

実用板金図面から 3 次元モデルの自動作成に関する研究

石坂 尚也[†] 阿部 博光^{††} 青村 茂[†]

CAD で作成された三面図から 3 次元モデルを作成する試みが多くの研究者によってなされてきた結果、完璧な三面図はもとより、一部省略や間違いのあるような図面からの立体作成も可能になってきている。しかし、それらの手法のほとんどは、三面図上の異なる投影図間の頂点の完全な一致を基本としているため、(省略を含めて) 立体作成を意識して理想的に入力された図面には適用できるが、頂点の一致が保証されない実用図面にはまったく適用できなかった。特に板金図面では、板厚一定という特徴のゆえに、形状を良く表す面に当たる部分は比較的ていねいに描かれるが、縁を表す部分はラフに描かれたり極端な省略があるため、頂点の照合はほとんど期待できない。本論文では板金図面の特徴をもとに、板金形状のシルエットを基本とした立体作成手法を提案する。本手法では 2 次元段階で各投影図ごとに面を表す部分と縁を表す部分に分け、これらを各投影図間で領域単位の照合を行って立体面を作成するものである。3 次元空間での頂点の照合をいっさい行わないため、面の形状さえ正確であれば(というより図面に描かれたとおりの) 立体が確実に作成できるものである。本手法を多くの実用板金図面に適用してその有効性を確認したので、ここに報告する。

Reconstruction of 3D-Models from Engineering Drawings of Sheet Metal Actually Used

NAOYA ISHIZAKA,[†] HIROMITSU ABE^{††} and SHIGERU AOMURA[†]

Many researchers have tried to reconstruct 3D objects from three-view engineering drawings made by CAD systems. Consequently a solid model can be made even from the drawings which contain some abbreviations and mistakes. However, these conventional methods cannot be applied to the drawings actually used in which not all the vertices between different views correspond each other, because these methods require the complete coincidence of vertices in 3D space. In this paper, a new method based on rough reference between silhouettes and cross sections in a drawing is presented. In a sheet-metal drawing, as a silhouette shows a whole figure of a face and a cross section indicates just the position of the face, cross sections are drawn roughly compared with silhouettes. Therefore, it is practically difficult to apply the conventional methods which based on complete reference of vertices to sheet-metal drawings. In the new method, since we have only to select the most fit silhouette for a cross section by rough reference, proper results can be obtained without fail. We applied this method to many drawings used in a shop floor of sheet-metal manufacturing and proved this method to be quite effective.

1. はじめに

現在、産業界において設計や製造の情報伝達の主役は図面である。その中で CAD の普及はめざましく、ほとんどの図面は電子データになったといえる。さらに 3 次元 CAD も価格や信頼性の面から身近なものになっており、主体は図面であるが随所に 3 次元モデルを用いて生産効率の向上を図るのが実態である。

板金業界においても、生産や製品の多様性が増え納期は短くなる一方で熟練労働者の数は減っている。図面を用いながらも展開図の作成や加工工程設計等随所に 3 次元モデルを用いることにより作業効率を大幅に向上したいという強い期待がある。これまで図面から立体を作成するための数多くの研究がなされて、いくつかのソフトウェア製品も発表されているが、設計や生産の前線で実用化されている例は皆無である。以下に実用化できない原因について述べる。

図面から立体を作成する研究をさかのぼるとき、第 1 に出澤¹⁾の一連の研究があげられる。出澤の手法は、三面図から立体の頂点候補、稜候補、面候補を順次作成し、これらの中から必要のない偽の候補を排除する

[†] 東京都立大学大学院工学研究科機械工学専攻
Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan University

