

機械部品組立てマニュアル文理解の試み

石川智浩

安部憲広

辻三郎

(大阪大学 基礎工学部)

1. はじめに

自然言語理解では、対象分野を限定し、言葉の意味の曖昧さを減少させることにより、成功した例 [1] が少ない。本研究では、対象分野を機械部品の組立てに限定し、組立ての世界での部品をモデル化し、組立て手順の理解を試みるシステムについて報告する。本研究の目的は大別して二つある。

第一の目的は、当然だが自然言語理解である。ここで言う言語理解とは、実世界を写像する、何らかのモデル化された世界（ここでは組立ての世界）の中で意味のある表現に、自然言語を変換することとする。本研究では、部品の状態が、組立て動作によってどのように変化するかに注目し、部品の三次元形状モデルと部品間の接続関係を用いて、組立て状態のモデル化を行う。そして自然言語の表す動作を、組立て世界の状態を変化させる操作に変換し、操作を行った結果、部品の状態がどのように変化すべきかを求めて、意味が正しく理解されることを示す。

第二の目的は、機械部品の組立て手順を得ることである。この分野では、CAD/CAM等の機械設計で、三次元形状モデリングや、部品間の接続関係をもとに、組立て可能性 [2] や組立て手順の生成 [3, 4] 等が研究されてきたが、完成した組立て品を分解して分解手順を求め、それを逆にして組立て手順を得たり、組立て品の構成部品や、取り付け順序が既知であるなどの制約があった。

これに対して、本システムでは、組立て説明文を言語解析することによって得られる、大まかな組立て手順をサブゴールとみなし、サブゴール間の省略された手順や不確定要素を計画推論によって補い、詳細な組立て情報を求めることができる。一般に、組立て品の詳細な最終状態は未知であるため、組立ての妥当性を検証する必要がある。本システムは、部品がどのように組合わさるべきかを評価するための知識を、システムに与えておくことによって、正しい手順を求めることができる。

2. システム構成

・ システムの概要

機械部品の組立てマニュアル [5] から、例として用いた、組立て工程の説明図を、図2-1に、説明文を図2-2に示す。説明図から得られる情報は、部品モデルとして部品の名前と三次元形状データを、システムに与えておく。全体の処理の流れを、図2-3に示す。まず、入力文は、言語処理部で、構文、意味解析され、組立て動作を表す動作フレームに変換される。そして、モデル操作部で組立てのシミュレーションを行い、正しい組立て手順を探索によって得る。

・ 組立て世界のモデル化

図2-4に、組立て世界で用いられる事象間の関係を示す。物体は、自然言語から参照される名前を持っている。

部品は円柱、角柱などの基本立体の和、差で表され、基本立体ごとに ネジ山、なめらか などの属性を持ち、

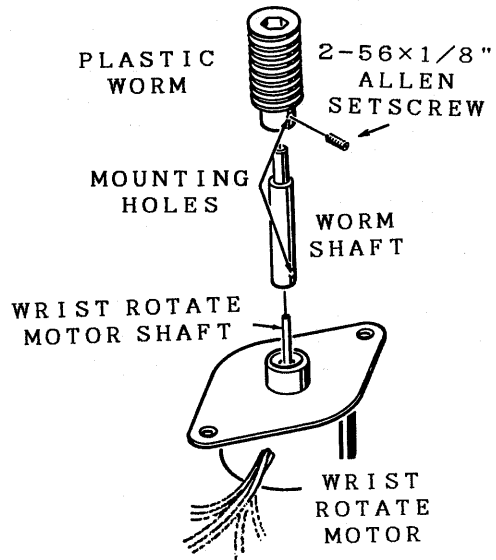


図2-1 用いた組立て工程の説明の図

- (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.

図2-2 用いた組立て工程の説明文

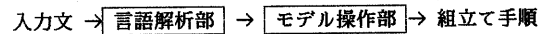


図2-3 全体の処理の流れ

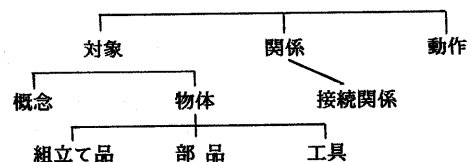


図2-4 組立て世界の事象間の関係

組立て動作での衝突検出のための、三次元形状データ(図2-5)や、部品の構造データ(図2-6)を持つ。

部品間の接続関係[6]は、並進、回転の動きの6つの自由度の拘束で表す。本研究で用いている例を、図2-7に示す。但し、ネジ接続は、並進、回転の自由度が拘束しあい、自由度1となる円柱接続の特別例である。

