

組立説明文からの組立手順の生成

Generating an Assembly Procedure from Assembly Instructions

安部 憲広^{*1} 石川 智浩^{*2} 辻 三郎^{*3}
 Norihiro Abe Tomohiro Ishikawa Saburo Tsuji

- *1 大阪大学産業科学研究所
The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka Univ., Osaka 567, Japan.
- *2 三菱電機株式会社
Mitsubishi Electric Corp., Tokyo 100, Japan.
- *3 大阪大学基礎工学部制御工学科
Dept. of Control Eng., Faculty of Eng. Science, Osaka Univ., Osaka 560, Japan.

1988年9月21日 受理

Keywords: task planning, solid model, assembly, natural language, plan refinement, estimation by simulation.

Summary

It is not easy for us to instruct robots using robot language like AL because its task specification are not familiar to us. If the programming is permitted in natural language, novices will be able to access any robot systems. This system is given as input a set of English sentences in an instruction manual of mechanical assembly, and it regards them as a rough plan which specifies relations among mechanical parts to be assembled. As the specification is not precise, the system must refine it by referring to 3-D geometric models of objects and a world model that reflects the current state of assembling environment. Ambiguity in language specification and the assumption that common sense knowledge on assembling operations is available to us makes this refinement process difficult. At first, sentences are analyzed using DCG parser in PROLOG and the results are converted into frame structures. Instructions in the given sentence are converted into OPERATION frame. At this stage, several slots cannot be filled because sentences do not mention conditions in detail. They must be determined referring to object models and a world model. Even if candidates of slot fillers have been found, it is not clear whether the obtained operation will be possible or not. For this purpose, the system must simulate the operation and select an alternative by retrying the wrong decision. Concerning the simulation, it is not always true that a terminal condition of an operation is stated in sentences, and the system should take care of a termination of the operation. For example, START operation in a sentence will be transformed into INSERT operation, but no specification on its completion may be stated there. Then the system must assume the condition, but the system cannot judge the correctness of the assumption without estimating the rest of the sentences, so the system tries to find it using backtracking. As such, the system cannot tell whether the assembled object is the same one to be assembled or not. Consequently an estimation is needed for confirming the correctness of the assembled object. As the system is not given any explicit goal statement on the assembly, we have given to it a heuristic estimation.

1. はじめに

現在、ロボットへの作業指令がティーチングからロボット言語へと変更されつつある。しかし、AL⁽¹⁾のようなロボット言語による作業指令では、詳細な位置合わせや環境の変化をユーザが指定、管理しなくては

ならず、完全なプログラムを得るために大きな労力が必要である。

目標を提示することによって作業を指令することが望ましいことは明らかである。目標状態の記述から目標達成の具体的手順を求めようという研究は、人工知能の分野ではさまざまな研究例がある⁽¹³⁾。しかし、いずれの研究もモデル化が抽象的すぎるため、機械の

ような複雑な構造体の組立てをモデル化することができない。さらに複雑な構造を持った目標の記述自体が非常に困難である。

人間が目的とする作業を他人に依頼する場合には、相手が組立てに関する一般的な知識を持っていることを前提として、概略的な手順を指示するのが普通である。人間の場合詳細な手順は、具体的な部品や組立状況を参照することによって概略的な手順から導出可能であるから、そのような指令が有意義と考えられる。ロボットへの作業指令にも同様な手法が採用できれば、さまざまな作業の自動化が促進されよう。

このような考え方がどの程度実現性をもちうるかを検証するために、組立説明文から組立手順を生成するシステムを試作した。実用上は AUTOPASS⁽⁵⁾ のような予約語を用いた準自然言語の構文則を利用する方が現実的であるが、ここでは自然言語による組立記述を用い、その可能性を確かめることにした。自然言語による指令の可能性を調べることによって、制限言語による指令の実用性への見通しがたつと考えられる。

組立説明文に示された手順に従って正しくシステムが目標を組み立てることができれば、その結果を用いて AL のようなロボット言語の位置制御指令や環境変更記述を生成することが可能となる。すなわち、目的とする組立てを達成するには、どの部品とどの部品をどのような位置関係に配置した後、どのような回転と平行移動を行うべきかが、そしてその結果部品間にどのような結合が生ずるかが求められる。これらの情報は対応するロボット言語のプログラム生成にとり有用である。しかし現在のシステムは、仮想の三次元空間で組立ての位置制御を模擬する点に主眼があり、部品を把持するための計画立案、摩擦や安定性といった力学的拘束条件について考察していないため、そのままただちにマニピュレータへの指令に変換できるものではない。

以下、システムの概要、言語解析、組立操作推論、組立シミュレーションおよび検討について述べる。

2. システムの概要

全体の処理の流れを、Fig. 1 に示す。まず入力文は、言語解析部で構文、意味解析され、組立動作を表す動作フレームに変換される。そして、組立操作推論部で省略された動作、対象の情報を補い、組立シミュレーション部で動作のシミュレーションを行い、正しい組立手順を得る。

実験には、移動ロボットに搭載するアームの組立マ

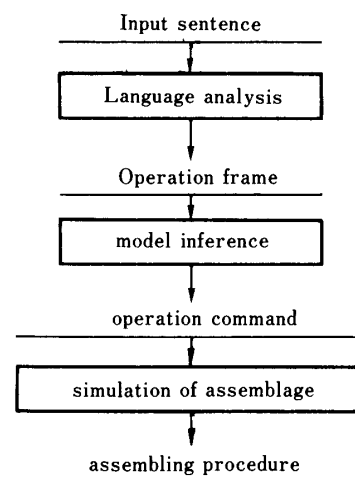


Fig. 1 An overview of the system.

