

曲げ加工機能を有する板金図面生成システム

大久保 仁志[†] 狩野 均[†] 西原 清一[†]

2次元CADは三面図の入力方法として一般によく用いられているが、複雑な図面の入力には高度な技術を必要とする。特に板金図面において曲げ加工が施されている部分はかなり複雑になるため、これを自動作図する機能が有効であると考え、本論文では三面図よりまず既開発の図面理解手法を用いて3次元モデルを復元し、これに曲げ加工を施した後、三面図上に投影し、加工後の三面図を生成する方法を提案する。ここで得られる三面図は既存の図面理解システムで受理できるので、正しいCADデータとして保存しておく。基本手法としては、対話的に復元した3次元モデルに加工を施し、これを三面図上に投影する。この際、板金物体の面を切断加工により生じる切断面と板金の表裏を成す板金面に分類し、これを用いて線分の種類を判定する手法を考案した。また、この手法に基づいた曲げ加工機能を有する2次元CADシステムを開発し、実用レベルの三面図を入力してその有効性を確認した。

An Interactive Drawing System with Bending Function for Sheet Metal Objects

HITOSHI OHKUBO,[†] HITOSHI KANO[†] and SEIICHI NISHIHARA[†]

Three-view drawings as well as various kinds of other drawings are often drafted by using usual 2-D CAD systems. It is, however, difficult to input complicated parts of drawings perfectly. As a typical example of such parts which are very difficult to design error-free drawings, a bending part of a sheet metal object is often actually impossible to accomplish perfect drawings containing no error at all. We introduce a novel interactive function that carries out bending operation at any desired place of a sheet metal to guarantee an error-free drawing. Our approach makes use of a ready-made system that restores 3D models from a three-view drawing. First, a simple drawing in which the intended bending is not yet included is processed by the system to produce a 3D model. Then, the user can specify interactively the bending operation to be added directly on the screen. Developing a 2-D CAD system with bending function, some experiments using practical three-view drawings of sheet metal objects are performed and evaluated.

1. はじめに

三面図は機械部品等の設計図に広く利用されており、その入力方法として2次元CADが一般によく用いられている。しかしながら、2次元CADを用いた三面図の入力には高度な技術を必要とする上、入力する物体の形状は精密化・複雑化が進んでいるのが現状である。さらに、三面図から3次元モデルを生成しようとした場合、省略のない正確な三面図データが必要となる¹⁾。このような背景のもとで、三面図を作図するためのシステムにおいて入力を支援する機能が望まれている。特に板金物体の曲げ加工が施されている部分は三面図が複雑になるため、これを自動作図することに

より、作図全体にかかる労力を大幅に省力化できると考えられる。

これに対して、実在するシステムの多くは機械図面を扱った3次元CADである。中には「運慶」²⁾、「Solid-R」³⁾など、三面図(2次元)と3次元モデルの橋渡しの処理を行うシステムも実在するが、2次元CAD上での三面図入力において板金に加工を施す機能を有するシステムはあまり見られない⁴⁾。

本論文では、2次元CAD上で板金物体を作図する際に曲げ加工部分の三面図を自動生成する手法について述べる^{5)~7)}。三面図上から直接得られるデータのみでこの処理を実現しようとする、扱う板金物体の形状により曲げ加工処理を行うことができない場合がある。そこで加工前の三面図より板金物体の3次元モデルを生成し、3次元上で曲げ加工を施した後これを三面図上に投影し、加工後の三面図を生成することとし

[†] 筑波大学電子・情報工学系
Institute of Information Sciences and Electronics,
University of Tsukuba

た、加工後の3次元モデルを三面図上に投影する際に線分の種類を判定するため、新たに定義する単位板金面と切断面ループを用いて加工後の三面図を得る手法を提案する。

以下ではまず曲げ加工処理の内容を整理し、これを自動化するうえでの問題点と対策案を示す。次に、新たに提案する単位板金面と切断面ループを用いた線分の種類の判定方法について詳しく述べる。最後に実際に供している板金図面を用いて本手法の有効性を示す。

