

板金の薄板形状の性質を利用した 板金図面から展開製品形状の自動作成に関する研究

東京都立大学 工学研究科 機械工学専攻

助教授 青村 茂

(平成八年度研究開発助成 AF-96027)

1. 研究の背景と目的

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殆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といのが実態である。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指示等随所に 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るが、実用化できない原因はどこにあるのだろうか？

図面から立体を作成する研究を遡るとき、第一に出澤の一連の研究¹⁾が挙げられる。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から正解を得るまでに違いがあるものの、異なる矢視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 面図からスウィープ形状 (プリミティブ) を認識しこれらの組み合わ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言えない。従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、この手法における論理的な問題は概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一向に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矢視間で概ね 1/10~1/100 mm 程度の誤差を目安に行うわけだが、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矢視間の頂点の照合はまず成功しない。第 1 段階の照合で多くの場合図 1 のような状態にな

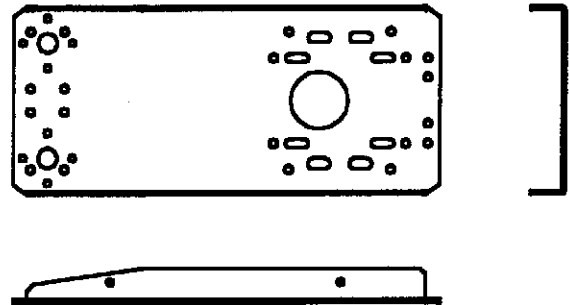


図 1 実用上正しいが頂点の照合ができない図面が多い

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わ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あわなない場合には、もはや手の施しようがない。“図面から立体を作成”する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。

本論分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る、その

特徴を生かして、頂点の照合を全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矢視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。領域の数はかなり複雑な図面においても頂点の数よりはかなり少なく、さらに照合の組み合わ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 枚の実用図面に適用して良好な成績を収めたのでここに報告する。

2. 板金図面の定義とその問題点

2. 1 板金物体の定義

本論分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わす幾何データのみを用いる。このように定義した場合、各矢視図に表れる個々の閉領域は、立体面（穴形状を表わす虚の面も含む）あるいは、厚みを表わすその側面（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、広い閉領域はある立体面の投影形状を、縁はその面の姿勢を表すという特徴をもつ。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及び中心軸が 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。

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、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職的な時間と労力（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。

表 1 板金図面の立体化への問題点

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)

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、各矢視図面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視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。

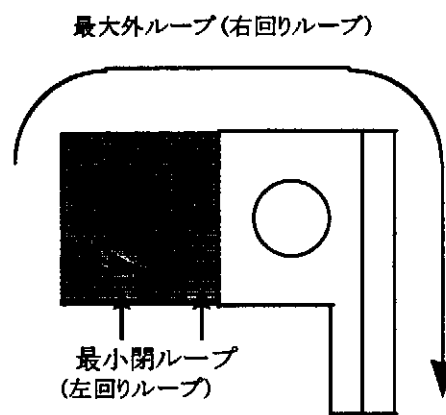


図 2 最小閉ループの抽出

3. 2 板厚の自動算出

3. 1 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捜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、板厚を表わ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

$$t_j(1 - \Delta t) < t_i < t_j(1 + \Delta t), \quad (j=1,2,\dots,n)$$

$$(\Delta t : 0 \text{ に近い定数})$$

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 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 h を板厚とし t とする。板厚が微少な誤差を持つ場合、それらの h を代入して得られた結果の h は同じ値になることがある。もし最大の h を与える h が複数存在する場合はその候補をすべて板厚を構成する稜線とした上で、その中で Δt の値をさらに小さくして最大になる h を与える h を探し板厚 t とする。

板厚を構成する二つの稜線のちょうど中間を通るような稜線を作成し、それを単体稜線とする。同様に縁円弧を作成する。これをすべての矢視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。

