

機械組立説明図の自動生成

玉 柏 和 男[†] 安 部 憲 広^{††} 北 橋 忠 宏^{†††}

テクニカルイラストレーション (TI) は 3 次元物体の形状を立体的に 1 平面上へ投影した図であり、機械部品の組立を説明する図 (機械部品組立説明図) として用いることができる。本稿では機械部品組立説明図としての TI の自動生成手法について述べている。まず、TI の自動生成問題を複数の制約を同時に満足させるべき問題 (制約充足問題) として捉え、TI において一般に成立していると考えられる制約を抽出する。次にそれらの制約のうちのいくつかを同時に満足する中で最小の面積をもつ TI を生成させる方法について述べている。まず、部品は完成品の状態から TI の状態に至るまでに 3 次元空間において平行移動されることはあるが、回転移動されないという制約を生成システムに設ける。次に部品がもつ穴とその内部にくる部品との関係から各部品の相対位置関係を求め、これを満たす範囲内で各部品の平行移動量を決定することにより、任意の 2 部品は互いに重なり合わないことが保証される。さらにその相対位置関係をグラフで表現し、そのグラフの構造に基づいて隣接する部品の集合を決定し、それらの集合内における部品の間隔を等しくする。この場合、間隔が等しいということを同一名の変数で表現する。そして、穴が隣接する部品によって隠蔽されることがない間隔の最小値が算出され次第、その変数に数値を代入し、各部品の間隔を決定する。

Automatic Generation of Technical Illustration

KAZUO TAMAKASHI,[†] NORIHIRO ABE^{††} and TADAHIRO KITAHASHI^{†††}

This paper shows the method for automatically generating Technical Illustrations (TI). It is often used in explaining how to assemble/disassemble mechanical parts. The automatic TI generation problem can be regarded as a constraint satisfaction one. There are many constraints that TIs must be obeyed. The proposed method will generate the TI with minimum area which satisfies several constraints about TI. By virtually disassembling each part from the complete assembly using just translating movements (neglecting rotational movements), a candidate of TI will be generated. The quantity of the translation, the distance between parts, is supposed to be a value within the range which does not violate the relative positional relation between the part with a hole and the part with a protrusion to be inserted into the hole, the value is determined by the constraint equations.

1. はじめに

機械部品の組立を人間に対して説明する図 (組立説明図) として、テクニカルイラストレーション (TI) の拡散分解図¹⁾を用いることがある。これは、機械を構成している部品を、組立または分解の順序にしたがって拡散した図である。3次元物体の形状を立体的

に 1 平面上へ投影しているので、設計図の正確さを含み、機械形状の把握や機械の細部まで素人に完全に理解させることが可能であり、機械の設計、開発段階において重要な役割を占める。

しかし拡散分解図を手手で作成するには多大なる労力を要する。計算機に拡散分解図を自動生成させるには、部品の作成 (モデリング) および部品配置の決定 (レイアウト) の 2 種類の作業を自動化する必要がある。近年、計算機を用いた設計 (Computer Aided Design, CAD) に関する研究が数多く発表されているにもかかわらず、モデリングの省力化に焦点を当てた研究²⁾は多く見られるが、部品配置決定の自動化を取り扱ったものは少ない³⁾。この原因は、機械の組立を説明するための部品配置を決定する基準が不明確であるからである。

そこで本稿では、機械部品の組立を説明する場合に

[†] シャープ(株)生産技術開発推進本部生産技術研究所
Production Technology Laboratories, Production
Technology Development Group, Sharp Corporation

^{††} 九州工業大学情報工学部機械システム教室
Department of Mechanical System Engineering,
Faculty of Information Science, Kyushu Institute
of Technology

^{†††} 大阪大学産業科学研究所
The Institute of Scientific and Industrial Research,
Osaka University

必要と考えられる代表的な制約を複数用意し、それらの制約を同時に充足する拡散分解図を生成する手法について述べる。

2. 組立説明図における制約

組立説明図としての拡散分解図に成立していなければならぬ制約として、3次元空間に存在する部品の集合において成立する制約（3次元空間における制約）と2次元空間（平面）に部品を投影した図形の集合において成立する制約（2次元空間における制約）を考慮する。

2.1 3次元空間における制約

2.1.1 重なり禁止制約

任意の2物体が互いに重なり合うことがない制約である。これは機械部品の物理的性質に起因する制約である。

2.1.2 平行移動制約

拡散分解図における各部品が、平行移動のみで組立完了時の状態に移ることができる制約である。実際の組立作業では、ネジ等の部品は回転しながらネジ穴に挿入される。しかし組立説明図は、人間に対して部品の組立情報を提示することが目的である。したがってネジなど回転移動を伴いながら平行移動する部品についても近似的に平行移動として扱うことが可能である。

2.1.3 等間隔制約

ある部品の集合において隣接する2部品の間隔が等しくなる制約である。この制約は、組立説明図として必ずしも成立していなくてもよいが、構図のバランスを保つためにしばしば用いられることがある。

2.2 2次元空間における制約

本稿では、機械部品相互の接続関係は部品の穴とネジから生まれるという前提を置く^{3),4)}。その場合、平面に投影された図形間に成り立たなければならない制約は、部品の穴に関するものである。すなわち、機械を組み立てる際に穴の存在が明確に記述されていることが機械組立説明図には不可欠である。したがって、穴が見えていることは重要であるとの見解から以下のような制約をとりあげる。