動作は、部品の位置や接続関係などの状態を変化させる動作フレームとして定義される。前後の動作の関係は前提リストで定義され、部品の挿入やネジ締めなどの典型的な組立て動作の手順の知識は前提リストを用いて表現する。

組立て品は、動作を行った結果、部品間に生じた接続関係を持つ部品の集まりとして表される。3つの部品で構成される組立て品 assembly-1 の構造データを図2-8に、その構成部品間の接続関係を図2-9に示す。

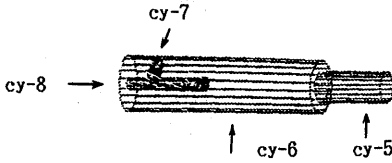


図2-5 部品 part-2 の三次元形状モデル

(part-2 ((cy-5 cy-6) (cy-7 cy-8)))
部品 プラス基本立休 マイナス基本立休

図2-6 部品 part-2 の構造データ

接続の種類	固定	一軸回転	角柱	円柱(ネジ)
並進自由度	0	0	1	1
回転自由度	0	1	0	1

図2-7 本システムで用いた接続関係

(assembly-1 ((part-1 part-2 part-3)))
組立て品 構成部品

図2-8 組立て品の構造データ

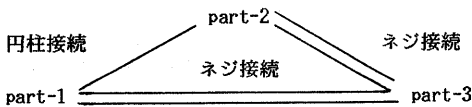


図2-9 組立て品の構成部品間の接続関係

3. 前処理

図2-2の入力文は、3/16", #2, . (ピリオド)などの特殊記号列を含むので、|3/16"| |#2| |period| といった、パーザーが受理できる他の文字列に変換する。次に、実験に用いたマニュアルには、使用する全部品の名前と記

号が、部品表として与えられているので、自然言語文中で参照される名前と部品、工具の諸データを格納したフレーム名との表(図3-1)を用いてテンプレートマッチングを行い、部品の名前と一致する文字列を部品のフレーム名に変換する(図3-2)。tool-2, part-4 などのフレーム名は名詞として処理できるように、

名詞 + '-' + 番号 の文字列は名詞であるといったルールをパーザーに用意しておく。この時、対象フレーム名に変換できない名詞句は、構文解析が終了した後で対応付けを行う。これにより、機械部品の名前の特徴である、部品の大きさや番号を示す、2-56 × 1/8" などの特殊記号を含む名詞句や、wrist rotate motor (リストを回転させるためのモーター) のように部品の機能を示すための特殊な文法ルール(名詞句→名詞+動詞+名詞)の追加を防ぐことができる。

種類	対象	名前
部品	part-1	plastic worm
	part-2	worm shaft
	part-3	wrist rotate motor
	part-4	2-56 × 1/8" allen setscrew
工具	tool-1	3/16" nut driver
	tool-2	#2 allen wrench

図3-1 組立て工程に用いる部品表

(if necessary |comma| use the tool-2 to start the part-4 into the part-2 |period|)

図3-2 図2-2の(文3)を前処理で変換した結果

4. 構文解析

本システムでは、構文解析に Prolog のトップダウン・パーザーを一部改良したものをを用いる。現在のところ形態素処理は行っておらず、活用形をそのままターミナルワードとして登録し、品詞辞書に原形や時制、人称などの形態素情報を直接書きこむことにより対応している。本システムで用いたパーザーは、Hornby の動詞文型[7]を、文法ルールの一部として用いている。Hornby の辞書[8]での動詞 use の記述を図4-1に、動詞 use で用いられる動詞文型を図4-2に示す。

図4-1からわかるように、動詞 use には三種類の意味があり、それぞれの意味のときに使われる動詞文型が決まっている。これを利用して、文中で用いられた動詞文型から動詞の意味を限定することができる。図4-2では、動詞 use が VP6A の文型で用いられたときの意味は(1, 2)の二種類に限定されることを示している。このように Hornby の動詞文型を用いることにより、構文情報から動詞の意味情報のある程度拘束することができる。しかし、Hornby の動詞文型をそのまま CFG の一部として用いたのでは、(1) ルールの増加、(2) 多品詞語の解消という二つの問題が生じる。

