

2次元組立図からの3次元部品図の自動作成法

田中 雅次・金枝 敏明・岩間 憲三*・渡部 透**

岡山理科大学工学部機械工学科

*財団法人京都高度技術研究所

**立命館大学理工学部ロボティクス学科

(1997年10月6日 受理)

概 要

本論文では、立体要素連立式による2次元組立図からの3次元部品図の自動生成法を紹介する。立体要素は三面図として描かれた組立図より作成される3次元の図形要素であり、本手法では、立体要素と組立図との対応関係を立体要素連立式として定式化し、これを解くことで、各立体要素がどの部品に属するか、または実際には存在しない要素であるかの判別を行う。本手法では、解が複数存在する場合でも、これらを全て得ることが可能であり、また実際に種々の例題を解くことで、その有効性を検証した。

1 はじめに

製品の設計においては、CADの導入により、既存の部品図の重ね合わせによって組立図を作成する方法が可能となったが、新しい製品や装置、デバイスの考案など、創造的な設計においては、従来通り概念設計から詳細設計へと移行するのが一般的と考えられる。具体的には、設計者は最初に製品などの組立図を描き、次に組立図を構成する各部品図を描くのである。

本研究では、先に研究した三面図からの自動立体作成法¹⁾を拡張して、三面図として描かれた2次元の組立図より、各部品のソリッドモデルを自動的に作成する手法を開発する。三面図から一つの立体を作成する研究は数多く行われているが、組立図から二つ以上の部品となる立体を作成する研究は、著者の知る限り存在しない。しかしながら、この自動化システムは、次の2点で重要である。

1. 組立図から各部品図を描く作業は、組立図の複雑さや部品数の増加に伴って非常に多くの時間を費やす。また、作成された各部品図をソリッドモデルに変換するのも周知の通り容易ではない。これらの作業は定型的な作業でもあるので、実際には設計者と別の作業者が行う場合が多い。
2. 設計者以外の作業者がこの分解作業を行う場合、組立図から各部品を正確に認識しなければならぬが、これも容易な作業ではない。

本手法では、組立図よりワイヤフレームモデル、サーフェスモデルを作成し、さらに面

で囲まれた部分を立体要素として認識させる。作成された立体要素においては、実際には存在しない偽の立体要素が発生する可能性があるが、本手法では、そのような立体要素の真偽の関係と各部品への所属の関係を、組立図に描かれた各線分の情報をもとに定式化することで、解を求めるようにする。

2 組立図からの立体要素の作成

2次元組立図と一つの物体の三面図との基本的な相違点は、次の2点である。

1. 組立図では、各部品に対して部品番号が指示されている。
2. 組立図では、部品間の表面が接していても、対応する三面図上では、部品間の境界を明確にするために、部品間が実線または破線で区切られる。

部品番号は、各部品の識別子のようなものであり、本手法では、入力として組立図と部品番号、そして必要ならば断面図も含めるものとする。Fig. 1の例題1は、2個の部品からなる組立図であり、各部品には部品番号①、②が指示されている。なお、本研究ではこれらの部品を、それぞれ部品 P_1 、部品 P_2 と呼ぶことにする。組立図よりワイヤフレームモデル、サーフェスモデル、立体要素を作成する方法を次に述べる。

(1) 2D 頂点と 2D 線分

2D 頂点を、三面図において次の3種類に定義する。

1. 直線と直線、円弧と円弧、直線と円弧のそれぞれの交点。
2. 直線と円弧、円弧と円弧のそれぞれの接点。
3. 円弧上での、水平または垂直方向における最大または最小点、および円の中心点。

また、これらの点に対応し得る、他の面図上の点。

2D 線分を、三面図において次の2種類に定義する。

1. 2D 頂点間に存在する直線または円弧。
2. 接点である2D 頂点、または、円弧の最大または最小点である2D 頂点において、その頂点に対応する、他の面図における水平または垂直方向の直線。これらの直線を特にシルエット2D 線分とする。Fig. 2に2D 頂点と2D 線分を示す。

