

三面図からのもとの立体の自動復元†

——円柱部分を含む立体への適用——

千 田 豊 満††

三面図からもとの立体を計算機の内部処理だけで自動的に復元する手法は、3次元 CAD の立体の形状の入力方法として、また多数の視点の画像から立体を認識する方法として利用でき、工学上著しく有益である。筆者はこの手法の開発に取り組み、平面だけで構成され、かつ空洞が存在しない立体であれば、その三面図からもとの立体を復元できる手法を開発した。本研究ではこの手法を一定の条件下ではあるが円柱を含む立体にも適用できるようにした。一定条件とは、1) 対象物に含まれる円柱部分の軸線が直線で、2) 三面図のいずれかの投影軸と平行で、3) 円柱部分の端面がこの円柱軸に垂直な1平面で、4) 柱面で他の平面または円柱と交差しないことである。完成した手法を種々の三面図に適用したが、いずれももとの立体を復元できた。

1. 緒 言

三面図からもとの立体を計算機の内部処理だけで自動的に復元する手法は、3次元 CAD の立体の形状の入力方法として、また多数の視点からの画像から立体の形状を認識する方法の一部として利用でき、工学上著しく有益である。筆者は、平面だけで構成され、かつ空洞が存在しない立体であれば、その三面図からもとの立体を復元できる手法を開発した¹⁾。また、この手法を2次元 CAD で描いた多くの三面図に適用し、一切の追加情報を入力することなく、計算機の内部処理だけで、もとの立体を復元できることを確認した。

設計の対象物は平面だけで構成されることはまれで、円柱やいろいろな曲面を含むのが一般的であり、実用問題への適用を考えた場合、これらの立体にも適用できなければならない。そこで、本報では、形状に一定の条件を付けるが、円柱および円錐台部分を含む立体にも適用できる手法を開発する。

円柱部分を含む立体の三面図からもとの立体を自動復元する手法は、Sakurai ら²⁾、Gu ら³⁾により試みられている。それらの方法では、従来の多面体のみに対する方法に、三面図に稜線の性質の違いを付加することにより、円柱も扱えるようにしている。また、大村ら⁴⁾は三面図の円柱部分を表す部分に補助点と補助線を付加し、円柱も扱えるようにしている。横山ら⁵⁾は

円柱の円弧部分を Bezier 曲線で近似することにより、円柱の取扱いを可能としている。

本研究では、三面図の段階で円柱部分に相当する可能性のある部分を選び出し、この円柱部分を多角柱に置き換え、もとの三面図を描き直す。このことにより、円柱部分を含んだ立体の三面図が平面だけで構成される立体の三面図に置換される。この置換により、対象物が円柱部分を含んでいるにもかかわらず、円柱部分も平面部分も統一的に扱え、後の処理が簡単となる。特に、面同士の交差の判定や面に対する実体の存在する方向の決定（サーフェスモデルからソリッドモデルへの変換）では、円柱面と平面が混在していると処理方法が複雑になるが、この平面への置換によりこれらの処理方法が簡単になる。なお、復元した立体と三面図を比較するときは、近似した多角柱を円柱に戻す。

2. ハードウェアおよびソフトウェアの構成

ハードウェアおよびソフトウェアの構成は、前報¹⁾と同じで、日本電気製ワークステーション (EWS 4800/20, 処理速度, 7 MIPS, 主メモリー: 16 MB, など) を中心としたシステムである。

三面図の入力には、日本電気製2次元 CAD ソフトウェア “CAE 2D” を利用する。

3. 対象物および入力条件

対象物の形状について次の条件を設ける。

- ① 対象物は平面部分、円柱、円錐台および円弧柱 (円柱を軸線に平行な面で切断した立体) からなる1個の部品であること。また、円柱の形状が凸状ばかりでなく、凹または穴状として存在

† Reconstruction of Solid from a Set of the Orthographical Three Views —Extension to Polyhedrons Containing Cylindrical Parts— by TOYOMITSU SENDA (Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ehime University).