2. 曲げ加工処理

2.1 板金物体の定義

本システムは板金物体を対象としている。ここで扱う板金物体の定義を以下に述べる。

- 一枚板から成っている。
- 板の厚みが均一である。
- 切断や穴開けといった加工は板金平面に垂直に行われている。
- 穴開けは貫通しているものに限る。

また、三面図は直線、円、円弧、楕円、楕円弧で構成されているものとし、本システムでは自由曲線は扱わない。

2.2 曲げ加工処理とは

曲げ加工処理とは曲げる位置（曲げ加工ラインで指定、図1参照）、曲げる角度 α 、内径 r 、どの部分をどの方向に曲げるか（これらの値を以下、曲げ情報とする）を入力し、三面図上で板金物体を曲げる処理である。曲げ加工後のコーナー部（図1中の曲げ加工部分）は円弧で近似するものとし、加工前と加工後で曲げ加工部分内の体積は変化しないものとする。

また、各入力値には次のような制限事項が存在する。

- 曲げる角度は $0^\circ < \alpha < 180^\circ$ とする。
- 曲げる方向は曲げ加工ラインに対して左上、左下、右上、右下の4方向とする。
- 曲げ加工ラインと交わるすべての線分が直交する位置でのみ曲げ加工を指定できる（図2(1)参照）。

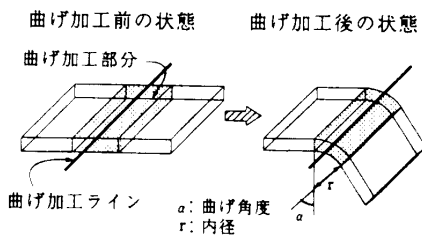


図1 曲げ加工ライン
Fig. 1 Bending position.

- 曲面に対して曲げ加工を施すことはできない（図2(2)参照）。

これらの制限事項が満たされない曲げ情報が与えられた場合は実行不可能となる。

図3は曲げ加工前と加工後の三面図の例である。加工後には新たに点と線分が現れ、線分の種類（実線 or 破線 or 一点鎖線）も変化していることが分かる。曲げ加工処理の内容は、これらの変化するデータを高速に生成するものである。なお、ここで高速とはユーザとの対話性を損なわない程度とし、数秒以内を目標とした。

2.3 問題点

以上述べたように、曲げ加工処理における主な課題は加工後に新たに発生する点と線分を生成すること、線分の種類を判定することの2つである。これらの課題を上記の加工について実現する場合、次のような問題点がある。

(1) 新たな点と線分の生成

三面図上では1つの点として表されていても、実際

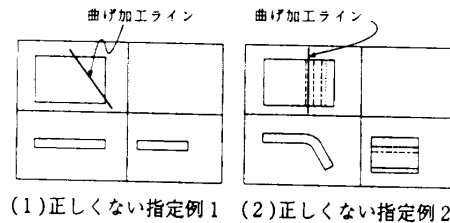


図2 正しくない曲げ加工ラインの指定例
Fig. 2 Examples of inappropriate bending positions.

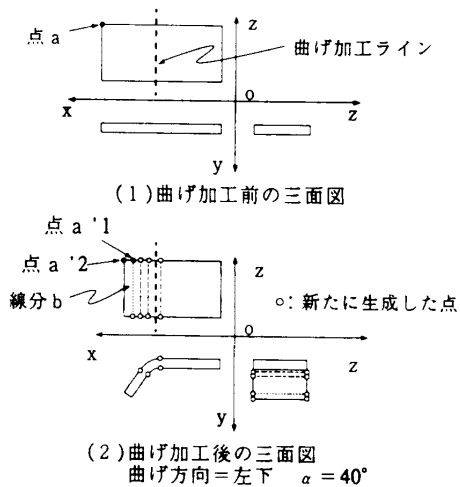


図3 加工前と加工後の三面図
Fig. 3 Examples of three-view drawings of a sheet metal object before and after applying a bending operation.

