形状処理のコンポーネント化による パラメトリックデータの共有化*

松木則夫** 徳永仁史** 小島俊雄** 木村文彦***

A Component Representation of History-Based Parametric Modeling Data

Norio MATSUKI, Hitoshi TOKUNAGA, Toshio KOJIMA and Fumihiko KIMURA

This paper describes a method for sharing history-based parametric modeling data of free-form shape with different CAD systems and storing them in a form of text information. Parametric is quite effective, however, parametric modeling data is valid only in the exact same CAD systems because these data depends deeply on the programming algorithms and system tuning parameters such as tolerance. In the method, guidelines to decompose a conventional CAD operation into appropriate programming units (software components), which can be sharable among different CAD systems, are shown. B-spline surface generation system is developed to verify the effectiveness.

Key words : software component, parametric modeling data, data exchange, object exchange, data management, mark-up language, tolerance

1. 緒 言

多くの CAD システムではユーザ固有の形状処理機能を実現するため履歴再生パラメトリックモデリング(history-based parametric modeling)やそれと連携したフィーチャ処理を用いている。しかしながら操作履歴(operation history)の再実行によるモデリング手法¹⁾には、データの永続性が無いという問題がある。操作履歴とは、CAD 利用者が入力したデータや、そのデータを入力とする「フィレット面作成」のような形状処理等のプログラム(以下、オペレーション)の名前、およびそのオペレーションの処理結果を次のオペレーションに引き渡す記録のことで、その情報によって同一のモデリングが再現できる。本報では、操作履歴を含めた履歴再生パラメトリック処理に必要なデータを一括して、パラメトリックデータと呼ぶことにする。また、データの永続性とは、本報では、個々のシステムやその設定値から独立にデータが利用できるという意味で使用する。たとえば国際標準 ISO 10303 (STEP)形式の図形データは永続性があると考えられる。

これまでパラメトリック処理に関する研究は、寸法値の変更によって、作成された形状の位相構造が変わることによって起こる問題に対処する研究がほとんどである²⁻⁴⁾。しかし、位相構造が変化しない場合でもパラメトリックデータにデータの永続性が無いという問題が存在する。本報では、位相が変化しない場合の履歴再生パラメトリック処理を対象として議論する。

パラメトリックデータによる形状作成の手法は、オペレーションが、同じ入力に対して「常に」同じ結果を出力すること、すなわち「オペレーションによる再現性」が前提になっている。しかし、個々の CAD システムではアルゴリズムや誤差の取り扱いなどが異なり、「オペレーションによる再現性」の前提は必ずしも正しいとは言えない。また、同じ CAD システムにおいても、バージョンアップを何回か繰り返すと、以前のパラメ

トリックデータが動作しなくなることがある。その主な原因は、誤差に代表されるプログラム内のパラメータ値の変更にある。バージョンアップは、単純なバグの修正だけでなく、形状が作成できないといった、特定のデータで発生した不具合に対処するためにも行われる。成熟した CAD システムではアルゴリズムの見直しの余地は少なく、特定のデータで発生した不具合への対処として誤差などのパラメータの修正が一般的に行われる。しかし、この修正の副作用として修正前に正常であったデータの中に、不具合が生じることが起こる。このように、プログラムに過度に依存したパラメトリックデータは保存対象のデータとしては不適切であり、データの永続性が無いと考えられる。

パラメトリックデータの永続性に対する提案や研究発表は少ない。それは、市販 CAD システムの処理方法等が公開されることが無いため、CAD 開発ベンダー以外がこの問題の解決策を提案することが困難であることに由来する。CAD 開発ベンダーの対応は、バージョンアップ毎にパラメトリックデータの作り直しを推奨したり、結果の形状データを残すことを推奨したりといったものが主で、パラメトリックデータを永続的にするための提案はほとんど見られない。

パラメトリックデータの永続性を保つためには、オペレーションを交換する手法が必要である。一般に、CAD 間で交換されるデータとは、幾何データと幾何データに付随した属性データである。しかし、パラメトリックデータはこれらのデータだけでなく、オペレーションの意味に強く依存している。このため、オペレーションのプログラムあるいはそのアルゴリズムを何らかの方法で交換する手段が必要である。さらに、このオペレーションの交換において誤差の取り扱いが明示的に行われる仕組みが必要となる。

