擬似ブール代数解法による三面図からの曲面物体の自動合成†

高橋正充†† 伊藤潔†††

三面図からの多面体の自動物体合成法は多くの研究者によって開発されている．しかし，工学上重要な曲面を含んだ物体の合成法はあまりない．本稿では三面図から曲面を含んだ物体の自動合成を行う．三面図が表す3Dの多面体を求めるために，3D空間上の頂点と稜線からなるワイヤフレームモデルを自動的に作成し，それらの稜線で囲まれた領域を面として認識したサーフィスモデルを自動的に作成する方法が通常とられる．この方法をとると，虚物体要素を含んだサーフィスモデルを作成してしまうことが多い．この虚物体要素を取り除く方法には，試行錯誤的な探索プログラムによるものと汎用の代数解法によるものがある．本稿では，代数解法を用いた多面体のみの合成方法に，稜線が直線か曲線かの違いとその性質の違い（標準，輪郭，接）を新しい情報として付加して，曲面を含んだ物体の取り扱いを可能とした．所望の物体要素を得るために，物体要素群が多面体を構成するための規則および三面図に適合するための規則の他に，曲面物体を構成するための規則を用いた．それらの規則を非線形の擬似ブール式で定式化し，それをもとに候補物体要素群に成り立つ関係を連立式として自動的に立式する．この連立式を自動的に解くことによって所望の物体要素群を求める．種々の例題に適用してこの方法の有効性を明らかにした．

1. はじめに

三面図からの多面体の自動物体合成を行うために，三面図の3つの面図（平/正/側面図）間の端点や線分の自動的な対応により，3D 空間上の頂点と稜線からなるワイヤフレームモデルを作成し，次に，稜線で囲まれた領域を面として認識したサーフィスモデルを作成し，最後に，各面のどちらの側に実体が存在するかを明らかにしたソリッドモデルを合成するという自動的な方法が通常とられる．

この方法によると，サーフィスモデル中に真の物体を構成する要素を含む候補物体要素群が比較的容易に列挙できるが，所望の物体には存在しない虚物体要素も含まれることが多い．この虚物体要素の除去がこの分野の解くべき問題となっている[6]．

虚物体要素の除去には2つの自動的な方法がある．1つは，物体要素のつながりや幾何学的な情報に関する規則を手続きとして組み込んだ探索プログラムによる方法[2)~5),7)~9),14),16)]で，もう1つは，つながりや幾何学的な情報を代数的に定式化して汎用の代数解法で解く方法[12),13)]である．以上は多面体のみを対象とした自動合成の方法である．

本稿では，工学上重要な曲面を含む物体を対象とし，三面図から候補物体要素群を自動的に列挙した後，汎用の代数解法で自動的に解く方法について述べる．

まず，候補物体要素群の列挙では，従来の多面体のみの方法に，稜線が直線か曲線かの情報，および，稜線の性質の違い（標準，輪郭，接）という情報を加えることによって，曲面を含む物体の取り扱いが可能になる．これは，Sakurai らの方法[11)]に一部修正を加えた方法である．次に，虚物体要素の除去では，多面体の場合の規則に曲面用の規則を加えることにより，筆者らが多面体の場合に用いた汎用の非線形擬似ブール代数解法システムを使い，真の物体を合成することができる．本稿で述べる合成手順を図1に示す．

本稿において対象となる物体は次の条件を満たす．

（a） 面は，平面/円柱面/円錐面/球面のいずれかである．

（b） 物体は複数に分離していない単一物体である．

また，物体の三面図は，次の条件を満たす．

（c） 三面図は，直線と円弧から成る．

（d） 平面と曲面が接続している時，なめらかに接続している（両方からの微分値が一致する）場合は，その接続稜線は三面図には描かない．

（e） 三面図には中心線などの補助的記号は含まれない．

上記の(c)は，物体の輪郭や切断面がどの面図から見ても，円弧か直線として表されている物体を扱うことを示す．2.1 節に示すとおり，入力の際に指定するパラメータの個数が少ない．

---

† Automatic Generation of Solid Object with Curved Surfaces from Orthographic Views by Pseudo-Boolean Algebraic Solution by MASAMITSU TAKAHASHI (Department of Mechanical Engineering, Faculty of Science and Technology, Sophia University) and KIYOSHI ITOH (Laboratory of Information Science, Faculty of Science and Technology, Sophia University).

†† 上智大学大学院理工学研究科機械工学専攻博士前期課程
††† 上智大学理工学部一般科学研究室情報科学部門

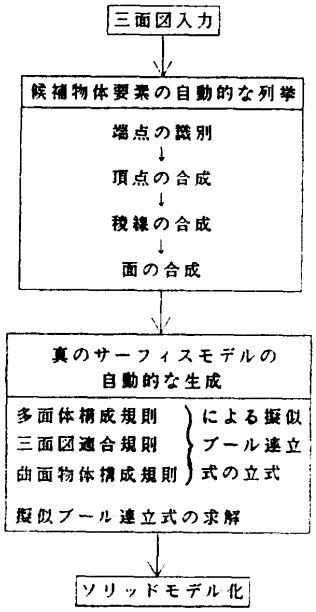


図 1　三面図からの曲面物体の自動合成処理の流れ
Fig. 1　General flow of automatic generation of solid with curved surface from orthographic views.

