の提案する作用素は、選定段階で作業者の恣意を含む単語を除いているため一意なアノテーションが可能であった。一方、アノテーション実験を通して、ある作用素が割り

当てられると必ず出現する作用素が見つかった。例えば、作業者の手に部品を「つかむ」という作用素を割り当てられたときは、必ずその後にその部品を「離す」という作用素が出現する。その他、作業者が「接続する」作業を行っている時刻には同時に、接続される二つの物のうちの 하나가「押している」であり、もう一方が「支えている」という状態にあった。このように共起関係を用いることで、作業者の動作である「接続する」を直接検出することが難しい場合でも、物の状態を検出することができれば、その情報から作業者の動作を推定できる。逆に「接続する」という動作が検出でき、作業者が両手に部品を持っているという状態が検出されたならば、「接続する」が起こった同時刻の部品の状態を推定することができる。この場合、もし部品に取り付けた「押している」と「支えている」を検知する圧力センサが壊れていたというような場合でも、手に持っている部品のうちの片方が「押している」状態であり、もう片方が「支えている」状態であることを推定できる。検出の難しい作用素については、このような推定法を適用することが可能である。

4.2 展望

本報では、予備実験として人手によるアノテーションを行った。今後は、実際にパイプ・ジョイント・板にセンサを取り付け、作業過程の作用素への自動的な割り当てを行いたい。

実際の作業の効率化のためには、タスクに対して有効でない作用素のパターンを見つけなければならない。または、各 Therblig に対応する作用素パターンを見つけることができれば、Therblig 分析法の第 2 フェーズを利用することで作業の効率化が期待できる。

5. おわりに

本報では、作業過程のセンサによる自動的なセンシングを目的として、センシングすべき作用素の選定、および作用素を用いた作業のアノテーション実験を行った。作業だけでなく作業に関する物の状態にも注目することで、より多くの種類の作業過程をセンシングすることが可能になる。人手による作業のアノテーション実験を通して、作業・作業に関する物の状態の包括的な基本要素である 23 作用素の一意性と十分性の検証を行った。

謝辞

本報を作成するにあたりご指導いただきました下原勝憲教授（京都大学大学院 情報学研究科 / 株式会社 国際電気通信基礎技術研究所 ネットワーク情報学研究所）、佐藤哲司部長（日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所 社会情報研究部）に感謝の意を表します。

文献

- [1] 藤田彰久: IE の基礎, 健常社, 1978.
- [2] 日本モダブツ協会 (編): モダブツ法実践マニュアル, 技報堂出版, 1995.
- [3] 高木 靖浩, 堀 聡, 松浦 哲也, 瀧 寛和: Motion Study を利用した保守作業の知識獲得, 電気学会 電子・情報・システム部門大会 講演 論文集, pp 688-691, 2002.
- [4] 田中雅康: バリュー・エンジニアリング - 考え方と具体的な進め方, マネジメント仲社, 1985.
- [5] Michael Kipp: "Gesture Generation by Imitation - From Human Behavior to Computer Character Animation", Boca Raton, Florida: Dissertation.com, 2004.