

## I-28 三面図からの3次元ワイヤフレームモデルデータの

## 創出に関する研究開発

## Research for Generating 3D Wire Frame Model Data from Orthographical Three Views

南 佳孝<sup>1</sup>      田中 成典<sup>2</sup>      古田 均<sup>2</sup>      早川 琢哉<sup>3</sup>  
 Yoshitaka Minami      Shigenori Tanaka      Hitoshi Furuta      Takuya Hayakawa

【抄録】近年、製造業界では、製品のライフサイクルにおいて、3次元モデルが盛んに利用されている。また、様々な3次元CADの開発が行われていることから、今後、3次元モデルを活用するという需要は、ますます高まると考えられる。しかし、現状では、未だに2次元CADが主流であり、3次元CADを効率的に扱える技術者も少ない。さらに、現在利用されている3次元CADは、既存の2次元図面から3次元データモデルを生成することができない。そこで、本研究では、図面配置用の仮想モデルを利用して、三面図から3次元ワイヤフレームモデルを生成するシステムを開発した。

【abstract】In recent years, in the manufacture industry, a 3D-model is used in the life cycle of a product very well. Various 3D CADs have been developed because advanced engineers demand on utilizing a 3D model. But, 2D CAD is still used mainly because many civil engineers cannot treat of 3D CAD efficiently. On the other hand, most of CAD cannot generate a 3D model data from an existing 2D drawing. Therefore, this research aims at that everyone can generate the 3D wire frame model data from orthographical three views easily.

キーワード：CAD, 三面図, 3次元ワイヤフレームモデルデータ

Keywords : CAD, Orthographical three views, 3D wire frame model data

## 1. はじめに

近年、製造業界では、製品のライフサイクル全般において3次元モデルを利用することが注目されている。なぜなら、設計や製造の対象となる製品は、3次元形状を有する物体であるためである。しかし、現在、2次元図面が情報伝達手段として主流であるため、3次元モデルを効率的に利用することができないという課題<sup>1)</sup>がある。また、2次元モデルと3次元モデルでは、製図の手法が異なる。そのため、これまで2次元図面を扱ってきた技術者が3次元モデルを扱うのは困難<sup>2)</sup>である。そして、現状では、3次元モデルを2次元図面で表現するために三面図を用いているが、図面を見慣れない技術者は、3次元モデルをイメージすることが難しい<sup>2)</sup>。

これらの問題を解決するために、2次元図面から3次元モデルを生成するための研究<sup>3)-14)</sup>がなされてきた。2次元図面から3次元モデルの生成には、大別してB-rep (Boundary Representation) 方式とCSG (Constructive Solid Geometry) 方式の2つの方式がある。B-rep方式を用いる

研究<sup>3)-8)</sup>では、処理速度、精度、図面の種類が限定されるなどの課題がある。CSG方式を用いる研究<sup>9)-11)</sup>でも、図面の種類が限定されるなどの課題がある。このように2次元図面から立体を生成する研究は数多く行われているが、実用化されて有効に利用されている例は少ない。それは、図面要素の問題、投影図間の不整合、幾何学的な問題や図面慣習上の問題が大きな原因<sup>12)</sup>であると考えられている。これら三面図の問題を解決するための研究として2つの既報<sup>13) 14)</sup>がある。三面図の修正を自動化し、線分の過不足を検出する研究<sup>13)</sup>では、三面図の自動検査のために3次元モデルに対して制約条件を与えている。三面図から概略の形状を推定し、3次元モデルを生成する研究<sup>14)</sup>では、三面図の種類に関わらず3次元モデルを生成する代わりに詳細さを欠くという問題がある。

そこで、本研究では、既報の課題である3次元モデルに対しての制約条件を軽減し、尚且つ詳細さを表現することを考え、三面図を基に、線分、円弧の端点と円の軌道の座標を使用し、3次元ワイヤフレームモデルデータを生成する手法を考案した。本研究では、この技術を

1 : 正会員 修士 関西大学大学院 総合情報学研究科  
 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺 2-1-1, Tel : 072-690-2404, E-mail : minami@kansai-labo.co.jp)  
 2 : 正会員 工学博士 関西大学 教授 総合情報学部  
 3 : 正会員 学士 関西大学大学院 総合情報学研究科

利用することにより、三面図の種類に関わらず、精度を保って3次元モデルを生成することを目的とする。さらに、2次元CADの操作性を考慮したユーザインターフェイスや作図機能を考案し、2次元CADオペレータでも操作が行えることを目的とする。

## 2. 課題と解決に向けての構想

### (1) 課題の整理

三面図から3次元モデルデータを生成する場合、表-1に示すような課題<sup>12)</sup>がある。「1. 図面要素の問題」では、図面は生成手順や精度が必ずしも統一されていないという課題である。課題の解決には、徹底した検査、修正が必要である。「2. 投影図間の不整合」では、相対的であるはずの図面間の対応が崩れているという問題である。修正を行うには、人の手を頼らざるを得ない。「3. 幾何学的な問題」では、極めて感覚的に表現された図面や、複数解釈が存在する図面があるという課題である。3次元モデルを生成するには、計算コストの肥大などの弊害により、一意な3次元モデルを生成することが困難である。「4. 図面慣習上の問題」では、図面が慣習上省略されてしまう課題である。修正するには、分野に特化した対応が必要となる。