†† 愛媛大学工学部機械工学科

してもよいこと。

- ② 円柱部分（以後、円弧柱も含む）および円錐台は円柱部分の軸線が直線で、三面図を作成したときの投影軸のいずれかに平行であり、円柱部分および円錐台の端面が軸線に垂直であること。
- ③ 円柱や円錐台部分の柱面部分に切り込みがないこと。
- ④ 対象物は点または線だけでつながっているくびれ部を有しないこと。
- ⑤ 対象物には空洞が存在していないこと。

入力図面として、次の条件を設ける。

- ① 2次元の CAD システムで作成された正面図、平面図、側面図からなる 1 組の三面図であること。
 - ② 対象物の形状は、外形線および隠れ線だけで完全に表され、対称中心線、破断線などの形状を表す製図記号は使用されていないこと。
 - ③ 円柱面と平面が接するとき、その円柱の軸線に垂直方向からながめる投影図では、円柱面と平面との境界線に線分を描く。
- ①②の条件は前報と同じであり、③は新しく設けた条件であり、大村ら⁴⁾がもうけた条件と同じである。

その他として

- ① 1 組の三面図が、対象物の形状を表すのに十分でなく、異なる数個の立体を表す可能性のあるときは、そのすべての立体を復元でき、その中から利用者が意図する立体を選択できること。
- ② 計算機の処理速度の高速化を期待し、処理速度を問題としない。つまり、処理時間が長時間に及ぶと、実用的には適用不能であるが、今回は処理時間からだけではこのような結論を下さない。

4. 自動変換の手順

本報で開発した自動変換の手順を図 1 に示す。本手順では前報で報告¹⁾した平面だけの立体に対する手順を利用しているが、図中※印を付けた部分が本報で開発した手順であり、その他は利用した手順である。

つぎに図 1 の開発した手順を中心に、変換の原理を説明する。

4.1 図面の整理

a) 前処理、円弧の 1 本化など

前処理、外形線と隠れ線の合体、線分の分割、線分

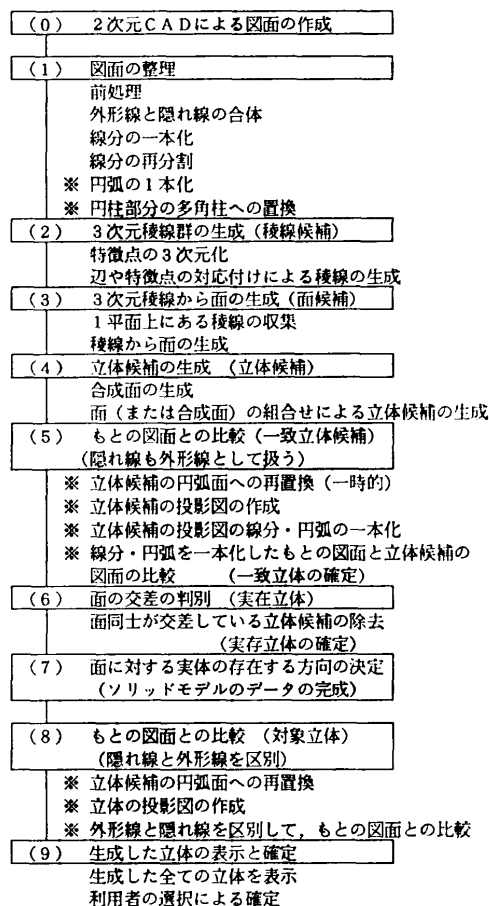


図 1 変換の手順

Fig. 1 General flow of solid construction from a set of orthographic three views.

の再分割での処理は前報の手法をそのまま利用する。

円弧の 1 本化とは、CAD で描かれるときに 1 個の円弧が 2 回以上に分けて描かれていたり、重なって描かれている場合に、1 個の円弧で定義するように図形データを書き直すことを意味する。

b) 円柱部分の多角柱への置換

本手法では、三面図で円柱に相当する可能性のある部分を選び出し、この円柱を多角柱に置き換え、三面図を描き直す。図 2 の三面図を描きなおしたのが図 3 であり、この例を利用して、円柱部分の処理方法の原理を次に説明する。