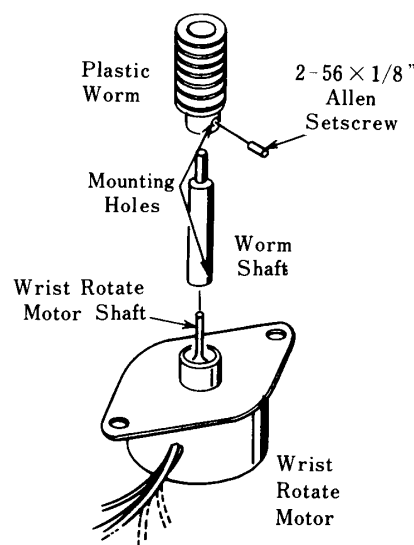


Fig. 2 (a) An illustration of the assembly process.

- (文1) Start the worm shaft into the plastic worm so the mounting holes are directly in line.
- (文2) Press the worm shaft into the worm with the 3/16" nut driver until the mounting holes align.
- (文3) If necessary, use the # 2 allen wrench to start the 2-56 x 1/8" allen setscrew into the worm shaft.
- (文4) Mount the worm assembly onto the wrist rotate motor shaft as far as it will go with the setscrew toward the motor.
- (文5) Tighten the setscrew with the # 2 allen wrench.

Fig. 2 (b) Explanation of the assembling operations.

ニュアル⁽⁸⁾を用いた。例として用いたのは、アームの関節を回転させるモータ部を四つの部品で組み立てる組立工程である。その説明図を Fig. 2 (a) に、説明文を Fig. 2 (b) に示す。本システムでは、図は参照せずに組立環境や部品のモデルを用いて、説明文を解釈させることにした。そのため、図中に示されている部品の部分名のみを、部品の三次元幾何モデルに与えている。

Fig. 3 に、組立世界で用いられる事象間の関係を

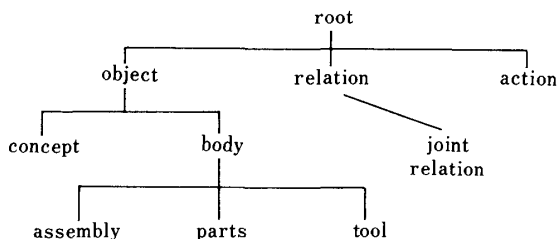


Fig. 3 Event relation in an assembly world.

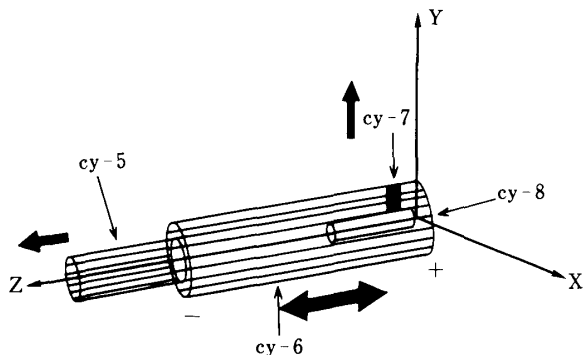


Fig. 4 (a) A solid model of the part-2 and its orientation of assemblage.

(part-2 ((cy-5 cy-6) (cy-7 cy-8)))
 parts plus basic component minus basic component

Fig. 4 (b) A structural list of the part-2.

示す。部品は、自然言語から参照される名前を与えられているが、必ずしも完全な名前では参照されずとも限らない。部品は円柱、角柱などの三次元幾何モデルで表された基本立体の和、差で表され、基本立体ごとに『ネジ山』、『なめらか』などの属性を持つ。例えば、Fig. 2 (a) の Setscrew の円柱部と二つの Mounting Hole には、ネジ山があるということが属性として与えられている。また、組立操作での衝突検出のための三次元形状データ (Fig. 4 (a)) や、部品の構造データ (Fig. 4 (b)) を各部品は持つ。Fig. 4 (a) に示されている部品は、Fig. 2 (a) の Worm Shaft のソリッドモデルであり、cy-5, cy-6 がシャフトの二つの部分を、cy-8 が Fig. 2 (a) の Wrist Rotate Motor の Shaft を挿入する穴、cy-7 が Setscrew を挿入する穴に対応している。Fig. 4 (a) において各基本立体および部品ごとに座標系が与えられていて、部品は基本立体を部品座標系へ座標交換して定義する。部品中の基本立体が他の部品とどのような組合せの可能性を有するかを、各基本立体ごとにそれが属している部品座標系のベクトルとして与えている。Fig. 4 (a) の cy-6 に対しては±Z方向に組合せが可能であることが±(矢印の方向)を用いて表されている。また Fig. 4 (b) のプラス成分は和演算による合成、マイナス成分

joint	rigid	revolute	prismatic	cylindrical (screw)
translational freedom	0	0	1	1
rotational freedom	0	1	0	1

Fig. 5 Joint relations among parts.