2.2.1 穴の他部品による隠蔽禁止制約

部品の穴は他の部品によって隠蔽されることがないという制約である。

2.2.2 穴の隣接部品による隠蔽禁止制約

部品の穴は隣接する部品によって隠蔽されることが

ないという制約である。

2.2.1 項の制約が大域的であるのに対し、この制約は局所的であるためシステムに組み入れる場合には効率良く取り扱うことが可能である。

2.2.3 穴の一部隠蔽許可制約

部品の穴がその一部を他の部品によって隠蔽されることを許す制約である。

部品の穴はそのすべてが描かれていなくとも、その存在を示すことが可能である場合がある。そのような場合、穴の一部を他の部品によって隠蔽することにより、部品間の間隔を圧縮することができる。

3. 用語

3.1 部品

「部品」はフレーム（部品フレーム）で表現される。「部品」の属性は、「識別子」、「形状」、「位置」、「機能名称」、「穴リスト」である。

部品の「識別子」は各部品を特定するための属性である。部品の「形状」はソリッドモデル (Constructive Solid Geometry, CSG) で定義する。本稿では基本立体の和のリスト、差のリストの繰り返しで形状を定義する⁴⁾。

部品の「位置」は部品座標系で定義された部品を世界座標系に変換する平行移動量である。部品の「機能名称」は例えばネジ、ナットなどのような部品の機能を表現する属性である。部品の「穴リスト」は「穴」を要素とするリストである。「穴」は底面と掃引方向が垂直である掃引体であり、穴の方向はその掃引方向と定義する。掃引方向は x, y, z 軸のいずれかに平行とする。穴は両方の底面が開いている穴（両穴）または片方のみが開いている穴（片穴）のいずれかであるとする。

3.2 間隔

準備として「直立方体」、「物体Pの直立方体凸包」、「 L 軸方向上面（下面）」（ただし $L \in \{x, y, z\}$ ）を定義する。

「直立方体」はすべての面が3次元直交座標系における x, y, z 軸のいずれかに垂直である直立方体である。「物体Pの直立方体凸包」は物体Pを覆う最小の体積を有する直立方体である。「部品Pの L 軸方向の上面（下面）」は部品Pの直立方体凸包において L 軸に垂直な面のうち、 L 軸の正（負）の側の面である。

そして物体A, Bの L 軸方向の「間隔」は次の通りである。部品A, Bそれぞれの直立方体凸包におい

て L 軸方向の上面, 下面の L 座標値を S_{AU} , S_{AL} , S_{BU} , S_{BL} とすると, A , B の L 軸方向の間隔 D_{AB} を

$$D_{AB} = \begin{cases} S_{AL} - S_{BU} & (\text{if } S_{AL} > S_{BU}) \\ S_{BL} - S_{AU} & (\text{if } S_{BL} > S_{AU}) \end{cases}$$

と定義する (図 1).

3.3 完成品の状態

必要とする複数の部品のそれぞれが 3次元空間において定められた相対的位置に存在し, それら全体で目的とする仕様を満たすことが可能である状態, すなわちすべての部品の組立が完了した状態である.

3.4 拡散分解図の状態

必要とする複数の部品のそれぞれが 3次元空間において与えられた組立説明図における制約を満足する相対的位置に存在する状態である.

4. システム

4.1 概要

本稿でのシステムが拡散分解図の自動生成を行う際に取り扱った制約は, 3次元空間における制約 (2.1.1, 2.1.2, 2.1.3 項) すべてと, 2次元空間における制約 (2.2.2 項) である. これらの制約を同時に満足する中で最小の面積を持つ拡散分解図を生成させる方法について以下に述べる.

まず, 部品は完成品の状態から拡散分解図の状態に至るまでに 3次元空間において平行移動されることはあるが, 回転移動されないものとする. これにより平行移動制約 (2.1.2 項) を満足することが保証される.

また, 各部品の相対位置関係をあらかじめ求めておき, その関係を満たす範囲内で各部品の平行移動量を決定することにより, 重なり禁止制約 (2.1.1 項) が満たされる. さらにその相対位置関係をグラフで表現し, そのグラフの構造に基づいて隣接する部品の集合を決定し, それらの集合内における部品の間隔を等しくすれば等間隔制約 (2.1.3 項) が満たされる. この場合, 間隔が等しいということを同一名の変数で表現

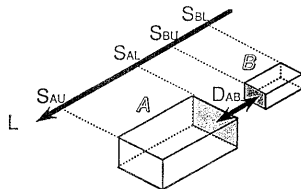


図 1 間隔の定義

Fig. 1 A definition of distance.

する. そして, 穴が隣接する部品によって隠蔽されることがない間隔の最小値が算出され次第, その変数に数値を代入することにより, 穴の隣接部品による隠蔽禁止制約 (2.2.2 項) が保証される.

2章における複数の制約を同時に満足する機械部品の配置を求めるシステムの構成 (図 2) を以下に述べる.

4.2 入力

システムへの入力は組立完了状態における部品の記述 (完成品の状態) である.

