

## 面の解釈整合化による三面図の理解

Understanding orthographic views by retrieving consistent interpretations of faces

渡辺恒文

西原清一

池田克夫

Tsunefumi WATANABE

Seiichi NISIHARA

Katsuo IKEDA

(筑波大学電子情報工学系)

Inst. of Information Science &amp; Electronics, University of Tsukuba

## ABSTRACT :

This paper deals with a system that recovers solid models consistent to a given set of orthographic views. First, points and lines are extracted out of each orthographic view to generate all of the closed regions, which are candidate projections of actual 3D faces. Secondly, 3D vertices and faces are produced under the constraints associated each pairs of orthographic views. Retrieving the legal combinations of those faces produced above, final solutions, or legal solid models, are reconstructed and displayed on an image display. Some parts of the system are translated to consistent labeling problems, or CLPs, which makes our problem easy to understand and simplifies the implementation.

## 1. はじめに

三次元CAD/CAMシステム、あるいは三次元グラフィック等の分野では、三次元形状を計算機内にモデル化する技術が重要であり、設計者が作ろうとする形状を容易にモデル化できるような入力方法を持つことが必要である。三面図は二次元の線図形表現のため扱いやすく、透視図のようにゆがみがなく計算機で扱うのに適した三次元形状の表現方法である。そこで、三面図を入力方法として用いることとし、三面図上より二次元データを読み取り、自動的に三次元形状を復元するシステムを開発した。本稿では、このシステムの概要およびその特徴について述べる。

本システムでは、三面図上に表現されている三次元形状を理解する段階において、いろいろな拘束条件を用いた探索を行っている。それらの手続きはCLP(整合ラベリング問題:Constraint Labeling Problem) <sup>1)</sup>として扱うことができる。ここではそのCLPのための拘束条件などの置き換え法についてもあわせて述べ、CLPの性質を明らかにしている。

第2章では扱う三次元形状、三面図を定めることによって、問題の定義を行っている。第3章では本方式の基礎となる考え方について述べ、従来

の方式との比較を行う。さらにシステムの概要について説明する。第4章では三次元形状を復元するための具体的な処理内容について提案している。第5章ではCLPの適用について提案し検討している。第6章では、本稿のまとめと将来の問題点を述べている。

## 2. 問題の定義

ここではまず第1段階として簡単な場合を考え、以下の条件を満たす三次元形状、三面図を問題の対象とした。

条件A : 三次元形状は多面体であるものとする。すなわち、各構成面はすべて平面であり、多角形を形成しているものである。また、体積は0でない。

条件B : 形状内部に空な空間を含んでも良いが、体積が0であってはならない。つまり、ひとつの面の表と裏が同一平面上にあってはならないものとする(図1)。

条件C : 複数の三次元形状が同時に表現されていてもよい。また、それらが1つの辺で接していてもよいし、さらに各々の形状の面同士が同一平面上にあってもよいものとする(図2)。

条件D : 三次元形状の制限により、三面図上の各線分(辺)は直線でなければならない。また、隠線は破線として表わすものとする。

図3はこれらの条件を満たす三面図の例である。条件Aにより以下では、三次元形状を多面体と述べることにする。また、三面図に表わされている前、上、横からの正射影図のことを単に三面図の図という表現を用いる。

三面図上の点の座標データだけから、それが表わす多面体上の点を復元すると、復元された三次元空間上の点の中には実際の多面体にはないものが表われることがある(図4)。このような実際の多面体に現われない三次元空間上の点を虚の点と呼ぶ。この操作は三次元の候補を挙げる処理である。同様な考え方で、三次元空間上での虚の辺、虚の面も定義できる。一般に、三次元の点(辺・面)という場合、それはこれら虚であるものを含んだ表現とする。また、多面体の点(辺・面)という表現は、それらは多面体を構成するものとする。さらに、三面図の表わす多面体の点(辺・面)とは、与えられた三面図に対する多面体の点(辺・面)を意味するものとする。これらに対し、二次元の点(辺・面)は三面図の点(辺・面)と同義で使うことにする。