第一の問題である、ルールの増加に対するトップダウン・パーザーでの対策として、時制や性、数の一致など自然言語に存在する、何らかの文脈依存性をパーザーに取り

入れて、実行ルールを制限する方法が考えられる。

第二の問題については、本システムでは、各動詞ごとに用いられる動詞文型を品詞のひとつとして品詞辞書に登録し、CFG で用いているので、多品詞語と同様の問題が生じる。実際のマニュアル文 [5] 1 ページの説明文に出現した、35 個の動詞についての動詞文型数は、延べ 139 種で、動詞一語あたり平均約 4 種の動詞文型が対応することがわかった。また、layer, page, position など、あまり用いられない動詞の動詞文型が一種類なのに対し、go (8 種), see (14 種), set (11 種) など、よく用いられる動詞ほど適用できる動詞文型の種類が多い。マニュアル文 [5] 約 20 ページについて、動詞ごとに用いられる動詞文型と意味を分類した結果、ある動詞文型で用いられた動詞とその意味は、以後も同じ意味で用いられることが多いという特徴が見られた。これを利用して解析によって確定した動詞文型と意味を先頭にもってきて並べかえを行い、次の解析のときに用いれば、動詞から構文、意味情報をボトムアップ的に予想することができる。

多品詞語の解消方法については、トップダウンによる構文解析を行う前に、局所的に成立する多品詞解消規則により、単語の品詞を予想し、トップダウン解析に利用する方法 [9] が提案されている。この方法は、一つの単語で用いられる品詞の使用頻度が似ている場合に有効であるが、一方、go という単語には動詞、名詞の二つの品詞があるが、名詞はほとんど用いられないように、品詞間で使用頻度が極端に異なる場合には、単語から、よく使用される品詞を予想してトップダウン解析に利用すれば、簡単な方法で効率を向上させることができる。

そこで本システムでは、第一の問題に対しては、文の文型を決定するのは動詞であるという事実から、各動詞で使われる動詞文型を文脈依存要素としてパーザーに取入れ、構文則を制限する方法を用い、第二の問題に対しては、動詞ごとに用いられる動詞文型を品詞として登録し、それを使用頻度順に並べて、用いられる構文則を、動詞からボトムアップ的に予想するという方法を用いて対処する。

Prolog を用いた構文解析法として BUP [10] がよく知られているが、BUP では、ゴールの支配する先頭単語の品詞から用いられるトップダウンの構文則を予想するため、先頭単語の品詞辞書を使用頻度の順に並べておけば、用いるトップダウン・ルールを制御することができ効率が上がる。しかし、BUP では、トップダウン・パーザーに比べルールの数が増え、ルールの実行が複雑になり、トレースが困難であるなどの欠点がある。こうした事情から、本システムでは純粹の BUP を採用せず、動詞から、用いられる動詞文型のボトムアップの予想を、トップダウン・パーザーの機能に追加して用いることにした。

トップダウン・パーザーの変更部分を、図 4-3 に示す。トップダウンのルールから verb-pattern が起動されると、verb(VP) により、動詞の品詞辞書から、用いる動詞文型を変数 VP を通して Pattern に渡し、call(Pattern) で目的の動詞文型ルールを実行する。図 4-4 (a) では、動詞 use で実行される動詞文型は上から順番に実行される。もし VP15A を最初に実行させたいときは、図 4-4 (b) のように品詞辞書の並べかえを行えばよい。実験では、各動詞に対し、マニュアル文でよく用いられる動詞文型を調べ、よく使われる用例が、品詞辞書の前に来るように並べて実行した。これにより Hornby の動詞文型の採用による実行時間の増加を抑制することができる。構文解析の例を図 4-5 に示す。

- | | | |
|-----------------|--------------|-----------------------|
| 1 [VP6A,16A,14] | use(for) | employ for a purpose: |
| 2 [VP6A,15B] | use sth (up) | consume: |
| 3 [VP15A] | | behave toward: |
| 動詞文型 | テンプレート | 意味 |

図 4-1 Hornby の辞書での動詞 use の記述

- | | | |
|------|------------------------------------|---------|
| VP6A | → S + vt + np | (1,2) |
| VP14 | → S + vt + np + preposition + np | (1) |
| VP6A | → S + vt + np + adverbial phrase | (3) |
| VP6A | → S + vt + np + adverbial particle | (2) |
| VP6A | → S + vt + np + to-infinitive | (1) |
| | 動詞文型 | 意味番号 |

図 4-2 動詞 use での Hornby の動詞文型と意味

```
single-sentence :- subject, verb-pattern.
verb-pattern :- verb(VP), Pattern = .. [VP],
               call(Pattern).
verb(VP) :- VPDICT = .. [VP], call(VPDICT).
```

図 4-3 動詞から実行する動詞文型ルールを導く Prolog プログラム

use(VP6A).		use(VP15A).
use(VP14).		use(VP6A).
<u>use(VP15A).</u>	→	use(VP14).
use(VP15B).		use(VP15B).
use(VP16A).		use(VP16B).
(a) 並べかえる前		(b) 並べかえた後