2. 候補物体要素群の列挙

多面体における三面図との違いは，輪郭稜線や接稜線の存在にある．すなわち，曲面に対応して輪郭が稜線であるかのように三面図に描かれる．本稿ではこれを輪郭稜線と呼ぶが，3D 曲面物体の本来の稜線ではない．また，1つの曲面と別の面とがなめらかに接する場合，それらは互いに共有する接稜線に沿って接続する．これは面図には描かれないし，3D 物体にもない稜線である．

候補物体要素列挙法では，多面体の部分では，従来の方法[4),5)]をそのまま用い，曲面の部分では，稜線に標準，輪郭，接という属性をつけることによって，多面体のみの場合と同様に取り扱う．この曲面の部分の候補物体要素を列挙する方法（2.2〜2.4 節）は，Sakurai らの方法[11)]に基づき一部修正した方法である．それぞれの節の末尾に修正した点を示す．

Sakurai らは，候補物体要素の列挙の後，1章で述べた探索的な方法で真の物体要素を求めた．本稿では，3章で示すとおり，代数解法により真の物体要素を求める．

2.1 三面図の入力

直線分は始点と終点の座標値を入力データとする．面図上に円または弧分がある場合，円は中心の座標と半径を入力データとし，弧分は中心の座標値と半径およびその始点と終点の座標値を入力データとする．以上の入力データが与えられると，以降の処理はすべて自動的に行われる．

2.2 三面図上の端点の識別

入力された三面図データの端点を属性の違いにより，次の3種類に分類する．これらの属性は重複することがあるが，その優先順位は次に述べる順序に従う．

（1） 接の属性の端点

直線分と弧分の接続点，または弧分と弧分の接続点，ただし，円として接続しているものを除く．

（例，**図2の**■H, J）

接の属性の端点のある面図から，他の2つの面図の端点に対応させた点，または線分に対応させてその線分を切断してできた点も接の属性の端点とする．

（例，図2の□B, E, M, T, O, R）

（2） 輪郭属性の端点

円または弧分上で，横あるいは縦方向のどちらかの座標値が最大または最小である点で，円や弧分の中心とを結ぶ線分が軸に平行になるような点．

（例，図2の▲I）

輪郭属性の端点のある面図から，他の2つの面図の端点に対応させた点，または線分に対応させてその線分を切断してできた点も輪郭属性の端点とする．

（例，図2の△C, D, N, S）

面図中の円の中心が，他の2つの面図中で最初に認識された輪郭属性の端点と対応する場合，その中心も輪郭属性の端点とする．

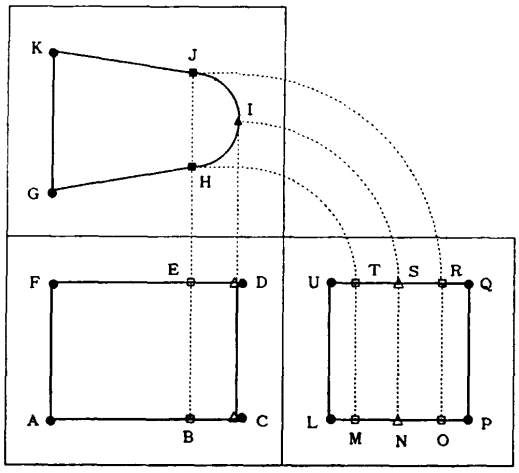


図 2　端点の属性（文献 11)を引用．一部修正）
Fig. 2　Attribute of 2D points.

（3） 標準属性の端点

直線分と直線分の交点.

(例, 図2の●A, C, D, F, G, K, L, P, Q, U)

Sakurai の論文との違いは，弧分と弧分の接続点も接の属性の端点とし，輪郭属性の端点を座標値によって決定するようにした点である.

2.3 候補頂点の合成

2.2 節で識別した端点から候補頂点の集合 V candidate を求める．頂点は，異なった面図に属し，同じ座標値をもつ3つの端点の対応によって決まるものと，面図の端点としては現れていない被覆線分との対応によって決まるものがある．頂点の属性は，各面図上の端点の属性の組合せにより決定される．属性の違いによって次の3種類に分類する.

（1） 接の属性の頂点

接の属性の端点3つの対応によってできる頂点.

(例, 図3の■e, f, g, h)

（2） 輪郭属性の頂点

輪郭属性の端点3つの対応によってできる頂点.

(例, 図3の▲i, j)

（3） 標準属性の頂点

上の組合せ以外の3つの端点の対応によってできる頂点，および，被覆線分から得られる頂点.

(例, 図3の●a, b, c, d)

Sakurai の論文との違いは，端点の識別方法を変えたことにより，輪郭属性の頂点を輪郭属性3つの端点からできるようにし，標準属性の端点が1つあれば標準属性の頂点とするようにした点である.

