

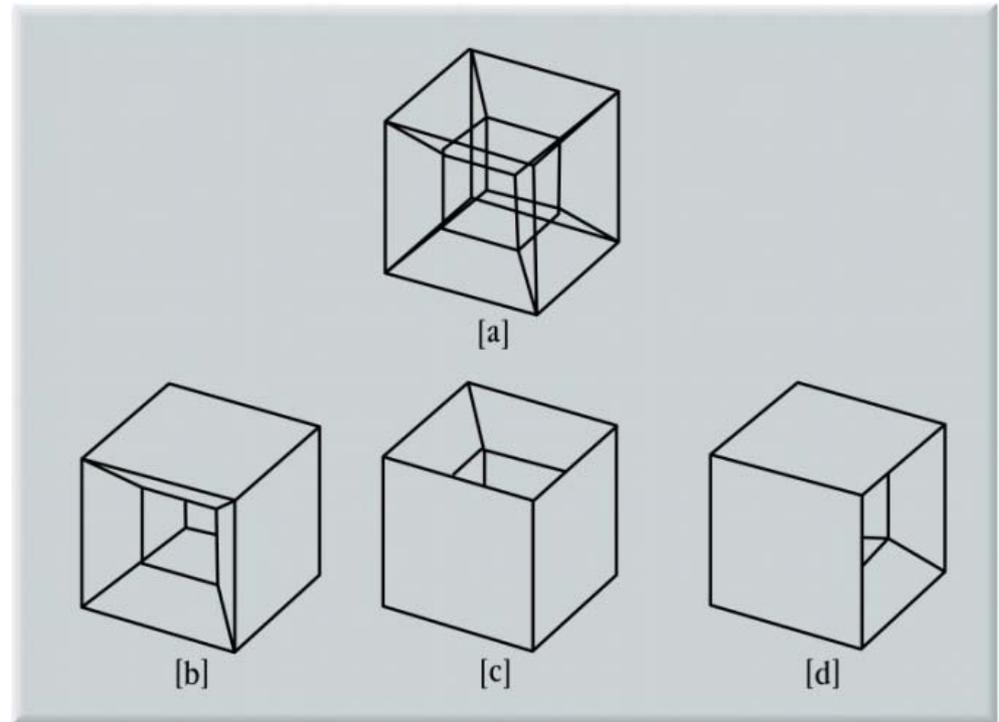
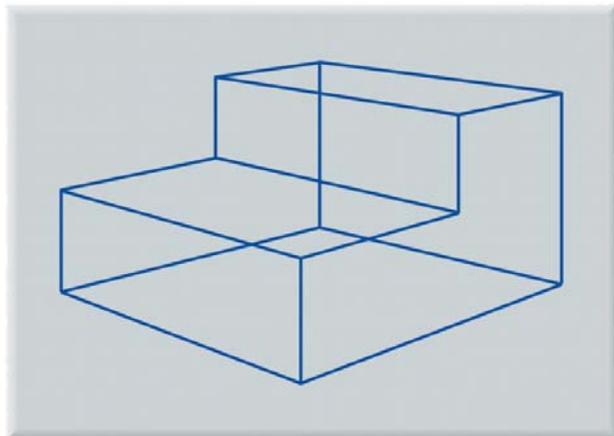
コンピュータグラフィックス

# 5. モデリング1

－ 直線・平面 －

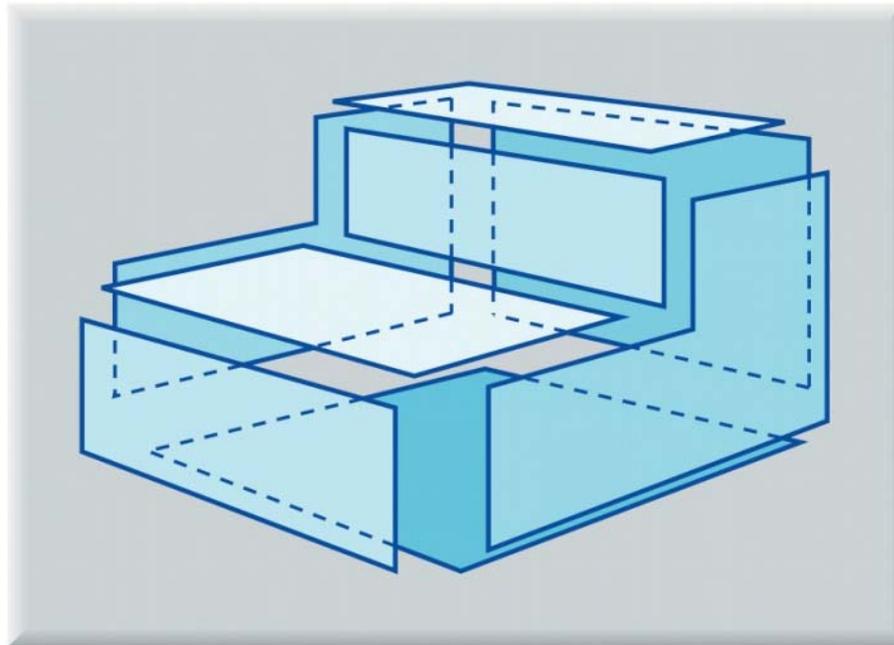
# ワイヤースケッチモデル

- 稜線だけを記録することで立体を表現したモデル
- 頂点の接続関係を簡単に表現でき処理が高速
- どこが立体の内部化不明で、立体同士の干渉計算や陰線消去・陰面消去ができない。