(assembly-1 ((part-1 part-2 part-3)))

assembly components

Fig. 6 (a) A structural description of an assembled object assembly-1.

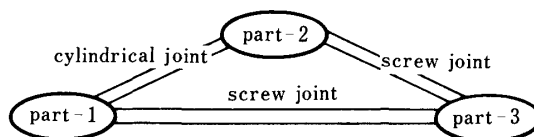


Fig. 6 (b) A joint relation of assembly-1.

は差演算による合成を受ける基本立体の集合を表している。

部品間の接続関係は、文献(10)と同様に並進、回転の動きに関する6自由度の拘束を用いて表す。本研究で用いた接続型を Fig. 5 に示す。ただし、ネジ接続は、並進、回転の自由度が相互に拘束しあった、自由度1の特殊な円柱接続例である。

組立動作は、部品の位置や接続関係を変化させる動作フレームとして表現する。組立動作の前後で成立すべき関係を前提リストで定義し、部品の挿入やネジ締めなどの典型的な組立動作の手順に関する知識は前提リストを用いて表現する。

組立品は、組立動作の結果として部品間に生じた接続関係をもった部品の集まりとして表現する。三つの部品で構成された組立品 assembly-1 と、その構成部品間の接続関係を Fig. 6 (a), (b) に示す。

3. 言語解析

言語解析部での処理の流れを Fig. 7 に示す。まず、前処理と構文解析が行われる。意味解析部では、構文解析で得られた結果から、名詞句と動詞句型を中心として組立世界への写像が行われる。Fig. 2 (b) に示した説明文を見ればわかるように、マニュアル中で用いられる文は比較的単純な構文則をもっており、テンプレートマッチに近い手法で構文解析が可能である。大切なのは動詞の意味および名詞句と前置詞の処理である。名詞句がどの部品や組立品に対応するのか、前置詞が部品のどの部分関係を表しているか、動詞はどんな組立操作に対応し、それが実際にどのようにして実

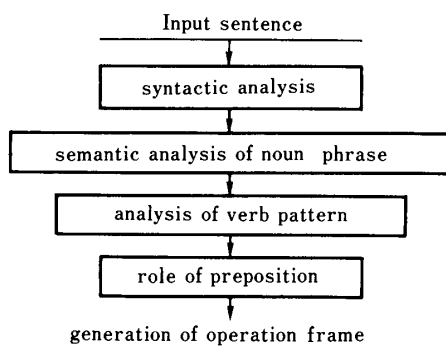


Fig. 7 A flow of language analysis.

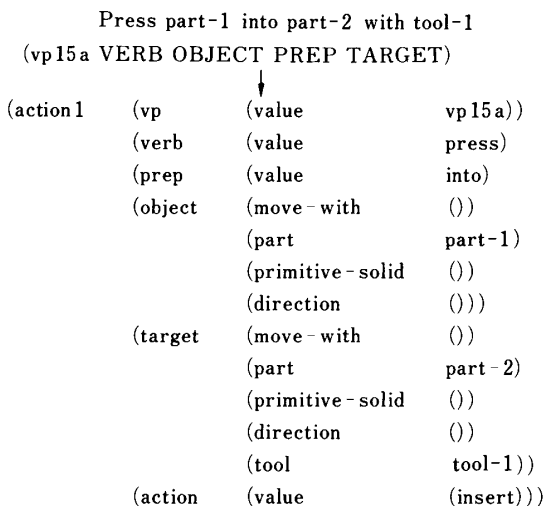


Fig. 8 An operation frame obtained from the sentence-2.

現されるかを分析しなくてはならない。

そこで、本論文では構文解析の詳細は文献(2)~(4)に譲り、構文解析後の処理について述べる。現在のところ、Fig. 3に示した入力文のうち、主節のみを解析の対象としており、主節で指示されている動作に関する拘束条件は、後述する手続き的知識によって補足している。

構文解析木から Hornby の動詞文型⁽¹¹⁾をテンプレートとして必要な情報を抽出して動作フレームにまとめた後、組立操作との対応づけが行われる。

テンプレートマッチングによって動詞文型、動詞、前置詞、動作の対象が取り出され、各スロットにそれらの値が割り当てられる(Fig. 8)。テンプレートを各動詞文型ごとに用意することにより、表層的な構文の違いを吸収させることができる。動詞がもつ動詞文型は、動詞1語あたり平均4文型あるため、それぞれの文型に対するテンプレートが必要である。現在、マニュアルに出現する45個の動詞と10種類の組立動作に対して、それらの対応づけを行うテンプレートが設定されている。各スロットの値は、そのスロット条件をみたす対象のクラスに属していなければならない。object, targetには部品クラスが、toolには工具クラスに属

	move-with	part	primitive solid	direction
object	nil	part-1	cy-3	+
target	nil	part-2	cy-6	-

Fig. 9 An refined object description resulted from simulation.

