

非多様体形状モデラと ATMS を用いた 三面図からのソリッド合成法

増 田 宏[†] 沼 尾 雅 之[†] 清 水 周 一[†]

三面図からソリッドモデルを合成する問題では、立体の条件や三面図との対応の条件などを満たす解を探索するが、探索の範囲が広くなることが多く、処理効率が悪かった。われわれは、セル分割モデル表現をソリッドモデル合成の途中に経由させることによって、この問題を幾何的な形状処理と記号的な探索問題とに分離することができた。ここで、セルというのは三面図から算出される面候補で囲まれる閉空間として定義される。このとき、解となるソリッドモデルを求める問題は、セルの組合せを求める AI の探索問題として定式化できる。まず、セルの生成に radial-edge 構造の非多様体モデルを適用して、効率的な形状処理を実現した。たとえば、任意のセルの組合せから構成される立体の境界表現を即座に算出することができるので、複数のソリッドモデル候補を順次表示したり、すべての解候補を一つのセル分割モデルとして保持することができる。また、解となるセルの組合せの計算には ATMS を利用した。セルの存在を仮説、三面図と形状モデルの間の関係を正当化式とすることによって、宣言的に知識が記述できるので、解候補選択に対する経験的知識の適用や、ユーザによる対話的な処理が容易に定義できる。このような方法に従って、ソリッドモデル合成システムを実際を作って評価した。対象とする図面は円弧と直線からなる三面図である。いくつかの典型的な図面に対して、合成結果と計算時間を示した。

Solid Generation from Orthographic Views Based on Non-Manifold Models and ATMS

HIROSHI MASUDA,[†] MASAYUKI NUMAO[†] and SHUICHI SHIMIZU[†]

In this paper, we propose a new method to construct 3D solid models from 2D orthographic projections. We use cell decomposition models as an intermediate representation between the projections and solid models, and divide the whole process into two distinguished part: geometric modeling and symbolic searching. A cell is defined as a 3D closed space bounded by surfaces that are constructed from projections. Since any combination of cells becomes solids, the search process can simply focus on detecting appropriate combinations of the cells. We applied non-manifold modeling technology to represent cell models, and realize an efficient operation for generating boundary representation of candidates without Boolean operations. Then, the assumption-based truth maintenance system (ATMS) is applied to detect the appropriate combinations. ATMS described the problem declaratively and enables a user to define additional heuristics easily. We have developed a 2D-3D construction system by implementing these technologies, and evaluated it by the actual drawing data. The input is three orthographic projections which consist of lines and circular curves. The system constructs all possible solid models that consist of planar faces and analytic surfaces. We showed the performance of the system by comparing the calculation time of several examples.

1. 序 論

機械製品の設計や生産においては、3次元形状モデルが有効であることは広く認識されている。しかしながら、現実にはまだ2次元図面が多く利用されている。これは、3次元形状モデラに意図したとおりの形状を入力するのが大変であることおよび、既存の2次

元図面による設計の蓄積があることが大きな理由として挙げられる。この問題を解決する手段として、三面図からソリッドモデルを作成するアプローチが有効であると思われる。

3次元図面からソリッドモデルを生成する問題に対してはさまざまな研究がなされており¹⁾、その代表的なものとして Idesawa²⁾ と Wesley³⁾ の二つのアプローチがある。

Idesawa の手法では三面図から立体の頂点、稜線、

[†] 日本 IBM 東京基礎研究所
IBM Research, Tokyo Research Laboratory

面の候補を順次生成するが、頂点、稜線、面候補抽出の各段階で立体になりえないような候補が多数現れてしまうので、立体形状の条件を適用して偽の候補を排除する。しかし、この方法では、立体形状の条件と三面図との対応の条件とが混在してしまってアルゴリズムが複雑になる。さらに、一般に三面図には曖昧さがあるが、複数のソリッドモデルに対応することがあるが、複数の候補を探索によって順番に生成するしか方法がないために、探索の順によってはユーザの意図するモデルが現れるのに時間がかかったり、探索の結果の複数解をソリッドモデルの形で保持するのに多量のデータが必要となる。

