

CAD図面に基づいたソリッドモデル生成処理

佐藤勇一 清水和磨 近藤智 田畑憲昭
キャノン株式会社 システムエンジニアリングセンター

本研究の目的は、製品開発で広く利用されている機械系二次元CADの図面からソリッドモデルを効率的に生成するシステムを構築することにある。また、実用的な2次元3次元変換を行なうために、誤差や矛盾を含む図面から短時間でソリッドモデルを生成することを目標としている。本システムでは、必要に応じて対話的な指示を与えられる構成とし、先に正しい面の隣接関係(位相)を得た後に境界のエッジを計算し、haldedge 構造のソリッドモデルを安定的に生成する新しい手法を用いている。本論文では、この手法に基づいてプロトタイプを開発し、誤差対応の点でその有効性を確認したので報告する。

GENERATING SOLID MODELS FROM CAD DRAWINGS

Yuichi Sato Kazuma Shimizu Satoshi Kondo Noriaki Tabata
Canon Inc. System engineering Center
Shinkawasakimitsui Bldg., 890-12, Kashimada, Saiwai-Ku, Kawasaki 211, Japan

Our study aims at generating solid models from drawings of mechanical two-dimensional CAD which used popularly for designing our products. For practical use, we try to make solid models in a short time from drawings including human or numerical errors. In our system, errors are recognized and some of them are modified automatically and operators can modify others interactively. After getting correct topology data which have relations between adjacent faces, this system calculate boundary edges and create an edge-based boundary model. We implemented a prototype based on this algorithm and we created some solid models effectively.

1.はじめに

筆者らは実際の製品開発体制の中で広く活用されている2次元図面に基づいた3次元ソリッドモデル生成システムの開発を進めている。^{[SAT90] [SIM90]} 本稿では「STAGE法」と呼ぶこの手法の開発背景とその概要を示し、その独自性と有効性を報告する。

今日、3次元ソリッドモデルは設計された製品形状を計算機内部に完全に表現することができ、設計を含め様々な業務アプリケーションに応用することができるものとして大いに注目を集めている。

3次元ソリッドモデルの長所としては

1. ビジュアライゼーション効果が大
2. 物体間の干渉を認識可能
3. 各種マスのプロパティを計算可能
4. 各種CAM, CAEシステムへの入力データへの変換が容易

などが挙げられる。これを具体的に製品開発体制の中に当てはめると 1, 2 は設計者自身の形状認識、形状チェックの支援、3, 4 はその形状の持つ工学的な意味を抽出する作業の支援に役立つといえる。また、1 のビジュアライゼーション効果は、設計者のみならず、いわゆる設計下流の、従来2次元図面のみを形状伝達のインターフェースとして受けとって業務を行っていた部門の業務支援に有効である。(図1)

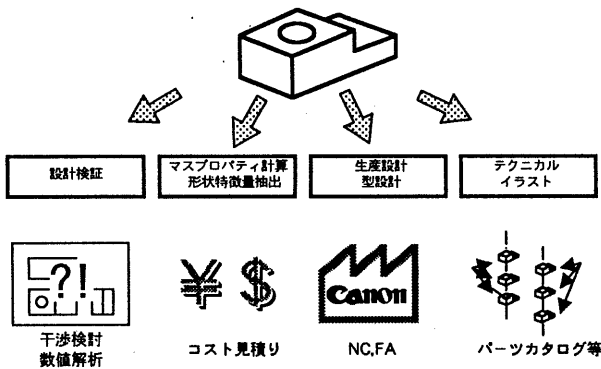


図1 ソリッドモデルの応用

反対に短所としては

1. データが重厚長大であるため計算機にかかる負荷が大きい
2. モデリング操作が複雑
3. 設計が進め難い

ことが挙げられる。1, 2はソリッドモデラー登場当時から指摘されている問題であるが、1に関してはコンピュータ資源の進歩にともなって問題が解消されつつあり、今日では高性能パソコン環境で動作するソリッドモデラーも数多く出現してきている。また、2のモデリングインターフェースも種々の研究開発が行なわれており、徐々にその操作性も向上してきている。

さて、ここで我々が問題とするのは3で挙げた設計と3次元モデリングの関係である。

一般の3次元モデラーの多くは個々の部品形状を個別に作成し、それらを組み合わせて製品全体を表現するようにできている。つまり、細部を先に決定して徐々に全体を組み上げてゆくことになる。ところが、実際の設計はその逆で