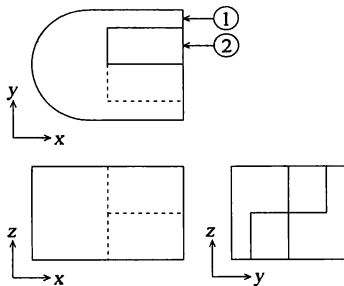


Fig. 1 Example 1

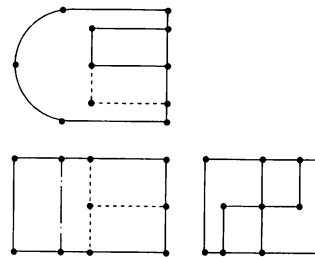


Fig. 2 The 2D vertices and 2D edges in Example 1

(2) 頂点と稜線

頂点は3個の2D頂点より定義する。ここで、三面図における任意の2D頂点を、三面各面において、 (fx, fz) , (tx, ty) , (sy, sz) とおく。このとき、 $fx = tx$, $ty = sy$, $fz = sz$ が全て成り立つならば、点 (fx, ty, fz) は、立体の頂点として存在し得る。このような点を頂点とする。

稜線は2個の頂点より定義する。ここで、任意の2個の頂点を (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) とおく。もし、2個の2D頂点 (x_1, z_1) , (x_2, z_2) を結ぶ2D線分が存在するか、または、 $x_1 = x_2$, $z_1 = z_2$ でありかつ2D頂点 (x_1, z_1) が存在するならば、2個の頂点 (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) を結ぶ直線は、正面図においてその投影像を持つ。同様に、この直線が平面図と側面図にも投影像を持つならば、この直線は立体の稜線として存在し得る。このような直線を稜線とする。

Fig. 3に、Fig. 2より作成される頂点と稜線を示す。この図より明らかなように、三面図より作成されたワイヤフレームモデルには、実際には存在しない偽の稜線が含まれる場合がある。

(3) 2D面と面

三面図において、2D線分(シルエット2D線分を除く.)を境界とする閉領域を2D面とする。2D面は、直方体要素連立式で述べた格子面の格子の目に相当するものである。同様に、稜線を境界とする閉領域を面とする。Fig. 4には各2D面と対応する部品番号を示し、Fig. 5には各面を示す。Fig. 5より明らかなように、ワイヤフレームモデルより作成されたサーフェスモデルには、実際には存在しない偽の面が含まれる場合がある。

(4) 立体要素

面を境界とする閉じた3次元領域を立体要素とする。Fig. 6には、各立体要素 (S_1, S_2, S_3) を示す。この図より明らかなように、サーフェスモデルより作成された立体要素の集合には、実際には存在しない偽の立体要素 (S_2, S_3) が含まれる場合がある。

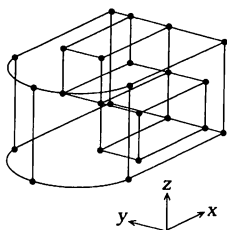


Fig. 3 The wireframe model in Example 1

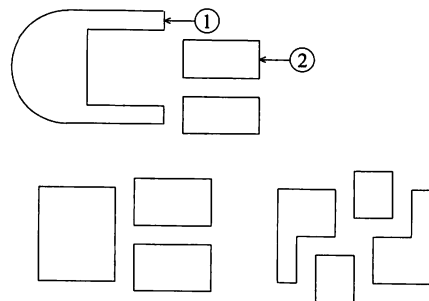


Fig. 4 The 2D faces with part numbers in Example 1

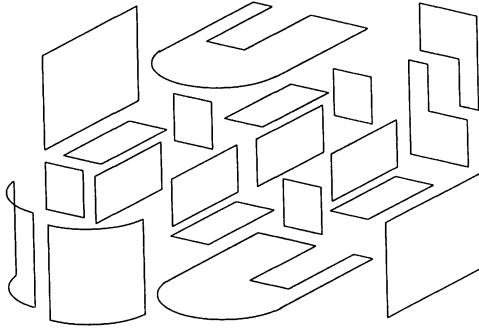


Fig. 5 The faces in Example 1

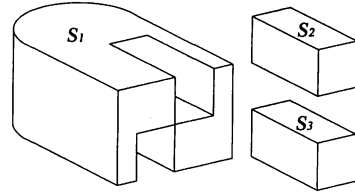


Fig. 6 The solid elements in Example 1

3 立体要素連立式

組立図より作成された立体要素は、偽の立体要素か、またはある部品の構成要素となる。したがって、組立図を構成する部品数を M とし、作成される立体要素数を N とすると、解を得るのに単純な立体要素の組合せ探索を行った場合、全組合せ数は、 $(M+1)^N$ となる。これは、三面図から一つの立体を作成する場合よりも、はるかに膨大な組合せ数であり、例えば、 $M=5$ 、 $N=25$ (例題 4, Fig. 20) とした場合、全組合せ数は、 $6^{25} \approx 2.843 \times 10^{19}$ となる。本手法では、このような実際の計算量の指数関数的な増大を防ぐために、立体要素間の真偽の関係を連立式として定式化し、これを解くことで解を得られるようにする。この定式化は、次に述べる四つの条件より行う。