### 3. システム概要

まず、二次元の点から三次元の点を復元することを考える。このとき、虚の点は二次元の点の情報だけでは判定できない。他の三次元の点との関係、すなわち、二次元の辺や三次元の面であるための条件を課すことで虚の点を除去していくこ

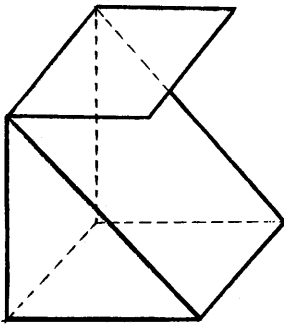


図1 条件2に反する三次元形状

とができる。点にかぎらず、辺・面に対しても同様なことがいえる。この考え方に基づいて、まず、点や面の候補を挙げ、次にその中で誤ったものを除去することにより目的とする多面体を復元していく方法を採用している。

三面図から三次元形状を復元しようとする研究は、出沢<sup>1)</sup>、G. Markowsky & M. A. Wesley<sup>2), 3)</sup>等によって行われている。それらの基本的な方法は、まず、三面図上の辺に注目し、これよりワイヤフレーム(三次元の辺のみから成るデータ構造)を

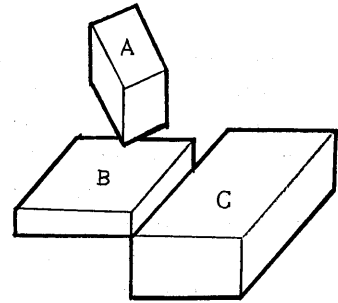


図2 浮かんだ三次元形状Aと1辺で接する2つの三次元形状B、C

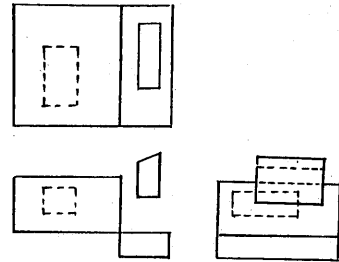


図3 条件を満たす三面図の例

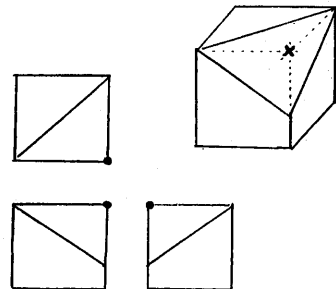


図4 三面図と虚の点

復元する。次に多面体の性質を使ってそのワイヤフレームに面を張りつけて三次元形状を復元する方法である。これらの方法は辺の情報に注目し多面体を復元した点に特徴がある。これに対しわれわれの方法では、面に注目し、それらの局所的な拘束条件を用いた復元方法を採用している。

三面図を用いる場合、注意しなければならないのは、それから解釈される多面体の一意性の問題である。これは、三面図は三次元形状の縮退した表現形式であるために多面体が複数解釈できてしまう問題である。これを解決するためには、たとえば副視図（三面図で用いられる視線方向およびその逆視線方向以外からの視点による図面）や断面図を与えて欠如している情報を補う方法<sup>1)</sup>が考えられる。これに対し、本システムでは解釈され得る多面体はすべて復元し、後で目的の多面体を選択する方法を採っている。しかし、人間は三面図を見た場合、経験によって何らかの情報を加えて、おそらく正しいであろう多面体を解釈できることがある。この問題を解決するためには、あるヒューリスティックをシステム内に組み込む必要がある。また、本システムでは誤った三面図（表現する多面体が存在しない三面図）を入力した場合、それを特にチェックする処理は行なってはいないが、解析の段階で解のないことを判断し対処する。また、誤りのために誤動作することはない。

システムは入力、解析、出力の3つの部分に分けられる（図5）。入力は三面図である。この上にある情報は点・辺・面のデータである。点は点の座標、辺は構成する点及び種類、面は構成する点あるいは辺をそのデータとする。しかし、面のデータは点・辺のデータより抽出することができるので、ここでは、点・辺のみのデータを三面図から入力することにした。入力した二次元の点・

