

# 対話的な形状記述に適したCSGモデル表示法

A Method of Interactive Visualization of CSG Solid Model

川島 泰正

Yasumasa KAWASHIMA

(株)日立製作所 日立研究所

(Hitachi Research Lab., Hitachi Ltd.)

A new method of visualization of the CSG( Constructive Solid Geometry ) solid model is presented to improve the interactivity on CAD man-machine interface.

The method utilizes a buffer named Extended-Depth-Buffer( EDB ) which holds the informations as to how the view vector at each pixel penetrates the model.

The method with EDB enables (1) the successive display processing according to the input sequence, (2) to get most informations concerned with the model on the CRT screen, and (3) to provide some efficient images of the model ( cutaway, transparency, translucency, etc. ). Therefore this method makes it easier for designers to get the current state of the model, e.g. its shape, history, and so on, and to change the model by using the data which it already has.

## 1. はじめに

3次元機械系CADの形状モデルは、ワイヤーフレーム、サーフェイス<sup>1</sup>が既に実用化され、ソリッドモデルについても実用化の段階に入っている<sup>2</sup>。ソリッドモデルの2形式B RepsとCSGでは、現在のところ自由曲面等形状表現能力の豊かさや、NCプログラミングへの接続等からB Repsモデルが利用される場合が多いが、今後構造レベルのCAD<sup>3</sup>、知識工学の応用<sup>4</sup>等への発展過程においては形状の詳細にこだわらない大掴みな形状モデリングが必要と考えられ、形状を概略的に表現し得るCSGモデルの重要性が増すものとみられる。

一方あらゆるCADシステムの基本プロセスは、人間と計算機が図を介して対話し、計算機内モデルに基づいて設計作業を進めることにあるが、3次元CADの場合、人間が2次元での思考に慣れており3次元で形状を把握することに不得手であるため、人間と計算機のインターフェイスは特に重要である。ところがCSGモデルの入力時には、例えば言語形式<sup>5</sup>やB Reps

に変換後表示する等、新規入力によるモデルの変更に対して表示内容が逐次対応しない、あるいは画面上で形状を指示できない等対話性を損ういくつかの問題が残されている。本研究では、CSGモデルによる形状記述時の対話性向上を目的とし、特に形状モデルと人間のインターフェースとなり得る様なCSGモデル表示法を開発した。

## 2. ソリッドモデル表示と対話性

### 2.1 形状記述時のモデル表示の役割

設計者が形状を入力する際に形状モデルに関して知りたい情報は、

- ・現在の形状
- ・入力済み形状各部の履歴
- ・入力済み形状各部の属性

等で、言い換えると設計者が設計対象である形状を把握するための情報である。一方モデルに与える情報は、最終的には形状の変更情報であるが、形状変更時には既存モデルの持つ各種

情報を利用するので、又上述の形状把握のための情報取出しに際しても

・形状の一部の指示

が必要になる。モデルの表示の役割は以上の情報の授受を画面上で容易に行なえる様補助することであり(図2.1)、これを要求仕様の中で

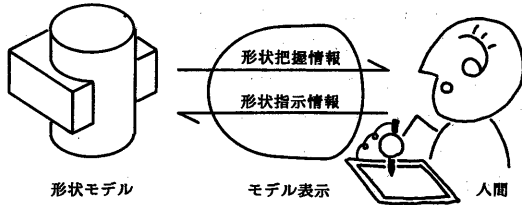


図2.1 モデル表示の役割

表2.1 モデル表示の要求仕様

機能	内容
形状把握補助	(a)形状表示の正確さ (b)逐次表示性 (c)入力表示対応性
形状指示補助	(d)画面上で形状属性が獲得可能なこと (e)画面上で幾何属性が獲得可能なこと