そこで、図1のような手順でパラメトリックデータおよびオペレーションを交換することが有効と考えた。

- (1) オペレーションを、いくつかの、処理単位に分解する。この単位をコンポーネントと呼ぶ(コンポーネントの実体はオブジェクト指向でいうオブジェクトである)。
- (2) 分解されたコンポーネントに名称を付ける。
- (3) コンポーネントの名称とその引数の対応関係、および入力

* 原稿受付 平成 14 年 8 月 22 日

** 正 会 員 産業技術総合研究所(つくば市並木 1-2)

*** 正 会 員 東京大学大学院(文京区本郷 7-3-1)

Fig.1 Basic concept of proposed parametric data structure

データを，タグ言語により記述する，

- (4) (3)の結果と(1)のオペレーションを対応させる機構を作り，相互に交換可能とする。

本報は，この手順の(1)にまず着目し，どのようなコンポーネントに分割すべきであるかという基準を示し，その有効性を示すことが目的である。また，この手法は従来の CAD データ交換から，CAD オブジェクト交換への移行の提案にもなっている。

2. 研究の背景と関連研究

2.1 許容誤差によって起こる問題

オペレーションが，同じ入力に対して「常に」同じ結果を出力することがなぜ困難か，という理由は，CAD の形状モデリングにおいて，座標値などの浮動小数点による「実数演算の結果に基づいて立体と立体が接触している」のような論理的な判断を行う必要があるためである。計算機の丸め誤差で発生する差異を同一と見なす限界の値を「数値計算の誤差(error of floating point arithmetic)」と呼ぶことにする。たとえば，ある論理判断を行うプログラムにおいて，その論理判断の境界付近で数値計算の結果に誤差が生じるような入力データの場合には，同一アルゴリズムで設計しても，異なった判定をすることが起こる。

さらに大きな問題が「許容誤差(tolerance)」と呼ばれる，数値計算の誤差よりもさらに大きな値を持つパラメータの存在である⁹⁾。これは，二つの異なった点を同一と判定するときや，二つの角度を同一と判定するときなどに利用するもので，たとえば自動車の設計製造では，二つの点の同一判定に，0.001mm とか 0.01mm といった許容誤差が利用されることが多い。これは，数値計算の誤差と比較すると非常に大きな値である。

この許容誤差は，曲面と曲面の交線計算処理など，ある幾何要素で表現される点集合を，異なった幾何要素で近似するときの収束の判定に利用される⁹⁾。数値計算の誤差より遥かに大きな値である許容誤差が必要となる理由は，交線計算等の処理で作成された曲線は，次の曲面作成に利用され，さらに次の処理に利用されるといった具合に，幾何処理の結果が何度も利用されるため，これらの近似計算に数値計算の誤差を利用すると曲線の制御点やノット数が膨大になり，ほとんど実用に耐えないほど品質が劣化するためである。

このため，どの市販 CAD システムでも，経験的に求められた，ノットや構成点が再利用に耐えうるような許容誤差が使用されている。

この許容誤差の存在により，たとえば，2 つの空間曲線が許容誤差の直径を持つ同一の球を通過しているとき，その球内の

- (1) Tolerance allows ambiguous intersection point of two spatial free-form curves
(2) Transitive law for point equality is not effective if a tolerance is defined

Fig.2 Tolerance affects CAD algorithm

どの点を交点としてもよいことになる(図2(1))。このように，許容誤差値を直径とする球の内部のどの点を，「交点」とするのか，ということ，本報では「許容誤差に起因する任意性」と呼ぶ。著者等は，この許容誤差の存在と，許容誤差に起因する任意性がパラメトリックデータの永続性を損なう大きな要因と考える。

もし，すべての市販 CAD システムが，図2(1)について「共通垂線を $t=0.0$ から $t=1.0$ にパラメータ表現したときの midpoint $t=0.5$ を交点とする」という具合に，許容誤差に起因する任意性を無くすることができれば，同じ許容誤差値を利用することでパラメトリックデータの永続性は保たれる。