4.3 穴-部品関係生成部

ここでは完成品の状態において, 部品の持つ穴の内部に存在する他の部品を調べる. ある部品 P_1 の穴 P_h および部品 P_2 との干渉の有無は, P_h と P_2 それぞれの形状の集合積演算を行い, これを P_{and} とすると, P_{and} の体積が 0 より大であれば干渉がある, そうでなければ干渉がないと判定する.

以上の判定作業を入力の上すべての部品の穴に対して行い, 完成品の状態におけるそれぞれの部品の穴とその内部に存在する部品との関係 (穴-部品関係) を生成する.

例えば図 3 を構成する部品の穴の向きは X 軸または Z 軸方向であり, 各軸方向におけるシステムからの穴-部品関係の本実験システムにおける生成例を表 1, 表 2 に示す (部品番号は図 3 を参照).

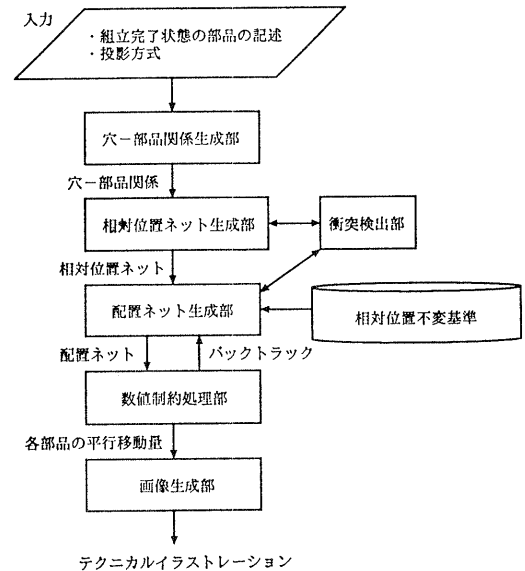


図 2 システム構成

Fig. 2 The process flow of automatic generation of Technical Illustration.

4.4 相対位置ネット生成部

ここでは4.2節で得られた穴-部品関係に基づいて、組立説明図の状態における各軸 (x, y, z 軸) 方向に関する部品の相対位置関係を表す有向グラフを生成する。

完成品の状態に物体の穴の内部に存在する物体は、組立説明図の状態では必ず穴が見えるように相対的に移動させられていることが普通である。すなわちある部品 P の穴 P_h の内部に組立完了状態に存在する n 個の部品の集合 $P_{in} = \{P_1, \dots, P_n\}$ ($n \geq 1$) は、拡散分解図として表現される段階では P に対して穴 P_h の方向 (正または負) に平行移動されている場合が多い。

そこで $P_{in} \cup \{P\}$ の任意の2要素間に成り立つ穴 P_h 方向における順序関係を以下の相対位置ネット生

表 1 X軸方向の穴
Table 1 An example of X-axis holes.

穴	内部にある部品
2_1's hole 1	5
2_1's hole 2	6
2_2's hole 1	6
2_2's hole 2	5
3's hole	6, 7_1, 7_2
4's hole	5, 9
7_1's hole	6
7_2's hole	6

成アルゴリズムで求め、有向グラフ (相対位置ネット) で表現する。本システムでは穴の方向は x, y, z 軸の方向に限定しており、それぞれの方向に関する相対位置ネット (L 軸方向相対位置ネット) を生成する。

L 軸方向相対位置ネットの定義を以下に示す。

[定義]

L 軸方向相対位置ネット: $G=(V, E)$

ここで、 V は部品の識別子の集合、 E は2個の部品の L 軸方向の相対位置関係を示す有向辺の集合である (有向辺 $A \rightarrow B$ は A が B よりも L 軸方向に関して正の

表 2 Z軸方向の穴
Table 2 An example of Z-axis holes.

穴	内部にある部品
1's hole 1	8_1
1's hole 2	8_2
1's hole 3	8_3
1's hole 4	8_4
1's hole 5	8_5
1's hole 6	8_6
2_1's hole 3_1	8_1
2_1's hole 3_2	8_2
2_1's hole 3_3	8_3
2_2's hole 3_1	8_6
2_2's hole 3_2	8_5
2_2's hole 3_3	8_4
9's hole	9

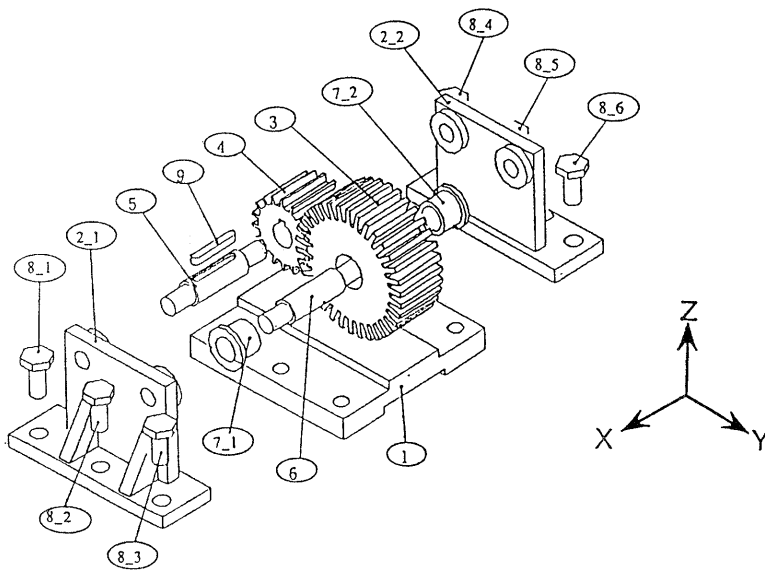


図 3 テクニカルイラストレーション
Fig. 3 A sample of Technical Illustration.