まとめると表2.1になると考えられる。表中(a)は隠面処理等の形状認識を容易にする処理を示し、(b)の逐次表示性は表示処理に於いて過去の総ての入力内容を参照するのではなく現在のモデルと新規入力のみとで処理が行なえることを、又(c)の表示対応性は人間が持つ形状各部の識別法が画面上でも通用することを指している。例えばCSG入力では追加プリミティブが逐次画面に現れ、しかも人間はプリミティブ単位で形状の情報を持つのであるから、形状全体の中でどこがどのプリミティブによるものを画面上で識別する方法がなければならない。一方形状指示とは、具体的には表示内容からモデルの持つ情報へ辿る機能であり、(d)(e)が必要になる。

## 2.2 CSGモデル入力時の対話性の現状

ソリッドモデルについて、入力形式(人間が持つ形状情報)、内部形式(アプリケーション

に対応したデータ形式)、表示形式(表示をプリミティブ単位で行なうか境界要素でおこなうか等の処理方式)の関係は図2.2になる。本

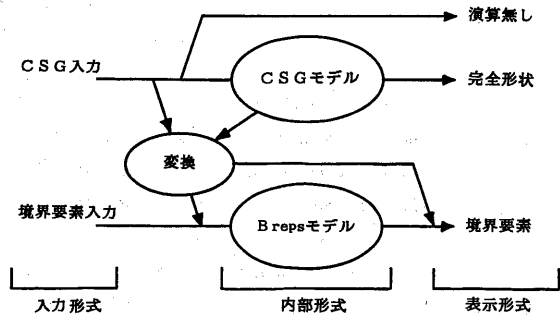


図2.2 ソリッドモデルの入力・内部・表示形式

研究はCSG入力から表示に至る処理を対象とし内部形式がいずれであるかは問わないため、内部形式を除いた入力-表示形式は

(1) CSG入力 CSG表示

(イ) プリミティブ演算を施した完全な形状を表示

(ロ) 演算を施さずプリミティブ単位で表示

(2) CSG入力 境界要素表示

の3種類が考えられる。各々について表2.1の要求仕様に照らし合せると、CSGモデル表示機能の現状は表2.2の様にまとめられる。

このうちプリミティブ単位の表示は表に見られる様に多くの利点があるものの、形状を完全に

表2.2 CSG対話入力の現状

入力形式	CSG		境界要素
	完全形状	演算無し	
(a)正確さ	●	×	○
(b)逐次表示性	×	●	×
(c)入力表示対応性	○	○	○
(d)形状属性獲得	×	○	×
(e)幾何属性獲得	×	○	○
速度	×	●	×

\* (a)-(e)は表2.1に対応する

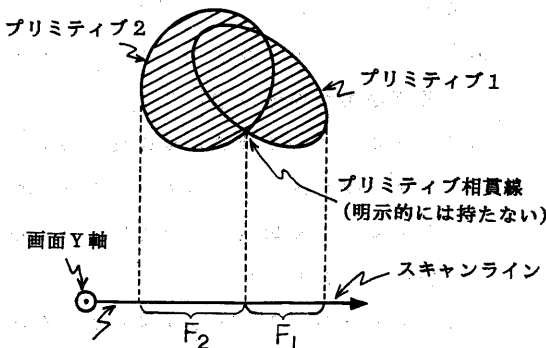
は表せないため利用法が限られる。又境界要素群に変換後表示する方式では、一旦変換を行なったモデルに対しプリミティブの変更/削除を行なうことは困難であり、その場合には表示処理のみならず変換処理も総てのプリミティブについて再実行しなければならず、逐次表示性に問題が生じる。又、表示のためだけに詳細な境界要素を求めることは、形状を概略的に表し得るというCSGモデルの利点を損うことになりかねない。そのため、本研究では入力形式と表示形式が一致し且つ形状を完全な形で表示する(1)(イ)を採用する。この方法は現状では対話性に優れているとは言えないが、