また、表-1の問題とは別に、3次元CADの操作上の問題も重要視されている。近年の3次元CADは2次元CADと操作性が大きく異なるため、2次元CADに慣れた技術者が扱うには困難が伴う。

### (2) システム化への構想

前述の問題(表-1)を解決するために、様々な試みが行われている。「1. 図面要素の問題」に関しては、頂点と稜線の関係から、稜線の自動生成や削除を行う研究が行われている。しかし、三面図の修正を自動で行うがために意図しない修正が施される可能性がある。「2. 投影図間の不整合」に関しては、図面の拡大、縮小、稜線の追加などを行い、解決が図られている。しかし、図面を拡大、縮小することによって、精度の問題が発生する。

「3. 幾何学的な問題」に関しては、三面図から3次元モデルの概略を生成するために、技術者の知識を反映させたデータベースを用いて解決を図っている。しかし、精度の問題、図面から複数解釈できる場合の問題などが残る。「4. 図面慣習上の問題」を解決するためには、対話方式によってユーザに三面図を修正させるか、分野に特化して慣習上の表記を補う必要がある。本研究では、「3. 幾何学的な問題」と「4. 図面慣習上の問題」を含む図面においては、ユーザが直接、図面に対して修正を加えることが最善と考え、「1. 図面要素の問題」と「2. 投影図間の不整合」に着目した。「1. 図面要素の問題」の問題点は、三面図の見た目でも問題箇所を発見できない

表-1 3次元モデル生成の課題

問題点	詳細
1. 図面要素の問題	1.1 精度の不一致
	1.2 頂点や稜線の関係
	1.3 図面データ以外のデータ
	1.4 稜線の重複, 孤立
2. 投影図間の不整合	2.1 対応図面のサイズ
	2.2 縮尺
	2.3 データ(稜線)が相対的に足りない(多い)
	2.4 一途断面図, 詳細説明図の表現
	2.5 一致しない丸み付け
3. 幾何学的な問題	3.1 困難な形状
	3.2 丸み付け
	3.3 丸み付けにより対応する稜の省略
	3.4 簡易的な表現
	3.5 シンボリック表現
4. 図面慣習上の問題	4.1 意図的な省略
	4.2 シンボリック表現(加工形状など)
	4.3 図面, 3図面の混在

\* 網掛け部 本研究の対象

点である。よって、システムが抽出した問題点をユーザに提示することが適切だと考える。「2. 投影図間の不整合」の問題点を解決するには、システムによって問題箇所を抽出し、ユーザに問題点を意識させずに解決することが適切だと考える。

一方、3次元モデルの情報量に着目すると、ソリッドモデルが3次元、サーフェイスモデルが2次元、そしてワイヤーフレームモデルは1次元の情報量でモデルが形成される。これは、ワイヤーフレームモデルの情報量が少ないため、設計者が作業を行う上で、形状操作が簡単であることを意味する。また、三面図から3次元モデルを生成する場合、ソリッドモデルやサーフェイスモデルでは、曲面式を考慮する必要があるが、ワイヤーフレームモデルでは、稜線によって形状を決定するため、計算コストを軽減できる。そして、ソリッドモデルやサーフェイスモデルと比較して、保持する情報が少ないため、図

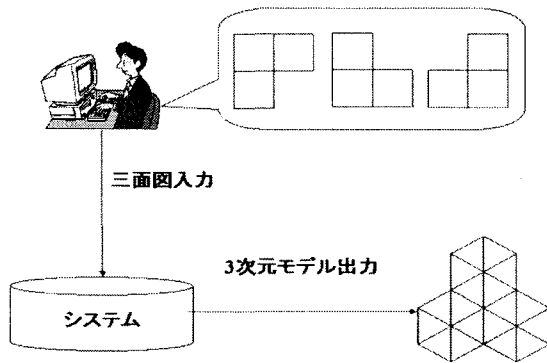


図-1 三面図から3次元モデル

面のデータ量も軽減できる。

したがって本研究では、3次元モデル生成時の制約条件を軽減し、尚且つ三面図の精度を保ち、2次元CADの操作性において、3次元ワイヤーフレームモデルを生成することを目指す。まず、三面図に対しての制約条件を軽減するために、線分と円弧の端点を用いる手法を考案する。次に、2次元CADの操作性を実現するためのインターフェイスを考える。精度を保つためには、ユーザによって閾値を設定させ、精度を調整して3次元モデルの生成を行う。閾値は、要素同士のつながりを判定する場合の許容誤差に用いる。また、提示された3次元モデルに対して、容易に修正を加えることが可能な手法も考案した。

本研究では、図-1に示すように、線分と円弧の端点の座標を用いて、三面図から3次元ワイヤーフレームモデルデータを創出するシステムの開発を目指す。

### 3. 3次元ワイヤーフレームモデルの生成手法

本研究で提案する3次元ワイヤーフレームモデル生成の手法について述べる。本研究では、1) 三面図の検査、2) 対応点の発生、3) 三面図の端点を基に3次元ワイヤーフレームモデルの生成、4) 三面図に投影して余分な線分を削除、といった流れで処理を進める。