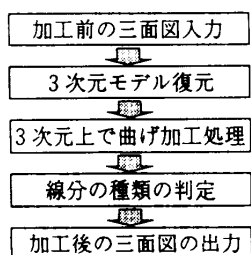


図4 提案する曲げ加工処理方式

Fig.4 Proposed procedure of bending operation.

には複数の点が重なっている場合が多い。これは線分についても同様である。また、3次元上の稜線が点に縮退している場合もある。したがって、曲げ加工後に重なっていた点や線分が三面図上に現れてくることがある。たとえば図3(1)中の点aは加工後の図3(2)中では点a'1と点a'2に対応しており、点が増えている。また、これにもなって線分も増えていることが分かる。このように図3中に示すような単純な三面図であっても、曲げる方向、角度等によって多くの場合分けが必要となる。さらに実用図面においては場合分けのパターンが多種多様となり、すべての場合分けをシステムに組み込むのは実用上不可能と考えられる。

(2) 線分の種類の判定

加工前と加工後の三面図では線分の種類が変化する。どの線分が変化するかは曲げる位置、方向、角度、加工前の板金物体の形状により異なってくる。たとえば図3(2)に示す例では板金物体を左下に曲げており線分bは破線になっているが、曲げる方向が左上である場合線分bは実線になる。これらのそれぞれの場合について場合分けを行うと、分岐が多く処理が煩雑になってしまう。

2.4 対策

以上の問題点の対策として図4に示す曲げ加工処理方式を提案する。まず加工前の三面図より頂点、稜線、面を生成し、3次元モデルを復元する。この復元処理は、著者が以前開発した方法⁸⁾を用いることにより高速に実行することができる。ただし、ここで復元可能な物体は2次曲面および多面体から成り立っており、2次曲面はその中心軸が少なくとも1つの投影面に平行であるように配置されているものとする¹⁾。次に、ここで得られた3次元モデルの面に対して曲げ加工を施し、加工後の頂点、稜線、面を生成する。最後に、頂点と稜線を三面図上に投影し、3章で述べる単位板金面と切断面ループを用いて加工後の三面図の線分の種類を求める。

このように3次元上データを直接扱うことにより、

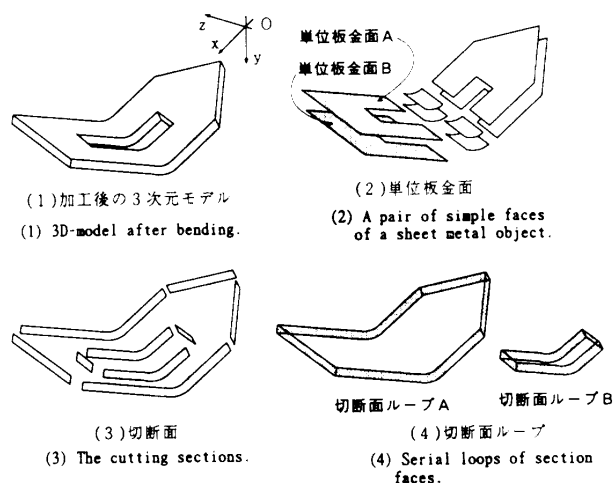


図5 加工後の3次元データ

Fig.5 3D-data after bending.

表1 各面図における座標の対応関係

Table1 Correspondence relationship of coordinates on each view.

