

多面体を用いた 3次元形状デザイン手法

三輪 道雄、小山 隆正、加藤 昌央

miwa@trl.mei.co.jp, oyama@trl.mei.co.jp, mkato@trl.mei.co.jp

松下電器産業(株)東京情報システム研究所

1993年1月14日

概要

3次元の形状を操作するインタフェースについて、3次元形状のデザイン過程を考察し、それぞれの過程におけるインタフェースの特徴と望ましい姿について検討した。3次元形状のデザイン過程では、具現化の段階と設計の段階という特徴の異なる2つの操作過程がありそれぞれに適したインタフェースがある。これらの過程に適して構成されたインタフェースを合理的に結びつける手法として、道具メタファ素材メタファを用いる。最後に、この様な考えに基づいて作成した、多面体の集合によって3次元形状を作成するPLOTSシステムについて述べる。

A 3D shape manipulation methods using polyhedrons

Michio Miwa, Takamasa Oyama, Masao Kato

Matsushita Electric Industrial Co, Ltd.,

Abstract

In this article two processing stages of 3D shapes are described. The one is rough designing process and the other is precise designing process. We need suitable interfaces for these stages separately. For designing 3D shapes using these interfaces, an effective architecture which uses a concept of a tool metaphor and a material metaphor is mentioned. Using this architecture, a 3D designing system which called PLOTS is mentioned. PLOTS manipulate polyhedrons, namely modifying, scaling, rotating and connecting polyhedrons.

1 はじめに

CADやコンピュータグラフィックスの分野においては、3次元形状を思いのまま自由にデザインする事が重要である。3次元形状を操作するインタフェースを構築する場合は、

(1) 3次元形状の作成がどのような過程で行なわれるかを検討しそれぞれの過程毎に最適なインタフェースを提供すること、(2) 操作性の良いデータの表示方法や変形方法を提供すること、(3) これらを満たすためのシステム構成法について検討する必要がある。

本稿では、3次元形状をデザインする過程を思い描いた図形をとりあえず現実の形にする具現化の段階と、具現化したものを精密化して目的とする用途に合うものにする設計の段階に分けてそれぞれのインタフェースの特徴について考察する。次に、タイプの異なったインタフェースを使用して3次元の形状を扱うシステムを作成する場合、操作する側の環境と、操作される側のデータを分離する手法について検討する。さらに、このようなシステムの実現例として、3次元の形状を多面体の集合として表現するシステム(これをPLOT Sと名付けている)を作成したので、その操作性についても触れる。

なお、本報告は昨年5月、本研究会で発表したもの[三輪 92]を拡充したものである。先回の報告では、VRの技術を用いて大まかに3次元形状を操作する手法について述べている。今回の報告は、マウスやキーボードといった入力デバイスを用いる様にした点と、3次元形状の加工変形操作を拡充したこと、さらにタイプの異なったインタフェースを融合することの効果について述べている。

2 3次元形状をデザインする過程

3次元形状をデザインする場合は、思い描いた図形を目に見える図形として表現し、この絵をもとに精密な図形を作成する事が多い。ここでは前者を具現化の段階と呼び後者を設計の段階と呼んで、それぞれの特徴と必要となるインタフェースの特徴について述べる。

2.1 デザインにおける2つの段階

(1) 具現化の段階

思い浮かべた形状をとにかく目に見えるものにする段階。あるいは、ラフスケッチのようなものをしてながらだんだん目的とする形状に近づけて行く段階。この段階では、あまり精密な形状は必要でなく大まかなものが出来ればよい。また、簡単な操作で思い浮かべた形状を作成して行くことが出来る事が大切である。

(2) 設計の段階

具現化の段階で出来た大まかな形状をもとに、細かな設計を行なう段階である。この段階では3次元形状のサイズや角度などを精密に入力する必要がある。また、曲面を持つ形状では、微妙な曲線情報を入力する必要がある。