ALIGNMENT	← (align,	(,	(vp2a, vp6a))
INSERT	← ((start, press),	into,	(vp6a, vp15a))
INSERT	← (mount,	onto,	(vp6a, vp15a))
SEAT	← (tighten,	(,	vp6a))

Fig. 10 Translation rules into assembling operations.

する対象が記入される。objectとtargetは、組立操作推論部における組立シミュレーションのため、Fig. 9に示すように、一緒に動く部品(move-with)、部品(part)、基本物体(primitive-solid)、向き(direction)の四つのレベルに詳細化される。言語処理によって、Fig. 9のpartの部分判明するだけであり、他の情報はpart-1, part-2の部品モデル、および組立状況を参照することによって決定される。

動詞から組立動作への対応づけは、Fig. 10に示すように動詞文型、動詞、前置詞の三つの要素によって行われる(Fig. 10)。前述したように各動詞には複数の動詞文型があるため、例えば、mountの二つの動詞文型がINSERTに対応づけられている。組立動作が決定されると、動作フレームのactionスロットに選択した動作名が書き込まれ、この動作名に対応した組立ての手続き的知識が適用されて、組立シミュレーションがなされる。例えば、文1のstartはINSERTに変換され、それがINSERTを実現する手続き知識によってシミュレーションが行われる。

4. 組立操作推論部

組立操作推論部における組立てのシミュレーションの手順をFig. 11に示す。以下各部について説明する。

言語処理で得られた動作フレームのobject, targetスロットのうち、言語処理では補足されなかった部分

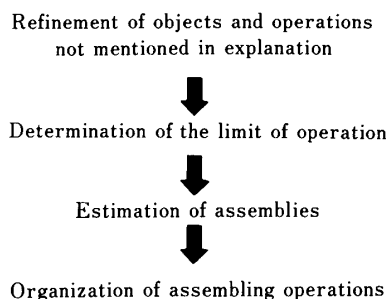


Fig. 11 An overview of model inference part.

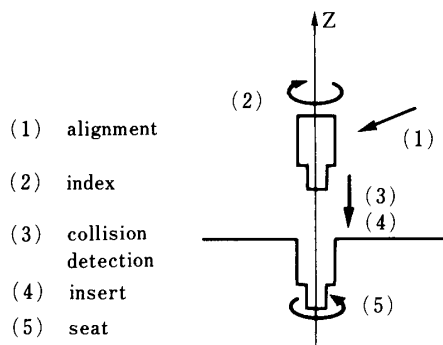


Fig. 12 A redundant procedure for an insert operation.

に対して、部品データの用いて値の割当が行われる。Fig. 9 は文 1 に対して得られた結果であり、Fig. 13 に示した p1 (part-1) の穴 cy-3 の + 方向と、p2 (part-2) のシリンダ部 cy-6 の - 方向とが挿入の具体的対象であることが示されている。図には、p2 (p1) が、世界座標の Z 軸の方向と cy-6 (cy-3) の + 方向とが一致するように配置されることも示されている。図中の一緒に動く部品は、操作対象が属している組立品を表しており、今の場合は何もないため nil となっている。操作対象の選択や操作および操作方向の選択に誤りがあると、実際に操作したときに、組立品の他の部位が操作を妨害するため誤りが発見でき、誤りはバックトラックによって解消される。

組合せの向きを決める方法には二通りの方法が考えられる。

- (1) すべての向きの組合せでシミュレーションを行う。
- (2) 組立ての向きをあらかじめ与えておく。

(1)の方法では、一つの組立てごとに多くのシミュレーションを行う必要があるため効率が悪い。また、(1)、(2)以外に、部品のソリッドモデルから向きを推論する方法も考えられるが、今回は、(2)の方法を採用し、各部品の基本立体ごとに、向きのデータを Fig. 4 (a) に示したように与えることとした。

組立操作は、対象部品の接合、ネジの挿入といった基本的な操作により構成されると考えられる。我々が組立てを行う際には組立操作の正しさは、実際に組み立ててみるにより検証できる。本試作システムの場合にも同様の考え方を導入することにした。すなわち、三次元の仮想空間において、衝突検出を用いたシミュレーションを行うことにより操作の正しさを検証させることにした。操作部位どうしの組合せが達成される前に、他の部分（一緒に動く部分）間に衝突が生じるといったことは、記号表現された操作の記述から知ることはできない。例えば挿入という操作も、挿入すべき物とその相手の形状によって、さまざまな形で

