

コミュニケーションメディアとしての 説明図入り文書の自動生成 —機械組立てマニュアルの生成の場合—

李 仁浩[†] 大矢宗樹[†] 淡 誠一郎^{††}
馬場口 登[†] 北橋忠宏[†]

本論文はメディア統合へのひとつの試みとして、機械組立てを対象に図と言語を併用した組立てマニュアルの自動生成のための一手法を提案している。まず、図と言語の一般的な情報伝達特性についてまとめ、マニュアルに盛るべき内容に関する情報を与える表現として、組立て二分木とよぶ構造化記述を定義する。その記述を組立て説明に適した単位に分割する考え方とそれに適合する属性を示し、その各々に対応する説明図の生成、および図のみでは不足する情報の説明文を用いた補充によって、これらを統合したマニュアルを生成する一手法を示している。この手法に基づく実験システムをワークステーション上に実装した。このシステムでは、部品に関する CAD データおよびその組立て二分木を原データとして与え、出力の説明図の個数および説明文の詳しさを指示する生成パラメータをユーザが要求に応じて対話的に入力することによって、説明図と説明文からなる説明書の生成を試みた。

Automated Generation of Documents Including Illustrations as Communication Media — A Case of Generating Assembly Manual —

INHO LEE,[†] MUNEKI OHYA,[†] SEIICHIRO DAN,^{††} NOBORU BABAGUCHI[†]
and TADAHIRO KITAHASHI[†]

In this paper, as a trial toward media integration in a document, we discuss the problems that stem from generating a machine assembly manual with illustrations and explanatory sentences. We first analyze the role of illustrations and sentences in assembly manuals. From the study of generating an assembly manual of a machine we learn that the task requires the assembled CAD model of the machine and some properties of parts. We propose a binary tree expression for describing the assembling order and related matters to cope with varying requirements from users as well as to convey information for reasonable grouping of some parts for explaining the assembling process. Illustrations of each parts group can readily be derived from the proposed expression, and explanatory sentences for it could be produced by making use of prepared several templates. A prototype system is built on an EWS and a couple of exemplified manuals are generated.

1. はじめに

人間は、相互間のコミュニケーションにおいて、音声、文書、映像などの多様なメディアを状況に応じて協調的かつ相補的に巧みに使い分け、効果的に情報を伝達している。マンマシンインタフェースの向上という観点からは、人間と機械システムとの間でもこれと同様のコミュニケーションを実現するための技術開発

が望まれるところである。個々のメディアを用いて表現された情報の理解あるいは生成に関しては、パターン認識・理解、自然言語処理、コンピュータグラフィックス、CAD などの分野でそれぞれ独立に研究が進められてきたが、マルチメディア情報の理解と生成、特に生成については単にこれらの技術の寄集めで実現できるものではない。それは伝達情報の本質を表す内部表現から複数の表象メディアを用いた外部表現への変換は一意的ではなく、内部表現された伝達情報をいかに分割して外部表現のメディアを割り当て、また全体として無駄なく整合のとれた情報として統合するかということに関するこれまでにない知識が必要となるか

[†] 大阪大学産業科学研究所
ISIR, Osaka University

^{††} 近畿大学理工学部
Faculty of Science and Engineering, Kinki University

らである。

このような問題意識を持ってマルチメディア情報の自動生成といえる内容を扱った従来研究としては、図と言語を用いるものとして、COMET¹⁾、WIP²⁾などがあげられる。これらのシステムはあらかじめ与えられた説明対象に関する知識と説明の伝達目標の論理表現を基にして、図と文からなる一連の説明を導出するというアプローチをとっている。これらのシステムは汎用性を重視して説明対象や内容を特定しておらず、知識の入れ替えによりどのような対象に関するどのような説明でも生成できる。しかし、これは逆にいえば説明生成の可否は基本的にユーザ任せであるということであり、機械組立てのような複雑な構造の説明生成のための知識をどのように記述、獲得するかという点については検討されていない。また、ユーザが生成結果に満足できない場合への対応についても検討が十分ではない。

一方ここ数年、図と文を含むドキュメントとして機械部品の組立てマニュアル、教科書、辞典、図鑑などを対象とする研究がさかんになり^{3)~7)}、計算機による理解を目指して画像と言語の役割分担の解明、また少数であるが同様のドキュメントの生成を指向した両者の統合技術の開発を課題とする研究も進められている^{8)~13)}。

本稿では、これらの成果をふまえて、機械組立てを対象に図と言語を併用する組立てマニュアル全体の自動生成について検討し、組立てマニュアルの自動生成システムを試作したので、これを報告する。

まず、これまでに得られた知見に基づき、組立てマニュアルの生成に必要とされる知識についてまとめ、機械部品の組立てに関する情報すなわちマニュアルに盛るべきすべての情報を記述するメディア独立な情報表現として、組立て二分木とよぶ構造化記述を定義する。次いで、この記述を基にして組立て説明に適した単位にこれを分割し、その各々に対し説明図および説明文となる外部表現を生成し、これらを順序立てて並べることによってマニュアルを生成する。この際、分割の単位、図の大きさなどに自由選択の余地があり、これらは利用者がパラメータとして与えることにした。このような考えに基づき、組立て二分木として表される組立て情報と生成パラメータをユーザが与えたとき、組立てを説明するための説明図と説明文を生成する実験システムを試作し有効性を検証した。

2. ドキュメントの生成に要する知識

ドキュメントはある内容の情報を要求される目的に

適合した形式で表現するメディアのひとつである。したがって、その生成には2種類の情報が必要になる。まず第一に、説明対象となるオブジェクトに関する説明内容を表すに足るだけの十分な系統的・網羅的な知識が必要である。これはメディア独立な知識であり、ここでは内容情報とよぶことにする。次いで、表示のための知識あるいは情報も必要となる。これはメディアに依存する知識であり、表示情報とよぶことにする。これまでこのような課題自体が工学の対象にならなかったため、その一般的な定式化はできていない。本稿では機械部品組立てマニュアルという事例を用いて、内容情報と表示情報に関する基礎的な知識を明らかにすることを目的とする。