#### (1) 三面図の検査

表-1に示す「1. 図面要素の問題」と「2. 投影図間の不整合」に対応するために、事前に三面図の検査を行う。三面図に対して行う検査は、次の2つである。まず、1) 対応図面のサイズと縮尺の不一致(表-1の2.1と2.2)という問題に対応するために、三面図間のサイズの検査を行う。一方、2) 三面図の精度(表-1の1.1)、頂点や稜線の関係問題(表-1の1.2)を解決するために、頂点と稜線の検査を行う。なお、本研究では、3次元ワイヤーフレームモデルを生成することを目的とするため、

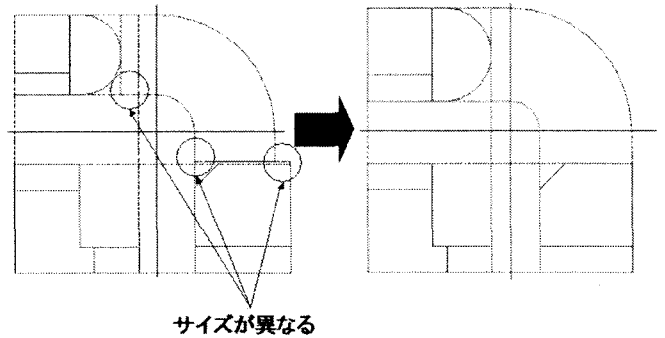


図-2 サイズによる検査

破線で示される隠れ線については、実線で示される外形線と同等のものとして扱う。

#### a) 三面図間のサイズの検査

図面間の尺度の対応を正しくするために、三面図間のサイズを検査する。それぞれの図面から最大最小の座標を取得し、その値を基に外接矩形を生成する。三面図間において外接矩形の大きさを比較し、異なる場合、正面図の大きさを元に拡大、縮小する。サイズによる検査の例を図-2に示す。

#### b) 頂点と稜線の検査

三面図内の頂点、稜線の検査を行う。三面図において、頂点は必ず定義する稜線を持つ。また稜線の端点は、要素、あるいは要素の端点と交点を持つ<sup>2)</sup>。これらの法則を用いて、接続誤りを発見し、誤り箇所をユーザに提示し、対話方式によって修正する。修正が必要な例を図-3に示す。

#### (2) 対応点の発生

三面図では、稜線の重複によって、要素の端点が隠れている場合が考えられる。稜線の重複により隠れている端点を見つけ出す(表-1の2.3)ために、三面図間にお

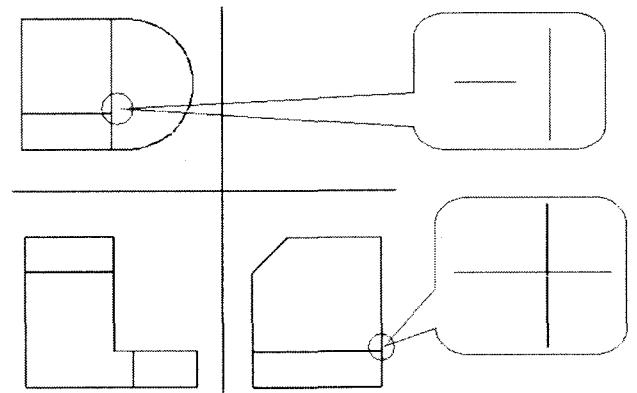


図-3 修正が必要な例

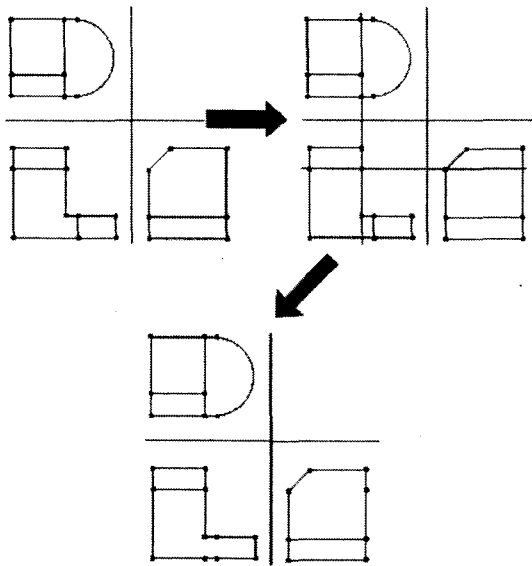


図-4 対応点発生例

いて端点毎の対応点を検索する。対応点を検索することにより、対応する端点を持ち得ない虚稜線の発見、図面データ以外のデータの発見(表-1の1.3)にもつながる。図面の精度が低いために要素の多くに対応点が見つけない場合は、対応点を検索するための閾値を設定し、再度検索を行う。稜線の重複による対応点発生例を図-4に示す。

### (3) 3次元ワイヤーフレームモデルの生成

検査済みの三面図(図-5)を配置し、法線方向に図面を押し出す。次に、押し出された全ての図面から、線分と円弧の端点の座標を取得する。そして、三面図に対して平行な要素と平行で無い要素に分けて処理を行う。3次元ワイヤーフレームモデル作成のフローを図-6に示す。

