

## 言語的指示も併用した3次元モデル作成法

福嶋茂信, 美濃 導彦, 池田 克夫  
京都大学 工学部

E-Mail: fukusima@kuis.kyoto-u.ac.jp

本報告では、言語的指示と、マウスポインティングなどのウインドウシステムを用いた入力とを併用した3次元モデルの作成方法について述べる。主に曲面の生成をともなった変形に対して、「曲げる」などの形状変形のための日常的な用語をコマンド入力として用いることで変形操作を簡略化する。さらに、変形の対象やモデリングの品名から操作の選択肢を限定させたり内容を変化させるイベントドリブンな枠組みを持たせる。椅子をモデリングの例題とし、これらの機能を棒と板をプリミティブな部品とした積木システムの形で構築した。モデリングの正確さや自由度には問題があるものの、手軽な非エキスパート向けのシステムが実現できることを示す。

## A 3D Model Generation Method Using Linguistic Instructions

FUKUSHIMA Shigenobu, MINOH Michihiko, IKEDA Katsuo

Faculty of Engineering, Kyoto University

E-Mail: fukusima@kuis.kyoto-u.ac.jp

This paper presents a 3D modeling method using linguistic instructions together with usual input of CAD systems. These instructions consist of ordinary linguistic terms concerning shape deformations: "bend", "thick", and so on. By using these instructions, we can not only reduce the burden of users, but also provide event-driven interaction. that restricts the choices of the instructions or changes the contents of the instructions in accordance with what is deformed or what is modeled. Here, we choose "chairs" as the example of the modeling and implemented this method on a building block system that uses "bars" and "boards" as primitives. This system is useful enough for non-expert operators to design 3D models easily, although it lacks the abilities of accuracy and freedom of the modeling, compared with CAD systems.

## 1 はじめに

近年、コンピュータグラフィックス (CG) 技術の進歩によって3次元の形状データを扱う機会が増加している。プレゼンテーション用の資料などで3次元物体をシンボルとして用いる場合、物体の特徴的な部分をうまく表現することが重要であり、正確なあるいは細部の形状はあまり必要ない。このように、作成するモデルは大まかな形状データで十分な場合がある。

通常、3次元形状データは機械CADを用いて作成する。特にパーソナルコンピュータ上で動作する簡易機械CADシステムは、ここ数年急速に低価格化が進むと共に、グラフィカル・ユーザインタフェースが向上している。しかし、非エキスパートであるデザイナーや一般的なユーザが使いこなすためには、三面図などの幾何学の知識が必要であるので習熟に時間がかかる問題がある。そのため、大まかな形状モデルを手軽に作成できるインタフェースが求められている。

最近、新たなユーザインタフェースの研究が始まっている。たとえば、SPAUDAR[1]やDirect Deformation Method[2]のようなバーチャルリアリティ (VR) を使った入力インタフェースや、アイデアスケッチを入力とした3次元形状復元システム[3]などが提案されている。VRによるインタフェースの場合は、一般に装置が高価になることとユーザが疲労しやすいことが問題である。アイデアスケッチを入力としたシステムでは、スケッチの描き方に制約がある。

筆者らは、言語表現を用いて3次元モデルを作成することについて研究をおこなってきた[4][5]。言語表現はものごとを端的に表す場合がある。そこで、物体形状の変形操作に言語表現を活用することで、手取り早いモデリングが実現できると考える。また、言語表現が表す内容は一般に抽象的・定性的である。したがって、言語表現はモデリングの大まかな内容を与えることに向いていると考える。

本研究では、プリミティブ部品である「棒」や「板」を組み合わせる操作によって物体の3次元モデルを作成する。プリミティブ部品に対する変形をあらかじめ用意し、変形のコマンド名に「曲げる」(bend)などの日常生活で用いる用語を活用する。このような変形に関する研究として、「bend」と「twist」と「tapered」の3種類の変形を組み合わせて曲面を生成する研究[6]がある。ここでは入力の容易さに重点を置き、変形をより細かく分類し、使用頻度の高いと思われるいくつかの変形に対しそれぞれ一つのコマンドを割り当てる。このことは、変形の自由度を奪うことになるが、うまくコマンドを選ぶことで入力を簡便にする。さらに、機能的な変形として、モデリングする物体の品名(例:「椅子」)から決まる一部分の名称を用いて変形をおこ