組立てマニュアルはいくまでもなく、組立て操作を記述するものであるため、その対象となる部品に関する情報は当然として、それ以外に次のものが必要になる。(a) 内容情報としては、組立て順序、組立て操作、組立て程度、(b) 表示情報としては、個別的説明の大きさ、メディアの選択、表示様式(投影法、視点、対象の姿勢・配置など)の決定に要する情報である。

以下、これらの情報の入力あるいは獲得・記述、および選択・処理に関する本稿での方針を述べる。

2.1 説明内容に関する総情報—内容情報

計算機によるドキュメントの生成には、上述のような情報をどのような表現様式で記述するかが重要な問題になる。組立てマニュアルにおいては機械の部品データ、構造、組立て過程などの情報を計算機で処理できる形で記述する必要がある。また、組立て動作の結果として生じる部分的完成部品についての情報も必要である。このためメディア独立な組立て情報の記述形式として組立て二分木と名付ける木表現を用いる。部分的完成部品と組立て二分木の詳細については後述する。

2.2 内容情報の分割

説明の情報伝達効果の向上を図るためには、内容情報を複数のステップに分けて説明することが多い。そのため内容情報をどのような表示単位に分割するかの基準が必要である。

機械組立てマニュアルでは、組立て順序に沿って説明することが一般的であるため、組立てマニュアルでの内容情報の分割は、部品から完成品に至るまでの組立て過程を複数のステップに分割することを意味する。このとき人間は分割の基準として機能的にまとまりのある、いわば意味的な単位を用いることが多い。しかし、マニュアルの自動生成の際には、これを部品形状および操作といった客観的要素の組合せによって表現

表1 組立てマニュアルにおける記述事項と伝達メディア
Table 1 Explanation subjects and kind of media.

記述事項	図(説明図)	言語(説明文)
部品形状	○	×
部品と部品名の対応	○	×
組立て方向	○	×
組立て前後の部品配置	○	△
組立て程度	△	○
組立て条件	△	○
組立て順序	△	○
組立て効果	×	○
道具, 手段	△	○
注意事項	△	○

○: 記述事項の伝達メディアとして適している。
△: 記述事項を詳細に表したい場合に他と併用される。
×: 記述事項の伝達メディアとして適していない。

する必要が生じる。そのような一提案は文献12), 13)にある。ここでは、機械要素名と組付け方向をその基準として用いた。これについてもその詳細は後述する。

2.3 メディアの選定

3次元物体を対象とする説明では、図は物体の形状、大きさ、相互位置関係などの幾何学的情報、ならびに色、表面反射特性などの光学的情報を表現するのに適し、かつ大局的な理解が促進される。一方、言語は物体の硬さ、重さ、肌ざわりなどの視覚的には記述し難い物理的属性をはじめとし、操作法、手順、効果さらには用具、手段といった概念的、時間的な情報の表現に適し、記述内容は逐次的に理解される。

以上のような点について、組立てマニュアルにおける記述事項とその事項がいずれのメディアで記述されているかをまとめた結果を表1に示す。部品形状、部品と部品名との対応、部品の組立て方向、部品配置といった空間的、具体的な情報の記述には説明図が適しており、一方、組立て順序、組立て効果といった時間的、あるいは機能的な記述には説明文による記述が適している。また、組立て程度や組立て条件に関しては言語が適しているが、より詳細に記述する場合には図が併用されるなど知見がまとめられている。

2.4 説明図生成のための知識

次いで重要なのは、内容情報を図や文によりどのように表示するかという問題である。これは多くの任意性を持つ、いわば感性に基づくものと考えられるが、対象領域によっては、これまでの経験をまとめた標準的手法が存在する。ここで対象としている機械組立ての場合、図表示には拡散分解図(テクニカル・イラストレーション)法¹⁴⁾という標準化された手法がある。これは限定された領域における一般化された表示のための知識であると理解される。ここではこれを利用す

る。これによって、3次元物体の投影法と視点と部品姿勢が限定される。

2.5 説明文生成のための知識

組立て説明文は、比較的単純な構文則を持っている⁸⁾。本稿では、説明文生成には説明文テンプレートを定義し、そのテンプレートに組立て説明記述の値を埋め込むことにより説明文を生成する。テンプレートは何種類か用意し、いずれのテンプレートを利用した説明文を生成するかは、生成パラメータの説明文テンプレートタイプにより指定する。

2.6 メディア間の協調

組立て程度や組立て順序のように、図と言語いずれの情報表現を用いても説明できる内容については、必要以上のリソースを使うことなく必要な情報がすべて説明できるように、メディア間での協調が必要である。たとえば、組立て順序は1ステップずつ図に描くことによっても、何ステップかをまとめて1枚の図に描いて順序を文で説明することによっても表現できる。この2つの場合における説明文は自ずと異なる。すなわち、説明の無駄な重複と漏れをなくすことがメディア協調の基本的な指針である。

本稿では図と言語という2種類の情報表現がそれぞれ役割を担って別々の側面を説明することになっているため、上述のようなメディア協調については検討が不十分である。しかし、図と言語がそれぞれ役割を分担していても、それが同じ組立て操作に関連する説明である以上、両者を関連付けるいわばクロスモーダルな情報は不可欠である。

本稿では説明図の基本的な記述形式として拡散分解図を採用しているが、拡散分解図においては部品そのもの以外に、部品名などのラベルやラベルと部品、部品と部品の対応を表す補助線が必要になる。これらの補助線はまさしく図と言語による説明を関連付け、両者の協調した説明を形成するためのクロスモーダル情報である。

3. 内容情報の詳細—組立て二分木による組立て情報の記述

本稿で考察の対象とする部品組立ては、シーケンス性、単調性、コヒーレンス性¹⁵⁾が保たれ、2部品の相対的な平行移動による組付作業の連続として記述できるものとし、1つの組付における移動可能方向は空間において直交する3方向のうちの1方向のみと限定する。このような対象における機械部品の組立て過程は、部品1(部分的完成品1)を部品2(部分的完成品2)に組み付ける動作の系列であると考えることが

