

## 省略のある板金三面図からの3次元モデルの復元

田村 雅之<sup>†</sup> 狩野 均<sup>†</sup> 西原 清一<sup>†</sup>

幾何学的に正確な三面図から3次元モデルを復元する手法は、これまで多く研究され提案されている。しかし、実際の設計において用いられる図面は、設計者と生産者間など人同士の情報伝達の手段であるため、製図の慣習的な省略を含んでいる。板金物体の図面の場合、その特徴的な部位でもある板金の厚さ部分の線分は、図面が複雑になる、描きにくいなどの理由から、普通省略されることが多い。本論文では、このような板厚部の線分が省略されている三面図から、意図する3次元モデルを推定し復元する手法を提案する。対象とするのは、切断によって板厚部にできる稜線が対応する三面図中の線分、穴の側面を表す三面図中の線分の省略である。本文では、一つの投影面図中の欠落した省略線分の端点を他投影面図の点の座標を参照して推定する手法を提案する。これによって、面図間で点、線分の対応がとれるようになり、頂点および、省略線分に起因しない稜線が復元できる。また、省略線分に対応する稜線は、板厚部をはさむ板金の表裏の、対になる頂点を結ぶことによって復元する。このような、板金物体の性質を利用した手法により、省略のある不完全な三面図から3次元モデルを復元する。本手法によるシステムを構築し、省略のある実用的な板金三面図に適用することで、その有効性を確認した。

## Restoring 3D-Models from Three-view Drawings of Sheet Metal with Conventional Abbreviations of Drafting

MASAYUKI TAMURA,<sup>†</sup> HITOSHI KANO<sup>†</sup> and SEIICHI NISHIHARA<sup>†</sup>

Many restoration methods that understand three-view drawings to recover 3-D objects have been proposed so far. Most of them, however, can only accept correct drawings which are drafted completely without any abbreviations. But actual engineering drawings commonly contain more or less abbreviations because they, though for which some industrial standards are defined, have ordinarily been used to exchange design information among people: designers, manufacturers and customers. In this paper, we propose a new method that restores sheet metal objects from given three-view drawings with abbreviations. As to sheet metal drawings, lines appearing in a cross section are often neglected. Especially, broken lines, which represent very short edges invisible from the visual point, are usually omitted, because it is hard to draw broken lines within such a narrow gap whose width is the same to the thickness of the metal. Fortunately, however, these abbreviated lines, solid or broken, are not very hard to restore because the shape of the cutter path is usually shown explicitly in at least one of the other views. Making use of this characteristic of sheet metal drawings, we developed a practical restoration algorithm, whose effectivity and efficiency are proved experimentally.

### 1. はじめに

機械や建築などの産業製品の設計には、2次元および3次元のCADシステムが広く用いられてきた。しかし、2次元CADにおいては物体の直感的な形状認識が困難であったり、3次元CADにおいては人力作業や形状定義が複雑になるなどの問題点がある<sup>1)</sup>。そのため、2次元と3次元との間の相互変換を行う技術、特に、入力容易な2次元データから形状認識の容易

な3次元モデルを作成する技術は有用である。実際、図面理解によって3次元形状モデリングを行うCADシステムがいくつか開発され実用されている<sup>2)~4)</sup>。

図面の描き方については、製図規格が一応規定されている<sup>5)</sup>。しかし、現実には工業図面は、設計者から製造者や他の設計者へ、すなわち人から人へ誤解なく意図が伝われば十分であるため、あまり厳格に守られておらず、製図の習慣や部品形状に応じて自由に描かれている。ところが、三面図から3次元物体を構成する従来の手法<sup>6)~8)</sup>を用いたシステムは、線分の欠落のない完全な図面を前提としているため、このような慣習的な省略を含む図面へは十分に適用できないという

<sup>†</sup> 筑波大学電子・情報工学系  
Institute of Information Sciences & Electronics, University of Tsukuba

問題がある。このような背景から、不完全な図面から3次元モデルを復元する手法が望まれている。たとえば、渡辺ら<sup>9)</sup>は3次元モデル復元の各段階、すなわち稜線、面、立体の各復元フェイズにおいて、そこで発見できる矛盾を特定し、原図面に不足線分を追加することで矛盾を解消していく手法を提案した。