なう(例:「脚を長くする」)。この2種類の変形において、「曲げる」、「脚を長くする」といったコマンドを選択する言語的指示と、マウスによるポインティングやスライダーによる調整などのウィンドウシステムを用いた入力とを併用する。そして、非エキスパートであるユーザのための簡易な入力インタフェースを持つモデリングシステムを実現する。

まず、どのように言語表現を簡易なモデリングに活用すればよいかを議論し、ここで用いる言語的指示の内容について述べる。次に、このような言語的指示を実現するシステムについて説明し、変形結果を示す。最後に、システムの評価について述べる。

なお、本研究はIEEE-FUZZ/IFES'95に出展したデモンシステム[7]についてまとめたものである。

## 2 言語表現の活用

これまでの研究[4][5]では、形状変形に言語表現を活用し、「少し」などの変形の程度を表す表現を用いた。本研究でも、モデリングで変形を行なうとき言語表現を用いることが多いと考え、変形の工程に言語表現を活用する。しかし、程度を表す表現はまわりくどい面があると考えて用いず、変形に関する用語をキーワードとして用いること(言語的指示)だけに絞る。

### 2.1 言語を使った入力のメリット

変形入力を言語的におこなうメリットは二点あると考える。

一点は、入力に手間がかかる変形を一つの操作で利用できる点である。たとえば、機械CADの入力インタフェースでは、あらかじめ平面上で曲線を生成しておきそれをスweepさせることで、曲面を持つ物体を作成する方法がある。この方法は、最初2次元で空間で作業し、次に3次元空間で作業する2段階の操作が必要であることと、変形の調整に2次元空間での作業に戻る必要がある場合が多いことが面倒である。また、曲面を近似するポリゴンの頂点を発生させ、直接移動させる方法もある。しかし、3次元空間で頂点の移動を入力することが難しく、ポリゴン数が多い場合その扱いが大変である。このような入力に手間取る変形に対して操作から連想する用語をあてはめることで、その変形の入力を短縮することができる。

もう一点は、ユーザとシステムのやりとりをイベントドリブンな組み立てにすることができる点である。変形は、「何を」「どのように」変形するかで表すことができるので、一つの変形を変形対象と変形操作の組合せで入力する。この他に何をモデリングするか(品名)も変形の内容を決める情報になる。「脚を細くする」と言うが「脚を薄くする」とは言わないよ

うに、変形操作は変形対象によって限定される。品名によっても変形可能な変形対象と変形操作が限定されることがある。そのため、品名や変形対象に応じて後に続く変形操作の候補を決定する。また、品名や変形対象に応じて同じ操作でもその内容が異なる場合があるので、変形操作が意味する変形の内容を、品名と変形対象に応じて変化させる。もしもこのような限定や変換がユーザの思考に近いならば、使い易い入力インターフェースが実現できる。

## 2.2 積木システムへの応用

習得が速く簡便である入力を目指し、幼少期の体験を持つ積木遊びを延長するようなモデリングシステムを構築する。積木からまず連想されるプリミティブ部品が直方体であることと、直方体の場合は面の法線方向が一意に決まるので接続がユーザにとって分かり易いことから、直方体を主なプリミティブな部品に選ぶ。そして、プリミティブ部品の変形を言語的指示を使っておこなうことで、より複雑な形状をモデリングする。

変形については、プリミティブな部品に対する変形とモデリングする物体に対する変形の2種類を用意する。例えば「曲げる」などの変形は、ほとんどの物体に対して適用できる。しかし、「椅子を曲げる」のように複雑な形状の物体に対して用いると、複数の解釈が生じる問題がある。そこで解釈が限られるプリミティブ部品にだけ適用する。一方、物体に対する変形については、物体の品名(例:椅子)から決まる変形(例:脚を太くする)をおこなう。なお、言語表現の入力については音声認識や構文解釈はせず、ウィンドウシステムのメニューからの入力で代用し、指示をコマンドのメニュー選択でおこなった。

## 3 言語的指示

ここでは、プリミティブ部品に対する変形と、品名を持つ物体に対する変形のそれぞれについて述べる。プリミティブ部品の変形については、変形についての調査結果から有効な変形を選択する。