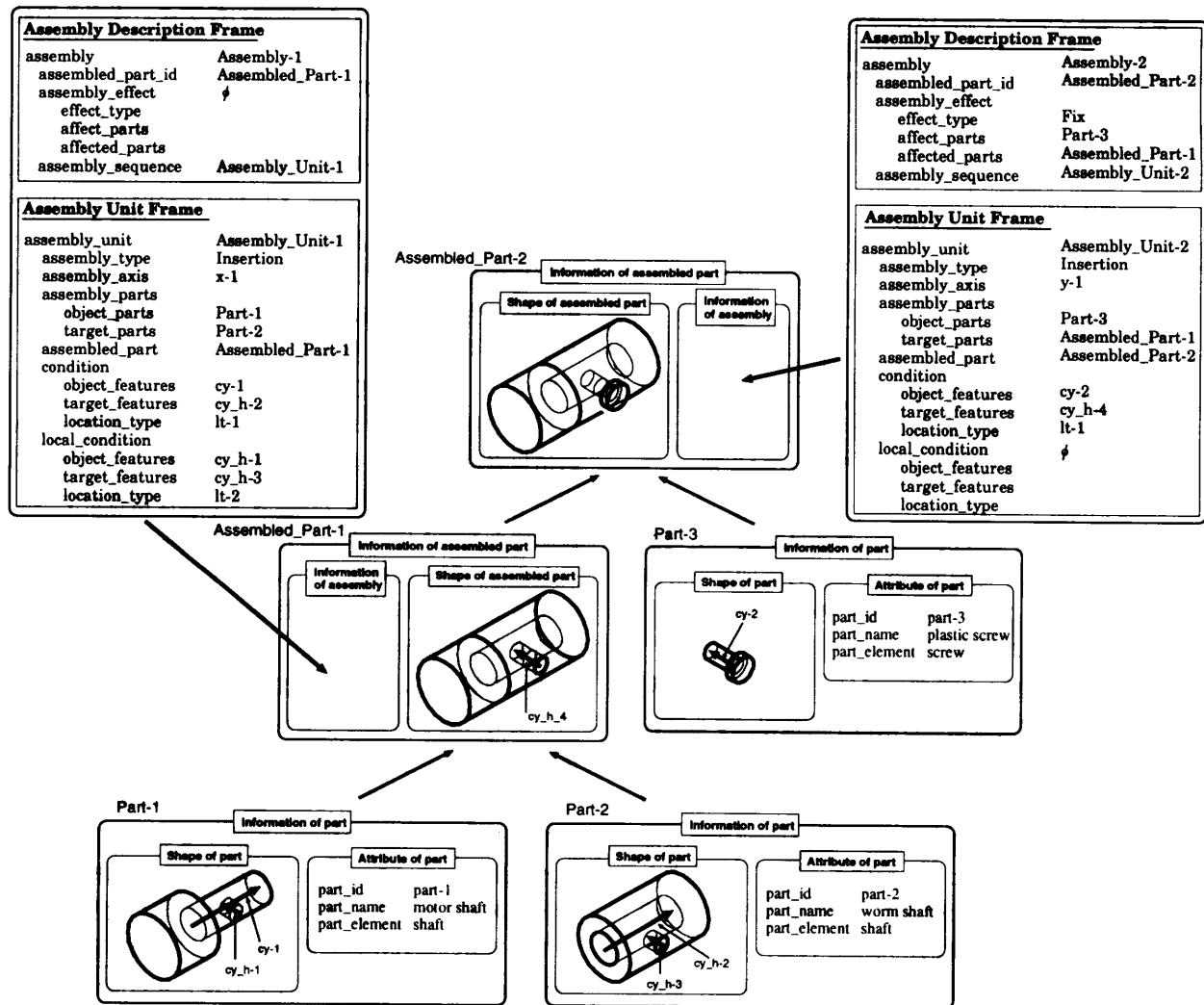


図1 組立て二分木の例

Fig. 1 Example of assembly binary tree.

できる。本稿では、前者の部品をオブジェクトパーツ、後者の部品をターゲットパーツとよび、両者を組み付ける動作を要素組立てと定義する。また、要素組立ての系列を組立て手順、要素組立てにより作られる組立て途中の部品を部分的完成部品とよぶことにする。

以上のような観点から、組立てに関する情報の記述には二分木が適切であると判断した。本稿では組立てに関するすべての情報を二分木で表現し、これを組立て二分木と名付けた。この組立て二分木を構成するノードは図1に示すように2種類あり、1つは部品情報 (Information of a part) を表し (リーフ)、他の1つは部分的完成部品情報 (Information of an assembled part) を表す (リーフ以外のノード)。

部品の形状と組立て順序が与えられれば、パターン認識的アプローチにより部分的完成部品に関する情報を求めることで組立て二分木は自動生成可能であるこ

とが知られている^{16),17)}。また組立て手順そのものを自動的に導出する手法は、機械系分野において数多く提案されている^{18),19)}。したがって、マニュアル生成を目的としたとき、組立て二分木にどのような情報を記述するかが中心的課題であり、これについて以下に述べる。

3.1 部品情報

部品情報は部品についての情報として、部品の3次元形状データと属性情報からなっており、フレームを用いて表現されている。図1ではこれを宣言的な形式で表示している。

3.1.1 部品の形状

部品の形状は、機械設計の分野で部品組立てを考慮に入れたの形状表現として利用されている形式を用いて記述する。これはCADデータに加えて、組立てに関する特徴部情報から構成される。特徴部情報とは部

品の部分的な特徴を表す情報であり、特徴部タイプ、特徴部ベクトル、半径等からなる。

これらのうち特徴部タイプは、Cylinder, Cylindrical Hole, External Thread, Internal Thread, Bearing Hole, Key, Key Hole といった機械部品の特徴部の種類を示す。たとえば、図 1 の Part-1 の部品は cy_h-1 (Cylindrical Hole), cy-1 (Cylinder) の特徴部により構成される。

3.1.2 部品の属性

部品の属性は、各部品を特定するための属性である部品番号、部品の一般的な名称（六角ボルト、モータ軸、取付け台など）である部品名、機械要素名である。機械要素名とは、締結用部品（ねじ、ボルト・ナット、キー）、軸受、歯車といった機械に共通して用いられる部品の用途・機能などを表した名称を意味する。