Wesley らは三面図から面候補を生成し、それらによって囲まれる最小の閉領域をソリッドモデリングにおける基本立体として表現した。そして基本立体を適当に組み合わせて生成できる立体形状のうち、三面図に該当するものを解ソリッドとした。この方法では立体形状の条件と三面図との対応の条件を分けて扱えるので、曲面を含んだ形状への拡張が容易であるという利点がある⁴⁾。しかしこの場合でも、基本立体の組から境界表現ソリッドモデルを生成するための処理に時間がかかり、複数のソリッドモデルを解として保持する際にはデータ量が多くなる。また、処理の途中でソリッドモデルでは表現できない稜線や面の候補を生じるため、ワイヤフレームやサーフェスを表現するためのデータ構造をもった形状モデルが必要となる。さらに基本立体を生成する段階でも、基本立体間の隣接関係を定義する必要があるために、ソリッドモデルのデータ構造を拡張する必要がある。一方、解の探索においても、 n 個の基本立体の組合せで生成可能な解候補の個数は 2^n 個となり、指数のオーダーで増大していくので、三面図に該当するソリッドを求めるには効率的な探索が不可欠である。しかし、文献 3) ではそのような解の探索手法については論じていない。

本研究では、非多様体形状モデリングシステム^{5),6)}と ATMS (Assumption-based Truth Maintenance System)^{7),8)} を組み合わせることによって空間のセル分割をベースにした形状モデリングと推論を行い、三面図に適合する境界表現ソリッドモデルを効率よく求める方法について述べる。非多様体形状モデルでは、ワイヤフレーム、サーフェス、ソリッド、セル分割モデルが表現できるので、三面図からのソリッド生成の過程で生じるすべての 3 次元形状を扱うことができる。さらに、セル分割モデルを用いることによって、

複数の解候補を単一の形状モデルで表現でき、任意のセルの組合せで生成される境界表現ソリッドモデルを高速に抽出できる。さらに、セルの存在を仮説、三面図の線分とセル分割モデルの稜線をノードとすることによって ATMS が適用でき、三面図に該当するセルの組合せを効率良く探索することができる。

2. セル分割モデルを用いた形状処理

2.1 非多様体形状モデル

本研究で述べる手法ではセル分割モデルが基本となるが、従来の winged-edge 構造を用いたソリッドモデルでは、すべての稜線が 2 枚の面に共有されなければならない、という制約があるので、セル分割モデルを表現することができない。そこで、形状モデルとして radial-edge 構造⁵⁾に基づくものを考える。このデータ構造に基づいた形状モデルはワイヤフレーム、サーフェス、ソリッドが統一的に表現でき、また 3 枚以上の面に共有される非多様体稜線を含んだ立体形状も表現できるので非多様体形状モデルと呼ばれる。

radial-edge 構造では位相要素 face, edge, vertex の隣接関係はすべて補助的な位相要素である face-use, edge-use, vertex-use を介して保持される。位相要素の use は隣接する上位の位相要素の個数に応じて生成されるので、図 1 のような 3 枚以上の面に共有される稜線の場合では、face の裏表に対応する face-use に一つずつ計 6 個の edge-use を持つことになる。図 1 は edge 周りの face の構造を示しているが、面の裏表に対応する face-use の組が mate によって、向かいあった face-use が radial によってそれぞれ関係付けられている。この構造では、radial ポインタで互いに結ばれた face-use の集合を得ることによって face に囲まれた閉空間が検出できるので、後述するような

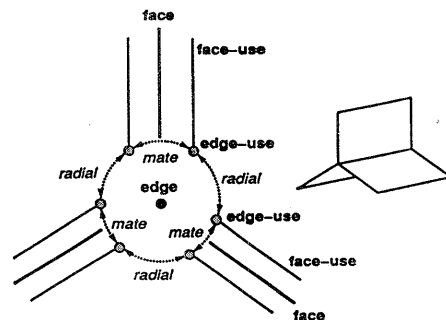


図 1 ラジアルエッジ構造
Fig. 1 Radial-edge structure.