本論文では、板厚部に省略のある板金物体の三面図から板金部品を復元する方法を提案する。板厚部とは原板の厚さ部分のことであり、工業図面では省略されることが多い。本手法<sup>10)</sup>では、まず一連の復元処理過程の前段階で入力データが欠落していると推定される部分に点を補う。また、処理の最終段階で、板金物体の「厚さが均一」であるという特徴を利用し、省略された線分に対応する稜線を生成する。このような2段階の処理により、線分省略のある不完全な三面図からの3次元モデルの復元を可能にした。

本論文の構成は次のとおりである。2章では、本論文で扱う板金物体の定義を与え、板金三面図に見られる省略を整理・分類する。また、三面図から3次元モデルを復元する従来の手法と、省略のある三面図にそれを適用したときの問題点について述べた後、省略のある三面図に対処する手法の方針を述べる。3章では、本手法を構成する2段階の処理(上述)について、それぞれ具体的なアルゴリズムを示す。4章では、省略のある実用的な三面図を本手法に基づいたシステムで処理した例を示し、本手法の有効性を確認する。

## 2. 省略のある板金三面図と3次元モデル復元

### 2.1 板金物体の定義

図1は板金物体の例である。本論文における板金物体とは「厚さが均一の1枚の板状物体に、切断、穴あけ、折曲げの加工を施したものであり、板厚サイズより小さい構造部を含まない物体」とする。板厚サイズより小さい構造部とは、直径が板厚より小さい穴や、

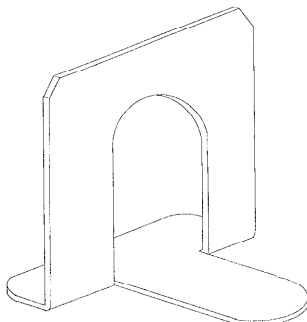


図1 板金物体の例

Fig. 1 An example of a sheet metal model.

板をさらに薄く切削した加工部などのことである。また、省略による矛盾を確実に解消できるように、各加工に次のような自然な制限を設ける。

#### 【切断加工】

- 切断面は、平面、円柱面(およびその一部)よりなる。
- 切断面は、板金表面に垂直である。

#### 【穴あけ加工】

- 穴あけの形状は、直線分、円弧よりなる(直線分および円弧のことを以下、線分と呼ぶ)。
- 穴あけの方向は、板金表面に垂直である。
- 穴は貫通している。

#### 【折曲げ加工】

- 折目は直線とする。
- 原板の裁断部(すなわち切断と穴あけ)の断面が曲面となっている場所での折曲げ加工は認めない。
- 折曲げ加工によって折目(直線)は切断面すなわち裁断線に垂直である。

### 2.2 板金三面図に見られる省略の分類

三面図は、直交する3軸方向に物体を正投影し、その形状を外形線(実線で示す)と隠れ線(破線で示す)によって過不足なく表現したものである。しかし、工業図面として実際に使用される三面図は、人同士の情報伝達に用いられてきたため、人間が経験上理解に支障のない範囲で省略を含んでいることが多い。板金物体の三面図においては、特に板状であるという構造上の特徴から、省略される部位に偏りがある。板金物体は、その板厚の部分をも三面図中に示す際、そこに現れる切断を示す外形線や隠れ線、穴あけの断面を表す隠れ線は、作図が困難でかつ図面を複雑にするため、省略されるのが普通である。

表1は、実用に供されている板金図面からランダムに抽出した13枚の図面において観察された省略を分類・整理したものである。また、分類したそれぞれの省略の例を図2に示す。なお本論文では、出現頻度の高い①、②の省略を対象とした。以下では、省略された線分を省略線分と呼び、①の省略線分に対応する稜線を板厚部省略稜線、②の省略線分に対応する稜線を

表1 板金物体の三面図における省略

Table 1 Taxonomy of abbreviation in sheet metal drawings.