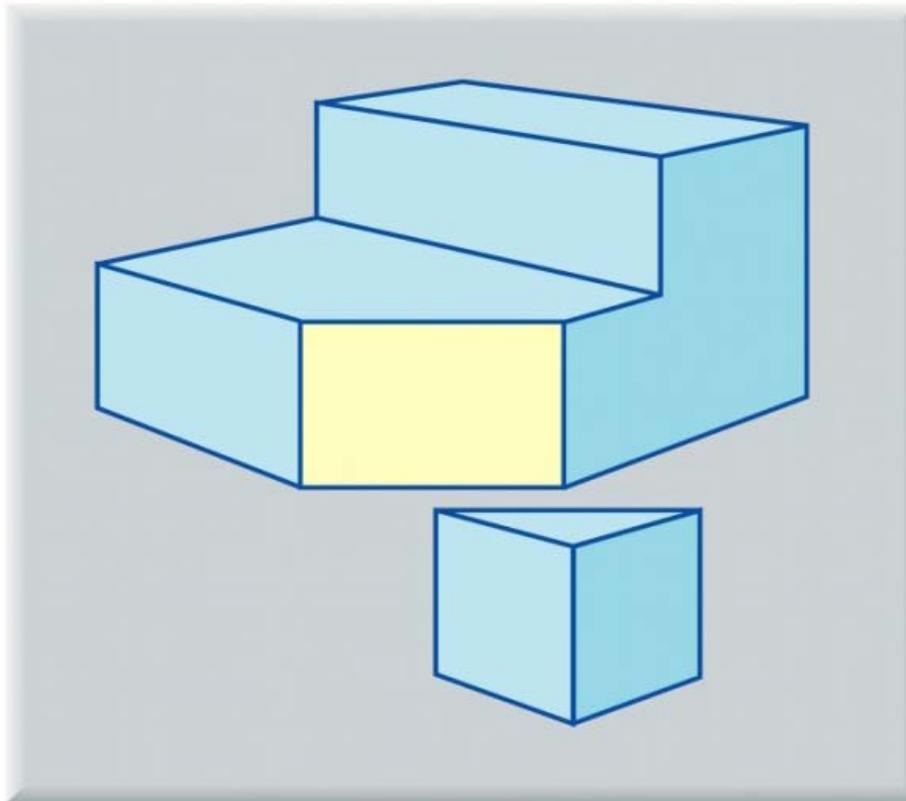
# サーフェスモデル

- ワイヤーフレームモデルに面の情報を付加
- 陰線消去、陰面消去、面の陰影が表現できる
- 物体内部の情報を持たないため、体積計算や物体同志の集合計算はできない



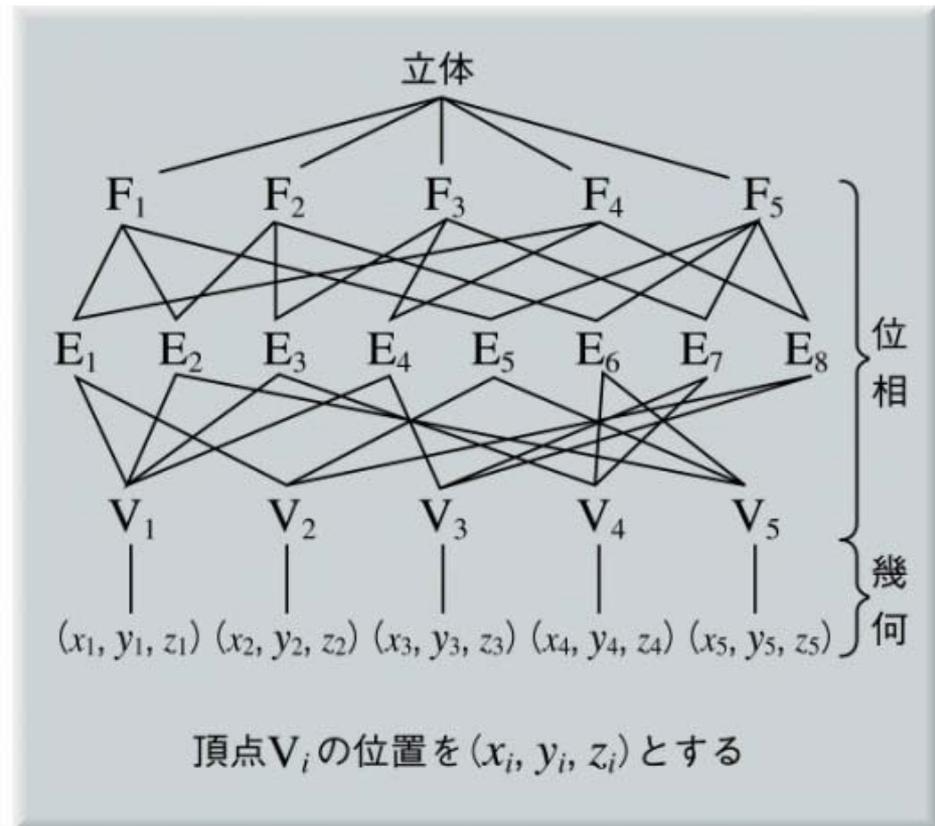
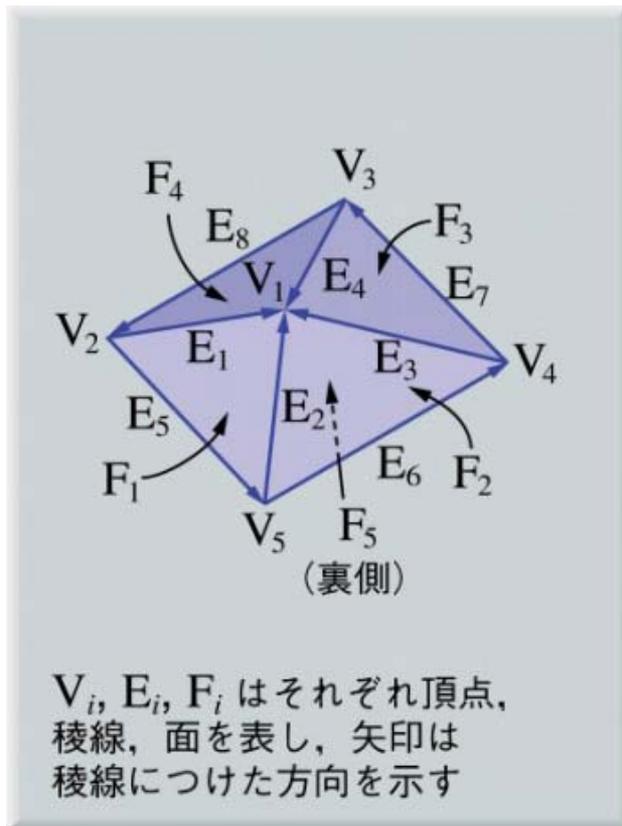
# ソリッドモデル