セル分割モデルを管理するのに都合がよい。

非多様体モデリングでは、ワイヤフレーム、サーフェス、ソリッドが統一的に扱えるオイラー操作が提案されている⁶⁾。オイラー操作とはその組合せによって任意の位相変形操作が記述できる基本的な操作である。本論文で述べる三面図からのソリッド合成問題では、稜線や面の生成と分割、セルの生成、面の穴やセルの空洞を作る操作が必要であるが、それらに対応するオイラー操作を図2に示す。この図において(a)はワイヤフレームを扱うための操作、(b)はサーフェスモデルを扱うための操作、(c)はセル構造を生成する操作である。例えば、(a)の一番上の操作は空間に edge を生成し、(b)の一番上の操作では与えられた edge の集合を境界とする face を生成する。また(c)では左側が face に囲まれた空間をセルとして登録する操作、右側が大きい方のセルに空洞を生成する操作である。これらの操作は、次に述べるセル分割モデルの生成のために用いられる。

2.2 セル分割モデル

図3(a)に空間を三つのセル、 C_1, C_2, C_3 に分割したセル分割モデルの例を示す。ここから適当なセルを選ぶことによってさまざまな立体形状を表現することができる。あるセルが立体形状の一部として選択されたとき、そのセルを active と呼び、また active でないセルを \bar{C}_1 のように書く。図3(b), (c)はそれぞれ、 $\{C_1, C_2, C_3\}$, $\{C_1, \bar{C}_2, C_3\}$ を選ぶことによって生成される形状である。一般に、 n 個のセルを組み合わせて生成できる立体形状は、空集合も含めて 2^n 通り

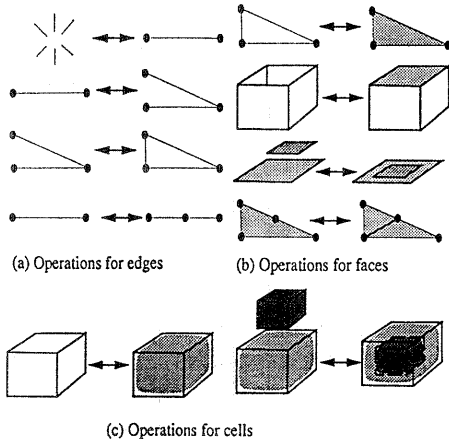


図2 セル分割モデルの生成に必要なオイラー操作
Fig. 2 Euler operators for generating a cell decomposition model from orthographic views.

である。

セル分割モデルを用いると、多数の立体形状を単一の形状モデルで表現できるので、ソリッド合成で得られる複数の候補立体を表現するのに都合がよい。セル分割モデルのデータ構造として radial-edge 構造を用いた場合、セル間の隣接関係がポインタ mate と radial によって保持されているので、適当なセルの集合で構成される立体形状の境界要素を容易に得ることができる。

active なセルの集合で定義される立体形状の境界要素として取り出すべき位相要素は次の条件を満たすものである。ここでは、取り出される位相要素を active と呼ぶ。

- (1) 隣接する active なセルがただ一つである face,
- (2) active な face の境界上で、連結するすべての active な face が同一曲面上にはない edge,
- (3) active な edge の端点で、連結するすべての active な edge が同一曲線上にはない vertex.

図3の(b), (c)はこの条件を満たす位相要素をセル分割モデルから取り出して表示したものである。この処理では、幾何計算は曲面と曲線の同一性の判定だけで、比較的時間のかかる位相変形処理や干渉計算は行わないので、非常に高速に立体の境界要素を取り出すことができる。

2.3 三面図からのセル分割モデルの生成

次に図4の例を用いて三面図からセル構造を生成する手順について説明する。ここで用いられる3次元形状モデルのための位相変形処理はすべて図2で示した操作を用いている。

- (1) 候補稜線の生成 (図4(a))

本手法では、直線と円弧で構成される三面図を考え、現れる曲面は、平面、球、および中心軸が主軸と平行である円筒、円錐、トーラス面とする⁴⁾。曲面を

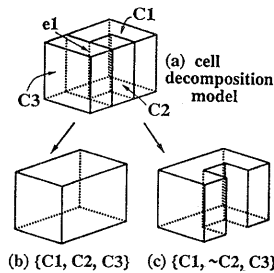


図3 セル分割モデルから取り出されるソリッドモデル
Fig. 3 Solid models extracted from a cell decomposition model.