位置に存在することを表す).

[相対位置ネット生成アルゴリズム]

(0) 初期値: $G=(V, E)$ において $V=$ (部品の識別子の集合), $E=\emptyset$ とする.

(1) 穴を持つすべての部品の集合を P_{all} とし, P_{all} が空になるまで P_{all} から1個の要素 P を取り

出し, (2)から(5)まで繰り返す.

(2) P と $\forall x \in P_{in}$ との P_h の方向の順序関係を衝突検出を用いて求め, グラフの E に追加する. P と順序関係が成立する P_{in} の要素を P_{in_ord} とする.

(3) もし $P_{in_ord}=P_{in}$ ならば(5)へ. $P_{in_ord} \neq P_{in}$ ならば(4)へ.

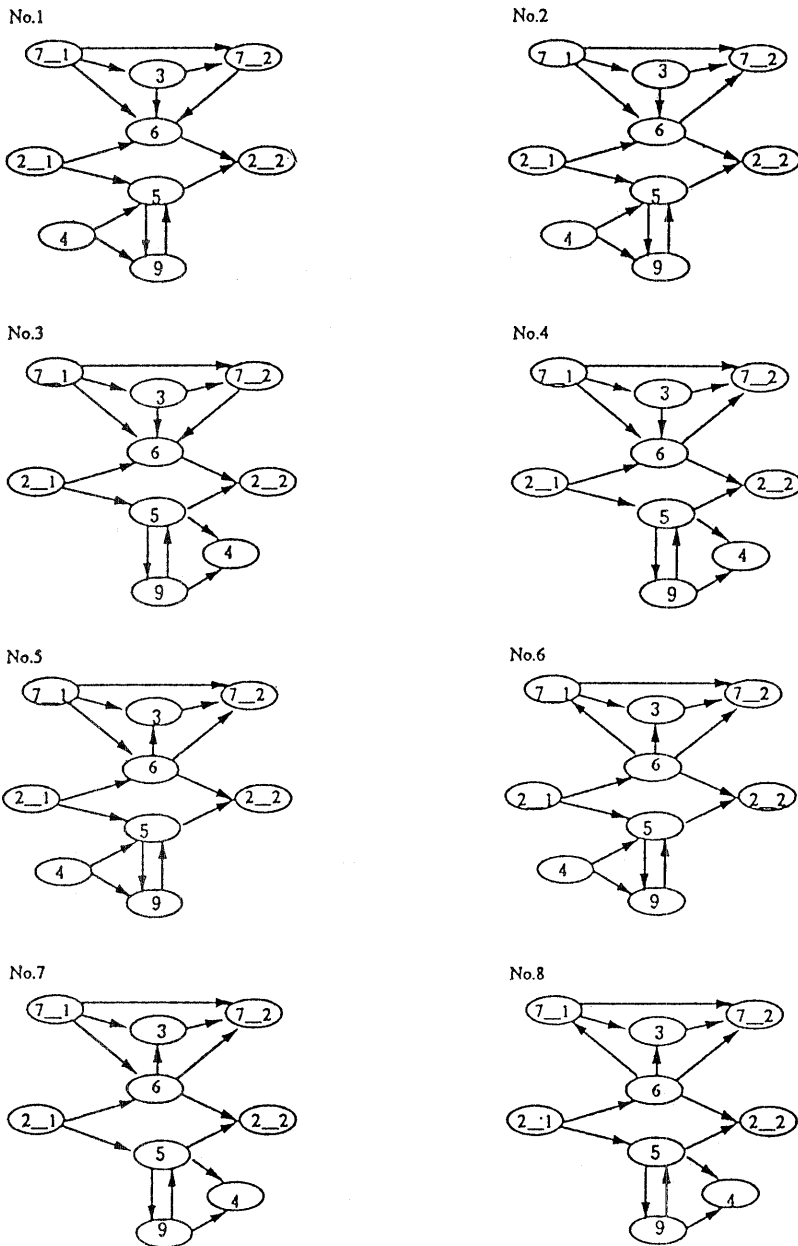


図 4 X 軸方向相対位置ネット
Fig. 4 Eight examples of the Relative Position Net.

(4) $\forall x \in P \text{ in} - P \text{ in_ord}$ に対して $P \rightarrow x$ または $P \leftarrow x$ のいずれかにして (非決定的) E に追加する。次に P と $\forall y \in U - P \text{ in}$ との順序関係を衝突検出を用いて求め、関係があれば E に追加する (ただし U は部品すべての集合、以下同じ)。

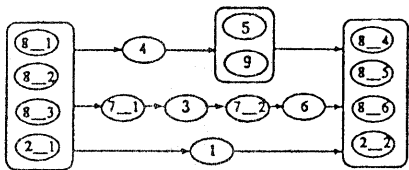
(5) $P \text{ in}$ の任意の 2 要素 (部品) 間に成立する

