

面ベース形状モデルにおける演算操作と形状特徴の付与

市村 高志 斉藤 剛

東京電機大学工学部
101-8457, 千代田区神田錦町 2-2

3次元形状を計算機で扱う場合, その立体を厳密に表現でき, しかも, 立体に対する各種の操作が可能なモデルが必要がある. 特に, CADシステムでの利用には, 計算誤差に起因する計算破綻を回避でき, 常に矛盾のない立体が生成できなければならない. 本研究は, 既に報告されている「面を基本要素とする形状モデル(面ベース形状モデルと呼ぶ)」における各種操作の方式を検討し, 頑強な集合演算と形状特徴付与を実現するアルゴリズムを構成することを目的とする. 本報告では, 形状生成に利用される形状特徴の付与と位相情報を主にした集合演算アルゴリズムについて述べる. また, 実際の形状生成に必要なフィレット面とオフセット面について, その実現法を例と共に述べる.

Operations and Feature Generations on the Face-Base Shape Model

Takashi ICHIMURA Tsuyoshi SAITOH

Tokyo Denki University, 2-2 Kanda-nisiki-cho, Chiyada-ku, Tokyo, 101, Japan

Abstract

For representation of 3-dimensional solid objects, shape model that is able to describe the objects precisely is needed and also operations for the solid are required. Especially when the model is used in CAD/CAM systems, it is important to avoid calculation burst caused by numerical error and to construct consistent shapes.

The subjects of this research are developments of robust algorithms for generations of features and set-operations on face based shape model that was reported previously. In this paper, we describe the developed algorithms for the above operations. Moreover, we describe an implementation of fillet surfaces and offset surfaces with their applications.

Key Words:

shape model, topological model, face base model, set operations, features, fillet surface, offset surface

1 はじめに

3次元立体を計算機で扱う場合、その形状が厳密に表現できるとともに、立体に対する各種の操作が可能なモデルが必要となる。特に、CAD/CAMの分野においては、設計から製造までの各プロセスで利用できる一貫した形状モデルの構成が重要である。また、このようなモデルでは、自動的または会話的に形状モデルを構成する機能に加えて、形状特徴の抽出と生成、高速な干渉計算等の機能を備える必要がある¹⁾。

従来から用いられている立体形状の表現として、B-RepやCSGがあるが、これらは、比較的簡単な形状を表現するには便利である。しかし、工業製品などの形状表現に使用する形状モデルとしては、モデルからの情報抽出が困難になること、モデルに対する操作が複雑になることなどの問題点があげられる。

CADシステムでの利用を目的とした形状モデルも種々報告されているが、穂坂は、面を基本とする形状モデル（以後面ベース形状モデルと記す）を提案した^{1,3)}。このモデルにおける位相情報の単位は、立体を構成する面の名前とその面に接続する面の名前を左回しに並べたリストである。これを隣接面ループと呼び、すべての面の面隣接ループを書き並べた表を面隣接表と呼ぶ。

本報告では、この面ベース形状モデルへの、形状生成に重要な機能である形状特徴の生成およびブール演算操作の実装について述べ、その例を示す^{2,4)}。本モデルにおけるこれらの形状変形操作が、規則的な変換処理によって簡潔に実現できることを示す。また、製品形状には欠かせないフィレット面の導入とその応用としての2次曲面の表現について述べる。さらに、オフセット面利用の例として、金型設計の例を示す。

2 面ベース形状モデル

本節では、面ベース形状モデルの構造の概要を述べる。詳細は、文献1)等を参照されたい。

本モデルにおける立体表現の基本は、面隣接表である。面隣接表は、面の隣接関係を表す隣接面ループと、各面の幾何情報からなる。

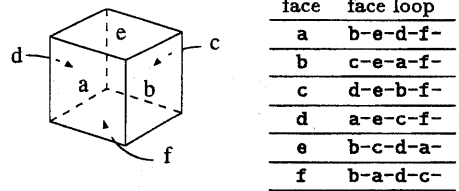


図1. 6面体と隣接面ループ

隣接面ループは、立体を構成する面に識別可能な名前を付け、各面に隣接する面群を左回りのリストで表したものである。図1は、6面体を表す面隣接表の例である。

各面の幾何情報は、その面の単位法線ベクトルと面上の一点とする。これらの幾何情報を与えることにより実際の形状が決定されるが、この情報は直接ユーザが与えるか、または、計算や操作の結果によって与えられる。

