頑健なブレンド処理のための境界表現の 拡張に関する研究 (第2報) *

— 一般の終端問題、面線ブレンド問題および大域問題への対応 —

松 木 則 夫** 古 川 慈 之** 木 村 文 彦***

A Study on Extending Boundary-Representation for Robust Blending (2nd report)
- Blending for General Termination, Face-Edge Blending and Global Blending Cases -

Norio MATSUKI, Yoshiyuki FURUKAWA and Fumihiko KIMURA

A solid model representing a product requires filleting or blending, which rounds a specified edge or vertex, in order to make a production model for manufacturing purpose such as mould die model. Many research algorithms for blending have been proposed and commercial CAD/CAM system vendors have implemented blend functions for their systems, however, the practicing users of CAD/CAM systems in the manufacturing industry are suffering from the inability of current blending functions, such as some “holes” in the solid models because of the failure of the blending. It is regarded that the current major solid model structure, the Boundary-Representation (B-rep) lacks the sufficient structure for making robust blending surfaces. In this research, several additional conditions for the B-rep that includes “extended surfaces” that make the blending algorithm simple and robust are proposed. In this report, it is shown that the proposed conditions are effective in the general termination case of edge blending. It is also shown that proposed approach can be applicable to the face-edge blending problem and global blending problem. Several examples are shown to verify the effectiveness of the proposal.

Key words: blend, blending, fillet, rounding, CAD/CAM, solid modeling, edge-blending, vertex-blending

1. 緒 言

ソリッドモデルの稜線や頂点に丸みをつけるブレンド処理 (blending) は、生産のためのモデリングには必須の機能で市販の CAD/CAM システムに実装され、設計・製造業務において日々利用されている。しかし、意図するブレンドが作成できないため、試行錯誤が必要となり、ブレンド作成作業に多くの工数を要していると言われている。この傾向は、特に加工準備の CAM システムで顕著である。

CAD/CAM システム開発者や研究者の多大な努力にも関わらず安定したブレンド処理が実現できないのは現状のブレンド処理に本質的な課題があるのではないかと、という視点に本研究は立脚している。すなわち、ブレンド処理の基盤である現状のソリッドモデルの表現が、ブレンド処理を安定的に実施するために利用できる情報が不足している、という認識である。現状のソリッドモデルは最終的な形状を表現するには十分な情報を有しているが、図面で利用されている補助線のような、モデリングには有効であるが最終的な形状には存在しない情報を体系的に取り扱う構造が無い。これが、ブレンド処理を不安定にしている主たる要因であると考えられる。

本研究では、ソリッドモデルの表現の拡張と、その拡張に基づいたブレンド処理を提案する。これにより、ブレンド処理の頑健性の向上が実現できることを示すことが目的である。

2. 関連研究

ソリッドモデルでは面分と呼ばれる曲面の一部を組み合わせて、隙間無く表面を埋め尽くすことで形状を表現している。しかし、幾何学的なブレンド面を作成するアルゴリズム、代表的

なローリングボール¹⁾²⁾とディスクスイープ²⁾と呼ばれる手法では、両端の幾何形状が作成できず、穴が空いてしまう。このため、ブレンド面の両端部分の幾何の作成方法が課題である。これは、ブレンド終端問題あるいは、蓋面(capping face)問題³⁾⁴⁾と呼ばれている。ブレンド終端は頂点の部分であるから、ブレンド終端問題は、頂点へのブレンドの作成問題でもある。

ブレンド処理を稜線部分に対応する稜線ブレンドと頂点に対応する頂点ブレンドとに分けて呼ぶと、従来のブレンド研究には、稜線ブレンドを組み合わせて頂点ブレンドを不要とするタイプ⁵⁾と、稜線ブレンドの両端の頂点に特殊な面を作成するタイプ⁶⁾⁸⁾とがある。本研究は、稜線ブレンドを組み合わせて頂点ブレンド処理を行わないタイプの研究である。従来の研究との大きな違いは、幾何の情報のみに基づいて位相情報を再構築することである。このために、面分を表現する幾何として大きな面を要請し、ブレンド作成や蓋面に利用して形状を決定する。これにより、ブレンド処理アルゴリズムの単純な適用が可能となり頑健性が大幅に向上する。また、ブレンド作成順序を作業者が指定できるため自由度が増し、意図に合致した強度や美観を表現するブレンド形状を作成できる利点がある。