2.2 それぞれの段階に望まれる操作環境

2.2.1 具現化の段階に望まれる操作環境

(1) 大まかな操作で形状が扱えること

ペン入力や、手振りを使った直接的な入力が有効である。

(2) サンプルとなるデータをたくさん持っていること

何もない状態から形を作っていくのではなく、従来作成したものや、外部からサンプルとなるものを取り寄せて利用できることが有効である。

(3) 位置関係や構造が理解し易いこと

物体を構成する部品間の位置関係や、物体の構造が容易に入力できること。

以上の点から、具現化の段階においてはデータグローブや3次元マウスのような3次元を直接操作可能なデバイス環境が適していると考えられる。

2.2.2 設計の段階における操作

(1) 形状が数値的に把握されていること

設計したものを実際に工作機械などで作成する場合は、形状の各部所の大きさが数値的に明示されていなければならない。曲面を持つ形状の場合は、曲面データが必要である。

(2) 機能が豊富であること

設計のための豊富な機能が準備されていること。

以上の事から、設計の段階においては、マウスやキーボードのような、数値を直接入力したり、他種類の機能から特定の機能を選択しやすいデバイス環境が適していると考えられる。

3 道具メタファと素材メタファによる3次元形状操作インタフェース

本章ではタイプの異なったインタフェースを切り替えたり、同時に使用しながら3次元の形状を取り扱うための手法として道具メタファと素材メタファを用いることについて述べる。

目的に応じて3次元形状を操作するインタフェースを変えることは効果的であると考えられるが、3次元のデータ構造自体は変える必要がない。操作の段階に応じて形状の変形が大まかであったり、精密であったりするが、データの変更自体は幾何学的な法則にしたがって行なわれる。そこで、操作するインタフェースの側を道具メタファと考え操作されるデータ側を素材メタファと考える。以下に素材メタファと道具メタファについて述べ、システムの構築法について述べる。

3.1 道具メタファと素材メタファ

(1) 道具メタファ

ユーザの操作するもの。ユーザはこれを見るところの様な操作が可能かを理解することが出来る。道具はユーザの操作内容を素材に伝える。

(2) 素材メタファ

ユーザの操作対象となるもの。道具からの操作内容を受け入れて、素材独自の変形をする。すなわち、素材は自立的に振舞う。

3.2 オブジェクト指向によるメタファの実装

道具・素材メタファを実現するためにオブジェクト指向的なプログラミング方式を用いる。オブジェクトは道具メタファ素材メタファ

をそれぞれシミュレートする道具オブジェクト、素材オブジェクトがあり、この他に道具メタファ、素材メタファを表示する表示オブジェクトや、システム全体を管理する管理オブジェクトがある。

4 多面体を用いた3次元形状操作

道具メタファと素材メタファの概念を用いて、実際に3次元形状の作成するシステムを作成したので、これについて述べる。このシステムをPLOTSと呼んでいる。PLOTSでは、数種類の多面体の組合せを用いることにより、3次元形状を作成する。

4.1 多面体の集合を用いた3次元形状設計

本手法では、4面体、5面体、6面体（これらを基本立体と呼ぶ）を用いて3次元形状を作成する。3次元の形状を作成する場合は、これらの基本立体の形状を変化させたり組み合わせたりする事によって行なう。このようにすれば、積木を積むようにして徐々に目的とする3次元形状を作っていくことが可能である。また、この様にして出来た多面体からは、曲面データも比較的容易に作成することが出来ると思われる。

4.2 道具オブジェクト

PLOTSでは、操作の段階に応じて画面のレイアウトが変わる。それぞれの画面毎にアイコンや操作ウインドウが配置されている。アイコンを選択したり、操作ウインドウ内でマウスを操作するとそれに応じた関数が起動される。この時、3次元形状の変形を伴う操作であった場合には、その操作内容を示すメッセージを生成する。PLOTSでは、この様なウインドウやアイコンおよびそれに付随した関数によって道具オブジェクトを構成している(図1)。