	第一座標	第二座標	第三座標
平面図	z	x	y
正面図	x	y	x
右側面図	y	z	x

上記の重なりや縮退を考慮しなくとも点と線分の生成を行うことができる。

3. 加工後の三面図の生成

3.1 板金面および切断面の定義

本節で定義する切断面、切断面ループ、単位板金面の例を図5に示す。

実際に板金物体を作製する場合、まず一枚板に切断・穴開けといった加工を施した後曲げ加工を施す。ところで、切断加工によって生じる切り口は、1つの薄いテープ状のループを成す。これを切断面ループと呼ぶ。切断面ループは、1次または2次微分不連続の条件によって、さらに複数枚の平面または曲面の細長いテープ部分に分解できる。これらの各部分を切断面と呼ぶ。

板金物体の面のうち、切断面以外のものは、元の一枚板の表裏を成していた面の一部である。その表裏一対の面は、板金物体において、再び1次または2次微分不連続の条件により、複数の平面または曲面に分解できる。これを単位板金面と呼ぶ。

また、一般に複数個の頂点があるとき、ある面図における「手前の頂点」とは、その面図の第3座標値(表1参照)が最少となる頂点を指す。

さらに、投影方向に平行な面は、投影面図上では1本の線分になる。このようなとき、その面は「縮退し

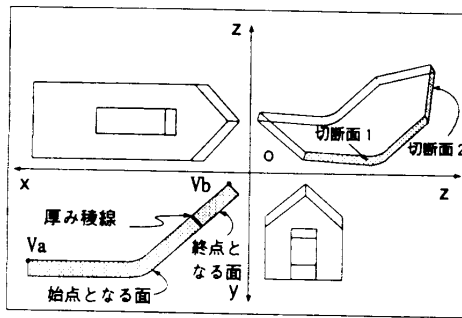


図6 切断面ループの生成手順

Fig. 6 Deriving the loop of section faces.

ている」という。

3.2 単位板金面の判定

単位板金面は、板金物体のすべての面の中で互いに表裏を成す面が存在する面として判定することができる。ここで面 a と面 b が互いに表裏を成す面であるということは、面 a を構成するすべての稜線について以下の条件をすべて満たす稜線が面 b に含まれているということである。

[条件 1] 稜線の長さが互いに同じである。

[条件 2] 互いに平行で、2 稜線間の距離が板金の厚みと等しい。

図 5 の例では単位板金面 A と単位板金面 B が表裏を成している。ここで、互いに表裏を成す単位板金面のすべての組について各面図上で「表」、「裏」、「縮退」のいずれになるか判定する。まず、表裏を成す 2 面において、各面に含まれる頂点のうち最も手前に位置するものをそれぞれについて求める。次に、この 2 頂点を比較し、その面図上で手前になる頂点を含む面を「表」、もう一方の面を「裏」とする。また、2 面とも縮退してしまっている場合は「縮退」とする。

3.3 切断面ループの生成

定義より、板金物体のすべての面は単位板金面と切断面のいずれかに分類できるので、まず 3.2 節で求めた単位板金面以外の面を切断面とする。この切断面を用いて、次の手順で切断面ループを生成する。

以下の手順は三面図の各面図について行う。まず、その面図において最も手前に位置する頂点を求める。ただし、複数存在する場合はその中で最も原点に近いものを選択する。次に、この頂点を端点として持つ厚み稜線を求める。最後に、この稜線に付いている 2 枚の切断面において、互いに共有しない頂点で、最も手前になるものどうしを比較する。手前になる頂点を含む切断面を手前とする。図 6 に示す三面図の正面図では、厚み稜線に付いている切断面 1 と 2 のどちらが手前であるかを頂点 Va と Vb のどちらが手前かで判定

表 2 線分の種類の判定で用いるルール

Table 2 The rules for judging the kind of each segment.