図 4-4 並べかえられた動詞 use の品詞辞書

```
(SENTENCE
(ADVERBIAL-PHRASE (CONJUNCTION = if)
(ADJECTIVE = necessary))
(COMMA = |comma|)
(CLAUSE
(VPATTERN
(VP16A = use)
(VP16A (NP (DEF-ARTICLE = the)
(NOUN = tool-2))
(TO-INFINITIVE
(TO = to)
(VPATTERN
(VP6A = start)
(VP6A (NP (DEF-ARTICLE = the)
(NOUN = part-4))))
(ADVERBIAL-PHRASE
(PREPOSITION = into)
(NP (DEF-ARTICLE = the)
(NOUN = part-2))))))
(PERIOD = |period|))
```

図 4-5 図 2-2 (文 3) の構文解析例

5. 意味解析

ここでは、構文解析結果から、組立て世界への写像を行う。文の要素のうち主要なものは、動詞と名詞である。本システムではこの二つを中心として、まず、名詞句から、組立て世界での対象の同定について、次に、動詞句型をもとにした動詞から、組立て世界でのモデル操作を行う動作フレームへの変換を行う方法について説明する。

5.1 対象の対応付け

一つの組立て工程で用いられる部品や工具は、図3-1に示した、部品表という形でシステムに与えられている。これを用いて、名前と対象との間に対応付けを行う。また部品表にはないが、図2-1の説明図中には、部品の各部分である基本立体を指す、図5-1のような名詞がある。そこでこれらについても対応付けを行う。

図5-2に示すように、対象部品とそれを示す名前の各単語とをリンクで結ぶ。文中に "the worm shaft" という名詞句がきたときは、冠詞を除いた単語 worm と shaft から対象へのリンクの and をとれば、対象が一つに決まる。このように、名前と対象とが部品表と一致する場合は、前処理ですでに対応付けを行っているので問題はない。しかし、"the worm" という名詞句のように、リンクが複数の対象と対応し、あいまいさが生じる場合は次に述べる拘束条件を用いて、対象への同定を行う。

また、組立て品については、組立て品を表す対象フレームは、組立て開始時にはなく、組立て動作を行っていく過程で作られて行くので、その都度、単語 assembly との間にリンクを作り、名前と対象との対応付けを行っていくことにする。

種類	対象	名前
基本立体	cy-4	mounting hole
	cy-7	mounting hole
	cy-9	shaft

図5-1 説明図中にある対象の部分名

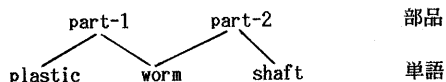


図5-2 単語と対象との対応付けのリンク

5.2 名詞句の意味処理

実験に用いた文のうち、前処理で対象フレーム名に変換できなかった名詞句の例を、図5-3に示す。このうち、(1)の抽象名詞については、これが持つ概念を直接、単語の意味辞書に書いておけばよい。

残りの(2)~(5)については、名詞の意味の他に、名詞句の指す、組立て世界での部品や工具などの対象の同定を行う必要がある。それぞれの場合、対象を同定するための情報が省略されており、(2)~(5)それぞれの解析のために用いた原則について説明する。

	種類	例
1	抽象名詞	line
2	省略された言い方	the worm, the setscrew, the motor
3	代名詞	it
4	複合名詞	the motor shaft
5	新しく生成された対象	the worm assembly

図5-3 前処理で対応付けのできなかった名詞句

・並べかえによる予測

今、部品表には図5-4(a)に示すような5種類のモーターがあり、motor という単語から5つの部品に対して、対応付けがされているとする。ここで、"the wrist rotate motor" という名詞句が現れると、5つの中からH3が、ただ1つの候補として確定し、図5-4(b)のように、並べかえが行われ順位が変わる。次に、"the wrist motor" という名詞句が出現したとき、対応する候補は、H2, H3の二つが考えられる。そして、H3の方が順位が高いため、まずH3であると予測して、他の部分の解析が進められる。このように単語から対象を指すリンクに順序付けを行い、あとで述べる原則の適用により、いくつかの要素にしばれたときは、順序の最も高いものを候補として選び、それが先頭のリンクとなるように並べかえを行う。これを、並べかえによる予測と呼ぶ。

H1 (gripper motor)	H3 (wrist rotate motor)
H2 (wrist pivot motor)	H1
H3 (wrist rotate motor) →	H2
H4 (shoulder motor)	H4
H5 (arm extend motor)	H5
(a) 予測前	(b) 予測後