実現されねばならない。前述したように、入力文の解析は主節しか行っていないため、挿入動作の実行は、Fig. 12 に示すような挿入動作に関するもっとも冗長な手続き知識を与えておき、組立状況を参照しつつその手続きを評価することにより行う。すなわち、挿入すべき部品と穴との軸方向の位置合わせ (alignment)、および軸回りの位置合わせ (index) を行った後、挿入の可能性 (collision detection) を求め、挿入 (insert, seat) を行う。

5. 組立シミュレーション

現在のところ、組立ての際に起こる部品の干渉検出を、一軸方向に部品を平行移動させる組立てのみに限定した衝突推論を行っており、軸回りの回転に関する衝突推論は行っていない。工具や手の大きさは無限小とし、部品のみが、大きさを持つと仮定している。

以下、文 2 に示された操作の具体化について説明する。組立シミュレーションは、挿入動作が組立シミュレーション用座標系（以後、組立座標系と呼ぶ）の - Z 軸方向になるように、部品を座標交換して行われる (Fig. 12, 13 参照)。

(1) 軸合わせ (alignment)

組立動作を始めるため、組合せを指定された基本立体を指定された方向に一直線状に並べる動作である。Fig. 13 では、cy-3 (Worm Shaft p1 の穴の部分) と cy-6 (Plastic Worm p2 のシャフト部) の軸が共に Z 軸上において、かつ組立座標系の Z 軸の正方向に部品 p2 の - Z 軸と部品 p1 の Z 軸の向きが一致するように p1 と p2 が配置される。

(2) 索引 (index)

Z 軸回りに、object を回転させる動作である。組み合わせる基本立体が角柱のときや、部品に Z 軸と垂直な横穴があるなど Z 軸に関して非対象な場合にのみ必要な動作である。Fig. 13 では、Mounting Hole に対

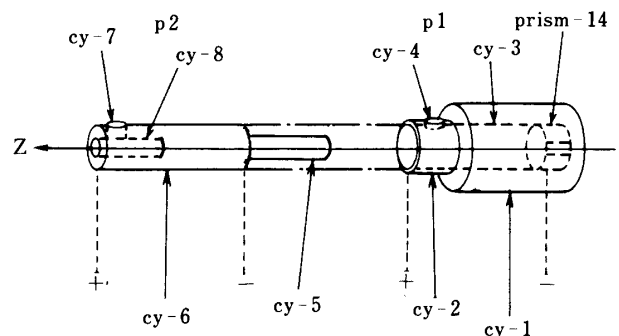


Fig. 13 Alignment and index operation between worm shaft p2 and plastic worm p1.

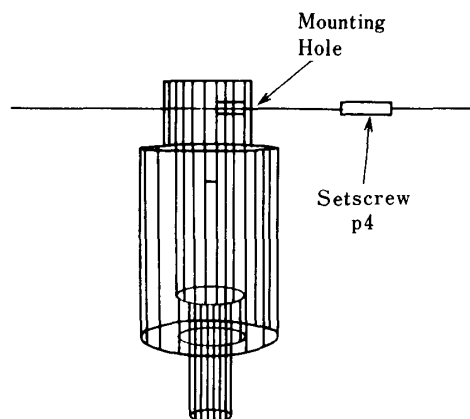


Fig. 14 (a) Alignment and insert operation between a mounting hole and a setscrew.

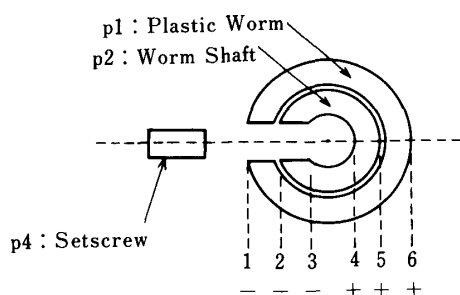


Fig. 14 (b) Collision detection among several parts.

応する、Z軸に垂直な二つのマイナスの基本立体 cy-4 と cy-7 の軸が一致するように、p2 が Z 軸回りに回転させられている。

(3) 衝突検出 (collision detection)

二つの部品を組み合わせるとき、どのように組み合わせるか、つまりどの基本立体、面どうしが重なるかの組合せを衝突推論⁽¹²⁾により調べる。object を Z 軸に平行に動かし、基本立体どうしの衝突した面 (の Z 座標) すべてを検出する。プラス立体どうしがぶつかったときは、実際に衝突した部品を検出される。Fig. 14 (a) でネジ p4 を挿入するとき、Fig. 14 (b) のように 1~4 の面と接触し、4 の面で p2 と衝突することが検出される。

(4) 挿入 (insert)

衝突検出の結果をもとに、object を Z 軸に平行に動かして、基本立体を組み合わせる。ただし、基本立体の面どうしが重なるように動かす場合に限定する。Fig. 14 (b) でネジ p4 をどこまで挿入するかが、言語情報から与えられていないため、挿入をどこで止めるかはこの時点では決まらず、後の組立動作によってどこまで挿入すればよいか分かる。そのようなときは、まず一番奥の 4 の面まで挿入するという仮説を採用した後、残りの文を解釈する。他の仮説はバックト