● 実線条件

三面図において、一つの実線である任意の 2D 線分 a が、二つの 2D 面 b_1 、 b_2 間に存在するとする。この 2D 面 b_1 、 b_2 に対応する面を f_1 、 f_2 とし、この各面を持つ立体要素を S_1 、 S_2 とする。このとき、面 f_1 、 f_2 が、2D 線分 a に対応する稜線 e において互いに接するならば、立体要素 S_1 と S_2 は共に真でないか、または共に真で別々の部品の要素となる。この関係を $S_1 \times S_2$ で表す。

● 破線条件

先述の実線条件において、2D 線分 a が破線ならば、面 f_1 、 f_2 は稜線 e において、互いに接する。このとき、立体要素 S_1 、 S_2 は同じ部品の要素となるか、または共に偽となる。ここでもし、面 f_1 、 f_2 が接しないならば、立体要素 S_1 、 S_2 は共に真ではない。この関係を $S_1 - S_2$ で表す。破線である 2D 線分 a が存在するためには、この 2D 線分 a に対応する稜線 e を持つ立体要素が存在しなければならない。

● 存在条件

三面図における任意の 2D 線分 a に対応する稜線を持つ立体要素は、全て偽とはならない。加えて、部品番号の指示された 2D 面に対応する面を持つ立体要素の中で、少なくとも一つは、その番号の部品の要素となる。

● 一塊条件

立体要素より形成される1個の部品は、二つ以上の部分に分離していないこと。また、二つ以上の部分が稜線や頂点のみで接していないこと。

Fig. 7は、各2D面に対応する立体要素の番号を示したものであり、例題1の三面図から得られる関係は、平面図より $S_1 \times S_2$ 、側面図より $S_1 \times S_2$ 、 $S_1 \times S_3$ となることが分かる。これらの関係をまとめると $S_2 \times S_1 \times S_3$ となり、本手法ではこれを、例題1の立体要素連立式とする。

部品 P_1 に指示された2D面を持つ立体要素は S_1 のみであり、したがって S_1 は部品 P_1 の要素となる。部品 P_2 に指示された2D面を持つ立体要素は S_1 と S_2 であり、したがって S_2 は部品 P_2 の要素となる。 S_3 は側面図における実線条件より、部品 P_1 の要素でないことがわかり、もし部品 P_2 の要素とすれば、 S_2 と S_3 は一本の稜線のみで接するので一塊条件に反する。したがって S_3 は偽となる。結論として、部品 P_1 は S_1 となり、部品 P_2 は S_2 となる。

4 例題

本手法の有効性と課題を示す例題を次に三つ述べる。例題2は、2個の部品からなる組立図であり、ここでは断面図の有効性を示す。例題3は、リニアテーブルを簡略的に描いたものであり、ここでは組立情報や設計情報の有効性と課題を示す。例題4は、5個の部品からなる組立図であり、ここでは複雑な組立図に対しても本手法が有効であることを示す。

4.1 2部品の組立図

Fig. 8に例題2を示し、Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11にこの例題のワイヤフレームモデル、立体要素、各2D面に対応する立体要素の番号をそれぞれ示す。Fig. 12(a)は、三面図の各面における立体要素連立式であり、部品 P_1 は立体要素 S_6 を指示し、部品 P_2 は立体要素 S_3 を指示していることがわかる。Fig. 12(a)は Fig. 12(b)のように一つにまとめられ、さらに Fig. 12(c)のように簡略化できる。これが最終的な立体要素連立式となる。