相対位置関係を衝突検出により求め、関係があれば E に追加する。

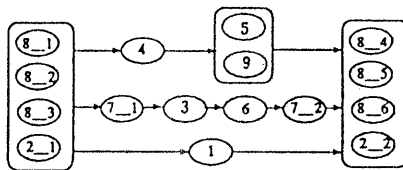
(6) G の中で長さ 3 以上のループがあれば、バックトラックする。なければ (7) へ。

ここで長さが N のループとは、 $G=(V, E)$ において $\forall 1, v_2, \dots, v_N \in V,$

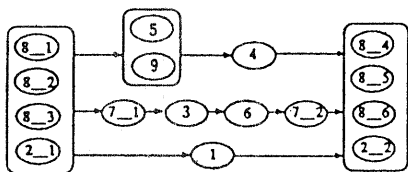
No.1



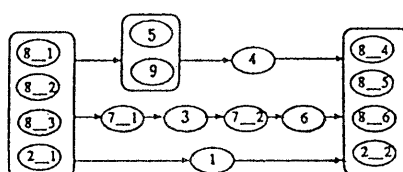
No.2



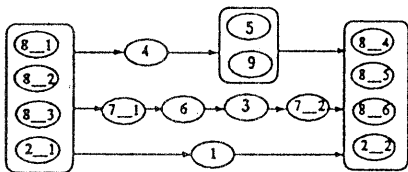
No.3



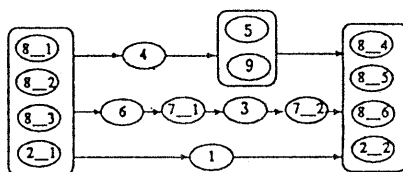
No.4



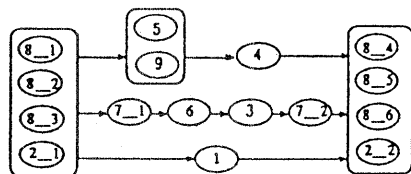
No.5



No.6



No.7



No.8

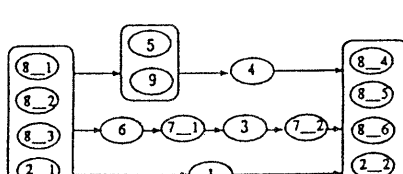


図 5 X 軸方向配置ネット
Fig. 5 Eight examples of the Layout Net.

$v_1 \rightarrow v_2, v_2 \rightarrow v_3, \dots, v_{N-1} \rightarrow v_N, v_N \rightarrow v_1 \in E$ である場合、点列 v_1, v_2, \dots, v_N のことである。

(7) 終わり。□

L 軸方向相対位置ネットは、組立説明図の状態において穴を持つ部品とその穴の中に存在する部品の集合との間に成り立つ L 軸方向の相対位置関係（半順序関係）を表現する。例えば図 4 の No. 1 では部品 6 よりも部品 7_2 の方が組立説明図の状態において X 軸の正の方向に存在することを示している。

また、L 軸方向の両穴の個数を n とすると、生成される L 軸相対位置ネットの個数は 2^n 個である。例えば $n=3$ である図 3 の例に対して相対位置ネット生成アルゴリズムを適用すると、図 4 のような 8 個の X 軸方向相対位置ネットが得られる。

4.5 配置ネット生成部

ここでは 4.4 節で生成された相対位置ネットおよび相対位置不変基準に基づき、組立説明図の状態において成立する部品配置に関する半順序関係（配置ネット）を得る。

配置ネットは以下の手順で求める。

(1) L 軸方向相対位置ネットにおいて極大頂点の集合を V_{sup} とすると $\forall x \forall y \in V_{sup}$ に対して衝突検出を $\pm L$ 軸方向にそれぞれ行い順序関係があれば有向辺をつける。極小頂点の集合に対しても同様の操作を施す。なお極大（極小）頂点 v とは $v \rightarrow ve (v \leftarrow ve)$ なる ve が存在しない頂点である。

(2) L 軸方向において $a \leftarrow b$ かつ $a \rightarrow b$ なる a, b が存在する場合、 a と b は L 座標が完成品の状態と相対的に同じであることを意味するので同値類としてまとめる。

(3) 同じ推移的閉包を持つ閉路のない有向グラフのうち辺の数が最小のものに変換する。

(4) 全部品集合 U の要素でグラフの頂点に現れていないものに対して既存の同値類に以下の基準（相対位置不変基準）で組み入れる。なお、P 部品は部品の接続関係を生成する部品で機能名称がネジである部品をさし、N 部品は P 部品と対になって接続関係を維持する部品であり、被拘束部品は P 部品と N 部品によって拘束される部品のことである^{3),4)}。

(基準 1) すべての P 部品と対応する N 部品、被拘束部品とは P 部品の方向に垂直方向の座標が等しい。

(基準 1') すべての P 部品とそれに対応する被拘束部品とは P 部品の方向に垂直方向の座標が等しい。

(基準 2) ある部品 P の穴 P_h の内部に存在する部品が $P_1, \dots, P_n (n \geq 1)$ の場合、P はある $P_i (1 \leq i \leq n)$ と P_h に垂直な方向の相対位置が等しい。□

図 3 の例では、8 個の X 軸方向配置ネットが得られた (図 5)。

L 軸方向配置ネット $G=(V, E)$ において E の要素 $a \rightarrow b$ は、入力の状態における各部品を平行移動させて生成されるべき組立説明図の状態にする際、部品 a を部品 b に対して L 軸正の方向に平行移動させなければならないことを意味する。