1. 全体の機能を考え
2. 徐々に形状を細分化してゆき
3. 最後に個々の形状を決定する

というステップを経ることが多く、このことに関しては従来の2次元の図面の方が設計のインターフェースとして優れているといえる。現状のソリッドモデラーはすでに決定した形状の検証を行なう分野では高い効果を発揮するが、未定の形状を取り扱っていく設計分野には向いていない。

そこで我々は、2次元で取り扱うのが難しい自由曲面や複雑な3次元機構などは3次元CADを利用し、それ以外については従来の2次元図面で設計を進め、その2次元図面から3次元ソリッドモデルを生成するシステムを開発することによって、製品開発体制全体の3次元化を目指すものである。

2. 2次元～3次元変換システムに関する既存の研究

2次元～3次元変換システムに関しては既に数多くの研究がなされており、それらはワイヤフレーム～ソリッド変換とプリミティブ分割の2つの手法に分類することが出来る。ここではその両者の概要について触れ、我々の手法との比較を表1に示す。

2.1 ワイヤフレーム～ソリッド変換

この手法は2次元～3次元変換における最もオーソドックスな手法であり、従来から桜井らの研究などが報告されている。^[SAK89] 具体的には、2次元の図面から考えられる3次元のエレメントをすべて立ちあげて一旦3次元ワイヤフレームモデルを作成し、ある仮定した面に属し、且つ連続なエッジを順次ループ化してゆくことにより最終的に3次元ソリッドモデルを生成するというものである。この時の課題となるのが不要な虚エッジの除去処理である。千田らは考え得る全ての立体を生成して元の図面と比較し、正解となる立体を選択する方法を考案した。^[SENGO] 増田らは探索的に形状を求める過程において図面との整合をとることにより高速な処理を実現するアルゴリズムを考案した。^[MAS91]

この手法は面の交線などの幾何計算を行なわないので、その点においては処理系が組み易い。し

かし現段階においては、正確な三面図のみを対象、平面、円筒面限定、図面に誤差・矛盾を許さないなどの制約条件が大きく、実際の製品図面に適用するには入力とする図面にかなりの前処理を加える必要がある。

さらに、この手法を含めて全自動化処理を目的とする場合には、曖昧さを含む図面からは複数の正解立体を出力してしまう。図学の領域ではもちろん複数解出力で正解であるが、実際に物を製作する機械設計の領域では複数解正解ということはありません。

2.2 プリミティブ分割法

この手法は主に図面からCSGタイプのソリッドモデルを生成する場合に用いられる。この手法の考え方は、2次元図面から3辺または4辺で構成される単純領域を抽出して、VIEW間のパターンマッチングを行なってこれらの単純領域から基本プリミティブを生成し、単純領域の包含、接合状態によってその正負を決定し、Set OperationによりCSGデータを生成するというものである。^{[KIT91][NAG89]} この手法の場合にも正確な三面図を対象としており、誤差や矛盾を含む図面には対応できないのが現状である。

2.3 STAGE法

我々は上記の2手法を検討した結果、現状ではこれらの手法を適用して実際の製品図面から3次元

ワイヤフレームソリッド変換	プリミティブ分割	STAGE法
全自動変換を目的 正確な三面図を対象 平面、円筒面限定 虚エッジの除去処理が課題 複数の正解立体を出力 探索的手法 幾何演算不要 要素数が増えると処理が爆発 図面に誤差・矛盾を許さない	基本的にパターンマッチング 正確な三面図を対象 誤差に弱い	2.5次元ベース 切断面トポロジースキャン & エッジトレース 二次曲面・トーラス面を対象 実際の図面体系に対応 (2～6面図、斜めView、部分断面図) 誤差・矛盾に強い 図面のチェック機能版 対話処理 (半自動)

表1 2～3次元変換手法の比較

ソリッドモデルを生成するには無理があると判断し、独自の手法を開発することにした。

2次元～3次元変換を実用レベルで実現させるために、STAGE法では特に

- ・誤差,矛盾への対応
- ・Conic曲面全般+Torus への対応
- ・実際の図面体系への対応

について留意して設計した。

本手法は、2次元図面から3次元ソリッドモデルを作成するための手段として、2次元図面を一旦2.5次元化し、その2.5次元図面の表現している実体存在空間を認識しながら作成した立体の切断面形状から、3次元立体を構成する面と面の接続情報と、面自身の特徴、すなわち面の Topology 情報と Geometry 情報を抽出し、ここで2次元の図面の情報から全く独立して、この2つの情報のみにより3次元ソリッドモデルを作成するものである。