図5-4 並びかえによる予測

・省略された名詞句

省略された名詞句については、次の原則により、対象への同定を行う。

(原則1) ひとつの節の中での名詞句に対応する対象は排他的である。

それぞれの名詞句は、節の中で主語、直接、間接目的語などの表層格として存在しているが、それらは異なる対象を指す。例として図2-2の(文2)の主節を考える。

"press the part-2 into the worm with the tool-1"

ここには3つの名詞句があるが、(原則1)を用いれば、それぞれは異なる対象を指すことがわかる。対象と単語との対応付けにより、単語 worm は、part-1, part-2 の二つの対象へのリンクを持っているが、part-2 はすでに節中に現れているので除外され、part-1 が候補としてただ一つ残る。このとき(原則1)を用いても、複数の候補が残る場合には、並べかえによる予測を行って候補を一つ選び、他の候補は、選択点として残し、解析を進める。

・ 代名詞

代名詞は、直前に解析された節や文の名詞句の同定結果を、入力文の順序と逆にたどることにより行う。このとき(原則1)の適用を行い、適さない対象を除外し、最初に原則にあてはまるものを候補とする。これは、一つの文では主節→従属節の順に、また、一つの節の中では、主語→目的語→その他の要素の順に行う[11]。図2-2(文4)を例として示す。

"Mount the assembly-1 onto the part-3 cy-9 as far as it will go with the part-4 toward the part-3"

直前の節では、assembly-1 が目的語で、"part-3 cy-9" がその他の要素となるので、assembly-1 が第一候補である。これは(原則1)に反しないので、it は assembly-1 を指すと考えられる。

・ 複合名詞の同定

ここでの複合名詞とは、'名詞1 + 名詞2' の形を指す。名詞1は分類詞と呼ばれ、主要名詞である名詞2と区別される。そして、分類詞と主要名詞それぞれが、組立て世界での対象を指す場合には、全体一部分の関係が成立する。

例えば、図5-5のように、"the motor shaft" という名詞句のうち、motor には対象 part-3 への、shaft には対象 cy-9 と part-2 へのリンクがあり、また、part-3 は4つの基本立体からできているという構造データを持っている場合について説明する。まず主要名詞である shaft から対象へのリンクは、2つある。そして、分類詞である motor が指す対象は part-3 であり、(part-3, part-2) と (part-3, cy-9) の組合せのうち、モデルの構造データから (part-3, cy-9) が全体一部分の関係を満たすので選ばれる。このように、分類詞と主要名詞を区別して複合名詞の処理を行うことにより、motor shaft と shaft motor との意味の区別をつけることができる。

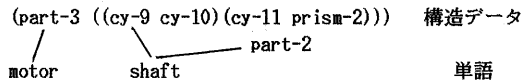


図5-5 複合名詞での対象の同定

・ 組立て品の同定

組立て品の対応付けで述べたように、組立て品は、最初単語 assembly との対応付けのリンクが作られる。図2-2の(文4)のように、"the worm assembly" と、修飾語 worm がつく場合には、複合品詞での全体一部分の関係を利用し、組立て品の構成部品の中で単語 worm とのリンクのある部品があるものを選べば、対応付けの候補をしぼることができる(図5-6)。このようにして、組立て品の同定が終わると worm のような新しい修飾語と、組立て品との対応付けを行って次の同定に備えておく。

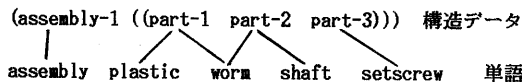


図5-6 組立て品での名詞句から対象への同定

5.3 修飾語の問題

図2-2の(文2)のように、(前置詞+名詞句)という形の句が並ぶと、どのような修飾関係が成り立っているかは構文解析では決定できず、それぞれの名詞句について、組立て世界の中でどのような意味を持つかを知る必要がある。対象の同定により、(文2)の主節が

"press part-2 into part-1 with tool-1"

と変換されたとする。この時、"with tool-1" が副詞句となって press を修飾するか、形容詞句となって part-1 を修飾するかは、組立て世界でのそれぞれの対象のデータを参照し、どちらの部品が工具 tool-1 を用いるのにふさわしいのかを決めることにより、構文解析でのあいまいさを決定することができる。この場合では、部品 part-1 の基本立体である prism-1 が tool-1 を用いることができる、というデータが与えられているため、"with tool-1" は part-1 にかかる形容詞句であると決定される。

5.4 動詞文型の処理

動詞から動作フレームへの対応付けは、動詞文型をテンプレートとして行う。動詞文型 VP15A で用いられた3つの動詞は、全て insert フレームに変換され、図5-7のパターンにより、図5-8に示す insert フレームのスロットに値が割当てられる。各スロットには、あてはまる対象のクラスが記述されている。object, target には部品クラスが、tool には、工具をクラスを持つ対象が入る。object と target は、モデル操作部での組立てのシミュレーションのため、図5-9のように、4つのレベルに詳細化する。このうち、言語情報だけでは決定できない部分は、未定のままにしておく。

```

start OBJECT into TARGET → insert
press OBJECT into TARGET → insert フレーム
mount OBJECT onto TARGET → insert
  