解は次のようにして求められる。正面図において立体要素 S_2 に対応している2D面の、

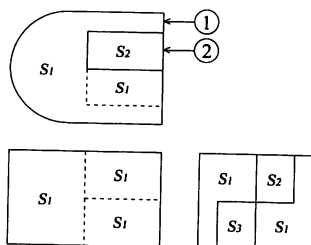


Fig. 7 The solid element numbers on each 2D face in Example 1

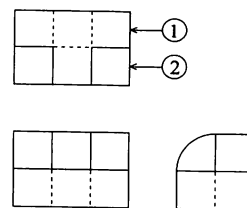


Fig. 8 Example 2

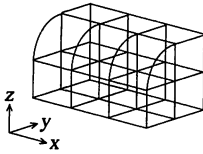


Fig. 9 The wireframe model in Example 2

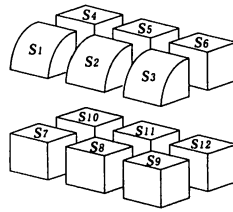


Fig. 10 The solid elements in Example 2

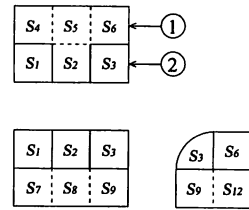


Fig. 11 The solid element numbers on each 2D face in Example 2

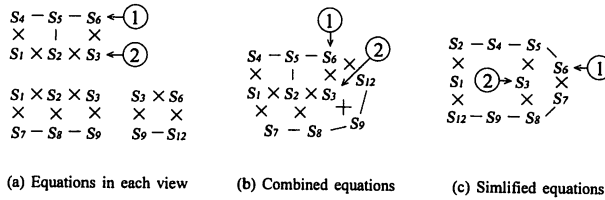


Fig. 12 The solid element equations in Example 2

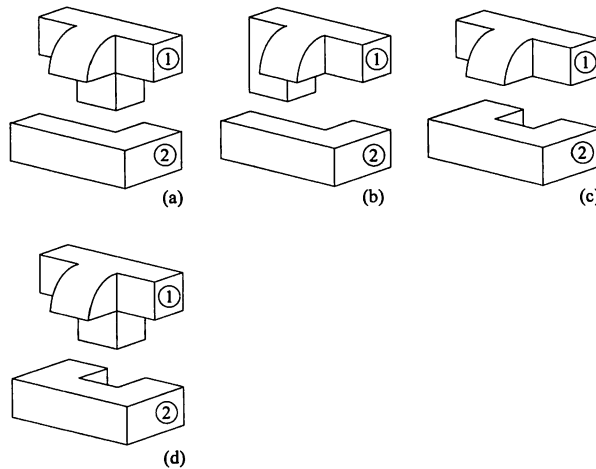


Fig. 13 The solutions in Example 2

上側にある横方向の線分の存在条件より、 S_2-S_5 は真となる。また、正面図において立体要素 S_9 に対応している 2D 面の、右側にある縦方向の線分の存在条件より、 S_9-S_{12} は真となる。したがって、 $S_2-S_4-S_5-S_6$ と $S_7-S_8-S_9-S_{12}$ は真となる。部品 P_1 は立体要素 S_6 を指示しているので、 $S_2-S_4-S_5-S_6$ は部品 P_1 の要素となり、 $S_6 \times S_7$ の関係より、 $S_7-S_8-S_9-S_{12}$ は部品 P_2 の要素となる。したがって立体要素 S_1 と S_3 は偽となり、部品 P_2 が指示する立体要素は、 S_3 から S_{12} に変化したことになる。立体要素 S_{10} と S_{11} は不確定要素であり、これらは部品 P_1 か部品 P_2 の要素、あるいは偽となる。よって、 $3^2=9$ 通りの組合せに各条件を適用すると、結論として Fig. 13 のような 4

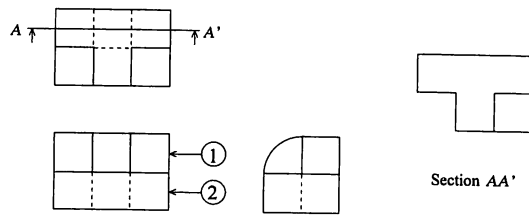
通りの解が得られる。

ところが実際には、設計者はなるべく組立図が一通りの部品の組合せになるように描く。この例題2の場合には、解を一通りにするために、Fig. 14(a)のような断面図を描くことができる。Fig. 14(b)は、断面図上に現れる立体要素番号を示し、Fig. 14(c)は、この断面図より得られる立体要素連立式を示す。これらは、立体要素を断面 AA' で切断することで得ることができる。結果として、立体要素 S_{10} は偽となり立体要素 S_{11} は部品 P_1 の要素となるので、解はFig. 13(a)となる。

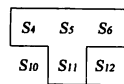
4.2 リニアテーブルの例

Fig. 15 に示された例題3は、リニアテーブルを簡略的に描いたものであり、Fig. 16, Fig. 17, Fig. 18 にこの例題のワイヤフレームモデル、立体要素、各2D面に対応する立体要素の番号をそれぞれ示す。立体要素連立式は、 $S_2 \times S_5$, $S_3 \times S_8$, $S_2 \times S_{11}$ なるが、これらは全て破線条件より得られる。

解は次のようにして求められる。存在条件より、立体要素 S_1 が部品 P_1 、立体要素 S_9



(a) Orthographic view and section AA'