^{††} 三菱自動車工業株式会社
Mitsubishi Motor Company

ものである。出澤の研究以降、これに続く代表的な研究として Wesley²⁾、西原³⁾、千田⁴⁾、高橋⁵⁾ら数多くの研究があげられる。これらの手法では複数の候補補から正解を得るまでに違いがあるものの、異なる投影図間で頂点の照合を行うことが出発点となっている。一方 Aldefeld⁶⁾は3面図からスイープ形状（プリミティブ）を認識しこれらの組合せで立体を作成した。しかし、この手法は人が介入しないとすれば非常に一部の限られた図面にしか適用ができず、実用的とはいえない。したがって、図面から立体を、特に自動で作成する場合、前者のボトムアップ的な方法が主体となる。その後研究が重ねられ、この手法は一部省略を含む図面にも適用されるまでになった。さらにその間、扱える幾何形状が拡張される等論理的な問題はおおむね解決されるようになった。これらの詳しい経緯は青村⁷⁾や沼尾ら⁸⁾の解説を参照されたい。その他、国内外を問わず多くの先人の研究報告があるが、それにもかかわらず実用化され役立てられているといった報告は聞かない。入力源のCAD図面は頂点と稜線から成り、まずこれらの頂点の照合を異なる投影図の間でおおむね1/10～1/100 mm程度の誤差を目安に行う。CADで図面が入力されるようになり、幾何的にも正しい図面が描かれるようになってきており、この照合は一見簡単そうに見えるが、実際の図面でこれらの照合が1度や2度でうまくいくことは期待できない。円弧を含むとさらに照合が難しくなり、特に丸み付けがある場合には、よほど単純な図面でない限り投影図間の頂点の照合はほとんど成功しない。第1段階の照合で多くの場合図1のような状態になる。実用上正しい図面でもこのような照合の失敗はよく起こる。明らかに図面のミスと分かるような稜線の過不足の修正は許容されるが、設計者や図面入力者には見えない頂点がミクロン単位で合わない場合には、実用上は修正は不可能である。「図面から立体を作成」という場合に要求されるのは、既存の図面がそのまま立体になることである。すなわち立体作成の際に人があれこれ指示をしたり図面を逐一修正したりしながらモデリングを行うのではだめである。これでは3次元CADを使用した方が確実に速く、図面から立体を作成する方法は現場では受け入れられない。本論文ではこのような背景をもとに、実用化に絶対に必要な以下の条件をもとに実用板金図面から立体を作成する手法を提案する。その条件とは、「目で判断して常識的に正しい図面であれば、自動で図面の程度に合わせた3次元の出力を必ず行う」ことである。

上記を実現するために、対象を板金図面に絞り、そ

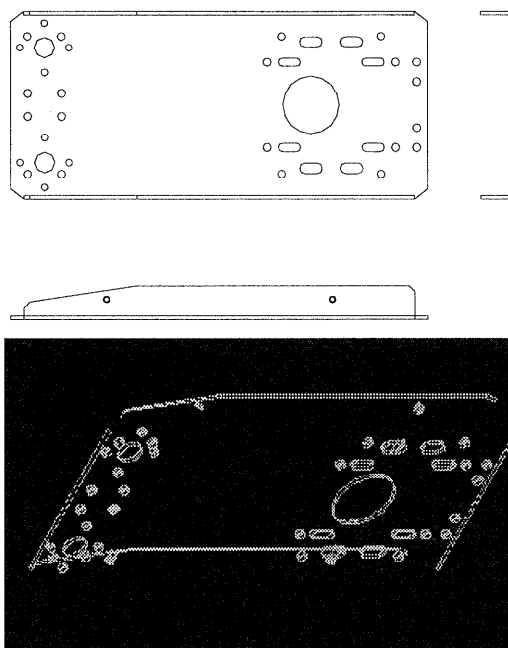


図1 実用上正しいが、頂点の照合ができない図面が多い
Fig. 1 Most drawings are practically correct, but their vertices don't correspond each other.

の特徴を生かして、従来の頂点の照合をまったく行わずに立体作成を行う方法を採用する。本手法では図面の各投影図を板金の面を表す部分と縁を表す部分とに分類し、領域レベルの照合を行う。領域の数は複雑な図面でも頂点の数よりはかなり少なく、さらに照合の組合せは極端に少なくなるので、ラフな照合で確実に答を得ることができる。これらの条件をもとに40枚の実用（実際に加工に用いている）図面に適用して良好な結果を得たのでここに報告する。出力は板金物体の中立面にあたる3次元サーフェイスモデルである。

2. 板金図面の定義とその問題点

2.1 板金物体の定義

本論文で扱う板金は厚さが薄く均一の板状物体に曲げ、切断またはパンチ加工を施したものである。対象となる図面は、上記板金部品のCADで作成された三面図である。また図面データのうち製品形状を表す幾何データのみを用いる。このように定義した場合、各投影図に表れる個々の閉ループ（以下これを最小閉ループと称する）は、立体面（穴形状を表す虚の面も含む）あるいは、厚みを表すその側面（以下これを縁と称する）、およびこれらの領域が重なったもののどれかを表すことになる。したがって、図面上で、広いループはある立体面の投影形状を、縁はその面の姿勢

表1 板金図面の立体化への問題点

Table 1 Problems in sheet metal drawings prevent recovering 3D objects.

問題の種類	設計者による修復		計
	可	不可	
重要な輪郭線の間違い (ぬけ)	3	7	10/40
縁への対応線の省略	6	27	33/40
頂点が対応せず	8	22	30/40

(自動で立体作成が可能と判断される図面 40 枚)

を表すという特徴を持つ。作成される立体は、法線ベクトルが、 x 、 y および z 軸のいずれかと垂直な平面および中心軸が x 、 y および z 軸のいずれかと平行な円筒面で構成されていること、および、図面は直線と円弧で構成されていることが条件である。これらの特徴を考えると個々の面の空間における自由度は少ないようであるが、プレス加工を除く板金部品の大半は加工の関係からこの範囲内にあり、まさにその自動立体化が望まれているのである。