### 3.1 変形に関する調査

ユーザが直方体に関してどのような変形を必要としているかを調査するため、被験者を用いた実験をおこなった。実験の内容は、被験者に対して棒状の直方体を示し連想する変形を8種類描かせるものである。ただし、アフィン変換で記述できるような線形な変形を除く非線形な変形に限った。被験者は、20歳近辺の学生、あるいは20歳台または30歳台の事務職の会社員の合計58名を対象とした。全サンプルを次の3項目に分類し、それぞれが全サンプル数に占める比率

を示した。

- 現状の機械CADで容易に入力できる変形(既存の変形)。
- 元の直方体から余りにかけ離れており、新たに作成する方が容易であるような変形(変形困難)。
- 上の2項目に含まれない変形(その他)。

この調査の分析結果を表1に示す。

現状の機械CADで容易に入力できる変形としては、次に挙げるものがある。

- 辺の長さや頂点の位置を変える変形。
- 集合演算や平面による分割などによる変形。  
ソリッドモデラーにおいて既に実用化されており、容易に物体を分割したり新たな面を生成したりすることができる。
- フィーチャベースモデリング [8]。  
「面取り」、「フレット」などの機械設計において頻繁に現われる加工をコマンドとしておこなえるようにした変形である。

全体の45.6[%]の「その他」にあたる変形には、曲面を生成する変形が多く含まれる。そこで、本研究では曲面を生成する変形を言語的指示を使って実現する。

表1 直方体の変形に関する調査実験

既存の変形	変形困難	その他
39.0%	15.4%	45.6%

### 3.2 曲面生成する変形の分類

直方体に対して曲面を生成する変形としてどのような変形があるかを系統立てて考える。前述の調査で得られたサンプルをもとに次の4項目によって分類する。これによって「その他」のサンプルの73[%]が分類できた。

- 対象の面数。  
同時にどれだけの面(向き)に対して変形を行なうか(図1(b)-(d))。
- 変形の向き。  
変形方向が面によって同方向か逆方向か(図1(e),(f))。
- 変形の方向。  
1方向か2方向(放射状)か(図1(g),(h))。

● 固定端・自由端。

変形方向の両端が自由端であるか固定端であるか (図 1(i)-(l))。

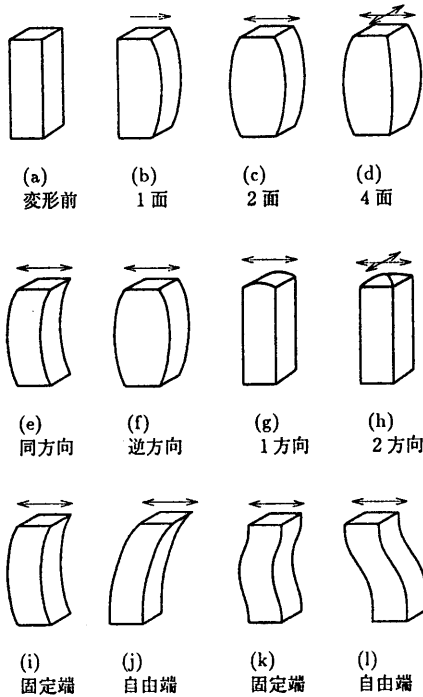


図 1 変形の分類

3.3 言語表現のあてはめ

前述の分類項目の組合せで一つの变形操作を定義できる。しかし、これらの変形のすべてに言語表現をあてはめることは難しい。使用頻度に差があると考えられるので、調査サンプルに現われた頻度の高い操作を複数選択した(表 2)。選択した操作は、「その他」のサンプルの 64[%] にあたる。

3.4 プリミティブ部品の変形

プリミティブ部品のバリエーションをあらかじめある程度持たせた方が、入力の手間が少なく済み、変形の対象から操作の選択肢が決まるイベントドリブンの枠組みを実現しやすいと考えた。「椅子」をモデリングの対象とし、「棒」と「板」のそれぞれに対して、「丸い」部品と「四角い」部品の合計 4 種類のプリミティブ部品を適当に選択し用意した(図 2)。

これまでに述べた曲面生成のための変形操作に、前述の調査結果を参考にいくつかの既存の変形方法を

表 2 棒に対する変形の内容

変形操作	面数	向き	方向	端点
凹凸	4	逆	1	固定
曲げ	2	同	1	固定
反り	2	同	1	自由
厚み	2	逆	1	固定
尖らせ	1	—	2	固定
引っ張り	1	—	1	固定