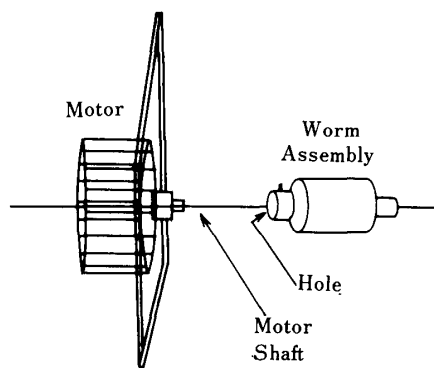


Fig. 15 (a) Alignment of a worm assembly and a worm shaft.

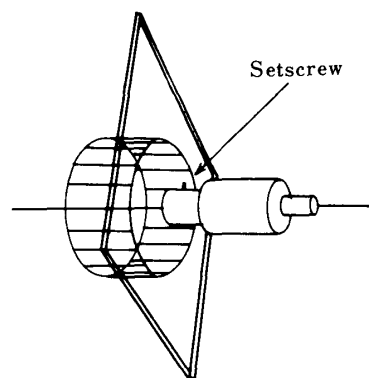


Fig. 15 (b) A completed motor assembly.

ラックして戻ってきたときの選択点として残しておく。

(5) 定座 (seat)

一般的な定座は、object を固定するための Z 軸回りの回転を指す。通常この動作により組立てが終了する。

実験に用いた組立工程のシミュレーション結果を Fig. 15 に示す。Fig. 15 (a) は (文 4) に、また Fig. 15 (b) は (文 5) に、それぞれ対応する。

シミュレーションの目的は、組合せの可能性を調べるためだけでなく、シミュレーションの結果として得られる組立て後の各部品の座標値から、部品間にどのような変化が生じたかを調べることによって、記号表現された部品間に生じた新たな接続関係を得ることである。

文 1 から文 3 における組立てを例にとり、接続関係の更新方法を示す。文 1 と 2 の指令により Plastic Worm に Worm Shaft が挿入されて円柱接続が生じる。説明文 3 では、Setscrew p4 を Worm Shaft p2 の穴に挿入する動作が指示されている。しかし、文章には p4 を Plastic Worm p1 の穴に通すことは明記されておらず、システムはシミュレーションによりこれを検出することができる。また文 1 および文 2 の INSERT のシミュレーションの結果、p4 を p2 の穴へどの程度挿入するかによって、p4, p2, p1 間の接続

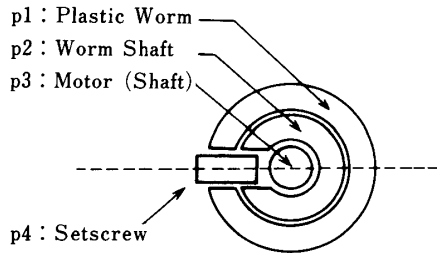


Fig. 16 Detection of fixed parts by collision detection.

JOINT1	(Ako	(Value	(Joint)))
	(Object	(Part	(Part-1)
		(Primitive-solid	(cy-3
	(Target	(Part	(Part-2)
		(Primitive-solid	(cy-6
	(Joint	(Value	(Cylindrical)))
	(Action	(Value	(Action1)))

Fig. 17 A generated joint frame.

関係が変わってしまうこともわかる。シミュレーションはこのような状況の判断に寄与する。

このようにシミュレーションの結果から、物体相互の位置関係を求め、それらが固定接続された部品なのか、単に接触しているだけで固定されていない部品群なのかを知ることは、それ以後の組立ての詳細化や、組立品の完成度を知るために必要である。

2章で述べたように、Fig. 16において、p1, p2の穴とp4の円柱面にネジが切られている。まずp4を右に動かすとp3に衝突する。p4とp2は、ネジ接続されているのでp3がまず被拘束部品(他の部品によって固定される部品)となる。同様にして、p4をさらに挿入するとp2がp1に衝突し、p2が被拘束部品となり、四つの部品が一体となってネジ締めが完了する。

ネジ締めが完了する、つまりネジが固定されると、まず、ネジ山のある基本立体をもつ部品間のネジ接続を固定接続とする。次に、被拘束部品と衝突した部品間をすべて固定接続とする。

すべての接続関係が抽出されると、それらを Fig. 17 に示す接続フレームにまとめて接続関係を更新する。図の接続関係は、Fig. 8の動作フレーム action 1 に示された INSERT 操作により、part-1 と part-2 の間に互いの基本立体 cy-3 と cy-4 を介して円柱接続 JOINT1 が作られたことを示している。したがって、もし action 1 の解釈に誤りがあって、後述の組立評価が失敗すれば、バックトラック時に接続関係および動作フレームの改訂が行われる。

次に、更新された接続関係をもった組立品のフレームが生成される。既に組立品フレームがある場合は、構成部品のスロットの値を更新し、次の動作の計画推論に備える。組立品フレームの例を Fig. 18 に示す

(Assembly1	(Ako	(Value	(Assembly)))
	(Component	(Value	(Part-1 Part-2)))
	(Action	(Value	(Action1)))
	(Joint	(Value	(Joint1)))

Fig. 18 A generated assembly frame.