本手法によれば、面のTopology情報とGeometry情報を先に決定してから3次元ソリッドモデル生成のためのEdge(稜線)の計算を行なうので、形状が複雑な場合でも計算の負荷が軽く、計算誤差により暴走したり、曖昧な形状を複数出力することもなく、安定的に2次元図面から3次元ソリッドモデルへの変換が実現できる。

また矛盾を含めて図面の持つ”曖昧さ”に対しては、自動化という観点に縛られることなしに、オペレータの指示によるインタラクティブな処理を行う事で、より柔軟で現実的な2次元～3次元変換の実用化を目指す。

3 実際の製品図面

3.1 図面の誤差

2次元～3次元変換の対象となる図面に含まれる誤差は、人為的ミスやCADデータ交換の際の精度の違いなどによって発生する。また処理過程で行なう数値計算では計算誤差が発生することが広く知られている。2次元CAD図面から3次元ソリッドモデルの生成を行なう際に、CAD図面に含まれる図形誤差や計算誤差などへの対応が十分でない場合、誤差のため位相構造が誤って認識され処理に破綻

をきたすことがある。^[SUG87]

そこで、2次元～3次元変換システムを開発するにあたって、これらの誤差に対処することが重要な課題となる。

CAD図面に含まれる誤差は、view内誤差とview間誤差に分類することができる。

図3.1に示すように図形要素が端点で他の図形要素と接続していないような誤差をview内誤差と呼ぶ。設計者が作画した後のCAD図面のデータは、線分と円弧といった図形要素の集合で図形要素同士の接続関係は与えられていない。

図3.2に示すview間での対応する図形要素同士のずれをview間誤差と呼ぶ。図形要素はviewごとに独立に作成されるためview間で対応する図形要素の間でずれが生じることがある。

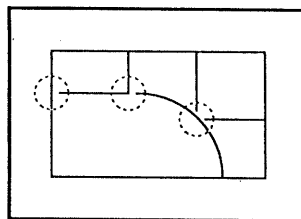


図3.1 VIEW内誤差

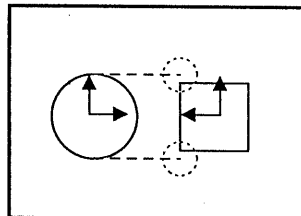


図3.2 VIEW間誤差

3.2 図面に表現される曲面

機構部品に用いられる曲面形状は主に機能や製作の都合上、シンプルである事が多い。一般に機構部品は平面,球面,(斜)円筒面,(斜)円錐面,トーラス面でその面の95%以上を表現する事ができる。残りは特殊なカムや歯車に用いられる曲面と、隣接する面の稜線形状を丸めるフィレット曲面などである。これらの曲面はいずれも図面によって表現する事が可能である。

一方,外装部品にはしばしば複雑な自由曲面が用いられる。これは主にデザイン上の理由による。一部のものを除いて自由曲面はいったん図面に落とすと情報が欠落してしまい,図面から元の曲面を想像したり,これを3次元化したりする事は非常に困

難なことになる。

これらのことから、処理で取り扱う曲面は Conic 曲面(+Torus)で十分であるといえる。

3.3 図面体系

実際の製品設計から出力されてくる図面は3面図に決まっているとは限らない。もちろん三角法に従ってはいるが、その形態は平面図+断面図、2面図+部分断面図、6面図+矢視図等、種々多様である。これら様々な形態の図面に対応しなければ実用には近づけない。

4. STAGE 法概要

4-1. 特徴

STAGE 法は、図面の表現する立体形状の幾何位相(隣接面の結合関係 : Topology)と面形状(幾何パラメータ : Geometry)を抽出し、これをもとに3次元ソリッドモデルを半自動作成するシステムである。このシステムの特徴は

(a) 2.5次元図面をもとにして考えられる切断面形状をX,Y,Z各方向にスキャンしていった幾何位相の変化を睨みながら、図面から考えられる立体全体の幾何位相と面形状を把握し、これをもとに3次元ソリッドモデルを作成するという、これまでにない新しいアプローチである。

(b) 推論的なアプローチなどによって完全な自動化を目指すのではなく、曖昧な部分や矛盾に対しては、あえて人間が積極的なオペレーションを加えることにより幅広い範囲の図面に対応できる。