省略される線分	種類	出現頻度
①板厚部の切断加工を示す線分(板厚省略線分)	隠れ線 外形線	7/13
②穴あけ加工部の垂直な穴の側面を示す線分(穴省略線分)	隠れ線	8/13
③折曲げ加工部の裏側の線分	隠れ線	3/13

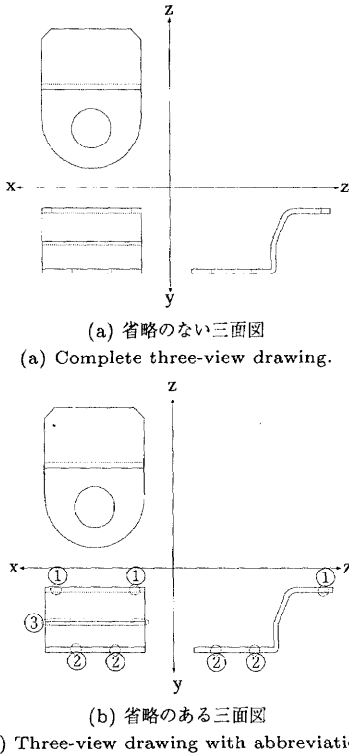


図2 三面図における省略の例

Fig. 2 Examples of abbreviation in three-view drawings.

穴部省略稜線，これら2つをまとめて省略稜線と呼ぶ。

2.3 従来の手法による3次元モデル復元処理

三面図から3次元モデルを復元する従来手法<sup>7)</sup>の手順を図3(a)に示す。三面図から3次元モデルを復元する手法の多くは，ボトムアップ的アプローチによって順次3次元要素を生成していく。すなわち，2次元図形として入力された三面図要素（点，線分）のうち，点データに関して3つの面図間で対応をとり，頂点を復元する。次に，2つの頂点を端点とする稜線のうち，三面図中に対応線分があるものを復元する。この復元した稜線をつないで閉ループをつくり，そのうち三面図中に対応領域があるものを候補面として復元する。最後に，候補面の組合せ探索をし，実際に3次元モデルを構成する候補面の集合すなわち解を求める。最終的に解に含まれない候補面のことを虚要素と呼ぶ。

以上に述べた三面図から3次元モデルを復元する従来の手法では，入力された三面図をもとに各面図間で完全に対応のとれた3次元要素（頂点，稜線，候補面）のみを復元していた。しかし，前節であげたような省略を含む図面においては，少なくとも1本以上の線分が描かれておらず，その結果，省略線分の端点が点（三面図要素）として抽出されないということが起

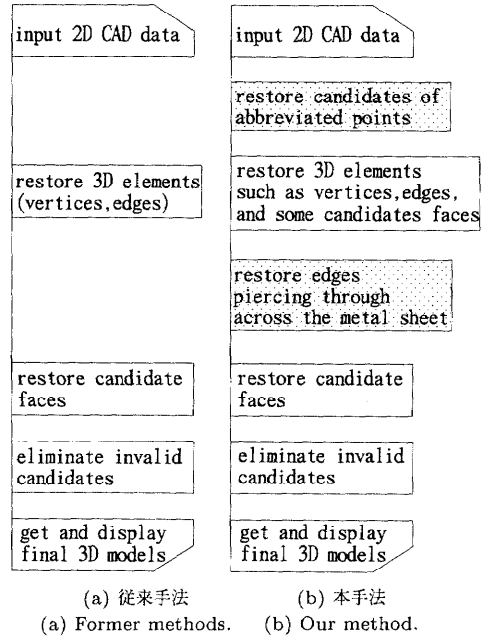


図3 3次元モデルの復元処理概要

Fig. 3 General flow of the restoration process.