しかし、現状のソリッドモデルの情報だけでは提案する手法が実現できない。そこで、ソリッドモデルの表現手法として一般的に利用されている境界表現(B-rep)を拡張し、面分が定める範囲の外側の領域、拡大面(enlarged-surface)と呼ぶ構造を提案している。前報⁹⁾では、3稜線が合流する頂点(3稜線頂点)について、与えられたブレンド半径に対しブレンドが作成できるための拡大面の条件式を導出し、本研究の手法によりブレンド面が作成可能であることを示した。

一方で、ブレンド面には終端ブレンド以外にも幾つかの問題

* 原稿受付 平成 20 年 9 月 22 日

** 正 会 員 産業技術総合研究所(茨城県つくば市並木 1-2)

*** 正 会 員 東京大学大学院(東京都文京区本郷 7-3-1)

が指摘されている。一つは、狭い領域に対するブレンド処理で、ブレンド面が重なり合う形状や、面と線あるいは線と線を対象としたブレンド作成が必要となる面線ブレンド問題³⁾⁴⁾である。市販システムでは、面線ブレンド面作成の手法¹⁰⁾が提案されているが、通常のブレンド面と面線ブレンド面の間にはボカシ面が必要となり処理が複雑である。もう一つは、複数のブレンドを連結する場合で位相が大きく変化する大域問題⁶⁾が指摘されているが、筆者等の調べた範囲では対応策は未だ提案されていない。

本論文では、4稜線以上が合流する頂点を終端とする場合について本手法の有効性を検証するとともに、面線ブレンドおよび大域問題に対しても本手法が有効であることを検証する。

3. 提案手法の概要

ソリッドモデルの表現手法として一般的である境界表現 (Boundary Representation: B-rep) において面分が基底面のトリム面として表現され、面分の領域 F と基底面全域 K の間に、 $F \subset S \subseteq K$ となるトリム面として定義される拡大面 (enlarged-surface) S を B-rep 立体表現のモデリング対象の一部として扱うことが可能な構造を前報で提案し、その拡大面間の単純なブレンド処理アルゴリズムを繰り返す手法の有効性を主張した。このとき、拡大面の幾何学的な性質として、頂点付近で平面に近く、かつ凸領域であることを前提としている。なお、本研究のブレンド処理は頂点において接線方向に滑らかに連続な稜線群を一括して処理し有効部分を面分として定義する。

前報で提案したブレンド面の構築手順を詳細化したものが次に述べる(1)から(4-2)の手順である。なお、B-rep の持つ位相情報は、隣接する拡大面の情報を得る時など幾何的な情報の検索に用いる。そして、幾何的な関係から整合的な立体が確定した後に、その幾何情報に基づいて位相を新に作成する。従って、以下の手順において、オイラー操作による位相の変形操作を含まないことが特徴である。

言い換えると、提案する手順により必ず整合的な形状が作成できることを証明するものではない。本研究では、以下の手順を実装するプログラムが、実際の製品のモデリングにおいて工学的に有効なブレンド形状を作成することが可能であることを主張することが目的である。提案する手順は以下の通りである。

- 滑らかに連続する稜線群が与えられたとき、
- (1) 稜線群の両側それぞれについて、面分の拡大面から連続する面領域を検索する。
- (2) 稜線の両側の(1)で検索された面領域の部位の外周のエッジループに沿って、この部位を幾何的に立体から分離する (なお、稜線群を含む部位が全体と一致し、分離しない場合もある)。
- (3) 稜線を含む部位の拡大面に対して幾何的なブレンド処理を実行してブレンド面を作成する。
- (4) ブレンド面を含む部位ともう一つの部位とを、エッジループに沿って再接合し、新たな面分形状と位相を確定する。このとき、幾何的な変更が無い部分については、分離前の情報に基づいて結合を行う。ブレンド面が作成されたエッジループに沿った頂点付近において、
- (4-1) 幾何的なブレンド面が縮退しない場合には、隣接する面分の拡大面との交線を全て計算し、その中から立体として有