2.2 実際の板金図面の問題点

表1に実際に使用されている板金図面 40 枚を立体作成の観点から調査した結果を示す。欄外の“立体作成が可能と判断される…”とは、断面図や大きな省略を含まず、またプレス加工等の円筒面以外の曲面を含まないという意味である。縁への対応線とは切断を示す外形線や隠れ線、穴の断面を表す隠れ線のことで、これがなくても図面理解には大きな影響を及ぼさないもので、図面簡略化のために省略されることが多い。また表中の修復の可、不可の区別は、設計者や立体作成者が常識的な時間と労力（少なくともどこが悪いかが分かり、すぐに修正が可）で修正して立体を作成できるということである。縁への対応線の省略に対しては田村ら⁹⁾がその研究で有効な方法を示している。この報告は板金図面の性格をよくとらえて立体化を目指したものであり、上記の対応線の問題を含むあいまいな図面に対処している。

3. 領域照合による立体作成方法

ここで本手法の具体的なアルゴリズムを示す。

3.1 最小閉ループの抽出

図2に示すように、各投影図から最小閉ループを抽出する。まず、一番外側にある任意の頂点から右回りに、図面の輪郭をなぞるようにループをとる。このループをこの矢印の最大外ループと称する。その後最大外ループがたどった各稜線から、今度は左回りにループをとっていく。得られたこれらのループを最小閉ループとする。また、これらのループから孤立したループがあれば、それまでに得られた最小閉ループ

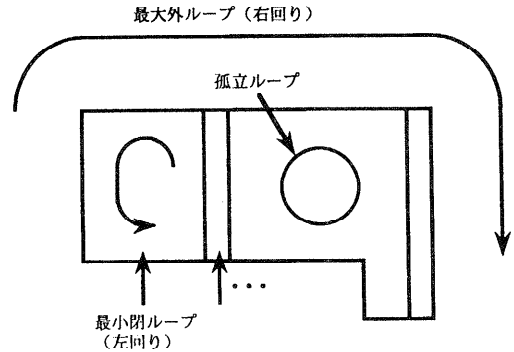
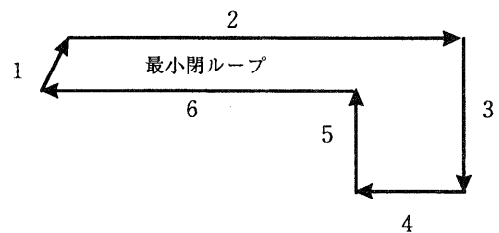


図2 最小閉ループの抽出

Fig. 2 Finding out minimum loops.



2と4、2と6、3と5がペアとなる

図3 稜線のペアの抽出

Fig. 3 Finding out pairs of edges.

でそのループを包含しているものを見つけ、この孤立ループを追加する。本論文ではこの最小閉ループの形をもとに立体面を作成し立体図形を得る。

3.2 板厚の自動算出

3.1節で求めたすべての各最小閉ループに対し、図3に示すようにそれぞれお互い逆向きで向かい合っている平行線分を探し稜線のペアとする。ただし孤立ループの平行線分は除く。同様に円弧に対しては同心円弧を探しペアとする。このようにして求めた稜線の各ペア i ($i = 1, 2, \dots, n$) について、二本の稜線の長さの平均を l_i 、その間の距離（幅）を t_i とする。ここで板厚は三面図を通して一定であるので、あるペア間の距離 t_i 別にペアの長さの平均 l_i の和をとった場合、板厚を表す距離を持つペアの長さの和が一番長くなる。このことを利用して以下の方法により板厚を自動算出する。以下に示す式

$$t_j(1 - \Delta t) < t_i < t_j(1 + \Delta t),$$

$$(j = 1, 2, \dots, n)$$

$$(\Delta t : 0 \text{ に近い定数})$$

を満たすような t_i すべてに対して l_i の総和を求め l_j とする。 Δt は板厚の微妙な誤差を吸収するために持たせる幅であり、多少の誤差のある図面でも板厚の算出ができる。また t_j ($j = 1, 2, \dots, n$) は t_i のいずれ

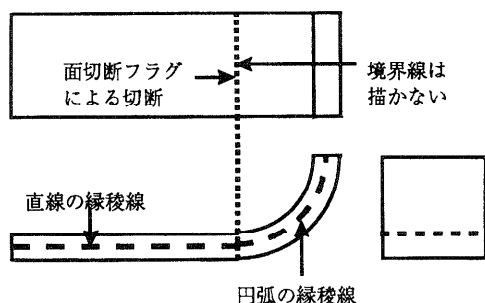


図4 縁稜線と最小閉ループとの対応

Fig. 4 The correspondence of edges and loops.