本モデルは、上記の位相および幾何情報のみ保持し、稜線や頂点の情報は必要に応じて面隣接表から求める。

3 面ベース形状モデルにおける形状特徴の生成

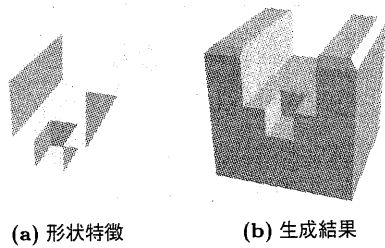
本節では、面ベース形状モデルでの形状特徴の生成について述べる。

本法では、形状特徴自体も、テンプレートとして、面隣接表で表現する。幾何情報は、固有のものと取り付けられる立体の幾何情報に依存するものがある。

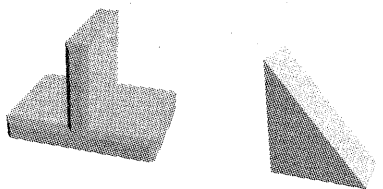
例を示す。図2(a)は、取り付ける形状特徴であり、溝とスロットからなる。この特徴は、その周辺に仮想的な面と接続しているものとして、面隣接表により表現する。

この特徴を、面取りした6面体の上部に取り付けた例が、図2(b)である。この取り付けは、取り付ける面を指定し、その面を形状特徴で置き換えることにより行われる。これは、テンプレートの面の位相情報を基に、立体を構成する面の接続情報を書き換えることで、実現される。詳細は省略する。

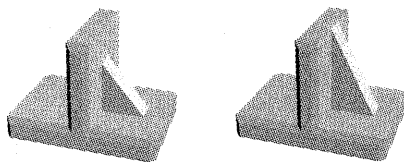
次に、図3(a)の立体の凹辺に図3(b)の形状特徴として表された補強板を取り付ける例を示す。



(a) 形状特徴 (b) 生成結果
図2. 形状特徴と生成例



(a) 取り付け立体 (b) 形状特徴
図3. 形状特徴の例



(a) 生成例 (b) 変更後の形状
図4. 生成例と幾何情報の変更

図4 (a) が生成結果である。この例では、取り付けの特徴のある面を元の立体のある面と一致させることを指定することにより、生成すべき位置が定まる。この例においても、隣接面ループの書換えと新しい面の追加により、特徴生成後の立体の表現が得られる。

図4 (b) は、取り付けた補強板の斜面の傾きを、その上部が上の面と一致するように変更した例である。これは、幾何情報の変更のみで実現される。

4 面ベース形状モデルでのブール演算操作

本節では、面ベース形状モデルでの立体間のブール演算操作の手順と例を述べる。

4.1 演算操作の問題点

形状モデルにおける立体間のブール演算操作には、高速性、安定性、そして堅牢性を保障する必要がある。

ブール演算操作を用いて形状を生成する場合、設計者は、立体を面一致、稜線一致または頂点一致といった位置関係で配置し、形状生成を行なうことが多い。このような配置は、通常「特異な場合」として扱われる。このような状況では、計算誤差が原因となり計算破綻を起こすなど、正しく形状生成が行なえない場合がある。しかし、これらは設計者の意図であり、形状モデルとして、このような拘束の下での演算が確実にこなえることが必要である。

4.2 演算操作への位相情報の利用

本モデルにおけるブール演算操作は、演算により生成される立体の各面に対して、位相情報、すなわち、隣接面ループを再構成することにより実現できる。

本モデルでは、面名を基本としているため、面 a, b, c の交点の名前を「 $\{a, b, c\}$ 」のように、面の位相関係を直接的に表す名前を付けることができる。この特長を利用し、ある面に関して「演算により干渉してできる頂点」と「演算後も存続する頂点」を検出することにより、その面の新しい隣接面ループを求める。

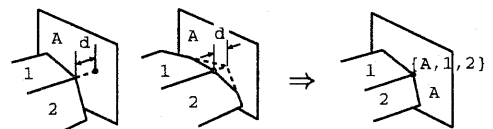


図5. 名前による頂点決定

例えば、図5において、稜線 $(1, 2)$ と面 A との交点の幾何情報は、面 A からある誤差 d 以内にあることにより判定される。しかし、このような判定は、常に、許容誤差の決定問題を伴う。本法では、このような頂点決定は位相優先とし、頂点は幾何情報でなく、その名前(この場合は、 $\{A, 1, 2\}$)で扱う。

さらに、図6左に示すように、意図としては、面 1 と A および面 2 と B を一致させた

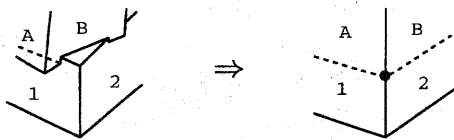


図6. 製品の最終形状

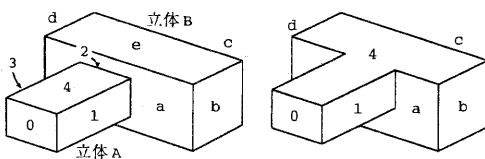
しても、数値誤差のために、意図通りの頂点決定が行えない場合もある。これらに対しても、記号として求められる頂点に、面一致を指定することにより、正しく頂点決定ができる。