しかし，実際には，業務データでプログラムが適正に動作するようにするための，システム調整⁷⁾ (system tuning) の手段として，許容誤差とその任意性が利用されている。その理由の一つは，許容誤差が存在すると，点の同一性についての推移律が成立しなくなることが原因である(図2(2))。許容誤差の値が大きくなると，この推移律を満たさない点データの量が増大する。このため，単純なアルゴリズムでは処理が破綻することが多くなる。誤差程度に距離が離れたある点が同一点として含まれているということを前提にオペレーションのアルゴリズムを設計するのは，かなりの経験と技巧を必要とし，その結果として，誤差値とその任意性を調整することが行われる。

許容誤差の存在を許す限り，処理の破綻を本質的に解決することはほとんど不可能である。しかし，現在の CAD が有効なツールであるということは，ある範囲内で許容誤差の値と許容誤差に起因する任意性の調整が整合的に行われていることを意味する。

現状のパラメトリックデータを見ると，許容誤差の値を変更できるものはあるが，その任意性の取り扱いを知ることはできない。これらは，許容誤差に起因する任意性の調整方法が一つのオペレーションの内部に隠蔽されているためである。もし，許容誤差の値と許容誤差に起因する任意性の調整が可能となる

単位にプログラムが作られ、パラメトリックデータとして保存されていれば、永続性の問題を大幅に軽減することが可能ではないか、というのが本研究の着想である。

2.2 関連研究

パラメトリック処理に関する研究は、主に寸法値の変更により、結果の図形の位相が寸法変更前と変わってしまい、それ以降の処理の入力となる位相要素との対応関係が維持できない問題、いわゆる、永続的な名前付け (persistent naming) 問題を取り扱うもの^{2)~4)}であり本研究とは目的が異なる。これらの研究が対象とする図形も、平面や解析図形といった、許容誤差の取り扱いが問題とならない図形が主である。また、パラメトリックデータ交換を目的としたパラメトリックデータ構造に関する研究⁵⁾もあるが、平面や解析図形といった図形が対象で、許容誤差に関する議論は無く、本研究の対象とは異なっている。また、パラメトリックを含めた問題を指摘し、すべてのアルゴリズムのライブラリによる共有化の提案⁶⁾もあるが、これはパラメトリックデータの交換という考え方とは異なる。

STEP の ISO/TC184/SC4⁹⁾において、パラメトリックデータの標準化が検討されているが、市販 CAD のパラメトリックデータ形式に基づいたフォーマットの共通化の議論であり、オペレーションの再現性やデータの永続性についての議論は行われていない。

一方、数値計算の誤差に起因する問題に対して、頑健な処理を行う研究も多くある¹⁰⁾が、本報の研究は、誤差の研究ではなく、既存の CAD アルゴリズムを細分するときの基準として許容誤差に着目したもので、この点が従来の頑健な処理に関する研究とは異なっている。

コンポーネント化については、ソフトウェア工学分野で盛んに研究が行われている¹¹⁾が、コンポーネントをどのような単位で作成するかの方法論については、そのソフトウェアが対象とする分野固有の問題とされ、汎用な基準が示されることは無い。市販 CAD の開発においてもコンポーネント化が行われているが、その基準が公開されないため議論が困難である。

3. 形状処理のコンポーネント化

3.1 形状作成手法独立な図形

パラメトリックデータの中には問題が起りにくい種類のものがある。それは、平面、線分、円弧などの解析的な図形を取り扱うものである。一方、自由曲面や自由曲面上のフィレットを含むものは問題が起りやすい。これは、取り扱う図形の作成方法に関係すると思われる。平面や円弧などは、原点や方向ベクトル、半径といった、限られたパラメータによって、2つの異なったシステム間で数値計算の誤差を除いて点集合として同じ形状を得ることができる。これを、「形状作成手法独立な図形」と呼ぶことにする。

一般的に、ある要求仕様が合ったとき、その要求仕様を実現するコンポーネントには、その実装方法によらず、同じ結果が得られるものがある。たとえば空間の3点から平面を定義する場合、連立1次方程式を解く方法や、3点から2つの独立なベクトルを求めて外積を計算する方法など様々な実装方法があるが、その結果は同じである。

図形を作成する処理に限らず、同一の入力データに対して数値計算の誤差を除いて同じ結果を得られる処理の単位を本報では「手法独立な形状処理コンポーネント」あるいは簡単に「独