2.4 候補稜線の合成

2.3 節で合成された候補頂点から候補稜線の集合 E candidate を求める．候補稜線は属性の違いにより次の3種類がある.

（1） 接の属性の稜線

接稜線は，接の属性の端点に投影されている，面図上の端点が同じ角度で同軸の弧があるような接の属性をもつ2つの頂点から合成される.

(例, 図3の稜線□ he, gf)

また，接稜線には面の接続の違いによって2種類に区別する．なめらかに接続する，すなわち，面図上に接続の線分が描かれていない場合と，なめらかに接続しない，すなわち，面図上に接続の線分が描かれている場合とがある．弧分と直線分の接続の場合，2つが接続している接の属性の端点とその弧分の中心とを結んだ線分が，面図上の直線分に垂直に交わっていれば，なめらかに接続している（**図4**(a)）．そうでなければなめらかに接続していない（図4(b)）．また，弧分と弧分の接続の場合，2つが接続している接の属性の端点とおのおのの弧分の中心とを結んだ線分が一直線になっており，その接の属性の端点が変曲点であれば，なめらかに接続している（図4(c)）．そうでなければなめらかに接続していない（図4(d)）.

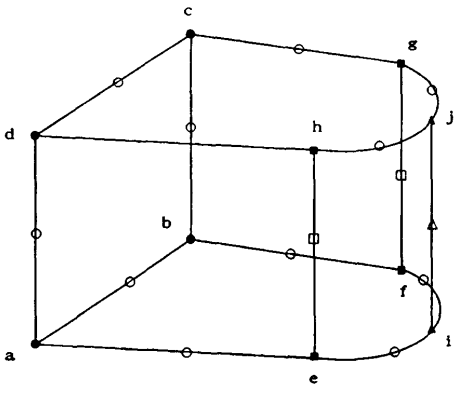


図3 図2の三面図に対する候補頂点と候補稜線（文献11)を引用．一部修正）

Fig. 3 Candidate vertices and edges for Fig. 2.

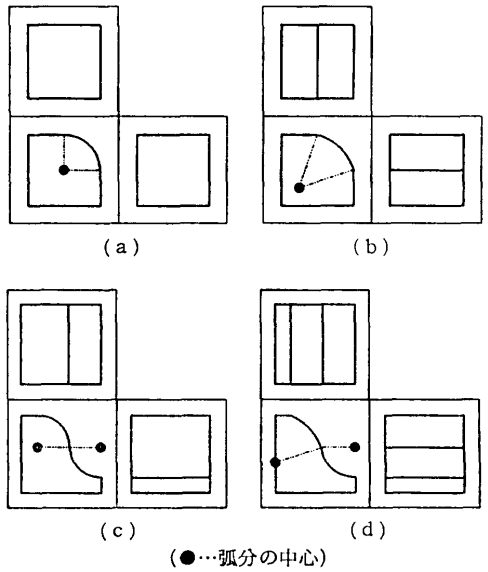


図4 なめらかな接続となめらかでない接続との区別（a)なめらかに接続する場合（直線分と弧分との接続），(b)なめらかでない接続の場合（直線分と弧分との接続），(c)なめらかに接続する場合（弧分と弧分との接続），(d)なめらかでない接続の場合(弧分と弧分との接続)

Fig. 4 Distinction between smooth connection and non-smooth connection.
(a)Smooth connection of line and arc
(b)Non-smooth connection of line and arc,
(c)Smooth connection of two arcs,
(d)Non-smooth connection of two arcs.

（2） 輪郭属性の稜線

輪郭属性をもつ2つの頂点の投影が面図で同じ線分，弧分上にあるならば，この2つの頂点は3D線分や弧分によって接続される．

（例，図3の稜線△ ji）

（3） 標準属性の稜線

2つの頂点の投影が面図上の同じ直線や弧分の上にあるならば，この2つの頂点は3D線分や弧分によって接続される．

（例，図3の稜線○ ab, bc, cd, da, ae, bf, dh, gc；弧稜線○ hj, jg, ei, if）

2.5 候補面の合成

候補稜線で囲まれる面でその面の中に稜線を含まない面を候補面と呼び，それらの候補面の集合 F candidate を求める．

3. 非線形擬似ブール代数による立式と解法

2章までの処理でサーフィスモデルが合成される．しかし，このサーフィスモデルには偽となる要素（頂点，稜線，面）が含まれている．これを取り除くために，多面体構成規則や三面図適合規則[13]，さらに曲面の部分には曲面物体構成規則を，非線形擬似ブール代数で定式化し，それをもとに候補物体要素群に成り立つ関係を連立式として自動的に立式する．これを解いて真のサーフィスモデルを生成する．

以下に規則とそれを擬似ブール代数式で定式化したものを示す．ただし，詳細な定式化の過程は文献13)に示したものと同様なので省略する．稜線，面を表すために二値変数 e，f を使う．変数値1は対応する候補物体要素が真，0は偽であることを表す．また，E，F を候補稜線の集合および候補面の集合とする．