- ・ 逐次表示性
  - ・ 画面上で形状属性、幾何情報の獲得
- の2点を考慮することにより対話性向上が図れると考えられる。

### 2.3 CSGモデル表示法の必要条件

CSGモデルを境界要素群に変換せず、しかも前記要求仕様を満足するためには以下の条件が満たされなければならない。

- ・ 条件1 形状境界の不明確さを許すアルゴリズム



$F_1, F_2$  : プリミティブ1, 2の表示領域。相貫線の情報を持たないため、その境界が明らかでない。

図2.3 CSGモデル表示に於ける境界の問題

条件1はCSGモデルが形状境界を陽に持たない(図2.3)ために発生するが、逆に言う则表示アルゴリズム内で適時形状境界を求めることが必要になる。

- ・ 条件2 プリミティブ演算結果を保存する

CSGモデルを

$$G_j = P_j \text{ op-p } G_{j-1} \dots (2.1)$$

;  $P_j$  :  $j$  番目に入力されたプリミティブ

op-p : プリミティブ演算

と表す。CSGモデルはプリミティブのパラメータとそれらの結合関係を記述する以上のものではないから、表示処理が

$$I_j = D(G_j) \dots (2.2)$$

$I_j$  :  $G_j$  の表示画像

$D$  : 表示アルゴリズム

の形式では過去に入力された総てのプリミティブが処理の対象となり逐次表示性は実現できない。逐次表示性のあるアルゴリズムは例えば次の形をとる。

$$I_j = D(P_j) \text{ op-i } I_{j-1} \dots (2.3)$$

op-i : 画像同士の演算

この例では画像そのものがプリミティブ演算結果を保存し、逐次表示性を実現している。

- ・ 条件3 隠面再生能力を持つ

プリミティブが入力されると元の形状表面の一部が形状内に没したり、消去されたりすることが起きるが、特に現在表示中の面が消去された場合には、その面の裏にあって表示されていなかった面を改めて表示する(隠面再生)必要が生じる(図2.4)。

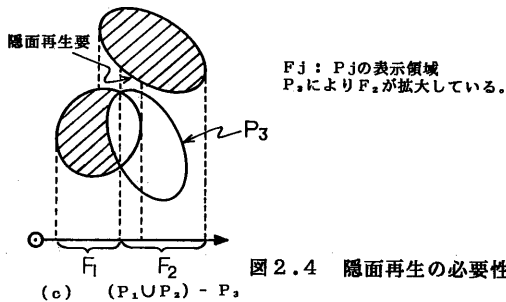
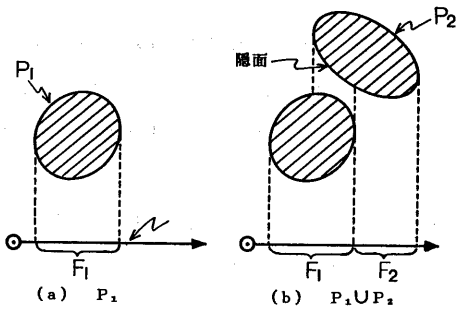


図2.4 隠面再生の必要性

- ・条件4 画面上の図形指示単位とプリミティブ識別子が対応する

画面上の図形指示単位である表示セグメントあるいは画面座標とプリミティブ識別子が対応していれば、画面からCSGモデルの持つ情報を辿ることができる。

### 3. 拡張デプスバッファアルゴリズム

#### 3.1 アルゴリズム概要

以上の条件を満足するアルゴリズムとして、従来のデプスバッファを3次元的に拡張したバッファを用いた表示法を開発した。

##### (1) 構成要素

- (a) 拡張デプスバッファ (Extended Depth Buffer: EDB)

式(2.3)に示す様な画像による演算結果保存手段として、各画素について次の情報を蓄えるバッファを設ける(条件2)。

- ・各画素が表示している面の位置、識別子(条件4)
- ・各画素に対応する隠面の識別子(条件3)