- サーフェースモデルに物体の内部情報を付加
- 物体の和・積・差の集合演算や、体積計算、物体同志の厳密な干渉計算が可能
- 有限要素法による様々な解析が可能



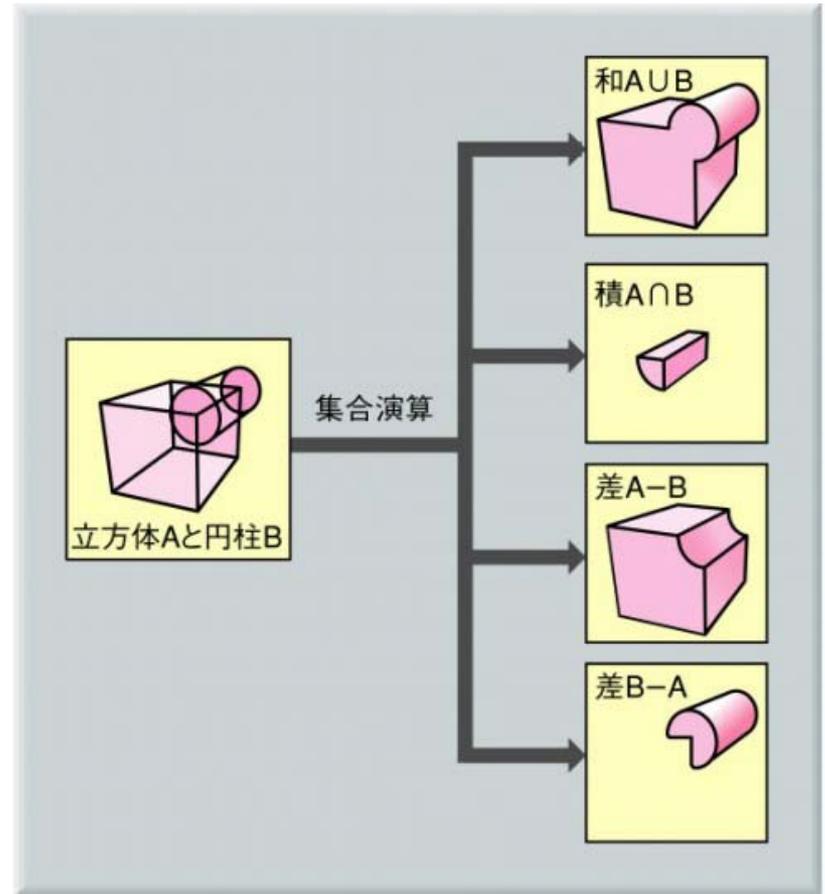
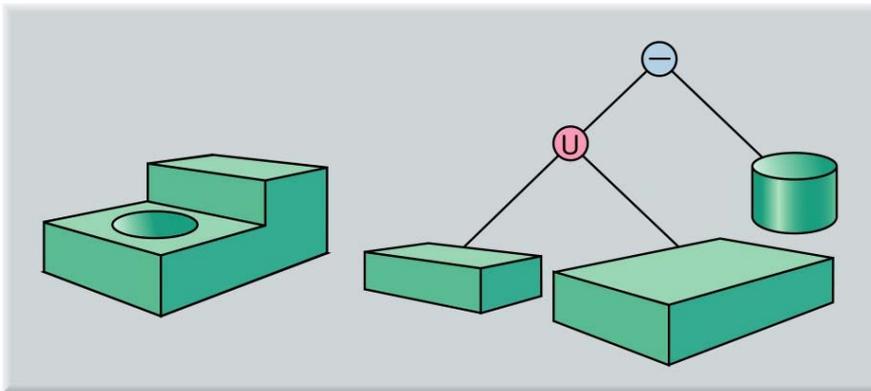
# 境界表現

- 境界表現はB-repとも呼ばれ、頂点、稜線、面のデータとその接続関係をグラフで保持して立体を表現する
- 要素の接続関係を表す部分を位相、頂点の座標値の部分を幾何と呼ぶ



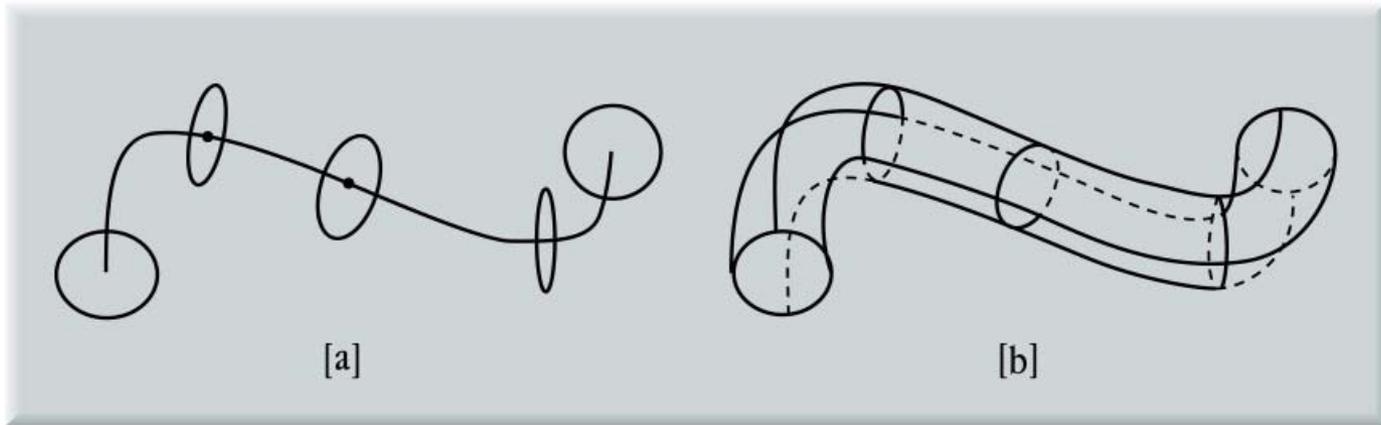
# SCG表現

- SCG (Constructive Solid Geometry)とはプリミティブと呼ぶ基本立体を集合演算の木構造によって表現
  - 基本立体：直方体、円柱、多面体、錐体、級、半空間
  - 集合演算：和、積、差
- 同じ形を表すためのCSG表現は一つとは限らない