扱うときに問題となるのは、投影の方向によって輪郭線として投影図に現れる部分が異なることである。ここでは、三面図に円弧が現れたときには、その円弧から生成されるすべての曲面を仮定して輪郭線や接線連続な2曲面の境界稜線となりうる部分を各投影面に投影し、三面図に付加的な線分として書き加える。書き加えた線分にはシルエットライン候補として属性を付けておき、後に述べる推論では区別して扱う。

次に、三面図上の各頂点から、3次元座標上の頂点になる可能性のある組を選びだし、3次元の候補頂点を合成する。さらに、任意の2候補頂点を結ぶ線分の投影図が、与えられた三面図のすべてに頂点または線分として現れていれば、その線分はワイヤフレームモデルの稜線となる^{1)~3)}。ここで、シルエットライン候補から生成された稜線にシルエット稜線として属性を付けておく、得られたすべての稜線を図2(a)のオイラー操作によって生成すると、図4(b)のような形状モデルができる。生成された稜線には、元となる三面図の線分へのポイントを持たせておく。

(2) 面の生成 (図4(c), (d))

ワイヤフレームモデルの稜線を辿り、loopを探索することによって、faceを生成する。loopとは、面の境界を反時計回りに辿るようなedgeの集まりである。loopを探索するには、同一の平面または曲面上に乗っていて、かつ時計回りから見ても近いedgeを順に辿っていく。図4(c)では、同一平面上に乗っているワイヤフレームモデルのedgeを示しているが、この例でedge e_1 を矢印で示した向きに辿る場合、時計回りで最も近いedgeは e_2 となる。このようにして

e_1 に戻るまで順次edgeを辿っていくと10本のedgeから成る $loop_1$ を得ることができる。 $loop_2$, $loop_3$ も同様にして得られる。

得られたloopにはfaceを生成する。このとき、loop間の包含関係を調べ、もしあるloopが他のloopを含んでいたら、二つ以上のloopで構成され穴を持つfaceが生成される。また、faceの生成の際には他のfaceとの干渉を調べ、もしfaceの境界以外で交わるならば図4(d)に示すような干渉稜線を生成する³⁾。

なお、処理(1)でシルエットライン候補を生成しているので、曲面Sに関して主軸方向から見て輪郭線となる部分 ($\partial S/\partial x=0$, または $\partial S/\partial y=0$, または $\partial S/\partial z=0$ となる点集合) には稜線が生成される。したがって、円筒と円錐は4分割、球とトーラスでは8分割され、それぞれ4枚と8枚のfaceで表現される。

(3) セルの生成 (図4(e))

次に図4(d)のサーフェスモデルからfaceに囲まれた閉領域を検出する。得られたfaceの集合はshellと呼ばれる。本研究では、非多様体形状モデルを用いた形状モデリングを行っているので、shellを取り出す処理はradialポイントを辿ることによってきわめて容易に行うことができ、また得られたshellに図2(c)で示す操作を行うことによってセルとして管理することができる。このときshell間の包含関係を調べ、もしあるshellが他のshellを含んでいたら、二つ以上のshellで構成され空洞を持つセルが生成される。図4では(e)に示すような9個のセルが検出される。

以上の処理によって、三面図からセル構造モデルが生成でき、ソリッド合成問題をセルの組合せを選ぶ問題に帰着させることができる。次にその解をATMSを用いて求める手法について述べる。

3. ATMSを用いた解の算出

3.1 ATMS

ATMSは、命題がどのような文脈で成立するかを管理する⁷⁾。複数の文脈での推論を可能にするために、推論の際に現れる仮説の全体から、部分集合のラティスを作ることによって可能な仮説の組合せすべてを扱うことができる。