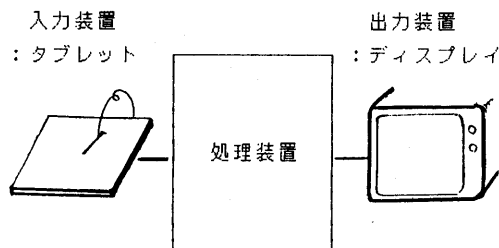


図5 システムの概要

辺のデータを用い、辺を探索することによって、二次元の面を抽出する操作を後処理として行う。ここでは、三面図上で対応し得るすべての面を抽出する。なお、現在は、タブレット・ペンによる座標指定の方法により入力を行っている。

解析の部分は三面図のデータから、それが表わす多面体のデータを復元する処理を行う。まず、多面体の点・面となる候補を挙げ、それらの中から多面体にふさわしいものを選ぶ処理を行うものであり、次に述べる3つのフェイズから成っている。

1) 三次元の点の復元 …… 二次元の点の組み合わせによって三次元の点を復元する。

2) 三次元の面の復元 …… 二次元の各面は、それぞれある三次元の面群の投影されたものである。ここでの復元では、各二次元の面に対して、元の三次元の面群を求める。

3) 多面体の復元 …… すでに求めた三次元の面群の中から三面図が表わす多面体を構成するにふさわしい面の組み合わせを選択する。

出力は、多面体の各構成点・辺・面のデータの形で得られる。さらに、人間による認識を容易にするために、本研究室で開発したグラフィック・システム（HAMA System）を用いて、グラフィック・イメージとして表示することができる。

図6に、図4で与えられた三面図に対する処理の概要を示す。

#### 4. 各フェイズの処理内容

この章では多面体のデータを復元する方法を述べる。処理の手順は、入力部の後処理である二次元の面の抽出と解析部の3つのフェイズから成る。

##### 4.1. 二次元の面の抽出

三次元の面を復元するための手掛かりとなる二次元の面を抽出する。そのため、多面体（三次元）の面を三面図に投影したすべての二次元の面を抽出する必要がある。ここでは、考え得るすべての二次元面を二次元の点、辺のデータより復元する（図7）。今、三面図上において、辺によって囲まれた最小の面領域を最小二次元面と定義する。

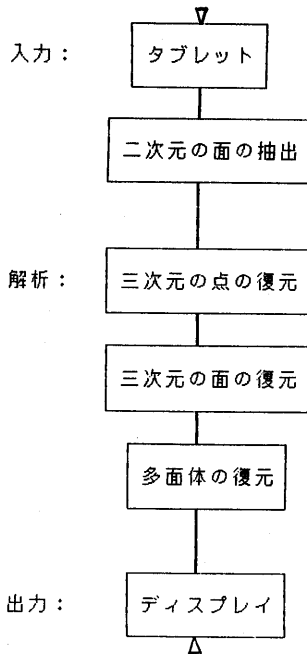
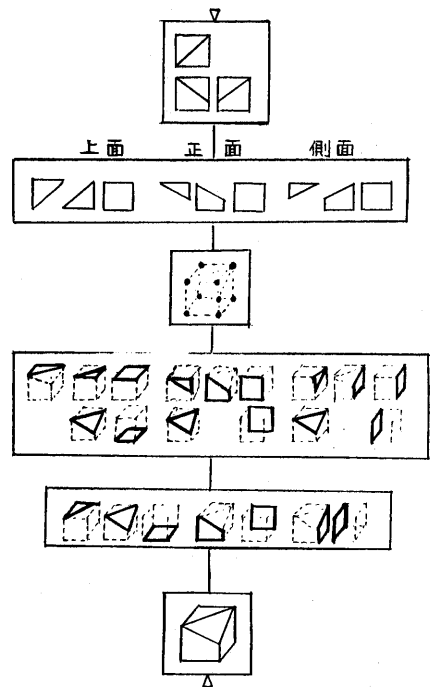