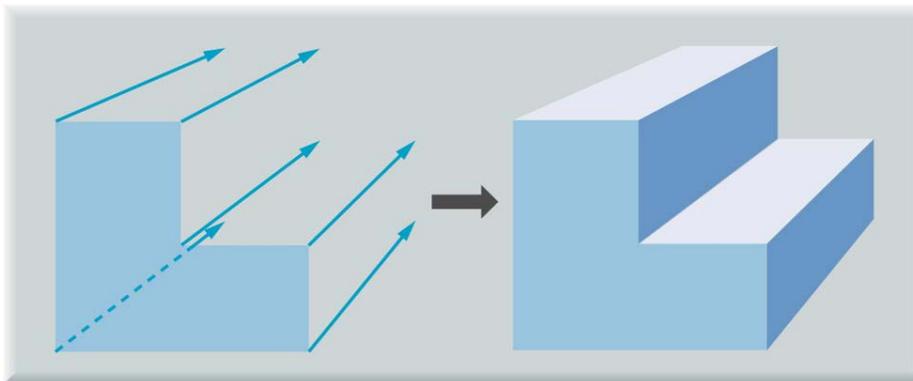


# スイープ表現

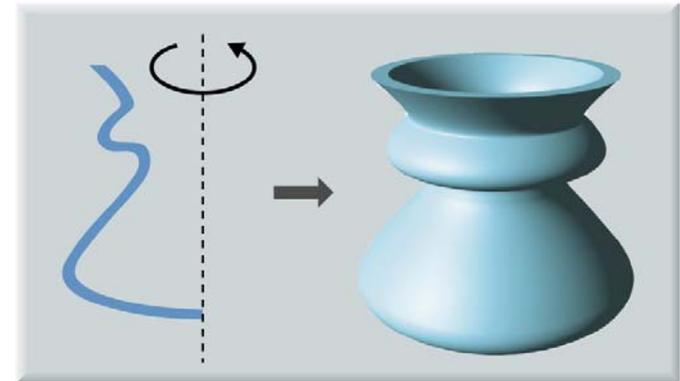
- 立体の断面の2次元図形を軌道に沿って移動したときの軌跡として形状を表現



スイープ表現による立体の生成



平行移動スイープ



回転スイープ

# 境界表現のデータ構造

- 立体表現の最も簡単なデータ構造は、頂点の座標と面を構成する頂点番号の並びを配列
  - 面の頂点の個数が可変のため可変長の配列要素を扱う必要がある
  - 稜線と面の接続関係等はデータ全体を調べなければわからない

頂点	座標値		
V <sub>1</sub>	x <sub>1</sub>	y <sub>1</sub>	z <sub>1</sub>
V <sub>2</sub>	x <sub>2</sub>	y <sub>2</sub>	z <sub>2</sub>
V <sub>3</sub>	x <sub>3</sub>	y <sub>3</sub>	z <sub>3</sub>
V <sub>4</sub>	x <sub>4</sub>	y <sub>4</sub>	z <sub>4</sub>
V <sub>5</sub>	x <sub>5</sub>	y <sub>5</sub>	z <sub>5</sub>

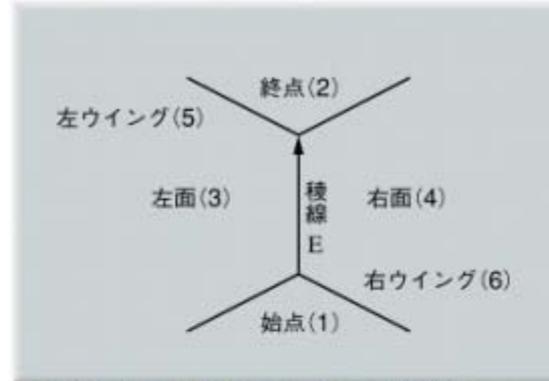
[a] 頂点データ

面	頂点			
F <sub>1</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>5</sub>	
F <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>5</sub>	V <sub>4</sub>	
F <sub>3</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>3</sub>	
F <sub>4</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>2</sub>	
F <sub>5</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>5</sub>

[b] 面データ

# 境界表現のデータ構造

- 配列の要素が固定長となるウィングドエッジ構造を用いる
- 稜線を中心に頂点・面・稜線の接続関係を表す
  - 稜線の頂点：2
  - 稜線に接する面：2
  - 稜線と接続し接する面を囲む稜線：2
- 形状データに局所性があり位相要素間のアクセスが効率的



[a] 稜線Eを中心に見た頂点・面・稜線の接続関係

頂点	座標値			稜線
V <sub>1</sub>	x <sub>1</sub>	y <sub>1</sub>	z <sub>1</sub>	E <sub>1</sub>
V <sub>2</sub>	x <sub>2</sub>	y <sub>2</sub>	z <sub>2</sub>	E <sub>5</sub>
V <sub>3</sub>	x <sub>3</sub>	y <sub>3</sub>	z <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>
V <sub>4</sub>	x <sub>4</sub>	y <sub>4</sub>	z <sub>4</sub>	E <sub>3</sub>
V <sub>5</sub>	x <sub>5</sub>	y <sub>5</sub>	z <sub>5</sub>	E <sub>2</sub>

