

<b>氏 名</b>	さとう なおゆき 佐藤 直之
本籍（国籍）	東京都
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工博 第247号
学位授与年月日	平成26年 3月24日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当 課程博士
研究科及び専攻	工学研究科デザイン・メディア工学専攻
<b>学位論文 題目</b>	<b>曲面オフセット処理におけるモデルデータ品質の低下を抑制するオフセット曲面近似手法に関する研究</b>
学位審査委員	主査 教授 今野 晃市 副査 教授 千葉 則茂 副査 准教授 藤本 忠博

## 論文内容の要旨

工業製品の設計において、製品の形状をCAD（Computer Aided Design）システムで作成し、NC（Numerical Control）加工やコンピュータ・シミュレーションなどで活用するデジタルエンジニアリングが発展している。その中でも、図面のような平面図形ではなく、立体図形によってデータを作成する3次元CADは、航空機、自動車、家電など、ものづくりの分野に広く浸透している。3次元CADシステムは、パーソナルコンピュータなどで動作するソフトウェアとして、現在、幾つものシステムが市販され、利用されている。一般に、これらのシステムでは、複数の面を隣接情報が整合するように連結して立体を表現する。例えば、直方体であれば、6枚の平面を連結することで表現される。面には、3次元空間における曲面形状を規定する多項式が用いられる。具体的には、平面や2次曲面、および、より自由形状を表現できる、Bezier曲面やB-spline曲面などの多項式が用いられる。

3次元CADシステムがもつ機能の一つに、オフセット曲面の生成がある。オフセット曲面とは、与えられた曲面上の任意の点に対して、法線方向に一定の距離だけ離れた曲面のことである。オフセット曲面を利用することによって、製品の外装など、一定の肉厚をもった形状の設計や、NC加工における工具経路などを計算することができる。しかし、平面や2次曲面などの解析曲面を除き、一般のオフセット曲面は多項式では表せない。そこで、一般に曲面オフセット処理では、オフセット曲面を多項式曲面で近似する手法が用いられる。

オフセット曲面の近似手法は、いくつか提案されている。しかし、それらの手法は、曲面ごとにオフセット曲面を生成することは可能であるが、2枚の隣接する曲面に対してオフセット曲面を生成する場合に、データの品質低下という問題

を引き起こすことがある。具体的には、次に示す2つの問題が発生する。

(1) 2枚のオフセット曲面の間に、微小要素が発生する。微小要素とは、長さが非常に短い曲線、および、面の境界線同士の距離が非常に近い細長い曲面である。微小要素は、オフセット曲面の元になる2枚の曲面が、表側から見て凸状に折れてつながっている場合に生じることがある。一般に、オフセット処理された形状を製品の外装設計やNC加工に用いるには、オフセット曲面間に生じた隙間を補間する曲面を生成する必要がある。もし、隙間が非常に小さい場合、すなわち元になる2曲面の折れ具合がわずかである場合には、隙間を補間する曲面の幅も非常に小さくなるため、補間曲面が微小要素となってしまうことがある。しかし従来の方法は、オフセット曲面間の接続を考慮せずに、元の曲面を個別にオフセットして近似曲面を生成するため、曲面形状によっては微小要素の発生が避けられない。形状データに微小要素が含まれると、CADシステム間のデータ交換に失敗するため、微小要素を含む低品質のデータを生成しないようにしなければならない。

(2) 2枚の滑らかな曲面を別々にオフセットした場合に、滑らかなオフセット曲面を生成できない。この場合、2曲面間の共有境界曲線上で、両側の曲面の単位法線ベクトルが一致するため、オフセット曲面どうしは隙間なく連結することができる。しかし、従来の方法は、オフセット曲面間の連続性を考慮せずに、元の曲面を個別にオフセットして近似曲面を生成するため、近似による誤差が原因で、生成される曲面間に折れや隙間が生じてしまうことがある。(1)の問題と同様に、オフセット曲面の折れや隙間は、品質低下によるデータ交換の失敗を引き起こす。

本論文は、これら2つの問題を解決したオフセット曲面近似手法を提案するものである。前述した2つの問題点を分析し、具体的な課題を示すと、次のようになる。

(1) 微小要素の発生を抑制した近似オフセット曲面を生成する。

(2) 隙間なく滑らかに接続する近似オフセット曲面を生成する。

課題(1)を解決するため、本研究では、2枚のオフセット曲面の隙間が非常に小さくなる場合、隙間の中間で互いの境界曲線が一致するように、境界曲線を新たにモデリングした後、2枚のオフセット曲面を近似する。具体的には、元になる2曲面の共有境界に対応した、各オフセット曲面の境界曲線を取り出し、とり出された2本の境界曲線の平均位置を通る曲線をモデリングした後、その曲線がオフセット曲面の境界曲線となるようにオフセット曲面を近似する。これにより、オフセット曲面を近似する曲面どうしが隙間なくつながるため、微小要素の発生を回避できる。課題(2)を解決するため、本研究では、オフセット曲面間の共有境界曲線上で、互いの分割区間が一致するように、2枚のオフセット曲面を細分割する。そして、オフセット曲面間の共有境界曲線上で、互いの偏微分ベクトルが同一平面にのるように拘束条件を与え、細分割されたオフセット曲面の各領