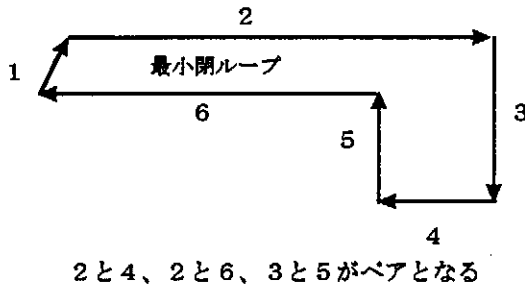


図3 稜線のペアの抽出

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場合、図面ではそれらの面の上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二つの面がまとめて一つの閉ループで表わされるので、図面上では対応する他の矢視の直線及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。

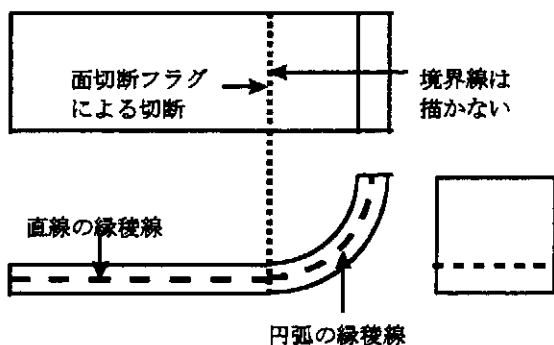


図4 縁稜線と最小閉ループとの対応

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。まずある矢視の最小閉ループとそれに対応するほかのどちらかの矢視の縁稜線とを照

合しても一致すれば仮の立体面を作成し、次に最後に残った矢視データにより、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を行う。次にたった今使用した縁稜線と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、第三の矢視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 軸と平行であるとすると仮の面は x, y 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。見つかったある縁稜線の 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)

・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

$$x_{fmin} < x_{pmin},$$

を満たす縁稜線があった場合に仮の面は有効とする。

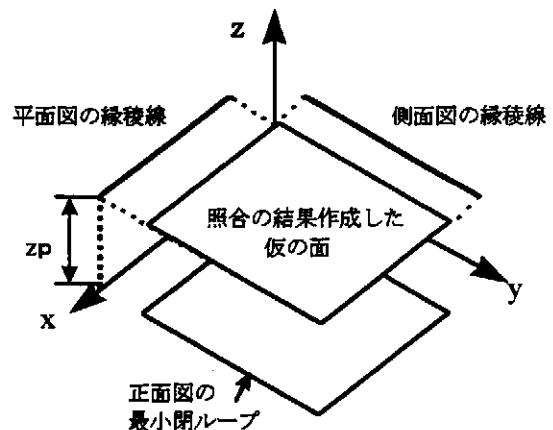


図5 ループの照合と有効性の確認

(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、仮の面を最後の矢視が表す平面（正面図なら $x-y$ 平面、側面図ならば $y-z$ 平面、平面図ならば $z-x$ 平面）に投影し、そのシルエットとその矢視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、平面図の矢視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 $x-z$ 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、(1)の場合と同様に α ぶんだけ拡大しておく。これは、図面の曖昧さを吸収する上で必要である。

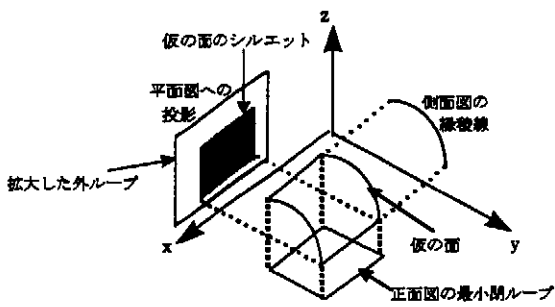


図6 仮の面の有効性の確認

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れば、仮の面は有効である。

3. 5 穴及び虚物体の排除

以上の方法で構築された立体図形には、穴を表わす面及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

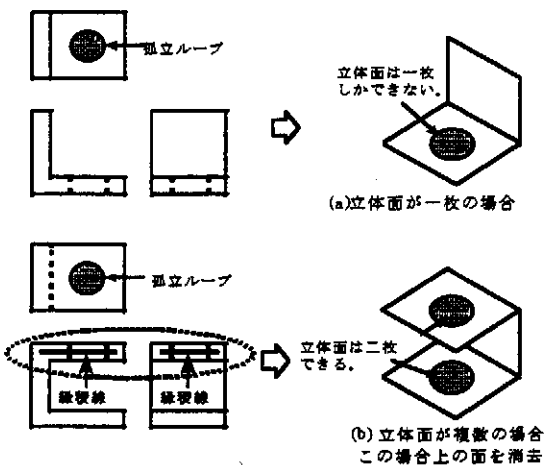


図7 孤立ループによってできる穴の例

って表現される、法線ベクトルが x, y, 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、その孤立ループから立体面が一枚しか生成されなければ、そのループは穴を表すとして立体面を排除する。(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及び最小値と合成縁稜線の基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