#### a) 平行な要素

三面図に対して平行な要素の端点と、他の図面から押

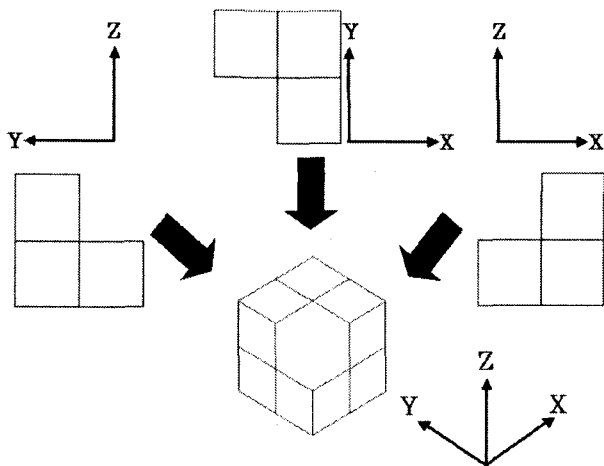


図-5 配置図

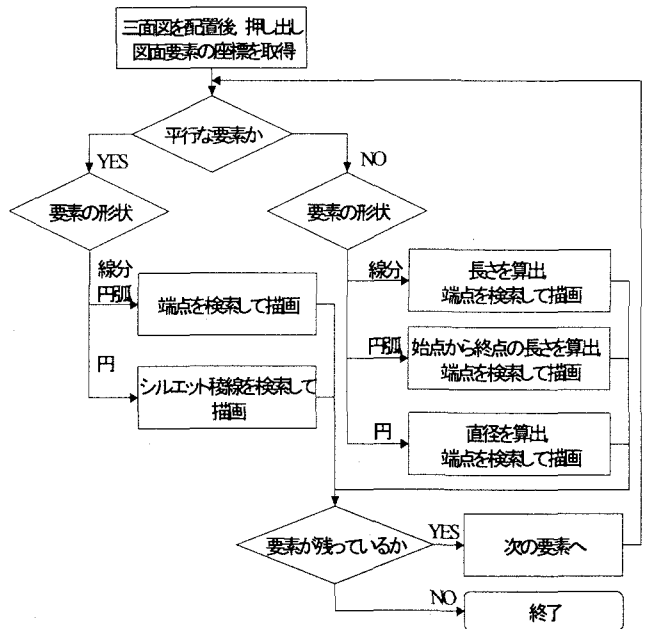


図-6 3次元ワイヤーフレームモデル生成のフロー

し出された全ての端点の座標を比較する。設定する閾値の範囲内にて両端点と一致する他の図面の座標が1点ずつ見つければ、その両端点をもつ線分、または円弧を描画する。円については、円の軌道線上に端点を持つシルエット稜線を検索する。これは、3次元ワイヤーフレームモデルにおいて、円柱、円錐など円を必要とする図形にはシルエット稜線が存在するためである。また、円に対してのみ、制約条件を設ける。本研究で扱う三面図は、3次元モデルにおいて、円が曲面上に存在しないものに限定する。

#### b) 平行で無い要素

三面図に対して平行で無い要素に注目し、三面図での存在形態を調べる。正面図、上面図、側面図における状態を調べ、線分、円弧、円であるかを確認する。要素が線分である場合、三面図からその線分の実際の長さを算出し、3次元ワイヤーフレームモデルの中で対応する端点を検索する。円弧であれば、始点から終点まで、直線で結ぶ長さを三面図から算出し、本来の円弧の形を求める。そして円弧の端点が存在する位置を検索する。最後に、円であれば、三面図から本来の形を特定し、それに対応するシルエット稜線を検索する。三面図に対して平行で無い要素の例を図-7に示す。

### (4) 三面図へ投影

(3)において、三面図から存在するすべての要素の発見を試みた。しかし、三面図には存在しない余分な要素が存在する可能性がある。したがって、生成した3次元ワイヤーフレームモデルを平行投影し、元の三面図と比較、余分な要素を削除する。ただし、シルエット稜