こる。そうすると，それに対応する頂点が復元されず，候補面の復元さらには最終解である3次元モデルの復元ができなくなる。したがって，省略三面図理解の手がかりは，図面から欠落している点（以後，省略点と呼ぶ）を推論し復元することである。

2.4 板金物体の性質を利用した復元の方針

板金物体の三面図では，表1の①，②の省略線分に関して，次の2つの性質がある。

- 面図中で，省略線分は板金表面を示す線分に対して垂直になる。
- 省略線分の両端点は，他の面図の少なくとも一つにおいて，物体の輪郭形状を表す線分の端点として表れる。他の面図中のこの端点を（省略線分の）対応点と呼ぶ。

図4は，これらの性質を説明する図である。正面図中で，省略線分（4本ある）は板金表面を表す線分と垂直に交わっている。また，正面図の各省略線分の対応点は，平面図において物体の輪郭を表す線分の端点として現れている。

本手法では，まず，これらの性質をもとに候補省略点を復元する。候補省略点とは，省略点である可能性のある点のことで，真の省略点はこの中に含まれる。候補省略点を復元することで各面図中の点の対応がとれるようになり，頂点をすべて復元することができる。頂点を復元したあと，三面図と矛盾しない3次元要素

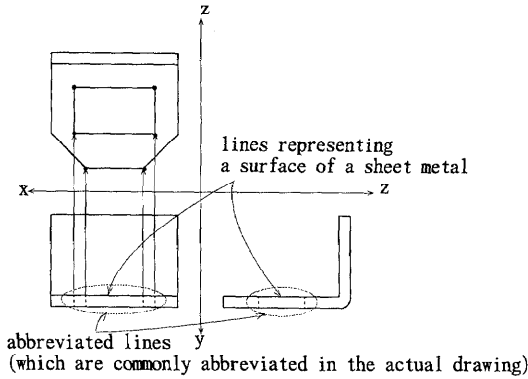


図4 省略線分と対応点 (・は対応点)

Fig. 4 Abbreviated lines and corresponding points.

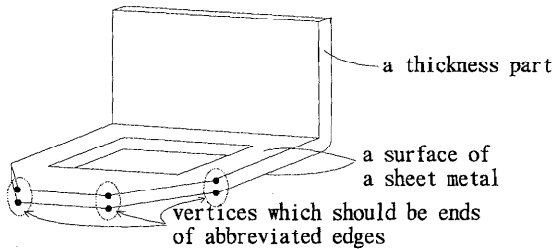


図5 省略線分の端点となる頂点

Fig. 5 Vertices which should be ends of abbreviated edges.

を復元する。ここまでで、省略線分に対応する省略稜線、またそれを要素とする候補面を残し、すべての3次元要素が復元できる。図5は、図4の三面図に関して面図間で対応をとり3次元要素を復元したモデルで、以下の性質をもつ。

- 省略稜線は、板金物体の表裏の面上の頂点を両端点とし、かつ、表裏の面と直交する。

この性質から、省略稜線を復元し、同時にこの稜線を境界とする候補面を復元する。これにより、解を構成するすべての要素が復元されるので、最後に虚要素を除去して解を求める。

図3(b)は、以上の方針に基づいた本手法の処理の流れである。

### 3. 候補省略点追加による板金物体復元

#### 3.1 候補省略点の復元

まず候補省略点を復元する処理について述べる。

省略のない三面図データでは、線分は端点以外の点を含まない。しかし、省略がある三面図データでは、線分中に省略された点、すなわち省略点を含んでいることがある。候補省略点の復元の処理では、このよう

表2 座標の対応関係

Table 2 Correspondence of coordinates.

	正面図	平面図	側面図
第1座標	x	z	y
第2座標	y	x	z

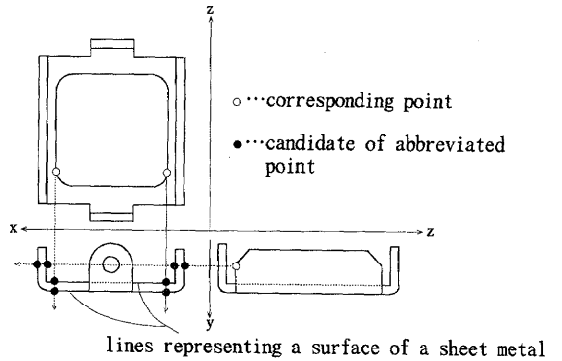


図6 正面図の省略点の復元

Fig. 6 Restoration of abbreviated points in front-view.

表3 省略点の座標値

Table 3 Coordinates of abbreviated points.