4.3 素材オブジェクト

基本立体によって構成される3次元形状はそれぞれが素材オブジェクトになっている。素材オブジェクトから送られて来るメッセージによってそれぞれの素材オブジェクトは自立的

に変形を行なう。また、基本立体の集合で構成された構造物オブジェクトもある。さらに、立体を接合したり切り放したりする道具管理オブジェクトもある。

4.4 基本立体の操作

基本立体および構造物の操作について以下に述べる(図2)。

(1) 基本立体の変形

PLOTSでは4面体、5面体、6面体を基本立体としてこれらの集まりで3次元の形状を作成する。これら基本立体は、それぞれの立体を構成する面が常に平面を保つ様に変形を行なう。立体の変形は頂点、稜線および面を指定した後、これらの位置を移動することにより行なう。

(2) 面の引き延ばし

面の引き延ばし機能は、基本立体の面の一つを掴んで移動させこの面の軌跡を新たな立体とする手法である。次々に面を引き延ばす事により、比較的複雑な立体でも頂点の座標などを1点1点変更していくより、手早く作成することが可能である。

(3) 立体の接合

立体の接合は複数の基本立体をつなげて一つの立体とするものである。接合された立体は構造物として扱われる事になり、立体の移動、回転、拡大縮小は構造物の単位で行なうことが可能になる。

(4) 立体の回転

立体の回転を行なう。現在のところは水平方向のみの回転が可能になっている。回転する際、回転の予測表示を行なう。構造物の場合、予測表示は構造物を構成するものの内から基本立体の一つだけワイヤフレーム表示することによって行なう。

(5) 立体の拡大縮小

基本立体または、構造物の拡大縮小を行なう。

4.5 多角柱素材

一般的な素材とは別に多角柱素材がある。これは、平面的には複雑な物体でも、上下方

向には一定の高さを持つような立体を簡単に作成するためのものである。多角柱素材は平面上に任意の数の点を描画しこれをドロネー三角形に分割する。次にこの三角形の中から必要な三角形のみを残す。最後に残った三角形に厚みをもたせることによって立体を構成する。

この操作によってつくられた3次元形状は、三角柱の集合体になっているため、他の立体と同様に扱うことが可能である(図3)。

5 評価

3次元形状を操作するシステムを道具と素材の関係で記述することは、システム設計や作成を容易にしている。また、基本立体を用いて3次元の形状を作成する手法は、最終目的となる形状が明確でなくても、曖昧な形状から次第に精度の高いものを作成して行くことが出来るため、思いついた3次元のイメージを具体化して行く際便利である。

5.1 道具部と素材部に分けた効果

オブジェクト指向的なプログラミングスタイルを用いた場合、各オブジェクト毎にデータが隠べいされるため、(1)オブジェクト毎に独立に設計・作成したり、(2)実行時に他のオブジェクトから悪影響を受ける危険がないことが上げられる。PLOTSでは、現在C言語を用いているため、(2)の様な効果はないが、(1)についてはかなりの効果を発揮している。

例えば、今回のシステムはもともとデータグループで3次元の形状を取り扱うシステムを改良して作成したもので、マウスやキーボードを使用する環境に変更した。この様なインタフェースの大幅な変更の際しても、3次元形状を管理する素材の方はほとんど変更する事なく使用することが出来ている。

また、形状を移動したり変形させるとき、マウスやキーボード入力の場合に応じて使い分ける事があるが、素材に送るメッセージは同じであるため、素材側はインタフェースを特別に意識する事なくプログラミングをする事が出来る。

また、素材に様々な属性を与えて、その変形の様子をシミュレートしたい場合でも、道具部

分から送られて来るメッセージを受け付けるインタフェースを作成すれば良いので、ウィンドウ構成やボタンなどを用いて画面インタフェースを作成する必要が無い。また、操作デバイスも様々なものを試すことが容易である。