Fig.3 Decomposition process of dependent component to independent components

立コンポーネント(independent component)」と呼ぶことにする。これは、同一入力に対する出力結果が要求仕様によって(数値計算の誤差を除いて)確定し、実装方法に対して独立なプログラムであることを意味している。さらに、独立コンポーネントと、その要求仕様は次の条件を満足するものとする。

- (1) 要求仕様において、コンポーネント内で使用されるパラメータのうち、その値の変更が出力の図形に数値計算の誤差以上の違いを生じるものが特定されている。
- (2) コンポーネントの実装において、(1)で特定されたパラメータについて、コンポーネントの引数などとして、外部からの変更が可能となっている。

例えば、入力曲線上に N 個の点を作成する場合、曲線のパラメータを $(N-1)$ 等分するのは任意性がないが、曲線長の $(N-1)$ 等分は曲線長計算のアルゴリズムに依存する。従って、曲線長を計算するコンポーネントを独立コンポーネントにする場合、積分の微小区間長などのパラメータは引数にする必要がある。

なお、本報におけるコンポーネントの独立性は、数学における線形空間の基底の独立性とは意味が違う。(独立コンポーネント作成可能な) 要求仕様が与えられたとき、幾つかの基底となる独立コンポーネントが自然に定まることはない。与えられた要求仕様をそのまま実装すれば一つの独立コンポーネントとなり、複数の要求仕様に分割すれば、その数の独立コンポーネントが対応する。

一方、自由曲面やフィレット面などは、必ずしも同一の入力データに対して(数値計算の誤差を除いて)同じ結果が得られるとは言えない。自由曲面作成やフィレット面作成についての計算幾何学的な手法は確立されているが、これらのプログラミングの実装方法は様々であり、CAD システムごとに異なった形状データを作成している。実装方法が異なる主な要因は、前節で述べた、許容誤差の値と許容誤差に起因する任意性である。このような図形を、「形状作成手法依存な図形」と呼ぶ。

Fig.4 Surface generation process composed of independent components

そして、手法独立な形状処理コンポーネントと同様に、形状作成手法依存な図形を作成する処理の単位を「手法依存な形状処理コンポーネント」あるいは「依存コンポーネント (dependent component)」と呼ぶことにする。依存コンポーネントは、要求仕様は同じであるが、実装方法の違いによって、同一の入力に対して、出力結果が数値計算の誤差より遥かに大きな違いが生じることがあるプログラム、すなわち、実装方法に依存するプログラムである。

そこで、

- (1) CAD の 1 つのオペレーションは 1 つ以上の依存コンポーネントか、1 つ以上の独立コンポーネントとして表現できる、
- (2) 依存コンポーネントは 1 つ以上の独立コンポーネントの組み合わせに分割、あるいは、変換できる、
- (3) 独立コンポーネントは、1 つ以上の独立コンポーネントの組み合わせに分割できる、

に着目する。(1)は明らかである。依存コンポーネントにある数値計算の誤差以上の違いを生じる原因となるパラメータを、コンポーネントの引数となるように変更することは、一般のプログラム言語で実現可能である。この変更に対応する新たな要求仕様は独立コンポーネントの定義を満足する。一般に、ある程度の規模の要求仕様を複数の要求仕様に分割することは可能である。そこで、依存コンポーネントが巨大で、引数の数がシステムの制限を超えるときは、依存コンポーネントの要求仕様を分割する。分割されたコンポーネントに依存コンポーネントが含まれているならば、システムの制限を超えなくなるまでこの処理を繰り返す。この分割時に引数を各コンポーネントに適切に割り当てるようにすれば、分割された要求仕様に対応するコンポーネントは独立となる。このようにして(2)と(3)が成立する。

3.2 独立コンポーネントによるパラメトリックデータ表現

この結果、パラメトリックデータは CAD のオペレーションの組み合わせであるから、パラメトリックデータを独立コンポーネントの組み合わせで表現可能となる。その過程の概略を図 3 に示す。