	省略点の第1座標値	省略点の第2座標値
case 1	線分の方程式に対応点の第1座標値を代入した値	対応点の第1座標値
case 2	対応点の第2座標値	線分の方程式に対応点の第2座標値を代入した値

case 1: 省略点の第1座標軸と対応点の第2座標軸が同じとき  
 case 2: 省略点の第2座標軸と対応点の第1座標軸が同じとき

に線分中に含まれた省略点である可能性のある点をすべて求め、復元する。さらに、求めた候補省略点によってもとの線分を分割し、線分が端点以外の点を含まないようにする。

以下では、正面図(x-y平面)の省略線分に対応する候補省略点を復元する処理について述べる。他の面図についても、表2の対応関係により座標軸の置き換えをすることで、同様に復元することができる。

まず、正面図中の各線分について、その両端点の座標値から線分の方程式を求める。次に、各線分の方程式に、他の面図に現れる対応点の座標を手がかりに候補省略点の座標を求める(図6参照)。ここで代入するのは、正面図と共有している座標の値で、平面図の対応点に関してはx座標、側面図に関してはy座標となる。なお、線分の存在範囲の外に対応点が存在しないことは明らかである。表3に、候補省略点の座標値を示した。

候補省略点を復元したあとの線分は端点以外の点を内部に含む。しかし、後の稜線の復元の処理では、線

分内の点を端点とする稜線の復元はしないので、線分を線分内の各点で分断し、より短い(内部に点を含まない)線分の並びとしておく。

ここまでの処理により、頂点と稜線の復元が可能になる。

### 3.2 板厚部省略稜線、穴部省略稜線の復元

板厚部省略稜線、穴部省略稜線は、ともに次の方法で復元できる。

候補省略点の復元の後、面図間対応により頂点と、省略稜線以外の稜線が復元される。これらの要素と、これらによって復元される面をもとに省略稜線を復元する。まず、復元された面をもとに板厚部を特定する(3.2.1項)。次に、板厚部をはさむ板金表面の組(以降板金表面ペアと呼ぶ)から、省略稜線の端点となりうる頂点を求め、省略稜線を復元する(3.2.2項)。以下では、これらの処理の具体的な手順を説明する。

#### 3.2.1 板厚部の特定

板金物体の板厚部には、次の前提条件がある(2.1節参照)。

- 板厚部は厚さが均一である。
- 板厚部は物体の最も薄い部分である。

したがって、復元したすべての面のうち、互いに平行でしかも面同士の距離が最も近い面の組をすべて求める。これが省略稜線の端点が存在する板金表面ペアであり、その間の部分を板厚部と見なす。

#### 3.2.2 省略稜線の復元

前節の処理で特定された板厚部に、省略線分を補完するための稜線を推定し復元を試みる。このような稜線は、元板に切断加工や穴あけ加工を施した結果生じる稜線である。

まず、表記法を導入する。板厚部を成す板金表面ペアのうち一方をF、他方をBとする。もちろんF、Bは板厚に等しい均一の間隔を保っている。また、頂点を $v_F$ 、 $v_B$ などと書くとき、それぞれ面F、面B上の頂点であることを表すことにする。稜線 $e_F$ 、 $e_B$ についても同様の意味である。

このとき、与えられた板金表面ペア(F,B)について、省略されている板厚部の稜線を新たに生成復元する手続きは、次のようになる。

**step 1:** 次の性質を満たす頂点ペア( $v_F, v_B$ )を探す。

【性質1】  $\overline{v_F v_B} \perp F$  (線分  $\overline{v_F v_B}$  が面Fに垂直)

【性質2】  $v_F$ 、 $v_B$ から同じ方向に出ている2組の稜線ペア( $e^1_F, e^1_B$ )、( $e^2_F, e^2_B$ )が存在する(図7参照)。ただし、 $e^1_F$ と $e^2_F$ は一直線上にないこと。