Fig.1 Blend surface generation procedure

Fig.2 Blend examples of various radii

効な形状を算出し、ブレンド形状を作成する。有効な形状が複数存在する場合には、作業者の指示、あるいは予め指定された規則に従い形状を決定する。

- (4-2) 幾何的なブレンド面が縮退する場合はこのまま形状を決定する。

この処理手順の概要を図1に示す。前報では、手順(4-1)にある「立体として有効な形状を算出」する方法について、両端が3稜線頂点の場合に詳しく述べ、形状と位相を確定する方法と条件を示した。本論文では、まず、形状算出に必要な情報構造について述べる。次に、これにより4稜線以上の稜線が合流する頂点を終端とする一般の場合について形状と位相を決定するための手順と条件を示す。さらに、面線ブレンド問題、大域ブレンド問題への適用を議論する。

なお、稜線が閉じているケースでは、手順(3)において終端が確定するため手順(4)は不要となる。また、図2の例のように、ブレンド半径が大きい場合には終端の処理が失敗するため、以下では、適切な大きさのブレンド半径が選択されているものとする。

4. 拡大面とブレンド面の交線情報

位相の定義から、面分は稜線の閉ループで決まる。すなわち、幾何的に面分は、拡大面間の交線などの面上線の連なりから決まる閉領域である。そこで、本研究では、面分の幾何を構成する拡大面とブレンド面について、次の情報を常に保持するようにB-repを拡張することを提案する。以下、ブレンド面も拡大面に含めて述べる。

- a) 拡大面が互いに交線を持つ場合、拡大面と交線を相互に検索できる関係情報を持つ。ここで、トリムライン(図1(c))および滑らかに隣接する面分との境界線も交線と同様に扱い、面上

線と総称する。

b) 拡大面内部で面上線が互いに交わる場合、その交点と面上線を相互に検索できる関係情報を持つ。さらに、面上線と二つの交点で決まる範囲(以下、面上線区間と呼ぶ)で二つの拡大面が対応するため、その対応を相互に検索できる関係情報を持つ(図3(a))。

c) 拡大面内部の閉領域と面分、面上線区間と稜線、交点と頂点について相互に検索できる関係情報を持つ(図3(b))。

これらの情報の大半は、通常のモデリング操作において一時的に作成されている。本研究では、これらを体系的に保存、活用することを提案する。ブレンド処理結果の形状と位相を決めるためには、b)の面上線区間と対応する拡大面の情報を主に使い、a)の情報はb)を作成するために利用している。従来のB-repでもc)に類した情報は保持しているが、本研究では、より整理した形で表現している。

これら a)b)c)の情報により、新たに作成されたブレンド面および隣接する面分を決定することができる。その決定手順を、次の例を用いて説明する。図4(a)の立体を考える。これらは拡大面の面上線によって、例えば図4(b)に示す交線情報を持っている。以下、面分 f_i の幾何である拡大面を S_i と書く。ここで、稜線 e_0 のブレンド面 B_0 を作成する。 B_0 のトリムライン C_0 および C_2 、拡大面 S_1 および S_3 と B_0 の交線 C_1 および C_3 により、図4(c)の情報が作成できる。新しい形状と位相を決める手順は、

- 1) C_0 , C_1 , C_2 , C_3 の互いの交点から決まる面上線区間 $\tilde{C}_0$, $\tilde{C}_1$, $\tilde{C}_2$, $\tilde{C}_3$ から B_0 の面分としての範囲を決め、
 - 2) それぞれ面上線区間で B_0 と対応する面を検索し、
 - 3) 面上線区間の連なりから決まる閉領域情報(以下、面上線区間列と呼ぶ)を更新する、
- である。

続いて、稜線 e_1 のブレンド面 B_1 を作成する。このとき、 B_1 の面上線区間列から閉領域は一つには決まらない。しかし、同様の手順で、可能性のある組合せをすべて検索することで面分を決めることができる。この結果、図4(e)と図4(f)に示す二つの組合せが得られる。

Fig.3 Additional relations of geometry and topology for extended B-rep

Fig.4 Procedure to define valid solids form interval information of surfaces

以上を整理すると、次の手順によって形状と位相を決めることができる。

- A) ブレンド面と頂点に合流する面分の拡大面と交線計算を行い、上記 a)b)c)の情報を作成、更新する。
- B) ブレンド面と関連する拡大面すべてについて、面分の範囲が確定するまで以下の処理を繰り返す。
 - B-1) 面上線区間列から閉領域となる組合せを選び、各面上線区間 $\tilde{C}$ について対応する面 S を検索する。
 - B-2) 面 S にある面上線区間で $\tilde{C}$ と連結するものを検索し面上線区間列を作成する。