(c) 先に幾何位相を押えてから3次元ソリッドモデル(B-reps)のエッジ計算を行なうので安定的な演算が行なえる。
ということである。

4-2. 性能及び前提条件

(1) 対象はCAD図面とする。

(2) 平面・円筒面・円錐面・球面・斜円筒面・斜円錐面・トーラス面を対象とし、2次元~3次元変換が可逆でない自由曲面は対象としない。

(3) 図面上の6面図VIEW(正面・上面・左側面・右側面・下面・背面)・矢視VIEW・部分断面VIEWを対象とする。

(4) 対象とする図面には最低2つ以上のVIEWを含むこと。

(5) 対象とする図面には図形の誤差・作図上の矛盾・省略が含まれているものとする。

4-3. 処理概要

本システムのフローは図4-1に示す通りである。

1. CADシステムから図面データを受けとる。
2. 各VIEW内の作図誤差を取り除く。
3. 図面を2.5次元化する。
4. 2.5次元データをもとに、実体存在空間を意識しながらX,Y,Z各方向の形状特徴区間における切断面形状を作成する。
5. 切断面形状をX,Y,Z各方向にスキャンして隣接面間の位相の変化を認識し、面の結合情報を蓄積する。
6. 作成した切断面形状ともとの図面が一致しない場合には矛盾・省略どちらかのケースであるため結合情報修正指示のオペレーションを行なう。
7. 認識された面の結合情報をもとにグラフ探索を行ない、隣接面のループ順位づけを行なう。
8. 隣接関係の確定した面からエッジの計算を行ない、Half-Edge の構造を持つB-reps タイプのソリッドモデルを作成する。

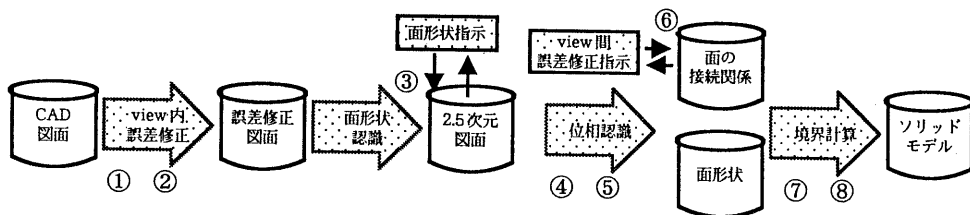


図4.1 2~3次元変換処理フロー

4-3-1. 作図誤差修正

図面に含まれる view 内のインシヤルな誤差を要素間の拘束関係を認識しながら、与えられた許容範囲内で自動修正する。修正できなかったものは警告を出して対話で修正する。view 間のインシヤルな誤差は view 原点の位置合わせにより修正する。

4-3-2. 2.5次元化

[原理]

・2次元図面上の閉領域に対して、その領域の高さ方向の形状(面形状)を付加すると2.5次元面データとなる。

[処理]

- (1) 図面上の対応から高さ方向の情報を一意に認識できる領域については自動的に面形状を定義する。
- (2) 同じく図面上の対応から明らかに穴であると判明する領域には自動的に穴の定義を行なう。
- (3) 自動認識できなかった領域については対話で面形状の指示を行なう。

4-3-3. 位相認識

切断レベルの設定

STAGE法ではX、Y、Z各方向の切断面の幾何位相の変化を読み取ることによって形状全体の幾何位相(隣接面間の結合)を決定する。そのためには、各方向のどんな小さな小さな変化も見落としてはならないので、幾何位相の変化が起こりうる点を全てピックアップし、その間の区間(形状特徴区間)を切断するような切断レベルの設定を行う。

切断面の作成

2.5次元データをもとに、実体存在空間を意識しながらX、Y、Z各方向の形状特徴区間における切断面形状を作成する。

[原理]

- ・2.5次元図面上で実体として定義された面の手前側(=視線方向)には実体は存在しない。
- ・2.5次元図面上で実体として定義された領域の奥

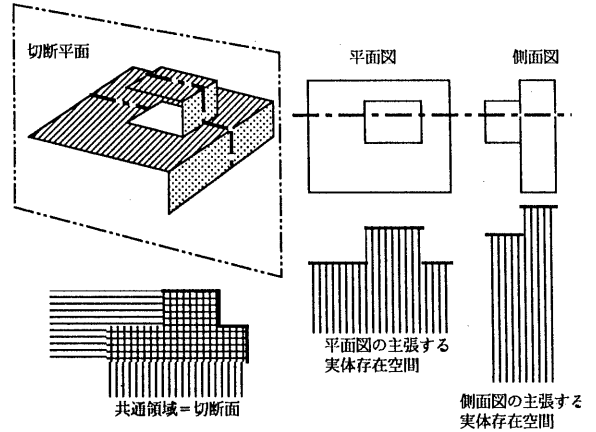


図4.2 実体認識による切断面の生成

側には実体が存在する半無限空間(=実体存在空間)がある。

- ・2.5次元図面上で穴として定義された領域の手前側にも奥側にも実体は存在しない。
- ・実際に図面が表現する立体空間は、図面上の各VIEW(～面図)の主張する実体存在空間の論理積(AND)の形で表現される。