(b) Solid element numbers on section AA'

$$\begin{array}{r}
 S_4 - S_5 - S_6 - S_{11} \\
 \times \qquad \qquad \times \\
 S_{10} \qquad \qquad S_{12}
 \end{array}$$

(c) Solid element equations in section AA'

Fig. 14 The usage of a sectional view in Example 2

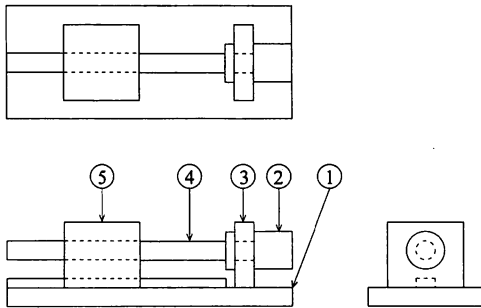


Fig. 15 Example 3

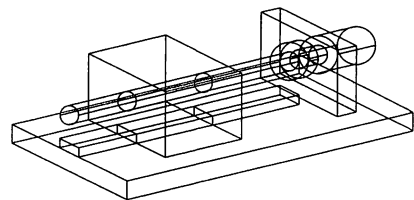


Fig. 16 The wireframe model in Example 3

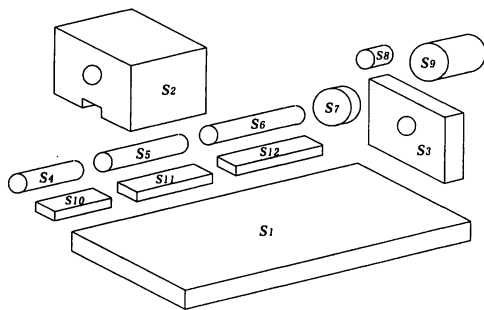


Fig. 17 The solid elements in Example 3

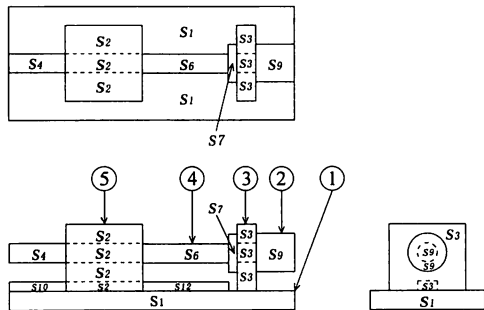


Fig. 18 The solid element numbers on each 2D face in Example 3

が部品 P_2 ，立体要素 S_3 が部品 P_3 ，立体要素 S_6 が部品 P_4 ，立体要素 S_4 が部品 P_5 のそれぞれの要素となり，また立体要素 S_4 ， S_7 ， S_{10} ， S_{12} は真となる。立体要素 S_4 は，立体要素 S_5 とのみ面で接触しているのて，立体要素 S_5 は一塊条件より真となる。立体要素 S_5 は，立体要素 S_4 と S_6 に面で接触しているのて，立体要素 S_4 と S_5 は部品 P_4 の要素となる。立体要素 S_{11} は部品 P_1 の要素か，あるいは偽となるのて，立体要素 S_{10} と S_{12} は部品 P_1 の要素となる。結果として，不確定な立体要素は S_7 ， S_8 ， S_{11} となる。

立体要素 S_7 は，部品 P_2 ，部品 P_3 ，部品 P_4 のいずれかの要素となり，立体要素 S_8 は，部品 P_2 ，部品 P_4 のいずれかの要素か，あるいは偽となる。立体要素 S_{11} は部品 P_1 の要素か，あるいは偽となる。したがって，次のような $3 \times 3 \times 2 = 18$ 通りの組合せが解の候補となる。 $(S_7, S_8, S_{11}) = \{(2, 0, 0), (2, 0, 1), (2, 2, 0), (2, 2, 1), (2, 4, 0), (2, 4, 1), (3, 0, 0), (3, 0, 1), (3, 2, 0), (3, 2, 1), (3, 4, 0), (3, 4, 1), (4, 0, 0), (4, 0, 1), (4, 2, 0), (4, 2, 1), (4, 4, 0), (4, 4, 1)\}$ ただし，偽 = 0 としている。これらの組合せの中で， $(2, 0, 0)$ ， $(2, 0, 1)$ ， $(2, 4, 0)$ ， $(2, 4, 1)$ ， $(3, 4, 0)$ ， $(3, 4, 1)$ は一塊条件に反するのて，解の候補は残りの12通りとなる。