素材を表示する場合はグラフィックスライブラリーを用いている。この際、素材の持っている3次元形状データはB-repsデータ構造を用いたソリッドモデルになっており、表示オブジェクトはこのデータ構造を見て、道具部で指示された視点や倍率に応じて素材を表示する。従って、新しい属性を持った素材(例えば、曲面を持った素材)を導入する際は、受け入れのメッセージに対する形状データの変形方式を記述すればすぐに操作可能になる。

5.2 基本立体の組合せによるデザイン手法の効果

PLOTSでは、3次元形状を操作する要素の単位は、頂点、稜線、面、立体全体および立体の集まりである。3次元の形状をデザインする際は、直接これらの要素を指示し、移動や変形量を指示することによって行なわれる。また、これらの要素に対して変形の種類を与えると、変形予測線が表示されるので、操作がしやすくなっている。

この手法では、3次元の形状を少しずつ作りながら次第に拡張して行くことが出来るので、始めから画面に向かって形状のデザイン操作をする事が可能である。

6 まとめ

3次元形状のデザイン過程を具現化の段階と設計の段階に分けて考察し、それぞれの過程に必要なインタフェースの特徴を検討した。具現化の段階や設計の段階などの多様なインタフェースに対する要求を満足するために、システムをユーザの操作を受け入れる道具の部分と、形状のハンドリングを行なう素材の部分に分けて設計する手法について提案した。3次元の形状変形を実現する素材の部分は4、5、6面体の基本立体の変形及び集合で表現する手法を提案し実際にシステムを作成していくつかの立体について形状を作成した。

今後の課題としては、曲面を持つ形状を取

り扱えるようにすること、VRの操作環境と結合して操作できるようにすることなどが上げられる。

本研究の一部は未来型分散情報処理環境基盤技術開発(FRIEND 21)プロジェクトの一環として進めているものである。

参考文献

- [三輪 92] 三輪 道雄、小山 隆正、吹野 美和、加藤 昌央、「人工現実感用シェルトソットの開発」計測自動制御学会：ヒューマンインタフェース部会、情報処理学会：ヒューマンインタフェース研究会等合同研究会 pp263-270 1992年5月