[処理]

- (1) 切断平面を設定する。
- (2) 設定した切断平面内において、各VIEWの主張する半無限の実体存在空間を表現する半無限(実際には有限の)切断形状を作成する。
- (3) 各VIEWの半無限切断形状の論理積(AND)をとって立体の切断面形状を得る。(4.2図)

矛盾の検出、誤差の吸収

誤差対策としては、計算や判定に許容範囲を考慮して誤差を修正許容しながら処理を行なうことが一般的に行なわれている。しかし、この手法だけでは許容範囲を越える誤差などに対応できない。そこで、本手法では変換処理の過程で、CAD図面に含まれる誤差によって生じる位相的な矛盾を検出し、対話的に修正を行なえる構成とする。

トポロジースキャン

切断面形状をX、Y、Z各方向にスキャンして隣接面間の位相の変化を認識し、面の結合情報を蓄積する。

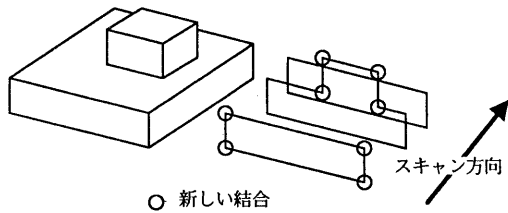


図 4.3 トポロジースキャン

[原理]

- X,Y,Z各方向に細かい刻みで切断面を作成し、これをスキャンしてゆくと、切断面を構成する面どうしの接続関係の変化を認識することができる。
- スキャン方向で比較して、一つ前の切断レベルには存在しなかった面の組合せが現れた場合に、これを立体を構成する面と面の結合情報として認識する。
- 実際に切断する位置は図面上における X,Y,Z各方向の形状特徴点の間の区間 (= 形状特徴区間) である。

[処理]

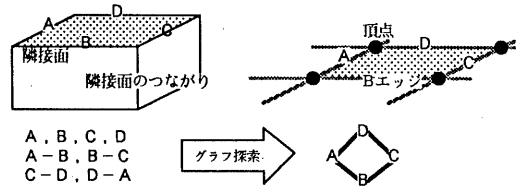
- (1) 切断面形状の各要素 (エレメント) に対して、面の属性情報を付加する。
- (2) X,Y,Z各方向にスキャンしてスキャン方向前後での切断面の位相の変化を認識し、変化のある部分の切断面要素どうしの接続情報を、切断面の各要素に付加した属性情報である面と面の結合情報としてストックする。(4.3 図)

4.3.4 エッジトレース

以上の処理から得られた面の結合情報をもとにグラフ探索を行ない、隣接面のループ順位づけを行なう。隣接関係の確定した面からエッジの計算を行ない、Half-edge の構造を持つ B-reps タイプのソリッドモデルを作成する。

[原理]

- 図面からトポロジースキャンによって抽出した面の接続情報 (Topology) とその面の面形状 (Geometry) の情報をもとにして面のエッジを確定してゆく。



隣接面 = エッジ 隣接面のつながり = 頂点

図 4.4 エッジトレース

- 1つの隣接面が1つのエッジに対応し、接続する隣接面の組み合わせが1つの頂点に対応する。
- 隣接する面のループ分け、隣接面の並びを決定するためにグラフ探索の手法を用いる。
- 位相を把握した上で、既に計算されているエッジや頂点のデータを参照するなど計算誤差を許容しながらエッジや頂点を計算する。

[処理]

- (1) 面のTopologyデータ (隣接面情報、凹凸情報) とGeometryデータ (面形状情報) を受けとる。
- (2) 隣接面情報をもとにグラフ探索を用いて、面のループ分け、ループ内の隣接面の並び順決定を行なう。
- (3) 決定したループの並び順に、隣接面との交線・交点計算を行ない、エッジを作成する。
- (4) 交線、交点が複数ある場合は、隣接面の凹凸情報などを利用して、エッジや頂点を決定する。
- (4) 作成したエッジの情報からソリッドモデルのデーターを生成する。