```

図5-7 VP15A での抽出パターン

```

(insert (vp (value VP15A)
            (verb (value start)
                  (prep (value into)
                        (object (value part-1) (class part))
                        (target (value part-2) (class part))
                        (tool (value nil) (class tool)))
  
```

図5-8 start part-1 into part-2 から生成されるインサート・フレーム

	一緒に動く部品	部品	基本立体	向き
object		part-1		
target		part-2		

図5-9 詳細化される対象

6. 組立て動作の理解

モデル操作部では、言語解析で得られた結果を用いて、図6-1に示す手順で処理が行われる。現在のところ、組立ての際におけ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、部品の三次元幾何モデルを用いて衝突検出 [1 2] を行っている。工具や手の大きさは無限小とし、部品のみが大きさをもつとしている。

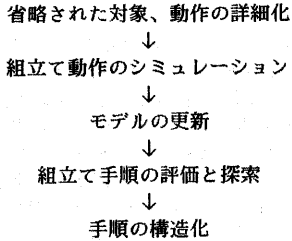


図6-1 モデル操作部での処理の流れ

6.1 動作のシミュレーション

・ 省略された対象、動作の詳細化

まず、言語処理で得られた動作フレームのスロットのうち、言語処理では補足されなかった部分を、部品のデータを用いて値の割当てを行う (図6-2)。次に幾何モデルで、挿入のシミュレーションを行うために必要な動作を計画するため、図6-3に示す、一軸方向の組立て手順を用いて動作の詳細化を行う。部品の挿入を行うには、軸合わせ、索合、衝突検出が行われている必要がある。挿入動作に出会うと、挿入動作の前提リストを用いて、衝突検出が行われているかを調べる。このように、前提リストが真である状態で動作が省略されたとみなし、前後の動作を関係付けて、組立てプランを生成する。

	一緒に動く部品	部品	基本立体	向き
object	nil	part-1	cy-3	+
target	nil	part-2	cy-9	-

図6-2 詳細化される対象

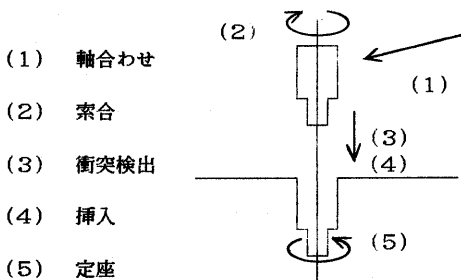


図6-3 一軸方向の組立て手順

・ 組立て動作のシミュレーション

生成したプランに基づき、部品の三次元位置を動かし、衝突検出 [1 2] を行う。2つの部品を組合せるとき、どのように組合わせるか、つまりどの基本立体、面どうしが重なるかの組合せを、衝突検出により調べる。図6-4のようにネジを挿入する時、軸方向の衝突検出により、1~4の面と接触することがわかる。ネジ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とき、挿入をどこで止めるかは、この時点では決まらない。そのような時は、例えば、まず4の面まで挿入するという仮説を採用した後、残りの文の解釈を行う。他の解釈は、バックトラックして戻ってきた時の選択点として残しておく。

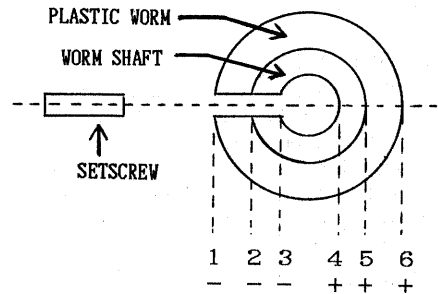


図6-4 衝突検出による接触面の検出

・ モデルの更新

挿入動作によって、部品間にどのような接続関係が生じたかを調べ、部品間の接続関係を更新する。次に、それら組み合わさった部品を構成部品とする、組立て品フレームを生成する。