独立コンポーネントは、入力データが同一であれば、数値計算の誤差を除いて同一の結果を出力する。これは、許容誤差および許容誤差の任意性を取り扱うパラメータが、独立コンポーネントの引数であるため、前節で述べた誤差の取り扱いに関する問題は、独立コンポーネント間の関係として記述されることになる。

このように、既存のパラメトリックデータを独立コンポーネントに分割する手法により、従来のパラメトリックデータの永

(1) Surface generation with 4 spatial free-form curves which have "intersection points" within a tolerance

(2) A diagram of independent components which represent a surface generation operation

Fig.5 An independent component representation of a surface generation operation

続性を損なう要因をオペレーションから分離することが可能となった。分離された許容誤差についての情報は、入力データとともにタグ言語を利用して記録、保存することにより永続性が得られる。

3.3 必要とされる CAD システムの構造

このパラメトリックデータを利用するためには、CAD システムが次のような構造をもつ必要がある。

- (1) 他のシステムで定義された独立コンポーネントの名前に対応した処理(コンポーネント)がある、
- (2) オペレーションがコンポーネントを組み合わせで実行できる、
- (3) タグ言語表現にもとづいてコンポーネントを組み合わせでオペレーションを構成できる、

著者等は、平成 13 年度から「設計・製造支援アプリケーションのためのプラットフォームの研究開発」¹²⁾に着手し、コンポーネントを連携させる基盤としてのプラットフォーム機能を研究開発中で、これは(1)から(3)を実現している。

4. 応用と結果

自由曲面の CAD オペレーションについて、上記プラットフォーム

Fig.6 Uniform B-spline curve " u_2 " is defined as an approximation of the curve " a ", using points P_{21} , P_{12} and parametrically equally spaced points on " a "

Fig.7 Surface with small tolerance value

Fig.8 Surface with large tolerance value

フォーム上で依存コンポーネントを独立コンポーネントに分解した実証例を示す。

4.1 例題

4つの空間曲線を与え、それらに囲まれた B-spline 曲面を作成する処理を例題とする。この例は、多くの CAD で依存コンポーネントである。なぜなら、入力として許容誤差値を与えることは可能であるが、許容誤差の取り扱いの任意性は個々のオペレーション内部に隠蔽されているためである。

本例は、図4に示すように(A1)から(A4)の4つのステップで構成される。各ステップで作成される形状の名称を図5(1)に示す。オブジェクト指向の考えに基づき、各ステップで作成される形状とコンポーネントは対応する。それら形状とコンポーネントとの関係を図5(2)に示す。大きな四角形で囲まれた範囲が従来の依存コンポーネントであり、小さい四角形が独立コンポーネントを示す。

簡単化のため、入力データの整理を行う入力コンポーネントと表示出力のコンポーネント、数値計算の誤差については説明を省略する。エラーなどの例外処理についても説明は省略する。また、入力曲線データ等のオブジェクトもコンポーネントとして説明する。

4.2 独立コンポーネントの内容

図4のステップ(A1)から(A4)をコンポーネント表現した図5(2)に従い、各ステップでの処理を説明する。

(A1) 空間曲線

空間曲線のコンポーネント表現で、図5(2)の a, b, c, d がこれに相当する。形状データだけでなく、曲線の生成メソッドや問い合わせのメソッドを含む。本例は3次 B-spline 曲線である。

(A2) 交点

2つの空間曲線の共通垂線上の点を交点として表現するコンポーネントで、図5(2)の P_{11} , P_{12} , P_{21} , P_{22} がこれに相当する。この交点は、最終的に曲面の四隅の点となる。厳密に交叉していない空間曲線の交点を求めるため、許容誤差を利用して交点相当を算出する（共通垂線の長さが許容誤差を越えた場合には例外が発生し、これ以降の処理は行われないものとする）。このとき、図2(1)で示した交点の任意性があるため、共通垂線をパラメータ表現したときの値 t を入力値としている。このように、処理内容を明確にし、かつ任意性を持つパラメータを入力引数とすることで、本コンポーネントは独立コンポーネントとすることが可能となった。なお、このコンポーネントには、入力となる2つの空間曲線コンポーネントおよびその共通垂線の足のパラメータ値等の情報を持つ。