4.3 演算処理の手順

図7に示す立体Aと立体Bの和を取る演算操作を例に取り上げ、頂点の検出法、ならびに位相情報を再構成する手順を述べる。立体Aは面{0,1,2,3,4,5}から、立体Bは面{a,b,c,d,e,f}からなる6面体である。

始めに、一致する面の検出を行なう。図7において、面4と面eは一致している。この面一致が設計者の意図によるものであるならば、元の立体の位相情報が異ならない限り、一致する面として取り扱う。設計者の意図ではなく偶然一致してしまう面については、操作指定時に自動的に検出し、同様に取り扱う。

次に、各面の干渉稜線の頂点、存続する頂点のリストを求める。例えば、面4については次のようになる。



(a) 演算前の2立体 (b) 生成された立体

図7. 立体間の演算(和)の例

1. 稜線(4,0)は立体Bの面によって干渉を受けない。したがって、頂点{(4,3,0), (4,0,1)}が得られる。
2. 稜線(4,1)からは点(4,0,1)と、面aとの交点(4,1,a)が得られ、{(4,0,1),

(4,1,a)}となる。面eとは一致しているため、交点は検出しない。

3. 稜線(4,2)は面eに包含される。したがって、頂点は得られない。
4. 稜線(4,3)からは、2.と同様の理由で、頂点{(4,a,3), (4,3,0)}が得られる。

以上が、立体Aから得られる面4の頂点である。

最後に位相情報の再構成を以下の方法で行なう。検出した頂点リストより、面4の隣接面ループ{0-1-2-3-}は、面2の部分が置き換えられ、{0-1-a-, ..., -a-3-}となる。

ここで、立体Bの面eが立体Aの面4と一致しているため、面eからも面4のループが得られる。面eの頂点を検出し、ループを求めると、{a-3-, ..., -1-a-b-c-d-}となる。この面4、および面eの各ループから面4の完全なループ{0-1-a-b-c-d-a-3-}が得られる。

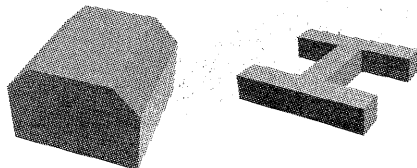
面4の隣接面ループを求め終わると、他の面の隣接面ループのeを全て4に置き換え、面4に対する位相情報の再構成は終了する。この様にして各面の位相情報を再構成すれば、図7(b)の立体が生成される。

積演算では、存続、消滅する位相情報が逆転する。差演算では、一方の立体の面の単位法線ベクトル、隣接面ループを反転させたものとの積を取る。例えば図8(a)H型の立体Aと立体Bの上面、前面、後面の各面を一致させて差を取ると、同図(b)となる。この例では、前述の面-面一致以外にも、頂点-頂点一致、稜線-頂点一致等も含んでいる。

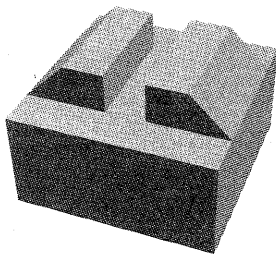
5 フィレット面の導入

本節では、面ベース形状モデルへのフィレット面の導入について述べる。

頂点や凸稜線に丸めを施したフィレット面を取り扱うために、本モデルでは平面をフィレットを表す曲面式に対応させる。図9に示す例は、図8(b)の立体の斜めにカットされた面を曲面式に対応させた例である。平面に曲面式に対応させることで、フィレット面を他の面と同様に取り扱うことができる。さらに、これを応用し、このフィレット面を組み合わせることにより、一般の2次曲面が表現できる。



(a) 立体A (左), B (右)



(b) AとBの差

図8. 立体間の演算(差)の例

その例を図10に示す。この立体には8つのフィレット面を用いている。

6 金型設計への応用例

本節では、プラスチック金型による製品製造を例にとり、面ベース形状モデルでの製品形状設計を述べる。

金型を用いたプラスチック製品の製造では、本モデルでは次の手続きにより製品の製造、設計を行う。

- (1) 製品データと適当な形状の和または差をとり、製品の表面となる金型を生成
- (2) 製品表面の金型からオフセットをとり、製品の裏面となる金型を生成
- (3) 基本金型と受け金型の排他的論理和から、製品形状を生成

面ベース形状モデルで以上の操作を行うメリットとしては以下のものがある。(1) 形状生成にこれまでに述べた演算が利用できる、(2) オフセット面生成が幾何情報の変更のみでできる、(3) 不具合形状の多くが位相構造により検出できる。