かの値をとる変数で、三面図全体を通して t_i の値を順次代入しそれぞれの l_j を求める。このようにして求めた l_j のうち最大の l_j を与える t_j を板厚とし t とする。板厚が微小な誤差を持つ場合、それらの t_i を代入して得られた結果の l_j は同じ値になることがある。もし最大の l_j を与える t_j が複数存在した場合はその候補をすべて板厚を構成する稜線としたうえで、その中で Δt の値をさらに小さくして最大になる l_j を与える t_j を探し板厚 t とする。

上式により板厚を構成すると判断される稜線のペアに対して、その2つの稜線のちょうど中間を通るような稜線を作成し、それを単体縁稜線とする。同様に縁円弧を作成する。これをすべての投影図の最小閉ループから求めた稜線のペアに対して行い、縁稜線を作成する。ここで求めた単体縁稜線のうち、連続している線分についてはそれらをつなげて合成縁稜線を作成する。

3.3 面切断フラグの決定

平面と円筒面がなめらかにつながっているような立体図形の場合、図面ではそれらの面の間に境界線を描かないのが普通である。このとき図4の平面図に示すように、本来平面と円筒面の異なる2つの面がまとめて1つの閉ループで表されるので、図面上では対応する他の投影図の直線および円弧の縁稜線よりも最大長さが大きくなってしまふ。そこで縁稜線で直線の縁と円弧の縁の接点に領域切断フラグを定義し、最小閉ループを縁稜線の大きさに切断してから照合を行う。図4の平面図の左側の最小閉ループと正面図の直線の縁稜線とを照合して平面を作成し、右側の最小閉ループと円弧の縁稜線とを照合して円筒面を作成する。

3.4 照合と立体作成

これまで得られた最小閉ループと、縁稜線とを照合して立体図形を作成する。まずある投影図の最小閉ループとそれに対応するほかのどちらかの投影図の縁稜線とを照合してもし一致すれば仮の立体面を作成し、

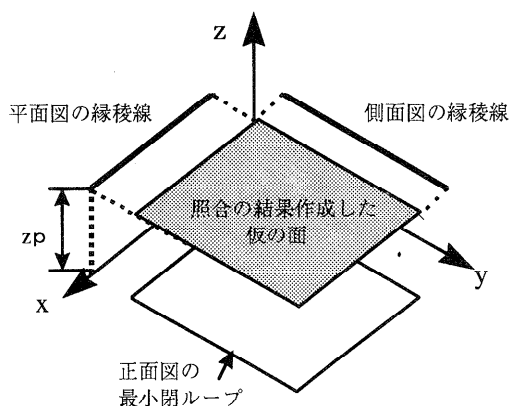


図5 ループの照合と有効性の確認

Fig. 5 Reference of a loop with edges.

次に最後に残った投影図データにより、立体面の有効性を確かめるという順序で立体面作成を行う。照合を行う際、まず最小閉ループと縁稜線との対応検査（最小閉ループを投影した直線があらかじめ誤差も含めて設定した最大、最小の間に入るかどうか）を行う。次にたった今使用した縁稜線をその稜線を含む面と垂直の方向に掃引し、直線の縁稜線の場合は平面を、円弧の縁稜線の場合は円筒面を作成する。得られた掃引面に最小閉ループを投影し、最終結果の立体面の候補となる仮の立体面を作成する。この仮の面の有効性の確認を次のように行う。

(1) 垂直、水平面（法線ベクトルが x, y, z 軸のどれかと平行な面）の場合

この場合、仮の面の有効性の確認は、第3の投影図において対応する適切な縁稜線を見つけることによって行われる。例として図5に示す正面図の最小閉ループを側面図の縁稜線と照合して仮の面を作成し、平面図でその仮の面の有効性を確かめる場合を考える。この場合、側面図の縁稜線が y 軸に平行であるとする。この仮の面は xy 平面に平行である。この仮の面の z 座標を z_p とし、 x 座標の最大値を x_{pMAX} 、最小値を x_{pMIN} とする。この面が有効であるかを確かめるために、まず平面図で、 x 軸と平行で z 座標が z_p 付近にある縁稜線を探す。見つかった縁稜線の x 座標の最大値を x_{fMAX} 、最小値を x_{fMIN} とする。このとき以下の条件

■ x_{pMAX} について、

- 面切断フラグが立っている場合

$$x_{fMAX} + (1 + \alpha)(x_{pMAX} - x_{pMIN})$$

$$> x_{pMAX},$$

(α は適当な定数：本論文では 0.1)

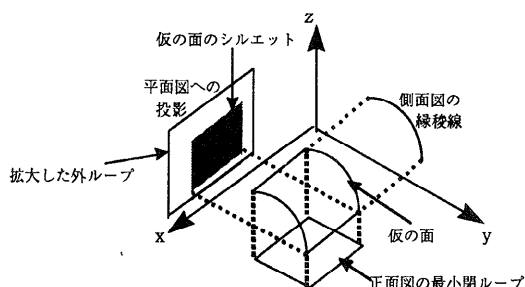


図 6 仮の面の有効性の確認
Fig. 6 Confirmation of a provisional face.