図6-5 ~ 図6-9に、正しい組立てプランに基づく、部品の組立てのシミュレーションの例を示す。

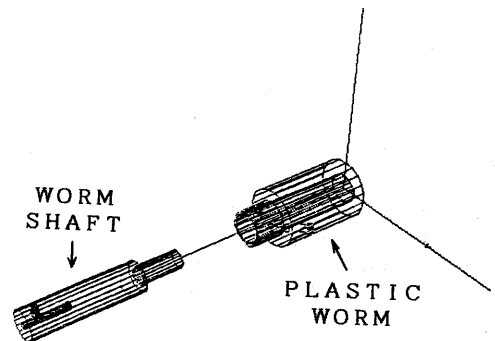


図6-5 WORM SHAFT と PLASTIC WORM との軸合わせ

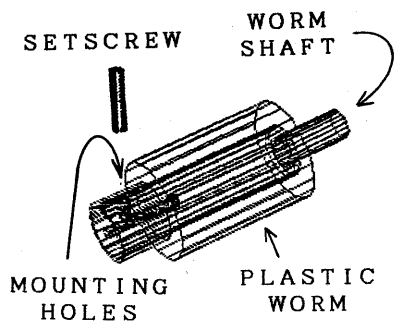


図6-6 SETSCREW の軸合わせ

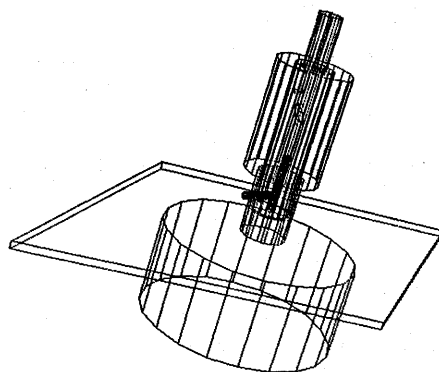


図6-9 完成した MOTOR ASSEMBLY

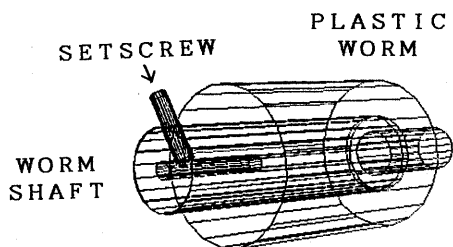


図6-7 組立てられた WORM ASSEMBLY

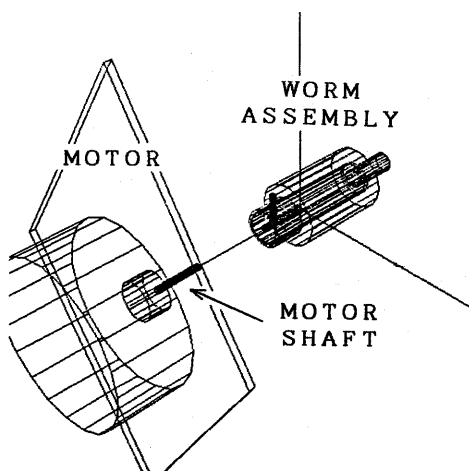


図6-8 WORM ASSEMBLY と MOTOR SHAFT との軸合わせ

6.2 組立て品の評価と探索

・ 組立て手順の評価

組立て手順の評価は、組立て動作のシミュレーションで生じた組立て品の構成部品間の接続関係を調べて、正しい組立て品であるかを判断することにより行う。システムには、組立て品の最終状態が与えられていないため、どのような接続関係が正解かは決定できない。部分的な組立て品の、望ましい状態は一意には決まらないが、部品名や組立て品の名称などが、局所的接続関係の適否を判断するのに有効である。そこで正しい組立て品であるかどうかを調べる知識を与え、それらを用いて組立て品を評価し、正しい組立て手順の解釈を得たかを判断する。

システムに与えられた組立て品評価の知識を次に示す。

(1) 一つの組立て工程で用意された部品はすべて使われ、最終的な組立て品の一部となる。すなわち、ひとつの工程に用いられる部品、部分組立て品の名称は予め判っているとす。 (組立て品の一部とならない物体は工具とみなしている。) そして、一つの組立て工程を終了して接続関係のない部品が残れば、この組立て動作の解釈は正しくない判断され、バックトラックがおきる。

(2) 組立て品の構成部品間の接続関係は、特別な部品以外は固定接続となる。特別な部品とは、特別な接続関係を生じる部品であり、例えば、以下の例がある。

shaft	一軸まわりの回転
sctrew	他の部品を拘束し、固定接続を起こす
worm, gear	回転運動の伝達

これらを含む部品では、接続関係を考慮した特別な評価を行う必要があるため、shaft や screw などの物体のクラスに、生じると予想される接続関係を望ましい接続関係という形の知識としてシステムに与えておき、組立て品の評価に用いる必要がある。現状では、全ての部品が固定接続されたかどうかという簡単な評価のみを用いて実験を行っている。