図6 処理概要



※実際にはデータの形で扱っているが、理解の補助のために図形を用いて表わした。

穴の空いた面においては、穴を除いた領域が最小二次元面である。図8に最小二次元面の例を示す。

このフェイズでは、まずこの最小二次元面を見つけることから始まる<sup>4)</sup>。ある点から出発し、最小の領域を囲むように辺の追跡を行う。すべての最小二次元面を抽出したのち、それらの間の包含関係を調べ、他の面を含む面を見つける。他の面を含む面は、穴の空いた面として新たに登録する。こうして、最小二次元面が抽出される。

次にこの最小二次元面をいくつか併合することにより新しい面を作る。面の組み合わせにより、三面図上のすべての面が作られる。併合の際、併合する最小二次元面の種類により二次元の面を分類する。

面はそれを構成する反時計まわりの点列で表現する(実際には、それと等価な辺列で表現してい

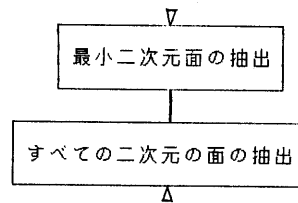


図7 二次元の面の抽出

る)。また、穴の部分は面の外周の点列に続く時計まわりの点列で表現する。

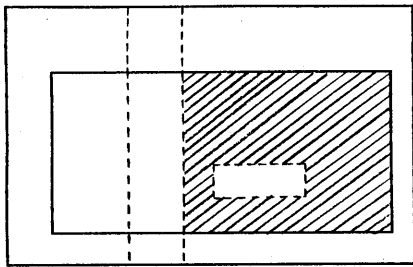


図8 最小二次元面の例(斜線部)

#### 4.2. 三次元の点の復元

三次元の点は、三面図の各図に二次元の点として現われる。このとき、その三次元の点と二次元の点は、その共通する座標系において同じ座標値を持つ。たとえば、もし、XY平面上の点AとYZ平面上の点Bが同じ三次元の点の射影点であるならば、点AのY座標と点BのY座標は同じであるはずである。この性質を使って三次元の点を復元する。復元の方法は次の通りである。

XY平面上の点を  $P_{xy} = (x_i, y_i)$ , YZ、XY平面上の点をそれぞれ  $P_{yz} = (y_j, z_j)$ ,  $P_{zx} = (z_k, x_k)$  とする。このとき、もし、 $P_{xy}$ 、 $P_{yz}$ 、 $P_{zx}$  が同じ三次元の点をあらわすならば、 $x_i = x_k$ ,  $y_i = y_j$ ,  $z_j = z_k$  を同時に満足しているはずである。このような性質を満たす点  $(x_i, y_j, z_k)$  を三次元の点の候補とする。

#### 4.3. 三次元の面の復元

各二次元の面を構成するおのおのの辺について、投影される前の三次元の辺の集合を考える。各集合から1つずつ要素を取り出した時、それらが同一平面上にある場合、その組み合わせによって構成される面を三次元の面の候補とする(図9)。処理手順を以下に述べる。

まず、三次元の辺の候補を挙げる。前フェイズで求めた三次元の点の中から任意の2点を取り出し、その2点間に辺が存在するかどうかをチェックする。チェックの方法は、三面図のすべての図においてその辺の投影されたものがあるかどうかを確認することで行われる。ただし、三次元の辺は三面図上では辺だけではなく点として現われる場合もあることに注意しなければならない。

次に、三次元の面の候補を挙げる。二次元の面を構成する辺列の順に、それに対する三次元の辺を両端点一致するようにして選んでいく。そして、始めの辺の始点と最後の辺の終点一致するようなものを選ぶ。ちょうど単純閉路の形になるように辺を追跡するのである。

追跡した三次元の辺の組み合わせに対し、4つ以上の辺からなるものについて、すべての辺が同一平面上にあることをチェックする。3つの辺からなるものすべてと、4つ以上の辺から成り同一平面上にあるものすべてを三次元の面の候補とする。