ATMSでは、推論の際に前提にした条件を仮説として表現することによってある命題を成立させるための究極の条件を計算する。命題を導き出すための条件

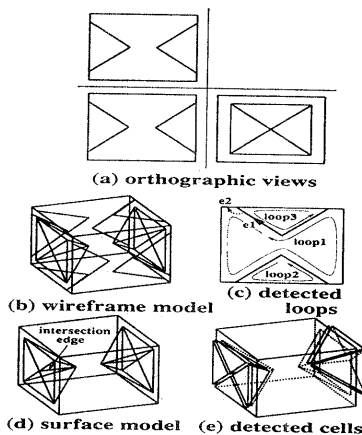


図4 セル分割モデルの生成

Fig. 4 Generating a cell decomposition model.

式を正当化式と呼ぶ。個々の仮説の可能な組合せを環境と呼び、命題が成立するような環境の集合をラベルと呼ぶ。一方、矛盾を生じる仮説の集合を *nogood* 環境と呼び、矛盾することなくこれ以上仮説を追加できないような環境を極大環境と呼ぶ。正当化式が次々に処理されていくと、ATMS ではデータベースの整合性を維持するために命題のラベルを更新し、データに矛盾が生じた場合は *nogood* 環境に追加する。

本手法では、この機能を用いて三面図に対応するセルの組合せを求める。ATMS を用いて三面図に対応するソリッドを求めるために、セルの存在を「仮説」、セル分割モデルの稜線が見える条件と、三面図の線分がソリッドの投影図になるための条件を「正当化式」とする。ここでは、セルの存在を仮説： C_1, C_2, \dots 、セル分割モデルの稜線の存在をノード： e_1, e_2, \dots, e_n 、三面図の線分の存在をノード： d_1, d_2, \dots, d_m のように書くものとする。したがって、正当化式は

$$C_1, C_2, \dots \Rightarrow e_1$$

のように記述される。

3.2 セルの条件

まず、セル分割モデルの稜線が立体形状の稜線として現れる条件を求める。セル分割モデルでは稜線の周りに複数のセルが存在しうが、どのセルを *active* にするかによって稜線が見えるかどうかが決まる。

稜線がシルエット稜線でないとき、この条件は「稜線周りに *active* な *face* が二つ存在し、かつそれらが同一曲面上にない」と記述できる。このような条件は、図5のように、稜線 e_1 の周りに四つのセル $\{C_1, C_2, C_3, C_4\}$ が存在する場合には、

$$\begin{aligned} &\{C_1, \bar{C}_2, \bar{C}_3, \bar{C}_4\}, \{\bar{C}_1, C_2, \bar{C}_3, \bar{C}_4\}, \\ &\{\bar{C}_1, \bar{C}_2, C_3, \bar{C}_4\}, \{\bar{C}_1, \bar{C}_2, \bar{C}_3, C_4\}, \\ &\{C_1, C_2, C_3, \bar{C}_4\}, \{C_1, C_2, \bar{C}_3, C_4\}, \\ &\{C_1, \bar{C}_2, C_3, C_4\}, \{\bar{C}_1, C_2, C_3, C_4\}, \end{aligned}$$

の8通りが得られるので、これらを8個の正当化式として

$$C_1, \bar{C}_2, \bar{C}_3, \bar{C}_4 \Rightarrow e_1$$

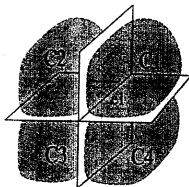


図5 稜線の回りのセル
Fig. 5 Cells around an edge.