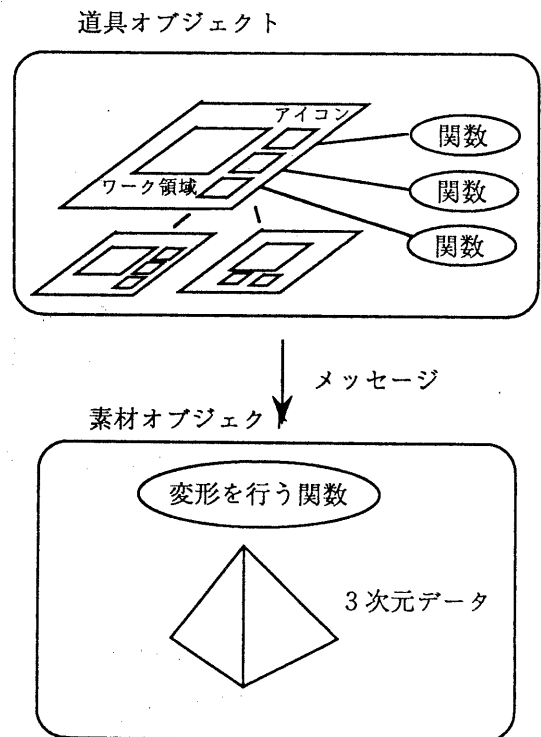


図1 道具と素材

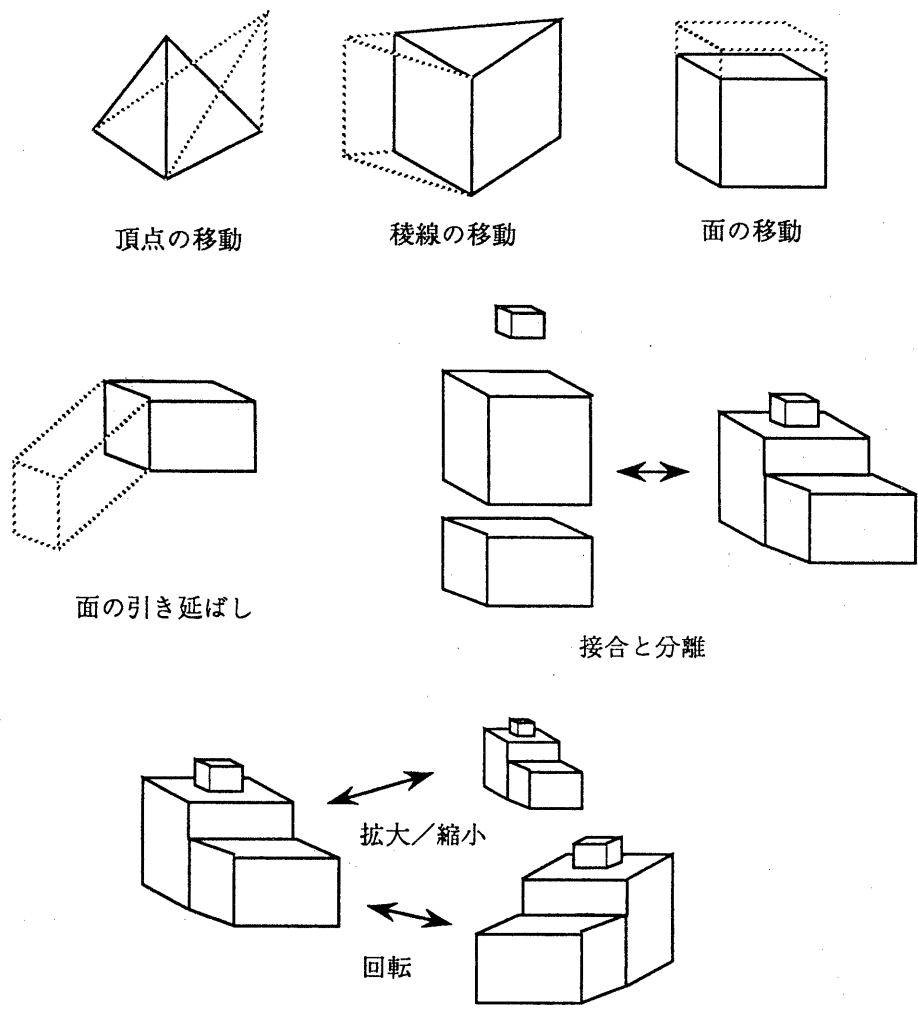


図2 基本立体の操作

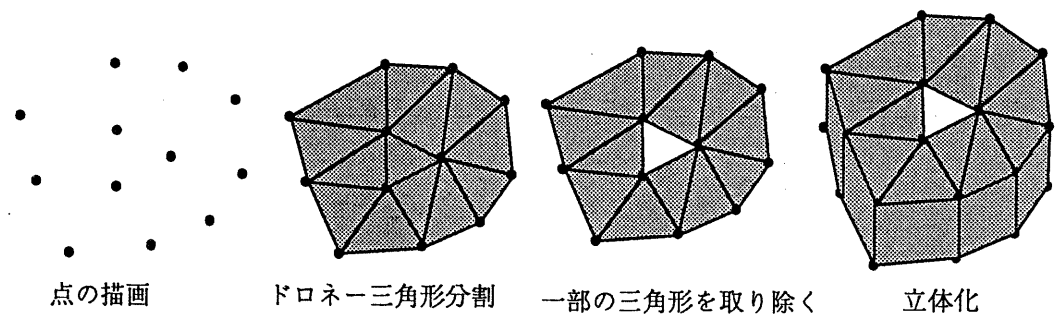
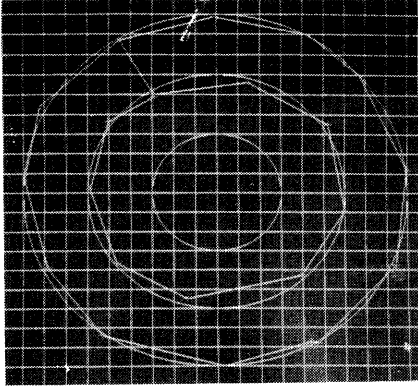
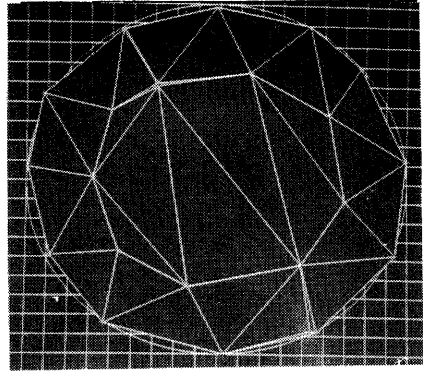