**step 2:** 頂点ペア( $v_F, v_B$ )が見つければ、線分  $\overline{v_F v_B}$

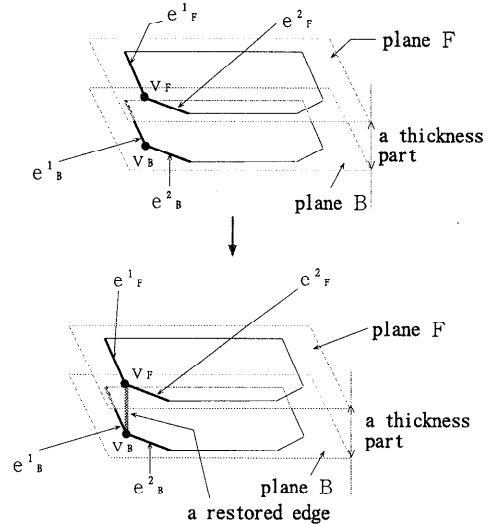


図7 切断加工稜線の復元 ( $e^1_F // e^1_B, e^2_F // e^2_B$ )  
Fig. 7 Restoration of cutting edges.

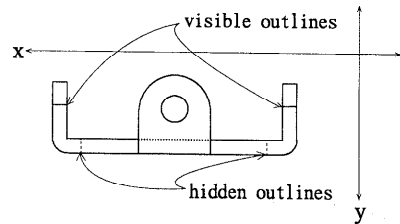


図8 正面図に追加される線分の種類  
Fig. 8 Types of lines added to front-view.

を新たに復元された板厚部の稜線として登録し、**step 1**へ戻る。

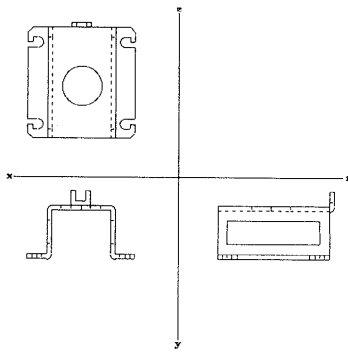
**step 3:** 頂点ペア( $v_F, v_B$ )が見つからなければ手続き終了。

#### 3.2.3 対応線分の種類の決定

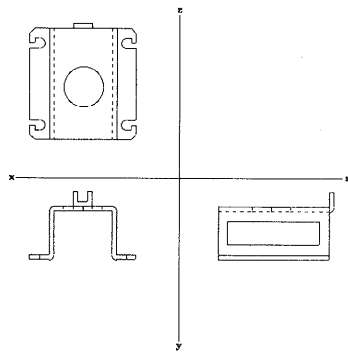
省略稜線を復元した後、その稜線を三面図に投影して、対応する線分、すなわち省略線分を追加する。追加する線分の端点はすでに三面図上に存在している省略点である。したがって、これらの線分から判断して、加える線分の種類を決定する。

外形線になるのは、面図に投影したときに加える線分を隠す要素がないときである。これは、次の2つの条件を満たすことと等価である。図6の正面図を例にとると、図8のようになる。

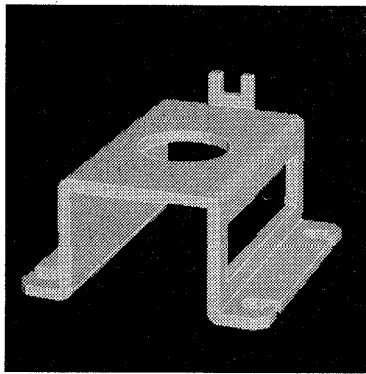
- 加える線分と連結する線分の種類が、すべて外形線である。
- 加える線分の端点に対応する他の頂点の、面図に垂直な座標値が、省略稜線の端点の座標値と同じ



(a) 省略のない三面図  
(a) Complete three-view drawing.



(b) 省略のある三面図  
(b) Three-view drawing with abbreviation.



(c) 復元されたソリッドモデル  
(c) Restored solid model.

図9 入力三面図と処理結果1

Fig.9 Input three-view drawing and solution 1.