のように表現する。

本手法では、セル分割モデルを表現するために非多様体形状モデルを用いており、解ソリッドとして非多様体となる形状を算出することも可能である。しかし、現実の工業部品が非多様体形状となることはありえないので、解ソリッドから非多様体となるものを除外するために、一本の稜線が三枚以上の *active* な *face* に共有されるのを禁じる条件を加える。図5の稜線 e_1 が非多様体稜線となるセルの組合せは $\{C_1, \bar{C}_2, C_3, \bar{C}_4\}$, $\{\bar{C}_1, C_2, \bar{C}_3, C_4\}$ なので、

$$C_1, \bar{C}_2, C_3, \bar{C}_4 \Rightarrow \textit{nogood},$$

$$\bar{C}_1, C_2, \bar{C}_3, C_4 \Rightarrow \textit{nogood}$$

を条件として加える。

一方、シルエット稜線では、ある特定の方向から見た場合のみ輪郭線として投影図に現れる。ここでは曲面の中心軸が主軸と平行な場合を考えているので、ある稜線が平面 P に投影したときのみ現れるのであれば、稜線が満たすべき条件は「稜線周りに *active* な *face* が二つ存在し、少なくともその一方が平面でなく、かつそれらの稜線上での接線が平面 P に垂直となる」と記述できる。そこで、この条件を満たすセルの組合せをシルエット稜線の正当化式とすればよい。

また、セル分割モデルを作成する場合に、面候補同士が交わると図4(d)のように干渉稜線が生じる。干渉稜線は三面図に現れてはならないので、干渉稜線が見える条件は *nogood* 環境となる。もし、図5の稜線 e_1 が干渉稜線のときは、

$$e_1 \Rightarrow \textit{nogood}$$

とすることによって、この稜線が見えるためのセルの組合せがすべて *nogood* 環境となる。

次に、セル分割モデルと三面図との関係を考える。三面図の線分のうち、シルエットライン以外の線分はソリッドモデルの稜線として現れなければならない。いま、三面図の線分 d_1 から生成された稜線を e_1, \dots, e_p とすると、稜線のうち少なくとも一つは見えなければならないので、次が得られる。

$$e_1 \Rightarrow d_1, e_2 \Rightarrow d_1, \dots, e_p \Rightarrow d_1.$$

また、シルエットライン以外の線分はすべて存在しなければならないので、存在すべき線分の集合によって正当化されるノード *views* を次のように書く。*views* を成立させるセルの組合せが求めるべき解である。

$$d_1, d_2, \dots, d_m \Rightarrow \textit{views}.$$

3.3 極大無矛盾環境の算出

以上の条件を ATMS に与え、ラベル更新処理を行

うことによって、ノード *views* のラベルがセルの集合として求まる。このラベルは、三面図のすべての線分を含んだ立体の条件となるが、立体が三面図に現れない線分を含んだり、非多様体となったりすることは禁じていない。そこで、三面図と一致するソリッドモデルを求めるために、このラベルと *nogood* 環境から *views* を成立させるための極大無矛盾環境を求める。

このことを図6を用いて説明する。この例では、セルが C_1, C_2 の二つのみで、ノードとしては、セルの否定を示すノード \bar{C}_1, \bar{C}_2 を含む四つのノード $\{C_1, \bar{C}_1, C_2, \bar{C}_2\}$ が存在する。図6はこれらから構成されるラティスである。ここで、いま *views* のラベルが $\{C_1\}$ 、また、環境 $\{C_1, C_2\}$ が干渉稜線が非多様体条件のいずれかの理由で *nogood* であるとする。また、 $\{C_1, \bar{C}_1\}, \{C_2, \bar{C}_2\}$ が真となることはありえないので、これらも *nogood* に加える。このとき、図の破線より上が矛盾した環境となるので、図の太線で示した $\{C_1\}$ を含んだ環境のうち、極大無矛盾環境である $\{C_1, \bar{C}_2\}$ のみが解となる。本問題では、すべてのセルは *active* かそうでないかの二つの状態のいずれかを取り、また全探索解が必要とされている。このような場合、極大無矛盾環境の個数が解の個数になる。

ここでの計算量はラベル更新処理と矛盾環境を算出する処理の和になる。矛盾環境を算出する際の計算量は一般には *nogood* 環境の数の指数のオーダーであるが、本アプリケーションの場合には、極大無矛盾環境算出の処理を *views* のラベルを含むようなスーパーセットという限られた領域に限定して適用しており、また仮説の数に比べて *nogood* 環境の数が少ないという特徴があるので、この方法は有効なものになっている。