3.1 多面体構成規則

物体の多面体部が真の物体要素で構成されるための構成規則は以下の2つである．

規則（1）

候補稜線 e が真ならば，e を構成する候補面群 F_e のうち，coplanar でない2つの面が真である．候補稜線 e が偽ならば，e を構成する候補面群 F_e のうち，すべての面が偽であるか，coplanar な2面が真である．

for all $e \in E$,

$$\sum_{f \in F_e} f = 2 \cdot e + 2 \cdot \bar{e} \cdot \sum_{f_i, f_j \in F_e,\ \{f_i, f_j\} \text{ は coplanar}} (f_i \cdot f_j) \tag{1a}$$

$$\sum_{f_i, f_j \in F_e,\ \{f_i, f_j\} \text{ は coplanar}} (f_i \cdot f_j) \leqq \bar{e} \tag{1b}$$

規則（2）

交線となる稜線なしで交差する候補面群 F_x のうち，たかだか1つが真である．

for all $F_x \in F_{\text{intersect}}$,

$$\sum_{f \in F_x} f \leqq 1 \tag{2}$$

ただし，$F_{\text{intersect}}$ は F_x の集合．

3.2 三面図適合規則

多面体構成規則と後述の曲面物体構成規則を適用し，実行すると，物体を構成するものとして矛盾のない解が得られるが，三面図に適合しない解も含まれる．そこで三面図に適合させるための規則を用いる．

ただし，各変数は次のとおりである．

S は面図上の全線分集合，S hidden は S のうち，破線のものの集合．

$E(s)$：ある面図上の線分 s として投影される候補稜線群．

$F(s)$：線分 s を内部に含む面として投影される候補面群．

$E\,\text{pre}\,(s, e)$：$E(s)$ 中の候補稜線 e よりも前にある $E(s)$ 中の他の候補稜線群．

$F\,\text{pre}\,(s, e)$：$E\,\text{pre}\,(s, e)$ のすべての候補稜線を構成する候補面群と，e より前にある $F(s)$ 中の候補面群の和集合．

$F\,\text{post}\,(s, e)$：e と e の直後にある候補稜線の間にある $F(s)$ 中の候補面群．

規則（3）

ある面図上の同じ線分から得られた候補稜線はそのうち1本以上が真である．

for all $s \in S$,

$$\sum_{e \in E_s} e \geqq 1 \tag{3}$$

規則（4）

(4-1) ある面図上の実線の線分から得られた候補稜線群のうち，最も投影面に近い（最も前にある）稜線について，この稜線よりも投影面に近く，この稜線を覆い隠す候補面群中のすべての面は偽である．

(4-2) ある面図上の実線の線分から得られた候補稜線群のうち，1本の候補稜線 α が偽であり，かつこの稜線より前にある他の候補稜線もすべて偽であるならば，α を構成するすべての候補面が偽であり，かつ α と α の直後にある他の候補稜線の間にある，候補稜線を覆い隠す候補面も偽である．

for all $s \in S$ real,

for $e \in E(s)$ s.t. $E\,\text{pre}\,(s, e) = \phi$,

$$\sum_{f \in F\,\text{pre}\,(s, e)} f = 0 \tag{4a}$$

for all $s \in S$ real,

$$\bar{e}\cdot \prod_{e\in E\,\mathrm{pre}(s,e)} \bar{e}\cdot \prod_{f\in F_e} \bar{f}\cdot \prod_{f\in F\,\mathrm{post}(s,e)} f = \bar{e}\cdot \prod_{e\in E\,\mathrm{pre}(s,e)} \bar{e} \tag{4b}$$

ただし，S は面図上の全線分集合，S real は S のうち，実線のものの集合．

規則（5）

ある面図上の破線の線分から得られた候補稜線が真であるならば，この稜線よりも投影面に近く，この稜線を覆い隠す候補面群中の1つ以上の面が真である．

for all $s \in S$ hidden,

$$e\cdot \prod_{f\in F\,\mathrm{pre}(s,e)} \bar{f} = 0 \tag{5}$$

3.3 曲面物体構成規則

曲面物体の構成規則は，多面体のみの構成規則とはかなり異なるように考えられる．しかし，2章で示した Sakurai の方法に基づいて候補物体要素列挙を行った後，多面体用の規則(1)を曲面物体用に拡張した規則を用いると，擬似ブール代数による解法が適用できる．

物体の曲面の部分が真の物体要素で構成されるための構成規則は以下の2つである．

規則（6）

三面図上で平面と曲面とを接続している線分が描かれている（平面と曲面がなめらかに接続していない）場合，候補平面と候補曲面は互いに同一面とはみなさず，それらによって構成される候補接稜線 e は真であり，e を構成する候補面群 F_e のうち，同一面でない2つの面が真である．三面図上で平面と曲面とを接続している線分が描かれていない（平面と曲面がなめらかに接続している）場合，候補平面と候補曲面は互いに同一面とみなし，それらによって構成される候補接稜線 e は偽であり，e を構成する候補面群 F_e のうち，すべての面が偽であるか，同一面の1組が真である．