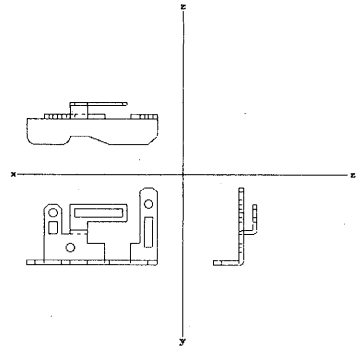
か大きい。

どちらか一方でも満たさない場合、隠れ線となる。

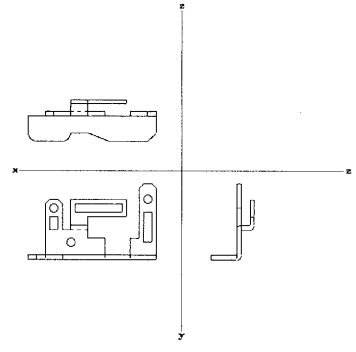
#### 4. 実験

以上述べた手法に基づいたシステムをC言語を用いて開発した。ここでは、表1に示した省略を含む三面図を本システムで処理し、本手法の機能を確認する。

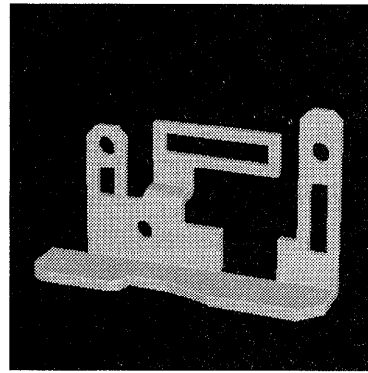
図9は表1①の切断加工を示す線分が省略された図



(a) 省略のない三面図  
(a) Complete three-view drawing.



(b) 省略のある三面図  
(b) Three-view drawing with abbreviation.



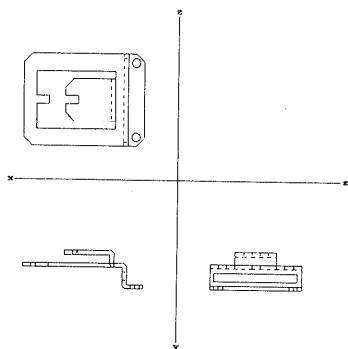
(c) 復元されたソリッドモデル  
(c) Restored solid model.

図10 入力三面図と処理結果2

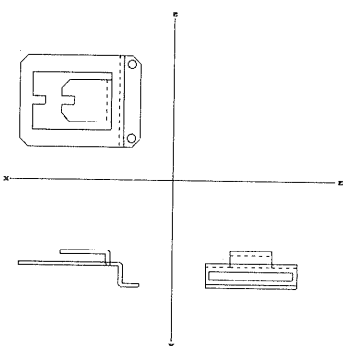
Fig.10 Input three-view drawing and solution 2.

面、図10は表1①の省略に加え②の穴の側面が省略された図面による実行結果である。

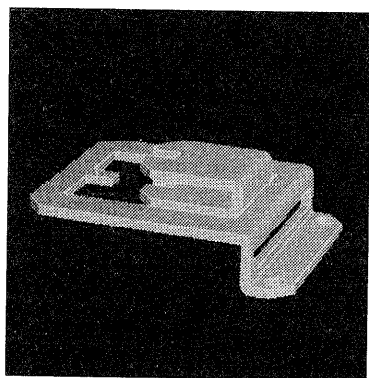
各実行結果とも、完全な三面図を従来手法に入力し復元した3次元モデルと一致している。ただし図11に関しては、完全な三面図から復元した3次元モデルと異なっている。図11のように入力三面図が示す物体が「コ」の字型の構造を含んでいる場合には、その向かい合う面のどちらに省略稜線を復元するか特定で



(a) 省略のない三面図  
(a) Complete three-view drawing.



(b) 省略のある三面図  
(b) Three-view drawing with abbreviation.



(c) 復元されたソリッドモデル  
(c) Restored solid model.

図 11 入力三面図と処理結果 3

Fig. 11 Input three-view drawing and solution 3.

きない。このようなとき、両側に省略稜線を復元するため、図 11 (c) のようにコの字構造の向かい合う面の両方を含む 3 次元モデルが矛盾のない解として入力三面図から復元される。

なお、表 4 には各図面に省略されている線分の本数を示した。

以上の結果より、板厚部に省略のある三面図から 3 次元モデルを推定するにあたり、本手法が有効である

表 4 各図面の省略線分の本数  
Table 4 The number of abbreviated lines in each drawing.