3.2 部分的完成部品情報

部分的完成部品情報とは要素組立てにより新たに生成される部分的完成部品の情報であり、形状情報と組立て情報からなっている。

3.2.1 部分的完成部品の形状

部分的完成部品の形状の記述形式は部品の場合と同じ形式である。しかしその特徴部は、組立て部品の特徴部の接合により生成された特徴部である。たとえば、図 1 の Assembled_part-1 の場合、Part-1 と Part-2 の要素組立てにより、特徴部 cy-1 と cy_h-2 は削除され、cy_h-1 と cy_h-3 は新たな特徴部 cy_h-4 になる。

3.2.2 部分的完成部品の組立て情報（組立て記述フレーム）

部分的完成部品の組立てに関する情報は組立て記述フレーム (Assembly Description Frame) により記述される。このフレームは、部分的完成部品の番号を表すスロット、組立て効果を表すスロット、またその効果を実現するための組立て系列を表すスロットを持つ。

(1) 部分的完成部品 ID (assembled_part_id)

要素組立てにより生成された部分的完成部品を特定するための属性である。

(2) 組立て効果 (assembly_effect)

組立て効果は部品の固定や支持といった組立てにより生じる効果のタイプ (effect_type)、その結果を実現する部品群 (affect_parts) と効果を受ける部品群 (affected_parts) の部品番号リストからなる三つ組である（図 1 の部分的完成部品の組立て情報 (Information of assembly) の上部参照）。

(3) 組立て系列 (assembly_sequence)

組立て系列は別に定義される要素組立てへの参照名のリストである。組立て記述フレームは連続する組

て系列による組立て部品も表現できるよう一般的に定義されており、その記述を組立て記述とよぶ。しかし、入力情報としての組立て二分木における部分的完成部品は 1 つの要素組立てとのみ関連付けられているため、組立て系列は単に要素のリストになる。このような組立て系列を持つ組立て記述を要素組立て記述とよぶ。要素組立ての具体的内容は要素組立てフレーム (Assembly Unit Frame) として記述される（図 1 の部分的完成部品の組立て情報の下部参照）。このフレームには、組立て種類、組立て軸、組立て部品、組立て条件といった情報が記述される。組立て条件は組立てにより接合関係が成立する部品の特徴部ペアを示し、組立て軸に関する組立て条件を記述する項「condition」と、組立て軸に無関係な組立て条件を記述する項「local_condition」からなる。

4. 組立てマニュアル生成

本章では本稿で提案する組立てマニュアル生成手法の具体的な処理について述べる。組立てマニュアルの生成手続きの流れを図 2 に示す。組立てマニュアル生成は、組立て情報（組立て二分木）の入力、組立て情報の分割、マニュアル生成の順に実行する。ここでは入力は組立て二分木として与えるものとし、その構造および内容については前述した。以下では説明生成を中心に述べる。

4.1 組立て情報の分割

組立てマニュアルに限らず一般的に、説明内容を効果的に伝えるためには、内容を複数のステップに分けて説明することが多い。組立て説明の場合、部品から完成品に至るまでの組立て過程を複数のステップで説明するために、内容情報を表した組立て二分木をいくつかに分割する。

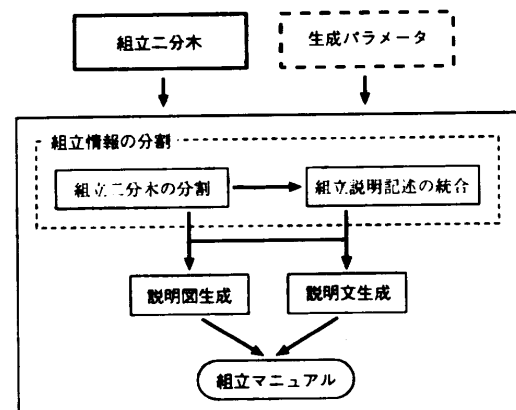


図 2 組立てマニュアル生成の流れ

Fig. 2 Diagram for generation of an assembly manual.

4.1.1 分割条件

通常、組立て方向の異なる組立てが混在した説明図は、組立ての順序や接合部位が曖昧となり適当な説明図とはいえないため、組立て方向は単一であることが望ましい。また、部品の締結や支持など組立てにより生じる効果を説明するような場合、一連の組立てが異なる説明図にわたるのは適当ではない。そこで組立ての空間的な特性を示す属性として組立て方向、機能的な特性を示す属性として機械要素名にそれぞれ着目し、これらを分割の基準とする。

4.1.2 組立て二分木の分割

組立て二分木の隣接するノードの組立て方向が互いに等しい場合、それらのノードは同グループとする。また、機械要素名に着目し、目的の機能を実現するための特徴部がすべて組み立てられるノードまでをその機械要素部品のグループとする。

組立て二分木の全ノードについて以上のグルーピングを行い、空間的分割と機能的分割を決定する。得られた分割について、それぞれ単独の分割あるいは分割の組合せに対してグループ数を計算する。

図3は、図7に示す機械に対する組立て二分木とその分割を示している（表示を簡素にするために図3には必要な情報のみ記述した）。この組立てに含まれる部品中では、Screw, Bearing, Key, Capが機械要素名である。分割により生成されるグループ数はそれぞれ、空間的同一性による分割の場合は3 ((Screw, Z), (Bearing, X), (Z)), 機能による分割の場合は4 ((Screw, Z), (Bearing, X),

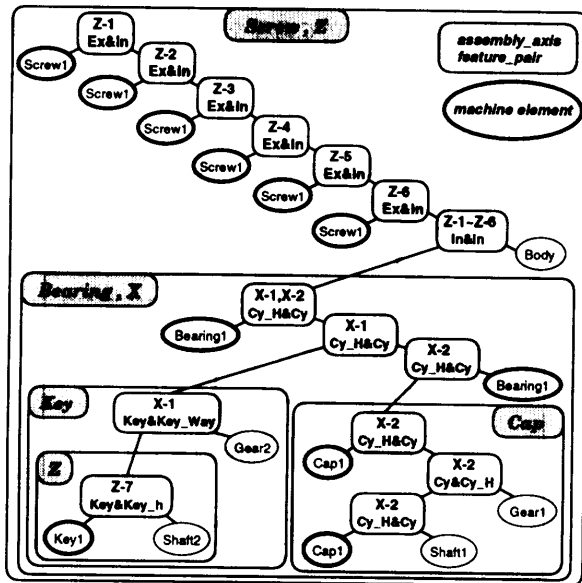


図3 組立て二分木の分割
Fig. 3 Division of an assembly binary tree.