しかしながら，もし (S_7, S_8, S_{11}) が， $(2, 2, 0)$ または $(2, 2, 1)$ となる場合，部品 P_2 と部品 P_3 は組立不可能となる。したがって解は，Fig. 19 に示す10通りとなる。また，組立図がリアテーブルを表すのならば，立体要素 S_{11} は移動するテーブルへのレールの一部であることが明らかなので，立体要素 S_{11} は真と判断できる。このように組立情報や設計情報は，解を一意に定めるのに有効となる。組立情報は，次章で述べる組立図より組立手順を自動生成する方法を適用できるが，設計情報は，現在まだ適用方法が確立しておらず，今後の課題となる。

4.3 5部品の組立図

Fig. 20 に例題4を示し，Fig. 21，Fig. 22，Fig. 23 にこの例題のワイヤフレームモデル，立体要素，各2D面に対応する立体要素の番号をそれぞれ示す。Fig. 24 は，三面図

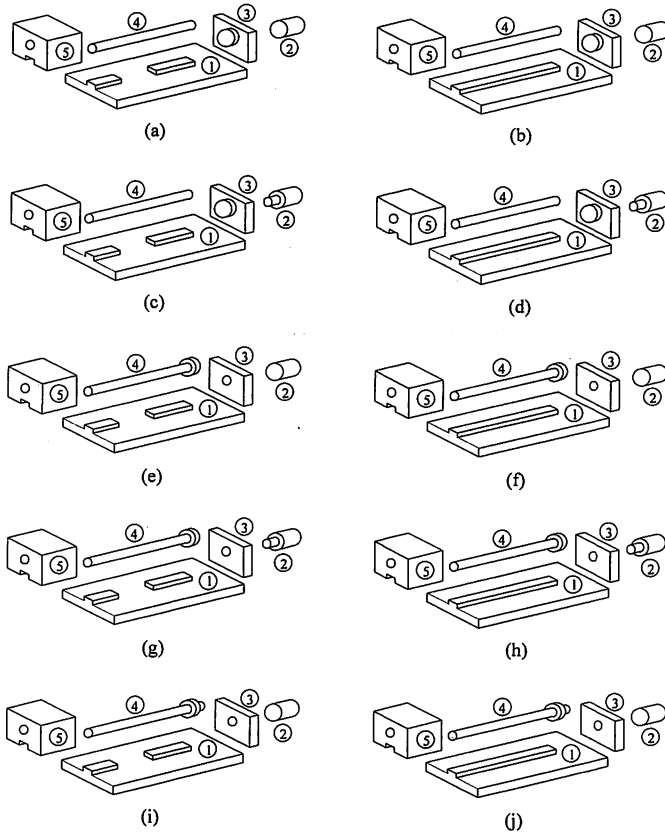


Fig. 19 The solutions in Example 3

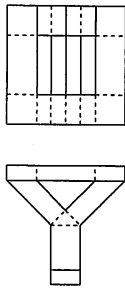


Fig. 20 Example 4

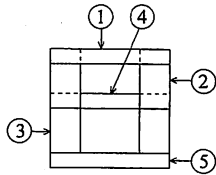


Fig. 21 The wireframe model in Example 4

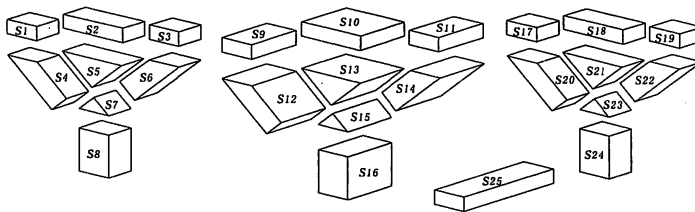


Fig. 22 The solid elements in Example 4

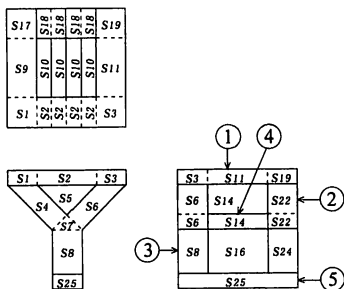


Fig. 23 The solid element numbers on each 2D face in Example 4

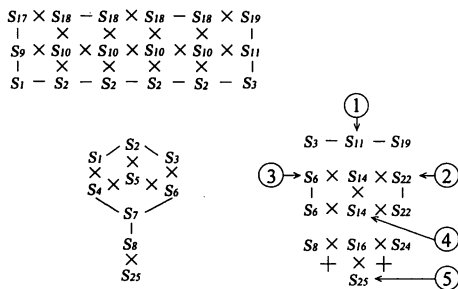


Fig. 24 The solid element equations in Example 4

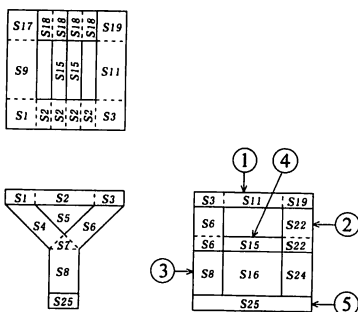