このとき、新たに作成されたブレンド面の面分以外については、ブレンド作成前の形状および位相と整合するように作成する。整合的な面分の組合せは一つとは限らないため、作業者が指定するなどして一つに決めることになる。

上述の a)b)c)の情報と A)B)の手順による、4 稜線以上の頂点が合流する一般の頂点を終端とする稜線ブレンドの作成方法を次に説明する。

(a) vertex of more than four edges

(b) enlarged-surface that satisfies the capping face condition

(c) two possible terminating pattern for edge blend surface

(d) cutting the vertex pattern

(e) pattern that does not satisfy the capping face condition

Fig.5 Termination pattern for general vertex of edge-blend

5. 一般の頂点を終端とするブレンド処理

ブレンド対象の稜線 e の一方の端を v とし、そこに合流する稜線の数を $n+3$ ($n \geq 0$) とする。稜線 e の両側の面分を f_{a0} , f_{a1} とし、残りの面分を外から見て左回りに順に f_{b0} , f_{b1} , ..., f_{bn} と書く。面分 f_{a0} , f_{a1} からなる開シェルを切り離し拡大面 S_{a0} , S_{a1} でブレンド面 B を作成する(図 5(a))。そこで、 B と S_{b0} から S_{bn} まで $n+1$ 個の拡大面との交線を計算する。ここで S_{a0} , S_{a1} および S_{bi} ($0 \leq i \leq n$) が、前報で報告した 3 稜線頂点の場合の条件、

$$S_{\beta} \langle O(S_{a0}) \cap O(S_{a1}) \rangle \cap S_{bi} = Q_{bi,\beta} \quad \beta = a, 0, a, 1$$

を満足していれば、図 5(b)に示すように、 S_{bi} 上に面上線区間による閉領域が定義できる。ここに、 $S_i \langle \rangle$ は S_i の部分集合であることを、 $O(S_i)$ は S_i のオフセット面を表現している。

いま S_{a0} , S_{a1} , S_{bn} あるいは S_{a0} , S_{a1} , S_{b0} が上記条件を満足しているとする、図 5(c)に示す閉じた面上線区間列が確定できる。すなわち f_{a0} , f_{a1} と隣接する二つの面分の拡大面 S_{b0} と S_{bn} の少なくとも一方が 3 稜線頂点の条件を満足すれば、それらの位置関係によって整合的な形状と位相(以下、解と呼ぶ)が決まる。従って、一般の場合に、解が少なくとも一つ存在する条件は次のように書ける。

【解の存在条件】稜線の両側の面分の拡大面二つと、頂点において隣接する面分の二つの拡大面の内、少なくとも一方が 3 稜線頂点の条件を満足すること。

もし、頂点で合流する他の面分の拡大面も 3 稜線頂点の条件を満足しているならば、それぞれの面に閉じた面上線区間列ができる。例えば、すべての稜線が凸の場合には、図 5(d)に示すように角を切り取った形が一般的な解と考えられる。

したがって、作成されたブレンド面から前章の手順 A)B)を繰り返すことで、その他の整合的な形状が作成できる。この結果、頂点 v に合流する稜線は一つ減少し、新たな頂点を作成される。残った頂点の稜線についても上記処理を繰り返すことで順次丸み付けができ、最終的にすべての角の丸み付けが終了すると思われる。

ここで、上記の解の存在条件の「二つの面分の拡大面の内、少なくとも一方が 3 稜線頂点の条件を満足する」という条件を詳細に検討する。一方の組合せ S_{a0} , S_{a1} , S_{b0} が、どのように小さなブレンド半径に対しても 3 稜線頂点の条件を満足しないのは、三つの拡大面を平面とすると、それらが三重交点を持たないことである。三つの平面がすべて一致することはあり得ないため、それらが一直線で交わる時である。すなわち、 S_{a1} に沿って二つの稜線が一直線となることを意味する(図 5(e))。さらに、他方の組合せ S_{a0} , S_{a1} , S_{bn} についても条件を満足しないとすると、他方の稜線も一直線となる。しかし、明らかにこれでは頂点付近の形状が成立しない。従って、二つの面分の拡大面の少なくとも一方が 3 稜線頂点の条件を満足するという条件は、平面の場合には、必ず成立する。したがって、頂点