- 面切断フラグが立っていない場合

$$x_{FMAX} > x_{PMAX},$$

- x_{PMIN} について

- 面切断フラグが立っている場合

$$x_{FMIN} + (1 - \alpha)(x_{PMAX} - x_{PMIN}) < x_{PMIN}$$

- 面切断フラグが立っていない場合

$$x_{FMIN} < x_{PMIN},$$

を満たす縁稜線が見つかった場合に仮の面は有効とする。

(2) 斜めの面および円筒面の場合

この場合、仮の面の有効性の確認は、仮の面を最後の投影図が表す平面（正面図なら xy 平面，側面図なら yz 平面，平面図なら xz 平面）に投影し，そのシルエットとその投影図の最大外ループを比較することによって行われる。具体的には，投影したシルエットが最大外ループの外側にあればその面は有効であるとする。(1) と同じように，例として正面図の最小閉ループを側面図の縁稜線と照合し，平面図の投影図で仮の面の有効性を確かめるとする。側面図の縁稜線が円弧である場合，仮の面は円筒面になる。この円筒面を xz 平面（平面図）に投影する（図 6）。またここで，平面図の最大外ループを， α ((1) と同じ定数) 分だけ拡大しておく。これは，図面の曖昧さがある程度吸収するうえで必要である。仮の面を投影したシルエットがすべてこの拡大した最大外ループの内部にあるならば，仮の面は有効であるとする。

3.5 穴および虚物体の排除

以上の方法で構築された立体図形には，穴を表す面および虚物体も含まれている。そこで，立体図形と三面図を照合させることによりこれらを排除する。ただし本研究では，丸穴については三面図において孤立ループによって表現される，法線ベクトルが x , y および z 軸のいずれかと垂直に開いた穴にのみ対応している。穴を表す面を排除するアルゴリズムを以下に述べる。内部の孤立ループから立体面を作るとき，そ

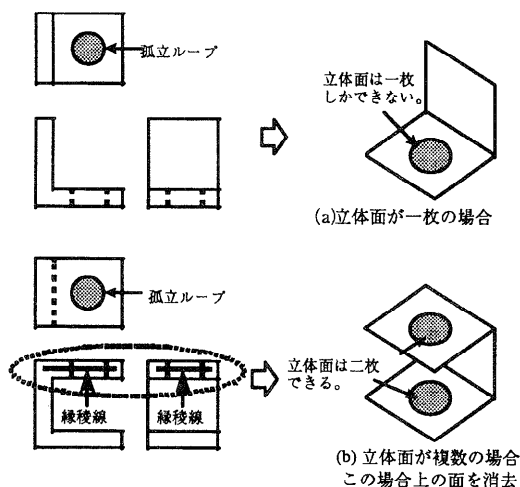


図 7 孤立ループによってできる穴の例
Fig. 7 Holes made by isolated loops.

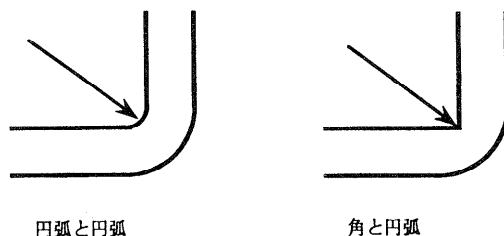


図 8 板金図面における角曲げの描き方
Fig. 8 Examples of a corner bend in sheet metal drawings.

の孤立ループを基にした立体面が 1 枚しか生成されなければ，その面は穴を表す虚物体であるとしてすべて排除する（図 7(a)）。

立体面が複数作られた場合，各面の照合に使われた合成縁稜線を調べる。立体面の座標の最大値および最小値と合成縁稜線のもとになった単体縁稜線の端点を比較して，対応しているものがあれば，その立体面を排除する（図 7(b)）。

3.6 丸み面の作成

立体の丸みを表す角部分は板金図面では図 8 に示すように円弧と円弧，あるいは角と円弧により描かれる。特に角と円弧の場合はペアとなることができないので，縁稜線を作成できない。そこで図 9 に示すように，縁ループの中からペアにならない円弧を抽出し，その半径を r とするとその r から板厚 t の $1/2$ を引いた半径の円弧を新たに縁円弧として作成する。この場合，新たに作成された縁円弧とその両隣に隣接する縁線分とは一部重複することになるので，円弧にあわせて縁線分を切断する。なお，縁円弧に関しては半径

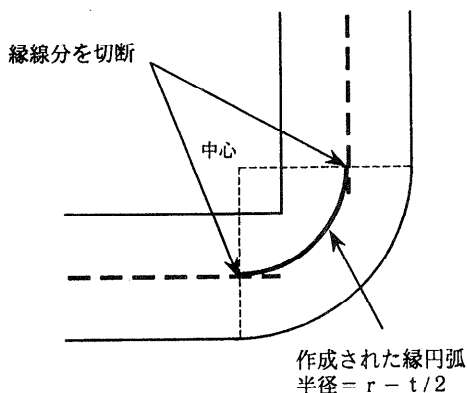


図9 縁円弧の作成

Fig. 9 Generation of an arc for a corner bend.