・ 組立て手順の探索

一つの組立て工程での入力文の解釈が終了し、組立て部品ができること、今述べた方法により、構成部品間の接続関係の評価を行う。正しくない評価されると、別の解釈のある選択点までバックトラックがおり、正しい組立て品を作る組立て手順を縦型に探索する。このようにして、正しい組立て手順を生成することにより、組立て工程全体での組立て動作を理解したことを示すことができる。得られた組立て手順を図6-10に示す。

- A1: WORM-SHAFT と PLASTIC-WORM の組立て
- A2: SETSCREW と WORM-SHFT の軸合わせ、衝突検出、挿入
- A3: WORM-ASSEMBLY と WRIST-ROTATE-MOTOR の組立て
- A4: SETSCREW の定座

図6-10 得られた組立て手順列

6.3 手順の構造化

典型的な組立て工程では、図6-11のようにまず、いくつかの部品を組立て、次に作った組立て品を一つの部品とみなして、それを別の部品に取り付ける、という二つの動作の連続と見ることができる。そこで組立て品が完成することに、それに要した組立て手順を一つにまとめる。

組立て品がいつ完成したかは、言語情報を用いて、組立て品を指す "the worm assembly" のような言葉が入力文に出現するか、また次の組立て動作に、組立て品が一つの部品として用いられるかを調べることにより判断する。そして、組立て品が完成すると、その組立てに用いられた手順をまとめて、図6-12のように、構造化を行う。

このように構造化された組立て手順は、組立て手順の評価に失敗してバックトラックする際に、どの部分が正しく組立てられていないのかを検出し、正しくない部分の組立てのみをやり直すといった、依存によるバックトラックの実現や、分解・組立てコンサルタント・システムで、ある部品を取り出したとき、与えられた分解手順をシークンシャルにたどるのではなく、取り出したい部品を含む組立て品のみを分解し、他の組立て品は取り外した後、分解しないでおくといった効率的なアドバイスを行うことなどに利用できる。

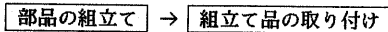


図6-11 典型的な組立て手順

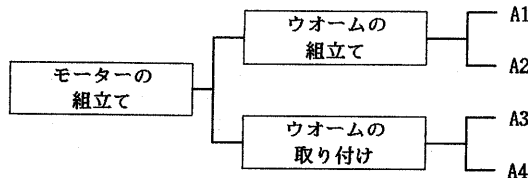


図6-12 組立て手順の構造化

7. おわりに

組立ての説明文と部品の三次元形状モデル、接続関係を用いて、組立ての動作を解析して組立て手順を探索し、まとまりのある手順を一つにして構造化を行うシステムについて述べた。現在のところ、構文解析、モデル操作部が一部完成し、その他の部分については、作成中である。尚、システムの作成には、LMI 社 Lisp マシン lambda を用いている。

8. 参考文献

- [1] Terry Winograd, "Understanding Natural Language", Academic Press, 1972
淵一博 他訳「言語理解の構造」産業図書, 1975
- [2] 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て可能性判断システムの開発」、精密機械 49巻2号、1983
- [3] 長沢勲、「DALにおける対象指向プログラミングと組立て構造表現への応用」情報処理学会グラフィックスとCADシンポジウム論文集、1984
- [4] A.M.Segre, G.Dejong, "Explanation-Based Manipulator Learning: Acquisition of Planning Ability Through Observation", IEEE Robotics and Automation, 1985
- [5] "HERO ROBOT Arm Accesary Mannual" HEATH COMPANY, MICHIGAN 1982
- [6] R.Tilove, "Extending Solid Modeling Systems for Mechanism Design and Kinematic Simulation", IEEE Computer Graphics and Applications 3.3(May 1983)
- [7] A.S.Hornby, "Guide to Patterns and Usage in English", Second Edition, Oxford University Press, London, 1975
伊藤健三訳「英語の型と語法」第2版、オックスフォード大学出版局, 1977
- [8] A.S.Hornby, "Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English" Revised Version, Oxford University Press, London, 1980
- [9] 山本利文、辻井潤一、長尾真、「Mu-プロジェクトの英日機械翻訳システムにおける多品詞語の解消」、情報処理学会 自然言語処理研究会、53-7、1986
- [10] 松本裕治、田中穂積、「Prolog に埋めこまれた bottom-up parser: BUP」、情報処理学会 自然言語処理研究会、34-6、1982
- [11] 西田豊明、小坂晃、堂下修司、「ハードウェアマニュアルからの情報の自動抽出に関する考察」電子通信学会 オートマトンと言語研究会、AL82-68、1982
- [12] 山田誠二、安部憲広、辻三郎、「電気ドリル分解・組立てコンサルタント・システムの作成」情報処理学会、「知識情報処理」シンポジウム論文集、1985