(Key), (Cap)), 空間的かつ機能的分割の場合は5 ((Screw, Z), (Bearing, X), (Key), (Cap), (Z)), 空間的または機能的分割の場合は3 ((Screw, Z), (Bearing, X), (Z))である。この中のどれを組立てグループとして選択するかは入力パラメータにより決定される。たとえば生成パラメータの最大説明関数が4である場合は機能的分割を採用する。

4.1.3 組立て記述の統合

組立て情報の分割によって得られた組立てグループ中の各ノードの組立て記述フレームの内容を統合することにより、各グループに対する組立て記述を生成できる。

その手続きは次のとおりである。グループ中の全ノードについて組立て記述の各スロット値を統合し、そこからグループ中の各ノードの部分的完成部品IDと同じ値をすべて削除すれば、統合された組立て記述が得られる。図1のAssembly-1とAssembly-2をグループ化した場合、すなわち、この2つの連続する部分組立てを1枚の説明図で一度に説明する場合の組立て記述フレームを図4に示す。

4.2 組立てマニュアルの生成

組立て情報を表す組立て二分木と、各組立てグループに対して統合された組立て記述を入力として、説明図と説明文を生成する。ここで説明の種類・内容に適合したメディアの決定は2.3節で述べた結果を利用する。すなわち、表1の中の部品形状、部品と部品名の対応、組立て方向等のような事項は説明図を用い、組立て効果等のような事項は説明文を用いる。いずれのメディアによっても記述可能な事項については、優先順位の高いメディア(△よりは○)で記述する。

4.2.1 説明図生成

説明図は図5に示すように、拡散分解図法により、視点、部品の3次元配置、2次元平面への投影が決定され、それに加えて投影図上への部品のラベルや組立て方向を示す説明補助線などを配置するという手順で生成する。先に述べた拡散分解図法に関連して、部品とその名称などを結ぶ補助線(引出線)の引き方についても一応の規定が設けられている。

Integrated Assembly Description Frame	
assembly	Assembly-(1,2)
assembled_part_id	Assembled_part-2
assembly_effect	
effect_type	Fix
affect_parts	Part-3
affected_parts	Part-1,Part-2
assembly_sequence	Assembly_Unit-1, Assembly_Unit-2

図4 組立て記述フレームの統合
Fig. 4 Integration of assembly description frame.

部品の拡散分解配置の決定には、完成状態からの拡散分解図の生成法¹⁰⁾で用いられた方法を用いる。この方法は人間が拡散分解図を作成する際に用いていると思われる、知識を制約とする制約充足問題を解くことによって拡散分解図を得る方法であり、その過程で部品間の接続関係と理解しやすさを考慮した一貫性のある拡散分解配置を得ることができる。

次に、3次元的に配置された部品データを2次元平面に投影して拡散分解図を得る。投影方向は図5のように基本軸(3次元のX, Y, Z軸を投影した軸)をとる方向に固定し、部品群を軸まわりに回転させる。部品の配置方向は、3次元空間でのX, Y, Z軸の3軸に関して、各々90°を単位とした回転のみが許されるものとして、同じ面が見えるものを同一の見え方と数えれば計8通りの配置が考えられる。図に含まれる組立ての組立て種類が、Insertion, Screwの場合は、組立ての対象となる穴が見える配置となる回転変換を選択し、Hole Fittingの場合は、組立ての対象となる非貫通穴が見える配置を与える回転変換を優先的に選択する。

次に拡散分解図に呼出し線と部品ラベルを配置する。呼出し線およびラベルの重なり禁止、呼出し線の引出し方向、ラベルのならびに関する制約を充足する解を求めることにより、配置を決定する。これらについての技法はすでに開発済みである¹¹⁾。

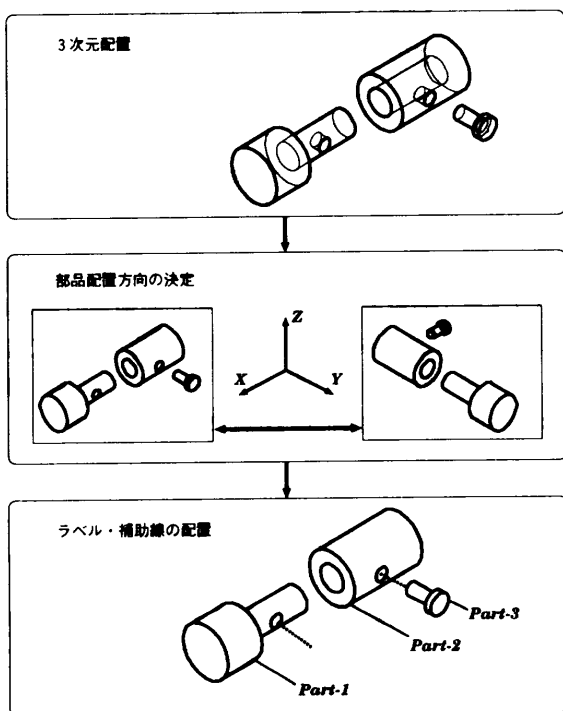


図5 組立て説明図の生成

Fig. 5 Generation of assembly manual.