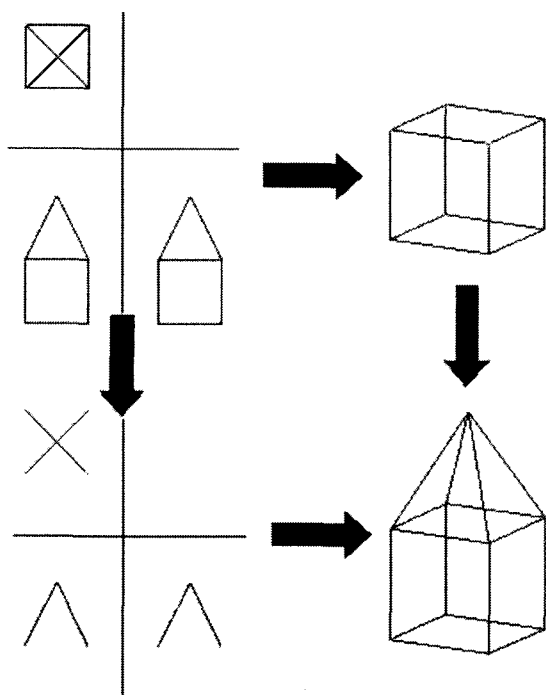


図-7 平行で無い要素への対応

線については、三面図に描かれていない場合があるため、削除しないものとする。余分な要素が存在し、削除する例を図-8に示す。

#### 4. システムの実装

##### (1) インターフェイスコンポーネント

本システムでは、2次元 CAD の操作性で3次元ワイヤフレームモデルデータを生成することができるイン

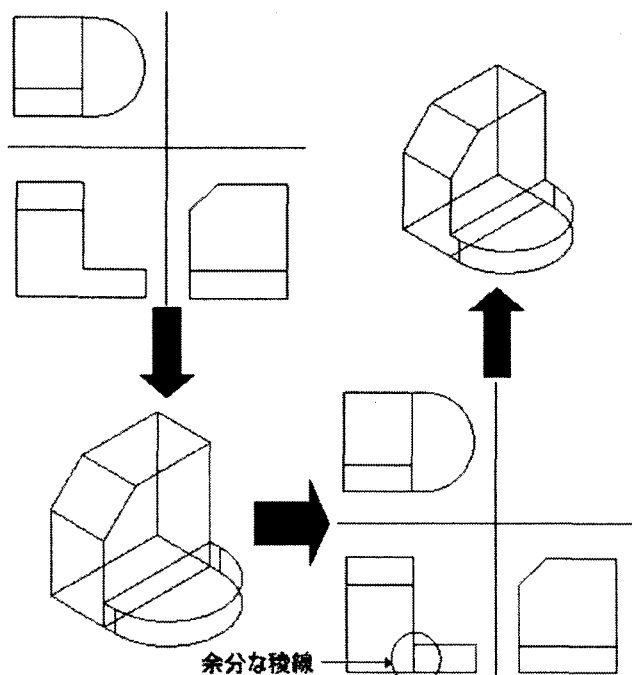


図-8 余分な要素を削除する例

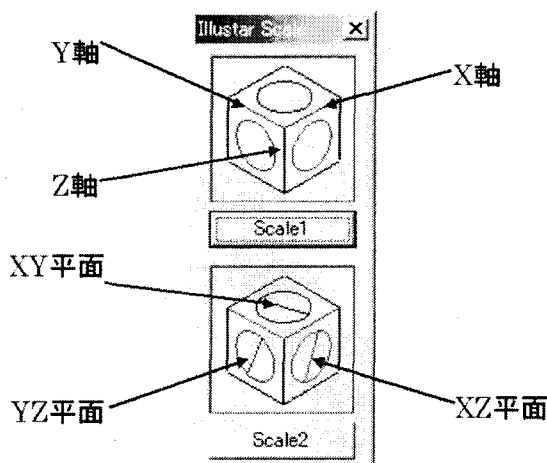


図-9 3次元情報付与機能

ターフェイスの実現を目指す。2次元 CAD の操作に慣れている技術者は、3次元 CAD の操作が困難である。通常3次元 CAD で3次元モデルデータを作図する場合、正面図、側面図、平面図を同時に確認しながら作業を行わなければならない、高度な技術が必要である。そこで、2次元 CAD の操作性を保持したまま3次元図形を生成することを考えた。2次元 CAD の操作性で3次元図形を作図するためには、図形に対して簡単に角度を付与する必要がある。また、三面図から3次元ワイヤフレームモデルデータを生成するためには、三面図の各面が正面図、側面図、平面図のどの面であるかをシステムに認識させる必要がある。

そこで、本研究では、作図する図形や三面図に対して3次元空間上の角度を簡単に付与するために、仮想的な指標として立方体を表示することを考えた。立方体の各面や軸を指定することによって3次元空間上に図形を作図し、三面図から簡単に3次元モデルが生成できる。本システムのインターフェイスは、まず1) 図面情報付与機能、次に2) 図面配置機能、最後に3) 視点変更機能から構成する。

##### a) 3次元情報付与機能

3次元情報付与機能は、作図する図形と三面図の各面に対して、角度や図面の情報を付与する。本システムにおける3次元情報付与機能を図-9に示す。3次元情報付与機能では、立方体を仮想的な指標として表示することによって、作図する図形や三面図に簡単に3次元の情報を付与することができる。

##### b) 3次元情報設定機能

3次元情報設定機能は、作図する図形と三面図の各面に対して付与する3次元情報を設定する。3次元情報は、X軸、Y軸、Z軸それぞれの回転角度と回転順序によって設定する。各軸の回転角度を設定するため、初心者でも簡単に設定することができる。本システムにおける3次元情報設定機能を図-10に示す。

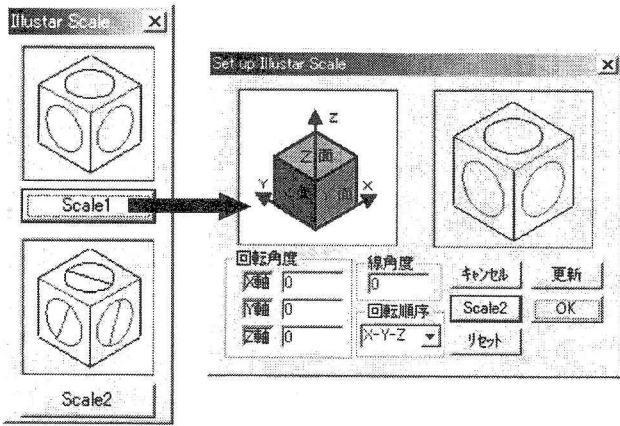


図-10 3次元情報設定機能

c) 視点変更機能

視点変更機能は、3次元情報付与機能で表示する立体の視点を変更する。視点を変更すると、3次元モデルの裏側に相当する部分を作図することができる。本システムにおける視点変更機能を図-11に示す。