(A3) 曲面境界曲線

曲面の境界となる曲線を表現するコンポーネントで、図5(2)の u_1 , u_2 , v_1 , v_2 がこれに相当する。(A1)の空間曲線を、共通垂線の足でトリムし、テンソル型曲面作成のために、向かい合う曲線のノットベクトルが共通となるように曲線を構成する。

様々な手法があるが、ここでは、端点となる(A2)における接ベクトルを(A1)のものを利用するアルゴリズムを採用し、一様なノット間隔となるように、ノットベクトルと通過点の再構成を行う処理を採用した(図6)。なお、本報の実装はパラメータ等間隔としたが、線長等間隔とすることも可能である。作成された曲線が、元の(A1)とどの程度類似しているかの判定は、(A1)曲線から作成された曲線への垂線の足を求め、その長さを許容誤差と比較することで判定した。この結果、本コンポーネントも独立コンポーネントとして構成することが可能となった。

(A4) 曲面

入力された曲面境界線と境界条件等から作成された面を表現するコンポーネントで図5(2)の S_1 がこれに相当する。双3次 B-spline 曲面であるため、曲面の四隅の2階微分値が入力として必要であるが、本例では、簡単のためそれらが0という条件とした。また、向かい合う曲面境界曲線のノットベクトルの整合は、本コンポーネントから(A3)コンポーネントへの再分割要請という形で実現した。

4.3 考察

(A1)から(A4)および入出力のコンポーネントをすべて JavaBeans で作成し、上記プラットフォーム上で実装した。

通常、(A1)から(A4)の処理は、一つのオペレーションとして表現される。このため、(A2)や(A4)の個々の許容誤差の値と(A2)の共通垂線上のパラメータ値 t のような許容誤差に起因する任意性の値を外から調整することはできない。ところが、本例のように分解すると、これらのパラメータが調整可能となる。また、同一仕様のコンポーネントを別途開発し、旧来のコンポーネントと入れ替えても、その出力結果は数値計算の誤差を除いて同じにすることが可能である。これにより、依存コンポーネントである曲面生成を、独立なコンポーネントの組み合わせで表現可能となった。

独立コンポーネントへの分解は、本報以外にも様々な方法が考えられる。たとえば、元の(A1)から(A4)までを含む従来と同様規模のコンポーネントで多数の引数を持ったものを作成して独立コンポーネントとすることは可能である。あるいは、本報告より詳細な分割も可能である。これらに絶対的な基準は想定し難く、ソフトウェアの開発や維持のコスト、コンポーネントの再利用性、流通性を考慮することが重要と思われる。

図7は通常の許容誤差を設定した曲面生成例である。図8は許容誤差の値を大きくして強調した例である。実際の CAD で作成される曲面の多くは、図7のように見えるが、実際は図8のような現象が起こっている。なお、図7と図8は、(A2)の t の値をすべて0.5とした場合である。

このように、交点位置パラメータや様々なシステム調整のパラメータをコンポーネントの要求仕様の中で明確にし、引数として表現することで次のような利点がある。

(1) CAD オペレーションにおけるシステム調整は、ある特殊

Fig.9 Surfaces become inconsistent at boundaries if they have different parameter tuning values of point position in perpendicular lines between curve pairs

なデータをエラー無く処理するために実施されることが多い。本手法で表現されたパラメトリックデータであれば、プログラムの修正ではなく、独立コンポーネントの引数の値を変更することで対応可能となる。

(2) CAD オペレーションの機能改善は、独立コンポーネント内部のアルゴリズムの改善か、引数の値の変更か、独立コンポーネント群を新しい独立コンポーネント群に入れ替えるか、のいずれかで表現可能と考えられる。これらの情報が利用者に明らかであれば、従来の独立コンポーネントが廃棄されずその動作が保証される限り、システムのバージョンアップ時における、過去のパラメトリックデータの再処理は不要となる。

(3) パラメトリックデータには複数の CAD オペレーション列が関係する。異なる CAD オペレーションに対応する独立コンポーネント間の引数の対応関係が明らかな場合には、引数の値を調整することで、安定なデータを作成することが可能である。たとえば、同一の空間曲線を共有する 2 つの曲面があったとき、独立にシステム調整されたオペレーションで曲面が作成された場合には、この空間曲線の両端の交点位置において、前節(A2)で示したパラメータ t が、例えば一方の曲面では $t=0.0$ 、他方の曲面では $t=1.0$ という値が設定される可能性があり、そのとき図9のように違いが生じることになる。従来方法では、これに対処するための自由度をパラメトリックデータは持っていない。本手法では、同一の曲線を共有する両端の(A2)コンポーネントがわかるため、それらの値を同じに設定し、図10のように2曲面の境界線を一致させることができる。