円または円弧の最大点と最小点（正面図の P_a, P_e, P_o, P_g ）を選び出し、この最大点最小点を他の面図に投影し、円柱の柱面となる部分（側面図の $\overline{Q_a Q_i}, \overline{Q_r Q_g}$ 、平面図の $\overline{R_a R_i}, \overline{R_r R_g}$ ）と円柱の端面になる部分（側面図の $\overline{Q_a Q_i}, \overline{Q_g Q_i}$ 、平面図の $\overline{R_a R_i}, \overline{R_r R_g}$ ）を選び出す。この処理により、三面図上で円柱となる可

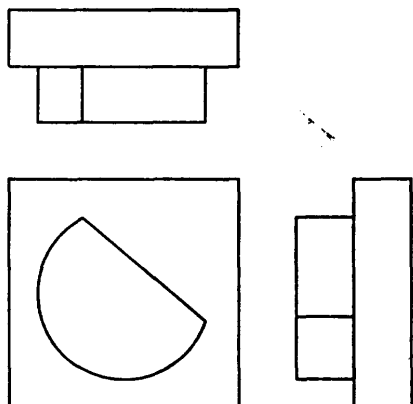


図 2 対象物の三面図
Fig. 2 Example of a set of three views.

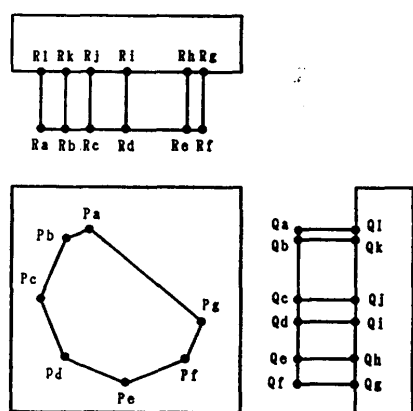


図 3 平面だけに置換された三面図
Fig. 3 The three views converted into planes.

能性のある部分を選びだしたことになる。

つぎに、この円柱となる部分を多角柱の投影図になるように描きなおす。本報では多角柱として八角柱を利用するので、円弧を八角形に置換し、他の面図に角柱の稜線に対応する線分を描く。なお、多角柱としては、正面図、平面図、側面図からなる三面図を問題にし、円弧を表した面図で描きなおすときに新しく付け加えた線分が他の図形要素と干渉しなければ、原理的には4角柱でよい。

以上の処理により、円柱部分を角柱に置換した三面図が得られるが、この置換された三面図で、円弧部分を多角形で置換した線分を“円弧近似線”(図3では、 \overline{PaPb} , \overline{PbPc} , \overline{PcPd} など)、角柱の稜線に対応する線分を“円柱面分割線”(図3では、 \overline{QaQl} , \overline{QbQk} , \overline{RiRl} , \overline{RbRk} など)と呼び、もとからある線分と区別する。以後この描きなおした三面図をもとに処理を進める。

本手法では、この段階での処理により適用できる形

状の種類がほとんど決定される。

4.2 3次元稜線群の生成 (稜線候補)

置換された三面図をもとに3次元稜線を作成するが、この方法は前報の方法を利用する。ただし、生成した稜線には、もとの線分の種類により区別する。つまり、“円弧近似線”から生成した稜線は“円弧近似稜線”、“円柱面分割線”から生成した稜線には“円柱面分割稜線”とする。

この処理で生成した稜線群を図4に示す。また、図中の稜線のうち、 L_1 , L_2 , L_3 などは円弧近似稜線、 L_4 , L_5 , L_6 などは円柱面分割稜線である。

4.3 3次元稜線から面の生成 (面候補)

3次元稜線から面候補群の作成の手順も前報の手順を利用するが、円弧近似稜線から生成される面を“円弧近似面”、円柱分割稜線から生成される面を“円柱分割面”とする。

例では3次元稜線から面候補群を生成した結果を図5に示す。

4.4 立体候補の生成

面候補から立体候補を生成する方法も前報の方法を利用する。つまり、次の条件のもとで、

- (1) 1個の稜線は必ず2個の面候補につらなる。

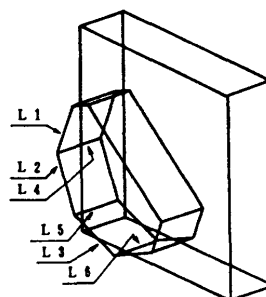


図 4 生成された稜線群
Fig. 4 The wire frame constructed from Fig. 3.