以上の手順をすべての組立てグループに対して行い、全組立て工程の組立て説明図を生成する。

4.2.2 説明文生成

図6に本手法で用いる説明文テンプレート(assemblyテンプレート)を示す。assemblyテンプレートのT1は基本的な組立ての説明であり、T2は、T1に加えてEのテンプレート(以後、文型と記す)を用いて組立ての効果をも含めて記述する。また、必要に応じてLC文型も用いる。その条件は後述する例の中で説明する。

T1あるいはT2から具体的な説明文を得るには、4.1.3に示した組立て説明記述を参照し、その各スロット値を図6中の説明文型の対応する変数に代入する。このとき、第2文以降の文頭には「続いて」を置き、最終の文頭には「次に」を置く。実際に、*i*番目の説明ステップで生成された部分的完成部品については、「組立て手順*i*で組み立てられた部品」と具体的内容を盛り込む。また、同一ステップ中で生成される部分的完成部品については、「その部品」と代名詞表現によって参照する。

具体的には、図1の組立て説明記述から説明文を生成する過程を示して説明する。図中の2つの部分的完成部品に関する組立て説明記述は同図中、枠で囲われた記号群で示されているとおりである。

まず、図1中の最初の組立てを表す左側にある組立て説明記述の上部のAssembly Description Frameのassembly_effectのスロットを参照する。この値が ϕ であることは、組立ての効果も記述する必要がないことを示す。このため説明文型のT1が選択される。次いで下部のAssembly Unit Frameを参照し、各スロット値を選択したT1文型の対応する文型変数に代入する。すなわち、

AT:insertion = 挿入、

OP:Part.1 = motor shaft = モータ軸、

TP:Part.2 = worm shaft = ウォームシャフト

である。LTについてはconditionスロット中のlocation.typeを参照しその値を代入する。さらにLCについては、まずlocal.conditionの値を調べ、 ϕ の場合はこの項を無視し、 ϕ でない場合には、LC文型を選択しlocal.condition内のスロット値を対応する変数に代入し、LC文型を完成する。したがって、この例の場合、V:lt-2 = 合う、S:cy-h-1 = 穴1、OM:cy-h-3 = 穴3を得る。その結果をT1文型の変数LCに代入することにより、第1文型を生成する。その結果は次のとおりである。

「モータ軸をウォームシャフトに(穴3と穴1が合

[assembly テンプレート]

T1: $AT(OP, TP, LT, LC, M) \dots$

(*OP*) を (*TP*) に (*LT*) まで (*LC*) ように (*M*) で (*AT*) する。

T2: $AT(OP, TP, LT, LC, M, E) \dots$

(*OP*) を (*TP*) に (*LT*) まで (*LC*) ように (*M*) で (*AT*) し, (*E*)。

AT = assembly_type

OP = object_parts

TP = target_parts

LC = condition, local_condition

M = method

E = assembly_effect

[condition テンプレート, local_condition テンプレート]

LC: $V(S, OM) \dots$ (*OM*) と (*S*) が (*V*) する。

V = location_type location_type

S = condition.object_feature, local_condition.object_feature

OM = condition.target_feature, local_condition.target_feature

[assembly_effect テンプレート]

E: $ET(AP, DT) \dots$ (*AP*) で (*DT*) を (*ET*) する。

ET = effect_type

AP = affect_parts

DT = affected_parts

図6 組立て説明テンプレート

Fig. 6 Templates of assembly explanations.

う) ように挿入する.]

第2文においては, assembly_effect スロットがφでない。それゆえ, T2 および E 文型を用いる。T2 については, 第1文と同様にして, 図1の右側にある組立て説明記述の Assembly Unit Frame から変数を決定するが, この Frame では LC がφであり, LC 文型の導入の必要がない。E 文型についても, 同記述の上部の Assembly Description Frame の対応するスロット値から同様にして変数を決定し, 最終的に第2文を導く。このとき, Assembly-Part-1 は「sの部品」と代名詞化し, またこの場合, 第2文が最終文であるため, 文頭には「次に」を置く。したがって, 第2文は次のようになる。

「次に, プラスティックネジをその部品に挿入し, プラスティックネジでその部品を固定する。」

4.3 実装と生成例

内容情報の記述・分割, メディアの選択・協調・表示のための知識を用いて, 組立て二分木の分割, 組立て記述の統合, 部品やラベルの配置, テンプレートによる説明文の生成手法をそれぞれに必要な知識とともにワークステーション上に実装し, 組立てマニュアルの生成を試みた。構築システムでは, 組立て二分木と最大説明関数の生成パラメータをユーザが対話的に入力する。

構築システムの出力例として, 図7に示す機械の組立てを説明対象として与えた場合の説明図と説明文の生成例を図8に示す。図8は, 生成パラメータの

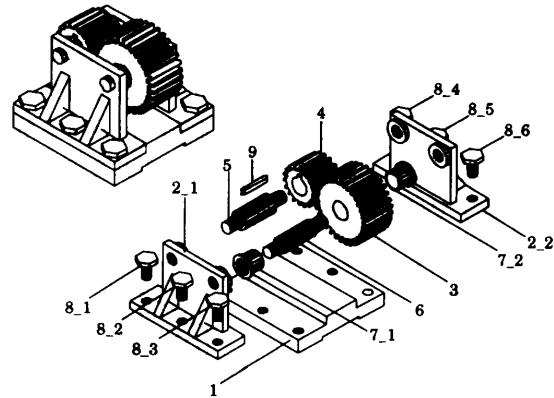


図7 組立て対象機械

Fig. 7 A machine for assembly.