##### (b) 1次元ブール演算プロセッサ(図3.1)

各画素に関して表示面、隠面を求めるためには、各画素について視線上でプリミティブ演算を行なう必要がある。これは1次元領域のブール演算で実現される(条件1, 3)。

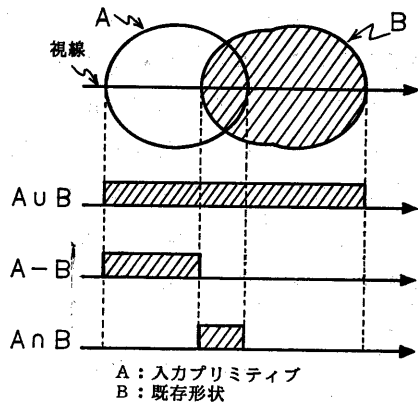


図3.1 1次元ブール演算

##### (2) 処理手順

プリミティブが入力される毎に以下を繰り返す。

- A プリミティブが投影されるスキャンラインを求める。
- B 上記スキャンライン各々について以下を行なう。
  - B1 スキャンライン上で1次元ブール演算が必要な領域を求める。
  - B2 1次元ブール演算不要領域については入力プリミティブのみでEDBを変更する。必要領域についてはブール演算後EDBを変更する

EDBから画素毎の色、輝度を求める処理は、画素単位、スキャンライン単位、プリミティブ単位のいずれかでEDBが変更された後実行可能であるが、どこで行なうかはデータ転送量等を考慮して決められる。

### 3.2 拡張デスバッファ

EDBの保存内容、データ構造の詳細を示す。

#### 3.2.1 保存内容

各画素と形状の関係を以下の視線と形状の交差情報の形で保存する(図3.4)。

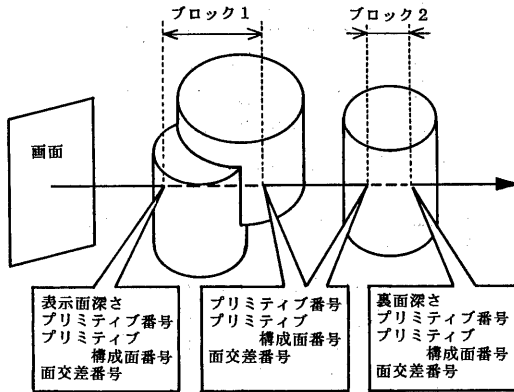


図3.2 視線と形状の交差情報

#### (1) 深さ

視線上で形状の占める範囲を

- (a) 表示面深さ
- (b) 裏面深さ

により表す。

#### (2) ブロック数

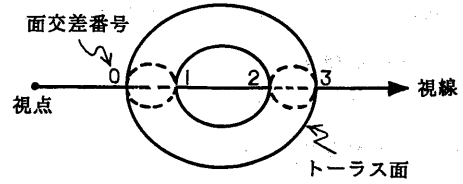
視線と形状の交差領域で連続な部分をブロックと呼び、その個数を保存する。

#### (3) プリミティブ識別番号、プリミティブ構成面識別番号、面交差番号

各ブロックの前面(視点に近い面)、背面(視点から遠い面)について、これらの値と視線式からその深さが再生できる様にする。この内、面交差番号は、2次曲面・トーラス等視線と曲面が2度以上交わる場合でも交点を特定できる様に設けた値である(図3.3)。