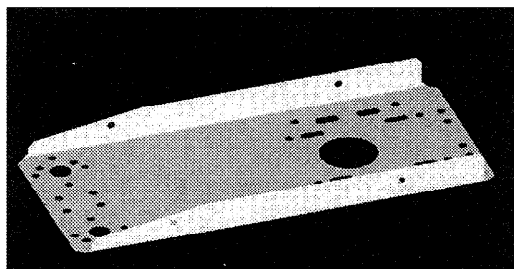
図10 領域照合法により作成されたサーフェスモデル1
(図面は図1)

Fig. 10 A surface model made by the face reference method (the drawing is shown in Fig. 1).

が板厚の半分よりも小さいものは作成しない。

3.7 実 証 例

図10から図14に本手法を適用して実際の板金図面からすべてコンピュータの判断で作成した立体を示す。図10は図1で示した図面からの作成例である。点の照合では微妙なずれにより立体作成までたどり着けないが、領域照合法を用いることにより確実に作成できることが分かる。次に示す図11の例では板金特有のパンチ加工による多数の穴を含んでいるが、領域照合法ではこれらの点を照合する必要はなく、ループの認識を行うだけでよい。短時間で確実に作成できる。図12は同様にパンチ加工による大量の穴を含む箱型であり、一見単純な形状に見えるが、頂点の照合を行うと角の丸み面のところで一致しない頂点が出てくる。これらの問題は領域照合法では回避され、オリジナル図面のままでも特に問題なく作成できる。図13はさらに斜めの面も含み、複雑さも増した図面である。このくらいの複雑さの図面になると頂点の照合による方法では絶対に成功しない。この図面に従来の頂点照合法を適用

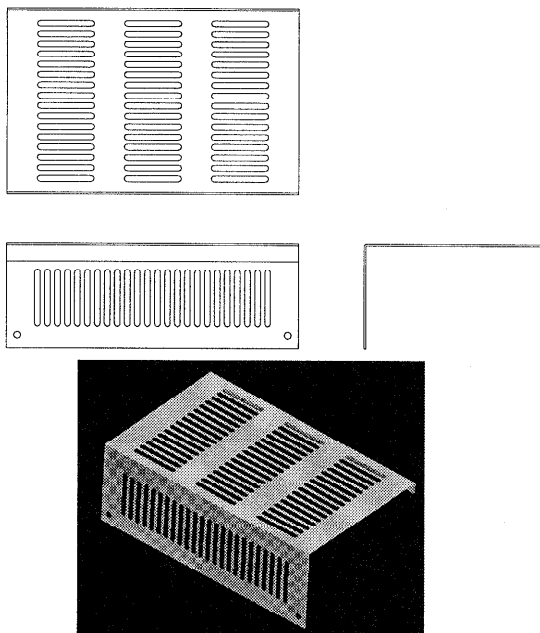


図11 領域照合法により作成されたサーフェスモデル2

Fig. 11 A surface model made by the face reference method.

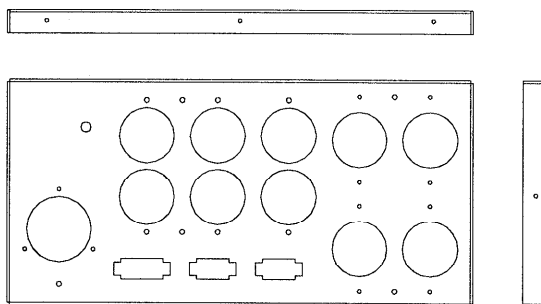


図12 領域照合法により作成されたサーフェスモデル3

Fig. 12 A surface model made by the face reference method.