[b] 頂点データ (稜線の欄では、その頂点を始点または終点とする稜線のうちの1本を示す)

	頂点		面		稜線	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
E <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>1</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>
E <sub>2</sub>	V <sub>5</sub>	V <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>6</sub>
E <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>7</sub>
E <sub>4</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>1</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>8</sub>
E <sub>5</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>5</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>5</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>8</sub>
E <sub>6</sub>	V <sub>5</sub>	V <sub>4</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>5</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>5</sub>
E <sub>7</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>3</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>5</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>6</sub>
E <sub>8</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>2</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>7</sub>

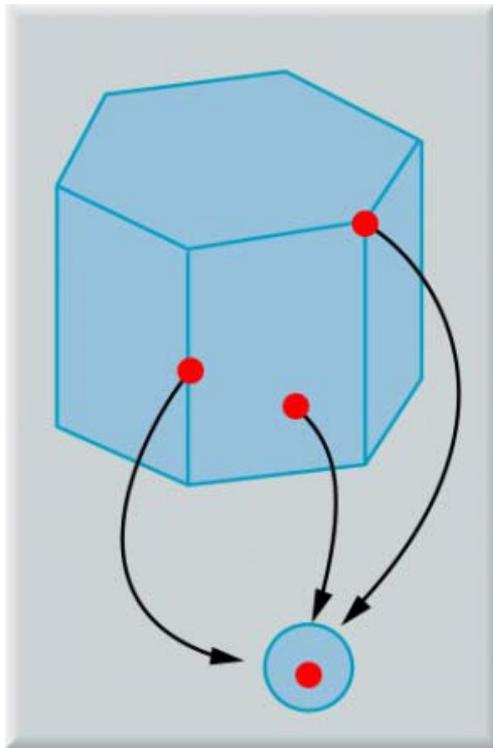
[c] 稜線データ

	法線ベクトル			稜線
F <sub>1</sub>	n <sub>1x</sub>	n <sub>1y</sub>	n <sub>1z</sub>	E <sub>1</sub>
F <sub>2</sub>	n <sub>2x</sub>	n <sub>2y</sub>	n <sub>2z</sub>	E <sub>2</sub>
F <sub>3</sub>	n <sub>3x</sub>	n <sub>3y</sub>	n <sub>3z</sub>	E <sub>3</sub>
F <sub>4</sub>	n <sub>4x</sub>	n <sub>4y</sub>	n <sub>4z</sub>	E <sub>4</sub>
F <sub>5</sub>	n <sub>5x</sub>	n <sub>5y</sub>	n <sub>5z</sub>	E <sub>5</sub>

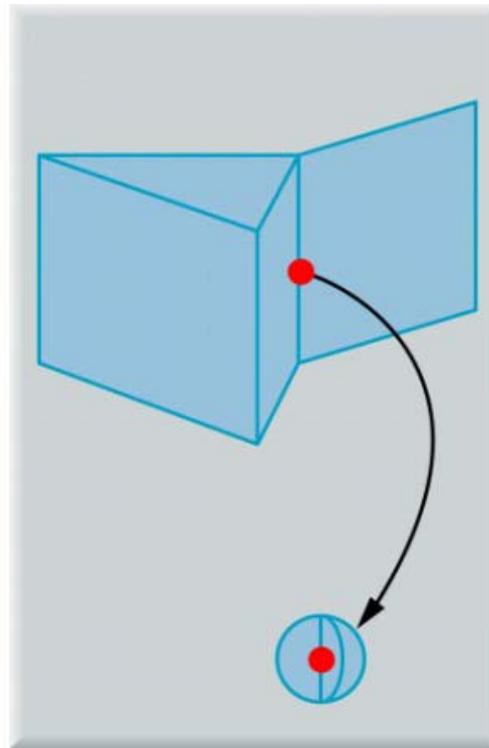
[d] 面データ (面F<sub>1</sub>の法線ベクトルを (n<sub>1x</sub>, n<sub>1y</sub>, n<sub>1z</sub>) とする稜線の欄では、その面を構成する稜線のうちの1本を示す)

# オイラー操作

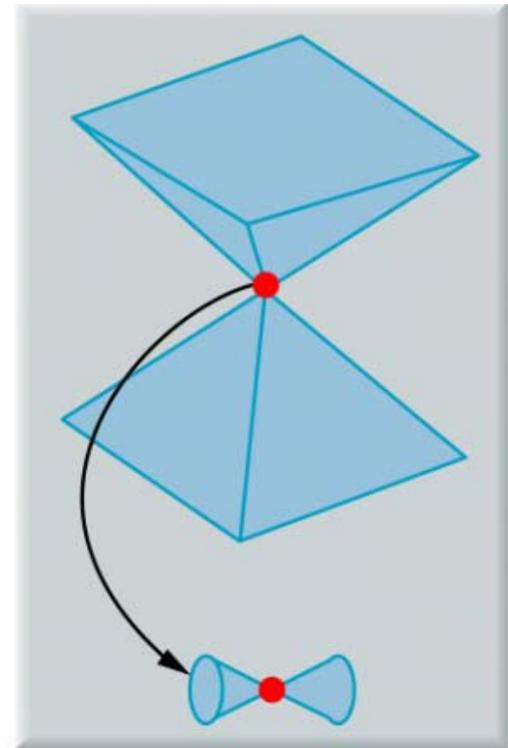
- 立体境界(表面)上の任意の点が、円板と等しい近傍を持つものを二多様体と呼ぶ



[a] 二多様体(近傍が円盤と同じ)



[b] 非多様体(近傍が円盤に壁を立てたものと同じ)