以上の処理を実行した例を4.4図に示す。

5.STAGE 法実行例

5.1~5.3 図にSTAGE法プロトタイプ版の実行例を示す。プロトタイプ版は、IBM3090 + MVS + GAM/SPまたはEWS (HP9000, DECstation, RS6000など) + UNIX + X11上で稼動する。

6.おわりに

筆者らは対象を平面と円筒面に限定してSTAGE法プロトタイプを開発しその有効性を確認した。現在、対象をconic曲面全般に拡張した本

バージョンを開発中で、実際のCAD図面からソリッドモデルを作成する試行を行った後に、三次元モデルを用いたアプリケーションとリンクし、製品開発業務に展開していく。また、図面に含まれる生産加工情報などの属性処理など本システムの改良を進める予定である。

参考文献

[SAT90] 佐藤勇一 他3名 "CAD図面に基づいた3次元ソリッドシステムの開発 2-3次元変換システム STAGE法" 1990年精密工学会秋季大会学術講演論文集, Sept. 1990, pp1257-1258

[SIM90] 清水和磨 他3名 "CAD図面に基づいた3次元ソリッドシステムの開発 基本構想", 1990年精密工学会秋季大会学術講演論文集, Sept. 1990, pp1255-1256

[SUG87] 杉原厚吉, 伊理正夫 "計算誤差による暴走の心配のないソリッドモデラーの提案", 情報処理学会論文誌, Vol. 28, No. 9, March 1987, pp 962-974

[SEN90] 千田豊満 "三面図からもとの立体の自動復元" 情報処理学会論文誌, Vol. 31, No. 9, Sep. 1990, pp. 1312-1320

[MAS91] 増田健 "三面図データからの立体復元", 1991年精密工学会春季大会学術講演論文集, March 1991, pp 745-746

[KIT91] 北嶋克寛, 岩谷降雄 "プリミティブ分割に基づく三面図解釈" 1991年精密工学会春季大会学術講演論文集, March 1991, pp 555-556

[KIT91] 北嶋克寛, 田坂守康 "プリミティブ分割に基づく三面図解釈 対象立体の拡大" 1991年精密工学会春季大会学術講演論文集, March 1991, pp 755-756

[SAK83] H. Sakurai and D. C. Gossard, "Solid model input through orthographic view", ACM Computer Graphics, Vol. 17, No. 3, July 1983, pp. 243-252.

[NAG89] V. Nagasamy and N. A. Langrana, "Reconstruction of 3D objects using a kb environment", ASME Computers in Engineering 1989, Vol. 1, July 1989, pp. 117 - 126.

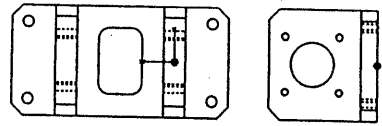


図5.1 CAD図面

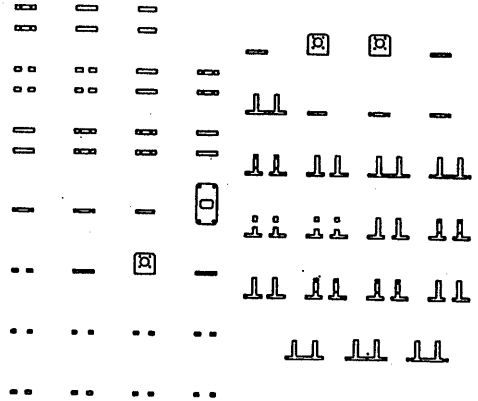
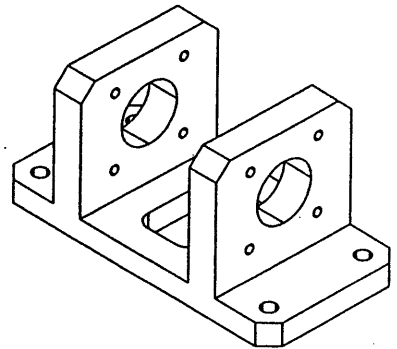


図5.2 図面から考えられる全切断面



環境:

HP9000/370SRX (7Mips)
主記憶16M
HP-UX, X11.3
Fortran77, C

CPU-time:

420 sec

Solid data:

Face 86
Loop 116
Edge 252
Vertex 168

図5.3 STAGE法実行結果