[ルール 1]	その面図で「表」および「縮退」にあたる単位板金面を構成する稜線を投影した線分は、面図上で実線になる。
[ルール 2]	その面図で最も手前になる頂点を端点とする厚み稜線は三面図上で実線となる。
[ルール 3]	厚み稜線を三面図に投影し、その線分を含む直線で面図を分割したとき、同じ領域に 2 枚の切断面が投影される場合、互いに接していない方の厚み稜線を投影した線分の種類は異なり、異なる領域に 1 枚ずつ投影されている場合、その線分の種類は同じになる (図 7 参照)。
[ルール 4]	その面図上で輪郭を成す線分は実線になる。

している。手前にある切断面を始点、奥にある方を終点として厚み稜線を辿り切断面をつなぎ合わせ切断面ループを生成する。2 頂点の第 3 座標値が等しい場合は、原点に近い方がより手前であるとする。

ここで、輪郭 (最外郭線分) となる稜線を含まない切断面ループは穴を形成する (図 5 中では切断面ループ B)。

3.4 線分の種類判定

線分の種類判定は、表 2 に示すルールを用いて以下の手順で行う。

step1:

すべての稜線をまず破線として三面図上に投影する。

step2:

[ルール 1] を用いて「表」、「縮退」となる単位板金面を投影した線分を実線にする。

step3:

[ルール 2] を用いて、切断面ループの始点の面の厚み稜線を投影した線分を実線にする。

step4:

切断面ループの始点の面とその隣の切断面に対して [ルール 3] を用い、実線と判定された厚み稜線を投影した線分を実線にする。隣の切断面が線分に縮退している場合は、2 つ隣の切断面に対して [ルール 3] を用いる。この処理を切断面ループの終点の面まで繰り返す。

step5:

[ルール 4] を用いて輪郭を成す線分を実線にする。

ルール 1~3 を用いて線分の種類を実線にする処理は、投影する稜線の手前に面が存在しない場合のみ行う (図 7 参照)。手前に面が存在するか否か (T または F) の判定手順を図 8 に示す。

3.5 処理手順

以上述べた手法に基づいた本システムの処理手順を

表3 加工後の三面図生成における処理時間

Table 3 Processing time for getting the three-view drawings of modified objects.

サンプル番号	加工前の稜線数	加工後の稜線数	曲げ回数	処理時間 (SEC)
1	69	121	3	1.68
2	84	121	4	1.76
3	70	122	4	2.44
4	78	149	4	4.02
5	82	160	6	3.42
6	82	173	7	4.12
7	114	179	5	6.06

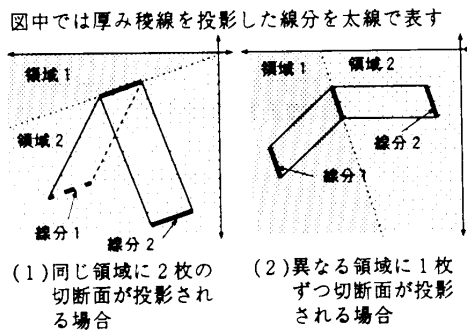


図7 切断面の投影

Fig. 7 Projection of the section faces.

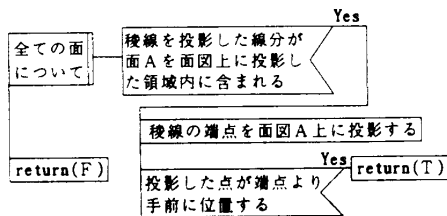


図8 手前に面が存在するか否かの判定手続き

Fig. 8 The procedure to judge if there exists a face occluding the edge.

図9に示す。最初に曲げ加工を施したい三面図を入力する。三面図は本システム上で最初から作図する場合と、他のCADシステム等で作成したファイルを読み込む場合の2通りある。次に3次元モデルを復元し、表示した後、曲げ情報の入力待ち状態になる。すべての曲げ情報が揃った時点で曲げ加工実行可能となる。曲げ加工を指定すると、曲げ加工後の3次元モデルの生成、表示を行う。この段階でユーザーが曲げ加工処理をキャンセルすることも可能である。最後に、満足のいく曲げ加工であった場合、出力を指定すると3.2~3.4節で述べた手法により加工後の三面図を生成する。以上が本システムの処理手順である。