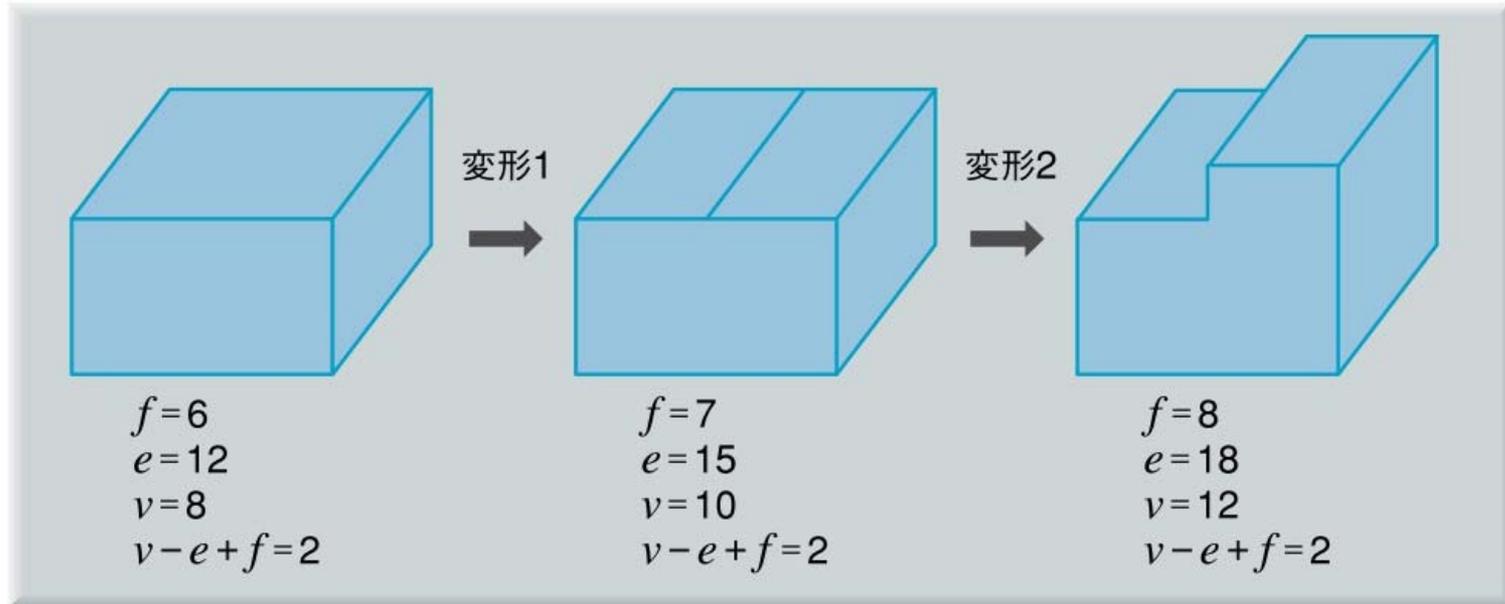
[c] 非多様体(近傍が2つの円錐を頂点で合わせたものと同じ)

# オイラー操作

- 二多様体で面の数 $f$ 、稜線の数 $e$ 、頂点の数 $v$ のとき次のオイラーの公式が成り立つ

$$v - e + f = 2$$

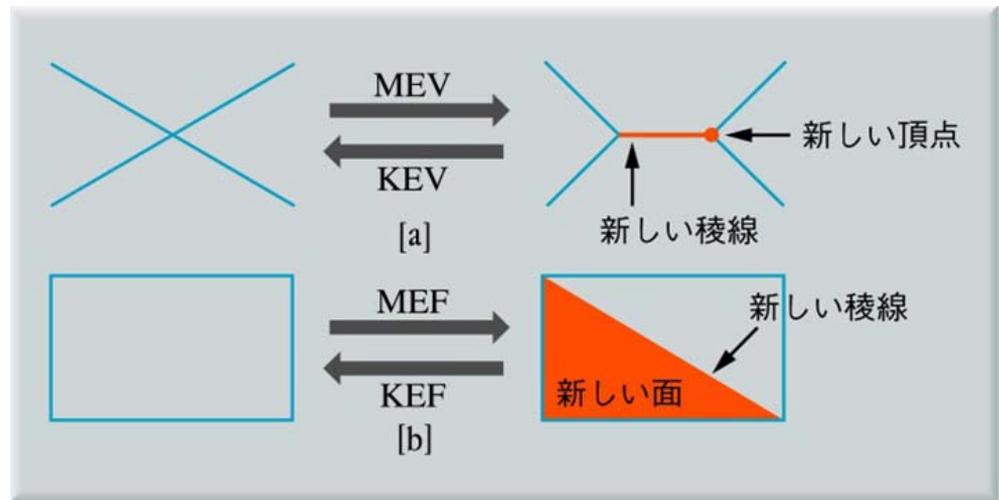
- オイラーの公式を保持する変形をオイラー操作と呼ぶ



# オイラー操作

- MEV(Make Edge Vertex)
  - 新しい頂点と稜線を追加することで頂点を分割する操作
- KEV(Kill Edge Vertex)
  - 逆に頂点と稜線を削除する操作
- MEF(Make Edge Face)
  - 新しい稜線と面を追加することで面を分割する操作
- KEF(Kill Edge Face)
  - 逆に稜線と面を削除する操作