Fig.6 Vertex types of three enlarged-surfaces

付近で平面的である一般曲面の拡大面の場合にも、この条件が成立すると考えるのは妥当である。

以上の検討の結果、4 稜線以上が合流する一般の頂点を終端とする稜線ブレンドに対して、適切なブレンド半径を指定すれば、上記の解の存在条件はほとんどの場合に満足され、少なくとも一つの解が存在する、と結論できる。

稜線の数が増加すると組合せパターンは爆発的に増加するため、すべての場合を網羅的に検証することは困難である。そこで、代表的な形状において本研究で提案する手法でブレンドが作成できることを示す。図 6 には、三つの拡大面で作成される頂点形状を示している。図 6(a)と図 6(b)は 3 稜線頂点の場合で前報において、すべてのパターンを検討した。本論文では、4 稜線頂点(図 6(c))と 6 稜線頂点(図 6(d))の場合について解の例を示す。図 7(a)は、4 稜線頂点のブレンド作成の一つの例であり、部分的には 3 稜線頂点の場合と同じである。図 7(b)は、図 7(a)の残った一つの稜線に対しブレンドを実施した例である。図 7(c)は 6 稜線頂点において、幾何的に同一直線である二つの稜線にブレンドを行った結果である。これにより、頂点が消えるため稜線ブレンドを繰り返せば良い。図 7(d)は、別な順序で稜線を選択しブレンドを作成したものであり、図 7(e)は、図 7(d)の残された稜線にブレンドを作成したものである。

6. 面線ブレンド問題への適用

次に、面分の大きさに比して大きな半径を与えた時のブレンド作成問題、いわゆる面線ブレンド問題を検討する。

図 8(a)のように、形状に対して大きなブレンド半径を指定すると、球の接触点が面分の内側に存在できない。このため、球

Fig.8 Face-edge blending problem and our approach

Fig.7 Blend examples of 4-edge and 6-edge vertex case

は面と面の接触から、面と線の接触に変化する所ができる。この変化点において球の包絡面は接平面連続にならない。このため、このままでは G^1 連続なブレンド面を作成できない。また、面に接触する部分が両方ともに存在しない「線線ブレンド」(図 8(b))の可能性もあり、状態はさらに複雑になる。従来のブレンド研究では折れる部分にボカシ面を作成する手法が提案されているが、調整すべきパラメータが多く手順は複雑である。

この面線ブレンド問題に対し 3 章で示した手順をそのまま適用することができる。まず、拡大面が十分大きい場合、面線あるいは線線といった状態は起こらず、ブレンド面は普通に作成できる。一般の頂点を終端とする場合との違いは、エッジループ全体で、ブレンド面と干渉する拡大面に対して交線情報を作成する、という点である。この結果、図 8(a)の面線ブレンド

(d) two possible valid solids for selecting intervals on blend surface

Fig.9 Global blending problem and our approach

は図 8(c)となる。

面線ブレンドの場合に本手法の特徴を述べる。例えば図 8(d)の形状に対しては、ブレンド作成順序により図 8(e)が作成できる。ブレンド作成順序を変更しても、一方のトリムラインは波打ちが生じ、対称性は失われる。しかし、ボカシ面を作成する手法に比して、一方だけであるが波打ちの無い形状を作成できること、作業者がどちらかを自由に選択可能であるという点において、本手法の方が優れていると考える。

7. 大域ブレンド問題への適用

複数のブレンドを同時に処理する場合、いくつかの妥当な形状が想定できるが、これらを統一的に処理する適切な方法が提案されていない。これが大域ブレンド問題である。Varady 等の研究⁹⁾では、大域問題の特徴的な例として、図 9(a)に示す例が挙げられている。図 9(a)に対して、図 9(b)あるいは図 9(c)をどのように導出するか、という問題である。

大域ブレンド問題に対しても、本研究の手法がそのまま適用できる。ブレンド面と隣接する拡大面との交線を計算することで面上線区間は図 9(d)右上に示すようになり、この二つの可能な形状が図 9(b)と図 9(c)である。