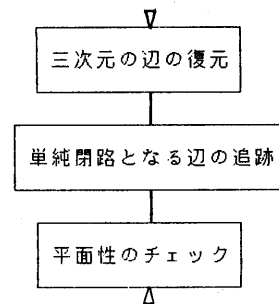


図9 三次元の面の復元

#### 4.4. 多面体の復元

ここでは、すでに求めた三次元の面群の中から三面図が示す多面体を構成するような面の組み合わせを選び出す。このとき、以下に示す5条件をこの順に用いて多面体を復元する(図10)。

条件1: 三面図の各図中で、最小2次元面のうち少なくとも1つは次の性質を持つ面である。すなわち、最小二次元面に対する多面体の面であって視線方向に対し手前の向きを持ち最も視点に近いものが存在する。

条件2: 三次元空間において、同一平面上にある向きが等しい2つの隣接する面は同時には存在し得ない。

条件3: 1つの三次元の辺に接する三次元の面の数は偶数個である。

条件4: 三面図上の辺上以外の任意の場所を通り、視線に平行な直線は面と偶数回(0を

含む) 交差する。さらに、2つの隣接する領域においては少なくとも一方は2回以上の偶数回交差する。ただし、背景の領域では交差しない。

条件5： 二次元面を構成する線分集合がその領域境界として破線をもつものは、それに対する三次元面集合の要素のうち、視点に対し最も近いものは面候補から除く。

条件1、2により面の組み合わせを絞り、残りの条件3、4、5で解のチェックする。条件3では多面体の面であることを、条件4では与えられた三面図の面であることをチェックする。最後の条件5は破線の処理を行うものである。これらをより詳細に以下で述べる。

条件1は面の向きを決定するために基準となる面の向きを決定するものである。

条件2は多面体上の隣接する2つの面についての性質である。もし、2つの面が同一平面上にあっても面の向きが違っていればそれは受け入れられる(図11参照)。条件1、2を同時に考慮し、ある程度、面の組み合わせを絞ることができる。

条件3は多面体を構成するための必要十分条件である。しかし、ここで得られた面の組み合わせが多面体であることが保証されていても、それらが、与えられた三面図の表わす多面体であるとは限らない。

条件4では、三面図から見た多面体の性質を使って、「三次元空間を占める閉じた空間はそれを横切る直線と偶数回交わる」という三次元形状

(多面体)の基本性質を表わしている。これも、多面体を構成するための必要十分条件である。さらに、「隣接する領域においては、少なくとも一方は2回以上の偶数回交差する」という条件により、破線を考慮しない三面図で表わされた多面体であることがチェックできる。処理は二次元の面の抽出の際に分類した、二次元の面の種類ごとにチェックすることで行う。

以上の条件ではまだ、破線の表わす三面図上の奥行き情報について考慮していない。条件5はこの処理を行うための条件である。具体的には、条件3までに得られた辺の組み合わせに対し、三面図上で破線を境界として含む面に対して得られた三次元の面が視点に対して最も手前にあるとき、その組み合わせを候補から除く処理を行う。なお、この条件は多面体の面であることが保証された上で成り立つ条件であるので最後に用いる。

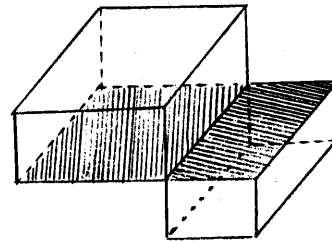


図11 条件2を満たす多面体の例

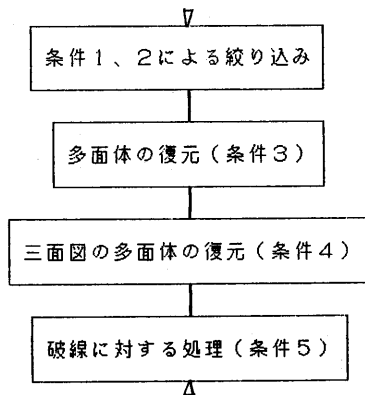


図10 多面体の復元

## 5. CLPの適用

先に述べたように解析部において探索を必要とする場面でCLP<sup>6)</sup>を用いている。この章ではCLPへの変換方法およびCLPの適応性について述べる。