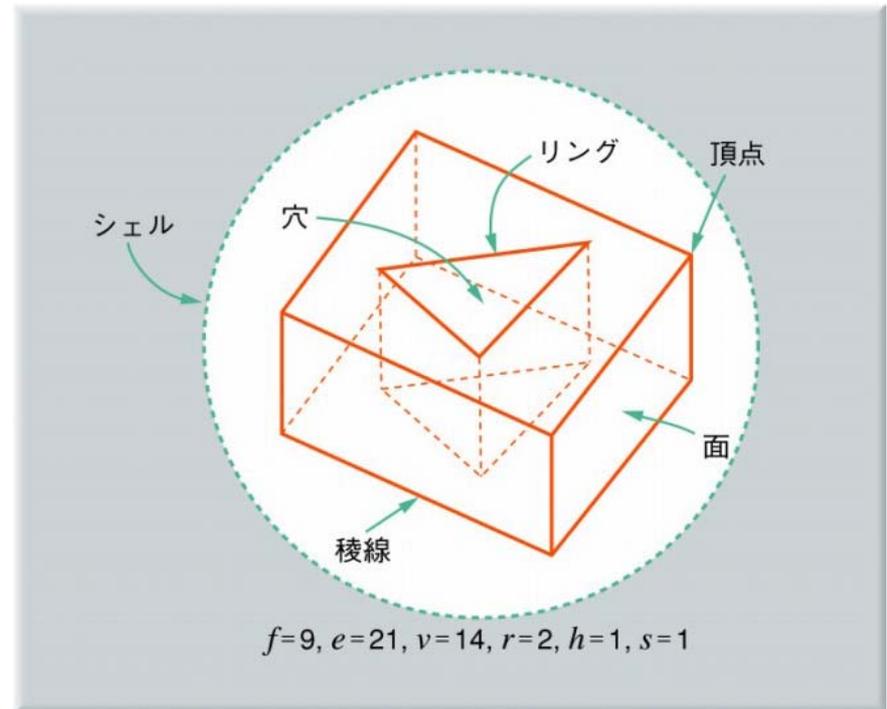
オイラー操作	$v$	$-e$	$+f$	$= 2$
MEV	1	- 1		= 0
KEV	(-1)	- (-1)		= 0
MEF		- 1	+ 1	= 0
KEF		- (-1)	+ (-1)	= 0



# オイラー操作

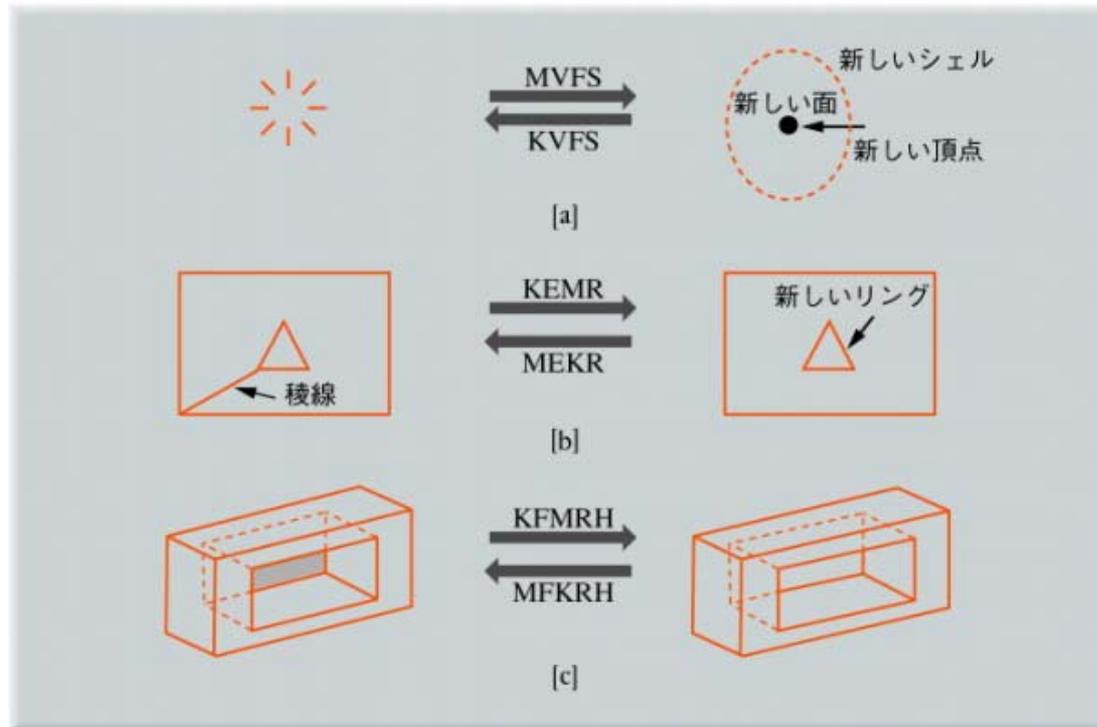
- 頂点、稜線、面以外に、3つの基本要素を追加してオイラーの公式を拡張する
  - シェル  $s$  : 物体を囲む領域
  - 穴  $h$  : 物体を貫通する穴
  - リング  $r$  : 面に含まれる穴

$$v - e + f - r = 2(s - h)$$



# オイラー操作

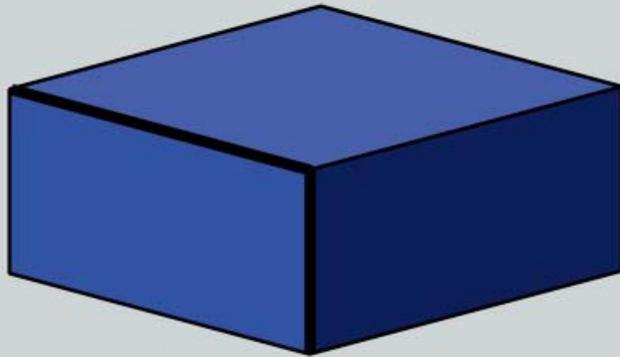
- MEV/KEV, MEF/KEFにMVFS/KVFS, MEMR/KEMR, MFMRH/ KFMRRHの操作を追加



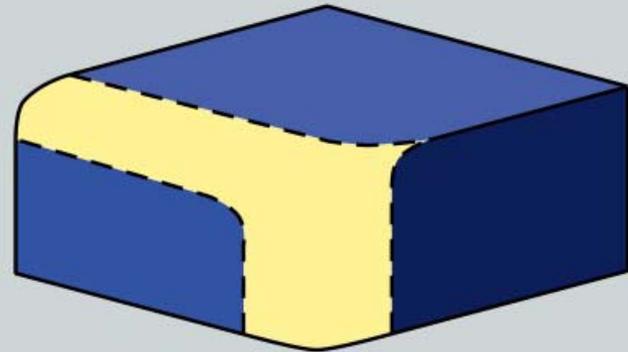
	オイラー操作	意味	オイラー操作	意味
[a]	MVFS	Make Vertex Face Shell	KVFS	Kill Vertex Face Shell
[b]	KEMR	Kill Edge Make Ring	MEKR	Make Edge Kill Ring
[c]	KFMRRH	Kill Face Make Ring Hole	MFKRRH	Make Face Kill Ring Hole