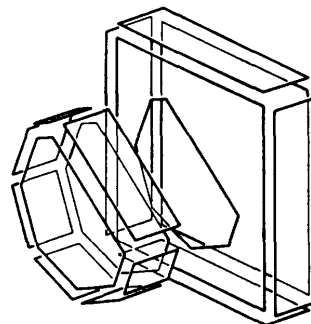


図 5 生成された面候補
Fig. 5 The faces constructed from Fig. 4.

(2) 立体候補は面候補によって過不足なく完全に包まれる。

面候補で組み合わせて立体候補を生成する。

本例では、図6に示す3個の立体候補が生成される。

4.5 もとの図面との比較

立体候補の多角柱の部分をもとの円柱に戻し、その三面図を作成する。この三面図をもとの三面図と比較し、一致した立体候補を選び出し、“一致立体候補”とする。なお、この処理では隠れ線を外形線と区別して扱わないので簡単に三面図を描け、比較できる。

本例では、図6(a)の立体候補だけが選び出される。なお、本例では、1個の立体が選び出されるが、前報¹⁾で説明したように、この段階では複数個の立体候補が選び出されることも多く、また組み立てた立体を構成する面同士が交差し、実際に存在できない立体が選び出されることもある。

4.6 面の交差の判別

立体を構成する面同士の交差の状態を判定し、交差した面を持つ立体を対象から除外し、残った立体を“実在立体”と呼ぶ。このときは本手法では円柱を多角柱で近似した立体で、つまり多面体だけで構成された立体に対して判定すればよく、前報の手法をそのまま利用して、簡単に処理できる。この時点で、立体のサーフェスモデルのデータが完成している。

4.7 面に対する実体の存在する方向の決定

立体を構成する面の実体の存在する方向を決定する。つまり、今までの処理でできたサーフェスモデルをソリッドモデルにする。この処理も多角柱で置換している立体を対象にするので、前報の手法を利用して、簡単に処理できる。

4.8 もとの図面との比較

以上までの処理で実在立体のソリッドモデルのデータが完成したので、多角柱に置換している部分をもと

の円柱に戻して、隠れ線も考慮した完全な三面図が作成でき、この三面図ともとの三面図を比較する。この比較で一致した立体を“対象立体”とする。この対象立体が本手法で三面図から自動的に復元した立体である。

例では、図6(a)の立体の多角柱で置換した部分をもとの円柱に戻した図7の立体の三面図がもとの三面図と一致するので、この立体が対象立体となる。

本例では対象立体が1個であるが、2個以上の対象立体が生じる場合もある。

4.9 生成した立体の表示と確定

この段階に至っても2個以上の対象立体が候補として残ったときは、これ以上論理的に処理を進めるのが不可能である。そこで、本システムでは、この段階まで残った立体をすべてグラフィックディスプレイ上で表示し、利用者が意図する立体を選択するようにしている。

5. 種々の図面に対する適用

いろいろな三面図に適用した結果を、図8(a)~(g)に示す。

同図(a)は、1組の三面図から3個の対象立体が生じる例である。このように本システムでは一組の三面図が複数の立体を表すときには、可能性のあるすべての立体を復元できる。