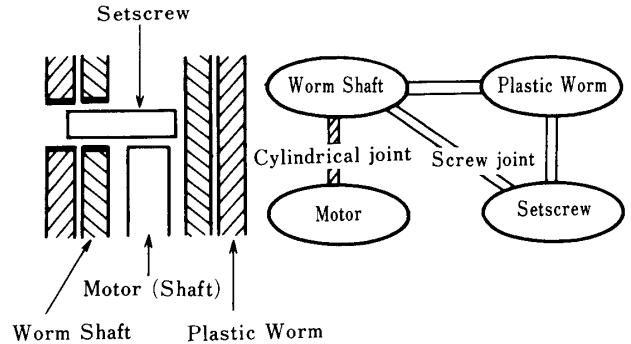


Fig. 19 An unsuccessful assemblage and its joint relation.

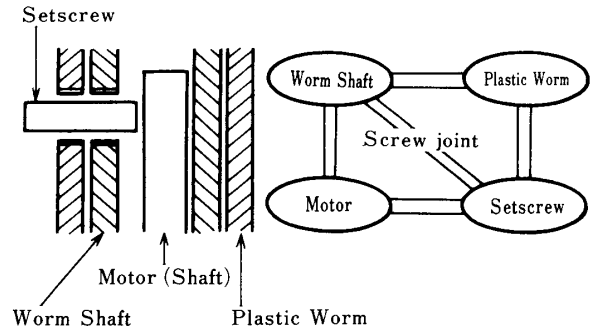


Fig. 20 A successful assemblage and its joint relation.

(part-1 は Plastic Worm, part-2 は Worm Shaft である)。

この組立フレームを用いて構成部品間の接続関係を調べ、組立品の正しさを評価する。現状では、部品をノード、接続関係をアークとするネットワーク上でのすべての部品が、固定接続のアークで結ばれているか、つまり、すべての部品が固定接続されたかどうかを組立評価の基準としている。評価に失敗、成功した組立品の接続関係の例を、それぞれ Fig. 19 と Fig. 20 に示す。Fig. 19 は、Fig. 14 (b) において面 4 まででネジが挿入された場合に対応し、バックトラックによってネジが面 3 に設定され (Fig. 16), その後の操作によって、Fig. 20 に示す結果に到達する。

6. 検 討

本研究では自然言語で記述された組立指令が、部品と環境のモデルおよび組立ての知識を用いることにより、位置関係の変更を模擬する組立操作の系列に変換できることを示した。特に、実験例のようにネジをど

ここまで挿入するかが明記されていない場合でも正しい組立てが行い得ることが示された。このように組立指令に詳細な指示がなくても組立てを模擬することが可能であり、研究の所期の目的は達せられたと考えられる。しかし、人間の場合は組立ての経験があれば、失敗することなく正しい組立てを行うことができる。したがって、より効率的な組立てをシステムに行わせるためには、さらに多くの組立知識の追加が必要である。

しかし部品モデル、環境モデルおよび組立動作を具体化するための手続き的知識はいずれも明確に指定可能な知識であり、指令文を動作フレームに変換した後のシステムの働きは一般的であって、部品が剛体であれば正しい操作系列をシステムは発見できる。ただ、本研究では従属節を処理していないため、従属節に特殊な組立ての拘束条件が指示されている場合には、手続き知識でそれを補うことができないことがあり、従属節の処理を行わねばならない。また、動詞から組立動作への変換に関しては、本研究で準備したよりも多くの動詞が自然言語表現を用いた指令に出現すると思われるため、更なる整備が必要である。その意味では最初に記したように、使いうる動詞を予約語に制限した（しかし構文則は制限しない）方が実用であると考えられる。

今後の方向としては、使用する動詞を限定したうえで、力学的条件や使用工具の大きさを導入するとともに、より複雑な干渉検出法の実現を行うことによって、把持も含めた操作系列の算出を行いたいと考えている。また、組立ての誤りを単純バックトラックではなく、(A) TMSを用いることにより、機能レベルで組

立ての正しさを検証する予定である。現在のような単に固定接続といった単純な評価ではなく、組み立てられた物が正しく機能することを確認することによって検証を行わねばならない。