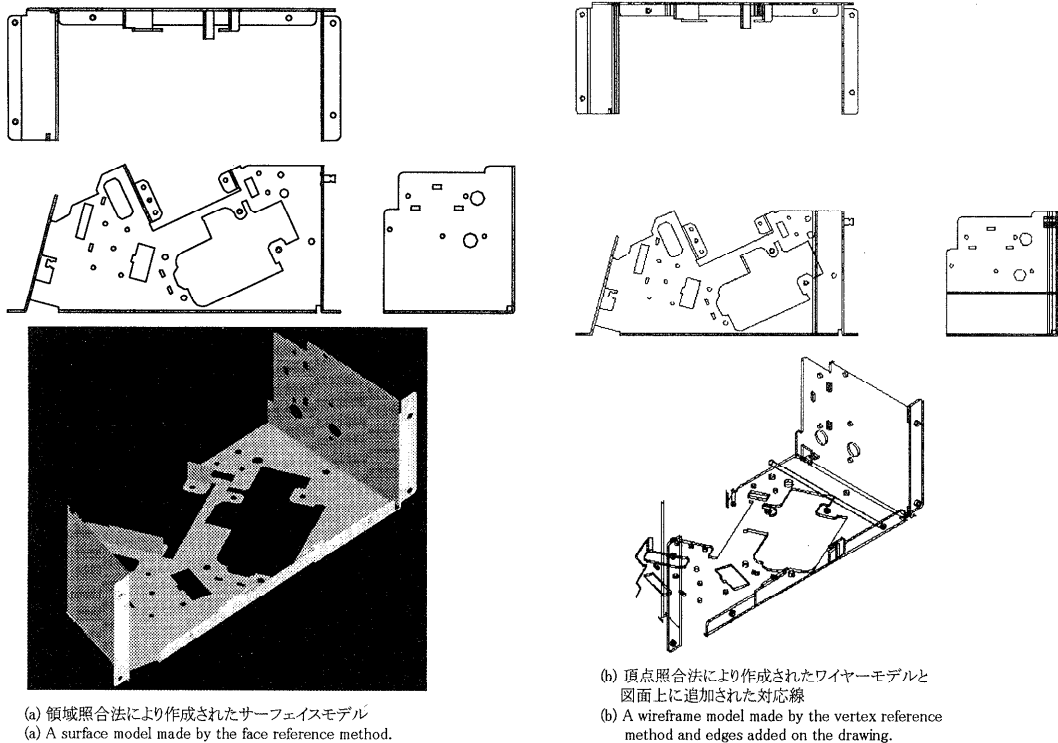


図 13 図面から作成された立体
Fig. 13 3D Models generated from drawings.

して作成した図 13 (b) のワイヤーモデルを見ると、かなりの頂点が照合に失敗しているのが分かる。かといってこの図面が実用上問題がないことは、図 13 (a) の領域照合法では立体が作成されていることから分かる。また図 13 (b) の図面には頂点照合を行う場合に必要となる、省略された対応線を追加した例を示す(追加稜線は 477 本必要であった。ただし、円は 4 分割しているので 1 つの丸穴に対して重複を除いて 3 本の対応線が必要。表示はこの論文のために行ったもの)。余分な照合がさらに多くなることが分かる。穴の数が多くなるとさらに照合が困難になる。すなわち図 11 や図 12 の例ではさらに顕著となる。図 14 の例は製品形状も複雑なうえに、図面にもかなりの省略やミスが含まれる例である。省略の中には現場で適当に判断してほしいという製作者まかせの意図的なものも一部見られる。しばらく観察すると投影図間のつじつまが合わないということは発見できるが、妥当な立体形状が簡単には想像できないため、どう修正してよいか分からない。このレベルの形状になると設計者かベテランの製作者でないと図面のどこをどう直してよいかは分からない。もちろん頂点の照合では不完全なワイヤーができるだけで面が作成されず、板金製品として

の面影もなく、結果を利用することができない。さらにこのようになると、図面の描き方の間違いか、単なる誤差によるものなのかの区別がつかなくなるので図面の修正がさらに困難になる。領域照合法による結果でも実際に正しい形状とは保証できないが、少なくとも図面のレベルと同程度には 3 次元形状を表しているうえに立体面が必ず表れるのでいろいろな角度から確認しながら図面をチェックすることができる。第三者が形状を判断する際に有用な手助けになる。いずれにしても必ず結果を出すことが重要なのである。

動作環境は Windows 95、開発環境は AutoCAD の release J13、開発言語は C++ である。速いもので数秒から数十秒、長いものでも 2~3 分の計算で立体を作成できた。

4. 結論と展望

本研究では、投影図間での頂点の照合による立体作成では、実用図面への適用は困難であると判断し、各投影図の最小閉ループと縁稜線との照合による立体作成手法、すなわち領域照合法を提案した。またこの手法を、曲げと切断およびパンチ加工で加工される実用板金三面図に適用し、立体図形作成を試みた。その結