ただし，同一面とは，coplanar な2平面，あるいは，なめらかに接続する平面と曲面，なめらかに接続する2つの曲面のことを表す．

for all $e \in E$,

$$\sum_{f\in F_e} f = 2\cdot e + 2\cdot \bar{e}\cdot \sum_{f_i,f_j\in F_e,\ \{f_i,f_j\}\ \text{は同一面}} (f_i\cdot f_j) \tag{6a}$$

$$\sum_{f_i,f_j\in F_e,\ \{f_i,f_j\}\ \text{は同一面}} (f_i\cdot f_j) \leqq \bar{e} \tag{6b}$$

規則（7）

輪郭の属性をもつ候補稜線 e は偽であり，e を構成する互いに同一面の候補曲面 f_i と f_j はともに真である．

for all $e \in E$,

$$e = 0 \tag{7a}$$

$$f_i + f_j = 2 \tag{7b}$$

図2の三面図に対する立式例を**図5**，**6**に示す．また，その実行解を**図7～9**に示す．

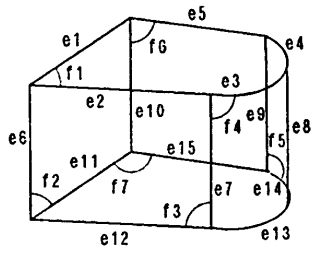


図 5 図2の候補物体要素群に対する 0-1 変数の割当て
Fig. 5 Assignment of Boolean variables to candidate elements in Fig. 2.

規則(1)より
f1+f2=2・e1
f1+f3=2・e2
:
f6+f7=2・e15
規則(3)より
e6+e10≧1
e1+e11≧1
e2+e12≧1
e3+e13≧1
e4+e14≧1
e5+e15≧1
e6≧1
e10≧1
規則(6)より
e7=0
f3+f4=2・e7+2・ē7・(f3・f4)
f3・f4≦ē7
e9=0
f5+f6=2・e9+2・ē9・(f5・f6)
f5・f6≦ē9
規則(7)より
e8=0
f4+f5=2

図 6 図5に対する連立擬似ブール式による表現
Fig. 6 Simultaneous Boolean expressions for surface model in Fig. 5.

e1=1, e2=1, e3=1, e4=1, e5=1,
e6=1, e7=0, e8=0, e9=0, e10=1,
e11=1, e12=1, e13=1, e14=1, e15=1,
f1=1, f2=1, f3=1, f4=1, f5=1,
f6=1, f7=1

(f3, f4, f5, f6は同一面)

図 7 実行解
Fig. 7 Solution of execution.

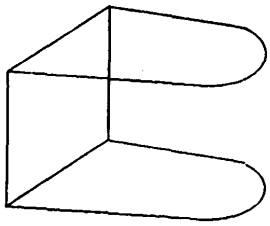


図 8 図7のワイヤフレーム表現
Fig. 8 Wire frame representation of Fig. 7.

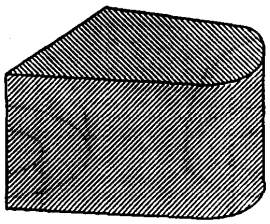
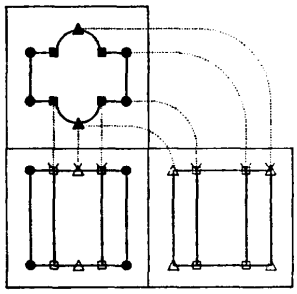


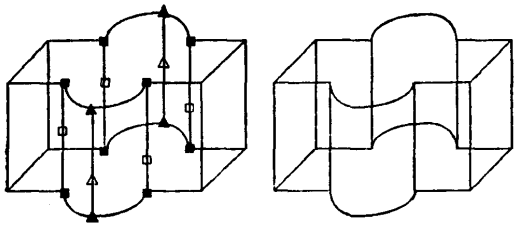
図 9 図7のソリッド表現
Fig. 9 Solid representation of Fig. 7.

4. 適 用 例

IBM PS55-V1B (25 MHz, 数値演算プロセッサ付き) 上で開発した汎用の非線形擬似ブール代数解法システム[13]を使って幾つかの例題を実行した. その適用例を**図 10～16** に示す. 図には, 入力三面図から(b)



(a) 入力三面図および端点の認識
(a) Input orthographic views and recognition of points.

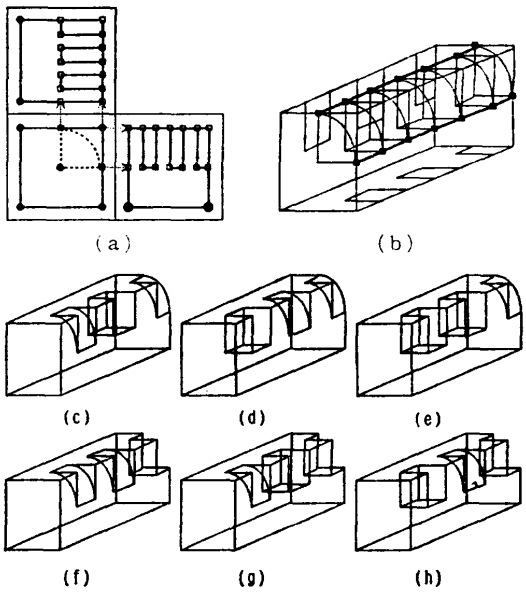


(b) 候補物体要素群
(b) Candidates.