域を近似する．これにより，オフセット曲面どうしが接続する曲線上で，近似した曲面どうしが隙間なく，かつ，折れずに連結される．以上の2つの提案手法により，本研究の2つの課題は解決される．本研究では，これら2つの提案手法を，幾つかの工業製品に適用し，課題が解決されることを実証する．

## 論文審査結果の要旨

ものづくりの分野において，製品の高品質化・低コスト化・短納期化を図るため，3次元CADシステムを中核としたIT化が積極的に進められている．3次元CADシステムは，製品形状を立体モデルで設計するシステムである．本論文は，3次元形状モデルを生成するための基本機能の一つであるオフセット曲面生成に関して，生成されるモデルデータの品質低下を抑制するオフセット曲面の近似手法について提案している．オフセット曲面は，立体形状の繰り抜きなどの肉厚一定となる形状の生成，NC加工における工具経路の計算などで，頻繁に利用される曲面表現である．一般にオフセット曲面は，曲面表現式に無理式を含むため，一般的な多項式で表現することは難しい．そこで，多くのCADシステムでは，オフセット曲面を多項式で近似する方法が広く用いられている．しかし，従来のオフセット曲面近似手法では，元になる形状モデルに依存して，（1）オフセット曲面間に微小要素が発生することがある，（2）オフセット曲面間を滑らかに接続することが難しい，といった問題がある．これらの問題は，生成された形状モデルの品質を低下させ，幾何学的計算を破綻させるなどの重大な問題を引き起こす．

本論文では，これら2つの問題を解決するためのオフセット曲面近似手法を提案している．まず，（1）の問題に対しては，オフセット曲面生成をオフセット曲面の境界曲線の生成と，オフセット曲面の近似の2パスに分けた新たな手法により解決している．オフセット曲面の境界線を生成する際に，隣接面との距離が閾値以下かどうかを判断して，微小要素が発生しないように境界線を生成することで，オフセット曲面の枠組みを決定することが述べられている．また，（2）の問題に関しては，（1）で示した手法をベースにし，オフセット曲面を生成した後で，隣接面間をG1連続（接平面連続）にするための微分方程式を拘束条件として，オフセット曲面の制御点を適切に移動する手法が述べられている．これらの手法により，品質低下を抑制したオフセット曲面を生成することができるため，オフセット処理を含む様々な形状モデリング手法やCAMシステム向けのツールパス生成などの処理に非常に有効である．

本論文の構成は以下の通りである．

第1章は序論であり，本研究の背景と目的について述べられている．

第2章では，従来技術が抱える問題点を分析し，解決すべき課題を示してい

る。まず、3次元CADシステムにおける曲面表現や曲面間の接続について説明し、本研究で扱うオフセット曲面について、従来の生成手法について述べている。次に、オフセット曲面生成におけるモデルデータの品質低下に関係する2つの課題を示している。

第3章では、本研究で提案する、オフセット曲面生成における微小要素の発生を抑制する近似オフセット曲面生成手法について提案している。提案手法では、まず、オフセット曲面の境界線を生成し、その後境界線で囲まれた領域にオフセット曲面を当てはめる手法である。オフセット曲面の境界線を生成するとき、隣接するオフセット曲面との距離を算出して、閾値以内のときには微小要素が生成されないようにオフセット曲面の境界曲線を再生成することで、問題を解決している。また、当てはめるオフセット曲面内部はC1連続性（1階微分連続性）を維持できるように、制御点を適切に補正する手法も導入している。

第4章では、2枚のオフセット曲面間をG1連続に接続する手法について述べられている。それぞれのオフセット曲面は3章で述べられている手法で生成する。2枚のオフセット曲面間をG1連続にするため、2枚の隣接するオフセット曲面間のセグメント数を合わせ、G1連続性に関する拘束条件をオフセット曲面の制御点に与えることで、連続にする手法が提案されている。

第5章は結論である。2つの課題に対して提案した本研究の成果をまとめ、結論が述べられている。また、本研究で提案した手法について、今後の課題や展望が述べられている。

以上、本論文は、3次元CADシステムのための、形状モデルの品質を維持した、オフセット曲面近似手法について提案したものである。提案手法は、形状モデルの外装設計などで頻繁に用いられるオフセット曲面生成処理を高品質化するための手法であり、3次元CADシステムの機能として非常に有益なものである。また、オフセット曲面をさらにオフセットするような場合も、形状品質を低下させることなく、オフセット曲面を生成できるため、CAMシステム向けのツールパス生成などにも有用であるところは評価に値する。したがって、本論文はものづくり分野におけるCAD/CAMシステムの発展に寄与することが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。

#### **原著論文名（1編を記載）**

N.Satoh, K.Matsuyama, K.Konno, Y.Tokuyama: High-quality Approximation Technique for Two G1-continuous Offset Surfaces, Computer-Aided Design & Applications, Vol.11, No. 1, pp.78-89, 2014.