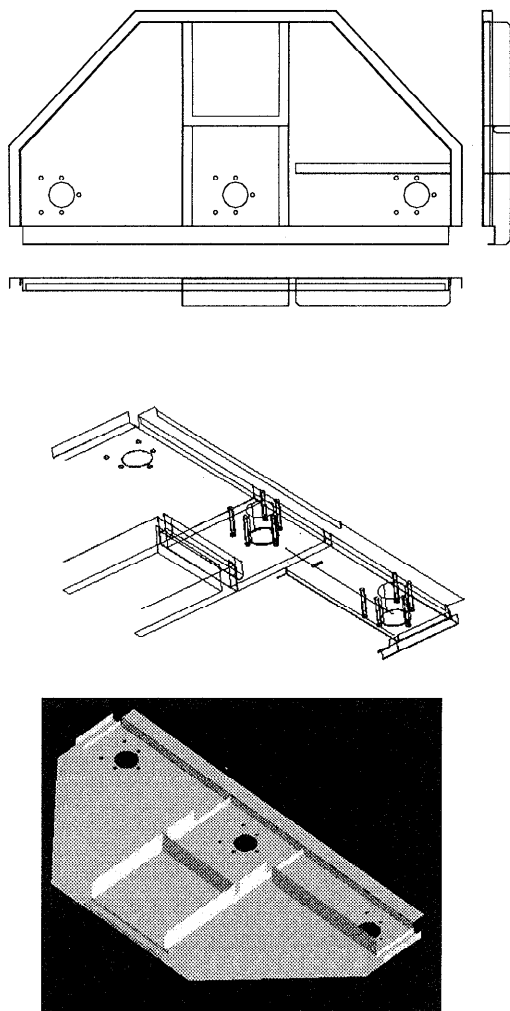


図14 領域照合法により作成されたサーフェイスモデルと頂点照合法で作成されたワイヤーモデル

Fig. 14 A surface model made by the face reference method and a wireframe model by the vertex reference method.

果以下のような結論を得た。

- 板金図面を面と縁の領域に分け、領域レベルの照合を行い自動で立体図形を作成できた。
- 投影図間の頂点の位置ずれのある図面からでも立体図形を作成できた。
- 多少の図面の省略、データ不足のある図面からでもそのまま立体図形を作成できた。
- 特に大量に穴形状を有する図面にも高速に確実に対応できた。
- 頂点の照合による方法では途中で放棄する図面が多かったが、それらの図面からもすべて立体図形が作成できた。

以上、照合のレベルを頂点から領域にすることの有

効性を確認できた。板金の形状を3次元的に得ることおよび解析データとして使用できることを目的としているため、あえてソリッド化は行っていない。図面から直接ソリッドを作成しようとすると、さらにワイヤーモデルにも完璧性を求めることになる。ソリッドの場合、その存在条件はワイヤーよりも格段に厳しいので（1本のワイヤの過不足も許されない）、丸みや円弧への省略された対応線を補いながら、板金の表裏の面を完璧に張り合わせるのは実用的にはほぼ不可能であるし、また必要ない。厚みを必要とする場合には中立面の前後に $t/2$ ずつオフセットを行うことになる。今後は領域照合法の有効性が確認できたので、二面図ならびに四面図に適用できる新たな理論の構築を行う。

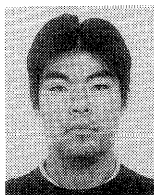
謝辞 本研究の一部は、平成8年度の天田金属加工機械技術振興財団の研究助成を受けて行われた。関係者各位に深く感謝する。

参考文献

- 1) 出澤正徳：三面図からの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)。
- 2) Wesley, M.A. and Markowsky, G.: Fleshing Out Projections, *IBM J. Res. Dev.*, Vol.25, No.6, pp.934-954 (1980)。
- 3) 西原清一：面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)。
- 4) 千田豊満：三面図からもとの立体の自動復元—平面だけで構成される立体への適用，情報処理学会論文誌，Vol.31，No.9，pp.1312-1320 (1990)。
- 5) 高橋正充ほか：非線型擬似ブール計画法による曖昧な三面図からの多面体の一意的合成，人工知能学会誌，Vol.6，No.6，pp.904-911 (1991)。
- 6) Aldefeld, B.: On automatic recognition of 3D structures from 2D representations, *Comput. Aided Des.*, Vol.15, No.2, pp.59-64 (1983)。
- 7) 青村 茂：図面から立体を作成するシステムの研究動向とその実用化（図面からソリッドモデルの自動作成），日本機械学会論文集（C編），Vol.61，No.586，pp.6-15 (1995)。
- 8) 沼尾雅之，増田 宏：三面図からのソリッドモデル変換技術の現状，人工知能学会誌，Vol.11，No.4，pp.542-549 (1996)。
- 9) 田村雅之ほか：省略のある板金図面からの3次元モデルの復元，情報処理学会論文誌，Vol.38，No.4，pp.771-778 (1997)。

(平成10年3月17日受付)

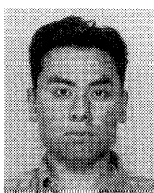
(平成10年10月2日採録)



石坂 尚也（学生会員）

1974 年生。1997 年東京都立大学工学部精密機械工学科卒業。現在、同大学大学院工学研究科機械工学専攻修士課程に在学中。CAD、マニピュレータ制御の研究に従事。精密

工学会会員。



阿部 博光

1974 年生。1998 年東京都立大学工学部精密機械工学科卒業。現在三菱自動車（株）に勤務。



青村 茂（正会員）

1981 年北海道大学工学研究科博士課程修了。同年、西ドイツダルムシュタット工科大学研究員。東洋エンジニアリング（株）を経て 1995 年より東京都立大学工学研究科。インテリジェント CAD、視覚情報処理、最適設計、生態系シミュレーションの研究に従事。日本機械学会、精密工学会、原子力学会、日本生態学会各会員。