(c) 実行解のワイヤフレーム表現
(c) Wireframe representation of solutions.

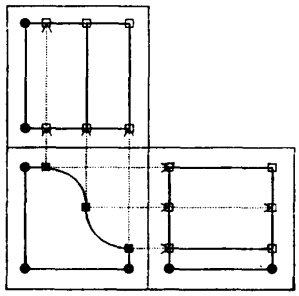
立式までの時間 5 sec, 式数 62
立式後に解を得るために要する時間 1 sec

図 10 適用例その1
Fig. 10 Example of application-1.

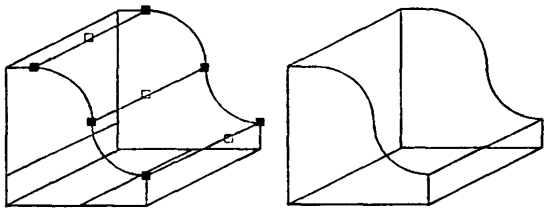


立式までの時間 44 sec, 式数 374
立式後に解を得るために要する時間 190 sec

図 11 適用例その2
(a)入力三面図および端点の認識 (線分と弧分はなめらかに接続していない), (b)候補物体要素群 (太線が接稜線), (c)～(h)実行解のワイヤフレーム表現 (6個)
Fig. 11 Example of application-2.
(a) Input orthographic views and recognition of points, (b) Candidates, (c) Wireframe representation of solutions.



(a) 入力三面図および端点の認識
(a) Input orthographic views and recognition of points.

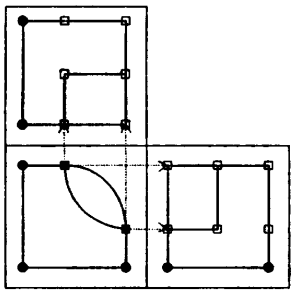


(b) 候補物体要素群
(b) Candidates.

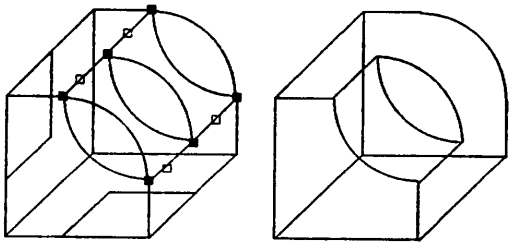
(c) 実行解のワイヤフレーム表現
(c) Wireframe representation of solutions.

立式までの時間 4 sec, 式数 62
立式後に解を得るために要する時間 1 sec

図 12 適用例その3
Fig. 12 Example of application-3.



(a) 入力三面図および端点の認識
(a) Input orthographic views and recognition of points.

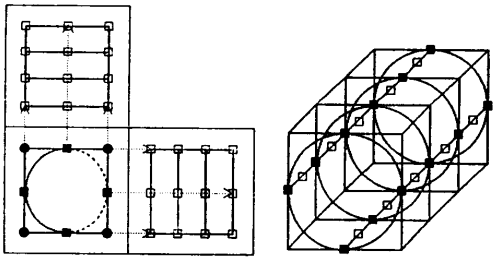


(b) 候補物体要素群
(b) Candidates.

(c) 実行解のワイヤフレーム表現
(c) Wireframe representation of solutions.

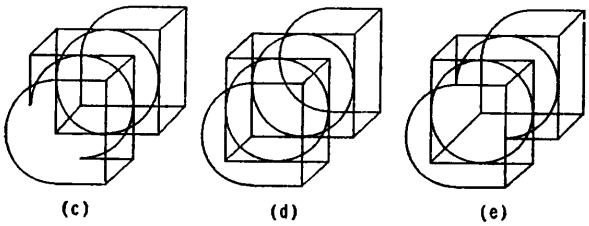
立式までの時間 4 sec, 式数 65
立式後に解を得るために要する時間 1 sec

図 13 適用例その4
Fig. 13 Example of application-4.



(a) 入力三面図および端点の認識
(a) Input orthographic views and recognition of points.

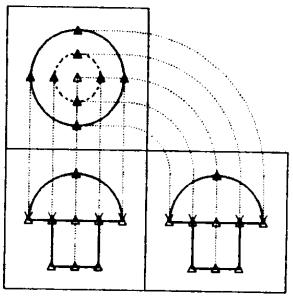
(b) 候補物体要素群
(b) Candidates.



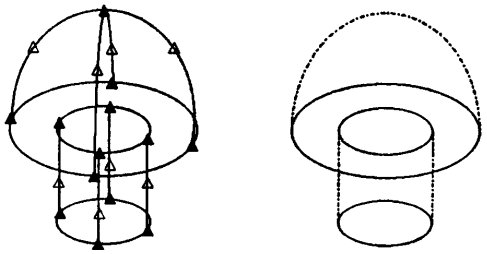
(c) (d) (e)

(c)～(e) 実行解のワイヤフレーム表現 (3個)
(c)-(e) Wireframe representation of solutions.
立式までの時間 18 sec, 式数 312
立式後に解を得るために要する時間 447 sec

図 14 適用例その5
Fig. 14 Example of application-5.