ところで我々はこの機械部品組立マニュアル文を読むときには、本論文でとったような方法を用いているとはいうことはできない。例えば、Fig. 2 (a) に示した図を見るとき、我々はあらかじめ部品の正確な三次元モデルを持っているわけではない。機械部品が一般にどのような形状をしているか、図は必ずしも正確ではないが、重要な特徴には何らかのコメントが付されているはずである、といった常識や、図面だけでは理解しづらい部分には参照用の引用線が引かれていたり、説明が付されるといったことを前提として図面を見ながら説明文を解釈しようとするのが普通である。こうした観点、すなわち本論文のロボティクスへの応用とは異なった人間の理解過程における図と文との相互作用の解明という立場にたって考えるとき、多くの解決すべき問題が潜在していることに気づく読者は多いと考えられる。従来の研究は、研究のどこか一つの時点における仮説推論だけを取り扱うものがほとんどであったが、実は我々人間はさまざまな問題と、その内の多様なレベルで異なったタイプの仮説推論を効率良く取り扱っていると考えられる。本研究の対象は、このようにきわめて示唆深い研究テーマを与えうる豊富なドメインを提供していると認めることができるのではないか。この分野への研究促進の起爆剤として本論文が寄与できれば誠に幸いと考える。

◇ 参 考 文 献 ◇

- (1) 金山 裕, 坪内孝司: ロボット言語 AL, 総研出版.
- (2) 石川智浩, 安部憲広, 辻 三郎: 機械部品組立マニュアル文理解の試み, 情処技報 自然言語処理研究会, NL 54-6 (1986).
- (3) 石川智浩, 安部憲広, 辻 三郎: ソリッドモデルを参照した組立文理解, 信学技報 言語処理とコミュニケーション研究会, NLC 86-19 (1986).
- (4) 石川智浩: ソリッドモデルを利用した組立文理解, 大阪大学修士論文 (1987).
- (5) Lieberman, L. I. and Wesley, M. A.: AUTOPASS: An automated programming system for computer controlled mechanical assembly, *IBM J. Res. & Dev.*, Vol. 21, No. 4 (July, 1977).
- (6) 北島克寛, 西山隆雄, 吉川弘之: 機械の有向接続グラフに基づく対話型組立可能性判断システムの開発, 精密機械, 49 巻, 2 号 (1983).
- (7) 長沢 勲: DAL における対象指向プログラミングと組立構造表現への応用, 情報処理学会 グラフィックと CAD シンポジウム論文集 (1984).
- (8) Segre, A. M. and Dejong, G.: Explanation-Based Manipulator Learning: Acquisition of Planning Ability Through Observation, *IEEE Robotics and Automation* (1985).
- (9) "HERO ROBOT Arm Accessary Manual", HEATH COMPANY, MICHIGAN (1982).
- (10) Tilove, R.: Extending Solid Modeling Systems for Mechanism Design and Kinematic Simulation, *IEEE Computer Graphics and Applications* 3.3 (May 1983).
- (11) Hornby, A. S.: Guide to Patterns and Usage in English, Second Edition, Oxford University Press, London (1975), 伊藤健三 (訳): 英語の文型と語法, 第 2 版オックスフォード大学出版局 (1977).
- (12) 山田誠二, 安部憲広, 辻 三郎: 電気ドリル分解・組立コンサルタントシステム, *人工知能学会誌*, Vol. 1, No. 1 (Sept. 1986).
- (13) 安部憲広: 作業プランニング, *日本ロボット学会誌*, Vol. 5,

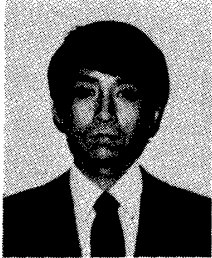
No. 6 (1987).

- (14) Doyle, J. : A Truth Maintenance System, *Artif. Intell.*, Vol. 12, pp. 231-271 (1979).

- (15) deKleer, J. : An Assumption based TMS, *Artif. Intell.*, Vol. 28, pp. 197-224 (1986).

〔担当編集・査読委員：元田 浩〕

 著 者 紹 介



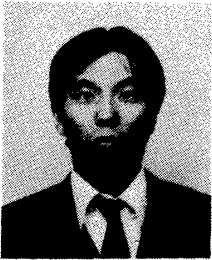
安部 憲広 (正会員)

昭和 44 年大阪大学基礎工学部電気工学科卒業。昭和 49 年同大学大学院博士課程修了。同年、同大学基礎工学部制御工学科勤務。現在、同学部助教授。工学博士。人工知能、ロボティックスなどの研究に従事。情報処理学会、電子情報通信学会、計測自動制御学会各会員。



辻 三郎 (正会員)

昭和 28 年大阪大学工学部卒業。昭和 30 年同大学大学院修士課程修了。同年、電子技術総合研究所入所。昭和 45 年より大阪大学基礎工学部制御工学科教授。工学博士。現在、人工知能、ロボティックス、コンピュータビジョンなどの研究に従事。情報処理学会、電子情報通信学会、計測自動制御学会、IEEE 各会員。



石川 智浩

昭和 60 年大阪大学基礎工学部制御工学科卒業。昭和 61 年同大学院修士課程修了。同年、三菱電気(株)情報電子研究所に入社。知識ベースシステムに関する研究開発に従事。