# オイラー操作

- 立体の頂点や稜線等で角を取る丸め変形操作はオイラー操作による位相的な操作に幾何学的な操作を加える



[a] 処理前



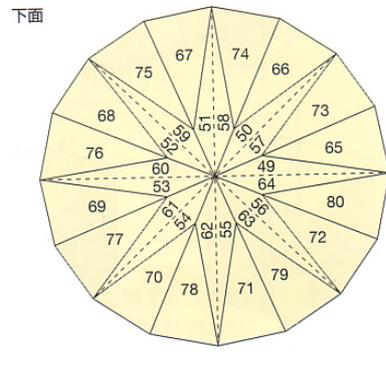
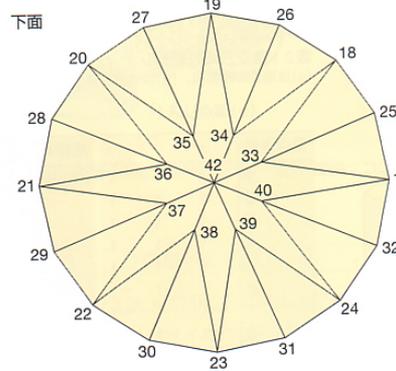
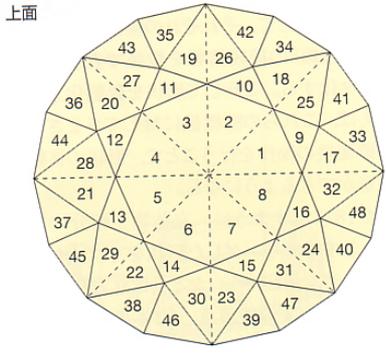
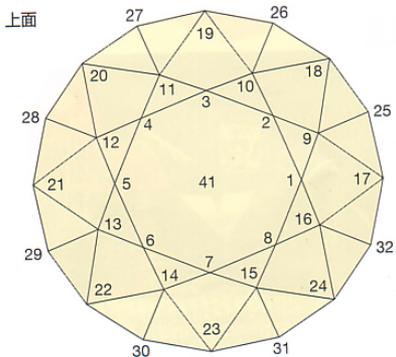
[b] 処理後

# ブリリアンカット

表 2.3 ■ブリリアンカットのモデル

(a)頂点の座標値

(b)稜線を構成する頂点番号



(a)頂点番号

(b)面番号

図 2.3 ■ブリリアンカットの番号付け

頂点番号	x	y	z
1	53.000	0.000	32.910
2	37.477	37.477	32.910
3	0.000	53.000	32.910
4	-37.477	37.477	32.910
5	-53.000	0.000	32.910
6	-37.477	-37.477	32.910
7	0.000	-53.000	32.910
8	37.476	37.477	32.910
9	65.595	27.171	24.090
10	27.171	65.595	24.090
11	-27.170	65.595	24.090
12	-65.595	27.171	24.090
13	-65.596	-27.171	24.090
14	-27.171	-65.595	24.090
15	27.170	-65.596	24.090
16	65.595	-27.171	24.090
17	100.000	0.000	0.000
18	70.711	70.711	0.000
19	0.000	100.000	0.000
20	-70.711	70.711	0.000
21	-100.000	0.000	0.000
22	-70.711	-70.710	0.000
23	0.000	-100.000	0.000
24	70.710	-70.711	0.000
25	92.388	38.268	0.000
26	38.268	92.388	0.000
27	-38.268	92.388	0.000
28	-92.388	38.269	0.000
29	-92.388	-38.269	0.000
30	-38.269	-92.388	0.000
31	38.268	-92.388	0.000
32	92.388	-38.269	0.000
33	32.336	13.394	-58.820
34	13.394	32.336	-58.820
35	-13.394	32.336	-58.820
36	-32.336	13.394	-58.820
37	-32.336	-13.394	-58.820
38	-13.394	-32.336	-58.820
39	13.394	-32.336	-58.820
40	32.336	-13.394	-58.820
41	0.000	0.000	32.910
42	0.000	0.000	-86.929

面番号	頂点番号	面番号	頂点番号
1	41 1 2	41	25 18 9
2	41 2 3	42	26 19 10
3	41 3 4	43	27 20 11
4	41 4 5	44	28 21 12
5	41 5 6	45	29 22 13
6	41 6 7	46	30 23 14
7	41 7 8	47	31 24 15
8	41 8 1	48	32 17 16
9	9 2 1	49	42 33 17
10	10 3 2	50	42 34 18
11	11 4 3	51	42 35 19
12	12 5 4	52	42 36 20
13	13 6 5	53	42 37 21
14	14 7 6	54	42 38 22
15	15 8 7	55	42 39 23
16	16 1 8	56	42 40 24
17	17 9 1	57	42 18 33
18	18 10 2	58	42 19 34
19	19 11 3	59	42 20 35
20	20 12 4	60	42 21 36
21	21 13 5	61	42 22 37
22	22 14 6	62	42 23 38
23	23 15 7	63	42 34 39
24	24 16 8	64	42 17 40
25	9 18 2	65	25 17 33
26	10 19 3	66	26 18 34
27	11 20 4	67	27 19 35
28	12 21 5	68	28 20 36
29	13 22 6	69	29 21 37
30	14 23 7	70	30 22 38
31	15 24 8	71	31 23 39
32	16 17 1	72	32 24 40
33	17 25 9	73	18 25 33
34	18 26 10	74	19 26 34
35	19 27 11	75	20 27 35
36	20 28 12	76	21 28 36
37	21 29 13	77	22 29 37
38	22 30 14	78	23 30 38
39	23 31 15	79	24 31 39
40	24 32 16	80	17 32 40