(a) 入力三面図および端点の認識
(a) Input orthographic views and recognition of points.

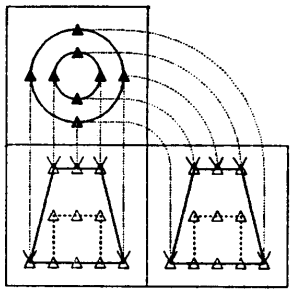


(b) 候補物体要素群
(b) Candidates.

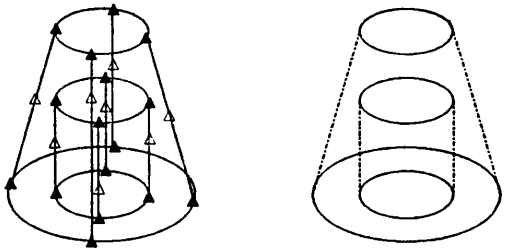
(c) 実行解のワイヤフレーム表現
(c) Wireframe representation of solutions.

立式までの時間 12 sec, 式数 112
立式後に解を得るために要する時間 4 sec
(c)の-・-・-・: わかりやすくするための輪郭線

図 15 適用例その6
Fig. 15 Example of application-6.



(a) 入力三面図および端点の認識
(a) Input orthographic views and recognition of points.



(b) 候補物体要素群
(b) Candidates.

(c) 実行解のワイヤフレーム表現
(c) Wireframe representation of solutions.

立式までの時間 13 sec, 式数 88
立式後に解を得るために要する時間 2 sec
(c)の-・-・-・: わかりやすくするための輪郭線

図 16 適用例その7
Fig. 16 Example of application-7.

の候補物体要素列挙を経て連立式を立式するまでの実行時間，立式した連立式の本数，および立式後の真の物体要素を得るための実行時間が記されている．また，各図における記号は次のとおりである．

入力三面図において，

●…標準属性の端点，■…接の属性の端点，▲…輪郭属性の端点，□…面図対応によって得られた接の属性の端点，△…面図対応によって得られた輪郭属性の端点．

候補物体要素群において，

■…接の属性の頂点，▲…輪郭属性の頂点，その他…標準属性の頂点．□…接の属性の稜線，△…輪郭属性の稜線，その他…標準属性の稜線．

5. 曲面物体合成の他の方法との比較

他研究機関の合成法との比較を簡単に示す．

大村らは，多面体・円柱面・球面で構成されるソリッドモデルの三面図からの合成法を検討した[10]．厚さが一定の形状や回転体の形状で，正面図だけで解釈できるものは，平面図と側面図で省略できる．この方法は，候補物体要素の列挙は通常の手順とほぼ同じである．虚物体の除去に探索プログラムによる方法をとっている点で，本稿の方法と異なる．

Gu らは，円柱の軸が1つの投影面に平行で，この円柱を円柱面を横切って切断した時にできる楕円弧の長軸と短軸を含む切断面が1つの投影面に垂直な場合に，物体を合成可能とした[1]．この切断面上の楕円弧は，3つの面図上では，少なくとも1個が楕円弧，少なくとも1個が直線分となる．この性質を利用して3D 上の楕円弧が合成できるというパターンマッチングの方法を候補物体要素の列挙で用いた点と，切断面が楕円弧でもよい点で，本稿の方法と異なる．

横山らは，三面図上の円弧分を1次の Bezier 曲線で近似（1つの円弧分を2つの線分で近似）し，多面体と考えて，候補物体要素列挙を行い，その後，探索的なプログラムによって多面体を合成する．この多面体の曲面となる部分を双3次の Bezier 曲面に変換する[15]．本稿の方法は，曲線を直線で近似するというよりも，曲面を接や輪郭の属性の稜線で分割し，分割された曲面を含むすべての曲面や平面の接続の関係を規則で表して代数的に解いた点で，横山らの方法と異なる．

6. おわりに

つながりや幾何学的な情報を代数的に定式化して立式する汎用の代数解法によって，曲面を含む物体を三面図から自動合成することができた．候補物体要素群の列挙では稜線を性質の違いにより属性をつけて区別した．これをもとに，候補物体要素の真偽を決定するための構成規則として，多面体の合成に使用した2種類の規則に加えて，曲面物体用の規則を用いた．それらの規則をもとに非線形の連立擬似ブール式で立式し，この連立式を満たす解を求めて，真の物体要素を求めた．

4章で示したとおり，以上の方法を幾つかの例題に適用して，方法の有効性を示した．これらの例題以外にも，1章で述べた性質をもつ多くの対象物体と三面図に対して，本稿の方法により三面図から曲面物体の合成ができた．

以下に今後の課題を示す．

（1） 上で述べたような非組織的な例証ばかりでなく，標準的なベンチマーク例題をいくつか定めて，このベンチマーク例題によって，三面図からの物体の自動合成プログラムの機能や性能を測定する作業が必要である．