立体の丸みを表わ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が板厚の半分よりも小さいものは作成しない。

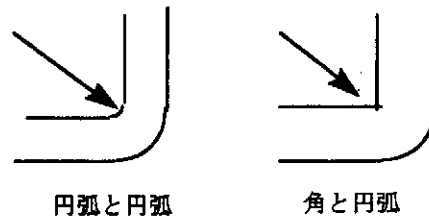


図8 板金図面における角曲げの描き方

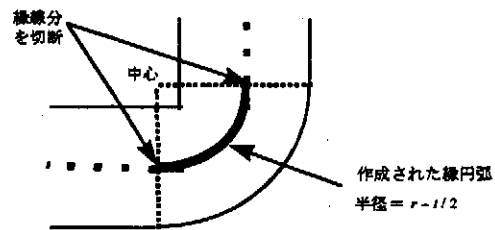


図9 縁円弧の作成

4. 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ため、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、点の照合を行うと角の丸み面のところで一致しない点が出てくる。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無く作成できる。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が、領域照合法では作

成される。このくらいの複雑さの図面になると点の照合による方法では必ずといっていいほど成功しない。図14の例は形状も複雑な上に図面も相当に怪しい例である。実際にオペレーションを行っている人間にとっても、しばらく観察すると図面のつじつまが合わないということは発見できるが、このレベルの図面になると設計者でない限り図面のどこをどう直してよいのかは全

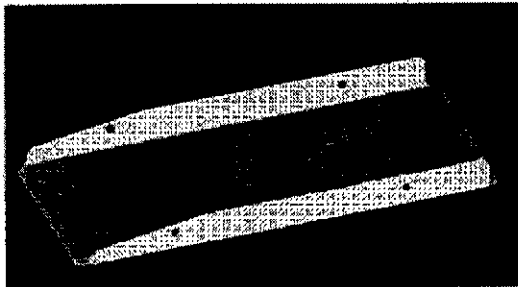


図10 領域照合法により作成されたサーフェイスモデル (図面は図1)

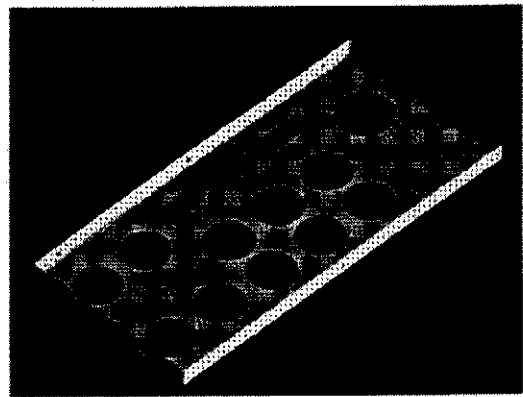
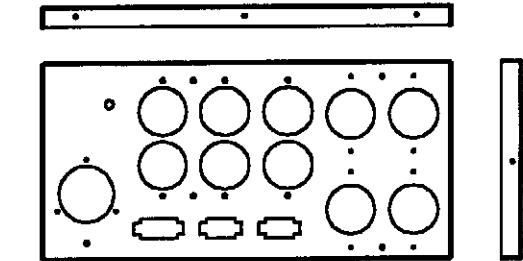