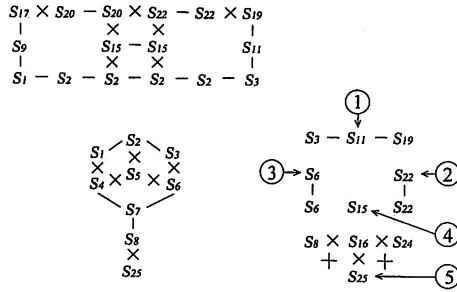
Fig. 25 The modified model of Fig. 23

の各面における立体要素連立式であるが、平面図における $S_{18} \times S_{18}$ という関係など、明らかに偽とわかる立体要素が存在する。このような偽の立体要素は、 S_{10} 、 S_{12} 、 S_{13} 、 S_{14} 、 S_{18} 、 S_{21} であり、これらを除去すると、Fig. 23 と Fig. 24 は、Fig. 25 と Fig. 26 ((b)は(a)を一つにまとめたものである。)に変化する。

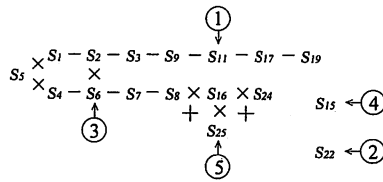
解は次のようにして求められる。存在条件より、 $S_1 - S_2 - S_3 - S_9 - S_{11} - S_{17} - S_{19}$ は部品 P_1 の要素となり、 $S_4 - S_6 - S_7 - S_8$ は部品 P_3 の要素、立体要素 S_{15} は部品 P_4 の要素、立体要素 S_{22} は部品 P_2 の要素、立体要素 S_{25} は部品 P_5 の要素となる。また、立体要素 S_{20} と S_{24} は真となる。立体要素 S_5 は立体要素 S_2 、 S_4 、 S_6 とのみ面で接触しているため、実線条件より偽となる。また実線条件より、立体要素 S_{25} =部品 P_5 となる。結果として、立体要素 S_{16} 、 S_{20} 、 S_{23} 、 S_{24} が不確定要素となる。したがって、 $4 \times 4 \times 5 \times 4 - 60 = 260$ 通りの組合せが解の候補となる(60は、 $S_{16} \times S_{24}$ の関係より除去される)。これらの組合せに各条件を適用すると、結論として Fig. 27 のような5通りの解が得られる。

5 考 察

組立図から2個以上の部品となる立体を自動作成する研究は、著者の知る限り存在しないが、他の研究における、三面図から一つの立体を自動作成する手法を組立図に適用した場合、立体要素を解の構成要素とした手法では、本手法が不確定要素を最小化するのに対