### 3.2 データ構造

EDBはプリミティブの入力毎に内容が変更されるため、自由度が高く、しかもデータを画素毎に持つため、出来るだけコンパクトなデー



視線と曲面の交点に視線方向に従って番号付ける。

図3.3 面交差番号

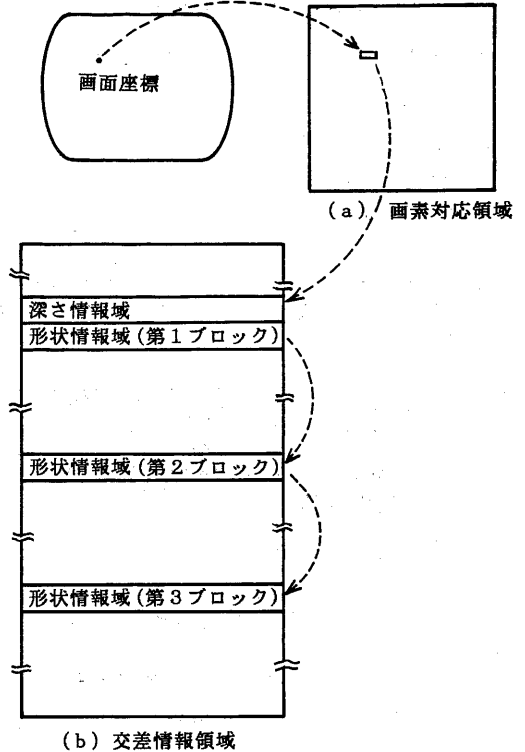


図3.4 拡張デスバッファのデータ構造

タ構造でなければならない。ここではリスト構造を採用した。全体は大きく2つの領域から成る(図3.4)。

#### (1) 画素対応領域(図3.4(a))

画素数分の大きさを持つ2次元配列で、各要素は次項で述べる交差情報領域内の深さ情報領域へのポインタである(図3.5(a))。ブロック数0のときは0がセットされる。

#### (2) 交差情報領域(図3.4(b))

前項で述べた視線形状交差情報をリストと

して格納する1次元領域。1画素について

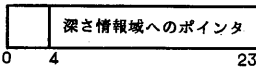
(a) 深さ情報域(図3.5(b))

を1つと、ブロック数分の

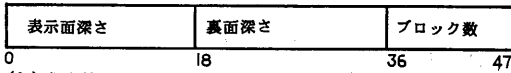
(b) 形状情報域(図3.5(c))

を持つ。

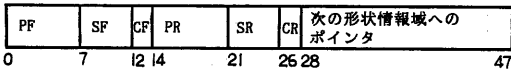
図3.4に示す様に第1ブロックの形状情報域は深さ情報域の直後に置くことにより画素対応域から検索可能にしている。第2ブロック以降は形状情報域内のポインタによって結ばれる。



(a) 画素対応領域 (3Byte)



(b) 深さ情報域 (6Byte)



PF/PR: 該当ブロックの前面/背面のプリミティブ番号  
SF/SR: PF/PR内のプリミティブ構成面番号  
CF/CR: SF/SRと視線の面交差番号

(c) 形状情報域 (6Byte)

図3.5 各領域内の割り当て

以上のデータ構造で画素対応領域を設けたのは、平行投影による表示を標準とするならば画面を図形が占める割合はそれほど大きくはならないと考えたからである。画素対応領域を持たず且つこれと同等の情報を持つ場合と、上述の構造とで画面の使用率に対するメモリー使用量を比べると図3.6になり、予め形状定義域を直方体として定め、それを任意の角度から平行投影したとき形状全体が収まる様に画面サイズを決める(図3.7)と、画面使用率は最大約65%になることから、図3.6から本データ構造の有効性が言える。但し形状が定義域外にある場合や透視投影の場合はこの限りではない。

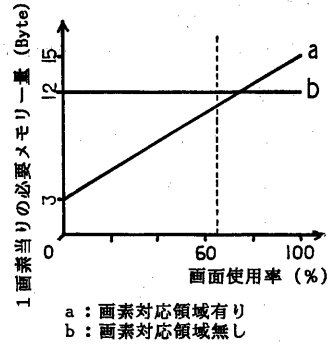
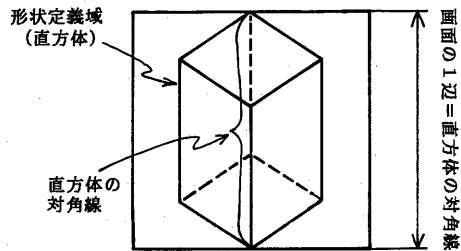


図3.6 画面使用率と必要メモリー量



任意の方向から投影した形状定義域(直方体)が画面に収まるためには、画面が正方形で、その1辺が直方体の対角線の投影長と等しければ良い。形状定義域が立方体のとき画面使用率(形状定義域の投影面積/画面面積)は最大となる。