4. 実行例

実用に供している板金図面を用いて本システムの評

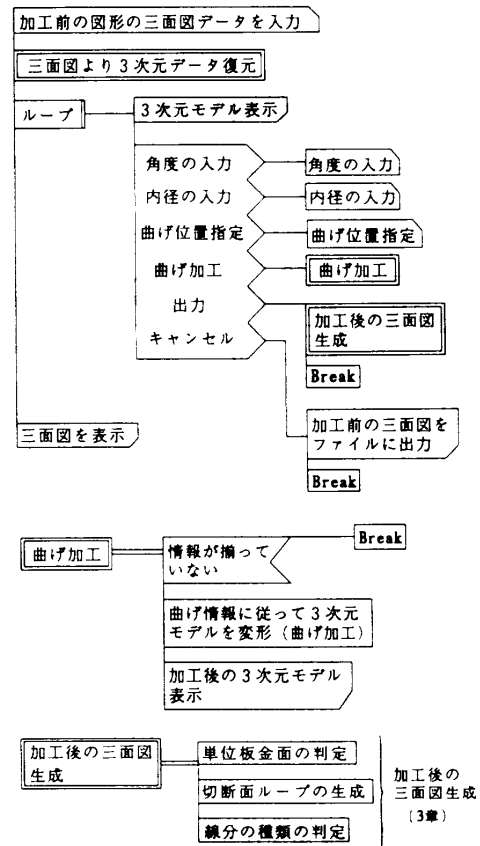


図9 システムの処理手順

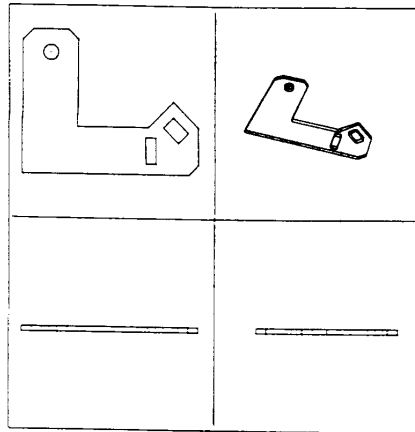
Fig. 9 Overall procedure of the system.

価を行った。表3はこの結果で7種類の板金物体に対して曲げ加工を施したものである。また、図10、図11は表3のサンプル3と4の加工前と加工後の三面図である。

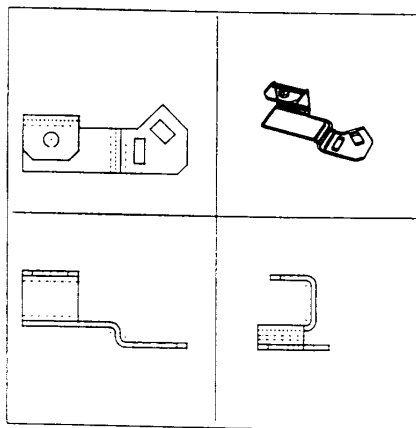
表3で用いた各サンプルは稜線数、曲げ回数とも一般的な板金物体と考えられる。本システムはこれらに対して数秒以内で曲げ加工処理を終了しており、十分実用性があるといえる。