ここで図 9(b)は面分 f_0 と f_1 は共通の拡大面 S_0 を持つことが前提である。提案手法においては、必要に応じて拡大面を作業者がモデリングすることが有用である。もし図 9(b)の形状が必要ならば、 f_0 と f_1 の拡大面が共通になるように修正すればよい。従来の B-rep 表現と従来のブレンド処理では、このような修正でブレンド面形状を制御することは出来ない。提案手法による、このようなモデリングの自由度がブレンド作成の頑健性や作業工数の削減に寄与すると考える。

8. 議 論

図面表現には、補助線や中心線など製品形状以外の幾何表現が豊富にある。これら付加的な幾何は、製品を表現する上で効果的な役割を果たしている。一方、現状の B-rep はこのような付加的な幾何を表現する構造が無い。本研究で提案している拡大面は、図面における補助線のような働きをしていると考えられる。本研究では、ブレンドへの適用と有効性を検討し、拡大面を提案したが、形状特徴など、その他のモデリング技術も視野に入れた場合、さらなる付加的な幾何の導入が有効である可能性が考えられる。このように、立体表現への付加的な幾何導入は重要な研究課題であると考えられる。

5 章で述べたように稜線の数が増えると組合せは非常に多くなり作業者への負荷増大の懸念がある。しかし、実際のモデリング作業を見ると、機械部品の頂点付近で必要とされるブレンド形状のパターンは限られている。実製品のモデリングによる検証が必要であるが、工学的に有用性の観点から部品種類ごとにブレンド作成順序の類型化が可能と予想される。類型化が可能ならば、作業者が多数の候補から選択するのではなく、ほぼ自動的に候補を選択できるため、負荷増大を避けることができると考える。

なお、説明はすべてローリングボール手法で行ったが、ディスクスイープ手法でも適用可能である。また、可変のブレンド半径にも適用可能である。

本研究の方法を実験システムにより検証した。なお、ブレンド面の幾何の作成には関連研究で提案した手続的な手法¹¹⁾を利用している。図 10(a)、図 10(b)は、それぞれ図 6(b)と図 6(e)のパターンを実装したものである。また、図 10(c)

Fig.10 Several results of experimental system

は、図 8(c)の面線ブレンドの場合の例である。結果から適切なブレンド面が構成されていることが分かる。

9. 結 言

ブレンド処理の安定性向上のため、拡大面による拡張 B-rep 構造とそれに基づくブレンド処理手順を提案した。本論文では、一般の頂点を終端とする稜線ブレンドを作成する手順と解が存在する条件を示した。また、面線ブレンド問題および大域ブレンド問題に対しても本手法が有効であることを示した。

参 考 文 献

- 1) M.A. Sanglikar, P. Koparkar, V.N. Joshi: Modelling rolling ball blends for computer aided geometric design, *Computer Aided Geometric Design*, 7(1990)399.
- 2) J. Pegna, D.J. Wilde: Spherical and Circular Blending of Functional Surfaces, *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, Trans. of ASME 112(1990)134.
- 3) I.C. Braid: Non-local blending of boundary models, *Computer Aided Design*, 29, 2(1997)89.
- 4) J. Vida, R.R. Martin, T. Varady: A survey of blending methods that uses parametric surfaces, *Computer Aided Design*, 26, 5(1994)341.
- 5) 東正毅, 加納利幸: 球移動によるコーナフィレットの生成, *精密工学会誌*, 56, 12(1990)2219.
- 6) T. Varady, C. Hoffmann: *Vertex Blending: Problems and Solutions*, ed. by T. Lyche et al.: Mathematical Methods for Curve and Surfaces, Vanderbilt University Press, Nashville TN(1995)501.
- 7) T. Varady, A. Rockwood: Geometric construction for setback vertex blending, *Computer Aided Design*, 29, 6(1997)413.
- 8) T. Harada, H. Toriya, H. Chiyokura: An enhanced rounding operation between curved surfaces in solid modeling, *Proceedings of the eighth international conference of the Computer Graphics Society on CG International '90*(1990)563.
- 9) 松木則夫, 古川慈之, 木村文彦: 頑健なブレンド処理のための境界表現の拡張に関する研究 (第1報), *精密工学会誌*, 75, 3(2008).
- 10) S. K. Taneja, Method for generating an extended rolling ball fillet surface between two surfaces, *United States Patent 5774359*(1998).
- 11) 松木則夫, 古川慈之, 木村文彦: ブレンド面の手続的な表現手法, *精密工学会誌*, 74, 1(2008)97.