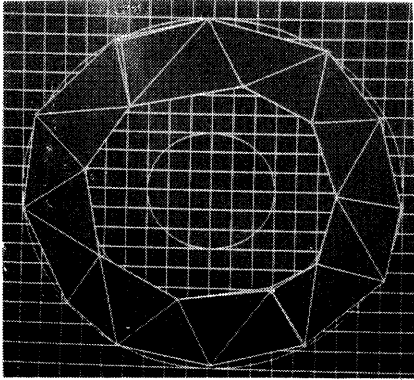
図3 多角柱素材の作成



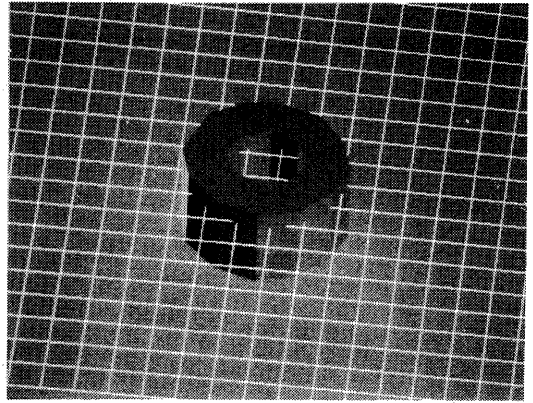
(ポリゴンの描画)



(ドロネー三角形分割)

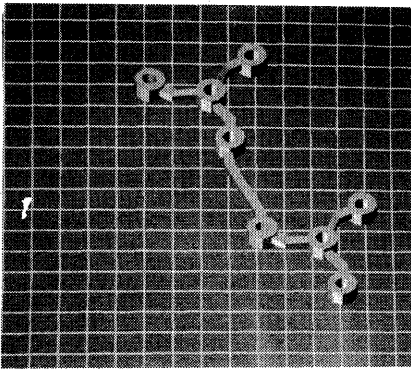


(三角形の一部消去)

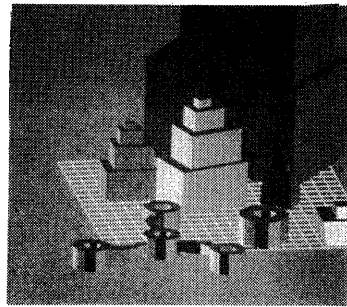


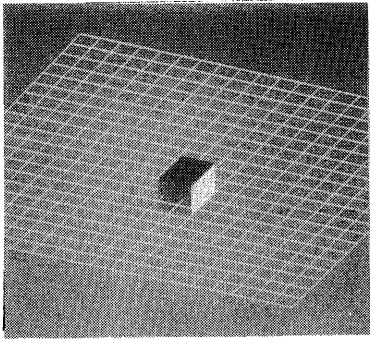
(立体化)