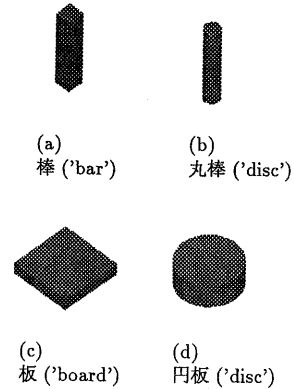


図 2 プリミティブ部品

加えて、最終的な操作の項目にする。これによって、全調査サンプルの 41[%] の変形が実現可能になった。「棒」以外のプリミティブ部品については、変形対象から変形操作が限定されるイベントドリブンの考えから、別々に適当な操作の項目を選択した。表 3 はそれぞれの部品に対して用意した変形操作である。

3.5 機能的変形

品名を持つ物体を作成すると、その品名を利用した変形が可能になる。たとえば、「椅子」の場合は「脚」や「座」という機能の名称(機能名)を用いて変形する。このような機能名を利用することで、変形の向きなどの指定が不要になり、ユーザの労力を低減できる。このような変形をここでは機能的変形と呼び、機能名とそれに対する変形名の組み合わせの形で表 4 に示す。ここでも、変形操作を変形対象によって限定する。

4 物体の記述

ひとつの物体を複数のプリミティブ部品と部品間の接続関係で表現する。入力インタフェースの使い易さ

表 3 プリミティブ部品に対する変形

変形対象	変形操作
棒 (bar)	曲げ (bend) 厚み (thick)
	反り (warp) 引っ張り (swell)
	尖らせる (sharp)
	凹凸 (uneven) 非対称 (asymmetry)
円柱 (column)	尖らせる (sharp) 凹凸 (uneven)
板 (board)	曲げ (bend) 厚み (thick)
	穴開け (make a hole)
	凹凸 (uneven) 引っ張り (swell)
	非対称 (asymmetry)
丸板 (disc)	穴開け (make a hole) 凹凸 (uneven)

表 4 機能的変形

機能名	変形操作
椅子全体 (whole)	大きさ (large-small) 高さ (tall-low)
	幅 (wide-narrow) 奥行き (deep-shallow)
脚 (legs)	長さ (long-short) 太さ (thick-thin)
	丸さ (round-square) 大きさ (large-small)
	厚み (thick-thin)
座 (seat)	幅 (wide-narrow)
	奥行き (deep-shallow)
	丸さ (round-square)
背もたれ (back)	大きさ (large-small) 高さ (tall-low)
	幅 (wide-narrow) 奥行き (deep-shallow)

を補助するため、過去の変形や接続の履歴を考慮した入力ができるように、相対的なパラメータを用いて部品や接続関係を記述する。

#### 4.1 相対的なパラメータの使用

物体の一部品を変形する場合、他の部品への影響をどのように与えるかは大事な問題である。接続関係を実際の長さで表すと、一つの部品の変形によって不自然な位置関係となることがある。特に部品の機能を考慮する場合、このような問題は多く発生する。たとえば、「座を大きくする」変形をおこなったとき、「脚」が座の端や中央に片寄って配置されると不自然である。そこで接続の位置情報を接続面の大きさを基準として相対的に表す。接続方向に関しても接続面間の相対的な角度で記述することで、変形の影響を受けて不自然になる割合を少くする。

変形についても、相対的なパラメータを用いて調整する。位置や範囲を示す変形のパラメータが絶対的であると、部品のサイズを変えたときに不自然になる場合が多い。そのため、変形を施す部品や面の情報を基に変形量や変形の基準位置などを決定する。

このように、基本的に相対的なパラメータを用いることで、過去の操作を考慮し、不自然な接続や変形を減少させる。

#### 4.2 部品の記述

一つの部品データは次の情報を持つ。

1. 部品の種類や名称。
2. 大まかな形状を定めるパラメータ（主パラメータ）。  
辺の長さの他に、「丸み」、「上下比」などがある。
3. 「曲げる」などの変形を決定するパラメータ（従パラメータ）。  
言語的な指示による変形は、主にこの従パラメータを変化させる。