最大説明関数を4, また図9は同じ説明対象に対し生成パラメータの最大説明関数を2にした場合の生成結果である。なお, 本システムのコアの作成にはC言語, グラフィカル・ユーザ・インタフェースの作成には xtpanel, 画像生成には IRIT を利用した。

5. むすび

我々は, 説明図を含む文書をマルチメディアドキュメントとしてとらえ, このような文書におけるメディアの役割分担や協調を意識しながら, これまで, その1つの典型として機械組立てマニュアルの理解ならびに自動生成という問題を考察してきた。本稿では, この過程を通して明らかになった機械組立てマニュアルにおける図と言語の情報伝達特性と組立てならびに

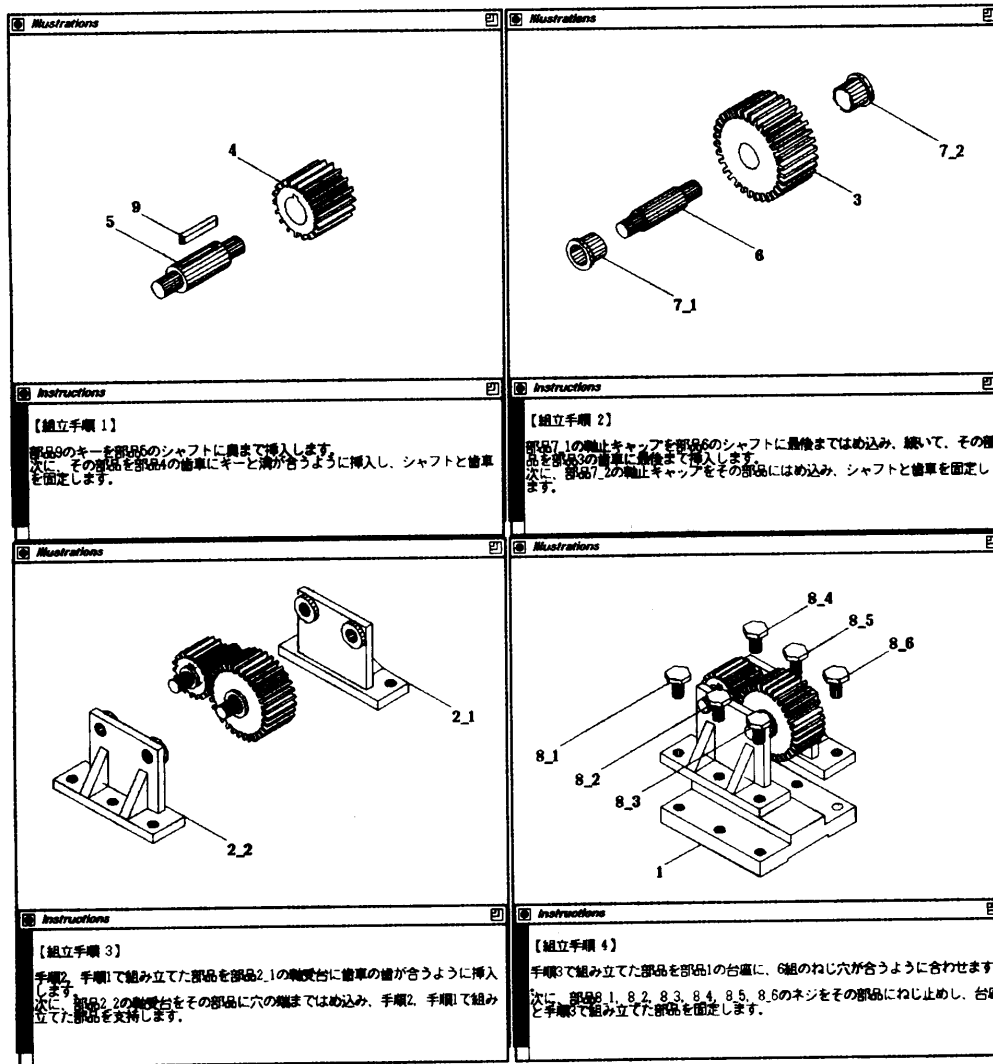


図8 組立てマニュアル生成例1

Fig. 8 An example of generated assembly manuals.

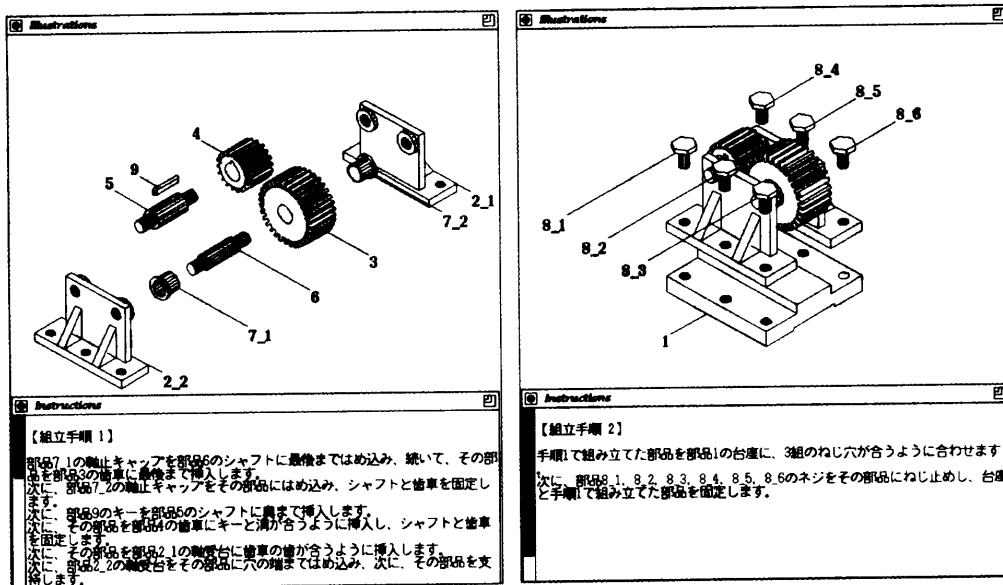


図9 組立てマニュアル生成例2

Fig. 9 Another example of generated assembly manuals.