多角柱素材

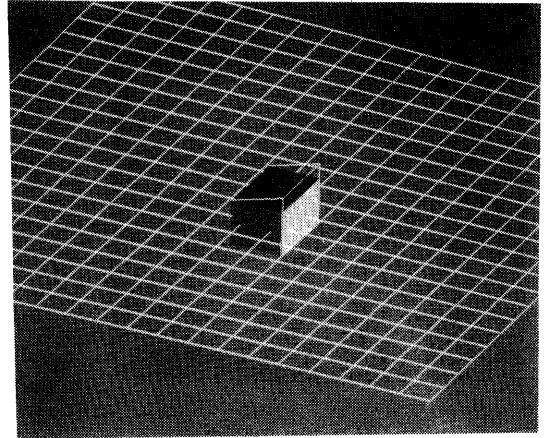


サンプル

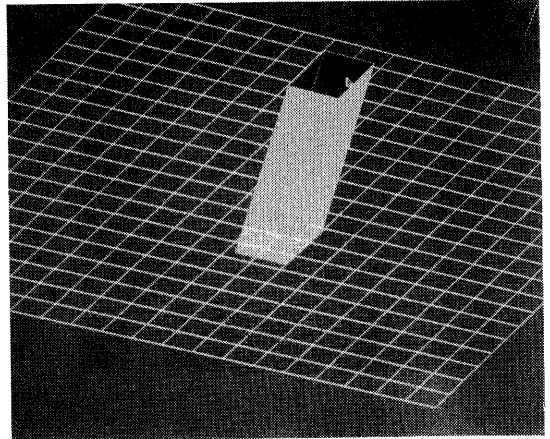
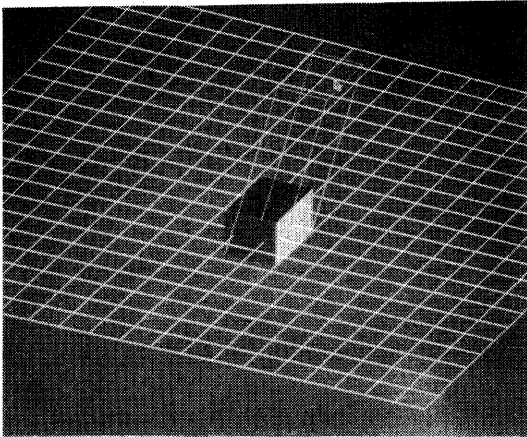




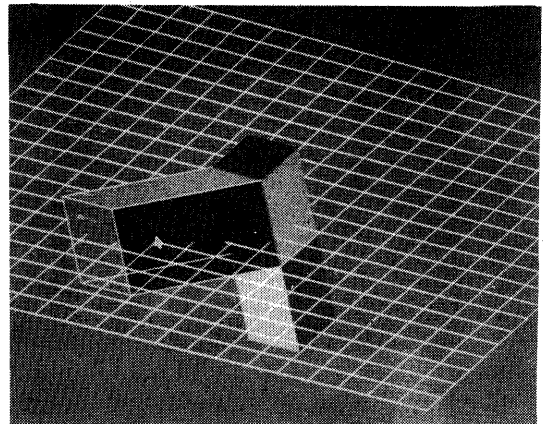
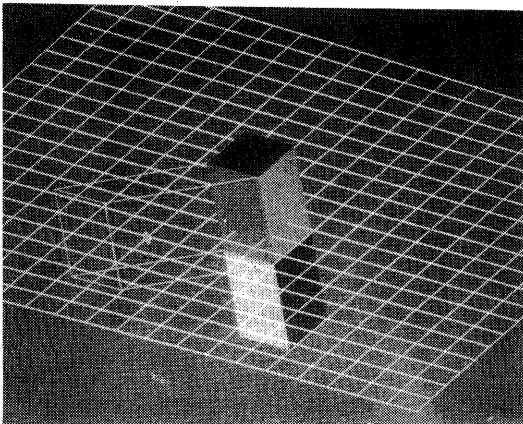
直方体



稜線の移動



面の移動



面の引き延ばし