（2） 本稿で述べた規則の完全性の証明が必要である．

（3） 1章で示した扱う物体と三面図に関する条件（c）（三面図は，直線と円弧から成る）により，三面図情報が少なくて入力が容易であり，合成される面の特徴を表すパラメータが少ない．これらの長所が多少犠牲になるが，この条件を緩和して，楕円，双曲線，放物線なども扱えるようにしてより実用性を高めたい．その際に，本稿の方法の物体要素群の列挙の中で，特に三面図上の端点の認識の部分（2.2 節）の拡張が必要となると考えられる．

（4） 現段階では，グラフィカルな入出力の部分は計算機の制約上作成していない．合成のアルゴリズムが最重要であると考え，現段階では，三面図入力を数値で行うと曲面を含む物体要素の真偽が出力される．このグラフィカルな入出力の部分のプログラム化も必要である．

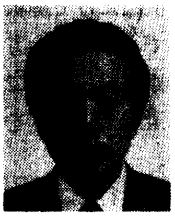
参考文献

1) Gu, K. and Sun, J.: Reconstruction of 3D Objects from Orthographic Projections, *CG Forum*, Vol. 5, No. 4, pp. 317-324 (1986).

2) 出澤：三面図からの物体形成のためのシステム，JSME 論文集，Vol. 38, No. 310, pp. 1267-1276 (June 1972).
3) Idesawa, M.: A System to Generate a Solid Figure from Three View, *Bulletin of JSME*, Vol. 16, pp. 216-225 (Feb. 1973).
4) Itoh, K., Ishikawa, M., Fujiu, T. and Suzuki, S.: A Method for Solid Construction from Engineering Draft in Orthographic View, *Proc. of JSST Conference on Recent Advances in Simulation of Complex Systems*, pp. 204-210 (July 1986).
5) 伊藤，石川，藤生，鈴木：サーフィスモデルの成立ち規則を用いた三面図からの物体自動合成法，シミュレーション，Vol. 7, No. 2, pp. 109-116 (June 1988).
6) 伊藤：三面図を用いたソリッドモデルの構成—主に多面体を対象として—，情報処理，Vol. 31, No. 8, pp. 1095-1106 (1990).
7) Markowsky, G. and Wesley, M. A.: Fleshing Out Wire Frame, *IBM J. R. D.*, Vol. 24, No. 5, pp. 582-592 (Sep. 1980).
8) 西原，渡辺，池田：面図間の局所的拘束関係を用いた三面図解釈，情報処理学会論文誌，Vol. 28, No. 5, pp. 534-537 (1987).
9) 西田，張，西原：面の組合せ探索による三面図の解釈，人工知能学会誌，Vol. 6, No. 1, pp. 96-104 (Jan. 1991).
10) 大村，戸田：中小企業向け設計者用ワークステーション技術の研究開発，情報処理振興事業協会 (June 1987).
11) Sakurai, H. and Gossard, D. C.: Solid Model Input through Orthographic Views, *Computer Graphics*, Vol. 17, No. 3, pp. 243-252 (July 1983).
12) 佐々木，伊藤，鈴木：三面図からの物体自動合成のための線形擬似ブール代数解法，情報処理学会論文誌，Vol. 28, No. 12, pp. 1288-1297 (1987).
13) 佐々木，伊藤，鈴木：非線形擬似ブール代数解法による三面図からの物体自動合成，情報処理学会論文誌，Vol. 30, No. 6, pp. 699-708 (1989).
14) 千田：三面図からもとの立体の自動復元，情報処理学会論文誌，Vol. 31, No. 9, pp. 1312-1320 (1990).
15) 横山，河上：三面図から曲面を含む物体の自動合成，JSME 論文集 (C編)，Vol. 56, No. 526, pp. 174-179 (June 1990).
16) Wesley, M. A. and Markowsky, G.: Fleshing Out Projections, *IBM J. R. D.*, Vol. 25, No. 6, pp. 934-954 (Nov. 1981).

高橋　正充

1967年生．1990年上智大学理工学部機械工学科卒業．現在，同大学院理工学研究科機械工学専攻博士前期課程在学中．図面理解を主とするコンピュータビジョンの研究に従事．CAD 手法全般と AI に興味をもつ．人工知能学会会員．



伊藤　潔（正会員）

1951年生．1974年京都大学工学部情報工学科卒業．1979年同大学院情報工学専攻博士課程修了．京都大学工学博士．1979年より上智大学に勤務．1985年より助教授．現在，同理工学部一般科学研究室情報科学部門所属．ソフトウェア工学，シミュレーション手法，定性理論の待ち行列ネットワークへの応用，三面図からのソリッドモデルの自動合成法の研究に従事．元情報処理学会学会誌編集委員．情報処理学会「仕様記述の効率的適用と評価」研究グループ幹事．著書「ソフトウェア開発のためのプロトタイピングツール」(共著)，「システムプログラム」，訳書「並行処理とUnix」(共訳)．人工知能学会，IEEE，ACM など各会員．