4. 例 題

本論文で述べた手法を図4, 7, 8の例に適用した。三面図は隣接関係の定義されていない線分の集合として与えられ、2線分の端点がある誤差の範囲内で一致していれば連結であるとみなす。またここでは、三面図の実線、破線の区別はしないものとする。以上の条件で三面図を読み込んでセル構造モデルを生成するまでの処理時間 (elapsed time) と、ATMSを用いてすべての解を求めるまでの処理時間をそれぞれ測定し、表1に示した。用いた計算機は、IBM RS/6000-980

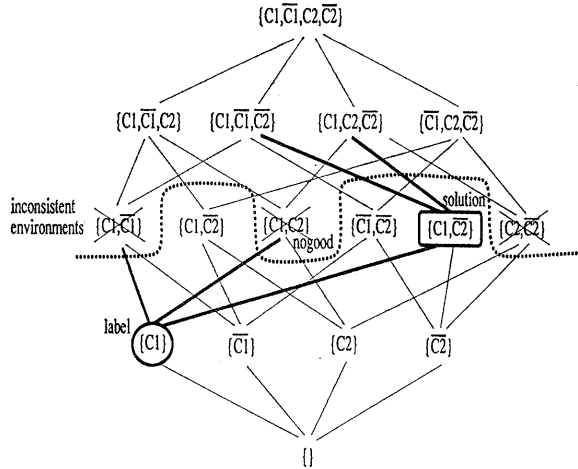


図6 全体集合のラティス構造と極大無矛盾環境
Fig. 6 Lattice of potential environments.

表1 計算時間 (IBM RS/6000-980)
Table 1 Elapsed time (IBM RS/6000-980).

例題	個 数			処理時間 (sec)		
	面の個数	セルの数	解の個数	セル生成	推論	合計
図4	26	9	13	0.38	0.99	1.37
図7	39	10	16	0.49	1.56	2.05
図8(a)	48	5	1	0.95	0.43	1.38
図8(b)	33	6	1	0.81	0.44	1.25
図8(c)	51	6	1	0.89	0.31	1.20
図8(d)	57	9	1	1.22	0.62	1.84

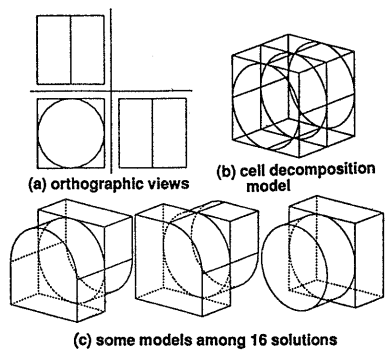


図7 16個の解を持つ三面図の例題
Fig. 7 Orthographic views that have 16 solutions.

である。

図4と図7は複数の立体形状が解として求まる例である。図7では解ソリッドは全部で16個あり、そのうちのいくつかの例を図7(c)に示した。一方、図8

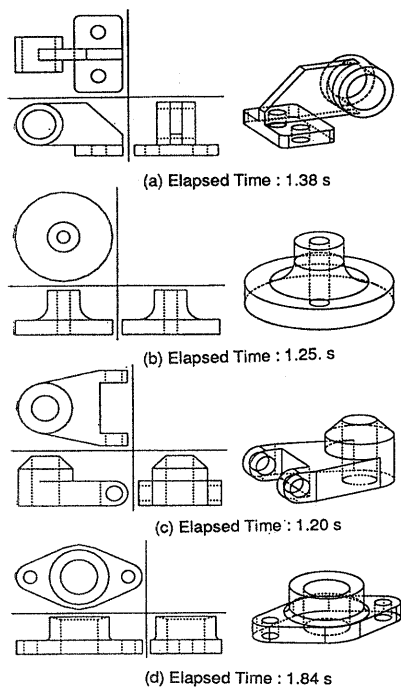


図 8 唯一つの解を持つ三面図の例題
Fig. 8 Orthographic views that have a single solution.