変形を調整するパラメータの種類や基準として用いる長さの種類、あるいはそれらの個数は、どのような変形かで変化させる。代表例として「棒を曲げる」変形について説明する。中心位置と範囲と程度を示す相対的なパラメータ（それぞれ、 $r_{cnt}$ ,  $r_{rng}$ ,  $r_{deg}$ ）で表現する。図 3 に示すように、変形のための制御点を決定する実際の中心位置 ( $L_{cnt}$ )、範囲 ( $L_{rng}$ )、程度 ( $L_{deg}$ ) は、変形する面の辺の長さ ( $SL_H$ ,  $SL_V$ ) を基準にする。

$$L_{cnt} = SL_H r_{cnt} \quad (1)$$

$$L_{rng} = SL_H r_{rng} \quad (2)$$

$$L_{deg} = SL_V r_{deg} \quad (3)$$

こうして得た制御点と固定点をもとに、補間処理によって疑似曲線を生成し疑似曲面を張る。補間は、簡便性と複数の変形が重なった場合の細部の変形を重視して Subdivision 法 [9] を用いた。生成する補間後の点数が所定値 (25) 以下になるように補間処理回数を制御した。また、Subdivision 法で用いる重みの値は一定値 (1.0) とした。なお、他の変形についても基本的に中心位置、範囲、程度の 3 種類のパラメータを用いた。

#### 4.3 接続関係の記述

接続関係を次の情報で決定する (図 4)。

1. 接続する側の部品 (子部品) の接続面と接続位置。

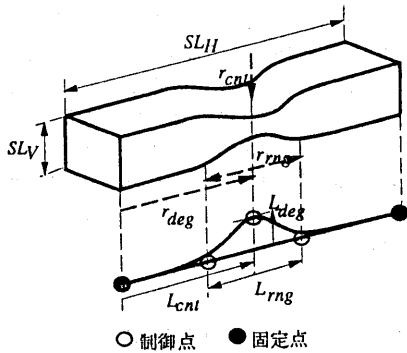


図3 部品間の接続関係の記述

2. 接続される側の部品（親部品）の接続面と接続位置.

たとえば親部品の場合、図4(a)のように、接続位置を示すパラメータ  $r_H$ 、 $r_V$ と基準となる辺の長さ  $SL_H$ 、 $SL_V$ から、実際の位置  $P_H$ 、 $P_V$ を次のように与える.

$$P_H = SL_H r_H \quad (4)$$

$$P_V = SL_V r_V \quad (5)$$

3. 接続方向を示す角度と貫通度.

- $\theta_{rl}$ : 子部品を倒す方向を示す角度.
- $\theta_{ud}$ : 子部品を倒す角度.
- $\theta_{sp}$ : 子部品を自転させる角度.

ただし、基準となる接続方向は、親部品と子部品の接続面の法線方向を同じになるように決定する.

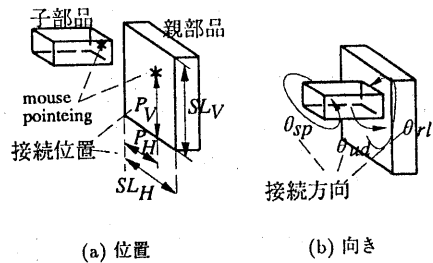
- $r_{pierce}$ : 貫通度.

図4(c)に示す通り、実際に貫通する長さ  $L_{pierce}$ は、接続方向の二辺の長さ  $LS_{child}$ 、 $LS_{parent}$ を基準とし下式のように表す.

$$L_{pierce} = (LS_{child} + LS_{parent}) r_{pierce} \quad (6)$$

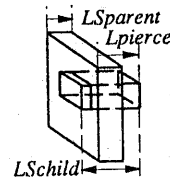
## 5 インプリメンテーション

この積木システムを、グラフィックスワークステーション TITAN2 (クボタコンピュータ製) をプラットフォームとし、AVS (Application Visualization System) 上にインプリメンテーションした。言語は英語を用いた。変形のための入力があるたびにすべての部品の描画に必要なポリゴンデータ (B-rep で記述) を計算するが、十分な応答性を確認した。



(a) 位置

(b) 向き



(c) 貫通度

図4 部品間の接続関係の記述

### 5.1 システム外観

図5に画面レイアウトを示す。部品を組み立てる積木に対するイメージを活かすため、変形用ビューワー (ビューワーA) と組み立て用ビューワー (ビューワーB) の2枚のビューワーで構成する。言語的指示は、操作に応じて変化する画面左のメニューあるいはポップアップメニューを用いる。