(2) 3次元図形作図コンポーネント

3次元空間に直接図形を作図するために、3次元図形作図コンポーネントとして、まず1) 3次元線分作図機能、次に2) 3次元円弧作図機能、そして3) 3次元円作図機能、さらに4) 角度線作図機能を実現する。3次元図形作図コンポーネントの機能を使用することにより、2次元CADの操作性で、3次元空間に作図をすることができる。3次元図形作図コンポーネントの機能を用いて作図した図面の例を図-12に示す。

a) 3次元線分作図機能

3次元線分作図機能は、3次元空間に直接線分を作図する機能である。通常XY平面にしか作図できない線分を3次元空間に直接作図する。始点と長さを入力し、3次元情報付与機能を用いて平行な軸と軸の回転角度を入力

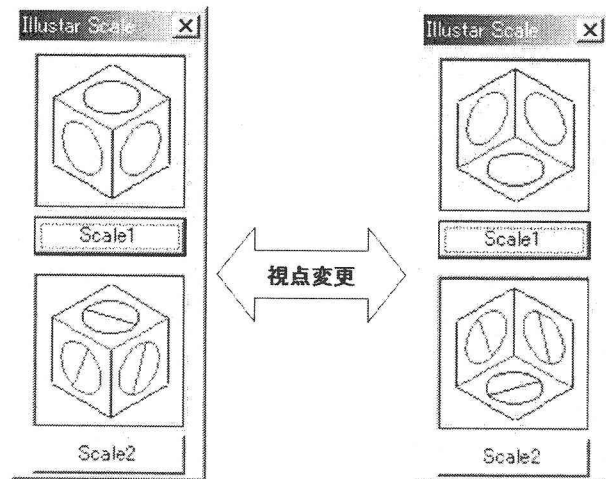


図-11 視点変更機能

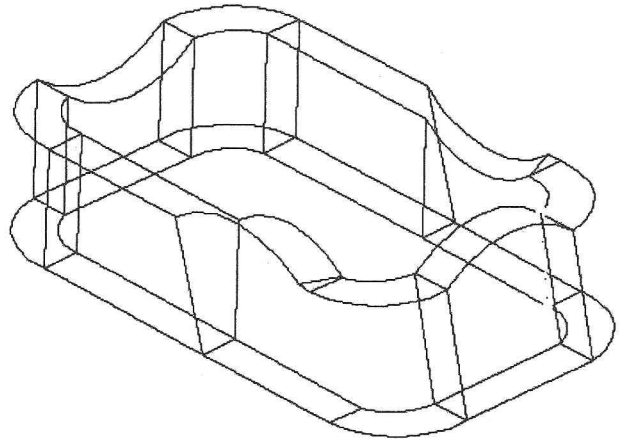


図-12 作成した図面の例

することにより、3次元空間に線分を作図する。本機能を用いて線分を作図した例を図-13に示す。

b) 3次元円弧作図機能

3次元円弧作図機能は、3次元空間に直接円弧を作図する機能である。3次元情報付与機能を用いて作図する面を指定し、3次元空間に円弧を作図することができる。本機能を用いて円弧を作図した例を図-14に示す。