### 5.1. CLPの定義

複数の構成要素からなる対象物を解析したり解釈する問題においては、まず、各構成要素に関する局所的な解釈を求めそれらの中から対象物全

体の矛盾のない解釈を与えるような解釈の組を探  
索するという方法がある。このような問題はCL  
Pと呼ばれる。

CLPは、4つ組(U, L, T, R)で記述さ  
れる。U={1, ..., M}はユニットであり、対象の構  
成要素を表わす。Lはラベルであり、ユニットに  
与えるべき解釈や意味、あるいは値を表わす。T  
は、1個以上の相異なるユニットの組の集合であ  
る。Tの各要素tは1個以上のユニットが相互に  
ある拘束条件のもとに関係しあっていることを表  
わす。ユニットの組tに課せられた拘束条件は、  
ラベルの|t|項関係R<sub>t</sub>によって与える。ただし、  
|t|はユニットの組tの構成要素の個数である。  
Rは、各ユニットの組t(t∈T)のラベル拘束関係  
R<sub>t</sub>の全集合である。CLPの拘束条件とは、  
(T, R)を指す。

CLPを解くとは、全ユニット(1, ..., M)に対  
するラベル組λ=(l<sub>1</sub>, ..., l<sub>n</sub>)のうち、条件

$$\forall t(\in T)(\lambda(t) \in R_t)$$

を満たすものをすべて見つけることをいう。ただ  
し、λ(t)はλのうちtの構成ユニットに対応す  
るラベルのみを取り出したものである。したがっ  
て、対象全体を統一的に解析する際に、与えられ  
た局所構造に関する拘束条件(T, R)をすべて  
同時に満たしているような解釈をすべて見つける  
ことを意味する。

解を求める上で試行錯誤を要するものはCLP  
に置き換えることによって、すでに開発済みのC  
LPアルゴリズムを用いることができる。もし、  
問題の一部をCLPに変換することができれば、  
その部分は単独の問題として扱える。このことは、  
問題を簡潔に捉える上で有効である。

また、拘束条件を明確に表わせる問題はCLP  
として扱うことができるが、例えば、個数のチェ  
ックなど明確に表わすことのできない条件を持つ  
問題はCLPとして扱うことができない。

## 5.2. CLPの適用

先に述べた各処理中では3箇所適用している。  
ここではその詳細について述べる。

### 5.2.1. 三次元の点の復元

二次元の点の組み合わせによって三次元の点を  
復元する。このフェイズでは処理のすべてをCL  
Pとして扱うことができる。

$U = \{v_1, v_2, v_3\}$  : 三面図の各頂。

$L = \{v_1, \dots, p_j\}$  : すべての二次元の点。

$T \subseteq \{(v_i, v_j) | v_i, v_j \in U\}$  :  $v_i$ と $p_i$ は異なる頂。

$R \subseteq \{(v_i, p_i, v_j, p_j) | v_i, v_j \in U, p_i, p_j \in L\}$  :  
 $p_i$ を $v_i$ 上の点、 $p_j$ を $v_j$ 上の点とすると、2点  
 $p_i, p_j$ の $v_i$ と $v_j$ に共通する座標系の値が一致する。

### 5.2.2. 三次元の面の復元

ここでの復元では、各二次元の面に対して元の  
三次元の面群を求める。すでに、三次元の辺を復  
元しているとする。そして、三次元の面の候補を  
挙げる段階でCLPを適用する。このとき、各二  
次元の面に対し用い、複数個のCLPを解くこと  
になる。

$U = \{e_1, \dots, e_n\}$  : 二次元の面Sの境界を形  
成する辺。

$L = \{l_1, \dots, l_m\}$  : 三次元の辺。

$T \subseteq \{(e_i, e_j) | e_i, e_j \in U\}$  :  $e_i, e_j$ はSにおける  
隣接する任意の2つの辺。