	線分の省略本数	
	外形線	隠れ線
図 9	8	13
図 10	12	14
図 11	5	30

ことが確認された。

### 5. おわりに

板金物体の三面図に見られる省略を分類し、そのうち板厚部の線分が省略された板金物体の三面図から、推定される 3 次元モデルを復元する手法を提案した。また、この手法によるシステムを開発し、その有効性を確認した。

本方式の問題点としては、省略のある曖昧な図面を入力するため、4 章の図 11 のように、入力三面図の意図と異なる解が得られることがあるという点である。このような場合に対応できるように、候補面の探索処理の途中で曖昧な部分をユーザに対話的に問い合わせたり、原理的に 1 枚の板からは構成できない構造を指摘する方法の開発などが今後の課題である。

謝辞 本研究を進めるにあたり、実用三面図における省略について貴重なご意見をいただいたオムロンソフトウェア株式会社の首藤晴美氏、日立電線株式会社の寺岡達夫氏に、深く感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 西原清一：図面理解による 3 次元モデリング, *Computer Today*, Vol.10, No.4, pp.18-29 (1993).
- 2) 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).
- 3) 秋間正道, 今井弘毅, 山本晃郎, 金光徳弘：Solid-R, *Computer Today*, Vol.10, No.4, pp.49-52 (1993).
- 4) 青村 茂, 石原 肇：図面の認識と立体作成, *情報処理学会研究報告*, Vol.93, No.62, CG-63, pp.75-82 (1993).
- 5) 服部延春：機械製図—理論と実際, p.360, 工学図書, 東京 (1986).
- 6) 高橋正充, 佐々木康仁, 伊藤 潔：非線形疑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).
- 7) 井上正博, 金 昌憲, 西原清一：代数曲面を含む三面図の解釈, *情報処理学会研究報告*, Vol.93,

No.14, CG-61, pp.9-16 (1993).

- 8) 内野寛治, 狩野 均, 西原清一: 制約知識ベースに基づく三面図理解, 人工知能学会誌, Vol.11, No.4, 653-661 (1996).
- 9) 渡辺 崇, 田代明子, 藤井省三: 矛盾を含んだ三面図情報からの物体の推定, 情報処理学会論文誌, Vol.35, No.11, pp.2320-2330 (1994).
- 10) 田村雅之, 梅澤 顕, 狩野 均, 西原清一: 省略の含まれる三面図からの3次元モデルの復元, 情報処理学会研究報告, Vol.95, No.63, CG-75, pp.17-24 (1995).

(平成8年8月30日受付)

(平成9年2月5日採録)



田村 雅之 (正会員)

1972年生。1995年筑波大学第三学群情報学類卒業。1997年同大学大学院工学研究科博士前期課程修了。在学中は、CAD, CG, ユーザインタフェース分野に興味を持ち、特に省略線分のある三面図からの立体復元の研究に従事。現在、ソニー(株)勤務。



狩野 均 (正会員)

1954年生。1978年筑波大学第一学群自然科学類卒業。1980年同大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年、日立電線(株)入社。同社オプトロシステム研究所において人工知能・神経回路の応用に関する研究に従事。1993年より筑波大学電子情報工学系。現在同助教授。制約に基づく問題解決、遺伝的アルゴリズムの研究に従事。工学博士。1992年電気学会論文賞受賞。電気学会、人工知能学会、計測自動制御学会等各会員。



西原 清一 (正会員)

1968年京都大学工学部数理工学科卒業。同年、同大学大型計算機センター助手。1975年より筑波大学電子・情報工学系。現在、同教授。工学博士。1982~1983年文部省在外研究員として米国ヴァージニア工科大学。図形画像処理、グラフィックスとCAD、組合せ探索アルゴリズム、知識処理、制約充足問題、GAの研究に従事。著書に「データ構造」(オーム社)など。電子情報通信学会、人工知能学会、ACM、IEEE各会員。