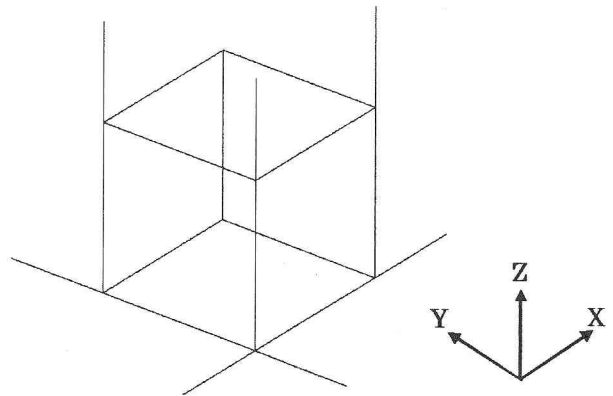


図-13 線分の作図例

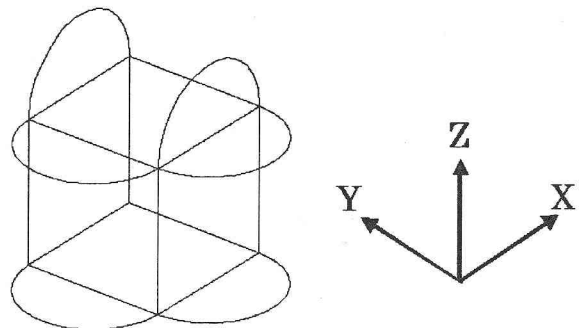


図-14 円弧の作図例

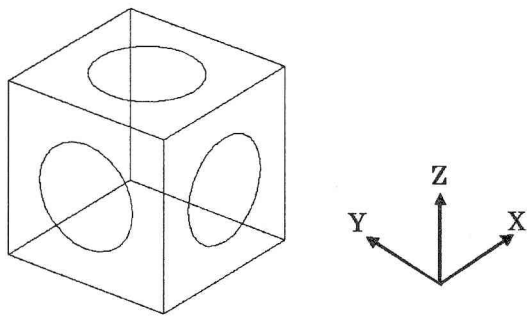


図-15 円の作図例

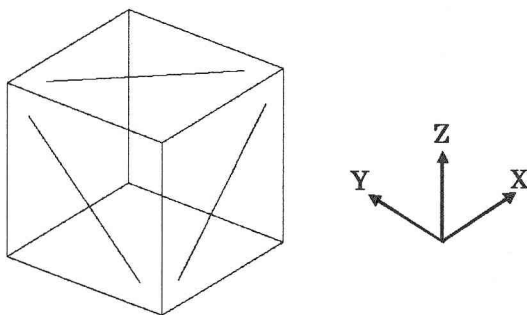


図-16 線分を作図した例

c) 3次元円作図機能

3次元円作図機能は、3次元空間に直接円を作図する機能である。3次元情報付与機能を用いて作図する面を指定し、3次元空間に円を作図することができる。本機能を用いて円を作図した例を図-15に示す。

d) 角度線作図機能

角度線作図機能は、3次元空間に線分を作図する機能である。3次元線分と異なり、軸と平行に作図するのではなく、面と平行に線分を作図する。3次元情報付与機能を用いて作図する面を指定し、3次元空間に線分を作図することができる。本機能を用いて線分を作図した例を図-16に示す。

6. 実験と評価

(1) 実験

本研究で考案した手法の有用性を検証するために、既存の3次元CADシステムを用いてPC(CPU: Intel社 PentiumM 900 MHz, Memory: 256M)上に実装した。開発にはAutodesk社のAutoCAD VBAを使用した。そして、いくつかの三面図をテストデータとして利用し、数名のCAD技術者が3次元ワイヤーフレームモデルの生成を行った。三面図からの3次元モデル創出の実行例を図-17, 図-18に示す。図-17と図-18は箱桁の三面図である。どちらのテストデータにも、シルエット稜線の無い円であるボルト穴が存在しているため、ボルト穴に関

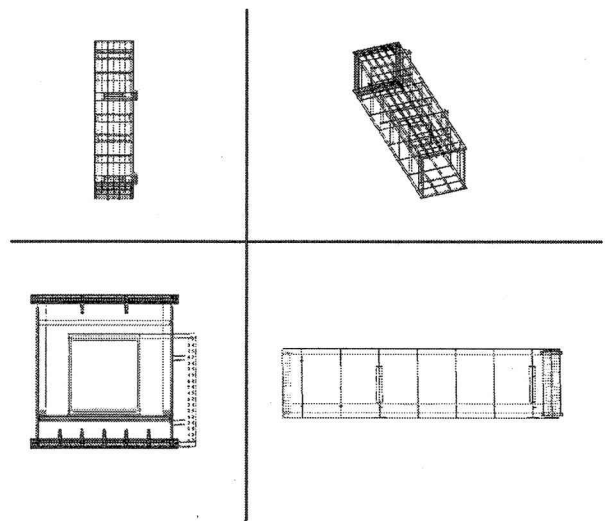


図-17 実行例

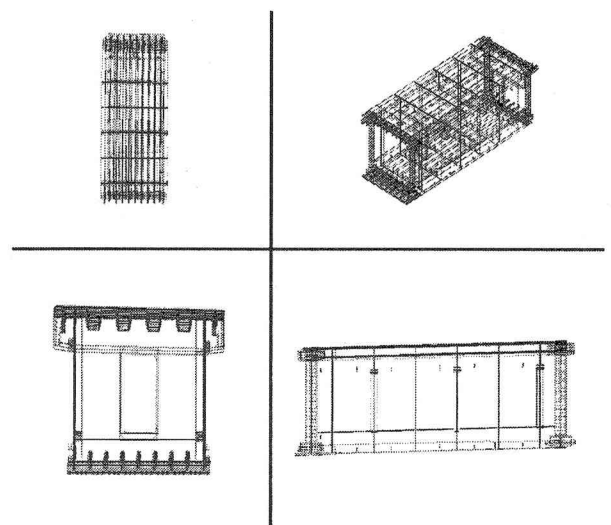


図-18 実行例

しては3次元作図コンポーネントを使用して対処した。

(2) 評価と考察

本システムを使用した技術者に意見を求めた結果、操作性、処理スピード、精度において実務に耐え得る性能を発揮することを確認した。また、稜線が多い複雑な三面図でなければ、対話部分の処理を除いて、数秒にて3次元ワイヤーフレームモデルを創出することができた。さらに、本研究では、入力三面図に対する条件を軽減し、尚且つ三面図の精度を保ち、3次元ワイヤーフレームモデルを生成できることを確認した。

三面図に対する条件としては、精度の不一致、要素の種類限定、投影図間の縮尺やサイズといった問題を解決した。また、ユーザが閾値を変更することにより、3次元ワイヤーフレームモデルの精度を調整することができた。操作性については、仮想的な指標として立方体を表示したインターフェイスを用いて解決することができた。