(b)は円柱状の穴と円錐台状の穴が明き、角部に円弧がある例である。

(c)は機械部品、(d)は板金部品、(e)はカム部品、(f)は少し複雑な機械部品、(g)も機械部品らしい例である。

以上の適用例で、一連の処理の過程で生じた立体候補、一致立体候補、実在立体の対象立体の個数およびすべての処理時間とすべての処理時間のうち面候補か

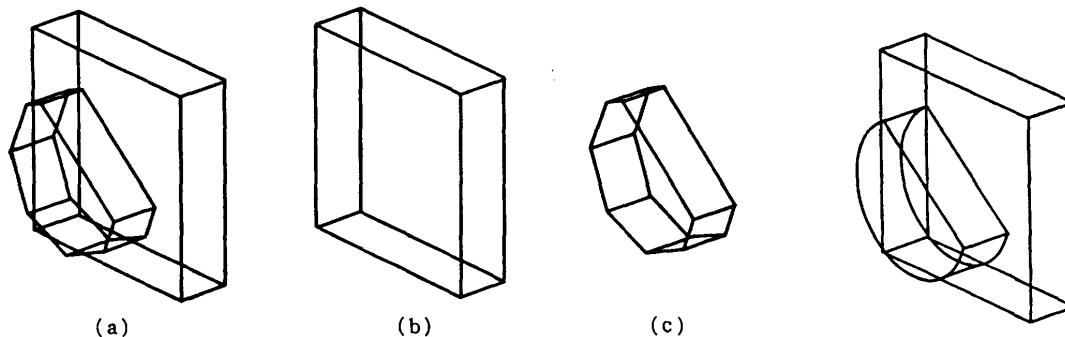


図6 立体候補
Fig. 6 The solids constructed from Fig. 5.

図7 復元した立体
Fig. 7 The reconstructed solid.

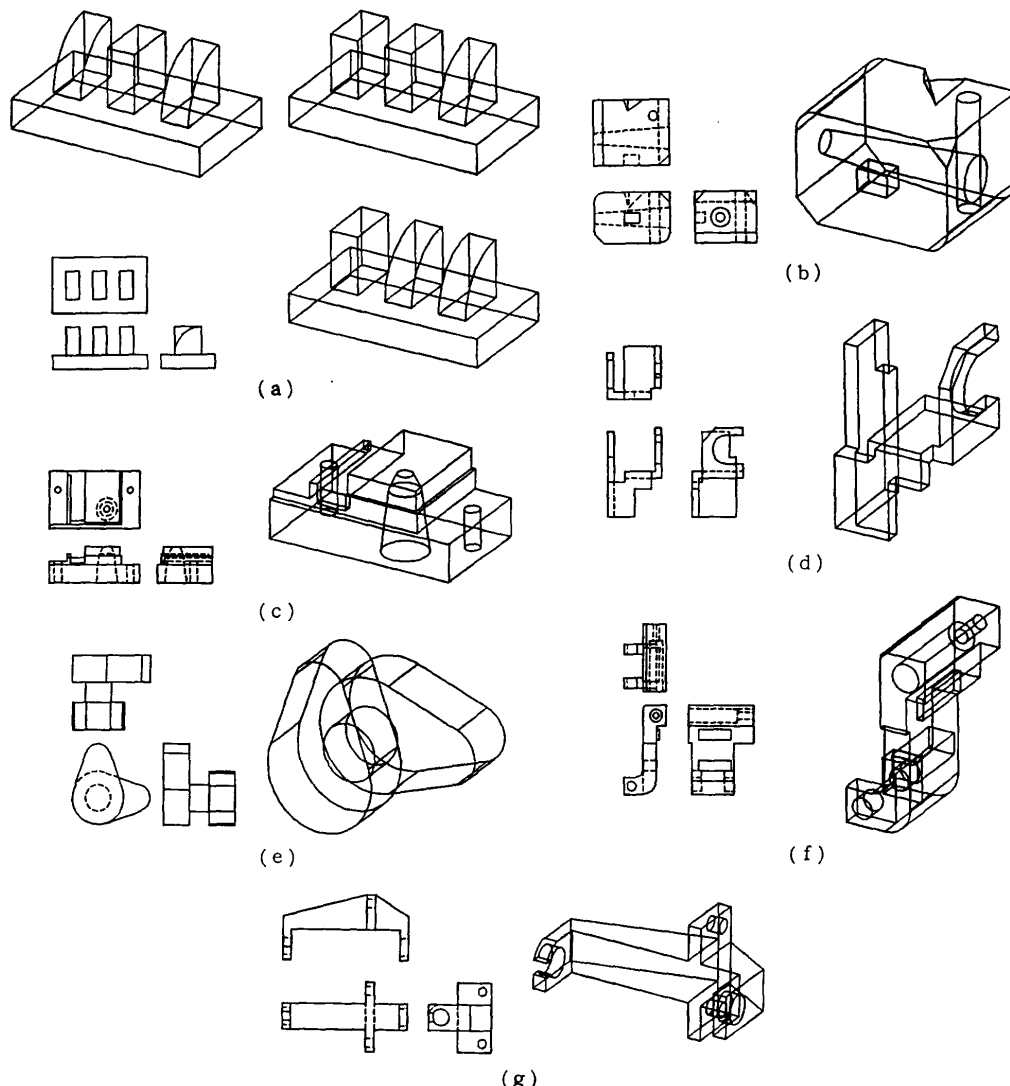


図 8 種々の適用例
Fig. 8 Many examples.