図3.7 画面使用率の計算

### 3.3 1次元ブール演算

本アルゴリズムでの1次元ブール演算は、入カプリミティブと視線の交点深さ情報と、EBDの持つ形状情報から再生されたその視線に関する既存形状の隠面の深さ情報の2者間で行なわれる。

### 3.4 拡張機能

拡張デブスバッファは、3次元画像の一種であるため以下の様な拡張機能が考えられる。

(1) 切断表示(cutaway)

(a) 視点からの深さによる切断

(b) 任意の曲面による切断

(2) 透過表示

(a) 全透過(transparency)

(b) 半透過(translucency)

(3) 簡易視線方向回転

E D Bを画素を底面、視線と形状の交差長さを高さとする四角柱の集まりと考え、それを3次元的に表示する。この場合、四角柱の側面について輝度は定められるが、色彩は決められない。

(4) 影付け(shadowing)

(5) 光線追跡への拡張

#### 4. 結果及び検討

(1) 逐次表示

図4.1に表示結果を示す。この例では256×256の解像度で1プリミティブあたりの処理時間は5-25秒、平均10秒(HITAC M-200H)であった。図4.1(i)で隠面再生が行なわれている。

以上の結果から、逐次表示によって形状把握が容易になることが確認できたと考えられる。しかし処理時間は対話性を維持するには長すぎ、処理の高速化は今後の大きな課題である。又、図4.1(f)(g)間の様に形状の変化が裏側のみで起った場合、表示が変わらないという問題が明らかになった。此の問題は、前章で述べた拡張機能である程度解消できると考える。

(2) 拡張機能

前章で述べた拡張機能のうち任意の平面による切断表示を実現した。図4.2は画面座標より形状表面上の3点を指示し、それらを通る平面によりモデルを切断表示したものである。この場合E D B自体は何も変化していない。

#### 5. おわりに

以上をまとめると、

(1) 対話的な形状記述時のモデル表示の役割が、形状把握及び形状指示情報の授受の補助にあることを示した。

(2) 形状把握のためには入力形式と表示形式

が一致し、入力によるモデルの変化が逐次表示されなければならないことを示した。

(3) 形状指示のためには図形指示単位と、モデル情報が結合されなければならないことを示した。

(4) C S Gモデル表示法に必要な条件が、「境界要素不要」、「プリミティブ演算結果の保存」、「隠面再生」、「図形指示単位とプリミティブ識別子の結合」であることを示した。

(5) 以上を満足するアルゴリズムとして、拡張デプスバッファによる方法を開発し、検証を行なった。

(6) 今後の課題は処理の高速化、本アルゴリズムの形状入力システムへの組み込みにある。

#### 参考文献

- 1) 沖野「自動設計の方法論」；養賢堂 '83
- 2) 日立評論 小特集 CAD/CAM技術 '83.3
- 3) 鈴木、木村「プロダクトモデルに基づく機械組立品の表現と設計自動化への応用」；情報処理学会 グラフィックスとCADシンポジウム資料 '84.12
- 4) T.Ishida et.al "Detection of Unanticipated Functions of Mechines"; proceedings of ISDS '84.7
- 5) 木下「形状モデリングを核としたCAD/CAMシステム TIPS-1」；PIXEL No.24 '84.9
- 6) 森本他「拡張デプスバッファを用いたソリッドモデルの隠面消去、再生アルゴリズムの開発」；情報処理学会 第26回全国大会論文集 '83.3
- 7) P.R.Atherton "A Method of Interactive Visualization of CAD Surface Model on a Color Video Display"; Computer Graphics Vol.15 No.3 '81