例えば、図 3 の組立説明図に対応する X 軸方向配置ネットは図 5 における No. 7 のグラフである。

4.6 数値制約処理部

数値制約処理部は、配置ネットに基づいて各部品の間隔を数値として決定し、部品の配置を生成する。その方法について以下に述べる。

4.4 節で得られた配置ネットの有向辺に部品間の間隔を表現する変数を割当て、それらの変数間に成り立つ連立方程式を生成する。次に穴を持つ部品が他の部品によって隠蔽されない最低距離を対応する変数に代入することによって連立方程式を解く。なお本システムでは連立方程式は制約論理プログラミング言語 CAL⁵⁾⁻⁸⁾ を利用して解いた。

4.6.1 変数割当て

L 軸方向の配置ネットへの変数の割当ては以下の方法で行う（用語の定義は表 3）。

(1) すべての極大（小）頂点の集合を $V_{sup} (V_{inf})$ とすると $\forall v \in V_{sup} (V_{inf})$ に対してダミーの頂点 $L+(L-)$ との間有向辺 $L+ \rightarrow v (v \rightarrow L-)$ を付加する（この処理後の配置ネットを G とする）。

表 3 用語
Table 3 Word definition.

path (a, b)	: 有向グラフ $G=(V, E)$ に対して頂点の列 $[a, v_1, \dots, v_m, b]$ ($a, v_1, \dots, v_m, b \in V$) において $a \rightarrow v_1, \dots, v_m \rightarrow b$ がすべて E の要素である場合 $[a, v_1, \dots, v_m, b]$ を path (a, b) と定義する。
paraPaths (a, b)	: 要素数 $(U(\text{path}(a, b))) \geq 2$ が成立する場合、 $(\text{path}(a, b))$ を paraPaths (a, b) と定義する。
分岐頂点	: $G=(V, E)$ において $v, a, b \in V, a \neq b, v \rightarrow a \in E, v \rightarrow b \in E$ が成り立つ頂点 v。
合流頂点	: $G=(V, E)$ において $v, a, b \in V, a \neq b, a \rightarrow v \in E, b \rightarrow v \in E$ が成り立つ頂点 v。
singlePath (a, b)	: path (a, b) = $[a, v_1, \dots, v_m, b]$ に現れる頂点の集合を V_p とし、 $\forall v \in V_p - \{a, b\}$ が分岐頂点、合流頂点のいずれでもない path (a, b)。

(2) もし G において $path(a, b)$ がすべて $singlePath(a, b)$ である $paraPaths(a, b)$ が存在すれば(3)へ、存在しなければ(6)へ。

(3) $path(a, b) (\in paraPaths(a, b))$ に現れる辺すべてに同一名の変数を割り当てる。

(4) 各辺に割り当てられた変数と a と b の間隔を表す変数 X_{ab} との関係を表す連立方程式を生成する。

(5) $paraPaths(a, b)$ に現れる辺集合を V_p , 頂点集合を E_p とすると、新たに

$$G = ((V - V_p) \cup \{a, b\}, (E - E_p) \cup \{a \rightarrow b\})$$

とし、辺 $a \rightarrow b$ に変数 X_{ab} を割り当てた後、(2)へ。

(6) もし G に $paraPaths(a, b)$ が存在すれば、 $path(a, b)$ に現れる辺に変数を割当て、連立方程式をたてる。

(7) 変数が割り当てられていない辺に変数を割り当てる。

(8) 終わり。□

以上の変数割当て方法によって配置ネットに変数を割り当てた例および変数間に成立する連立方程式を示す(図6)。

4.6.2 変数値の決定方法

ここでは、ある部品の穴が配置ネットにおいて隣接する他の部品によって隠蔽されることがない最低距離をすべての穴に対して求め、その中の最大値を該当する変数に代入することにより、具体的な部品間の間隔を決定する。

以下の順序で詳しく説明する。

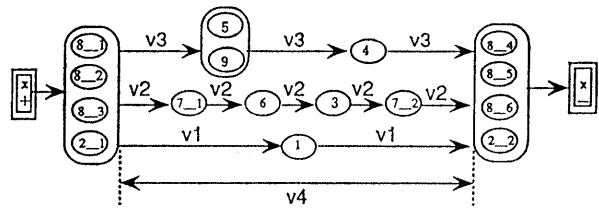
本研究において“穴”の定義は通常の“部品”の形状の定義と同一である(3.1節参照)。したがって、ある部品の穴が配置ネットにおいて隣接する他の部品によって隠蔽されることがない最低距離を求める問題は、投影平面に平行投影後、物体Aと物体Bが互いに他を隠蔽しないように物体Bの平行移動量を求める一般的な問題に帰着できる。

以下にすべての穴に対する隣接部品による遮蔽のない配置ネットにおける変数の値を決定するアルゴリズムについて述べる。

[変数値決定アルゴリズム]

<入力>

- L 軸方向の変数割当て済み配置ネット $G = (V, E)$



$$v4 = v1 \times 2 + Lx(1)$$

$$v4 = v2 \times 5 + Lx(7_1) + Lx(6) + Lx(3) + Lx(7_2)$$

$$v4 = v3 \times 3 + Lx(5) + Lx(4)$$

ただし、 $Lx(N)$ は部品NのX軸方向の長さを表す。

図6 変数割当てと連立方程式

Fig. 6 An example of a Layout Net (assigned variable numbers) and constraint equations.