また、言語的指示以外の情報入力には、それぞれの情報の入力の容易さからスライダー入力やマウスによるポインティングなどを用いる。具体的には、変形や接続の入力を行う場合のパラメータ調整は、調整の容易さからウィンドウシステムのスライダーを用いる。そして、ビューワー上の物体表面の一点の位置や面の選択は、入力の容易さからマウスのポインティングでおこなう。新規物体を登録する場合などシステムに名称が入っていない場合は、タイプイン用ウィンドウを使ってキーボード入力する。

### 5.2 変形例

#### 1. プリミティブ部品の変形.

「棒」に対する変形例を示す。図6(a),(b)は、それぞれ主パラメータである「丸み」と「上下比」を変化させた例である。図6(c)-(g)は、言語的指示によって従パラメータを変化させたときの変形例である。

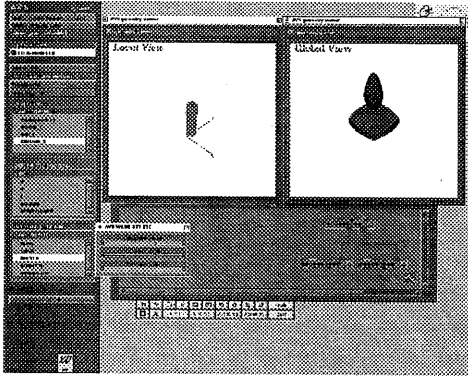


図5 画面レイアウト

## 2. 物体の一部品の変形.

図7(a)-(c)は、椅子の背もたれに「穴開け」と「引っぱり」の変形をおこなった例である。ビューワーBにある椅子(図7(a))に対し、椅子の背もたれの部品をビューワーAに移して変形した後(同図(b)), 変形した部品をビューワーBに戻した(同図(c)).

## 3. 機能的変形.

どの部品がどの機能を持つかを自動的に解析することも考えられるが、ここではユーザが手動で登録する。図7(d)は、椅子の「脚」を「太く」かつ「四角く」機能的変形した例である。

表5 棒を曲げる操作の比較

	機械CAD	本システム
新規作成	曲線入力 + スウィープ加工	「棒」呼びだし + 「曲げる」変形
変形	頂点の追加・修正 または 作業やりなおし	「曲げる」変形

## 6 評価

機械CADと性能を比較することで本システムを評価する。「棒を曲げる」変形を例題に選び、比較結果を表5に示す。なお、評価にはパーソナルコンピュータ上で動作する市販の3次元モデラーを用いた。

新規に部品を作成する場合、機械CADでは、折れ線やスプライン曲線などを使って2次元平面に疑似曲線を作成し、その後スウィープ機能を用いて厚みを持た

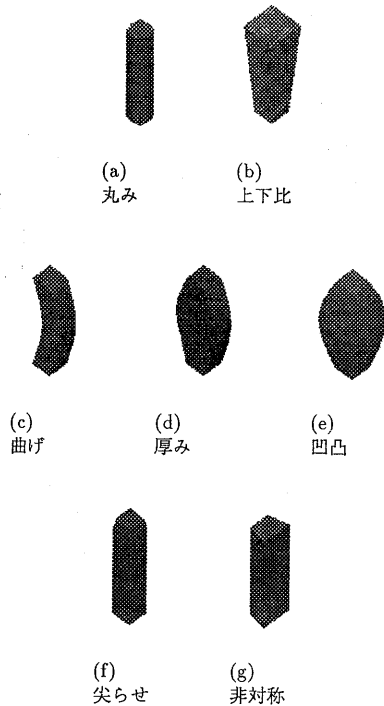


図6 棒に対する変形例

せることで3次元化する。一方、本システムでは、プリミティブ部品である「棒」を呼びだし、「曲げる」変形をおこなう。

この他に、すでに存在する物体を変形する場合がある。機械CADで変形する場合は、頂点を生成・移動させることも考えられるが、上述の手順を用いて新たに作成の方が早い場合が多い。一方、本システムはパラメータの調整でおこなうことができる。