5. おわりに

三面図から3次元モデルを復元し、これに曲げ加工を施した後、単位板金面と切断面ループを用いて加工



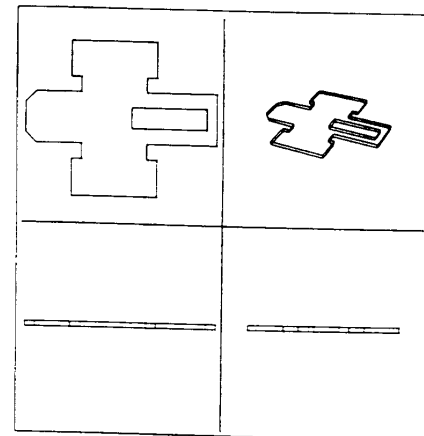
(1) 加工前の三面図



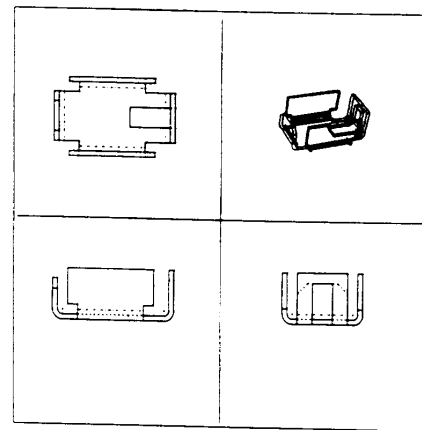
(2) 加工後の三面図

図 10 サンプル 3 の加工前後の三面図

Fig. 10 Three-view drawings of sample 3 before and after bending.



(1) 加工前の三面図



(2) 加工後の三面図

図 11 サンプル 4 の加工前後の三面図

Fig. 11 Three-view drawings of sample 4 before and after bending.

後の三面図を生成する手法を提案した。また、この手法に基づく曲げ加工機能を有する 2 次元 CAD システムを開発し、実用レベルの三面図を入力してその有効性を確認した。

本システムは三面図の入力、3 次元モデル生成、表示、曲げ加工処理、加工後の三面図生成までを一貫して対話形式で行うことができる。また、本システムで生成した三面図データを既存の三面図理解システムに入力し、正しい 3 次元モデルが生成されることを確認した。さらに、本システム上で板金物体に様々な位置や角度で曲げ加工を施すこと、また加工前の三面図に戻り、異なった位置や角度で曲げ加工をやり直すことが容易にできるので、板金製品の開発段階において有効性を発揮すると考える。

謝辞 本研究を進めるにあたり、板金物体の曲げ加工処理について貴重なご意見をいただいたオムロン

株式会社コンピュータ統轄事業部の首藤晴美氏、ならびにシステムの開発にご協力いただいたエー・アイ・ソフト株式会社 AI 事業部の鬼頭伸幸氏に深く感謝します。

参考文献

- 1) 西原：図面理解による 3 次元モデリング, *Computer Today*, No.56, pp.19-29 (1993).
- 2) 青村：運慶, *ibid.*, pp.53-56.
- 3) 秋間, 今井, 山本, 金光: Solid-R, *ibid.*, pp.49-52.
- 4) Kim, C., Inoue, M. and Nishihara, S.: Understanding 3-view Drawings of Mechanical Parts with Curved Shapes, *Proc. IEEE Internatl. Conf. on Syst. Eng. (ICSE)*, pp.238-241 (Sept. 1992).
- 5) 大久保ほか：板金向き三面図入力システムの開発, 第 48 回情報処理学会全国大会論文集, S-02 (1994).

- 6) 鬼頭, 大久保ほか: 曲げ加工機能を有する対話型三面図生成システム, 第50回情報処理学会全国大会論文集, 1M-4 (1995).
- 7) 大久保ほか: 曲げ加工機能を有する板金図面生成システム, 学術刊行物情報処研報, Vol.95, No.47, 95-CG-74, pp.1-6 (1995).
- 8) 井上, 金, 西原: 代数曲面を含む三面図の解釈, 学術刊行物情報処研報, Vol.93, No.14, 93-CG-61, pp.9-16 (1993).
- 9) 守屋: ユーザーインターフェイス技法, 情報処理, Vol.29, No.10, pp.1097-1108, (1988).

(平成7年11月13日受付)

(平成8年5月10日採録)



大久保仁志 (正会員)

1972年生. 1994年筑波大学第三学群情報学類卒業. 1996年同大学院理工学研究科修士課程修了. 在学中は, 知的CADシステムの研究に従事. 現在, (株) YKK アーキテク

チュラルプロダクツ勤務.



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. 制約に基づく知識表現, 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)

1946年生. 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, データ構造, 組合せ探索, 制約充足パラダイムの研究に従事. 著書に「データ構造」(オーム社)など. 情報処理学会, 電子情報通信学会, ACM, IEEE 各会員.