$R \subseteq \{(e_i, l_i, e_j, l_j) | e_i, e_j \in U, l_i, l_j \in L\}$  :  
 $e_i, e_j$ の共通点に対して、それぞれの解釈辺で  
ある $l_i, l_j$ が接する。

複数のCLPの解のおのおのに対し、平面性の  
チェックをし、三次元の面を復元する。

### 5.2.3. 多面体の復元

すでに求めた三次元の面群の中から三面図が表  
わす多面体を構成するにふさわしい面の組み合わ  
せを選択する。5つの条件中、条件1、2、5を  
CLPとして扱うことができる。しかし、CLP  
は組み合わせを絞る性質が強いので、解チェック  
として用いる条件5はここではCLPに組み入れ  
なかった。

まず、条件1、2をCLPとして解く。

$U = \{f_1, \dots, f_n\}$  : 三次元の面。

$L = \{S_0, S_1, S_2\}$  : 面の状態。 $S_0, S_1, S_2$ はそ  
れぞれ、その面が存在しない、視点に対し手前向  
き、反対向きの状態を表わす。ただし、視点は正  
面からのものをいう。また、正面からはその面が  
見えないものは側面から、正面、側面共に見え  
ないものは上面からのものである。

$T \subseteq \{(f_i), f_i \in U\} \cup \{(f_i, f_j) | f_i, f_j \in U\}$  :

最小二次元面に対する三次元の面のうち視点に最も手前の面。あるいは隣接する2つの三次元の面。

$R \subseteq \{(f_i, s_i) | f_i \in U, s_i \in L\}$

$\cup \{(f_i, s_i, f_j, s_j) | f_i, f_j \in U, s_i, s_j \in L\}$

: 最小二次元面に対する三次元の面のうち視点に最も手前の面は、その面が存在しない(S0)か、視点に手前向きの状態(S1)である。また、2つめの2項関係は、同一平面上の隣接する2つの三次元の面は、一方の面が存在しないか、向きが異なった2つの面が存在する状態である。

このCLPを解くことで条件1、2を満たす解が得られる。この後、条件3、4、5についてそれぞれチェックし、最終的に、与えられた三面図と矛盾しない多面体が復元される。

## 6. まとめ

三次元形状を平面上に正確に表現するための手段として、三面図型式の図面はきわめて広く用いられている。本稿では、三次元形状を多面体に限定し、与えられた三面図の表現する多面体を復元するシステムについて具体的な処理方法を述べた。処理の基本方針として、面に注目し、三面図へのフィードバックを行なうことにより復元する方法を用いた。

また、各フェイズの処理またはその一部をCLPに置き換えて解く方法についても明らかにした。それらはCLPの特徴を生かした処理方法といえる。入力処理である三面図から直接データを読み取る方法と、復元される多面体を一意に決めるためのヒューリスティックの考察と実現等が今後検討すべき課題である。

## 参考文献

1) 出沢正徳、「図形処理に関する研究」、東京大学生産技術研究所報告、第23巻、第4号、1974。

2) G. Markowsky and M. A. Wesley, "Fleshing Out Wire Frame," IBM J. Res. Develop., Vol. 24, No. 5, Sept. 1980, pp. 58-597.

3) G. Markowsky and M. A. Wesley, "Fleshing Out Projection," IBM J. Res. Develop., Vol. 25, No. 6, Nov. 1981, pp. 934-954.

4) R. M. Haralick and D. Queeney, "Understanding Engineering Drawings," Computer Graphics and Image Processing, Vol. 20, 1982, pp. 224-258.

5) T. Pavlidis, "Algorithms for Graphics and Image Processing," Computer Science Press, 1982, pp. 142-148.

6) 西原清一、原智亨、池田克夫、「拘束ネットワークを用いた整合ラベリング法」、電子通信学会論文誌(D)、Vol. J67-D, No. 7, July 1984, pp. 745-752.