表示に関する知識を整理するとともに、これらに基づいたメディア独立な内容情報の記述形式を提案し、この記述から説明を生成するために必要となる処理として、内容情報の分割、説明図と説明文の生成に関する手法を提案した。また、組立て二分木とユーザであるマニュアル作成者が与えた生成パラメータに基づき説明図と説明文を生成するシステムを試作した。

現在のシステムでは、生成された説明図や部品のスケール、文書中での位置はユーザが対話的に調整できるインタフェースを提供するにとどまり、これら説明図の二次元的なスケール、配置の自動化はできていない。ドキュメント生成の観点からはこのような空間的制約を考慮した説明図と説明文のレイアウトの自動化も検討していく必要がある。さらに発展課題として、部品移動以外の組立て（グリースの塗布や部品の溶接など）に関する説明文または句の生成や、複数の説明図による説明生成による改良、部品交換のための分解方法の説明などへの対象の拡張が考えられる。

謝辞 本研究の一部は文部省科学研究費補助金による。記して感謝します。

参 考 文 献

- 1) Feiner, S.K. and McKeown, K.R.: Automating the Generation of Coordinated Multimedia Explanations, *IEEE Computer*, Vol.24, No.10, pp.33-41 (1991).
- 2) Andre, E. and Rist, T.: Integrating Text and Graphics in an Automated Presentation System, *Artificial Intelligence Review Journal*, Vol.8, No.16, pp.88-97 (1994).
- 3) 岡田直之, 田町常夫: 図形の意味解釈とその自然語記述—意味分析—, *電子情報通信学会論文誌*, Vol.J59-D, pp.331-338 (1976).
- 4) 安部憲広, 曾我巖哉, 辻 三郎: 言語・画像を利用した行動の解釈 (1)—発話指示による対象の同定, *情報処理学会論文誌*, Vol.23, No.2, pp.124-132 (1982).
- 5) 伊藤元之, 久保 晋, 伊東幸宏: イメージ情報を利用した機械動作説明文の理解, *電子情報通信学会論文誌 (D-II)*, Vol.J78, No.6, pp.931-945 (1995).
- 6) 大城英裕, 賀川経夫, 遠藤 勉: ドリルテキストを対象とした言語と図形の理解システムの実現, *電子情報通信学会技術報告*, NLC94-02, pp.49-56 (1994).
- 7) 渡辺靖彦, 長尾 真: 画像の内容を説明するテキストを利用した画像解析, *電子情報通信学会技術報告*, PRU95-138, pp.19-26 (1995).
- 8) 安部憲広, 石川智浩, 辻 三郎: 組立て説明文からの組立て手順の生成, *人工知能学会論文誌*, Vol.3, No.5, pp.60-68 (1988).
- 9) 何 守杰, 安部憲広, 北橋忠宏: 機械組立て説明図の理解—組立て関係を示す補助線に基づいた組立て情報の獲得, *電子情報通信学会論文誌 (D-II)*, Vol.J74, No.11, pp.1507-1511 (1991).
- 10) 玉柏和男, 安部憲広, 北橋忠宏: 機械組立て説明図の自動生成, *情報処理学会論文誌*, Vol.35, No.6, pp.997-1007 (1994).
- 11) 勝間 敦, 大矢宗樹, 田村 淳, 李 仁浩, 淡誠一郎, 馬場口登, 北橋忠宏: 組立て説明図におけるメタオブジェクトの自動配置, *電子情報通信学会春季大会*, D-588 (1995).
- 12) 李 仁浩, 淡誠一郎, 北橋忠宏: 機械部品の機能と形状の関係をを用いたファンクショナル・グルーピング, *電子情報通信学会春季大会*, D-234, 6-238 (1994).
- 13) Lee, I., Dan, S., Kitahashi T. and Abe, N.: A Study on a Method of Dividing Machine-parts into Functional Groups for Technical Illustrations, *ICDAR*, pp.886-889 (1993).
- 14) 永山嘉昭, 三代川省吾: 実践テクニカルイラストレーション, *日刊工業新聞社*, pp.186-198 (1981).
- 15) Wolter, J.D.: On the Automatic Generation of Assembly Plans, *Computer Aided Mechanical Assembly Planning*, pp.263-288, Kluwer Academic Publishers (1991).
- 16) 田村 淳, 大矢宗樹, 李 仁浩, 淡誠一郎, 北橋忠宏: 機械部品の形状モデルと言語の組立て手順からの組立てシミュレーション, *電子情報通信学会春季大会*, D-233, 6-237 (1994).
- 17) 大矢宗樹, 李 仁浩, 淡誠一郎, 馬場口登, 北橋忠宏: 機械組立てを対象とした図と言語による説明生成, *電子情報通信学会技術報告*, Vol.94, No.509, PRU94-125 (1995).
- 18) 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, *人工知能学会論文誌*, Vol.1, No.1, pp.116-123 (1986).
- 19) Deshmukh, A., Yung, J. and Wang, H.: Automated Generation of Assembly Sequence Based on Geometric and Functional Reasoning, *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol.12, No.20, pp.269-284 (1993).

(平成7年11月6日受付)

(平成8年9月12日採録)



李 仁浩

1989年韓国釜山大学工学部精密機械学科卒業。1991年同大学院修士課程修了。1995年大阪大学大学院情報工学部博士後期課程単位取得退学。電子情報通信学会，人工知能学会会員。インテリジェントCAD，ヒューマンインタフェースに興味を持つ。



大矢 宗樹

1993年大阪大学基礎工学部情報学科卒業。1995年同大学院修士課程修了。同年関西電力入社。電子情報通信学会会員。マン・マシンインタフェース，マルチメディアインタフェースに興味を持つ。



淡 誠一郎 (正会員)

1983年大阪大学工学部通信学科卒業。1988年同大学院博士課程修了。同年，同大産業科学研究所助手。1994年同大同研究所講師を経て，現在近畿大学講師。工学博士。定理証明，神経回路網，画像理解，マン・マシンコミュニケーションに関する研究に従事。人工知能学会，電子情報通信学会，IEEE各会員。



馬場口 登 (正会員)

1979年大阪大学工学部通信学科卒業。1981年同大学院博士前期課程修了。1982年愛媛大学工学部助手，大阪大学工学部助手，講師を経て，現在大阪大学産業科学研究所助教授。工学博士。人工知能，パターン認識，画像処理の研究に従事。IEEE，人工知能学会，電子情報通信学会，計測自動制御学会各会員。



北橋 忠宏 (正会員)

1962年大阪大学工学部通信学科卒業。1968年同大学院博士課程修了。同年同大学基礎工学部情報学科助手。1978年豊橋技術科学大学情報工学系助教授，同教授を経て，1986年大阪大学産業科学研究所教授。工学博士。人工知能，特に物体認識および知識表現に関する研究に従事。電子情報通信学会，人工知能学会，IEEE Comp. Society，日本認知科学会，AVIRG，計量国語学会各会員。