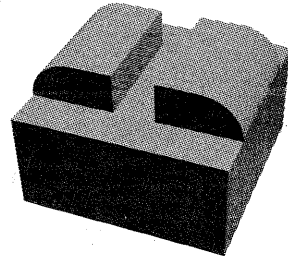


図9. フィレット面の生成

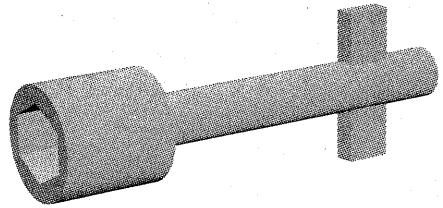


図10. 2次曲面を含む形状の例

6.1 製品形状の設計

図11に示すような四つの形状をそれぞれの面、稜線、頂点等を一致させて製品の外形を構成し、製品の位相情報を構築する。

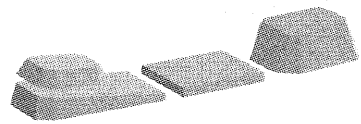


図11. 製品を構成するパーツ

6.2 製品の表面を構成する金型の生成

前節で構成した形状をテンプレートとして構成し、3節で述べた方法により、製品の表面となる金型を生成する。作成した製品形状の底面を、金型の母体となる立体の基準面に置き換え、基準面の面隣接表を書き換えると、図12の製品表面の金型をあらゆる位相情報が得られる。このとき、立体に付与された製品を構成する面は記憶され、後のオフセットの生成において利用される。

6.3 製品の裏面を構成する金型の生成

設計者は製品の厚みを指定するだけで対になる金型が生成できる。本モデルでは、生成

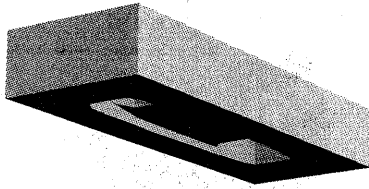


図 12. 表面の金型

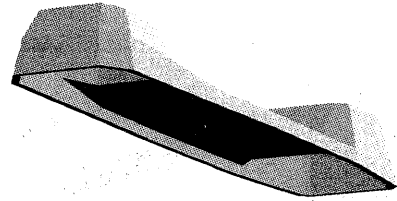


図 14. 製品形状

した製品形状を表す面を各面の面法線ベクトルの方向に平行移動し、オフセット面の幾何情報を得る。こうしてできた形状を表面金型の基準面に一致させる立体の平面に取りつけ、対になる金型の形状を生成する。この操作も、面隣接表の書換のみで行われる。これにより、消滅する面（面取りの面など）は、操作後の立体の位相情報から検出し、立体の相対的な位置に挿入される。

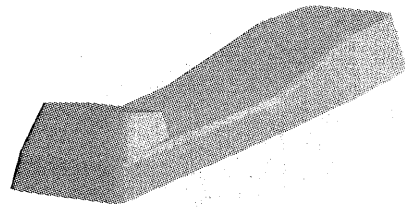


図 15. 丸めを施した形状例

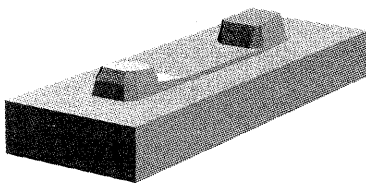


図 13. 裏面の金型

6.4 製品の最終形状の生成

次に、生成した製品表面の金型、裏面の金型、二つの立体を基準面を一致させた立体の位相情報を得る。このとき、一致させた立体の内側には、製品の最終形状を表す空間が生成されている。この空間が製造される立体である。したがって、この二つの金型の集合演算により製品形状の面隣接表が得られる。

最終形状の各面に曲面を対応させることによって、実用的な形状を表現できる。

7 まとめ

本報告では、面を基本要素とする形状モデルへの形状特徴の導入と、立体のブール演算操作についてその処理手順と例を述べた。本方法の特長は、形状特徴の生成や立体間のブー

ル演算操作が、立体表現における面隣接表の規則的な変換処理を用いた書き換えのみで行える点であり、各種の形状変形が統一的な操作で実現できる点にある。また、ブール演算操作では、拘束をもつ演算を指定できる点が挙げられる。

また、フィレット面の導入について述べ、フィレット面が平面と同一の手法で取り扱えることを示した。また、オフセット面生成を含み、実際の形状生成法として金型設計の例を示した。

今後の課題として、形状情報からの立体生成経歴を抽出する方法について検討することがあげられる。

参考文献

- 1) 穂坂, 佐田: 「統合化 CAD/CAM システム」オーム社 1994.8.
- 2) 市村, 斎藤: 面ベース形状モデルにおける形状特徴の生成, 情報処理学会第 56 回全国大会, 1998.3.
- 3) 斎藤, 穂坂: 立体モデル間の干渉と演算, 第 16 回設計シンポジウム, 1998.7.
- 4) 市村, 斎藤: 面ベース形状モデルにおける演算操作と曲面の導入, 処理学会第 57 回全国大会, 1998.10.