- すべての部品の集合 P_{all}
- L 軸方向のすべての穴 P_{h_all}

<出力>

各変数の値

<アルゴリズム>

(0) 初期値: 変数・変数値組リスト

$$V = \phi.$$

$$\text{変数} \cdot \text{最小変数値組リスト } V_{min} = \phi.$$

(1) P_{h_all} の要素を1個取り出してこれを P_h とし、 P_{h_all} が ϕ になるまで(2)を繰り返す。

(2) 穴 P_h が所属している部品を P とし、 P と $L+$ 方向に隣接する部品または部品群を P_{next+} , $L-$ 方向に隣接する部品または部品群を P_{next-} とすると、

$$P_{next+} \rightarrow P \in V$$

において付加されている変数を v とし、 P_h が P_{next+} によって隠蔽されない最低距離 D_{min} を求め、変数・変数値組 (v, D_{min}) を V に追加する。

(3) V の要素で $(v, D_{min}), (v, D_{min2}), \dots, (v, D_{minN})$ (ただし $N \geq 1$) なる同一変数 v に対して N 個の組が存在する場合、 $(v, \min(D_{min1}, \dots, D_{minN}))$ を V_{min} に入れる。この操作をすべての v について行う。

(4) V_{min} の各要素 (v, D) に対して式 $v = D$ と「変数間関係式」とを連立した方程式を CAL を用いて解き、そのうち各変数の値が最も大きくなるものを選ぶ。

(5) 終わり。□

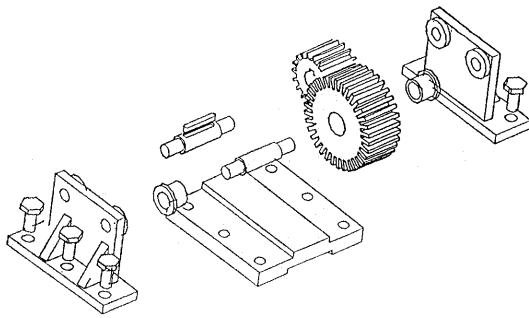


図 7 TI の自動生成例

Fig. 7 An example of an automatic generate Technical Illustration which corresponds to the Layout Net in Fig. 6.

4.7 画像生成部

数値制約処理部で得られた各部品の完成品の状態からの平行移動量を入力として図を生成する。

変数値決定アルゴリズムの適用により各部品間の間隔をシステムが自動決定し、その間隔に基づいて画像生成部が出力した組立説明図の例を示す(図 7)。なお、計算機は Sun 4/60 SPARC station, 画像生成には電総研で開発された EUSlisp⁹⁾ を用いた。

5. おわりに

前章の実験の結果、組立説明図の必要条件と考えられる制約を満足する図を生成することが可能となった。

しかし、組立説明図としての十分条件である制約については未知のもの、既知ではあるが計算機上での実現が現段階での技術では困難なものがある。以下に今後実用的な組立説明図自動生成システムに発展させるために検討すべき事項およびその解決に適用可能と考えられる技術について考察する。

以下では、拡散分解図の技法のうち今回取り扱わなかったものについて述べる。

5.1 穴隠蔽禁止制約, 穴一部隠蔽許可制約

本研究における実験システムで取り扱った制約は、穴がすべての他の部品によって隠されることがないことを保証していない。これを保証する制約(穴隠蔽禁止制約)を実現するには、一つの穴に対してその穴を持つ部品以外のすべての部品に対して隠蔽するかどうかの検査が必要である。すなわち、 O (穴の数) * (部品の総数) の手間がかかり、効率が悪い。そこでなんらかの発見的知識を用いて探索空間を縮小する必要がある。

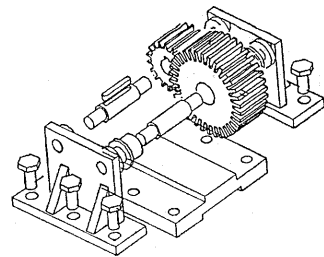


図 8 穴の一部が隠蔽された TI の例

Fig. 8 An example of Technical Illustration (some part of some holes are hid by another assembly part).

また穴を隠すことが判明した場合、その隠蔽状態の解消方法についても考察しなければならない。単に各部品間の距離を大きくして隠蔽状態を回避するだけでは間のびした拡散分解図になる可能性がある。

逆に穴が他の部品によって完全には隠蔽されないことがない拡散分解図が用いられる場合がある。すなわち、穴の他部品による隠蔽の程度が軽微であれば十分穴と認識可能であると考えられる立場である。これは、穴を完全に隠蔽なく部品間の間隔をとるよりも一部隠蔽したほうが望ましいと考える立場である(図 8)。

そこで、穴の一部が隠蔽されることを許可する制約(穴一部隠蔽許可制約)を組立説明図生成システムが扱えるようにしなければならない。そのためには、穴の他部品による隠蔽の度合(これを仮に「隠蔽度」とする)を定義し、すべての穴の隠蔽度がある値以下となるように配置を決定しなければならない。