図12 領域照合法により作成されたサーフェイスモデル

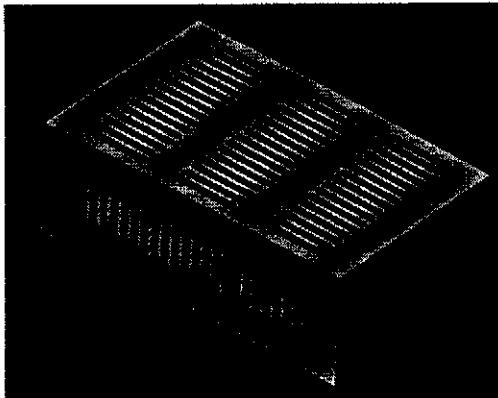
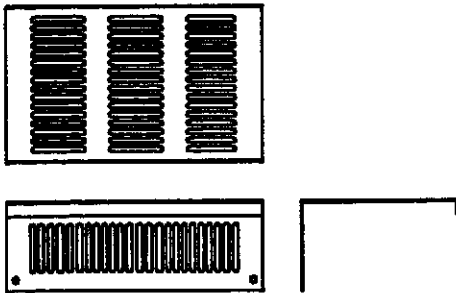


図11 領域照合法により作成されたサーフェイスモデル

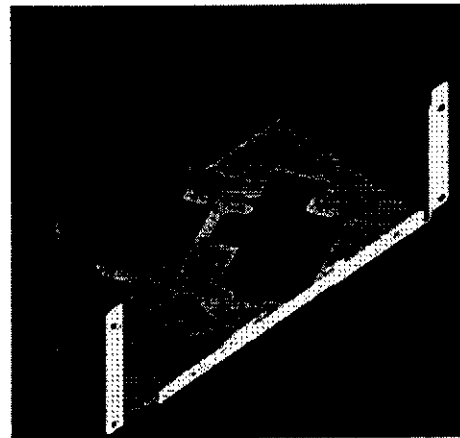
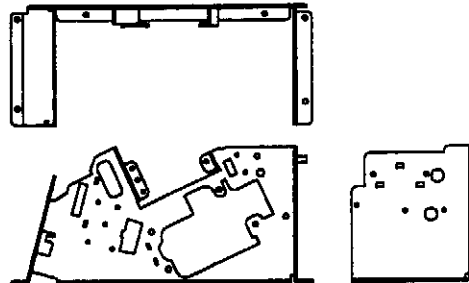


図13 領域照合法により作成されたサーフェイスモデル

く分からない。もちろん点の照合では数本の稜線が出るだけでまったく歯が立たないものであった。

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程度には3次元形状を表わしている。第三者が形状を判断する際に有用な手助けになる他、用途によってはこれで目的を達成できる場合もある。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 Windows95, 開発環境は AutoCAD 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。

5. 結論と展望

本研究では、矢視図間での点の照合による立体作成では、実際の図面への適用は困難であると判断し、各矢視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。

■矢視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。

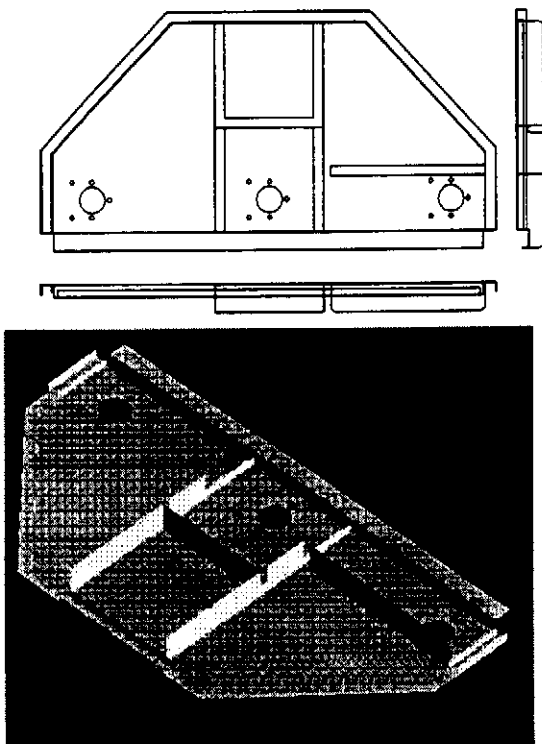


図14 領域照合法により作成されたサーフェイスモデル

■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。

■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次元的に得ること及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。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っている。

6. 謝辞

本研究に対して研究助成を賜った天田金属加工機械技術振興財団および関係者各位に深く感謝いたします。

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2名：非線型擬似プールの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2名：省略のある板金図面からの三次元モデルの復元，情報処理学会論文集，Vol.38, No.4, pp.771~778 (1997).