逆に、本システムの短所としては、プリミティブ部品の種類と変形ができる範囲が限られているので自由度が低いことと、パラメータで曲面を表現するので、通常の座標値入力と比較して正確な入力ができないことがある。また、変形を前もって準備する必要からシステムがソフト的に大きくなる。これらをまとめると表6のようになる。

## 7 おわりに

本報告では、言語的指示をウィンドウシステムを使った入力と併用した積木システムについて述べた。曲面の生成を伴う変形や、物体の機能の名称を使った機能的変形を日常的に用いる表現をキー入力とした言

表 6 機械CADとの性能比較

	機械CAD	本システム
コマンド数	少	多
パラメータ	なし	あり
作業空間	2次元と3次元	3次元
修正作業負荷	大	小
幾何知識の要求	高	低
自由度	高	低
正確さ	高	低
システムコスト	低い	高い

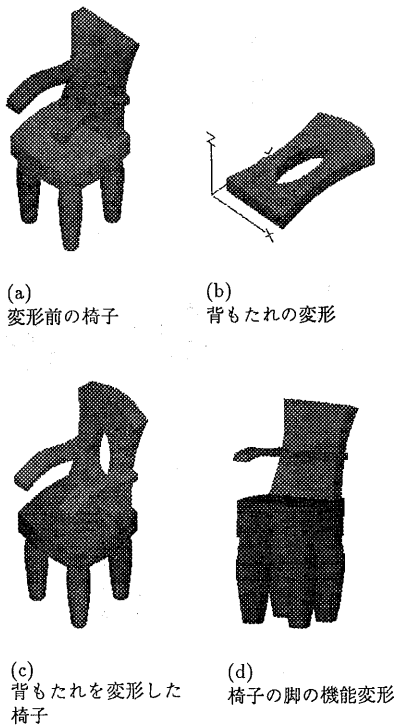


図 7 椅子の変形例

語指示でおこなうことで、変形操作を容易にした。さらに、モデリングの品名や変形対象によって変形操作を限定・変化させるイベントドリブんな仕組みを用いた。また、相対的なパラメータを用いることで過去の変形や接続の履歴を考慮した。

機械CADと比較すると、曲線作成などの幾何的な操作が不要でラフなモデルが容易に作成できる点、物体の一部分の変形や変形の微調整に対して操作性が良い点が長所である。反面、変形の自由度と部品の種類があらかじめ決まっているため、微妙なあるいは自由なモデリングができない欠点がある。また、実用性を考えると集合演算などの既存の機能を付加する必要があるだろう。

今回は「棒」と「板」をプリミティブな部品としたが、今後は「楕円体」や「カップ」などの曲面を多く持つプリミティブ部品を拡充して行きたいと考えている。

#### 参考文献

- [1] 佐藤, 平田, 河原田: 空間インタフェース装置 SPADARの提案, 信学論 (D-II), J74-D-II, 7, pp.887-894, 1991-07

- [2] 山下, 福井: 形状の直接変形操作手法DDMの提案—2次元DDM—, 信学会論文誌 Vol.J76-D-II, No.8, pp.1780-1787, 1993.
- [3] 明尾, 橋本, 小林, 濵澤: アイデアスケッチからの3次元形状自動復元システム, 第9回 NICOGRAPH 論文コンテスト論文集, pp.55-65, 1993-11.
- [4] 福嶋, 美濃: ビジュアルフィードバックによる物体登録システム, 3次元画像工学コンファレンス'94 pp.123-128, 1994.
- [5] 福嶋, 美濃: 言語表現を用いた物体登録システム, 第10回 NICOGRAPH 論文コンテスト論文集, 1994.
- [6] Alan, H.Barr: Global and Local Deformation of Solid Primitives, Computer Graphics, 18, 3, July, 1984.
- [7] S.Fukushima, M.Minoh: Flexible Building-block System Using Linguistic Expressions, IEEE-FUZZ/IFES'95 Demonstration, Vol.5, pp.16-17, 1995.
- [8] 日経CG: CADの基礎知識, 日経BP社, pp.70-74.
- [9] 荻原, 阿部, 清水, 古川, 伊藤: 宝飾工芸品のCAD/CAMシステム (第3報:自由曲面の処理アルゴリズム), 第9回 NICOGRAPH 論文コンテスト論文集, pp.67-74, 1993.