5.2 部品の機能クラスの情報をういた部品間隔の自動設定

実際に人間が部品のレイアウトを決定した組立説明図の例において、ある部品の集合は他の部品集合間における間隔と異なっている場合がある。

これは人間がある部品の集合は同一のクラスに属するという情報を暗黙のうちに利用しているからであると考えられ、このような場合について何らかの方法で部品を機能別のクラスに分類することが可能であれば、より知的な組立説明図の自動生成の実現が期待できる。

5.3 視線方向, 投影方法の自動選択

本研究においては、システムへの入力に完成品の機械部品の配置を与えておき、投影方式は平行投影の一種である軸測投影図法を用いることをあらかじめ与えておいた。しかし機械部品の形状や構造により他の投影方式が望ましい場合がある。

また、視線方向に対する機械部品の面の方向の決定方法についても今後検討していく必要がある。

5.4 紙面の大きさ・枚数、部品的大小・個数の制限

本研究では、機械の組立の説明図として1枚の拡散分解図を用いている。ところが、形状の複雑な物体や対称性の少ない物体を1枚の拡散分解図で表示しても曖昧な部分が残る場合がある。

このような場合、5.3節のように物体を見る最適な視線方向を選択しなければならない。また、仮にそのような視線方向が決定された場合においても、1枚の拡散分解図ではまだ曖昧な部分が残る可能性もある。したがって、物体の形状および視線方向、投影方式をシステム側が把握し、曖昧性がなく組み立てを説明できる拡散分解図の最低枚数を決定できる機能が必要となる。

また、複数の図面に分割する方法について考察する必要がある。この問題は部品の機能によるまとまりを成している部品の集合をシステムが識別しなければならず、ブロック分解と根本的に同様の問題を抱えている。

5.5 折り曲げ(補助線を用いた折返し)

拡散分解図で表現されたある軸方向に多くの部品が存在する場合、部品の配置の分布が偏る。そこで実際の拡散分解図ではそのような場合、補助線を用いて部品の集合を移動し、なるべく紙面に部品を分散させて表すことがある。これを実現する際に検討すべき点には以下のものが考えられる。

- 折り曲げる条件
- 折り曲げ方法

まず、どのような場合に折り曲げるのかについてシステムが判定しなければならない。この問題に対する解決策は、例えば投影平面に投影された部品の図の重心を求め、その分布を統計学的な処理(重心位置のX座標とY座標の相関係数の算出など)によって折り曲げる条件を決定する方法などが考えられる。

次に、どのようにして折り曲げるか、といった問題がある。折り曲げられるべき部品の集合をどのようにして決定するかについては何らかの基準が必要となるが現段階では不明であり、今後の研究が待たれる。

謝辞 CALおよびEUS-LISPの使用を快く御承諾くださいましたICOTおよび電子技術総合研究所の関係者各位に深謝いたします。

参考文献

- 1) 近藤 巖: 作図と解説テクニカルイラストレーション, 三共出版(1976).
- 2) 千田豊満: 三面図からもとの立体の自動復元—平面だけで構成される立体への応用, 情報処理学会論文誌, Vol. 31, No. 9, pp. 1312-1320(1990).
- 3) 玉柏和男, 安部憲広, 北橋忠宏: テクニカルイラストレーション自動生成システム, 第42回情報処理学会全国大会論文集, 分冊2, pp. 231-232(1991).
- 4) 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, 人工知能学会誌, Vol. 1, No. 1, pp. 116-123(1986).
- 5) 相場 亮: これからの高レベル言語は?—, 数理科学, No. 313, pp. 50-57(1989).
- 6) 日本ソフトウェア科学会編: 制約プログラミング, サマーチュートリアル資料(1989).
- 7) 横井俊夫, 相場 亮: 制約ロジックプログラミング—知識処理への新しいパラダイム—, 情報処理, Vol. 30, No. 1(1989).
- 8) 淵 一博, 溝口文雄, 古川康一, Lassez, J.-L. 編: 制約論理プログラミング, 共立出版(1989).
- 9) 松井俊浩: EUSLISP, 電子技術総合研究所(1989).

(平成5年6月25日受付)

(平成6年2月17日採録)



玉柏 和男 (正会員)

昭和40年生。平成元年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。平成3年同大学大学院修士課程修了。同年、シャープ(株)勤務。現在、LSI CADシステムの研究、開発に従事。



安部 憲広 (正会員)

昭和21年生。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。同年同学部制御工学科に勤務、同助教。同大学産業科学研究所助教授を経て、平成3年4月より九州工業大学情報工学部機械システム教授。工学博士。人工知能、特に機械システムへの人工知能技術の適用について研究中。ほかに、言語理解と画像理解の融合、エキスパートシステムについても研究を行っている。著訳書「Prologプログラミング入門」(共立出版)、「Lisp」(培風館)、「PrologとAI」(近代科学社)など。電子情報通信学会、人工知能学会、AAAI各会員。

**北橋 忠宏 (正会員)**

昭和14年生。昭和37年大阪大学工学部通信工学科卒業。昭和43年同大学大学院博士課程修了。同年同大学基礎工学部助手、助教授を経て、昭和54年豊橋技術科学大学工学部情報工学科教授。現在、大阪大学産業科学研究所教授。工学博士。3次元物体・3次元運動認識のための視覚システム、自然言語処理、学習・推論機構に関する研究に従事。電子情報通信学会、IEEE、人工知能学会各会員。