許容誤差を利用して形状処理を行う限り、いかなるデータに対しても安定な処理を作成することはほとんど不可能である。だからといって、現状のパラメトリックデータのように、依存コンポーネントである CAD オペレーションの名前を保存する手法では、形状生成にとって重要なパラメータがオペレーション内部に隠蔽され、その調整の自由度を利用者が活用できないことは問題である。本手法では、これらの自由度を利用者が設定することによって、パラメトリックデータの永続性を確保することが可能となる。

4.4 課題と展望

本手法を、実際の CAD システムに利用するためには幾つかの課題がある。一つは、独立コンポーネントのより正確な定義の確立と引数の標準化である。また、運用のためには、名前の運営管理も重要である。また、タグ言語による記述の構造も課題である。今のところ、プログラミング言語相当の言語仕様が

Fig.10 Surfaces become consistent at boundaries as the parameters set same at the common curve

求められることを想定し、検討を行っている。数値計算の誤差に起因する問題も依然として残されている。また、本報で提案する手法は、CAD システムのアーキテクチャの変更を必要とし、市販の CAD システムに対してすぐに導入することができるものではない。

近年、パラメトリック機能を利用する企業が急増しており、企業資産として永続的に利用するための方策は必要である。しかし、現在の CAD のパラメトリック機能では、これに答えることができない。本手法を利用することで、この問題解決への道が開けると考える。今後は、業務データ相当の複雑さを持った形状データへ本手法を適用してその有効性を実証し、STEP におけるパラメトリック標準化への提案も検討してゆきたい。

5. 結 言

本報では、フィレット面など複雑な形状処理を含む履歴再生パラメトリック処理を複数のシステム間で共有する手法を提案した。特に、CAD のオペレーションを独立コンポーネントに分割することにより複数のシステムで共有可能となることを主張した。

参 考 文 献

- 1) R. Anderl and R. Mendgen : Parametric Design and its Impact on Solid Modeling Applications, ACM Proc. 3rd Symp. Solid Modeling, (1995) 1.
- 2) C.M.Hoffmann : On the Semantics of Generative Geometry Representation, Proc. ASME Design Automation Conf., (1993) 411.
- 3) V.Shapiro and D.Vossler : What is a Parametric Family of Solids?, ACM Proc. 3rd Symp. Solid Modeling, (1995) 43.
- 4) J.Kripac : A Mechanism for Persistently Naming Topological Entities in the History-Based Parametric Solid Modeling (Topological ID System), ACM Proc. 3rd Symp. Solid Modeling, (1995) 21.
- 5) J.Hoschek : Fundamentals of Computer Aided Geometric Design, A K Peters, Massachusetts, (1993).
- 6) R.E.Barnhill and S.N.Kersey: A Marching Method for Parametric Surface/Surface Intersection, Computer Aided Geometric Design 7, (1990) 257.
- 7) T.J.Peters, N.F.Stewart, D.R.Ferguson and P.S. Fussell : Algorithmic Tolerances and Semantics in Data Exchange, Proc. 19th Annual Symp. Computational Geometry, (1997) 403.
- 8) D.Agbodan, D.Marcheix and G.Pierra: A Data Model Architecture for Parametrics, J. for Geometry and Graphics, 3, 1, (1999) 17.
- 9) <http://www.tc184-sc4.org/>
- 10) 杉原厚吉, 伊理正夫 : 形状誤差による暴走の心配の無いソリッドモデラの提案, 情報処理学会論文誌, 28, 9, (1987) 962.
- 11) G. Heineman: Component Based Software Engineering, Addison Wesley, (2001).
- 12) N.Matsuki : A National R&D Project Plan to Establish Manufacturing Information Infrastructure in Japan, Proc. ITIT Symp. Develop. Manuf. Technol. Infra., AIST, (2001) 6.