表 1 処理過程での立体候補の個数と処理時間
Table 1 Process of processing and processing time.

対象物	処理過程				CPU 時間 (sec.)	
	立体候補	一致立体候補	実在立体	対象立体	全体	立体候補作成
図 8 (a)	36	6	6	3	24.6	4.0
図 8 (b)	143	1	1	1	816.6	720.4
図 8 (c)	91	1	1	1	226.6	131.1
図 8 (d)	1	1	1	1	6.5	0.1
図 8 (e)	6	1	1	1	11.3	0.1
図 8 (f)	189	1	1	1	57921.0	57691.0
図 8 (g)	38	1	1	1	97.1	50.7

ら立体候補を生成する時間を表 1 に示す。表から明らかかなように、処理時間が長時間に及ぶ例では、面候補から立体候補を生成するためにほとんどの時間を費やしている。

6. プログラム

本システムを組み込んだシステムは、Fortran 言語で約 15,000 行である。しかし、本プログラムでは中間段階の結果を検討するための出力文、配列が崩れたときの警告文やグラフィックディスプレイ上への中間段階の表示のための命令などが数多く含まれ、三面図からもとの立体を復元する自動復元だけならば、約 13,000 行である。

7. 他の研究者の手法との比較

三面図からもとの立体の復元は、出澤⁶⁾、西田ら⁷⁾、Wesleyら⁸⁾、佐々木ら⁹⁾、Sakuraiら²⁾、Guら³⁾、大村ら⁴⁾、横山ら⁹⁾により試みられている。以上の研究のうち、Sakuraiら、Guら、大村ら、横山らは円柱などの曲面を含んだ立体も扱っている。円柱部分の処理方法で本論文がこれらの研究者の手法と異なる点は、三面図でそれぞれの面図の形状を検討し、円柱部分となる可能性のある部分を多角柱に置換し、三面図を描きなおし、後の処理を続けていることである。このため後の処理、つまり三面図から3次元稜線の生成、3次元稜線から面候補の生成、面候補から立体候補の生成、面の交差の判別、面に対する実体の存在する方向などの処理方法が簡単になる。特に、面の交差の判定や面に対する実体の存在する方向の決定の処理が、平面と円弧面が混じっていると処理方法が複雑になるが、本手法では平面だけで構成される立体に対する処理となり処理方法が簡単である。

以上の円柱部分の処理方法の違い以外に、横山らの方法では、三面図の情報の入力でも最小に分割された平面を表す左回りの点列の情報が必要であり、この情報は一般には2次元CADで三面図を描いただけでは得られない。一方本手法では、入力情報として、以上のような情報は必要とせず、2次元CADで描いた三面図の情報だけで十分である。

大村らの方法では、本論文より広い範囲の対象物に適用可能であるが、三面図のどこにも3次元稜線と対応するものが現れない図面には適用できない。本手法ではこのような場合にも適用できる。三面図の情報から3次元稜線を生成する手法に違いがあるためと考えられる。

Guらの方法では、面候補を組み合わせて立体候補を生成するときに、一平面上で最小のループの面候補が接するときに、それぞれの面とそれらを合体した面のそれぞれを組み合わせた最小の単位としているが、本論文では最小の面だけを単位としている。つまり、Guらとは立体候補を生成する手法が異なる。

8. 考察および今後の課題

図8に示す多くの適用例から明らかのように、対象物の円柱部分の形状に一定の条件は設けているが、かなり複雑な立体にも適用できる。用途を制限するならば十分実用域に達していると確信する。

処理方法や表1の処理過程を検討すると次のことが明らかとなる。

- 1) 処理(5) [もとの図面との比較 (隠れ線も外形線として扱う)] を施し、一致立体候補が1個のときは、表1から明らかなようにこの場合が最も起こり易いが、処理(6)と処理(7)は省略できる。
- 2) もとの図面との比較を2度にわたり実施している。表1から明らかなように、かなり多くの立体候補が生じ、これらのすべてに対して面の交差や面に対する実体の存在する方向を決定する処理を施すのは処理速度の観点から適当でない。このため立体候補を生成した直後に、簡単に処理できる隠れ線を外形線と区別しないもとの図面との比較を行っている。例えば、図8(f)では立体候補が189個生成されるが、この比較により、1個に減少している。