### (3) 今後の展開

本システムを製品のライフサイクル全般にわたって活用することにより、様々な効果が期待できる。現状、利用価値の低い既存の図面を活用し、3次元モデル作成のコストを軽減することができる。また、本システムは3次元CAD技術が無くとも扱えるため、3次元CADオペレータを育成する必要性が減少し、2次元CADオペレータを活用することができる。

一方、土木構造物の計画設計業務においても、コンピュータを利用した省力化が積極的に検討されており、コンピュータグラフィックス(CG)を橋梁の景観設計業務に用いるなど、CGの利用が数多く見られるようになってきた。道路の設計段階におけるCGの利用<sup>15)</sup>や、構造物の計画段階における景観検討への利用<sup>16)</sup>などが検討されている。計画設計以外の分野でも、橋梁メーカーでは鋼橋の建設費縮減・省力化のために仮組立シミュレーションシステムを開発<sup>17)</sup>している。また、施工シミュレーションにCGアニメーションを適用した研究や、プレゼンテーションへの利用も取り組まれている。

また、3次元モデルは、様々な分野において有効活用され、今後ますます需要が高まると考えられる。具体的には、Web上での利用やアミューズメント分野への応用<sup>18)</sup>などが挙げられる。

以上により、本研究は様々な分野に対して大変有用なものであり、他産業に対してインセンティブを与える意義のあるものであると考える。

## 7. あとがき

本研究では、素早く、正確に、三面図から3次元モデルデータを創出するシステムを開発した。三面図から要素の属性情報と端点のみを用い、存在しうるすべての稜線を導き出し、そして、条件に合致した三面図であれば、対話部分の処理を除いて、瞬時に3次元ワイヤーフレームモデルを生成することができる。なお、生成された3次元ワイヤーフレームモデルは、存在しうるすべての稜線を保持している。したがって面の作成を行い、候補立体の提示を行うなど、ワイヤーフレームモデルからサーフェイスモデル、ソリッドモデルへ変換する手法を用いることにより、より詳細な3次元モデルをユーザに提示できると考える。

### 参考文献

- 1) 坂本卓：製図学入門，日刊工業新聞社，2002年9月。
- 2) 横山正明，遠藤享，車周憲：知識ベースCAD，コロナ社，1997年10月。
- 3) 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年10月。

- 4) M.A Wesley, G Markowsky : Fleshing Out Wire Frames, IBM J.Res.Develop, Vol.24, No.5, pp.582-597, 1980.4.
- 5) MA Wesley, G Markowsky : Fleshing Out Projections, IBM J.Res.Develop, Vol.25, No.6, pp.934-954, 1981.11.
- 6) 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—, 情報処理学会誌, Vol.31, No.9, pp.1312-1320, 1990年9月
- 7) 千田豊満：三面図からもとの立体の自動復元—円柱部分を含む立体への適用—, 情報処理学会誌, Vol.31, No.9, pp.1312-1320, 1991年9月。
- 8) 伊藤潔：制約充足問題としての三面図からの物体自動合成, グラフィクスとCAD, 情報処理学会研究報告, Vol.93, No.62, pp.107-114, 1993年7月。
- 9) Z.Chen, D.Perng : Automatic Reconstruction of 3D Solid Objects from 2D Orthographic Views, Pattern Recognition, Elsevier Science Inc, Vol.21, No.5, pp.439-449, 1988.5.
- 10) V.Nagasamy, N.A.Langrana, Reconstruction of 3D objects using a kb environment, ASME Computers in Engineering 1989, Vol.1, pp.117-126, 1989.7
- 11) 柴崎理，富山健，中庭憲一，横田貴之，肥塚隆，森内直樹：三面図からの立体モデル自動復元システムの構築，グラフィクスとCAD，情報処理学会研究報告，Vol.63, No.13, pp.91-97, 1993年7月。
- 12) 青村茂，石原肇：図面の認識と立体生成，グラフィクスとCAD，情報処理学会研究報告，Vol.63, No.11, pp.75-82, 1993年7月。
- 13) 巢宇燕，渡辺崇：知識を用いて不完全な三面図から曲面をもつ立体を推定するシステム，人工知能学会誌，Vol.15, No.5, pp.904-911, 2000年9月。
- 14) 酒井健作，西原清一：特徴的幾何形状マッチングによる不完全三面図からの3次元モデル復元，グラフィクスとCAD，情報処理学会研究報告，Vol.98, No.2, pp.7-12, 2000年2月。
- 15) 新井伸博，吉田茂喜，笹川滋：3次元CADによる道路設計と走行シミュレーション，土木情報システム論文集，Vol.5, pp.1-6, 1996年10月。
- 16) ハンマード アミン，杉原健一，松本直司，若山滋，林良嗣：都市景観評価における合意形成のためのGIS，CG及びWWWの統合，土木情報システム論文集，Vol.8, pp.215-222, 1999年10月。
- 17) 仲村政彦，片岡隆之，森元大樹：橋梁部材3次元計測システム Super Brahms—鋼橋仮組立シミュレーションシステム MASSCOT 連携—，鉄構技術，鉄鋼造出版，pp.1-5, 1998年10月。
- 18) 田中成典，中川真志，早川琢哉，田口剛史，中野美紗子，辻直樹，谷川敬一郎，中村健二，竹内克明：DirectX8&VC++3Dの基礎とゲームの作り方，工学社，2002年8月。

(2004.5.21受付)