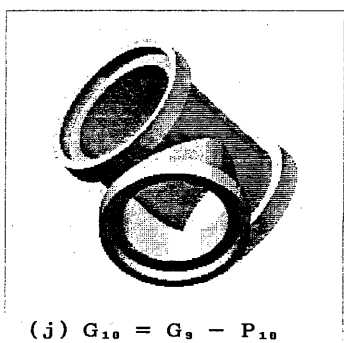
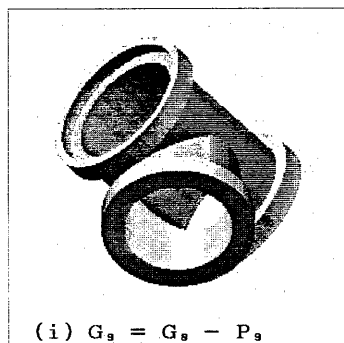
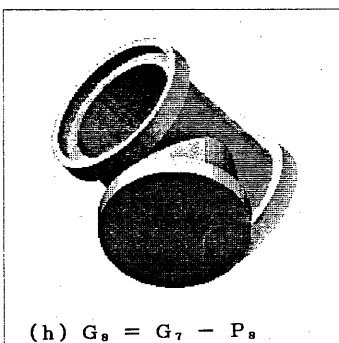
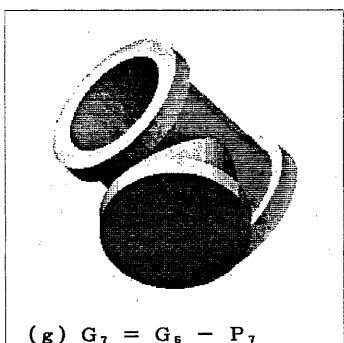
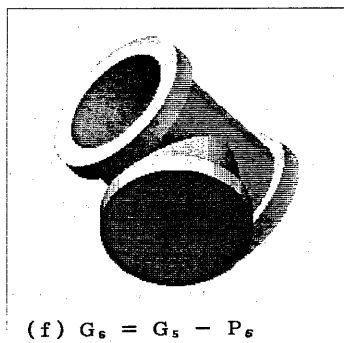
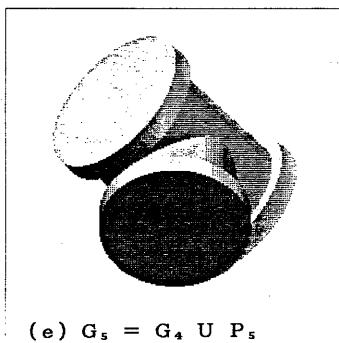
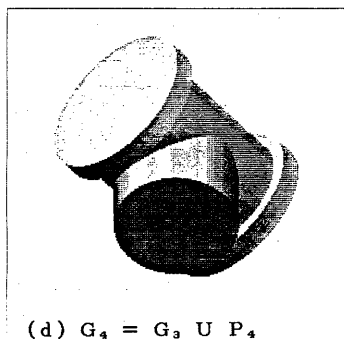
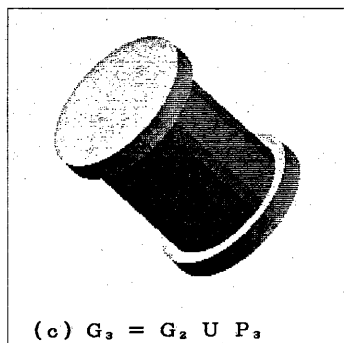
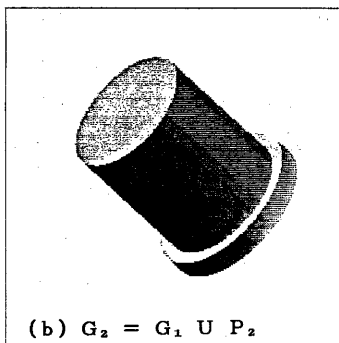
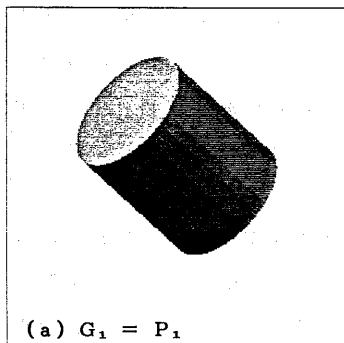


图 4.1 逐次表示例