(a) Equations in each view



(b) Combined equations

Fig. 26 The modified solid element equations in Example 4

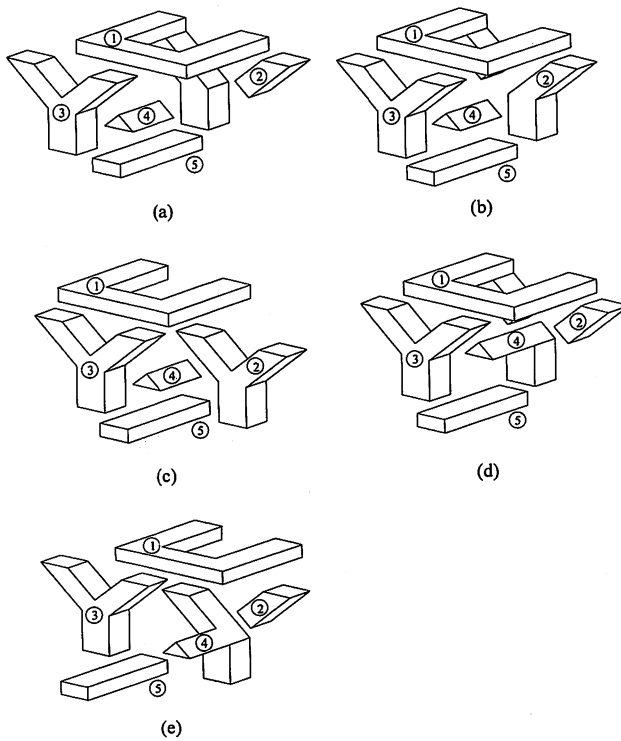


Fig. 27 The solutions in Example 4

して、他の手法は基本的に全要素の全組合せ探索をベースとしているので³⁾⁴⁾⁷⁾⁸⁾、増大する計算処理量の問題が大きく関わると考えられる。面を解の構成要素とした場合²⁾⁵⁾⁶⁾はなおさらの事である。また、本手法は三面図と立体要素の対応関係を直接的に定式化しているため、組立図や断面図などの副面図にも臨機応変に対応できるが、他の手法は理論的な構成が複雑な分だけ、柔軟な対応が困難になると予想される。

6 おわりに

本章では、立体要素による2次元組立図からの3次元部品図（ソリッドモデル）の自動作成法について述べた。本章における研究成果を次にまとめる。

1. 組立図によっては、解が複数存在する場合があるが、本手法は考えられる全ての解を求めることができた。また、立体の表面として、平面、円柱面、円錐面、球面に対応可能とした。
2. 一つの立体を自動作成する場合に比べて、組立図では立体要素の判別が相当複雑となるが、立体要素連立式は、その複雑さを最小限度に押さえることができたので、結果として高速な処理を可能とした。
3. 部品数5個で、立体要素数25個、不確定要素数4個というかなり複雑な組立図に対しても、全ての解が容易に得られることを示した。
4. 部品関係を明確にするため、組立図では断面図がよく用いられるが、本手法は、断面図でも容易に対応できた。
5. 組立や設計の情報が、解を特定する上で有効であることを明らかにした。

参考文献

- 1) 田中雅次：立体要素連立式による三面図からの自動立体作成法, 情報処理学会論文誌, Vol. 34, No. 9, pp. 1956-1966 (1993).
- 2) 出沢正徳：三面図から立体形成のためのシステム, 日本機械学会論文集, Vol. 38, No. 310, pp. 1267-1276 (1972).
- 3) Wesley, M, A, and Markowsky, G.: Fleshing Out Projections, *IBM J. Res. Develop.*, Vol. 25, No. 6, pp. 934-954 (1981).
- 4) Gujar, U. G. and Nagendra, I. V.: Construction of 3D Solid Objects from Orthographic Views, *Comput. & Graphics*, Vol. 13, No. 4, pp. 505-521 (1989).
- 5) 佐々木康仁, 伊藤 潔, 鈴木誠道：非線形疑似プール代数解法による三面図からの物体の自動合成, 情報処理学会論文誌, Vol. 30, No. 6, pp. 699-708 (1989).
- 6) 西田 淳, 張 紹星, 西原清一：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 (1991).
- 7) 増田 宏, 沼尾雅之, 清水周一：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, 情報処理学会論文誌, Vol. 35, No. 3, pp. 453-460 (1994).
- 8) Yan, Q., Chen, C. L. P. and Tang, Z.: Efficient Algorithm for The Reconstruction of 3D Objects from Orthographic Projections, *Computer-Aided Design*, Vol. 26, No. 9, pp. 699-717 (1994).

Decomposition a 2D Assembly Drawing into 3D Part Drawings

Masaji TANAKA, Toshiaki KANEEDA, Kenzo IWAMA *
and Tohru WATANABE **

Okayama University of Science

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering,

Ridai-cho 1-1, Okayama 700-0005, Japan

* *Advanced Software Technology & Mechatronics*

Research Institute of KYOTO (ASTEM RI)

Kyoto Research Park, 17 Chudoji Minami-machi,

Shimogyo, Kyoto 600-8232, Japan

** *Ritsumeikan University*

1916 Noji, Kusatsu, Siga 525-0055, Japan

(Received October 6, 1997)

Abstract

This paper shows a method of automatically decomposing a 2D assembly drawing into 3D part drawings by a set of solid element equations. Solid elements are virtual elements that are constructed from orthographic views and become the components of solid models of all of the parts described in the orthographic views. This method organizes the relationships between a 2D assembly drawing and solid elements as a system of solid element equations that can classify solid elements into true elements of some parts and false elements that do not actually exist in any parts. The method generates ways of solving the system of solid element equations and the combination of true elements. If there is more than one solution, the method can generate all of the solutions. The method was tested on various 2D assembly drawings.