は解が唯一つに決まる例で、三面図とその解ソリッドを示した。生成されるセル分割モデルは曲面を含んでおり、図 8 (a)では、22 枚の平面と 26 枚の円筒面、図 8 (b)は、9 枚の平面と 20 枚の円筒面と 4 枚のトラス面、図 8 (c)は、19 枚の平面と 28 枚の円筒面と 4 枚の円錐面、図 8 (d)は、17 枚の平面、32 枚の円筒面、4 枚の円錐面、4 枚のトラス面から構成される。

表 1 に示したように、本手法を用いることによって、複数の解が存在する場合や曲面を含んだ場合でも十分実用的な時間で三面図からのソリッド合成ができることがわかる。

5. 結 論

本論文では、三面図からのソリッドモデルの生成に関して、非多様体形状モデルと ATMS を用いた手法について述べた。また、本手法を幾つかの例題に対して適用し、十分実用的な実行速度で解が求まることを示した。本アプリケーションでは形状処理の過程でワイヤフレーム、サーフェス、ソリッドの各モデルが現れるので、これらすべてをカバーするためには非多様体形状モデルが適しており、また、セル分割モデルが

表現できる利点を用いて複数の解ソリッドを単一のデータ構造で表現できることを示した。また、解ソリッドの条件を正当化式によって求め、ATMS を利用してすべての解を効率良く求めることができることを示した。

一方、本手法は誤りのない三面図を前提としているが、現実の三面図は誤りを含むことが少なくない。そこで今後は、誤りを含んだ三面図において、立体として矛盾を生じる部分を検出して妥当な解候補を推論できるように本手法を拡張することを考えている。

参 考 文 献

- 1) 伊藤 潔: 三面図を用いたソリッドモデルの構成, 情報処理, Vol. 31, No. 8, pp. 1095-1106 (1990).
- 2) Idesawa, M.: A System to Generate a Solid Figure from a Three View, *Bulletin of the Japan Society of Mechanical Engineering*, Vol. 16, pp. 216-225 (1973).
- 3) Wesley, M. A. and Markowsky, G.: Fleshing Out Projections, *IBM Journal of Research and Development*, Vol. 25, No. 6, pp. 938-954 (1981).
- 4) Sakurai, H. and Gossard, D. C.: Solid Model Input through Orthographic Views, *Proc. of SIGGRAPH '83*, Vol. 17, No. 3, pp. 243-247 (1983).
- 5) Weiler, K.: Topological Structures for Geometric Modeling, Ph.D. Thesis, Rensselaer Polytechnic Institute (1986).
- 6) Masuda, H., Shimada, K. and Kawabe, S.: A Mathematical Theory and Applications of Non-Manifold Geometric Modeling, in: Krause, F.-L. and Jansen, H. (eds.), *Advanced Geometric Modelling for Engineering Applications*, pp. 89-103, North-Holland (1990).
- 7) de Kleer, J.: An Assumption-based TMS, *Artificial Intelligence*, Vol. 28, No. 2, pp. 127-162 (1986).
- 8) Shimizu, S., Inoue, K. and Numao, M.: An ATM-Based Geometric Constraint Solver for 3D CAD, *Proc. of Tools For Artificial Intelligence*, pp. 282-290 (1991).

(平成 5 年 5 月 31 日受付)

(平成 5 年 12 月 9 日採録)

**増田 宏 (正会員)**

1961年生. 1985年東京大学工学部精密機械工学科卒業. 1987年同大学工学系研究科修士課程修了. 同年日本アイ・ビー・エム(株)入社. 東京基礎研究所に勤務. 形状モデリングに関する研究に従事. 精密工学会会員.

**沼尾 雅之 (正会員)**

1958年生. 1981年東京大学工学部電気工学科卒業. 1983年同大学院工学系研究科修士課程修了. 同年日本アイ・ビー・エム(株)入社. 東京基礎研究所に勤務. 人工知能技術を応用した計画・設計システムの開発に従事. 人工知能学会, IEEE 各会員.

**清水 周一 (正会員)**

1962年生. 1985年京都大学工学部電気第2学科卒業. 1987年同大学院工学研究科修士課程修了. 同年日本アイ・ビー・エム(株)入社. 東京基礎研究所に勤務. 次世代CAD/CAMシステムの研究開発に従事.