また、次の点に関し問題点がある。

- 1) 本手法では三面図の段階で円柱部分に相当する可能性のある部分を多角形に置換し、三面図を描きなおしている。このため適用範囲はほとんどこの部分の処理方法で決定される。この処理方法を改善し、三面図の投影軸に平行でない軸心を含む円柱、円柱と他の立体との相貫体、自由曲面などを含んだ立体などにも適用範囲を広げる必要がある。
- 2) 円柱部分を多面体に置換して処理を進めるのが本手法である。一方、Sakuraiらの手法などでは曲線は、曲線のままで扱っている。いずれの方法が優れているかは、適用範囲の広さ、処理速度、プログラミングの容易さなどの機能や性能の観点から検討する必要があり、これらを評価する手法の確立が必要である。
- 3) 表1の処理時間から明らかなように、長い処理時間が必要な場合は、そのほとんどが面候補を組み合わせて立体候補を作成する処理に費やされている。この処理時間を短縮するならば、さらに実用上の価値が増すため、この部分の処理方法の改善が望まれる。
- 4) 円柱と平面が接するときに、本手法ではその境界に線分を描く必要がある。しかし、機械製図法などでは一般にはこの線分は描かない。このためこの線分を描かなくても自動復元できるように改善する必要がある。

9. 結 言

本研究では、形状に一定の制限をもうけているが、円柱を含む立体の三面図からもとの立体を自動復元する手法を開発した。この手法を多くの三面図に適用し、もとの立体が復元でき、ソリッドモデルのデータが生成できることを確認した。

多くの三面図への適用結果から判断すると、円柱部分の形状に一定の条件があるが、用途を制限するならば、例えば板金部品などに制限するならば、本手法は実用域に達していると考えられる。

三面図で円柱や曲面となる部分を多面体に置換する処理方法を改善し、適用範囲を広げることにより、さらに実用性が高まると確信する。

最後に、本研究をまとめるにあたり、ご助言を賜った上智大学工学部・伊藤潔助教授に心から感謝いたします。また、本プログラムを作成するに当たり、熱心に協力した当時の本学大学院院生・味野圭介氏（現在日本鋼管株式会社勤務）に感謝いたします。

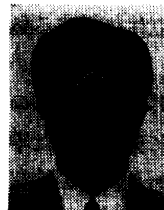
参 考 文 献

- 1) 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).
- 2) Sakurai, H. et al. : Solid Model Input through Orthographic Views, *Comput. Gr.*, Vol. 17, No. 3, pp. 243-252 (1983).
- 3) Gu, K. et al. : Reconstruction of 3D Objects from Orthographic Projection, *CG Forum*, 5, pp. 317-324 (1986).

- 4) 大村ほか：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，IPA (June 1987).
- 5) 横山ほか：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 (1990).
- 6) 出澤：三面図から物体形成のためのシステム，JSME 論文集，Vol. 38, No. 310, pp. 317-324 (1972).
- 7) 西田ほか：面の組み合わせ探索による三面図の解釈，人工知能学会，Vol. 6, No. 1, pp. 96-104 (1991).
- 8) Wesley, M. A. et al. : Fleshing Out Projections, *IBM J. Res. Dev.*, Vol. 25, No. 6, pp. 934-954 (1981).
- 9) 佐々木，伊藤，鈴木：非線形疑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).

(平成2年9月17日受付)

(平成3月6月13日採録)



千田 豊満 (正会員)

昭和17年生。昭和41年静岡大学工学部機械工学科卒業，昭和43年大阪府立大学大学院工学研究科修士課程修了。同年愛媛大学助手を経て現在同大学教授。その間昭和57年“衝撃荷重による材料の変形挙動に関する研究”で大阪大学工学博士。現在，“衝撃荷重下での材料の変形と強度”および“CADにおける図形処理”などの研究に従事。機械学会，材料学会，精密工学会各会員。著書：「CAD/CAM システム—基礎から構築まで」(単著)，「機械製図」(共著)，「情報科学」(共著)。